



Totaalconcept komkommerteelt 2008-2010

Teeltproef 2008 aan Innokom+ teeltsysteem met belichting en geconditioneerd telen

Arie de Gelder, Elly Nederhoff, Jan Janse, Lion de Kok, Sjoerd Nieboer, Martijn Keijzer, Marcel Raaphorst & Pieter de Visser



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Productschap



Tuinbouw

Voor een bloeiende zaak



Rapport 264



Totaalconcept komkommerteelt 2008-2010

Teeltproef 2008 aan Innokom+ teeltsysteem met belichting en geconditioneerd telen

Arie de Gelder¹, Elly Nederhoff¹, Jan Janse¹, Lion de Kok², Sjoerd Nieboer³,
Martijn Keijzer⁴, Marcel Raaphorst¹ & Pieter de Visser¹

¹ Wageningen UR Glastuinbouw

² Lion de Kok Cucumber Consultancy BV

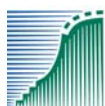
³ Improvement Centre

⁴ LTO groeiservice

© 2009 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen UR Glastuinbouw.

Gefinancierd door:



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit



Uitgevoerd door:



PT-nummer: 13077

Projectnummer: 3242037700

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1 Inleiding en doelstelling	3
2 Proefopzet	5
2.1 Kasinrichting	5
2.2 Teeltcondities	5
2.3 Gewas	7
3 Kasklimaat	9
3.1 Algemeen	9
3.2 Temperatuur gradiënten	10
4 Productie	13
4.1 Gerealiseerde productie	13
4.2 Productie volgens groeimodel	19
4.3 Prognose van effect van de teeltfactoren	22
4.4 Bijdrage van teeltfactoren aan de productie	23
5 Gewasontwikkeling en overige aspecten	25
5.1 Gewasontwikkeling	25
5.2 Overige aspecten	27
6 Energie	29
6.1 Energieverbruik	29
6.2 Energieanalyse	30
7 Discussie	33
8 Referenties	35
Bijlage I. Klimaatdata per teelt	6 pp.
Bijlage II. Belichtingsuren	2 pp.
Bijlage III. Warmte en kou gebruik	2 pp.
Bijlage IV. Saldoberekeningen	4 pp.

Samenvatting

Onder de naam 'Totaalconcept komkommerteelt' is in 2008 een onderzoek uitgevoerd in een kasafdeling van 1000 m² bij het Improvement Centre. Doel was om een zo hoog mogelijke komkommerproductie te realiseren, waarbij de energie input van secundair belang was. Komkommers werden geteeld volgens het Innokom+ teeltsysteem aan de hogedraad in een jaarronde teelt met drie plantingen, in een geconditioneerde kas met 450 W/m² koelcapaciteit, 600 g/m² hogedrukverneveling en 210 µmol/m²/s (15.900 lux) assimilatiebelichting (additioneel groeilicht).

Het onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Glastuinbouw, Improvement Centre (IC), Lion de Kok Cucumber Consultancy BV en LTO Groeiservice in samenwerking met Innokom+ teeltconcept. Het is gefinancierd uit het gewasbudget van Productschap Tuinbouw en uit het programma 'Kas als energiebron' van LNV-PT, met bijdragen van Metazet, Formflex, Grodan, en Hortilux.

In de teeltperiode van 11 december 2007 tot 11 november 2008 was de productie 148 kg/m², ofwel 349 stuks/m², met gemiddeld vruchtgewicht van 425 gram. Bovendien werd er 3,3 kg/m² klasse II geoogst, waardoor het totaal geoogste gewicht kwam op 151 kg/m². Door gebruikmaking van belichting en geconditioneerd telen, is in deze proef de productie van komkommer met 81% verhoogd ten opzichte van de zgn 'basisproductie' van 83,5 kg/m². De kwaliteit van het gewas en de vruchten was bijzonder hoog tijdens de hele periode. Afgezien van een probleem met plantuitval in de eerste planting waren er nauwelijks ziekteproblemen en werd heel weinig bestrijding toegepast.

De productie is geanalyseerd mbv het simulatiemodel 'Intkam'. Dit model kreeg de gemeten klimaatomstandigheden ingevoerd, en kon daarmee de behaalde productie goed nasimuleren. Vervolgens zijn verschillende 'cases' gesimuleerd, nl '*conventioneel*', '*alleen belichting*' en '*alleen extra-verhoogd CO₂*'. Deze berekeningen wezen uit dat de hoge productie behaald in de proef voor het overgrote deel werd verklaard door het additionele groeilicht en ten tweede door extra-verhoogde CO₂-concentratie. Berekeningen met rekenregels leidden tot dezelfde conclusies, hoewel de berekende percentages voor de bijdrage van additioneel groeilicht en extra CO₂ verschillend waren. Naast belichting en CO₂ droegen ook andere factoren bij aan de productieverhoging, onder andere: verbeterde plantbalans en -belasting, verbeterde luchtvochtigheid door verneveling en ontvochtiging, gunstige temperatuur van kaslucht, wortelzone en vruchten, regelmaat in gewasverzorging, uitstekende beheersing van plantbalans, voorkómen van abortie, vermijden van ziekten, plagen en fysiogene afwijkingen.

De klimaatomstandigheden zijn in kaart gebracht en kunnen dienen als richtlijn. De belangrijkste factoren waren: temperatuur was gemiddeld een halve graad hoger dan in de traditionele teeltwijze en werd steeds aangepast aan omstandigheden, CO₂-concentratie 1200 ppm, VPD tussen 0,2-0,5 kPa, belichting 3861 uren op 210 µmol/m²/s.

Energie-efficiëntie was geen doel, maar is wel achteraf berekend. Er werd 3861 uren belicht met een geïnstalleerd vermogen van bijna 140 W/m² (inclusief). Dit leverde 1739 MJ/m² warmte op, ofwel 56 m³/m² aardgas equivalenten (ae). Verwarming leverde 1002 MJ/m² (32 ae/m²). De totale warmte input door verwarming + belichting was 2741 MJ/m² ofwel 88 ae/m². Koudeverbruik was 1625 MJ/m². Het totaal elektriciteitsverbruik kwam uit op 657 kWh/m², omgerekend is dat 76 ae/m².

Deze energiecijfers worden gedeeld door aantal geoogste komkommers (349 per m²). Dit resulteert dan in de volgende cijfers (/kk = per komkommer): verwarming 0,09 ae/kk; warmte uit lampen 0,16 ae/kk; warmte-totaal 0,25 MJ/kk; input elektra-totaal 0,22 ae/m².

De werkelijke energie-input bestaat uit gas voor verwarming (0,09 ae/kk) en elektra-totaal (omgerekend 0,22 ae/kk). Dit is 0,31 ae/kk. Dit is beduidend hoger dan aardgas + elektra input in de gangbare teelt. De energie-input en de productie verschilden sterk tussen de drie teelten; de voorjaarse teelt had de laagste energie-efficiëntie en de zomer-teelt de hoogste. Er zijn mogelijkheden om het energieverbruik in deze teelt iets te rationaliseren.

Een saldoberekening is bijgevoegd in de bijlagen.

1 Inleiding en doelstelling

Komkommertelers in Nederland moeten concurreren met telers in andere exporterende landen, en kunnen vooral in de winter deze concurrentie niet aan. In de winter is de productie laag en de kwaliteit is moeilijk op peil te houden. De vraagstelling is of het mogelijk is in Nederland jaarrond komkommers te telen van goede kwaliteit en in voldoende hoeveelheid door gebruik te maken van belichting en geconditioneerd telen.

Om de vraag te beantwoorden is op aanvraag van de landelijke komkommercommissie een onderzoek opgezet onder de naam 'Teeltconcept Komkommer'. Het onderzoek is verricht bij het Improvement Centre in Bleiswijk, en werd gefinancierd uit het gewasbudget van PT en het programma 'Kas als energiebron' van LNV-PT. Toeleveranciers Metazet, Formflex, Grodan en Hortilux hebben materialen bijgedragen. Onderzoekers Arie de Gelder en Jan Janse van Wageningen UR Glastuinbouw en teeltadviseur Lion de Kok hebben het onderzoek uitgevoerd. Samen met een teler van de landelijke komkommercommissie vormden zij de begeleidingscommissie (BCO) die verantwoordelijk was voor wekelijkse teeltbeslissingen. Strategische besluiten werden genomen in de gehele groep. Het onderzoek vond plaats in samenwerking met Innokom+ teeltconcept, en werd gecoördineerd door LTO groeiservice. Elly Nederhoff van Wageningen UR Glastuinbouw schreef dit rapport.

Het doel van dit onderzoek was de productie van komkommer te maximaliseren, zo mogelijk te verdubbelen ten opzichte van de gangbare productie (dwz tov een moderne teelt zonder belichting en zonder geconditioneerd telen). Energie input was van secundair belang in deze proef.

Naast het primaire doel waren er de volgende nevendoelstellingen:

- Testen van effect van belichting.
- Ontwikkelen van een effectieve belichtingsstrategie.
- Bepalen hoe het gewas reageert op verwarmen en koelen dmv luchtslurven.
- Beoordelen van de rentabiliteit van deze intensieve teeltwijze.
- Streven naar efficiëntie in klimaatregeling.

Het Innokom+ teeltsysteem is een initiatief voor vernieuwing in de komkommerteelt, waarbij FormFlex, Metazet, Hortilux en Grodan betrokken zijn. In dit concept worden hogedraad komkommers geteeld in een jaarrond plan, onder geconditioneerde omstandigheden (hier in een semi-gesloten kas) en onder groeilicht. Het maakt gebruik van hijsbare gewasdraad, om jonge planten direct aan de Pellikaanhaak te kunnen vastzetten.

Dit onderzoek in 2009 omvatte drie teelten met verschillende onderzoekaccenten:

- In de eerste teelt lag het accent op belichting; verwarming gebeurde via luchtslurven.
- In de tweede teelt lag het accent op conditionering in de semi-gesloten kas: koeling via luchtslurven, en luchtbevochtiging met een hogedrukvernevelingsinstallatie. Aanvullend werd belichting gebruikt.
- De derde teelt had accenten op zowel conditionering in de semi-gesloten kas als belichting.
- Variabelen zoals ras en stengeldichtheid werden voor aanvang van iedere teelt door de begeleidingscommissie bepaald.

Het jaarrond teeltplan werd uitgevoerd zonder referentie (controle behandeling). In plaats daarvan werd een vergelijking gemaakt met een 'basisproductie'. Dit is een algemeen geaccepteerd niveau voor jaarrond komkommerproductie in een moderne niet-geconditioneerde kas zonder belichting. Het is afgeleid van KWIN (Vermeulen, 2008) en naar boven bijgesteld door teeltadviseur Lion de Kok. Voor basisproductie is 83,5 kg/m² per jaar verondersteld, wat erg hoog is als alleen klasse I wordt geteld. Verdubbeling van de productie betekent dus 167 kg/m². Er werd geteeld op steenwolmatten type Grotop Master van Grodan. Er werd een vergelijking gemaakt tussen twee wortelvolumes: 7,5 en 10 liter per m² (steenwolmatdikte 7,5 cm en 10 cm).

2 Proefopzet

2.1 Kasinrichting

De proef met Teeltconcept Komkommer werd uitgevoerd bij het Improvement Centre in Bleiswijk. Hieronder volgt een overzicht van de kasinrichting.

Kasafdeling	: Improvement Centre afdeling 4 Venlodek, tralie Lengte: 35 m (7 x 5 m) Breedte: 28,8 m (3 x 9,60 m) Oppervlak: 1008 m ² Poothoogte: 6,7 m
Belichting	: SON-T lampen (1000 Watt) in Alpha reflector van Hortilux 126 lampen op 1008 m ² , ofwel 1 armatuur per 8 m ² Maximaal 15.900 lux, ofwel 210 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ Armaturen lagen in 3 strengen van elk 70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
Teeltgoten	: Formflex hangende goten, 20 cm breed, op ca 80 cm hoogte Goten 32 m lang; afstand 1,92 m hart tot hart
Klimaatbeheersing	: Semi-gesloten kasafdeling
Koeling	: Maximaal 450 W/m ² via luchtslangen van 40 cm onder de goten Hogedrukverneveling van 600 gram/m ² /uur
Verwarming	: Luchtbehandelingskasten (buisrail is alleen gebruikt voor transport)
Schermb	: SLS 10 Ultra Plus. Energiebesparing 43%. Lichttransmissie: 81% voor diffuus licht, en 88% voor direct licht. Direct licht werd gediffundeerd Tevens was er een verduisteringsdoek dat 's nachts gesloten werd
Gewasdraad	: Hijsbare hogedraad met Pellikaanhaak en clippers
Substraat	: Grodan Grotop Master matten van twee diktes (hoogtes): 7,5 en 10 cm
CO ₂	: Dosering maximaal 200 kg/ha/uur tot niveau van 1000-1200 ppm
Teeltsysteem	: Hogedraadteelt met tussenplanten volgens het Innokom+ concept

2.2 Teeltcondities

Verwarmen en koelen

De kasafdeling werd verwarmd en gekoeld door slurven van 40 cm diameter, hangend onder de goten. Deze zorgden voor een luchtstroom van warme of koude lucht langs het gewas. De openingen in de slurven waren schuin naar beneden gericht zodat de luchtstroom niet direct de vruchten zou raken. Voor koeling werd gebruik gemaakt van gekoelde lucht of koude buitenlucht (dit laatste alleen wanneer het buiten voldoende koud was). De verwarmings-

buizen werden alleen voor transport gebruikt, niet voor verwarming. Indien nodig kon geventileerd worden via de luchtramen. Dit gebeurde soms overdag als de kasluchttemperatuur steeg tot 27-28°C.

Vochtregeling

Hoge luchtvochtigheid werd voorkomen door ontvochtigen dmv van de luchtbehandelingsapparaten. Deze werden ingeschakeld als VD lager werd dan 1,5 werd (VPD lager dan 0,2 kPa). Lage luchtvochtigheid werd voorkomen door een vernevelingsinstallatie met capaciteit 600 gram/m²/uur. Bij VD boven 7,0 (VPD boven 0,95 kPa) is een nadelig effect van lage luchtvochtigheid op fotosynthese te verwachten.

De streefwaarden voor vochtgehalte waren als volgt: in de eerste teelt vanaf 15 januari werd het VD rond 3 g/m³ gehouden (VPD rond 0,4 kPa). In de 2^e en 3^e teelt werd bij een VD groter dan 6 (VPD groter dan 0,8 kPa) de verneveling ingezet.

De vernevelingsinstallatie was pas vanaf half januari 2008 operationeel. Tot die tijd werd de verneveling node gemist. Het was relatief koud met regelmatig nachtvorst, waardoor de atmosferische lucht droog was. Omdat het gewas net geplant was, kon het nog weinig verdampen, dus kon weinig vocht bijdragen aan de lucht. Na half januari werkte de verneveling goed.

CO₂-dosereren

CO₂ werd gedoseerd uit het OCAP systeem. In een semi-gesloten kas kunnen veel hogere CO₂-concentraties worden gerealiseerd dan in een conventionele kas. Overdag stond de CO₂-concentratie ingesteld op 1000 ppm (als de belichting uit was) en op 1200 ppm (met belichting aan en/of bij hoog natuurlijk licht). Wanneer buitenlucht werd bijgemengd werd een lagere CO₂-concentratie geaccepteerd.

Belichten

Het streven was ook om dagelijkse fluctuatie in natuurlijk licht te compenseren door variabel aanbod van kunstlicht, om te proberen de plantbalans stabiel te houden. Op donkere dagen moest meer additioneel groeilicht worden gegeven dan op lichte dagen. Dit kon natuurlijk niet voorkomen dat de totale lichtsom in de zomer hoger was dan in de winter. Belichting startte 's morgens vroeg. Eventueel werd ook 's middags belicht om de gewenste dagsom te realiseren.

Het belichtingssysteem kan maximaal 210 µmol/m²/s ofwel 15.900 lux of ca 37 W/m² leveren. Het systeem is verdeeld in drie strengen van elk 70 µmol/m²/s, die onafhankelijk van elkaar aangeschakeld kunnen worden. Dit resulteert in lichtniveaus 70, 140 en 210 µmol/m²/s. Er werd getracht om elke lichtstreng evenveel branduren te laten maken. Dit is gelukt.

In de zomer ging de 1^e streng om 04:00 uur aan, en de 2^e en 3^e streng telkens 15 minuten later. Na zonop gingen de strengen beurtelings uit bij toenemende instraling, namelijk bij 175, 225 en 300 á 400 W/m² globale straling (buiten gemeten). Het doel van dit regime was om de overgangen in licht en energietoevoer naar de planten en de elektra-afname zo geleidelijk mogelijk te maken.

Als op een dag meer dan 1500 J/cm² waren gemeten gingen de lampen in de late namiddag niet meer aan. Op deze manier werden verschillen in hoeveelheid natuurlijk licht tussen dagen grotendeels genivelleerd. Als de lampen om 19:00 niet aan waren, werden ze niet meer ontstoken, omdat om 20:00 uur de donkerperiode inging. De gedachte achter dit regime was dat de dag eerder begon, en dat de lage niveaus van natuurlijk licht in de ochtend beter benut werden. Bovendien werd het bovenste gedeelte van de stengel al voor zonsopkomst geactiveerd en werd de kop van het gewas verwarmd, wat de bladafplitsingssnelheid verhoogt. Het belichtingsregime was ook gericht op het tegengaan van bladrandjes en broeirandjes, omdat het gebruikte ras hiervoor gevoelig is.

2.3 Gewas

Teeltsysteem en teeltwisselingen

Het Teeltconcept Komkommer bestaat uit een jaarrond teeltplan met 3 plantingen volgens het Innokom+ teeltsysteem. Bij dit teeltsysteem wordt met beweegbare gewasdraden gewerkt om jonge planten direct aan de Pellikaanhaak te kunnen vastzetten. De 1^e teelt is geplant op 11 december 2007 (week 50), en de laatste oogst van de 3^e teelt was 11 november 2008 (week 46), precies 48 weken later.

De bedoeling was dat de 2^e en 3^e teelt werden tussengeplant ca 16 weken na planten. Hiervan moest worden afgeweken vanwege plantuitval in de 1^e teelt door onbekende oorzaak. Hieraan is afzonderlijk onderzoek gedaan. Vanwege deze plantuitval is de kas geruimd en ontsmet na de eerste teelt, en is de 2^e teelt gestart met eenpitters. Daardoor was de kas niet 'groen' van 28 maart tot 5 april (8 dagen; ongeveer week 14).

De 3^e teelt is wel tussengeplant. De overgang van de 2^e naar 3^e teelt verliep in twee stappen. Op 22 juli (week 32) werden alle planten in de helft van de paden geruimd, en werden jonge planten van de 3^e teelt ervoor in de plaats gezet. De oude planten liet men zakken. Deze werden afgeoogst, terwijl de jonge planten al aan de groei waren. Op 4 augustus werd de resterende oude planten in de andere paden ook geruimd. In deze periode (week 32-34) lag de productie op een laag niveau. De afbakening van de 2^e en 3^e teelt is meestal genomen in week 33.



Foto 1. Tussenplanten-overgang van de 2^e naar de 3^e teelt in week 30-32.

Gewasverzorging, dunnen en oogsten

Bij de gewasverzorging lag de nadruk op regelmaat. Laten zakken + knippen gebeurde 1 x p.w.; extra knippen 1 x p.w.; pluizen/vruchtdunnen 1 x p.w.; bladsnijden 1 x p.w. Oogsten gebeurde 6 dagen per week gedurende de hele periode. Het gewenste vruchtgewicht was 420 gram. Vruchtgewicht wordt mede bepaald door dunnen. Dit gebeurde om en om (1 blad met en 1 blad zonder vrucht). In de tweede teelt werd in een klein proefvak geprobeerd de productie verder te verhogen door de dunning strategie aan te passen. Daar werd gedund volgens 2 laten zitten en 1 dunnen. In de rest van de kas werd gewoon om en om gedund.

Tussenplanten

Tussenplanten is in komkommer een bekende handeling. Bij een hoge draad teelt is het belangrijk om het moment van de kop eruit halen goed te timen. Te vroeg de kop eruit halen verlaagt de productie van de planten die te vroeg leeg zijn. Te laat de kop eruit halen maakt dat een deel van de vruchten nog niet volgroeid is wanneer het gewas er

uit moet. Dit speelt zowel voor de planten die het eerst eruit gaan als voor de planten die blijven staan. Door verschil in lichtonderschepping, zullen de planten die het eerst eruit gaan iets minder snel afrijpen dan de planten die blijven staan.

Bij tussenplanten op dezelfde goot ontstond een praktisch probleem. De oude planten die verwijderd werden, stonden met de kop niet meer boven het plantgat. Hierdoor moesten op de kopeinden van de goten alle planten van een mat moeten worden weggehaald, of alle planten op de mat bleven staan. Hierdoor ontstonden voor de planten die er tussen worden gezet verschillen in watergehalte van de matten aan de kopeinden. Dit verschil is tijdelijk, totdat alle oude planten weg zijn. In deze proef is dat als een gegeven beschouwd. Er zijn geen bijzondere zaken aan deze planten waargenomen.

Tabel 1. Overzicht van de drie komkommerteelten in de proef.

	Teelt 1	Teelt 2	Teelt 3
Zaaidatum	12 nov 2007 (week 46)	13 maart 08 (week 11)	1 juli 2008 (week 27)
Plantdatum	11 dec (week 50)	5 april (week 14)	23 juli (week 30)
Ras	Sheila	Troika	Troika
Eerste oogst	31 dec (week 1)	25 april (week 17)	14 aug (week 33) en 21 aug (week 34)
Laatste oogst	28 maart (week 13)	22 juli (week 30) en 4 aug (week 32)	11 nov (week 46)
Teeltduur	16 weken	16/18 weken	12/13 weken
Plantdichtheid	1,9 planten/m ²	3,06 planten/m ²	1,53 planten/m ²
Stengeldichtheid	* $8/5 \times 1,9 = 3,06$ st/m ² Op eind 2,4 st/m ² (door uitval)	3,06 st/m ² Eénpitters	3,06 st/m ² Zijstengel op 5 ^e blad
* Opmerkingen	Koppen 28 dec (week 1): 8 ranken op 5 planten	Hele teelt geen abortie	Hele teelt geen abortie

3 Kasklimaat

3.1 Algemeen

Temperatuur

De ingestelde temperatuur van de kaslucht werd vrij snel en nauwkeurig gerealiseerd. Gemiddeld genomen is er ongeveer $0,5^{\circ}\text{C}$ warmer geteeld dan wat gebruikelijk is in de traditionele teelt. Veelal lag het etmaal tussen $20,7-21,7^{\circ}\text{C}$. Later kwam de etmaaltemperatuur meestal niet onder $21,0^{\circ}\text{C}$. Met de etmaaltemperatuur werd geprobeerd de belasting op 7-8 vruchten per stengel te houden. De temperatuur in de voornacht is niet te laag ingesteld om broeirandjes rond het uitgroeiende blad te voorkomen. Er zijn nauwelijks echte broeikoppen ontstaan.

Koeling

Vanaf begin maart 2008 werd boven 24°C gekoeld mbv gekoelde lucht of koude buitenlucht. Het was opmerkelijk dat geen negatieve effecten zijn opgetreden van de luchtbeweging langs het gewas voor koelen (of verwarmen) met slurven onder het gewas. Dit kwam mede doordat de uitstroom openingen naar beneden gericht waren en niet direct op de vruchten. Bij mooi weer werd het $25-26^{\circ}\text{C}$ in de afdeling. De luchtramen werden geopend wanneer het nodig was, namelijk soms overdag als de kasluchttemperatuur $27-28^{\circ}\text{C}$ bereikte.

Belichting / groeilicht

Assimilatiebelichting heeft belangrijk bijgedragen aan het totale lichtniveau in de kas, vooral in de 1^e teelt. Licht is uitgedrukt in PAR (Photosynthetic Active Radiation) ofwel groeilicht. Zonder belichting zou de 1^e teelt ca $100 \text{ J/cm}^2/\text{dag}$ PAR ontvangen hebben. Met belichting werd dat $300-400 \text{ J/cm}^2/\text{dag}$. Dit is ca de helft van het gerealiseerde PAR niveau in de 2^e teelt midden in de zomer (in de 2^e teelt is minder belicht dan in de 1^e teelt).

Het verschil in branduren tussen de 3 strengen was maximaal 22 uren ($0,6\%$ van het gemiddelde aantal branduren). De hoeveelheid belichting per week is weergegeven in de grafieken met overzicht teeltomstandigheden in Bijlage I. Aantal belichtingsuren wordt besproken onder Resultaten.

Energieverbruik

Energie-efficiënte was geen doel in doel proef. Cijfers over energieverbruik voor verwarming, koeling en belichting worden gegeven in hoofdstuk 6.



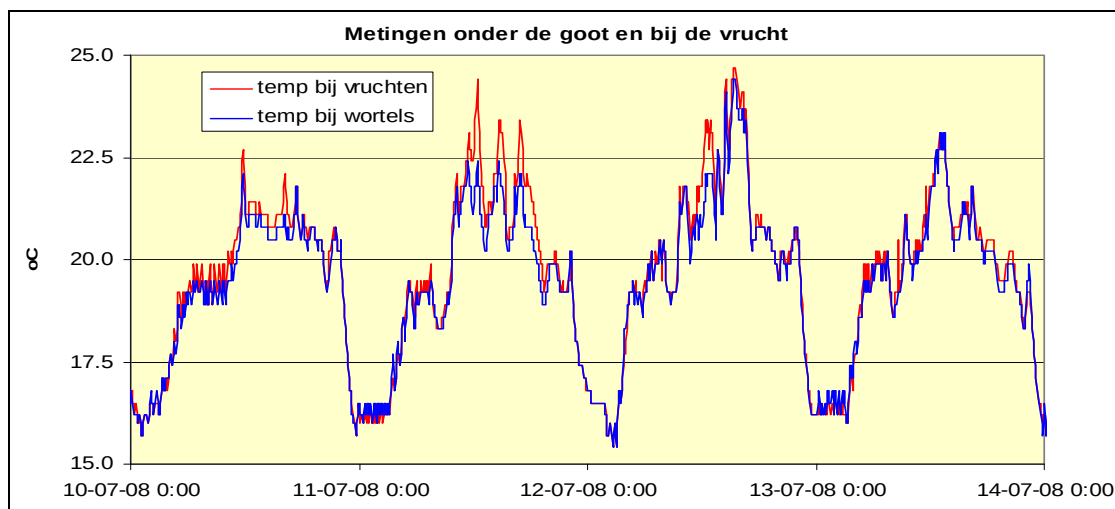
Foto 2. Kasinrichting.

Gerealiseerd klimaat in de kas

Kasklimaat was geregistreerd via de Priva Intégro computer. Van de belangrijkste teeltfactoren zijn geregistreerde uurdata verwerkt tot dagdata (minimum, gemiddeld en maximum) en grafisch weergegeven in Bijlage I. De grafieken tonen hoe er geteeld is en kunnen dienen als richtlijn voor volgende teelten.

3.2 Temperatuur gradiënten

De temperatuurgradiënt in het komkommengewas in afdeling 4 van het Improvement Centre is gemeten van 9 juli 14:00 tot 14 juli 12:00. De weersomstandigheden tijdens de meetdagen vertoonde een opgaande lijn: de globale straling liep op van 563 J/cm²/dag tot 2712 J/cm²/dag. Er werden 20 temperatuuropnemers van het type 'Tiny Talk' gebruikt. Tot 9 juli ca 14:00 lagen alle sensoren op één plaats voor onderlinge vergelijking. Daarna werden deze geplaatst op 5 locaties (A-F) en 4 hoogtes in de kas. Echter, de geregistreerde temperaturen in de toppen van het gewas bleken sterk beïnvloed te zijn door directe zonnestraling. Deze metingen worden daarom buiten beschouwing gelaten, en alleen de onderste twee lagen worden gepresenteerd. In de overige metingen is eerst onderzocht of er horizontale temperatuurverschillen bestonden. Dit was niet het geval. Vervolgens is gekeken naar temperatuurverdeling in verticale richting op 2 hoogtes.



Figuur 1. Kasluchttemperaturen (°C) gemeten onder de goot en bij de vruchten op locatie A over 4 dagen (blauw is ter hoogte van de wortels, rood is ter hoogte van de vruchten).

Tabel 2. Kasluchttemperaturen (°C) in het komkommengewas op 2 hoogtes in willekeurig gekozen uren (gemiddelde van 12 metingen, om de 5 minuten).

Locatie: ➔	A	B	C	D	E	Gemidd.
14 juli 08 0:00-1:00						
150 cm	16,38	16,42	16,27	16,07	16,12	16,25
70 cm	16,03	15,83	15,73	15,58	15,64	15,76
12 juli 08 15:00-16:00						
150 cm	24,3	24,2	24,8	24,6	25,7	24,7
70 cm	23,9	24,0	24,2	24,0	24,7	24,2
14 juli 08 12:00-13:00						
150 cm	22,2	22,4	22,9	22,3	23,4	22,6
70 cm	22,1	21,7	22,5	22,2	22,6	22,2

's Nachts waren de temperatuurverschillen gering. Overdag was de temperatuur ter hoogte van de vruchten gelijk of iets hoger dan bij de wortel. Dit werd gevonden op iedere locatie en op iedere meetdag. Deze temperaturen op een niveau van 20-25°C zijn gunstig voor vruchtkwaliteit. Dankzij vrij hoge vruchttemperatuur groeiden de vruchten snel uit, wat de kwaliteit ten goede komt. De worteltemperatuur was in dezelfde orde van grootte, doorgaans 20-23°C. Dit is gunstig voor het goed functioneren van het wortelstelsel en zal bijgedragen hebben aan goede groei en productie.

4 Productie

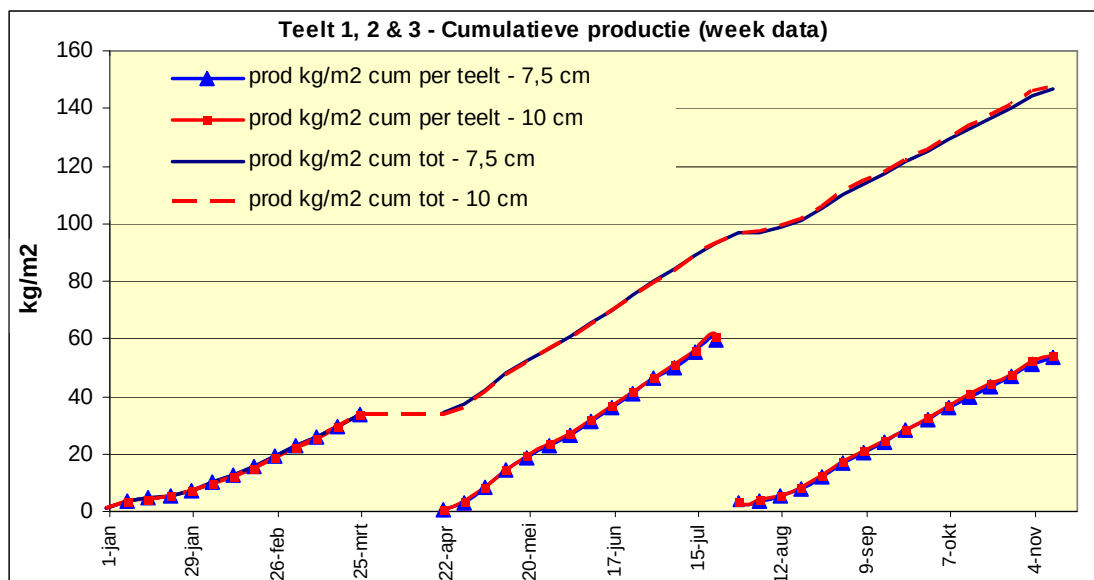
4.1 Gerealiseerde productie

Totale productie

De eerst oogst viel in week 1 van 2008 en de laatste in week 46. De kwaliteit van de productie was uitzonderlijk goed. In de 2^e en 3^e teelt kwam geen abortie voor. Wel traden ernstige groeiproblemen op in de 1^e teelt. Veel planten gingen slap. Er ontstonden veel stekvruchten: bijna 5% van de vruchten had een afwijkende vorm. Dit was waarschijnlijk te wijten aan het ras, Sheila, dat achteraf gezien niet de beste keuze was voor een belichte teelt. De productie werd per pad bepaald en geregistreerd door het Improvement Centre. Er lagen twee varianten steenwolmatten: met volume 7,5 en 10 liter/m² (dikte 7,5 en 10 cm). Er bleek nauwelijks verschil in productie te bestaan tussen de twee matdiktes zoals blijkt uit de volgende figuren en tabellen.

Tabel 3. Productie van komkommer in de drie achtereenvolgende teelten. Gvg = gemiddeld vrucht gewicht, berekend uit gewicht en aantal van geoogste vruchten.

Teelt	oogst-weken*	kg/m ²	stuks/m ²	kg/m ² /wk	stuks/m ² /wk	gvg	klasse II kg/m ²
Teelt 1	1-13	34	79	2,6	6,1	424	1,64
Teelt 2	17-31	63	145	4,3	9,7	436	0,93
Teelt 3	32-46	50	124	3,3	8,3	404	0,71
Subtotaal	43	148	349	3,4	8,1	425	3,3
Klasse II		3,3					
Totaal		151					



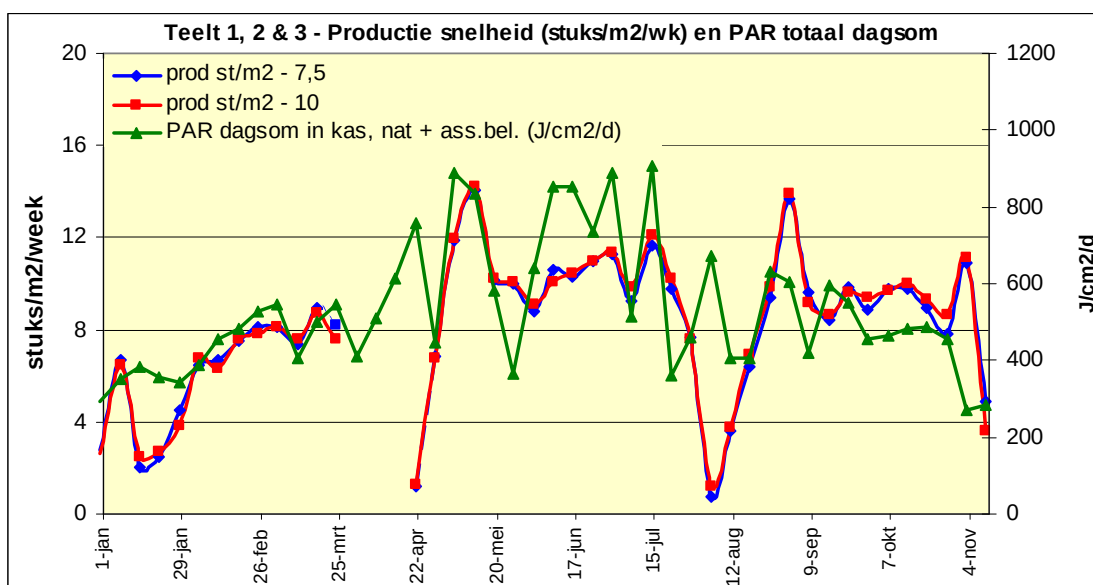
Figuur 2. Cumulatieve productie per teelt (kg/m²) en cumulatieve totale productie voor de drie teelten en twee substraatvolumes (matdikte 7,5 en 10 cm, lijnen overlappen).

Figuur 2 toont de cumulatieve producties van de drie teelten en ook over de totale periode. De lijnen van de twee substraatvolumes liggen nagenoeg op elkaar. Dit illustreert dat substraatvolume weinig effect had.

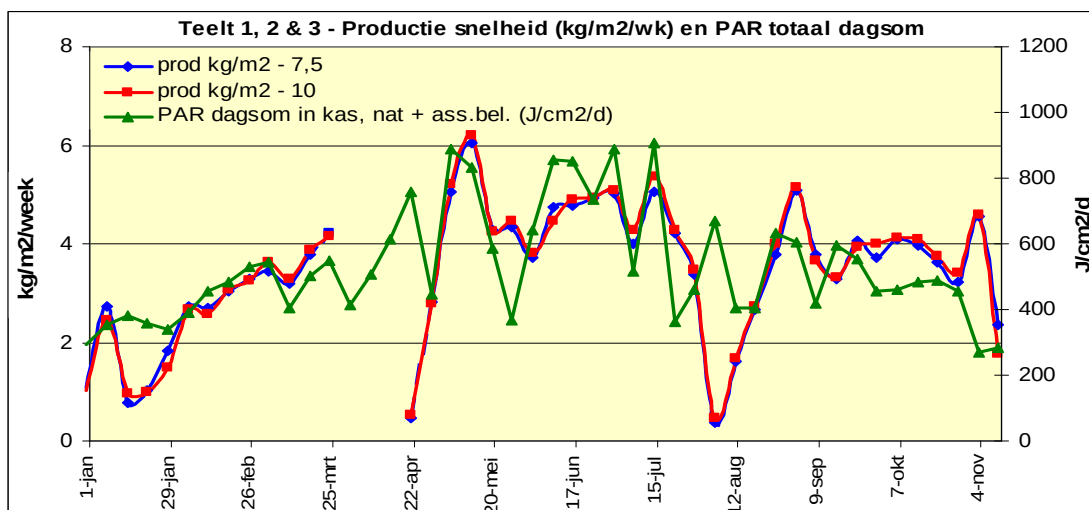
Tabel 3 geeft de behaalde productie in die periode: 148 kg/m^2 , 349 stuks/m^2 , met gemiddeld vruchtgewicht 425 gram . Bovendien is er $3,3 \text{ kg/m}^2$ klasse II komkommers geoogst, wat de totale productie op 151 kg/m^2 brengt. Dit is $67,5 \text{ kg/m}^2$ (81%) meer dan de 'basisproductie' van $83,5 \text{ kg/m}^2/\text{jaar}$.

Productiesnelheid

De productiesnelheid van alle drie de teelten is weergegeven in Figuur 3 en 4 in stuks/m^2 en kg/m^2 per week. In de 1^e en 2^e teelt lag de kas een week leeg na 29 maart (week 14). Daarna was er twee weken geen productie, gevolgd door twee weken lage productie. De 3^e teelt werd tussengeplant (zie details in paragraaf 2.3). Hierdoor verliep de overgang van de 2^e naar de 3^e teelt in twee stappen, en was de productie laag maar niet geheel nul in een paar weken na 22 juli.



Figuur 3. Productiesnelheid ($\text{stuks/m}^2/\text{week}$) in de drie achtereenvolgende teelten (met teeltwisselingen 29 maart en eind juli) voor twee substraatvolumes (matdikte 7,5 en 10 cm). Tevens PAR in de kas, gemiddelde dagsom, sommatie van natuurlijk licht en additioneel groeilicht.



Figuur 4. Als Figuur 3, maar productie in kilogram/m²/week.

Figuren 3 en 4 tonen naast de productie ook de lichtsomcurve, dwz de gemiddelde dagsom van natuurlijk licht in de kas plus assimilatie belichting (beide PAR in J/cm²/dag), uitgezet per week. De productielijn volgt duidelijk de lichtlijn. In de 1^e teelt lijkt de productie lijn relatief iets lager te liggen tov de lichtlijn dan in de 2^e en 3^e teelt. Tijdens de eerste teeltwisseling was de belichting vrijwel uitgeschakeld. Ten tijde van de tweede teeltwisseling werd wel belichting gebruikt.

Lichtefficiëntie

De lichtefficiëntie is geschat per teelt door de totale productie (kg/m²) per teelt te delen door de geschatte hoeveelheid PAR die in de kas is ontvangen tijdens die teelt (dagsommen van daglicht plus kunstlicht in MJ/m²). Het resultaat is uitgedrukt in gram versgewicht komkommer per ontvangen MegaJoule PAR (g/MJ). Zie Tabel 4.

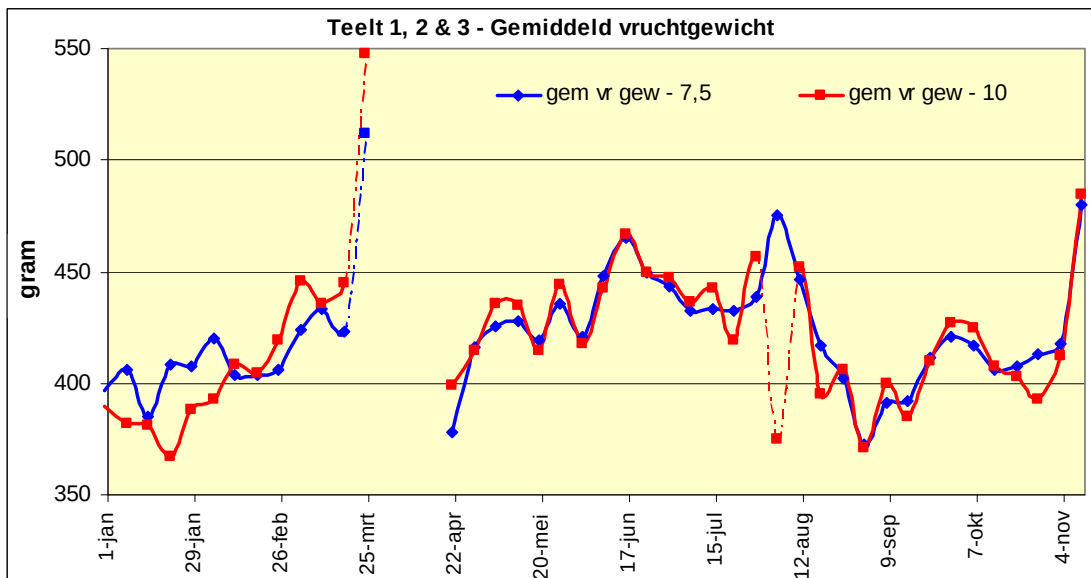
Opvallend is dat de lichtefficiëntie aanmerkelijk hoger is voor de 3^e teelt. Dit kan deels, maar niet geheel, worden verklaard door het hogere gemiddelde CO₂-gehalte in deze teelt. Het heeft ook te maken met de toerekening van de overgangsweken aan de 2^e of 3^e teelt. Het is echter niet zinvol deze lichtefficiëntie data verder te verklaren of analyseren, omdat ze slechts een benadering zijn. De berekening van de hoeveelheid daglicht in de kas is tamelijk onnauwkeurig.

Tabel 4. Lichtefficiëntie van komkommerproductie in gram versgewicht komkommer geproduceerd per MegaJoule PAR-totaal in de kas (matdikte 10 cm). Tevens de gemiddelde CO₂-concentratie.

	Productie (kg/m ²)	PAR (MJ/m ²)	Licht efficiëntie (gram/MJ)	Gem. CO ₂ -concentratie (ppm)
1 ^e teelt	34	447	74,9	805
2 ^e teelt	64	779	82,1	822
3 ^e teelt	50	488	102,8	969
totaal	148	1715	86,1	862

Gemiddeld vruchtgewicht

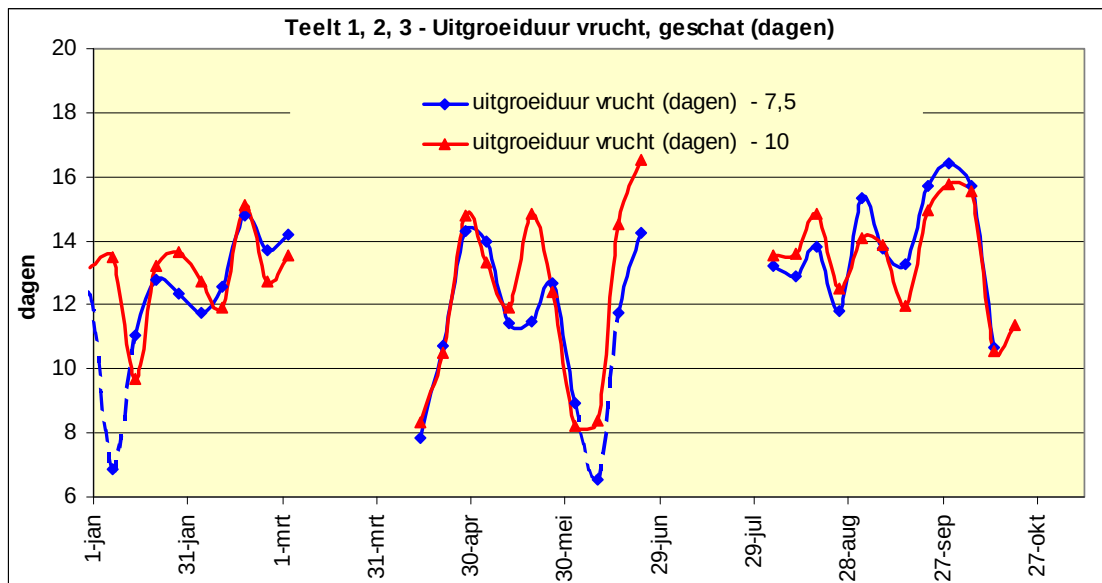
Het gemiddeld vruchtgewicht fluctueerde over de seizoenen tussen ongeveer 375 en 475 gram (zie Figuur 5). Gemiddeld over alle teelten is het uitgekomen op 425 gram, dichtbij het oorspronkelijke doel van 420 gram. Uiteraard is het gemiddeld vruchtgewicht mede beïnvloed door ras, keuzes bij het oogsten en door het gekozen regime van plantbelasting. Komkommers in deze gewichtscategorie ontvingen een goede middenprijs.



Figuur 5. Gemiddeld vruchtgewicht (gram) voor drie teelten en twee substraatvolumes (matdikte 7,5 en 10 cm). Uitschieters zijn gestippeld.

Uitgroei duur vrucht

De uitgroei duur van de vruchten kon geschat worden uit de plantwaarnemingen, als volgt. Iedere week was geregistreerd door het IC welke oksel bloeide en welke werd geoogst. Het verschil tussen die twee is het aantal oksel tussen de bloeiende en geoogste oksel. Tevens was geregistreerd het aantal oksels dat in een week was bijgegroeid (zie paragraaf 5.1, waar het ontwikkelingssnelheid is genoemd). Door deze gegevens met elkaar te combineren werd de uitgroei duur van de vruchten geschat. Resultaten in Figuur 6. Doordat met gemiddelde getallen werd gewerkt is dit geen nauwkeurige werkwijze. Uitgroei duur van 6 dagen is wellicht een onderschatting, en daarom zijn die punten met een stippellijn aangegeven.



Figuur 6. Uitgroeiduur van vruchten (dagen) voor drie teelten voor twee substraatvolumes (matdikte 7,5 en 10 cm). Zie tekst voor berekeningswijze. Uitschieters zijn gestippeld.



Foto 3. De kwaliteit van de geoogste vruchten was uitstekend. In de 1^e teelt werd ca 5% klasse II geoogst, en in de 2^e en 3^e teelt ca 1%.



Foto 4. Er werd nauwelijks effect gevonden substraatvolume (7,5 of 10 liter/m²).

Effect van substraatvolume

In de meeste grafieken in dit rapport en in de onderstaande tabel zijn de producties uitgesplitst voor de twee gebruikte substraatvolumes: 7,5 en 10 liter/m², overeenkomend met matdikte 7,5 en 10 cm. Iedere lijn is een gemiddelde van twee herhalingen. De verschillen tussen de herhalingen binnen een behandeling waren zeer gering. In de 2^e en 3^e teelt was de productie iets hoger op de 10 cm matten dan op de 7,5 cm matten. In de 1^e teelt was de productie op de 10 cm matten iets lager, wat mogelijk te wijten was aan iets meer plantuitval in een hoek waar 10 cm matten lagen. Een verschil in productie tussen de substraatvolumes zou kunnen ontstaan door verschil in gemiddeld vruchtgewicht. Maar in deze proef is vrij constant geoogst, waardoor dit verschil niet is ontstaan. De gedachte is dat een groter substraatvolume beter in staat zou zijn om klimaatschommelingen op te vangen. Hierdoor zouden de planten op 10 cm dikke matten het beter kunnen doen. Omdat er weinig klimaatwisselingen waren in deze geconditioneerde teelt, heeft dit voordeel zich niet kunnen bewijzen. Het verdient aanbeveling in andere proeven, waar meer klimaatwisselingen zijn, opnieuw te kijken naar het effect van substraatvolume. Eventueel zouden de teeltwijze en watergeefregime kunnen worden aangepast aan het substraatvolume. Het prijsverschil voor het grotere substraatvolume bedraagt ca 0,25-0,30 eurocent/m².

Tabel 5. Productie uitgesplitst voor de twee substraatvolumes (7,5 en 10 liter/m²).

	Productie (kg/m ²)			Productie (stuks/m ²)			Gem. vruchtgewicht (gram)		
	7,5 cm	10 cm	gem.	7,5 cm	10 cm	gem.	7,5 cm	10 cm	gem.
Teelt 1	33,8	33,5	33,7	79,9	78,7	79,3	423,3	425,6	424,4
Teelt 2	62,9	64,0	63,4	144,6	146,3	145,4	434,8	437,5	436,2
Teelt 3	49,8	50,2	50,0	122,7	124,9	123,8	406,0	402,2	404,1

4.2 Productie volgens groeimodel

Modelberekeningen

Het simulatiemodel 'Intkam' (Marcelis, 1994) is ingezet om de bijdrage van de teeltfactoren licht en CO₂ te berekenen. Om te testen of het model de werkelijkheid goed benaderde, zijn eerst de gemeten data ingevoerd in het model, nl LAI op aantal dagen in het jaar en gemeten uurwaarden van de relevante klimaatfactoren (PAR in de kas, kasluchttemperatuur, CO₂-concentratie). Het model berekende de productie in drooggewicht, versgewicht en aantal stuks. De data werden gesommeerd tot totalen per week, per teelt en over de hele periode, alles per m². Hieronder worden resultaten gepresenteerd als geoogst gewicht per m².

Berekening PAR in de kas

PAR in de kas omvatte zowel daglicht als lamplicht. Het model gebruikte de aangeboden uurdata van globale straling (in W/m² buiten gemeten) en assimilatiebelichting (μmol/m²/s), en rekende dit om naar PAR in de kas (W/m²). De omrekeningsfactoren waren afkomstig van Dueck (2008). Ook werd rekening gehouden met effect van het scherm, op uurbasis.

De globale straling buiten (W/m²) werd vermenigvuldigd met geschatte lichtniveau in de kas (rekening houdend met transmissie kasdek en schaduwgevende delen (70%, volgens Nieboer). Tevens werd het vermenigvuldigd met 0,45 om het aandeel PAR in globale straling te verkrijgen. In uren dat het scherm gesloten was werd de straling als volgt beïnvloed: 88% van directe straling en 81% van diffuse straling werd doorgelaten, en directe straling werd omgezet in diffuse straling.

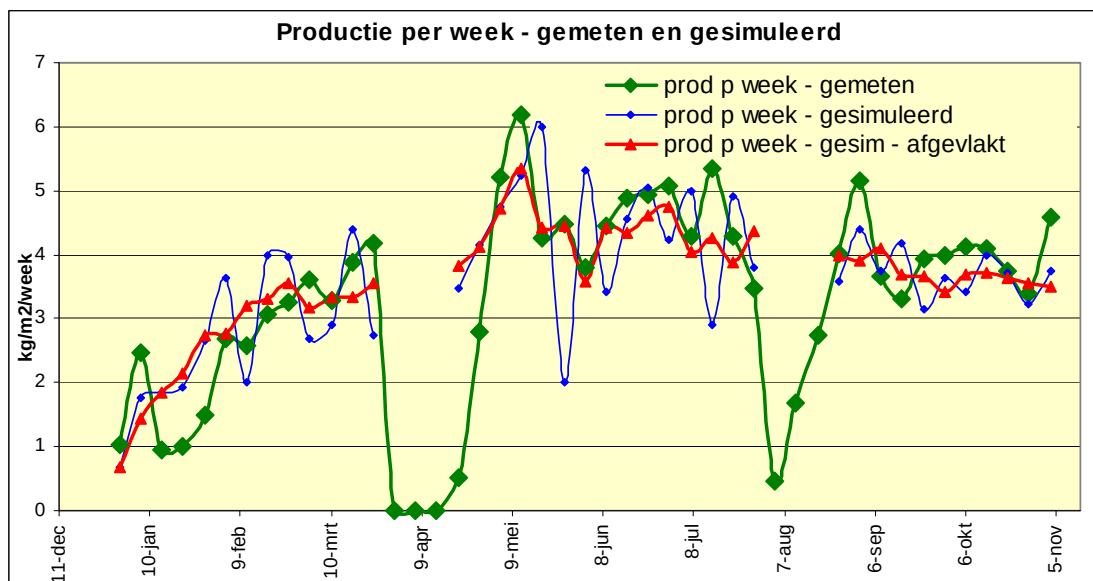
Assimilatiebelichtingsdata werden als volgt bewerkt. De intensiteit van de belichting was bekend, namelijk 210 μmol/m²/s wanneer alle drie strengen aangeschakeld waren. Belichting was geregistreerd als totaal uren per week. Deze weekdata werden omgezet naar uurdata, door als het ware de uren te verdelen over de week met inachtneming van het belichtingsregime. Normaal waren alle drie strengen uit- of aangeschakeld, maar er waren heel korte periodes waarin slechts 1 of 2 strengen aan waren. Hiermee rekening is gehouden. Belichtingsintensiteit in μmol/m²/s werd vervolgens omgezet naar W/m² PAR (Dueck, 2008).

Nasimuleren

Het simulatiemodel is eerst getest door te kijken of de gesimuleerde productie hetzelfde was als de productie gevonden in de proef. Het model veronderstelde dat de hele periode van 11 december 2007 tot 11 november 2008 één lange teeltperiode was, zonder tussenplanten. Wel werd de werkelijke gemeten LAI ingevoerd, die uiteraard laag was na herplanten. In de proef werd de productie onderbroken door herplanten: na de 1^e teelt lag de productie stil in week 14-16, en na afloop van de 2^e teelt lag de productie op een laag niveau in week 30-32. Voor deze 'overgangsweken' zijn de gemeten productiecijfers verondersteld ipv gesimuleerde productiecijfers. Dit was nodig om te voorkomen dat er een fout ontstond in gesimuleerde cumulatieve productie.

Met deze aanpak bleek het model zeer goed in staat om de werkelijkheid te beschrijven. Figuur 7 toont de komkommerproductie in kg per m² per week, zowel gemeten (groene lijn) als gesimuleerd (blauwe en rode lijn). De dunne blauwe lijn is de oorspronkelijke modelberekening. Deze heeft sterkere pieken en dalen dan er in werkelijkheid gemeten waren, veroorzaakt door het 'virtueel' oogsten van een komkommer gebaseerd op een temperatuursom. In de proef werd geoogst op basis van bereikt vruchtgewicht. Dit kan een verschil geven in de dynamiek (pieken en dalen). Daarom is een tweede lijn (rood) getekend met afgevlakte gesimuleerde productie, namelijk gesimuleerde productie gemiddeld over drie achtereenvolgende weken. Deze rode lijn komt erg goed overeen met gemeten productie.

Na deze testsimulatie is het model gebruikt om de behaalde productie te analyseren, dwz te berekenen hoe groot de effecten waren van belichting en van de extra-hoge CO₂-concentratie.



Figuur 7. Test van simulatiemodel 'Intkam'; vergelijking van gesimuleerde en gemeten productie in $\text{kg/m}^2/\text{week}$. Rond 9 april en 7 augustus werd de teelt gewisseld.

Analyseren van de gerealiseerde productie

Vervolgens is het model een aantal malen gedraaid om de proefresultaten te analyseren, dwz het effect van belichting en CO_2 te kwantificeren. Het model berekende de volgende cases:

- a. Klimaatdata gemeten in het onderzoek zijn in het model ingevoerd
1. Conventioneel-1: gemeten temperatuur, maar geen assimilatie belichting (alleen natuurlijk licht), geen extra CO_2 (werd op 600 ppm verondersteld), en geen effect van scherm op licht.
2. Conventioneel-2: als (1) maar wel met effect van scherm op het licht in de kas.
3. Met belichting: temperatuur, additioneel groeilicht en schermeffect zoals in de proef (dus licht data van de proef), maar geen extra CO_2 (werd op 600 ppm verondersteld).
4. Met CO_2 : temperatuur en CO_2 -concentraties zoals gemeten in de proef. Maar geen additioneel groeilicht, alleen het natuurlijke licht, wel met effect van scherm op het licht.

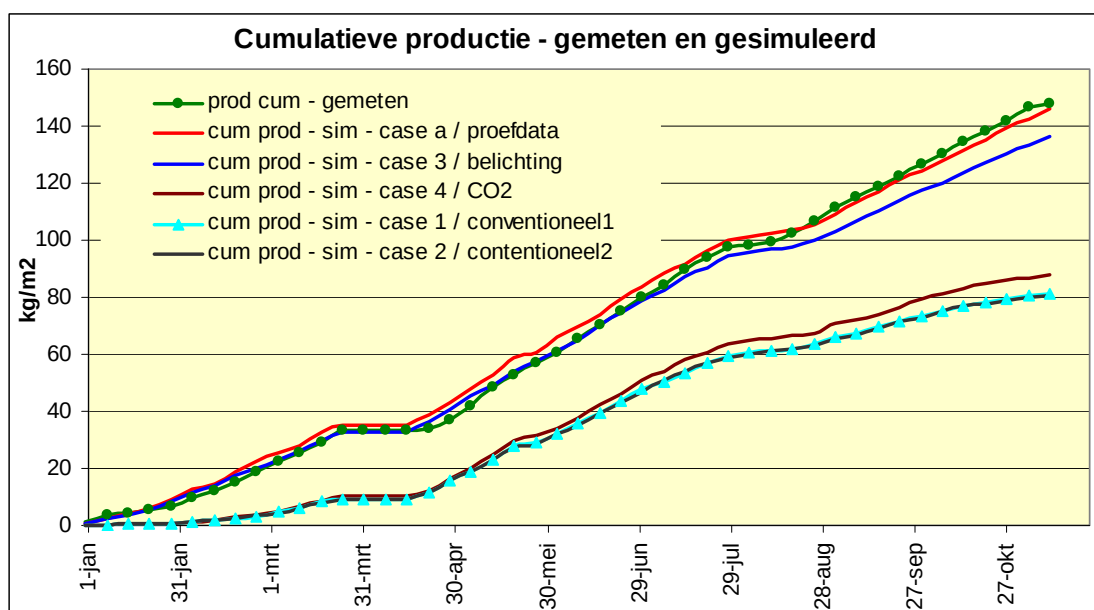
Figuur 8 toont de cumulatieve productie zoals gevonden in de proef, en gesimuleerd voor de vijf bovenstaande cases (details onder 'Modelberekeningen' op vorige pagina). In alle gevallen zijn dezelfde data ingevoerd voor temperatuur, en ook voor LAI en initieel plantgewicht. De knikken in de gemeten productie rond 9 april en 7 augustus (week 14 en 32) worden weer veroorzaakt door de teeltwisselingen. De productie in deze overgangsweken is handmatig ingesteld op de gerealiseerde productie, zoals eerder beschreven.

We bespreken de 6 productielijnen in Figuur 8 van onder naar boven. De onderste twee lijnen vallen samen. Dit zijn simulatie cases 1 en 2, beide conventionele teeltwijzen. Voor deze cases waren de gerealiseerde temperaturen ingevoerd, maar de gemeten CO_2 -data waren vervangen door 600 ppm (gangbaar niveau in niet-geconditioneerde teelten), en de belichting was achterwege gelaten. Het effect van het scherm werd niet meegerekend in case 1 en wel in case 2. Het model vindt slechts een minimaal effect van het scherm. Daarboven ligt de bruine lijn voor case 4, waarin wel extra-hoog CO_2 is verondersteld (CO_2 -gehalte die in de proef was gemeten) maar geen assimilatie-belichting. Dit toont aan dat extra-hoog CO_2 de productie met bijna 10% verhoogde tov de referentie. Daarboven ligt de blauwe lijn voor case 3, waarin wel belichting maar geen extra-hoog CO_2 is verondersteld. De grote afstand tussen deze lijn en de laagste lijnen laat zien dat belichting verantwoordelijk is voor een heel groot deel van de meer-productie. Bovenaan vallen de groene en rode lijn vrijwel samen. De groene lijn is de productie zoals gemeten in de proef, en de rode is de productie gesimuleerd op basis van de klimaatdata die in de proef waren geregistreerd (licht, temperatuur en CO_2). Het blijkt dat het model goed in staat is om de gemeten productie na te simuleren.

Tabel 6. Cumulatieve productie (kg/m²) gemeten en gesimuleerd voor vijf cases, voor de drie teelten en voor de gehele teeltperiode. Voor details zie de tekst.

	Gemeten productie (10 cm mat)	Gesim. met proefdata (case a)	Gesim. conv. 1 (case 1)	Gesim. conv. 2 (case 2)	Gesim. met belichting (case 3)	Gesim. met CO ₂ (case 4)
1 ^e teelt	33,5	35,2	9,1	9,2	32,6	10,0
2 ^e teelt	64,0	64,8	50,5	49,7	62,1	53,6
3 ^e teelt	50,2	46,1	21,4	21,8	41,8	24,1
totaal	148	146	81,0	80,8	136,4	87,7

De gemeten en gesimuleerde productie zijn terug te vinden in Tabel 6 en Figuur 8. In de 1^e teelt is er een verschil van 1,7 kg/m² tussen gemeten en gesimuleerd (case a), wat mogelijk werd veroorzaakt door de plantuitval en stekvruchten. In de 2^e teelt komen simulatie en werkelijkheid goed overeen. In de 3^e teelt is het verschil tussen gemeten en gesimuleerde productie vrij groot, wat niet goed verklaarbaar is. Echter, het doel van deze simulatie was om te zien of het model *redelijk* klopt. Het eigenlijke doel is om vervolgens de effecten van CO₂ en licht te kwantificeren. Hierbij gaat het om relatieve verschillen. De data uit Tabel 6 worden in paragraaf 4.4 verder uitgewerkt.



Figuur 8. Cumulatieve productie gemeten en gesimuleerd voor vijf cases (details in de tekst).

4.3 Prognose van effect van de teeltfactoren

Prognose

Hierboven werd mbv simulatie geanalyseerd hoe de verschillende teeltfactoren hebben bijgedragen aan de hoge productie. Hieronder wordt de productie berekend mbv rekenregels. Dit is een prognose die gemaakt is door Lion de Kok vóór aanvang van de proef.

Effect van extra groeilicht

De meerproductie veroorzaakt door belichting kan berekend uit de lichtbehoefte van komkommer. Deze kan gesteld worden op 71 mol per kg komkommer (Lion de Kok). De totale belichting in aantal mol per m² was verwacht te eindigen op 3793 uur. Omgerekend is dit: 3793 uur x 3600 s/uur x 210 µmol/m²/s (belichtingsintensiteit) x 0.000001 mol/µmol = 2868 mol/m². Dit gedeeld door 71 mol/kg geeft ca 40,4. Dat wil zeggen dat ca 40,4 kg/m² extra productie kan worden toegeschreven aan belichting. Achteraf is het werkelijk aantal uren belichting bekend geworden (3861 uur). Met dit getal zou de prognose zijn uitkomen op 41,1 kg/m² extra productie dankzij de belichting (0,7 kg/m² meer dan in de oorspronkelijke prognose).

Effect van extra hoog CO₂

Om de bijdrage te berekenen van geconditioneerd telen, werd als referentie een open kas genomen met een gemiddelde CO₂-dagwaarde over een seizoen van 600 ppm. Voor een semi-gesloten kas zonder belichting werd als gemiddelde dagwaarde 1000 ppm CO₂ verondersteld. Met de CO₂-vuistregel (Nederhoff, 1994) werd berekend dat de productie toename dan 11,5% is (zie ook Esmeijer, 1999). Dus zonder extra belichting zou een komkommerteler in een gesloten kas mogen rekenen met een productie toename van 11,5% ten opzichte van een open kas, ofwel 11,5% ten opzichte van de basisproductie (83,5 kg). Dit is 9,6 kg/m². Daarom kan gesteld worden dat in deze proef 9,6 kg/m² extra productie afkomstig was van extra CO₂, dus dankzij het dichthouden van de ramen waardoor minder CO₂ verloren gaat.

Interactie extra licht en extra CO₂

Hierboven werd het effect van assimilatiebelichting en extra CO₂ apart berekend. De meerproductie bedroeg respectievelijk 40,4 en 9,6 kg/m², dus opgeteld 50 kg/m². Maar het is te verwachten dat een interactie bestaat tussen extra groeilicht en CO₂: goede lichtomstandigheden creëren een goed groeiend gewas, wat goed reageert op hogere CO₂-concentratie, en andersom. De CO₂-vuistregel kan daarom worden toegepast met een factor 1,8 en gemiddelde dagwaarde van 1200 ppm. Dit resulteert in 17% extra productie over 123,9 kg/m² (basis productie + extra productie door groeilicht, 83,5 + 40,4 = 123,9). Dit geeft 21,1 kg/m². Dit moet worden verminderd met de 9,6 kg/m² die al hierboven was toegekend aan CO₂-dosering. Een en ander resulteert in 11,5 kg/m² extra productie door interactie (dwz door de combinatie van de twee belangrijke groeifactoren, extra licht en extra CO₂).

In Tabel 7 (in de volgende paragraaf) wordt deze prognose samengevat en vergeleken met de analyse mbv het simulatiemodel.

4.4 Bijdrage van teeltfactoren aan de productie

In de vorige twee paragrafen is geanalyseerd wat de bijdrage is van de teeltfactoren aan de hoge productie. Getallen in de laatste twee kolommen zijn de prognose gemaakt mbv rekenregels (paragraaf 4.3). De twee kolommen daarvoor zijn afkomstig van simulatiemodel 'Intkam' (paragraaf 4.2). De gesimuleerde en geprognostiseerde productie liggen dicht bij de werkelijk behaalde productie (148 kg/m²).

Tabel 7. Simulatie met model en prognose mbv rekenregels van de bijdrage van de verschillende teeltfactoren aan de hoge productie gevonden in de proef. Productie in kg/m² en in % van de referentie (= 'basisproductie', 83,5 kg/m²). Zie simulatie in paragraaf 4.2, rekenregels in paragraaf 4.3.

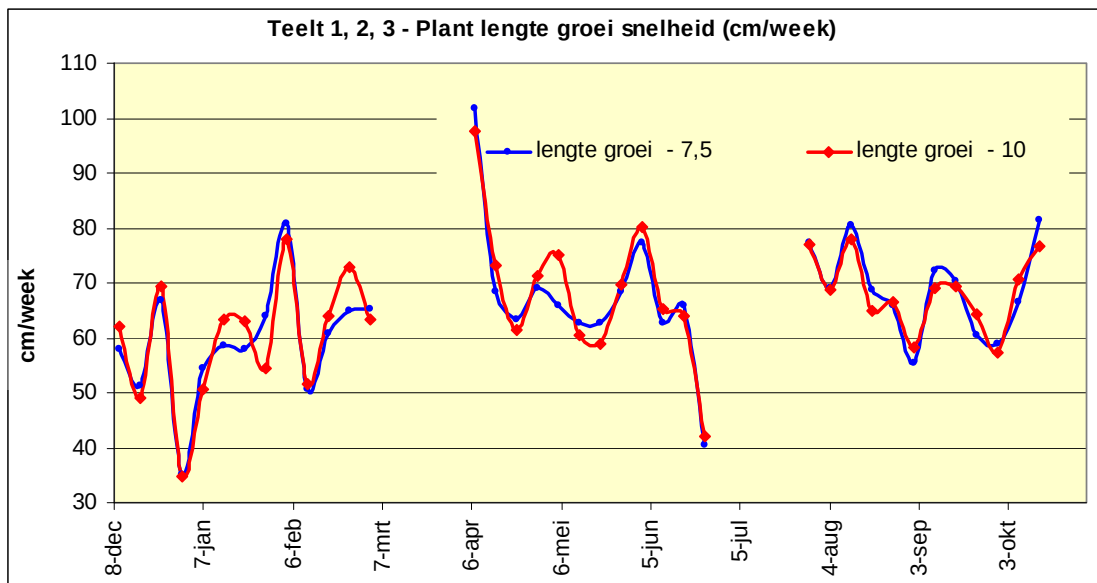
Productie uitgesplitst naar factoren	Proef kg/m ²	Sim kg/m ²	Sim %	Reken kg/m ²	Reken %
Referentie, basis productie (100%)		83,5	100	83,5	100
Meerproductie door extra groeilicht		55,4	66,3	40,4	48,4
Meerproductie door extra-hoog CO ₂		6,7	8,0	9,6	11,5
Meerproductie door interactie groeilicht x CO ₂		-	-	11,5	13,8
Meerproductie door belichting en CO ₂ samen		62	74,4	61,5	73,7
Totaal		146	174,4	145,0	173,7
Productie gerealiseerd in de proef (klasse I)	148			(145,7)	

De procentuele productieverhoging door belichting en CO₂ gezamenlijk was volgens het model en volgens de rekenregels vrijwel gelijk (rond 74% van het referentieproductieniveau). Het model en de rekenregels komen echter op verschillende procentuele effecten van het aandeel van extra licht en het aandeel van extra-hoge CO₂-dosering. De rekenregels onderscheidde ook nog een interactie-effect tussen licht en CO₂. Beide benaderingen vinden dat het overgrote deel van de meerproductie wordt verklaard door extra groeilicht, terwijl het effect van extra-hoog CO₂ eveneens aanzienlijk is. Overigens is de productieverhoging mede te danken aan andere effecten behalve belichting en CO₂, maar deze andere effecten zijn niet apart gekwantificeerd.

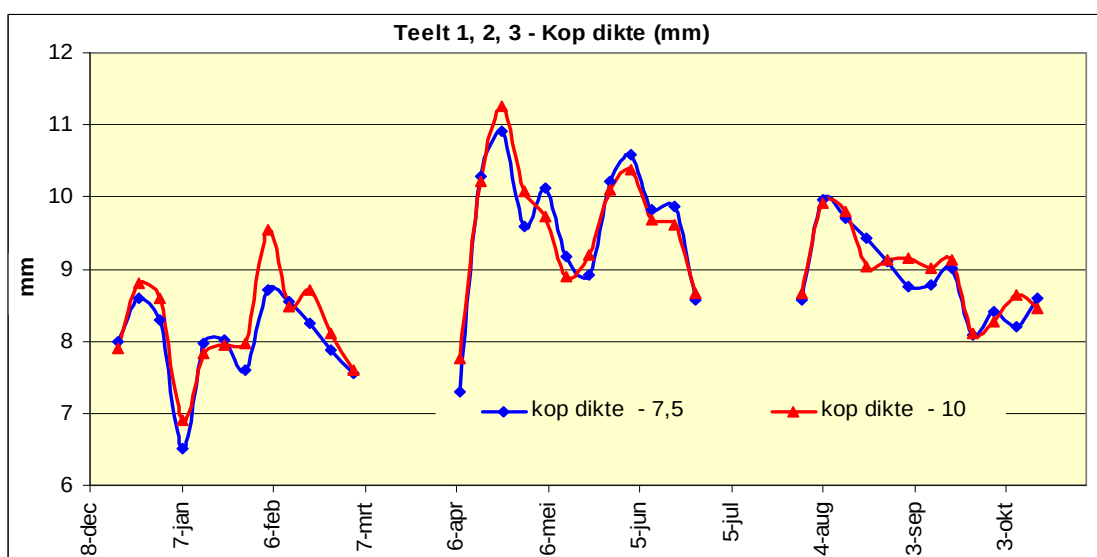
5 Gewasontwikkeling en overige aspecten

5.1 Gewasontwikkeling

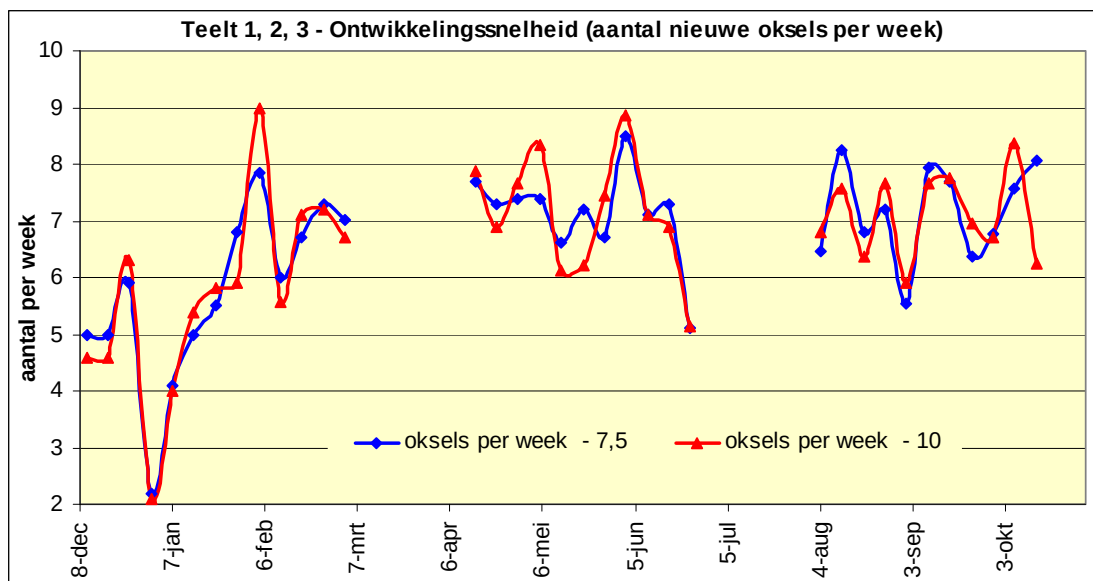
Wekelijks werden door het Improvement Centre de belangrijkste parameters van gewasgroei gemeten en geregistreerd. Gemeten werd plantlengte, kopdikte, aantal oksels, bloeiende oksel, oksel met gezette komkommer, oksel waar geoogst werd, en oksel waar het onderste blad zit. Hieruit werden andere parameters berekend zoals cumulatieve lengte, ontwikkelingssnelheid (aantal nieuw oksels per week), aantal oksels tussen bloei en oogst, vruchtuigroei duur (weergegeven onder productie, paragraaf 4.1). In onderstaande grafieken worden de belangrijkste plantparameters weergegeven, steeds voor de twee substraatvolumes (7,5 en 10 liter/m²).



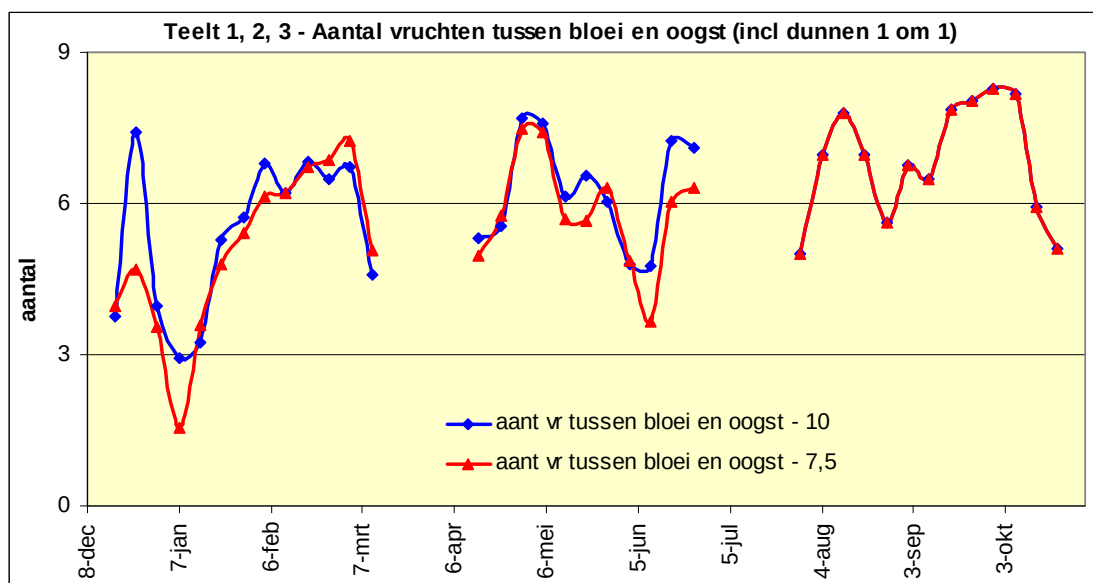
Figuur 9. Plantlengte toename per week, voor drie teelten en twee substraatvolumes (7,5 & 10).



Figuur 10. Kopdikte in de drie teelten en twee substraatvolumes (7,5 & 10).



Figuur 11. Ontwikkelingssnelheid (aantal nieuwe oksels per week) in de drie teelten en twee substraatvolumes (7,5 & 10).



Figuur 12. Plantbelasting: aantal vruchten aan de plant in de drie teelten en twee substraatvolumes (7,5 & 10). Dit is berekend uit het nummer van de bloeiende oksel minus nummer van geoogste oksel, gedeeld door 2 (ivm om-en-om vruchtdunning). In de 3^e teelt waren identieke waarden genoteerd in de beide substraatbehandelingen voor bloei en oogst nummer.

De voornaamste reden voor de plantwaarnemingen was om te zien of er een effect was het substraatvolume. Alle waarnemingen, waarvan slechts een deel getoond is in bovenstaande figuren, leidden tot dezelfde conclusie, nl dat het substraatvolume slechts een zeer gering verschil in groei en productie veroorzaakte.

De grafieken hebben allemaal een aantal pieken en dalen, die uiteraard in grote lijnen de lichtsomcurve volgen. Er is bekeken of er een duidelijke afwisseling is van vegetatieve en generatieve groei, maar dat kon niet worden aange- toond.

5.2 Overige aspecten

Beheersbaarheid

In een geconditioneerde kas met belichting en verneveling kunnen alle factoren geregeld worden naar behoefte van het gewas. De teler is tamelijk onafhankelijk van de buitenomstandigheden. Ongunstige condities zoals langdurige bewolking of te warme dagen of nachten zijn geen onoverkomelijk probleem. Daardoor kunnen de planten (cq stengels) beter in balans gehouden worden, maw kan het gewas beter gestuurd worden. Dit heeft geleid tot een heel regelmatige productie, en vrijwel geen abortie. Ook het om en om dunnen heeft bijgedragen aan goede balans en regelmaat.

Plantuitval

De eerste teelt heeft merkbaar te lijden gehad van plantuitval. Naar schatting 20% van de planten ging slap. Ook in de tweede teelt is in het begin wat uitval geweest. Er is heel veel tijd besteed en onderzoek gedaan om de mogelijke oorzaak te vinden, maar deze kon niet worden achterhaald. Er is geen reden om aan te nemen dat er een verband bestaat tussen de plantuitval en het geconditioneerd telen.

Teeltwisselingen

Vanwege plantuitval in de 1^e teelt is besloten om schoon te starten voor de 2^e teelt. Hierdoor heeft de kas een week leeg gelegen. Dit nadeel woog op tegen het voordeel dat er schoon gestart is met eenpitters. De laatste vruchten van de 2^e teelt zijn niet goed van het gewas gekomen. Toen het gewas geruimd werd hingen er nog ontwikkelende vruchten aan, waarschijnlijk als gevolg van somber weer van de voorgaande week. De 3^e teelt werd tussengeplant op 23 juli.

Arbeid

Deze teelt is uitgevoerd met meer arbeid dan een conventionele teelt. Gewasverzorging (laten zakken, klippen, pluizen, vruchtdunnen, bladsnijden en ook oogsten) werd strikt op tijd uitgevoerd en vereiste regelmatige inzet van arbeid. Oogsten gebeurde steeds 6 maal per week. Op zaterdag werd iets later op de dag begonnen en kleiner gesneden, zodat oogsten op zondag kon worden overgeslagen. In deze kleine afdeling is het gelukt om de werkzaamheden op tijd uit te voeren, maar dit is soms moeilijk te realiseren op een grootschalig praktijkbedrijf. De kwaliteit van gewasonderhoud heeft waarschijnlijk bijgedragen aan het goede resultaat.

Gewasgezondheid (overig)

Afgezien van bovengenoemde plantuitval waren er geen grote problemen met ziekte of plagen. Gewasbescherming in de geconditioneerde kas is gemakkelijker dan in een conventioneel teeltsysteem. Echte meeldauw kwam vooral bij de deur voor en moest vanaf half mei ongeveer wekelijks worden bestreden. Mycosphaerella is het hele jaar niet waargenomen. Botrytis was eigenlijk alleen aandachtspunt in de 3^e teelt. Dit is waarschijnlijk mede dankzij het feit dat blad netjes is gesneden. De 5^e oksel in de 3^e teelt (waar de zijstengel is aangehouden) bleek het meest gevoelig voor Botrytis. Deze is met krijt aangesmeerd. Verder is één keer onderdoor gespoten met Teldor en Ortiva. Hierdoor bleef uitval in de 3^e teelt verwaarloosbaar klein. Insecten waren beheersbaar met geïntegreerde bestrijding. Tegen rups moest wel meerdere keren worden opgetreden.

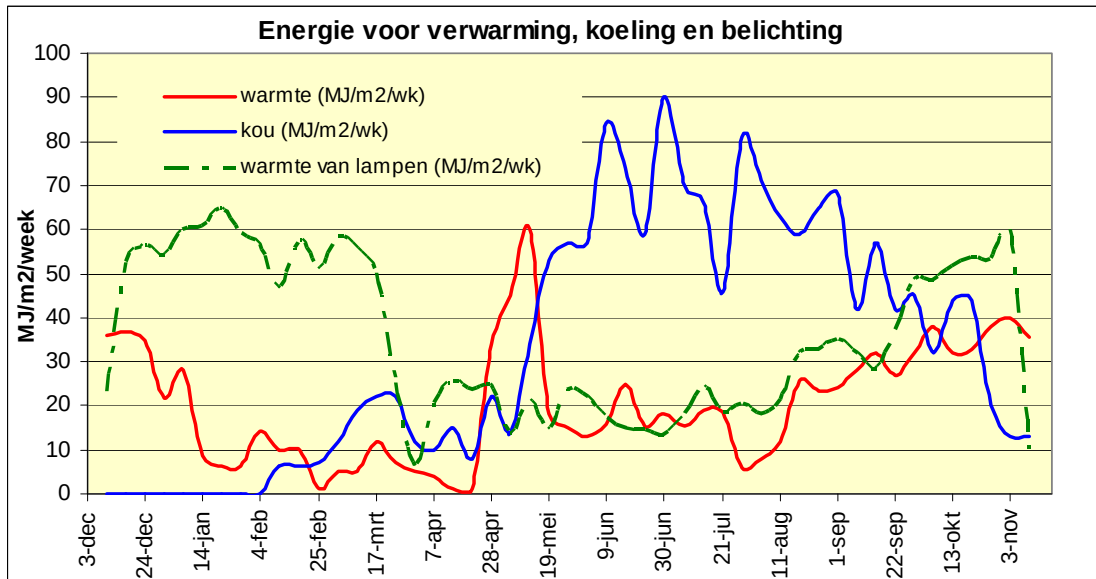


Foto 5. Er zijn heel weinig problemen geweest met ziekten en plagen (afgezien plantuitval in de 1^e teelt). Foto is genomen op 31 december 2007, ca 3 weken na planten van de 1^e teelt.

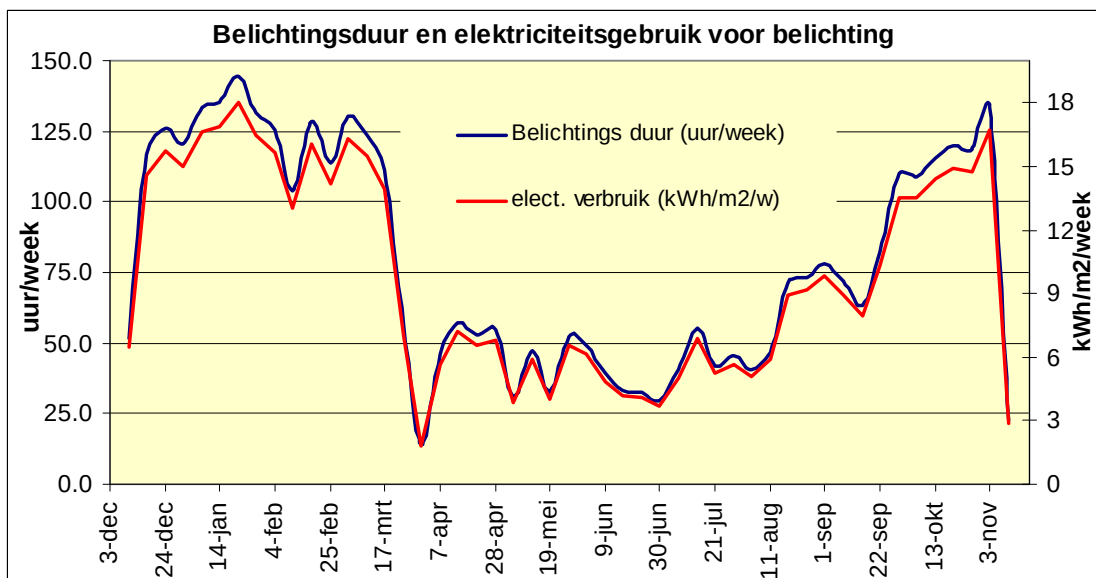
6 Energie

6.1 Energieverbruik

De productiemethode zoals getest in dit onderzoek is erg energie-intensief vanwege de belichting en conditionering. Belichting en elektriciteitsverbruik zijn geregistreerd door het Improvement Centre (zie Bijlage II en III), en worden gepresenteerd in Figuur 13 en 14, en Tabel 8.



Figuur 13. Warmte en koudegebruik en warmteproductie door de lampen in MJ/m²/week.



Figuur 14. Elektriciteitsverbruik voor belichting, afgeleid van de belichtingsduur.

Opmerking: Warmte van de lampen en elektriciteitsverbruik zijn lineair berekend uit belichtingsduur.

6.2 Energieanalyse

Energie-input in geconditioneerde teelt

Het uitgangspunt in deze analyse is dat in geconditioneerde teelten de energie geleverd wordt door een warmtepomp, en dat warmte en koude kunnen worden gebufferd in de aquifer. Gebruik van de aquifer moet op jaarbasis energieneutraal zijn. Als de warmtepomp koude maakt, wordt tegelijk warmte geproduceerd ('gratis bijgeleverd'). Dit kan worden opgeslagen en later weer worden gebruikt. Op jaarbasis is meer koude dan warmte nodig. Daarom wordt de koudebehoefte als maat genomen voor de kostenberekening, terwijl de warmtebehoefte hierbij geen rol speelt. De kosten van de circulatiepomp voor het rondpompen van koud of warm water zijn relatief gering en worden niet gerekend.

Om de totale energie-input te schatten hoeven we dus alleen te rekenen met elektra voor de warmtepomp voor het produceren van koude, en tevens elektra voor belichting en eventueel voor overige apparatuur. Van de overige stroomverbruikers wordt alleen voor ventilatoren een schatting gemaakt. Details over gebruik van conditionering, lampen en scherm zijn te vinden in de grafieken van hoofdstuk 3.

Tabel 8 geeft een overzicht van energiegebruik per teelt en getotaliseerd. Koudebehoefte is geregistreerd in MJ/m² en dit is omgerekend naar kWh/m² energie, en vervolgens naar kWh/m² elektriciteitsgebruik van de warmtepomp. Ook de elektriciteitskosten voor belichting en ventilatoren worden weergegeven, en dan gesommeerd.

Het warmteverbruik omvat zowel de gratis warmte van conditionering, als de betaalde warmte van de lampen, terwijl de (gratis) warmte van de zon buiten beschouwing blijft. Het is berekend in MJ/m² en omgerekend naar kWh/m² energie (maar niet naar elektriciteitsgebruik). Onderin Tabel 8 staan ook energieverbruikcijfers per geproduceerde komkommer (afgekort /kk).

Energiekostenberekening

De koudebehoefte en warmtebehoefte voor conditionering waren door het Improvement Centre geregistreerd als weekcijfers. Als voorbeeld berekenen we hier het elektriciteitsverbruik voor koudeproductie over het hele seizoen. Koudeproductie bedraagt 1625 MJ/m², wat gelijk is aan 451 kWh/m² (want 1 MJ = 0,278 kWh). De warmtepomp heeft een COP van 3,5 voor koude, dwz 1 Watt elektriciteit geeft 3,5 Watt koude. Dus koudebehoefte van 451 kWh/m² vergt een elektriciteitsinput van 129 kWh/m² (delen door 3,5). Opslag in de aquifer heeft een rendement in de orde van 85%, dwz 15% gaat verloren tijdens opslag. Vanwege opslagverliezen in de aquifer is dus nog meer elektriciteit nodig, namelijk 152 kWh/m² (129 gedeeld door 0,85). Dus voor conditionering (koeling en tegelijk ook warmteopwekking) van alle drie teelten bij elkaar is 152 kWh/m² elektriciteit nodig. Bovendien is elektriciteit nodig voor belichting (483 kWh/m²) en voor ventilatoren (23 kWh/m²). Dit brengt het totale elektriciteitsverbruik op 657 kWh/m². Dit elektriciteitsverbruik gedeeld door het aantal komkommers geproduceerd in de hele periode (349) komt uit op 1,9 kWh per geproduceerde komkommer.

Resultaten

De doelstelling was om een hoge productie te halen, en energie-efficiënte was geen doel. Deze productiewijze is energie-intensief gebleken. Er werd 3861 uren belicht met geïnstalleerd vermogen van ca 140 W/m². [Het aantal branduren is berekend als gemiddelde van het aantal branduren per dag van streng 1, 2 en 3 gemiddeld, van week 50 tot week 46. Zie geregistreeerde belichtingsuren in Bijlage II].

De warmte afgifte door de lampen is berekend uit de het stroomverbruik. Dit kwam op 1739 MJ/m² warmte, ofwel 56 m³/m² aardgas equivalent (ae/m²). Verwarming leverde 1002 MJ/m² (32 ae/m²). Dit bracht de totale warmte-input van verwarming + belichting op 2741 MJ/m², ofwel 88 ae/m².

Het koudeverbruik was 1625 MJ/m². Elektra is gebruikt voor koudeproductie, belichting en overige apparatuur. Dit laatste is relatief weinig, en daarom is voor 'overig' alleen een schatting van de kosten van ventilatoren meegerekend. Het totaal elektraverbruik kwam dan uit op 657 kWh/m².

Het onderste deel van Tabel 8 geeft de energiecijfers gedeeld door aantal geoogste komkommers (349 per m²). Enkele energiecijfers voor de totale periode worden dan als volgt (/kk = per komkommer): verwarming 2,9 MJ/kk, warmte uit lampen 5 MJ/kk, totale warmte-input van verwarming + belichting 7,9 MJ/kk ofwel 0,25 m³ aardgas equivalent per komkommer.

De totale elektra-input was 657 kWh/m². Dit kan worden omgerekend naar 2363 MJ/m² of 76 aardgas equivalent (ae). Dit is 1,9 kWh/kk of 0,22 ae/kk.

De werkelijke energie-input bestaat uit gas voor verwarming plus elektra voor koeling + lampen + overig (elektra-totaal). Verwarming verbruikte 1002 MJ/m² (278 kWh/m², gelijk aan 32,3 ae/m²). Elektra-totaal is berekend op 657 kWh/m² (2363 MJ/m², of 76 ae/m²). De werkelijke totale energie input is dat 108 ae/m², ofwel 0,31 ae/kk.

In de gangbare komkommerteelt is de productie ca 188 stuks/m² met gasverbruik 40 m³/m² volgens KWIN Vermeulen, 2008). Dit komt overeen met 0,21 ae/kk. Indien wat aardgasequivalenten worden gerekend voor elektra (stel 2 ae/m²) wordt het 0,22 ae/kk. Als de productie hoger wordt verondersteld (200 stuks/m²), wordt het 0,20 ae/kk. Dit betekent dat in het geteste Innokom+ teeltconcept de energie input per komkommer beduidend hoger was dan in een gangbare teelt. De energie-efficiënte is wel verschillend voor de drie verschillende teelten.

Resultaten per teelt

In Tabel 8 worden de gebruikte hoeveelheden koude, warmte en elektra ook per teelt weergegeven. Kosten voor verwarmen en koelen per teelt zijn wat lastig, omdat de kosten van verwarmen in de winter verstopt zitten in de kosten van koelen in de zomer.

De energiecijfers en ook het aantal geoogste komkommers per teelt verschilden sterk tussen de drie teelten. De 1^e teelt was in winter en vroege voorjaar, en vereiste daarom veel energie voor verwarming en belichting. De behoefte aan warmte uit conditionering werd getemperd door een energiescherm en door de grote hoeveelheid warmte van de lampen. Elektriciteitsgebruik voor belichting was erg hoog. Mede doordat de productie in de 1^e teelt het laagste was, was de energie-input per geproduceerde komkommer het hoogst.

De 2^e teelt (in voorjaar/zomer) verbruikte minder warmte en belichting, maar vrij veel koeling. Doordat deze teelt de meeste komkommers produceerde, viel de energie-input per komkommer het laagste uit. Dit is begrijpelijk aangezien dit een zomerteelt was.

In de 3^e teelt (nazomer/herfst) werd veel warmte, koude en elektriciteit verbruikt, maar werden ook veel komkommers geproduceerd. De energiecijfers liggen daardoor tussen die van de 1^e en 3^e teelt.

Tabel 8. Verbruik van warmte, koude en elektriciteit in de Innokom+ teelt met conditionering en belichting, per m² en per geoogste komkommer. Resultaten per teelt en voor de totale periode van 11 december 2007 tot 11 november 2008. Energiedata verkregen uit registratie van IC (zie Bijlagen II en III).

	1 ^e teelt	2 ^e teelt	3 ^e teelt	totaal
	week 50-13	week 14-31	week 32-46	week 50-46
verwarming en koeling				
a1 verwarming (MJ/m ²)	244	330	429	1002
a2 verwarming (kWh/m ²)	68	92	119	278
a3 verwarming (equivalent m ³ gas/m ²)	7,9	10,6	13,8	32,3
b1 koeling (MJ/m ²)	95	852	678	1625
b2 koeling (kWh/m ²)	26,4	237	188	451
b3 elektra voor koeling (kWh/m ²)	8,9	79,6	63,3	152
belichting				
d belichtingsduur (uren)	1852	753	1256	3861
e1 warmte uit lampen (MJ/m ²)	834	339	566	1739
e2 warmte uit lampen (equivalent m ³ gas/m ²)	26,9	10,9	18,3	56,1
f elektra voor lampen (kWh/m ²)	232	94	157	483
overige				
g elektra voor ventilatoren, geschat (kWh/m ²)	1,3	12,1	9,6	23,0
totalen				
h1 a1+e: warmte uit verwarming+lampen (MJ/m ²)	1078	669	995	2741
h2 h1x0,277: idem (kWh/m ²)	299,5	186	276	761
h3 h1/31 warmte uit verwarming+lampen (m ³ gas/m ²)	34,8	21,6	32,1	88,4
j b3+f+g: elektra koeling+lampen+ventil (kWh/m ²)	241	186	230	657
productie				
k stuks/m ² (van steenwolmatten 7,5 en 10 cm)	79	146	124	349
per geoogste komkommer (/kk)**				
m1 a1/k: verwarming (MJ/kk)	3,08	2,26	3,47	2,88
m2 a3/k: verwarming (equivalent m ³ gas/kk)	0,10	0,07	0,11	0,09
n e/k: warmte uit lampen (MJ/kk)	10,52	2,32	4,57	4,99
o1 h1/k: warmte verwarming+lampen (MJ/kk)	13,60	4,57	8,04	7,87
o2 h2/k: warmte verwarming+lampen (kWh/kk)	3,78	1,27	2,23	2,18
o3 h3/k: warmte verwarming+lampen (m ³ gas/kk)	0,44	0,15	0,26	0,25
p f/k: elektra voor lampen (kWh/kk)	2,92	0,64	1,27	1,38
q j/k: elektra koeling+lampen+ventil (kWh/kk)	3,05	1,27	1,86	1,89

* Warmtepomp COP 3,5 voor koude en 4,5 voor warmte, gekoppeld aan opslag met 85% rendement.

** /kk = per komkommer.

7 Discussie

Zeer hoge productie

De totale productie in deze proef van 'Totaalconcept komkommerteelt' was 148 kg/m², of 151 kg/m² inclusief klasse II vruchten. Deze bijzonder hoge productie is te danken aan een heel scala van factoren, waaronder:

- belichting;
- extra verhoogd CO₂-gehalte door semi-gesloten teelt;
- hoge draad systeem en daardoor goede lichtonderschepping;
- hoge plantdichtheid;
- regelmaat in gewasverzorging;
- uitstekende beheersing van plantbalans, daardoor gelijkmatige plantbelasting;
- voorkómen van abortie;
- vermijden van extreme temperaturen door geconditioneerd telen;
- goed instellen van watergift en EC;
- schoon starten in de 2^e teelt met eenpitters; aanwezigheid van één wortel per stengel vergemakkelijkt de wateropname;
- voorkómen van ziektes en fysiogene afwijkingen. Bladrandjes en broeikoppen zijn vermeden door alert te zijn op alle klimaatfactoren die dit beïnvloeden.

Verdubbeling mogelijk?

Het resultaat van deze proef was uitstekend, gezien de 81% verhoging tov de basisproductie. De vraag is of de productie nog hoger had kunnen zijn met gebruik van deze kasuitrusting, maw of verdubbeling mogelijk was geweest in deze proef. Zeer hoge productie kan alleen worden gerealiseerd als er vrijwel niets fout gaat. In de proef zijn enkele tegenslagen geweest, nl:

- Eind maart/begin april was de kas 8 dagen niet 'groen'. Als de 2^e teelt zou zijn tussengeplant, zou meer dan 8 dagen (waarschijnlijk 2 weken) tijdswinst behaald zijn.
- De laatste oogst was op 11 november. Er zou 2 weken langer geproduceerd kunnen zijn door te eindigen op 25 november. Dan zou nog genoeg tijd (2 weken) zijn geweest om schoon te starten. Dit zou ook wel de energie-input verder verhoogd hebben.
- Plantuitval door onbekende oorzaak heeft productie gekost in de 1^e teelt en een beetje in de 2^e teelt.
- De vernevelingsinstallatie werkte pas vanaf 15 januari, waardoor de luchtvochtigheid te laag was in de eerste 5 weken van de 1^e teelt.
- De rassenkeuze voor de 1^e teelt had achteraf gezien beter kunnen vallen op Troika. De vruchten van het gebruikte ras (Sheila) groeiden in januari/februari niet mooi uit, wat gewicht en kwaliteit heeft gekost.

Nog verdere verbetering mogelijk?

Behalve door het voorkómen van tekortkomingen, kan de productie misschien nog verder verhoogd worden door:

- Nog betere oogstfrequentie: iedere dag oogsten ipv 6 dagen per week, of tweemaal daags?
- Hogere plantbelasting, aangepast aan de condities, ipv gestandaardiseerde dunning.

Aan de kostenkant valt wellicht te bezuinigen. Te denken valt aan:

- Koeling optimaliseren, dwz misschien iets minder koelen dan nu gedaan is.
- Belichting in de zomer verminderen.

Plantbelasting

De juiste balans tussen vegetatief en generatief is heel belangrijk. Vruchtdunning beïnvloedt de plantbalans. In deze proef is om-en-om gedund. Doordat de assimilatenvraag mooi in balans was, gingen de assimilaten naar de vruchten en trad er geen abortie op, wat uniek is voor een hoge draad komkommerteelt. Het streven was een vruchtgewicht

van 420 gram. Het schommelde tussen 375 en 474 gram en was gemiddeld 425 gram. Bij minder dunnen zouden meer stuks gesneden zijn, maar vruchtgewicht zou waarschijnlijk te laag geworden zijn. Deze gewichtsklasse had een gunstige middenprijs. Het is de mogelijk dat de plantbelasting toch wat hoger had kunnen zijn in dit teeltconcept.

Regelmaat in gewasverzorging

In deze kleine afdeling is het gelukt om altijd op tijd de werkzaamheden in het gewas uit te voeren. Bij gewasverzorging lag de nadruk op regelmaat: laten zakken, knippen, pluizen, vruchtdunnen, bladsnijden en ook oogsten gebeurde volgens planning. Dit is essentieel in hogedraadteelt komkommer, maar is soms moeilijk te realiseren op een grootschalig praktijkbedrijf. De kwaliteit van gewasonderhoud is mogelijk één van de belangrijkste oorzaken van productie verschillen tussen bedrijven, en heeft ook bijgedragen aan de hoge productie in deze proef. Dit belang van regelmatige gewasverzorging wordt nog wel eens onderschat.

In de oogstfasen is steeds 6 maal per week geoogst. Op zaterdag werd iets later op de dag begonnen en kleiner gesneden, zodat oogsten op zondag kon worden overgeslagen. Mogelijk zou dagelijks oogsten, of zelfs twee maal daags oogsten, nog hogere productie geven.

Praktijk en theorie

Deze proef heeft aangetoond dat de theoretische benadering over de invloed van licht en CO₂ op de productie klopt in de praktijk. Op basis hiervan kunnen we adviseren hoe telers dit kunnen toepassen in de huidige systemen. Telers die de theorie goed kennen, kunnen gemakkelijker telen in een kas waar je alles beter kunt regelen dan in een kas met traditionele teelt. In een semi-gesloten kas heeft de teler alles in de hand. Daarnaast zijn er ook nog voordelen op het gebied van de gewasbescherming. Ziekten en plagen blijven op een laag niveau. Er komen minder insecten naar binnen en schimmels lijken minder kans te krijgen doordat er minder klimaatwisselingen zijn.

Telers zijn huiverig voor luchtbeweging langs de planten. Deze proef heeft laten zien dat luchtbeweging op deze manier geen negatief effect heeft. De luchtbeweging was langzaam en niet op de vruchten gericht, en het klimaat was goed.

Saldo

Het verbruik aan (warmte en koude-)energie en elektriciteit was zeer hoog. Saldoberekeningen wijzen uit dat deze teeltwijze net niet kostendekkend was bij de gehanteerde uitgangspunten (zie Bijlage IV). Met de bovenbeschreven verbeterpunten had de productie hoger kunnen zijn en de kosten lager, waardoor het saldo beter was uitpakkt.

8 Referenties

Arkesteijn, M., 2008.

Geconditioneerde en belichte teelt geeft 335 komkommers per m². Onder Glas, November 2008, p. 62-63.

Esmeijer, M. (red.), 1999.

CO₂ in de glastuinbouw. PPO Naaldwijk/Aalsmeer (thans Wageningen UR).

Dueck, T., 2008.

Lezing Noorderlicht. Anthura, 2008.

Kok, Lion de, 2008.

Productie komkommer valt te verdubbelen. Groenten & Fruit, week 50, p. 18-19.

Kok, Lion de, 2009.

Teelt komkommer valt op door regelmaat en gemak. Groenten & Fruit, week 1, p. 16-17.

Marcelis, 1994.

Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. Proefschrift, Wageningen University.

Nederhoff, E., 1994.

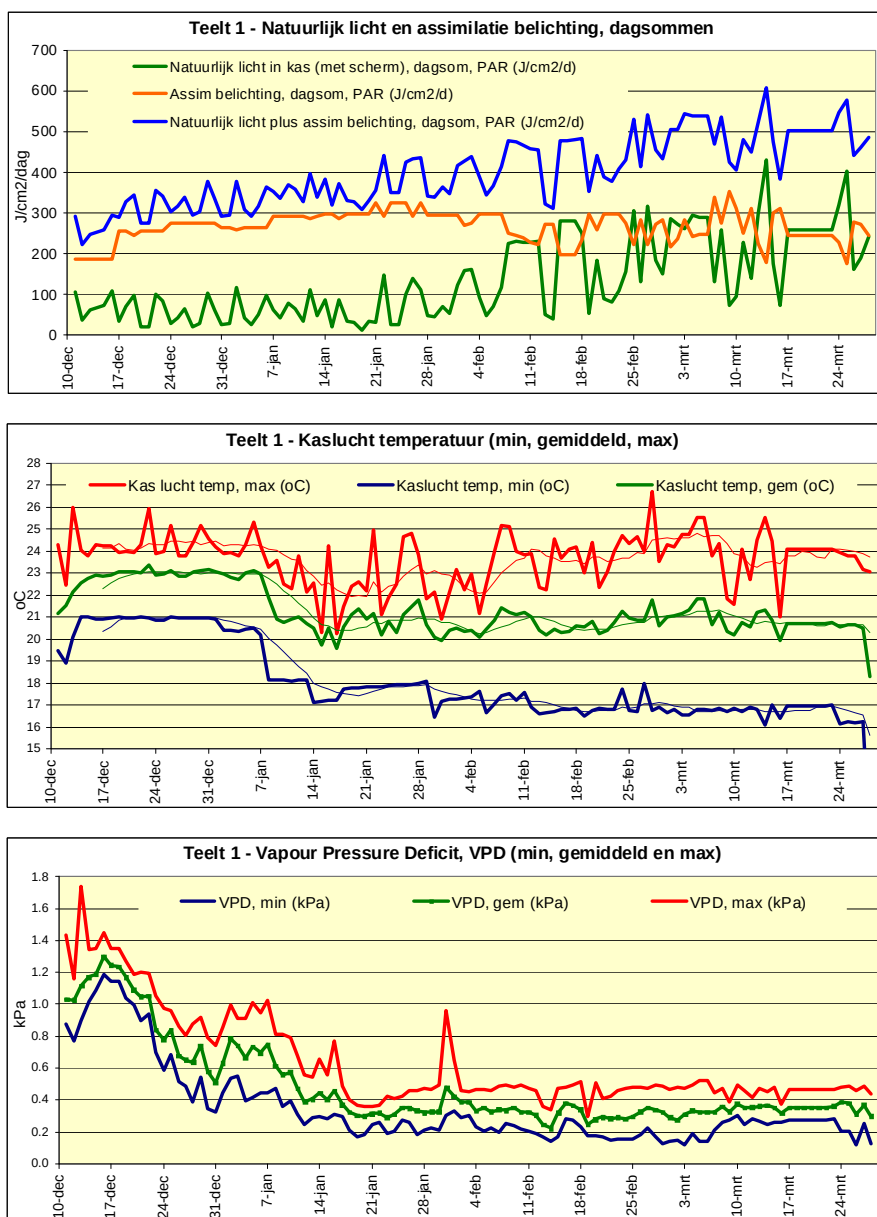
Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Proefschrift Wageningen University. 214 p.

Vermeulen, P., 2008.

Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2008 (KWIN), Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk.

Bijlage I.

Klimaatdata per teelt

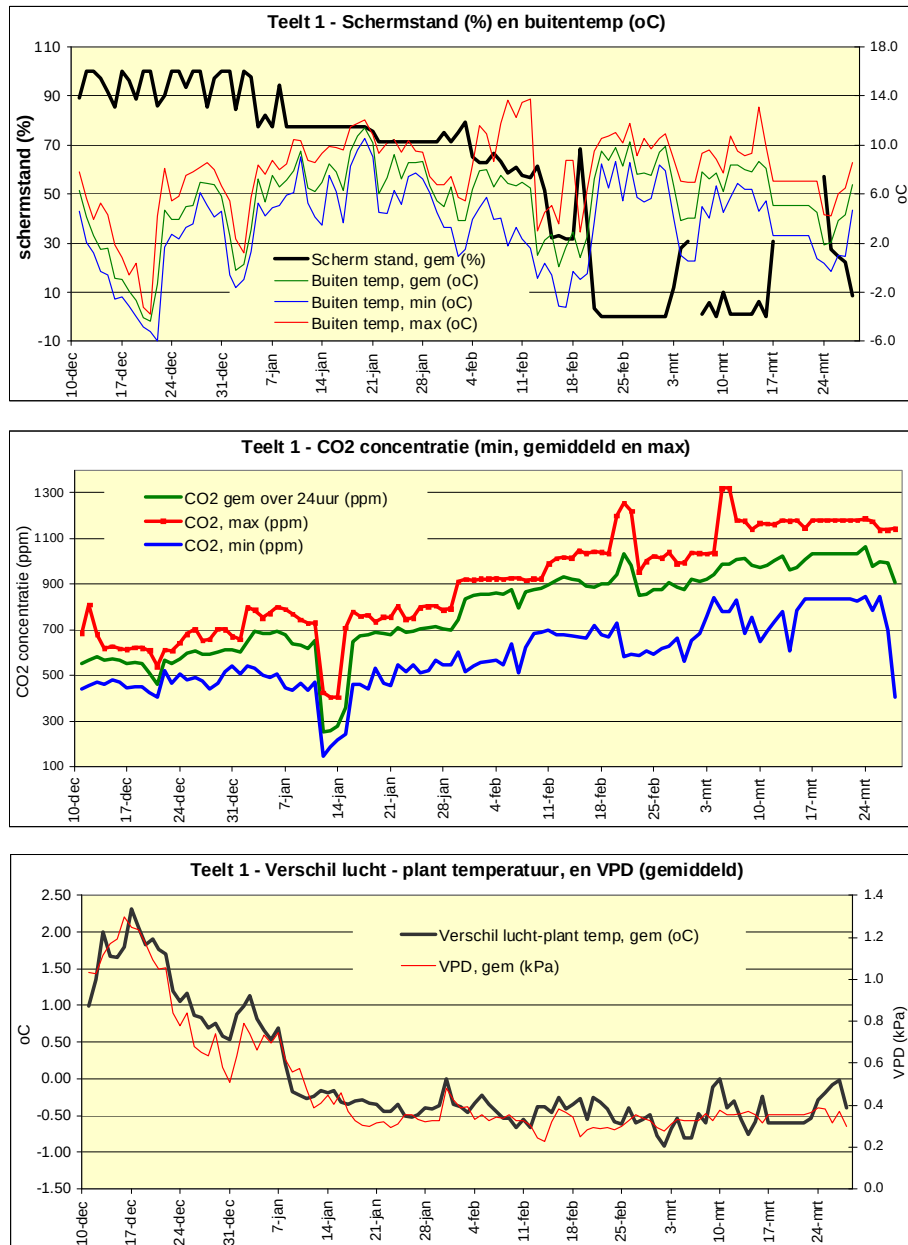


Figuur I-1. Teeltcondities in de 1^e teelt. (a) Natuurlijk licht en additioneel groeilicht; (b) kasluchttemperatuur; (c) vochtgehalte van kaslucht.

Licht. In de eerste 8 weken van de 1^e teelt was het natuurlijk lichtniveau erg laag. Belichting was vele malen hoger. Totale PAR in de kas bedroeg 300-400 J/cm²/dag (ca de helft van dat in de 2^e teelt). In februari nam het natuurlijke licht toe, en werd belichting verminderd.

Kasluchttemperatuur lag gemiddeld op 23°C in de eerste 4 weken, en werd toen verlaagd naar 20-21°C. De nachttemperatuur begon op 21°C en werd stapsgewijs verlaagd naar 17°C in februari. Dag- en nachttemperatuur kwamen toen verder uit elkaar te liggen (ca 7°C).

VPD was te hoog in de eerste weken door het nog niet functioneren van vernevelingsinstallatie. Daarna werd de VPD geregeld in een tamelijk smalle band van ca 0,2-0,5 kPa.

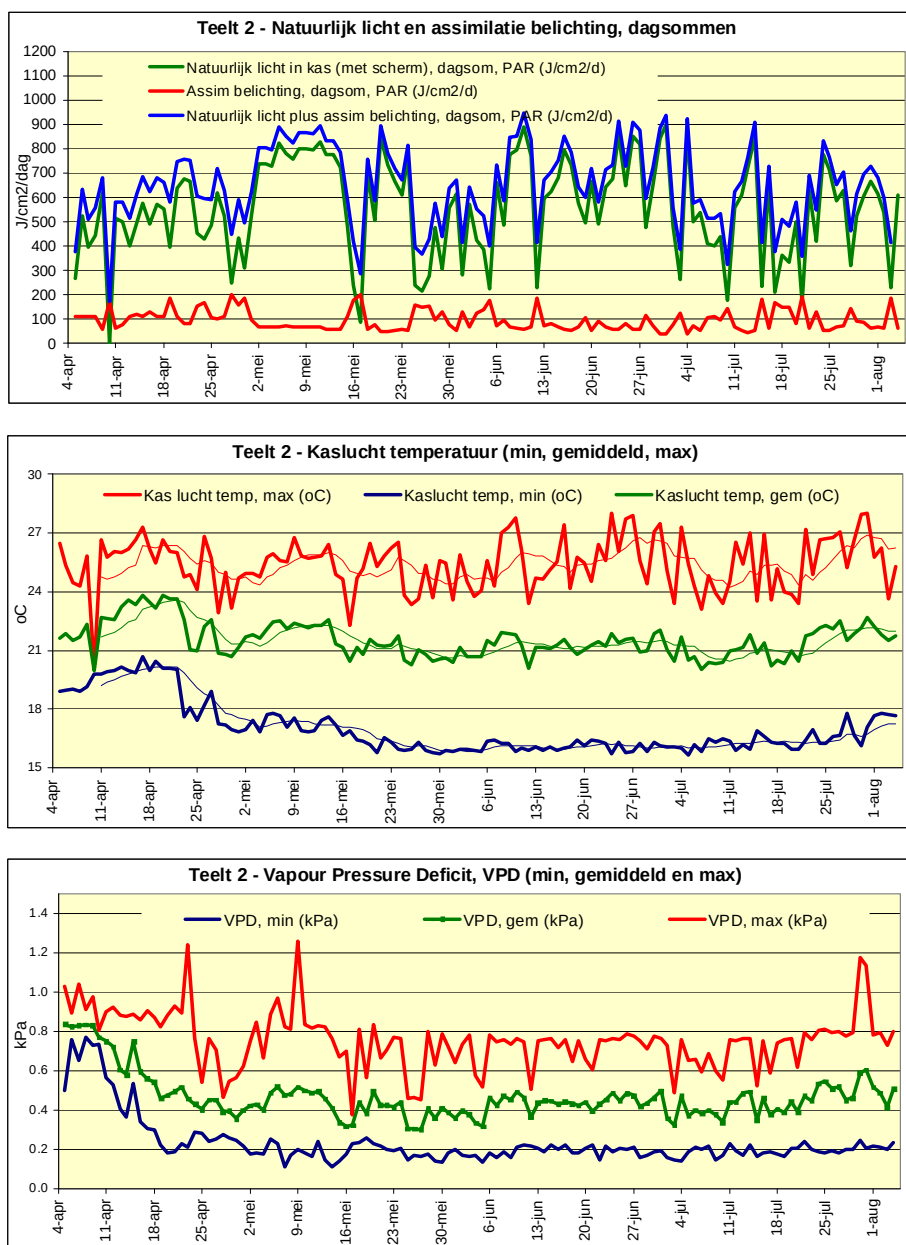


Figuur I-2. Vervolg teeltcondities in 1^e teelt. (a) Schermstand & bijbehorende buitentemperatuur; (b) CO₂-concentratie; (c) luchttemperatuur minus planttemperatuur & bijbehorende VPD.

Het scherm veel gebruikt tot begin februari, en daarna afgebouwd. Vanaf midden februari is het weinig gebruikt (hoewel de buitentemperaturen behoorlijk laag waren).

CO₂-concentratie overdag lag op ca 600-800 ppm in december en januari; op 900-1000 ppm in februari en 1100-1200 ppm in maart. sNachts was het vrij hoog: > 700 ppm in maart.

Temperatuur van de lucht was ca 0,5-2°C hoger dan die van de plant in december. Na half januari waren de planten gemiddeld 0,5°C warmer dan de lucht. De lijn verloopt parallel met de lijn voor VPD van de kaslucht (beide zijn gemiddelden voor dag en nacht).

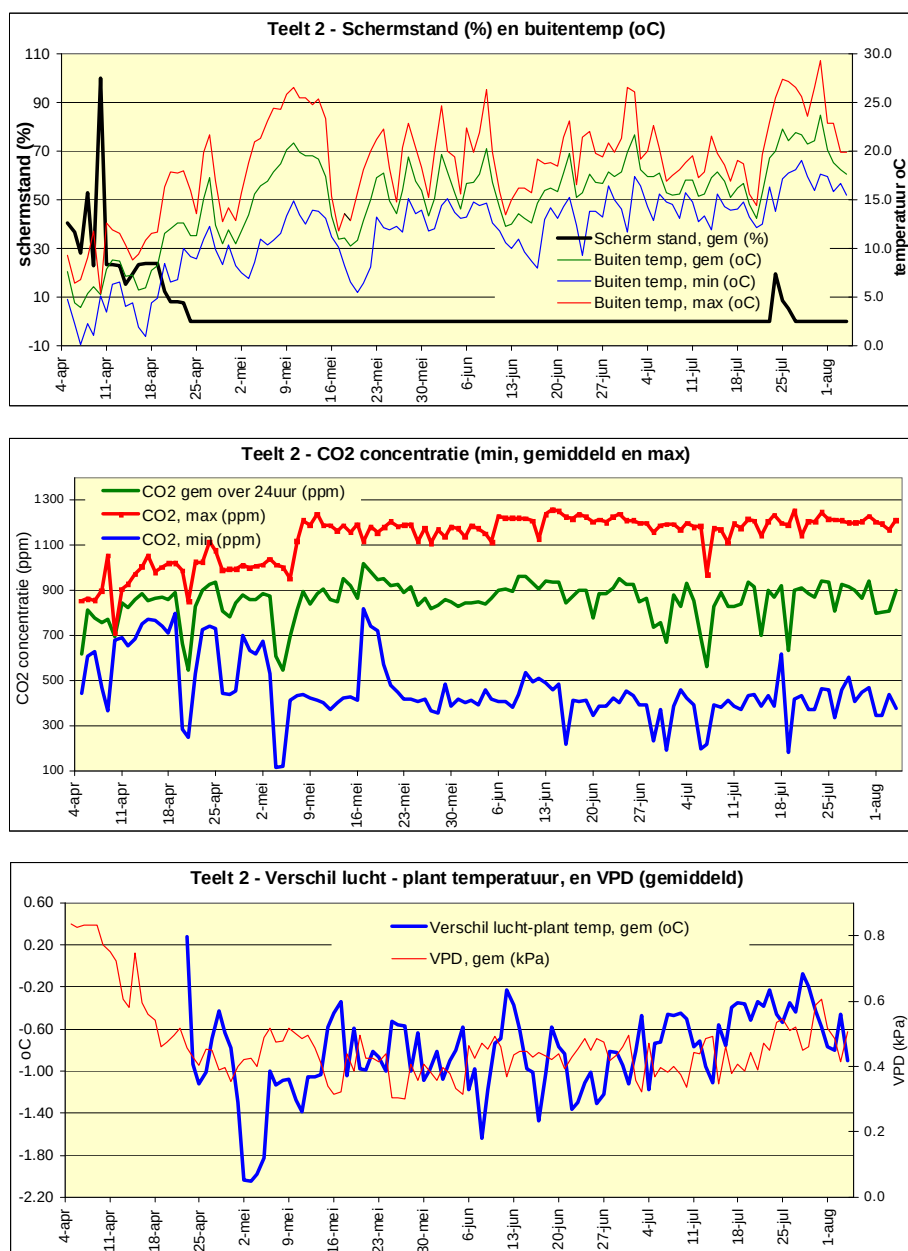


Figuur I-3. Teeltcondities in de 2^e teelt. (a) Natuurlijk licht en additioneel groeilicht; (b) kaslucht temperatuur; (c) vochtgehalte van kaslucht.

Licht. Vanwege het hoge niveau van natuurlijk licht in deze periode werd belichting matig toegepast. Het niveau PAR in de kas was ongeveer dubbel het niveau in de 1^e teelt.

Kasluchttemperatuur werd aanvankelijk gehandhaafd op ca 22-24°C gemiddeld, en later op 21°C. De nachttemperatuur werd verlaagd tot ca 16°C in mei. De dagtemperatuur kende pieken van boven de 27°C.

VPD was aanvankelijk ca 0,8 kPa maar lag daarna op 0,3-0,5 en later 0,6 kPa. Er waren een paar uitschieters tot 1,2 kPa.

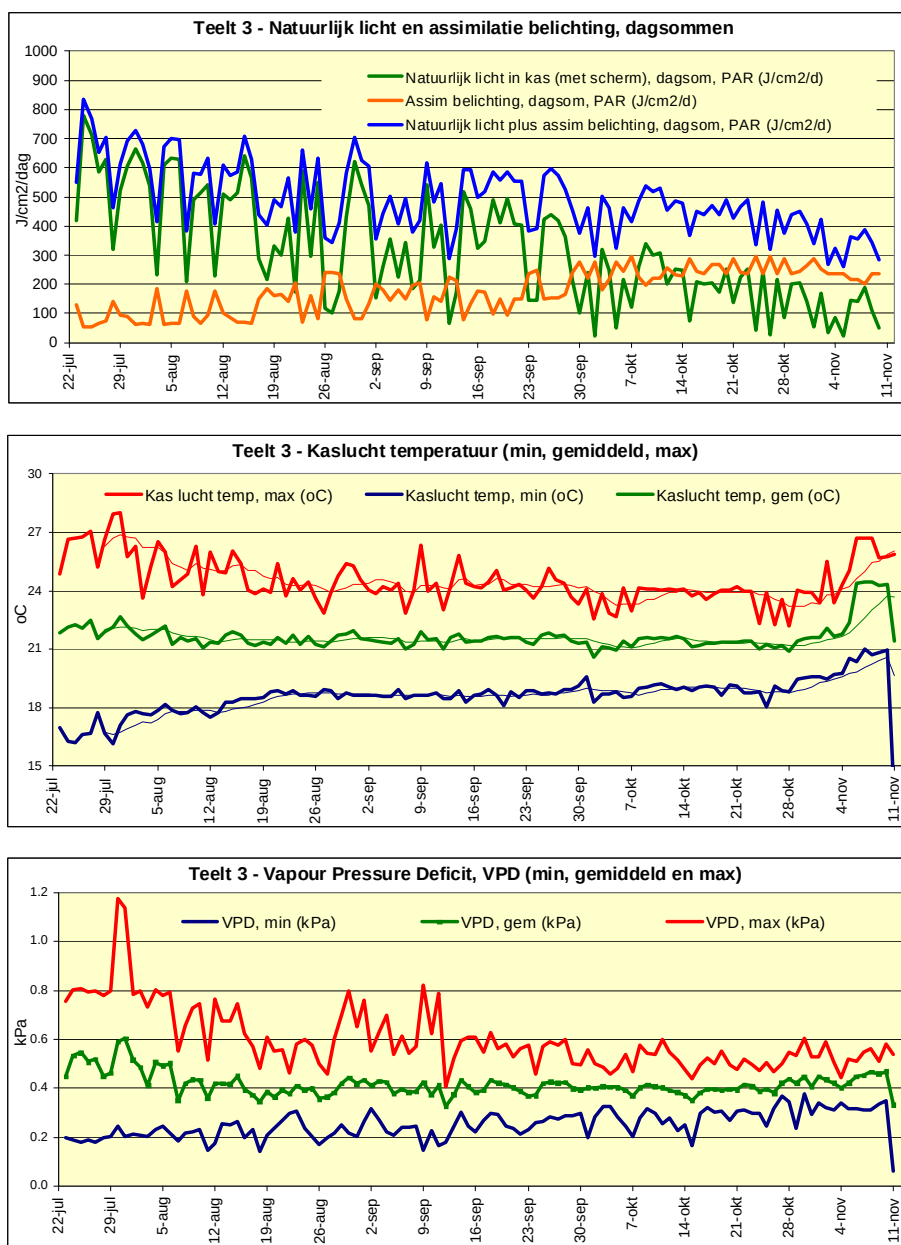


Figuur I-4. Vervolg teeltcondities in 2^e teelt. (a) Schermstand & bijbehorende buitentemperatuur; (b) CO₂-concentratie; (c) luchttemperatuur minus planttemperatuur & bijbehorende VPD.

Het scherm werd alleen gebruikt in de eerste paar weken vanwege de lage buitentemperatuur en de jonge plantleeftijd. Eind juli werd het scherm ook even gesloten ('zomerschermen').

CO₂-concentratie lag overdag meestal op 900-1000 ppm en vanaf 6 mei vaak op 1100-1200 ppm. 's Nachts was de CO₂ eerst 600-700 ppm, maar vanaf mei ca 400 ppm. Planttemperatuur was overdag vaak hoger dan de luchttemperatuur, en 's nachts ongeveer gelijk.

Planttemperatuur. Gemiddeld over het etmaal was het gewas gemiddeld 0,2-1,4°C warmer dan de lucht na de eerste week van mei. De lijn houdt gelijke tred met de VPD lijn.

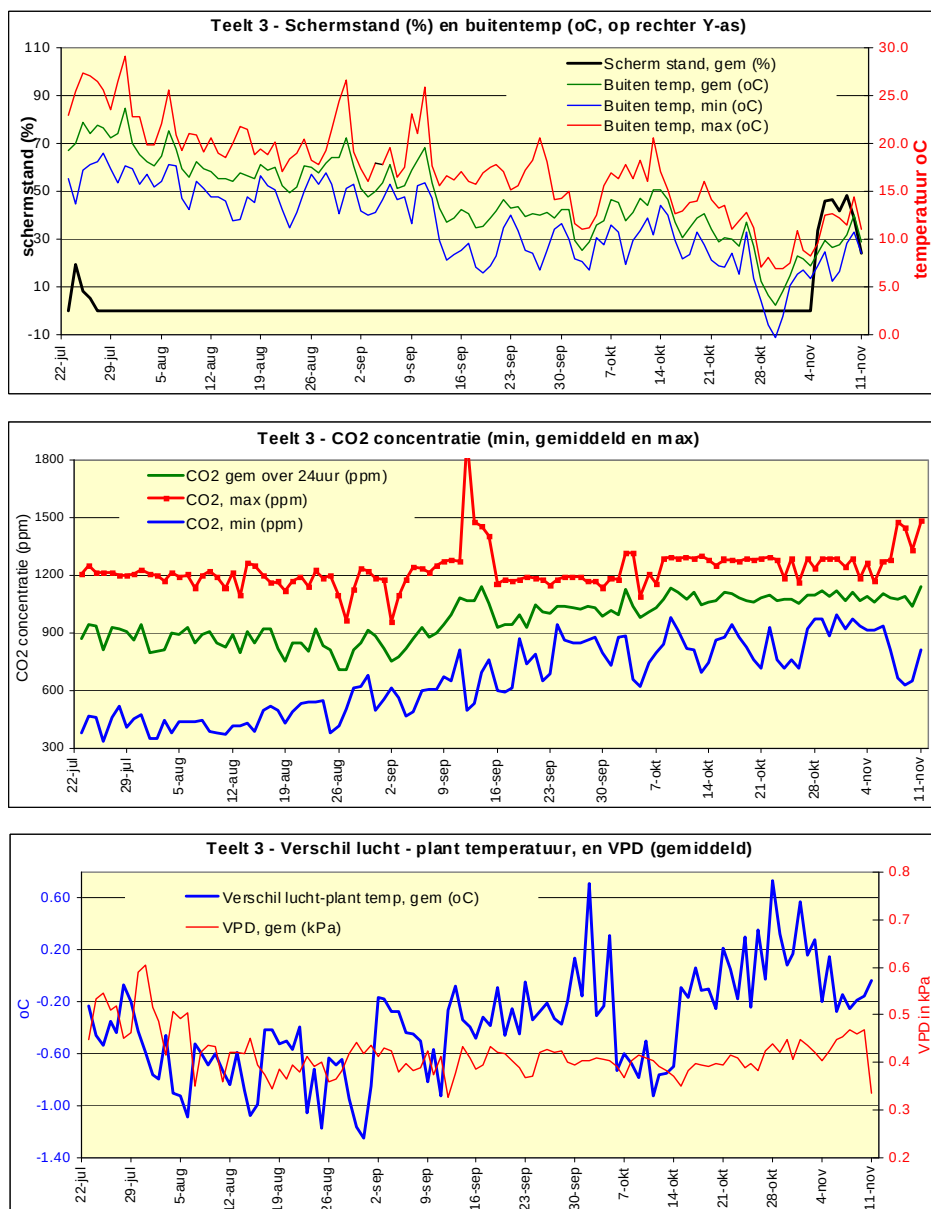


Figuur I-5. Teeltcondities in de 3^e teelt. (a) Natuurlijk licht en additioneel groeilicht; (b) kasluchttemperatuur; (c) vochtgehalte van kaslucht.

Het natuurlijke licht nam langzaam af, en de belichting werd langzaam opgevoerd. Het totale niveau van PAR in de kas nam daardoor minder af dan het natuurlijke licht.

Kasluchttemperatuur was bij aanvang gemiddeld ca 22°C. Later werd het 21,5°C. Nachttemperatuur was eerst 17°C, toen 18,5-19; op het eind 19-21°C.

VPD was aanvankelijk 0,4-0,6 kPa, en daarna tamelijk stabiel op ca 0,4 kPa. Er waren wat uitschieters naar boven eind juli en in september.



Figuur I-6. Vervolg teeltcondities in 3^e teelt. (a) Schermstand & bijbehorende buitentemperatuur; (b) CO₂-concentratie; (c) luchttemperatuur minus planttemperatuur & bijbehorende VPD.

Schermen gebeurde alleen in de eerste en laatste week. De buitentemperatuur was meestal vrij hoog (maar eind oktober was het koud en had het scherm meer gesloten kunnen worden).

CO₂-concentratie lag eerst gemiddeld op 900 ppm en later boven 1000 ppm. Overdag was het vaak 1200 ppm of hoger. Opvallend is de hoge waarde 's nachts vanaf midden september.

Planttemperatuur was eerst hoger dan de luchttemperatuur (gemiddeld over het etmaal). In oktober en november was het soms omgedraaid. In dit geval heeft deze lijn niet helemaal hetzelfde verloop als de VPD lijn, in tegenstelling tot bij de 1^e en 2^e teelt.

Bijlage II.

Belichtingsuren

Tabel II-1. Belichtingsuren per streng geregistreerd door het Improvement Centre. De laatste kolom is het aantal uren (in decimale eenheden) gemiddeld per streng.

Week	Streng 1 uur:min	Streng 2 uur:min	Streng uur:min	Gemiddeld uren (decimaal)
50 (2007)	6:11	8:01	8:06	7,4
51	16:34	16:51	16:34	16,7
52	17:41	18:16	17:59	18,0
1 (2008)	17:07	17:10	17:17	17,2
2	19:11	18:58	19:05	19,1
3	19:25	19:19	19:19	19,3
4	20:36	20:38	20:39	20,6
5	18:46	18:55	18:46	18,8
6	17:58	17:51	17:58	17,9
7	14:52	14:49	14:54	14,9
8	18:21	18:24	18:19	18,3
9	16:14	16:12	16:16	16,2
10	18:34	18:36	18:39	18,6
11	17:44	17:40	17:40	17,7
12	15:43	16:19	15:46	16,0
13	8:06	8:02	7:54	8,0
14	2:06	1:44	2:15	2,0
15	5:31	6:52	7:25	6,5
16	9:05	7:39	7:50	8,2
17	7:30	7:32	7:30	7,5
18	7:48	7:52	7:50	7,8
19	4:26	4:24	4:21	4,4
20	6:44	6:46	6:48	6,8
21	4:35	4:39	4:37	4,6
22	7:30	7:28	7:26	7,5
23	7:02	7:00	7:04	7,0
24	5:35	5:37	5:33	5,5
25	4:41	4:43	4:45	4,7
26	4:41	4:39	4:43	4,7
27	4:16	4:12	4:14	4,3
28	5:46	5:50	5:48	5,8
29	7:52	7:56	7:54	7,8
30	6:02	5:53	5:58	6,0
31	6:27	6:36	6:32	6,5
32	5:50	5:46	5:48	5,8
33	6:41	6:45	6:43	6,8
34	10:14	10:10	10:12	10,2
35	10:23	10:25	10:28	10,5
36	11:11	11:09	11:13	11,2
37	10:14	10:16	10:12	10,2

Week	Streng 1 uur:min	Streng 2 uur:min	Streng uur:min	Gemiddeld uren (decimaal)
38	9:03	9:07	9:05	9,1
39	11:36	11:37	12:06	11,9
40	15:54	15:59	15:19	15,5
41	15:14	15:30	15:51	15,5
42	16:38	16:34	16:18	16,5
43	17:08	17:10	16:59	17,1
44	16:49	16:54	17:11	16,9
45	19:07	19:01	19:02	19,1
46 (2008)	3:24	3:18	3:10	3,3
Gemiddeld uren/week				551,6
Totaal aantal uren (= uren/week x 7)				3861

Bijlage III.

Warmte en kou gebruik

Tabel III-1. Meterstanden geregistreerd door het Improvement Centre, en het berekende gebruik.

Week	Meterstand warmte (GJ)	Meterstand kou (GJ)	Gebruik warmte (GJ)	Gebruik kou (GJ)	Opmerking
50	1166	1336	36	0	geschat
51	1203	1336	37	0	
52	1238	1336	35	0	
1	1260	1336	22	0	
2	1288	1336	28	0	geïnterpoleerd
3	1297	1336	9	0	
4	1303	1336	7	0	
5	1310	1336	7	0	
6	1324	1336	14	0	geïnterpoleerd
7	1334	1343	10	7	
8	1344	1349	10	7	
9	1345	1356	1	7	
10	1350	1368	5	12	
11	1355	1387	5	19	
12	1367	1409	12	22	
13	1374	1431	7	22	
14	1379	1443	5	12	
15	1383	1453	4	10	
16	1384	1468	1	15	
17	1385	1476	1	8	
18	1419	1498	34	22	
19	1464	1512	45	14	
20	1524	1546	60	34	
21	1542	1599	18	53	
22	1557	1656	15	57	
23	1570	1713	13	57	
24	1586	1797	16	84	
25	1611	1871	25	74	
26	1627	1930	16	59	
27	1645	2020	18	90	
28	1660	2090	15	70	
29	1679	2156	19	66	
30	1698	2202	19	46	
31	1704	2283	6	81	
32	1712	2354	8	71	
33	1724	2417	12	63	
34	1750	2476	26	59	
35	1773	2541	24	65	
36	1797	2609	24	68	
37	1825	2651	28	42	
38	1857	2708	32	57	

Week	Meterstand warmte (GJ)	Meterstand kou (GJ)	Gebruik warmte (GJ)	Gebruik kou (GJ)	Opmerking
39	1884	2750	27	42	
40	1916	2795	32	45	
41	1954	2827	38	32	
42	1954	2827	32	44	verdeeld over 2 weken
43	2019	2915	33	44	verdeeld over 2 weken
44	2057	2935	38	20	
45	2097	2948	40	13	
46	2133	2961	36	13	
Totaal			1002	1625	

Bijlage IV.

Saldoberekeningen

Saldoberekeningen

Dit onderzoek heeft aangetoond dat deze methode (Totaalconcept komkommerteelt, afgekort Innokom+) een zeer hoge productie oplevert, maar ook erg energie-intensief is. De vraag of de opbrengsten hoog genoeg zijn om de kosten terug te verdienen, kan worden beantwoord mbv saldoberekeningen, dwz berekening van het netto bedrijfsresultaat van dit teeltconcept. Ter vergelijking is ook een saldoberekening gemaakt van een standaard komkommer teelt volgens KWIN [Vermeulen, 2008]. De resultaten staan in Tabellen IV-1 en IV-2 op de volgende pagina's. In deze saldoberekening zijn de belangrijkste kosten ingevoerd zoals energie, elektriciteit, CO₂, arbeid, vrachtkosten, productiemiddelen (inclusief plantmateriaal, substraat), en ROA (rente, onderhoud afschrijving) op de investeringen. Tevens worden de opbrengsten berekend uit behaalde productie per week vermenigvuldigd met gemiddelde prijs van komkommer per week (ook uit KWIN, Vermeulen, 2008).

Uitgangspunten

De energieverbruikcijfers worden omgerekend naar euro's, ongeveer zoals in de voorgaande paragraaf.

- In een geconditioneerde teelt wordt alle koude geproduceerd met een warmtepomp met COP 3,5 voor koude en COP 4,5 voor warmte.
- Opslagrendement is 85% verondersteld.
- Alle elektriciteit wordt ingekocht en er is geen WKK aanwezig (in Innokom+ en referentie).
- Elektriciteitsprijs is nodig voor belichting, warmtepomp en ventilatoren. De gemiddelde prijs is gesteld op € 0,07/kWh.
- Bij het Innokom+ systeem wordt warmte verkocht aan derden. Aangenomen is dat hiervoor het gangbare aardgastarief wordt ontvangen (commodity-prijs à € 0,27/m³).
- Gas capaciteit was nul in de Innokom+ teelt, en 125 m³/uur/ha in de referentieteelt.
- Bij Innokom+ moet CO₂ worden ingekocht (20 kg/m²). Bij de referentie teelt komt CO₂ uit aardgas die voor verwarming wordt gebruikt.
- Investeringskosten van de conditionering (warmtepomp, aquifer, luchtbehandelingskasten e.d.) zijn gesteld op € 60,- per m². Voor rente, onderhoud en afschrijving is 10% gerekend.
- Investeringskosten van de lampen zijn gesteld op € 300,- per armatuur inclusief bekabeling, aansluiting, aanleg. Rente, onderhoud en afschrijving is 20%.
- Plantkosten, bemestingskosten en dergelijken zijn gelijk verondersteld voor Innokom+ en referentie teelt.
- Arbeidskosten stijgen met de productie, maar minder dan evenredig.
- Opbrengstkosten per periode van 4 weken is genomen uit KWIN 2008.
- Gemiddeld vruchtgewicht was 425 gram.

Saldoberekeningen - resultaten

Zie de saldoberekeningen op de volgende twee pagina's. De tabellen laten zien dat, bij de gekozen aannames, het berekende netto bedrijfsresultaat € 7,90 negatief is voor het geteste systeem (Innokom+ met belichting enz) en € 5,39 negatief voor de referentie. Dus het verschil is € 2,51 in het nadeel van Innokom+. Dit (betrekkelijk geringe) verschil wordt vooral veroorzaakt door:

- Elektriciteitsverbruik.
- Rente, onderhoud en afschrijving.
- Arbeidskosten.
- CO₂ moet worden ingekocht.

Er zijn ook voordelen, maar die kunnen de nadelen niet compenseren. Voordelen zijn:

- Hoge productie.
- Warmte wordt geleverd in plaats van gas ingekocht.
- Indien er wel een WKK aanwezig zou zijn, valt de kostprijs van elektriciteit lager uit.
 - Bij Innokom+ mét WKK wordt veel meer warmte aan derden geleverd.
 - Bij de referentieteeelt mét WKK worden de netto verwarmingskosten lager.
- Iedere cent per kWh verschil betekent bijna € 7/m² verschil in netto bedrijfsresultaat.

Tabel IV-1. Saldoberekening Innokom+ systeem met belichting & geconditioneerd telen.

INNOKOM+ TEELTSYSTEEM (KOMKOMMER)				
OPBRENGSTEN				
PERIODE	AANTAL (stuks)	PRIJS OPBRENGST (€) (€)		ARBEID (/1000 m²)
1	12.8	0.62	€ 7.95	93
2	23.1	0.50	€ 11.56	86
3	33.1	0.40	€ 13.23	114
4	9.8	0.26	€ 2.55	43
5	34.6	0.22	€ 7.62	118
6	40.0	0.19	€ 7.59	201
7	45.1	0.16	€ 7.22	149
8	31.9	0.26	€ 8.30	110
9	32.0	0.38	€ 12.14	175
10	35.1	0.19	€ 6.67	120
11	36.1	0.26	€ 9.39	126
12	14.9	0.35	€ 5.23	65
13			€ 0.00	10
	-----		-----	-----
TOTAAL OPBRENGSTEN (A)	349		€ 99.46	1412
TOEGEREKENDE KOSTEN				
SALDOPOST	HOEVEELHEID	PRIJS	BEDRAG	
Plantmateriaal 1	1.5	1.40	€ 2.10	
Plantmateriaal 2	1.5	0.85	€ 1.28	
Plantmateriaal 3	1.5	0.85	€ 1.28	
Substraat eenmalig			€ 0.85	
Warmtelevering (m3)	-34.3	0.27	-€ 9.27	
Elektriciteit (belichting) kWh	498.0	0.07	€ 34.86	
Elektriciteit (warmtepomp) kWh	151.7	0.07	€ 10.62	
Elektriciteit (ventilator) kWh	23.0	0.07	€ 1.61	
Vloeibare CO2	20.0	0.10	€ 2.00	
Gewasbescherming			€ 1.20	
Bemesting			€ 1.10	
Overige materialen			€ 0.40	
Werk derden			€ 0.20	
Vrachtkosten	348.6	0.004	€ 1.39	
Afzetkosten	91.51	2.75%	€ 2.52	
Afvoer folie + gewas			€ 0.60	
Rente omlopend vermogen	91.51	1.00%	€ 0.92	
Kosten teeltarbeid	1.41	18.00	€ 25.41	
Kosten algemeen			€ 2.00	
Rente onderhoud afschrijving (ROA)			€ 12.00	
ROA conditionering	60.00	10%	€ 6.00	
ROA belichting	40.00	20%	€ 8.00	
			+-----	
TOTAAL TOEGEREKENDE KOSTEN (B)			€ 107.06	
NETTO BEDRIJFS RESULTAAT (A - B)	€		-€ 7.90	

Tabel IV-2. Saldoberekening van referentie - standaard komkommerteelt.

REFERENTIE TEELT KOMKOMMER (3 plantingen per jaar)				
OPBRENGSTEN				
PERIODE	AANTAL (stuks)	PRIJS (€)	OPBRENGST (€)	ARBEID (/1000 m ²)
1				55
2	6	0.50	€ 3.00	35
3	15	0.40	€ 6.00	60
4	22	0.26	€ 5.72	80
5	27	0.22	€ 5.94	95
6	13	0.19	€ 2.47	120
7	22	0.16	€ 3.52	80
8	27	0.26	€ 7.02	95
9	12	0.38	€ 4.56	115
10	20	0.19	€ 3.80	75
11	14	0.26	€ 3.64	60
12	10	0.35	€ 3.50	50
13				10
	-----		-----	-----
TOTAAL OPBRENGSTEN (A)	188		€ 49.17	930
TOEGEREKENDE KOSTEN				
SALDOPOST	HOEEVEELHEID	PRIJS	BEDRAG	
Plantmateriaal 1	1.5	1.40	€ 2.10	
Plantmateriaal 2	1.5	0.85	€ 1.28	
Plantmateriaal 3	1.5	0.85	€ 1.28	
Substraat eenmalig			€ 0.85	
Gas (verbruik en eb) (m3)	40.8	0.27	€ 11.02	
Gas (cap. en transp.) (m3/h)	0.0125	97.00	€ 1.21	
Elektriciteit (belichting) kWh	0.0	0.07	€ 0.00	
Elektriciteit (koeling) kWh	0.0	0.07	€ 0.00	
Vloeibare CO ₂				
Gewasbescherming			€ 1.20	
Bemesting			€ 1.10	
Overige materialen			€ 0.40	
Werk derden			€ 0.20	
Vrachtkosten	188.0	0.004	€ 0.75	
Afzetkosten	49.17	2.75%	€ 1.35	
Afvoer folie + gewas			€ 0.60	
Rente omlopend vermogen	49.17	1.00%	€ 0.49	
Kosten teeltarbeid	0.93	18.00	€ 16.74	
Kosten algemeen			€ 2.00	
Rente onderhoud afschrijving (ROA)			€ 12.00	
			+-----	
TOTAAL TOEGEREKENDE KOSTEN (B)			€ 54.56	
NETTO BEDRIJFS RESULTAAT (A - B)			-€ 5.39	

Conclusie

Het Innokom+ systeem met belichting enz. heeft een zeer hoge productie en energie-input in vergelijking met een standaard teelt. De economische haalbaarheid hangt uiteraard sterk af van de elektriciteitsprijs en productprijs. In Tabel IV-1 en IV-2 is het saldo van het Innokom+ systeem vergeleken met dat van een standaard komkommerteelt met drie plantingen per jaar. Bij de gedane aannames is het saldoverschil € 2,51/m², ten nadele van het Innokom+ systeem.