



Aardbei Fossielvrij

Anne Elings¹, Mark van Hoogdalem¹, Frank Kempkes¹, Bart Jongenelen², Jan Janse¹,
Stijn Jochems² en Lianne Schuddebeurs²

¹ Wageningen University & Research, ² Delphy

Rapport WPR-1216

Referaat

Het toenemende areaal aardbei onder glas moet fossielvrij en duurzaam worden geteeld, zeker gezien de recente stijging in energieprijzen. WUR en Delphy hebben in opdracht van Kas als Energiebron beschreven hoe zo'n aardbeiteelt er uit ziet. Er is een schets op hoofdlijnen van de toekomstige aardbeiteelt opgesteld, de bestaande kennis en kennishiaten zijn geïnventariseerd, en met een rekenmodel is een schatting gemaakt van de stappen die er nog kunnen worden gezet. Hiervoor is gerekend aan drie teelten, namelijk een onbelichte doorteelt, een belichte doorteelt, en een low-chill verse teelt. Door op het scherpst van de snede te telen is er al veel te bereiken. Er is verder gekeken naar het verlagen van de luchttemperatuur, het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid, en langer of intensiever belichten. Voor alle situaties zijn de gevolgen voor het gebruik van gas, elektriciteit en CO₂ berekend. Er blijft behoefte aan energie voor verwarming en belichting, alleen moet deze van niet-fossiele oorsprong zijn.

Abstract

The increasing acreage of strawberry under protected conditions has to be cultivated fossil free and sustainably, certainly given the recent rise in energy prices. Commissioned by Kas als Energiebron, WUR and Delphy have described how such a cultivation system looks like. A general description of future strawberry cultivation has been given, current knowledge and knowledge gaps are given, and an with computation model options for further energy saving steps are quantified. Computations are performed for three situations, viz., cultivating a not-illuminated ever-bearing cultivar, an illuminated ever-bearing cultivar, and a low-chill fresh cultivar. Using thoughtful setpoints already leads to considerable energy saving. Furthermore, attention is given to lowering air temperature, increasing relative air humidity, and longer or higher lighting. The consequences for the use of gas, electricity and CO₂ are estimated for all situations. The remains an energy demand for heating and lighting, however, these should be supplied from non-fossil sources.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1216

Projectnummer: 3742305701

DOI: <https://doi.org/10.18174/588731>

Thema: Kasklimaat en energie

Disclaimer

© 2022 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

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Probleemstelling	7
	1.2 Doelstelling	7
	1.3 Opzet	8
2	Visie	9
	2.1 Huidige situatie	9
	2.2 Teelt junidragers	10
	2.2.1 Gewasopbouw	10
	2.2.2 Bloei	11
	2.2.3 Uitgroei vruchten	11
	2.3 Teelt doordragers	11
	2.4 Low-chill verse teelt	12
	2.5 Visie van aardbeitelers	12
	2.6 Visie van veredelaars	14
	2.7 Toekomstig teeltconcept	15
3	Kennisinventarisatie	19
	3.1 Inleiding	19
	3.2 Ontwikkeling en plantstructuur	19
	3.2.1 Ontwikkeling	19
	3.2.2 Vegetatief versus generatief	20
	3.2.3 Plantstructuur	20
	3.3 LAI en lichtonderschepping	21
	3.4 Strecking	22
	3.5 Fotosynthese	24
	3.6 Ademhaling	27
	3.7 Drogestofverdeling	29
	3.8 Groei van droog- en versgewicht	29
	3.9 Bloei	30
	3.9.1 Florigene toestand: balans vegetatieve/generatieve groei	30
	3.9.2 Effect van temperatuur en daglengte op bloei	30
	3.9.2.1 Junidragers	31
	3.9.2.2 Doordragers	31
	3.9.3 Bloei en lichtspectrum	32
	3.9.4 Vruchtzetting en ontwikkeling in aardbei	33
	3.9.5 Invloed van klimaatfactoren	34
	3.9.5.1 Temperatuur	35
	3.9.5.2 Licht: intensiteit, daglengte en spectrum	36
	3.10 Kennisvragen	38

4	Vervolgstappen	39
4.1	Scenario's	39
4.1.1	Rekenmodel voor aardbei	39
4.1.2	Aanpak	40
4.1.2.1	Onbelichte doordragerteelt	40
4.1.2.2	Belichte doordragerteelt	40
4.1.2.3	Low-chill verse teelt	41
4.1.3	Resultaten	42
4.1.3.1	Uitgangssituatie	42
4.1.3.2	Een lager temperatuursetpoint	43
4.1.3.3	Een hoger setpoint relatieve luchtvochtigheid	44
4.1.3.4	Langer belichten	45
4.1.3.5	Hogere lichtintensiteit	45
4.1.4	Samenvatting	46
5	Samenvatting en Discussie	47
	Literatuur	51
	Bijlage 1 Figuren fotosynthese	55
	Bijlage 2 Figuren en tabellen energiescenario's	57
	Bijlage 3 Samengevatte gevolgen van een lager energieverbruik	65

Samenvatting

Het areaal aardbei onder glas in Nederland neemt sterk toe, en de teelt zal in de nabije toekomst fossielvrij en duurzaam moeten worden. De recente stijging in energieprijzen maken deze doelstelling extra urgent. De overkoepelende vraag die in dit project is geprobeerd te beantwoorden luidt: 'Hoe ziet een fossielvrije en duurzame teelt van aardbei er uit, waarbij de verschillende balansen van Het Nieuwe Telen op het niveau van het gewas en van de kas goed op elkaar zijn afgestemd zodat er een stabiel en hoge productie van hoge kwaliteit wordt bereikt? Hieraan is in drie stappen invulling gegeven: 1) Er is een schets op hoofdlijnen van de toekomstige aardbeiteelt opgesteld, 2) De bestaande kennis en kennishiaten zijn geïnventariseerd, en 3) met rekenmodellen is een schatting gemaakt van de stappen die er nog moeten worden gezet voordat een fossielvrije teelt geïmplementeerd kan worden.

Een fossielvrije aardbeiteelt kenmerkt zich door 1) een optimaal gewas dat is geteeld uit uniform plantmateriaal, met een zo hoog mogelijk aandeel grote vruchten (>30 mm), geproduceerd door cultivars met een continue en stabiele productie en een goede strekking, 2) een optimaal groeiklimaat dat een continue aanmaak van vruchten waarborgt en waarbij zo weinig mogelijk energie en CO₂ wordt gebruikt, en 3) een efficiënte benutting van natuurlijke hulpbronnen door minder te ventileren en door latente warmte te oogsten.

De schets op hoofdlijnen van een fossielvrije aardbeiteelt is opgesteld in samenwerking met een aantal telers en veredelaars. Aardbeitelers identificeerden de volgende speerpunten:

1. Een verschuiving van de teeltstrategieën om de afname in productie van de open teelt op te vangen en een jaarrond vlakke productie te bereiken. Dit leidt tot meer belichting, productie in de zomer onder glas, een lange teeltduur, en een betere stuurbaarheid door indien mogelijk op steenwol te telen.
2. De warmtevraag zal anders ingevuld moeten worden, met alternatieve CO₂ bronnen, hernieuwbare bronnen in plaats van fossiele energiebronnen. Schaalvergroting en verschuiving van teeltstrategieën zullen hierin een rol spelen.
3. Kennis en innovatie moeten helpen om een antwoord te vinden op het invullen van het restant van de behoefte aan energie en CO₂.
4. Genetica en veredeling zullen meer gericht moeten zijn rassen die een continue en stabiele productie realiseren. Genetica wordt gezien als een sleutel in de verschuiving van de teeltstrategieën.
5. Gewasweerbaarheid is van belang voor de gewasbescherming. In de toekomst zullen er minder chemische middelen beschikbaar zijn en zal als gevolg van een lager energieverbruik de luchtvochtigheid kunnen stijgen. Methoden hiervoor zijn onder meer: opkweken uit zaad, biologische middelen of plantversterkers, en een goede plantbalans om de plant fysiologisch sterk te houden.

Een uitgekristalliseerde visie op fossielvrij telen moet zich bij de veredelaars nog ontwikkelen. Men beseft weliswaar dat deze ontwikkeling is ingezet, maar vooralsnog wordt meer aandacht gegeven aan de ontwikkeling van ziekte-tolerantie (*Phytophthora*, meeldauw, zwartwortelrot, *Botrytis*) en smaak. Men ziet qua ontwikkeling van teeltsysteem nogal wat diversiteit, namelijk naar meer bedekte teelt, een jaarrond vlakke teelt, low-chill verse teelt, junidragers en het telen in daglichtloze ruimtes.

Er is redelijk wat bekend over het aardbeigewas, maar veel ook niet. Door de ingewikkelde effecten van onder meer temperatuur, daglengte, lichtkwaliteit en -hoeveelheid op allerlei fysiologische processen, en door de grote verscheidenheid aan typen en cultivars met verschillende gevoeligheden hiervoor, is een eenduidig beeld van de relatie tussen omgevingsfactoren en de groei en ontwikkeling van aardbei moeilijk te geven. Het is om deze reden dat het bepalen van de juiste teeltomstandigheden van aardbei onder glas een hobbelige weg is. Als de teeltervaringen van de huidige praktijk worden getoetst aan bevindingen uit onderzoek, dan blijken er nog een aantal grote vragen te liggen, waarvan de belangrijkste zijn:

- Hoe kan een uniforme opkweek gerealiseerd worden in conventionele teeltsystemen? Moet dit in klimaatcellen, en zo ja, welke strategie leidt tot de optimale opkweek?
- Wat is de optimale teeltstrategie om de groei van de vegetatieve en generatieve gewasdelen in balans te houden? Wat zijn de effecten van bijvoorbeeld temperatuur en daglengte?
- Hoe kan de strekking van doordragers worden verbeterd, zodat de lichtonderschepping optimaal is?
- Kan meer luchtbeweging inderdaad een hogere RV toestaan?
- Wat is de optimale strategie voor gewasonderhoud en is dit rendabel?
- Kan de plant een overschot aan assimilaten opslaan?
- Hoe verdeelt de plant zijn assimilaten en wat wordt er gedaan met een assimilatenoverschot? Kan de plant dit opslaan? Moet er worden gestuurd op uur-, dag- of weekbasis?
- Zorgt het snoeien van vruchten voor een hoger vruchtgewicht van overgebleven vruchten? Kan er op plantbalans worden gestuurd?
- Wat is de optimale temperatuur in relatie tot de plantbalans?
- Wat zijn de mogelijkheden om warmteoverschot van de zomer naar de winter te brengen?
- Wat zijn andere CO₂ bronnen dan de WKK?
- Wanneer maakt de plant het meest efficiënt gebruik van de toegediende CO₂?

Er is gerekend aan drie teelten, namelijk een onbelichte doorteelt, een belichte doorteelt, en een low-chill verse teelt. Er is voor deze drie teelten een uitgangssituatie vastgesteld die is gebaseerd op de principes van Het Nieuwe Telen en waarbij dus een kleine hoeveelheid fossiele energie is gebruikt. Daar bovenop kunnen additionele maatregelen worden genomen, waarvan de effecten de berekenen zijn. We hebben te maken met kennistekorten op het gebied van de fysiologie van aardbei, zodat we met aannames hebben moeten werken en de rekenresultaten indicatief zijn.

- Het gasverbruik van de drie teelten, te weten een onbelichte doordragerteelt, een belichte doordragerteelt en een verse low-chill teelt was respectievelijk 5,7, 5,9 en 7,9 m³ m⁻² per teeltseizoen. Dit is aanmerkelijk lager dan het huidige gasverbruik en kan worden bereikt door scherp te telen. Het totale elektriciteitsverbruik was respectievelijk 5,5, 202,2 en 1,4 kWh m⁻² per seizoen, en de hoeveelheid toegediende CO₂ was respectievelijk 13,1, 18,7 en 9,2 kg m⁻² per seizoen.
- Het verlagen van de luchttemperatuur, het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid, en in geval van de belichte doordragerteelt het langer of intensiever belichten leiden allemaal tot een lager verbruik van gas. Een lagere gewenste temperatuur leidt direct tot minder stoken, een hogere luchtvochtigheid tot minder ventileren en minder warmteverlies, en langer of intensiever belichten tot meer energietoevoer van de lampen.
- Het verlagen van de luchttemperatuur en het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid leiden ook tot minder CO₂ toediening. Maar langere of intensievere belichting leidt tot grotere CO₂ tekorten en extra toediening van CO₂. In het algemeen zijn de CO₂ niveaus in alle situaties ongeveer gelijk, aangezien de CO₂ regeling streeft naar een bepaalde minimum waarde.
- Intensiever of langer belichten verlangt meer elektriciteit in geval van de belichte doordragerteelt. De andere energiekosten vallen hierbij in het niet.
- Langer belichten geeft uiteraard een hogere productie (ongeveer 0,8 – 1 kg m⁻² per uur extra belichten, of 0,14 g mol⁻¹ PAR), net als intensiever belichten (ongeveer 0,6-0,7 kg m⁻² per 20 mmol intensiever belichten, of 0,065 g mol⁻¹ PAR). Een lagere temperatuur geeft een iets lagere productie, maar een hogere relatieve luchtvochtigheid leidt nauwelijks tot productieverandering, al neemt het gevaar op rotte vruchten toe.

Er blijft een zekere behoefte aan energie voor verwarming en belichting, alleen kan deze ten opzichte van het huidige verbruik verminderen, en moet deze van niet-fossiele oorsprong zijn. In dit verslag is van deze behoeftes een schatting gemaakt.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Het areaal aardbei onder glas in Nederland neemt sterk toe (momenteel ongeveer 500-550 ha) en de teelt moet fossielvrij en duurzaam worden. De door de overheid gewenste reductie in gasverbruik en de sterke stijging van de energieprijzen sinds het najaar van 2021 hebben deze noodzaak alleen maar groter gemaakt. De nadruk ligt nog steeds op de onbelichte doorteelt met junidragers, maar de vraag groeit naar jaarrondproductie, wat met de teelt van zowel junidragende als met doordragende rassen kan worden bereikt. Deze ontwikkeling vraagt om een nieuwe kijk op het teeltsysteem van aardbei onder glas. Hoewel de aardbeienteelt zich kenmerkt door lage etmaaltemperaturen ($\pm 14^{\circ}\text{C}$), was het gasverbruik relatief hoog, $\pm 12-18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ in het geval van een onbelichte doorteelt. In 2022 is echter i.v.m. de hoge energieprijzen en het mooie weer in de praktijk ook wel $8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ gerealiseerd. Om de aardbeienteelt zowel teeltechnisch als energetisch beter in de balans te krijgen wordt er in het kader van KaE sinds een aantal jaren onderzoek verricht. Dit onderzoekstraject richt zich op de volgende vragen:

1. Wat is de route naar een 'all-electric' fossielvrije jaarrond teelt van doordragers, en hoe kan deze kennis worden benut voor de teelt van junidragers? Kan door middel van temperatuurintegratie de piekvraag in warmte worden verminderd waarbij de productie stabiel op minimaal $0,5 \text{ kg m}^{-2} \text{ week}^{-1}$ wordt gehouden? Kunnen ruimte (plantdichtheid) en licht met hijsbare goten optimaal worden benut? Wat is de juiste schermstrategie?
2. Wat zijn de beste omstandigheden voor een optimale fotosynthese? De eerste meetresultaten wijzen uit dat een hogere temperatuur (20°C ten opzichte van lagere temperaturen) een hogere fotosynthese geeft.
3. Welke belichtingsstrategie moet worden gehanteerd? Wat is de rol van daglengte en de timing van belichting, waar we nog onvoldoende van weten? Toevoeging van verrood in het rood/blauw/wit LED spectrum kan de winterrustperiode beïnvloeden. Kan LED met verrood het blad en de trossteel in de winter maanden voldoende lang houden, zodat er voldoende licht wordt onderschept? En is dit afhankelijk van andere teeltfactoren als temperatuur en daglengte?
4. Op welke wijze kan biologische gewasbescherming worden ingepast? Wat is de invloed van de groeiomstandigheden, inclusief het LED spectrum, op plagen en predatoren, en op de ontwikkeling van meeldauw?
5. Hoe kan tipburn worden voorkomen?
6. Wat is het juiste moment van planten bij junidragers in relatie tot de koudebehandeling en de hieraan voorafgaande bloemaanleg? Welk planttype komt bij doordragers het best tot zijn recht in een voorjaars- en winterteelt met LEDs?
7. Is het mogelijk om met doordragers één lange teelt te realiseren met voldoende productie, goede kwaliteit, beperkte arbeidsinzet en lage ziektedruk?

Het spreekt voor zich dat het teeltrendement positief moet zijn en dat de productie op de vraag moet zijn afgestemd. De stuurbaarheid van het oogstmoment is zodoende een relevant vraagstuk.

1.2 Doelstelling

De overkoepelende vraag van deze rapportage is: Hoe ziet de fossielvrije en duurzame teelt van aardbei er uit, waarbij de verschillende balansen van HNT op het niveau van het gewas en van de kas goed op elkaar zijn afgestemd, zodat er een stabiele en hoge productie van een goede kwaliteit wordt bereikt, en waarbij de gewasbescherming biologisch plaatsvindt?

Het project streeft naar het definiëren van de fossielvrije en duurzame aardbeienteelt onder glas, op basis van het reeds uitgevoerde onderzoek. De doelstellingen zijn:

1. Visie: Het opstellen van een schets op hoofdlijnen van de toekomstige aardbeienteelt dat voldoet aan de principes van HNT.
2. Kennisinventarisatie: Inventariseren en samenbrengen van onderzoeksresultaten en praktijkkennis die relevant zijn voor de fossielvrije teelt van aardbei. Hiermee wordt een bijdrage geleverd aan de reductie van het gasverbruik en CO₂-uitstoot, aannemende dat aan de warmtevraag kan worden voldaan door middel van de energie afkomstig uit de LEDs, de warmtepomp en de ontvochtigde lucht.
3. Vervolgstappen: Identificeren van de stappen die nog moeten worden gezet voordat een fossielvrije en duurzame teelt door de praktijk geïmplementeerd kan worden.

1.3 Opzet

De eerste energieonderzoeken naar de teelt van aardbeien dateren van 2003, maar het merendeel heeft de laatste paar jaar plaatsgevonden vanuit de optiek van HNT. Wageningen UR Glastuinbouw en Delphy hebben de hoofdmoot van dit onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek brengt de resultaten en ervaringen van afgeronde en lopende KaE projecten samen. Hiervoor zijn eindverslagen van afgeronde projecten en eigen informatie van nog lopende projecten gebuikt, bijvoorbeeld in de vorm van presentaties voor BCOs of telers.

Het project is onderverdeeld in drie werkpakketten:

WP1: Visie

Er is een schets op hoofdlijnen opgesteld van de toekomst van aardbeienteelt dat voldoet aan de principes van HNT. Hoe ziet een fossielvrije aardbeienteelt er uit qua kas, gewas en klimaat? Hierbij is gebruik gemaakt van de bestaande inzichten en ervaringen uit de praktijk en experimentele resultaten. Er is aan het begin van het project wordt een brainstorm gehouden met een groep vooruitstrevende aardbeitelers. Verder is tijdens het project gesproken met vertegenwoordigers van drie veredelingsbedrijven.

WP2: Kennisinventarisatie

De bestaande kennis op het gebied van energie en teelt in aardbeien is geïnventariseerd en samengebracht om een goed beeld te vormen van wat we op dit moment weten om een fossielvrije aardbeienteelt mogelijk te maken. Hierbij is gebruik gemaakt van KaE verslagen, projectpresentaties, en verslagen van bijeenkomsten. Vragen die hierbij worden gesteld zijn onder meer: wat is er onderzocht, wat kwam er uit, wat zijn de resterende kennisvragen? Er is breder in de literatuur van aardbei gezocht om specifieke leemtes in de kennis te vullen, maar er is geen nóg breder literatuuronderzoek opgezet, bijvoorbeeld naar de kennis bij andere gewassen.

WP3: Vervolgstappen

Vervolgens zijn de stappen geïdentificeerd die nog moeten worden gezet voordat zo'n teelt door de praktijk geïmplementeerd kan worden. Terwijl WP1 een schets op hoofdlijnen gaf, is in WP3 een kwantitatieve ondersteuning gegeven aan de hand van een aantal berekeningen aan een aardbeikas. Waar mogelijk zijn rekenregels op basis van de WP2 kennis toegevoegd. Hierbij is alleen gekeken naar de productie en niet naar de kwaliteit van de geproduceerde aardbeien omdat hiertoe de kwantitatieve kennis ontbreekt. Er is onder meer gekeken naar verschillende strategieën voor belichting, schermen, temperatuur, en CO₂ dosering die bijdragen aan het realiseren van een fossielvrije teelt.

2 Visie

Dit hoofdstuk beschrijft op hoofdlijnen huidige situatie en de toekomst van aardbeienteelt die voldoet aan de principes van HNT. Er is gebruik gemaakt van de bestaande inzichten en ervaringen uit de praktijk en van experimentele resultaten. Hoe ziet een fossielvrije aardbeienteelt er uit qua kas, gewas en klimaat?

2.1 Huidige situatie

In de huidige aardbeienteelt is er een verschuiving van onbedekte teelt naar bedekte teelt duidelijk zichtbaar. Bedekte teelt betreft zowel het telen onder glas in kassen, als systemen onder plastic in als tunnels en op stellingen. In glasareaal is deze verschuiving sterk zichtbaar. In 2016 werd er in 285 hectare kasaardbeien geteeld. In 2022 was het areaal naar schatting 500-550 ha.

Aardbeirassen zijn te onderscheiden in junidragende en doordragende rassen. Het teeltplan van de Nederlandse glasaardbeienteler is voornamelijk gebaseerd op junidragende aardbeirassen. Deze induceren bloemen onder korte dag. De potentie van de plant wordt in de plantopkweek bepaald en komt tot uiting in de productieteelt. De productie van een junidrager kent een piek waarvan het verloop afhankelijk is van het ras, plantopbouw en teeltomstandigheden. Belangrijke junidragende rassen in de Nederlandse glasteelt zijn: Elsanta, Sonation, Sonata en Malling Centenary. Doordragers worden nog beperkt onder glas geteeld. Een doordrager is een kwantitatief lange dag plant. De mate van bloemaanleg is hierin afhankelijk van temperatuur en daglengte. Doordragende rassen leggen nieuwe trossen aan in de productiefase en zijn daardoor geschikt voor langere teeltperioden. De belangrijkste doordragende rassen geteeld onder glas in Nederlands zijn Arabella, Favori, Bravura, Lady Emma en Aurora Karima. Daarentegen is een doordrager lastiger te plannen en varieert de vruchtmaat gedurende de teelt meer dan bij een junidrager.

De belangrijkste teeltstrategie onder glas is de doorteelt, waarbij er in augustus wordt geplant en er een productiegolf in het najaar en in het voorjaar wordt gerealiseerd. Het plantmateriaal van een doorteelt is ongeveer driekwart jaar lang bewaard in de koeling. Vanwege het planten in augustus groeit de plant gedeeltelijk onder kortedagomstandigheden en kan de plant ook trossen aanleggen voor een tweede productiegolf in het voorjaar. De tweede belangrijke onbelichte teelt is de verse low-chill teelt. Deze teelt wordt eind december tot begin januari geplant. Door middel van het forceren van de planten met een relatief hoge temperatuur kan de productie in deze teelt vanaf half maart starten. De aardbeien van de verse teelt komen vroeger op de markt dan bij een doorteelt. Door het forceren ligt de energievraag van deze teelt in verhouding hoger dan bij een doorteelt.

Belichting in aardbei betreft nog geen 10% van het totale areaal kasteelt. Daarbij staan de meeste belichte teelten aardbei nog onder SON-T belichting, vaak in combinatie met een warmtekrachtkoppeling (WKK). Belichte kassen met SON-T belichting zitten gemiddeld op een intensiteit tussen 100-130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, waarbij winterteelten naar de 130-150 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en de vervroegde en verlate teelten naar de 60-100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ intensiteit gaan. Kassen met LED belichting zijn vaak uitgerust met 170 tot 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Onder belichting worden junidragende aardbeirassen geteeld met meestal een enkele productiegolf. Onder belichting wordt ook een doorteeltstrategie toegepast. Dit is ongeveer op 20% van het belichte areaal.

Doordragerteelten onder glas gaan vaak in combinatie met een onbelichte verse teelt als tweede teelt. Door telers wordt vaak gezocht naar een combinatie van strategieën of verschillende plantdata om de arbeidsbehoefte en productie te spreiden. De beschikbaarheid en kwaliteit van arbeid wordt steeds lastiger te faciliteren en bovendien loopt de kostprijs van arbeid op.

De toepassing van Het Nieuwe Telen is in de aardbeienteelt nog zeer beperkt. De meeste kassen zijn uitgerust met één schermdoek, dat meestal een energiedoek is. In de teeltsturing is, met name bij junidragers, vanwege de uitgroei van de vruchten de temperatuur vaak leidend. Aardbei is ten opzichte van glasgroenten als tomaat een vrij koele teelt. Dit betekent dat er vlot gelucht wordt en dat de afkoeling belangrijk geacht wordt, wat tot verlies van warmte en CO₂ leidt. Schermen tegen uitstraling tijdens de afkoeling van de kas wordt in productieteelten niet of nauwelijks gedaan.

Dakberekening is het meest toegepaste hulpmiddel bij het koelen van de kas. Daarnaast komt broesberekening ook regelmatig voor, wat wordt ingezet bij warme perioden na het planten om het gewas te koelen. Een aantal kassen beschikt naast dakberekening ook over hogedrukverneveling. Overdag wordt gestreefd naar een relatieve luchtvochtigheid van 68-72% en in de nacht rond 85%. Dit wordt soms versterkt met een periode waarbij de relatieve luchtvochtigheid hoog op mag lopen. Door de hoge worteldruk vindt er guttatie plaats, met als doel het transport van calcium naar de niet of weinig verdampende plantdelen ter voorkoming van tipburn te stimuleren. In de praktijk wordt temperatuur beschouwd als leidend ten opzichte van vocht.

Buiten de CO₂ van de verwarmingsketel of WKK wordt er in de aardbeienteelt fors gebruik gemaakt van zuivere CO₂. De doseercapaciteit op hectarebasis ligt vaak rond 200 kg CO₂ ha⁻¹ h⁻¹. Op bedrijven met een WKK kan deze capaciteit nog verder oplopen. In een doorteelt wordt ongeveer 20-25 kilo CO₂ per vierkante meter per jaar gedoseerd. Dit is zowel CO₂ uit rookgas als zuivere CO₂.

Hieronder wordt in meer detail ingegaan op de teelt van junidragers en doordragers.

2.2 Teelt junidragers

2.2.1 Gewasopbouw

In augustus worden aardbeiplanten, nadat de planten zijn ontdooid, vanuit de lange bewaring in de koelcel bij ca. -1.5 °C, uitgeplant in de kas. Rondom het planten in de zomer is de kastemperatuur over het algemeen (extreem) hoog met veel instraling van de zon. Tijdens het planten wordt mechanisch gekoeld door dakberekening, berekening in de kas en/of de planten te broezen om planten in deze situatie niet uit te laten drogen en een goede weggroei en wortelvorming te bevorderen. De planten verdampen zelf op dat moment te weinig om vocht de kas in te brengen waardoor een lage luchtvochtigheid en hoge kastemperatuur ontstaan. Om de kas zo koel mogelijk te houden wordt in deze periode veel geventileerd en water verbruikt om de planten te koelen. Vanaf het moment dat de eerste bladeren strekken en de wortelvorming goed op gang is gekomen wordt dit probleem kleiner en wordt in de nachten koel geteeld om worteldruk op te bouwen voor de celstrekking en het calciumtransport naar de groei punten. Eenmaal goed ingeworteld wordt er aanzienlijk warmer geteeld en wordt er gewerkt met een grote lichtverhoging om snelheid te maken, en worden overdag temperaturen van 20-25°C toegelaten. In deze periode van de aardbeienteelt zijn de temperaturen het hoogst.

Na de eerste productiegolf legt de plant door korte dagen bloemen aan en wordt de bloemaanleg berekend op basis van graaduren. Als genoeg bloemen en daarmee productie is aangelegd gaan de planten in winterrust. In deze fase liggen de etmaaltemperaturen erg laag om zogenaamde koude-uren te sparen. Als vuistregel wordt gestreefd naar 400 koude-uren onder 7 °C. Om tot die temperaturen te komen liggen de ramen vaak open om de koele buitenlucht van de winter zo veel mogelijk te benutten, zolang de temperatuur in de kas boven het vriespunt ligt.

Na deze fase wordt weer rustig gestart waarvoor een dagtemperatuur van 12°C en een nachttemperatuur van 8°C wordt aangehouden zodat het gewas geleidelijk op gang komt. Klimaattechnisch is het kasklimaat in deze periode makkelijker te sturen omdat het minder vochtig is buiten. Hierna wordt met behulp van strekkingslampen, ook wel flowering bulbs genoemd, cyclisch belicht om een lange-dag prikkel te geven aan het gewas. Samen met hogere temperaturen (zowel dag als nacht) zorgt dat ervoor dat de strekking van het gewas loskomt. Hier wordt een basis etmaaltemperatuur van 12.5°C aangehouden met een lichtverhoging van 0.3°C bij 50 J cm⁻² tellend vanaf 150 J cm⁻². Deze verhoging loopt terug bij de mate van ontwikkeling van het gewas en plantbelasting.

2.2.2 Bloei

Vanaf september begint de bloeifase en neemt de lichtverhoging iets af ten opzichte van de gewasopbouwfase en wordt rekening gehouden met de vochtbeheersing in de kas. Vanaf deze periode wordt ook gestart om de plant te activeren met behulp van een minimumbuis, zeker als kassen niet zijn uitgerust met ventilatoren. Om de bestuiving goed te laten verlopen is een RV van 68-72% overdag gewenst als vuistregel zodat de pollen goed loskomen en de bestuivers goed vliegen. Er wordt geteeld met een actief en luchtig klimaat om de verdamping op gang te houden, wat inhoudt dat de ramen in de praktijk vaak open staan met de verwarming aan. Er zijn teeltovervaringen opgedaan met werkwijzen afkomstig uit andere teelten, zoals het knijpen op vocht bij vruchtgroenten. Het leidde echter tot een bedompt klimaat waardoor moeilijk kleurend zwak fruit ontstaat. In onderzoeken op het Improvement Centre (IC) van Delphy werd volgens HNT-principes geteeld en werd aangetoond dat luchtbeweging door nivolatoren en het wegschermen van piekinstraling met een diffuus zomerscherm kunnen bijdragen aan een beter kasklimaat met minder stoken en luchten. Daarbij werd aangetoond dat de VPD van planten relatief laag mag zijn zonder negatieve gevolgen voor de huidmondjesgeleidbaarheid (2.25 kPa). Dit bewijst dat naast vocht ook minder CO₂ afgevoerd hoeft te worden. Wel moet bij het gebruik van nivolatoren opgemerkt worden dat in geval van luchtbeweging in de nacht de vruchten koeler waren dan de kastemperatuur, terwijl dat niet zo was toen de nivolatoren niet werden gebruikt. Voor condensatierisico op de vruchten is dat niet wenselijk, al is de invloed van de temperatuurverschillen op de assimilatenverdeling niet volledig duidelijk. Op vochtige warme dagen blijft het wel moeilijk om vocht af te voeren en het gebruiken van een minimumbuis wordt ook afgeraden om niet bij te dragen aan een nog vochtiger klimaat. Zeker na een grote pluk kan de worteldruk daarna zorgen voor gescheurde vruchten. In deze gevallen zou luchtbeweging zonder warmtetoevoer verlichting kunnen bieden.

2.2.3 Uitgroei vruchten

In de piekbelasting is de plant veel assimilaten kwijt aan het uitgroeien van de vruchten. In deze fase wordt met lage etmaaltemperaturen geteeld omdat de vruchten anders te snel uitgroeien. Een kortere uitgroeiduur resulteert weer in kleinere en kwalitatief minder goede vruchten. De nachten worden koel gehouden (8°C), waarbij in de praktijk wordt gesteld dat de plant aan minder onderhoudsademhaling doet en daardoor energiereserves overhoudt. Dat bij hogere temperaturen vruchten kleiner blijven lijkt logisch, maar een andere oorzaak is dat de rijpingstijd korter wordt bij een hogere temperatuur. Een etmaaltemperatuur van 13-13.5°C wordt aangehouden om een goede uitgroei te hebben, die wordt behaald bij dagtemperaturen van ongeveer 20°C. Te lage etmaaltemperaturen (bijvoorbeeld 12°C) hebben als gevolg dat aardbeien te lang aan de plant hangen en gevoelig worden voor kwaliteitsproblemen, zoals slecht kleurende vruchten. Doordat junidragers een piekbelasting hebben geldt dus eigenlijk de noodzaak om nachten zo koel mogelijk te telen.

2.3 Teelt doordragers

Doordragers kunnen tijdens de productiefase nieuwe bloemen en daarmee vruchten aanleggen en hebben daardoor de potentie om in een 'vlak' productiepatroon geteeld te kunnen worden met een constante hoge kwaliteit (lees: stabiele vruchtmaat). Het verschil tussen juni- en doordragende gewassen is dat de teeltfasen van de doordragers niet achter elkaar maar parallel lopen. Waar bij junidragers de bloemen al gevormd zijn tijdens de gewasopbouw en voorafgaand aan de productieteelt, worden zij bij doordragers gevormd tijdens de productiefase. Ondanks de grote belangstelling vanuit telers wordt onder glas nog weinig geteeld met doordragers. In het voorjaar worden ze geplant op stellingen, of in glazen kassen waar ze een alternatief zijn voor een voorjaars- of najaarsteelt. Vanwege thermo-dormancy (zie 3.9.5.1) zijn doordragers op dit moment geschikter om in het voorjaar te telen dan in de zomer door de lagere etmaaltemperaturen. Bij het telen van doordragers moet duidelijk zijn dat hierbij de plantontwikkeling 'in balans' gehouden moet worden. Een te hoge piek in plantbelasting zorgt voor remming van de vegetatieve groei, net als bij junidragers in een productiepiek.

Bij doordragers moet er echter een continue ontwikkeling zijn: nieuwe bloemen moeten worden aangelegd voor de productie en nieuwe bladeren moeten zorgen voor een optimale fotosynthese. Ligt de vegetatieve groei stil door bijvoorbeeld een te hoge plantbelasting, dan zal uiteindelijk de plant worden leeg-geogst en opnieuw vegetatieve delen aanmaken. De plant legt dan weer (teveel) bloemen aan, en de hierop volgende negatieve energiebalans zorgt voor een jojo-effect. In recent onderzoek blijkt gewasonderhoud hier een grote rol in te spelen, maar de ongedetermineerde groei maakt dit een lastig verhaal. Waar bij een tomaat over het algemeen een tros wordt aangelegd na elke drie bladeren, is dit bij doordragers onbepaald en lijkt dit in ieder geval afhankelijk van daglengte, temperatuur en plantbelasting. Wel laat het onderzoek zien dat bij constante omstandigheden (vlakke etmaaltemperatuur en lichtsommen) zoals in een belichte winterteelt een goede productie behaald kan worden van een aantal weken lang, zoals in het IC in de winter van 2019-2020. Hierbij werd een productie van 0.5 kg m⁻² geogst over een periode van 10 weken. Zowel in de onbelichte als belichte teelt van doordragers is de potentie te verhogen door de gewasbreedte te vergroten; hoe meer licht opgevangen wordt, hoe meer potentiële productie. Dit kan worden gedaan door het aanpassen van het teeltsysteem waardoor de gootafstand kleiner wordt, maar er is in belichte teelten ook onderzoek gedaan naar het toepassen van verrood in verschillende hoeveelheden en strategieën. Tot op heden met weinig succes. Het is bekend dat plantprocessen als strekking worden beïnvloed door de hormoonbalans in de plant, maar dat is veelal onzichtbaar en lastig te meten. Voor onbelichte teelten van doordragers ligt er veel potentie in een langdurige teelt met weinig fossiele input, en onderzoeken hebben dat de afgelopen jaren bevestigd. De oorspronkelijke vuistregel dat bij 500 W instraling de plant verzadigd is en Watts erboven minder effectief zijn is bijvoorbeeld ontkracht in een project in het IC in 2020, waar uitkwam dat dit inderdaad geldt voor bladfotosynthese maar niet voor gewasfotosynthese. En de fotosynthese-efficiëntie was ook hoger dan gedacht bij hogere temperaturen van zelfs 30°C. In de proef viel de vruchtmaat en gewasstand echter tegen en moet de relatie van plantontwikkeling met temperatuur en licht verder worden uitgediept.

2.4 Low-chill verse teelt

De low-chill verse teelt wordt uitgevoerd met een junidrager met een lage koudebehoefte (vandaar de term 'low-chill') die in november - december wordt geplant. De planten hebben op dat moment al bloemknoppen. Het gewas bloeit in de maanden februari en maart en produceert in de maanden maart t/m mei. Deze teelt is onbelicht, al wordt er wel stuurlicht toegepast (zie 4.1.2.1).

2.5 Visie van aardbeitelers

Aan het begin van het project is tijdens een workshop (helaas een digitale i.v.m. de coronaregels) gesproken over hun visie op de toekomst van de aardbeiteelt.

Gezien de verschuiving van onbedekt naar bedekte teelt, is de verwachting dat er in 2030 in Nederland in totaal 800 hectare aardbei onder glas geteeld wordt. Deze 800 hectare betreft zowel productieteelt als plantvermeerdering. Het aantal telers zal verder afnemen en de schaalvergroting per bedrijf zal sterk doorzetten. Er zijn meerdere bedrijven met meer dan 50 ha. Een andere belangrijke ontwikkeling is de doelstelling om in 2030 fossielvrij te telen. Om dit mogelijk te maken worden de volgende speerpunten geschetst:

- Verschuiving teeltstrategieën.
- Energie.
- Genetica/veredeling.
- Gewasweerbaarheid.
- Kennis en innovatie.

Verschuiving teeltstrategieën

Om de schaalvergroting mogelijk te maken en de afname aan productievolume uit de open teelt op te vangen, komt er een verschuiving in de teeltstrategieën onder glas. Dit is noodzakelijk om de markt te kunnen blijven bedienen en de markt in bepaalde perioden niet te overbelasten en de marktprijzen zouden dalen. Tot slot is deze spreiding belangrijk in het afvlakken van de arbeidspieken en automatisering mogelijk te maken. Dit betekent dat er in 2030 meer oppervlak belicht (naar schatting 40%) wordt en dat er in de zomerperioden op grotere schaal aardbeien geproduceerd worden onder glas. Toekomstige teelten in 2030 hebben gemiddeld genomen een langere teeltduur dan wat nu praktijk is. Verschillende bedrijven zullen aardbeien op steenwol telen in plaats van op kokos of veen. Een belangrijk voordeel hiervan is de potentieel verbeterde stuurbaarheid van de planten.

Energie

In 2030 wordt er fossielvrij aardbeien geteeld. Dit betekent dat de warmtevraag op een alternatieve manier ingevuld wordt. CO₂ als bijproduct van de ketel of WKK moet dan worden opgevangen. Zuivere CO₂ blijkt in de praktijk soms geen oplossing vanwege de levering/beschikbaarheid ervan. Voor een betrouwbaar product en levering hiervan moet een alternatieve bron gezocht worden. Naast de vervanging van fossiele bronnen door hernieuwbare bronnen, wordt piekvraag en totale energievraag geoptimaliseerd. Schaalvergroting en verschuiving van teelten dragen hieraan bij. Hierdoor wordt de energievraag gespreid, echter moet de resterende energievraag fossielvrij worden ingevuld. Belichte teelten vinden plaats onder LED belichting met ontvochtiging en warmtepomp met warmteterugkoppeling. Ook in de onbelichte teelten kan warmtevraag worden ingevuld met een warmtepomp met warmteterugkoppeling, mits piekvraag aan warmte verlaagd wordt.

Kennis en innovatie moeten helpen om een antwoord te vinden op het invullen van het restant van de behoefte aan energie en CO₂. De vraag is welke CO₂ concentratie nodig is en uit welke bron de CO₂ komt. Is het doseren van CO₂ wel nodig in perioden dat er vlot gelucht wordt? In deze periode kost het relatief veel input om de concentratie beperkt te verhogen. Ook met belichting in de winter is het waarschijnlijk niet nodig om hoge CO₂ concentraties aan te houden, omdat de fotosynthese hierdoor niet of nauwelijks toeneemt. Tot slot is er in de zomerperiode in de aardbeienkas een energie-overschot. Technieken om warmte te oogsten en deze warmte op andere momenten aan te spreken bieden mogelijk perspectief. Hoge buitentemperaturen in combinatie met een hoge lichtintensiteit beïnvloeden de productie en productkwaliteit negatief. Het buiten houden van deze energie is essentieel voor een goede productie en kwaliteit in deze periode.

Genetica en veredeling

De aardbeienteelt zal in 2030 meer gericht zijn op doordragers of het telen van junidragers als een doordrager. Dit is belangrijk voor belichte teelten om langere perioden te telen met een vlakke productie. Hierdoor wordt de vraag aan assimilaten gespreid, wat de vruchtgrootte en smaak positief beïnvloedt. Deze spreiding van de assimilatenvraag is ook voor de zomerteelt essentieel om in deze periode goede kwaliteit product te produceren. Hoge temperaturen samen met hoge plantbelasting, al dan niet met piekbelasting, zorgen voor een matige kwaliteit en productie. De huidige aardbeirassen worden sterk beïnvloed door temperatuur en daglengte. Junidragers leggen bloemen aan onder korte dag en doordragers zijn kwantitatieve langedagplanten. Dit betekent dat de mate van bloemaanleg bepaald wordt door de combinatie van daglengte en temperatuur. Idealiter is er behoefte aan daglengteneutrale aardbeirassen. Dit biedt perspectief om met een sterke licht-temperatuur verhouding te telen. De doorteelt is ook in 2030 een belangrijke teeltstrategie. De teeltperiode van de doorteelt zal echter toenemen, bijvoorbeeld door het doortelen van een doordrager. Daarnaast is er een nieuwe generatie junidragende rassen met de mogelijkheid tot een zomerproductie na een productie in het voorjaar, zoals bij een Malling Centenary. De sleutel in de verschuiving van teeltstrategieën en productie perioden is genetica. De juiste rassen voor met name de belichte teelten en de zomerperiode zijn hierin essentieel. Daarbij is er behoefte aan rassen met hoge kwaliteit fruit en goede productie. Hoge kwaliteit fruit heeft de volgende kernpunten: goede smaak, grof fruit, stevige vruchten en kwalitatief geschikt voor het handelskanaal. Op minimaal 10% van het areaal worden goede rassen uit zaad van verschillende veredelingsbedrijven geteeld.

Weerbaar gewas

Er is behoefte aan robuuste rassen met tolerantie tegen ziekten en plagen. Weerbaar telen is een randvoorwaarde om ziektevrij te kunnen telen, omdat er dan maar een beperkt aantal chemische gewasbeschermingsmiddelen toegepast mag worden. In 2030 is de vergroening dus verder doorgezet. De basis hiervan is resistentie of sterk verminderde gevoeligheid van rassen en gezond uitgangsmateriaal. Door rassen uit zaad en in de kas op te kweken, kan in tegenstelling tot opkweek uit stek, gestart worden met schoon uitgangsmateriaal. Er zal daarbij steeds meer keus zijn uit uitstekende rassen uit zaad. Via het op grote schaal toepassen van bepaalde (biologische) middelen of plantversterkers, worden de aardbeiplanten weerbaar gemaakt tegen ziekten en plagen. Daarnaast is de teeltsturing, via bijv. klimaat en voeding, belangrijk om de plantweerbaarheid te verhogen. Bijvoorbeeld bij het voorkomen van meeldauw en botrytis, is het schermen tegen uitstraling een belangrijke actie in de teeltsturing zonder dat hierin concessies gedaan worden aan de uitgroei van de vruchten of de ontwikkeling van het gewas. Een goede plantbalans en het voorkomen van stress, door bijv. pieken in plantbelasting te vermijden verhoogt waarschijnlijk de plantweerbaarheid. Inzet van biologie en groene middelen is de basis van Integrated Pest Management, waarbij chemische middelen enkel in noodgevallen worden toegepast.

2.6 Visie van veredelaars

Omdat de veredeling zich richt op het selecteren van rassen die in toekomstige teelten worden gebruikt (het selecteren van een nieuwe cultivar neemt 8-10 jaar), is met drie veredelaars gesproken om een beeld te krijgen van hun toekomstvisie. Het betrof Marcel Suiker van FlevoBerry, Bert Meulenbroek van Fresh Forward en Jos Aben van LimGroup.

Een uitgekristalliseerde visie op fossielvrij telen moet zich bij de veredelaars nog ontwikkelen. Er is uiteraard wel het besef dat deze ontwikkeling zal plaatsvinden, en dat dit mogelijk leidt tot meer ontvochtigen, lagere temperaturen en CO₂ niveaus, hogere kosten en meer gebruik van windenergie. Maar hierop gerichte veredelingsprogramma's bestaan nog niet. Er wordt vooralsnog een groter belang gehecht aan de ontwikkeling van ziekte tolerantie en smaak.

Ziekte tolerantie is een belangrijk aandachtspunt. De retail is strenger dan de regelgeving op de niveaus van MRL, zodat het gebruik van middelen beperkt moet blijven. *Phytophthora* is bij planten die op substraat worden geteeld meestal een groter probleem dan bij planten die in de grond worden geteeld. Er wordt gezocht naar tolerantie of resistentie tegen meeldauw op stek, blad en vrucht, waarbij het lastig is dat er zich snel nieuwe stammen kunnen vormen zodat ook de gewasrespons steeds verandert. Zwartwortelrot is een complex van diverse schimmels, o.a. *Pestalotiopsis*, waarvoor genetische verschillen in tolerantie bestaan. Om de kans op *Botrytis* te verkleinen moet er bij een vrij lage RV worden geteeld. Dit geldt ook voor meeldauw, ook al is het hier iets complexer: een hoge relatieve luchtvochtigheid bevordert de kieming van sporen terwijl een lage RV de ontwikkeling van het mycelium bevordert. Ziektebesmetting via de stek kan worden voorkomen door zaadvermeerdering.

De retail kent momenteel ondergrenzen voor smaak en refractie, en men verwacht dat dit in de toekomst steeds belangrijker wordt. Ook op dit moment is er wel degelijk smaakbesef: de Nederlandse smaakvoorkeur wijkt duidelijk af van de Spaanse, waar men veelal harde aardbeien met weinig smaak teelt. In deze context geven de veredelaars duidelijk aan dat smaak cruciaal is en over een langere teeltperiode stabiel moet zijn. Helaas is het zo dat een goede smaak ten koste kan gaan van de opbrengst.

Qua teeltsystemen worden door de verschillende veredelaars de volgende ontwikkelingen gezien:

- Selecteren met materiaal dat geschikt is voor teelt in kassen, en niet uitgaan van genetisch materiaal dat in het verleden voor de buitenteelt is ontwikkeld.
- Toenemend gebruik van assimilatiebelichting om aan de vraag vanuit de retail te voldoen. Dit wordt tot op heden met kortedag (KD) rassen gerealiseerd. Maar een langere daglengte geeft meer bloemen per tros en dus een hogere opbrengstpotentie.
- Typen teelten:
 - Grote aandacht voor de bedekte teelt omdat hier de productie hoger ligt dan bij de open teelt.
 - Een jaarrond vlakke productie door gebruik te maken van een eenvoudig planttype dat niet of minder uitstoelt, want uitstoelen leidt tot variatie en vergt arbeid om de stolonen te verwijderen. Zo'n planttype produceert dus jaarrond aan hetzelfde rhizoom meerdere bloemen. Een daglengteneutraal doordragend ras is hiervoor het meest geschikt.
 - Low-chill verse teelt, met planten in november/december, tijdens de winter met een lage energiebehoefte, en een vroege voorjaarsproductie. Met belichting kan de teelt iets naar voren worden gehaald, waarbij het in het voorjaar eventueel kan worden verlengd. Low-chill rassen hebben, naast weinig koude om in rust te komen, ook weinig warmtenodig om uit rust te komen.
 - Junidragers, waarmee door het toepassen van verschillende plantdatums een continue productie is te realiseren.
 - Telen in een daglichtloze kas (vertical farm). Hier wordt nog niet specifiek aan gewerkt, maar de veredelingswereld constateert wel een toenemende interesse omdat de groei-omstandigheden stabiel kunnen worden gehouden.
- Een planttype dat beperkt blad heeft omdat bladsnoei een arbeidskostenpost is, en omdat een plant na blad weghalen tijdelijk stil kan staan.
- Andere aspecten van kwaliteit, naast lage MRL en smaak: houdbaarheid, visuele aantrekkelijkheid en stevigheid (textuur). De stevigheid is belangrijk vanwege het plukken zonder steeltje en de voorziene robotisering, maar kan een negatieve invloed hebben op de smaak.

2.7 Toekomstig teeltconcept

Een fossielvrije aardbeiteelt kan alleen tot stand komen als het optimale groeiklimaat gerealiseerd wordt voor een optimaal gewas, waarin zo veel mogelijk gebruik gemaakt wordt van natuurlijke energiebronnen. De teeltervaringen van de huidige praktijk worden getoetst aan resultaten uit wetenschappelijk en experimenteel onderzoek en kunnen worden ontkracht of bevestigd, en daar waar hiaten zijn kan de komende jaren op gefocust worden in onderzoeksprojecten. In dit hoofdstuk is een samenvatting gegeven van deze bevindingen.

Optimaal gewas

Een optimaal aardbeigewas zorgt voor een optimale oogst met een zo hoog mogelijk aandeel grote (30 mm+) vruchten in de sortering. Dit valt bij junidragers lastig te realiseren vanwege de gewasfysiologische eigenschappen en de kenmerken van de teelt. Het sturen naar piekbelastingen zorgt per definitie voor onbalans waardoor de vruchtmaat en gewasstand fluctueert. Het telen van doordragende aardbeien heeft meer potentie doordat deze rassen tijdens de productieteelt nieuwe bloemen en trossen aanleggen, maar hierbij mag de ontwikkeling van zowel generatieve als vegetatieve delen niet stil komen te vallen omdat deze situaties uiteindelijk leiden tot onbalans. Dit is bijvoorbeeld het geval bij hoge temperaturen in combinatie met een hoge plantbelasting; dan is de generatieve sink te sterk in verhouding tot de vegetatieve sink. Een optimaal gewas begint bij uniform plantmateriaal, waarbij de uitdaging nu ligt bij de opkweek die veelal buiten gebeurt en wordt beïnvloed door externe factoren zoals klimaat waardoor de uniformiteit niet altijd geborgd kan worden. Ontwikkelingen omtrent opkweek uit zaad en klimaatcellen laten potentie zien om schoon uniform plantmateriaal op te kweken onder vooraf bepaalde gecontroleerde omstandigheden. Om in balans te telen is een vers planttype het meest geschikt. Deze kan namelijk geleidelijk worden opgebouwd. Een gekoelde plant heeft als voordeel dat het vanuit de koelcel jaarrond geplant kan worden, maar deze zal wel een eerste productieflood hebben.

Een goede strekking van de bladeren, met name bij doordragers, is belangrijk vanwege de lichtonderschepping. Daarnaast beïnvloedt een goede strekking ook het microklimaat van het gewas omdat er meer luchtbeweging plaatsvindt bij het rhizoom, wat ten goede komt aan plantgezondheid en ervoor zorgt dat verdamping minder gehinderd wordt door een bedompt klimaat in het gewas. Doordat de luchtbeweging voor een betere uitwisseling van vocht van het macro- en microklimaat zorgt, kan er eventueel met hogere RV-setpoints gewerkt worden waardoor er minder geventileerd hoeft te worden. In onderzoeken naar de invloed van verrood op strekking werden verschillen vooral waargenomen in een onbelast gewas en lijkt de strekking ook afhankelijk van de assimilatenbalans. Maar gedetailleerde kennis is nog niet beschikbaar. De invloed van daglengte is hier ook onderzocht, maar een lange dag (LD) heeft ook niet voor de gewenste strekking kunnen zorgen. Het wegknippen van oude plantdelen (bladeren, lege trossen) heeft een positieve invloed op de ontwikkeling maar is nog niet voldoende onderzocht om een strategie van gewasonderhoud op te kunnen stellen.

Kennisvragen:

- Hoe kan een uniforme opkweek gerealiseerd worden in conventionele teeltsystemen? Welke strategie moet in klimaatcellen leiden tot de optimale opkweek?
- Wat is de optimale teeltstrategie om de groei van de vegetatieve en generatieve gewasdelen in balans te houden?
- Hoe kan de strekking en drogestofverdeling van doordragers worden verbeterd, zodat de lichtonderschepping optimaal is?
- Kan bij meer luchtbeweging inderdaad een hogere RV worden toegestaan?
- Wat is de optimale strategie voor gewasonderhoud en is dit rendabel?

Optimaal groeiklimaat

De invulling van een optimaal groeiklimaat is onder meer afhankelijk van de buitenomstandigheden. De aanmaak van de assimilaten (met name bepaald door hoeveelheid licht en CO₂) wordt afgestemd op het verbruik (met name gestuurd door temperatuur). Verbruik kan ook worden gestuurd door de hoogte van de plantbelasting als trossen/vruchten verwijderd worden maar het is nog niet duidelijk bewezen dat dit ook het vruchtgewicht beïnvloedt.

Een langdurige aardbeienteelt is rendabel als gedurende het hele jaar vruchten kunnen worden geoogst en daarvoor moet gedurende het jaar bloemaanleg plaatsvinden. Bij junidragende rassen gebeurt dat alleen onder KD en daarvoor zou in het voorjaar en de zomer in perioden van 3-5 weken daglicht weggeschermd kunnen worden zodat nieuwe bloemen aangelegd worden, waarna weer met LD de ontwikkeling van de nieuwe trossen gestimuleerd wordt. Doordragende (LD) rassen hebben juist in het voor- en najaar bij natuurlijke KD geen nieuwe bloemaanleg, maar dit kan wel gerealiseerd worden door het gebruik van strekkingslampen. In de uitgroefase van de aardbeien worden etmaaltemperaturen laag gehouden door met name in de nacht een lage temperatuur te handhaven, waardoor in de ochtend opnieuw gestookt moet worden om de plant te 'activeren'. De etmaaltemperatuur wordt laag gehouden omdat de vruchten daardoor langzamer uitgroeien en groter worden. Bij een lagere plantbelasting kan in potentie de vruchtmaat voldoende blijven bij een snellere uitgroeiduur, omdat de plant meer assimilaten heeft te verdelen per vrucht. Bij een duurzame teelt zou de warmte langer vastgehouden moeten worden in de kas zodat minder gestookt hoeft te worden, en overdag zou minder CO₂ en energie verloren gaan door minder te ventileren. De voorwaarde hierbij is dan wel een lagere plantbelasting bij junidragers en een plant in balans bij doordragers. Etmaaltemperaturen hoeven dan niet meer gedrukt te worden tot 13.5-14°C zoals bij de huidige doorteelt in de productiefase. De grens van de nachttemperatuur is afhankelijk van de plantbelasting en is nog niet in dit teeltconcept onderzocht, maar ligt vermoedelijk hoger naarmate de plantbelasting lager is.

Kennisvragen:

- Hoe verdeelt de plant zijn assimilaten en wat wordt er gedaan met een assimilatenoverschot? Kan de plant dit opslaan? Moet er worden gestuurd op uur-, dag- of weekbasis?
- Zorgt het snoeien van vruchten voor een hoger vruchtgewicht van overgebleven vruchten? Kan er op plantbalans worden gestuurd?
- De optimale temperatuur in relatie tot de plantbalans.

Efficiënte benutting van natuurlijke bronnen

De huidige aardbeienteelt wordt gekenmerkt door luchtig en actief te telen door veel te ventileren, met daardoor verliezen aan CO₂ en energie in de vorm van latente warmte. Er zijn twee opties om de energie beter te benutten, die elkaar ook kunnen aanvullen, namelijk door minder de teeltstrategie aan te passen en minder te ventileren en door latente warmte oogsten.

De onbelichte langdurige aardbeienteelt heeft op jaarbasis een overschot aan warmte in de zomer en een tekort aan warmte in de winter. Bij het fossielvrij maken van dit concept is de warmtebron in de zomer de belangrijkste bron van energie die benut kan worden door de latente warmte te oogsten; mits het ook opgeslagen kan worden en met een warmtepomp kan worden opgewaardeerd om de warmtebehoefte in de winter in te vullen. Een andere randvoorwaarde is dat CO₂ van een andere bron dan een WKK moet komen. Om CO₂ te besparen is minder ventileren duidelijk een gedeeltelijke oplossing, maar een beter inzicht in wanneer de plant daadwerkelijk CO₂ gebruikt kan ook leiden tot een efficiëntere dosering. Zo kan er bijvoorbeeld gedoseerd worden tot de overschrijding van een VPD van 2,25 kPa waarna huidmondjes sluiten (Helmus-Schuddebeurs & Jongenelen, 2020).

Kennisvragen:

- Wat zijn de mogelijkheden om warmteoverschot van de zomer naar de winter te brengen?
- Wat zijn andere CO₂ bronnen dan de WKK?
- Wanneer maakt de plant het meest efficiënt gebruik van de toegediende CO₂?

3 Kennisinventarisatie

3.1 Inleiding

De aardbei is een meerjarig gewas dat zich zowel generatief (via zaden) als vegetatief (via uitlopers) kan voortplanten. In de praktijk wordt nog steeds voor het allergrootste deel vegetatief vermeerderd, wat tot gevolg heeft dat de stekken niet volledig uniform zijn, wat weer leidt tot lastig sturen om het gewas in balans te houden. Op basis van het bloeigedrag worden twee typen aardbeien onderscheiden: junidragers en doordragers. Junidragers bloeien in principe alleen maar gedurende een korte periode van het jaar, terwijl doordragers gedurende een langere periode nieuwe bloemen vormen. Met een juiste sturing van de daglengte kan de bloeiperiode van junidragers worden verlengd. Omdat aardbei een belangrijk gewas is en van de tropen tot in Scandinavië wordt geteeld is het gewas uitgebreid bestudeerd en is de plantstructuur en ontwikkeling van dit gewas uitgebreid beschreven in de literatuur (zie bijvoorbeeld Heide *et al.* 2013; Hollender *et al.* 2012). Echter, over onderliggende fysiologische processen via welke plantstructuur en ontwikkeling worden gestuurd is nog veel niet bekend (Whitaker *et al.* 2020).

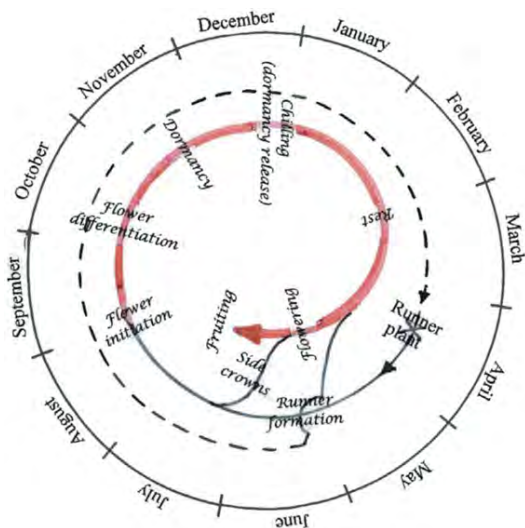
In de volgende paragrafen wordt beschreven wat bekend is over de verschillende processen in aardbei en hoe omgevingsfactoren deze beïnvloeden.

3.2 Ontwikkeling en plantstructuur

3.2.1 Ontwikkeling

De ontwikkeling van aardbeienplanten kent verschillende fasen. In junidragers vinden deze fasen na elkaar plaats onder invloed van de veranderende condities (Heide *et al.* 2013; Delphy, 2015). In Figuur 1 wordt de jaarlijkse groeicyclus met de verschillende ontwikkelingsfasen van een junidrager weergegeven. De bloemaanleg, die kan worden opgedeeld in de bloei-initiatie- en differentiatiefase, vindt plaats in het najaar. Dit is voornamelijk het gevolg van het stimulerende effect van kortere dagen en gematigde temperaturen tijdens het vroege najaar op de bloei-initiatie. Een voorwaarde hiervoor is dat de plant in een florigene toestand verkeert. Dit is de toestand van de plant waarin bloei-inductie kan plaatsvinden door de juiste combinatie van daglengte en temperatuur en hangt voornamelijk af van de hoeveelheid assimilaten die een plant kan aanmaken (source capaciteit). Alleen als deze voldoende is zal een plant in een florigene toestand raken. De optimale daglengte en temperatuur voor bloei-initiatie is afhankelijk van het ras. Naarmate de daglengte verder afneemt gaat de plant geleidelijk in winterrust (dormancy). In deze fase groeit en strekt het gewas maar zeer beperkt. De winterrust wordt verbroken door een periode van lage temperaturen. Voor aardbei is een temperatuur van 1-7°C gedurende een periode van 1100-1200 uur genoeg om winterrust te doorbreken (Delphy, 2015). Deze periode van kou zorgt ervoor dat de productie van het hormoon abscisinezuur (ABA) wordt geremd en de aanmaak van gibberellinezuur (GA) wordt gestimuleerd. De toename van GA zorgt ervoor dat het gewas weer kan gaan groeien en strekken. Zowel blad als aangelegde bloemen groeien uit onder invloed van de lange dagen en hogere temperaturen in het voorjaar en in de zomer. In de zomer vormen zich ook zijkronen en uitlopers.

In doordragers vinden de processen niet na elkaar plaats maar tegelijkertijd. Zo vindt in doordragers bloei-inductie plaats gedurende de lange dagen van de zomer, maar bij lagere temperaturen ook onder korte dagen. In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de verschillende ontwikkelingsfasen en hoe deze worden gereguleerd in junidragers en doordragers.



Figuur 1 De ontwikkeling van een aardbeiplant (uit: Heide et al. 2013).

3.2.2 Vegetatief versus generatief

Er is een antagonistische relatie tussen vegetatieve en generatieve groei. Zowel in doordragende rassen als in junidragers ontwikkelen zich minder uitlopers tijdens perioden waarin veel bloemen worden gevormd en vice versa (Perrotte et al. 2016). Condities waaronder bloei wordt gestimuleerd hebben over het algemeen een negatief effect op bladoppervlak, strekking van blad- en bloemstelen en de vorming van uitlopers (refs. in Heide et al. 2013).

3.2.3 Plantstructuur

De aardbei heeft een korte stamstructuur met korte internodia (de neus) en bladeren die een rozetstructuur vormen. Uit de laterale scheuten (zijscheuten) kunnen zich nieuwe neuzen of uitlopers vormen. Figuur 2 geeft schematisch de plantopbouw weer in verschillende stadia van generatieve ontwikkeling. Bloemtrossen vormen zich altijd uit de apex (de top) van de plant (Figuur 2A). De plant ontwikkelt zich verder vanuit de bovenste laterale scheut, dit wordt dus de nieuwe apex. Deze manier van groei wordt sympodiale groei genoemd. Na de vorming van enkele nieuwe bladeren kunnen zich vanuit de apex secundaire bloemtrossen vormen (Figuur 2B). Nieuwe neuzen die uit laterale scheuten van de plant zijn ontwikkeld zullen op dezelfde manier bloemtrossen ontwikkelen (Figuur 2C).

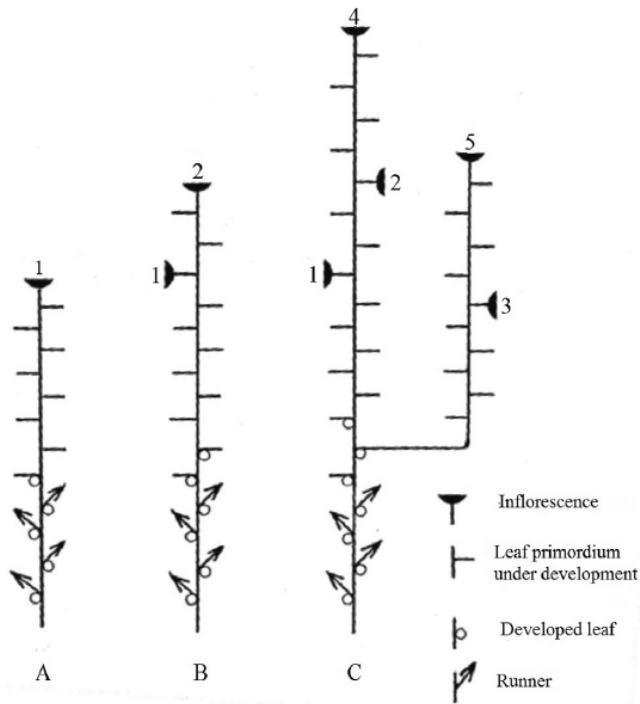


FIG. 1

Schematic illustrations of the sympodial structure of strawberry crowns in the generative phase. A, B, and C represent crowns in successive stages of flower formation. Stage C also illustrates how an axillary bud gives rise to a branch crown which forms inflorescence primordia in the same way as the main crown. Numbers refer to the sequential order in which the inflorescences were formed. Note that inflorescences are always formed terminally, but are later displaced sideways, to give the superficial impression of a monopodium. (Modified after Guttridge, 1955).

Figuur 2 Schematische plantopbouw in verschillende stadia van generatieve ontwikkeling (uit: Heide et al. 2013).

3.3 LAI en lichtonderschepping

Met lichtonderschepping wordt de onderschepping van het fotosynthetisch actieve licht (photosynthetically active radiation, PAR) met een golflengte tussen 400 en 700 nm bedoeld. Dit licht is, zoals de naam al zegt, de drijvende kracht achter de fotosynthese. Andere lichtfrequenties hebben ook effecten op het gewas, maar dan bijvoorbeeld op de architectuur. Een overzicht hiervan wordt gegeven door Dieleman et al. (2020). Licht wordt het best onderschept als het bladoppervlak homogeen over de ruimte is verdeeld. Dat is bij de teelt van aardbei verre van het geval omdat de planten in een rijstructuur staan en er veel licht op de grond valt. Afgezien van de reflectie vanaf de bodem naar boven is dit licht verloren voor de gewasfotosynthese. De toepassing van in hoogte verstelbare goten, waardoor het aantal rijen groter kan zijn, is bedoeld om meer licht te onderscheppen (Figuur 3). Maar ook dan blijft er veel licht verloren gaan.



Figuur 3 Rijstructuur in de aardbeiteelt.

In de jaarrondteelt van 2019-2020 in de Kas2030 van WUR nam in een periode van ongeveer 9 weken de LAI toe tot $3,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, waarna bladpluk bij deze doordrager ertoe leidde dat de waarde stabiliseerde rond $2,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Teelten in het IC van Delphy (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2019) bevestigen deze periode van toename, maar lieten een hogere stabiele waarde zien ($3,5 - 4,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$).

Beschikbare metingen in Kas2030 (met hijsbare goten) laten bij een LAI van $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ een lichtinterceptie van 60% zien. In de praktijk is dit bij een doordrager 40 à 50%. Deze lage waarde is het gevolg van het feit dat er door de rij-structuur van het gewas veel licht op de grond valt, want bij een normaal tuinbouwgewas geeft een LAI van $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ een lichtonderschepping van ongeveer 90%. Een LAI $4,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ zou in Kas2030 74% lichtonderschepping geven. Zie 0 voor figuren.

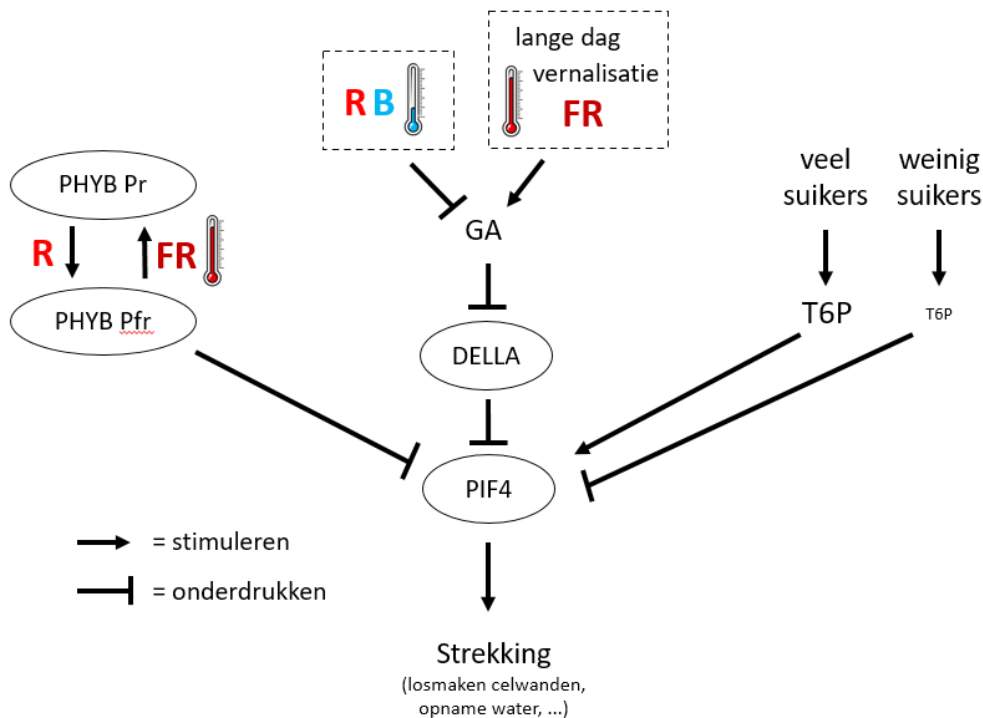
Kennisvragen:

- Klopt het dat de hoeveelheid licht die door het aardbeigewas wordt onderschept laag is, als gevolg van de rijstructuur met een gewas waarin de bladeren dicht opeen zitten, waardoor er veel licht op de grond valt?

3.4 Strecking

Om goed aardbeien te kunnen telen is het van belang dat er voldoende strekking van blad- en bloemstelen plaatsvindt. Voldoende strekking van bladstelen is van belang voor een goede lichtonderschepping en strekking van de bloemstelen moet voorkomen dat vruchten blijven steken in het gewas en zo moeilijker zijn te oogsten of zelfs vergeten worden en uiteindelijk gaan rotten. Daarnaast kan een gesloten structuur, wanneer het gewas niet goed strekt, leiden tot een hogere luchtvochtigheid in het gewas en daarmee een klimaat creëren dat aantrekkelijker is voor schimmelziektes. Bij het telen met doordragerrassen blijkt het een opgave om een voldoende gestrekt gewas te telen, vooral in de wintermaanden.

Uit onderzoek met andere plantensoorten, waaronder de modelplant *Arabidopsis*, blijkt dat PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR (PIF) eiwitten een centrale rol spelen in de regulatie van strekking. Deze eiwitten stimuleren celstrekking doordat ze de activiteit van genen stimuleren die strekking mogelijk maken. De aanmaak, stabiliteit en activiteit van PIFs wordt op verschillende manieren gereguleerd (Figuur 4). Zo zorgt het hormoon GA voor meer strekking omdat het de afbraak van PIFs door DELLA eiwitten remt (de Lucas & Prat, 2014). De stabiliteit van PIFs wordt ook gereguleerd door de fytochroom fotoreceptoren. Wanneer deze worden geactiveerd door rood licht kunnen ze PIFs binden en de afbraak van het eiwit initiëren. Wanneer fytochroom wordt gedeactiveerd door verrood licht kan het PIFs niet meer binden en zal er meer strekking plaatsvinden (Franklin, 2008). Tot slot speelt de hoeveelheid assimilaten een belangrijke rol in de regulatie van PIFs. Een lage voorraad assimilaten leidt tot een lagere concentratie van de signaleringsstof trehalose-6-fosfaat (T6P) waardoor de activiteit van PIFs kan worden onderdrukt (Hwang *et al.* 2019).



Figuur 4 Model voor regulatie van strekking in planten. Toelichting in tekst.

In aardbei ist nicht angetoont dat strekking op precies dezelfde manier wordt gereguleerd. Wel ist bekend dat GA ook in aardbei strekking stimuleert, zo blijkt uit de literatuur (zie bijvoorbeeld El-Shabasi *et al.* 2009; Jamal Uddin *et al.* 2012; Paroussi *et al.* 2002; Tehranifar & Battey, 1996) und onderzoek bij de WUR in de Demokas2030 waarbij aardbeienplanten werden bespoten met GA. Om strekking in aardbei te stimuleren moet men op zoek naar methoden om de GA productie in de plant te stimuleren. Zoals eerder beschreven gebeurt dit in junidragers in winterrust door onder invloed van een periode van lage temperaturen (vernalisation). Daarnaast ist bekend dat de GA aanmaak in veel planten wordt gestimuleert durch hohe temperaturen, lange dagen und verrood licht (van Hoogdalem *et al.* 2021). Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar het effect van verrood licht op de strekking in aardbei waaruit blijkt dat het verhogen van de fractie verrood licht in het spectrum strekking van bladstelen in aardbei kan stimuleren tijdens de wintermaanden, maar dat het effect bij doordragers vaak zeer beperkt ist (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2019; Hofkens *et al.* 2021a; b). Het ist nicht duidelijk waarom het effect van verrood licht op strekking in aardbei in de wintermaanden zo beperkt ist. Mogelijk ist alleen het verhogen van het percentage verrood licht niet genoeg om de GA aanmaak te stimuleren in de wintermaanden.

Kennisvragen:

- Waarom ist het effect van verrood op de strekking van aardbei in de winter beperkt?
- Kan aardbei assimilaten opslaan und hiermee de strekking bevorderen?

3.5 Fotosynthese

Fotosynthese is een complex proces dat zich in de bladeren afspeelt. Aardbei is een C3 plant die overdag met behulp van lichtenergie CO₂ omzet in CH₂O, dat vervolgens wordt gebruikt voor de vorming van suikers, zetmeel, eiwitten, vetten en andere stoffen. De snelheid waarmee CO₂ in CH₂O wordt omgezet is afhankelijk van veel factoren, waaronder de omstandigheden in de lucht waarin het gewas zich bevindt. Deze snelheid kan worden gemeten, waarbij de groeiomstandigheden worden gerelateerd aan onderliggende fysiologische processen. Bij lage lichtniveaus is het licht beperkend en bij hoge lichtniveaus is de CO₂ concentratie in de lucht beperkend (zie figuur 5). Dit verband met de niveaus van licht en CO₂ is relevant voor HNT teeltstrategieën. Hier behandelen we onderzoeksresultaten die zijn gebaseerd op twee benaderingen voor het beschrijven van de fotosynthesesnelheid.

De eerste manier koppelt de fotosynthesesnelheid aan de lichtintensiteit. Het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthesesnelheid wordt met een curve beschreven die bij een hoog lichtintensiteit een plateau bereikt:

$$Ass = \left(\varepsilon R + (A_{\max} + R_d) - \sqrt{((\varepsilon R + A_{\max} + R_d)^2 - 4\Theta \varepsilon R (A_{\max} + R_d))} \right) / (2\Theta)$$

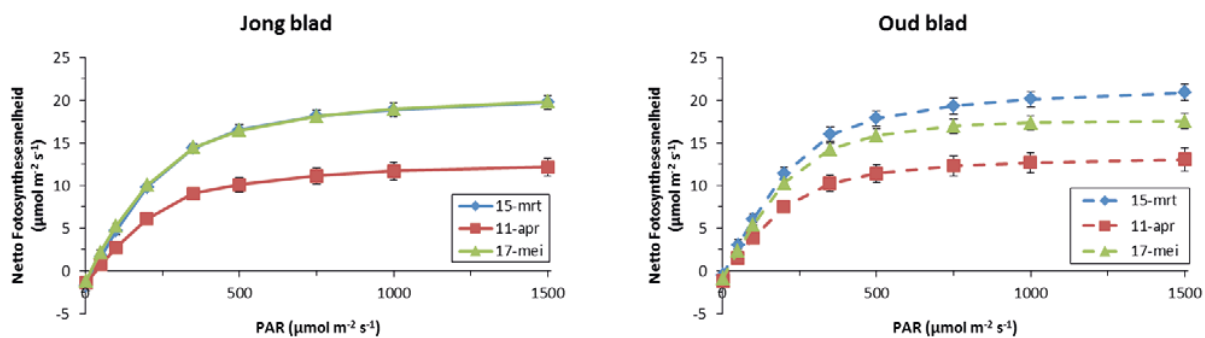
Waarin:

- A_{ss} : bruto CO₂-assimilatiesnelheid ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- A_{\max} : maximale netto CO₂-assimilatiesnelheid bij (zeer) hoge lichtintensiteit ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- R_d : 'dag' ademhaling ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Let op: in deze formule heeft R_d een negatieve waarde!)
- ε : initiële lichtbenuttingsnelheid ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / [\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}]$)
- Θ : parameter die de buiging van de curve beschrijft
- R : fotosynthetisch actieve straling (PAR, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

Het nadeel van deze benadering is dat het effect van het CO₂ niveau hiermee niet wordt beschreven. Dit wordt wel gedaan door de tweede manier van beschrijven van de fotosynthese. Voor de uitgebreide set van gecombineerde vergelijkingen wordt verwezen naar Farquhar et al. (1980) en Qian et al. (2012). Het voert te ver om deze hier volledig weer te geven. Belangrijk zijn een aantal parameters, namelijk de maximale carboxylatiesnelheid $V_{C_{\max}}$ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) die bepalend is voor de fotosynthesesnelheid die door de CO₂ concentratie wordt beperkt, de maximale snelheid van electrontransport J_{\max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) die bepalend is voor de fotosynthesesnelheid die door de lichtintensiteit wordt beperkt, en de ademhaling R_d (zie hierboven).

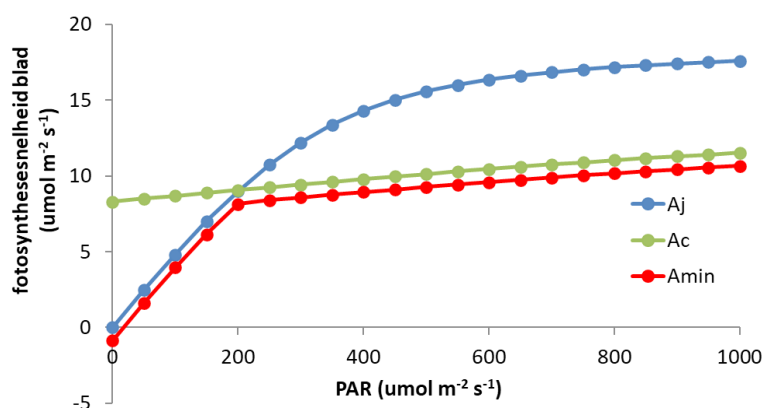
Kaiser & Janse (2016) hebben basiskennis van de fotosynthese van aardbei verzameld. Ze schrijven dat de fotosynthesesnelheid en de efficiëntie van het elektrontransport in oude en jonge bladeren vergelijkbaar was. Oud blad is een relatief begrip omdat de onderste bladeren worden verwijderd omdat er op een zeker moment een afname van de fotosynthese te verwachten is (los van redenen zoals luchtcirculatie en hoge verdamping). Maar dit komt niet overeen met He et al. (2011), die vonden dat oudere bladeren op iedere datum een hogere maximale fotosynthesecapaciteit hadden dan jonge bladeren, terwijl de huidmondjesgeleidbaarheid in oud blad lager was dan in jong blad. Bij Delphy is daarentegen juist geconstateerd dat bladveroudering voor een afname van de fotosynthese zorgt.

De waarnemingen van Kaiser en Janse (2016) geven een A_{\max} van $22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, en uit hun literatuurstudie blijkt dat er lichtverzadiging optreedt bij $943 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, wat resulteert in een fotosynthesesnelheid van $18.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ze melden dat er CO₂ verzadiging optreedt bij 1114 ppm, wat resulteert in een fotosynthesesnelheid van $34.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. De donkerademhaling is gemiddeld $1.69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Maar er zijn nog grote kennishiaten voor wat betreft het verloop van de fotosynthese gedurende een volledig teeltseizoen. Verder vonden Kaiser & Janse (2016) dat net na verhoging van de CO₂ concentratie de maximale fotosynthesesnelheid van oud en nieuw blad was afgenomen. Dit effect is vaker waargenomen (Keutgen et al. 1996).



Figuur 5 Fotosyntheselichtresponscurves voor jong en oud blad (bron: Kaiser & Janse, 2016).

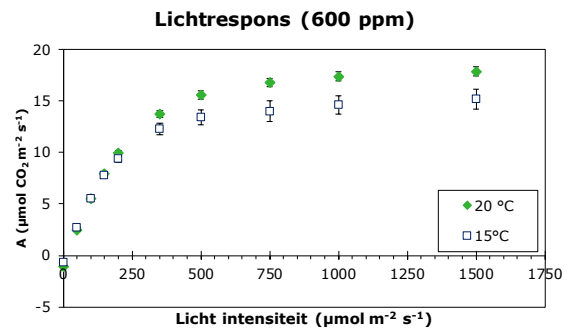
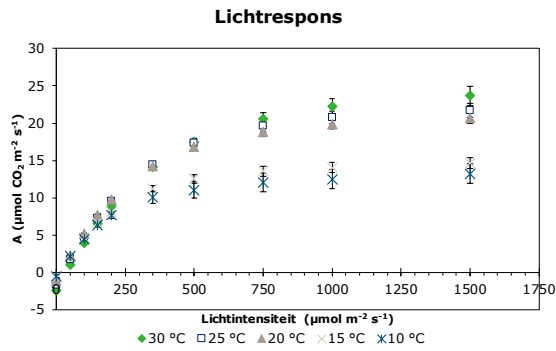
Er zijn vervolgens door WUR Glastuinbouw van 2016 t/m 2020 meer uitgebreide fotosynthesewaarnemingen aan verschillende cultivars (Clery, Murano, Sonata, Favori, Arabella) uitgevoerd. Deze resulteerden in een gemiddelde waarde van $VC_{max} = 57,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $J_{max} = 122,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en $R_d = 1,45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Deze waarden liggen lager dan we kennen bij bijvoorbeeld tomaat (Qian *et al.* 2012). Als deze getallen worden gecombineerd met andere parameters die fotosyntheseprocessen beschrijven, waarbij wordt gekozen voor de waarden die voor tomaat gelden (Farquhar *et al.*, 1980; Qian *et al.* 2012), dan ontstaat Figuur 6. Bij lage lichtniveaus wordt de bladfotosynthesesnelheid beperkt door de lichtintensiteit en bij hogere lichtniveaus door de CO_2 concentratie in het blad, die lager is dan de CO_2 concentratie in de lucht. De interne CO_2 concentratie is gemiddeld 71% van de externe CO_2 concentratie (Ainsworth & Long, 2005).



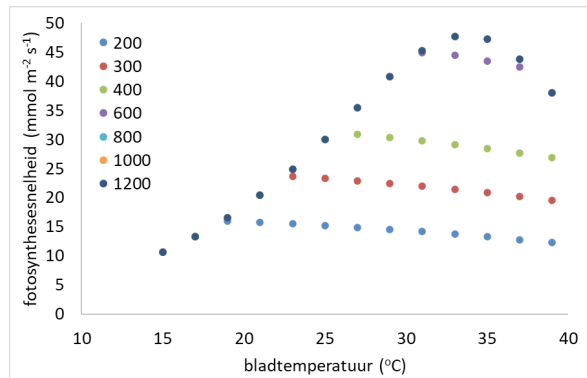
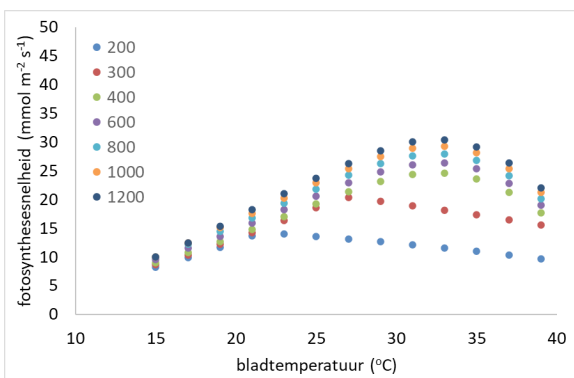
Figuur 6 De bladfotosynthesesnelheid bij een bladtemperatuur van $22,5^\circ\text{C}$, afhankelijk van het lichtniveau (Amin), en beperkt door de lichthoeveelheid (Aj) en de CO_2 concentratie (Ac).

Het zou betekenen dat het temperatuuroptimum voor de fotosynthese van aardbei bij hogere CO_2 en lichtniveaus, die bij dichte ramen bereikt kunnen worden, rond 30°C ligt (Figuur 7). Bij lagere CO_2 niveaus, die bij open ramen worden bereikt, licht de optimale temperatuur rond 25°C . Ook uit metingen in Figuur 8b blijkt dat de optimum temperatuur in ieder geval 30°C bedraagt. Ook in Kas2030 is in 2019 gemeten dat bij hoge lichtintensiteit het gunstig is om 20 i.p.v. 15°C aan te houden en meer CO_2 te doseren. Bij een lage lichtintensiteit van $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (zoals bijvoorbeeld in de winter) had de temperatuur (15 of 20°C) weinig effect en werd CO_2 verzadiging al bij lagere concentraties bereikt. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat dergelijke hoge temperaturen slecht zijn voor de kwaliteit van de aardbeivrucht (o.a. vruchtgrootte) en daarom in de praktijk zo veel mogelijk wordt vermeden.

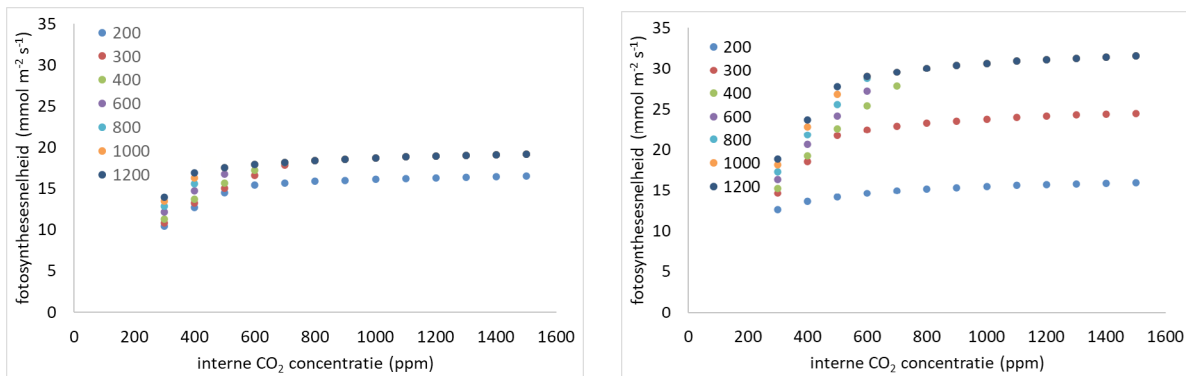
Uit figuren 1.6 en 1.7 is af te leiden dat meer PAR tot steeds minder extra fotosynthese leidt: een afnemende meeropbrengst. Boven ongeveer $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ is er weinig extra fotosynthese. Figuren 1.8a en 1.8b laten zien dat de fotosynthese nauwelijks meer stijgt boven $500\text{-}600$ interne CO_2 concentratie bij lage lichtniveaus, en boven ongeveer 800 ppm interne CO_2 concentratie of 1150 ppm externe CO_2 concentratie bij hoge lichtniveaus. Tot ongeveer dat punt heeft de straling een positief effect, zij het minder als de temperatuur lager is.



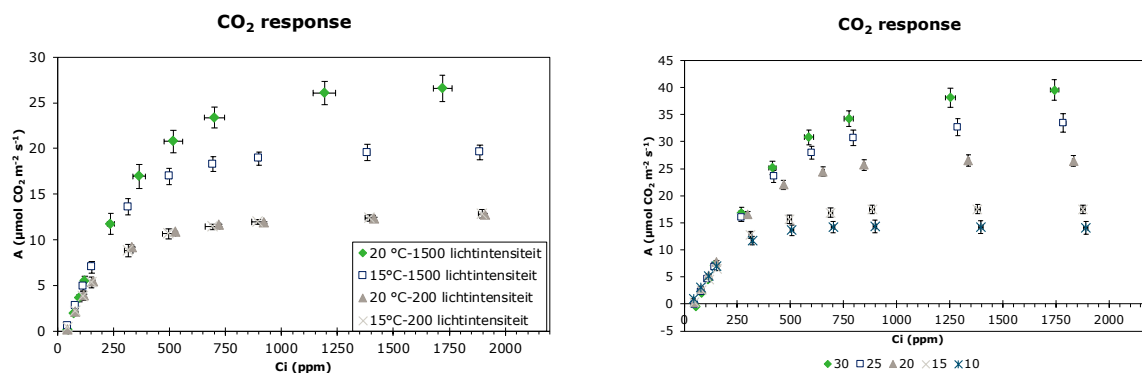
Figuur 7 Gemeten netto fotosynthesesnelheden bij verschillende PAR niveaus, 600 ppm CO₂ concentratie, en verschillende temperaturen (10 – 30°C). Links: metingen zijn uitgevoerd in mei 2019. Rechts: metingen uitgevoerd in oktober 2019.



Figuur 8 Berekende netto fotosynthesesnelheden bij verschillende niveaus van bladtemperatuur en PAR, uitgaande van een interne CO₂ concentratie in het blad van 400 ppm (links) en 800 ppm (rechts). Deze getallen zijn gebaseerd de gemiddelden van 2016-2020.



Figuur 9a Berekende netto fotosynthesesnelheden bij verschillende niveaus van CO₂ concentratie in het blad (ppm) en PAR, uitgaande van een bladtemperatuur van 20°C (links) en 25°C (rechts). Deze getallen zijn gebaseerd de gemiddelden van 2016-2020.



Figuur 9b Links: Gemeten netto fotosynthesesnelheden bij verschillende niveaus van CO₂ concentratie in het blad (ppm) en PAR (200 en 1500 μmol m⁻² s⁻¹), en bij temperaturen van 15 en 20°C. Deze metingen zijn uitgevoerd in oktober 2019. Rechts: Gemeten netto fotosynthesesnelheden bij verschillende niveaus van CO₂ concentratie in het blad (ppm) en temperaturen (10 – 30°C). Deze getallen zijn gebaseerd de gemiddelden van 2016-2020.

Kennisvragen:

- Wat is het verloop van de fotosynthese gedurende een heel teeltseizoen
- Wat is het effect van bladleeftijd op fotosynthesesnelheid?
- Kent aardbei adaptatie aan andere CO₂ niveaus?
- Wat is de fotosynthese op gewasniveau?

3.6 Ademhaling

Er zijn verschillende soorten ademhaling. De fotorespiratie betreft de energie die nodig is om rubisco te regenereren nadat het zich heeft gebonden aan O₂ in plaats van aan CO₂. De donkerademhaling (die trouwens ook in het licht plaatsvindt) is het gevolg van verbrandingsprocessen waarbij O₂ wordt opgenomen en CO₂ vrijkomt. Er geldt:

$$\text{Bruto fotosynthese} = \text{netto fotosynthese} + \text{fotorespiratie} + \text{donkerademhaling}$$

Maar omdat de fotorespiratie niet bijdraagt aan de gewasgroei, wordt het meestal als een onvermijdelijk efficiëntieverlies beschouwd. Hiermee wordt de vergelijking:

$$\text{Bruto fotosynthese} = \text{netto fotosynthese} + \text{donkerademhaling.}$$

$$\text{Netto fotosynthese} = \text{bruto fotosynthese} - \text{donkerademhaling.}$$

De donkerademhaling kan worden onderverdeeld in de onderhoudsademhaling en de groeiademhaling. De onderhoudsademhaling bestaat uit de regeneratie van chemische componenten die na verloop van tijd worden afgebroken, uit het onderhouden van gradiënten in ion-concentraties, en uit metabolische activiteiten als gevolg van de omzetting van chemische componenten. De onderhoudsademhaling kan worden gekwantificeerd op basis van de chemische samenstelling van de plantorganen (Penning de Vries, 1975). De onderhoudsademhaling is een niet te onderschatten kostenpost, en kan 10-20% van de CO₂ assimilatie bedragen. De onderhoudsademhaling is sterk temperatuurafhankelijk, met een kenmerkende verdubbeling bij 10°C temperatuurstijging, uitgaande van een basistemperatuur van 20-25°C voor C3 planten, inclusief aardbei. Dit is één van de redenen waarom hogere temperaturen nadelig kunnen zijn voor de groei, al is het zo dat in het geval van aardbei dit moet worden afgewogen tegen het positieve effect op de fotosynthese. Daarbij komt dat een hogere temperatuur bij aardbei sowieso wordt vermeden vanwege de effecten op de vruchtzetting en -kwaliteit.

De groeiademhaling kan worden onderverdeeld in de kosten om nutriënten op te nemen, om assimilaten te transporteren en voor de biosynthese van eindproducten. De grootte van de groeiademhaling wordt uitgedrukt als een conversiecoëfficiënt, in gram per gram glucose. De precieze waarde hangt af van de samenstelling van de organen. Ook dit is een onvermijdelijke kostenpost en wordt niet door het klimaat beïnvloed; het is daarmee geen factor die in het kader van het uitdenken van een fossielvrije teelt van belang is. De uiteindelijke vergelijking is:

$$\text{Netto fotosynthese} = \text{bruto fotosynthese} - \text{groeiademhaling} - \text{onderhoudsademhaling}.$$

Tabel 1

Overzicht van groeiomstandigheden op verschillende vormen van ademhaling.

	Effect hogere temperatuur	Effect hogere straling	Effect hogere CO ₂ concentratie
Bruto fotosynthese	Optimum bij 20 – 33°C, met stijgend lichtniveau	Tot ongeveer 1000 μmol m ⁻² s ⁻¹	Tot ongeveer 1100 – 1150 ppm (bij hoog lichtniveau)
Onderhoudsademhaling	Sterke toename	-	-
Groeiademhaling	Een sterkere groei als gevolg van een beter klimaat betekent op zich een hogere groeiademhaling, maar als fractie van de groei houdt het dezelfde waarde.		
Opmerking	Een hoge temperatuur wordt sowieso vermeden vanwege de nadelige effecten op de vruchtkwaliteit		

De effecten van CO₂ en straling zijn eenvoudig te duiden omdat ze geen optimum kennen. Totdat de plateauwaarde is bereikt, leidt een stijging tot meer groei. Temperatuur is ingewikkelder. Bij lagere lichtniveaus kan een lagere temperatuur tot aan zo'n 20°C worden gehanteerd, en zuiver vanuit de fotosynthese geredeneerd zou in de loop van de dag met stijgende lichtniveaus ook een hogere temperatuur tot aan zo'n 33°C kunnen worden toegestaan. Dat er andere bezwaren tegen een hogere temperatuur zijn zal hier echter een beperking zijn.

Kennisvragen:

- Wat is precies de optimale temperatuur gezien de tegenstrijdige effecten op onderhoudsademhaling, bruto fotosynthese en vruchtkwaliteit?

3.7 Drogestofverdeling

De assimilaten die overblijven voor de netto groei worden over de verschillende organen verdeeld. Een veel gebruikte aanname is om deze verdeling te baseren op de potentiële groeisnelheid van de organen. Vaak worden hierbij de Engelstalige termen gebruikt: source voor de beschikbaarheid van assimilaten en sink voor de vraag naar assimilaten. De source-sink balans is daarmee de verhouding tussen het aanbod van en de vraag naar assimilaten. Meestal is deze waarde kleiner dan 1 vanwege de hogere vraag dan het aanbod. Vandaar ook dat meer licht of meer CO₂, mits nog niet beperkend, tot een hogere groei leiden.

Aardbei kent de gebruikelijke organen, namelijk wortels, stengel, bladeren en vruchten. De stengel is heel klein. De hoeveelheid wortels en bladeren is door de tijd redelijk stabiel, maar de hoeveelheid vruchten kan erg variëren. Het is goed mogelijk dat in afwezigheid van vruchten er een overschot aan assimilaten is, dat tijdelijk ergens in de plant wordt opgeslagen, om te worden gebruikt op momenten van vruchtgroei. Zo is bij Delphy in 2019 gemeten dat de fotosynthese zonder aanwezigheid van vruchten op peil bleef en dat er meer drogestof naar de bladeren en bloemstelen ging, wat suggereert dat er geen negatieve terugkoppeling op de fotosynthese is.

Goede kwantitatieve gegevens van drogestofverdeling zijn schaars, en de beschikbare getallen omvatten meestal niet de gewichten van verwijderde bladeren en wortels. Delphy heeft aan verse Arabella planten de volgende drogestofverdeling gemeten: 31% blad, 3% rank, 4% trossteel, 2% onrijpe vruchten en 61% geogste vruchten inclusief afval.

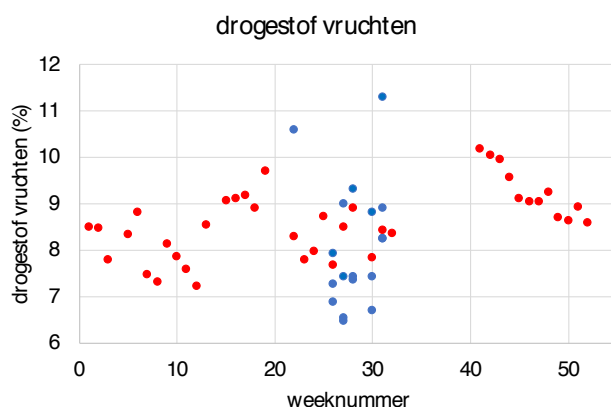
Wang & Camp (2000) vonden een temperatuureffect op de drogestofverdeling: bij hogere temperaturen verplaatsten assimilaten zich meer naar bladeren en stengels (dag/nacht temperaturen 25/12°C), en bij lagere temperaturen (18/12°C) meer naar de wortels en mogelijk vruchten (dit laatste is niet met zekerheid vast te stellen omdat de vruchtaantallen per plant niet zijn gegeven).

Kennisvragen:

- Wat is de drogestofverdeling over de gewasorganen, en hoe is deze te beïnvloeden?

3.8 Groei van droog- en versgewicht

Uiteindelijk wordt het versgewicht van de vruchten bepaald door de geaccumuleerde hoeveelheid drogestof en het drogestofpercentage. Samengevoegde metingen in Kas2030 zijn in Figuur 10 samengevat. De waarnemingen kennen een grote variatie, waarbij het gemiddelde drogestofgehalte van de 2019-2020 jaarrondteelt 8,6% bedraagt. Naar de winter toe daalt de waarde van 10% naar 8,5%. Het is niet met zekerheid te zeggen welke omgevingsfactoren op welke manier van invloed zijn op het drogestofgehalte van de vrucht.



Figuur 10 Bepalingen van het drogestofgehalte van vruchten in Kas2030. De rode punten betreffen een jaarrond teelt vanaf week 39 in 2019, de blauwe punten betreffen verschillende andere teelten.

Kennisvragen:

- Wat is het effect van de omgevings- en teeltfactoren op de drogestoffractie van de aardbeivruchten?

3.9 Bloei

De bloei in aardbei verloopt in drie verschillende fasen: de bloei-inductie, bloei-initiatie en bloemvorming (Taiz & Zeiger, 2010). Tijdens de bloei-inductie worden bepaalde omgevingsignalen (zoals daglengte) waargenomen door de plant en omgezet in interne signalen die ervoor zorgen dat de plant van een vegetatieve toestand in een generatieve toestand raakt (Massetani & Neri, 2016). De kennis over via welke mechanismen daglengte en temperatuur bloei induceren is nog zeer beperkt, maar er lijkt een belangrijke rol voor het hormoon gibberellinezuur (GA) weggelegd (Whitaker *et al.* 2020). In de plant stimuleert GA de vegetatieve groei ten koste van generatieve groei en onderdrukt daarmee bloemvorming (Heide *et al.* 2013). Na bloei-inductie vindt de bloei-initiatie plaats, waarbij er fysiologische en morfologische veranderingen plaatsvinden in het apicale meristeem die nodig zijn voor de vorming van de bloemtros (Taylor, 2002). Omdat het verschil tussen bloei-inductie en bloei-initiatie in de praktijk moeilijk te bepalen is wordt over het algemeen geen onderscheid tussen deze fasen gemaakt en spreekt men alleen van bloei-initiatie. De fase vanaf het moment dat een generatief meristeem is gevormd, tot het moment dat de bloem volgroeid is wordt aangeduid als de bloemvormingsfase. Het is van belang onderscheid te maken tussen deze twee fasen. Het kan bijvoorbeeld zijn dat de teeltcondities waaronder optimale bloei-inductie plaatsvindt niet de optimale condities zijn voor bloemvorming. Een langere periode telen onder bloei-inducerende condities kan bijvoorbeeld zorgen voor vorming van een lager aantal bloemen per tros (Konsin *et al.* 2001).

3.9.1 Florigene toestand: balans vegetatieve/generatieve groei

Bloei-inductie kan alleen plaatsvinden als de plant in een florigene toestand verkeert. Dit is de toestand van de plant waarin bloei-inductie kan plaatsvinden door de juiste combinatie van daglengte en temperatuur. Als de plant zich niet in deze toestand bevindt zullen veranderingen in daglengte en temperatuur niet leiden tot bloei-inductie. Wat er voor zorgt dat de plant in de florigene toestand raakt is niet bekend. De hoeveelheid gevormd blad lijkt in ieder geval een rol te spelen. De hoeveelheid gevormd blad is mede bepalend voor de fotosynthesecapaciteit van het gewas en daarmee voor de beschikbaarheid van assimilaten (suikers). De aanleg van bloemen vereist al snel na inductie veel assimilaten (Eshghi *et al.* 2007). Het is dus waarschijnlijk dat als het gewas niet voldoende fotosynthesecapaciteit en daarmee assimilaten beschikbaar heeft, bloei niet geïnduceerd kan worden. De relatie tussen gebrek aan assimilaten (een lage energietoestand) en onderdrukking van bloei is in verschillende gewassen aangetoond (Wingler, 2018) en lijkt ook voor aardbei te gelden. Zo blijkt uit proeven uitgevoerd bij de WUR dat bladsnoei leidt tot vertraging van bloei. Vergelijkbare resultaten werden gevonden door Lee *et al.* (2019).

Kennisvragen:

- Welke factoren bepalen de florigene toestand van de aardbeiplant, en hoe is deze te meten? Is hier een rol voor de assimilatenbeschikbaarheid?

3.9.2 Effect van temperatuur en daglengte op bloei

Bloei wordt geïnduceerd door bepaalde omgevingsfactoren. Vooral daglengte en temperatuur zijn hierbij belangrijk en er is veel onderzoek gedaan naar hoe deze factoren de bloei induceren in verschillende aardbeienrassen (Heide *et al.* 2013). Over het algemeen kan men stellen dat junidragers kortedagbloeiers en doordragers langedagbloeiers zijn. Echter, het effect van daglengte op bloei van zowel junidragers als doordragers is sterk afhankelijk van de temperatuur (zie tabel 2). Verder blijkt het effect van daglengte en temperatuur op bloei rasafhankelijk te zijn (Heide *et al.* 2013). LD doordragende rassen zijn kwantitatief of kwalitatief LD. Kwantitatief betekent dat de bloei wordt versneld door een lange daglengte, kwalitatief betekent dat de bloei alleen plaatsvindt bij een lange daglengte.

Tabel 2

Beschrijving eigenschappen junidragers en doordragers onder specifieke omstandigheden.

Etmaaltemperatuur	junidragers		doordragers	
	Daglengte			
	KD (<14h)	LD (>14h)	KD (<14h)	LD (>14h)
<10°C	Daglengteneutraal	Daglengteneutraal	Daglengteneutraal	Daglengteneutraal
15°C	Optimaal bloei (12°C ondergrens, 22°C bovengrens)	?	?	Kwantitatief LD
>20°C	Bloei	Geen bloei	Minder bloei	Kwantitatief LD
27-30°C	Geen bloei	Geen bloei	Sterk verminderde bloei	Kwalitatief LD

3.9.2.1 Junidragers

Lage nachttemperaturen kunnen hoge dagtemperaturen compenseren, en andersom. Daarmee is er dus geen specifieke nachttemperatuur voor de bloei-inductie in junidragers. Hoeveel korte dagen nodig zijn voor bloei-inductie is afhankelijk van ras, temperatuur en daglengte, maar voor kasteelten wordt 3-4 weken aangeraden. Vanaf een langere periode met KD (zoals in de herfst) gaan de planten in rust. In feite kan de plant nog steeds groeien, maar vegetatieve groei wordt sterk gelimiteerd (bladeren blijven klein en stelen kort, uitlopers sterk gedrongen) en de bloei-initiatie is geblokkeerd. Om in rust te gaan onder invloed van KD, zijn echter hoge temperaturen nodig. In een kas van 10°C met natuurlijk buitenlicht gingen de planten in de herfst niet in rust, planten bij 14 °C deden dat wel. In onderzoek met Elsanta en Korona door Sonstebly & Heide (2007) gingen planten van cultivars Elsanta en Korona niet in rust bij een periode van 15 weken KD (daglengte 10 u) en een temperatuur van 6°C. Dezelfde behandeling bij 15°C gingen de planten na 5 weken in rust. Bij een lengte van 3-5 weken van KD bij 15°C is alleen LD nodig om de ontwikkeling van nieuwe plantendelen (trossen en bladeren) te herstarten. Dit biedt dus kansen in de winter, waar in een belichte kas van 15°C KD behandelingen van 3 weken kan worden gebruikt om terugkerende bloei en zetting te realiseren, door daarna weer LD te telen, zonder dat daarbij een koelfase nodig is.

De rustfase wordt doorbroken door een periode van kou (-2°C tot 6°C), waarvan de duur rasafhankelijk is. Temperaturen hoger dan 10°C zijn veel minder effectief. Een te lange rust gaat ten koste van het aantal bloemen en productie, doordat het aandeel opgeslagen energie (zetmeel en oplosbare suikers) in de kroon van de plant afneemt.

Na de rustfase, bij het beginnen van LD en hogere temperaturen, wordt vegetatieve groei (toename vers- en drooggewicht, bladoppervlak, blad- en tros lengte en ontwikkelen van uitlopers) gestimuleerd.

3.9.2.2 Doordragers

De mate van bloei is net als bij junidragers afhankelijk van de temperatuur en daglengte. Zoals bij junidragers leggen doordragers onder lage temperaturen en KD bloemen aan, ze zijn dan immers daglengteneutraal. Net als bij junidragers hebben doordragers dus een productiepiek in het voorjaar. Het verschil ontstaat naarmate de dagen langer worden en de doordragers in staat zijn om dan nog nieuwe bloemen aan te leggen en dus gedurende langere tijd nog produceren. Met het verlengen van de daglengte met strekkingslampen kan zelfs jaarrond bloei en daarmee oogst gerealiseerd worden.

Bij LD en gematigde temperaturen (18°C/14°C; dag/nacht) zijn de meeste doordragers kwantitatief langedagplanten. Onder tropische temperaturen (30°C/26°C; dag/nacht) zijn doordragers kwalitatief langedagplanten. Het telen bij deze temperaturen onder KD zorgt dus bij gematigde omstandigheden voor minder bloei en sterk minder bloei bij tropische temperaturen.

Kennisvragen:

- Hoe kan dormancy worden gebroken, behalve door het toepassen van enkel koude of enkel langedag?

3.9.3 Bloei en lichtspectrum

Door de hoge efficiëntie en daardoor relatief lage warmteafgifte zal het gebruik van LEDs voor de belichting van aardbei de komende jaren steeds verder toenemen. Daarbij is het van belang dat het juiste spectrum gekozen wordt. Oorspronkelijk werd er belicht met een spectrum met hoofdzakelijk rood licht (600-700) aangevuld met een klein beetje blauw (400-500 nm) (bijvoorbeeld 95% rood en 5% blauw), maar onderzoek heeft uitgewezen dat het toevoegen van 10% verrood gunstig is voor de strekking van het gewas (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2019). De keuze op een dergelijk spectrum is voornamelijk gebaseerd op fotosynthese: rood licht is het meest efficiënt voor fotosynthese en blauw licht is nodig voor de aanmaak van o.a. chlorofyl (Dieleman *et al.* 2020).

Dat dit op bladniveau een optimaal spectrum is voor fotosynthese betekent niet dat het ook op gewasniveau zo is, laat staan dat het een optimaal spectrum is voor een hoge productie, aangezien dit van veel meer zaken afhangt. Om tot een optimaal spectrum te komen voor het telen van aardbeien onder LED belichting is het van belang inzicht te hebben in het effect van verschillende lichtkleuren (spectra) op de gewasfotosynthese (afhankelijk van o.a. plantarchitectuur), bloei en vruchtontwikkeling.

Kijkend naar het effect van licht op bloei-inductie in aardbei is daglengte een zeer bepalende factor. Hierbij is het spectrum ook van belang. Zo blijkt uit onderzoek met twee diploïde (Woodland strawberry) lijnen dat het effect van het verlengen van de dag op bloei afhankelijk is van het spectrum. Het verlengen van de dag met monochromatisch blauw licht of met verrood licht stimuleerde de bloei in het langedagras, terwijl het verlengen van de dag met rood licht dit niet deed. In het kortedagras was het effect precies andersom: het verlengen van de dag met rood licht, maar niet met blauw of verrood licht, stimuleerde de bloei (Rantanen *et al.* 2014). Zowel blauw als verrood LED licht gedurende de hele dag stimuleert bloei, dit is voornamelijk aangetoond in doordragerrassen (Janse, 2016; Yoshida *et al.* 2016; Magar *et al.* 2017). Verrood licht aan het einde van de dag bleek zelfs in staat bloei te induceren bij temperaturen tot 35°C in het junidragende ras Paros (Zahedi & Sarikhani, 2016). Uit praktijkonderzoek met de doordragerrassen Favori en Murano bleek echter dat bijbelichten met een spectrum dat tot 20% verrood bevatte nauwelijks een positief effect had op het aantal open bloemen (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2019). Vergeleken met blauw en verrood heeft rood een remmend effect op bloei en zorgt het voor meer, maar compactere, vegetatieve groei (Tabel 3; Takeda *et al.* 2008; Janse, 2016; Yoshida *et al.* 2016; Magar *et al.* 2017).

Tabel 3

Het effect van rood licht op de bloei van aardbei cv. 'Festival' (uit: Takeda *et al.* 2008).

	Fractie bloeiende planten (%)			
	3 oktober	24 oktober	27 november	17 december
Controle	70.3	83.0	95.7	95.7
Rood licht	37.3	45.7	58.3	62.3

Kennisvragen:

- Wat is het precieze effect van het lichtspectrum op fysiologische processen?
- Wat is de meerwaarde van dynamisch (LED) belichten voor het gewas en energiebeheersing?

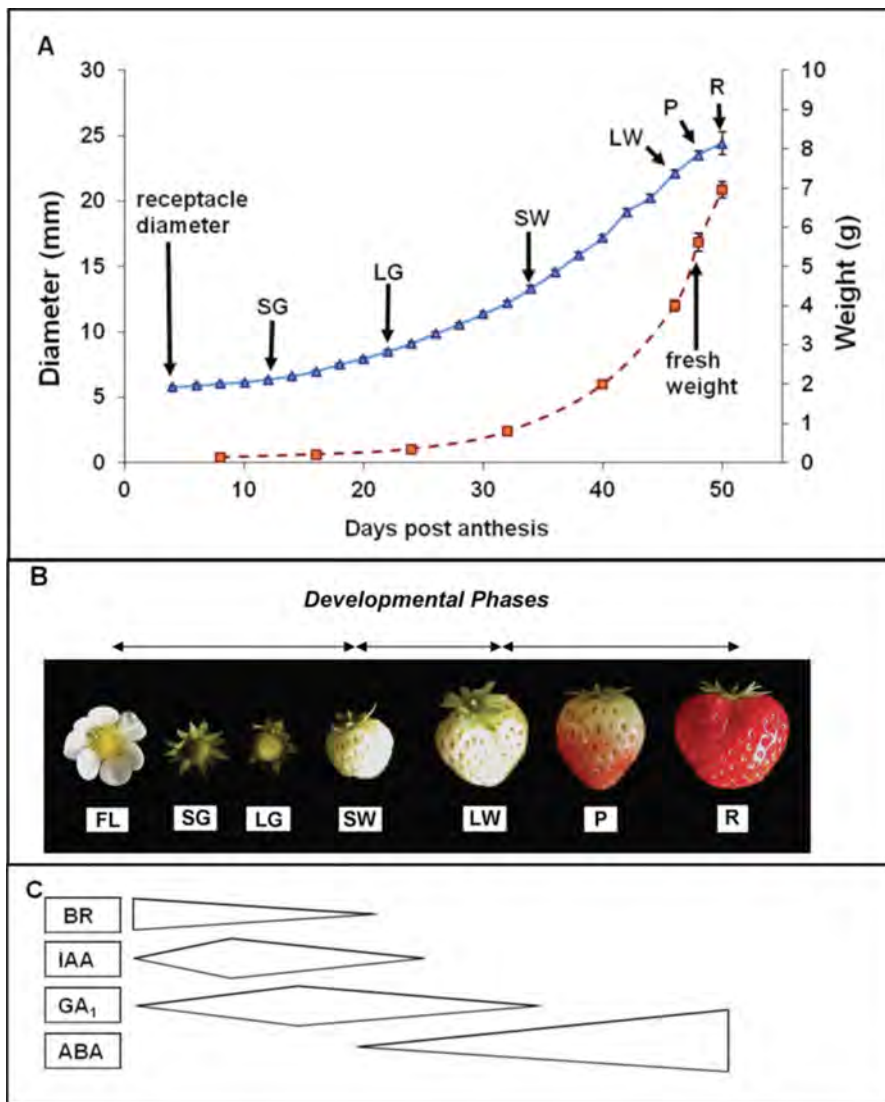
3.9.4 Vruchtzetting en ontwikkeling in aardbei

Om een hoge verkoopbare opbrengst te realiseren is het belangrijk dat gevormde bloemen worden omgezet in vruchten en dat de vruchtzetting en ontwikkeling in een hoog tempo verloopt. Daarnaast is het van groot belang dat deze processen op een goede manier verlopen zodat de vruchten van goede kwaliteit zijn. Belangrijke kwaliteitskenmerken voor aardbei zijn vruchtgewicht, formaat, vorm, kleur, smaak, stevigheid en houdbaarheid (Menzel, 2021). In dit hoofdstuk wordt eerst het proces van vruchtzetting en ontwikkeling beschreven en vervolgens wordt er beschreven wat er bekend is over de invloed van klimaatfactoren als temperatuur en licht op deze processen en daarmee op de opbrengst en vruchtkwaliteit van aardbei.

De bloem van aardbei bevat zowel vrouwelijke (stampers) als mannelijke (meeldraden) geslachtsorganen. Iedere stamper vormt na de bevruchting een pitje (vruchtbeginsel). Deze pitjes, de achenen, zijn belangrijk voor de ontwikkeling van de aardbei. Voor normale ontwikkeling van de aardbei moet iedere individuele stamper worden bestoven. Is dit niet het geval, dan kan dit leiden tot kleinere en/of misvormde vruchten. Aardbeien zijn zelfbestuivers en de bestuiving kan plaatsvinden via de wind. Echter, onderzoek laat zien dat de kans op volledige bestuiving van de bloem, en daarmee een optimale opbrengst, het grootst is als er ook bestuiving door insecten als hommels en bijen plaatsvindt (Slone, 2016; Wietzke *et al.* 2018). Hoewel bestuiving door insecten dus bijdraagt aan de productie, wordt er in de praktijk in kassen ook weleens overbevlieging waargenomen. In dit geval worden de bloemen zo intensief bezocht door bestuivers, met name hommels, dat de geslachtsorganen beschadigd raken, wat kan leiden tot kleine en/of misvormde vruchten.

Na succesvolle bestuiving en bevruchting zal uiteindelijk een vrucht gevormd worden. Dit proces kan worden onderverdeeld in drie fasen: vruchtzetting, expansie en rijping (Symons *et al.* 2012). Tijdens deze fasen spelen verschillende plantenhormonen een belangrijke rol (Figuur 11). Het vruchtvlees van de aardbei wordt gevormd door de opgezwollen bloembodem (in het Engels receptacle genoemd). De achenen aan de buitenkant van de aardbei staan in verbinding met de receptacle. De achenen krijgen vanuit de receptacle voedingsstoffen aangeleverd en geven zelf hormonen af die de groei en ontwikkeling van de receptacle sturen. Zo wordt bijvoorbeeld in een vroeg stadium van de vruchtzetting het hormoon auxine aangemaakt in de achenen en getransporteerd naar de cellen van de receptacle, waar het de celdeling en expansie stimuleert (Whitaker *et al.* 2020). Rijping wordt juist gestimuleerd door een daling van auxine concentraties en een toename van het hormoon abscisinezuur (ABA) (Whitaker *et al.* 2020). Naast auxine en ABA spelen ook andere hormonen als brassinosteroiden, gibberellinen en ethyleen een rol tijdens de vruchtontwikkeling. Echter, wat de exacte rol is van deze hormonen is niet duidelijk. In tegenstelling tot bijvoorbeeld tomaat of appel gaat de rijping niet gepaard met een sterke toename in productie van het gasvormige hormoon ethyleen door de vrucht (Symons *et al.* 2012). Met andere woorden, de aardbei is niet-climacterisch. Daardoor zal de aardbei na de oogst niet verder rijpen.

Aardbeiven vruchten zijn sterke sinks: de ontwikkeling van vruchten vraagt veel energie in de vorm van suikers. Onderzoek laat zien dat suikers, naast een bron van energie, ook een belangrijke signaleringsfunctie hebben in de regulatie van vruchtontwikkeling in aardbei. Zo stimuleert sucrose de expansie en rijping van de vrucht (Jia *et al.* 2013). Het versnellen van het rijpingsproces door sucrose verloopt via het hormoon ABA.



Figuur 11 Uit Symons et al. 2012 (1-year-old, bare-rooted strawberry plants (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Red Gauntlet)). Groeicondities: in kas, 18u daglengte (in periodes zonder licht 100 micromol HPS. dT=19-22, nT=12-14).

Kennisvragen:

- Wat is de exacte rol van hormonen bij vruchtvorming?

3.9.5 Invloed van klimaatfactoren

Uit onderzoek blijkt dat het vruchtzetting en de ontwikkeling in aardbei, en daarmee de opbrengst en kwaliteit van de vruchten, onder andere afhankelijk is van het ras en de fysiologische status van de plant (zie bijvoorbeeld Rindom & Hansen, 1995; Palmieri et al. 2016). Bij de status van de plant kan men denken aan de hoeveelheid bloemen, de kwaliteit van deze bloemen, maar ook aan de leeftijd van een plant. Zo leidt een hoger aantal bloemen op de plant in het algemeen tot een lager vruchtgewicht en is er een negatieve correlatie tussen plantleeftijd en vruchtgewicht (Rindom & Hansen, 1995). Dit laatste komt mogelijk niet zozeer door de leeftijd zelf maar door de grotere hoeveelheid blad en uitlopers die oudere planten hebben gevormd waardoor minder assimilaten beschikbaar zijn voor de vruchten (Rindom & Hansen, 1995).

De plantstatus is afhankelijk van het ras maar ook van omgevingsfactoren en daarmee zijn klimaatfactoren als temperatuur en licht dus indirect van invloed op vruchtzetting en ontwikkeling. Klimaatfactoren kunnen de vruchtzetting ook indirect beïnvloeden door hun effect op het gedrag van bestuivers. Het klimaat kan de vruchtzetting en ontwikkeling ook direct beïnvloeden, bijvoorbeeld via de hormoonbalans of beschikbaarheid van assimilaten in de zich ontwikkelende vruchten. Hieronder zullen resultaten van een aantal onderzoeken naar de effecten van temperatuur, licht en CO₂ op opbrengst en vruchtkwaliteit worden besproken. Een belangrijk punt om hierbij te maken is dat het op basis van de beschikbare informatie vaak lastig is om te bepalen of het gevonden effect van klimaat op opbrengst en vruchtkwaliteit direct of indirect is, of een combinatie.

3.9.5.1 Temperatuur

Uit onderzoek blijkt dat temperatuur bij de vruchtzetting en ontwikkeling van vruchten in aardbei een belangrijke rol speelt. Zo is een vrucht van het ras Elsanta bij een gemiddelde etmaaltemperatuur van 15 °C gemiddeld 30 dagen na het openstaan van de bloem rijp, terwijl dit 2.6 dagen eerder is bij 16 °C (Krüger *et al.* 2012). Dit geeft een temperatuursom van 316.2 d°C bij een basistemperatuur van 4.46°C, of een temperatuursom van 450 d°C bij een basistemperatuur van 0°C. Een vergelijkbaar effect van temperatuur op rijping is waargenomen in het ras Toyonoka: bij een etmaaltemperatuur van 19 °C waren vruchten gemiddeld 10 dagen sneller rijp dan bij een etmaaltemperatuur van 15 °C (Miura *et al.* 1994, Wang & Camp, 2000). Uit deze studies bleek echter ook dat de hogere etmaaltemperatuur zorgde voor significant minder vruchtzetting en een lager gemiddeld vruchtgewicht (vers- en drooggewicht). De kortere groeiduur gaat ten koste van de totale groei in deze kortere periode. Dat hogere temperaturen leiden tot een lager vruchtgewicht is in meerdere onderzoeken waargenomen. Maar vanaf welke temperatuur het vruchtgewicht afneemt lijkt onder andere van het ras af te hangen. Zo bleek, gekeken naar de totale opbrengst, de optimum etmaaltemperatuur voor het telen van het doordragende ras 'Everest' 18-23 °C te zijn (Sønsteby & Heide, 2007). Hogere temperaturen veroorzaakten een afnemend gemiddeld vruchtgewicht, maar wel een toenemend aantal vruchten. Dit was mogelijk een gevolg van een toename in het aantal bloemen. Bij lagere temperaturen nam het aantal vruchten af, maar nam het vruchtgewicht wel toe (Sønsteby & Heide, 2007). Uit praktijkonderzoek van de WUR bleek dat ook een verhoging van de substraattemperatuur met 1.5°C of 3°C in een doordragend ras van ABZ Seeds leidde tot een afname in vruchtgewicht maar een kleine toename in totale productie (Janse *et al.* 2016). Dit was waarschijnlijk een gevolg van een versnelde trosontwikkeling.

Daarnaast beïnvloedt de temperatuur ook de hardheid (en daarmee de houdbaarheid) van de vruchten. Uit onderzoek waarbij aardbeien van het ras Sabrosa werden geteeld in tunnels in twee verschillende regio's in Huelva (Spanje) bleek dat hoe hoger de gemeten temperatuur, hoe zwakker de vrucht na oogsten was. Een hoger vochtgehalte van >75% ging dit effect weer tegen (Pyrotis *et al.* 2010). In tomaat wordt de stevigheid van vruchten beïnvloed door de activiteit van expansine enzymen die betrokken zijn bij het losser maken van celwanden in planten en vruchten (Brummel *et al.* 1999a, 1999b). De activiteit van de genen die zorgen voor de aanmaak van deze enzymen wordt gestimuleerd door het hormoon auxine, waarvan de aanmaak weer wordt gestimuleerd door hogere temperaturen (Catala *et al.* 2000; Ohtaka *et al.* 2020). Mogelijk speelt dit mechanisme ook in aardbei. Dat expansine enzymen een rol spelen in de stevigheid van vruchten in aardbei wordt ondersteund door onderzoek dat een positieve correlatie laat zien tussen de activiteit van genen die deze enzymen coderen en de stevigheid van de vrucht in verschillende aardbeienrassen (Dotto *et al.* 2006).

Het negatieve effect van hoge temperaturen gedurende dag op vruchtzetting en ontwikkeling kan worden tegengegaan door het aanhouden van lage nachttemperaturen om zo de etmaaltemperatuur niet te hoog te laten worden. Zo bleek een koude-nacht behandeling (nachttemperatuur van 13°C) tijdens een hittegolf de meeste productie op te leveren en werkt dit zogenaamde thermo-dormancy tegen (Wagstaffe & Battey, 2006). Bij thermo-dormancy komt de plant in een productiedal dat voornamelijk te wijten is aan abortie van bloemen die al zijn aangelegd. In midden juli (in de hittegolf) werden veel bloemen aangelegd, maar het vruchtaantal half augustus was laag. Het aanleggen van bloemen werd niet verhinderd door de hoge dagtemperaturen, zo werd bepaald na het ontleden van de kroon. In feite kunnen ventilatielijnen dus overdag hoger komen te liggen, zolang de nachttemperatuur zo koel mogelijk gehouden wordt.

Naast het effect op vruchtgewicht blijkt dat temperaturen ook een effect kunnen hebben op andere kwaliteitsaspecten van vruchten. Zo bleken vruchten van het ras Toyonoka meer suikers te bevatten bij een dagtemperatuur van 18 °C en een nachttemperatuur van 12 °C dan bij hogere dag- en/of nachttemperaturen (Wang & Camp, 2000). Opvallend was dat de sucroseconcentratie juist lager was bij 18°C/12°C. Dit is wel in lijn met de bevinding dat afrijping over het algemeen vertraagd is bij lagere temperaturen. Lagere temperaturen kunnen ook resulteren in een hoger zuurgehalte (citroenzuur), maar een minder diep rode kleur (Wang & Camp, 2000). Daarnaast beïnvloedt de temperatuur ook de hardheid (en daarmee de houdbaarheid) van de vruchten.

3.9.5.2 Licht: intensiteit, daglengte en spectrum

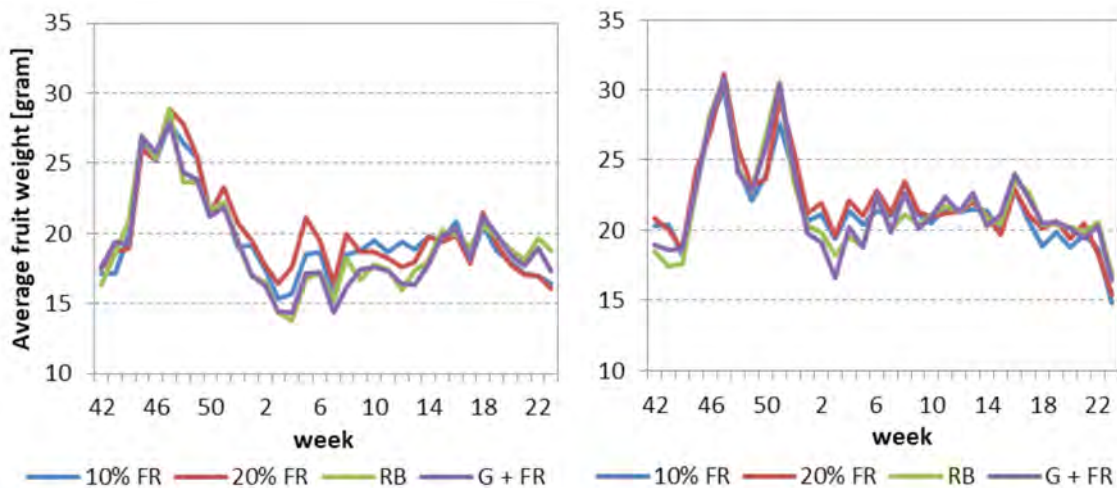
Licht speelt een belangrijke rol bij de vruchtzetting en ontwikkeling in aardbei. Zo zal meer licht leiden tot meer fotosynthese waardoor meer assimilaten beschikbaar komen voor de vruchtzetting en ontwikkeling (Hidaka *et al.* 2013). Onderzoek met planten van het ras Elsanta laat inderdaad zien dat telen onder materiaal met een lagere lichttransmissie leidt tot minder verkoopbare vruchten omdat het aantal vruchten van lage kwaliteit toenam, evenals het gewicht van deze vruchten (Fletcher *et al.* 2004). Wang & Wang (2014) vonden een vergelijkbaar resultaat: telen in een schaduwrijke omgeving (lagere lichtintensiteit) leidde tot productie van minder vruchten met gemiddeld een lager vruchtgewicht. Dat een lagere lichttransmissie lijkt te zorgen voor een lagere vruchtkwaliteit, blijkt onder andere uit onderzoek van Hidaka *et al.* (2013; 2014). Bijbelichten met wit LED licht (pieken rond de 450 nm en 550 nm) leidt tot meer vruchten en een hoger vruchtgewicht. De belichte planten bevatten relatief meer droge stof in vruchten dan andere plantdelen zoals bladeren en wortels. In overeenstemming met deze onderzoeksresultaten bleek ook uit ervaringen van Nederlandse aardbeientelers dat in donkere maanden zonder belichting de refractie van de vruchten vaak (te) laag en de smaak daardoor minder waren (Janse *et al.* 2016).

Toch is er ook onderzoek waaruit blijkt dat een hoge lichtintensiteit nadelige effecten kan hebben op zowel totale productie als vruchtkwaliteit. Tang *et al.* (2020) vonden dat condities met lagere niveaus PAR leidde tot productie van hogere kwaliteit vruchten. Deze vruchten waren zwaarder, steviger, groter en de refractie van de vruchten was hoger. Hierbij moet wel vermeld worden dat bij deze behandeling de PAR nog steeds rond de 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was en bij de hoge PAR de intensiteit rond 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ lag. Daarnaast ging de lage PAR behandeling samen met een lagere temperatuur. Wat de optimale lichtintensiteit is voor de productie van hoge kwaliteit vruchten is waarschijnlijk afhankelijk van het ras, maar ook van de achtergrond condities zoals de kwaliteit van het licht en de temperatuur. Zo bleek uit onderzoek in Nederland in 2007 dat bijbelichten met SON-Tlampen vooral in de herfst veel misvormde vruchten gaf en uit onderzoek in 2010 bleek dat bijbelichten met LEDs nauwelijks effect had op de productie maar in het voorjaar in een doorteelt een positief effect had (Vromans, 2007; 2010).

Daglengte speelt samen met temperatuur een grote rol in de regulatie van bloei, maar is ook van belang voor vruchtzetting en -kwaliteit. Het effect van daglengte op vruchtzetting en ontwikkeling is afhankelijk van het ras. Zo bleek uit onderzoek met verschillende kortedag en dagneutrale rassen dat lange dagen (15 uur t.o.v. 9 uur) tijdens de bloei-inductiefase een negatief effect te hebben op vruchtzetting en vruchtgewicht van de kortedag rassen, terwijl daglengte bij de andere rassen hier geen effect op had (Manakasem & Goodwin, 2001). Overigens werd in dit onderzoek na de bloei-inductiefase een daglengte van 16 uur aangehouden. Uit onderzoek van Hidaka *et al.* (2014) bleek geen significant effect van daglengte op vruchtgewicht in het kortedag ras Fukuoka (junidrager) maar er werden onder korte dagen wel meer vruchten gevormd (Hidaka *et al.* 2014). Uit de analyse bleek dat onder korte dagen meer assimilaten in de vruchten worden gestoken. Mogelijk hangt dit samen met het ras of het type licht dat is gebruikt voor het verlengen van de dag in de twee onderzoeken (witte LEDs t.o.v. gloeilampen).

Naast de lichtintensiteit en de daglengte speelt ook de kwaliteit van het licht (het spectrum) een rol in de regulatie van vruchtzetting en ontwikkeling en heeft daarmee een effect op de productie en vruchtkwaliteit. Uit onderzoek waarbij aardbeienplanten onder uitsluitend blauw of rood LED licht of onder TL licht in klimaatcellen zijn geteeld bleek dat blauw licht leidt tot minder bloemen maar meer vruchten (Nadalini *et al.* 2017). Dus blauw licht heeft een positief effect op de vruchtzetting. Alleen rood LED licht gaf de vruchten dan weer een dieper rode kleur. Er bleek geen significant effect van de lichtkleur op Brix of stevigheid. Choi *et al.* (2015) keken ook naar het effect van blauw en rood licht samen. Hoewel dit leidde tot de meeste productie hebben de onderzoekers niet bepaald of dit kwam door meer vruchten, een hoger vruchtgewicht of beiden. Indien LED licht wordt gebruikt als aanvulling op zonlicht blijkt blauw licht (eventueel in combinatie met rood) een gunstig effect te hebben op de productie en de totale hoeveelheid suikers in vergelijking met bijbelichting met alleen rood licht (Choi *et al.* 2015). Bijbelichten met alleen rood licht leidde dan weer tot hogere zuurconcentraties in de vruchten en meer sucrose.

In de studies hierboven is niet gekeken naar het effect van verrood licht. In tomaat is aangetoond dat verrood licht leidt tot een toename in vruchtgewicht door meer transport van assimilaten naar de vruchten (Boonekamp, 2017; Ji *et al.* 2020). Tijdens onderzoek met verschillende lichtspectra bij Delphy is ook gekeken naar bijbelichten met verschillende hoeveelheden verrood licht. Er bleek echter geen duidelijk effect van extra verrood licht op het vruchtgewicht in aardbei of de vruchtzetting (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2019; Figuur 12).



Figuur 3.22. Ontwikkeling van het gemiddeld vruchtgewicht gedurende de teelt per lichtbehandeling gemiddeld over de 4 typen plantmateriaal voor Favori (links) en Murano (rechts).

Figuur 12 Uit Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2019.

Kennisvragen:

- Hoeveel assimilaten zijn precies nodig om abortie te vermijden?
- Wat is de minimum nachttemperatuur om de vruchtkwaliteit te behouden?
- Heeft daglengte een effect op de drogestofverdeling?
- Bij welke (hoge) RV blijft de zetting goed?

3.10 Kennisvragen

Hieronder worden de eerder genoemde kennisvragen nog een keer gerangschikt:

Omgevingsinvloeden en gewasfysiologie

Algemeen

- Wat is het effect van de omgevings- en teeltfactoren op de drogestoffractie van de aardbeivruchten?
- Welke factoren bepalen de florigene toestand van de aardbeiplant, en hoe is deze te meten? Is hier een rol voor de assimilatenbeschikbaarheid?
- Hoe kan dormancy worden gebroken, behalve door het toepassen van enkel koude of enkel langedag?

Temperatuur

- Wat is de optimale temperatuur in relatie tot de plantbalans?
- Wat is precies de optimale temperatuur gezien de tegenstrijdige effecten op onderhoudsademhaling, bruto fotosynthese en vruchtkwaliteit?
- Wat is de minimum nachttemperatuur om de vruchtkwaliteit te behouden?

Licht

- Hoe kan de strekking van doordragers worden verbeterd, zodat de lichtonderschepping optimaal is?
- Klopt het dat de hoeveelheid licht die door het aardbeigewas wordt onderschept laag is, als gevolg van de rijstructuur waardoor er veel licht op de grond valt?
- Wat zijn precies de effecten van het lichtspectrum op fysiologische processen?
- Heeft de daglengte een effect op de drogestofverdeling?
- Waarom is het effect van verrood op de strekking van aardbei in de winter beperkt?

CO₂

- Wanneer maakt de plant het meest efficiënt gebruik van de toegediende CO₂?
- Wat is de mate van adaptatie van de fotosynthese aan andere CO₂ niveaus?

Luchtvochtigheid

- Bij welke (hoge) RV blijft de zetting goed?

Gewas

- Wat is de fotosynthese op gewasniveau?
- Hoe verdeelt de plant zijn assimilaten en wat wordt er gedaan met een assimilatenoverschot? Kan de plant dit opslaan? Moet er worden gestuurd op uur-, dag- of weekbasis?
- Wat is het verloop van de fotosynthese gedurende een heel teeltseizoen?
- Wat is het effect van bladleeftijd op fotosynthesesnelheid?
- Wat is de drogestofverdeling over de gewasorganen?
- Wat is de exacte rol van hormonen bij vruchtvorming?
- Hoeveel assimilaten precies zijn nodig om abortie te vermijden?
- Kan aardbei assimilaten opslaan en hiermee de strekking bevorderen?

Teelt

- Hoe kan een uniforme opkweek gerealiseerd worden in conventionele teeltsystemen? Welke strategie moet in klimaatcellen leiden tot de optimale opkweek?
- Wat is de optimale teeltstrategie om de groei van de vegetatieve en generatieve gewasdelen in balans te houden?
- Wat is de optimale strategie voor gewasonderhoud en is dit rendabel?
- Zorgt het snoeien van vruchten voor een hoger vruchtgewicht van overgebleven vruchten? Kan er op plantbalans worden gestuurd?
- Wat is de meerwaarde van dynamisch (LED) belichten voor het gewas en energiebeheersing?

Energie

- Kan bij meer luchtbeweging inderdaad een hogere RV worden toegestaan?
- Wat zijn de mogelijkheden om warmteoverschot van de zomer naar de winter te brengen?
- Wat zijn andere CO₂ bronnen dan de WKK?

4 Vervolgstappen

4.1 Scenario's

In overleg met de BCO is besloten om drie scenario's door te rekenen, te weten een onbelichte doorteelt, een belichte doorteelt en een low-chill verse teelt. Voor deze drie teelten zijn teeltschema's opgesteld die de hedendaagse praktijk benaderen en daarmee indicatief zijn. Bepaalde fasen en veranderingen in groeiomstandigheden kunnen best wat vroeger of later vallen. Maar dit zal het algemene beeld niet veranderen.

4.1.1 Rekenmodel voor aardbei

Er is een rekenmodel voor aardbei ontwikkeld en aan de bestaande rekenomgeving van Kaspro-Intkam toegevoegd om de toekomstscenario's voor wat betreft fossielvrije productie te berekenen. Het Intkam deel kent een aantal generieke modules, zoals fotosynthese en verdamping, waar direct gebruik van gemaakt kan worden.

De fotosyntheseberekeningen zijn gebaseerd op het biochemische model van Farquhar et al. (1980). Het model is geparameteriseerd met de gemeten waarden van V_{Cmax} ($57,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), J_{max} ($122,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en R_d ($1,45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (zie paragraaf 3.4). Deze waarden liggen lager dan die voor bijvoorbeeld hogedraadgroenten als tomaat en komkommer.

Voor de fysiologische beschrijving van de onderhouds- en groeiademhaling is gebruik gemaakt van de standaard vergelijkingen. We hebben niet voldoende onderzoeksgegevens om te beoordelen of dit moet worden aangepast.

De LAI van een jong gewas neemt in eerste instantie toe totdat de teler bladpluk toepast en de LAI een min of meer stabiele waarde bereikt. Deze nagestreefde LAI wordt als parameter meegegeven. Iedere keer als deze streefwaarde wordt overschreden wordt er bladpluk nagebootst zodat de LAI weer afneemt. In de berekeningen is een streefwaarde van $LAI = 3.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ gebruikt.

Het aardbeigewas kent een rijstructuur waardoor niet al het licht wordt onderschept. Terwijl bij een gewas als tomaat bij een LAI van $3.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ongeveer 95% van het licht wordt onderschept, komt dat bij aardbei vaak niet boven 70%. Het rekenmodel kan (nog) niet overweg met een rijstructuur, en om toch voor het lichtverlies te compenseren, is een factor 0.75 (ongeveer gelijk aan $0.7/0.95$) op de fotosynthesesnelheid toegepast.

De fenologie van aardbei is complex (zie paragraaf 3.2) en is nauwelijks kwantitatief beschreven. Dit zorgde voor een dilemma omdat het kunnen voorspellen van de gevolgen van temperatuur en daglengte op de ontwikkeling en productie van aardbei natuurlijk de voorkeur heeft. Maar een poging hiertoe zou ook met hele ruwe aannames gepaard gaan die de waarde van de berekeningen zou reduceren. Daarnaast wordt er gerekend voor een situatie in de toekomst, wanneer de dan beschikbare cultivars hopelijk daglengteneutraal zijn en wanneer we de teelt op steenwol beter in de vingers hebben (nu is dat nog niet het geval en vallen productieniveaus vaak nog tegen). Wat overblijft is de wens om aan de effecten van temperatuur op de ontwikkelingsnelheid te kunnen rekenen, want het is niet aannemelijk dat een aardbei ongevoelig zal zijn voor temperatuur. Dit alles overziend is er voor de volgende pragmatische aanpak gekozen. Op basis van een normale teelt is een gewas omschreven dat een realistisch aantal trossen over de tijd vormt. Een temperatuurverlaging geeft minder trossen over de tijd. Hier wordt dus geen effect van daglengte of temperatuur meegenomen.

Het aantal vruchten per tros wordt opgelegd. Er is gerekend met 7 vruchten per tros, ieder met een streefgewicht van 15 gram. De uitgroeiduur van de vruchten is gesteld op 450 d°C bij een basistemperatuur van 0°C (zie paragraaf 3.9.5.1). Als deze temperatuursom is bereikt wordt de desbetreffende tros geoogst. Dit leidt er toe dat bij een lagere temperatuur de vruchten langer aan de plant hangen maar wel zwaarder worden. Dit moet worden afgewogen tegen het lagere aantal vruchten omdat de ontwikkelingsnelheid ook afneemt.

De drogestofverdeling in het Intkam model is gebaseerd op de potentiële groeisnelheden van de organen. Deze zijn voor aardbeivruchten niet bekend en dus is de waarde van de parameter die dit bepaalt geschat.

Het versgewicht van de aardbeivruchten wordt tenslotte bepaald door het drooggewicht en het drogestofgehalte te combineren. Er is geen kennis omtrent de effecten van de omgeving op het drogestofgehalte van de aardbeivruchten, zodat deze waarde is opgelegd. Er is in het model een waarde van 8,5% gebruikt.

De gewasverdamping maakt gebruik van de generieke modelcode waarin de effecten van straling en temperatuur zijn verdisconteerd. De gewasverdamping is onderdeel van de energiebalans. Een hogere verdamping leidt tot een hogere relatieve luchtvochtigheid van de kaslucht, wat kan resulteren in een hogere ventilatie met energieverlies, of meer verwarming om de relatieve luchtvochtigheid te laten afnemen als de vochtregeling leidend is. In een zomerse situatie zal dit voor extra koeling en juist minder ventilatie leiden als de temperatuurregeling leidend is.

Voor wat betreft het rekenmodel voor het kasklimaat is gewerkt met het standaard Kaspro model waarin een beschrijving van de kasinstallatie en de setpoints voor verwarming, ventilatie, CO₂ dosering en vochtbeheersing zijn opgenomen.

Kennisvragen:

- Wat zijn de potentiële groeisnelheden van de organen en daarmee de drogestofverdeling?
- Hoe groot is de gewasverdamping van aardbei, en hoeveel moet een gewas verdampen voor een goede water- en nutriëntenhuishouding?

4.1.2 Aanpak

4.1.2.1 Onbelichte doordragerteelt

De aardbeiplanten van een onbelichte doorteelt worden in januari geplant, leggen bloemen aan in de maanden januari t/m augustus, bloeien in de maanden februari t/m september en produceren in de maanden maart t/m oktober. Hierna wordt het gewas geruimd. Door in januari te planten wordt met het licht meegeteeld: de productie heeft profijt van de toenemende zonnestraling. In de wintermaanden november tot januari staat de kas leeg en is er geen productie.

De optimale gemiddelde etmaaltemperatuur varieert van 15°C in de winter tot 17,5°C in de zomer. De minimale en maximale gemiddelde etmaaltemperaturen liggen hier respectievelijk wat onder en wat boven, waarbij de bandbreedte in de winter wat kleiner is dan in de zomer. Dit houdt verband met de grotere stuurmogelijkheden qua koelen en verwarmen in de winter dan in de zomer. De gewenste nachttemperatuur moet voldoende laag zijn om een goede vruchtkwaliteit te garanderen. Deze varieert van 12°C in de winter tot 16°C in de zomer. In de berekeningen wordt in verband met energiezuinigheid 's nachts bij een kastemperatuur van 8°C gestookt, en overdag bij een kastemperatuur van 16°C. Omdat het een onbelichte teelt is, wordt er stuurlicht toegepast om een minimum daglengte van 14 uur te garanderen. Maar omdat de intensiteit van het stuurlicht slechts 3 µmol m⁻² s⁻¹ en de gebruiksduur beperkt is, is deze energieconsumptie niet in de berekeningen meegenomen.

Het optimale CO₂ niveau is bij benadering 800 ppm bij veel licht in de zomer. In de winter, bij lagere lichtniveaus, is het optimale CO₂ niveau bij benadering 500 ppm. Boven 1000 ppm bij hoog licht is nauwelijks extra opbrengst te verwachten en 420 ppm is ongeveer het huidige buitenniveau. In de berekeningen zijn, in verband met het streven naar een fossielzuinige teelt, waarden van 600-700 ppm overdag en 300 ppm in de nacht gehanteerd.

Zie Bijlage 2 voor een uitgebreide beschrijving van de setpoints.

4.1.2.2 Belichte doordragerteelt

De belichte doordragerteelt wordt in augustus geplant zodat *et al.* in de herfst voor het eerst kan worden geoogst. De bloemaanleg vindt plaats in de maanden augustus t/m mei, de bloei in de maanden september t/m juni, en de oogst in de maanden oktober t/m juli. De niet-productieve fase valt daarmee in de maanden augustus en september.

Omdat er wordt belicht, wat warmte geeft, liggen de temperaturen iets hoger dan bij een onbelichte doorteelt. De optimale etmaaltemperatuur varieert van 16.5°C in de winter tot 17.5°C in de zomer. De minimale gemiddelde etmaaltemperatuur is gedurende het hele jaar 15.5°C, terwijl de maximale gemiddelde etmaaltemperatuur varieert tussen 18°C in de winter en 21°C in de zomer. De gewenste nachttemperatuur is hetzelfde als bij een onbelichte doorteelt. In de berekeningen wordt in verband met energiezuinigheid 's nachts bij een kasttemperatuur van 10°C gestookt, en overdag bij een kasttemperatuur van 16-17°C.

Er wordt assimilatiebelichting toegepast om een bepaalde lichtsom per dag te bereiken. Ook hier gelden optimale, minimale en maximale waarden. De minimale waarden worden bepaald door een minimale productie die gewenst is en de maximale waarden door de afnemende effectiviteit van meer licht. Aan het begin van de teelt is er wat minder licht nodig omdat het gewas nog niet in productie is, en aan het einde van de teelt wordt er wat minder licht verlangd omdat het gewas toch aan het afbouwen is. Omdat er assimilatiebelichting wordt toegepast is er geen stuurlicht nodig.

Er zijn ongeveer dezelfde CO₂ niveaus gehanteerd als bij de onbelichte doordragerteelt.

Zie Bijlage 2 voor een uitgebreide beschrijving van de setpoints.

4.1.2.3 Low-chill verse teelt

De low-chill verse teelt wordt uitgevoerd met een junidrager met een lage koudebehoefte die in december wordt geplant. De planten hebben op dat moment al bloemknoppen. Het gewas bloeit in de maanden februari en maart en produceert in de maanden maart t/m mei. Deze teelt is onbelicht, al wordt er wel stuurlicht toegepast (zie 4.1.2.1). De gewenste temperaturen zijn vlak en wat lager dan bij de doorteler. De optimale gewenste temperatuur is 15°C, met een optimaal minimum van 14°C en een optimaal maximum van 17°C. De gewenste nachttemperatuur is 12°C. In de winter zijn de gewenste CO₂ niveaus lager dan in de zomer, omdat de natuurlijke lichtniveaus ook lager zijn.

Zie Bijlage 2 voor een uitgebreide beschrijving van de setpoints.

4.1.3 Resultaten

4.1.3.1 Uitgangssituatie

Tabel 4

Kengetallen van de drie geanalyseerde teelten.

Kenmerk	Dimensie	Onbelichte doordragerteelt	Belichte doordragerteelt	Onbelichte low-chill verse teelt
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	5.7	5.9	7.9
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	13.1	18.7	9.2
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	5.4	1.1	10.9
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-8.3	-9.2	-5.9
PAR	mol m ⁻²	4901	7061	3640
Globale straling buiten	MJ m ⁻²	3583	3693	2689
Verdamping	kg m ⁻²	306	460	192
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.27	0.26	0.26
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²	0.0	196.3	0.0
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	5.2	5.6	1.1
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	5.5	202.2	1.4
Temperatuursom seizoen	d°C	4873	6667	2900
Temperatuur gemiddeld etmaal	°C	16.1	18.3	16.0
Temperatuur gemiddeld dag	°C	17.9	19.2	18.1
RV gemiddeld	%	75.0	78.8	69.4
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	536	581	616
Totale groei droog	kg m ⁻²	1.48	2.75	0.91
Versproductie cumulatief	kg m ⁻²	14.5	27.6	8.1

Het gasverbruik van de onbelichte doordragerteelt, de belichte doordragerteelt en de low-chill verse teelt bedraagt op seizoensbasis respectievelijk 5,7, 5,9 en 7,9 m³ m⁻² (Tabel 4). De belichte doordragerteelt gebruikt iets meer gas dan de onbelichte doordragerteelt omdat er de hele winter wordt geteeld terwijl de onbelichte doordragerteelt pas in januari in de kas wordt gezet. De low-chill verse teelt verbruikt relatief veel gas omdat deze teelt onbelicht is en er dus geen lampen zijn die voor warmte-afgifte zorgen. De belichte doordragerteelt verbruikt meer CO₂ dan de onbelichte doordragerteelt omdat er meer momenten zijn waarop warmte door middel van ventilatie moet worden afgevoerd waarbij ook CO₂ verloren gaat.

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen CO₂ overschot en CO₂ tekort, die op verschillende momenten plaatsvinden. CO₂ overschot vindt vooral in de winter plaats als er veel warmtevraag is en de lekverliezen juist klein zijn en de stookinstallatie meer CO₂ produceert dan er nodig is om het gewenste CO₂ niveau te bereiken. In de berekeningen is uitgegaan van warmtebuffercapaciteit om op weekbasis warmteproductie en dus ook CO₂ productie te vereffenen. Is de buffer vol, dan wordt de CO₂ dosering overgenomen door de zuivere CO₂. Dit deel noemen we het "tekort". Het overschot wordt kleiner bij een lager temperatuursetpoint omdat er minder gas wordt verstoekt. De onbelichte teelten kennen een groot CO₂ overschot omdat de CO₂ vraag in de stookperiode (korte dagen met weinig licht) laag zijn wat een overschot creëert. Als er een CO₂ tekort is, moet er zuivere CO₂ worden toegediend. De onbelichte low-chill verse teelt kent een hoog CO₂ overschot.

Het elektriciteitsverbruik van de drie teelten ontloopt elkaar niet zo veel (maximaal 6 kWh m⁻²), met uitzondering van het elektriciteitsverbruik voor de lampen in de belichte doordragerteelt. Dit bedraagt ongeveer 200 kWh m⁻² op jaarbasis.

De versproductie wordt berekend op 14,5, 27,6 en 8,1 kg m⁻² op seizoensbasis. Dit is een goede benadering van praktijkwaarden. De 27,6 kg m⁻² is ongeveer in Kas2030 gerealiseerd met een relatief hoge plantdichtheid door middel van hijsbare goten en meer planten dan normaal op de goot.

Zie bijlage 2 voor verdere details.

4.1.3.2 Een lager temperatuursetpoint

De temperatuursetpoints zijn in de scenariostudies verlaagd met stapjes van 0,5°C tot 2°C lager. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5 en Bijlage 3. De gemiddelde etmaaltemperatuur daalt, zij het niet steeds met 0,5°C omdat er meer factoren zijn die de luchttemperatuur beïnvloeden. De temperatuur daalt bij een belichte teelt minder dan bij een onbelichte teelt omdat de belichting regelmatig voor warmteoverschotten zorgt. Het gasverbruik neemt logischerwijze af naarmate een lagere temperatuur wordt aangehouden. De besparing is het sterkst bij de belichte doordragerteelt omdat deze in de stookmaanden ook het warmst geteeld wordt, vervolgens bij de onbelichte low-chill verse teelt, en het minst bij de onbelichte doordragerteelt. De gasbesparing door een lagere temperatuur aan te houden is aanzienlijk, zo'n 0,6-0,7 m³ m⁻² of 11% per halve graad lager setpoint, uitgaande van 5,9 m³ m⁻² in geval van de belichte doordragerteelt.

Bij de belichte doordragerteelt was het overschot in de uitgangssituatie al klein (1,1 kg m⁻²), en wordt nog kleiner. Bij de onbelichte teelten is het CO₂ overschot in de uitgangssituatie groter (5,7 kg m⁻² in geval van de onbelichte doordragerteelt en 10,9 kg m⁻² in geval van de onbelichte low-chill verse teelt). Ook deze twee waarden worden kleiner. CO₂ tekort vindt plaats als de stookinstallatie niet voldoende CO₂ levert om aan de CO₂ setpoints te voldoen. Hier varieert het beeld. In geval van de belichte doordragerteelt neemt het CO₂ tekort iets toe (van 9,2 tot maximaal 11,5 kg m⁻²), bij de onbelichte doordragerteelt wordt het tekort iets kleiner en bij de onbelichte low-chill verse teelt blijft het tekort nagenoeg gelijk. CO₂ overschot en tekort kunnen niet bij elkaar worden opgeteld en de totale CO₂ toediening wordt apart berekend. Op jaarbasis neemt in alle gevallen de CO₂ toediening af. De gerealiseerde CO₂ niveaus zijn globaal gesproken in de wintermaanden op of nabij het gewenste niveau. Zodra de ventilatie toeneemt worden de gewenste niveaus niet meer gehaald en bepaalt de ingestelde maximum doseersnelheid van zuivere CO₂ hoeveel gedoseerd wordt. In de zomermaanden zijn de CO₂ concentraties vrijwel gelijk voor de verschillende cases.

Een lagere luchttemperatuur leidt, bij dezelfde andere omstandigheden, tot een lagere relatieve luchtvochtigheid, en in het algemeen tot meer ventilatie. Er is ook een rol van de afnemende verdamping. Bij de doorteelten leidt een lager temperatuursetpoint tot een iets lagere relatieve luchtvochtigheid. Maar bij de onbelichte low-chill verse teelt neemt de relatieve luchtvochtigheid juist toe bij een lager temperatuursetpoint. Dit zijn gemiddelde waarden over de hele teeltperiode; op een kortere tijdschaal kunnen de waarden anders zijn.

Veruit het grootste deel van de elektriciteit wordt gebruikt voor belichting (202 kWh m⁻² bij de belichte doorteelt). Het gebruik voor bevochtiging en ontvochtiging, en de veranderingen hierin, vallen hierbij in het niet.

Het is belangrijk om te constateren dat een lagere teelttemperatuur resulteert in een lagere opbrengst. Dit komt omdat de ontwikkelingsprocessen langzamer verlopen, zodat er op seizoensbasis minder vruchten worden aangelegd en ze langzamer afrijpen. Het iets lagere CO₂ niveau zal slechts heel beperkt bijdragen aan de lagere gewasprestatie.

Tabel 5

Samengevatte gevolgen van een lager temperatuursetpoint voor de drie geanalyseerde teelten.

Kenmerk	Dimensie	Onbelichte doordragerteelt		Belichte doordragerteelt		Onbelichte low-chill verse teelt	
		default	verandering per °C	default	Verandering per °C	default	Verandering per °C
Setpoint aanpassing	°C						
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	5.7	-0.6	5.9	-1.3	7.9	-1.1
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	536	-9.3	581	-8.3	616	-6.3
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	13.1	-0.7	18.7	-0.7	9.2	-0.4
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	5.4	-1.0	1.1	-0.5	10.9	-1.5
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-8.3	0.6	-9.2	-1.2	-5.9	0.01
Verdamping	kg m ⁻²	306	-3.6	460	-7.6	192	-6.8
RV gemiddeld	%	75.0	-0.05	78.8	-0.3	69.4	0.05
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.27	-0.01	0.26	-0.02	0.26	-0.01
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²			196.3	0	0.0	
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	5.2	0.01	5.6	0.05	1.1	-0.03
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	5.5	-0.01	202.2	0.04	1.4	-0.02
Gemiddelde etmaaltemperatuur	°C	16.1	-0.4	18.3	-0.6	16.0	-0.7
Gemiddelde dagtemperatuur	°C	17.9	0.4	19.2	-1.0	18.1	-0.7
Totale productie droog	kg m ⁻²	1.48	-0.1	2.75	-0.2	0.91	-0.1
Totale versproductie	kg m ⁻²	14.5	-0.8	27.6	-2.5	8.1	-0.4

4.1.3.3 Een hoger setpoint relatieve luchtvochtigheid

De setpoints voor relatieve luchtvochtigheid zijn met 1, 2, 3 en 5% verhoogd. De resultaten zijn weergegeven in tabel 6 en Bijlage 3. Dit leidt ertoe dat er minder geventileerd hoeft te worden om overtollig vocht af te voeren. De belangrijke bij-effecten zijn dat er ook minder warmte en CO₂ verloren gaan. Het gasverbruik en de CO₂ toediening nemen met name bij de onbelichte doordragerteelt daardoor af, terwijl de CO₂ concentratie in de lucht in alle gevallen ongeveer gelijk blijft. Sleutelen aan het vochniveau is in de meeste teelten en in de aardbei met vaak gevoelige rassen voor meeldauw en Botrytis in het bijzonder, een onderwerp van stevige discussie. Een goede temperatuurverdeling en tolerante rassen zijn dan al snel een eerste vereiste. Ook neemt de verdamping af. Er is nauwelijks effect op de temperatuur, wat ook logisch is omdat de temperatuursetpoints ongewijzigd zijn gebleven.

Tabel 6

Samengevatte gevolgen van een hogere relatieve luchtvochtigheid voor de drie geanalyseerde teelten.

Kenmerk	Dimensie	Onbelichte doordragerteelt		Belichte doordragerteelt		Onbelichte low-chill verse teelt	
		default	verandering per %	default	verandering per %	default	verandering per %
Setpoint aanpassing	°C						
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	5.7	-0.1	5.9	-0.3	7.9	-0.04
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	536	1.1	581	0.8	616	0.1
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	13.1	-0.02	18.7	-0.6	9.2	-0.05
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	5.4	-0.04	1.1	-0.2	10.9	-0.58
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-8.3	-0.06	-9.2	-0.4	-5.9	0.00
Verdamping	kg m ⁻²	306	-0.4	460	-4.4	192	-0.3
RV gemiddeld	%	75.0	0.04	78.8	0.3	69.4	0.03
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.27	0.00	0.26	0.00	0.26	0.00
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²			196.3	0.00	0.0	
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	5.2	-0.55	5.6	-0.88	1.1	-0.20
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	5.5	-0.55	202.2	-0.88	1.4	-0.20
Gemiddelde etmaaltemperatuur	°C	16.1	0.01	18.3	-0.04	16.0	0.00
Gemiddelde dagtemperatuur	°C	17.9	0.01	19.2	0.05	18.1	0.00
Totale productie droog	kg m ⁻²	1.48	0.00	2.75	0.02	0.91	0.00
Totale versproductie	kg m ⁻²	14.5	0.05	27.6	0.24	8.1	0.00

4.1.3.4 Langer belichten

Langer belichting is uiteraard alleen mogelijk in geval van de belichte doordragerteelt. De resultaten zijn weergegeven in tabel 7 en Bijlage 3. De andere twee teelten zijn onbelicht. Het elektriciteitsverbruik hiervoor gaat natuurlijk omhoog naarmate er meer uren worden belicht. De hoeveelheid PAR neemt toe en bij ongeveer gelijkblijvende andere groeifactoren (CO₂, temperatuur, RV) neemt de productie als gevolg van een hogere fotosynthesesnelheid toe. De PAR toename is niet precies gelijk aan een factor 2 of 3, wat het gevolg kan zijn van een andere schermstrategie die van invloed is op de PAR

Het gasverbruik daalt licht bij langere belichting omdat er meer warmte-energie van de lampen in de kas wordt gebracht.

4.1.3.5 Hogere lichtintensiteit

Een hogere lichtintensiteit heeft ongeveer dezelfde gevolgen als langer belichten, zij het dat gasverbruik sterker daalt. De resultaten zijn weergegeven in tabel 7 en Bijlage 3. Terwijl in deze berekeningen meer uren licht per 100 mol m⁻² PAR ongeveer 1 kg m⁻² extra versproductie gaven, is dit voor een hogere lichtintensiteit ongeveer de helft, namelijk 0.57 kg m⁻². Dit is het gevolg van de afnemende meeropbrengst van extra licht (zie figuur 6).

Tabel 7

Samengevatte gevolgen van langer belichten en een hogere lichtintensiteit voor de belichte doordragerteelt.

Kenmerk	Dimensie	Belichte doordragerteelt		
		default	verandering per uur extra	verandering per 10 mmol
Setpoint aanpassing	°C			
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	5.9	-0.2	-0.4
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	581	0.7	-0.3
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	18.7	0.9	0.2
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	1.1	-0.3	-0.2
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-9.2	-0.6	-0.7
Verdamping	kg m ⁻²	460	7.3	3.8
RV gemiddeld	%	78.8	0	-0.4
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.26	0	0
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²	196.3	8.2	9.8
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	5.6	0.01	-0.05
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	202.2	12.5	9.8
Gemiddelde etmaaltemperatuur	°C	18.3	-0.1	-0.01
Gemiddelde dagtemperatuur	°C	19.2	-0.01	0.05
Totale productie droog	kg m ⁻²	2.75	0.1	0.1
Totale versproductie	kg m ⁻²	27.6	1.4	0.6

4.1.4 Samenvatting

Er is voor de drie teelten een uitgangssituatie vastgesteld die is gebaseerd op de principes van Het Nieuwe Telen en waarbij dus een kleine hoeveelheid fossiele energie is gebruikt. Het gasverbruik van de drie teelten, te weten een onbelichte doordragerteelt, een belichte doordragerteelt en een verse low-chill teelt was respectievelijk 5,7, 5,9 en 7,9 m³ m⁻² per teeltseizoen. Het totale elektriciteitsverbruik was respectievelijk 5,5, 202,2 en 1,4 kWh m⁻² per seizoen en de hoeveelheid toegediende CO₂ was respectievelijk 13,1, 18,7 en 9,2 kg m⁻² per seizoen.

Het verlagen van de luchttemperatuur, het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid, en in geval van de belichte doordragerteelt het langer of intensiever belichten leiden allemaal tot een lager verbruik van gas. Een lagere gewenste temperatuur leidt direct tot minder stoken, een hogere luchtvochtigheid tot minder ventileren en minder warmteverlies, en langer of intensiever belichten tot meer energietoevoer van de lampen.

Het verlagen van de luchttemperatuur en het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid leiden ook tot minder CO₂ toediening. Maar langere of intensievere belichting leidt tot grotere CO₂ tekorten en extra toediening van CO₂. In het algemeen zijn de CO₂ niveaus in alle situaties ongeveer gelijk, aangezien de CO₂ regeling streeft naar een bepaalde minimum waarde.

Intensiever of langer belichten verlangt meer elektriciteit in geval van de belichte doordragerteelt. De andere energiekosten vallen hierbij in het niet.

Langer belichten geeft uiteraard een hogere productie (ongeveer 0.8 – 1 kg m⁻² per uur extra belichten, of 0,14 g mol⁻¹ PAR), net als intensiever belichten (ongeveer 0,6-0,7 kg m⁻² per 20 mmol intensiever belichten, of 0,065 g mol⁻¹ PAR). Een lagere temperatuur geeft een iets lagere productie, maar een hogere relatieve luchtvochtigheid leidt nauwelijks tot productieverandering.

5 Samenvatting en Discussie

De huidige situatie

Aardbei is een populair gewas in Nederland dat zich in een transitie van buiten- naar binnenteelt bevindt. Het areaal aardbei onder glas in Nederland is groeiende, en de teelt moet binnen een aantal jaren fossielvrij en duurzaam worden. De huidige energiecrisis met sterk stijgende energiekosten en zelfs dreigende tekorten aan energie maken deze noodzaak alleen maar urgenter. Het huidige gasverbruik bedraagt ongeveer 12 – 18 m³ m⁻² in het geval van een onbelichte doorteelt, wat omlaag moet.

Er zijn verschillende productiesystemen, variërend van het gebruik van plastic tunnels tot het gebruik van geavanceerde Venlo-kassen. De nadruk ligt momenteel nog steeds op de onbelichte doorteelt van junidragers, terwijl de vraag groeit naar jaarrondproductie. Een continue bezetting van een dure kas is in principe het meest rendabel, als de energiekosten dit althans toestaan. Import vanuit bijvoorbeeld Spanje voldoet momenteel aan een groot deel van de vraag in de winter, maar de smaak is vaak onvoldoende. Een jaarrondteelt is echter niet eenvoudig. Naast de energetische vragen liggen er tal van vragen op het gebied van substraat, voeding, lichtspectrum, het realiseren van een stabiele productie, productkwaliteit, etc.

Visie van telers en veredelaars

De sector is zich bewust van de noodzaak tot verandering. Aardbeitelers stellen dat een verschuiving van de teeltstrategieën nodig is om de afname in productie van de open teelt op te vangen en een jaarrond vlakke productie te bereiken. Dit leidt tot meer belichting, zomerteelt onder glas en een lange teeltduur. Het betekent dat deze teeltintensivering meer (elektrische) energie zal vergen, wat in de toekomst uit een fossielvrije bron zal moeten zijn. Ook de warmtevraag zal anders ingevuld moeten worden, met alternatieve CO₂ bronnen, en hernieuwbare in plaats van fossiele bronnen. Schaalvergroting en verschuiving van teeltstrategieën zullen hierin een rol spelen. Daarnaast zullen kennis en innovatie moeten helpen om een antwoord te vinden op het invullen van het restant van de behoefte aan energie en CO₂. Daarnaast is het realiseren van gewasweerbaarheid (opkweken uit zaad, toepassen van biologische middelen of plantversterkers en een goede plantbalans om de plant fysiologisch sterk te houden) van belang voor de gewasbescherming, als er steeds minder chemische middelen beschikbaar zullen zijn.

Telers verwachten dat genetica en veredeling meer gericht moeten zijn op doordragers of het telen van junidragers als doordragers om een vlakke productie te realiseren. Genetica wordt gezien als de sleutel in de verschuiving van de teeltstrategieën. Een uitgekristalliseerde visie op fossielvrij telen moet zich bij de veredelaars echter nog ontwikkelen. Men beseft weliswaar dat deze ontwikkeling is ingezet, maar momenteel wordt meer aandacht gegeven aan de ontwikkeling van ziekte-tolerantie of -resistentie (*Phytophthora*, meeldauw, zwartwortelrot, *Botrytis*) en smaak (wat ten koste kan gaan van de opbrengst). Men ziet qua ontwikkeling van teeltsystemen ontwikkelingen nogal wat diversiteit, namelijk naar meer bedekte teelt, een jaarrond vlakke teelt, low-chill verse teelt en het telen in daglichtloze kassen. Hier lijken telers en veredelaars dus andere prioriteiten te hebben, wat een goede reden is voor een gesprek. De huidige energiecrisis kan hier als stimulans dienen.

Een fossielvrije aardbeiteelt kenmerkt zich door 1) een optimaal gewas dat is geteeld uit uniform plantmateriaal, met een zo hoog mogelijk aandeel grote vruchten (>30 mm), geproduceerd door doordragende cultivars met een stabiele productie en een goede strekking, 2) een optimaal groeiklimaat dat een continue aanmaak van vruchten waarborgt en waarbij zo weinig mogelijk energie en CO₂ wordt gebruikt, en 3) een efficiënte benutting van natuurlijke hulpbronnen door minder te ventileren en door voelbare en latente warmte te oogsten.

Ontbrekende kennis

Er is redelijk wat bekend over het aardbeigewas, maar veel ook niet. Door de variërende effecten van onder meer temperatuur, daglengte, lichtintensiteit en -spectrum op allerlei fysiologische processen, en door de grote verscheidenheid aan types en cultivars met verschillende gevoeligheden hiervoor, is een eenduidig beeld van de relatie tussen omgevingsfactoren en de groei en ontwikkeling van aardbei moeilijk te geven. Het is om deze reden dat het ontwikkelen van nieuwe teeltsystemen van aardbei onder glas en het bepalen van de bijbehorende groei-omstandigheden een hobbelige weg is.

Als de teeltervaringen van de huidige praktijk worden getoetst aan bevindingen uit onderzoek, dan blijken er nog een aantal grote vragen te liggen (zie ook 3.10), waarvan de belangrijkste zijn:

- Hoe kan een uniforme opkweek gerealiseerd worden in conventionele teeltsystemen? Welke strategie moet in klimaatcellen leiden tot de optimale opkweek?
- Wat is de optimale teeltstrategie om de groei van de vegetatieve en generatieve gewasdelen in balans te houden?
- Hoe kan de strekking van doordragers worden verbeterd, zodat de lichtonderschepping optimaal is?
- Kan bij meer luchtbeweging inderdaad een hogere RV worden toegestaan?
- Wat is de optimale strategie voor gewasonderhoud en is dit rendabel?
- Hoe verdeelt de plant zijn assimilaten en wat wordt er gedaan met een assimilatenoverschot? Kan de plant dit opslaan? Moet er worden gestuurd op uur-, dag- of weekbasis?
- Zorgt het snoeien van vruchten voor een hoger vruchtgewicht van overgebleven vruchten? Kan er op plantbalans worden gestuurd?
- Wat is de optimale temperatuur in relatie tot de plantbalans?
- Wat zijn de mogelijkheden om warmteoverschot van de zomer naar de winter te brengen?
- Hoeveel moet het gewas verdampen voor een optimale water- en nutriëntenhuishouding?
- Wat zijn andere CO₂ bronnen dan de WKK?
- Wanneer maakt de plant het meest efficiënt gebruik van de toegediende CO₂?

Interventies

In hoofdstuk 5 is geïnventariseerd welke klimaatmaatregelen er in het vervolg genomen kunnen worden om bij te dragen aan een fossielvrije teelt. Dat zijn kortgezegd: een lagere luchttemperatuur, een hogere luchtvochtigheid en korter of minder intensief belichten.

De berekeningen in hoofdstuk 5 laten zien dat het op dit moment mogelijk lijkt te zijn om in geval van de onbelichte doordragerteelt, de belichte doordragerteelt en de low-chill verse teelt op seizoensbasis respectievelijk 5,7, 5,9 en 7,9 m³ m⁻² gas te gebruiken (Tabel 4). Dit is substantieel lager dan het huidige gasverbruik van ±12-18 m³ m⁻² in het geval van een onbelichte doorteelt. Er moet dan op het scherpst van de snede worden geteeld waarbij bijvoorbeeld moet worden gelet op het niet verder laten zakken dan nodig van de relatieve luchtvochtigheid. We hebben niet in detail nagerekend bij welke combinatie van instellingen het huidige gasverbruik van ±12-18 m³ m⁻² wordt bereikt, maar duidelijk is dat dit wordt bepaald door meer op zeker te spelen door middel van verwarmen, schermen en luchten. Hoe lager de RV wil hebben, hoe meer er gelucht en gestookt moet worden. We hebben de sterke indruk dat er vaak een verschil bestaat tussen de gewenste RV en de gerealiseerde RV, waarbij de gerealiseerde RV hoger ligt. Een kleine RV verhoging leidt direct tot minder energieverbruik. De berekeningen tonen een grote gevoeligheid voor dit onderdeel van de water- en energiebalansen (Voor alle duidelijkheid: In deze studie is gekeken naar de energieverschillen tussen de gerealiseerde RV's. Het punt is dat de gerealiseerde RV in de praktijk naar onze indruk vaak met een lagere waarde wordt gepresenteerd).

De keuze voor een belichte doordragerteelt heeft grote consequenties voor het elektriciteitsverbruik: dit stijgt op jaarbasis van 5,5 naar 202 kWh m⁻². Dit is de prijs van het jaarrond produceren van aardbeien. Het gasverbruik stijgt van 5,7 naar 5,9 m³ m⁻², wat zeer beperkt is. Fossielvrij telen betekent dus dat deze stijging van zo'n 200 kWh m⁻² uit alternatieve bronnen moet komen.

Er is in deze studie voor gekozen om te verkennen wat de gevolgen zijn van minder gasverbruik om helder te maken wat er aan niet-fossiele energie nodig blijft. We hebben niet gekeken naar de gevolgen van het niet verbruiken van gas en het daarmee teruggaan naar een situatie die lijkt op de koude buitenteelt. Hierbij hebben we gekeken naar een substantiële verandering in de klimaatsetpoints, te weten een temperaturodaling van 2°C, een stijging in de relatieve luchtvochtigheid van 5 % punten, 3 uur langer belichten en met 60 mmol extra intensiteit belichten. Er is niet geanalyseerd wat de gevolgen zijn van korter of minder intensief belichten; de gevolgen laten zich raden: meer gasverbruik om de temperatuur op peil te houden en een lagere productie, ongeveer het omgekeerde effect van meer belichten.

Een lager temperatuursetpoint

De gasbesparing in het geval van het verlagen van een lager temperatuursetpoint is het sterkst bij de belichte doordragerteelt omdat deze in de stookmaanden het warmst wordt geteeld. De lagere temperatuur leidt bij de belichte doorteelt gemiddeld ook tot een lagere relatieve luchtvochtigheid, terwijl de gemiddelde relatieve luchtvochtigheid bij de onbelichte teelten hoger komt te liggen.

Temperatuurbeheersing heeft ook invloed op de vruchtzetting en -ontwikkeling. Het negatieve effect van hoge temperaturen gedurende dag hierop kan worden tegengegaan door het aanhouden van lage nachttemperaturen om zo de etmaaltemperatuur niet te hoog te laten worden (3.9.5.1). De ventilatielijnen kunnen overdag hoger komen te liggen, zolang de nachttemperatuur zo laag mogelijk gehouden wordt.

De analyse van CO₂ balans kent drie grootheden: de hoeveelheid toegediende CO₂, het CO₂ overschot en het CO₂ tekort. Voor alle drie typen teelten neemt de CO₂ toediening af. In de winter, als de ramen grotendeels zijn gesloten, worden de ingestelde CO₂ niveaus meestal wel bereikt, maar bij open ramen bepaalt de maximale doseersnelheid de hoeveelheid toegediende CO₂. Er kan ook op een andere manier tegenaan worden gekeken: als er geen stookinstallatie beschikbaar is, is dit de hoeveelheid CO₂ die op een alternatieve manier verkregen moet worden. Er is niet berekend wat de gevolgen zijn van het niet toedienen van CO₂. Dit zal negatieve gevolgen voor de productie hebben, met name in de wintermaanden als de ramen gesloten zijn en momenteel hoge CO₂ niveaus worden gerealiseerd.

Los van de CO₂ toediening staan het CO₂ overschot en het CO₂ tekort. Deze ontstaan respectievelijk als de stookinstallatie meer of minder CO₂ levert dan nodig is. Een overschot moet uiteraard op een andere manier nuttig worden gebruikt, terwijl een tekort op een andere manier moet worden aangevuld. Dit kan natuurlijk alleen als de kas is aangesloten op een groter CO₂ netwerk waarin CO₂ kan worden uitgewisseld.

Een hogere relatieve luchtvochtigheid

Een hogere relatieve luchtvochtigheid leidt tot minder ventileren, minder warmteverlies en dus een lager gasverbruik en een afname in de CO₂ toediening, CO₂ tekort en CO₂ overschot. Daarmee is het een belangrijke mogelijkheid tot energiebesparing en minder CO₂-verbruik. Het grote probleem is het effect dat een hogere relatieve luchtvochtigheid heeft op de ontwikkeling van met name *Botrytis* meeldauw waarvoor de meeste cultivars nog gevoelig zijn. Het is lastig goede grenswaarden te bepalen. Is er een vaste maximum waarde of kan een wat lagere RV zonder gevaar een bepaald aantal uren per dag worden afgewisseld met een hoge RV? Dit is niet goed bekend. Onze indruk is dat er best wat rek zit in wat in de praktijk als richtlijn wordt gebruikt. Als dit zo is, zou een hogere RV met name moeten worden gehandhaafd als er wordt gestookt en de warmte binnen gehouden moet worden. Het aanhouden van een hogere RV overdag heeft echter ook consequenties voor het vrijkomen van stuifmeel (plakkerigheid) en de bevlieging van de bloemen door hommels en bijen. Dit moet wel goed zijn, omdat dit directe invloed heeft op de vruchtkwaliteit en productie.

De gewasverdamping is een belangrijke factor in de waterbalans. In onze berekeningen hebben we een standaard beschrijving van de verdamping aangenomen, bij gebrek aan goede kennis van het gedrag van de huidmondjes. Het zou heel zinvol zijn om hier meer kennis van te vergaren en zo beter grip te krijgen op de waterbalans. In dit kader is het goed te vermelden dat er door de veredeling wordt gestreefd naar een planttype met een beperkte hoeveelheid blad omdat bladsnoei een arbeidskostenpost is en omdat een plant na blad weghalen vaak tijdelijk stil gaat staan. In principe leidt minder blad tot een lagere verdamping en dus tot een kleinere noodzaak om overtollig vocht via open ramen af te voeren en dus tot een energiebesparing.

Langer of intensiever belichten

Het lijkt een vreemde keuze om de gevolgen van langer of intensiever belichten te bestuderen. Immers, dit kost meer elektrische energie. Maar het leidt tot minder gasverbruik vanwege de warmte die de lampen leveren. Minder belichten zal tot het omgekeerde leiden: meer verwarmen, maar ook minder productie. Het beeld is: meer elektriciteit, minder gas, ongeveer gelijke temperatuur en meer productie. Dus, op het eerste gezicht kan gas met elektriciteit worden gecompenseerd, en dat is in hoge mate een financiële afweging.

In alle berekeningen veranderen het CO₂ niveau en de luchttemperatuur niet veel. Bij gelijkblijvende belichting zijn de gevolgen voor de productie daarom beperkt. In de berekeningen zijn de verschillen tussen dag- en nachttemperatuur in stand gehouden omdat dit verschil belangrijk is voor de vruchtkwaliteit (en productie).

Andere interventies

Er gaat in een aardbeigewas veel licht verloren doordat een belangrijk deel ervan tussen de rijen door op de grond valt. De toepassing van in hoogte verstelbare goten, waardoor het aantal rijen groter is, is bedoeld om meer licht te onderscheppen (Figuur 3). Maar ook dan blijft er veel licht verloren gaan. Dit leidt dus tot een lagere efficiëntie van het gebruik van licht, maar ook van de ingebrachte warmte. De hele ruimte moet immers worden verwarmd, ook de plekken waar geen planten staan. De efficiëntie van het gebruik van CO₂ is naar verwachting ook lager omdat de lek- en ventilatieverliezen redelijk vaste grootheden zijn, terwijl de opname van CO₂ door een open gewas lager zal zijn dan door een vol gewas. Een betere grondbedekking door bladeren zou dus zeer welkom zijn. Voor een betere CO₂-benutting is het wenselijk om de CO₂-slangen of -darmen tussenin of zo dicht mogelijk bij het gewas te installeren.

Er moet een onderscheid worden gemaakt tussen de fasen van bloei-initiatie en bloemvorming (3.9). Het kan zijn dat de teeltcondities waaronder optimale bloei-initiatie plaatsvindt niet de optimale condities zijn voor bloemvorming. Een langere periode telen onder bloei-inducerende condities kan bijvoorbeeld zorgen voor vorming van een lager aantal bloemen per tros wordt (Konsin *et al.* 2001). Het kan leiden tot golven in de productie en tot onzekerheid met betrekking tot de klimaatinstellingen. Het zou het beste zijn als er cultivars zouden zijn die dit verschil in optimale teeltomstandigheden voor de bloei-initiatie en bloemvorming niet kennen.

Afsluiting

De huidige energiecrisis maakt de noodzaak om te komen tot een vermindering van het energieverbruik nog urgenter dan het al was. Door op het scherpst van de snede te telen is *et al.* veel te bereiken. Daar bovenop kunnen additionele maatregelen worden genomen, waarvan de effecten te berekenen zijn. We hebben te maken met kennistekorten op het gebied van de fysiologie van aardbei, zodat we met aannames hebben moeten werken en de rekenresultaten indicatief zijn. Het verlagen van de luchttemperatuur, het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid en in het geval van de belichte doordragerteelt het langer of intensiever belichten leiden allemaal tot een lager verbruik van gas. Het verlagen van de luchttemperatuur en het verhogen van de relatieve luchtvochtigheid leiden ook tot minder CO₂ toediening. Langere of intensievere belichting leidt juist tot grotere CO₂ tekorten en extra toediening van CO₂, wat haaks kan staan op het lagere gasverbruik. Intensiever of langer belichten verlangt meer elektriciteit in geval van de belichte doordragerteelt, maar verhogen de productie. Een lagere temperatuur geeft een iets lagere productie, maar een hogere relatieve luchtvochtigheid leidt nauwelijks tot productieverandering.

Er blijft behoefte aan energie voor verwarming en belichting, alleen moet deze van niet-fossiele oorsprong zijn. Dit onderzoek heeft van deze behoeftes een schatting gemaakt.

Literatuur

Ainsworth EA, Long SP. 2005.

What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy. *New Phytol.* **165**, 351–371. (doi:10.1111/j.1469-8137.2004.01224.x.

Boonekamp (2017).

Verrood geeft tomatenproductie een boost. Retrieved from <https://www.gfactueel.nl/Glas/Achtergrond/2017/4/Verrood-licht-verrast-met-productieverhoging-in-tomaat-120224E/>

Brummell, D. A., Harpster, M. H., Civello, P. M., Palys, J. M., Bennett, A. B., & Dunsmuir, P. (1999a).

Modification of expansin protein abundance in tomato fruit alters softening and cell wall polymer metabolism during ripening. *The Plant Cell*, 11(11), 2203-2216.

Brummell, D. A., Harpster, M. H., & Dunsmuir, P. (1999b).

Differential expression of expansin gene family members during growth and ripening of tomato fruit. *Plant molecular biology*, 39(1), 161-169.

Catalá, C., Rose, J. K., & Bennett, A. B. (2000).

Auxin-regulated genes encoding cell wall-modifying proteins are expressed during early tomato fruit growth. *Plant physiology*, 122(2), 527-534.

Choi, H. G., Moon, B. Y., & Kang, N. J. (2015).

Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Scientia Horticulturae*, 189, 22-31.

Delphy. (2015, December 15).

Fysiologische kalender Aardbei. Retrieved March 22, 2022, from <https://delphy.nl/news/tip-v-d-maand-november-december-2015/>

Dieleman, A., de Gelder, A., Weerheim, K., Kruidhof, M., Verkerke, W., Garcia, N., Kromwijk, A., Elings, A., de Visser, P., & Janse, J. (2020).

Denkkader licht: Naar een effectief gebruik van LED belichting in de glastuinbouw. Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw.

Dotto, M. C., Martínez, G. A., & Civello, P. M. (2006).

Expression of expansin genes in strawberry varieties with contrasting fruit firmness. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(5-6), 301-307.

El-Shabasi, M. S. S., Ragab, M. E., El-Oksh, I. I., & Osman, Y. M. M. (2009).

Response of strawberry plants to some growth regulators. *Acta Horticulturae*, 842(1980), 725–728. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.842.157>

Eshghi, S., Tafazoli, E., Dokhani, S., Rahemi, M., & Emam, Y. (2007).

Changes in carbohydrate contents in shoot tips, leaves and roots of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during flower-bud differentiation. *Scientia Horticulturae*, 113(3), 255-260.

Farquhar, G.D., von Caemmerer, S, Berry, J.A., 1980.

A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 plants. *Planta* 149: 78-90.

Fletcher, J. M., A. Tatsiopolou, P., Hadley, F.J., Davis, R.G.C. Henbest, 2004.

Growth, yield and development of strawberry cv. 'Elsanta' under novel photoselective film clad greenhouses. *Acta Hort.* 663: 99-106.

Franklin, K. A. (2008).

Shade avoidance. *New Phytologist*, 179(4), 930-944.

He, J., Yue, X., Wang, R., & Zhang, Y. (2011).

Ethylene mediates UV-B-induced stomatal closure via peroxidase-dependent hydrogen peroxide synthesis in *Vicia faba* L. *Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2657-2666.

Heide, O. M., Stavang, J. A., & Sønsteby, A. (2013).

Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries—a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(1), 1–18.

Helmus-Schuddebeurs, L., van der Burg, R., Walraven, K., Jongenelen, B., Geelen, P., 2019.

Delphy Improvement Centre, Bleiswijk. Schermen voor een optimaal duurzame aardbeienteelt.

Helmus-Schuddebeurs, L., Van Endschot, R., & Dorresteyn, B. (2019).

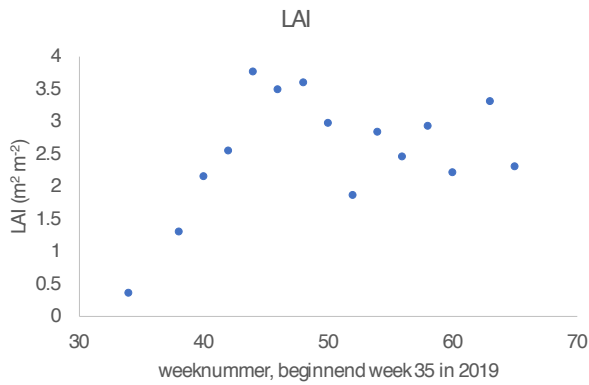
LED belichting in aardbei. Eindrapport 20098. Delphy Improvement Centre. (https://www.kasalsenergiebron.nl/content/research/20098_Eindrapport_LED_belichting_in_aardbei.pdf)

- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., ... & Okimura, M. (2013). Effect of supplemental lighting from different light sources on growth and yield of strawberry. *Environmental Control in Biology*, 51(1), 41-47.
- Hidaka, K., Okamoto, A., Araki, T., Miyoshi, Y., Dan, K., Imamura, H., ... & Okimura, M. (2014). Effect of photoperiod of supplemental lighting with light-emitting diodes on growth and yield of strawberry. *Environmental Control in Biology*, 52(2), 63-71.
- Hofkens, M., Melis, P., Laurijssen, S., Baets, D. and Eelen, J. (2021a) Meerlagenteelt van aardbei in het najaar van 2020. Rapportage onderzoeksresultaten project GLITCH. <https://glitch-innovatie.eu/wp-content/uploads/2021/03/210222-rapport-meerlagenteelt-aardbei-GLITCH.pdf>
- Hofkens, M., Melis, P., Laurijssen, S., Baets, D. and Eelen, J. (2021b) Meerlagenteelt van aardbei doorteelt 2021. Rapportage onderzoeksresultaten project GLITCH. <https://glitch-innovatie.eu/wp-content/uploads/2021/05/210517-rapport-GLITCH.pdf>
- Hollender, C. A., Geretz, A. C., Slovin, J. P., & Liu, Z. (2012). Flower and early fruit development in a diploid strawberry, *Fragaria vesca*. *Planta*, 235(6), 1123-1139.
- Hoogdaem, M. van, Streminska, M., Cuesta Arenas, Y., Dieleman, A., de Gelder, A. and Weerheim, K. (2021). Nieuwe balansen in het nieuwe telen: Hormonen en Ecologie. Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw.
- Hwang G, Kim S, Cho JY, Paik I, Kim JI, Oh E (2019) Trehalose-6-phosphate signaling regulates thermoresponsive hypocotyl growth in *Arabidopsis thaliana*. *EMBO Rep*: e47828
- Jamal Uddin, A. F. M., Hossain, M. J., Islam, M. S., Ahsan, M. K., & Mehraj, H. (2012). Strawberry growth and yield responses to gibberellic acid concentrations. *Journal of Experimental Biosciences*, 3(2), 51-56.
- Janse, J. (2016). Jaarrond duurzame en intensieve aardbeienteelt met minder stroom: Deskstudie naar mogelijkheden besparing op elektriciteit (No. 1397). Wageningen UR Greenhouse Horticulture.
- Ji, Y., Nunez Ocana, D., Choe, D., Larsen, D. H., Marcelis, L. F., & Heuvelink, E. (2020). Far-red radiation stimulates dry mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength in tomato. *New Phytologist*, 228(6), 1914-1925.
- Jia, H., Wang, Y., Sun, M., Li, B., Han, Y., Zhao, Y., ... & Jia, W. (2013). Sucrose functions as a signal involved in the regulation of strawberry fruit development and ripening. *New Phytologist*, 198(2), 453-465.
- Kaiser, E & Janse, J., 2016. Consultancy genereren basiskennis fotosynthese aardbei. Rapport GTB-1411, Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw.
- Lucas, M. de, & Prat, S. (2014). PIF s get BR right: PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR s as integrators of light and hormonal signals. *New Phytologist*, 202(4), 1126-1141.
- Keutgen N., Chen K. & Lenz F. (1996.) Responses of strawberry leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and macronutrient contents to elevated CO₂. *Journal of Plant Physiology* 150, 395-400
- Konsin, M., Voipio, I., & Palonen, P. (2001). Influence of photoperiod and duration of short-day treatment on vegetative growth and flowering of strawberry (*Fragaria 3 ananassa* Duch.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(1), 77-82.
- Krüger, E., Josuttis, M., Nestby, R., Toldam-Andersen, T. B., Carlen, C., & Mezzetti, B. (2012). Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. *Journal of Berry Research*, 2(3), 143-157.
- Magar, Y. G., Ohyama, K., Noguchi, A., Amaki, W., & Furufuji, S. (2017). Effects of light quality during supplemental lighting on the flowering in an everbearing strawberry. In XIII International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 1206 (pp. 279-284).
- Manakasem, Y., & Goodwin, P. B. (2001). Responses of dayneutral and Junebearing strawberries to temperature and daylength. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(5), 629-635.
- Massetani, F., Neri, D. (2016) Plant architecture in different cultivation systems. In Husami A.M. and Neri, D. (eds) *Strawberry: Growth, Development and Diseases*. London: © CAB International, pp.99-111.

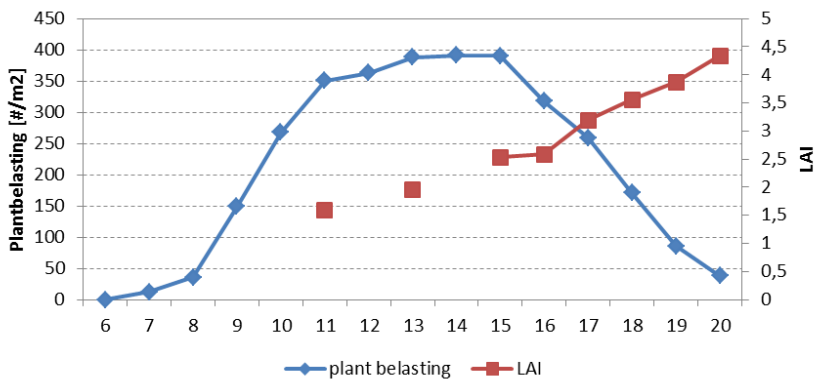
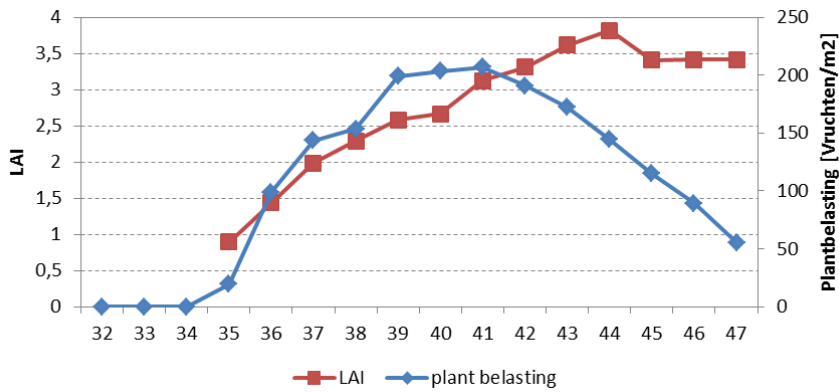
- Menzel, C. M. (2021).
A review of productivity in strawberries: marketable yield has a linear, but inconsistent relationship with total yield, and cannot be predicted from total yield. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(2), 135-144.
- Nadalini, S., Zucchi, P., & Andreotti, C. (2017).
Effects of blue and red LED lights on soilless cultivated strawberry growth performances and fruit quality. *Eur. J. Hortic. Sci*, 82(1), 12-20.
- Ohtaka, K., Yoshida, A., Kakei, Y., Fukui, K., Kojima, M., Takebayashi, Y., ... & Sakakibara, H. (2020).
Difference between day and night temperatures affects stem elongation in tomato (*Solanum lycopersicum*) seedlings via regulation of gibberellin and auxin synthesis. *Frontiers in plant science*, 11, 1947.
- Palmieri, L., Masuero, D., Martinatti, P., Baratto, G., Martens, S., & Vrhovsek, U. (2017).
Genotype-by-environment effect on bioactive compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4180-4189.
- Paroussi, G., Voyiatzis, D. G., Paroussis, E., & Drogoudi, P. D. (2002).
Growth, flowering and yield responses to GA3 of strawberry grown under different environmental conditions. *Scientia Horticulturae*, 96(1-4), 103-113. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00058-4)
- Perrotte, J., Guédon, Y., Gaston, A., & Denoyes, B. (2016).
Identification of successive flowering phases highlights a new genetic control of the flowering pattern in strawberry. *Journal of Experimental Botany*, 67(19), 5643-5655.
- Penning de Vries, F.W.T., 1975.
The cost of maintenance processes in plant cells. *Annals of Botany* 39: 77-92. <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1093/oxfordjournals.aob.a084919>
- Pyrotis, S., Abayomi, L., Rees, D., & Orchard, J. (2010, August).
Effect of temperature and humidity on strawberry firmness at two different sites in the Huelva region of Spain. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 926 (pp. 567-570).
- Qian, T., Elings, A., Dieleman, J.A., Gort, G., Marcelis, L.F.M., 2012.
Estimation of photosynthesis parameters for a modified Farquhar - von Caemmerer - Berry model using simultaneous estimation method and nonlinear fixed effects model. *Env. and Exp. Botany* 82: 66-73.
- Rantanen, M., Kurokura, T., Mouhu, K., Pinho, P., Tetri, E., Halonen, L., Palonen, P., Elooma, P. & Hytönen, T. (2014).
Light quality regulates flowering in FvFT1/FvTFL1 dependent manner in the woodland strawberry *Fragaria vesca*. *Frontiers in plant science*, 5, 271. Yoshida *et al.* 2016
- Rindom, A., & Hansen, P. (1995).
Effects of fruit numbers and plant status on fruit size in the strawberry. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences*, 45(2), 142-147.
- Slone, J. (2016, August)
Strawberry Pollination Basics. NC State Extensions website. <https://entomology.ces.ncsu.edu/small-fruit-insect-biology-management/strawberry-pollination-basics/>
- Sønsteby, A., Solhaug, K. A., & Heide, O. M. (2016).
Functional growth analysis of 'Sonata' strawberry plants grown under controlled temperature and daylength conditions. *Scientia Horticulturae*, 211, 26-33.
- Sønsteby, A., & Heide, O. M. (2007).
Long-day control of flowering in everbearing strawberries. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(6), 875-884.
- Sønsteby, A., & Heide, O. M. (2007).
Quantitative long-day flowering response in the perpetual-flowering F1 strawberry cultivar Elan. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(2), 266-274.
- Symons, G. M., Chua, Y. J., Ross, J. J., Quittenden, L. J., Davies, N. W., & Reid, J. B. (2012).
Hormonal changes during non-climacteric ripening in strawberry. *Journal of experimental botany*, 63(13), 4741-4750.
- Takeda, F., Glenn, D. M., & Stutte, G. W. (2008).
Red light affects flowering under long days in a short-day strawberry cultivar. *HortScience*, 43(7), 2245-2247.

- Tang, Y., Ma, X., Li, M., & Wang, Y. (2020).
The effect of temperature and light on strawberry production in a solar greenhouse. *Solar Energy*, 195, 318-328.
- Taylor, D. R. (2000, July).
The physiology of flowering in strawberry. In IV International Strawberry Symposium 567 (pp. 245-251).
- Taiz, L., Zeiger, E. (2010)
Plant physiology and development. 5th edition. Sunderland. Massachusetts, USA: Sinauer Associates, Inc.
- Tehraniifar, A., & Battey, N. H. (1996).
Comparison of the effects of GA3 and chilling on vegetative vigour and fruit set in strawberry. III International Strawberry Symposium 439, 627-632.
- Vromans (2007).
Kennissuitwisseling belichte aardbeiteelt. Lucel BV, Naaldwijk.
- Vromans (2010).
Kenniss uitwisseling ervaringen met LED verlichting in de aardbeienteelt. HortiNova.
- Wagstaffe, A., & Battey, H. N. (2006).
Characterisation of the thermodormancy response in the everbearing strawberry 'Everest'. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(6), 1086-1092.
- Wang, J. en H. Wang (2014).
Effects of shade on strawberries in hydroponic cultivation. *Acta Hort* (1049): 733-736.
- Wang, S.Y., & Camp, M., 2000.
Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae* 85: 183-199.
- Wietzke, A., Westphal, C., Gras, P., Kraft, M., Pfohl, K., Karlovsky, P., Pawelzik, E., Tschardtke, T. & Smit, I. (2018).
Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and marketable fruit quality. *Agriculture, ecosystems & environment*, 258, 197-204.
- Wingler, A. (2018).
Transitioning to the next phase: the role of sugar signaling throughout the plant life cycle. *Plant physiology*, 176(2), 1075-1084.
- Whitaker, V. M., Knapp, S. J., Hardigan, M. A., Edger, P. P., Slovin, J. P., Bassil, N. V, Hytönen, T., Mackenzie, K. K., Lee, S., & Jung, S. (2020).
A roadmap for research in octoploid strawberry. *Horticulture Research*, 7(1), 1-17.
- Yoshida, H., Mizuta, D., Fukuda, N., Hikosaka, S., & Goto, E. (2016).
Effects of varying light quality from single-peak blue and red light-emitting diodes during nursery period on flowering, photosynthesis, growth, and fruit yield of everbearing strawberry. *Plant Biotechnology*, 33(4), 267-276.
- Zahedi, S. M., & Sarikhani, H. (2016).
Effect of far-red light, temperature, and plant age on morphological changes and induction of flowering of a 'June-bearing' strawberry. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(4), 340-347.

Bijlage 1 Figuren fotosynthese



Figuur 13 De bladbedekkingsgraad (LAI) van een aardbeigewas in Kas2030 vanaf week 35 in 2019.



Figuur 14 De bladbedekkingsgraad (LAI) (en de plantbelasting) van een najaarsteelt met Elsanta (aug-dec 2017, boven) en voorjaarsteelt met Sonsation (jan-mei 2018, onder) in Delphy's IC (Bron: Helmus-Schuddebeurs et al. 2019).

Bijlage 2 Figuren en tabellen energiescenario's

Onbelichte doordragerteelt

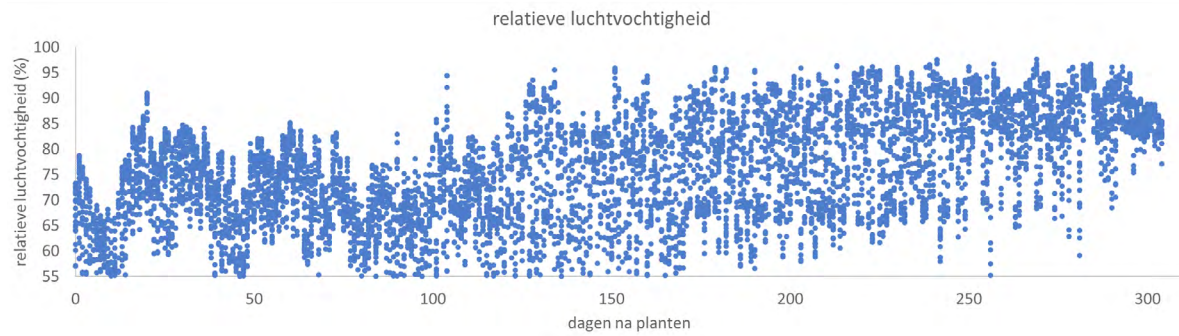
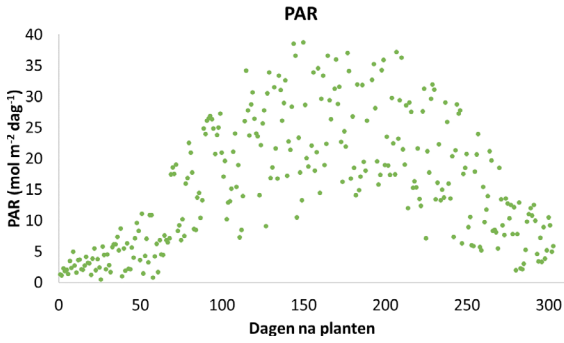
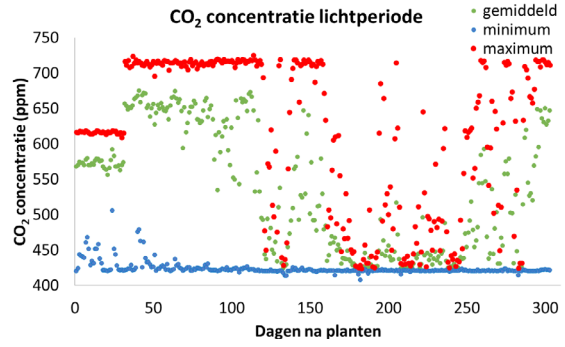
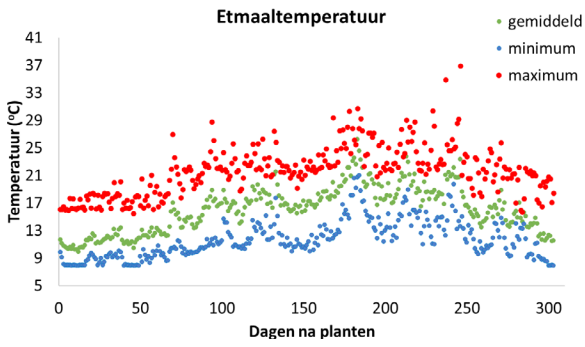
Setpoints

Tabel 8

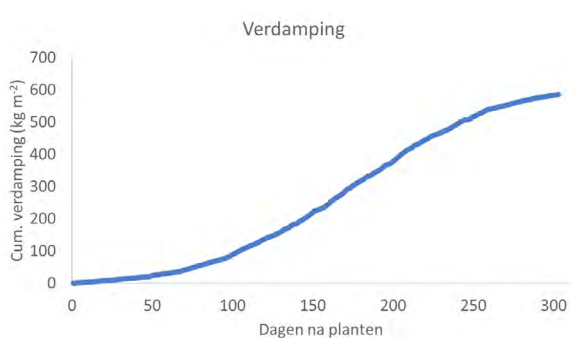
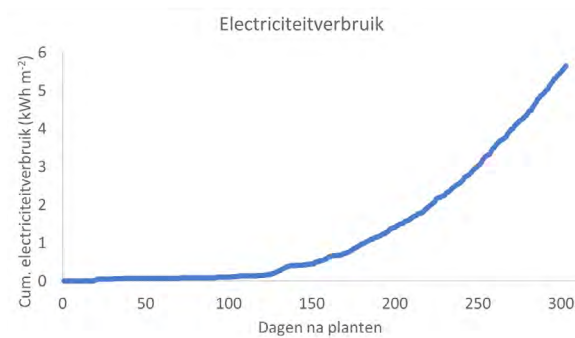
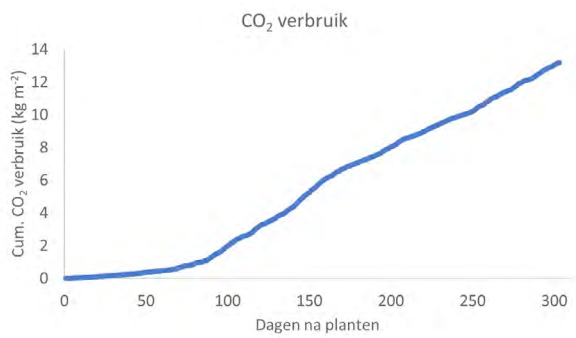
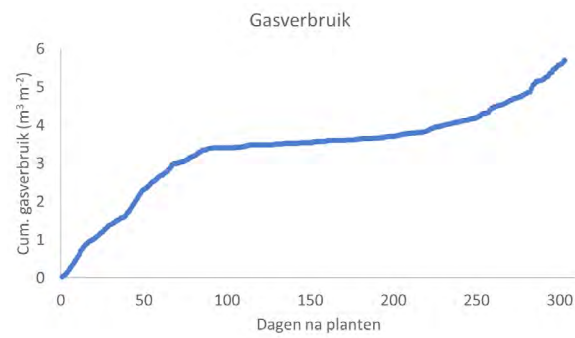
Beschrijving van de onbelichte doordragerteelt.

Setpoint		Dimensie	Waarde
Maximale zuivere CO ₂ doseercapaciteit		kg ha ⁻¹ h ⁻¹	100
Maximale rookgas CO ₂ doseercapaciteit			250
Maximale raamstand		%	100
Maximale buistemperatuur		°C	55
Scherf 1	type	Energie	Luxous 1147 FR
	Strategie dichttrekken schermen, relatie temperatuur - straling		1 jan e.v.: -10 200; 10 150 1 feb e.v.: -10 200; 15 50
Scherf 2	type	energie	Luxous 1147 FR
	Strategie dichttrekken schermen, relatie temperatuur - straling		-10 200; 10 5
Assimilatiebelichting	geen		
Actieve ventilatie	capaciteit	m ³ m ⁻² h ⁻¹	10
Verneveling	capaciteit	g m ⁻² h ⁻¹	200
	Minimum temperatuur	°C	22
Verwarming	Setpoints temperatuur	Datum, uur ten opzichte van zon op (rise, r) of zon onder (set, s), temperatuur	1 jan e.v.: r+0.5=8; r+5=16; s-1=16; s+2=8 1 april e.v.: r+0.5=8; r+5=16; s-1=16; s=8
	Straling verhoging	Datum, min/max straling, verhoging	1 jan e.v.: 75 250 2 1 april e.v.: 100 350 2 1 mei e.v.: 150 400 1 1 aug e.v.: 100 350 1 1 okt e.v.: 75 250 2
	Ventilatie offset	Datum, tijd, temperatuur offset voor ventilatie	1 jan e.v.: r=2; r+5=3; s-1=3; s+2=2 15 feb e.v.: r=2; r+5=2; s-1=2; s+2=2 1 mei e.v.: r=1; r+5=2; s-1=2; s+2=1
Luchtvochtigheid	Setpoints	%	r-1=84; r=82; s-1=82; s=84
CO ₂	Setpoints	Datum, tijd, ppm	1 jan e.v.: r+0.5=300; r+1=600; s-1=600; s=300 1 feb e.v.: r+0.5=300; r+1=700; s-1=700; s=300

Klimaat



Energieverbruik



Belichte doordragerteelt

Setpoints

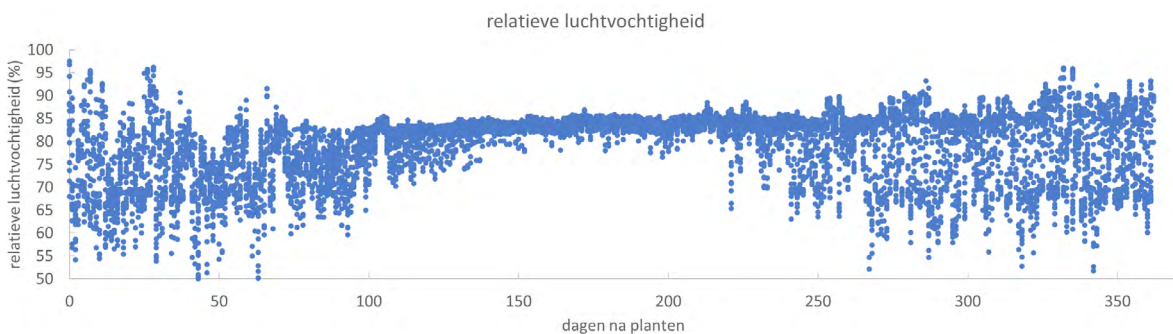
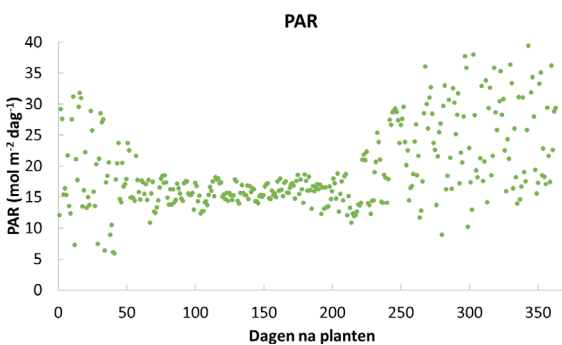
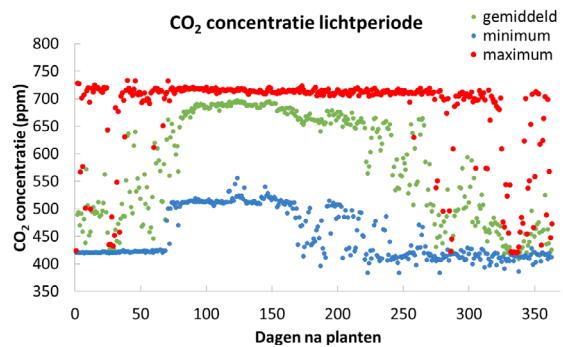
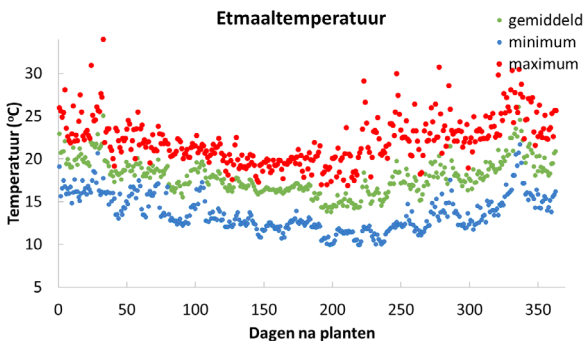
Tabel 9

Beschrijving van de belichte doordragerteelt.

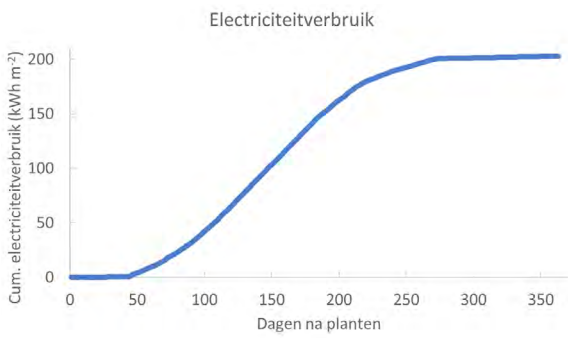
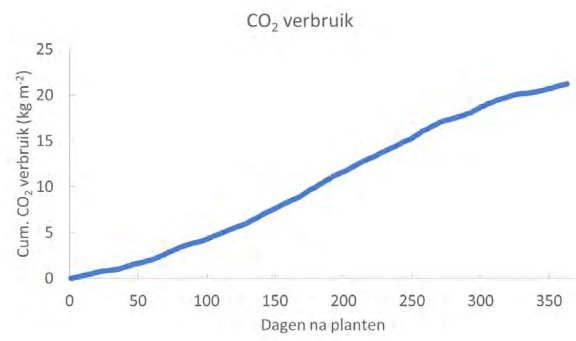
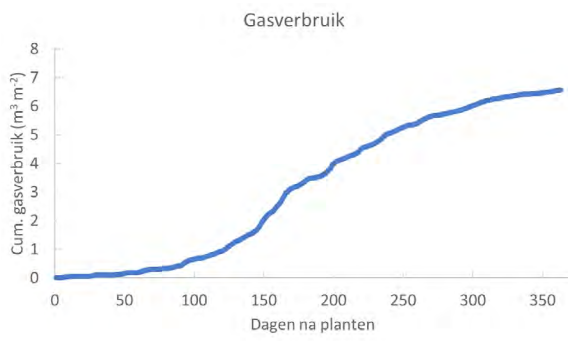
Kenmerk	eigenschap	Dimensie	Waarde
Maximale zuivere CO ₂ doseercapaciteit		kg ha ⁻¹ h ⁻¹	100
Maximale rookgas CO ₂ doseercapaciteit			250
Maximale raamstand		%	100
Maximale buistemperatuur		Datum, °C	1 mei e.v.: 45 15 nov e.v.: 55
Scherf 1	type	energie	Luxous 1147 FR
	Strategie dichttrekken schermen, relatie temperatuur - straling		-10 200; 15 20
Scherf 2	type	verduistering	Obscura 9530 WFR
	Strategie dichttrekken schermen, relatie temperatuur - straling		0 15; 10 5
Assimilatiebelichting	lichthoeveelheid	mmol m ⁻² s ⁻²	200
		uren dag ⁻¹	1 jan e.v.: 18 1 feb e.v.: 15 1 mrt e.v.: 12 1 april e.v.: 6 1 mei e.v.: 0 15 sep e.v.: 12 10 okt e.v.: 14 1 nov e.v.: 16 20 nov e.v.: 18
		eindtijd	1 jan e.v.: 16 1 april e.v.: 10 15 okt e.v.: 19 10 nov e.v.: 18
Actieve ventilatie	capaciteit	m ³ m ⁻² h ⁻¹	10
Verneveling	capaciteit	g m ⁻² h ⁻¹	200
	Minimum temperatuur	°C	22
Verwarming	Setpoints temperatuur	Datum, uur ten opzichte van zon op (rise, r) of zon onder (set, s), temperatuur	1 feb e.v.: 5=10; 8=16; 18=16; 20=10 1 april e.v.: 3=10; 6=16; 18=16; 20=10 1 mei e.v.: r-1=10; r+3=16; s=16; s+1=10 15 sep e.v.: 4=10; 7=16; s-1=16; s+1=10 1 okt e.v.: 4=10; 7=16; s-1=16; s+1=10 1 nov e.v.: 1=17; 17=17; 20=10; 23=10

Kenmerk	eigenschap	Dimensie	Waarde
	Straling verhoging	Datum, min/max straling, verhoging	1 jan e.v.: 75 250 2 1 april e.v.: 100 350 2 1 mei e.v.: 150 450 1 1 aug e.v.: 100 350 1 1 okt e.v.: 75 250 2
	Ventilatie offset	Datum, temperatuur offset voor ventilatie	1 jan e.v.: 2 15 april e.v.: 1 1 aug e.v.: 2
Luchtvochtigheid	Setpoints	Datum, tijd, %	1 maart e.v.: 5=84; 8=82; 18=82; 20=84 1 april e.v.: 3=84; 6=82; 18=82; 20=84 1 mei e.v.: r-1=84; r+3=82; s=82; s+1=84 15 sep e.v.: 4=84; 7=82; s-1=82; s+1=84 1 okt e.v.: 4=84; 7=82; s-1=82; s+1=84 1 nov e.v.: 1=84; 4=82; 17=82; 18=84
CO ₂	Setpoints	Tijd, ppm	r+0.5=300; r+1=700; s-1=700; s=300

Klimaat



Energieverbruik



Low-chill verse teelt

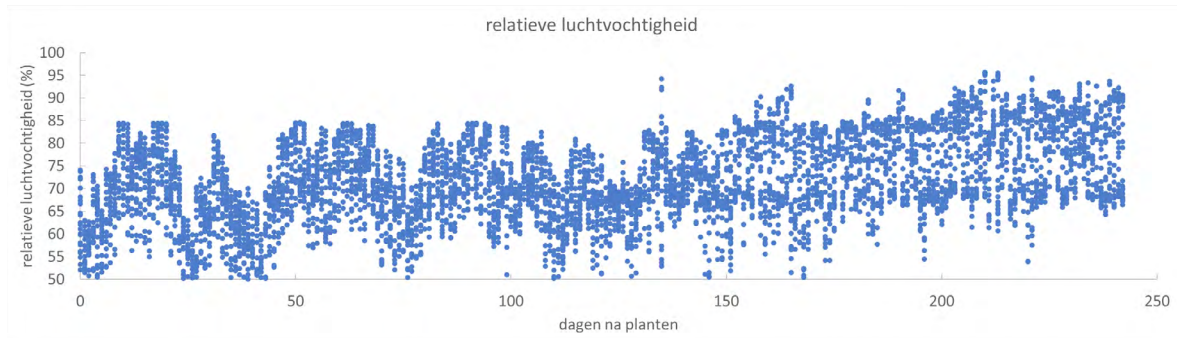
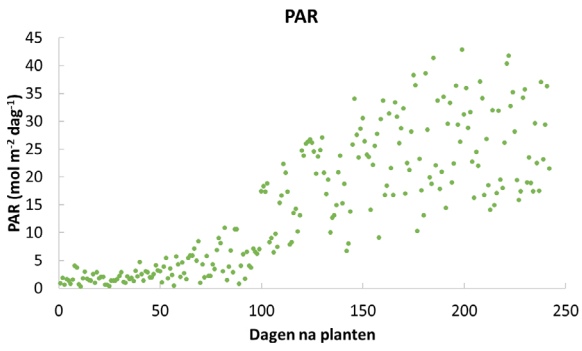
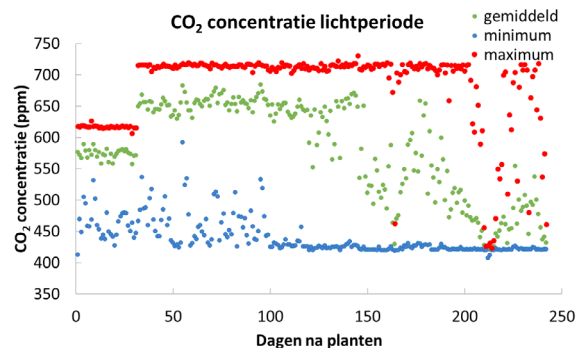
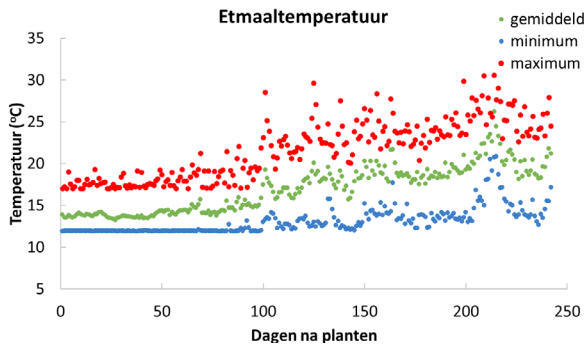
Setpoints

Tabel 10

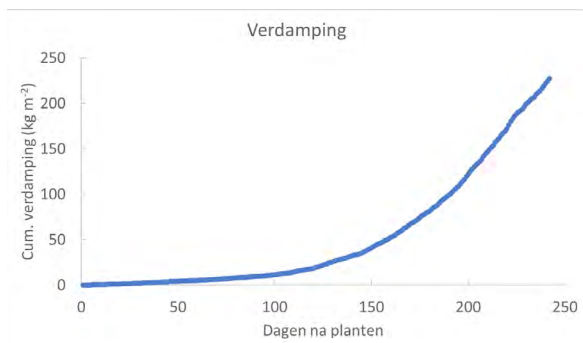
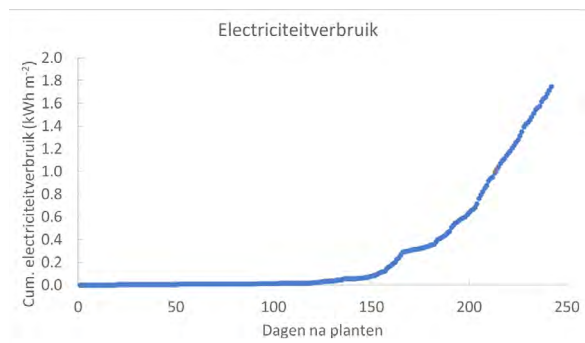
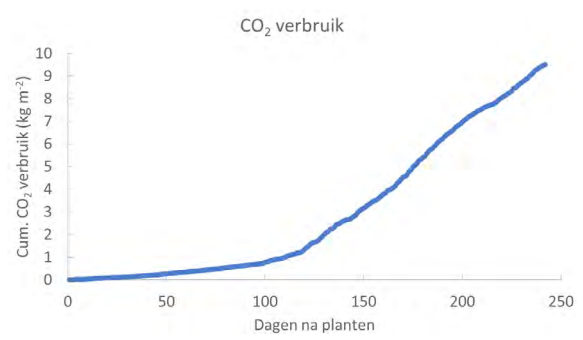
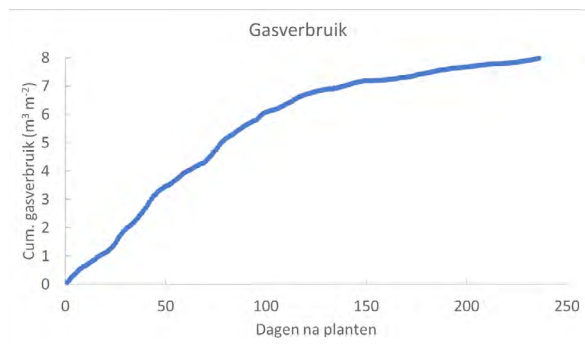
Beschrijving van de low-chill verse teelt.

Setpoint		Dimensie	Waarde
Maximale zuivere CO ₂ doseercapaciteit		kg ha ⁻¹ h ⁻¹	100
Maximale rookgas CO ₂ doseercapaciteit			250
Maximale raamstand		%	100
Maximale buistemperatuur		°C	55
Scherf 1	type	Energie	Luxous 1147 FR
	Strategie dichttrekken schermen, relatie temperatuur - straling	Datum, temperatuur, straling	15 jan e.v.: -10 300; 15 100 1 dec e.v.: -10 300; 10 150
Scherf 2	type	energie	Luxous 1147 FR
	Strategie dichttrekken schermen, relatie temperatuur - straling	Datum, temperatuur, straling	15 feb e.v.: -10 100; 10 5 1 dec e.v.: -10 150; 10 50
Assimilatiebelichting	Geen		
Actieve ventilatie	capaciteit	m ³ m ⁻² h ⁻¹	10
Verneveling	capaciteit	g m ⁻² h ⁻¹	200
	Minimum temperatuur	°C	22
Verwarming	Setpoints temperatuur	Datum, uur ten opzichte van zon op (rise, r) of zon onder (set, s), temperatuur	1 april e.v.: r-0.5=10; r+2.5=17; s-1=17; s=10 1 dec e.v.: r-0.5=12; r+2=17; s-1=17; s=12
	Straling verhoging	Datum, min/max straling, verhoging	1 maart e.v.: 100 300 2 1 april e.v.: 150 450 2 1 dec e.v.: 750 250 2
	Ventilatie offset	Datum, tijd, temperatuur offset voor ventilatie	1 maart e.v.: r-1=1; r+2=2; s=2; s+1=1 15 dec e.v.: r-1=2; r+2=3; s=3; s+1=2
Luchtvochtigheid	Setpoints	%	r-1=84; r=82; s-1=82; s=84
CO ₂	Setpoints	Datum, tijd, ppm	1 jan e.v.: r+0.5=300; r+1=700; s-1=700; s=300 1 dec e.v.: r+0.5=300; r+1=600; s-1=600; s=300

Klimaat



Energieverbruik



Bijlage 3 Samengevatte gevolgen van een lager energieverbruik

Lager temperatuursetpoint

Tabel 11

Gevolgen van een lager temperatuursetpoint voor de drie geanalyseerde teelten.

Kenmerk	Dimensie	Onbelichte doordragerteelt				Belichte doordragerteelt				Onbelichte low-chill verse teelt			
Setpoint aanpassing	°C	-0.5	-1	-1.5	-2	-0.5	-1	-1.5	-2	-0.5	-1	-1.5	-2
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	-0.4	-0.7	-1.0	-1.2	-0.7	-1.4	-2.0	-2.5	-0.6	-1.1	-1.6	-2.0
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	-0.3	-0.7	-1.0	-1.3	-0.3	-0.7	-0.9	-1.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	-0.6	-1.2	-1.6	-1.9	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0	-0.8	-1.5	-2.3	-2.9
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	0.3	0.5	0.8	1.0	-0.6	-1.2	-1.7	-2.2	-0.1	0.0	0.0	0.1
PAR	mol m ⁻²	-0.2	-0.3	-0.8	-0.7	1.2	2.5	3.7	4.9	0.3	1.1	1.3	1.2
Verdamping	kg m ⁻²	0.1	-0.7	1.0	-0.3	-4.1	-7.8	-11.5	-15.1	-8.6	-8.6	-10.9	-11.3
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	0.00	-0.01	-0.02	-0.03
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²					0.00	0.00	0.00	0.00				
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	0.02	0.04	0.08	0.11	-0.01	-0.02	-0.05	-0.09	0.00	-0.02	-0.04	-0.02
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	0.01	0.03	0.06	0.08	-0.02	-0.04	-0.07	-0.13	0.00	0.00	-0.03	-0.05
Temperatuursom seizoen	d°C	-60	-119	-174	-223	-206	-296	-382	-464	-66	-130	-193	-255
Gemiddelde etmaaltemperatuur	°C	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6	-0.8	-1.0	-1.3	-0.4	-0.7	-1.1	-1.4
Gemiddelde dag-temperatuur	°C	-0.2	-0.5	-0.7	-0.9	-0.9	-1.4	-1.7	-1.9	-0.4	-0.7	-1.1	-1.5
RV gemiddeld	%	0.0	0.0	0.1	0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7	0.2	0.1	0.3	0.5
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	-5.1	-10.2	-14.9	-19.0	-4.7	-9.1	-13.2	-17.1	-3.3	-6.8	-10.0	-13.5
Totale groei droog	kg m ⁻²	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
Versproductie cumulatief	kg m ⁻²	-0.1	-0.4	-0.4	-0.9	-0.7	-1.4	-2.1	-2.8	-0.2	-0.8	-1.0	-1.1

Hoger RV setpoint

Tabel 12

Gevolgen van een hogere relatieve luchtvochtigheid voor de drie geanalyseerde teelten.

Kenmerk	Dimensie	Onbelichte doordragerteelt				Belichte doordragerteelt				Onbelichte low-chill verse teelt			
		+1	+2	+3	+5	+1	+2	+3	+5	+1	+2	+3	+5
Setpoint aanpassing	%	+1	+2	+3	+5	+1	+2	+3	+5	+1	+2	+3	+5
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.7	-0.9	-1.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.4	-0.9	-1.4	-2.3	0.0	-0.1	-0.1	-0.3
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0	-0.8	-1.5	-2.3	-2.9
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.6	-1.1	-1.7	-2.2	-0.1	0.0	0.0	0.1
PAR	mol m ⁻²	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Verdamping	kg m ⁻²	-0.4	-0.8	-1.3	-1.7	-4.2	-8.2	-11.8	-17.8	-0.2	-0.4	-0.6	-0.9
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²					0.0	0.0	0.0	0.0				
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	-0.46	-0.92	-1.41	-2.70	-0.8	-1.6	-2.4	-3.9	-0.16	-0.32	-0.49	-0.82
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	-0.46	-0.92	-1.41	-2.70	-0.8	-1.6	-2.4	-3.9	-0.16	-0.32	-0.49	-0.82
Temperatuursom seizoen	d°C	3.5	5.9	8.0	16.6	-100.4	-86.7	-70.3	-38.4	0.0	0.1	0.2	0.6
Gemiddelde etmaal-temperatuur	°C	0.0	0.0	0.0	0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Gemiddelde dag-temperatuur	°C	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
RV gemiddeld	%	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	1.3	0.0	0.1	0.1	0.1
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	1.4	2.4	3.5	5.4	1.2	2.1	2.9	3.7	0.1	0.2	0.3	0.3
Totale groei droog	kg m ⁻²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Versproductie cumulatief	kg m ⁻²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3

Langer belichten

Tabel 13

Gevolgen van het langer belichten voor de belichte doordragerteelt.

Kenmerk	Dimensie	Belichte doordragerteelt		
		+1	+2	+3
Langer assimilatiebelichting	uren dag ⁻¹	+1	+2	+3
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	-0.2	-0.3	-0.5
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	0.8	1.7	2.6
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	-0.4	-0.7	-0.9
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-0.6	-1.2	-1.8
PAR	mol m ⁻²	129.7	263.0	404.9
Verdamping	kg m ⁻²	7.6	15.1	23.2
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.0	0.0	0.0
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²	0.0	12.1	24.5
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	0.1	0.1	0.1
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	12.2	24.6	37.7
		-95.7	-78.3	-58.9
Gemiddelde etmaaltemperatuur	°C	-0.3	-0.2	-0.2
Gemiddelde dagtemperatuur	°C	0.0	0.0	0.0
RV gemiddeld	%	0.0	0.0	0.0
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	0.3	1.2	1.6
Totale groei droog	kg m ⁻²	0.1	0.1	0.2
Versproductie cumulatief	kg m ⁻²	1.0	1.6	2.5

Een hogere lichtintensiteit

Tabel 14

Gevolgen van een hogere lichtintensiteit voor de belichte doordragerteelt.

Kenmerk	Dimensie	Belichte doordragerteelt		
		+20	+40	+60
Hogere intensiteit assimilatiebelichting	mmol m ⁻² s ⁻¹	+20	+40	+60
Gasverbruik	m ³ m ⁻²	-0.7	-1.3	-1.8
CO ₂ toediening	kg m ⁻²	0.4	0.8	1.2
CO ₂ overschot	kg m ⁻²	-0.6	-1.0	-1.1
CO ₂ tekort	kg m ⁻²	-1.0	-2.1	-3.3
PAR	mol m ⁻²	204	407	611
Verdamping	kg m ⁻²	7.8	15.6	23.8
Elektriciteit bevochtiging	kWh m ⁻²	0.0	0.0	0.0
Elektriciteit verlichting	kWh m ⁻²	19.6	39.3	58.9
Elektriciteit ontvochtiging	kWh m ⁻²	0.0	-0.1	-0.2
Elektriciteit totaal	kWh m ⁻²	19.6	39.2	58.7
		-112.1	-82.7	-53.7
Gemiddelde etmaaltemperatuur	°C	-0.2	-0.1	-0.1
Gemiddelde dagtemperatuur	°C	0.1	0.2	0.3
RV gemiddeld	%	-0.1	-0.2	-0.3
Gemiddeld CO ₂ niveau lichtperiode	ppm	-0.8	-1.5	-2.2
Totale groei droog	kg m ⁻²	0.1	0.1	0.2
Versproductie cumulatief	kg m ⁻²	0.7	1.4	1.8

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-1216

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten 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.