

Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente
Vestiging Aalsmeer
Linnaeuslaan 2a, 1431 JV Aalsmeer
Tel. 02977-52525

ISSN 0921-710X

OPTIMAAL BELICHTEN

Effecten van assimilatiebelichting op opbrengsten en kosten bij roos

Proef 2201.01

E. van Rijssel en J. Vogelesang, PBG Aalsmeer; G. van Leeuwen, ROC Noord-Nederland
en A. van de Wiel, ROC Noord-Limburg

Aalsmeer, augustus 1995

De resultaten van dit rapport zijn mede tot stand gekomen dankzij de medewerking van
de ROC 's (Regionale Onderzoek Centra) Noord-Nederland in Klazienaveen en Noord-
Limburg in Horst

Rapport 8
Prijs f 12,50

Rapport 8 wordt u toegestuurd na storting van f 12,50 op gironummer 174855 ten
name van PBG Aalsmeer onder vermelding van 'Rapport 8 : 'Optimaal belichten'.

ISBN : 580238

INHOUDSOPGAVE:

VOORWOORD	5
SAMENVATTING	6
1. INLEIDING	8
2. MATERIAAL EN METHODEN	
2.1. Proefopzet regionale proeftuinen Horst en Klazienaveen	9
2.2. Belichtingsstrategie	10
2.3. Analyse methode	10
2.4. Economische uitgangspunten	11
3. RESULTATEN	
3.1. Effect van belichting en onderstam op de struikopbouw	13
3.2. Resultaten ten aanzien van de produktie	13
3.2.1. Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op de produktie	15
3.2.2. Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op de produktie per belichtingsseizoen	17
3.2.3. Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op de produktie per periode	19
3.2.4. Seizoens-effecten in de produktie door de variatie in natuurlijk (zon)licht	20
3.2.5. Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op houdbaarheid, witaantasting en voedingsopname	22
4. ECONOMISCHE EVALUATIE VAN ASSIMILATIEBELICHTING	
4.1. Opbrengsteffecten assimilatiebelichting per periode	24
4.2. Kosten van assimilatiebelichting	25
4.2.1. Investeringskosten in de belichtingsinstallatie	25
4.2.2. Gebruikskosten belichtingsinstallatie	27
4.2.3. Warmteoverschotten en energiekosten	27
4.2.4. Winstmogelijkheden	28
5. DISCUSSIE	
5.1. De struikopbouw	30
5.2. Daglengte- en lichtsom-effecten	30
5.3. Milieueffecten van assimilatiebelichting	32
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	
6.1. Conclusies	34
6.2. Aanbevelingen	35
LITERATUUR	36
BIJLAGEN	
Bijlage 1: Overzicht gevonden produktie-effecten per periode	
Bijlage 2: Rekenprogramma kosten en opbrengsten van assimilatiebelichting	
2a: Uitgangspunten	
2b: Investeringsbedragen en kosten assimilatiebelichting	
2c: Berekening optimale belichtingssituatie	

VOORWOORD

Dit rapport is een heruitgave van rapport nr. 188 dat in juli 1994 is verschenen. Aanleiding voor de heruitgave is dat het effect van de daglengte, zoals dat in de eerste versie van het rapport is beschreven, onjuist bleek te zijn.

Uit de analyse van de gegevens die verzameld zijn tijdens een vervolgonderzoek bij hetzelfde gewas, in het belichtingsseizoen 1993/94, bleek dat er in de kassen plaats-effecten optraden. Van plaatseffecten was tevoren niets bekend en omdat het effect in een links en rechts verschil in de kas tot uiting kwam, parallel aan de op die plaatsen aangelegde daglengtebehandeling, konden de optredende produktieverschillen worden aangezien als het effect van de daglengtebehandeling. De plaatseffecten bleken achteraf gedurende alle jaren van het onderzoek, vanaf planten in 1990 tot aan het rooien van het gewas in 1994, even groot te zijn. Het effect kwam in alle kasafdelingen voor, zowel op de proeflocatie in Horst als de locatie in Klazienaveen.

Het plaatseffect hield in dat op de locatie Horst de proefvakken in de twee (3,20)kappen tegen de zuidgevels (linkerkant van de kas) ongeveer 45 g/m² per periode (4 weken) achterbleven in biomassa-produktie bij de vakken in de twee kappen tegen de noordgevels, op jaarbasis 7%. Dit verschil werd zowel door een achterblijvend aantal takken als door een lager takgewicht veroorzaakt. Op de locatie Klazienaveen bleven de vakken in de drie (3,20)kappen tegen de oostgevels (twee maal de linker en één maal de rechterkant van de kas) ongeveer 40 g/m² per periode achter bij de vakken in de drie kappen tegen de westgevels, op jaarbasis 6%. Deze achterstand werd geheel door een achterblijvend takgewicht veroorzaakt. In de analyse per periode is het plaatseffect als verklaring voor het optreden van verschillen meegenomen.

Na correctie van de produktiegegevens voor de plaatseffecten bleek dat er van een specifiek daglengte-effect geen sprake meer was. Het optreden van plaatseffecten heeft de overige resultaten uit het onderzoek gelukkig niet verstoord, zodat het rapport met een geringe aanpassing nu opnieuw kan worden uitgegeven.

SAMENVATTING

Assimilatiebelichting wordt in steeds grotere omvang toegepast in kassen. Onder andere bij roos wordt belichting meer regel dan uitzondering vanwege internationale concurrentie en een meer gelijkmatige arbeidsbehoefte door het jaar heen. Meer inzicht is gewenst in het optimaal gebruik van de installatie in het kader van de effecten op bedrijfsrendement en milieubelasting.

Op twee Regionale Onderzoek Centra, te weten de proeftuinen in Horst en Klazienaveen zijn de effecten van de belichtingsintensiteit en daglengte onderzocht. De effecten op struikopbouw, kilogram- en stuksproductie zijn gemeten, bij de grootbloemige cultivar Madelon 'Ruimeva', geteeld op steenwol. Er is uitgegaan van stentlingen op drie geselecteerde onderstammen naast plantmateriaal op eigen wortel.

De struikopbouw in het eerste jaar, en de uitzwaring van de struiken in het tweede jaar, hebben niet op de belichting gereageerd. Verschil in onderstam had wel enig effect op de struikopbouw doch het toepassen van een onderstam had geen positief effect op het totaal aantal grond- en broekscheuten, noch op de productie van biomassa (stuks maal takgewicht) of stuks. Wel is er een opmerkelijk verschil in struikopbouw geconstateerd tussen de twee proeflocaties (wellicht als gevolg van de knipmethode). Het diep terugknippen van de grondscheuten gaat samen met een duidelijk groter aantal grond- en broekscheuten, die dan wel duidelijk dunner zijn. Diep terugknippen gaat echter niet samen met een systematisch hogere productie. Met diep terugknippen wordt de kwaliteit van de takken duidelijk zwaarder doch via een compensatie in het aantal geoogste takken per m² is er nauwelijks tot geen effect op de biomassa-productie.

De biomassa-productie (gewicht van de geoogste takken) en de stuksproductie reagerden duidelijk op licht, zowel op assimilatiebelichting als op de variatie in zonlicht door het jaar heen. De reactie volgde ongeveer 4 weken na toe- of afname van de lichthoeveelheid. Het takgewicht reageerde niet op de assimilatiebelichting en niet systematisch op de wisselende lichthoeveelheden per seizoen. Ook andere factoren zoals de knipmethode hebben grote invloed op het takgewicht. Het werken met vier-weekse productiecijfers maakt het onmogelijk om de reactietijd van de productie op licht nauwkeuriger vaststellen.

De effecten van belichting zijn niet gedurende het gehele jaar gelijk. De variatie van effect van belichting op productie door het jaar heen is het beste te bepalen aan de reactie van de biomassaproductie. Het effect van een hoeveelheid lamplicht op de biomassa-productie neemt gedurende het najaar (vanaf periode 10) en de winter steeds verder toe van 8 g/kwh opgenomen vermogen van de SON-T lampen in periode 10 tot 15 g/kwh in periode 3. In het voorjaar, periode 4 en 5 neemt het effect snel af. De productie in de zomer, de perioden 6 tot en met 9, ligt voor alle behandelingen op hetzelfde niveau. De verschillen in productie vallen reeds weg nog voordat gestopt wordt met belichten.

Het is niet erg zinvol om de reactie van de stuksproductie en het takgewicht op (assimilatie)licht per periode vast te stellen. De stuksproductie en het takgewicht zijn elkaars concurrenten bij de verdeling van de biomassa-productie en de verdeling is via teeltmaatregelen te beïnvloeden. De reactie op (lamp)licht zal dus per situatie verschillend zijn.

Het wegvallen van produktieverschillen tussen de behandelingen in de zomer is wellicht het gevolg van de teeltmethode, waarbij het gewas in het voorjaar ver naar beneden wordt teruggeknipt en daarna weer opgebouwd. De productie ligt in deze perioden op een relatief laag niveau gezien de beschikbare hoeveelheid (zon)licht.

De kosten van belichting zijn hoog, er is een forse investering nodig in de belichtingsinstallatie en in de aansluiting op het elektriciteitsnet, danwel in een eigen warmtekrachtinstallatie. De kosten van de investering kunnen in veel gevallen voor een deel worden gecompenseerd door een vergoeding voor een piekurencontract. Dit houdt in dat tijdens piekuren de stroomlevering wordt gestaakt, c.q. de opgewekte stroom wordt geleverd aan het openbare net. Bij eigen stroomopwekking kunnen de gebruikskosten (energie) beperkt blijven zolang de beschikbare warmte nuttig kan worden aangewend. Dit vergroot de mogelijkheden om op een economisch voordelige manier te belichten en daarmee om de terugverdientijd van de installatie te beperken. Een warmtebuffer vergroot de mogelijkheden voor nuttige aanwending van opgewekte warmte. Optimaal belichten betekent: belichten met eigen stroomopwekking, beperkt houden van de belichtingsintensiteit tot ongeveer 1 lamp op 12 m² om het ontstaan van warmteoverschotten te beperken en het zo ver mogelijk opvoeren van het aantal branduren vanaf 1 september tot eind maart. 's Zomers doorgaan met belichten is niet zinvol vanwege het ontbreken van (grote) effecten op de produktie, de lage prijs van de roos en de hoge (energie)kosten door overproduktie van warmte. Overdag doorgaan met belichten bij een hoge instraling is zeer waarschijnlijk om dezelfde redenen niet aan te bevelen. Met deze belichtingsstrategie op een kasoppervlak van 1 ha kan tot ongeveer 4800 uur belicht worden en is de investering in de installatie(s) na ongeveer twee en een half jaar terugverdiend. Een stijgende gasprijs heeft nauwelijks effect op de te voeren belichtingsstrategie, wel loopt de terugverdientijd van de belichtingsinstallatie op, met name bij toepassing van belichtingsintensiteiten hoger dan 1 lamp op 12 m². Bij gebruik van elektriciteit van het openbare net treden er minder snel warmteoverschotten op. Dit vergroot de mogelijkheden om de lichtintensiteit hoger en daarmee het productiepeil in de winter verder op te voeren. Met een tarief van 11 ct/kWh wordt de investering in eveneens ongeveer twee en een half jaar terugverdiend, een tarief van 15 ct/kWh is echter zo hoog dat de terugverdientijd oploopt tot bijna vier jaar.

Uit oogpunt van milieubelasting (energierendement) biedt de toepassing van assimilatiebelichting met een beperkte intensiteit mogelijkheden. Belichting in combinatie met eigen stroomopwekking verhoogt weliswaar het energieverbruik per m² enigszins, maar verhoogt het aantal rozen per m² in het winterhalfjaar aanzienlijk. Toepassing van belichting op momenten dat de warmte niet nuttig is aan te wenden heeft een sterk negatief effect op het aantal geproduceerde rozen per m³ gas. Bij belichting met stroom van het openbare net wordt in de elektriciteitscentrale veel warmte verspild, zodat gedurende het hele jaar het energierendement wordt verlaagd.

1. INLEIDING

Assimilatiebelichting wordt met een steeds grotere omvang toegepast in kassen, momenteel op ruim 1000 ha. De belichting hangt met name boven snijbloemen (68%, bij roos 55%, overige snijbloemen 13%), potplanten (13%) en boven jonge planten (17%) (CBS-strukturenquête 1992).

Op de produktiebedrijven wordt assimilatiebelichting toegepast om in de wintermaanden de produktie op te voeren en om een betere kwaliteit te kunnen leveren. Er wordt belicht met een intensiteit van 5,75 tot 13 Watt/m² groeilicht (2500 tot 6000 Lux SON-T) op gewashoogte. Hiermee wordt aanvullend aan de dag belicht tot een daglengte, rasafhankelijk, van 18 tot 24 uur. Overdag wordt bijbelicht afhankelijk van de lichtintensiteit buiten. De ondernemer krijgt een meer gelijkmatige verdeling in de arbeidsbehoefte door het jaar heen, profiteert beter van de hoge prijs in de wintermaanden en kan de (buitenlandse) concurrentie beter weerstaan. De plantenopkweekbedrijven reageren op de wens van de afnemer om een zwaardere (belichte) plant te leveren voor een hogere prijs.

De kosten van assimilatiebelichting zijn hoog, de benodigde investering in lampen, armaturen en bekabeling is fors, en ook het verbruik aan energie (elektriciteit) is hoog. Om de stroomprijs laag te houden heeft 30% van de ondernemers, met in totaal 57% van de oppervlakte assimilatiebelichting, een Warmte-Kracht (WK) installatie geplaatst, waarbij men tevens de vrijkomende warmte benut voor de kasverwarming (IKC-informatie 3, 1994: CBS-strukturenquête 1992). Wellicht kan de combinatie van belichting en het benutten van WK-warmte bij roos (cultivarafhankelijk) leiden tot een hogere energie-efficiëntie dan bij onbelicht telen.

Momenteel wordt met name discussie gevoerd over de periode dat belichten zinvol is, het gehele jaar door of alleen in de winter, de gewenste intensiteit van belichten en het effect van een donkerperiode in de nacht.

Een geheel andere activiteit is het werk van de Stichting Ter Verbetering van Uitgangsmateriaal kasRozen (STUR). Dit is een stichting die in combinatie met de Landbouw Universiteit Wageningen werkt aan de selectie en uitgifte van genetisch uniforme onderstamklonen. Van de reeds uitgegeven klonen zoals Multic, Ludiek en Sturdu zijn er enkele in dit onderzoek getoetst.

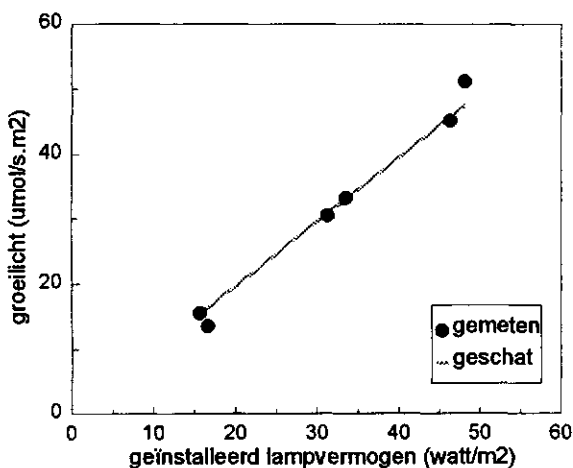
Doel van dit onderzoek is om het economisch optimum te bepalen voor het gebruik van assimilatiebelichting. Daarbij wordt gekeken naar het inzetten van een WK-installatie eventueel in combinatie met stroomlevering aan het openbare net en naar de mogelijkheden om de opgewekte warmte te benutten. Tevens is een vergelijking gemaakt tussen diverse uitgangsmaterialen.

2. MATERIAAL EN METHODEN

2.1. Proefopzet regionale proeftuinen Horst en Klazienaveen

De proef is opgezet met de grootbloemige rozencultivar Madelon 'Ruimeva' en uitgevoerd in de periode van december 1990 tot en met juni 1993 op de proeftuinen te Horst en Klazienaveen. Er is belicht met drie verschillende intensiteiten met toepassing van een korte en een langere donkerperiode. Het plantmateriaal bestond uit gestekte en gestente planten, waarbij drie geselecteerde onderstammen zijn gebruikt. De teelt heeft plaatsgevonden op steenwol matten (3,6 liter per plant) in twee rijen per bed, 7,5 planten per bruto m² kas. Per locatie is geteeld in drie afdelingen met elk een gevelscherm, in Horst zijn de afdelingen elk 307 m² en in Klazienaveen elk 384 m² groot. In Horst zijn de SON-T 400 watt assimilatielampen gemonteerd in SGR-200 breedstraal-armaturen en geïnstalleerd in vier rijen op onderlinge afstand van 3,20 m. In Klazienaveen zijn ze gemonteerd in PL 90W breedstraal-armaturen en geïnstalleerd in vier rijen met een onderlinge afstand van 5,20 m. Over de drie afdelingen neemt de belichtingsintensiteit af door het aantal lampen op de rij te verminderen, 1 lamp op ongeveer 8,3, 12,5 en 25 m² kas. Voor een betere lichtverdeling bij de laagste lichtintensiteit is in

Figuur 1: De lichtopbrengst van SON-T lampen



$$\text{Groeilicht} = 0,99 \times \text{geïnstalleerd lampvermogen} \quad (R^2 = 0,985)$$

(umol/m²) (watt/m²; 400 watt/lamp)

Klazienaveen gekozen voor SON-T lampen van 250 watt, 1 lamp op 15,1 m² kas. Met deze installaties is een lichtintensiteit gerealiseerd van ongeveer 15, 30 en 45 $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$. groeilicht (dat is 3, 6 en 9 watt/m² en ongeveer 1350, 2700 en 4050 Lux). De feitelijke lichthoeveelheid op gewashoogte is na installatie gemeten en viel op de locatie Klazienaveen iets hoger uit dan op de locatie Horst. De SON-T lamp 400 watt levert, gemonteerd in breedstraal-armaturen en voorzien van 'wiebertjes' gemiddeld 395 $\mu\text{mol/s}$ (= 83 watt) groeilicht, figuur 2.1. Een afwijking van 5% per lamp naar boven of naar beneden is normaal, een enkele lamp gaf duidelijk minder licht.

Elk van de afdelingen is 's nachts met een tussenscherm in twee helften gedeeld voor het scheiden van de behandelingen met de korte donkerperiode van 4 uur en een langere van 8 uur.

De produktie is gevolgd van drie vakken per behandeling, groot 4,8 m² kas, bed + pad, te Horst en 5,6 m² te Klazienaveen. Per vak is de produktie, het aantal verkoopbare takken, geteld en de biomassa, geoogst versgewicht van alle takken te zamen, gemeten. Het geringe aantal te lichte takken is niet geteld en veelal ingebogen. Steekproefsgewijs is in de winter ook de taklengte en de houdbaarheid van de rozen per behandeling gemeten. De klimaatinstelling, per locatie gelijk voor alle afdelingen, is over de twee locaties op elkaar afgestemd. Er is CO₂ gedoseerd tijdens de lichte en belichte uren tot een niveau van 700 ppm. Voorts is per locatie getracht om een zo goed mogelijk resultaat te bereiken, onder andere door adviezen van telers uit de regionale NTS rozencommissies (begeleidings-commissies).

Tabel 1: Aantal belichtingsuren per periode, gemiddeld over beide locaties

periode nr	Lampen uit van 1 uur voor tot 8 uur na zon-onder			Extra uren bij lampen aan vanaf 4 uur na zon-onder		
	1990/91	1991/92	1992/93	1990/91	1991/92	1992/93
7		0	0		0	0
8		23	12		31	20
9		90	110		112	108
10		160	146		113	113
11		217	237		112	112
12		313	298		112	111
13	95	339	334	34	112	113
1	309	348	323	112	112	112
2	233	285	273	112	112	112
3	192	227	169	112	110	112
4	117	154	147	112	112	112
5	47	59	18	84	100	57
6	0	0	0	0	0	0
totaal	994	2214	2067	566	1135	1081

2.2. Belichtingsstrategie

Het gewas is belicht vanaf de plantdatum tot aan het einde van de proef. Er is belicht vanaf 4 uur respectievelijk 8 uur na zonsondergang en overdag is doorbelicht tot 1 uur voor zonsondergang. De belichting overdag is gestopt bij een relatief lage lichtintensiteit buiten (globale straling) van 50 watt omdat de gevelschermen tijdens de belichtingsuren gesloten blijven om naastliggende proeven niet te verstoren. Het schaduweffect van een gesloten gevelscherf mag niet te groot worden. In de zomer is gestopt met belichten, vanaf week 20 tot en met week 30. In de laatste twee weken van de belichtingsperiode is het aantal belichtingsuren 's nachts in stappen afgebouwd en in de eerste twee weken in stappen weer opgebouwd van de natuurlijke daglengte naar een daglengte van 16 of 20 uur.

Deze belichtingsstrategie heeft geresulteerd in een totaal van ruim 2000 uur belichting bij een donkerperiode van 8 uur, tabel 2.1. Met een 4 uur kortere donkerperiode kan er per periode 112 uur extra worden belicht, ruim 1000 uur extra per belichtingsseizoen.

2.3. Analysemethode

In de tussentijdse verslagen zijn de produktieverschillen met variantie-analyse geanalyseerd. Uit deze analyse bleek dat er rekening gehouden moet worden met interactie-effect tussen lichtintensiteit en daglengte.

Bezien is of de effecten van de diverse belichtingsbehandelingen verklaard kunnen worden als effect van de hoeveelheid lamplicht (lichtsom). De relatie tussen produktie en lichtsom kan het beste onderzocht worden met regressie-analyse. Omdat naast het lichteffect ook andere effecten optreden (zie 3.2) is in dit onderzoek gebruik gemaakt van multiple regressie-analyse als verwerkingsmethode. Met multiple regressie-analyse wordt de grootte van alle effecten gemeten, zodat het effect van de belichting het meest zuiver kan worden bepaald.

In het winterseizoen 1993/94 is met hetzelfde rozen-gewas onderzoek verricht, waarbij geen behandelingen per kashelft werden uitgevoerd, alleen behandelingen per kas. Er traden in dat onderzoek produktieverschillen op binnen de gebruikte kassen. De plaatsen

die in produktie van elkaar verschilden vielen samen met de twee daglengtebehandelingen van dit onderzoek. Het optreden van de plaatseffecten bleek voldoende groot om van een betrouwbaar effect te kunnen spreken. Het links/rechts plaatseffect kwam in Horst overeen met een noord/zuid verschil in zowel biomassa- als stuksproduktie, in Klazienaveen viel het samen met een oost/west verschil in biomassa-produktie, zie bijlage 1.

Het opgetreden plaatseffect is in de analyse per periode meegenomen als één van de factoren die verantwoordelijk zijn voor verschillen in produktie tussen de behandelingen. De analyse uitkomsten bevestigen dat de plaatseffecten in de twee winters van het onderzoek vergelijkbaar van grootte zijn als in het winterseizoen 1993/94 dat volgde op het onderzoek, zie bijlage 3.

Het belichtingseffect is gemeten over de gehele proefperiode maar ook per belichtingsseizoen en per periode van 4 weken. De analyse van 4-weekse effecten is beperkt tot het effect op de biomassa-produktie omdat zowel de stuksproduktie en het takgewicht reageren op de teeltomstandigheden die per locatie en per seizoen wisselde.

2.4. Economische uitgangspunten

De assimilatiebelichting in de proefsituatie is in vijf van de zes behandelingen gegeven met SON-T lampen van 400 watt, gemonteerd in breedstraalarmaturen. Dit is een situatie die ook in de praktijk het meest wordt aangetroffen. Deze situatie is dan ook als uitgangspunt voor de kostenberekening gehanteerd.

De opbrengst van de belichting wordt verkregen via extra fotosynthese door het lamplicht dat op het gewas terecht komt. Vrij algemeen, en dus ook hier, wordt verondersteld dat de plant alleen het licht binnen het golflengtegebied van 400 - 700 nanometer voor fotosynthese wordt gebruikt, 118 watt per lamp (Philips 1/87).

De proeven leveren de gegevens over de omzetting van extra licht in de produktie van biomassa en stuks. De opbrengst wordt hieruit berekend met behulp van de gestandaardiseerde prijzen voor de roos Madelon (KWIN 1993/4).

De kosten van assimilatiebelichting worden grotendeels bepaald door de investering in lampen, armaturen, bekabeling en aansluiting op de stroomvoorziening en door de stroomkosten. Voor de stroomkosten wordt uitgegaan van het opgenomen vermogen, 436 watt voor nieuwe lampen (Philips 1/87) en 460 watt gemiddeld over de gehele levensduur van 12.000 uur en inclusief aangloei- en kabelverliezen.

Voor een eenvoudige vergelijking van opbrengst- en kosten-effecten van assimilatiebelichting zijn alle berekeningen gemaakt per kilowattuur (kWh) opgenomen vermogen.

Tabel 2: Aantal en diameter van de grond- en broekscheuten per behandeling; aantal/plant en diameter in mm.

Behandeling		Intensiteit belichting			daglengte		Uitgangsmateriaal			
	jaar	3 watt	6 watt	9 watt	16 uur	20 uur	stek	stur-du	stur-tri	multic
Grondscheuten										
aantal (lsd = 0,15)	1e	1,85	1,89	1,88	1,84	1,90	2,15 b	1,55 a	1,44 a	2,34 c
(lsd = 0,25)	2e	1,72	1,73	1,72	1,74	1,70	2,08 b	1,37 a		
diameter	1e	9,35	9,39	9,45	9,41	9,38	9,40	9,44	9,50	9,24
	2e	10,53	10,65	10,40	10,44	10,61	10,59	10,47		
Broekscheuten										
aantal (lsd = 0,09) (lsd = 0,14)	1e	1,41	1,48	1,41	1,39 a	1,49 b	1,27 b	1,76 d	1,59 c	1,12 a
	2e	2,15	2,02	1,93	2,00	2,07	2,08	1,99		
diameter (lsd = 0,30)	1e	6,24	6,26	6,10	6,24	6,16	5,91 a	6,58 b	6,58 b	5,73 a
	2e	8,44	8,40	8,48	8,39	8,49	8,23	8,65		

Tabel 3: Biomassa, productie, takgewicht en houdbaarheid per uitgangsmateriaal

belichtingsseizoen per 8 t/m per 13 + per 1 t/m per 7			Uitgangsmateriaal			
			Stek	Sturdu	Sturtri	Multic
Biomassa gr/m ²	(lsd = 81)	1e jaar	3702 c	3302 b	3092 a	3311 b
	(lsd = 230)	2e jaar	8115 c	7535 b	7233 a	7004 a
Productie st/m ²	(lsd = 2,4)	1e jaar	91,7 d	80,3 b	77,0 a	84,5 c
	(lsd = 4,9)	2e jaar	275,1 d	234,0 ab	231,1 ab	247,5 c
Takgewicht gr/st	(lsd = 0,6)	1e jaar	40,8 b	41,8 c	41,2 bc	39,9 a
	(lsd = 0,6)	2e jaar	29,5 b	32,2 d	31,3 c	28,3 a
Houdbaarheidbepaling (PBN-methode); waarden van 6/1, 3/3 en 2/3 1992						
Ontwikkelingsstadium na 5 dg op een schaal van 1 t/m 5	(lsd = 0,13)		2,57 a	3,08 b	3,08 b	2,45 a
Vaasleven dg/steel	(lsd = 0,3)		10,4 b	10,2 b	9,7 a	9,7 a

3. RESULTATEN

De resultaten van dit onderzoek vallen uiteen in de effecten van de behandelingen op de struikopbouw in het eerste en tweede teeltjaar en de effecten op de produktie en kwaliteit. Dit zijn de directe resultaten van het onderzoek. Het hoofdstuk resultaten beperkt zich tot de resultaten van de belichtingsproeven op beide proeftuinen. Aan de resultaten van het onderzoek is een vertaling toegevoegd naar de economische betekenis voor toepassing voor de praktijk. Op de economische evaluatie van assimilatiebelichting wordt ingegaan in hoofdstuk 4.

3.1. Effect van belichting en onderstam op de struikopbouw

Op beide proeftuinen zijn, tussen week 26 en 29 van 1991 metingen uitgevoerd ten aanzien van de struikopbouw. Op dat moment vormden zich nauwelijks of geen nieuwe grondscheuten meer. In elk proefveld is aan 12 planten, ofwel 1 m² bed, geteld hoeveel grond- en broekscheuten er gevormd zijn en van welke diameter. Grondscheuten zijn alle scheuten die binnen 5 cm vanaf het oog op de stek of de stentling, zijn uitgelopen. Broekscheuten zijn alle scheuten die tussen de 5 en 15 cm vanaf deze plaats zijn uitgelopen op griffelhout en op grondscheuten. Vertakkingen van de grondscheuten op minder dan 15 cm vanaf het oorspronkelijke oog, zijn niet als broekscheut geteld, als deze zo laag zijn ontstaan als direct gevolg van laag knippen.

In het tweede teeltjaar zijn de metingen opnieuw verricht, tussen week 42 en 46. Dit keer zijn niet alle vakken gemeten maar een steekproef, volgens loting, van twee vakken per behandeling, en beperkt tot het plantmateriaal stek en Sturdu.

Uit de gegevens blijkt dat er tussen de lichtbehandelingen nauwelijks tot geen verschil is gerealiseerd in struikopbouw, tabel 2. Alleen bij een daglengte van 20 uur is er in het eerste jaar enig verschil in het aantal broekscheuten gemeten. De struikopbouw is wel beïnvloed door het gekozen uitgangsmateriaal, tabel 2 en door de verschillen per locatie (gevolgde knipmethode), tabel 4. Op Sturdu- en Sturtri-onderstammen vormt het gewas minder grondscheuten doch meer en dikkere broekscheuten. Het totaal aan grond- en broekscheuten verschilt nauwelijks tussen de verschillende uitgangsmaterialen, alleen Sturtri komt in totaal als iets minder naar voren.

Tabel 4: Aantal en diameter van de grond- en broekscheuten per locatie in het 1e jaar; aantal/plant en diameter in mm.

	ROC Horst	ROC Klazienaveen
Aantal grond- en broekscheuten	4,2	2,4
Diameter grondscheuten	8,85	9,95
Diameter broekscheuten	5,25	7,15

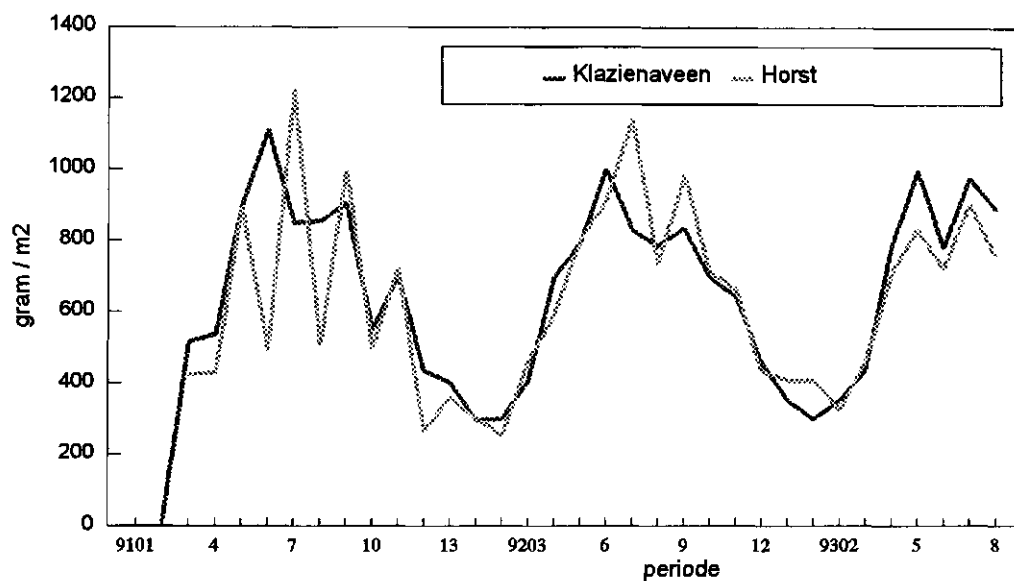
In het tweede teeltjaar zijn er geen nieuwe grondscheuten gevormd, alleen enkele broekscheuten. De struiken zijn wel zwaarder geworden, de diameters van de grond- en met name die van de broekscheuten zijn toegenomen, tabel 2.

3.2. Resultaten ten aanzien van de produktie

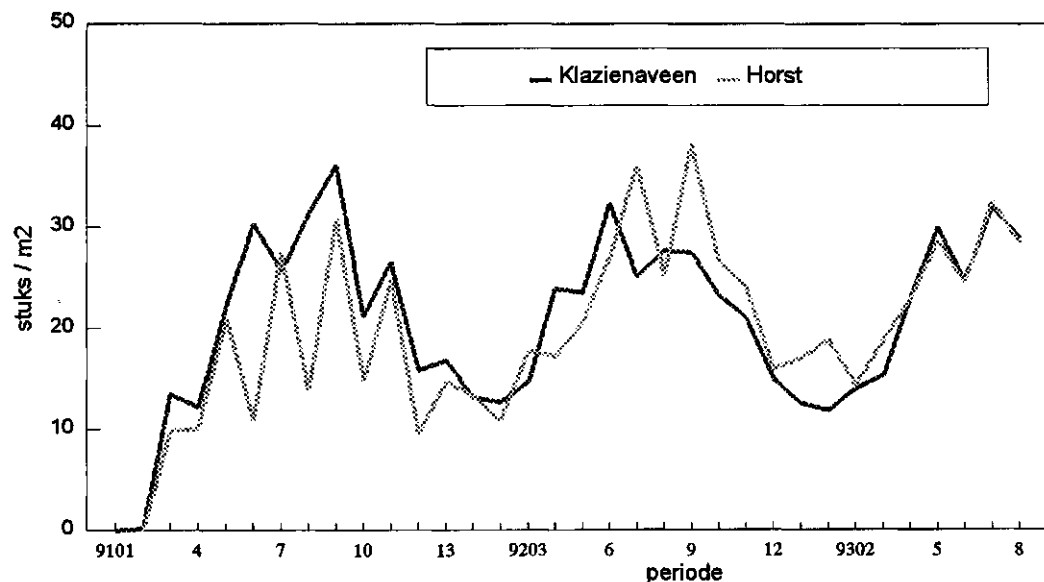
Het uitgangsmateriaal stek komt bij de toetsing op produktiecapaciteit ten opzichte de drie geselecteerde onderstammen als best producerende naar voren, tabel 3. De biomassa en de produktie per m² per jaar is bij stek het hoogste en de kwaliteit,

Figuur 2: Productieverloop op de beide proef (gemiddeld over de 6 lichtbehandelingen)

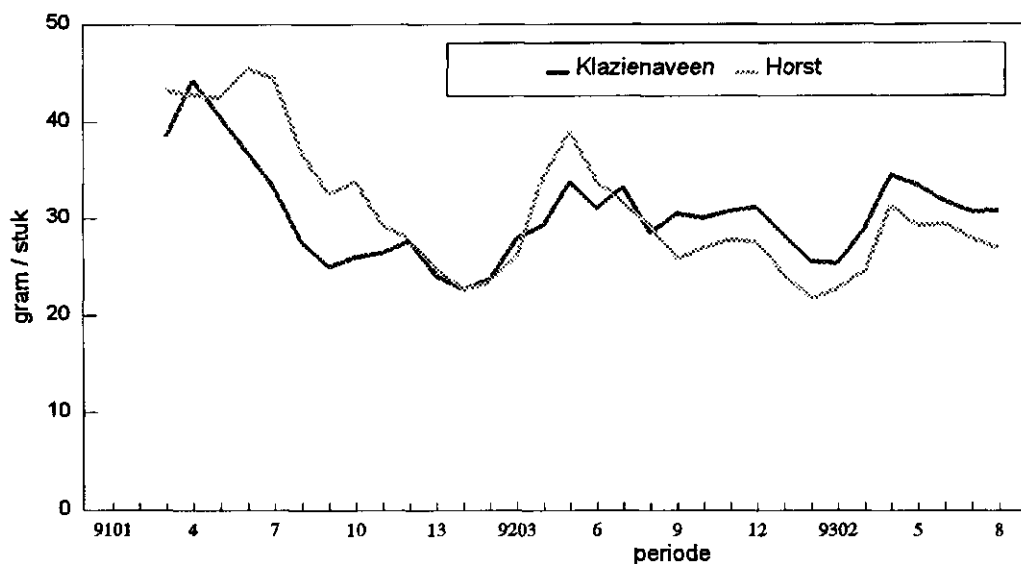
a: Biomassa-productie in gram/m² per 4-weekse periode



b: Stuksproductie in stuks/m² per 4-weekse periode



c: Takgewicht in gram/stuk per 4-weekse periode



gemeten als takgewicht en houdbaarheid, vormt geen knelpunt. Ook de aantasting door "wit", zoals die in Klazienaveen is gemeten gedurende de wintermaanden 1991/92 en die uitkwam op gemiddeld 42%, laat geen verschillen zien tussen de uitgangsmaterialen. De beste, hoogste produktiemogelijkheden liggen dus bij stek, de teelt op eigen wortel, als plantmateriaal. In de praktijk wordt, voor de teelt op substraat (steenwol), ook algemeen uitgegaan van stek. De analyses van de belichtings-effecten zijn daarom beperkt tot de uitkomsten uit de vakken met stek.

Bij de verzameling van gegevens is het jaar verdeeld in dertien perioden van elk vier weken, te beginnen bij week 1 t/m 4. Week 1 is daarbij de week van 1 januari, tenzij 1 januari valt op donderdag, vrijdag of zaterdag. In die gevallen begint week 1 in de eerste volle week van januari. Bij de verzameling van de produktiegegevens over perioden van vier weken, blijkt dat er duidelijke snee-effecten zichtbaar zijn in het produktieverloop, met name in het eerste jaar. Het is opvallend dat op de proeflocatie Horst het gewas het gehele eerste teeltjaar sterk op snee is blijven staan. Het op snee blijven lijkt het gevolg te zijn geweest van het diep terugknippen in het eerste jaar, waarbij er minder ogen uitlopen, vrijwel nooit een tweede oog per tak. Als gevolg van deze knipmethode was het geproduceerde aantal stuks duidelijk lager en het takgewicht duidelijk hoger dan op de proeflocatie in Klazienaveen. De lagere stuksproduktie wordt wel grotendeels gecompenseerd door een hoger takgewicht, zodat de verschillen in geoogste biomassa tussen de beide lokaties veel kleiner zijn dan de verschillen in stuksproduktie, figuur 2.a, b en c. Het verschil in inzicht per regio over de gewenste gewasopbouw en de daarmee samenhangende methode van knippen, blijkt grote effecten gehad te hebben op de verschillen tussen de twee lokaties.

Na het eerste jaar zijn de gewassen op beide lokaties meer naar elkaar toegegroeid, deels door het ouder worden van de gewassen, deels doordat met bezoeken over en weer de knipmethode (onbewust) meer op elkaar is afgestemd. Het produktieverloop is echter ook voor de drie opvolgende jaren niet identiek.

Het snee-effect dat is opgetreden en verschillen in de teeltmethode maken het moeilijk om behandelingen en lokaties van periode tot periode met elkaar te vergelijken. Bij de roos is het echter onmogelijk om snee-effecten volledig te vermijden. Het snee-effect kan gelukkig als aparte invloedsfactor in de statistische verwerking worden meegenomen, zodat dit geen problemen geeft. De grootte van de verschillende effecten worden in de volgende hoofdstukken nader aangegeven.

3.2.1 Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op de totale produktie

Tussen de behandelingen in zowel daglengte als belichtingsintensiteit zijn produktieverschillen gemeten. Het effect van de behandelingen, gemeten gedurende de totale onderzoeksperiode vanaf planten in december 1990 tot en met juli 1993, blijkt op beide proeftuinen vrijwel gelijk te zijn, tabel 5. Zowel een hogere lichtintensiteit als langer belichten per dag verhoogt de geproduceerde biomassa. Het effect van een langere dag is echter afhankelijk van de lichtintensiteit (interactie tussen belichtingsintensiteit en daglengte): bij een lichtintensiteit van 3 watt is het effect van langer belichten veel kleiner dan bij een lichtintensiteit van 9 watt.

De geproduceerde biomassa wordt verdeeld over het aantal geoogste takken en het takgewicht. Om het inzicht in de onderliggende processen te vergroten is gekeken of de behandelingseffecten op de stuksproduktie en op het takgewicht afwijkt van de effecten op de biomassa-produktie.

De gegevens over het geoogste aantal takken geven vrijwel eenzelfde beeld als de gegevens over de biomassa-produktie, een positief effect van zowel de lichtintensiteit als de daglengte op de produktie en een interactie tussen belichtingsintensiteit en

Tabel 5: De geoogste biomassa (kg/m² van periode 2/1991 t/m 7/1993) per lichtbehandeling (gecorrigeerd voor plaatseffecten)

Daglengthte	3 watt		6 watt		9 watt		gemiddeld
	Horst	Kl.veen	Horst	Kl.veen	Horst	Kl.veen	
DL = 16	19,7	19,9	20,0	20,7	20,3	21,4	20,3
DL = 20	20,0	20,9	21,0	21,4	21,2	23,2	21,3
gemiddeld	20,1		20,8		21,5		H = 20,4 Kv = 21,2

Tabel 6: De totale productie (stuks/m² van periode 2/1991 t/m 7/1993) per lichtbehandeling (gecorrigeerd voor plaatseffecten)

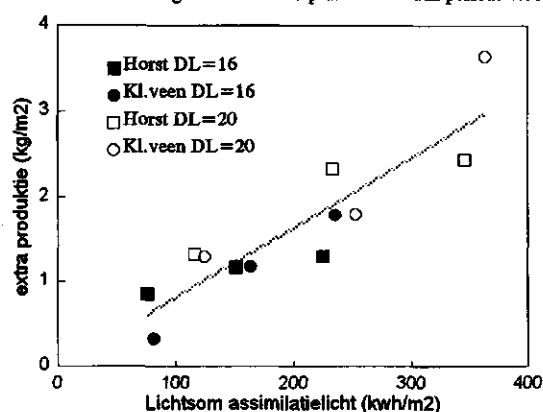
Daglengthte	3 watt		6 watt		9 watt		gemiddeld
	Horst	Kl.veen	Horst	Kl.veen	Horst	Kl.veen	
DL = 16	616	634	641	664	636	686	646
DL = 20	638	658	686	681	686	721	678
gemiddeld	636		668		682		H = 650 Kv = 674

Tabel 7: Het gemiddelde takgewicht (gram/stuk van periode 2/1991 t/m 7/1993) per lichtbehandeling

Daglengthte	3 watt		6 watt		9 watt		gemiddeld
	Horst	Kl.veen	Horst	Kl.veen	Horst	Kl.veen	
DL = 16	32,0	31,4	31,2	31,2	32,0	31,2	31,4
DL = 20	31,5	31,8	31,8	31,4	30,9	32,2	31,4
gemiddeld	31,6		31,1		31,3		H = 30,8 Kv = 30,6

Figuur 3: De extra biomassa- en stuksproductie door belichting, per behandeling uitgezet tegen de ontvangen lichtsom lampen (kWh/m²)

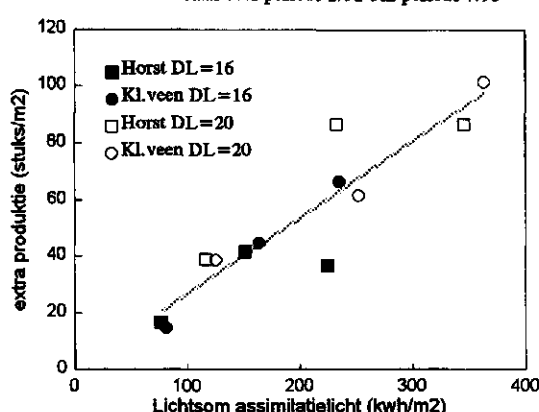
Extra biomassa in kg/m² totaal over periode 2/91 t/m periode 7/93



Biomassa = 7,95 g/kwh + Constante

R² = 0,85 C = 18.809 gr/m² voor Horst
C = 19.567 gr/m² voor Klazienaveen

Extra stuks in st/m² totaal over periode 2/91 t/m periode 7/93



Stuksproductie = 0,270 st/kwh + Constante

R² = 0,86 C = 599 st/m² voor Horst
C = 619 st/m² voor Klazienaveen

daglengte, tabel 6. Het takgewicht wordt niet beïnvloed noch door de intensiteit van belichten noch door de daglengte, tabel 7.

In tussentijdse evaluaties op de produktie in het eerste en tweede belichtingsseizoen zijn de hoofdeffecten op betrouwbaarheid getoetst (variantie-analyse) en betrouwbaar gebleken. Ook het aanwezige interactie-effect tussen belichtingsintensiteit en daglengte bleek betrouwbaar te zijn. Gezien dit interactie-effect lijkt het een reële veronderstelling dat de produktie reageert op de hoeveelheid lamplicht (lichtsom) die het gewas ontvangt. De juistheid van deze veronderstelling wordt in het onderstaande getoetst (regressie-analyse). De lichtsom is berekend uit het geïnstalleerd vermogen maal het aantal branduren van de lampen, een getal dat overeenkomt met het opgenomen vermogen in kWh.

De biomassa-produktie en de stuksproduktie, gemeten over de gehele looptijd van de proef, nemen lineair toe met de hoeveelheid lamplicht die het gewas heeft gekregen, 7,95 gram en 0,27 stuks per kWh stroomverbruik. Er is geen verschil in reactie op lichtsom tussen de behandelingen met een daglengte van 16 en 20 uur. Wel levert een langere dag meer belichte uren en dus een hogere lichtsom op. De reactie op lichtsom valt voor de twee proeflocaties gelijk uit, ondanks het niveauverschil tussen de lokaties, figuur 3.

De analyse bevestigt dus de veronderstelling dat de produktie reageert op de ontvangen lichtsom, ongeacht of deze wordt gegeven met een lage intensiteit gedurende een groot aantal belichtingsuren, of met een hoge intensiteit in weinig uren.

3.2.2. Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op de produktie per belichtingsseizoen

De gehele proefperiode kan worden gesplitst in een aanlooptijd vanaf planten in week 50/1990 t/m week 28/1991, en twee volledige belichtings-seizoenen van week 29 t/m week 28 in de opvolgende jaren. In de aanlooptijd is belicht vanaf de plantdatum in week 50 en in een vol belichtingsseizoen vanaf week 31 (1 augustus). In de aanlooptijd is dus minder uren belicht dan in een vol winterseizoen. In de aanloopfase kwam de produktie in de 10e week na planten op gang. De reactie van de produktie op de ontvangen lichtsom (assimilatielicht) leek met 7,28 g/kWh in de aanlooptijd duidelijk lager te zijn dan met 9,15 en 6,22 g/kWh in de opvolgende volle belichtingsseizoenen, bijlage 2. Ook bij de stuksproduktie trad dit verschil op, in de aanlooptijd een belichtingseffect van 0,174 st/kWh en in de opvolgende volle belichtingsseizoenen respectievelijk 0,302 en 0,233 st/kWh.

Het effect van belichting in de aanlooptijd is ook bekeken met weglating van de belichte uren voordat de produktie op gang kwam, weglating van de belichte uren in periode 13

Tabel 8: De produktie en het takgewicht per locatie per jaar (gemiddeld over de zes belichtingsbehandelingen en gecorrigeerd voor plaatseffecten)

Belichtings-seizoen jaar/wk	Biomassa (g/m ²)		Produktie (stuks/m ²)		Takgewicht (g/tak)	
	Horst	Klazienaveen	Horst	Klazienaveen	Horst	Klazienaveen
1990.50 - 1991.28	3.606	4.066	81	104	44,5	39,1
1991.29 - 1992.28	8.139	8.465	257	293	31,7	28,9
1992.29 - 1993.28	8.631	8.705	313	277	27,6	31,4
Totaal	20.376	20.581	651	674	31,3	30,5

biomassa-productie (gr/m²)

storks-productie (st/m²)

periode

periode	biomassa-productie (gr/m ²)	storks-productie (st/m ²)
1	0	0
2	0	0
3	480	15
4	480	14
5	880	22
6	800	20
7	1000	28
8	680	22
9	950	32
10	520	20
11	720	25
12	350	15
13	380	16
14	280	14
15	250	13
16	450	18
17	600	22
18	780	28
19	950	32
20	880	30
21	750	25
22	650	22
23	450	15
24	420	14
25	350	12
26	450	15
27	480	16
28	750	25
29	880	30
30	720	25
31	950	32
32	820	28

Figure 1 is a dual-axis line graph showing the relationship between biomass production and global straling over a 30-day period. The left y-axis represents biomass production in gr/m² (0 to 1500), and the right y-axis represents global straling in mega J/m² (0 to 700). The x-axis shows the period in days (1 to 30). Three data series are plotted: '3 watt/m² 16 uur' (triangles), '9 watt/m² 20 uur' (stars), and 'glob.straling' (shaded area). Biomass production peaks around day 7 and day 26, while global straling peaks around day 16 and day 26.

Figure 1 is a dual-axis line and area graph. The x-axis represents 'periode' (period) from 1 to 16. The left y-axis represents 'extra biomassa (gram/m²)' from 0 to 250. The right y-axis represents 'extra uren belasting' (extra urea loading) from 0 to 500. Two data series are plotted: 'prod.versch. DL=20 tov 16' (solid line with black circles) and 'extra bel.uren DL 16 -> 20' (shaded area). The biomass peaks at approximately 90 g/m² in period 1, 85 g/m² in period 11, and 80 g/m² in period 14. The urea loading peaks at 50 g/m² in periods 1, 10, and 12.

periode	prod.versch. DL=20 tov 16 (g/m²)	extra bel.uren DL 16 -> 20 (g/m²)
1	90	50
2	55	50
3	20	50
4	0	50
5	0	0
6	0	0
7	10	0
8	45	50
9	40	50
10	0	50
11	85	50
12	45	50
13	60	50
14	80	50
15	35	50
16	40	50
17	10	50
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0
47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0
51	0	0
52	0	0
53	0	0
54	0	0
55	0	0
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	0	0
60	0	0
61	0	0
62	0	0
63	0	0
64	0	0
65	0	0
66	0	0
67	0	0
68	0	0
69	0	0
70	0	0
71	0	0
72	0	0
73	0	0
74	0	0
75	0	0
76	0	0
77	0	0
78	0	0
79	0	0
80	0	0
81	0	0
82	0	0
83	0	0
84	0	0
85	0	0
86	0	0
87	0	0
88	0	0
89	0	0
90	0	0
91	0	0
92	0	0
93	0	0
94	0	0
95	0	0
96	0	0
97	0	0
98	0	0
99	0	0
100	0	0

en 1. Het effect van belichting in de aanlooptijd wijkt dan met 11,32 g en 0,270 st/kWh nauwelijks af van de effecten gemeten in de volle belichtingsseizoenen.

De grootte van het belichtingseffect lijkt tussen de seizoenen enigszins te verschillen.

De nauwkeurigheid van meten is echter niet zo groot, zeker niet voor de aanlooptijd, dat we kunnen stellen dat de effecten per seizoen afwijken van het gemeten effect over de gehele proefperiode heen, een effect van 7,95 g en 0,27 st/kWh, bijlage 2.

Met het bovenstaande betoog wordt de vraag opgeworpen of belichten tijdens de fase van struikopbouw wel zin heeft, zie discussie paragraaf 5.1. Een gelijke reactie op lichtsom op beide lokaties en voor alle jaren is verrassend omdat er wisselende niveauverschillen zijn in produktie tussen de twee lokaties, zeker in aantal geproduceerde takken, tabel 8.

3.2.3. Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op de produktie per periode

Gedurende het jaar is er een verloop in de produktie te zien, waarbij globaal de toe- en afname van de natuurlijke instraling wordt gevolgd. De geoogste biomassa valt sterk terug met de daling van de hoeveelheid natuurlijk licht, sterker nog dan de stuksproduktie, figuur 4. De reactie van de stuks produktie op het daglicht wordt nog enigszins gecamoufleerd door een terugval in takgewicht bij afnemende lichthoeveelheden.

De laagste produktie wordt gerealiseerd in het begin van het jaar, periode 1 en 2, terwijl het lichtniveau het laagst is rondom de kortste dag op 21 december, in periode 13 en 1, figuur 4 en 5. De respons van de produktie op de veranderende hoeveelheid daglicht treedt dus verlaat op, één tot twee perioden na-ijling. De tijd tussen de lichtontvangst van het gewas en de reactie daarop van de produktie zal door het jaar heen niet constant zijn.

Ook met de hoogste hoeveelheden assimilatielicht kon de grote terugval in produktie, gemeten als biomassa-produktie per m², niet worden voorkomen. De terugval in de produktie is echter bij een hoge belichtingsintensiteit van 9 watt aanvullend tot 20 uur per dag veel minder dan bij een lage intensiteit van 3 watt en 16 uur daglengte. Opvallend is dat er geen na-effect optreedt van de assimilatiebelichting, in de zomerperiodes is het produktieniveau van de behandeling met de laagste en de hoogste hoeveelheid bijbelichting gelijk, figuur 5.

Het effect van een hoeveelheid lamplicht op de produktie kan het duidelijkst worden geïllustreerd door te kijken naar het produktieverschil tussen behandelingen met verschillende belichtingsintensiteiten. Een verhoging van de belichtingsintensiteit, van 3 naar 6 watt of van 3 naar 9 watt, geeft een verhoging van de biomassa-produktie te zien. De produktieverhoging treedt elk jaar op, maar de verschillen door lichtverhoging naar 6 of 9 watt/m² zijn niet elk jaar precies even groot, figuur 6. Wel duidelijk wordt dat de extra produktie door een verhoogde lichtintensiteit pas wordt gerealiseerd nadat er belicht is. De piek in de produktieverhoging wordt gerealiseerd minimaal één periode na de periode met het hoogste aantal belichte uren. In de zomer, als de lampen nog maar weinig uren aan zijn, of geheel uit, is er geen hogere produktie in de afdelingen met de hoogste lichtintensiteiten. In het voorjaar valt het produktieverschil tussen de afdelingen opvallend vroeg weg, nog voordat gestopt wordt met de belichting, zie ook de discussie in paragraaf 5.1.

Tussen de behandelingen met aanvullende belichting tot 16 en tot 20 uur licht, een daglengte van 16 respectievelijk 20 uur, treedt een constant verschil op van 4 uur x 28 dagen = 112 extra belichtingsuren per periode. De extra hoeveelheid licht resulteert in een verhoogde biomassa-produktie bij de daglengte van 20 uur, die voor alle perioden ongeveer gelijk is, maar die 's zomers weer verdwijnt, figuur 7. Ook hier is het belichtingseffect in het voorjaar reeds voordat de belichting wordt gestopt, verdwenen.

Er is per periode een analyse gemaakt (regressie-analyse) om de invloed van de hoeveel-

heid lamplicht op de biomassa-productie te meten. Hierbij is gekeken naar de reactie van de productie op de lichthoeveelheid, gemeten als kWh opgenomen vermogen in de voorliggende periode. In de aanloophase blijkt de biomassa-productie bij aanvang van de productie met bijna 14 g/kWh in periode 3 sterk op de belichting te reageren. Al snel wordt de reactie minder sterk en in periode 6 is de productie gelijk in alle behandelingen. In de twee volgende, volproductieve belichtingsseizoenen loopt de productie vanaf periode 10 in het najaar tot periode 3 in het voorjaar gestaag op van 8 tot 15 g/kWh. Na periode 3 reageert de biomassa-productie snel minder sterk op de belichting en in periode 6 is geen belichtingseffect gevonden, terwijl er in periode 5 nog wel belicht is. In de zomer, van periode 6 tot en met periode 9, is er geen positief effect van belichting op de productie gevonden. In periode 7 en 8 geen effect omdat er in de voorgaande perioden niet belicht is en in periode 9 wellicht niet omdat de belichting pas in de loop van periode 8 is gestart, bijlage 3.

De veronderstelling dat de productie in de aanloophase anders zou reageren dan in de volproductieve jaren bleek onhoudbaar. Er is geen verschil in reactie op belichting gevonden tussen de aanlooperperiode en de volproductieve jaren. Ook in periode 3, bij begin van de productie, is er in de aanloophase geen sterker effect gevonden als gevolg van belichting tijdens de fase van gewasopbouw.

3.2.4 Seizoens-effecten in de productie door de variatie in natuurlijk (zon)licht

In een onderzoek naar de invloed van belichting op de productie is het zeker niet misplaatst om het effect van verschillende lichtbronnen met elkaar te willen vergelijken. De hoeveelheid zonlicht varieert sterk door het jaar heen. Met name in de wintermaanden is licht de beperkende factor voor de productie in kassen. Voor de roos blijkt dit mede uit het teruglopen van het takgewicht. Enig inzicht in de verhouding tussen natuurlijk licht en gegeven kunstlicht draagt bij tot begrip voor de gevonden resultaten. Bij een vergelijking zal de lichthoeveelheid die het gewas ontvangen heeft, bekend moeten zijn. Nu is de hoeveelheid zonlicht die de kas is binnengekomen niet gemeten. Zij moet worden berekend vanuit de buiten gemeten globale straling. De vergelijking tussen effect van lamplicht en zonlicht kan dus niet meer opleveren dan een vrij globaal beeld.

Voor de omrekening van globale straling buiten naar hoeveelheid groeilicht op gewashoogte zijn een tweetal aannames gedaan. De eerste veronderstelling is dat de globale straling slechts voor een deel bestaat uit fotosynthetisch actief licht. Algemeen wordt aangenomen dat dit alleen het licht is met een golflengte tussen 400 en 700 nanometer. Dit betekent dat een hoeveelheid zonlicht van 1 J/cm² tussen de 1,94 en 2,63 $\mu\text{mol}/\text{cm}^2$ groeilicht levert, afhankelijk van de zonnestand en de bewolkingsgraad, gemiddeld 2,3 $\mu\text{mol}/\text{J}$ (1 J/cm² = 0,023 mol/m²). De tweede veronderstelling is dat de transmissie door het kasdek, gemeten over een 4-weekse periode, overeenkomt met de meting bij diffuus licht. Gemiddeld over beide lokaties is een lichttransmissie gemeten van 57% van het buitenlicht. De gegevens over de hoeveelheid globale straling buiten zijn verkregen van het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, vestiging Naaldwijk. Voor de SON-T lampen is in de proefsituatie gemeten hoeveel (groei)licht zij uitzenden. Uitgaande van een opgenomen vermogen van 460 watt/lamp is dit 3,11 mol/kWh.

Uit tabel 9 kan worden afgelezen dat belichting 's winters een grote bijdrage kan leveren aan de totaal door het gewas ontvangen lichthoeveelheid. In het voor- en najaar daalt de hoeveelheid lamplicht al snel tot onder de 10% van de totale lichthoeveelheid. Het zal alleen al uit hoofde van de beperkte hoeveelheid moeilijk zijn om de effecten van belichting, in perioden met veel buitenlicht, aan te tonen.

In de winter loopt de biomassa-productie sterk terug omdat daarin zowel de teruggang in aantal takken als in takgewicht tot uiting komt. Hoe sterk de productie in een onbe-

Tabel 9: De berekende hoeveelheid zonlicht en de gemeten hoeveelheid lamplicht in mol/m² per lichtbehandeling en de biomassa-productie per periode

periode num- mer	Lichtsom (mol/m ²)								Biomassa prod. zonder belichting gecorr.voor snee-effect	
	Zonlicht		Assimilatielicht							
			SON-T licht DL = 16			SON-T licht DL = 20				
	1991 /92	1992/ 93	3 watt	6 watt	9 watt	3 watt	6 watt	9 watt	1991/ 92	1992/ 93
2	140	114	15	30	45	22	43	65		
3	235	216	11	23	34	18	35	53	343	152
4	418	355	8	16	24	14	29	43	363	402
5	573	547	4	8	12	8	17	25	664	672
6	598	721	0	0	0	0	0	0	848	927
7	628	779	0	0	0	0	0	0	912	1025
8	662	757	1	3	4	2	5	7	903	898
9	635	587	6	11	17	12	24	36	855	870
10	459	407	9	18	27	15	31	46	719	793
11	256	285	13	26	39	19	39	58	586	653
12	143	149	18	35	53	24	48	72	496	523
13	80	88	19	39	58	26	52	77	291	339
1	75	80	19	38	57	25	51	76	215	256
2									126	196

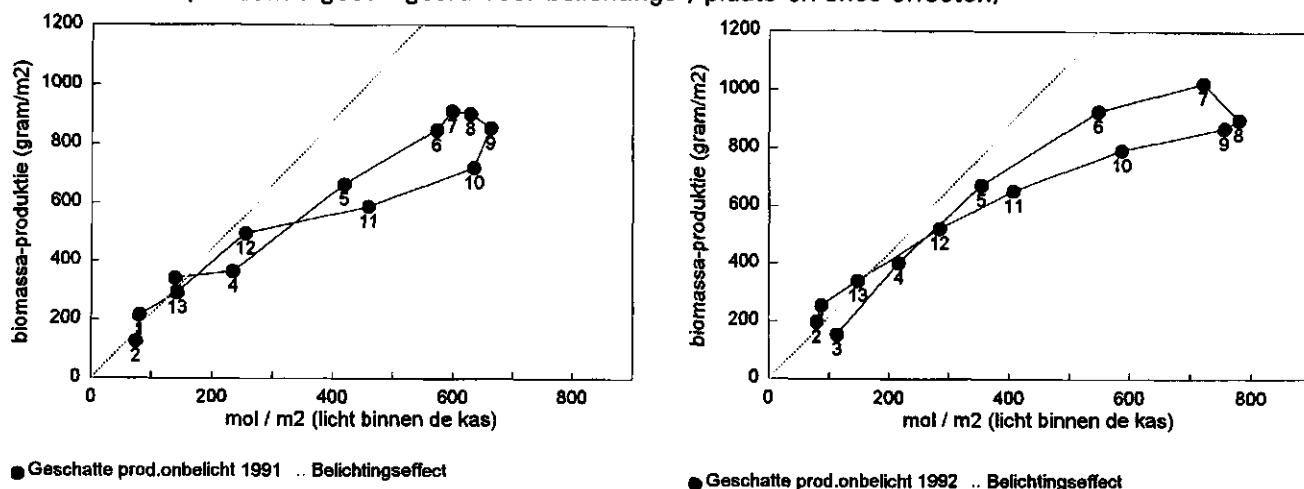
Globale straling: 1 J/cm² = 0,023 mol/m², lichtdoorlating kas 57%;

SON-T licht: 1 kwh/m² stroomverbruik = 3,11 mol/m²

lichte situatie terugloopt is afgeleid uit de regressie-formule, bijlage 3. In de regressie-vergelijking staat het produktieniveau zonder belichting voor beide locaties naast het belichtingseffect. Wanneer we dit corrigeren voor het snee-effect krijgen we het produktieniveau per periode, tabel 9. De hoogte van de produktie wordt beïnvloed door de lichthoeveelheid één of twee perioden voorafgaande aan de oogstperiode.

Gezien de beperkte hoeveelheid licht bij de behandelingen bij een belichtings-intensiteit van 3 watt/m² en een daglengte van 16 uur, is voor het bepalen van de produktie zonder belichting, slechts geëxtrapoleerd over een klein traject, figuur 1. Bovendien is het verband tussen de produktie en de hoeveelheid lamplicht (lichtsom) rechtlijnig, figuur 3, zodat in dit geval bij de extrapolatie geen grote fout kan ontstaan. De invloed van zonlicht op de biomassa-productie, met een na-ijleffect van zes weken, is duidelijk aanwezig, figuur 8. De reactie op de hoeveelheid zonlicht (g/mol) wijkt in het winterhalfjaar niet sterk af van de reactie op lamplicht. De biomassa-productie, geoogst van periode 7 tot en met periode 10/11, lijkt echter minder sterk bepaald te worden door de beschikbare lichthoeveelheid. Wellicht zijn er dan andere factoren die de produktie

Figuur 8: De produktie van periode 1 t/m 13 uitgezet tegen de berekende zonlichtsom binnen de kas, in vergelijking met het gemeten belichtings-effect. (Produktie gecorrigeerd voor belichtings-, plaats en snee-effecten)



beperken, zie ook de discussie in paragraaf 5.1.

Bij dezelfde lighthoeveelheid is er een verschil in de biomassa-produktie tussen voor- en najaar. Dit verschil kan mogelijk verklaard worden uit de gehanteerde knipmethode, waarbij in het najaar een deel van de tak op het gewas achterblijft, en in het voorjaar een deel van de onderliggende tak wordt meegeknipt, zie ook discussie in paragraaf 5.1.

3.2.5 Effect belichtingsintensiteit en daglengte, op houdbaarheid, witaantasting en voedingsopname

Voor de houdbaarheidsproef is geoogst op 6 januari, 3 februari en 2 maart 1992. Na oogst en verwerking zijn er tien rozen per behandeling genomen, 1e kwaliteit en minimaal lengte 7, en in de voorgeschreven concentratie Chrysal VB in de koelcel gezet. De volgende dag zijn de bloemen in een veilingdoos via collectief vervoer, per tien verpakt in papier of folie, naar het PBG vestiging Aalsmeer getransporteerd. Op het PBG hebben de rozen nog één dag drooggestaan bij 15 °C (totaal 2 dagen transport-simulatie). Op de derde dag is er voor herstel van de bloemen 5 cm van de steel geknipt en zijn de bossen drie uur op water gezet bij 20 °C in de uitbloeiruimte. Voor de houdbaarheid-toets zijn de onderste bladeren verwijderd en zijn de takken op water gezet.

Tabel 10: Bloemontwikkeling en vaasleven per behandeling; ontwikkeling op een schaal van 1 t/m 5 en vaasleven in dagen per steel

Behandeling	Intensiteit belichting				Intensiteit belichting			
Daglengte	3 watt	6 watt	9 watt	gemiddeld (lsd = 0,09)	3 watt	6 watt	9 watt	gemiddeld
	Bloemontwikkeling (ontw.stadium)				Vaasleven (dagen)			
16 uur	2,66	2,67	2,64	2,65 a	9,1	10,4	10,5	10,0
20 uur	2,93	2,95	2,92	2,93 b	9,3	10,2	10,4	10,0
gemiddeld (lsd = 0,25)	2,80	2,81	2,78		9,2 a	10,3 b	10,4 b	

Naast het vaasleven is op de vijfde dag in de houdbaarheidsruimte de bloemontwikkeling gemeten. Het effect van de belichtingsbehandelingen op bloemontwikkeling en vaasleven zijn heel beperkt, tabel 10.

Gedurende de wintermaanden, oktober 1991 t/m februari 1992 is de mate van aantasting door "wit" bepaald (H. Huisman, DLV-Emmen). Maandelijks zijn per veldje tien takken met gekleurde knoppen beoordeeld op aantasting. Deze waarneming is alleen in Klazienaveen uitgevoerd, conclusies ten aanzien van de invloed van de lichtintensiteit kunnen derhalve, bij gebrek aan een herhaling, niet worden getrokken. Gemiddeld was er op 42% van de takken sprake van witaantasting. Op de vakken met een daglengte van 20 uur is de infectiedruk gemiddeld wat lager geweest dan op de vakken met een daglengte van 16 uur, maar niet voldoende systematisch om van een betrouwbaar daglengte-effect te kunnen spreken.

Om mogelijke neveneffecten van assimilatiebelichting op de opname van elementen na te gaan zijn op beide proeflocaties substraat- en gewas-analyses (3e, 4e en 5e vijfblad vanaf de knop van oogstbare takken) gemaakt. In de proef wordt niet gerecirculeerd en de monsters zijn genomen in maart, augustus, oktober en december 1991. Er is gewerkt met de standaard voedingsoplossing volgens de Bemestingsadviesbasis Glastuinbouw. Aanpassingen zijn gedaan volgens advies BLGG vanuit een mengmonster van alle behandelingen in de proef. Per proeflocatie hebben alle behandelingen een gelijke hoeveelheid water en voeding gekregen, zonder rekening te houden met een mogelijk hogere wateropname van de sterker belichte vakken. Uit de analyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken, bijlage 3:

- de gerealiseerde EC in het substraat is in Horst (3,4) hoger geweest dan in Klazienaveen (2,6).
- in de proef zijn de gerealiseerde gehalten aan sulfaat laag en aan ijzer hoog geweest.
- in het substraat zijn er kleine effecten geweest van de lichtbehandeling op de gehalten aan NO_3 , Ca en Mn. Met meer licht is het gehalte iets lager, doch niet zodanig dat de hoogste of laagste streefcijfers werden overschreden.
- in het blad zijn er per kg droge stof zeer kleine effecten gevonden bij alle (hoofd)elementen. Een hogere intensiteit of langduriger belichten resulteerde in een toename van het drogestof-gehalte en in 't algemeen in een zeer geringe afname van het elementgehalte.

4. ECONOMISCHE EVALUATIE VAN ASSIMILATIEBELICHTING

4.1 Opbrengsteffecten assimilatiebelichting per periode

In dit hoofdstuk wordt bekeken hoe in de toekomst met de belichtingsinstallatie moet worden omgegaan om er het hoogste rendement uit te halen. De produktie-effecten van assimilatiebelichting kunnen met behulp van stuksprizen worden omgerekend naar opbrengsteffecten. Omdat het om toekomstige effecten gaat ten behoeve van de planning, is gerekend met verwachte prijzen, (KWIN 1994/95). Met behulp van het takgewicht is de prijs per steel ook omgerekend naar de prijs per gram. De opbrengst is berekend per kWh opgenomen vermogen, 460 watt/400 watt lamp. Het effect van belichting is bijvoorbeeld in periode 13: 10,60 g/kWh (bijlage 3). Vermenigvuldigd met de prijs in periode 13 van 2,98 en 2,79 ct/g voor Horst en Klazienaveen, geeft dit een opbrengst-effect van 31,6 respectievelijk 29,6 ct/kWh. Het resultaat is opgenomen in tabel 11.

Belichten buiten het winterhalfjaar blijkt minder lucratief, niet alleen vanwege de minder sterke reactie van het gewas op belichting, maar ook vanwege de lagere stuksprizen in het zomerhalfjaar.

Tabel 11: Berekende opbrengst assimilatiebelichting in ct/kWh opgenomen vermogen (460 watt/400 watt SON-T) per periode voor beide locaties.

periode-nummer	seizoenseffecten					Lichtsommeffect op biomassa		
	Ho	Kl.v		Ho	Kl.v		Horst	Klazienaveen
	g/st	g/st	ct/s t	ct/g	ct/g	g/kwh	ct/kwh	ct/kwh
8	33,1	28,0	28	0,85	1,00	0	0,00	0,00
9	29,2	27,8	38	1,30	1,37	0	0,00	0,00
10	30,5	28,1	50	1,64	1,78	8,82	14,46	15,70
11	28,6	28,6	51	1,78	1,78	8,15	14,51	14,51
12	27,7	29,4	62	2,24	2,11	3,77	8,44	7,95
13	24,5	26,2	73	2,98	2,79	10,60	31,59	29,57
1	22,2	24,2	67	3,02	2,77	10,91	32,95	30,22
2	23,2	24,6	90	3,88	3,66	13,04	50,60	47,73
3	25,4	28,4	59	2,32	2,08	15,00	34,80	31,20
4	32,9	31,9	47	1,43	1,47	11,26	16,10	16,55
5	34,1	33,7	57	1,67	1,69	5,34	8,92	9,02
6	31,7	31,5	44	1,39	1,40	0	0,00	0,00
7	29,8	32,0	31	1,04	0,97	0	0,00	0,00
gemiddeld	29,4	30,1	49	1,67	1,63	7,95	13,28	12,96

4.2. Kosten van assimilatiebelichting

4.2.1. Investerings in de belichtingsinstallatie

Een belichtingsinstallatie van enige omvang kost, geïnstalleerd in de kas, ruim f 500,- per lamp. Voor een rozenbedrijf van 15.000 m² betekent dit dat de investering aan lampen, bekabeling en installatie al snel boven de f 500.000,- uitkomt. Aansluiting aan het openbare elektriciteitsnet voor stroomlevering door het nutsbedrijf kan eveneens een kostbare zaak zijn, tabel 12. De investering in kabelaansluiting en transformatoren wordt, met name wanneer het investeringsbedrag hoog is, voor een (belangrijk) deel direct aan de teler in rekening gebracht. De jaarlijks terugkomende kosten voor aansluiting op het net nemen toe doordat een hoog vermogen (KVA) wordt gevraagd. Veel bedrijven kiezen om financiële redenen voor eigen stroomopwekking. Aanschaf en installatie van een Warmte-Kracht (WK) installatie, met warmtebuffer, vergt wederom een bedrag dat snel boven de f 500.000,- uitkomt. Deze komt echter wel in aanmerking voor (milieu)subsidie tot momenteel 40%. (KWIN 1993/94 20% milieu-investering + 20% kwaliteitsverbetering). Het exacte bedrag van de investering is echter sterk afhankelijk van de gewenste lichtintensiteit en de bedrijfsgrootte, zie bijlage 2. Het jaarlijkse bedrag voor rente, (afschrijving), stroomaansluiting en onderhoud (de vaste kosten) van de belichtingsinstallatie is dan ook hoog, voorbeeld in tabel 13.

Tabel 12: Voorbeeld investering en jaarkosten belichtingsinstallatie (1000 lampen, prijs KWIN)

Benodigde apparatuur	Uitgangssituatie		
	Stroomafname nutsbedrijf	Eigen stroomopwekking	
		zonder terug- levering	met teruglevering openbare net
Armaturen	330.000	330.000	330.000
Lampen 400 watt SON-T	45.000	45.000	45.000
Bekabeling	130.000	130.000	130.000
Aansluiting openbare net*	100.000		100.000
WK-installatie		450.000	450.000
Waterzijdige aansluiting		10.000	10.000
Geluidarme kast		25.000	25.000
Warmteopslagtank		60.000	60.000
Subsidies (50% op WK)		-272.500	-272.500
TOTAAL INVESTERING	605.000	777.500	877.500

* Bedrag sterk afhankelijk van de bedrijfssituatie

Tabel 13: Voorbeeld gebruiksonafhankelijk jaarkosten belichtingsinstallatie
(1000 lampen, rente 7%, afschrijving en onderhoud volgens KWIN)

	Uitgangssituatie		
	Stroomafname nutsbedrijf	Eigen stroomopwekking	
		zonder terug- levering	met teruglevering openbare net
Rente (50% investering)	21.175	27.213	30.713
Onderhoud (0,5%)	2.525	3.888	3.888
Vast recht stroomlevering	850		850
Huur trafo huis	1.800		1800
(Afschrijving *)	(105.500)	(132.000)	(142.000)
Vergoeding piekuur levering			-80.000
TOTAAL VASTE JAARKOS- TEN (met)/zonder afschrijving	(131.850) 26.350	(163.101) 31.101	(95.751) -46.249

* Terugverdiendtijd wordt berekend.

Tabel 14: Voorbeeld gebruikskosten van een belichtingsinstallatie (ct/kWh) bij een
gasprijs van 21,8 ct/m³, onderhoudsnormen volgens KWIN

Omschrijving	Uitgangssituatie				
	stroom- levering nutsbedrijf		eigen stroomopwekking		
			zonder te- ruglevering	met teruglev. openbare net kWh verbr. / kWh geleverd	
Afschrijving lampen	0,82	0,82	0,82	0,82	
Onderhoud WK			1,50	1,50	1,50
Energiekosten WK			6,76	6,76	6,76
Energiekosten nutsbedrijf (ct/kWh)	11,0	15,0			-8,57
Warmteproductie lampen	-2,23	-2,23	-2,23	-2,23	
Warmteproductie WK			-3,65	-3,65	-3,65
Variabele kosten zonder/	11,82	15,82	9,08	9,08	-0,31
met warmtebenutting	9,59	13,59	3,20	3,20	-3,96

Om de jaarlijkse kosten te beperken kan de WK-installatie tijdens piekuren in de stroombehoefte beschikbaar gesteld worden aan het nutsbedrijf. De nutsbedrijven betalen een hoge vergoeding voor een zeer beperkte stroomlevering. Voorwaarde is wel dat de WK-installatie zeer bedrijfszeker dient te zijn en de installatie aangesloten wordt op het openbare net en dat kan kostbaar zijn. (Ook bij stroomaankoop kan men hiervan profiteren, nutsbedrijven berekenen een sterke reductie op de aansluitkosten wanneer men zich bij piekuren laat afschakelen).

4.2.2. Gebruikskosten belichtingsinstallatie

De gebruikskosten betreffen de afschrijving van de lampen (gebruiksduur 12000 uur), het onderhoudscontract voor de WK-installatie en het energieverbruik van de lampen en de WK-installatie. De lampen en de WK-installatie geven warmte af die nuttig kan worden aangewend om de kas op temperatuur te houden. Wanneer de opgewekte warmte niet of slechts voor een deel benut kan worden, zoals het geval is in een situatie dat stroom wordt afgenomen van het openbare net of dat er een warmte-overschot is, zijn de gebruikskosten van belichting aanzienlijk. Bij nuttige aanwending van alle beschikbare warmte, zoals bij eigen stroomopwekking het geval kan zijn, blijven de gebruikskosten (ct/kWh) laag, maar zonder warmtebenutting kunnen de variabele kosten sterk oplopen, tabel 14 en bijlage 4c.

Om overschotsituaties zoveel mogelijk te vermijden kan een voorziening worden getroffen voor warmte-opslag, tevens te gebruiken voor de warmte die vrijkomt bij CO₂-productie. De opgeslagen warmte kan, binnen de termijn van één of twee dagen, benut worden om de kas tijdens de koudste uren en in de donkeruren op temperatuur te houden.

4.2.3. Warmteoverschotten en energiekosten

De warmtebehoefte bij de teelt van roos cv Madelon is bekend (KWIN 1993/94).

Normaal wordt de benodigde warmte en CO₂ verkregen vanuit de verwarmingsketel, doch bij belichting kan ook het koelwater van de WK-installatie en de lampwarmte in een deel van de warmtebehoefte voorzien.

Om een idee te krijgen van de toename in gasverbruik bij belichting is een globaal reken-schema gemaakt van het energieverbruik in de belichtingsperiode. Bij gebruik van een warmtebuffer is aangenomen dat, vanwege de variatie in warmtevraag, de ketel tenminste voor 25% van de warmte moet zorgen, tabel 15. In periode 1 is dat 25% van 6,3 m³ = 1,6 m³. Zonder gebruik van een warmtebuffer is in dit voorbeeld aangenomen

Tabel 15: Verdeling opgewekte en benodigde warmte over dertien 4-weekse perioden

periode nr	NORM daglengte	INGESTELD aantal bel.uren	BEREKEND op basis van de uitgangspunten					NORM warmte behoefte	warmte-overschot			
			Gasverbruik (m3 gas / m2 bruto kas)						met buffer	zonder buffer		
		nacht	dag	ketel +buffer / -buffer	CO2 ketel	WK instal						
1	8,5	7,5	8,5	1,6	3,5	0,9	5,1	6,3	1,3	3,3		
2	9,7	6,3	9,4	1,5	3,4	0,9	5,0	5,8	1,6	3,5		
3	11,5	4,5	7,2	1,3	3,3	0,9	3,7	5,1	0,8	2,9		
4	13,4	2,6	5,2	1,0	2,6	0,9	2,5	3,8	0,5	2,2		
5	14,9	1,1	3,8	0,6	1,6	0,9	1,6	2,2	0,8	1,9		
6	15,9	0,0	0,0	0,7	1,2	0,9	0,0	1,6	0,0	0,5		
7	15,9	0,0	0,0	0,4	1,0	0,9	0,0	1,3	0,0	0,6		
8	14,9	1,1	3,8	0,3	0,8	0,9	1,6	1,1	1,6	2,2		
9	13,4	2,6	5,2	0,3	0,8	0,9	2,5	1,2	2,5	3,0		
10	11,5	4,5	7,2	0,5	1,1	0,9	3,7	1,8	3,3	3,9		
11	9,7	6,3	9,4	0,8	1,8	0,9	5,0	3,1	3,6	4,6		
12	8,5	7,5	8,5	1,2	2,8	0,9	5,1	4,9	2,3	3,9		
13	8,0	8,0	8,0	1,5	3,2	0,9	5,1	5,8	1,7	3,4		
totaal		1456	2129	11,4	27,2	11,6	40,9	44,0	19,9	35,7		
gewenst		1456	2544	uur/jaar		m3 gas/kwh			0,15	0,27		
				gasverbruik totaal met gebruik warmtebuffer							63,9	m3/m2
Intensiteit belichting:		800 lamp/ha		gasverbruik totaal zonder gebruik warmtebuffer							79,7	m3/m2

De hoeveelheid beschikbare warmte is sterk afhankelijk van de geïnstalleerde belichtingssterkte. Elk uur belichting levert over een periode van vier weken, een warmtehoeveelheid op van 3,5 m³ per lamp (koeling WK + lampwarmte) en voor CO₂-productie, bij een verbruik van 20 m³/ha/uur, een hoeveelheid van 0,056 m³/m². Bij een belichtingssterkte hoger dan 1 lamp per 12 m² gaan jaarrond warmteoverschotten ontstaan. In de zomermaanden is het ontstaan van warmteoverschotten bij gebruik van de belichtingsinstallatie onvermijdelijk.

Het bovenstaande betekent dat een bedrijf met eigen stroomopwekking de mogelijkheid heeft om met een donkerperiode van 4 uur ongeveer 3600 uur per jaar te belichten, tabel 16.

In de proefsituatie in Horst en Klazienaveen is dit niet gehaald, daar is 2150 uur belicht. Vanwege de proefomstandigheden is de belichting daar, reeds bij 50 watt globale straling buiten, afgeschakeld. Dit betekent dat in een praktijksituatie, bij dit lichtniveau van 6 watt/m² (800 lampen/ha), een opbrengstverhoging van ruim f 28,-/m² behaald kan worden. De belichtingsstrategie is daarbij dat er in de zomer, als het saldo van belichtingsopbrengst minus de variabele kosten van belichting negatief wordt, weinig wordt belicht. In de winter bij een duidelijk positief saldo wordt er overdag duidelijk meer belicht dan in de proefsituatie, mogelijk is het zinvol om overdag continu te belichten. De gebruikskosten kunnen daarmee worden beperkt tot f 3,78 voor onderhoud en afschrijving van de lampen + f 3,72 aan kosten van opgewekte warmte die niet benut kan worden, totaal = f 7,50/m². Deze belichtingsstrategie resulteert in een korte terugverdientijd voor de totale installatie, die uitkomt op ongeveer 3,5 jaar, tabel 16.

Variëren van de belichtingsintensiteit en het aantal belichtingsuren in het rekenmodel levert een helder beeld op over de te voeren belichtingsstrategie, tabel 17. Intensief gebruik van de installatie, veel branduren maken, verkort de terugverdientijd. Het voordeel wordt echter klein als er alleen nog maar vroeg in de herfst en laat in het voorjaar extra uren te maken zijn, meer dan 3000 uur belichten bij een daglengte van 16 uur. Verlengen van de lichtperiode is een andere mogelijkheid om meer uren te maken. Met een daglengte van 20 uur kan het aantal branduren van de lampen met 1200 worden opgevoerd tot ongeveer 4800 uur per jaar. Met dit extra aantal branduren kan de terugverdientijd worden teruggebracht tot 2,7 jaar, tabel 17.

Een verhoging van de gasprijs pakt met name ongunstig uit in de situatie dat de beschikbare warmte maar voor een deel benut kan worden. Bij een belichtingsintensiteit lager dan 800 lampen per ha en een belichtingsduur van minder dan 4000 uur/jaar valt het effect van een verhoogde gasprijs erg mee, tabel 17.

Andere mogelijkheden om de winst van een belichtingsinstallatie te verhogen liggen in de aanschaf van een warmtebuffer van voldoende capaciteit en het leveren van elektriciteit aan het nutsbedrijf op piekuren. De beschikbare warmte uit de WK-installatie moet opgeslagen kunnen worden voor de uren waarop niet belicht wordt. Met name bij een niet al te grote daglengte kan veel energie worden bespaard. De vergoedingen voor piekurelevering zijn veelal gunstig, terwijl het aantal uur waarop geleverd dient te worden beperkt is. Wel dient ermee rekening te worden gehouden dat de warmte die bij elektriciteitslevering beschikbaar komt meestal niet benut kan worden vanwege een reeds bestaande warmteoverschot-situatie.

Tabel 17: Terugverdientijd van de belichtingsinstallatie bij een gasprijs van 22 en 30 ct/m³ bij toenemende belichtingsintensiteit en een toenemend aantal gebruiksuren (zonder gebruik warmtebuffer en rente 7%)

Branduren per jaar, daglengte 16 uur						Branduren per jaar, daglengte 20 uur					
nacht	1456	1456	1456	1456	1456	2688	2688	2688	2688	2688	2688
dag	508	1441	2129	2501	2783	508	1441	2129	2501	2783	2783
etmaal	1964	2897	3585	3957	4239	3196	4129	4817	5189	5471	5471
lampen/ha	Gasprijs 22 ct/m ³					Gasprijs 22 ct/m ³					
400	5,90	3,86	3,30	3,25	3,25	3,88	2,88	2,56	2,52	2,52	2,52
800	6,27	4,07	3,48	3,42	3,42	4,15	3,06	2,71	2,67	2,67	2,67
1200	6,41	4,15	3,54	3,48	3,48	4,25	3,12	2,76	2,73	2,73	2,73
	Gasprijs 30 ct/m ³					Gasprijs 30 ct/m ³					
400	6,50	4,28	3,71	3,71	3,76	4,33	3,22	2,88	2,88	2,91	2,91
800	7,33	4,76	4,11	4,13	4,20	4,94	3,61	3,23	3,23	3,28	3,28
1200	7,67	4,94	4,27	4,29	4,37	5,19	3,77	3,37	3,38	3,42	3,42

5 . DISCUSSIE

5.1. De struikopbouw

In de fase van struikopbouw, direct na het planten van een nieuw gewas, zijn geen invloeden van de belichting geconstateerd op de grond- en broekscheutvorming. Ook de uitzwaring in het tweede jaar is niet beïnvloed door de belichtingsbehandelingen. Uit de verschillen in aantal en dikte van de grond- en broekscheuten tussen de diverse uitgangsmaterialen en de locaties blijkt dat het toch wel mogelijk is om de struikopbouw te beïnvloeden. De onderstam heeft enige invloed en de locatie heeft een groot effect gehad op zowel aantal als diameter van het onderhout. Op ROC Horst wilde men een zware struik en rozen van een zware kwaliteit, terwijl men op ROC Klazienaveen meer gericht is geweest op produktiehoeveelheid. Per struik heeft men op ROC Horst inderdaad veel grond- en broekscheuten gekregen, onder andere door de grondscheuten diep terug te knippen, tabel 4. In het eerste teeltjaar heeft deze teeltwijze kwalitatief zware takken geleverd, de produktie echter, gemeten in aantallen rozen/m², kwam wat later op gang en bleef beperkt. Ook de biomassa-produktie bleef achter bij de biomassa-produktie op ROC-Klazienaveen, figuur 2 en tabel 8. In de opvolgende jaren heeft het grote aantal grond- en broekscheuten per m² niet gezorgd voor een systematisch hogere produktie, stuks en/of biomassa, of een betere kwaliteit (takgewicht).

Een lager aantal grond- en broekscheuten op ROC Klazienaveen is gecompenseerd door een grotere diameter (verder uitzwaren door sterkere vertakking). De veel hogere produktie in het eerste jaar heeft tot nu toe niet geresulteerd in een snelle veroudering van het gewas, het steeds lichter worden van de takken, figuur 4.

Een goed groeiend, belicht gewas cv Madelon blijkt per jaar ongeveer 8.400 tot 8.700 g/m² biomassa te produceren, dat met sturing via knipmethode en kasklimaat verdeeld wordt over aantal takken en takgewicht. De forse verschillen in struikopbouw zijn niet bepalend geweest voor de biomassa-produktie, de struikopbouw is dus niet snel een beperkende factor. Een invloed van belichting op de struikvorming is niet geconstateerd en is dus kennelijk zeer beperkt.

Uit de literatuur (Van Rijssel 1979 en 1982) is bekend dat de groei-omstandigheden in de periode van struikvorming, bij een planttijd in december, zeer goed te sturen zijn. Onder goed stuurbare omstandigheden worden er in de praktijk als regel voldoende, en bij grootbloemige cultivars, voldoende zware grond- en broekscheuten gevormd om geen beperking te vormen voor een maximale produktie. Bij een late planting en een vroeg voorjaar zijn de groei-omstandigheden in de kas veel ongunstiger en veel minder te beïnvloeden. Dan bestaat wel de kans op onvoldoende struikopbouw die beperkingen oplegt aan de produktie. Belichten, direct vanaf planten, vormt dus slechts een zeer beperkt middel om de struikopbouw te beïnvloeden.

5.2. Daglengte- en lichtsom-effecten

De daglengte heeft geen ander effect op de produktie dan een mogelijkheid om de lichtsom te beïnvloeden die met een bestaande installatie gegeven kan worden. De daglengte speelt echter ook een rol in de houdbaarheid van belichte rozen. Voor de cultivars Madelon en Sonia wordt geadviseerd (PBG, vestiging Aalsmeer, sectie produktkwaliteit) om tenminste 6 uur donker aan te houden om het risico van slechte houdbaarheid, de combinatie van sterke verdamping op de vaas en vaatverstopping, te beperken.

De relatie tussen licht en produktie is met één periode verschil het duidelijkste, beter dan met 0 of 2 perioden verschil. Hieruit is geconcludeerd dat het effect van (assimilatie)-licht tot uiting komt in de produktie één periode na de lichttoediening. (De najittijd

zal door het jaar heen niet volledig stabiel zijn, zodat het nauwkeurig bepalen ervan niet heeft plaatsgehad). Elke zomer, na het stoppen van de belichting, verdwenen de produktie-verschillen tussen de behandelingen geheel. Ook uit ander onderzoek is bekend dat het effect van belichting snel verdwijnt na het stoppen met belichting (Zwart, 1994). Belichting heeft dus een kortdurend positief effect op de produktie, zowel op de biomassa-produktie als op aantal stuks, dat na ongeveer één periode na de lichttoediening tot uiting komt.

's Zomers kan er gedurende langere tijd geen meetbare, positieve invloed gevonden worden van belichting op de produktie, bijlage 3. Daarnaast is de gemeten biomassa in de zomer ook laag voor de beschikbare hoeveelheid zonlicht, figuur 8. De verklaring van beide effecten ligt mogelijk wederom bij de knipmethode die in de rozenteelt wordt gevolgd. Laat in het voorjaar of vroeg in de zomer wordt het gewas teruggeknipt op diepte, waarbij tevens veel van de dunnere takken worden verwijderd. Wanneer men het gewas wil verjongen, door het stimuleren van grond- en broekscheutvorming, doet men dit op een nog sterkere wijze. De aanwezige hoeveelheid blad en het aantal takken dat kan uitlopen is dan gering en daarmee wordt de produktie beperkt. Wellicht is deze beperking zo groot dat het beschikbare licht niet volledig meer kan worden benut. Wanneer licht in de zomermaanden niet behoort tot de beperkende factoren voor de produktie, heeft aanvullend belichten geen effect en dus ook geen zin.

Het effect van de lichtsom op de produktie lijkt in eerste instantie een redelijk rechtlijnig verband te zijn over een lang traject. Ook onderzoeksresultaten uit de Scandinavische landen, bij belichting met hoge belichtingsintensiteiten, wijzen in deze richting (Mortensen e.a., 1992). De biomassa-produktie reageert het meest stabiel op de ontvangen lichtsom, de reactie wordt wel steeds sterker naarmate het winterhalfjaar vordert, bijlage 3. Als gekeken wordt naar het effect van zonlicht op de produktie, de produktie gecorrigeerd voor de behandelingseffecten, dan blijkt ook daar dat de produktie in de zomer en herfst achter blijft bij de produktie in de winter en het voorjaar, bij dezelfde lichtsom, figuur 8. Een verklaring voor deze verschillen ligt wellicht opgesloten in de knipmethode en de kastemperatuur. In de zomer en het najaar wordt een tijd lang bovendoor geknipt, waarbij een deel van de tak op het gewas achterblijft, terwijl in de winter en het voorjaar onderdoor wordt geknipt, waarbij zelfs een deel van de onderliggende tak wordt meegeknipt (maar als regel niet meegewogen). Een opvallend hoog takgewicht in periode 4, 5 en 6 vergeleken met periode 9, 10 en 11 versterkt dit idee, figuur 2c. In het najaar is er een periode dat de lichtintensiteit van de zon sterk afneemt en er nog weinig gestookt wordt. De buitentemperaturen zijn nog relatief hoog en daarmee ook de temperatuur in de kas. De relatief hoge temperatuur bij de beperkte en afnemende lichthoeveelheid is niet bevorderlijk voor de groei en kan mede een oorzaak vormen voor het relatief lage takgewicht. Met belichting kan men de minder gunstige omstandigheden in de herfst niet wegwerken omdat er naast licht ook extra warmte in de kas wordt gebracht.

De normale economische aanpak om de belichtingsstrategie te optimaliseren weegt de geconstateerde opbrengst-effecten af tegen de variabele kosten per periode. Een duidelijk positief verschil in de winter betekent dat het aantal belichtingsuren gemaximaliseerd dient te worden, een marginaal of negatief verschil in de zomer betekent een sterk reduceren van de belichtingsuren en deze strategie resulteert in de kortst mogelijke terugverdientijd van de belichtingsinstallatie. Verder opvoeren van de belichtingsintensiteit tot boven de 7 watt/m² groeilicht (3000 Lux, bij 800 lampen per ha) biedt in de Nederlandse situatie geen perspectieven vanwege het optreden van grote warmteoverschotten en de relatief hoge gasprijs. De Scandinavische situatie voor het belichten van kasgewassen met stroom opgewekt uit waterkracht valt, met name voor hoge intensiteitsbelichting, veel gunstiger uit, zowel economisch als milieutechnisch. Er komt in de Scandinavische landen bij de stroomopwekking via waterkracht nauwelijks of geen

warmte vrij en de stroomprijs is, in vergelijking met Nederland, laag.

5.3. Milieueffecten van assimilatiebelichting

Vanuit het oogpunt van milieu is het van belang om energieverspilling te voorkomen. Assimilatiebelichting, belichten met een hoge lichtintensiteit, vergt veel energie omdat slechts een klein deel van de verbruikte brandstof in licht kan worden omgezet. Het algemene standpunt dat assimilatiebelichting een verspilling van energie is klopt echter niet zonder meer met de feiten.

Gecorrigeerd voor de belichtingseffecten (onbelicht, bijlage 2) zouden op de proeflocaties gemiddeld 246 rozen per m² zijn geoogst, wat aanmerkelijk hoger is dan gemiddeld in de praktijk (KWIN 1993/94). Bij een gasverbruik volgens KWIN van 44 m³/m² bij jaarrondproductie betekent dit een energierendement van gemiddeld 5,6 rozen/m³ gas. Dit gemiddelde zegt niet zoveel omdat de kas met name 's winters verwarmd wordt, het energierendement loopt dan terug tot 1,64 rozen/m³, tabel 18. Het energierendement van een rozenteelt die 's winters drie tot vier maanden buiten productie is ligt ver boven de 6 rozen/m³, doch deze teeltwijze is economisch niet interessant.

Tabel 18: Energierendement van verwarming en van belichting per seizoen

	Energieverbruik en productie			Energie-rendement			
	Gas-verbruik	Productie onbelicht	Productie effect van belichting	Onbelicht	Belichting (lampwarmte benut)		
					koel-warmte benut		koel-warmte onbenut WKK
					Centrale	WKK	
Periode	m ³ /m ²	stuks/m ²	st/kWh	st/m ³	st/m ³	st/m ³	st/m ³
7 t/m 10	5,4	111,0	0,099	20,56	0,62	0,48	2,45
11 t/m 13	13,8	56,2	0,255	4,07	1,59	1,23	6,31
1 t/m 3	17,2	28,2	0,340	1,64	2,13	1,64	8,42
4 t/m 6	7,6	50,6	0,101	6,67	0,63	0,49	2,50
Totaal	44,0	246,0	0,270	5,59	1,69	1,30	6,68

Het energierendement van toegepast kunstlicht is afhankelijk van de warmte van lampen en WK-installatie die nuttig wordt gebruikt. Het energieverbruik voor belichting en verwarming kunnen niet los van elkaar worden gezien. Als de stroom van het nutsbedrijf wordt betrokken is voor de stroomopwekking 0,26 m³/kWh nodig (elektrisch rendement centrale = 40%, waarbij de afvalwarmte niet wordt benut). Op het bedrijf wordt de lampwarmte benut om te besparen op de verwarmingskosten, zodat gasverbruik (bedrijf + centrale) door belichting slechts stijgt met 0,16 m³ gas/kWh. Bij eigen opwekking van stroom kan de vrijkomende warmte van zowel de lampen als de WK-installatie worden benut. Bij benutting van de lampwarmte stijgt het gasverbruik met 0,21 m³ gas/kWh, bij een volledige benutting van de koelwarmte stijgt het gasverbruik slechts met 0,04 m³ gas/kWh. Gezien de produktiestijging per kWh is, bij eigen stroomopwekking, het energierendement door belichting in de herfst en wintermaanden aanzienlijk te verbeteren, zolang de opgewekte warmte vrij goed kan worden benut. In voorjaar en zomer leidt belichting tot een verlaging van het energierendement, door het

hogere energierendement bij de onbelichte teelt en de beperktere mogelijkheden om de opgewekte warmte nuttig te gebruiken.

In de praktijk zal het niet mogelijk zijn om alle opgewekte warmte van lampen en WK-installatie te benutten. De verhoging van het gasverbruik en de benutting van de beschikbare warmte is afhankelijk van de geïnstalleerde belichtings-intensiteit en het aantal belichtingsuren, tabel 19. In de proef is een energierendement gehaald dat ongeveer gelijk is aan het energierendement van een onbelichte teelt. Het hangt af van de geïnstalleerde belichtingsintensiteit en de gevoerde belichtingsstrategie of het energierendement door belichting wordt verbeterd dan wel verslechterd. Bij de toepassing van belichtingsintensiteit hoger dan ongeveer 6 à 7 watt/m² (800 lampen per ha) daalt het behaalde energierendement gedurende alle seizoenen sterk door het veelvuldig optreden van warmteoverschotten. Wanneer het mogelijk is om CO₂ te winnen uit de rookgassen van de WK-installatie biedt dit een mogelijkheid om de belichtingsintensiteit iets verder op te voeren.

Tabel 19: Toename gasverbruik en benutting WK-warmte bij toenemende belichtingsintensiteit en een toenemend aantal gebruiksuren (bij gebruik van een warmtebuffer)

Branduren per jaar, daglengte 16 uur						Branduren per jaar, daglengte 20 uur				
nacht	1456	1456	1456	1456	1456	2688	2688	2688	2688	2688
dag	508	1441	2129	2501	2783	508	1441	2129	2501	2783
etmaal	1964	2897	3585	3957	4239	3196	4129	4817	5189	5471
lampen/ha Verhoging gasverbruik m3/m2						Verhoging gasverbruik m3/m2				
400	2,08	3,73	5,48	6,81	7,89	6,13	8,35	10,63	12,34	13,95
800	5,76	12,61	19,92	24,17	27,39	18,10	28,75	36,59	40,84	44,05
1200	13,16	28,61	40,37	46,75	51,57	36,33	52,30	64,06	70,44	75,26
Nuttig aangewende warmte belichtingsinstallatie in %						Nuttig aangewende warmte belichtingsinstallatie in %				
400	81	77	73	70	67	66	65	61	58	55
800	74	62	51	46	43	50	39	33	31	29
1200	61	42	34	31	29	34	26	22	21	20

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

- a. De biomassa-productie is een vrij stabiele maat voor de produktie. Het aantal grond- en broekscheuten en het takgewicht kan in ruime mate variëren zonder dat de geoogste biomassa wordt verstoord.
- b. Het locatieverschil (knipmethode) heeft in het eerste jaar wel een groot effect gehad op de stuksproduktie en het takgewicht, maar niet op de biomassa-productie.
- c. De produktie, zowel biomassa als stuks, stijgt vanaf periode 10 tot en met periode 4 recht evenredig met de kunstlichtsom die het gewas ontvangt, 0,27 st en 7,95 g per kWh.
- d. Bij een verkorting van de donkerperiode van acht naar vier uur kan er 112 uur per periode extra worden belicht, waardoor de terugverdientijd wordt verkort.
- e. De produktie, zowel biomassa als stuks, reageert vertraagd op de ontvangen lighthoeveelheid, de positieve reactie is na één 4-weekse periode het meest opvallend zichtbaar.
- f. Een langdurig na-effect van belichting treedt niet op, als de belichting wordt verminderd of gestopt loopt, verminderen of stoppen de produktieverschillen één periode later. Ook de struikopbouw wordt niet beïnvloed door belichting vanaf het moment van planten.
- g. De reactie van de produktie op (lamp)licht verschilt per periode. De biomassa-productie reageert sterker naarmate het belichtingsseizoen vordert, van 8 g/kWh in periode 10 tot 15 g/kWh in periode 3. In periode 4, 5 en 6 daalt het effect van belichting weer snel tot 0.
- h. Aan het einde van het voorjaar blijft de produktie enkele perioden sterk achter bij de beschikbare hoeveelheid zonlicht en daalt de reactie van de produktie op lamplicht abrupt. Wellicht is, door het terugzetten van het gewas op goed hout, licht dan geen beperkende factor.
- i. Een optimale belichtingsstrategie betekent bij stroomaankoop dag en nacht door belichten, totdat de lichtintensiteit buiten te hoog wordt (vermoedelijk 100 à 200 watt globale straling), met een niet te korte donkerperiode (cultivarafhankelijk 6 tot 0 uur), van week 33 t/m week 12. Bij eigen stroomopwekking is de belichtingsperiode langer, van week 33 t/m week 16. Buiten deze periode is belichten hooguit rendabel op momenten dat de opgewekte warmte (lampen + WK warmte) volledig kan worden benut.
- j. Bij aanschaf of vervanging is de gunstigste belichtingsintensiteit 1 lamp (400 watt SON-T) op 12 m². De terugverdientijd van de belichtingsinstallatie, rekening houdend met de rentekosten prijspeil KWIN, bedraagt bij intensief gebruik 2,5 - 3 jaar en neemt toe met verhoging van de belichtingsintensiteit.
- k. Opvoeren van het aantal branduren, zowel 's nachts als overdag, veroorzaakt een toenemend aantal uren met een warmteoverschot. Bij een stijging van de gasprijs is dit ongunstig voor de terugverdientijd.
- l. Teruglevering van stroom aan het openbare net op piekuren kan momenteel de jaarkosten aanzienlijk verlagen en kan de terugverdientijd van de totale belichtingsinstallatie verkorten met ongeveer een half jaar.
- m. Via optimaal belichten met eigen stroomopwekking kan het energierendement worden opgevoerd, met name in de herfst en de winter, mits het warmteoverschot beperkt blijft (belichtingsintensiteit lager dan 1 lamp op 12 m²). In voorjaar en zomer leidt belichting tot verlaging van het energierendement, met name doordat er warmteoverschotten ontstaan.
- n. Belichting met stroom van het net verlaagt het energierendement aanzienlijk doordat

de centrales de opgewekte warmte niet (kunnen) benutten.

6.2 Aanbevelingen

- a. Binnen teeltkundige grenzen lijkt de biomassa-productie door de beschikbare lichthoeveelheid te worden bepaald. Het verdient aanbeveling deze grenzen verder te onderzoeken door bijvoorbeeld bij selectie van cultivars en onderstammen en het testen van groeibevorderende hormonen de geproduceerde biomassa per eenheid licht mede in de beoordeling te betrekken.
- b. Binnen deze grenzen kunnen de mogelijkheden tot sturing van deze biomassa naar takken en takgewicht door bijvoorbeeld keuze onderstam, knipmethode en teelttemperatuur, verder worden onderzocht.
- c. De relatie tussen takgewicht en prijs dient te worden onderzocht om een optimale gewichtsverdeling over aantal takken en takgewicht vast te stellen, rekening houdend met de oogstkosten.

LITERATUUR

- Anonymus. Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 1993-1994 IKC-Informatie, CBS-Structuurenquête 1992 glastuinbouw. IKC-informatie nr 2, vijfde jaargang, maart 1994. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Glasgroente en Bloemisterij
- Leeuwen, G. van, A van de Wiel en J Vogelezang Assimilatiebelichting en onderstammen bij roos 'Madelon'. - tussentijdse evaluatie van de resultaten (1). Proeftuin 'Noord Nederland, september 1991
- Leeuwen, G. van en A van de Wiel Assimilatiebelichting en onderstammen bij roos 'Madelon'. tussentijdse evaluatie van de resultaten (2). Proeftuin 'Noord Nederland, augustus 1992
- Leeuwen, R.C.L van en N.J.A. van der Velden. Het gebruik van Warmte/kracht-installaties in de glastuinbouw; Een inventarisatie. LEI-DLO, 1992; publ 4.134
- Mortensen, L.M., H.R. Gislerød and H Mikkelsen 1992. Effects of different levels of supplementary lighting on the year-round yield of cut roses. Gartenbauwissenschaft 4/92
- NV Philips: Artificial lichting in horticulture, Philips Lighting Division 1/87
- Rijssel, E. van. Opbrengstbepalende factoren bij de teelt van kasrozen in het winterhalfjaar. LEI-DLO 1979; publ 4.84
- Rijssel, E. van. Oorzaken voor verschillen in opbrengsten bij kasrozen. LEI-DLO 1982; publ 4.97
- Zwart, H.F en J. Huys. Energie-effecten bij inzet WKK in eiland- en parallelbedrijf. IMAG-DLO 1994 concept publikatie

Bijlage 2: Analyse produktieverschillen (gecorrigeerd voor plaatseffecten)

A: Stuksproductie

corr.coëff.	(R2)	Constante	st.fout	lichtsom eff.	st.fout	lichtduur eff	st.fout
A.1.: Het belichtingseffect per jaar, berekend vanuit de produktiegegevens per jaar (36 waarnemingen)							
1,00	231	7	90/91	0,110	0,125	5,1	4,4
			90/91	0,172	0,188	4,5	4,7
			91/92	0,277	0,055	4,4	4,4
			92/93	0,212	0,058	3,5	4,4
1,00	231	7	90/91	0,174	0,111	(zonder l.duur effect)	
			90/91	0,270	0,157	(zonder l.duur effect)	
			91/92	0,302	0,048	(zonder l.duur effect)	
			92/93	0,233	0,051	(zonder l.duur effect)	
A.2.: Het belichtingseffect over de jaren heen, berekend vanuit de produktiegegevens per jaar (36 waarnemingen)							
1,00	234	6	90/93	0,244	0,036	3,9	2,4
1,00	234	6	90/93	0,270	0,034	(zonder l.duur effect)	
A.3.: Het belichtingseffect over de jaren heen, berekend vanuit de produktiegegevens over de hele onderzoeksperiode (12 waarnemingen)							
0,86	599	12	90/93	0,268	0,040	(zonder l.duur effect)	

B: Biomassa-productie

corr.coëff.	(R2)	Constante	st.fout	lichtsom eff.	st.fout	lichtduur eff	st.fout
B.1.: Het belichtingseffect per jaar, berekend vanuit de produktiegegevens per jaar (36 waarnemingen)							
0,99	7359	199	90/91	4,52	3,64	216	129
			90/91	7,18	5,46	192	136
			91/92	9,12	1,59	6	129
			92/93	4,78	1,70	243	129
0,99	7359	208	90/91	7,28	3,44	(zonder l.duur effect)	
			90/91	11,32	4,82	(zonder l.duur effect)	
			91/92	9,15	1,48	(zonder l.duur effect)	
			92/93	6,22	1,58	(zonder l.duur effect)	
B.2.: Het belichtingseffect over de jaren heen, berekend vanuit de produktiegegevens per jaar (36 waarnemingen)							
0,99	7470	199	90/93	6,98	1,12	148	73
0,99	7461	209	90/93	7,95	1,06	(zonder l.duur effect)	
B.3.: Het belichtingseffect over de jaren heen, berekend vanuit de produktiegegevens over de hele onderzoeksperiode (12 waarnemingen, figuur 3)							
0,85	18809	417	90/93	8,20	1,33	(zonder l.duur effect)	

loc.eff	st.fout	jaar eff.	st.fout
23	4	-157	7
23	4	-157	7
34	4		
-37	4	63	7
23	4	-157	7
23	4	-157	7
34	4		
-37	4	63	7
23	4	-162	4
34	4		
-37	4	57	4
23	4	-162	4
34	4		
-37	4	57	4
20	7		

loc.eff	st.fout	jaar eff.	st.fout
458	458	-4039	211
459	115	-4031	204
262	116		
49	115	766	207
458	122	-4041	224
459	120	-4041	213
262	120		
41	120	771	216
459	115	-4115	133
277	115		
37	115	525	115
459	115	-4115	133
277	115		
37	115	525	115
758	241		

Bijlage 3: Analyse gevonden productieven^c biomassa-productie (gram/m²)

Productie/m2 = lichteffect x lichtsom(kwh) + productie zonder belichting

(produktie onbelicht Horst/Klazienaveen = prod. onbelicht algemeen+ correctiefactoren)

[illegible]

BIJLAGE 4A: UITGANGSPUNTEN (vet = toegevoegde kengetallen)

Techniek		Investerings / kosten		Instelling zomerstop belichting	
Kasoppervlak belicht	10000 m2	Armatuur	330 gld/lamp	1 = wel belichting	
Aantal lampen	800 lamp/ha	Lamp	45 gld/lamp	0 = geen belichting	
Vermogen lamp	400 watt/lamp	Bekabeling	130 gld/lamp		
- voorsch.app + kabels	60 watt/lamp			periode	
Duur donkerperiode	8 uur/etmaal	W.K. instal	1000 gld/kW	nummer	aan/uit
Gewenst aantal bel.uren	4000 uur/jaar	- waterzijdige aansluiting	10000 gld	1	1
Belichtingsintensiteit	36,43 umol/s.m2	- geluidarme kast	30000 gld	2	1
(	3279 Lux/m2)	Warmte opslag tank	850 gld/m3	3	1
				4	1
Vermogen WK-installatie	0,45 kW/lamp	Aansluiting		5	1
Vermogen warmte opslag	60 m3/ha	openbare net	100000 gld	6	0
				7	0
Rendement WK-installatie		Subsidies:		8	1
- elektrisch rendement	33 %	-Structuurverb.landbouw	25 %	9	1
- koelwarmte WK	54 %	-Complementaire reg.	25 %	10	1
- nuttige aanwending				11	1
lampwarmte	100 %	Rente	7 %	12	1
Warmte rendement WK	87 %	Energie: gas	21,8 ct/m3	13	1
Warmte rendement ketel	93 %	elektra	11 ct/kwh		
		Vast recht stroomlevering	850 gld/jaar		
Gasverbruik WK-instal.	0,31 m3/kwh	Huur trafohuis	1800 gld/jaar		
Gasverbruik CO2 (ketel)	20 m3/ha.uur	Vergoeding pickuurlev.	175 gld/kW		
Gasverbruik verwarming	44,0 m3/m2	Vergoeding teruglevering	8,57 ct/kwh		
Nachtverbruik	67 %				
- max. aandeel WK	67 % tijdens belichting	Afschrijving lampen	12000 branduren		
- id. met warmte-opslag	75 % van totaal	Onderhoud	0,5 % invest.onroerend goed		
Gasverbr. belicht + buff	63,9 m3/m2				
Gasverbr. belicht - buff	79,7 m3/m2	Onderhoudscontr.WK	1,5 ct/kwh		

CONSEQUENTIES VAN DE GEKOZEN UITGANGSPUNTEN t.a.v. BELICHTING EN ENERGIEVERBRUIK PER PERIODE

periode nr	NORM		INGESTELD		NORM BEREKEND op basis van de uitgangspunten					NORM		
	daglengte	aantal bel.uren	nacht	dag	Lichtsom (umol/m2)	gasverbruik (m3 gas / m2 bruto kas)	ketel +buffer	-buffer	CO2 ketel	WK instal	warmte behoefte	warmte-overschot met buffer zonder buffer
1	8,5	7,5	8,5	79	69	1,6	3,5	0,9	5,1	6,3	1,3	3,3
2	9,7	6,3	9,4	148	58	1,5	3,4	0,9	5,0	5,8	1,6	3,5
3	11,5	4,5	7,2	320	43	1,3	3,3	0,9	3,7	5,1	0,8	2,9
4	13,4	2,6	5,2	426	28	1,0	2,6	0,9	2,5	3,8	0,5	2,2
5	14,9	1,1	3,8	684	18	0,6	1,6	0,9	1,6	2,2	0,8	1,9
6	15,9	0,0	0,0	728	0	0,7	1,2	0,9	0,0	1,6	0,0	0,5
7	15,9	0,0	0,0	764	0	0,4	1,0	0,9	0,0	1,3	0,0	0,6
8	14,9	1,1	3,8	698	18	0,3	0,8	0,9	1,6	1,1	1,6	2,2
9	13,4	2,6	5,2	623	28	0,3	0,8	0,9	2,5	1,2	2,5	3,0
10	11,5	4,5	7,2	342	43	0,5	1,1	0,9	3,7	1,8	3,3	3,9
11	9,7	6,3	9,4	199	58	0,8	1,8	0,9	5,0	3,1	3,6	4,6
12	8,5	7,5	8,5	93	59	1,2	2,8	0,9	5,1	4,9	2,3	3,9
13	8,0	8,0	8,0	76	59	1,5	3,2	0,9	5,1	5,8	1,7	3,4
totaal		1456	2129	5079	470	11,4	27,2	11,6	40,9	44,0	19,9	35,7
gewenst		1456	2544		m3 gas/kwh				0,31		0,15	0,27
Intensiteit belichting		800 lampen/ha				gasverbruik totaal met gebruik warmtebuffer				63,9 m3/m2		
						gasverbruik totaal zonder gebruik warmtebuffer				79,7 m3/m2		

BIJLAGE 4b: INVESTERINGSBEDRAGEN EN KOSTEN ASSIMILATIEBELICHTING

(Op basis van de gekozen uitgangspunten)

INVESTERING IN DE BELICHTINGSINSTALLATIE: (gld/bedrijf, gld/m2 belicht oppervlak)

	stroomafname nutsbedrijf	eigen stroomopwekking zonder terug- levering	met teruglevering openbare net
Armaturen	264000	264000	264000
Lampen	36000	36000	36000
Bekabeling	104000	104000	104000
WK-Installatie		360000 subsidie	360000 subsidie
- waterzijdige aansluiting		10000 subsidie	10000 subsidie
- geluidarme kast		30000 subsidie	30000 subsidie
Warmteopslag tank		51000 subsidie	51000 subsidie
Aansluiting openbare net	100000		100000
Subsidies		-225500	-225500
TOTAAL INVESTERING	504000 gld/bedr	629500 gld/bedr	729500 gld/bedr
IDEM per m2 belicht opp.	50,40 gld/m2	62,95 gld/m2	72,95 gld/m2
IDEM per watt lampvermogen	157,50 ct/watt	196,72 ct/watt	227,97 ct/watt

JAARKOSTEN BELICHTINGSINSTALLATIE: (gld/bedrijf, gld/m2 belicht oppervlak; ct/watt lampvermogen)

Rente (50% investering)	17640	22033	25533
Onderhoud (0,5% onroerend goed)	2020	4275	4275
Vast recht stroomlevering	850		850
Huur travohuis	1800		1800
(Afschrijving) **	PM	PM	PM
Vergoeding piekurl levering			-63000
TOTAAL VASTE JAARKOSTEN (exclusief afschrijving)	22310 gld/bedr	26308 gld/bedr	-30543 gld/bedr
IDEM per m2 belicht opp.	2,23 gld/m2	2,63 gld/m2	-3,05 gld/m2
IDEM per watt lampvermogen	6,97 ct/watt	8,22 ct/watt	-9,54 ct/watt

GEBRUIKSKOSTEN BELICHTINGSINSTALLATIE: (ct/kwh)

			verbruik	levering
Afschrijving lampen	0,94	0,94	0,94	
Onderhoud WK-installatie		1,50	1,50	1,50
Energiekosten WK		6,76	6,76	6,76
Energiekosten nutsbedrijf	11,00			-8,57
- warmteproductie lampen	-2,40	-2,40	-2,40	
- koelwarmte WK		-3,92	-3,92	-3,92

VARIABELE KOSTEN

incl. warmtebenutting	9,54 ct/kwh	2,87 ct/kwh	2,87	-4,24 ct/kwh
excl. warmtebenutting	11,94 ct/kwh	9,20 ct/kwh	9,20	-0,31 ct/kwh

BIJLAGE 4c: BEREKENING OPTIMALE BELICHTINGSSTRATEGIE;

800 lamp/ha
8 uur/etmaal donker
4000 uur/jaar

prijs gas = 21,8 ct/m3
prijs elek. = 11,0 ct/kwh

INGESTELD AANTAL BELICHTINGSUREN:

periode nr	Opbrengstnormen				periode nr	Opbrengst	Saldo opbrengst-var.kosten			Var.kosten	Var.kosten eigen stroomopwekking		
	bel.uren per dag	ct/gram		ct/kWh			elektra - w.buffer	eigen stroomopwekking + w.buffer	- w.buffer		elektra gld/m2	minimaal gld/m2	kosten + w.buffer
1	16,0	67/23,2	2,89	31,51	1	5,19	3,62	4,43	4,05	1,57	0,47	0,29	0,68
2	15,7	90/23,8	3,78	49,31	2	8,13	6,56	7,45	7,02	1,57	0,47	0,21	0,64
3	11,7	59/26,9	2,19	32,90	3	5,32	3,78	4,58	4,16	1,54	0,46	0,27	0,69
4	7,8	47/32,4	1,46	16,33	4	1,96	0,82	1,50	1,05	1,15	0,35	0,12	0,57
5	4,9	57/33,9	1,68	8,98	5	0,72	-0,04	0,41	0,05	0,76	0,23	0,08	0,44
6	0,0	44/31,6	1,39	0,00	6	0,00	-0,48	-0,30	-0,49	0,48	0,15	0,15	0,34
7	0,0	10/30,9	0,32	0,00	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	4,9	28/30,6	0,92	0,00	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	7,8	38/28,6	1,33	0,00	9	0,00	-0,48	-0,48	-0,49	0,48	0,15	0,33	0,34
10	11,7	50/29,3	1,71	15,05	10	1,20	0,44	0,47	0,43	0,76	0,23	0,50	0,54
11	15,7	51/28,6	1,78	14,53	11	1,75	0,60	0,74	0,60	1,15	0,35	0,66	0,81
12	16,0	62/28,6	2,17	8,17	12	1,32	-0,22	0,15	-0,08	1,54	0,46	0,71	0,94
13	16,0	73/26,4	2,87	30,46	13	5,02	3,45	4,11	3,78	1,57	0,47	0,44	0,77
totaal =	3585		2,8	uur/jaar									
nacht/dag	1456	2129		uur/jaar	gld/m2 jaar ct/kWh	30,62 26,69	18,03	23,06	20,08	12,58 10,97	3,79	3,77 5,73	6,75 7,99 gld/m2 ct/kwh
Terugverdiëntijd:							3,19	3,88	3,46 jaar				

OPTIMAAL AANTAL BELICHTINGSUREN BIJ GEBRUIK VAN EEN WARMTEBUFFER:

periode nr	Opbrengstnormen			Opbrengst	Saldo opbrengst-var.kosten				Var.kosten elektra gld/m2	Var.kosten eigen stroomopwekking			
	bel.uren per dag	ct/gram	ct/kWh		eigen stroomopwekking		elektra			kosten warmteoverschot			
				gld/m2	- w.buffer	+ w.buffer	- w.buffer	+ w.buffer	gld/m2	minimaal gld/m2	+ w.buffer	- w.buffer	
1	16,0	67/23,2	2,89	31,51	5,19	3,62	4,43	4,05	1,57	0,47	0,29	0,68	
2	15,7	90/23,8	3,78	49,31	8,13	6,56	7,45	7,02	1,57	0,47	0,21	0,64	
3	11,7	59/26,9	2,19	32,90	5,32	3,78	4,58	4,16	1,54	0,46	0,27	0,69	
4	7,8	47/32,4	1,46	16,33	1,96	0,82	1,50	1,05	1,15	0,35	0,12	0,57	
5	0,0	57/33,9	1,68	8,98	0,72	0,72	0,72	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	0,0	44/31,6	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	0,0	10/30,9	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,0	28/30,6	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	7,8	38/28,6	1,33	0,00	0,00	-0,48	-0,48	-0,49	0,48	0,15	0,33	0,34	
10	11,7	50/29,3	1,71	16,06	1,20	0,44	0,47	0,43	0,76	0,23	0,50	0,54	
11	15,7	51/28,6	1,78	14,53	1,75	0,60	0,74	0,60	1,15	0,35	0,66	0,81	
12	16,0	62/28,6	2,17	8,17	1,32	-0,22	0,15	-0,08	1,54	0,46	0,71	0,94	
13	16,0	73/26,4	2,87	30,46	5,02	3,45	4,11	3,78	1,57	0,47	0,44	0,77	
totaal =		3310 uur/jaar		gld/m2.jaar ct/kWh	30,62 28,90	19,28	23,67	21,23	11,34 10,71	3,42	3,53 5,71	5,97 7,71 gld/m2 ct/kwh	
Terugverdiëntijd:					2,98	2,99	3,18 jaar						

BIJLAGE 4c: BEREKENING OPTIMALE BELICHTINGSSTRATEGIE;

800 lamp/ha
4 uur/etmaal donker
5232 uur/jaar

prijs gas = 21,8 ct/m3
prijs elek. = 11,0 ct/kwh

INGESTELD AANTAL BELICHTINGSUREN:

periode nr	Opbrengstnormen			periode nr	Opbrengst	Saldo opbrengst-var.kosten			Var.kosten elektra gld/m2	Var.kosten eigen stroomopwekking			
	beluren per dag	ct/gram	ct/kWh			eigen stroomopwekking	- w.buffer	+ w.buffer		minimaal gld/m2	kosten warmteoverschot + w.buffer	- w.buffer	
1	20,0	67/23,2	2,89	31,51	1	6,49	4,53	5,30	5,06	1,97	0,59	0,60	0,84
2	19,7	90/23,8	3,78	49,31	2	10,16	8,20	9,05	8,78	1,97	0,59	0,52	0,79
3	15,7	59/26,9	2,19	32,90	3	6,67	4,74	5,51	5,24	1,93	0,58	0,58	0,85
4	11,8	47/32,4	1,45	16,33	4	2,64	1,10	1,74	1,45	1,54	0,46	0,43	0,72
5	8,9	57/33,9	1,68	8,98	5	1,09	-0,07	0,35	0,13	1,16	0,35	0,39	0,61
6	0,0	44/31,6	1,39	0,00	6	0,00	-0,87	-0,73	-0,86	0,87	0,26	0,46	0,60
7	0,0	10/30,9	0,32	0,00	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	8,9	28/30,6	0,92	0,00	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	11,8	38/28,6	1,33	0,00	9	0,00	-0,87	-0,88	-0,88	0,87	0,26	0,62	0,62
10	15,7	50/29,3	1,71	15,06	10	1,82	0,67	0,66	0,66	1,16	0,35	0,81	0,82
11	19,7	51/28,6	1,78	14,53	11	2,35	0,81	0,91	0,82	1,54	0,46	0,97	1,06
12	20,0	62/28,6	2,17	8,17	12	1,66	-0,28	0,06	-0,09	1,93	0,58	1,02	1,16
13	20,0	73/26,4	2,87	30,46	13	6,28	4,31	4,94	4,73	1,97	0,59	0,75	0,96
totaal =	4817		2,9	uur/jaar									
nacht/dag	2688	2129		uur/jaar	gld/m2.jaar ct/kWh	39,16 25,41	22,25	26,92	25,04	16,91 10,97	5,09	7,15 6,91	9,02 7,96 gld/m2 ct/kwh
Terugverdiëntijd:						2,62	2,69	2,78 jaar					

OPTIMAAL AANTAL BELICHTINGSUREN BIJ GEBRUIK VAN EEN WARMTEBUFFER:

periode nr	Opbrengstnormen			Opbrengst gld/m2	Saldo opbrengst-var.kosten			Var.kosten elektra gld/m2	Var.kosten eigen stroomopwekking				
	beluren per dag	ct/gram	ct/kWh		- w.buffer	eigen stroomopwekking + w.buffer	- w.buffer		minimaal gld/m2	kosten warmteoverschot + w.buffer	- w.buffer		
1	20,0	67/23,2	2,89	31,51	6,49	4,53	5,30	5,06	1,97	0,59	0,60	0,84	
2	19,7	90/23,8	3,78	49,31	10,16	8,20	9,05	8,78	1,97	0,59	0,52	0,79	
3	15,7	59/26,9	2,19	32,90	6,67	4,74	5,51	5,24	1,93	0,58	0,58	0,85	
4	11,8	47/32,4	1,46	16,33	2,64	1,10	1,74	1,45	1,54	0,46	0,43	0,72	
5	0,0	57/33,9	1,68	8,98	1,09	1,09	1,09	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	0,0	44/31,6	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	0,0	10/30,9	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
8	0,0	28/30,6	0,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	11,8	38/28,6	1,33	0,00	0,00	-0,87	-0,88	-0,88	0,87	0,26	0,62	0,62	
10	15,7	50/29,3	1,71	16,06	1,82	0,67	0,66	0,66	1,16	0,35	0,81	0,82	
11	19,7	51/28,6	1,78	14,53	2,35	0,81	0,91	0,82	1,54	0,46	0,97	1,06	
12	20,0	62/28,6	2,17	8,17	1,66	-0,28	0,06	-0,09	1,93	0,58	1,02	1,16	
13	20,0	73/26,4	2,87	30,46	6,28	4,31	4,94	4,73	1,97	0,59	0,75	0,96	
totaal =		4318 uur/jaar			gld/m2.jaar ct/kWh	39,16 28,34	24,28	28,38	26,86 10,77	14,88	4,48	6,29 6,78	7,82 gld/m2 7,74 ct/kwh
Terugverdiëntijd:						2,29	2,44	2,44 jaar					

Bijlage 5: De elementgehalten in het substraat (mmol/liter) en in het gewas (mmol/kg droge stof) per lichtbehandeling

Behandeling	Belichtingsintensiteit			Daglengthe		
	3 watt	6 watt	9 watt	16 uur	20 uur	
% droge stof	23,3	24,0	24,4	23,6	24,2	
pH	5,7	5,9	6,0	5,9	5,8	
EC (v) (mS/cm)	2,6	2,8	2,7	2,7	2,8	
Elementgehalte in het substraat (gecorrigeerd op EC)						streefcijfer
NO3 (lsd = 0,4)	14,2 b	13,8 a	13,5 a	14,0	13,7	12,5
P	0,91	0,88	0,91	0,90	0,90	0,9
SO4	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	3,0
K	6,4	6,5	6,3	6,4	6,4	6,0
Ca (lsd = 0,2)	4,9	4,8	5,0	5,1 b	4,7 a	5,0
Mg	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	2,0
Mn (lsd = 0,4)	3,4 b	2,7 a	2,6 a	3,0	2,8	3,0
Fe	50,9	51,5	49,7	51,1	50,2	25,0
Elementgehalte in het blad						norm- gehalte
N tot (lsd = 96)	2917 b	2792 a	2779 a	2847	2812	1700-1800
P (lsd = 14)	192 bc	175 a	182 ab	185	181	100-160
K (lsd = 19)	751	744	732	752 b	733 a	800-900
Mg (lsd = 5)	147 b	143 b	136 a	143	141	100-160
Ca (lsd = 28)	385	372	379	394 b	364 a	250-450