

Komkommer jaarrond in balans met minimaal energieverbruik

In het kader van het programma Kas Als Energiebron



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Auteurs:

Frank Huijs (frank.huijs@botany.nl)

Maarten Vliex (maarten.vliex@botany.nl)

Conny Vervoort (conny.vervoort@botany.nl)

Govert Trouwborst (govert@plantlighting.nl)

Alex Boonman (alex@plantlighting.nl)

Sander Hogewoning (sander.hogewoning@plantlighting.nl)

Horst-Meterik

Oktober 2022 - April 2023

27/9/2023



Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1. Inleiding	7
1.1 Doelstellingen	7
2. Materialen en Methodes	8
2.1 Locatie en kasinrichting	8
2.1 Teeltgegevens	8
2.1.1 Temperatuur	8
2.1.2 Belichting	9
2.1.3 Watergift	9
2.2 Metingen	9
3. Resultaten en discussie	11
3.1 Opbrengst	11
3.1.1 Cumulatief aantal stuks	11
3.1.2 Cumulatief geoogst gewicht	12
3.1.3 Gemiddelde vruchtgewicht	13
3.1.4 Gemiddelde lichtefficiëntie	14
3.2 Plantmetingen	15
3.2.1 Lengtegroei	15
3.2.2 Bladafsplitsing	16
3.2.3 Vegetativiteit / Generativiteit	16
3.2.4 Bladoppervlak	17
3.2.5 Plantbelasting	18
3.2.5 Rootzone	19
3.2.6 Houdbaarheid	21
3.3 Energie	23
3.3.1 Warmteverbruik via buiswarmte	23
3.3.2 Elektriciteitsverbruik van de lampen	24
3.3.3 Elektriciteitsverbruik van het Air&Energy-systeem	26
3.3.4 Energiekosten per kg komkommer	26
3.4 Energiebalans kas	27
3.4.1 Inzet schermen	27
3.4.2 Verdamping	29
3.4.3 Energiebalans kas	30
3.5 Assimilatenbelans	31
3.5.1 Introductie en aanpak	31
3.5.2 Source	31
3.5.3 Sinks	37
3.5.4 Assimilatenbalans	39
3.6 Lichtspectrum en verrood-behoefte	43

4. Leerpunten en conclusies	45
4.1 Verlaging van de ecologische footprint van komkommer?	45
4.2 Puntsgewijze conclusies	45
5. Literatuur.....	47
Bijlage I: Plattegrond	48
Bijlage II: Wekelijkse metingen	49
Bijlage III: Foto's houdbaarheid	56
Bijlage IV: Metingen rootzone.....	61

Samenvatting

Inleiding

Van oktober 2022 tot maart 2023 heeft er bij Botany te Horst een belichte winterteelt komkommer plaatsgevonden. Het doel van deze teelt is om de warmtevraag met 50% terug te dringen in een met LED-belichte hogedraad komkommerteelt, zonder significant verlies aan productie en kwaliteit; volgens de principes van Het Nieuwe Telen. Deze teelt was gebonden aan twee eisen:

- 1) Maximaal 100 kWh/m² elektriciteit voor belichting en ontvochtiging (respectievelijk 95kWh voor belichting en 5 kWh voor het ontvochtigingssysteem).
- 2) Maximaal 10m³/m² gas voor verwarming.

In de proef moest er dus maximaal bespaard worden op energie. Voor belichting is er bespaard via een lagere lichtintensiteit, dagsommen PAR en via het lightspectrum (lampefficiëntie). Voor verwarming is er bespaard door: 1) koeler te telen; 2) maximalisatie van de isolatie door gebruik van energiescherm(en) en verduisteringsscherm(en); en 3) actief ontvochtigen met warmteterugwinning. In deze proef is gebruikt gemaakt van een Air&Energy-systeem. Deze zorgt voor een gecontroleerde uitwisseling van warme vochtige kaslucht met koude en droge buitenlucht via warmtewisselaars waarbij de latente warmte van de kaslucht omgezet wordt in voelbare warmte van de inkomende lucht met een efficiency van boven de 90% voor de voelbare warmte.

Materiaal en methoden

De proef is uitgevoerd met de volgende specificaties:

- Proefduur: week 41/2022 tot en met week 13/2023 = 25 weken
- Kascompartiment van 260m²
- Drie rassen: Dee Flexion (hoofdras) (Enza), Hi Power (Nunhems), 24-HW318 (Rijkzwaan)
- Twee schermen: Lichtuitscherm (Obscura 9950 FR W), Energiescherm (Luxous 1147 FR)
- Actief ontvochtigingssysteem: Air&Energy-systeem (Maurice Kassenbouw)
- Plantdichtheid: 1.7 planten/m²
- Belichtingsintensiteit: maximaal 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 18 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood (198 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD) voor 16 uur (maximaal 10.4 mol PAR uit lamplicht)
- Spectrum belichting: R76% G9% B6% FR9%
- Kop eruit: 7 Maart 2023

De koers is van tevoren bepaald op 12-13 mol PAR totaal per dag terwijl—waar mogelijk—is bespaard op de inzet van verrood. Er is relatief koel geteeld voor komkommer: 19.6°C etmaal in plaats van de gebruikelijke 21°C.

Resultaten teelt

De productie kwam voor Dee Flexion uit op 34 kg/m² met een lichtbenuttingsefficiëntie van 18 gram vers per mol PAR. Dit is relatief laag voor een winterteelt, volgens de praktijk zou 21 gram/mol haalbaar moeten zijn. Mogelijk heeft dit deels te maken met het relatief hoge percentage drooggewicht van 3.4% van de vruchten. Een drooggewichtpercentage van 3% zou de conversie van 18 gram/mol met 13% tot 20.4 gram/mol verhogen. Het kan ook te maken hebben met de relatief lage lichtsom, of de lagere etmalen die gebruikt zijn. Zie 'resultaten assimilatenbalans gewas'.

Resultaten en conclusies energiebalans kas

Berekeningen aan de energiebalans van de kas voor een winterweek laten zien dat, gegeven de hoge isolatie van de schermen, de verdamping en de bijbehorende noodzakelijke ventilatie om vocht te beheersen de grootste kostenpost aan energie is:

- Energieverlies aan kasdek: 0.5 m³/m²/week gasequivalenten
- Energieverlies door verdamping: 0.7 m³/m²/week gasequivalenten
- Energieverlies voor noodzakelijke ventilatie: 0.4 m³/m²/week gasequivalenten

Het Air&Energy-systeem heeft de kostenpost van rond de 0.4 m³/m² gasequivalenten/week voor noodzakelijke ventilatie gereduceerd tot <0.1 m³/m² gasequivalenten/week. Er is dus rond de 0.3m³/m² gasequivalenten/week bespaard en in totaal rond de 6m³/m² gas over de hele teelt.

Resultaten en conclusies assimilatenbalans gewas

Door middel van gerichte metingen aan source (gewasfotosynthese) en sink (drogestof in blad/stengel en vrucht) is de assimilatenbalans van het gewas opgesteld. Het blijkt dat de proef goed is na te rekenen op assimilaatniveau. De vegetatieve gewasbehoefte lag op ongeveer 5 mol PAR/m²/dag.

Conclusies

- De proef heeft overtuigend aangetoond dat er met een lage energie-input nog steeds succesvol kwalitatief goede komkommers kunnen worden gekweekt.
 - De energie-efficiency per kg product is echter niet hoger dan een praktijkreferentie in Noordwest-Europa. De kosten aan elektra in kWh/kg komkommer waren in de praktijkreferentie lager, maar de kosten voor warmte in m³/kg komkommer waren hoger dan in de proef.
- Berekeningen aan de assimilatenbalans laten zien dat dit wordt veroorzaakt door de vegetatieve assimilatenbehoefte van het gewas die ongeveer 5 mol PAR vraagt. Bij een winterteelt met 17 mol PAR is er relatief meer licht beschikbaar voor vruchtproductie dan bij een winterteelt met 12 mol PAR: $(17-5)/17=71\%$ is hoger dan $(12-5)/12=58\%$.
- De energie-efficiency van komkommer kan waarschijnlijk verder omlaag door de totale input aan energie anders te verdelen: relatief meer licht en minder warmte. Bij meer licht en minder warmte is er relatief meer licht beschikbaar voor vruchten. Dit kan alleen als er:
 - relatief minder verdamping is ten opzichte van de PARsom zodat—na aftrek van de energiekosten voor verdamping—de lampen een positieve bijdrage leveren aan de energiebalans van de kas.
 - actief wordt ontvochtigd met warmte-terugwinning.

1. Inleiding

Het totaal energieverbruik in de land- en tuinbouwsector in Nederland steeg in 2020 naar 110 PJ (Smit P, Velden v.d. Nico; 2021). Om het energieverbruik structureel te verlagen binnen de sector is een multidisciplinaire aanpak op verschillende niveaus noodzakelijk. Daarbij zijn sommige teelten, zoals hogedraad komkommer, moeilijker energieneutraal te krijgen dan anderen. Dit komt omdat het een relatief warmte-intensieve teelt is en het gewas relatief veel verdampt in vergelijking met andere gewassen. Hogedraad komkommer is met een teeltareaal van bijna 600 ha een van de meest belangrijke glasgroentegewassen in Nederland. Een energieneutrale teelt in hogedraad komkommers is vanuit de praktijkbeleving bij deze telers dus een absolute prioriteit, zeker gezien de enorme prijsstijgingen voor elektriciteit en gas en daarmee de toekomst voor deze sector.

Wanneer men in de teelt op een kosten-efficiënte manier wil belichten, wordt steeds meer LED-belichting ingezet. LED bespaart, afhankelijk van het spectrum en de armatuur, ongeveer 50% aan elektra t.o.v. SON-T. Echter, de besparing op elektra zal ook resulteren in een behoorlijk verlies aan warmtestraling in vergelijking met een SON-T belichte teelt. Dit heeft als direct gevolg dat de warmtevraag om voldoende ontwikkelingssnelheid en verdamping van het gewas te behouden toeneemt, en er dus bijgestookt moet worden in de kas. Het probleem dat hier optreedt, is dus een 'energiesubstitutie'-probleem. Men wil minder elektriciteit verbruiken, maar men vervangt een deel van de elektriciteit die men met LED-belichting uitspaart door gas om bij te verwarmen.

De oplossing voor dit probleem begint met de kas beter te isoleren met schermen en deze ook zoveel mogelijk dicht te houden, zodat de warmte beter in de kas blijft en dus de vraag naar additionele warmte daalt. Dit brengt daarentegen een nieuw probleem met zich mee: de luchtvochtigheid in de kas stijgt, met alle gevolgen van dien. Als oplossing moet gezocht worden naar een energie-efficiënte ontvochtigingsstrategie waarbij latente warmte direct gebruikt kan worden om de kas op temperatuur te houden. Zo worden de energieverliezen via uitstraling, convection en latente warmte, geminimaliseerd. Dat neemt niet weg dat er vooral in de onbelichte nacht momenten overblijven waarop de kas netto warmte verliest. Die resterende warmtevraag zal dan uiteindelijk duurzaam moeten worden ingevuld (warmte uit WKO, aardwarmte, of restwarmte uit industrie). Behoudens deze restwarmte geldt voor dit onderzoek een teeltstrategie met minimale input aan elektra en aan warmte. Er is energie nodig om te verdampen en de verdamping is nodig voor onder andere het water- en nutriëntentransport van de plant op het juiste niveau te houden. Het precieze niveau hiervan is niet bekend in de literatuur. Tijdens voorliggend onderzoek wordt getracht om hier een eerste beeld van te vormen.

1.1 Doelstellingen

De algemene doelstelling is om de elektravraag en de warmtevraag met minimaal 50% terug te dringen met een LED-belichte hogedraad komkommer teelt, zonder significant verlies aan productie en kwaliteit; volgens de principes van het Nieuwe Telen. De einddoelstelling is wat betreft elektra <100 kWh en wat betreft gas <10m³/m².

2. Materialen en Methodes

2.1 Locatie en kasinrichting

Het onderzoek is uitgevoerd op de locatie van Botany BV in Horst-Meterik. De teelt heeft plaatsgevonden in een nieuwe venlo-kas afdeling van 260m² die beschikt over 9 teeltgoten. De volledige indeling van de kas is schematisch uitgewerkt in Bijlage I. Komkommerplanten zijn opgekweekt bij een externe kweker en geplant op 20 Oktober 2022. Er zijn drie verschillende rassen geplaatst, Dee Flexion werd als hoofdras beschouwd en werd op de 3 middelste goten uitgeplant. Hi Power werd geplant op goot 2 en goot 8 en het ras 24-HW318 werd op de goten 3 en 7 geplant. Randrijen (goot 1 en 9) zijn uitgesloten van de metingen en proefresultaten. Om het klimaat goed te kunnen sturen werd de kastemperatuur en RV niet alleen tussen de planten maar ook boven het scherm gemeten. Verder werd de CO₂ concentratie en de instraling gemeten. Met behulp van drainmetingen en GroSens sensoren in de matten werd de watergift gereguleerd. Door het gebruik van schermen (lichtuittootscherm en energiescherm) werd de warmte zoveel mogelijk in de kas gehouden en met behulp van actieve ontvochtiging werd ervoor gezorgd dat de luchtvochtigheid niet te hoog opliep. Hierbij werd het klimaat afgestemd op het hoofdras Dee Flexion.

Tabel 1: Kasinrichting

Gegevens	Beschrijving
Ras:	Dee Flexion (Enza); Hi Power (BASF Vegetable Seeds); Proefras 24-HW318 (Rijk Zwaan)
Plant datum:	13 oktober 2022 (week 41)
Teeltduur:	25 weken
Teeltoppervlakte:	260m ² (breedte 14.4m, lengte 18.4m)
Plant afstand:	35 cm
Goot afstand:	1,7 m
Plant dichtheid:	1,7 pl/m ²
Matten:	Grodan master FT 1,20
Irrigatie:	Druppel irrigatie (Afgifte 1,2 l/uur)
Schermen:	Lichtuittootscherm (Obscura 9950 FR W), Energiescherm (Luxous 1147 FR)
Actieve ontvochtiging:	Lucht-lucht warmtewisselaar (95%)

2.1 Teeltgegevens

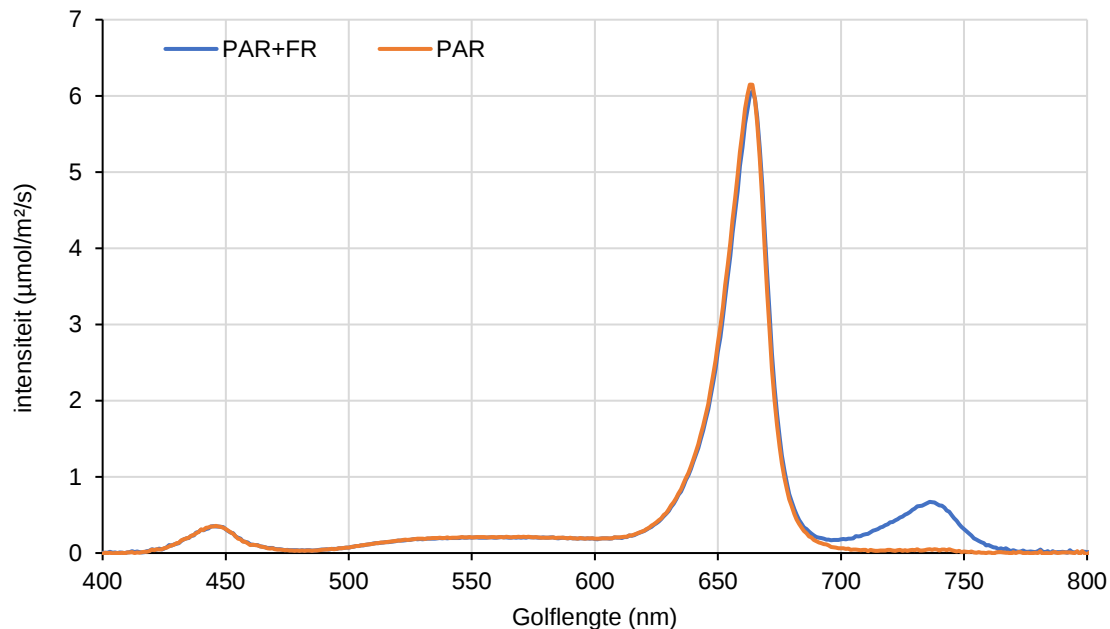
Tijdens deze teelt is bespaard op zowel gasverbruik als elektraverbruik. Temperatuur en licht zijn de belangrijkste factoren waarmee dit gerealiseerd kan worden.

2.1.1 Temperatuur

Om zoveel mogelijk te kunnen besparen op gas is er relatief koel geteeld. De gemiddelde etmaaltemperatuur kwam uit op 19,6°C (met 19°C als de lampen aan waren en 16,5°C als de lampen uit stonden) terwijl tijdens een gebruikelijke winterteelt etmalen van 21°C gehanteerd worden. Om de warmte zoveel mogelijk vast te houden werd er gebruik gemaakt van schermen (energiescherm en verduisteringsscherm). Tot slot werd er gebruik gemaakt van een Air&Energy systeem waardoor er actief ontvochtigd kon worden en waarbij warmte teruggewonnen kon worden. Door het Air&Energy systeem kon er warmte worden teruggewonnen door de gecontroleerde uitwisseling tussen de warme, vochtige kaslucht en de droge, koude buitenlucht via warmtewisselaars. Hierbij wordt de latente warmte van de kaslucht omgezet in voelbare warmte van de inkomende lucht met een efficiëntie van meer dan 90%.

2.1.2 Belichting

De kas is uitgerust met full-LED (dimbaar en spectraal stuurbaar), met het spectrum 76%R, 9%G, 6%B, 9%FR type lampen van Signify (Figuur 1). Tijdens de proef is op de elektra bespaard door een lagere lichtintensiteit (maximaal 180 μmol) te hanteren. Om verder te besparen, werd gedimd op tijden dat er voldoende instraling was (uitgaande van 12-13 mol PAR per dag). Tot slot werd de energie efficiëntie van de lampen verhoogd door het verrode deel van het spectrum uit te zetten op momenten dat er voldoende instraling was.



Figuur 1: Het toegepaste spectrum tijdens deze teelt.

2.1.3 Watergift

Tijdens dit onderzoek werd de watergift afgestemd op de gegevens die werden verkregen met de GroSens. Hiermee werd het vochtgehalte, de EC en de temperatuur in de matten gemeten. Net als bij de sturing op het klimaat, gold voor de watergift ook dat gestuurd werd op het hoofdras Dee Flexion.

2.2 Metingen

Er werden metingen uitgevoerd door zowel Botany, Plant lighting en Grodan. Hierbij hield Botany zich met name bezig met de plantmetingen en de opbrengst bepaling. Deze plantmetingen werden wekelijks uitgevoerd om de plantontwikkeling in de gaten te houden. Op basis van deze gegevens, in combinatie met de beschikbare hoeveelheid licht, werd ook bepaald wat de teeltstrategie zou worden (vruchtdunning en bladplukken). Om de rassen zo eerlijk mogelijk met elkaar te kunnen vergelijken, werden de LAI, vruchtzetting en plantbelasting zoveel mogelijk gelijk gehouden en per ras bepaald. Naast de plantmetingen werd ook de opbrengst bepaald. Hierbij werd het aantal stuks geteld het gewicht gewogen. Tot slot werd ook de houdbaarheid van de vruchten van de verschillende rassen onderzocht. Hierbij werd de kwaliteit van de vruchten bepaald na 1 dag, en na 5, 7, 10 en 14 dagen. Parameters waar gebruik van werd gemaakt waren onder andere stevigheid, uniformiteit, vorm, kleur, slijtage en schilbeschadigingen. Deze resultaten werden vergeleken met de teelten uit Spanje en met de voorjaarsteelten uit de praktijk in Nederland. In Tabel 2 staat nog een keer toegelicht welke plantmetingen werden uitgevoerd door Botany en hoe vaak. De metingen die Plant Lighting heeft uitgevoerd waren nodig om onder andere de energetische vraagstukken te beantwoorden. Hoe deze metingen en berekeningen werden uitgevoerd, wordt verder toegelicht in de desbetreffende hoofdstukken. Grodan heeft metingen uitgevoerd die de rootzone meer in kaart hebben gebracht.

Tabel 2: Metingen

Meting	Aantal planten	Frequentie
<i>LAI</i>	2 planten per ras	1x per week
<i>Lengtegroei</i>	Dee Flexion: 20; Hi Power: 8; 24-HW318: 8	1x per week
<i>Bladafsplitsing</i>	Dee Flexion: 20; Hi Power: 8; 24-HW318: 8	1x per week
<i>Vruchtzetting</i>	Dee Flexion: 20; Hi Power: 8; 24-HW318: 8	1x per week
<i># oksels van bloei tot kop</i>	Dee Flexion: 20; Hi Power: 8; 24-HW318: 8	1x per week
<i>Plantbelasting</i>	Dee Flexion: 20; Hi Power: 8; 24-HW318: 8	1x per week
<i>Bladoppervlak</i>	Dee Flexion: 20; Hi Power: 8; 24-HW318: 8	1x per week
<i>Opbrengst</i>	44 planten per goot	3x per week
<i>Vruchtgewicht</i>	44 planten per goot	3x per week
<i>Lichtefficiëntie</i>	44 planten per goot	1x per week
<i>Houdbaarheid</i>	12 vruchten	Wekelijks

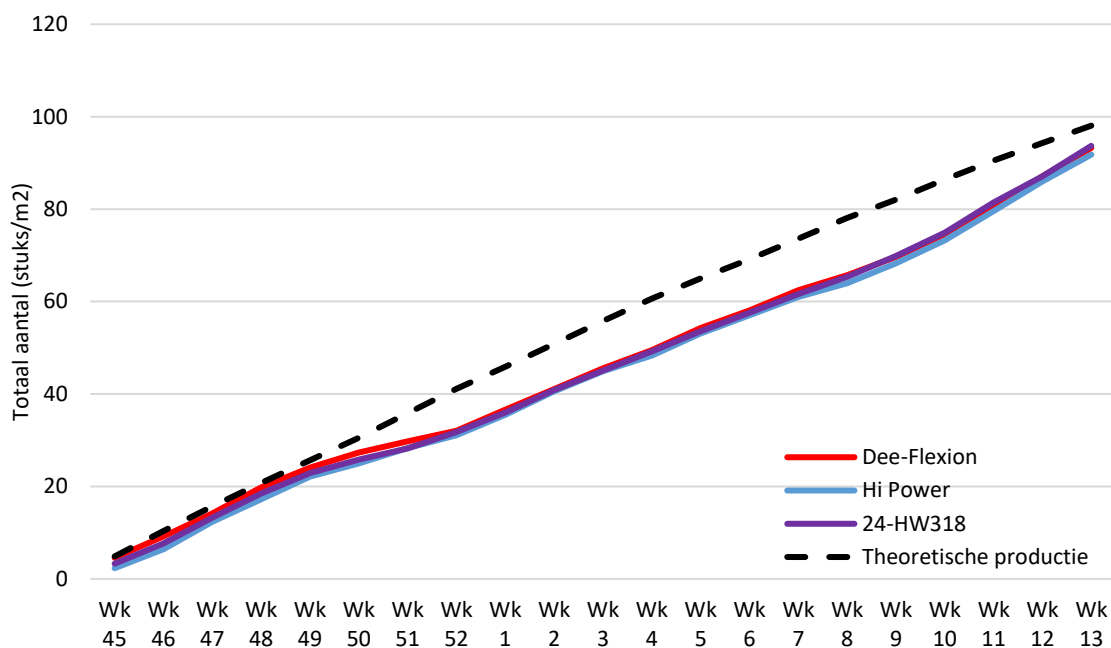
3. Resultaten en discussie

3.1 Opbrengst

Op basis van de verwachte lichtbeschikbaarheid werd een potentiële productie berekend. Hierbij werd gerekend met een lichtefficiëntie van 21 gram/mol. De voorspelde productie werd gedurende de meeste weken niet behaald doordat de lichtefficiëntie in die weken lager uitviel. Verder werd er vanaf week 50 behoorlijk wat abortie waargenomen, wat ook zeker een rol heeft gespeeld in het lager blijven van de productie. Over de hele teelt is er 2,5 kg/m² minder geproduceerd dan voorspeld was op basis van de beschikbare hoeveelheid licht. De periode van abortie is ook terug te zien in de berekeningen van de assimilatenbalans door Plant Lighting. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 3.3.4.

3.1.1 Cumulatief aantal stuks

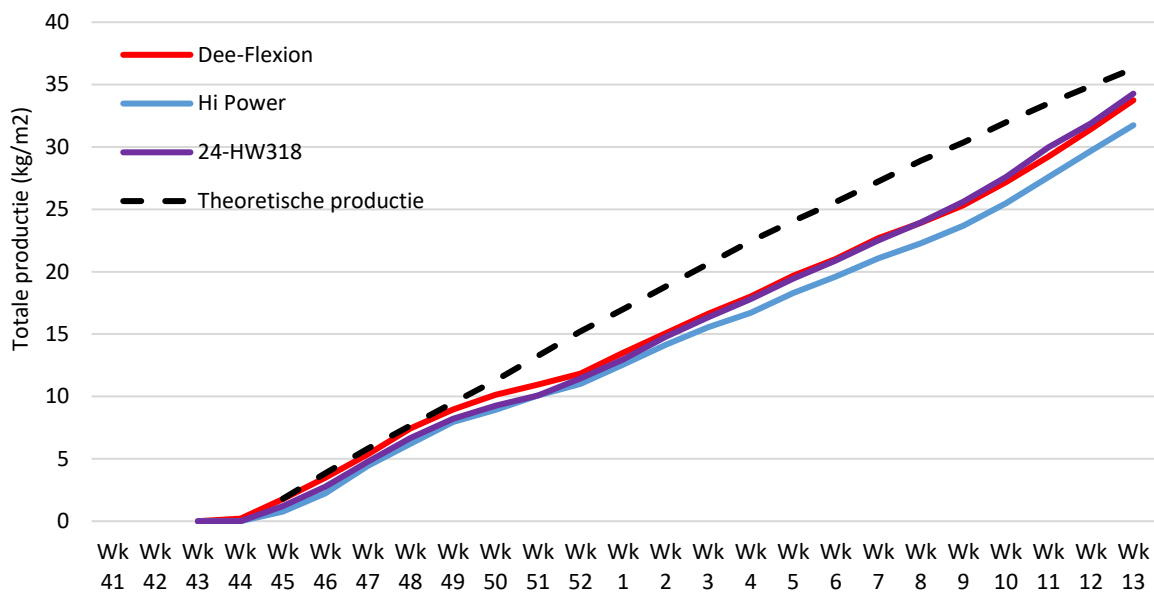
Tijdens deze teelt lagen de opbrengsten van de rassen erg dicht bij elkaar. Na 22 weken oogsten, was het aantal geoogste stuks van 24-HW318 93,7. Voor Dee-Flexion lag dit aantal op 93,2 en Hi Power leverde 91,8 stuks op (Figuur 2). Voor de weekproducties van ieder ras, zie bijlage II. De productie van alle rassen lag lager dan de theoretisch productie op basis van de beschikbare hoeveelheid licht (gestreepte lijn in Figuur 2). Een kanttekening die gemaakt moet worden bij het vergelijk tussen de verschillende rassen is dat het klimaat en de watergift gestuurd is op het hoofd ras Dee-Flexion. Het kan dus zijn dat de omstandigheden voor de overige rassen niet optimaal zijn geweest waardoor de verschillen tussen de rassen niet helemaal reëel zijn.



Figuur 2: Cumulatieve opbrengst in aantallen/m²

3.1.2 Cumulatief geoogst gewicht

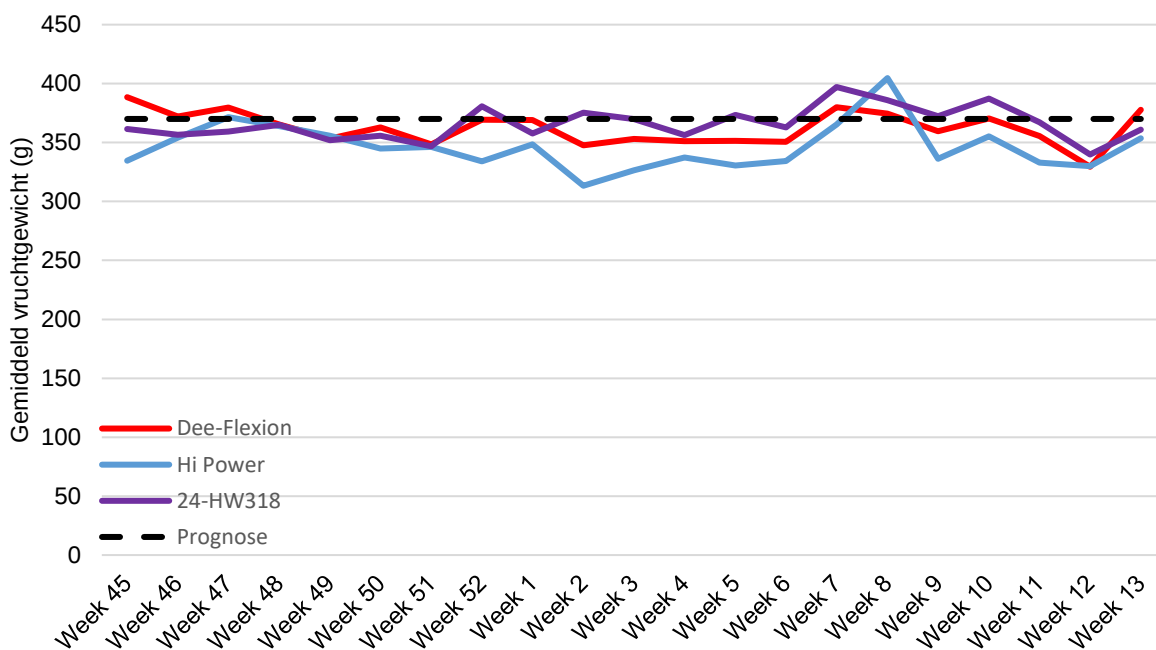
Net als bij het aantal stuks, lag ook het geoogste gewicht van de rassen dicht bij elkaar. Het totaal geoogste kilo's voor 24-HW318 lag op 34,3. Voor Dee-Flexion was dit 33,7 kg en van het ras Hi Power werd 31,7 kg geoogst (Figuur 3). Ook voor de totale productie in kilo's geldt dat de geprognostiseerde productie niet gerealiseerd is. De lichtefficiëntie waarmee gerekend is voor deze prognose, is over het algemeen hoger geweest dan de lichtefficiëntie die gerealiseerd is. Verder is er een dip te zien in productie in week 50 t/m week 52. Dit is de periode geweest waar veel abortie plaatsvond. In de grafieken van de assimilatenbalans is ook terug te zien dat het assimilatenverbruik in de weken voorafgaand aan de abortie hoger is geweest dan de assimilatenaanmaak. Wellicht dat dit een belangrijke factor is geweest voor de hoge mate van abortie die is waargenomen.



Figuur 3: Cumulatieve opbrengst in kilo's

3.1.3 Gemiddelde vruchtgewicht

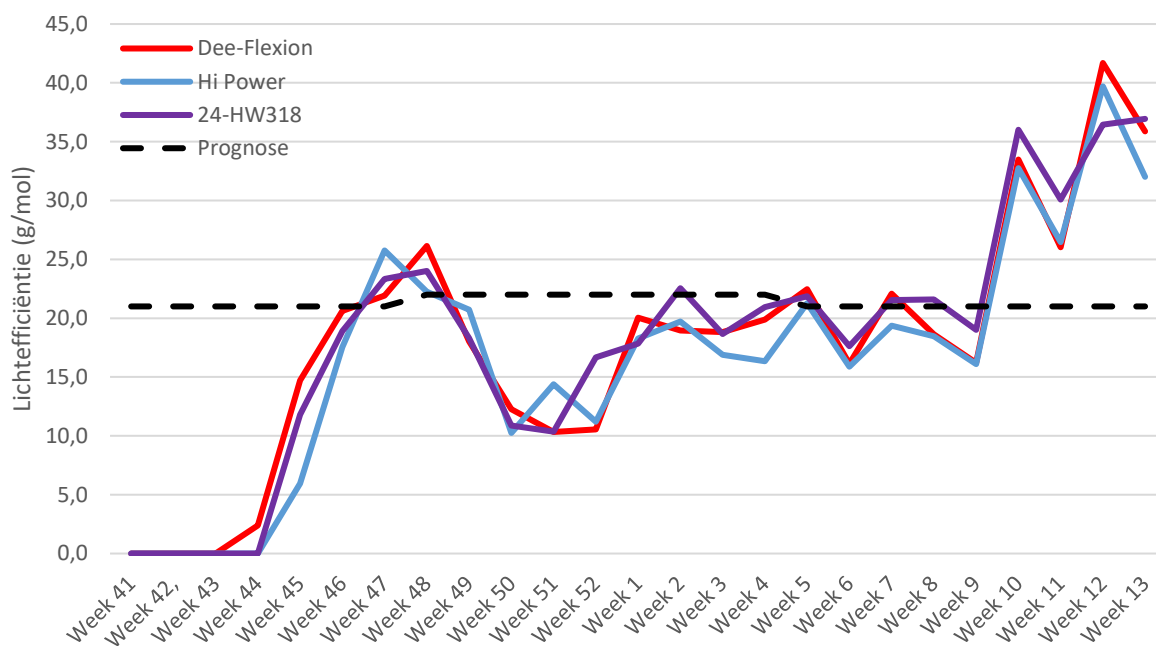
Net als het totaal aantal stuks en het aantal geoogste kilo's is ook bij het vruchtgewicht dezelfde trend waargenomen tussen de rassen: het hoogste vruchtgewicht bij 24-HW318 (366,3 g), gevolgd door Dee-Flexion (362,9 g) en tot slot Hi Power (346,8 g; Figuur 4). Wat opviel was dat het drogestof gehalte van de vruchten erg hoog was (3,4%) terwijl het drogestofgehalte in een ander onderzoek uitkwam op 2,7% (Trouwborst et al. 2010). Als er een hoger vruchtgewicht geoogst was, zou het drogestofpercentage wellicht wat lager uitgevallen zijn.



Figuur 4: Gemiddeld vruchtgewicht

3.1.4 Gemiddelde lichtefficiëntie

Met behulp van de totale PAR som per week, werd de lichtefficiëntie van de verschillende rassen berekend. Zoals eerder vermeld, is de productieprognose opgesteld door te rekenen met een lichtefficiëntie van 21 g/mol en 22 g/mol in de weken met de laagste instraling (week 48 t/m week 4). Juist in de weken dat gerekend is met een lichtefficiëntie van 22 g/mol (week 50 t/m week 52) heeft er veel abortie plaatsgevonden en is deze lichtefficiëntie lang niet gehaald (Figuur 5). Gemiddeld genomen over de gehele teelt, werd door 24-HW318 een gemiddelde lichtefficiëntie van 18,2 gram per mol gehaald. Voor Dee-Flexion zat de lichtefficiëntie op 17,9 gram per mol en voor Hi Power was dit 16,9.



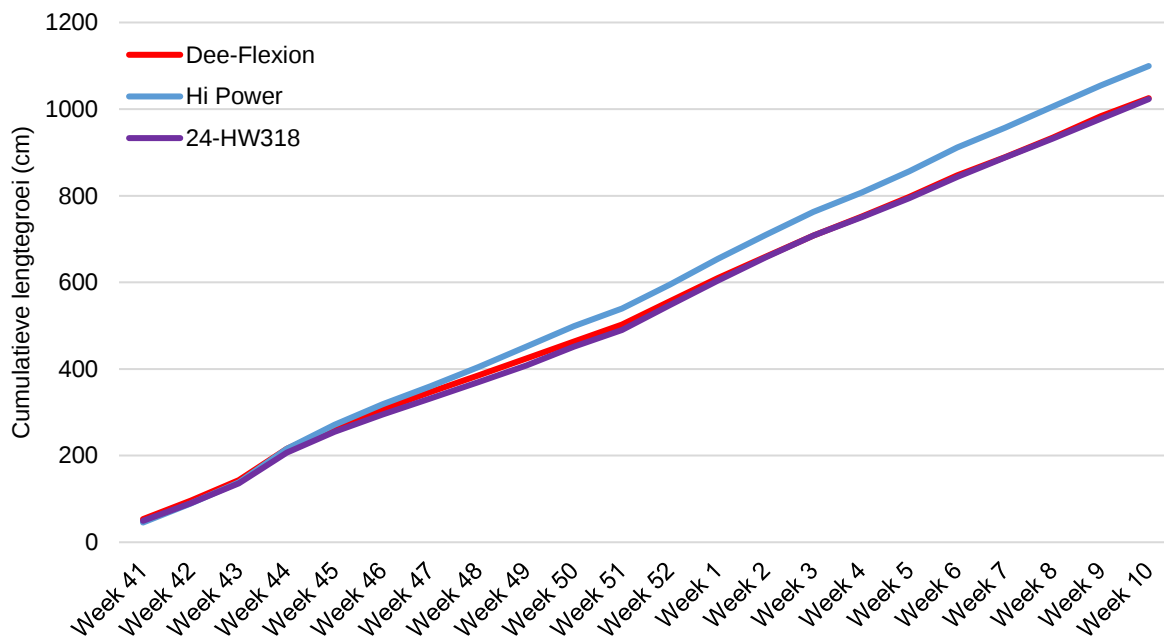
Figuur 5: Gemiddelde lichtefficiëntie in gram vers per mol PAR/week

3.2 Plantmetingen

Gedurende dit onderzoek zijn er een aantal plantmetingen uitgevoerd. De meest belangrijke staan hieronder weergegeven. De overige resultaten staan in de bijlage.

3.2.1 Lengtegroei

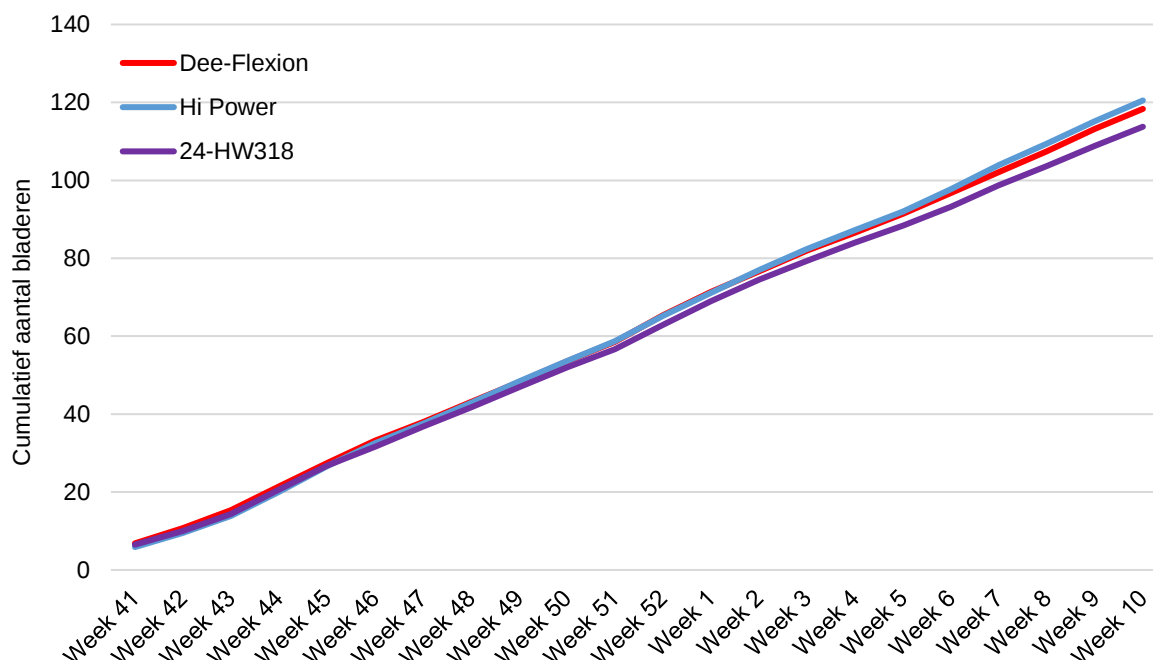
Wekelijks werd de lengtegroei van de verschillende rassen gemeten. Uit de resultaten blijkt dat Hi Power de meeste lengtegroei laat zien (1099 cm aan het eind van de teelt). De lengte van de rassen Dee-Flexion en 24-HW318 liggen dicht bij elkaar met 1025 cm voor Dee-Flexion en 1023 cm voor 24-HW318. Voor een overzicht van de wekelijkse lengtegroei, zie bijlage II.



Figuur 6: Cumulatieve lengtegroei in cm

3.2.2 Bladafsplitsing

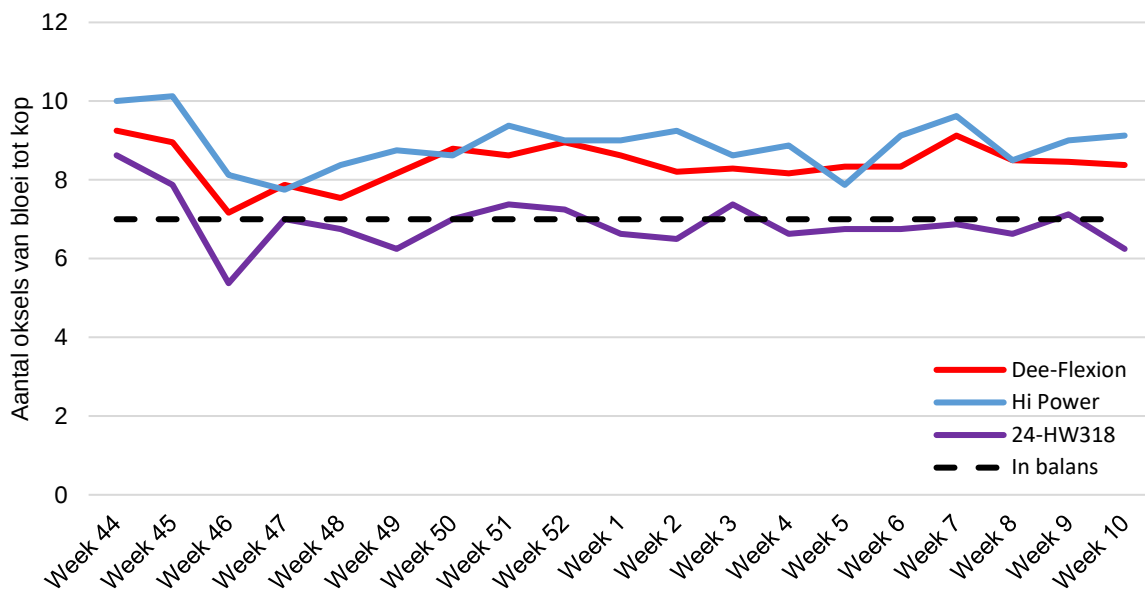
Naast de lengtegroei werd de bladafsplitsing ook wekelijks gemeten. Naast dat Hi Power de sterkste lengtegroei laat zien, is ook de bladafsplitsing bij dit ras het hoogst (120,5 bladeren aan het eind van de teelt). Hoewel de lengtegroei van Dee-Flexion en 24-HW318 nagenoeg gelijk was aan elkaar, zitten er wat grotere verschillen in bladafsplitsing: 118,3 bladeren voor Dee-Flexion en 113,8 bladeren voor 24-HW318.



Figuur 7: Cumulatieve bladafsplitsing (aantal bladeren/stengel)

3.2.3 Vegetativiteit / Generativiteit

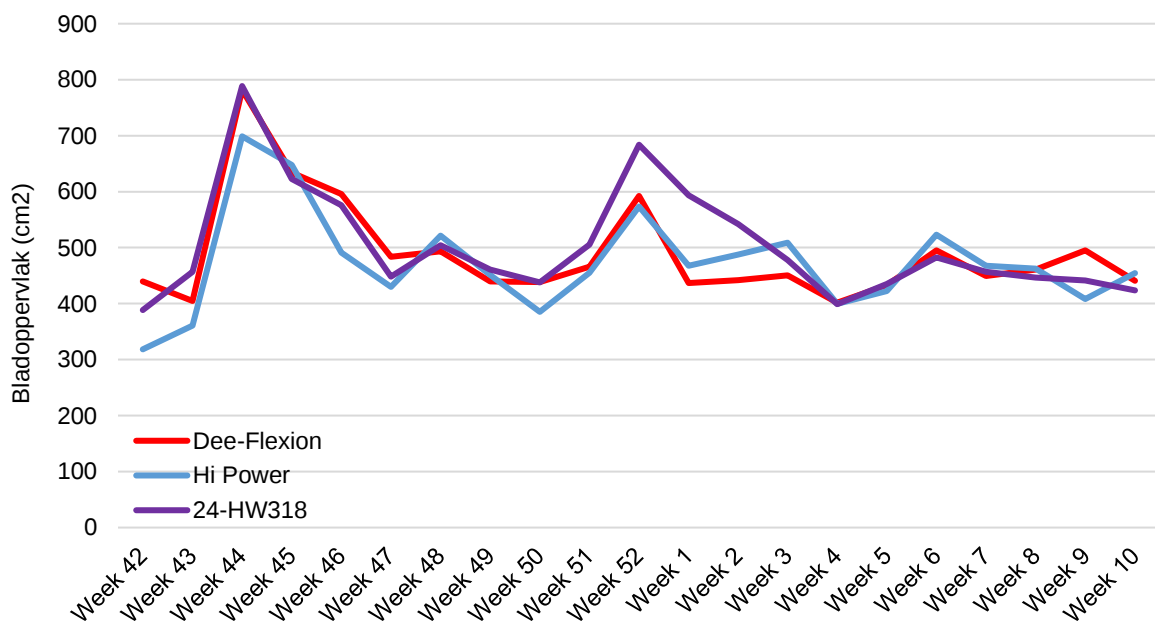
Een graadmeter om te kunnen stellen of een plant meer generatief of meer vegetatief groeit is door het aantal oksels te tellen boven de bovenste bloeiende vrucht. Wanneer het aantal oksels op 7 zit, kan vaak gesteld worden dat de plant in balans is. Is dit getal hoger dan 7, dan groeit de plant meer vegetatief, is dit lager dan 7 groeit de plant meer generatief. Uit de resultaten blijkt dat Hi Power, met gemiddeld 8,9 oksels boven de bloeiende vrucht het meest vegetatief groeit. 24-HW318 groeit het meest generatief met 6,9 oksels boven de bloei. Dee-Flexion zit daar tussenin met 8,4 oksels boven de bloeiende vrucht (Figuur 8). Deze resultaten laten zien dat Dee-Flexion en Hi Power dus nog wat generatiever geteeld zouden kunnen worden. Mogelijk komt het meer vegetatieve gewas door de relatief lage etmaaltemperatuur van 19.6°C.



Figuur 8: Aantal oksels van bloei tot kop

3.2.4 Bladoppervlak

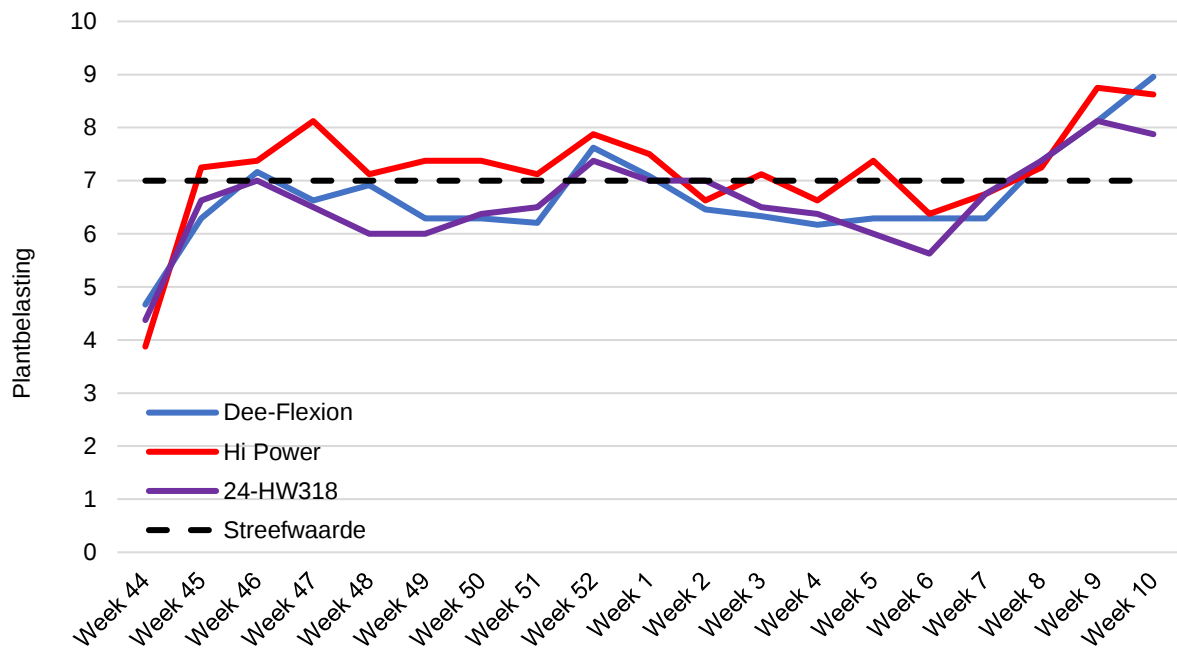
Tot slot werd ook het bladoppervlak gemeten. Uit de resultaten blijkt dat het bladoppervlak van 24-HW318 het hoogst is (gemiddeld 503 cm²). Hi Power heeft met 473 cm² het kleinste bladoppervlak en Dee-Flexion zit hier tussenin met 498 cm² bladoppervlak (Figuur 9). Als het bladoppervlak vergeleken wordt met het vegetatieve verbruik (assimilatenbalans), dan wordt dezelfde trend waargenomen: op momenten dat het bladoppervlak groter is, is het verbruik voor de vegetatieve ontwikkeling ook hoger.



Figuur 9: Bladoppervlak in cm²

3.2.5 Plantbelasting

Tot slot werd ook de plantbelasting gemeten. De streefwaarde ligt hierbij op 7 vruchten per plant. De resultaten laten zien dat gedurende deze teelt de plantbelasting constant in de buurt lag van deze streefwaarde (Figuur 10). Ook de 2 weken voordat er abortie optrad, is de gemiddelde plantbelasting nauwelijks boven de 7 uitgekomen. Het zou mogelijk kunnen zijn dat de aangehouden streefwaarde te hoog is geweest voor de periode waarin abortie plaatsvond. Als gekeken wordt naar de assimilatenbalans (Hoofdstuk 3.5.4, Figuur 25) is het verbruik van assimilaten in de periode voorafgaand aan de abortie, namelijk groter dan de aanmaak.

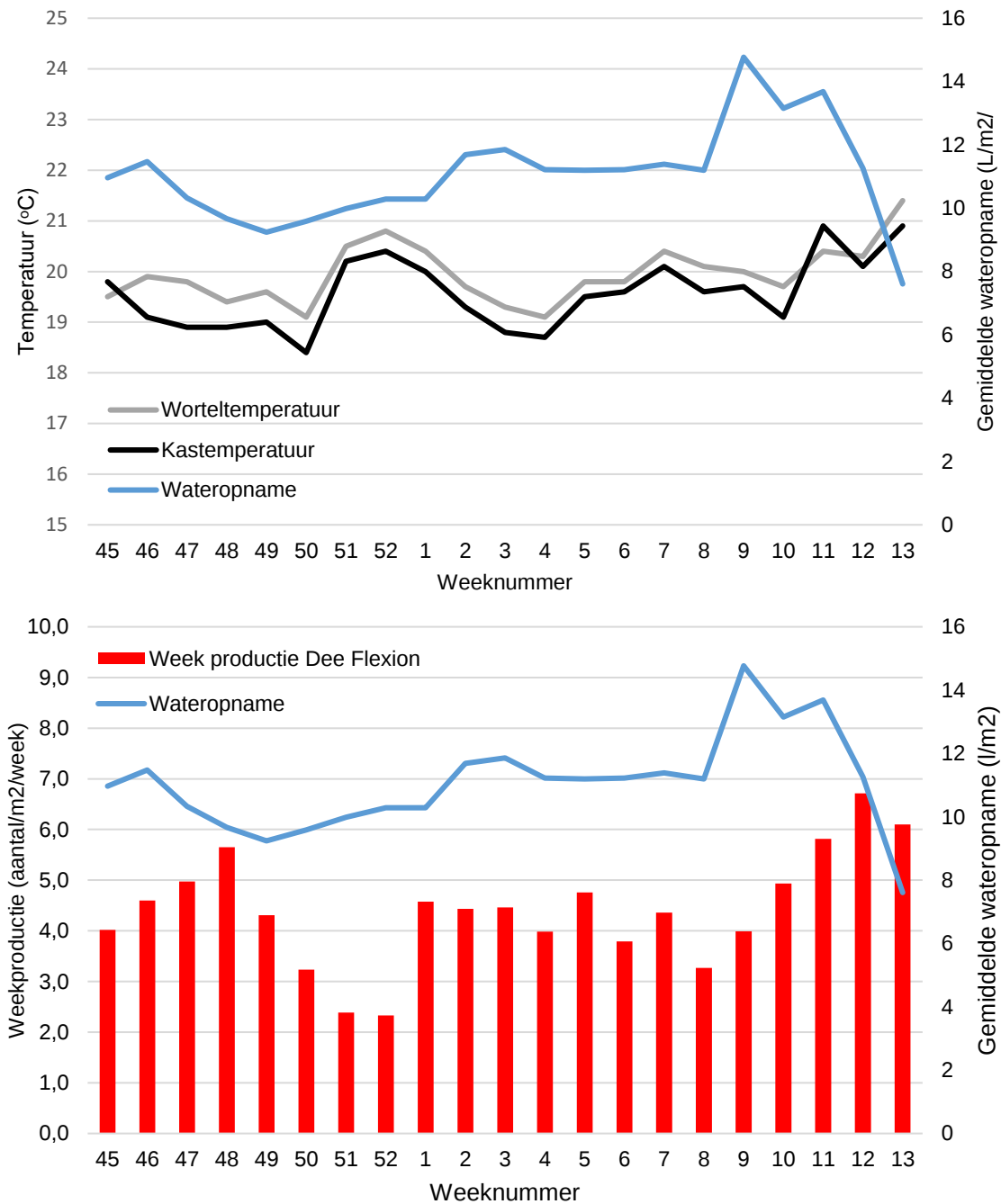


Figuur 10: Gemiddelde plantbelasting (aantal stuks/stengel)

3.2.5 Rootzone

De rootzone speelt een belangrijke rol in de groei en de weerbaarheid van planten. De watergift strategie die telers nu vaak toepassen is gebaseerd op de instraling en drain. Echter zijn er meer factoren die een rol spelen. Zeker als er meer geschermd wordt om energie te besparen, is het goed om extra aandacht te hebben voor de watergift en daarmee ook de nutriëntenbalans. Door het schermen is de energie van licht en warmte in de kas namelijk anders dan buiten. Daarnaast speelt ook assimilatiebelichting (LED in plaats van SON-T) en warmte van de buizen een rol. In plaats van sturen op enkel instraling en drain, zou meer gekeken moeten worden naar de daadwerkelijke verdampingsenergie van de plant (niet alleen de straling van buiten maar ook de straling en energietoevoer in de kas). Hierdoor wordt er een balans gecreëerd tussen de wateropname en de verdamping. Tijdens deze teelt is de verdampingsenergie van de komkommerplanten gemeten, zoals beschreven in hoofdstuk 3.4.2.

Het is echter niet voldoende om alleen goede hoeveelheid water met de juiste voeding te geven. Er zijn nog andere factoren in de rootzone die een belangrijke rol spelen: worteltemperatuur is een factor die grote invloed heeft op de wateropname en daarmee de opname van voedingsstoffen (Lier v. A, 2019). Is de worteltemperatuur te laag, dan kunnen niet alle voedingselementen goed worden opgenomen. Bij een te hoge worteltemperatuur neemt de wortelactiviteit af door het dalende zuurstofgehalte. Wat de optimale worteltemperatuur is voor een goede water- en voedingsopname is afhankelijk van het gewas en is voor komkommer nog niet bekend. Tijdens dit onderzoek werd de worteltemperatuur gemeten door Grodan met behulp van de GroSens sensoren. Uit deze data blijkt dat de worteltemperatuur constant enkele tienden graden boven de kastemperatuur ligt (Figuur 11). Wat verder opvallend is, is dat de worteltemperatuur op zijn laagst was op het moment van de grote hoeveelheid abortie. Het zou dus mogelijk kunnen zijn dat de lagere worteltemperatuur heeft meegespeeld met de afstoot van het grote aantal vruchten. Als de wateropname uitgezet wordt tegen de productie, valt op dat de wateropname een dip laat zien vlak voor de grote mate van abortie (week 49 in Figuur 11). De verminderde wateropname zou dus meegespeeld kunnen hebben tot de abortie die is waargenomen. Factoren als EC en pH spelen ook een belangrijke rol bij de voedingsopname van de plant. Daarom is het belangrijk om de pH en EC goed te monitoren gedurende de teelt. Al met al zijn er dus veel zaken die een rol spelen bij de water- en voedingsopname van planten en deze factoren hangen ook nog eens allemaal met elkaar samen. Daarom is het tijdens een vervolgonderzoek van belang om meer focus te hebben op de rootzone waardoor de teelt mogelijk naar een nog hoger niveau getild kan worden en waardoor eerder geacteerd kan worden op veranderingen op basis van data. In bijlage IV zijn nog wat extra metingen terug te vinden die zijn uitgevoerd door Grodan. Hier zijn ook foto's opgenomen waarop te zien is dat de wortelgezondheid gedurende de hele proef goed is geweest (veel wortels met een witte kleur).



Figuur 11: Wateropname, worteltemperatuur en productie. In de bovenste grafiek is de worteltemperatuur, kasttemperatuur en wateropname weergegeven. Over het algemeen ligt de worteltemperatuur enkele tiende graden boven de kasttemperatuur. De wateropname laat een dip zien in week 49. In de onderste grafiek is de weekproductie uitgezet tegen de wateropname. Na de dip in wateropname in week 49 vind de abortie plaats.

3.2.6 Houdbaarheid

De houdbaarheid van de 3 rassen is in deze proeven vergeleken met elkaar en met belichte voorjaarsteelten uit de praktijk (Tabel 3). Uit de resultaten blijkt dat de kleur van Hi Power het snelst terugloopt. Ook wordt er veel slijtage/ouderdom van de vruchten waargenomen. De houdbaarheid van Hi Power wordt het laagst gescoord in deze proef. Bij 24-HW-314 loopt de kleur het minst snel terug en blijven de vruchten het langst groen (geen kleurterugval in de eerste week). Verder worden er ook nauwelijks slijtage/ouderdomsplekken en ingevallen punten waargenomen. Wat wel een probleem is wat vanaf januari naar voren kwam bij dit ras is dat kromming en verdikkingen op de vrucht ontstonden. Dit resulteert in de laagste score op de parameter 'vorm'. De vruchten van Dee Flexion blijven redelijk goed op kleur: er is geen kleur terugval waargenomen in de eerste week. De houdbaarheid is redelijk goed maar er worden wel slijtage/ouderdomsvlekken en ingezongen punten waargenomen.

Vanaf week 6 zijn er ook vruchten uit de praktijk meegenomen bij de beoordelingen op houdbaarheid. De houdbaarheid van deze praktijkproeven ligt dicht bij elkaar (tussen de 97% en 99% na de eerste week). Na de eerste week wordt een duidelijke terugval gezien. Ook in de praktijk loopt de kleur van Hi Power snel terug. Upstage heeft veel last van slappe nekken na 1 week en Springfield loopt ook terug in kleur na een week.

Over het algemeen was de kwaliteit in november en december matig bij de proef. De belangrijkste oorzaak hiervoor waren de slijtage/ouderdomsvlekken, de ingezonken punten en de snel teruglopende kleur. Uit deze resultaten was af te leiden dat de vruchten niet spontaan groeiden en dat de uitgroeiduur waarschijnlijk te lang was. Vanaf januari wordt de kwaliteit beter en doen de rassen niet onder tegenover de praktijkteelten die vanaf januari meegenomen zijn. In tabel 11 worden de gemiddelde resultaten van de houdbaarheidsproeven weergegeven. Voor foto's van de houdbaarheid op 3 momenten in de teelt, zie bijlage IV.

Tabel 3: Gemiddelde houdbaarheid op basis van 16 verschillende waarnemingsmomenten.

		Teeltproef Botany			Belichte voorjaarsteelt praktijk		Traditionele teelt
Meetmoment	Parameter	Hi Power	24-HW-318	Dee Flexion	Hi Power	Upstage	Springfield
Dag 1	Lengte	29,6	30,6	32,1	30,7	32,4	31,2
	Uniformiteit	8,1	8,0	8,1	8,3	8,4	8,6
	Vorm	8,0	7,8	8,0	8,3	8,3	8,5
	Stevigheid	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9	8,0
	Kleur	4,1	3,9	4,0	4,4	4,0	4,0
	Slappe nek	-	-	-	-	-	-
	Slijtage/ouderdom	-	-	-	-	-	-
	Ingezonken punt	-	-	-	-	-	-
	Aantal klasse 1	11,9	11,7	11,8	12,0	12,0	12,0
	Algemeen oordeel	8,0	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5
	Houdbaarheid	-	-	-	-	-	-
Dag 5	Kleur	4,3	3,9	4,0	4,4	4,0	4,0
	Slappe nek	-	-	-	-	-	-
	Slijtage/ouderdom	-	-	-	-	-	-
	Ingezonken punt	-	-	-	-	-	-
	Aantal klasse 1	11,9	11,7	11,8	12,0	12,0	12,0
	Algemeen oordeel	7,8	7,7	7,9	8,1	8,3	8,5
	Houdbaarheid	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Dag 7	Kleur	4,4	3,9	4,0	4,5	4,1	4,0
	Slappe nek	-	-	-	-	-	-
	Slijtage/ouderdom	4,0	-	2,0	-	-	-
	Ingezonken punt	-	1,0	-	-	-	-
	Aantal klasse 1	11,7	11,2	11,7	12,0	12,0	12,0
	Algemeen oordeel	7,5	7,0	7,7	8,0	8,1	8,5
	Houdbaarheid	94,0	90,0	97,0	98,0	97,0	99,0
Dag 10	Kleur	4,8	4,1	4,2	5,1	4,3	4,3
	Slappe nek	1,0	1,0	1,0	-	7,0	-
	Slijtage/ouderdom	31,0	6,0	12,0	-	-	-
	Ingezonken punt	-	4,0	4,0	-	-	-
	Aantal klasse 1	10,2	11,2	10,9	12,0	11,4	12,0
	Algemeen oordeel	6,3	7,0	6,8	7,3	7,1	8,0
	Houdbaarheid	79,0	90,0	86,0	89,0	86,0	94,0
Dag 14	Kleur	5,4	4,5	4,6	5,9	4,7	5,3
	Slappe nek	10,0	8,0	12,0	2,0	10,0	1,0
	Slijtage/ouderdom	54,0	18,0	30,0	1,0	1,0	-
	Ingezonken punt	7,0	9,0	20,0	-	-	-
	Aantal klasse 1	7,8	9,6	8,4	10,0	10,1	11,0
	Algemeen oordeel	4,7	5,8	5,4	5,5	6,0	6,4
	Houdbaarheid	60,0	75,0	68,0	68,0	73,0	75,0

3.3 Energie

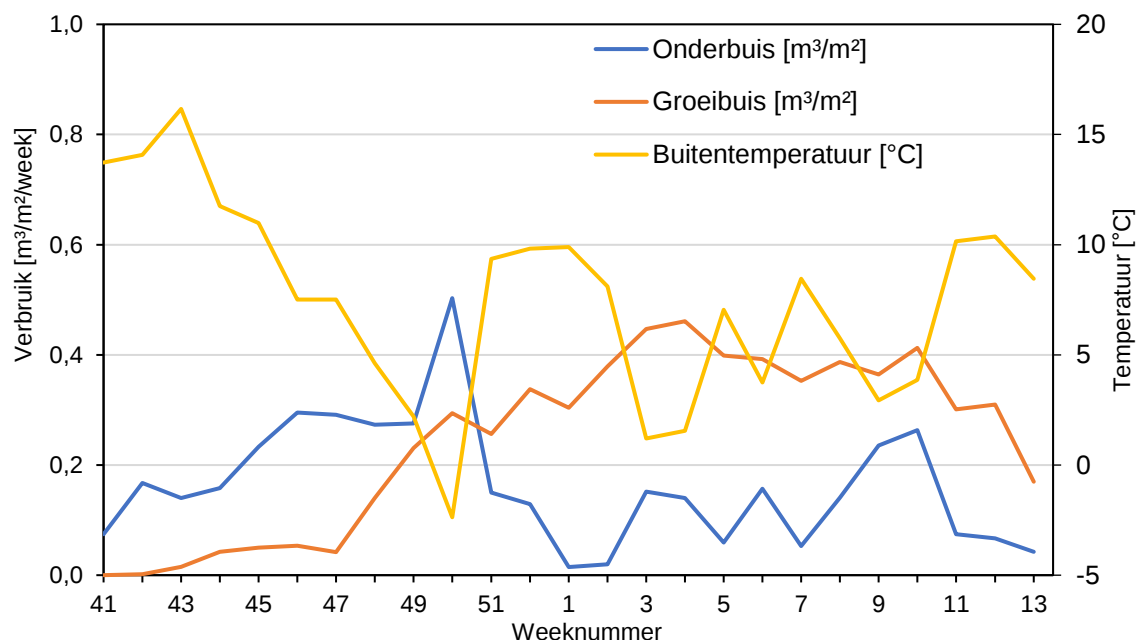
In dit hoofdstuk is een aantal berekeningen uitgevoerd in MJ, kWh en m³ aardgas(equivalenten). De volgende omrekeningsfactoren zijn gebruikt:

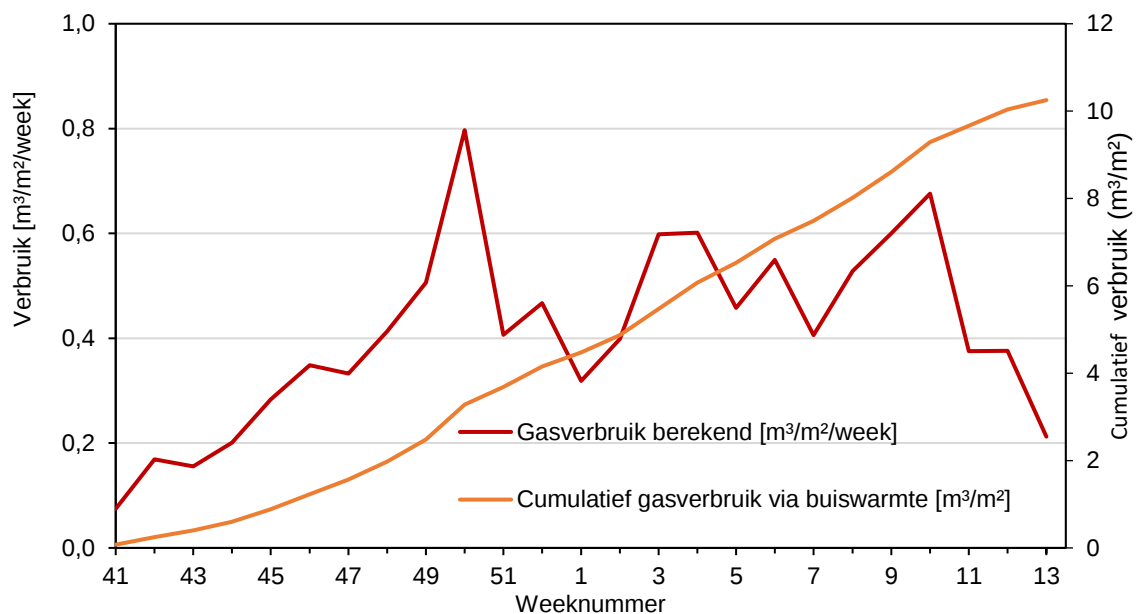
- 1m³ aardgas = 35.17MJ
- 1 kWh = 3.6MJ
- 1m³ aardgas = 9.8 kWh

Bovenstaande getallen laten zien dat er ruwweg een factor 10 zit in de omrekening van 1m³ gas naar 1kWh elektriciteit. Er is in deze getallen geen rekening gehouden met de efficiency van de verwarmingsketel of WKK of andere verliezen die bij warmte- of elektriciteitstransport kunnen optreden.

3.3.1 Warmteverbruik via buiswarmte

De energie die nodig was voor kasverwarming is op twee manieren bepaald: Via flowsnelheid maal verschil in aanvoer- en retourtemperatuur van de buisverwarming en via gemeten buiswarmte. Via de gemeten buiswarmte is het gasverbruik voor een vierkante meter kas berekend (Nawrocki, 1985). De rijbreedte was 1.7 meter. Binnen deze rijbreedte bevonden zich twee 51mm buizen (buisrail) en een 35mm buis in het gewas (groeibuis). De aanname is gedaan dat de extra buizen aan de noordgevel (tevens buitengevel) van de kas voldoende waren om het energieverlies aan de gevel te compenseren. Er is dus gerekend met de warmte-input van een strekkende meter gewas gedeeld door de rijbreedte. Als de geveleffecten groter zijn dan de warmte-input van de extra buizen aan de gevel, is dus het berekende warmteverbruik overschat (en andersom, maar de buitengevel zorgt voor ruwweg 30% meer glas en voor 25% meer buis). Figuur 12 toont het resultaat voor de totale warmte-input en uitgesplitst naar buisrail en groeibuis. Te zien is dat er rond week 50/51 gewisseld is van strategie: eerst is primair verwarmd via de buisrail en daarna is primair verwarmd via de groeibuis. Deze wisseling van strategie leek positief uit te werken op de vruchten: de rijpste vruchten hingen ter hoogte van de groeibuis en zullen waarschijnlijk warmer zijn geworden, wat positief werkt op de sinksterkte (Marcelis, 1994). Daardoor wordt de tijd tot het bereiken van het streefgewicht van 370 gram bij oogst verkort.

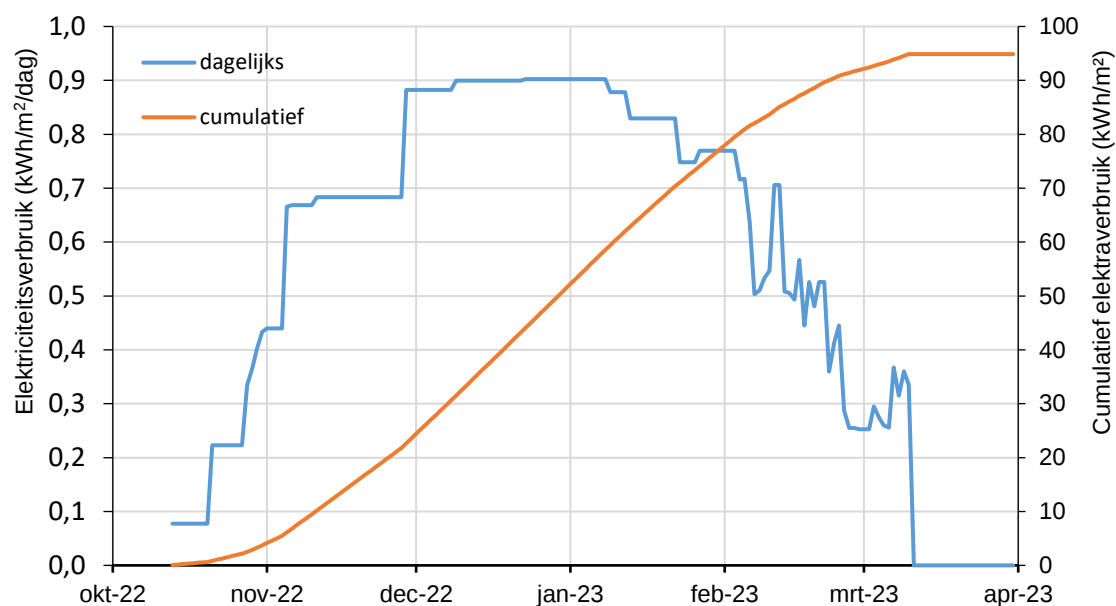




Figuur 12: Warmteverbruik in m^3/m^2 uitgesplitst naar buisrail ($2 \times 51\text{mm}$) en groeibuis ($1 \times 35\text{mm}$) in combinatie met de buitentemperatuur (bovenste paneel) en cumulatief gasverbruik (onderste paneel). De pieken in warmteverbruik worden veroorzaakt door dalen in de buitentemperatuur zoals week 50 en week 3&4. De piek in week 10 wordt veroorzaakt door een lage buitentemperatuur en de afschakeling van de belichting in die week

3.3.2 Elektriciteitsverbruik van de lampen

Het elektriciteitsverbruik van de lampen is berekend door per 5 minuten de gebruikte lichtintensiteit met en zonder verrood te delen door respectievelijk 3.2 en $3.5 \mu\text{mol}/\text{joule}$ en staat weergegeven in Figuur 13. Het uitzetten van verrood geeft dus een significant hogere efficiency. In 36% van de uren is er verrood bespaard (Tabel 4). Volgens deze methode is er 3kWh bespaard (3.1%) door verrood uit te zetten. Volgens Erik Stappers van Signify is deze berekening een conservatieve inschatting. Naarmate het dimpercentage toeneemt, wordt de lamp namelijk ook efficiënter. Met andere woorden: tijdens de uren dat de lampen gedimd brandden, mag er gerekend worden met een hogere efficiency dan in deze proef gedaan is. Dit is een interessant gegeven omdat mogelijk ook tijdens de uren dat verrood uitstond het witte licht had kunnen worden gedimd. De behaalde besparing zou dan relatief eenvoudig verdubbeld kunnen worden.



Figuur 13: Elektriciteitsverbruik van de lampen berekend door de 5-minutenwaarden van de intensiteit met en zonder verrood te delen door respectievelijk 3.2 en 3.5 $\mu\text{mol}/\text{joule}$. Week 10 (11 maart) is de belichting uitgezet omdat de 95kWh bereikt was.

Tabel 4: Uren lampen aan voor de hele proef. Er werd maximaal 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR gegeven en 18 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ verrood. Verrood was 9% van het totale spectrum in PFD. In de uren dat verrood uitstond is 3kWh bespaard (het licht had 34.5 kWh gekost als verrood wel aan had gestaan).

	Branduren (uur)	Efficiency ($\mu\text{mol}/\text{J}$)	Gemiddelde intensiteit ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR)	Berekening elektriciteit (kWh/m ²)
Totaal uren belicht	1992		157	94.9
Totaal uren FR aan	1265	3.2	160	63.4
Totaal uren FR uit	727	3.5	152	31.5
Besparing verrood	36%			3.1%

3.3.3 Elektriciteitsverbruik van het Air&Energy-systeem

Voorafgaand aan de proef is de schatting gedaan dat het verbruik van het Air&Energy-systeem 5kWh/m² zou gaan kosten gedurende 25 weken gebruik. Na enige weken is er een kWh-meter geïnstalleerd. Hiermee is gemeten dat het Air&Energy-systeem inderdaad 5kWh/m² heeft gebruikt.

Het Air&Energy-systeem is in staat om met >90% efficiency de voelbare warmte terug te winnen uit de afgevoerde latente warmte. In getallen houdt dit het volgende in: Bij 5°C buitentemperatuur en 20°C kasttemperatuur is de delta-T 15°C. Van deze delta-T wordt >90% teruggewonnen. Dus de inkomende buitenlucht is tenminste (5+0.9*15) 18.5°C. Meestal ligt de inkomende buitenlucht maar een graad onder die van de kaslucht (14/15=93% efficiency). De enthalpie is echter gedaald van 50 naar 30kJ/kg (Tabel 5) zodat de totale efficiency op basis van enthalpie op zo'n 60% uitkomt. Per kg luchtuitwisseling is er dus op basis van de enthalpie 40% energieverlies uit de kas.

Tabel 5: Berekening van het absoluut vocht en enthalpie bij verschillende temperaturen en vochtgehaltes op basis van www.mollier-diagram.com.

Flux	Temperatuur (°C)	Relatieve vochtigheid (%)	Absoluut vocht (g/kg)	Absoluut vocht (g/m ³)	Enthalpie (kJ/kg)
Kaslucht uit	20.0	80.0	11.7	14.0	49.8
Buitenlucht	5.0	58.6	3.2	4.0	12.9
Kaslucht in	19.0	30.6	4.2	5.0	29.6

Op grond van de verdamping en de noodzakelijke luchting die hiervoor nodig is om het vocht af te voeren kan worden berekend hoeveel gas er bespaard is door het gebruik van het Air&Energy-systeem. Dit staat uitgewerkt in hoofdstuk 3.4.2. Het blijkt dat het apparaat een aanzienlijke energiebesparing van ruwweg 0.3m³/week in de winter heeft opgeleverd. Dit is dus zeker 6m³ gedurende de hele teelt.

3.3.4 Energiekosten per kg komkommer

Tabel 6 geeft de energiekosten voor de gehele teelt en per kg komkommer. Ter vergelijking zijn er twee praktijkreferenties toegevoegd: hybride (SON-T/LED) en full LED. Ten opzichte van de hybride teelt is de besparing enorm (>30%). Ten opzichte van de full LED-teelt is er wel een kleine besparing op gaskosten per kg komkommer maar een verlies op kWh/kg komkommer. Dit wordt veroorzaakt door de lichtbehoefte van het vegetatieve deel van het gewas, waardoor een hogere lichtsom meer rendeert dan een lagere lichtsom. Dit wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 3.5.2.2. Zoals gezegd heeft in de proef het gebruik van het Air&Energy-systeem een aanzienlijke energiebesparing van zo'n 6m³ (0.3m³/week) gedurende de hele teelt opgeleverd (hoofdstuk 3.4.2). Daarom is de verwachting dat de energie-efficiency van de praktijkreferentie van 0.6m³ aardgasequivalenten per kg komkommer verder kan dalen naar 0.5m³/kg komkommer als er in de praktijk een actief ontvochtigingssysteem met warmte-terugwinning zou worden toegepast. Waarschijnlijk is er meer te besparen omdat een komkommer onder een hogere lichtintensiteit ook meer zal verdampen waardoor er meer gelucht wordt en de potentiële besparing meer wordt dan de 0.3m³/week in de proef.

Tabel 6: Energie-efficiency in de proef en de praktijk. Ten opzichte van het teeltjaar '20/'21 hybride belichting (SON-T/LED) is er veel bespaard per vierkante meter en per kg product. Ten opzichte van de praktijkcijfers van Noordwest-Europa is er wel een kleine besparing op gaskosten per kg komkommer maar een klein verlies op kWh/kg komkommer.

	Proef	Praktijk Nederland SON-T/LED '20/'21	Praktijk Noordwest-Europa, LED '21/'22*
Stuks [Aantal/m ²]	93	156	171
Gewicht [Kg/m ²]	34	60	68
Elektraverbruik [kWh/m ²]	100	268	175
Elektra in aardgaseq. [m ³ /m ²]	10.2	27	17.8
Gasverbruik [m ³ /m ²]	10	26	23
Kosten Elektra [kWh/kg]	3.0	4.5	2.6
Kosten aardgas [m ³ /kg]	0.30	0.43	0.33
Energiekosten in m ³ aardgaseq./kg komkommer	0.60	0.89	0.60

*Getallen aangeleverd door Erik Stappers, Signify. Getallen zijn gemiddelden van belichte winterteelten onder full LED in Zuid-Noorwegen, Duitsland, Nederland en West-Frankrijk

3.4 Energiebalans kas

De energiebalans van de kas bestaat uit de volgende energiestromen:

Ingaand:

- Zonnestraling
- Lampstraling en lampwarmte
- Buiswarmte

Uitgaand:

- Stralings- en geleidingsverliezen kasdek
- Verdamping
- Ventilatie

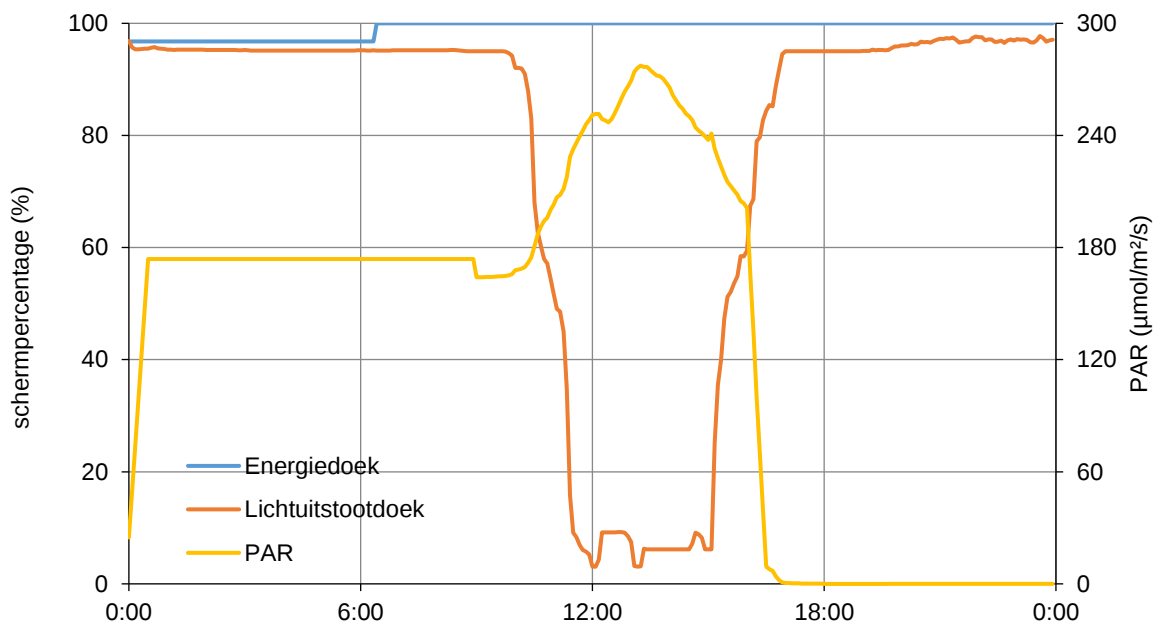
De inkomende energie voor een winterweek kan als volgt worden berekend:

- Zonne-energie: $2 \text{ mol/m}^2 \text{ PAR} / 2.15 \mu\text{mol/J} * 7 \text{ dagen} = 6.5 \text{ MJ/week} = 0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ aardgas-equivalenten}$.
- Lamp-energie: $10 \text{ mol PAR} / 3.2 \mu\text{mol/J} * 7 \text{ dagen} = 21.9 \text{ MJ/week} = 0.6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ aardgas-equivalenten}$.
- Buisgebruik 10 m^3 voor 25 weken, ruwweg $0.5 \text{ m}^3/\text{week}$ beschikbaar (zie ook Figuur 11).

In onderstaande paragrafen worden de uitgaande energiestromen verder uitgewerkt voor een week in de winter.

3.4.1 Inzet schermen

Zoals aangegeven in de Materiaal en methoden was er een energiescherm en een lichtuitstootscherm aanwezig. Gedurende de hele proef is er veel geschermd. Het gemiddelde was 86% voor het energiescherm en 67% voor het lichtuitstootscherm. Figuur 14 geeft het cyclisch gemiddelde van de maand januari weer. In de winter was het lichtuitstootscherm vaak pas na 10:30 open vanwege het voorkomen van netto uitstraling.



Figuur 14: Cyclisch gemiddelde van de inzet van het energiescherm en lichtuitstootscherm en PAR in januari 2023

Door intensief schermen kan het verlies van energie door het kasdek meer dan gehalveerd worden van ongeveer 1.3m³ gas/m²/week naar 0.55 gas/m²/week. Het energiebesparend effect van de scherming kan namelijk met behulp van U-waarden voor warmtegeleiding ruwweg worden berekend (bron: Fjo de Ridder):

- Ongeschermd: 5.2 W/m²/°C
- Energiescherm dicht: 2.7 W/m²/°C
- Lichtuitstootscherm dicht: 3.2 W/m²/°C
- Beide schermen dicht: 1.6 W/m²/°C

In een winterweek (5°C T-buiten) kost het op temperatuur houden van de kas dus ongeveer:

- Ongeschermd: $5.2 \cdot (20-5) \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 7 = 47\text{MJ} \approx 1.3\text{m}^3 \text{ gas/m}^2/\text{week}$
- Zwaar geschermd:
 - 50% tijd twee schermen dicht: $1.6 \cdot (20-5) \cdot 3600 \cdot 12 \cdot 7 = 7.3\text{MJ} \approx 0.20\text{m}^3 \text{ gas/week}$
 - 50% tijd energiescherm dicht: $2.7 \cdot (20-5) \cdot 3600 \cdot 12 \cdot 7 = 12.2\text{MJ} \approx 0.35\text{m}^3 \text{ gas/week}$
 - Totaal: $\approx 0.55\text{m}^3 \text{ gas/week}$

Deze berekening maakt duidelijk dat dankzij de intensieve scherming er veel energie bespaard is. Er kan gesteld worden dat zonder intensief schermen het behalen van de doelstelling van maximaal 10m³/m² gas onmogelijk was geweest.

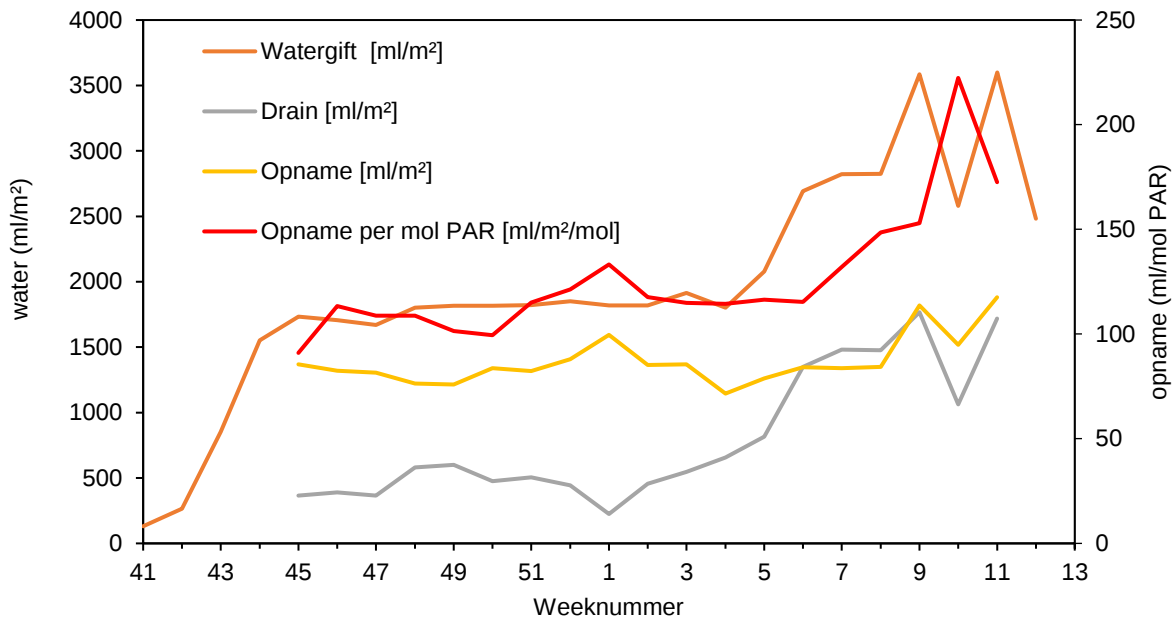
3.4.2 Verdamping

Verdamping kost veel energie. Die energie zit namelijk in de verdamping zelf en het afvoeren van de vochtige lucht via ventilatie en het bijstoken van de koude buitenlucht die hiermee de kas binnenkomt. Voor een winterweek kost dit ongeveer $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ voor de verdamping zelf en ongeveer $0.4 \text{ m}^3/\text{week}$ voor de noodzakelijke ventilatie op de conventionele wijze via de ramen. Het Air&Energysysteem reduceert deze laatste kostenpost tot ongeveer $0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ en bespaart dus ongeveer $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$. Dat is zo'n 6 m^3 gas gedurende de hele proef. De onderbouwing wordt hieronder weergegeven.

Gedurende de proef zijn er gift- en draincijfers verzameld. De gift minus drain geeft de gewasopname weer. De verdamping kan vervolgens geschat worden door de wateropslag in bladeren en vruchten van de gewasopname af te trekken (Figuur 15). Er ontwikkelden gemiddeld 1.5 kg komkommer en een bladoppervlak van 0.5 m^2 blad per week:

- Opslag vruchten: $1.5 \text{ kg} * 97\% \text{ water} = 1.46 \text{ kg}$ wateropslag in vruchten per week.
- Opslag bladeren: bijgroei blad per week met $0.5 \text{ m}^2/\text{m}^2 * 36 \text{ g}/\text{m}^2 = 18 \text{ g}$ drogestof opslag met 10% drooggewicht in het blad is ongeveer 160 g wateropslag in blad per week.

Het giftcijfer is op twee manieren bepaald: via de watergift per druppelaar dat de klimaatcomputer berekent en via het meten van het volume van de gift van 1 druppelaar. Beide methoden verschilden zo'n 15% van elkaar en de berekende wateropname was in de weken 52-6 respectievelijk 119 en $142 \text{ ml}/\text{mol}$ PAR. De verdamping is daarom geschat op $\sim 120 \text{ ml}/\text{mol}$ PAR opname. Aangezien de verdampingsenergie van water 2450 J/g is, kostte de verdamping in een winterweek met 12 mol PAR/dag dus ongeveer $0.7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ aardgasequivalenten ($12 \text{ mol}/\text{dag} * 120 \text{ g}/\text{mol} * 2450 \text{ J/g} = 3.5 \text{ MJ}/\text{dag}$). Om deze hoeveelheid vocht kwijt te raken, zal er moeten worden geventileerd. Afhankelijk van het absolute vocht binnen en buiten kan het luchtvolume in m^3 worden berekend dat moet worden uitgewisseld. De uitgewisselde m^3 lucht moet vervolgens weer worden opgewarmd. Dit blijkt ongeveer $2 \text{ MJ}/\text{dag}$ te kosten, dat is $0.4 \text{ m}^3/\text{week}$ (absoluut vochtverschil van $10 \text{ g}/\text{m}^3$ en 15°C verschil in binnen- en buitentemperatuur). In bovenstaande berekening wordt geen rekening gehouden met condensatie aan het kasdek. Dit vermindert de noodzakelijke ventilatie en bespaart in dat geval energie. Echter in een goed geïsoleerde kas treedt juist veel minder condensatie op waardoor de berekening grotendeels correct blijft.



Figuur 15: Gift, drain en opname gedurende de proef. De gift is de berekende gift per druppelaar maal de plantdichtheid van 1.7 stengels/m². Hiernaast is ook de ml gift van 1 druppelaar dagelijks gemeten. Deze meting lag zo'n 15 % hoger. Gedurende de weken 52-6 was volgens de eerste methode de wateropname gemiddeld 119 ml/mol PAR en volgens de tweede methode 142 ml/mol PAR.

De kosten van het Air&Energy-systeem zijn vooraf geschat op 5kWh voor 25 proefweken. Voor een winterweek dus ongeveer 0.25kWh/week = 0.03m³ aardgasequivalenten/week. Gegeven de efficiency van >90% voor voelbare warmte zijn de ventilatiekosten dus nog maar 10% ten opzichte van conventioneel luchten, 0.04m³. Ten opzichte van conventioneel luchten wordt er dus 0.4-0.07=0.33m³ aardgasequivalenten/week bespaard en is dus zo'n 6m³ besparing voor de hele proef.

3.4.3 Energiebalans kas

Aan de hand van de getallen in voorgaande paragrafen kan de energiebalans van de kas voor een gemiddelde winterweek worden opgesteld. Tabel 15 geeft de energiebalans weer en maakt het volgende duidelijk:

- In de proef hielden de verdamping en de inkomende lichtenergie (zon+lamp) elkaar min of meer in evenwicht, de buiswarmte was in evenwicht met het energieverlies via het kasdek. Bij conventioneel luchten komt hier de ventilatie als grote verliespost nog bij (ruwweg de helft ten opzichte van de verdampingsenergie).
- Conventioneel luchten zou rond de 1.7m³ aardgasequivalenten/week hebben gekost terwijl dit met het Air&Energy-systeem rond de 1.3m³ aardgasequivalenten/week heeft gekost.
- De besparing van het Air&Energy-systeem ligt netto op rond de 0.33m³/week (90% van 0.4m³ voor conventioneel luchten minus 0.03m³ aardgasequivalenten elektriciteitskosten).
- Bij een goed geïsoleerde kas met conventionele ventilatie kost de verdamping en bijbehorende noodzakelijke ventilatie ongeveer 2/3 van het energieverbruik. Bij gebruik van actieve ontvochtiging daalt dit naar 58%.
 - Dit laat zien dat besparen op verdamping al snel meer impact zal hebben dan het verhogen van de isolatiewaarde van de kas. Besparen op de energiepost verdamping kan door hetzij de verdamping te beperken, hetzij door het percentage *latente* warmteterugwinning te laten stijgen.

Tabel 7: Energiebalans van de kas voor een gemiddelde winterweek. In de proef hielden de verdamping en de inkomende lichtenergie (zon+lamp) elkaar min of meer in evenwicht, de buiswarmte was in evenwicht met het energieverlies via het kasdek. Bij conventioneel luchten komt hier de ventilatie als grote verliespost nog bij (ruwweg de helft ten opzichte van de verdampingsenergie).

Inkomend		Uitgaand conventioneel luchten		Uitgaand met Air&Energy-systeem	
Zon 2 mol:	0.2m ³ eq./week	Kasdek:	0.55 m ³ eq./week**	Kasdek:	0.55 m ³ eq./week
Lamp 10 mol:	0.6m ³ eq./week	Verdamping:	0.70 m ³ eq./week	Verdamping:	0.70 m ³ eq./week
Buis:	0.5m ³ eq./week*	Ventilatie:	0.40m ³ eq./week	Air&Energy:	0.03+0.04 m ³ eq./week
Totaal:	1.3m³ eq./week	Totaal:	1.7m³ eq./week	Totaal:	1.3m³ eq./week

3.5 Assimilatenbelans

3.5.1 Introductie en aanpak

De aanmaak (source) is inzichtelijk gemaakt door metingen van de bladfotosynthese door te vertalen naar gewasfotosynthese. Het verbruik (sinks) is inzichtelijk gemaakt door diverse gewasmetingen en het toepassen van rekenregels uit tomatengroeimodellen.

De assimilatenproductie van komkommer is bepaald op basis van een modelmatige berekening van de gewasfotosynthese met de volgende input:

- Klimaat (5-minuten waarden PAR, CO₂, temperatuur, planttemperatuur en RV).
- Regelmatige bepaling van de LAI en vervolgens interpolatie naar dagwaarden.
- Lichtverdeling in het gewas gerelateerd aan de LAI en het fitten van de lichtuitdoving.
- 3D-verdeling van fotosynthese-parameters (lichtrespons en CO₂-respons curves) door het gewas.

Het verbruik van assimilaten gedurende de teelt is ingeschat op basis van modelmatige berekeningen afkomstig uit tomatengroeimodellen. Dit vraagt de volgende input:

- Wekelijkse oogst en bijbehorend percentage drooggewicht van de geproduceerde komkommers.
- De LAI, LMA (Leaf Mass per Area = bladgewicht per oppervlak) en aantal bladeren zodat hoeveelheid bladpluk en hoeveelheid bijgroei van nieuw blad op weekbasis inzichtelijk is.
- De drogestofverdeling over de verschillende organen (vrucht, blad, stengel) is gemeten op basis van destructieve metingen van de oude bladeren en de stengel bij beëindiging van de proef. Het percentage drogestof naar de wortels is als 15% van het blad+stengelgewicht ingeschat.
- De schatting van de respiratie van bladeren volgt uit de fotosynthesemetingen en respiratie van de vruchten is geschat op basis van kennis bij tomaat en komkommer.
- De uitgroeiduur van de vruchten.

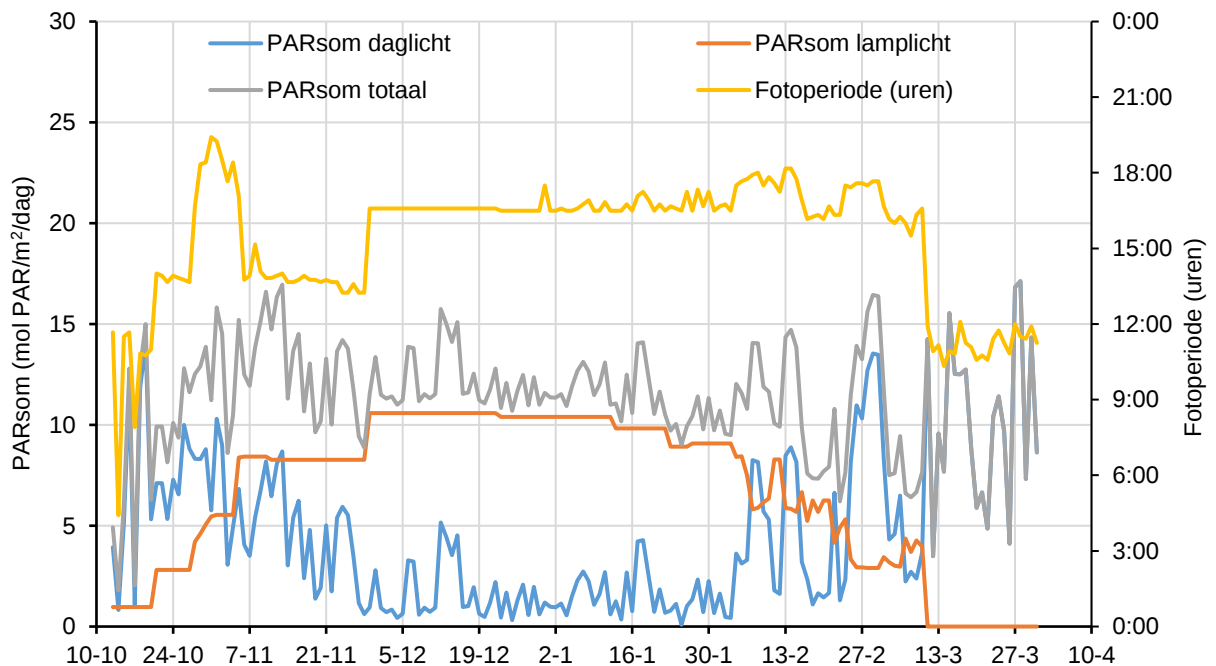
3.5.2 Source

De source is berekend door de lichtintensiteit in PAR te verdelen over 10 virtuele gewaslagen op basis van de zogenaamde Monsi-Saeki benadering (Monsi & Saeki, 2005). Hierbij wordt aangenomen dat het licht in het gewas exponentieel uitdooft volgens de formule $PAR_n = PAR_0 * e^{-k * LAI}$. Vervolgens is van deze lagen de bladfotosynthese berekend en gesommeerd naar dagsommen assimilaten.

3.5.2.1 PAR in de kas en lichtuitdoving

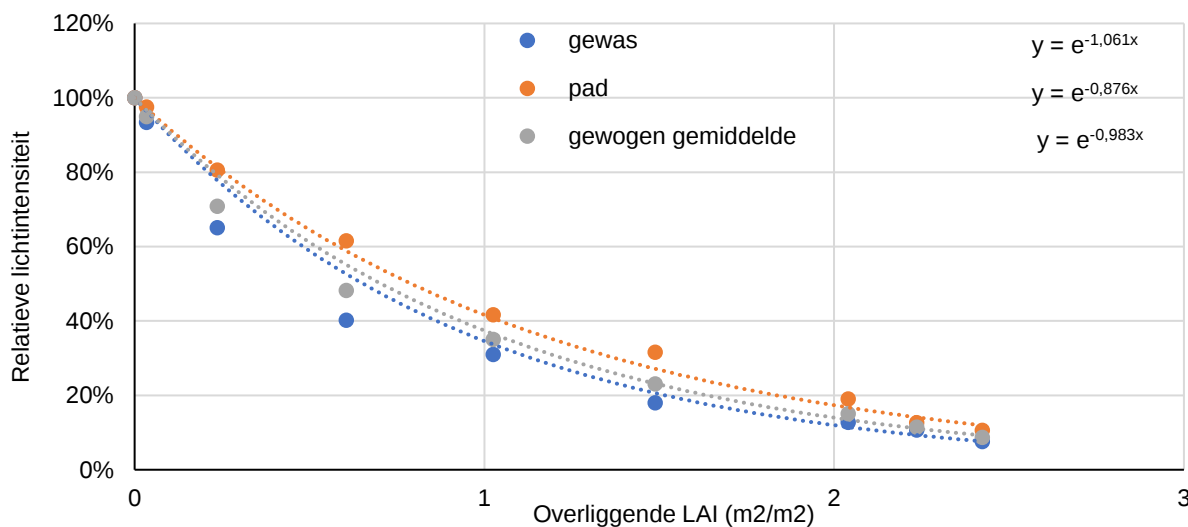
PAR in de kas is per 5 minuten berekend door het zonlicht te sommeren met de gebruikte lampintensiteit (Figuur 16):

- Zonlicht:
 - 5-minutenwaarden solarimeter maal 2.15 $\mu\text{mol}/\text{J}$ voor daglicht
 - Kastransmissie met een jaarverloop tussen 70% in de zomer en 50% in de winter.
 - Schermtransmissie van 85% voor het energiescherm en 0% voor het lichtuittootscherm.
- Lamplicht: ingestelde waarde per 5 minuten



Figuur 16: PARsommen daglicht, lamplicht en de fotoperiode gedurende de proef. De fotoperiode is bepaald door het optellen van het aantal minuten dat de lichtintensiteit boven de $1 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ was. 11 maart is de belichting uitgezet omdat de $95\text{kWh}/\text{m}^2$ bereikt was.

De lichtuitdoving in het gewas is bepaald door driemaal (begin november, half december en eind februari) het lichtuitdovingsprofiel te meten met een lijnsensor (Li-191R, Line quantum sensor) en te relateren aan de LAI (Figuur 17).



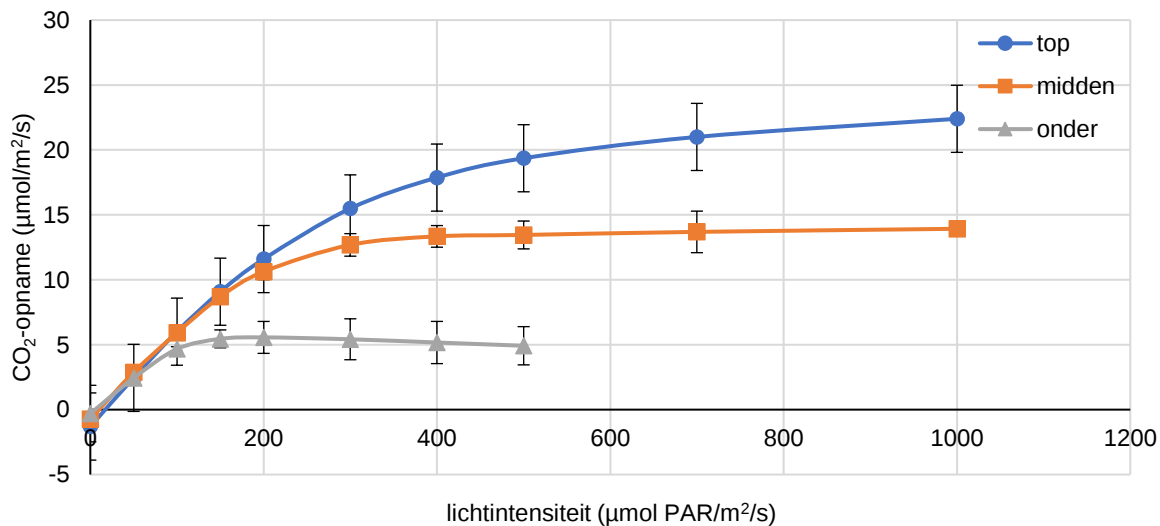
Figuur 17: Lichtuitdoving in pad en gewas gerelateerd aan de LAI van half december. De k -waarden waren respectievelijk 1.026, 0.983, 1.034 voor november, december en februari.

3.5.2.2 Fotosynthese blad en gewas

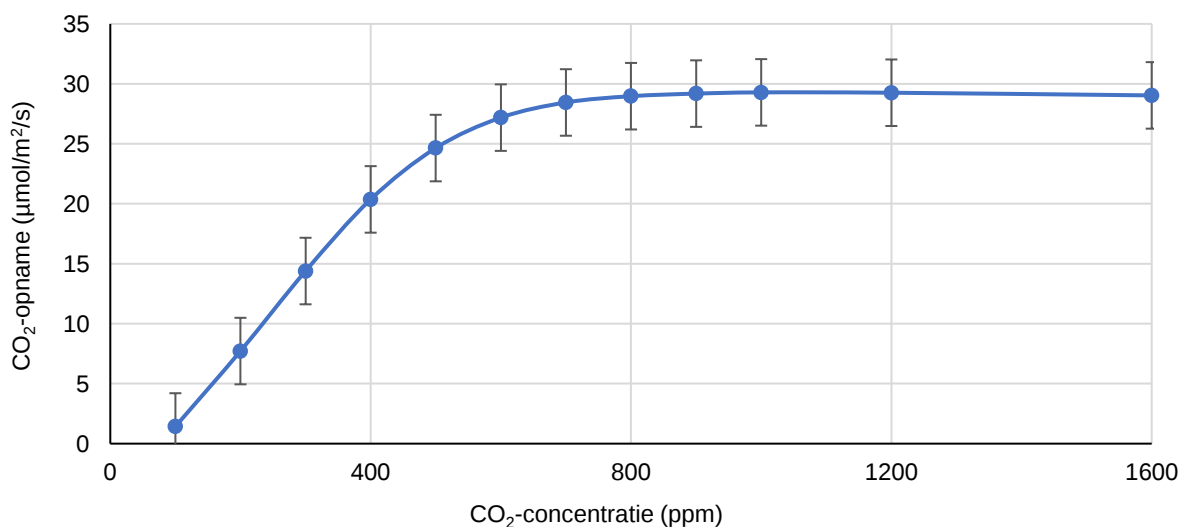
De bladfotosynthese is in 10 lagen berekend op basis van het Farquhar, Von Caemmerer & Berry-model (FvCB-model; Farquhar, Von Caemmerer & Berry, 1980). Hierbij wordt de bladfotosynthese mechanistisch berekend. Er wordt rekening gehouden met het lichtniveau, de bladtemperatuur en het CO₂-niveau. Het model rekent met een tijdstap van 5 minuten: de standaard tijdseenheid van de meetbox. Door de bladfotosynthese van 10 lagen te sommeren is de gewasfotosynthese per 5 minuten berekend. Vervolgens zijn deze 5-minutenwaarden gesommeerd tot dagwaarden. Op 5-minutenbasis is het model gevoed door de lichtintensiteit, CO₂-gehalte en temperatuur. Op dagbasis is het model gevoed door de LAI en de parameters van het FvCB-model (J_{max}, V_{cmax}, alfa, theta). Daarvan verschuiven J_{max} en V_{cmax} geleidelijk gedurende het seizoen en deze parameters zijn afhankelijk van gewaspositie. Deze parameters zijn 3 maal gedurende de teelt bepaald en vervolgens geïnterpoleerd naar dagwaarden.

Bladfotosynthese

De fotosynthese-eigenschappen van de bladeren zijn driemaal gemeten en worden weergegeven in de figuren 18-19. Te zien is dat de fotosynthese-capaciteit van dieperliggende bladlagen fors lager ligt dan die van het topblad (Figuur 18). Er treedt CO₂-verzadiging op bij ongeveer 700 ppm (Figuur 19).

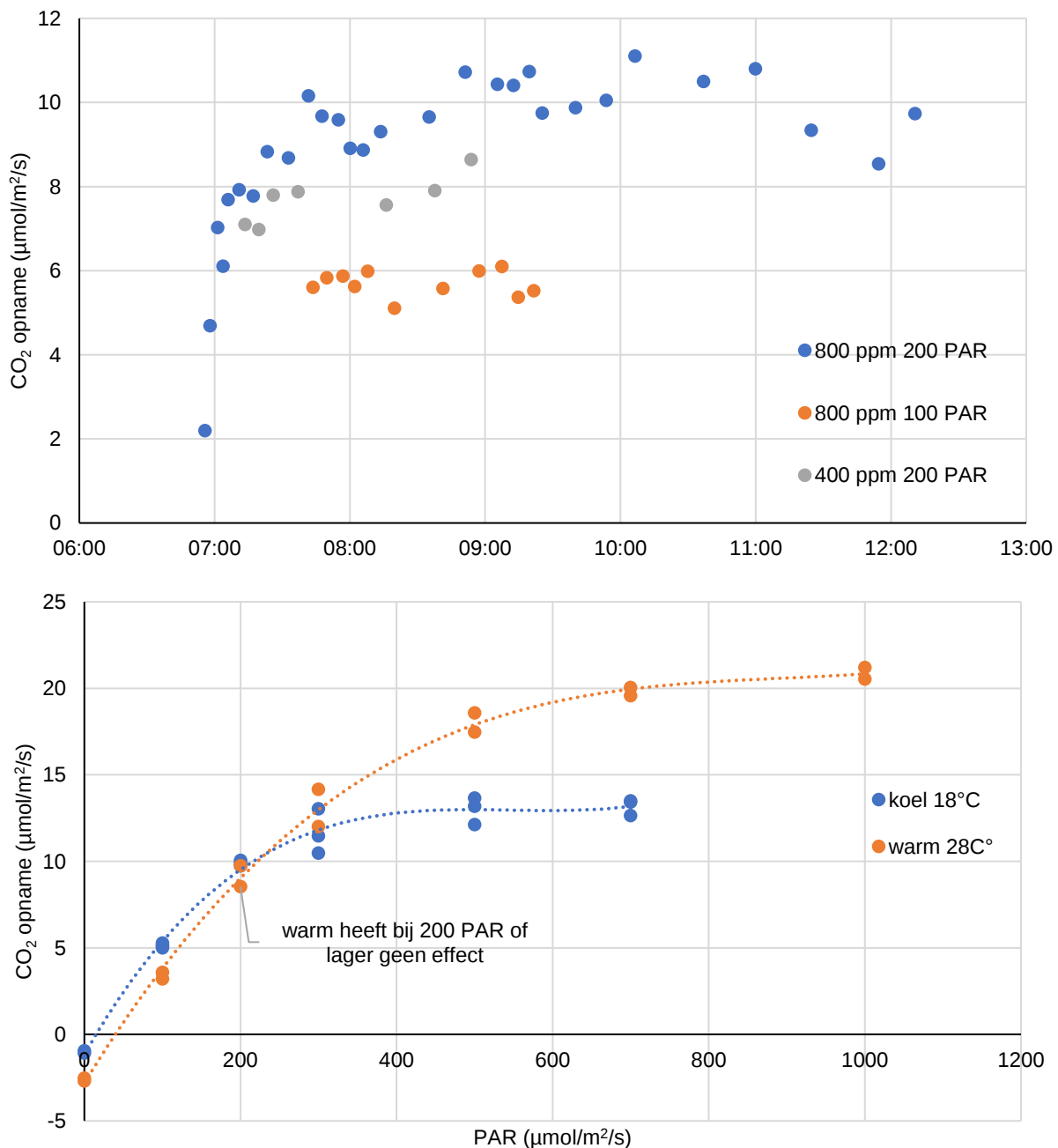


Figuur 18: Lichtrespons van de fotosynthese op drie gewashoogtes in februari. De metingen zijn uitgevoerd bij 800 ppm en een heersende kasttemperatuur van rond de 24°C (n=4). De andere twee meetmomenten lieten soortgelijke patronen zien.



Figuur 19: CO₂-respons van de fotosynthese van topbladeren in december, de metingen zijn uitgevoerd bij 1000 µmol/m²/s PAR en heersende kasttemperatuur van 28°C (n=4). De andere twee meetmomenten lieten soortgelijke patronen zien.

In oktober is het opstarteffect van de fotosynthese bepaald bij het nog jonge gewas (Figuur 20). Bij start van de metingen was de lamp nog uit en was de gewastemperatuur 17°C. Het bleek dat bij 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 800 ppm CO_2 de fotosynthese de eerste drie kwartier toeneemt. Het lichtrendement van de fotosynthese (ΦPSII) start vrij laag. Dit lijkt meer gerelateerd te zijn aan de tijd vanaf het inschakelen van de belichting dan aan de gewastemperatuur, die rond 8:30 nog op rond de 18°C lag. Onder de 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR is de fotosynthese gelijk of iets hoger bij 18°C ten opzichte van 28°C. Er kan dus worden aangeraden om het eerste half uur van de dag met halve kracht te belichten. Vanuit de fotosynthese gezien heeft het ook geen nut om op te stoken. Opstoken voor de dag uit maakt het makkelijker om de RV onder controle te houden. Echter dit zou bij gebruik van een actief ontvochtigingssysteem niet meer nodig hoeven zijn.

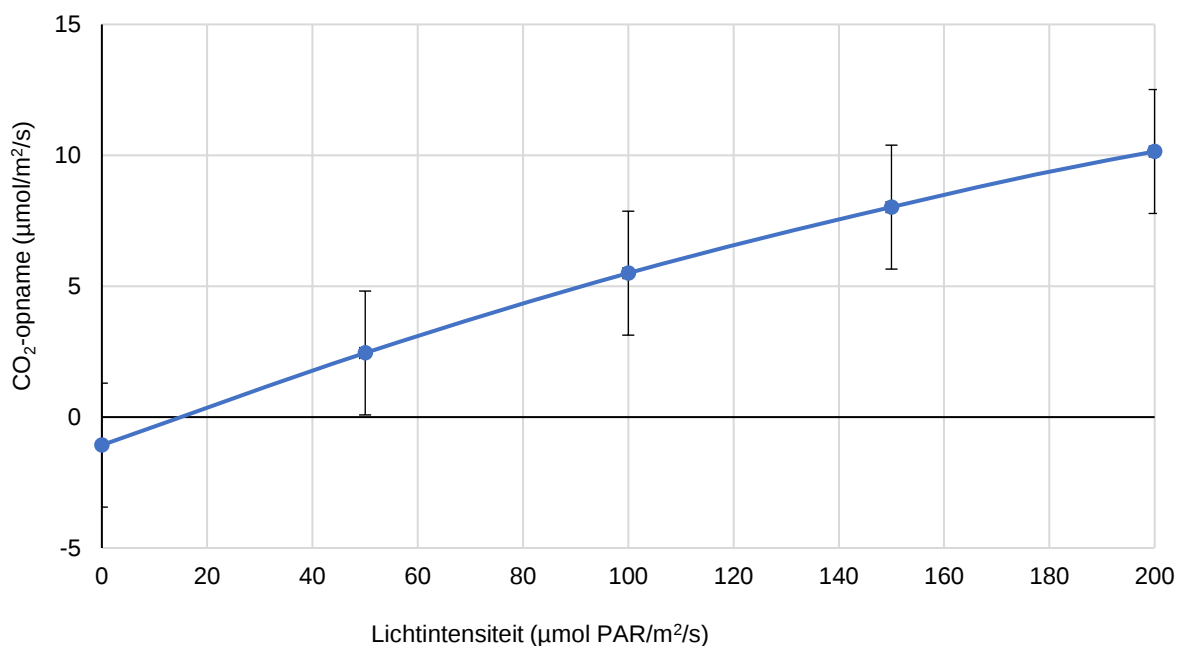


Figuur 20: Opstarteffect fotosynthese. Na aanschakelen van het licht neemt de fotosynthese snel toe. Dit is gerelateerd aan de lichtreactie van de fotosynthese (ΦPSII). Rond 7:45 worden al normale waarden gemeten. Onder de 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR heeft een hogere temperatuur van 28°C netto geen positief effect op de fotosynthese ten opzichte van 18°C, erboven wel.

Tijdens de BCO is het nut van belichten onder het lichtcompensatiepunt besproken. Dit blijkt wel degelijk nuttig omdat in het donker een verlies optreedt door ademhaling. Het lichtcompensatiepunt is het punt waar de netto fotosynthese boven de 0 uitkomt, in Figuur 21 ligt dat bij ongeveer 15-20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR. Het volgende getallenvoorbeeld geeft de netto fotosynthese over een uur bij een aantal belichtingsniveaus:

- Uur 0 μmol PAR: $3600 \cdot -1 = -3600 \mu\text{mol CO}_2$
- Uur 50 μmol PAR: $3600 \cdot 2 = +7200 \mu\text{mol CO}_2$
- Half uur 0 en 100 μmol PAR: $1800 \cdot -1 + 1800 \cdot 5 = +7200 \mu\text{mol CO}_2$
- Drie kwartier 0 en een kwartier 200 μmol PAR: $2700 \cdot -1 + 900 \cdot 10 = +6300 \mu\text{mol CO}_2$

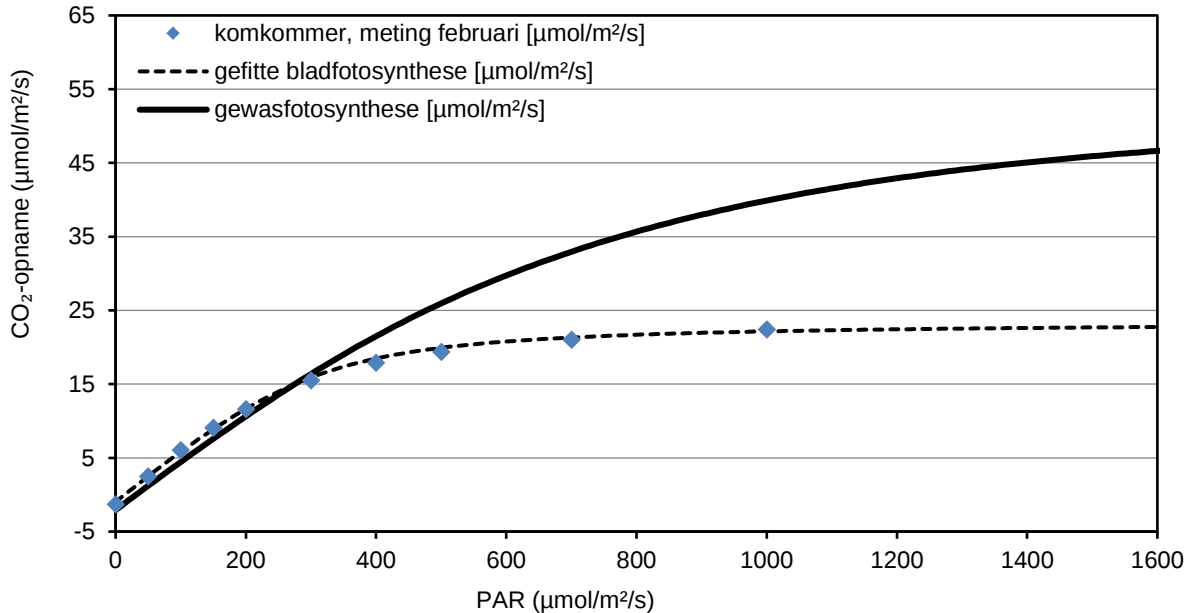
Zonder belichting teert het gewas in door onderhoudsademhaling (-3600). Bij een gelijke lichtsom is langer belichten met een gemiddeld lagere lichtintensiteit rendabeler dan kort belichten met een hogere lichtintensiteit vanwege de afbuigende lichtresponscurve (7200 ten opzichte van 6300). De totale nachtlengte mag echter ook niet te kort worden omdat een te korte nachtlengte ook schade kan geven. Bij tomaat wordt daarom 6 uur nacht aangehouden. Voor komkommer is de minimale nachtlengte niet bekend.



Figuur 21: Heeft belichten onder het lichtcompensatiepunt zin? Het lichtcompensatiepunt is het punt waar de netto fotosynthese boven de 0 uitkomt, in deze figuur ligt dat bij ongeveer 15-20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR.

Gewasfotosynthese

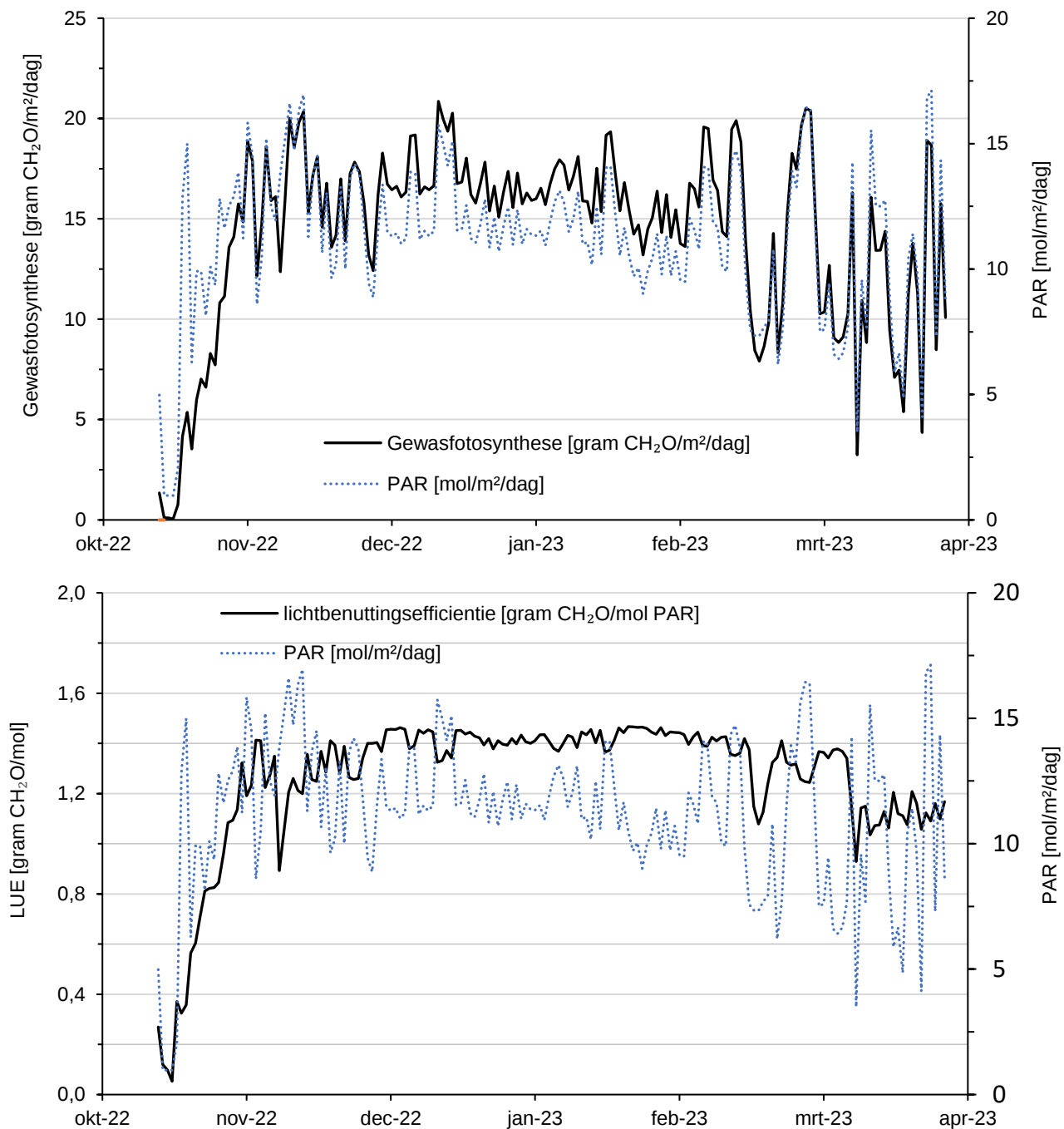
De gewasfotosynthese bestaat uit de som van fotosynthese op bladniveau verdeeld over de verschillende gewaslagen. Dit kan ook weergegeven worden met een lichtrespons op gewasniveau (Figuur 22). Op topbladniveau raakt de fotosynthese rond de 700 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR verzadigd, echter op gewasniveau treedt lichtverzadiging veel later op. Er kan gesteld worden dat er onder winterse omstandigheden op gewasniveau nooit lichtverzadiging optreedt.



Figuur 12: Voorbeeld verschil tussen blad (topblad) en de gewasfotosynthese geijkt voor de winterteelt komkommer.

Figuur 23 geeft de gewasfotosynthese over de tijd weer. Deze lijn volgt de dagelijkse PARsom redelijk goed. Op drie momenten is er sprake van een lage(re) lichtbenutting:

- Te lage LAI tijdens gewasopbouw gedurende de eerste twee weken.
- Twee keer dal in lichtbenutting door laag CO₂ (rond 8 november en 19 februari).
- Vanaf 11 maart was er alleen natuurlijk licht: dan is er een minder efficiënte verdeling van PAR over de dag (hogere lichtintensiteiten tijdens een 'korte' dag).



Figuur 232: Gewasfotosynthese en lichtbenuttingsefficiëntie (LUE) op assimilaatniveau (gewasfotosynthese/PAR). De gewasfotosynthese volgt de dagelijkse PARsom redelijk goed. Op drie momenten is er sprake van een lage(re) lichtbenutting: 1) Te lage LAI tijdens gewasopbouw gedurende de eerste twee weken; 2) Twee keer dal in lichtbenutting door laag CO₂ (rond 8 november en 19 februari); 3) Vanaf 11 maart was er alleen natuurlijk licht tijdens een 'korte' dag: dan is er een minder efficiënte verdeling PAR over de dag.

3.5.3 Sinks

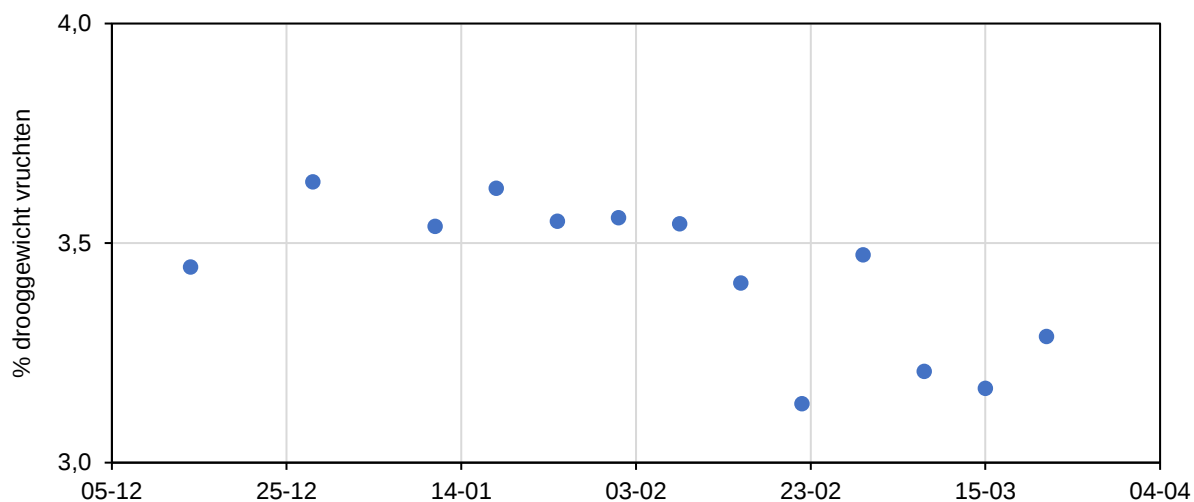
De sinks bij een komkommernegewas bestaan uit vruchten, bladeren, stengel en wortels. Aan de hand van de wekelijkse oogstcijfers, bijbehorend drogestofpercentage en de gemiddelde uitgroeiduur is een wekelijkse schatting gemaakt van de assimilaten die naar de vruchten zijn gegaan. Aan de hand van de metingen van de LAI, de LMA van de bladeren, het aantal aanwezige bladeren, bijkomende bladeren en het aantal geplukte bladeren is de wekelijkse aanwezigheid en bijgroei van nieuw blad bepaald. Er is aangenomen dat de blad/stengel/wortelverhouding niet verandert. Verder is aangenomen dat het aandeel drogestof in de wortels 15% was van het blad+stengelgewicht.

Voor de berekeningen aan de kosten van assimilaten voor de sinks is gebruik gemaakt van formules en rekenregels uit tomatenmodellen. De volgende constanten zijn aangenomen (Heuvelink, 2005):

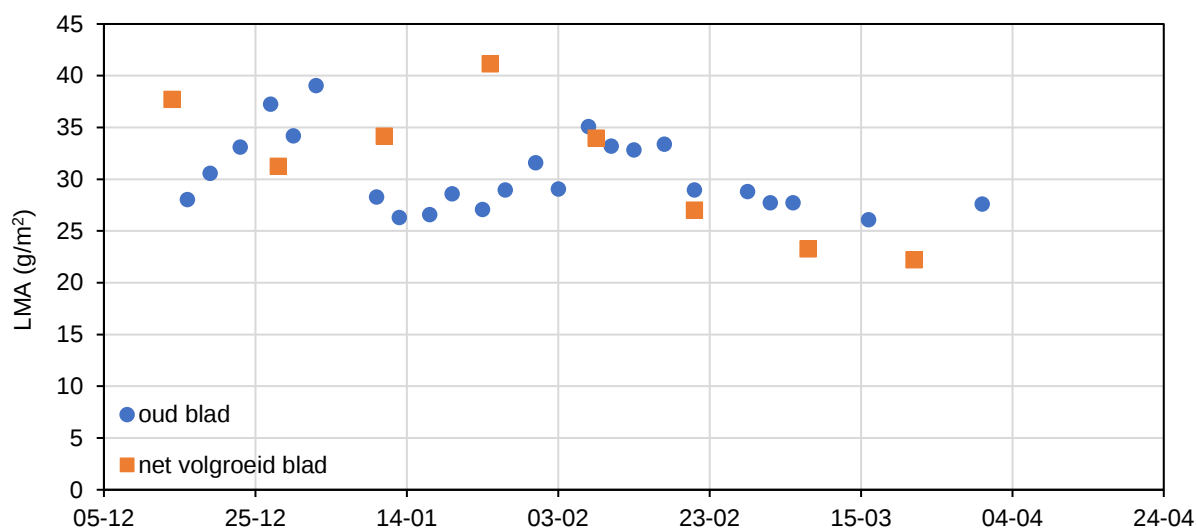
- Onderhoudsademhaling:
 - Bladeren: 0.03 g COH₂/g DM/dag
 - Stengel: 0.015 g COH₂/g DM/dag
 - Wortels: 0.01 g COH₂/g DM/dag
 - Vruchten: 0.01 g COH₂/g DM/dag
- Temperatuursverloop onderhoudsademhaling: Q₁₀=2;
- Groei-ademhaling:
 - Bladeren: 1.39 g COH₂/g DM/dag
 - Stengel: 1.45 g COH₂/g DM/dag
 - Wortels: 1.39 g COH₂/g DM/dag
 - Vruchten: 1.17 g COH₂/g DM/dag (Marcelis, 1994: groei+onderhoud)

Via het wegen van de bladeren en stengel en DS% vruchten is er een controleberekening uitgevoerd.

Figuur 24-25 bevatten de gemeten DS% van de vruchten en de LMA van jong volgroeide en oude bladeren. Deze getallen zijn gebruikt om de wekelijkse bijgroei in LAI om te rekenen naar een bijgroei in drogestof. Het gemiddelde drogestofpercentage van de vruchten kwam uit op 3.4%. Dit is hoog vergeleken met een proef van Trouwborst et al. (2010) waar 2.7% is gemeten. Het is niet duidelijk of dit bijvoorbeeld een raseigenschap is of dat dit door de teelt is veroorzaakt. Bij een drogestofpercentage van 3% zou bij een gelijk geproduceerde hoeveelheid drogestof de opbrengst in deze proef al stijgen met 13% van 33.8 kg/m² naar 38.3kg/m². Het drogestofpercentage is dus een significante productiefactor.



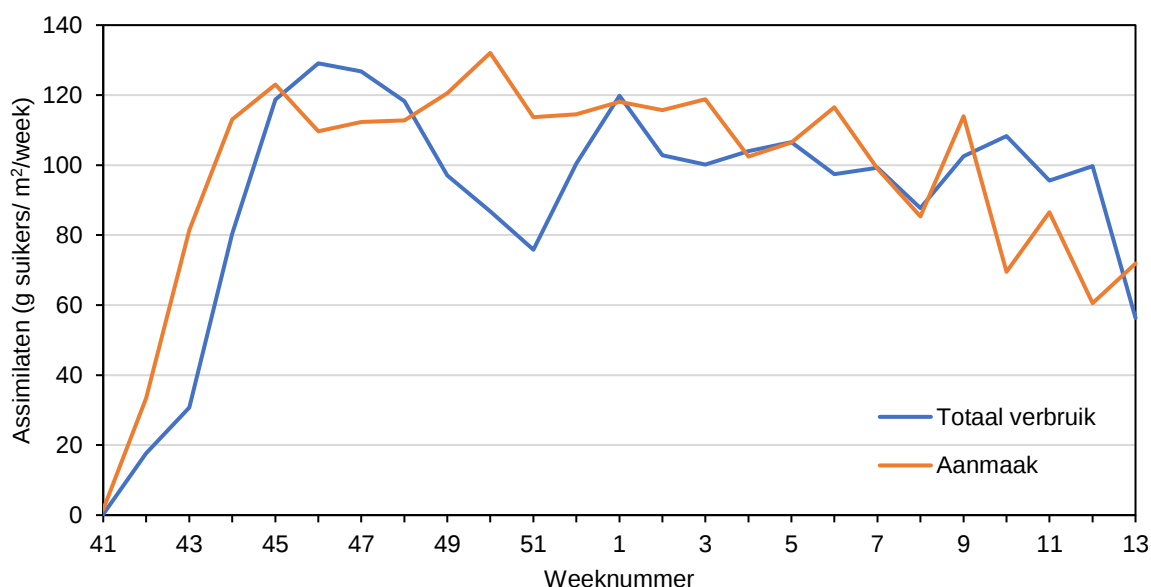
Figuur 243: Drogestofpercentage vruchten gedurende de proef. Deze was redelijk consistent gedurende de proef en was gemiddeld 3.4%.

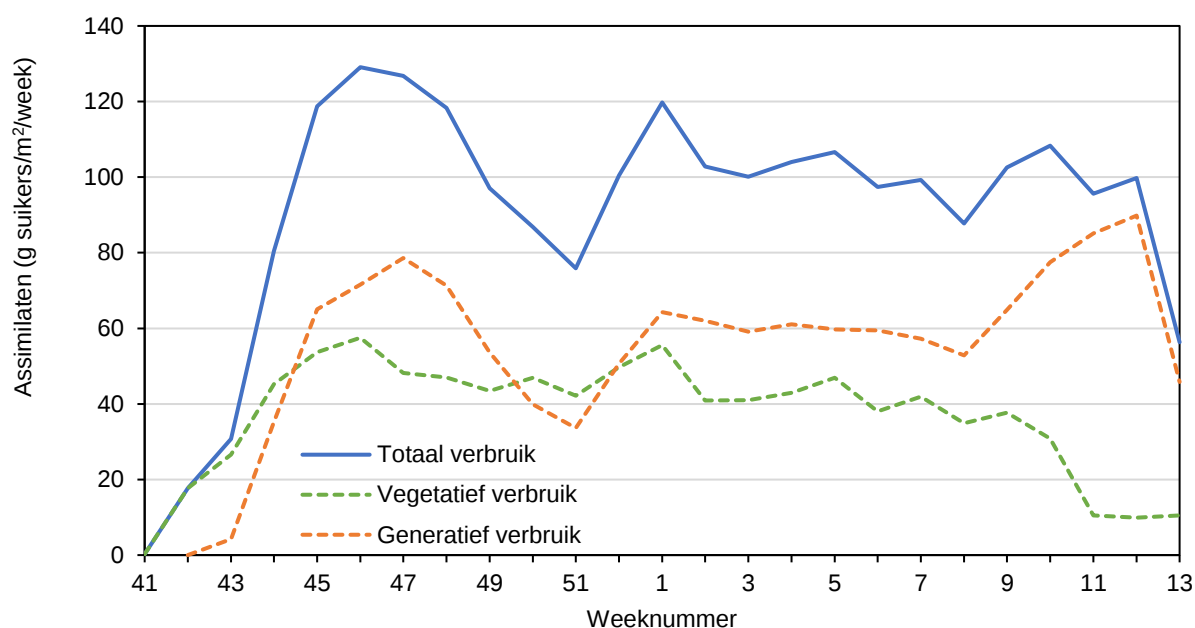


Figuur 25: LMA (bladgewicht in gram/m²) van jong volgroeid blad (n=5) en oude geplukte bladeren van de meetplanten (n=8-30).

3.5.4 Assimilatenbalans

Figuur 26 geeft de berekende assimilatenbalans weer gedurende de 25 weken teelt. Het gemeten en berekende verbruik van assimilaten komt prima overeen met de aanmaak van assimilaten (berekende gewasfotosynthese op weekbasis). Cumulatief gezien is de aanmaak van assimilaten 7% hoger dan het verbruik. In week 46-48 was er een tekort aan assimilaten en vervolgens een overschot door de opgetreden abortie. De vegetatieve gewasbehoefte blijkt ongeveer 46 gram/week te zijn. Dit is in winter rond de ~ 4.7 mol PAR/dag (lichtbenuttings-efficiëntie van gemiddeld 1.4 g/mol PAR). Deze lichthoeveelheid is dus nodig om een gezonde plant te kweken/houden. Er kan worden geconcludeerd dat er bij een teelt van 12 mol PAR/dag ongeveer ~ 7 mol PAR/dag over is voor vruchten. Dit is zo'n 60% van het licht.





Figuur 26: Assimilatenbalans op weekbasis gedurende de proef. De aanmaak is de gewasfotosynthese op weekbasis. Het generatief verbruik is berekend op basis van de oogst en het vegetatief verbruik is berekend op basis van de onderhoudsademhaling van het aanwezige blad, de stengels en wortels en de groei-ademhaling van de bijgroei van blad, stengel en wortel.

3.3.4.1 Berekende en gemeten assimilatenverdeling

Tabel 8 geeft de gemeten drogestofverdeling en de berekende assimilatenverdeling weer over de verschillende plantonderdelen. De benodigde assimilaten voor het vegetatieve deel liggen een stuk hoger dan de gemeten drogestof vanwege de groei- en onderhoudsademhaling en de niet gemeten drogestof in de wortel.

Tabel 8: Gemeten drogestofverdeling en berekende assimilatenverdeling. De berekende assimilatenverdeling is een stuk hoger omdat hierin ook de groei- en onderhoudsademhaling zijn meegenomen. Er is aangenomen dat de wortel 15% van blad+stengel kostte.

	Gemeten drogestof [g/m²]	Gemeten drogestof-verdeling	Berekende assimilaten [g/m²]	Berekende assimilaten-verdeling
Blad	380*	74%	490**	74%
Stengel	133	26%	179	26%
Wortel	?	?	99	15%
Vegetatief	513	31%	920	41%
Vruchten	1148	69%	1342	59%
Totaal	1661	100%	2262	100%

* De cumulatieve bladafplitsing was 119. Hiervan zijn er zo'n 19 als jong kopblad verwijderd. Het aantal geoogste oude bladeren kwam op 82, er ontbreken dus 18 van de 100 bladeren. Mogelijk is deze post dus onderschat.

**De berekende drogestof in blad en stengel was respectievelijk 360 en 126 gram, dus zo'n 5% lager berekend dan werkelijk gemeten.

3.3.4.2 Wat als PAR hoger of lager was geweest?

Aangezien de berekende aanmaak en verbruik van assimilaten in dezelfde orde van grootte liggen, kunnen er berekeningen worden uitgevoerd naar vragen waar nog geen antwoord op is. Een prangende vraag is hoe het gewas had gefunctioneerd als we meer of minder licht tot onze beschikking hadden. Aangezien we te maken hadden met de volgende eisen van de proef: 10m³ gas (= 350MJ ≈ 100kWh elektra) en 100kWh elektra (= 360MJ ≈ 10 m³ gas), kunnen we dus scenario's maken waarbij de energiebehoefte in totaal gelijk blijft (Tabel 9). Om een kas op temperatuur te brengen maakt het theoretisch niet uit of dit via buiswarmte, de zon, of via lampen gaat. Wel kan een andere verdeling tussen buiswarmte en PAR een andere verdamping bewerkstelligen aangezien de verdamping voor een groot deel gerelateerd is aan straling. Het is dus zaak dat de benodigde energie voor verdamping lager is dan de aangeboden lichtenergie zodat een deel van de lampenergie over blijft voor kasverwarming Zie kopje 'verdampingsenergie uit LED-belichting' voor een indicatieve berekening van de verlaging in verdamping die nodig is.

Tabel 9: Scenario's andere verdeling voor de beschikbare energie voor de proef (10m³ gas (= 350MJ ≈ 100kWh elektra) en 100kWh elektra (= 360MJ ≈ 10 m³ gas).

	Gas [m ³]	Elektra [kWh]
Proef	10	100
Minder licht	15	50
Meer licht	5	150

Uit de voorgaande paragraaf weten we dat de vegetatieve gewasbehoefte ongeveer ~5 mol PAR/dag blijft om een gezond gewas te houden. Bij meer of minder licht zal de plantbelasting navenant stijgen of dalen per m². (Als hierdoor meer of minder stengels moeten worden aangehouden zal de lichtbehoefte voor het vegetatieve deel wel wat gaan schuiven omdat er relatief meer/minder stengel en/of blad moet worden geproduceerd). Tabel 10 geeft de resultaten weer van de simulatie. Hierbij is te zien dat een verlaging van de lichtintensiteit de energiekosten per kg komkommer fors doet stijgen (verlaging efficiency) en dat een verhoging van de lichtintensiteit de energiekosten per kg komkommer doet dalen (verhoging efficiency). Dit heeft te maken met de drempelwaarde van de lichtsom voor onderhoud van het vegetatieve gewas (zie ook Rappoldt en Schapendonk, 2012): immers het percentage licht wat beschikbaar is voor de vruchten neemt toe van weinig naar veel licht, respectievelijk 29, 58 en 71%.

Tabel 10: Energie anders verdelen gedurende een winterweek. De theoretische productie is berekend met een LUE van 1.4 gram assimilaten/mol PAR, een ASR van 1.17g/g en een fractie drogestof van 3.4%. Om een kas op temperatuur te houden maakt het theoretisch niet uit of dit via buiswarmte, de zon of via lampen gaat. Een verhoging van de lampintensiteit zal echter ook de verdamping verhogen. Het is dus zaak dat de energie die nodig is voor verdamping minder is dan de aangeboden lichtenergie. Hiervoor is sowieso actieve ontvochtiging met warmterugwinning noodzakelijk. Zie kopje 'verdampingsenergie uit LED-belichting' voor een indicatieve berekening van de verlaging in verdamping die nodig is.

	PROEF '22/'23 (100 kWh en 10m ³)	SIMULATIE minder licht (50kWh en 15m ³)	SIMULATIE meer licht (150kWh en 5m ³)
PAR [mol/m ² /dag]	10+2=12	5+2=7	15+2=17
Drempelwaarde vegetatief [mol/m ² /dag]	5	5	5
Over voor komkommers [mol/m ² /dag]	7 (58%)	2 (29%)	12(71%)
Theoretische productie [kg vers/week]	1.7* (werkelijk 1.5kg)	0.5	2.9
Elektra [kWh/week]	6	3	8.9
Verwarming [m ³ /week]	0.6	0.9	0.3
Energie in m ³ aardgaseq./week	1.2	1.2	1.2
Kosten totaal in m³ aardgaseq./kg komkommer	0.70	2.44	0.41

*Telers werken met een conversie van gram vers per mol PAR van tenminste 21 in de winter en 17 in de zomer. In die methode zit de drempelwaarde voor vegetatief gewasonderhoud niet verwerkt. Ook volgens die methode was de verwachting dat in de proef 1.7kg/week zou worden geproduceerd (12mol PAR/dag * 7dagen * 21g/mol = 1764g/week). NB bij een drooggewichtspercentage van 3% in plaats van 3.4% zou er wel een productie van 1.7kg/m²/week zijn geweest.

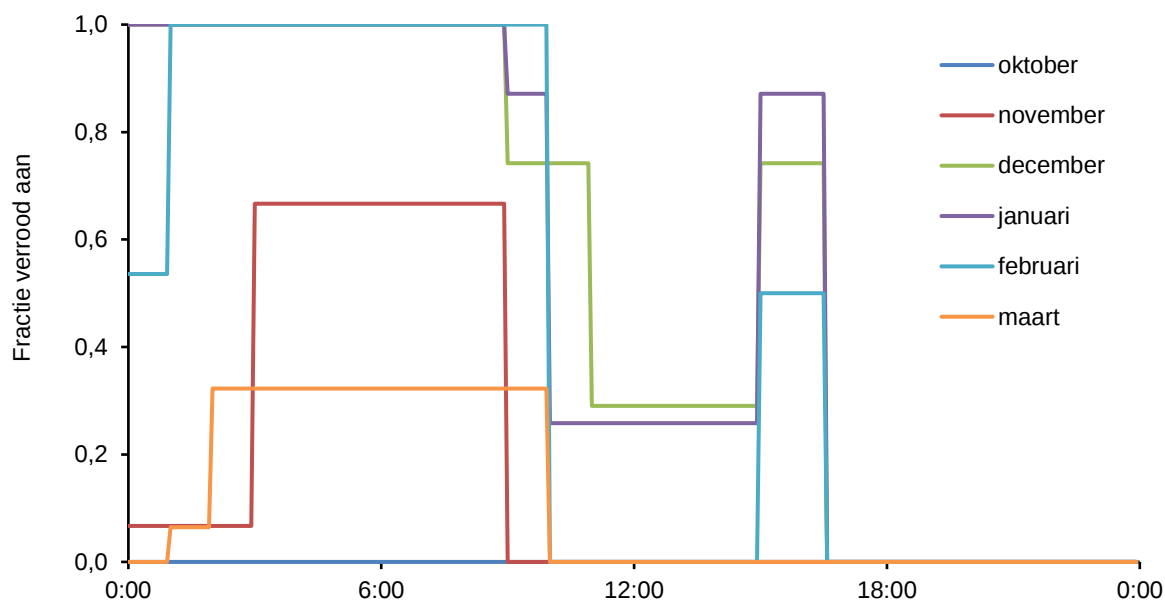
We zien dus dat het scenario meer licht ($5\text{m}^3/150\text{kWh}$) uit tabel 10 een veel gunstigere uitkomst biedt dan de $10\text{m}^3/10\text{kWh}$ uit de proef: de energiekosten per komkommer nemen af maar de totale productie is ook nog eens $2.9 - 1.7 / 1.7 \times 100\% = 71\%$ hoger. Dit is belangrijk voor de tuinder omdat de extra uitgaven voor hightech energiebesparingsoplossingen terugverdient moeten worden via besparing op de energiekosten per komkommer.

Verdampingsenergie uit LED-belichting

Op basis van de straling en lampwarmte van de LEDs en de absorptie van straling door het gewas, kan worden berekend hoeveel energie er uit de LED-installatie komt dat de gewasverdamping kan aandrijven. Voor een systeem met een efficiency van $3.2 \mu\text{mol/J}$ blijkt dit voor het stralingsdeel $\sim 80 \text{ ml/mol PAR}$ en in totaal $\sim 128 \text{ ml/mol PAR}$ te zijn. Bij een hogere verdamping dan $\sim 128 \text{ ml/mol PAR}$ zal er dus of meer natuurlijke instraling moeten zijn of de verdamping kost meer buiswarmte, dus een hoger gasverbruik. In het rekenvoorbeeld van Tabel 10 zal in een winterweek met een hogere lichtintensiteit van 17 mol PAR/dag daglicht+lamplicht en buiswarmte van slechts $0.3\text{m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ er tenminste $0.2\text{m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ aardgasequivalenten uit de belichtingsinstallatie moeten komen die niet nodig zijn voor gewasverdamping omdat het energieverlies via het kasdek rond de $0.5\text{m}^3/\text{m}^2/\text{week}$ uitkwam. De gewasverdamping moet in dat geval dalen naar maximaal 100ml/mol PAR om de rekensom rond te krijgen. Bij tomaat zijn dit soort getallen al behaald (persoonlijke mededeling Erik Stappers, Signify). Het is nog een open vraag of dit ook bij komkommer haalbaar is.

3.6 Lichtspectrum en verrood-behoefte

Verrood is essentieel om bladkrulling te voorkomen (Trouwborst *et al.* 2010). De bladkrulling lijkt te worden veroorzaakt doordat de cel-strekking niet gelijkmatig plaats vindt: meer strekking aan de bovenkant ten opzichte van de onderkant van het blad. Cel-strekking wordt voor een groot deel gereguleerd door fytochroom B. Fytochroom B wordt aangestuurd door de momentane verhouding van rood/verrood licht. In het verleden is proefondervindelijk aangetoond dat 10% verrood ten opzichte van PAR voldoende is om bladkrulling te voorkomen. In zonlicht zit rond de 30% verrood tussen de 700-800nm, dus de aanwezigheid van verrood is vooral tijdens de daglichtloze uren van belang. Aangezien verrood slecht benut wordt voor de fotosynthese is het zaak om zoveel mogelijk te bezuinigen op de inzet van verrood. De lampefficiëncy stijgt dan namelijk van 3.2 naar 3.5 $\mu\text{mol/J}$.



Figuur 274: Cyclisch maandgemiddelde van de inzet van verrood. Verrood stond óf aan óf uit (9% van het spectrum in PFD). Een fractie lager dan 1 betekent dus dat het verrood soms uitstond. Te zien is dat op de inzet van verrood alle maanden bespaard is gedurende de natuurlijke dag. Ruwweg 10 dagen van december en 10 dagen van januari stond het verrood ook gedurende de natuurlijke dag aan.

Figuur 27 laat de inzet van verrood over de dag als cyclisch maandgemiddelde zien. Aan het begin van de proef is verrood zo lang mogelijk uitgelaten. Dit is gelukt tot en met week 44 (eind oktober) waar de verhouding tussen lamplicht en zonlicht rond de 50%/50% lag en het aantal daglichtloze uren belichting rond de 8 uur/dag lag.

Met behulp van een fytochroomstatus-model is berekend bij welke grens het verrood overdag uit kon gaan (Tabel 11). Dit bleek bij rond de 50 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR instraling van natuurlijk daglicht te zijn. In het lamplicht is 18 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ verrood aanwezig. Bij 50 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR zonlicht is er ook al 18 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ verrood aanwezig. Het verrood van het zonlicht zit echter tussen de 700-800nm en wordt slechter geabsorbeerd dan het verrood van het lamplicht dat tussen de 700-750nm zit. Daarom is ook de fytochroomstatus berekend. Het blijkt dat de fytochroomstatus bij 50 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR zonlicht slechts iets hoger is dan van het lamplicht. Daarom zal bij meer dan 50 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ PAR instraling van natuurlijk daglicht het verrood uit lamplicht afgeschakeld kunnen worden.

Aangezien er geen dynamische sturing tussen %verrood en intensiteit daglicht aanwezig was, werd eind week 3 het verrood gedurende de natuurlijke dag uitgezet. Week 4 was een donkere week met gemiddeld rond 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR instraling van natuurlijk daglicht. Hierbij bleek dat het verrood te vroeg was uitgezet. Binnen enkele dagen werd er weer bladkrulling waargenomen. Door tijdig ingrijpen—concreet van 15:00-17:00 het verrood weer aan—trad er weer herstel op. Dit suggereert overigens dat de visuele schade (krulling) in ieder geval tijdelijk reversibel is (epinastie?) waardoor er meer aan de hand lijkt te zijn dan alleen ongelijkmatige cel-strekking wat niet reversibel is. Hieruit volgt het (voorlopige) praktische advies:

- Daglichtloos altijd verrood aan tenzij dat de natuurlijke lichtsom meer is dan 50% van de totale PARsom.
- Tijdens de natuurlijke dag moet er minimaal 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR vanuit het zonlicht in de kas aanwezig zijn. Dit is bij geopende schermen in de winter rond de 50W op de solarimeter (kastransmissie ~ 0.5 in de winter).

Zoals aangegeven in hoofdstuk 3.2.2 is in 36% van de uren verrood uitgezet (Tabel 11). Dit heeft een besparing van 3kWh totaal opgeleverd.

Tabel 11: Effect van verrood (FR) inschakeling op de berekende fytochroomstatus (PSS) en op de intensiteit van verrood in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD onder verschillende intensiteiten zonlicht (0, 50, 100, 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR). Er is gerekend met 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR en 18 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PFD verrood van het lamplight. Bij 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR van zonlicht is er eenzelfde hoeveelheid verrood in de kas als van het lamplight en wordt er min of meer eenzelfde fytochroomstatus bereikt. Daarom zal er bij meer dan 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PAR van zonlicht het verrood afgeschakeld kunnen worden

	PSS		FR μmol PFD	
	FR aan	FR uit	FR aan	FR uit
Daglichtloos	0.858	0.883	18	1
Daglicht 100 μmol*	0.713	0.713	35.2	35.2
Gemengd spectrum met 50 μmol zonlicht	0.842	0.863	35.5	18.6
Gemengd spectrum met 100 μmol zonlicht	0.829	0.847	53.1	36.2
Gemengd spectrum met 200 μmol zonlicht	0.809	0.824	88.4	71.5

*NB in het daglicht is het verrood als 700-800 nm gerekend terwijl 750-800 nm minder effectief door een blad worden geabsorbeerd. Deze tabel geeft dus een denkrichting aan maar zal gewas specifiek moeten worden getest.

4. Leerpunten en conclusies

4.1 Verlaging van de ecologische footprint van komkommer?

In het convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030 is een sectorale doelstelling op besparing van fossiele warmte en fossiele elektriciteit beoogt: een besparing van ca. 20% in 2030 en ca. 30% bij een klimaat neutrale glastuinbouw (beoogd in 2040) ten opzichte van het gemiddelde over 2015 t/m 2017 (Tweede kamer, 2021-2022). Deze doelstelling wordt omgezet naar besparingsdoelen per m². Daarom is in deze proef met zeer weinig energie geteeld in een hightech kas (actieve ontvochtiging met warmte-terugwinning en dynamisch dimbare LED-belichting).

Deze proef maakt duidelijk dat het mogelijk is om met low input komkommers te kweken. Echter, hoewel de energiebesparing per eenheid product lager is ten opzichte van hybride systemen van enige jaren terug, is de energiebehoefte/kg komkommer niet lager ten opzichte van moderne bedrijven in Noordwest-Europa (Tabel 13). Aangezien de investering per m² kas fors omhooggaat bij hightech teelt zal een teler dit willen terugverdienen met een besparing per eenheid product. Dat is in deze proef niet gelukt. De berekende besparing ligt voornamelijk op conto van het gebruik van LED-belichting, maximale isolatie door schermen en door actieve ontvochtiging met warmterugwinning (hightech oplossing).

De tuinbouw staat dus voor een dubbele opgave als er hightech nodig is om tot besparing te komen: totale besparing per m² en besparing per eenheid product om de hogere investering in hightech maatregelen terug te verdienen. De grootste kansen hiervoor liggen in het gebruik van meer licht (basis van extra productie) en minder gasverbruik en zo in totaal een lagere input dan de huidige praktijk. Dit moet echter wel gepaard gaan met een relatief lagere verdamping per mol PAR assimilatielicht zodat de energie van de belichting bijdraagt aan kasverwarming. Volgens onze simulatie zou zelfs met een totaal gelijk energieverbruik maar andere verdeling tussen belichting en verwarming al >70% meer productie haalbaar zijn.

4.2 Puntsgewijze conclusies

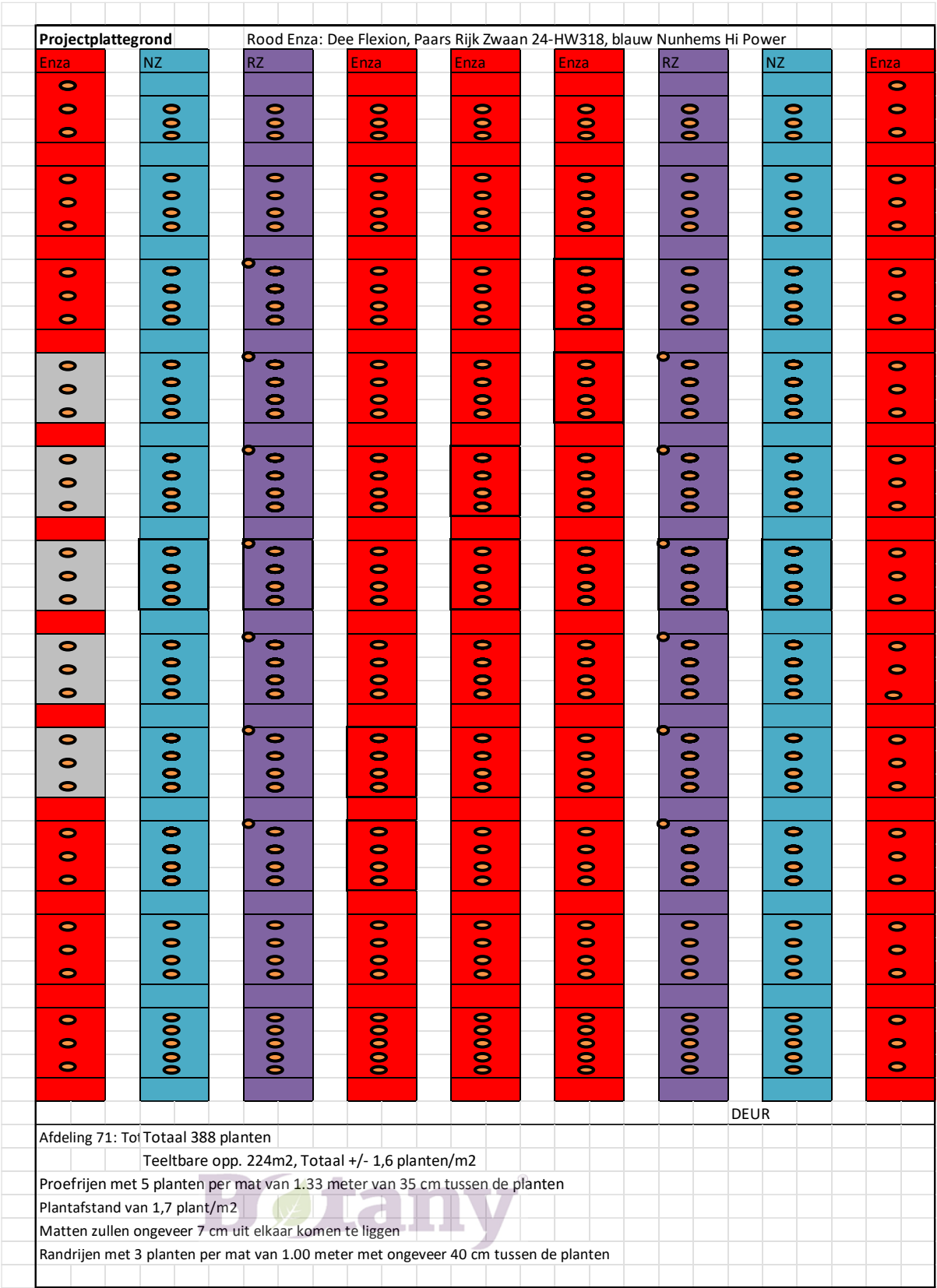
- Tijdens deze teelt is het duidelijk geworden dat het mogelijk is om met de een lage energie input komkommers van goede kwaliteit te telen.
 - De energie-efficiency per kg product is echter niet hoger dan een praktijkreferentie in Noordwest-Europa. De kosten aan elektra in kWh/kg komkommer waren in de praktijkreferentie lager, maar de kosten voor warmte in m³/kg komkommer waren hoger dan in de proef.
- Berekeningen aan de energiebalans van de kas voor een winterweek laten zien dat, gegeven de hoge isolatie van de schermen, de verdamping en de bijbehorende noodzakelijke ventilatie om vocht te beheersen de grootste kostenpost aan energie is:
 - Energieverlies aan kasdek: 0.5 m³/m²/week gasequivalenten
 - Energieverlies door verdamping: 0.7 m³/m²/week gasequivalenten
 - Energieverlies voor noodzakelijke ventilatie: 0.4 m³/m²/week gasequivalenten
- Het Air&Energy-systeem heeft de kostenpost van rond de 0.4 m³/m² gasequivalenten/week voor noodzakelijke ventilatie gereduceerd tot <0.1 m³/m² gasequivalenten/week. Er is dus rond de 0.3m³/m² gasequivalenten/week bespaard en rond de 6m³/m² gas in totaal.
- Door middel van gerichte metingen aan source (gewasfotosynthese) en sink (drogestof in blad/stengel en vrucht) is de assimilatenbalans van het gewas opgesteld. Het blijkt dat de proef goed is na te rekenen op assimilatenniveau. De vegetatieve gewasbehoefte lag op ongeveer 5 mol PAR/m²/dag.
- Berekeningen aan de assimilatenbalans laten zien dat dit wordt veroorzaakt door de vegetatieve assimilatenbehoefte van het gewas die ongeveer 5 mol PAR vraagt. Bij een winterteelt met 17 mol PAR is er relatief meer licht beschikbaar voor vruchtproductie dan bij een winterteelt met 12 mol PAR: $(17-5)/17=71\%$ is hoger dan $(12-5)/12=58\%$.

- De energie-efficiency van komkommer kan waarschijnlijk verder omhoog door de totale input aan energie anders te verdelen: relatief meer licht en minder warmte. Bij meer licht en minder warmte is er relatief meer licht beschikbaar voor vruchten. Dit kan alleen als:
 - Er relatief minder verdamping is ten opzichte van de PARsom zodat—na aftrek van de energiekosten voor verdamping—de lampen een positieve bijdrage leveren aan de energiebalans van de kas.
 - Er actief wordt ontvochtigd met warmte-terugwinning

5. Literatuur

- Heuvelink, E. 2005. Tomatoes. (Crop production science and horticulture; No. 13). CAB International.
- Farquhar GD, Caemmerer SV, Berry JA, 1980. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C-3 species. *Planta* 149, 78–90.
- Lier v. A, 2019. Worteltemperatuur van grote invloed op opname van water en nutriënten. *Vakblad onder glas*.
- Marcelis LFM, 1994. Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber, Wageningen, 173p.
- Monsi M, Saeki T, 2005. On the factor light in plant communities and its importance for matter production. *Ann. Bot.* 95, 549–567.
- Nawrocki KR, 1985. Meting warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie van verwarmingspijpen in kassen. Wageningen, 31p.
- Rappoldt C, Schapendonk AHCM, 2012 LED belichting en het Nieuwe Telen; Scenario analyses tomaat. *EcoCurves rapport 15*, EcoCurves, Haren en Plant-Dynamics, Wageningen. 58p.
- Smit P, Velden v.d. N, 2021. Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2020. Wageningen. 2021-127.
- Trouwborst G, Oosterkamp J, Hogewoning SW., Harbinson J., van Ieperen, W. (2010). The responses of light interception, photosynthesis and fruit yield of cucumber to LED-lighting within the canopy. *Physiol. Plant.* 138, 289–300.
- Tweede kamer, 2021-2022. Convenant Energietransitie Glastuinbouw 2022-2030. 32627 nr. 39

Bijlage I: Plattegrond

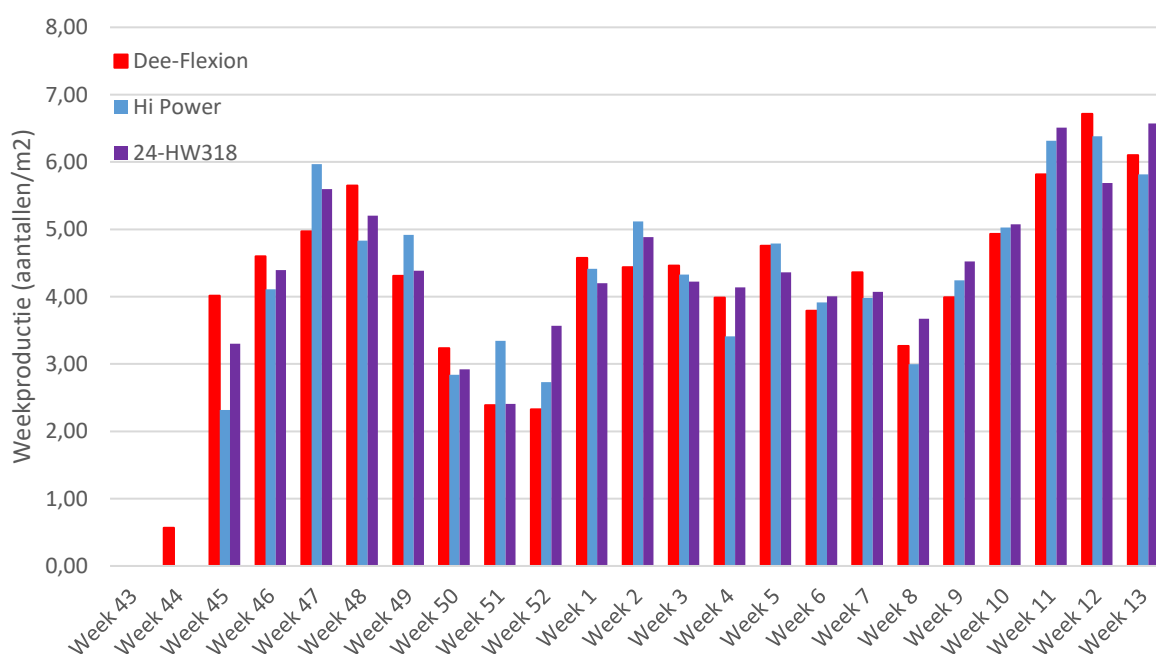


Figuur 28: Kasplattegrond

Bijlage II: Wekelijkse metingen

Tabel 12: Wekelijkse productie aantallen/m²

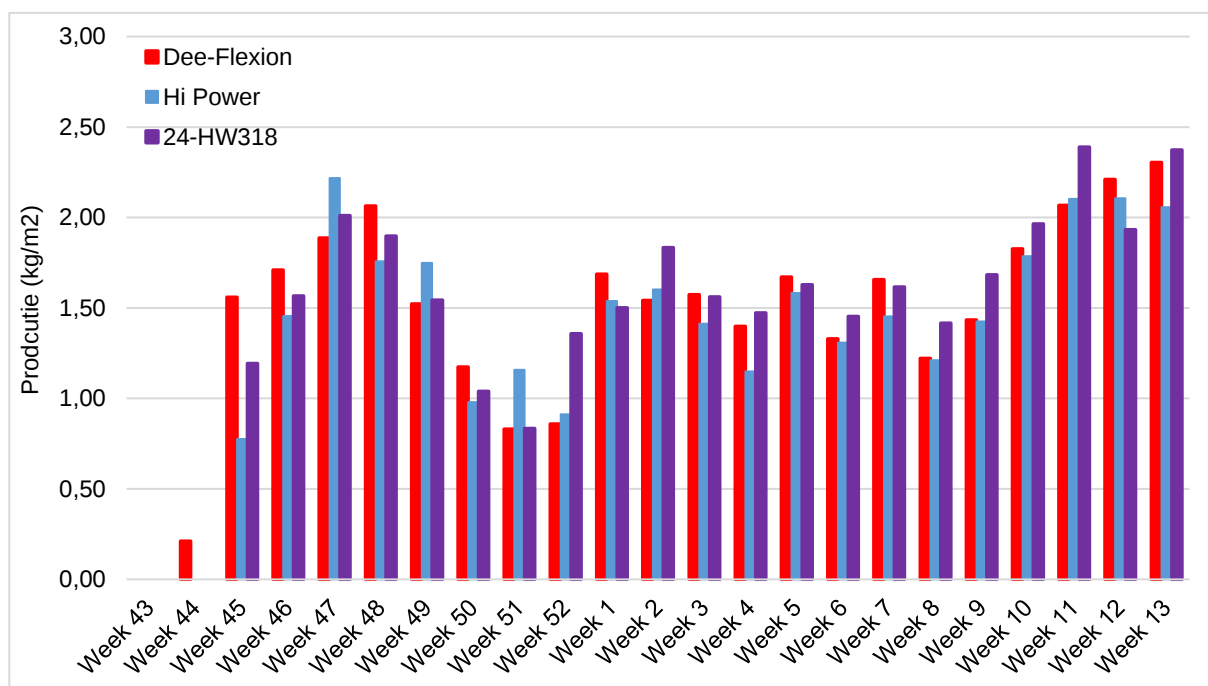
Ras	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52	Wk 1	Wk 2	Wk 3
Dee-Flexion	0,6	4,0	4,6	5,0	5,7	4,3	3,2	2,4	2,3	4,6	4,4	4,5
Hi Power	0,0	2,3	4,1	6,0	4,8	4,9	2,8	3,3	2,7	4,4	5,1	4,3
24-HW318	0,0	3,3	4,4	5,6	5,2	4,4	2,9	2,4	3,6	4,2	4,9	4,2
Ras	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Wk 11	Wk 12	Wk 13	Gemiddelde	
Dee-Flexion	4,0	4,8	3,8	4,4	3,3	4,0	4,9	5,8	6,7	6,1	4,1	
Hi Power	3,4	4,8	3,9	4,0	3,0	4,2	5,0	6,3	6,4	5,8	4,1	
24-HW318	4,1	4,4	4,0	4,1	3,7	4,5	5,1	6,5	5,7	6,6	4,1	



Figuur 29: Wekelijkse productie aantallen/m²

Tabel 13: Wekelijkse productie in kilogrammen/m²

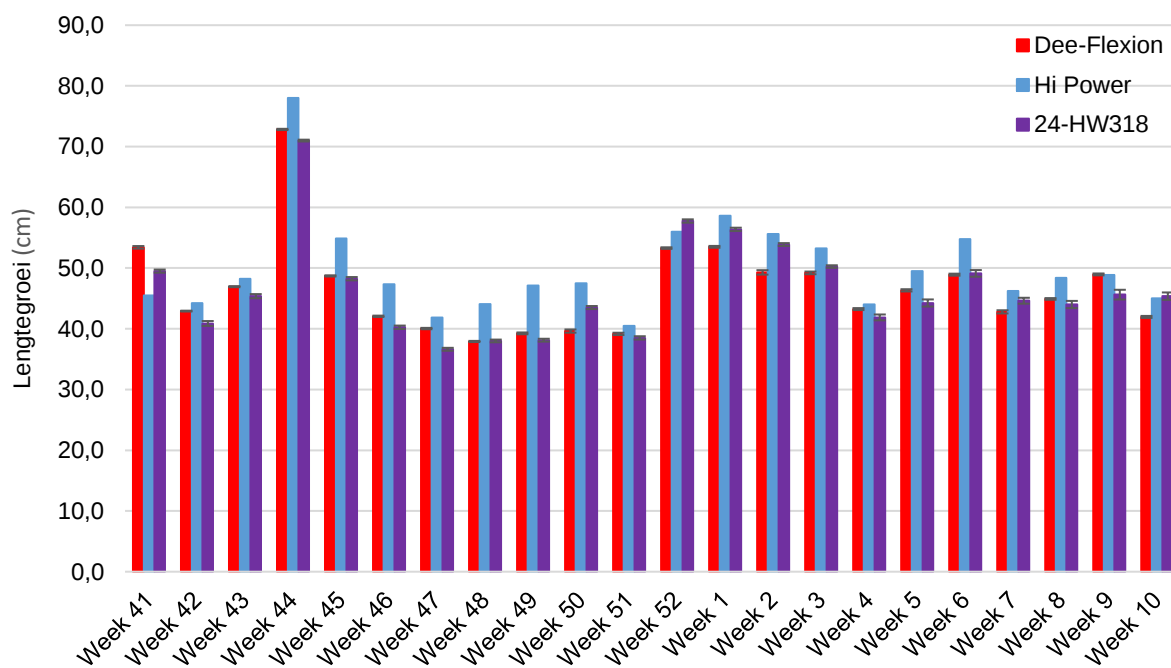
Ras	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52	Wk 1	Wk 2	Wk 3
Dee-Flexion	0,2	1,6	1,7	1,9	2,1	1,5	1,2	0,8	0,9	1,7	1,5	1,6
Hi Power	0,0	0,8	1,5	2,2	1,8	1,7	1,0	1,2	0,9	1,5	1,6	1,4
24-HW318	0,0	1,2	1,6	2,0	1,9	1,5	1,0	0,8	1,4	1,5	1,8	1,6
Ras	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Wk 11	Wk 12	Wk 13	Gem.	
Dee-Flexion	1,4	1,7	1,3	1,7	1,2	1,4	1,8	2,1	2,2	2,3		1,5
Hi Power	1,2	1,6	1,3	1,5	1,2	1,4	1,8	2,1	2,1	2,1		1,4
24-HW318	1,5	1,6	1,5	1,6	1,4	1,7	2,0	2,4	1,9	2,4		1,6



Figuur 30: Wekelijkse productie in kilogrammen/m²

Tabel 14: Wekelijkse lengtegroei in cm

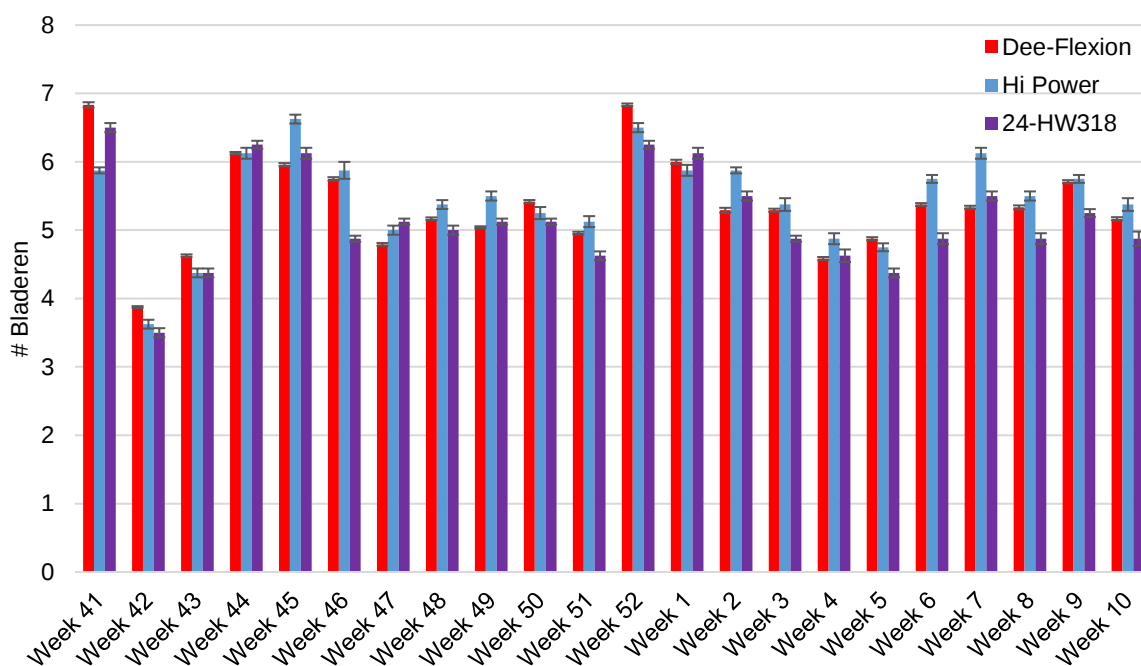
Ras	Wk 41	Wk 42	Wk 43	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52
Dee-Flexion	53,4	42,9	46,9	72,8	48,7	42,1	40,0	37,9	39,3	39,6	39,2	53,3
Hi Power	45,5	44,3	48,3	78,0	54,9	47,3	41,9	44,1	47,1	47,5	40,5	56,0
24-HW318	49,5	40,9	45,4	71,0	48,3	40,3	36,6	38,0	38,1	43,5	38,5	57,8
Ras	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Gemiddelde	
Dee-Flexion	53,5	49,3	49,2	43,3	46,3	48,9	42,8	44,9	49,0	42,0	46,5	
Hi Power	58,6	55,6	53,3	44,0	49,5	54,8	46,3	48,4	48,9	45,0	49,9	
24-HW318	56,4	53,9	50,3	41,9	44,3	49,1	44,6	44,0	45,6	45,4	46,0	



Figuur 31: Wekelijkse lengtegroei in cm

Tabel 15: *Wekelijkse bladafsplitsing/stengel*

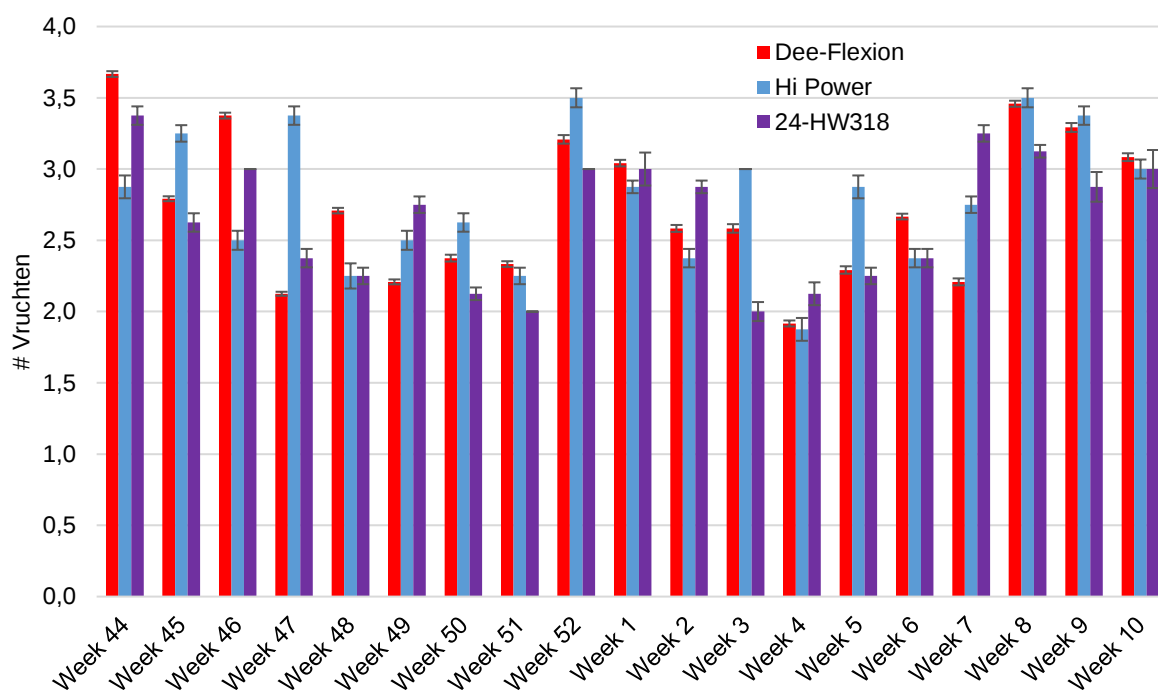
Ras	Wk 41	Wk 42	Wk 43	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52
Dee-Flexion	6,8	3,9	4,6	6,1	6,0	5,8	4,8	5,2	5,0	5,4	5,0	6,8
Hi Power	5,9	3,6	4,4	6,1	6,6	5,9	5,0	5,4	5,5	5,3	5,1	6,5
24-HW318	6,5	3,5	4,4	6,3	6,1	4,9	5,1	5,0	5,1	5,1	4,6	6,3
Ras	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Gemiddelde	
Dee-Flexion	6,0	5,3	5,3	4,6	4,9	5,4	5,3	5,3	5,7	5,2		5,3
Hi Power	5,9	5,9	5,4	4,9	4,8	5,8	6,1	5,5	5,8	5,4		5,4
24-HW318	6,1	5,5	4,9	4,6	4,4	4,9	5,5	4,9	5,3	4,9		5,1



Figuur 32: *Wekelijkse bladafsplitsing/stengel*

Tabel 16: Wekelijkse vruchtzetting per stengel

Ras	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52	Wk 1
Dee-Flexion	3,7	2,8	3,4	2,1	2,7	2,2	2,4	2,3	3,2	3,0
Hi Power	2,9	3,3	2,5	3,4	2,3	2,5	2,6	2,3	3,5	2,9
24-HW318	3,4	2,6	3,0	2,4	2,3	2,8	2,1	2,0	3,0	3,0
Ras	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Gem.
Dee-Flexion	2,6	2,6	1,9	2,3	2,7	2,2	3,5	3,3	3,1	2,7
Hi Power	2,4	3,0	1,9	2,9	2,4	2,8	3,5	3,4	3,0	2,8
24-HW318	2,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,3	3,1	2,9	3,0	2,7

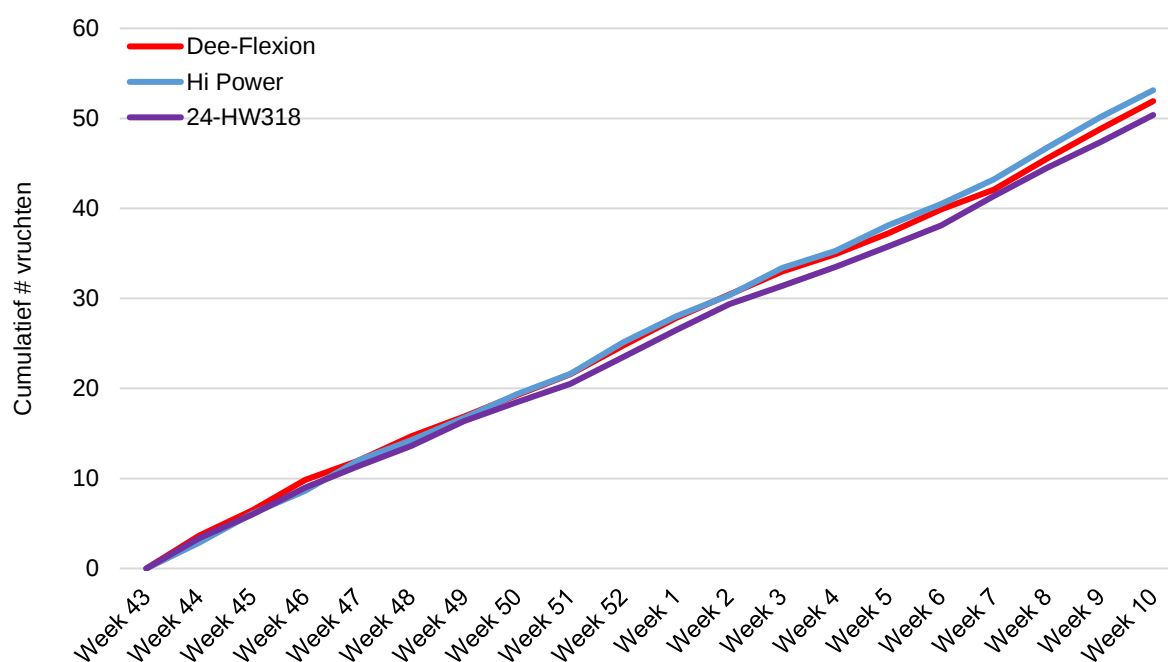


Figuur 33: Wekelijkse vruchtzetting per stengel

Tabel 17: Cumulatieve vruchtzetting per stengel?

Ras	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52	Wk 1
Dee-Flexion	3,7	6,5	9,8	12,0	14,7	16,9	19,3	21,6	24,8	27,8
Hi Power	2,9	6,1	8,6	12,0	14,3	16,8	19,4	21,6	25,1	28,0
24-HW318	3,4	6,0	9,0	11,4	13,6	16,4	18,5	20,5	23,5	26,5

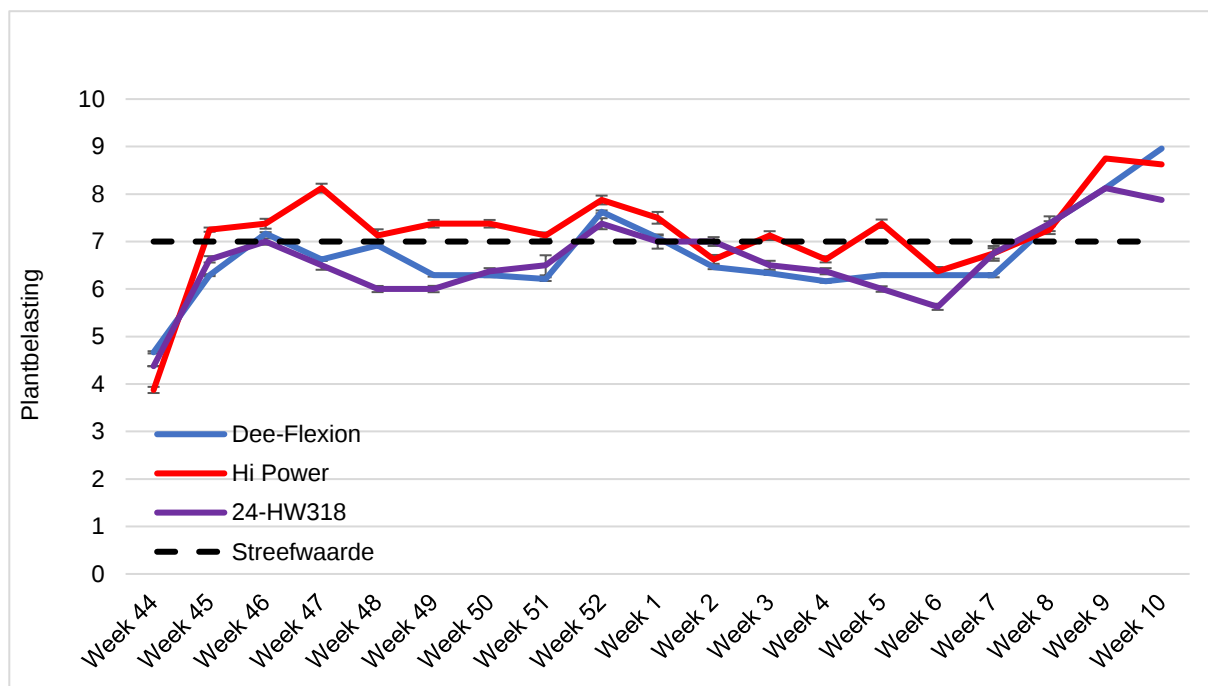
Ras	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10
Dee-Flexion	30,4	33,0	34,9	37,2	39,9	42,1	45,5	48,8	51,9
Hi Power	30,4	33,4	35,3	38,1	40,5	43,3	46,8	50,1	53,1
24-HW318	29,4	31,4	33,5	35,8	38,1	41,4	44,5	47,4	50,4



Figuur 34: Cumulatieve vruchtzetting per stengel?

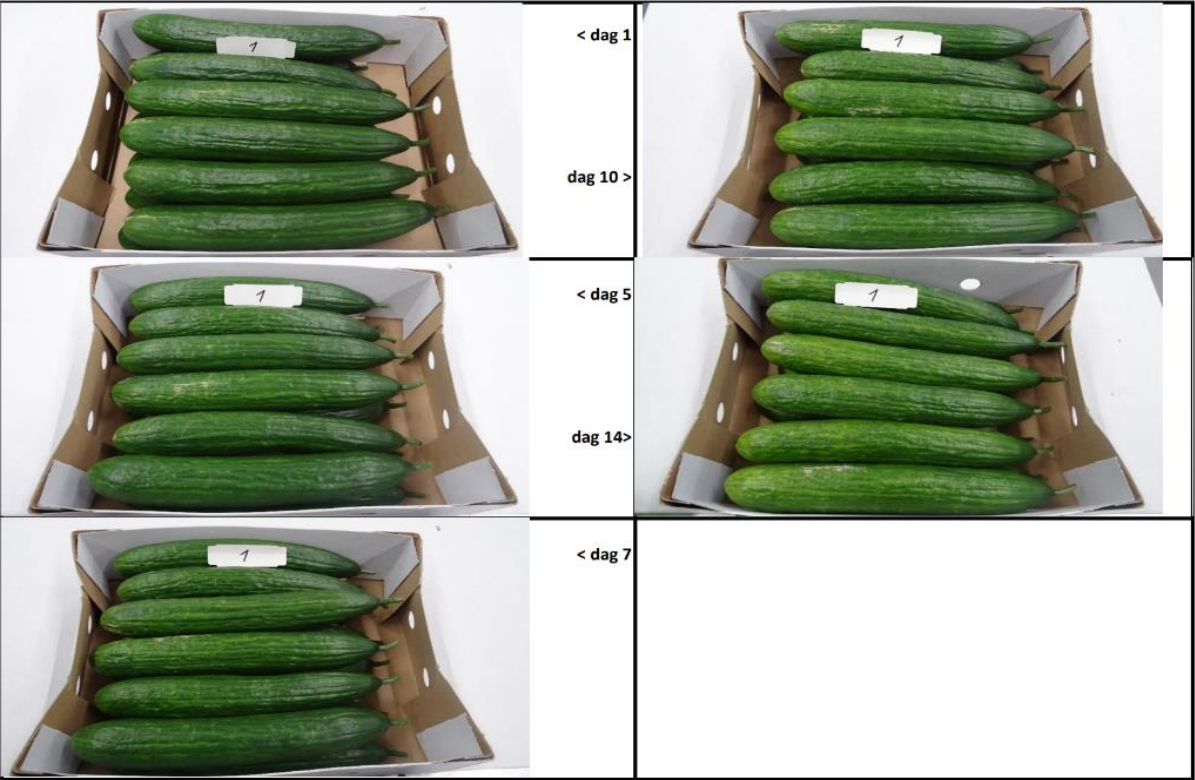
Tabel 18: Plantbelasting in stuks/stengel

Ras	Wk 44	Wk 45	Wk 46	Wk 47	Wk 48	Wk 49	Wk 50	Wk 51	Wk 52	Wk 1
Dee-Flexion	4,7	6,3	7,2	6,6	6,9	6,3	6,3	6,2	7,6	7,1
Hi Power	3,9	7,3	7,4	8,1	7,1	7,4	7,4	7,1	7,9	7,5
24-HW318	4,4	6,6	7,0	6,5	6,0	6,0	6,4	6,5	7,4	7,0
Ras	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Gem.
Dee-Flexion	6,5	6,3	6,2	6,3	6,3	6,3	7,4	8,1	9,0	6,7
Hi Power	6,6	7,1	6,6	7,4	6,4	6,8	7,3	8,8	8,6	7,2
24-HW318	7,0	6,5	6,4	6,0	5,6	6,8	7,4	8,1	7,9	6,6

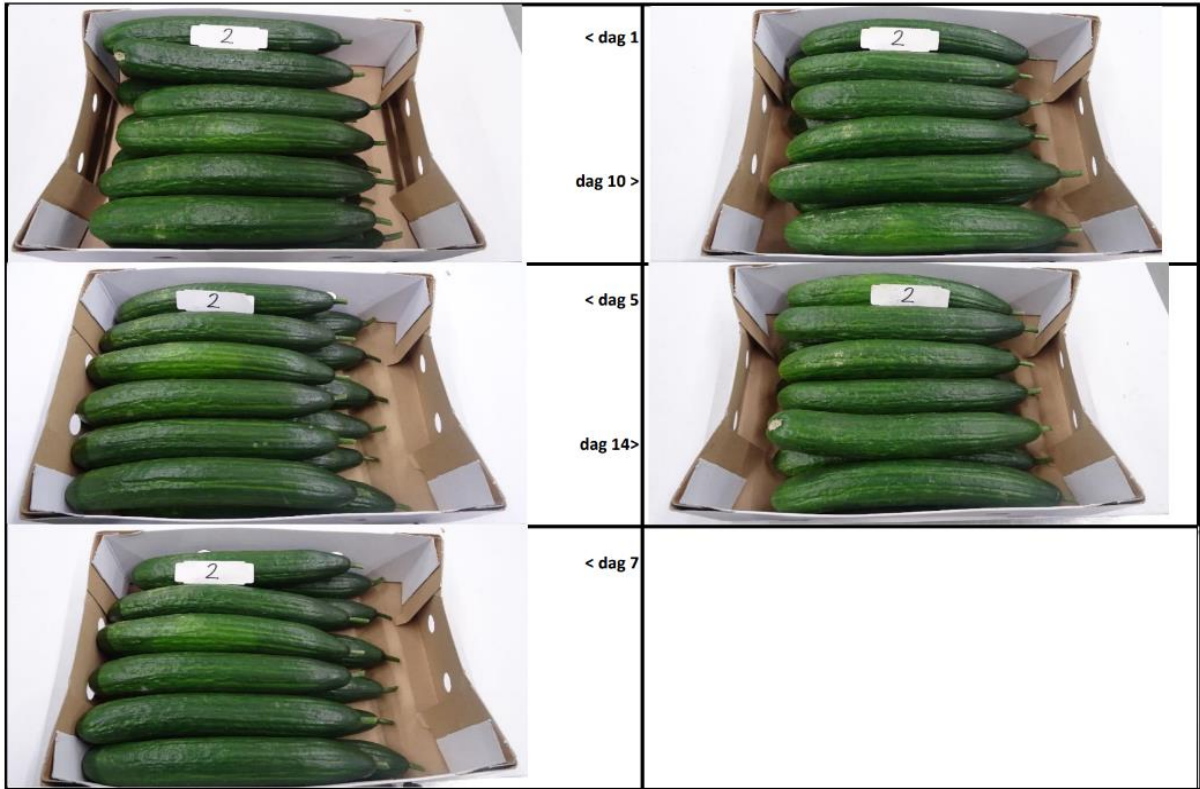


Figuur 35: Plantbelasting in stuks/stengel

Bijlage III: Foto's houdbaarheid



Figuur 36: Houdbaarheid van Hi Power aan het begin van de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 47)



Figuur 37: Houdbaarheid van 24-HW-318 aan het begin van de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 47)



Figuur 38: Houdbaarheid van Dee Flexion aan het begin van de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 47)



Figuur 39: Houdbaarheid van Hi Power halverwege de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 4)



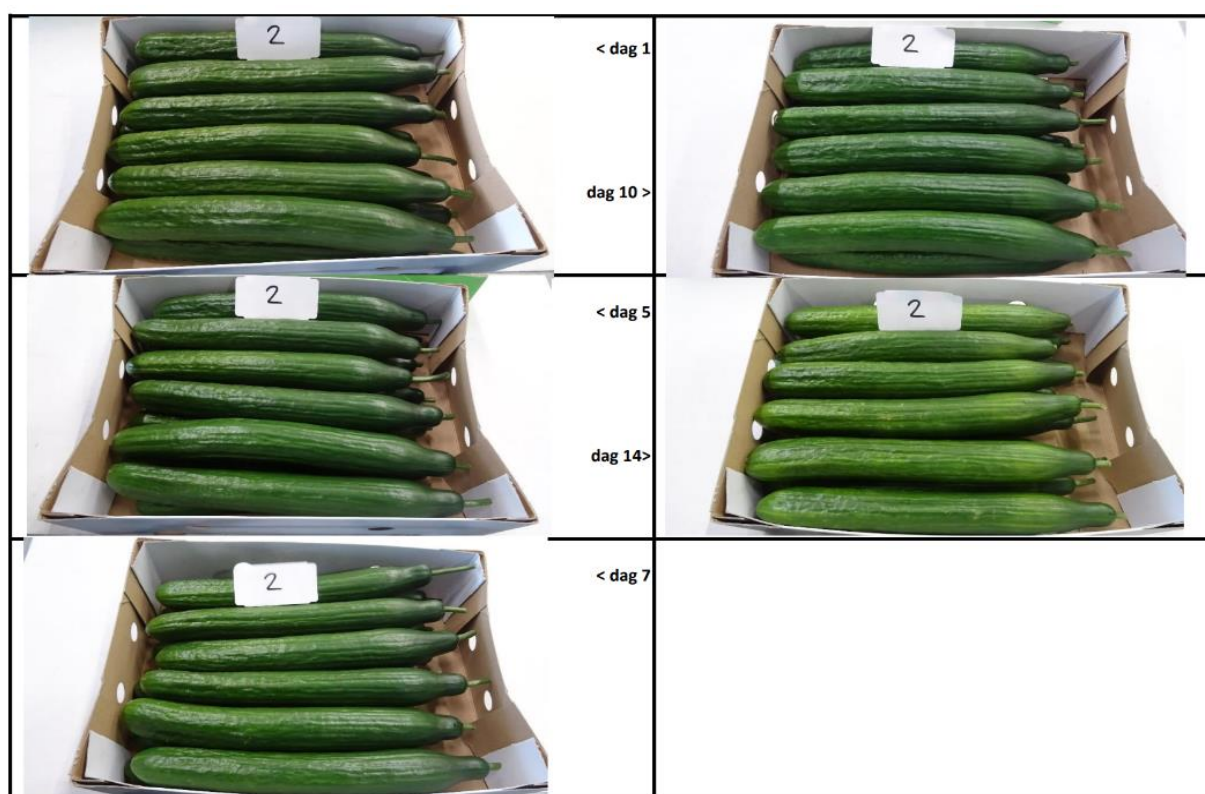
Figuur 40: Houdbaarheid van 24-HW-318 halverwege de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 4)



Figuur 41: Houdbaarheid van Dee Flexion halverwege de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 4)



Figuur 42: Houdbaarheid van Hi Power aan het eind van de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 13)



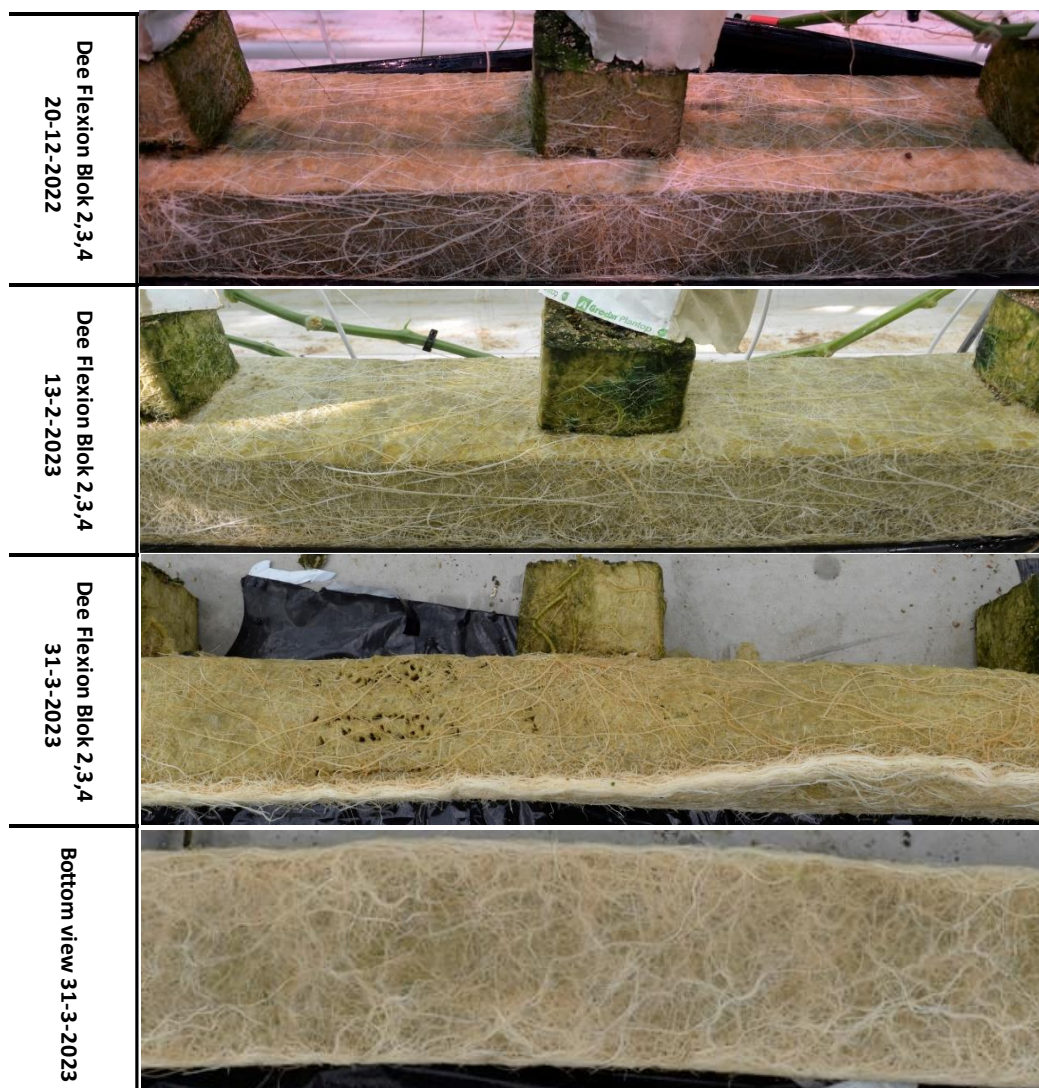
Figuur 43: Houdbaarheid van 24-HW-318 aan het eind van de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 13)



Figuur 44: Houdbaarheid van Dee Flexion aan het eind van de teelt op 5 waarnemingsmomenten (week 13)

Water Content		17-1-2023								
Pad	→									
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Matnr.	Rasnaam	Deeflexion	HiPower	24HW318	DeeFlexio	DeeFlexio	DeeFlexio	24HW318	HiPower	DeeFlexio
1		71,8%	67,1%	62,5%	64,3%	73,2%	62,9%	67,1%	75,9%	71,5%
2		68,6%	61,3%	62,7%	72,0%	73,2%	67,2%	79,4%	58,4%	64,7%
3		69,1%	68,4%	63,2%	74,0%	67,1%	64,9%	83,8%	73,0%	62,2%
4		65,3%	65,3%	64,6%	62,7%	73,6%	67,9%	60,2%	71,8%	56,1%
5		64,9%	72,9%	60,1%	75,6%	63,2%	63,2%	55,5%	59,7%	51,1%
6		70,4%	70,5%	77,0%	63,8%	68,6%	68,6%	59,0%	69,6%	47,7%
7		69,3%	72,8%	75,9%	68,0%	64,0%	71,1%	51,9%	67,2%	60,9%
8		66,7%	62,6%	65,3%	66,6%	70,6%	72,0%	58,5%	69,8%	65,0%
9		58,3%	67,3%	58,2%	66,7%	67,7%	58,2%	55,9%	68,5%	52,7%
10		74,6%	72,8%	59,1%	71,9%	71,9%	72,9%	60,9%	62,3%	47,1%
11		58,5%	63,3%	55,5%	65,8%	67,8%	60,3%	52,6%	52,4%	51,4%
Achtergevel										
66,3%	←GRH2/8	67,1%	67,7%	64,0%	68,3%	69,2%	66,3%	62,3%	66,2%	57,3%
EC		17-1-2023								
Pad	→									
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Matnr.	Rasnaam	Deeflexion	HiPower	24HW318	DeeFlexio	DeeFlexio	DeeFlexio	24HW318	HiPower	DeeFlexio
1		3,24	1,80	2,03	3,34	3,27	3,51	2,59	2,42	3,81
2		3,84	1,42	1,67	2,84	2,89	3,66	2,71	2,23	4,90
3		3,75	1,82	1,70	3,44	3,36	2,90	2,71	1,81	4,00
4		3,63	1,79	2,20	3,64	3,13	3,31	2,54	2,30	4,47
5		3,36	1,58	1,61	2,85	3,33	2,75	1,59	2,42	4,16
6		4,35	1,74	2,48	2,90	2,55	2,87	1,72	2,12	4,99
7		3,57	1,55	2,27	3,06	2,73	2,76	1,69	2,14	3,23
8		3,68	1,45	1,26	3,37	2,64	3,03	1,76	1,81	3,42
9		3,80	2,43	1,56	3,16	3,04	2,93	1,49	1,94	2,85
10		3,55	2,12	1,53	3,12	2,64	2,68	1,40	1,92	3,59
11		3,51	3,77	2,99	3,30	2,80	3,74	2,10	2,82	3,85
Achtergevel										
Temperatuur		17-1-2023								
Pad	→									
		9	8	7	6	5	4	3	2	1
Matnr.	Rasnaam	Deeflexion	HiPower	24HW318	DeeFlexio	DeeFlexio	DeeFlexio	24HW318	HiPower	DeeFlexio
1		19,9	20,9	21,3	21,5	21,7	21,8	21,9	21,7	21,6
2		20,5	21,1	21,2	21,4	21,6	21,8	21,8	21,5	21,7
3		20,5	21,0	21,3	21,3	21,8	21,8	21,8	21,4	21,6
4		20,7	20,9	21,3	21,4	21,8	21,6	21,7	21,3	21,7
5		20,8	20,8	21,5	21,4	21,8	21,7	21,8	21,6	21,8
6		20,6	21,0	21,3	21,5	21,7	21,7	21,9	21,5	21,7
7		20,7	21,1	21,3	21,5	21,6	21,5	21,7	21,5	21,7
8		20,8	21,1	21,5	21,4	21,5	21,4	21,8	21,4	21,7
9		20,8	21,2	21,7	21,6	21,4	21,5	21,7	21,4	21,7
10		20,8	21,3	21,5	21,4	21,6	21,4	21,6	21,3	21,7
11		20,9	21,3	21,4	21,4	21,4	21,3	21,8	21,2	21,7
Achtergevel										
		Av. 2-8								21,5

Figuur 45: Metingen op 2 momenten van het watergehalte, de EC en de temperatuur in de matten.



Figuur 46: Foto's van de wortels in de matten en blokken op verschillende momenten. Op bovenstaande foto's is te zien dat de wortelgezondheid gedurende de hele proef goed is gebleven (goed doorwortelde matten, witte wortels).