



Toekomstbeeld fossielvrij houtig kleinfruit

Een deskstudie

Jan Janse¹, Bart Jongenelen², Gondy Heijerman², Mark van Hoogdalem¹, Frank Kempkes¹,
Stijn Jochems² en Pieter de Visser¹

1. Wageningen University & Research, 2. Delphy B.V.

Rapport WPR-1148

Referaat

In een door Kas als Energiebron gefinancierde bureaustudie, zijn WUR en Delphy nagegaan wat de mogelijkheden zijn van fossielvrij telen bij houtig kleinfruit onder glas. Hiervoor zijn onder meer gesprekken gevoerd met telers. Naast een beschrijving van de huidige situatie in houtig kleinfruit, is er een literatuurstudie verricht waarin resultaten op een rij zijn gezet van binnen- en buitenlands onderzoek bij bramen en frambozen, die vooral betrekking hadden op klimaatfactoren. Mede op basis hiervan is getracht een visie te geven op een fossielvrije toekomst van houtig kleinfruit en welke maatregelen telers van bramen en frambozen hiervoor zouden kunnen nemen. Ook is een aantal kennishiaten met betrekking tot houtig kleinfruit benoemd.

Abstract

In a desk study financed by Kas als Energiebron, WUR and Delphy investigated the possibilities of fossil-free cultivation of woody soft fruit under glass. To this end, discussions were held with growers. In addition to a description of the current situation in woody berries, a literature study was conducted in which the results of national and international research on blackberries and raspberries, which mainly related to climate factors, were listed. Partly on the basis of this, an attempt has been made to provide a vision of a fossil-free future for woody soft fruit and what measures growers of blackberries and raspberries could take to achieve this. A number of knowledge gaps with regard to woody berries have also been identified.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1148

Projectnummer: 3742312100

BO-nummer: BO-53-004-077-WPR

DOI: <https://doi.org/10.18174/570976>

Thema: Kasklimaat en energie

Dit project is gefinancierd vanuit het programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma voor energiebesparing en verduurzaming in de glastuinbouw van Glastuinbouw Nederland en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

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
2	Beschrijving huidige situatie m.b.t. houtig kleinfruit	9
2.1	Huidige situatie houtig kleinfruitsector	9
2.1.1	Arealen per HKF-gewas	9
2.1.2	Beschrijving situatie HKF algemeen in 2021	11
2.1.3	Huidige situatie op bedrijven van geïnterviewde HKF-telers	12
3	Literatuurstudie braam en framboos	15
3.1	Twee typen framboos en braam/fysiologie	15
3.1.1	Floricanes	15
3.1.2	Primocanes	15
3.1.3	Klimaatverandering en plantontwikkeling	16
3.2	Opkweek en bewaring plantmateriaal	16
3.2.1	Opkweekmethode	17
3.2.2	Potgrootte	17
3.2.3	Toepassing van middelen tegen schimmels	18
3.2.4	Inkoeling en koeling van plantmateriaal	18
3.2.5	Teeltsysteem en plantdichtheid	19
3.2.6	Belichting/lichtintensiteit	20
3.2.6.1	Braam	20
3.2.6.2	Framboos	22
3.2.6.3	Lichtintensiteit en fotosynthese bij framboos en braam	22
3.2.7	Lichtspectrum	24
3.2.7.1	Productie en kwaliteit	24
3.2.7.2	Fotosynthese	24
3.2.8	Daglength	24
3.2.9	Fotosynthese over de dag	25
3.2.10	Temperatuur	26
3.2.10.1	Vroegheid bloei en productie	26
3.2.10.2	Fotosynthese	26
3.2.10.3	Verloop temperatuur in winterperiode met belichting	27
3.2.11	Luchtvochtigheid	28
3.2.12	CO ₂	29
3.2.13	Invloed plantarchitectuur en ras op fotosynthese	30
3.2.13.1	Bladleeftijd	30
3.2.13.2	Bladpositie	30
3.2.13.3	Plantbelasting	30
3.2.13.4	Rasverschillen	31
3.2.14	Kastype en -bedekking	32
3.2.14.1	Plastic folie versus vollegrond	32
3.2.14.2	Noppenfolie versus praktijkteelt onder glas	33
3.2.14.3	Diffuus glas	33
3.2.15	LAI	34
3.2.16	Lichtbenuttingsefficiëntie (LBE), drogestofgehalte en refractie	34
3.2.17	Drogestofverdeling generatief/vegetatief	35
3.2.18	Producties	36
3.2.18.1	Braam	36
3.2.18.2	Framboos	36

3.3	Enkele vruchtafwijkingen	37
3.3.1	Rode bollen na de oogst bij braam	37
3.3.2	Witte bollen	41
3.4	Belangrijkste punten uit de literatuurstudie	42
4	Visie fossielvrije teelt van houtig kleinfruit	43
4.1	Verwachte areaalontwikkeling in houtig kleinfruit	43
4.1.1	Arbeid	43
4.1.2	Rassen	43
4.1.3	Plantmateriaal	43
4.1.4	Concurrentie	43
4.2	Hoe fossielvrij telen?	44
4.2.1	Verneveling	44
4.2.2	Schermen en kasdek	44
4.2.3	Temperatuur	45
4.2.4	Diffuus maken	45
4.2.5	Ontvochtiging	45
4.2.6	Temperatuurstrategie	45
4.2.7	CO ₂	46
4.2.8	Biobrandstoffen	46
4.2.9	Alternatieve warmtebronnen	46
	4.2.9.1 Warmte vanuit belichting	46
	4.2.9.2 Terugwinnen van warmte bij ontvochtiging	47
	4.2.9.3 Verwarmingsoppervlak (VO)	47
4.3	Fossielvrije HKF-teelt in het kort	47
4.4	Kennishiaten i.r.t. fossielvrij telen van HKF	48
	Literatuur	51

Samenvatting

In een door Kas als Energiebron gefinancierde bureau studie, is nagegaan wat de mogelijkheden zijn van fossielvrij telen bij houtig kleinfruit (HKF) onder glas. Hiervoor zijn onder meer gesprekken gevoerd met telers. Naast een beschrijving van de huidige situatie in HKF, is er een literatuurstudie verricht waarin resultaten op een rij zijn gezet van binnen- en buitenlands onderzoek bij bramen en frambozen, die vooral betrekking hebben op klimaatfactoren. Mede op basis hiervan wordt een visie gegeven op een fossielvrije toekomst van HKF en hoe een fossielvrij bedrijf met bramen en frambozen er dan uit zou kunnen zien. Ook is een aantal kennishiaten met betrekking tot HKF benoemd.

Resultaten uit literatuurstudie

Zowel bij framboos als braam wordt er momenteel rond de 30 ha onder glas of in tunnels geteeld. Bij 2 teelten per jaar worden er bij braam en framboos producties gerealiseerd van respectievelijk ongeveer 10 en 4-7 kg/m². Hoewel er een grote variatie tussen telers in teeltwijze is, wordt bij braam meestal een ca. 2°C hogere temperatuur gehandhaafd dan bij framboos. Voor een rendabele (fossielvrije) teelt is goed plantmateriaal een vereiste; dit heeft nog duidelijk verbetering.

Bij een toenemende hoeveelheid groeilicht tot 150 µmol/m²/s in een winterteelt, is de productie beter. Voor de fotosynthese ligt volgens de literatuur, het lichtverzadigingspunt van bramen en frambozen ongeveer tussen de 500 en 1500 µmol/m²/s en is afhankelijk van o.a. het ras en teeltperiode. Erg hoge instralingsniveaus kunnen de vruchtkwaliteit benadelen. In tegenstelling tot bij framboos, verhoogt diffuus glas sterk de productie bij braam. De temperatuur heeft een duidelijke invloed op de ontwikkelingssnelheid, maar slechts weinig op de fotosynthesesnelheid.

Uit metingen bleek de fotosynthese bij CO₂-concentraties boven de 500 ppm slechts weinig toe te nemen. Zeker bij beperkt licht, lijkt een hoger CO₂-gehalte dan 800 ppm weinig zin te hebben. Afhankelijk van de mate van ventilatie, verdwijnt er bij hogere streefwaardes dan 600 ppm ook relatief veel CO₂ via de luchtramen naar de buitenlucht. Bramen en frambozen vertonen in de middag veelal een daling in de fotosynthese: hiermee kan bij het doseren rekening gehouden worden als CO₂ bij fossielvrij telen slechts beperkt beschikbaar en duur is. In een LED-belichtingsproef met framboos leidde 10 keer zoveel doseren tot een gemiddelde CO₂-concentratie van 775 t.o.v. 460 ppm, maar tot slechts 3% productiewinst.

Een hoge RV bevordert meestal de vruchtgrootte, maar kan negatief uitpakken voor de bestuiving en houdbaarheid. Het gebruik van hogedrukverneveling onder droge omstandigheden lijkt wel positief. Bij een toenemende plantbelasting, neemt de fotosynthese in het blad toe, dus de plant gaat dan efficiënter met het licht om. De LAI in houtig kleinfruit kan 7 m²/m² of zelfs hoger zijn, wat hoogstwaarschijnlijk ten koste van de efficiëntie gaat. Bij braam en framboos gaat ongeveer 50% van de geproduceerde drogestof naar de vruchten. De lichtbenuttingsefficiëntie ligt bij braam en framboos resp. rond de 2.9 en 1.7 g vers vruchtwicht per mol PAR-licht. Via de veredeling zou dit verder verbeterd kunnen en ook moeten worden. Het verschijnsel bij braam van rode bolletjes na de oogst, wordt vrijwel uitsluitend veroorzaakt door handling.

Naar een fossielvrij bedrijf van houtig kleinfruit

In een toekomstige fossielvrije situatie zullen de energieprijzen waarschijnlijk hoog zijn. Hierbij moet gedacht worden aan zo'n € 1 euro per m³ voor (bio)gas en € 0.20 tot 0.25 per kWh voor elektriciteit.

Een fossielvrij HKF-bedrijf zou er dan als volgt uit kunnen zien: het bedrijf heeft diffuus glas, 3 schermen, actieve ontvochtiging met terugwinning van warmte, groeilicht van LEDs met beperkte lichtintensiteit (max. 150 µmol/m²/s) bij een belichtingsduur van zo'n 14 uur, beperkt CO₂ doseren, hogedrukverneveling, in elk geval in de winter matige etmaaltemperaturen en een gewas met een beperkte bladhoeveelheid. Met een klein beetje warmte uit een WarmteKoudeOpslag (WKO) via zonthermie zou een HKF-teler dan ver kunnen komen. Als een WKO niet mogelijk is, dan via een aansluiting op geothermie. Als dit allemaal niet kan, dan zal een teler genoeg moeten nemen met lage temperaturen als het buiten erg koud is. Dit alles zoveel mogelijk met behoud van productie en kwaliteit.

1 Inleiding

Evenals bij aardbeien vindt er bij houtig kleinfruit (HKF), met name bij bramen en frambozen, een verschuiving plaats van de vollegrondsteelt naar bedekte teelt onder kappen, in plastic tunnels of onder glas. Deze verschuiving gaat samen met de ontwikkeling naar jaarrond beschikbaarheid van Nederlands product. De verwachting is dat door o.a. klimaatverandering dit verder toe zal nemen. Bij de teeltwijze onder glas wordt er veel naar de omstandigheden in de buitenteelt gekeken, waardoor de vertaling naar binnen veel warmte-input kan vragen. Een voorbeeld is het streven naar grote verschillen tussen dag- en nachttemperatuur. De kostprijs en het energiegebruik per kg product is voor een kasteelt duidelijk hoger dan voor een teelt onder bijvoorbeeld regenkappen en daarom moet de kasteelt optimaal verlopen. Zo zijn er nog veel vragen over het juiste temperatuurregime, luchtvochtigheid, gewenst CO₂-niveau en lichtintensiteit in verschillende gewasstadia, daglengte, lichtonderschepping in relatie tot o.a. padbreedte en plantafstand, opkweekstrategie van het plantmateriaal voor de kasteelt, meest geschikte ras, biologische bestrijding, weerbaarheid, enz..

De afgelopen jaren zijn er in het kader van Kas als Energiebron zowel bij Delphy Improvement Centre (Delphy IC) als door Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen (WUR-Glas), een aantal kasproeven met HKF uitgevoerd. Deze gaven op een aantal vragen oplossingsrichtingen aan, maar ze maakten ook duidelijk dat er bij deze gewassen nog heel veel niet bekend is. Wil de kasteelt van HKF onder glas toekomst hebben, dan zal deze teelt verder geprofessionaliseerd moeten worden. Er ontbreekt bij deze gewassen nog veel basiskennis over groei en ontwikkeling tijdens de opkweek- en productiefase. Deze kennis is belangrijk om in de nabije toekomst fossielvrij te kunnen telen. Het is gewenst om de huidige (praktijk)kennis en onderzoeksresultaten op een rij te zetten, een toekomstbeeld te schetsen van een fossielvrije teelt van HKF onder glas en kennishiaten hiervoor te benoemen.

Daarom is in opdracht van en financiering door Kas als Energiebron door WUR-Glas en Delphy een project uitgevoerd i.v.m. een toekomstige fossielvrije teelt van HKF.

Het project streeft naar het definiëren van een fossielvrije en duurzame glasteelt van houtig kleinfruitgewassen met (zeer) beperkt CO₂-verbruik en -uitstoot, met gebruikmaking van reeds uitgevoerd onderzoek.

De doelstellingen waren:

1. Toekomstbeeld: schetsen van een toekomstbeeld van een duurzame, fossielvrije teelt van HKF-gewassen. De nadruk lag hierbij op bramen en frambozen.
2. Kennisinventarisatie: inventariseren en samenbrengen van onderzoeksresultaten en praktijkkennis die van belang zijn voor een fossielvrije teelt van HKF.
3. Benoemen kennishiaten: benoemen van hiaten in kennis om een duurzame, energiearme en fossielvrije teelt van deze gewassen in de praktijk mogelijk te maken.

In het kader van dit onderzoek is een online bijeenkomst met telers, vertegenwoordigers van het bedrijfsleven, voorlichters en onderzoekers georganiseerd. Tevens zijn telers bezocht en geïnterviewd en zijn de resultaten tijdens een online bijeenkomst gepresenteerd en besproken. Daarnaast is via een literatuuronderzoek zoveel mogelijk onderzoeksinformatie en praktijkkennis verzameld in relatie tot het onderwerp.

In dit rapport wordt allereerst een beschrijving gegeven van de huidige situatie in de HKF-sector. Daarna wordt verslag gedaan van in de literatuur gevonden resultaten van Nederlands en buitenlands onderzoek met HKF en ervaringen in de praktijk, indien mogelijk in relatie tot fossielvrij telen. Tevens wordt ingegaan op de verschijnselen van rode en witte bolletjes, die op vruchten op kunnen treden. Vervolgens wordt ingegaan op de mogelijkheden van een duurzame en fossielvrije HKF-teelt en wordt een aantal kennishiaten benoemd.

2 Beschrijving huidige situatie m.b.t. houtig kleinfruit

In dit hoofdstuk wordt een schets gegeven van de huidige situatie in de HKF-sector. In Hoofdstuk 4 wordt een toekomstbeeld geschetst van een mogelijk fossielvrije teelt van houtig kleinfruit.

2.1 Huidige situatie houtig kleinfruitsector

2.1.1 Arealen per HKF-gewas

De HKF-sector is een diverse sector. Allereerst vanwege de verschillende gewassen:

- Blauwe bes.
- Braam.
- Framboos.
- Kruisbes.
- Rode bes.
- Zwarte bes.
- Overige bessen als: witte bes, aalbessen, etc.

Naast de verschillende gewassen is er een diversiteit in teeltsystemen. Op hoofdlijnen zijn dit:

- Vollegrondsproductie.
- Productie in (potten met) organisch substraat onder regenkappen.
- Productie in (potten met) organisch substraat onder glas.
- Plantopkweek in organisch substraat.



Figuur 1 Framboos onder regenkappen (foto Delphy ISFC)

Het grootste aandeel van de HKF-sector is van de open teelten. Dit zijn vollegrondsteelten, met name blauwe bes, rode bes, zwarte bes en overig HKF. Het zijn veelal extensieve teelten, waarbij blauwe bes in een rug met substraat in de grond geplant wordt. Braam en framboos worden voornamelijk in potten met organisch substraat onder regenkappen geteeld en worden beschouwd als intensieve teelten. Naast de verschuiving van onbedekt naar bedekt, wordt er in HKF op diverse plaatsen geëxperimenteerd met teelt onder zonnepanelen. Omdat een gedeelte van het zonlicht wordt weggenomen, kan dit onder zeer zonnige omstandigheden en hoge temperaturen voordelen voor het gewas en vruchtkwaliteit opleveren, maar aan de andere kant kan dit bij weinig instraling de productie verminderen. Dit laatste is uiteraard afhankelijk van de situering van de panelen ten opzichte van het gewas en de mate van lichtdoorlatendheid van de gebruikte panelen. Momenteel lopen hiernaar verschillende onderzoeken.

In Tabel 1 zijn de arealen weergegeven van de verschillende HKF-gewassen in de vollegrond.

Tabel 1

Arealen houtig kleinfruit (HKF) openteelt (Bron: CBS).

HKF-gewas	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Groei in areaal afgelopen 5 jaar
HKF open teelt	1.613	1.627	1.743	1.868	1.859	1.761	9%
Blauwe bes	737	777	832	934	949	920	25%
Bramen	36	28	38	43	42	51	42%
Frambozen	151	202	250	259	252	193	28%
Rode bessen	258	263	283	311	324	336	30%
Zwarte bessen	352	277	234	224	206	160	-55%
Overig HKF	79	80	106	98	85	71	-10%

Deze arealen zijn exclusief opkweek van HKF. Exacte arealen hiervan zijn niet bekend bij het CBS en vallen formeel onder boomkwekerij. Naar schatting wordt er in Nederland op 500-600 ha frambozen en bramen in substraat vermeerderd, waarvan het gros is bedoeld voor export.

In Tabel 2 is de ontwikkeling in glasareaal van de afgelopen van 2017 t/m 2020 van HKF onder glas zichtbaar.

Tabel 2

Arealen van houtig kleinfruit onder glas (Bron: CBS).

Kop	2017	2018	2019	2020	Groei in areaal afgelopen 3 jaar
Bramen	29	31	32	25	-14%
Frambozen	32	26	30	29	- 9%

In de tabel is te zien dat HKF onder glas een kleine sector betreft. Braam en framboos schommelen rond de 30 ha totaal per gewas. Daarnaast is rode bes met een geschat areaal van 5-10 ha een noemenswaardige gewasgroep onder glas. De gemiddelde bedrijfsgrootte is kleiner dan 1 ha, namelijk braam 0.93 ha en framboos 0.97 ha per bedrijf.

De tunnelteelten houtig kleinfruit vallen buiten de analyse van het CBS. Definitie van een folietunnel is een volledig sluitbaar systeem onder folie. Regenkappen voldoen hier niet aan, aangezien deze open stroken tussen de kappen en zijanten bevatten. Tunnelsystemen gaan van low-tech tunnels van 2,5 m hoog tot high-tech foliekassen met verwarming en automatisering. Naar schatting is er in Nederland 10-15 ha tunnelteelten HKF. Deze worden grotendeels benut voor de productieteelt van framboos en in mindere mate voor braam, rode bes en blauwe bes.



Figuur 2 Teelt van framboos onder zonnepanelen (Bron: Frambozen gedijen onder zonnepanelen - Nieuwe Oogst).

2.1.2 Beschrijving situatie HKF algemeen in 2021

Framboos en braam zijn de intensievere teelten in het HKF waarbij de vruchtproductie voornamelijk bedekt plaatsvindt. Dit varieert in regenkappen, tunnels en in glazen kassen. Onder glas en in tunnels/tunnelkassen worden bij braam en framboos twee plantingen per jaar uitgevoerd, namelijk een voorjaars- en najaarsproductieteelt. De productie onder regenkappen wordt gebruikt voor afzet in de zomer in Nederland.

Framboos

Bij framboos ligt de nadruk naar verhouding vrij zwaar op de teelt onder regenkappen/vollegrond, namelijk 190-200 ha onder regenkappen/vollegrond tegenover zo'n 30 ha onder glas- en in tunnelsystemen. De frambozenrassen die in Nederland geteeld worden onder glas en in tunnels zijn: Kwanza, Lagorai (afzetorganisatie The Greenery) en Sapphire (extra goed smakende framboos afzetorganisatie Berry World). Productieniveaus liggen in het voorjaar tussen de 2,5-4,0 kg/m² en in het najaar tussen de 1,5-3,0 kg/m². Eén teelt duurt ongeveer 18-22 weken, afhankelijk van de gekozen teeltstrategie. Hierin is een tweedeling te maken. De eerste is een geforceerde strategie om onbelicht vroeg op de markt te komen met Nederlands product. De tweede strategie is een rustigere aanpak, waarbij in de tweede helft van januari geplant wordt en het productieverloop aansluit op de buitenproductie onder regenkappen. Met name de laatste strategie wordt toegepast op bedrijven met zowel productie onder glas/tunnels als regenkappen.

Braam

Braam wordt in verhouding tot framboos weinig onder regenkappen geteeld, 40-50 ha onder regenkappen t.o.v. ca. 25 ha onder glas. Het bramenras dat in Nederland voornamelijk geteeld wordt is Loch Ness en als niche in het voorjaar Loch Tay. Daarbij zijn de afzetgebonden rassen ofwel clubrassen meer in opmars: Von (The Greenery) en Midnight (Berry World). Het nieuwe ras Sweet Royalla is niet afzetgebonden, maar wordt door een aantal afzetpartijen momenteel sterk gepromoot. Het ras Victoria (Driscoll's) wordt minder geteeld in Nederland vanwege de afname van het aantal Driscoll's-telers. Onbelichte bramenteelt onder glas bestaat uit een voorjaarsplanting eind december/begin januari en een najaarsplanting in juli. Bij de teelt van braam wordt er via verwarming geforceerd geteeld vanwege de lange teeltduur. Het teeltseizoen van onbelicht is echter vrij krap om beide teelten leeg te kunnen oogsten en de teelt onder glas is niet interessant genoeg om te beperken tot één planting.

Kas en klimaat

De kasinrichting varieert sterk tussen bedrijven. De groep die onder hightech geschaard mag worden, heeft vaak een poothoogte van 4,5 tot 5,5 m met een rijafstand variërend van 1,6 tot 2,0 m. De planten staan in potten veelal op de grond en in enkele gevallen op laag liggende of laag hangende goten. Deze kassen zijn veelal uitgerust met verwarming (buisrail tussen de rijen), energiescherm en dak-beregening of hogedrukverneveling. Het gros van de telers maakt nog gebruik van het krijten of coaten van het dek en relatief weinig van zomerschermen. Het coaten/krijten wordt gedaan vanwege het risico op vruchtverbranding en het mogelijk sluiten van de huidmondjes. Door het coaten/krijten wordt echter continu veel licht weggenomen, wat tijdens dagen met weinig instraling of aan de randen van de dag tot een lagere fotosynthese leidt. Belichting in HKF wordt voor vruchtproductie met name toegepast in braam. In Nederland is dit ongeveer 3-4 ha, wat 10-15 % van het bramenareaal onder glas betekent. In lichtintensiteit varieert dit tussen de 130-150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, zowel SON-T belichting als hybride belichtingsinstallaties. Er is bij framboos momenteel één bedrijf dat een frambozenteelt met SON-T belichting realiseert, waarbij in november wordt geplant.

De klimaatstrategie bij framboos is na planten vrij rustig. Het plantmateriaal komt in potten binnen met stengels ofwel canes met een x-aantal knoppen. De planten worden veelal overgeplant en er wordt rustig opgestart om zoveel mogelijk knoppen mee te trekken. Dit betreft een stookstrategie met een dag- en nachttemperatuur van resp. 16 en 8°C. Na de "bud-break" wordt er bij de aanwezigheid van twee sets bladeren op de lateraal meer snelheid gemaakt, waarbij de nachttemperaturen verhoogd worden en op de dag meer met stralingsinvloeden wordt gewerkt. De laatste jaren wordt er gebruik gemaakt van een kleinere DIF om de strekking van de lateralen te beperken, waarbij dezelfde stralings-/temperatuurverhouding (RTR) gehanteerd wordt. Vlak voor de oogst wordt de nachttemperatuur teruggebracht voor een maximale uitgroei van de vruchten. Daarbij wordt er dan vaak gebruik gemaakt van een coating of krijt. In enkele gevallen wordt er een zomerscherm gebruikt. In de teelt van bramen ligt de etmaalstrategie hoger dan bij framboos. Bij framboos schommelen de etmalen vaak tussen de 14 en 20 graden. De strategie voor braam is in grote lijnen hetzelfde, maar hier worden hogere etmalen gehanteerd in vergelijking met framboos. De teeltduur van braam is langer en de hogere etmalen zijn noodzakelijk om in een jaar twee plantingen te realiseren. Etmalen liggen hier tussen de 16 en 22°C, waarmee de warmtevraag ook hoger is dan in framboos.

In hightechkassen en tunnelsystemen wordt CO₂ gedoseerd, waarbij de doseercapaciteit erg uiteenlopend is. Dit varieert van geen CO₂ naar alleen CO₂ van de ketel en/of vloeibare CO₂-installatie, wat dan neerkomt op doseervolumes van 50-150 kg CO₂ per ha/uur. Tot slot zijn er bedrijven met een zeer hoge doseersnelheid, al dan niet mede door het bezit van een WKK, waarbij de doseercapaciteit op kan lopen tot 250-350 kg CO₂ per ha/u. Het dek van de kas en tunnels is meestal helder. Diffuus glas of folie wordt steeds vaker toegepast of wordt diffuus gemaakt door het opbrengen van een diffuse coating.

Overige HKF-gewassen worden beperkt onder glas en tunnelsystemen geteeld. Een gering areaal rode bes dient op de bedrijven voor versproductie en arbeidsspreiding. Dit gebeurt veelal in verouderde kassen met geen of beperkte verwarmingsmogelijkheden. Blauwe bessen worden voornamelijk nog buiten geteeld.

2.1.3 Huidige situatie op bedrijven van geïnterviewde HKF-telers

Voor de inventarisatie van de situatie in 2021 is er gesproken en gediscussieerd met zes telers van HKF-teeltbedrijven. Gezamenlijk vertegenwoordigen deze bedrijven zo'n:

- 16.5 ha HKF onder glas.
- 7.5 ha HKF in tunnels.
- 15 ha HKF onder regenkapten.
- 20 ha HKF vollegrond/openteelt op substraat (inclusief opkweek).

De verschillen in bedrijfsuitrusting en teeltwijze tussen de bezochte HKF-bedrijven waren erg groot. Deze bedrijven waren echter zodanig uitgekozen dat er een grote variatie/range van bedrijven zou zijn. Het geeft daarmee een goed beeld van wat momenteel de situatie is op HKF-bedrijven. Een aantal telers probeert door op verschillende tijdstippen te planten in diverse kastypen en vollegrond met verschillende teeltstrategieën, een zo continu mogelijke productie te realiseren i.v.m. de afzet en arbeidsfilm.

In Tabel 3 is een samenvatting gegeven van de globale klimaatinstellingen en gasverbruiken bij 6 geënuquêteerde HKF-telers.

Tabel 3

Gasverbruiken en enkele klimaatinstellingen bij de 6 bezochte bedrijven.

Parameter	A	B	C	D	E	F
Gasverbruik (m ³ /m ² /jaar)	15 ¹⁾	25 ¹⁾ en 8-10 ²⁾	10-15 ¹⁾	0 tot 20 ¹⁾	28 ¹⁾	20-25 ¹⁾ 3) 40-45 ¹⁾ 4)
Streefwaarde CO ₂ (ppm)	5)	1000 ⁶⁾	600-800 ⁷⁾	tot 1000 ⁶⁾	900-1000 ⁷⁾	500-600 ³⁾ 6) 900-1000 ⁴⁾ 6)
Doseersnelheid CO ₂ (kg/ha/u)		350 ⁶⁾ tot geen ⁷⁾	WKK + zuivere CO ₂	200-135	200-250 (WKK) 55 (zuivere CO ₂)	150-200
Belichtingsintensiteit (μmol/m ² /u)	-	-	150 ⁸⁾	150 ⁸⁾	-	150
Minimumbuis (°C)	nvt	tot 40	35-40 ⁹⁾	30-50	35-40	35-40
Minimumventilatie (%)	Ja ¹⁰⁾	Altijd 3% ⁶⁾	10% luw+wind bij >5°C	vocht-afhankelijk	vocht-afhankelijk	vochtafh. bij VD: Dag>2.5, Nacht>1.5

- 1) Glas
- 2) Folie
- 3) Zonder groeilicht
- 4) Met groeilicht
- 5) Heteluchtkachels
- 6) Braam
- 7) Framboos
- 8) Proef met LED
- 9) Tijdens bloei van 5.00 tot 10.00 uur
- 10) Als er blad aan plant zit

De gasverbruiken zijn afhankelijk van het gewas, ras, type kas en verwarming en teeltwijze/-strategie. De verbruiken variëren van 8 m³/m² in een foliekas met framboos tot 45 m³/m² gas met een belichte teelt met braam onder glas. Soms wordt er helemaal geen gas gebruikt, bijv. bij bedrijf D. Ook bij de nagestreefde CO₂-niveaus is de variatie groot en varieert de gewenste CO₂-concentratie van 500 tot 1000 ppm. De grote variatie geldt ook voor de doseersnelheid. Eén teler doseert bij framboos geen CO₂, omdat er bij de betreffende teler twijfels zijn over het effect hiervan op de productie.

Op één bedrijf wordt een flink deel van de bramen belicht met SON-T. Twee bedrijven hebben in een klein gedeelte van de kas als proef LED-lampen hangen, waarvan één bedrijf in het winterseizoen van 2021-2022 een grotere oppervlakte met LEDs belicht. Alle bedrijven met buisverwarming houden afhankelijk van het gewasstadium en luchtvochtigheid een minimumbuis aan, vaak in combinatie met minimumventilatie.

3 Literatuurstudie braam en framboos

In dit rapportgedeelte worden de resultaten van de literatuurstudie beschreven, indien mogelijk met het oog op fossielvrij telen. Over fossielvrij telen bij HKF was de informatie in de literatuur echter zeer summier, omdat fossielvrij telen pas recent in beeld is.

3.1 Twee typen framboos en braam/fysiologie

Bij framboos (*Rubus idaeus*) en braam (*Rubus fruticosus*) kan men twee typen met een verschillende levenscyclus onderscheiden.

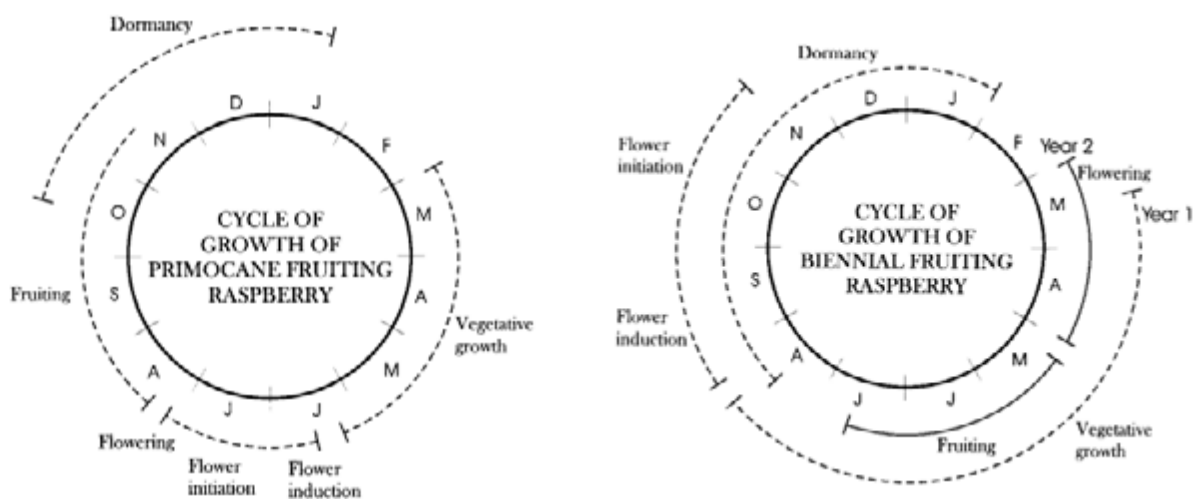
3.1.1 Floricanes

Vanouds worden er veelal rassen geteeld met een tweejarige cyclus, waarbij de bloei en vruchtdracht aan de stengels ofwel canes 2 jaar beslaat. Dit type wordt floricane genoemd.

Bij floricanes vindt de knopdifferentiatie plaats onder invloed van korter wordende dagen en lagere temperaturen. Boven de 16°C blijven de meeste framboosrassen van dit type, onafhankelijk van de daglengte, vegetatief groeien. Tussen 12 en 16°C stoppen ze met groeien en worden bloemprimordia gevormd als de daglengte korter wordt dan 15 uur. Dit gebeurt in onze streken van eind augustus tot half december. Bij temperaturen onder de 12°C stopt de vorming van bloemprimordia en dit is onafhankelijk van de daglengte. Om de rust of dormantie na bloeminitiatie weer te doorbreken, is bij framboos een temperatuur tussen de -5 tot +5°C optimaal. Voor het volledig doorbreken van de rust en het stimuleren van de bloei langs de hele cane is ca. 20 weken nodig (Sønsteby en Heide, 2020). De koudebehoefte om de winterrust of dormantie te doorbreken is zowel bij braam, framboos als aardbei rasafhankelijk (Takeda, in Hall en Funt, 2017 p. 36; Sønsteby en Heide, 2020).

3.1.2 Primocanes

Het andere type wordt primocane of herfstbraam en -framboos genoemd, waarbij zowel de scheutgroei, bloeminitiatie, bloei als de vruchtdracht in één seizoen worden gerealiseerd. Dit type heeft geen koude nodig voor initialisatie van bloemen. Bij primocane framboosrassen vindt er nog bloei plaats bij temperaturen van 27 of zelfs tot 30°C. De bloeminitiatie wordt bij de meeste rassen binnen dit type wel verhoogd bij een lange dag (Carew *et al.* 2003; Sønsteby en Heide, 2009; 2010; 2020). Zo vonden Sønsteby en Heide (2009) dat de bloei-inductie bij het ras Polka wat werd vervroegd door een daglengte van 11 en 14 uur in vergelijking met 8 en 17 uur, dus de optimale daglengte zat rond de 14 uur. Koude, ofwel chilling, verbetert en vervroegt meestal wel de bloei (Keep, 1988).



Figuur 3 Schematisch overzicht van groeicycli bij framboos van éénjarige primocanes (links) en tweejarige floricanes (rechts) (Carew et al. 2000).

Fysiologisch gezien zijn primo- en floricanes dus verschillend. Er zijn echter ook tussenvormen mogelijk, dus rassen die in één jaar enkele vruchten aan de scheuttop geven en de rest van de knoppen slapend of 'dormant' worden en die pas in het daaropvolgende jaar vruchten geven nadat ze koude hebben gehad (Carey et al. 2000; Sønsteby en Heide, 2009).

3.1.3 Klimaatverandering en plantontwikkeling

Frambozenrassen met een lage koudebehoefte ('low chill'-rassen), die onder de meeste klimaatomstandigheden groeien, zullen volgens Pitsioudis, Odeurs en Meesters (2009) in de nabije toekomst in het voordeel zijn. Ook bij aardbei staan de laatste tijd low chill-rassen meer in de belangstelling. Door stijgende buitentemperaturen in de herfst a.g.v. klimaatverandering zal de bloeminitiatie vertraagd worden en ook het aantal geïnduceerde bloemen en daarmee de potentiële productie lager worden bij koudebehoefte rassen. Te weinig koude tijdens de dormancie, veroorzaakt een tragere plantreactie, onregelmatige budbreak, minder lateralen met vruchten in een bedekte teelt en dus een lagere productie. Het koude tekort kan niet helemaal vervangen worden door bewaring van het plantmateriaal bij een lage temperatuur onder de 0°C.

3.2 Opkweek en bewaring plantmateriaal

In verschillende onderzoeken komt naar voren dat het plantmateriaal zowel bij bramen als frambozen vaak te heterogeen is, er duidelijke verschillen in productie tussen diverse herkomsten van het plantmateriaal zijn en dat de stengels of canes vooral bij langdurige bewaring veel rot als gevolg van schimmelvorming kunnen vertonen (Heijerman en Eldik, 2020; Janse et al. 2021; 2022). Hierdoor is het soms moeilijk om voldoende hoge producties in kasteelten te realiseren. Door de hoge kostprijs van teelten in de kas, zeker van belichte teelten, is het zeer belangrijk om tijdens de opkweek te werken aan goed en uniform plantmateriaal. Vegetatief vermeerderen vergroot sowieso de kans op heterogeen plantmateriaal in vergelijking met teelt uit F1-hybride zaad, zoals bij vruchtgroenten. Evenals bij aardbei kan de groei van het plantmateriaal o.a. beïnvloed worden door de voeding. Met name in België zijn door Proefcentrum Fruitteelt (PCFruit) in Sint Truiden de laatste jaren diverse onderzoeken uitgevoerd naar de optimalisering van de opkweek en bewaring van houtig kleinfruit. Enkele recente onderzoeksresultaten worden hieronder samengevat.

3.2.1 Opkweekmethode

De opkweekmethode bij braam blijkt van invloed te zijn op de productie. Er is door PCFruit (2021) bij Loch Ness een vergelijking gemaakt tussen opkweek onder regenkappen en buiten, maar met 3 verschillende aanplantssystemen: V-haag dubbel, V-haag alternerend en enkele rij (zie Figuur 4).

V-haag dubbel, V-haag alternerend, enkele rij



Figuur 4 Aanplantssystemen in braam.

Het percentage niet uitgelopen knoppen was bij de dubbele v-haag (met en zonder regenkappen) significant hoger en de stengeldiameter significant kleiner dan bij de andere behandelingen. De totale productie was significant het hoogst met het grootste aandeel klasse I-vruchten bij planten die onder een regenkap waren opgekweekt in een enkele rij of alternerende v-haag.

Ook bij framboos (Kwanza) blijkt de opkweekmethode van invloed te zijn op de productie. Er is een vergelijking gemaakt tussen opkweek onder regenkappen en buiten, met 2 verschillende aanplantssystemen: enkele rij en v-haag dubbel. De planten opgekweekt onder regenkappen gaven betrouwbaar hogere producties, echter de productie van klasse I was vergelijkbaar bij de 2 aanplantmethodes. Er was een betrouwbaar hoger percentage dubbele vruchten in de planten welke waren opgekweekt onder regenkappen. Het gebruik van regenkappen bevordert dus de productie bij zowel braam als framboos en heeft bij braam een positieve invloed op de vruchtkwaliteit (PCFruit, 2021).

3.2.2 Potgrootte

Zowel bij braam als framboos is door PCFruit (2021) de invloed van de potgrootte tijdens de opkweek met al dan niet ompotten in een grotere pot bij het opplanten in de productiefase onderzocht. Bij de braam Loch Ness bleek de behandeling 'continu in 2 L-potten' (opkweek + productie), de productie te verlagen en ook een relatief hoog percentage klasse 2 vruchten te geven ten opzichte van wel ompotten in 10 L-potten of opkweek in 5 L-potten al dan niet verpot. Opkweek in 5 L-potten en daarna al dan niet ompotten in 10 L-potten, gaf een wat hogere productie met het laagste percentage klasse 2. Continu in 10-L potten gaf geen meerproductie ten opzichte van de vorige behandelingen in 5 L-potten, maar wel een hoger percentage klasse 2-vruchten. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4

Resultaten experiment potgrootte in Loch Ness met inzetdatum 28-7-2020 (PCFruit, 2021).

Object	kg/pl	kg/m ²	%	50% oogst	Klasse I (%)	Klasse II (%)	Rood (%)	Uitval (%)
2 L	1,66 (b)	2,04 (b)	70	26/10/2020	73 (b)	23 (a)	2	2 (a)
2 L verpot + H2Gro	2,12 (a)	2,58 (a)	88	26/10/2021	77 (ab)	19 (ab)	3	1 (b)
2 L verpot	2,17 (a)	2,65 (a)	90	29/10/2020	77 (ab)	19 (ab)	2	1 (ab)
5 L	2,34 (a)	2,84 (a)	97	2/11/2020	80 (a)	15 (b)	3	1 (ab)
5 L verpot+ H2Gro	2,41 (a)	2,93 (a)	100	2/11/2020	81 (a)	15 (b)	3	1 (ab)
5 L verpot	2,35 (a)	2,85 (a)	97	2/11/2020	83 (a)	13 (b)	3	1 (b)
10 L	2,25 (a)	2,75 (a)	94	2/11/2020	75 (b)	20 (a)	3	2 (a)

Bij framboos (Kwanza) is er niet omgepot, maar groeiden er 1 of 2 planten in 2 L-potten, 2 of 3 planten in 5 L-potten of 2 of 3 planten in 10 L-potten. In de productieteel was de plantdichtheid overal gelijk. De productie nam toe naarmate de potten groter waren, maar per potgrootte had het aantal planten per pot geen invloed op de productie per m² (zie Tabel 5). Dit kwam door een fors lagere productie per plant bij meer planten per pot. Het laagste percentage klasse 2 was bij 1 plant in een 2 L-pot en het hoogste percentage klasse 2 bij 3 planten in een 10-L pot.

Tabel 5

Resultaten onderzoek potgrootte met framboos Kwanza met inzetdatum 13-05-2020 (PCFruit, 2021).

Object	kg/pl	%	kg/m ²	%	50% oogst	Klasse I (%)	Klasse II (%)
2L 1 plant	2,23 (a)	100	2,73 (c)	60	10/08/2020	74 (a)	9 (c)
2L 2 planten	1,11 (de)	50	2,71 (c)	59	10/08/2020	67 (ab)	15(bc)
5L 2 planten	1,58 (c)	71	3,85 (b)	84	24/08/2020	67 (ab)	19 (b)
5L 3 planten	1,00 (e)	45	3,66 (b)	80	12/08/2020	66(ab)	20 (b)
10L 2 planten	1,82 (b)	82	4,45 (a)	97	10/08/2020	60 (b)	22 (b)
10L 3 planten	1,25 (d)	56	4,57 (a)	100	24/08/2020	54 (b)	31 (a)

3.2.3 Toepassing van middelen tegen schimmels

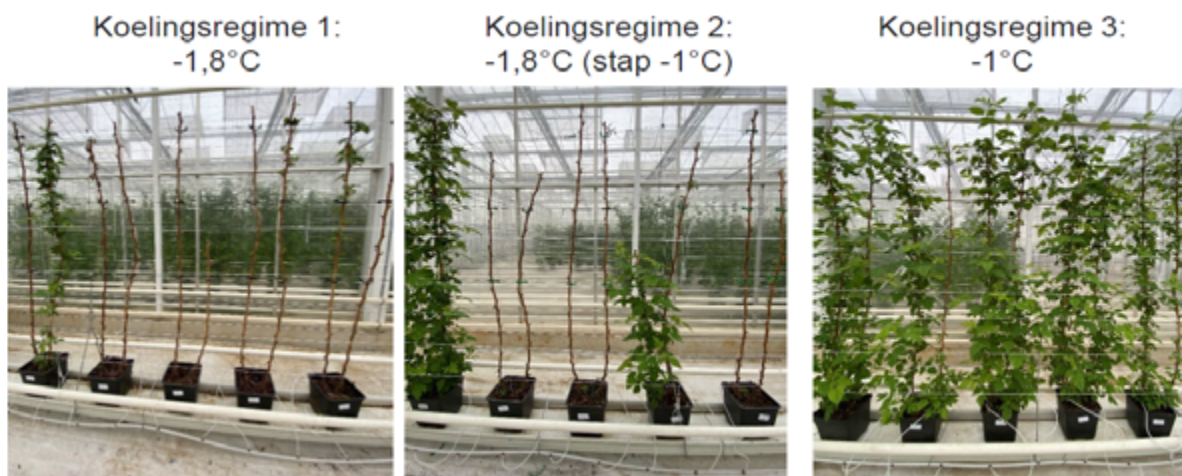
Uitval van planten of delen van planten door een aantasting van met name botrytis (*Botrytis cinerea*) op de canes gedurende de bewaarperiode, kan een grote invloed hebben op de productie tijdens de productiefase. Tijdens de opkweek kunnen diverse gewasbeschermingsmiddelen worden gebruikt voordat de planten worden ingepakt voor de bewaring.

Door PCFruit (2021) zijn bij braam en framboos diverse afspruitmiddelen en toepassingsfrequenties onderzocht. Na een bewaarperiode van 7.5 maand van Loch Ness canes, bleek het bespuiten tijdens de opkweek met 3 x Scala of een combinatie van 1 x Switch en 1 x Delan, de hoogste productie te geven. Afspruiten met een combinatie van 3 x Signum en 1 x Flint, bleek bij braam een vergelijkbare productie te geven als de controle. In eenzelfde onderzoek bij framboos (Kwanza), was deze laatste behandeling juist weer wél positief voor de productie.

3.2.4 Inkoeling en koeling van plantmateriaal

De vochtigheid van de pot is bij frambozenplanten van invloed op de duur van het invriezen van de potten en dus op het energiegebruik. Dit bleek uit Belgisch onderzoek uitgevoerd door Proefcentrum Fruitteelt. Natte potten met 50% vocht deden er bij het inkoelen 17 uur langer over om tot 0°C te komen in vergelijking tot droge potten met 39% vocht (PCFruit, 2021). Dat betekent dus dat het inkoelproces bij vochtiger potten wat meer energie zal kosten.

Zowel bij frambozen (Kwanza) als bramen (Loch Ness) bleek een koelingstemperatuur van -1°C betere resultaten te geven dan met een tussenstap koelen naar -1°C en vervolgens naar -1.8°C of ineens koelen tot -1.8°C. In de productiefase was het aantal uitgelopen knoppen bij deze behandelingen resp. 79, 71 en 37% (zie ook Figuur 5). Dit leidde tot een veel lagere productie bij de planten die bewaard waren bij -1.8°C (PCFruit, 2021). Bewaring bij -1°C is dus beter dan bij -1.8°C en zal dus minder koelenergie vergen.



Figuur 5 Foto's (van links naar rechts) van de knopuitloop bij de behandelingen van koeling bij resp. direct naar -1.8°C , -1.8°C met tussenstap naar -1°C of direct naar -1°C (foto's PCFruit, 2021).

In Nederland is er momenteel één belichte frambozenteler (René Simons) die Kwanza-planten vanaf begin september ca. 10 weken in een koelcel bewaard bij $+1.5^{\circ}\text{C}$ en daarna een belichte teelt in de kas uitvoert. Door deze werkwijze kan de bloei vervroegd worden en start de bloei in een belichte teelt begin januari. Goede bewaaromstandigheden zijn essentieel om het aantal door botrytis aangetaste knoppen en cane-gedeeltes beperkt te houden (Janse *et al.* 2021; PCFruit, 2021).

3.2.5 Teeltsysteem en plantdichtheid

Een voller gewas geeft minder lichttoetreding binnenin het gewas, minder luchtcirculatie, ongunstiger microklimaat, moeilijker oogsten, minder doordringing bij gewasbespuitingen en meer kans op (schimmel) ziekten. Met name door een betere lichtonderschepping geeft een aparte opkweek van floricanes i.p.v. gecombineerd primocanes laten groeien samen met productiecane's, veel meer productie (Pitsioudis, Odeurs en Meesters, 2009).

Heuvel, Sullivan en Proctor (2000) onderzochten in een teelt in de vollegrond bij het sterk groeiende frambozenras Titan een haag-, V-trelly- en een éénzijdig hijsbaar systeem in combinatie met canedichtheden van resp. 9, 16, 23 en 30 canes/m^2 . Hierbij werden ook de primocanes aan de planten aangehouden en de floricanes en primocanes werden elk naar één kant geleid. De lichttoetreding bleek het beste bij een V-trellystelsysteem. De hoogste productie werd gerealiseerd in het 2^e onderzoeksjaar bij het V-trellystelsysteem (gem. over 4 plantdichtheden 7.3 kg/m^2). Als de canedichtheid toenam met 1 cane/m^2 , nam de productie bij het V-trellystelsysteem gemiddeld met 162 g/m^2 toe als gevolg van meer, maar wel kleinere vruchten. Dit ging ook gepaard met een wat lagere refractie: per 10 extra canes, 0.23°Brix lager.

In een proef in Noorwegen gaf een dichtheid van 10 stengels in een V-haag een 40% hogere opbrengst dan 6 stengels in een V-haag. Het effect van 10 stengels op de groei en productie in het volgende seizoen was ten tijde van de presentatie, nog niet bekend (Van Eck, 2005).

Het lijkt erop dat frambozen ondanks een hoge blad/vrucht verhouding, source gelimiteerd zijn (Carew *et al.* 2000). Het weghalen van primocanes tijdens de productie aan de floricanes in hetzelfde seizoen, verhoogde namelijk de productie (Freeman *et al.* 1989).

De mate van budbreak lijkt afhankelijk te zijn van de mate van assimilatenreserves in de cane. Normaal ontwikkelt zich bij braam één vruchtdragende lateraal of scheut per bladoksel, maar meer kan ook, dan ontwikkelen zich zowel primaire, secundaire als soms ook tertiaire scheuten. Een voorbeeld hiervan is het ras Loch Ness. Hierdoor kan de productie van dit ras in een glazenkas (zonder assimilatiebelichting) in het voor- en najaar resp. tot 6 en 4.5 kg/m² bedragen, dus maximaal ruim 10 kg/m² per jaar (Pitsioudis, Odeurs en Meesters, 2009). Per lateraal kan het aantal bloemen, afhankelijk van het ras en teeltsysteem, variëren van 5 tot meer dan 40 (Strik, 2017). Bij Loch Ness kunnen er in hetzelfde jaar zonder koudebehandeling van dezelfde planten twee oogsten plaatsvinden door de lateralen die vruchten gedragen hebben, terug te snoeien tot na de laatste bloemen/vruchten of na het 2^e bladoksel (Pitsioudis, Odeurs en Meesters, 2009). Hierdoor gaan de knoppen in het overgebleven gedeelte van de lateralen of hoofdstengel uitlopen en worden nieuwe lateralen gevormd. Ongeveer 2 maanden later vormen zich hieraan vruchten. De productie kan, evenals de kwaliteit, echter minder zijn dan bij nieuw geplante bramen. Zo lag in een onderzoek in een herfstteelt de productie bij de behandeling met teruggesnoeide lateralen in vergelijking met gekoelde planten, op resp. ca. 4 en 4.5 kg/m². Het percentage klasse 1-vruchten lag echter op resp. 46 en 75%, dus het aandeel klasse 2 lag bij terugsnoeien veel hoger (Kerbusch, Boonen en Bylemans, 2015).

Door floricanes van braam één keer op 50 cm te toppen (2 à 5 cm er al halen) en later de zijscheuten ook op 50 cm te toppen, was de productie 2 tot 3 maal zo hoog dan bij de standaard van 1 x toppen van de primocanes op 50 cm hoogte (Thompson *et al.* 2009).

3.2.6 Belichting/lichtintensiteit

Een hoger stralingsniveau in de periode wanneer de bloeminitiatie en -ontwikkeling plaatsvindt (juni/juli), had in een Amerikaans onderzoek bij enkele vruchtdragende primocane frambozenrassen, ondanks een gemiddeld hoger vruchtgewicht, een negatieve invloed op de productie door een lager aantal vruchten per cane (Privé *et al.* 1993). Een (te) hoge instraling in de zomermaanden kan dus ongunstig zijn, mede door negatieve effecten op de vruchtkwaliteit (zie Paragraaf 3.3). Aan de andere kant hoeft licht wegnemen in de lichtrijke maanden bij framboos nog niet direct tot een lagere productie te leiden (Fernandez en Pritts, 1996).

Maar zeker bij een teelt in de donkere maanden, is bij toepassing van top- en/of tussenbelichting, de productie bij bramen en framboos vrijwel steeds hoger bij meer licht (Helmus-Schuddebeurs en Heijerman, 2019; Janse *et al.* 2021; 2022; Rivas *et al.* 2021).

In de volgende paragrafen wordt bij braam en framboos een aantal onderzoeken besproken die de afgelopen jaren door de WUR in Wageningen en Delphy en WUR-Glas in Bleiswijk, zijn uitgevoerd. In deze winterteelten is het immers mogelijk om een belangrijk deel van de warmte, die benodigd is voor het gewas, van de lampen te gebruiken. Dit is in principe een fossielvrije oplossing, mits de stroom fossielvrij is opgewekt.

3.2.6.1 Braam

Belichtingsonderzoek WUR 2017

Bij een dicht gewas als braam, wordt het licht vanaf de top snel gedempt en is er onderin het gewas relatief veel verrood ten opzichte van rood licht. Door beide factoren wordt de knopuitloop geremd. Een braam heeft over de hele stengel wel 20 tot 25 actieve meristemen, waaruit lateralen kunnen groeien (Rivas, Liu en Heuvelink, 2021). Deze onderzoekers hebben bij het bramenras Anabel van Driscoll's in een planting van half februari, behandelingen met 2 en 4 strengen LED-modules met een lichtintensiteit van resp. 93 en 185 µmol/m²/s, vergeleken met onbelicht. De productie lag bij de 2 behandelingen met tussenbelichting resp. 79 en 122% hoger dan bij onbelicht, wat voor 75% werd verklaard uit de uitloop van meer lateralen. Het gemiddeld vruchtgewicht was bij de hoogste lichtintensiteit slechts 5% hoger en de verschillende lichtintensiteiten hadden geen invloed op het drogestof- of suikergehalte.

De maximale fotosynthesesnelheid van de bladeren bij 4 LED-modules was in maart en mei rond de 50% hoger dan bij de onbelichte planten.

Bij 2 en 4 strengen met LEDs bedroeg de procentuele meerproductie aan geoogst product bij 1% extra licht resp. 3.5 en 2.7%, maar dit verschil werd mede veroorzaakt door meer ongeogste, nog groene vruchten aan het einde van de eerste teelt bij de onbelichte behandeling. Maar als deze groene vruchten (aantallen) wel werden meegenomen, dan betekende 1% meer licht 1% meer productie.

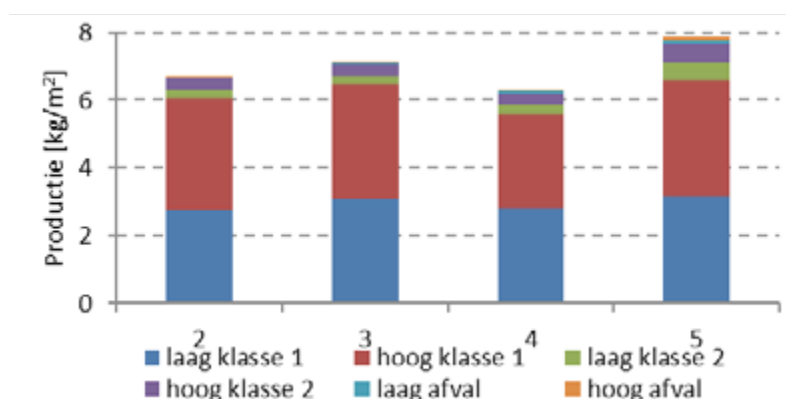
Na terugsnijden van de lateralen in de 2^e helft van juli tot op één bladoksel onder het laatste bladoksel met vruchten (zie ook Paragraaf 3.2.5), is de proef in de herfst voortgezet. Hierbij werd bij alle behandelingen tussenbelichting met 2 strengen met in totaal 93 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ toegepast. De productie was bij de beide lichtbehandelingen van het voorjaar nog steeds hoger, namelijk resp. 10 en 36% hoger dan bij onbelicht. De productie in de herfst was gemiddeld over de 3 behandelingen bijna de helft lager dan in de 1^e teelt (Rivas *et al.* 2018; Rivas, Liu en Heuvelink, 2021).

Belichtingsonderzoek Delphy 2017-2018

Op het Delphy Improvement Centre (Delphy IC) is in 2017-2018 een onderzoek uitgevoerd met 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED-toplicht en 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ LED-tussenlicht in twee hoogtes. Dat is samen 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De start was op 20 november en in de eerste 6 weken werd een gemiddelde etmaaltemperatuur van 16 °C aangehouden en vervolgens 18°C. De belichtingsduur was maximaal 18 uur. Het ras Lochness met een koude behandeling van een maand kwam twee weken eerder in productie, maar produceerde uiteindelijk iets minder dan Lochness zonder koudebehandeling (direct van het opkweekveld), namelijk resp. 7.0 en 7.2 kg/m². In de loop van de teelt nam het vruchtgewicht af. Vruchten groeiden niet maximaal uit en toonden 'nooddriep': rode bollen, hoge stevigheid, een zure smaak en lastig te plukken omdat ze erg vast aan de plant zaten. Dit werd onder andere toegeschreven aan een suboptimale vochthuishouding met soms lage RV's bij relatief hoge temperaturen. Het gebruik van hogedrukverneveling zou volgens de onderzoekers hiervoor een oplossing kunnen zijn (Helmus-Schuddebeurs *et al.* 2018; Van Velden, 2018).

Belichtingsonderzoek Delphy 2018-2019

In een vervolgonderzoek met braam bij Delphy IC werden er in 2018-2019 verschillende behandelingen met top- en tussenlicht met LEDs uitgevoerd. De belichtingsduur was 16 uur (van 6:00 □ 22:00) met afschakeling van de belichting bij 300 W/m². In Figuur 6 zijn de productieresultaten bij de verschillende behandelingen weergegeven.



Figuur 6 Klassering van vruchten hoog en laag in de plant per behandeling: 2 = 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ top-LED; 3 = 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ top-LED; 4 = 145 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ top-LED + 55 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussen-LED; 5 = 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ top-LED + 110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussen-LED (Helmus-Schuddebeurs en Heijerman, 2019).

Als alleen naar de klasse 1-vruchten wordt gekeken, dan bleek er weinig verschil te zijn tussen de behandeling met 145 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ top- + 55 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussen-LED of 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ top- + 110 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ tussen-LED. De meerproductie in de laatste behandeling was vooral het gevolg van de oogst van meer klasse 2-vruchten, wat niet echt gewenst is. Doordat er geen bufferrijen aanwezig waren, is echter niet geheel duidelijk hoeveel licht de planten in de proefrijen precies ontvingen. Het is opvallend dat toplicht van 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ een lagere productie gaf dan 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Mogelijk dat 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ eigenlijk te veel is voor braam. Door de warmteafgifte van de tussen-LEDs, verliep de vruchtontwikkeling daar sneller en was de uitgroeiduur korter. De verschillen in vruchtontwikkelingssnelheid worden geïllustreerd in Figuur 7.



Figuur 7 Verschil in vruchtontwikkeling met links de behandeling met 2 LED-balken tussenbelichting en rechts een behandeling zonder tussenbelichting (Helmus-Schuddebeurs en Heijerman, 2019).

3.2.6.2 Framboos

Belichtingsonderzoek WUR-Glas 2019-2020

Bij teelt van framboos in de donkere maanden is meer licht positief voor de productie. Dit blijkt uit WUR-onderzoek in Bleiswijk in het seizoen van 2019-2020 van half november tot in de 1^e helft van april (Janse *et al.* 2021). Het onderzoek met framboos is uitgevoerd met LED-belichting met lichtintensiteiten van respectievelijk 100 en 137 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Gedurende de gehele teeltperiode is er bij beide lichtintensiteiten met de LEDs ca. 1850 uur belicht. De totale PAR-lichtsom (zon + lamp) vanaf planten tot eind maart kwam bij een lage en hoge lichtintensiteit uit op resp. 1354 en 1560 mol/m^2 , dus een verschil van ruim 200 mol/m^2 ofwel 15%. Door de oogst van een groter aantal vruchten nam de productie van klasse 1-vruchten toe met 11.5%. De lichtbenuttingsefficiëntie (LBE) nam bij de hogere lichtintensiteit wel licht af van gemiddeld 2.1 naar 2.0 g/mol PAR-licht. Dit laatste wordt echter in veel belichtingsonderzoeken met verschillende gewassen gezien. De meerproductie bij de hoge lichtintensiteit werd bij het ras Lagorai veroorzaakt door de uitgroei van 11% meer lateralen per cane en bij Kwanza juist door meer vruchten per lateraal. In dit onderzoek was de lichtintensiteit van de LEDs niet van invloed op het gemiddeld vruchtgewicht.

De meerproductie aan assimilaten a.g.v. meer licht bleek gelijkelijk te worden verdeeld over de vegetatieve en generatieve plantendelen. In tegenstelling tot de verwachting, bevatten de vruchten bij meer licht een iets lagere refractie en lager drogestofgehalte. Dit was waarschijnlijk het gevolg van een hogere plantbelasting bij meer licht (Janse *et al.* 2021). Dit komt niet overeen met onderzoek van Will *et al.* (2020). Zij vonden namelijk dat de vruchten van 4 frambozenrassen geteeld in Noorwegen, een wat lager totaal suikergehalte, maar een hoger zuurgehalte (citroenzuur) hadden dan frambozen van dezelfde rassen gegroeid in Duitsland. Er was een duidelijke relatie tussen de refractie (Brix) en het totaal suikergehalte ($r^2=0.84$). Tussen beide landen was er echter niet alleen verschil in de lichtsom, maar ook in de temperatuur. In het onderzoek van Janse *et al.* (2021) was de gemiddelde etmaaltemperatuur wel gelijk.

3.2.6.3 Lichtintensiteit en fotosynthese bij framboos en braam

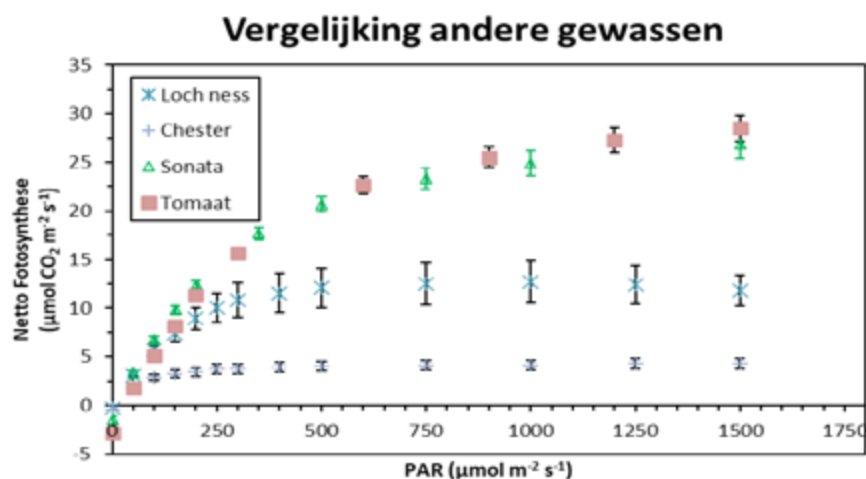
Uit onderzoek met framboos bleek dat van de onderzochte klimaatfactoren licht, temperatuur en CO_2 , de PAR-lichtintensiteit het sterkst bepalend is voor de gewasfotosynthese (verantwoordelijk voor 58% van de variatie), vervolgens CO_2 -concentratie (28%) en temperatuur (2.5%) (Percival, Proctor en Tsujita, 1996). Wanneer CO_2 niet limiterend was en de omgevingstemperatuur tussen de 15 en 20°C zat, werd de hoogste fotosynthesesnelheid bereikt bij een lichtintensiteit van 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Paragraaf Met andere woorden, het lichtverzadigingspunt lag bij 2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Hunt, Deyton en Sams (1991) vonden dat er bij 5 primocane frambozenrassen lichtverzadiging optrad bij een PAR-niveau van 1000-1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Uit ander onderzoek met framboos (buitenteelt) waarbij fotosynthesemetingen aan terminale bladeren waren gedaan, bleek dat de maximale fotosynthesesnelheid bereikt werd bij lichtintensiteiten van rond de 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR (Deyton *et al.* 2015). De onderzoekers denken dat hogere intensiteiten zorgen voor een dusdanige verhoging van de bladtemperatuur dat het een negatief effect heeft op de fotosynthese. Volgens Rom en Clark (1991) zou het lichtverzadigingspunt voor *Rubus* tussen de 1000 en 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ liggen.

Binnen het project 'Nieuw licht op houtig kleinfruit' zijn ook door WUR-Glas fotosynthesemetingen gedaan aan blad van framboos, namelijk bij primocanes van de rassen Kwanza en Shani. In tegenstelling tot de resultaten van eerder genoemde onderzoeken, laten de resultaten van deze metingen zien dat de maximale fotosynthese al werd bereikt bij lichtintensiteiten van rond de 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Dit zou het gevolg kunnen zijn van het optreden van bladvergeling en een lager chlorofylgehalte, waarvoor in dit onderzoek helaas geen goede verklaring kon worden gevonden (Janse en Weerheim, 2022). Er zijn daarnaast nog veel zaken die deze verschillen in resultaten kunnen verklaren, zoals het ras, andere teeltomstandigheden (klimaatfactoren), de plantbelasting en het blad wat is gekozen om de metingen aan te doen. Hoe deze zaken invloed hebben op fotosynthese in framboos wordt nog in andere paragrafen besproken.

De invloed van ras en plantbelasting op het lichtverzadigingspunt blijkt ook uit onderzoek van Lykins *et al.* (2021) met vier commerciële braamrassen. Uit dit onderzoek komt naar voren dat het lichtverzadigingspunt ligt tussen de 661 en 1613 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, afhankelijk van het ras en de plantbelasting. In paragraaf 3.2.13.3 wordt dieper ingegaan op de invloed van plantbelasting op fotosynthese van framboos en braam. Uit fotosynthesemetingen aan bladeren van braam onder glas (vroeg voorjaarsteelt met belichting, planting begin januari 2018 bij WUR-Glas) bleek dat er boven de 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ geen sprake meer was van een significante toename in fotosynthese. Vergelijkbare resultaten werden gevonden in een winterteelt braam binnen het project 'Nieuw licht op houtig kleinfruit' met de rassen Loch Ness en Chester. Braam lijkt dus een gewas waarbij, in ieder geval in de wintermaanden, al bij een relatief lage lichtintensiteit verzadiging optreedt in vergelijking met andere gewassen als aardbei en tomaat, zoals te zien is in Figuur 8. De netto-fotosynthese van het braamenras Loch Ness is ongeveer een factor 2 lager dan van de aardbei en de tomaat.

Naast het directe effect van lichtintensiteit op de fotosynthese in framboos en braam is er door WUR-Glas ook gekeken naar het effect van telen onder verschillende lichtingsintensiteiten op de maximale fotosynthesesnelheid in het blad. Hieruit volgde dat planten die belicht werden met 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR licht uiteindelijk een lagere maximale fotosynthesesnelheid hadden dan planten die met een hogere lichtintensiteit belicht werden van 137 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Minder belichten kan dus uiteindelijk, bijvoorbeeld wanneer natuurlijk zonlicht in de kas toeneemt, een nadelig effect hebben op de fotosynthese. Hoe lang dit effect aanhoudt, is alleen niet bekend (Janse *et al.* 2021; Janse *et al.* 2022).



Figuur 8 Lichtresponsecurven van braam (rassen Loch Ness en Chester), aardbei (ras Sonata) en tomaat (ras Merlice). De fotosynthese is bij verschillende lichtintensiteiten gemeten bij 1000 ppm CO_2 en een temperatuur van 18°C.

3.2.7 Lichtspectrum

3.2.7.1 Productie en kwaliteit

In een onderzoek met LEDs bij braam en framboos uitgevoerd door WUR-Glas, is het effect van het lightspectrum op de productie en kwaliteit onderzocht. De LED-tussenbelichting met $75 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ fotonflux bevatte 3 verschillende lightspectra. Dit werd gecombineerd met LED-topbelichting met eenzelfde lichtintensiteit, in totaal dus een lichtintensiteit van $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De behandelingen waren: referentie, hoog blauw en hoog verrood. In combinatie met de topbelichting, was de procentuele verdeling over de lichtkleuren R/B/G/FR bij de 3 behandelingen resp. 91/7/2.5/0%, 76/21/2.4/0% en 78/6/2.5/13%. Van het lightspectrum kon er geen duidelijk effect op de productie worden aangetoond, wat mogelijk mede te maken had met de plantvariatie binnen de proefvelden. Wel beïnvloedde hoog blauw zowel bij braam als framboos het drogestofgehalte en de refractie van de vruchten wat positief (Janse en Weerheim, 2022). Een hoog aandeel blauw in het lightspectrum is qua energie-efficiëntie echter zeer ongunstig.

3.2.7.2 Fotosynthese

Omdat de efficiëntie waarmee licht wordt gebruikt voor de fotosynthese afhankelijk is van de golflengte, is deze niet hetzelfde voor alle lichtkleuren (Dieleman *et al.* 2020). Bovendien kan de efficiëntie van een specifieke lichtkleur veranderen als deze gecombineerd wordt met andere lichtkleuren in het spectrum en heeft de lichtkleur effect op de aanmaak van het fotosyntheseapparaat. Bij elkaar genomen heeft het lightspectrum dus mogelijk een sterk effect op de fotosynthese in gewassen. Er is nog niet veel bekend over het effect van verschillende lightspectra op fotosynthese in HKF-gewassen. Uit onderzoek met jonge frambozenplanten gekweekt onder $80\text{--}90 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR licht afkomstig van fluorescentielampen of LEDs met verschillende spectra, bleek dat een gemengd LED lightspectrum (wit:rood:blauw:verrood=1:1:1:1) resulteerde in een hogere fotosynthesesnelheid op plantniveau vergeleken met fluorescentielampen of blauwe, rode of witte monochromatische LED spectra (Nacheva *et al.* 2021).

Op bladniveau bleek uit metingen uitgevoerd bij WUR-Glas tijdens een teelt van braam met top- en tussenbelichting, dat de fotosynthesesnelheid van bladeren halverwege het gewas gemiddeld het hoogst was als de tussenbelichting een spectrale samenstelling had van 21% blauw. Maar de verschillen met de andere behandelingen waren zeer beperkt (Janse en Weerheim, 2022).

3.2.8 Daglengte

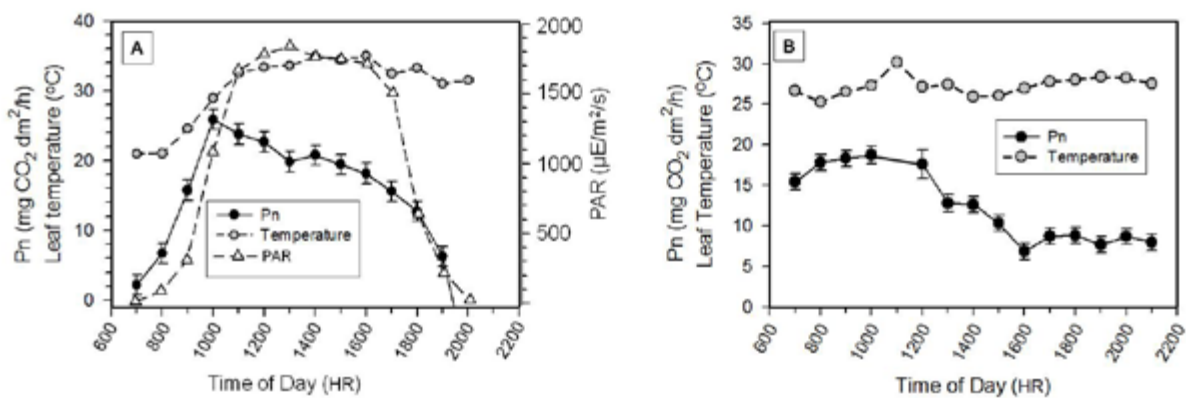
Bij het primocane vruchtdragende frambozenras ras Autumn Bliss werd de bloei en eerste oogst met 2-3 weken vervroegd als de lichtperiode/daglengte toenam van 8 tot 14 uur. Als de daglengte echter weer toenam van 14 naar 17 uur, werd de bloei juist weer vertraagd (Carew *et al.* 2000).

Er is niet veel bekend over de invloed van daglengte op de fotosynthese in HKF-gewassen. Jiao *et al.* (1991) vonden bij roos dat bij een gelijke lichtsom per dag, maar 24 uur licht met $204 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ in vergelijking met 12 uur licht van $410 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, de fotosynthesesnelheid zelfs 80% hoger was.

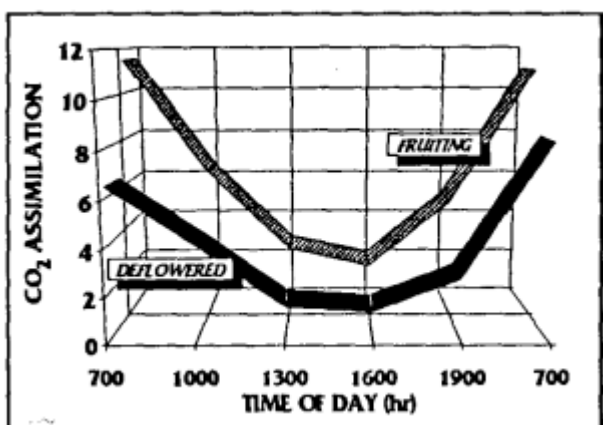
Bij WUR-Glas is recent onderzoek uitgevoerd met braam (ras Loch Ness) tijdens een belichte teelt onder LED. Hieruit bleek dat de belichtingsduur, maar wel bij een gelijke daglengte door op hetzelfde moment te starten met belichten, effect had op de fotosynthesecapaciteit van het blad, maar dat dit effect afhing van de intensiteit van de belichting. Zo bleek 18 in plaats van ruim 13 uur belichten met een intensiteit van $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR in een hogere maximale fotosynthesesnelheid van het blad te resulteren, maar als met $137 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ werd belicht, bleek een belichtingsduur van ruim 13 uur juist gunstiger (Janse *et al.* 2022).

3.2.9 Fotosynthese over de dag

Voor verschillende planten is aangetoond dat de fotosynthesesnelheid niet constant blijft gedurende de dag. Zo bleek uit onderzoek van Deyton, Hunt en Sams (2015) dat de fotosynthese in framboos (buitenteelt) in de ochtend snel toenam en vervolgens gedurende de middag langzaam steeds verder daalde (Figuur 9A). In ander onderzoek nam de fotosynthese aan het einde van de dag echter weer toe (Klauer *et al.* 1992) (Figuur 10). Vergelijkbare resultaten als van Deyton, Hunt en Sams (2015) zijn gevonden tijdens onderzoek bij WUR-Glas met braam (ras Loch Ness). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het natuurlijke verloop in lichtintensiteit en temperatuurprocessen die bepalend zijn voor fotosynthese (zoals de aanmaak van het fotosyntheseapparaat en de opname van CO₂, water en nutriënten), de fotosynthese beïnvloedt. Uit hetzelfde onderzoek van Deyton, Hunt en Sams (2015) bleek echter dat, zelfs indien planten bij een constant lichtniveau en temperatuur werden geteeld, de fotosynthesesnelheid afnam naarmate de dag vorderde (Figuur 9B). Daling van fotosynthesesnelheid op bladniveau in de middag wordt vaker waargenomen in (houtige) gewassen en wordt toegeschreven aan feedback inhibitie door assimilaten in het blad (Percival, Proctor en Tsujita, 1996). Volgens Klauer *et al.* (1992), zou de toenemende hoeveelheid zetmeel in het blad van framboos in de middag, leiden tot een vermindering van de fotosynthesesnelheid.



Figuur 9 Dagverloop fotosynthese in braam. **A:** het dagverloop van fotosynthesesnelheid (Pn), temperatuur en lichtintensiteit (PAR) in framboos planten in een buitenteelt (planting 10 mei en metingen op blad vanaf 10 juni). **B:** Dagverloop fotosynthesesnelheid (Pn) en temperatuur in framboos planten onder constante lichtintensiteit (≈1580 μmol m⁻² s⁻¹ PAR) in groeikamers (Figuur uit: Deyton, Hunt en Sams, 2015).



Figuur 10 Verloop van fotosynthese over een etmaal bij framboos (ras Meeker) in een gewas zonder bloemen en met plantbelasting (Figuur uit: Klauer *et al.* 1992).

3.2.10 Temperatuur

3.2.10.1 Vroegheid bloei en productie

De temperatuur heeft een grote invloed op het tijdstip van eerste bloei bij primocane vruchtdragende frambozen. Bij het ras Autumn Bliss was de groei bij een etmaaltemperatuur van 22°C maximaal. De eerste bloei vond bij een etmaaltemperatuur van ca. 22°C en 13°C plaats na resp. 110 en 160 dagen. Als de temperatuur hoger werd dan 22°C, werd de bloei juist weer vertraagd. Tussen een temperatuur van 15 en 22°C ontstond zelfs een verschil in 1^e oogstdatum van 2 maanden (Carew *et al.* 2000).

Bij 5 van de 6 primocane vruchtdragende frambozenrassen (herfstrassen, waaronder Autumn Bliss) die door Sønsteby en Heide (2010) werden onderzocht, ontstond een vroegere bloei en vruchtrijping als tijdens een periode van 5 weken voor de bloei een temperatuur van 22 of 26°C i.p.v. 20°C werd aangehouden. In één ras (Autumn Treasure) werd de bloei echter door een hogere temperatuur juist onderdrukt en vertraagd. Een hogere 'forceer'-temperatuur reduceerde het gemiddeld vruchtgewicht vooral in de eerste oogstperiode. In hun onderzoek was er een positief verband tussen een vroege productie en het totale oogstgewicht, maar dit kwam vooral omdat een gedeelte van de vruchten bij een lage forceertemperatuur aan het einde van het Noorse seizoen niet meer doorkleurden. Een hogere temperatuur tijdens de opkweek gaf bij de meeste rassen langere canes.

Volgens Fernandez en Pritts (1994) is een planttemperatuur bij framboos tussen de 18 en 21°C optimaal voor de vegetatieve groei, volgens andere onderzoekers varieert deze voor zomerframbozen/floricane vruchtdragende frambozen tussen de 16 en 24°C, maar sommige rassen zoals Polka, groeien nog goed bij 30°C (Heide en Sønsteby, 2011; Gotame *et al.* 2013).

Een lage temperatuur, of vernalisatie (6-8 weken ca. 7°C) in een vroeg groeistadium, bevordert de bloei of vruchtproductie in primocane vruchtdragende frambozen (Strik, 2012).

Door de wereldwijde opwarming van de aarde zullen er langere periodes komen met hogere instraling en temperaturen. Deze zullen tijdens de oogstperiode de houdbaarheid van de vruchten negatief beïnvloeden. Het negatieve effect zou kunnen worden verminderd door frequenter te oogsten, in de vroege morgenuren te oogsten en/of na de oogst sneller terug te koelen (Pitsioudis, Odeurs en Meesters, 2009).

3.2.10.2 Fotosynthese

De optimale bladtemperatuur voor fotosynthese in framboos ligt zo rond de 17-21°C (Qiu *et al.* 2017; Percival, Proctor en Tsujita, 1996; Stafne, Clark en Rom, 2001; Hall en Sobey, 2013; Gotame *et al.* 2013). Bij het ras Autumn Bliss lag dit volgens Cameron, Klauer en Chen (1993) tussen 12 en 20°C. De hoeveelheid drogestof in de planten was in hun onderzoek 30-50% lager bij een D/N-temperatuur van 30/25°C dan bij 20/15°C. Fernandez en Pritts (1994) vonden bij framboos floricane 'Titan', dat een temperatuur tussen de 15 en 20°C de hoogste fotosynthesesnelheid gaf, maar als de temperaturen daarboven stegen van 20 naar 40°C, daalde deze weer sterk. Mogelijk komt dit door een hogere donkerademhaling (waarbij koolstof verloren gaat) en hogere fotorespiratie bij temperaturen van boven de 20°C (Edwards, Ku en Foster, 1983; Percival, Proctor en Tsujita, 1996; Gardner, Pearce en Mitchell, 2017).

Tussen rassen zijn er grote verschillen in reactie op hoge temperaturen. Tussen 34 rassen van verschillende origine, vonden Stafne, Clark en Rom (2000) grote verschillen in fotosynthese bij langere blootstelling aan hoge temperaturen. In het algemeen was de fotosynthese bij hoge temperaturen van rassen uit het noordwesten van de VS lager dan van rassen uit de zuidelijke staten van de VS of uit Azië.

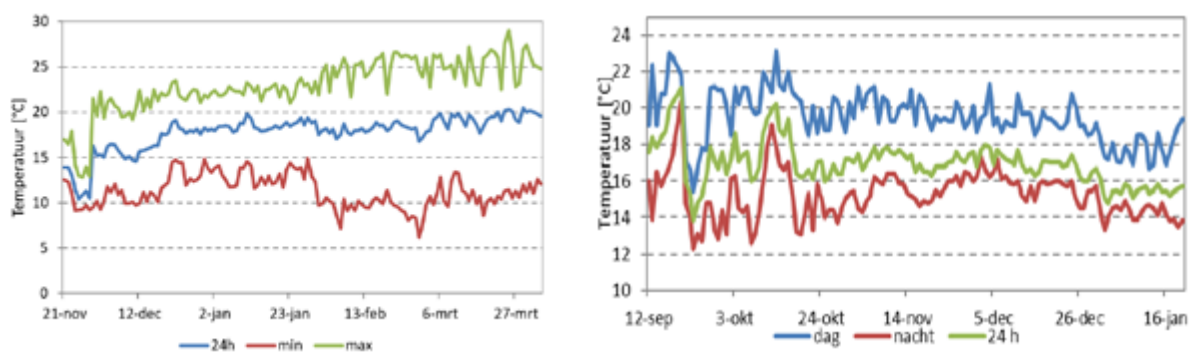
Naast het effect van de bladtemperatuur op fotosynthese hebben Percival, Proctor en Tsujita (1996) ook gekeken naar het effect van de temperatuur in het wortelmilieu en de omgevingstemperatuur rond de frambozenplant op de fotosynthese op planniveau. Ze vonden dat bij 2000 µmol/m²/s PAR en 350 ppm CO₂, de optimale lucht-/worteltemperatuur 17/25°C is. De onderzoekers denken dat de worteltemperatuur effect heeft op de fotosynthese, doordat het de opname van water en voedingsstoffen kan beïnvloeden, of door effecten op de hormoonbalans.

Binnen het project 'Nieuw licht bij houtig kleinfruit' uitgevoerd door WUR-Glas, is ook gekeken naar het effect van temperatuur op de fotosynthesesnelheid in bladeren van het bramenras Loch Ness. Uit deze data bleek dat er een zeer beperkt effect was van temperatuur (tussen de 15 en 25°C). Gemiddeld nam de fotosynthesesnelheid iets toe bij hogere temperaturen bij een PAR-lichtintensiteit van 750 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, maar nam deze iets af bij een lagere lichtintensiteit van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Janse en Weerheim, 2022).

Stafne, Clark en Rom (2001) zagen dat de fotosynthesesnelheid van het bramenras Arapaho hoger was en minder snel afnam boven de 25°C in vergelijking met de door hen onderzochte frambozenrassen. Waarschijnlijk kan een braam, of althans dit ras, beter tegen hoge temperaturen, omdat uit metingen bleek dat deze in staat was om bij hogere temperaturen meer te verdampen en daardoor beter te koelen dan de frambozenrassen. Waarschijnlijk is de lagere verdamping bij framboos het gevolg van het meer sluiten van de huidmondjes bij framboos. Eén van de onderzochte frambozenrassen leek een soort aanpassing aan hoge temperaturen te vertonen, omdat de fotosynthese bij dit ras minder snel daalde dan bij de andere onderzochte rassen.

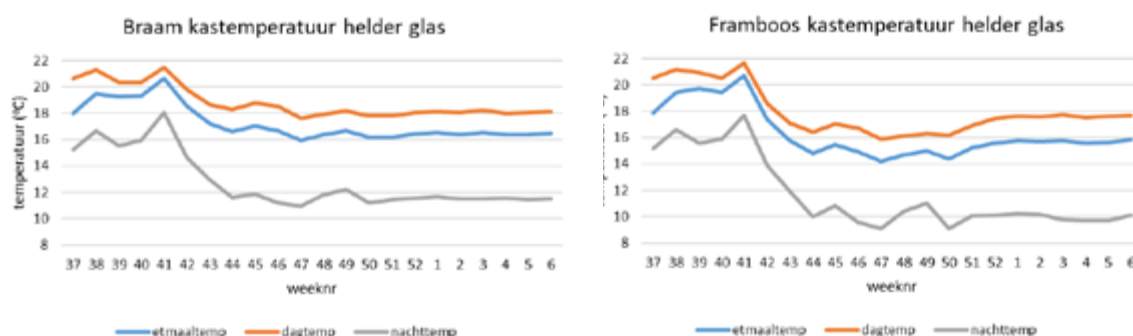
3.2.10.3 Verloop temperatuur in winterperiode met belichting

In vergelijking met andere belichte teelten, worden er bij braam en framboos relatief lage temperaturen gehandhaafd. Als voorbeeld zijn in Figuur 11 de gerealiseerde temperaturen in 2 belichtingsproeven van Delphy IC met braam weergegeven en in Figuur 12 het temperatuurverloop in een belichtingsproef met braam en framboos bij WUR-Glas.



Figuur 11 Gerealiseerde kasttemperaturen in belichtingsonderzoek met braam in resp. seizoen 2017-2018 en 2018-2019 in Delphy IC (Helmus-Schuddebeurs et al. 2018; Helmus-Schuddebeurs & Heijerman, 2019).

De gerealiseerde temperatuur is uiteraard afhankelijk van onder meer de buitenomstandigheden, teeltperiode en stook- en ventilatietemperatuur. In het seizoen 2018-2019 is eerder gestart en de lichtintensiteit was daarbij hoger dan in de bramenteelt in 2017-2018.



Figuur 12 Gerealiseerde temperatuur per week in belichtingsonderzoek met braam (links) en framboos (rechts) bij WUR-Glas (onderzoek 2018-2019).

De ingestelde stooktemperatuur was bij WUR-Glas bij braam tijdens de nacht (donker) en dag (licht) resp. 10 en 18°C en bij framboos resp. 8 en 16°C. Vanaf eind december werd bij framboos de dagtemperatuur echter verhoogd naar 18°C, vooral om te proberen dubbele vruchten te voorkomen (verminderen worteldruk). Bij de overgang van de nacht naar de dag moet de kas bij deze gewassen dus flink opgewarmd worden, wat een piek in de warmtevraag zorgt. Aan de andere kant kan in een belichte winterteelt deels geprofiteerd worden van de warmte geproduceerd door het groeilicht. De gemiddeld gerealiseerde etmaaltemperatuur bij braam en framboos vanaf planten in week 37 (2018) t/m week 6 (2019) kwam in dit onderzoek uit op resp. 17.3 en 16.3°C. Bij braam is er dus een wat hogere temperatuur gerealiseerd dan bij framboos (Janse en Weerheim, 2022).

Bij vergelijking met de gerealiseerde temperaturen in de bramenproef in het seizoen 2018-2019 bij Delphy IC en WUR Glas, valt op dat bij Delphy de gemiddelde etmaaltemperatuur tot half december wat lager lag en daarna wat hoger dan bij WUR-Glas, namelijk ca. 1 à 2°C.

Bij braam wordt er bij start in een donkere periode, nogal eens tot budbreak een lagere etmaaltemperatuur van ca. 14°C aangehouden om zoveel mogelijk knoppen op de canes uit te laten lopen. Deze lage temperatuur gaat echter wel ten koste van de groeisnelheid en kan de teeltduur langer maken. Daarentegen zal door het aanhouden van een hogere temperatuur in een belichte of onbelichte teelt, de gewasontwikkeling en vroege productie worden versneld, maar het energieverbruik stijgt hiermee ook. In het seizoen 2020-2021 werd op een praktijkbedrijf met belichte bramen, over de gehele teeltperiode een ruim 3°C hogere etmaaltemperatuur gerealiseerd dan in een onderzoek met LEDs bij WUR Glas. Hierdoor kwam de productie op dit bedrijf wel ongeveer 3 weken eerder op gang (Janse *et al.* 2022).

3.2.11 Luchtvochtigheid

Een lage RV vermindert de vruchtgrootte bij zowel braam als framboos. Een voldoende watergift is hierbij echter erg belangrijk en kan dit effect sterk verminderen. Een hogere RV geeft dus vaak grovere vruchten, maar kan de houdbaarheid wat verlagen a.g.v. zachtere vruchten en meer kans op schimmelontwikkeling (Hall en Sobey, 2013; Hall en Funt, 2017).

In onderzoek door WUR-Glas in de BEST-kas (gedekt met noppenfolie) zijn bij framboos goede resultaten gezien van toepassing van hogedrukverneveling in droge en warme periodes. Hiermee kan de luchtvochtigheid worden verhoogd en de kas- en planttemperatuur worden verlaagd (Kempkes *et al.* 2020). Om een goede bestuiving van **rode bessen** onder bedekking te bevorderen en daarmee bloem- en vruchtabortie te voorkomen, zou naast een goede temperatuur, een RV van 65 – 75% optimaal zijn (Pitsioudis, Odeurs en Meesters, 2009). Om een goede bestuiving en bevruchting te realiseren, wordt er in de praktijk bij braam en framboos overdag gestreefd naar een bepaalde periode met een RV onder de 80% (De Jager, persoonlijke communicatie). Dit tracht men te realiseren door de combinatie van een minimumbuis met minimumventilatie (zie ook Paragraaf 2.1.3). Deze werkwijze verhoogt echter sterk het warmtegebruik.

De netto CO₂-uitwisseling bij een primocane vruchtdragend frambozenras Heritage nam in een gewas zonder bloei en vruchten af als het verzadigde dampdrukdeficit boven de 0.25 kPa uitkwam (Percival, Proctor en Tsujita, 1996). Voor de netto fotosynthese zal verneveling onder drogere omstandigheden, in ieder geval in het vegetatieve stadium, positief zijn. Daarnaast worden de kas- en planttemperatuur hiermee verlaagd, wat bij hoge kastemperaturen gunstig is.

In framboos heeft een dampdrukverschil tussen blad en kaslucht (DBK) boven de 1 kPa een toenemend negatief effect op de fotosynthesesnelheid van het blad. Acclimatisatie van een blad onder lage DBK-condities zorgt ervoor dat de fotosynthesesnelheid sterker afneemt bij een toenemend DBK dan blad dat geacclimatiseerd is onder hoge DBK-condities (Qiu *et al.* 2017).

3.2.12 CO₂

In de literatuur was de informatie over effecten van toepassing van CO₂ in houtig kleinfruit zeer summier. In Amerikaans onderzoek met framboos in hoge tunnels, werd CO₂ doseren vergeleken met niet doseren. Het daggemiddelde over 4 maanden was resp. van 425 en 370 ppm. CO₂-doseren gaf een 12% hogere opbrengst bij een 5% hoger vruchtgewicht (Mocchizuki *et al.* 2000). Er is in dit onderzoek geen verschil gevonden in canehoogte en -diameter, hoeveelheid gesnoeid plantmateriaal en suikergehalte in de vruchten. Het vreemde was dat het aantal met vruchten gevulde dozen niet verschillend was tussen de tunnels met wel of niet doseren, dus er kunnen voor wat betreft de productie wel enige vraagtekens gezet worden bij de gevonden resultaten.

In WUR-onderzoek met een belichte frambozenteelt in de winter met de rassen Kwanza en Von, bleek dat bij een 10 maal zo hoge CO₂-dosering van 9.9 i.p.v. 1 kg/m², er een gemiddelde CO₂-concentratie tijdens de (be) lichte uren van 775 en 460 ppm werd gerealiseerd. De productie werd hierdoor echter nauwelijks verhoogd, namelijk met gemiddeld over beide rassen met maar 3%. Dit kan te maken hebben met de relatief lage lichtintensiteiten in de winter (ondanks belichting) t.o.v. de lichtrijke maanden in het jaar. De grote verschillen in CO₂-dosering en gerealiseerde CO₂-concentratie in de kas hadden geen invloed op de hoogte van de refractie in de vruchten. In tegenstelling tot de verwachting was het drogestof-gehalte van de vruchten met veel CO₂ zelfs iets lager dan met beperkt CO₂, namelijk resp. 12.1 en 12.6%. In de wintermaanden met relatief weinig licht van de zon en groeilicht, hoeven de CO₂-doseringen en het gerealiseerde CO₂-gehalte dus niet zo hoog te zijn (Janse *et al.* 2021).

Op basis van dit onderzoek met framboos, is voor braam modelmatig met het kasklimaat-/groeimodel (Kaspro/Intkam) berekend wat de productie zou zijn bij verschillende lichtintensiteiten en CO₂-concentraties. Dit is gedaan aan de hand van gerealiseerde producties in belichtingsonderzoek bij WUR-Glas met braam in het seizoen 2020-2021 (Janse *et al.* 2022). In Tabel 7 zijn de resultaten weergegeven voor verschillende CO₂-setpoints en 2 lichtintensiteiten.

Tabel 7

De berekende productie, totale hoeveelheid gegeven CO₂ en de totale hoeveelheid vastgelegde CO₂ in de plant (generatieve en vegetatieve delen) bij 4 verschillende CO₂-setpoints en 2 lichtintensiteiten van de LEDs.

CO ₂ -setpoint (ppm)	Lichtintensiteit (μmol/m ² /s)	Productie (kg/m ²)	CO ₂ -gift*) (kg/m ²)	Vastgelegde CO ₂ in plant (kg/m ²)
450	100	3.53	2.22	1.03
600	100	4.02	2.62	1.24
800	100	4.56	8.43	1.41
1000	100	4.83	10.69	1.49
450	200	4.28	1.61	1.32
600	200	5.27	5.91	1.62
800	200	6.08	10.07	1.84
1000	200	6.26	11.66	1.89

*) CO₂-doseercapaciteit werd verlaagd van 75 naar 50 kg/ha/uur bij meer dan 10% ventileren

Uit de berekeningen blijkt dat er af vanaf 600 ppm CO₂-verlies te zijn, ook al zijn er nog geen grote raamstanden. Boven 800 ppm verhoogt CO₂ de productie en groei nauwelijks meer, ook niet bij een hogere lichtintensiteit. Daaronder is de berekende productieverhoging als gevolg van een toename in CO₂ nog aanzienlijk. Voor het productieniveau is licht sterk bepalend.

Uit onderzoek naar de **fotosynthese** op plantniveau van framboos (primocanes van het ras Heritage) bleek dat bij een zeer hoge lichtintensiteit (2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR), een CO_2 -concentratie van 1500 ppm optimaal was voor de fotosynthese (Percival, Proctor en Tsujita, 1996). Het effect van hogere CO_2 -concentraties bij lagere lichtintensiteiten bleek in dit onderzoek echter veel minder sterk. Dat hogere concentraties aan CO_2 niet of nauwelijks bijdragen aan een toename van fotosynthese bij lage lichtniveaus, wordt ook ondersteund door resultaten van onderzoek uitgevoerd door WUR-Glas. Zo nam bij een belichtingsintensiteit van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR-licht in framboos (ras Kwanza) de fotosynthesesnelheid niet meer toe bij CO_2 -concentraties hoger dan 500 ppm. Bij een intensiteit van 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ was dit wel het geval (Janse *et al.* 2021). In braam (ras Loch Ness) bleek het bij een intensiteit van 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ook nauwelijks effect te hebben om meer dan 500 ppm CO_2 te realiseren, en zelfs bij 1500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR-licht was het effect van hogere CO_2 concentraties zeer beperkt. Daarnaast bleek uit dit onderzoek dat er een verschil was tussen de fotosynthesecapaciteit en CO_2 -respons van bladeren van zowel framboos als braam tijdens het voorjaar en in de winterperiode. In de winterperiode had meer dan 500 ppm CO_2 doseren bij lage lichtintensiteiten weinig zin, terwijl het wel een positief effect op de fotosynthese op bladniveau in het voorjaar kon hebben (Janse *et al.* 2021; Janse *et al.* 2022).

3.2.13 Invloed plantarchitectuur en ras op fotosynthese

3.2.13.1 Bladleeftijd

Uit onderzoek met framboos (buitenteelt, planting 10 mei en metingen op blad vanaf 10 juni) bleek dat de maximale fotosynthese van zowel terminale als laterale bladeren werd gerealiseerd wanneer de bladeren ongeveer 80% van hun uiteindelijke formaat bereikten (Deyton, Hunt en Sams, 2015). Deze fotosynthesesnelheid behielden de bladeren zo'n 5 dagen. Hierna nam het weer af. In eerste instantie was de fotosynthese hoger in laterale bladeren dan in terminale bladeren, maar dit veranderde naarmate het blad verouderde.

3.2.13.2 Bladpositie

Tijdens een proef waarbij framboos in tunnels werd geteeld, is de netto fotosynthese over de dag in bladeren op verschillende hoogtes in het gewas bepaald. De fotosynthesesnelheid van blad halverwege het gewas (op 80 cm van de grond) was hoger dan dat van bladeren bovenin (120 cm boven de grond) of onderin het gewas (40 cm boven grond) (Mochizuki *et al.* 2010). Daarnaast bleek de fotosynthesesnelheid van bladeren af te hangen van de afstand tot de vrucht: hoe dicht een blad bij de vrucht, hoe hoger de fotosynthesesnelheid (Cameron, Klauer en Chen, 1993).

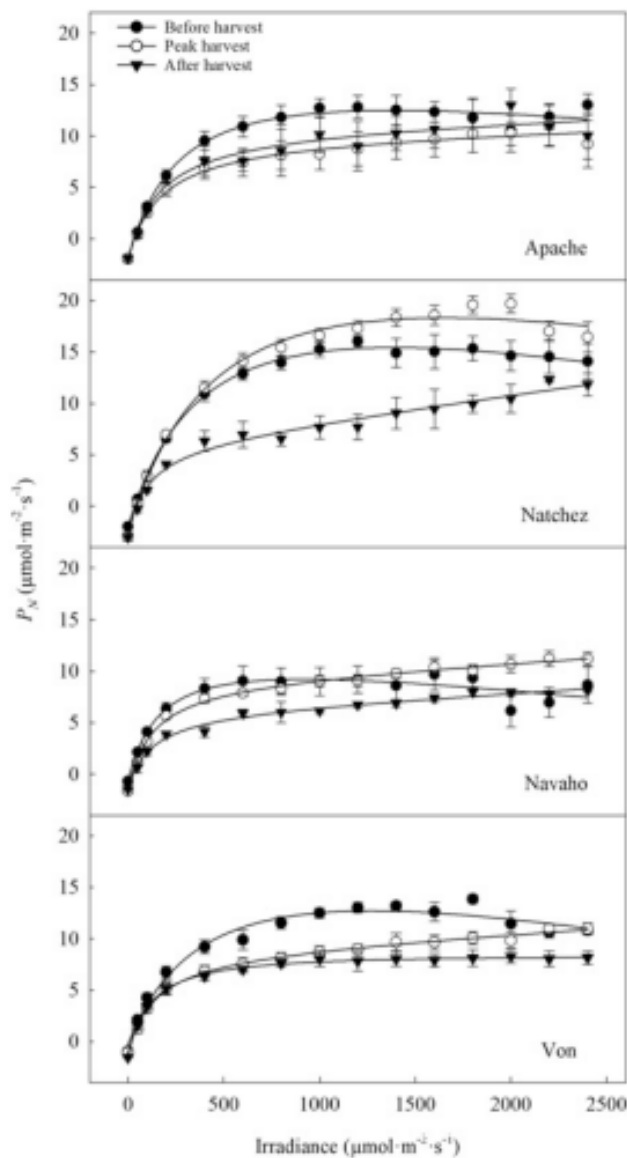
3.2.13.3 Plantbelasting

Voor veel gewassen geldt dat de plantbelasting de fotosynthesesnelheid in blad beïnvloedt. Dit komt doordat deze de verhouding tussen source (de bron van assimilaten, het blad) en de sinks (de netto verbruikers van assimilaten zoals vruchten, maar ook wortels en jong blad) verandert. Deze verhouding is sterk bepalend voor de fotosynthesesnelheid van het blad. Dit is ook logisch omdat het aanmaken van assimilaten weinig nut heeft als de plant deze assimilaten niet kan gebruiken. Dat dit ook zo werkt in framboos bleek uit een onderzoek waarin het verwijderen van blad, waardoor de source/sink verhouding negatief wordt beïnvloed, ervoor zorgde dat de fotosynthesesnelheid in het overgebleven blad toenam (Cameron & Hartley, 1989).

Het verwijderen van sinks zoals vruchten en bloemen, waardoor de source/sink verhouding positief werd beïnvloed, bleek juist te zorgen voor een afname in fotosynthesesnelheid van bladeren (Cameron en Hartley, 1989; Cameron, Klauer en Chen, 1993; Fernandez en Pritts, 1996; Raya, 2016), zie ook Figuur 10. Het gevolg hiervan is dat er een negatieve correlatie bestaat tussen de blad/vrucht ratio en fotosynthesesnelheid in framboos: de fotosynthesesnelheid in blad van planten met relatief veel vruchten is hoger dan van planten met weinig vruchten ten opzichte van het bladoppervlak (Cameron en Hartley, 1989). Recent onderzoek van Lykins *et al.* (2021) laat vergelijkbare resultaten zien voor een aantal braamrassen. In dit onderzoek zijn fotosynthesemetingen gedaan aan 5 jaar oude braamplanten van verschillende rassen in de periode mei-juli. De metingen zijn uitgevoerd op 3 momenten waarbij de plantbelasting varieerde. Over het algemeen lag de maximale fotosynthese hoger tijdens periodes met hogere plantbelasting dan gedurende periodes met een lage plantbelasting (zie Figuur 11). Maar deze hogere maximale fotosynthesesnelheid werd in de meeste rassen wel al bij een lagere lichtintensiteit behaald. Dat betekent dus dat bij planten met een hoge plantbelasting de maximale fotosynthesesnelheid wordt bereikt bij een lagere lichtintensiteit dan bij planten met een lagere plantbelasting!

3.2.13.4 Rasverschillen

Uit de verschillende onderzoeken naar fotosynthese in HKF bleek de fotosynthesesnelheid van het gewas of in het blad onder verschillende condities sterk afhankelijk te zijn van het ras. Zo was het ras Natchez van de 4 onderzochte rassen door Lykins *et al.* (2021), qua fotosynthese minder sterk gelimiteerd bij hogere lichtintensiteiten dan de andere beproefde rassen (zie Figuur 11). Wat opvalt in de verschillende onderzoeken is dat het effect van sommige factoren, zoals licht en plantbelasting, veelal sterker ras-afhankelijk bleken te zijn dan van andere factoren, zoals temperatuur (o.a. Cameron, Klauwer en Chen, 1993).



Figuur 11 Gemiddelde fotosynthesesnelheid bij toenemende lichtintensiteit bij 4 braamrassen in het stadium voor zwart kleuren van vruchten (dichte cirkels), tijdens piekoogst (open cirkels) en na de oogst (dichte driehoeken) (Figuur uit: Lykins et al. 2021).

3.2.14 Kastype en -bedekking

Een bedekte teelt in plastic tunnels of onder glas heeft een aantal voordelen: bescherming tegen regen en UV-licht, vervroegen en verlaten van het seizoen (o.a. belangrijk bij laatdragende floricanes), minder schimmelaantasting (o.a. valse meeldauw, botrytis), grovere vruchten, minder vruchten met zonneschade en betere vruchtkwaliteit.

3.2.14.1 Plastic folie versus vollegrond

Door primocane-planten in een hoge tunnelkas 1 à 2 weken voor de oogst te overdekken met plastic, werd volgens onderzoek van Thompson *et al.* (2009), de start van de oogst niet versneld, maar kon 3 weken langer worden geoogst. Mede door gemiddeld 32% zwaardere vruchten was de productie onder plastic duidelijk hoger, maar de refractie van de vruchten was niet verschillend.

Door Muster (2009) werd een bedekte frambozenteelt onder plastic folie vergeleken met een teelt in de vollegrond. Door de foliebedekking werd de temperatuur met 0.5 à 1°C verhoogd, terwijl de gemiddelde RV nauwelijks verschilde. In 6 jaar tijd was de lichttransmissie van het plastic met 30% afgenomen. Met uitzondering van het laatste onderzoeksjaar, werd de productie in de 3 voorgaande jaren verhoogd door de plasticbedekking, vooral door een toename in vruchtgewicht van zo'n 10%. Door plasticbedekking nam het percentage onverkoopbare vruchten duidelijk af. Er werden onder plastic folie niet meer vruchten met sunburn of misvormde vruchten gevonden. Ondanks de gemiddeld wat hoger gerealiseerde temperatuur onder plastic folie, werden de budbreak, bloei en vruchtrijping toch wat vertraagd!

3.2.14.2 Noppenfolie versus praktijkteelt onder glas

Bij WUR-Glas in Bleiswijk is in twee voorjaarsteelten (2019 en 2020) en een herfstteelt (2019) met framboos (ras Diamond Jubilee), én een herfstteelt (2020) met braam (ras Loch Tay), onderzoek uitgevoerd in de BEST-kas. Deze kas is bedekt met noppenfolie en in de zijgevels zitten deels kanaalplaten en ook noppenfolie. Verder is er doorlopende nokluchting, zijgevelluchting, buisverwarming, hogedrukverneveling, energiescherm en mogelijkheid voor CO₂-dosering aanwezig (Kempkes *et al.* 2020). In deze kas is zoveel mogelijk geteeld volgens het principe van Het Nieuwe Telen. Het gasverbruik was met 7.1 m³/m² voor 2 teelten framboos in 2019 ruim 35% lager dan op een praktijkbedrijf met hetzelfde gewas. In 2020 was het gasverbruik voor een voorjaarsteelt met framboos en een herfstteelt met braam samen in totaal 6.3 kg/m². Het was toen echter ook een relatief warm jaar met veel zon. Het CO₂-verbruik was in beide jaren resp. 10.7 en 13.2 kg/m² bij een prima productie van resp. 3.6, 4.4, 3.1 en 4.4 kg/m² klasse I-vruchten. Het blijkt dus dat het in zo'n kas goed mogelijk is om houtig kleinfruit met een beperkte hoeveelheid energie en CO₂ te telen.

3.2.14.3 Diffuus glas

Braam

Na veelbelovende resultaten in onderzoek uitgevoerd in het voor- en najaar van 2013 met diffuus glas met braam (Loch Ness), is op PCFruit in het daaropvolgende jaar het onderzoek met diffuus glas bij dit gewas in het voor- en najaar voortgezet (Kerbusch, Boonen en Bylemans, 2015). Het diffuse glas (haze 65%) bleek t.o.v. helder glas in de voorjaarsteelt bij 5 en 6 scheuten/canes per plant een meerproductie te geven van rond de 30%. Bij 4 scheuten per plant was dit 7%. Het gemiddelde productieniveau over alle behandelingen lag op 4.4 kg/m². In de herfst waren de verschillen tussen diffuus en helder glas echter gering. Ook in een septemberplanting van braam bij WUR-Glas in het seizoen 2018-2019 met LEDs (lichtintensiteit 150 µmol/m²/s) werd een meerproductie van 30% onder diffuus glas (haze 73%) t.o.v. helder glas gerealiseerd. De productie aan klasse 1-vruchten was in dit onderzoek resp. 7.8 en 6.0 kg/m² (Van Lier, 2020; Janse en Weerheim, 2022). In veel teelten wordt er gebruik gemaakt van glas met een hoge diffusiteit omdat dit gunstige effecten kan hebben op de gewasfotosynthese. Hoewel er geen data beschikbaar zijn over het effect van diffuus licht op de fotosynthese op gewasniveau, is er door WUR-Glas wel met braam en framboos onderzoek gedaan naar het effect van het telen onder diffuus glas op de fotosynthese op bladniveau. In braam (ras Loch Ness) bleek diffuus glas te resulteren in een lagere maximale fotosynthesesnelheid van het blad. Dit is dus tegengesteld aan de productie, die juist hoger was onder diffuus glas!

Met braam is bij WUR-Glas in het seizoen 2020-2021 onderzoek uitgevoerd met in beide onderzoekskassen diffuus glas met een hoge diffusiteit (hortiscatter 67%). Omdat een vergelijking met helder glas hier ontbrak, kon echter geen uitspraak worden gedaan over het effect van diffuus glas op o.a. de productie (Janse *et al.* 2022).

In de praktijk wordt er bij de HKF-teelt nog weinig diffuus glas toegepast. Eén geïnterviewde bramenteler is erg positief over diffuus glas met een haze van 65%. Zijn ervaring is dat diffuus glas ook het werkklimaat verbetert. Onder diffuus glas is de vruchttemperatuur gelijkmatiger en ook lager dan onder helder glas, wat positief is voor de vruchtkwaliteit.

Framboos

In Belgisch onderzoek groeide framboos (ras Tulameen) onder diffuus glas te weelderig, waardoor de kwaliteit en plukbaarheid werd verminderd (Kerbusch, Boonen en Bylemans, 2015). Bij onderzoek door WUR-Glas in het winterseizoen met LEDs in 2018-2019 was de productie onder diffuus glas eveneens fors lager dan onder helder glas (Van Lier, 2020; Janse en Weerheim, 2022). Mogelijk mede hierdoor was het gewas ook vegetatiever: het versgewicht van de niet-vruchtdragende grondscheuten bij de floricanes van de onderzochte rassen Kwanza en Shani was zo'n 40% hoger onder diffuus dan onder helder glas (Janse *et al.* 2022, persoonlijke communicatie).

Voor de lagere productie van framboos onder diffuus glas kan vooralsnog geen goede verklaring worden gegeven. In tegenstelling tot de productieresultaten, bleek de maximale fotosynthesesnelheid bij de rassen Kwanza en Shani juist hoger onder diffuus glas dan onder helder glas!

Het is ook mogelijk om het licht in hoge tunnels diffuus te maken door diffuus plastic folie te gebruiken. In onderzoek in de BEST-kas met diffuus noppenfolie in het dek en deels ook in de gevels, werden prima producties bij framboos gerealiseerd (zie Paragraaf 3.2.18) (Kempkes *et al.* 2020).

3.2.15 LAI

Een voldoende groot bladoppervlak is belangrijk om licht op te vangen en de planten te koelen bij hogere temperaturen. Teveel blad is echter ongewenst, onder meer omdat de vorming van blad ook assimilaten kost, voor verdamping energie benodigd is in periodes dat moet worden verwarmd, de RV hierdoor teveel kan stijgen en het vocht weer moet worden afgevoerd wat de energieverliezen vergroot. Een goed evenwicht tussen blad en vrucht is dan ook van groot belang.

In de verschillende onderzoeken uitgevoerd door WUR-Glas zijn per ras bij de destructieve metingen aan het einde van de teelt de volgende Leaf Area Indexen (LAI) gemeten in m^2/m^2 :

- Braam ras Loch Ness : 3.0 - 7.2.
- Braam ras Von : 4.1 - 5.4.
- Framboos ras Diamond Jubilee : 2.6 - 4.1.
- Framboos ras Kwanza : 3.1 - 4.6.
- Framboos ras Lagorai : 7.2.

In het algemeen is het bladoppervlak per m^2 dus behoorlijk hoog; een LAI van boven de 5 lijkt voor braam en framboos niet gewenst. Het lijkt zinvol om, zeker bij belichte teelten, via o.a. teeltmaatregelen of ras de hoeveelheid blad te reduceren. Eén van die teeltmaatregelen zou het verminderen van de hoeveelheid stikstof in de gift kunnen zijn.

3.2.16 Lichtbenuttingsefficiëntie (LBE), drogestofgehalte en refractie

Van een aantal proeven met bramen en frambozen uitgevoerd door WUR-Glas, is de LBE berekend en zijn metingen gedaan aan het drogestofgehalte van de vruchten en de refractie. In Tabel 8 wordt hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 8

Het drogestofgehalte (% ds), de refractie van de vruchten en de berekende LBE (g vers vruchtgewicht/mol PAR) van resp. bramen en frambozen in verschillende onderzoeken uitgevoerd door WUR Glas.

Gewas	Ras	Planttype	Onderzoek/teeltperiode	% ds	Refractie (oBrix)	LBE (g vers/ mol PAR)
Braam	Loch Ness	Floricanes	LED spectrum winter 2018-2019	10.5 ¹⁾	9.8	2.83-3.52
Braam	Loch Ness	Floricanes	LED lichtintensiteit winter 2020-2021	11.6 ²⁾	9.7	2.9 (1.9)
Braam	Von	Floricanes	LED lichtintensiteit winter 2020-2021	11.6 ²⁾	9.7	2.5
Framboos	Kwanza	Primocanes	LED spectrum winter 2018-2019	11.6 ¹⁾	9.0	1.08-1.24
Framboos	Shani	Primocanes	LED spectrum winter 2018-2019	9.7 ¹⁾	7.9	
Framboos	Diamond Jubilee	Floricanes	BEST-kas voorjaar 2019	11.5 ²⁾	10.1	1.52
Framboos	Diamond Jubilee	Floricanes	BEST-kas najaar 2019	10.5 ²⁾	8.3	1.74
Framboos	Diamond Jubilee	Floricanes	BEST-kas voorjaar 2020	11.5 ¹⁾	9.8	1.57
Framboos	Kwanza	Floricanes	LED + CO ₂ winter 2019-2020	11.6 ⁴⁾	9.5	1.69
Framboos	Lagorai	Floricanes	LED + CO ₂ winter 2019-2020	13.1 ⁴⁾	9.7	2.45

1) Janse en Weerheim, 2022

2) Janse et al. 2022

3) Kempkes et al. 2020

4) Janse et al. 2021

Het gemiddelde drogestofgehalte van de vruchten bij bramen varieerde van 10.5 tot 11.6%, bij framboos van 9.7 tot 13.1%. De hoogte van het drogestofgehalte leek mede afhankelijk te zijn van het ras en teeltperiode. Zo was bij het frambozenras Diamond Jubilee het % drogestof in het najaar lager dan in het voorjaar. Met belichting in de winter hoeft deze echter niet lager te zijn dan in een voorjaarsteelt. De refractie leek echter wat meer te variëren en er lijkt niet altijd een verband te zijn met de hoogte van het drogestofgehalte. Een hogere lichtintensiteit via groeilicht in de winter, hoeft ook niet te leiden tot een hoger drogestofgehalte of refractie (zie Paragraaf 3.2.6.1 en 3.2.6.2).

De LBE in gram versgewicht per mol PAR is bij primocanes het laagst, maar de slechtere zetting was hiervan waarschijnlijk een belangrijke oorzaak. Bij braam is de LBE veelal duidelijk hoger dan bij framboos. Dit betekent dat braam het licht beter omzet in assimilaten voor de vruchten dan framboos, terwijl er tussen beide gewassen niet veel verschil is in drogestofgehalte van de vruchten.

3.2.17 Drogestofverdeling generatief/vegetatief

In verschillende onderzoeken met braam en framboos zijn door de WUR en WUR-Glas bepalingen gedaan aan de hoeveelheid drogestof in de verschillende plantdelen (vruchten, canes, lateralen en blad). Hiervoor werd wekelijks het drogestofgehalte in vruchten gemeten en aan het einde van de proeven is bij de destructieve metingen de hoeveelheid drogestof in de vegetatieve delen bepaald. De hoeveelheid drogestof die bij de start al in de canes zat, is er steeds vanaf getrokken.

In Tabel 9 is het berekende aandeel drogestof weergegeven dat naar de vruchten is gegaan.

Tabel 9

Het berekende aandeel van de door de plant geproduceerde hoeveelheid drogestof dat naar de vruchten is gegaan in een aantal onderzoeken uitgevoerd door de WUR met houtig zachtfruit.

Gewas	Ras	Planttype	Teeltperiode	Aandeel droge stof in vruchten (%)
Braam	Anabel	Floricanes	Voorjaar 2017	52-60 ¹⁾
Braam	Loch Ness	Floricanes	Winter 2018-2019	50-59 ²⁾
Braam	Loch Ness	Floricanes	Winter 2020-2021	57 ³⁾
Braam	Von	Floricanes	Winter 2020-2021	46 ³⁾
Framboos	Kwanza	Primocanes	Winter 2018-2019	27-34 ²⁾
Framboos	Shani	Primocanes	Winter 2018-2019	32-35 ²⁾
Framboos	Diamond Jubilee	Floricanes	Voorjaar 2019	54 ⁴⁾
Framboos	Diamond Jubilee	Floricanes	Najaar 2019	50 ⁴⁾
Framboos	Kwanza	Floricanes	Winter 2019-2020	41 ⁵⁾
Framboos	Lagorai	Floricanes	Winter 2019-2020	53 ⁵⁾

1) Rivas, Liu en Heuvelink, 2021

2) Janse en Weerheim, 2022

3) Janse *et al.* 2022

4) Kempkes *et al.* 2020

5) Janse *et al.* 2021

Het relatieve deel van de drogestof dat bij houtig kleinfruit naar de generatieve delen (vruchten) wordt getransporteerd, lijkt afhankelijk te zijn van veel factoren, zoals het plantmateriaal (primocanes of floricanes), plantkwaliteit, ras, mate van vegetatieve ontwikkeling en teeltwijze. Bij zowel braam als framboos ligt het aandeel drogestof dat naar de vruchten gaat bij floricanes rond de 50%. In het onderzoek met primocanes was dit bij framboos slechts ruim 30%, maar dit lage percentage werd ook veroorzaakt door een matige zetting. Bij tomaat varieert het aandeel drogestof dat naar de vruchten gaat van 50% voor de fijnere typen tot maximaal 70% voor grove tomaten (De Visser, persoonlijke communicatie). Voor wat betreft houtig kleinfruit zou er dus nog verbetering mogelijk moeten zijn, maar mag niet ten koste gaan van de inwendige kwaliteit c.q. smaak. Dit zou vooral via veredeling, maar ook via optimalisatie van de opkweekcondities met bijv. voeding, of via teeltomstandigheden gerealiseerd moeten worden. Het blijft belangrijk om naar een meer generatief gewas te streven (zie ook Paragraaf 3.2.15).

3.2.18 Producties

3.2.18.1 Braam

Volgens Pitsioudis, Odeurs en Meesters (2009) kan de productie van Loch Ness in een glazenkas (zonder assimilatiebelichting) in het voor- en najaar resp. tot 6 en 4.5 kg/m² bedragen, dus maximaal ruim 10 kg/m² per jaar. Dit komt door de mogelijkheid/eigenschap bij dit ras om aan de secundaire en tertiaire scheuten van vruchtdragende lateralen vruchten te produceren.

In de praktijk bedraagt de productie in een voorjaarsteelt ongeveer 5 à 6 - 6.5 kg/m² en in het najaar 4 - 4.5 kg/m². Dit is echter wel afhankelijk van het ras. Zo is de productie van Loch Tay duidelijk lager dan van Loch Ness, maar is de smaak wel veel beter.

3.2.18.2 Framboos

Bij framboos worden, mede afhankelijk van de teeltfaciliteiten en ras, in de praktijk in een voorjaarsteelt producties behaald van 2.2 - 3.2 kg/m² en in het najaar 1.8 - 2.1 kg/m². In 2 voorjaarsteelten (2019 en 2020) in de BEST-kas met het frambozenras Diamond Jubilee, was de productie van klasse 1-vruchten resp. 3.6 en 4.4 kg/m². In een najaarsteelt (2019) in dezelfde kas bedroeg deze 3.1 kg/m² (Kempkes *et al.* 2020).

3.3 Enkele vruchtafwijkingen

Klimaatomstandigheden kunnen mede van invloed zijn op het optreden van bepaalde afwijkingen op braam- en/of framboosvruchten en daarmee de transitie naar fossielvrij bemoeilijken. Hieronder wordt ingegaan op in de literatuur gevonden oorzaken van het optreden van rode en witte vruchtbolletjes.

3.3.1 Rode bollen na de oogst bij braam

Het verschijnsel van rode bollen na de oogst is het verschijnsel dat bolletjes (Eng. 'drupelets') van een braamvrucht in de naooogstfase van zwart naar rood verkleuren. Hoewel uit onderzoek blijkt dat dit geen invloed heeft op smaakgevende stoffen, zullen consumenten bramen met rode bolletjes gemakkelijk associëren met onrijpe vruchten. De meeste rode bollen zijn binnen 24 uur na plaatsing in de koelcel al te zien, maar het verschijnsel kan tot 2 weken na de oogst nog toenemen (Edgley, Close en Measham, 2020).

Handlingschade

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de rode bollen vooral ontstaan als gevolg van handling. Heftiger en langer schudden van de vruchten tijdens transportsimulatie gaf namelijk meer vruchten met rode bollen (Salgado en Clark, 2016; Pérez-Pérez *et al.* 2018).

Het grote effect van handling werd onder meer door Edgley, Close en Measham (2019) bevestigd. De vruchten werden in hun onderzoek geoogst zoals in de praktijk gebruikelijk in ondiepe kratten en daarna in doosjes van 125 g verpakt. Dit werd vergeleken met zeer voorzichtig oogsten door met een schaar de steeltjes aan de vruchten door te knippen en de steeltjes aan de vruchten te laten zitten. Daarna werden ze letterlijk individueel in (de) watten gelegd. Bij de 'normaal' geoogste bramen had na 1 dag bij 4°C 85% van de vruchten één of meer rode bolletjes en bij voorzichtig oogsten slechts 6%. Min of meer dezelfde resultaten zijn door Janse *et al.* (2022) gevonden in een proef met Loch Ness waarbij verschillende behandelingen met handling werden uitgevoerd. De resultaten na 5 dagen bewaring bij 4°C zijn weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10

Het percentage vruchten met rode bollen bij verschillende behandelingen van de vruchten bij het ras Loch Ness.

Behandeling	Vruchten met rode bollen (%)
Voorzichtig met steeltje eraan oogsten zonder vruchten vast te pakken	0
'Normaal' oogsten	7
Steviger vruchten vastpakken bij oogsten	32
'Normaal' oogsten' en laten vallen op tafel van ca. 15 cm hoogte	96

Hoewel een valhoogte van 15 cm fors is, geeft de bovenstaande tabel wel duidelijk het negatieve effect van handling op de vruchtkwaliteit aan.

Rassen

Er zijn grote verschillen tussen rassen gevonden in gevoeligheid voor rode bolletjes (Salgado en Clark, 2016; Felts *et al.* 2020). Volgens Salgado en Clark (2016) hebben rassen met harde vruchten minder last van rode bolletjes.

In een WUR-onderzoek bleek het ras Chester duidelijk steviger na bewaring en minder rode bollen te geven dan Loch Ness. Stevigheidscijfers (schaal 1-10) na 10 dagen bewaring bij 4°C was voor Chester en Loch Ness resp. 5.9 en 4.8 en het % rode bollen resp. 16 en 64%, dus een factor 4 verschil (Janse en Weerheim, 2022).

Rasverschillen qua gevoeligheid voor rode bolletjes zouden o.a. te maken hebben met verschillen in celwandintegriteit, stevigheid en gewichtsverlies na de oogst (Edgley, Close en Measham, 2020).

Overige factoren

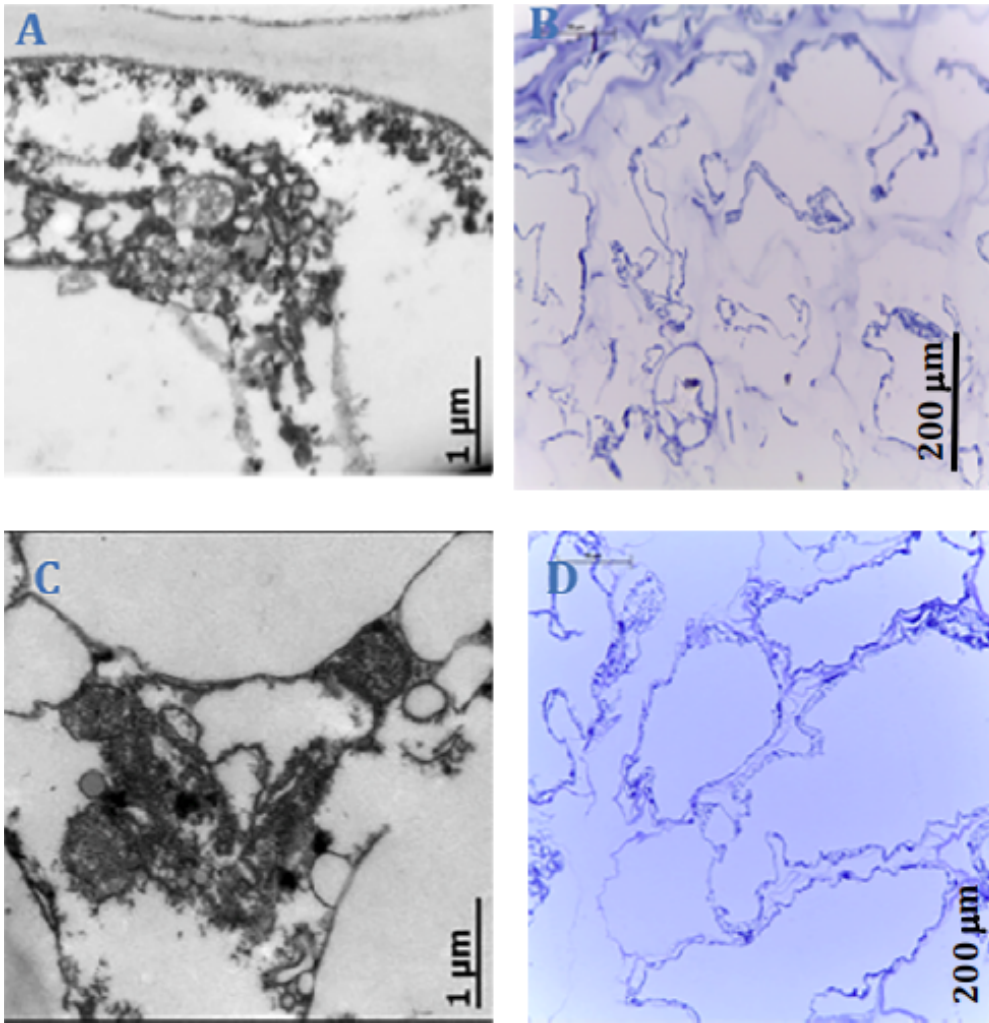
In het eerder genoemde handlingonderzoek door Edgley, Close en Measham (2019) waren warmere vruchten en dan vooral vruchten met een temperatuur hoger dan 23°C, bij een □normale□ oogst (mèt handling) gevoeliger voor het verschijnen. Dit komt overeen met de ervaringen van een Nederlandse bramenteler die in het kader van dit onderzoek bezocht is en van de onderzoekers McCroy *et al.* (2016) en Yin (2017), die allebei aangehaald zijn in het artikel van Felts *et al.* (2020). Daarentegen konden de laatst genoemde onderzoekers geen groot effect aantonen van het oogsten in de vroege morgen of in de middag op het optreden van rode bolletjes. Een snelle koeling van vruchttemperaturen boven de 25°C naar temperaturen onder de 2°C bevorderde het verschijnen. Dit komt waarschijnlijk door de sterkere verdamping van beschadigde vruchten. De ademhaling wordt bij lage temperaturen juist sterk verlaagd (Edgley, Close en Measham, 2019).

Glanzende vruchten zijn gevoeliger voor het ontstaan van rode bolletjes dan dofzwarte vruchten, mogelijk als gevolg van een hogere turgordruk (Perkins-Veazie, Collins en Clark, 1996; Edgley, Close en Measham, 2020). Dat kan één van de belangrijkste oorzaken van de constatering dat overrijpe vruchten die op de grond vallen, minder snel rode bolletjes vertonen. Dit was ook al bij bramentelers opgevallen.

In Australisch onderzoek uitgevoerd door Edgley, Close en Measham (2018), bleek een 2 maal zo hoge stikstofgift dan gebruikelijk bij in tunnels geteelde bramen, wat meer rode bollen te geven. Een halve N-gift t.o.v. normaal gaf echter geen significante verlaging van de hoeveelheid vruchten met rode bollen. Het aantal rode bolletjes nam af en de vruchten werden zachter, naarmate het oogstseizoen vorderde (januari tot maart: januari is daar midzomer!). Opeenvolgende bemonsteringstijdstippen met tussentijd van 15 dagen bedroeg het gemiddeld aantal rode bolletjes op de vruchten resp. 3.2, 2.6, 1.4, 1.2 en 0.7. Er kon in dit onderzoek echter geen verband worden gelegd tussen het optreden van hoge temperaturen en/of RV rond de oogstdata met het optreden van rode bollen.

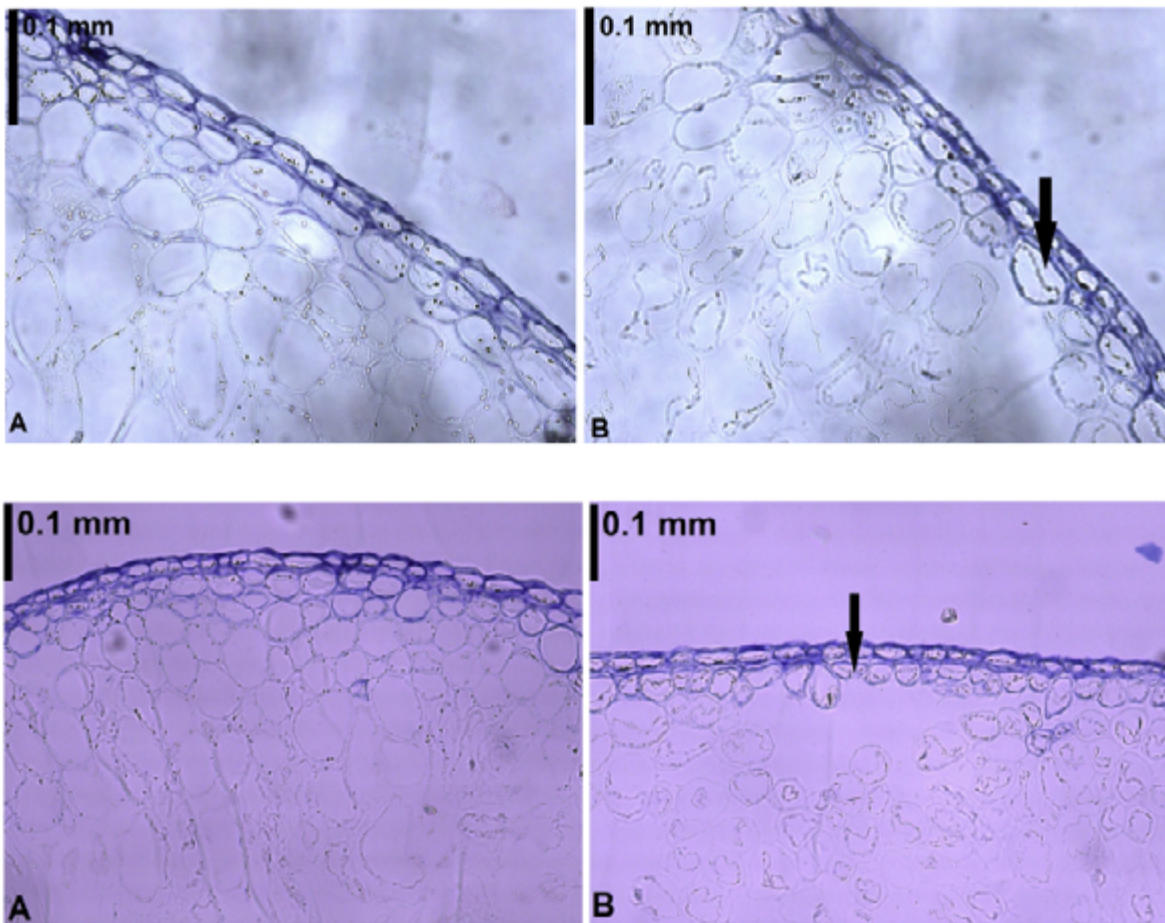
Microscopisch onderzoek

Wanneer de rood verkleurde en niet verkleurde bolletjes onder de (elektronen)microscop worden bekeken, dan zijn er duidelijke verschillen te zien (zie Fig. 12 en 13).



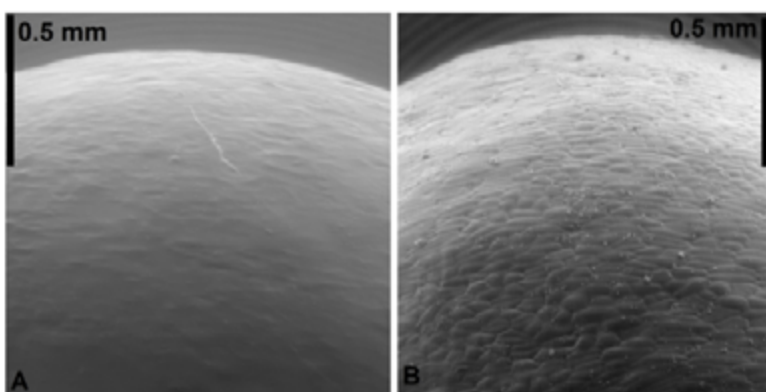
Figuur 12 Celstructuren van rode (A en B) en goede bollen (C en D) bekeken onder een elektronenmicroscop (resp. A en C) en een lichtmicroscop (resp. B en D). Figuur uit Pérez-Pérez et al. 2018.

Bij dwarsdoorsneden van de nog zwarte bolletjes zijn de celstructuren nog grotendeels intact, terwijl de cellen bij de rode bolletjes de cellen veelal kapot zijn. Ook uitwendig zijn er verschillen te zien (Fig. 14).



Figuur 13 Links- en rechtsboven: microscopische opnames van een dwarsdoornede van resp. een normaal en rood bolletje. De pijl geeft een beschadigde cel aan.
 Links- en rechtsonder: microscopische opnames van een dwarsdoorsnede van resp. een normaal en rood bolletje. De pijl geeft een intercellulaire ruimte aan (Figuur uit Edgley et al. 2019).

In Figuur 13 zijn duidelijk beschadigde cellen te zien. In de rode bolletjes zijn veelal binnen 3 cellagen intercellulaire ruimtes zichtbaar. Dit is niet het geval bij normale, zwarte bolletjes.



Figuur 14 Opnamen genomen met een elektronenmicroscop van het oppervlak van een vruchtbolletje met resp. links en rechts, zonder en met roodverkleuring (Figuur uit Edgley et al. 2019).

Het goede zwarte bolletje heeft een vrij glad oppervlak, terwijl het rood verkleurde bolletje een meer golvend oppervlak heeft.

De rode kleur van de bolletjes is het gevolg van een afname met ca. 50% van de concentratie aan anthocyanen. Deze anthocyanen zorgen voor de paarszwarte kleur van de vrucht (Kim *et al.* 2019). De afname in anthocyanen gaat samen met een verstoorde celstructuur en kapotte membranen (zie Figuur 12). Door de kapotte celwanden of vacuolen in een bolletje wordt de paarse kleurstof blootgesteld aan de lagere pH, waardoor deze verkleurt.

3.3.2 Witte bollen

Het verschijnsel van witte bollen (in het Engels 'white drupelets' of 'sunscald') bij braam en framboos komt voor bij vruchten die tegenaan de rijping zitting of al rijpe vruchten. Tussen rassen zijn er grote verschillen. Het zou volgens Clark en Moore (2005) ontstaan als gevolg van trips, bruine en groene stinkkever of door zonnebrand. Maar volgens andere onderzoekers zou het optreden na plotselinge hoge temperatuur in combinatie met lage RV + blootstelling aan UV (Bolda, 2009; Takeda, Glenn en Tworkoski, 2013). In een kas die gedekt is met ijzerhoudend "normaal" glas, zou UV echter een geringe rol moeten spelen in het optreden van witte bollen, omdat dit glas weinig UV-licht doorlaat.

Het enkele dagen voor de oogst beschaduwden van de frambozenplanten was even effectief in het tegengaan van witte bolletjes als continue beschaduwning (Renquist, Hughes en Rogoyski, 1989). Daarbij hadden plastic folies en filters die het UV-licht absorbeerden, een even groot effect als bedekking met aluminium folie. Ook het aanbrengen van schaduwdoek boven de planten kon het percentage vruchten met witte bolletjes sterk verminderen. Directe bestraling door de zon in de morgen of middag veroorzaakte bij braam meer vruchten met schade en ook ernstiger schade, dan vruchten die in de schaduw hingen. Het temperatuurverschil van de vruchten in de zon of schaduw kon wel oplopen tot 8°C. Takeda, Glenn en Tworkoski (2013) vonden dat vruchten die in een trelly-systeem aan de noordkant hingen, minder last hadden van witte bollen dan die aan de zuidkant.



Figuur 15 Witte bollen in vollegrondsbramen (Bron: Fernandez, Molina-Bravo en Takeda, 2018).

In belichtingsproeven uitgevoerd in het seizoen 2018-2019 met braam, kwam vooral bij Delphy IC en in duidelijk mindere mate bij WUR-Glas eveneens het verschijnsel van witte bolletjes voor. Deze witte bolletjes hadden soms een klein rood druppeltje in het midden (zie Figuur 16). In een onderzoek op het Delphy IC werden de meeste vruchten met witte bollen gevonden in de behandeling met dubbele interlight-modules. Mogelijk was dit mede een effect van een hogere planttemperatuur op die plaats (zie ook Paragraaf 3.2.6.1).



Figuur 16 Braamvruchten met witte bollen met soms een rood druppeltje in het midden.

In frambozen kan hittestress, ofwel vruchttemperaturen hoger dan 42°C, zogenaamde sunscald veroorzaken. Hierbij worden de rode kleurstoffen ontkleurd en ontstaan witte plekken op de vrucht. Zowel hoge temperaturen als UV-licht stimuleerden dit verschijnsel (Renquist, Hughes en Rogoyski, 1989).

3.4 Belangrijkste punten uit de literatuurstudie

- Huidige situatie: zowel bij framboos als braam is het areaal onder glas of tunnels rond de 30 ha. Vooral i.v.m. afzet- en arbeidsspreiding is de variatie in teeltwijze tussen de bedrijven erg groot. Bij 2 teelten per jaar is het productieniveau bij framboos 4-7 kg/m² en bij braam rond de 10 kg/m².
- De gerealiseerde etmaaltemperatuur bij framboos en braam is resp. 14 – 20°C en 16 – 22°C. Het gasverbruik varieert van 8 - 45 m³/m².
- Ook voor een fossielvrije teelt is goed plantmateriaal essentieel. Verbeteringen tijdens de opkweek en langere bewaring moeten mogelijk zijn.
- In de wintermaanden blijkt bij HKF een toenemende lichtintensiteit van het groeilicht tot ca. 150 µmol/m²/s een hogere productie te geven.
- Het lichtverzadigingspunt voor de fotosynthese is afhankelijk van verschillende factoren, waaronder ras en teeltperiode, en ligt afhankelijk van het onderzoek, globaal tussen de 500 en 1500 µmol/m²/s.
- Het effect van de temperatuur op de fotosynthesesnelheid is beperkt. De optimale bladtemperatuur ligt hiervoor tussen de 17 en 21°C. De invloed van de (plant)temperatuur op de ontwikkelingssnelheid is wel groot.
- In HKF ontstaat qua fotosynthese vaak een 'middagdip'. Hiermee kan rekening gehouden worden met de CO₂-dosering bij een beperkte beschikbaarheid van CO₂ in een fossielvrije situatie.
- Volgens modelberekeningen neemt de productie van braam in de winter met LEDs nauwelijks toe bij CO₂-gehalten boven de 800 ppm. Boven de 600 ppm is er al veel verlies van CO₂ naar de buitenlucht.
- In een LED-belichtingsproef met framboos leidde 10 keer zoveel doseren tot een gemiddelde CO₂-concentratie van 775 t.o.v. 460 ppm, maar met slechts 3% productiewinst.
- In metingen bleek de fotosynthese bij CO₂-concentraties boven de 500 ppm met name in de donkere periode slechts weinig toe te nemen.
- Een hoge RV bevordert meestal de vruchtgrootte, maar kan negatief uitpakken voor de bestuiving en houdbaarheid. Het gebruik van hokedrukverneveling onder droge omstandigheden lijkt wel positief.
- Bij een toenemende plantbelasting, neemt de fotosynthese in het blad toe. De LAI in HKF kan 7 m²/m² of zelfs hoger zijn.
- Gemiddeld gaat ongeveer 50% van de drogestofproductie naar de vruchten toe. De lichtbenuttingsefficiëntie ligt bij braam en framboos resp. rond de 2.9 en 1.7 g vers per mol PAR-licht. Via de veredeling zou dit verder verbeterd kunnen worden.
- In tegenstelling tot bij framboos, verhoogt diffuus glas sterk de productie bij braam.
- Het verschijnsel bij braam van rode bolletjes na de oogst, wordt voor het allergrootste deel veroorzaakt door handling.

4 Visie fossielvrije teelt van houtig kleinfruit

4.1 Verwachte areaalontwikkeling in houtig kleinfruit

De teelt van frambozen en bramen onder glas is de afgelopen 4-5 jaar vrij stabiel in areaal (zie Paragraaf 2.1). Er is geen aanleiding om aan te nemen dat dit areaal de komende 10 jaar sterk gaat stijgen of afnemen. Dit heeft een aantal redenen:

- Arbeidsintensiviteit.
- Genetica.
- Plantmateriaal.
- Concurrentiepositie Nederland.

4.1.1 Arbeid

De arbeidsbehoefte van HKF is vrij hoog. De gemiddelde plukprestatie in braam en framboos ligt op ongeveer 5.0 kg/uur. De plukarbeid weegt hierdoor zwaar op de kostprijs. Daarbij kost het plaatsen van de planten, weghalen van opschot en ruimen na de teelt veel tijd vanwege de weelderige groei. Ook uit arbeidsoogpunt zou het gewenst zijn om wat minder groeikrachtige rassen te telen.

4.1.2 Rassen

Door veredelingsbedrijven wordt er in HKF echter niet specifiek voor Noordwest-Europa veredeld, mogelijk enkele uitzonderingen in clubprogramma's daargelaten. Hierdoor wordt er niet gewerkt aan rassen voor de glastuinbouw, laat staan voor een belichte teelt. Dit betekent dat de geteelde rassen in Zuid-Europa veelal dezelfde zijn als in Noordwest-Europa, wat niet ideaal is voor de Nederlandse situatie. Zo behalen sommige bramenrassen in kassen een LAI die richting de 10 gaat! Dit is niet efficiënt voor de energiebalans van de plant en zal het warmtegebruik in bijvoorbeeld een vroege voorjaars- of verlate najaarsteelt onder glas verhogen als gevolg van een veel grotere gewasverdamping en daaraan gekoppelde toename in ontvochtigingsbehoefte.

4.1.3 Plantmateriaal

Nederland is groot in het produceren van plantmateriaal van zachtfruit. Met name de productie van frambozenplantmateriaal op organisch substraat is van belang voor de export. In Zuid-Europa en Marokko, waar veel frambozen voor de productie geteeld worden, is telen op substraat belangrijk i.v.m. de aaltjes- en virusdruk. De kwaliteit van het plantmateriaal is echter een belangrijk knelpunt. De uitloop en kwaliteit van de knoppen op de canes zijn erg variabel. Een slechte uitloop van de canes verlaagt de productiepotentie. In de praktijk is er nog onvoldoende kennis om de gemiddelde plantkwaliteit van braam en framboos op een hoger niveau te brengen.

4.1.4 Concurrentie

Een combinatie van bovenstaande factoren drukt op de concurrentiepositie van Nederlands product t.o.v. de import van buitenlands product of export naar de markten die bijvoorbeeld in aardbei wel bediend worden. Daarentegen is er wel een ontwikkeling gaande naar smaakvollere rassen, met name in braam, wat ook zeer gewenst is. Tevens is er vanuit de consument en supermarkten een sterkere vraag naar een lokaal en duurzaam geteeld product. Dit biedt nieuwe kansen voor de Nederlandse HKF-sector. Transportafstanden voor zachtfruit vanuit bijvoorbeeld landen als Marokko (framboos) en zeker vanuit Mexico (braam) zijn immers hoog. De recent enorm gestegen energieprijzen zijn in het nadeel van de Nederlandse HKF-teelt. Dit stimuleert wel de zoektocht naar energiezuinig en fossielvrij telen.

4.2 Hoe fossielvrij telen?

De plant staat centraal in een fossielvrije teelt. Eén van de belangrijkste factoren voor een fossielvrije teelt van HKF in kassen is de sturing van de energie- en de vochtbalans van de plant en sturing op de assimilatenbalans/plantarchitectuur van het gewas. Bij fossielvrij telen is het terugbrengen van de energievraag van uitermate groot belang. Hieronder worden de belangrijkste pijlers beschreven.

4.2.1 Verneveling

Bevochtiging van de lucht is een belangrijke teeltmaatregel onder zomerse, zonnige omstandigheden met hoge VPD. Van braam en framboos is namelijk bekend dat de huidmondjes knijpen bij een hoge VPD, sneller dan bijvoorbeeld in aardbei (zie ook Paragraaf 3.2.11). Het gebruik van hogedrukverneveling in combinatie met een zomerscherm biedt kansen voor optimalisatie van de fotosynthese en assimilatenbalans van de plant.

4.2.2 Schermen en kasdek

Met een zomerscherm kan licht worden weggeschermd en diffuus gemaakt worden op de momenten dat dit gewenst is, in plaats van een vrij permanente actie zoals het coaten en krijten van het kasdek. Hierdoor wordt het energie-aanbod (intensiteit) niet op seizoensbasis maar op dagbasis gestuurd. Hiermee behoudt de teler de keuze of het wegschermen van licht en energie wenselijk is of niet, in plaats van een meer permanente keuze als coaten/krijten. Wanneer de instraling laag is, zoals tijdens een donkere dag of aan de randen van de dag, is het ook voor HKF belangrijk om zoveel mogelijk licht in de kas binnen te laten. Met een coating of krijten is dit niet mogelijk.

Gezien de positieve ervaringen in het onderzoek met braam en ook in de praktijk (zie Paragraaf 3.2.14.3), is zeker bij braam een diffuus dek gewenst. Dit geeft een betere lichtdoordringing in het gewas, een betere horizontale lichtverdeling en bij hoge instraling een betere controle van het klimaat en van de plant, resulterend in een hogere productie. Naast het gebruik van een zomerscherm op de dag is het schermen tegen uitstraling een teelttechnische maatregel die zorgt voor een betere temperatuurgelijkheid in het gewas en het verlies van warmte van de plant naar het kasdek.

Voor de teelt van HKF zijn minimaal twee schermen benodigd. Dit betreft een zomerscherm en een helder of diffuus energiedoek, waarbij het energiedoek gebruikt wordt voor isolatie. Voor HKF-teelten die meer energie vragen, zoals braam, zijn zeker bij een fossielvrije teelt drie schermen benodigd om het warmteverlies te beperken. In deze configuratie wordt er uitgegaan van een zomerscherm en twee energieschermen. Van deze twee energieschermen is er minimaal één een helder energiescherm. Het energie- en zomerscherm zou dan op hetzelfde dradenbed mogen liggen.

Zodra er belicht wordt, wordt er een energiescherm omgewisseld voor een lichtuitstootscherm en zijn drie scherminstallaties gewenst die onafhankelijk van elkaar te sturen zijn. In een belichte teelt blijft het zomerscherm van belang. In braam en framboos zijn er twee teelten per jaar. Dit betekent dat een winterteelt onder belichting verbonden is aan een zomerteelt. Tot slot kan er naast het schermen voor beperking van het warmteverlies, nog gedacht worden aan isolatie van de zijgevels, bijvoorbeeld door polycarbonaat of ander sterk isolerend en lichtdoorlatend materiaal. De vaak beperkte grootte van HKF-bedrijven (zie Paragraaf 2.1.1) zorgt veelal voor relatief veel gevelverliezen, namelijk 20% bij een bedrijf van 1 ha t.o.v. 10% bij een bedrijf van 4 ha, beiden bij ideale oppervlakte-gevel verhoudingen ofwel vierkante bedrijven.

Gezien de positieve ervaringen met de teelt van frambozen en bramen in de BEST-kas bij WUR Glas, waarbij er isolerend noppenfolie in het dek en deels ook in de zijgevels zit, is de teelt van HKF in zo'n kas zeker het overwegen waard (Arkesteyn, 2019; Kempkes *et al.* 2020).

4.2.3 Temperatuur

Naar verwachting wordt de temperatuursturing energie-efficiënter ingericht, waarbij afgeweken wordt van de traditioneel lage nachttemperaturen. Energetisch en voor de plantopbouw is het interessanter om gebruik te maken van een variabele, maar veelal kleinere DIF dan traditioneel. Dit heeft als voordeel het opbouwen van een werkbaarder gewas (minder strekking), wat sneller te oogsten is. Daarnaast voorkomt dit de hoge energiebehoefte in de ochtend bij het opstoken en het snelle verlies aan warmte in de avond bij het terugkoelen van de kas via ventilatie.

4.2.4 Diffuus maken

Tot slot biedt de sterke diffusering, wegnemen van stralingswarmte wanneer dit relevant is en bevochtigen en ontvochtigen mogelijkheden om tijdens de oogst hogere dagtemperaturen aan te houden. Hierdoor blijft er ook meer gedoseerde CO₂ in de kas en kan CO₂ beter door de plant worden benut (zie ook Paragraaf 4.2.7). Convectiewarmte zal een vrijwel gelijk effect hebben op de blad- en vruchttemperatuur, maar de straling van de zon ligt veelal op een veel hoger niveau, in de orde van grootte van 400 – 700 W/m². Bij hogere dagtemperaturen kan de waarschijnlijk beperkt beschikbare of dure CO₂ beter benut worden omdat de ventilatieverliezen kleiner zullen worden.

4.2.5 Ontvochtiging

Naast de energiebalans van de kas is hier ook de vochtbalans van de kas van belang. Ontvochtiging in met name de wintermaanden is een belangrijk thema in het fossielvrije teeltsysteem van de toekomst. Braam en framboos zijn gewassen met relatief veel gewas en dus een hoge vochtproductie. In de praktijk vindt de nu ontvochtiging plaats middels het gebruik van een minimumbuis en het openen van de luchtramen. Hier liggen veel kansen voor actieve en passieve ontvochtigingsstrategieën, zeker als de teelttemperaturen op een hoger niveau komen te liggen zal dit ontvochtiging effectiever kunnen maken. Vanwege het volle gewas, zowel in de hoogte als breedte, is het in de toekomst interessant om van onderuit te ventileren en/of te ontvochtigen.

4.2.6 Temperatuurstrategie

Traditioneel wordt er in HKF gewerkt met een relatief hoge basis-etmaaltemperatuur en een relatief kleine lichtverhoging. In vergelijking tot aardbei produceren braam en framboos een langere periode op een stabiel niveau. Dit betekent dat de piekvraag naar assimilaten lager is en er in de klimaatsturing minder sterk rekening gehouden hoeft te worden met de uitgroei en vruchtkwaliteit. Hierdoor biedt de toepassing van een lagere basis-etmaaltemperatuur en forse lichtverhogingen bij deze gewassen zeker mogelijkheden. Het efficiënter inrichten van de klimaatstrategie biedt zowel voordelen voor de energiebehoefte van de teelt, als voor de energie-aanmaak van de plant, omdat het licht beter benut wordt en CO₂ en vocht makkelijker vastgehouden wordt. Tot slot geldt deze strategie niet enkel voor de dag, maar tevens voor verhogingen in de nacht. De warmte wordt langer vastgehouden en het verschil tussen nacht- en basis-dagtemperatuur is minder groot. Hiermee wordt de energiebehoefte om op de basisdagtemperatuur te komen, verminderd.

4.2.7 CO₂

De afgelopen jaren hebben er bij WUR-Glas in Bleiswijk diverse proeven met HKF plaats gevonden. In één van de onderzoeken met framboos in een winterteelt, waar twee afdelingen op hoog en laag CO₂ gehouden werden, bleek dat de voordelen van hoog CO₂ c.q. veel CO₂ doseren, zeer beperkt waren voor de totaalproductie (Janse *et al.* 2021). Het in de tuinbouw gebruikte CO₂, wordt momenteel nog voor een zeer groot gedeelte via verbranding van fossiele brandstof geproduceerd. In sommige gebieden, namelijk in het West- en Oostland, kan door telers gebruik gemaakt worden van OCAP-CO₂. Deze bestaat voor ongeveer 2/3 uit CO₂-gas dat afkomstig is uit een ethanolvergister, waarbij als grondstof voornamelijk mais wordt gebruikt. Deze CO₂ kan dus wel aangemerkt worden als fossielvrij. Het overige deel van de OCAP-CO₂ ontstaat bij de productie van waterstof uit aardgas en is dus niet fossielvrij.

Het op het juiste moment inzetten van CO₂ op basis van instraling, in combinatie met een agressievere RTR-sturing, moet het maximale rendement van de beschikbare (fossielvrije) CO₂ geven. Tot slot moet zoveel mogelijk voorkomen worden dat het CO₂-niveau in de kas onder de buitenwaarde zakt, omdat de fotosynthese bij veel licht dan fors daalt (zie ook Paragraaf 3.2.12).

4.2.8 Biobrandstoffen

In de ontwikkeling naar een fossielvrije tuinbouw zal de centrale rol van aardgas als energiebron komen te vervallen. In principe kunnen de huidige installaties gebruikt blijven worden, waarbij aardgas mogelijk vervangen zou kunnen worden door biogas, biomassa-producten of biodiesel. Door het recente kabinetsbeleid zijn biobrandstoffen eigenlijk afgevalen. Bij massaal gebruik van de alternatieve energiedragers zouden deze bij massaal gebruik echter ook aanzienlijk duurder worden. Er moet dus voor de warmtebron gekeken worden naar andere fossielvrije alternatieven.

4.2.9 Alternatieve warmtebronnen

Traditionele warmtebronnen zijn de zon, ketelverwarming en warmtekrachtkoppeling. De warmtebehoefte kan ook worden ingevuld met geothermie, industriële restwarmte via een warmtenet of warmte die in de zomer aan de kas onttrokken is en via opslag in een aquifer in de winter wordt gebruikt voor verwarming. Deze technieken zijn uiteenlopend en erg afhankelijk van de ligging en mogelijkheden rondom het bedrijf.

Op jaarbasis is er juist een energie-overschot bij de HKF-teelten. Wanneer hier warmte geoogst en benut kan worden in de perioden van energievraag, is de kas werkelijk de energiebron. Ook zijn er mogelijkheden om de warmte die vrijkomt bij ontvochtiging van de kas binnen een etmaal of enkele dagen, of in naastgelegen kasafdelingen, te gebruiken voor de verwarming. Bij het koelen en bij actieve ontvochtiging van de kas is wel een koudebron nodig. Deze koude kan goed met een warmtepomp worden geproduceerd. Door toepassing van deze technieken wordt de kas uiteindelijk door elektriciteit verwarmd. De elektriciteit die daarbij wordt ingezet moet dan wel een groene herkomst hebben.

4.2.9.1 Warmte vanuit belichting

In HKF wordt nog op kleine schaal belicht, waarvan momenteel nog ongeveer 50% met SON-T belichting. Richting fossielvrij en het in de perken houden van het elektriciteitsgebruik, is de toepassing van LEDs de aangewezen weg. Een hogere elektriciteitsefficiëntie gaat wel gepaard met minder warmte-inbreng van de lampen. Zie ook: <https://www.digigreenhouse.wur.nl/edu/kassimClient2/?token=e57f7c80-f45b-41ad-8274-cc6bea384812>

Bij overschakelen van SON-T naar LED zal het gewas wat minder warm worden. Dat is vooral omdat de kas ook minder warm wordt. Door de efficiëntere omzetting van elektriciteit bij LED zal er soms zelfs wat meer bijverwarmd moeten worden (minder warmteoverschotten). Een groot verschil met SON-T is dat de LED de mindere warmte die deze lamp geeft, ook nog eens meer convectief zal gaan afgeven, waar de SON-T dat meer via straling doet. De PAR-straling is bij een gelijk belichtingsniveau hetzelfde, dus zal er verschil zijn in de NIR-straling.

Bij toepassing van LED zullen er minder warmteoverschotten ontstaan. Deze warmte-inbreng betreft echter nog steeds een belangrijk deel van de invulling van de totale warmtevraag die geoptimaliseerd kan worden.

4.2.9.2 Terugwinnen van warmte bij ontvochtiging

Bij de traditionele ontvochtiging via de ramen zullen voelbare en latente warmteverliezen ontstaan die met de verwarming vervolgens aangevuld moeten worden. Met diverse ontvochtigingstechnieken zijn voelbare en zelfs ook latente warmteverliezen te minimaliseren en de vochthuishouding van de kas te verbeteren. De kas zal met name in het voor- en najaar in onbelichte teelten meer gesloten worden in tijden van ontvochtiging, wat ook CO₂-verliezen kan beperken.

Het meest eenvoudige systeem is om buitenlucht met de warme vochtige kaslucht in een lucht-lucht warmtewisselaar voor te verwarmen. Hiermee wordt voornamelijk voelbaar warmteverlies bij ontvochtiging beperkt. De effectiviteit is echter sterk afhankelijk van de buitentemperatuur en -luchtvochtigheid. Bij warme, vochtige teelten en lage buitentemperaturen zal ook een klein deel van het latente warmteverlies hier voorkomen worden, omdat waterdamp uit de kaslucht zal gaan condenseren in de lucht-lucht warmtewisselaar. Bij actieve ontvochtiging wordt deze condensatie gegarandeerd doordat de kaslucht tot onder het dauwpunt wordt afgekoeld. Dan wordt het latente warmteverlies geheel voorkomen. Voor het onder het dauwpunt terugkoelen van de kaslucht is wel koud water van enkele graden lager dan het dauwpunt van de kas benodigd. Deze koude kan goed met een warmtepomp worden gemaakt. De vrijgekomen warmte kan worden gebruikt om de gedroogde kaslucht weer op te warmen naar de temperatuur van de kaslucht. De warmtepomp maakt meer warmte dan hier strikt noodzakelijk voor is. Dit warmteoverschot kan gebruikt worden om de kaslucht verder op te warmen of om op te slaan in een warmtebuffer om op een later tijdstip te gebruiken. Voor een efficiënte werking van deze systemen mogen de teelttemperaturen idealiter niet onder de 12-14°C komen om functionaliteit te garanderen.

Volgens WUR-onderzoek van een aantal jaren geleden, zouden technieken voor ontvochtiging vanaf gasprijzen van zo'n € 0.30 per m³ rendabel te rekenen zijn (Van Hoogstraten, 2017). Als de gasprijs rond de € 1 per m³ blijft, zoals sommigen voor in de toekomst verwachten, dan zijn deze technieken zeer zeker aantrekkelijk.

4.2.9.3 Verwarmingsoppervlak (VO)

Zoals hiervoor al is beschreven, kan de warmtepomp belangrijk worden om de kas te verwarmen. Belangrijk hierbij is dat de efficiency van de warmtepomp afhankelijk is van de watertemperatuur. Idealiter zou de watertemperatuur niet boven de 45°C mogen komen. Het vergroten van het VO biedt dan de ruimte voor het gebruik van lagere watertemperaturen. Als men naar de bramenteelt kijkt, de tot op heden meest energiebehoefte zachtfruitteelt, dan hangen de goten/staan de rijen potten vaak op twee meter van elkaar. Dit betekent dat er op een 8 m tralie ruimte is voor 4 sets buisrail ofwel 8 verwarmingsbuizen van 51 mm. Met 8 x 51 mm buizen in een 8 m tralie wordt bij een kasluchttemperatuur van 15°C en een buis van 45 graden ca. 60 W/m² aan warmte afgegeven. Met 2 gesloten schermen kan de kas dan verwarmd worden tot buitentemperaturen van rond het vriespunt, niet opwarmend, geen neerslag, etc.. Als dit niet voldoende is om de kas te verwarmen met laagwaardige warmte in combinatie met een extra scherminstallatie, dan moet gekeken worden naar het vergroten van het VO. Dit geldt met name in onbelichte teelten, waar er geen warmte van de LEDs komt.

4.3 Fossielvrije HKF-teelt in het kort

In voorgaande paragraaf is ingegaan op de mogelijkheden van fossielvrij telen van HKF. In de praktijk is de variatie in teeltwijze van HKF erg groot, wat het lastig maakt om een uniform teeltconcept voor fossielvrij telen te geven. Fossielvrij telen kan betekenen dat er alleen met warmte vanuit de zon wordt geteeld. Dit houdt echter in dat er maar in een beperkte periode kan worden geoogst en de teelt minder stuurbaar wordt. Uit oogpunt van o.a. afzet en arbeid is het juist belangrijk om een lange periode te kunnen oogsten. Dit betekent dat er ook in andere perioden geplant en er extra warmte in de kas gestopt zal moeten worden. Dit zal dan wel fossielvrij geproduceerde warmte moeten zijn.

Hieronder worden in het kort de technische en teelttechnische mogelijkheden voor een fossielvrije teelt van houtig kleinfruit nog eens opgesomd en samenvattend een beeld geschetst voor een fossielvrije toekomst.

Technisch:

- Verhogen isolatiegraad via energiescherm(en) en gevelisolatie.
- Alternatieve warmtebronnen, zoals aardwarmte, industriële restwarmte, oogsten zonnewarmte in kas en langdurige opslag in aquifer. Deze toepassingen zijn echter niet altijd en overal mogelijk.
- Warmtebenutting afkomstig van energiezuinige LEDs: elektriciteitsproductie moet dan wel fossielvrij zijn.
- Terugwinning voelbare en latente warmte bij ontvochtiging kaslucht via warmtepomp en benutting van deze warmte voor directe opwarming van de kaslucht of opslag in warmtebuffer voor gebruik op etmaalbasis.
- Vergroten van verwarmingsoppervlak: dan kan de kas met een lagere buistemperatuur verwarmd worden als de warmte geproduceerd is via een warmtepomp.
- Gebruik biobrandstoffen: is door recent kabinetsbeleid in feite afgefallen en zou anders door schaarste hoogstwaarschijnlijk duur worden.

Teelttechnisch:

- Kleinere DIF: vasthouden warmte aan het einde dag, 's nachts isolatie via scherm, waardoor er 's morgens minder opgestookt hoeft te worden.
- Moment van opstoken uitstellen, zodat de zon een groter deel van de opwarming van de kaslucht voor zijn rekening neemt.
- Lagere basistemperatuur aanhouden en forse lichtverhoging (RTR) instellen met gebruikmaking van zonnewarmte.
- Temperatuurintegratie toepassen met compensatie binnen een etmaal of binnen 3 tot 7 dagen voor een te laag gerealiseerde etmaaltemperatuur. Hierbij zoveel mogelijk gebruikmaken van de (gratis) zonnewarmte.
- Toepassing hogedrukverneveling: hierdoor verlaging kas- en planttemperatuur, minder knijpen huidmondjes, betere CO₂-benutting.
- Inzetten zomerscherm om bij hoge instraling plantstress en vruchtafwijkingen te voorkomen.
- Het op het juiste tijdstip inzetten van de dan schaarse en dure, fossielvrij geproduceerde CO₂.
- Accepteren van een wat hogere luchtvochtigheid, zonder dat dit leidt tot slechte bestuiving, zetting en schimmelvorming.
- Alleen warmte inbrengen als er warmtevraag is, dus niet standaard een minimumbuis inzetten in combinatie met een minimumventilatie.
- Verschuiving teelt naar latere plantdatum. In die situatie echter ophoping van productie in eenzelfde periode en slechte benutting van de teeltruimte, omdat er dan in deze kas (zeker met braam) maar één teelt per jaar kan worden gedaan.

Toekomstbeeld fossielvrij

Als we uitgaan van hoge energieprijzen in de toekomst van zo'n € 1 euro per m³ gas en € 0.20 tot 0.25 per kWh aan elektriciteit, dan zou een fossielvrij bedrijf met houtig kleinfruit er als volgt uit kunnen zien.

Het bedrijf heeft diffuus glas, 3 schermen, actieve ontvochtiging met warmteterugwinning, groeilicht van LEDs met beperkte lichtintensiteit (max. 150 µmol/m²/s) bij een belichtingsduur van zo'n 14 uur, beperkt CO₂ doseren, hogedrukverneveling, in elk geval in de winter matige etmaaltemperaturen handhaven en een gewas met een beperkte bladhoeveelheid nastreven. Met een klein beetje warmte uit een WarmteKoudeOpslag (WKO) via zonthermie zou een HKF-teler dan ver kunnen komen. Als een WKO niet mogelijk is, dan via een aansluiting op geothermie. Als dit allemaal niet mogelijk is, dan zal een teler genoeg moeten nemen met lage temperaturen als het buiten erg koud is. Hierbij zullen er geen of zo weinig mogelijk concessies gedaan mogen worden aan de productie en kwaliteit van het geoogste product.

4.4 Kennishiaten i.r.t. fossielvrij telen van HKF

Uit dit onderzoek zijn voor fossielvrij telen van HKF een aantal kennishiaten naar voren gekomen die hieronder worden beschreven. Een aantal kennishiaten zijn ook door HKF-telers genoemd, maar hebben niet altijd een directe relatie met fossielvrij telen.

Tijdens het schrijven van het rapport was er een enorme stijging van zowel de prijzen voor gas en elektriciteit aan de gang, waardoor het van nog meer belang wordt om het totale energiegebruik sterk te beperken en op de juiste momenten in te zetten.

- Optimalisering CO₂-dosering bij beperkte beschikbaarheid van CO₂ door op de juiste momenten van de dag te doseren. Bij zowel braam als framboos is er in onderzoek een 'namiddagdip' in fotosynthesesnelheid geconstateerd. Wat is hiervan de oorzaak en hoe kan dit voorkomen worden?
- V.w.b. belichting: beperkte kennis lichtspectrum. Wat is de optimale intensiteit over de dag rekening houdend met middagdip in fotosynthese?
- Wat is de optimale LAI uit oogpunt van assimilatenproductie en -verdeling? Een hoge LAI betekent meestal meer vochtproductie en dat vocht moet ook weer worden afgevoerd.
- Meer kennis verzamelen over waterbehoefte van braam tijdens de teelt.
- Optimalisatie van het klimaat in verband met fossielvrij telen. Wat is de juiste etmaalstrategie en wat is daarvan de onderbouwing? Ten opzichte van aardbei, en dan met name van junidragers, is er bij HKF een grote achterstand in kennis.
- Hoe gewas sturen naar een vlakkere productie, generatief/vegetatief, hogere lichtefficiëntie? Wanneer ontstaat lichtstress en sluiting huidmondjes?
- Verbetering plantmateriaal. Vaak enorme variatie in, en onvoldoende kwaliteit van, het plantmateriaal dat ontstaan is tijdens de opkweek en bewaring van de canes. Dit behoeft duidelijk verbetering om een rendabeler kasteelt van HKF te realiseren.
- Voeding moet beter kunnen. Bijv. bemestingsschema van framboos is nu gebaseerd op aardbeiras Elsanta.
- Om rendabel HKF fossielvrij onder glas te telen zal het productieniveau van vooral framboos omhoog moeten. Hierbij ligt ook een taak voor de veredeling, maar glasteelt is voor veredelaars relatief onbelangrijk.
- Goede biologische bestrijding bij lagere temperaturen. De gehandhaafde temperaturen voor HKF zijn nogal eens suboptimaal voor biologische bestrijders.

Literatuur

Arkesteijn, M., 2019.

Noppenfolie geeft meer frambozen met minder gas dan glas. Prima productie met een goede kwaliteit. Onder Glas, november 2019, p. 16-17.

Bolda, M.P., 2009.

White drupelets. UC IPM Pest Management guidelines, caneberries, pp 48.

Cameron, J. en C.A. Hartley, 1989.

The influence of leaf: fruit ratio on gas exchange characteristics of red raspberry leaves. In V International Symposium on Rubus and Ribes, Acta Hortic. 262: 255-258.

Cameron, J.S., S.F. Klauwer en C. Chen, 1993.

Development and environmental influences on the photosynthetic biology of red raspberry (*Rubus idaeus* L.). Acta. Hort. 352:113-121.

Carew, J. G., T. Gillespie, J. White, H. Wainswright, R. Brennan en N.H. Battey, 2000.

The control of the annual growth cycle in raspberry (Review article). Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 75:495-503.

Clark, J.R. en J.N. Moore, 2005.

'Oauchita' thornless blackberry. HortScience 40: 258-260.

Donnelly, D. en W.E. Vidaver, 1984.

Pigment content and gas exchange of red raspberry in vitro and ex vitro. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109:177-181.

Deyton, D. E., S.K. Hunt en C.E. Sams, 2015.

Influence of position, age, and environmental factors on photosynthesis of red raspberry leaves. In XI International Rubus and Ribes Symposium. Acta Hortic. 1133:247-252.

Dieleman, A., A. de Gelder, K. Weerheim, M. Kruidhof, W. Verkerke, N. Garcia en J. Janse, 2020.

Denkkader licht: Naar een effectief gebruik van LED belichting in de glastuinbouw (No. WPR-774). Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw.

Edwards, G.E., S.B. Ku en J.G. Foster, 1983. Physiological constraints to maximum yield potential, p. 105-109.

In: T. Kommedahl and P.H. Williams (eds.). Challenging problems in plant health. Amer. Phytopathol. Soc., St. Paul, Minn.

Edgley, M, D.C. Close en P.F. Measham, 2018.

The effects of N fertiliser application rates on red drupelet disorder (reversion) in 'Oauchita' thornless blackberries grown under tunnels. Acta Hortic. 1205:885-890.

Edgley, M, D.C. Close en P.F. Measham, 2019.

Effects of climatic conditions during harvest and handling on the postharvest expression of red drupelet reversion in blackberries. Sci. Hort. 253:399-404.

Edgley, M, D.C. Close, P.F. Measham en D.S. Nichols, 2019.

Physiochemistry of blackberries (*Rubus* L. subgenus *Rubus* Watson) affected by red drupelet reversion. Postharvest Biology and Technology, 153:183-190.

Edgley, M, D.C. Close en P.F. Measham, 2020.

Red drupelet reversion in blackberries: A complex of genetic and environmental factors. Sci. Hort. 272: 1-9.

Felts, M, R.T. Threlfall, J.R. Clark en M.L. Worthington, 2020.

Effects of harvest time (7:00 am and 12:00 pm) on postharvest quality of Arkansas fresh-market blackberries. Acta Hortic. 1277:477-486.

Fernandez, G.E. en M.P. Pritts, 1994.

Growth, carbon acquisition, and source-sink relationships in 'Titan' red raspberry. J. Am. Soc. Hort. Sci. 119:1163-1168.

Fernandez, G.E. en M.P. Pritts, 1996.

Carbon supply reduction has a minimal influence on current year's red raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit production. J.Amer.Soc. Hort. Sci. 121:473-477.

Felts M., R.T. Threlfall, J.R. Clark en M.L. Worthington, 2020.

Effects of harvest time (7:00 am and 12:00 pm) on postharvest quality of Arkansas fresh-market blackberries. Acta Hortic. 1277:477-486.

Freeman, J.A., G.W. Eaton, T.E. Baumann, H.A. Daubeney en A. Dale, 1989.

Primocane removal enhances yield components of raspberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:6-9.

- Funt, R.C. en H.K. Hall (eds), 2013.
Raspberries. Crop Production Science in Horticulture, CABI, 282 p.
- Gardner, F. P., R.B. Pearce en R.L. Mitchell, 2017.
Physiology of crop plants. Scientific publishers.
- Gotame, T.P., L. Andersen, K.K. Petersen, H.L. Pedersen, C.O. Ottoesen en J. Graham, 2013.
Chlorophyll fluorescence and flowering behaviour of annual-fruited raspberry cultivars under elevated temperature regimes. Eur. J. Hortic. Sci. 78:193–202.
- Fernandez, G.E., R. Molina-Bravo en F. Takeda, 2018.
What we know about heat stress in rubus. Chapter 3. In: Graham, J. en R. Brennan, Eds, 2018. Raspberry: Breeding, Challenges and Advances. Springer, 164 p.
- Hall, H. K. en T. Sobey, T., 2013.
Climatic requirements. Raspberries: Crop Production Science in Horticulture, 23, 33-44.
- Hall, H.K. en R.C. Funt, (eds), 2017.
Blackberries and their hybrids. Crop Production Science in Horticulture, CABI, 358 p.
- Heijerman G. en W. van Eldik, 2020.
Winterteelt braam in Nederland met LED, 2019-2020. Rapport Delphy B.V..
- Helmus-Schuddebeurs, L., Heijerman, G., & Eldik, W. Van., 2018.
Frambozen en Bramen onder LED belichting, fase 1. Rapport Delphy Improvement Centre.
- Helmus-Schuddebeurs, L. en G. Heijerman, G., 2019.
LED belichting in bramen. Rapport Delphy Improvement Centre.
- Heuvel J. E. Vanden, J. A. Sullivan en J.T.A. Proctor, 2000.
Trellising System and Cane Density Affect Yield and Fruit Quality of Red Raspberry. HortScience 35(7):1215–1219. 2000.
- Janse, J., P. de Visser, K. Weerheim, M. Raaphorst en T. van Twist, 2021.
Energiezuinige winterteelt framboos met focus op CO₂. Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen. Rapport WPR-1056, 56 p.
- Janse, J., A. van Klink, K. Weerheim, D. de Jager en M. Raaphorst, 2022.
Efficiënte jaarrond bramenteelt met LED. Rapport WPR, in press.
- Janse, J. en K. Weerheim, 2022.
Nieuw licht op houtig kleinfruit. Rapport WPR, in press.
- Jiao, J., M. Gilmour, M.J. Tsujita en B. Grodzinski. 1991.
Influence of radiation and CO₂ enrichment on whole plant net CO₂ exchange in roses. Can. J. Plant Sci. 71:245-252.
- Keep, E., 1988.
Primocane (autumn)-fruiting raspberries: a review with particular reference to progress in breeding. J. Hort. Sci., 63: 1–18.
- Kempkes, F., J. Janse, M. Raaphorst, A. Boedijn en E. van Os, 2020.
Proof-of-principle Noppenfolie-kas voor de teelt van framboos. Wageningen University & Research Business Unit Glastuinbouw en Bloembollen, Rapport WPR-1006, 46 p.
- Kerbusch, A., M. Boonen en D. Bylemans, 2015.
Welk effect heeft diffuus glas op bramen? Boerenbond (Management & Techniek no. 4), 27 februari 2015, p. 32-33.
- Kim, M.J., M. Y. Lee, J. C. Shon, Y. S. Kwon, K.-H. Liu, C. H. Lee en K.-M. Ku, 2019.
Untargeted and targeted metabolomics analyses of blackberries – Understanding postharvest red drupelet disorder. Food Chemistry 300: 125169.
- Klauer, S.F., C. Chen, P.F. Foote en J.S. Cameron, 1992.
Diurnal photosynthesis and starch deposition in leaves of fruiting and deflowered red raspberry canes. HortScience 27: 654.
- Lykins, S., K. Scammon, B.T. Lawrence en J.C. Melgar, 2021.
Photosynthetic light response of florican leaves of erect blackberry cultivars from fruit development into the postharvest period. HortScience, 56(3), 347-351.
- Mochizuki, M.J., O. Dugovich, M.H. Ahumada, S. Ashkan en C.J. Lovatt, 2010.
Carbon dioxide enrichment may increase yield of field-grown red raspberry under high tunnels. HortTech. 20:213-219.

- Muster, G., 2009.
Effects of Modified Air Temperature and Relative Humidity on Vegetative and Generative Parameters of Red Raspberry. Proc. W. Berry Prod. and Cult. Systems. Acta Hort. 838: 87-91.
- Nacheva, L., N. Dimitrova, L. Koleva-Valkova, I. Tarakanov en A. Vassilev, 2021.
Effect of LED lighting on the growth of raspberry (*Rubus idaeus* L.) plants in vitro. Agricultural Sciences/ Agrarni Nauki, 13(29).
- PCFruit, 2021.
'COOLPLANT' : Optimale bewaring van frambozen- en bramenplanten in de koeling. 0032(0).
- Pérez-Pérez, G.A., Fabela-Gallegos, M.J., Vázquez-Barrios, M.E., Rivera-Pastrana, D.M., Palma-Tirado, L., Mercado-Silva en E., Escalona, V., 2018.
Effect of the transport vibration on the generation of the color reversion in blackberry fruit. Acta Hort. 1194: 1329–1336.
- Percival, D., 1996.
Whole-plant net CO₂ exchange of raspberry as influenced by air and root-zone temperature, CO₂ concentration, irradiation, and humidity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(5): 838.
- Percival, D.C., J.T.A. Proctor en M.J. Tsujita, 1996.
Whole-plant net CO₂ exchange of raspberry as influenced by air and root-zone temperature, CO₂ concentration, irradiation, and humidity. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 121:838–845.
- Perkins-Veazie, P., J.K. Collins en J.R. Clark, 1996.
Postharvest reddening in blackberries. Proc. Oregon Hortic. Soc. 87:137-141.
- Pitsioudis, F., W. Odeurs en P. Meesters, 2009.
Early and Late Production of Raspberries, Blackberries and Red Currants. Acta Hort. 838:33-38.
- Pritts, M.P., 2002.
From plant to plate: How can we redesign rubus production systems to meet future expectations? Acta Hort. 585: 537-543.
- Privé, J.P., J.A. Sullivan, J.T.A. Proctor en O.B. Allen, 1993.
Climate influences vegetative and reproductive components of primocane-fruiting red raspberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118(3):393–399.
- Rom, C.R. en J.R. Clark, 1991.
Gas exchange characteristics of field-grown 'Shawnee' blackberry. HortScience 26:687–688.
- Qiu, C., G. Ethier, S. Pepin, P. Dubé, Y. Desjardins en A. Gosselin, 2017.
Persistent negative temperature response of mesophyll conductance in red raspberry (*Rubus idaeus* L.) leaves under both high and low vapour pressure deficits: a role for abscisic acid? Plant, cell & environment, 40(9):1940-1959.
- Raya, H. E. A., 2006.
Carbon supply and demand in an annual raspberry (*Rubus idaeus* L.) cropping system. University of Florida.
- Rivas, A, K. Liu, E. Heuvelink en T. Kierkels, 2018.
Tussenbelichting bij braam geeft betere scheutgroei en forse meerproductie: direct licht op rustende knoppen van doorslaggevend belang. Onder Glas, maart 2018, p. 21.
- Rivas, A., K. Liu en E. Heuvelink, 2021.
LED intercanopy lighting in blackberry during spring improves yield as a result of increased number of fruiting laterals and has a positive carryover effect on autumn yield. Frontiers in Plant Science, 12(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.620642>
- Renquist, A.R., H.G. Hughes, M.K. Rogowski, 1989.
Combined high temperature and ultraviolet radiation injury of red raspberry fruit. HortScience 24:597–599.
- Salgado, A.A. en J.R. Clark, 2016.
"Crispy" blackberry genotypes: a breeding innovation of the University of Arkansas blackberry breeding program. HortScience 51:468–471.
- Sønsteby, A. en O.M. Heide, O. M., 2009.
Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in the annual (primocane) fruiting raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivar Polka. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 84: 439–446.
- Sønsteby, A. en O.M. Heide, 2010.
Earliness and fruit yield and quality of annual-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.): Effects of temperature and genotype, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 85:4, 341-349.

- Sønsteby, A. en O.M. Heide, 2020.
Flowering and dormancy relations of raspberry and black currant and effects of management and climate warming on production. *Acta Hortic.* 1277:307-319. DOI 10.17660/ActaHortic.2020.1277.45
- Stafne, E.T., J.R. Clark en C.R. Rom, 2000.
Leaf gas exchange characteristics of red raspberry germplasm in a hot environment. *HortScience* 35:278-280.
- Stafne, E.T., J.R. Clark en C.R. Rom, 2001.
Leaf gas exchange response of 'Arapaho' blackberry and six red raspberry cultivars to moderate and high temperatures. *HortScience* 36:880-883.
- Stallen, J., 2020.
Winterteelt braam technisch haalbaar. *Groenten & Fruit*, 14 februari 2020, p. 28-29.
- Stanton, M.A., C. Joseph, C. Richard en J.R. Clark, 2007.
Floral Competence of Primocane-fruiting Blackberries Prime-Jan and Prime-Jim Grown at Three Temperature Regimens. *HortScience* 42(3):508-513.
- Strik, B.C., 2012.
Flowering and fruiting on command in berry crops. *Acta Hort.* 926: 197-214.
- Strik, B.C., 2017.
Growth and development. p. 17-35. In: *Blackberries and their hybrids. Crop Production Science in Horticulture*, CABI.
- Takeda, F., D.M. Glenn en T. Tworkoski, 2013.
Rotating cross-arm trellis technology for blackberry production. *J. Berry Res.* 3: 25-40.
- Van Eck, A., 2005.
Verslag RubusRibes symposium Chili, 30 november-7 december 2005, DLV Plant B.V., 22 p.
- Van Hoogstraten, K., 2017.
Terugwinnen latente warmte technisch haalbaar, economisch nog niet. (Interview met Feije de Zwart). *Onder Glas*, 4 april 2017, blz. 18-19.
- Van Lier, A., 2020.
Belichte kleinfruitteelt kent nog veel geheimen. *Fruitteelt*, 1: 16-18.
- Van Velden, P., 2018.
Onderzoek naar vervroeging teelt braam en framboos met 100% LED's. 'Alles is nieuw aan deze manier van bramen telen'. *Onder Glas* (5): 58-59.
- Will, F., E. Krüger, K. Kumar, C. Patz en A. Sønsteby, 2020.
Effect of genotype and environment on the chemical composition of raspberry fruits. *Acta Hortic.* 1277:321-328.

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-1148

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.