

Het effect van NIR-filterende kasdek- en schermmaterialen op kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie

Silke Hemming
Frank Kempkes
Vida Mohammadkhani
Nico van de Braak
Tom Dueck
Raymond Jongschaap
Nollie Marissen



Rapport 505

Colofon

Titel	Het effect van NIR-filterende kasdek- en schermmaterialen op kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie
Auteur(s)	Silke HemmingFrank KempkesVida MohammadkhaniNico van de BraakTom DueckRaymond JongschaapNollie Marissen
A&F nummer	505
ISBN-nummer	90-6754-951-7
Publicatiedatum	10-09-2005
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	04/346
Goedgekeurd door	Naam functionaris

Agrotechnology & Food Innovations B.V.
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.agrotechnologyandfood@wur.nl
Internet: www.agrotechnologyandfood.wur.nl

© Agrotechnology & Food Innovations B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher



Het kwaliteitsmanagementsysteem van Agrotechnology & Food Innovations B.V. is gecertificeerd door SGS International Certification Services EESV op basis van ISO 9001:2000.

Abstract

Het NIR gedeelte in de zonnestraling is niet direct nodig voor de plantengroei, de stralingsenergie in dit gebied leidt tot een opwarming van kasonderdelen, installaties en planten en zo tot een temperatuurverhoging in de kas. Dit is een wenselijk effect in de wintermaanden, sinds de in de kas komende stralingsenergie bijdraagt aan de kasverwarming, het gasverbruik daalt. Tijdens de zomermaanden is deze temperatuurverhoging ongewenst, zonder onvoldoende luchtingscapaciteit leiden hoge temperaturen tot stressverschijnselen in het gewas.

Maatregelen om NIR te filteren zijn in deze studie onderzocht. Er is een analyse uitgevoerd naar de potenties om een traditionele kas zo veel mogelijk gesloten te kunnen houden als het NIR gedeelte van de zonnestraling zo veel mogelijk buiten de kas kan worden gehouden. Ook is onderzocht, welke effecten met NIR-filterende materialen (kasdek, scherm, krijt) bereikt kunnen worden en welke materiaalontwikkelingen in de toekomst nodig zijn.

Dit onderzoek werd uitgevoerd door Wageningen UR (Agrotechnology & Food Innovations, Plant Research International en PPO Glastuinbouw) in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en het Productschap Tuinbouw in het kader van het energieonderzoek.

Inhoudsopgave

Abstract	3
1 Inleiding	7
2 Literatuuroverzicht	9
3 Materialen met NIR-filterend vermogen	17
3.1 Optische eigenschappen	18
3.2 Andere eigenschappen	31
4 Installatiemogelijkheden	33
5 Kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie	37
5.1 Materiaal en methoden	37
5.1.1 Beschrijving KASPRO model	37
5.1.2 Beschrijving INTKAM model	39
5.1.3 Beschrijving cases	39
5.1.3.1 Bedrijfsuitrusting	39
5.1.3.2 Gewas	40
5.1.3.3 Setpoints	40
5.1.3.4 NIR-filterende maatregelen	41
5.2 Resultaten	43
5.2.1 Tomaat onbelicht	43
5.2.1.1 Kasklimaat	43
5.2.1.2 Gewasproductie	57
5.2.1.3 Energieverbruik	61
5.2.2 Tomaat belicht	62
5.2.2.1 Kasklimaat	62
5.2.2.2 Gewasproductie	67
5.2.2.3 Energieverbruik	69
5.2.3 Potenties NIR-filterende materialen	69
5.2.4 Perspectieven voor andere gewassen	71
6 Economische analyse	73
6.1 Materialen en methoden	73
6.1.1 Referentie	73
6.1.2 NIR-filterende maatregelen	74
6.2 Resultaten	74
6.2.1 Trostomaat onbelicht	74
6.2.2 Trostomaat belicht	74
7 Samenvatting	79
7.1 Materiaaleigenschappen	79
7.2 Kasklimaat	79
7.3 Gewasproductie	80
7.4 Energieverbruik	81

7.5	Economie	81
8	Conclusies	83
9	Aanbevelingen	87
10	Literatuur	89
Annex		93

Afkortingen

NIR	Nabij infrarode straling 800-2500nm
PAR	Photosynthetisch actieve straling 400-700nm
PC	Polycarbonaat
PE	Polyethyleen
PMMA	Polymethylmethacrylaat, acrylaat
R:FR	Rood:Verrood verhouding 600-700nm:700-800nm
RV	Relatieve vocht
UV	Ultraviolette straling 300-400nm
WK	Warmtekracht

1 Inleiding

Vrijwel alle glastuinbouwbedrijven hebben in de zomermaanden of in periodes met hoge instraling last van warmteophoping in de kas. De hoge instraling leidt tot opwarming van de plant en van de kasdelen. De plant reageert hierop door te gaan verdampen, de kasconstructie wordt warm en staat een deel van zijn warmte af aan de lucht, waardoor de temperatuur in de kas stijgt. Hierdoor kan een overschot aan warmte in de kas ontstaan, en deze zal moeten worden afgevoerd door te luchten (conventionele kas) of te koelen (gesloten kas).

Temperatuurbelijving in de kas is noodzakelijk voor optimale groei. Bij te hoge temperaturen is de verdamping vanuit het blad niet meer voldoende om het blad te koelen tot fysiologisch gunstige waarden, bijvoorbeeld omdat de opnamecapaciteit van water niet groot genoeg is. Als reactie zal de plant zijn huidmondjes sluiten om verder waterverlies te vermijden, daardoor kan er geen CO₂ meer worden opgenomen, en neemt de fotosynthese en daarmee de groei af. Ook de bladtemperatuur loopt sterk op, de ademhaling stijgt en dit gaat eveneens ten koste van de groei.

De zonnestraling bestaat voor ongeveer 45 % uit nuttig licht voor de groei van planten (PAR-straling). Verder bestaat circa 50% van de zonnestraling uit nabij infrarood (NIR-straling), welke niet direct nodig is voor de fotosynthese van de planten. Wanneer de NIR-straling buiten de kas kan worden gehouden leidt dit tot een lagere ventilatie- of koelbehoefte. In een conventionele kas heeft dat tot gevolg dat de luchtramen langer dicht gehouden kunnen worden, waardoor langer een verhoogd CO₂-gehalte kan worden gerealiseerd, leidend tot betere groei en opbrengst per oppervlakte-eenheid. In een aantal teelten wordt in de zomer gestookt om CO₂ te produceren. De stroom wordt verkocht, en de warmte wordt vernietigd, omdat deze niet nodig is voor de teelt. Het langer dichthouden van de ramen in de zomer kan dus ook tot een energiebesparend effect leiden. In een gesloten kas leidt het buiten houden van NIR-straling tot een lagere koelbehoefte. Middels berekeningen is vastgesteld dat de koelbehoefte tot 50% van kan worden verlaagd. In een gesloten kas is het buiten houden van NIR-straling dus cruciaal. Het buiten houden van NIR-straling is naar verwachting voor veel gewassen positief.

Een kasdek dat NIR filtert, doet dit jaarrond. In de zomer is dit een gewenst effect, maar in de winter wil men juist alle warmte binnenhalen om het gasverbruik zo laag mogelijk te houden. In een gesloten kas verlaagt het jaarrond uitfilteren van de NIR-straling de behoefte aan koeling in de zomer. Dit levert een grote energiebesparing op.

Daartegenover staat een licht energieverlies in de winter. In een standaard kas wordt de productie verhoogd. Het productieverhogende effect van de reflectie van NIR komt voor het grootste deel voort uit het verminderde CO₂-verlies door het meer gesloten kunnen houden van de kas. Gelijktijdig gaat het gasverbruik in de winter omhoog.

Een mogelijkheid om alleen het positieve effect van het uitfilteren van NIR-straling te benutten en het nadelige effect te elimineren is het gebruik van een NIR-reflecterend beweegbaar scherm (binnen of buiten). Dit kan dan worden gesloten als de kas “gekoeld” moet worden en in andere gevallen kan het open worden gehouden. Een buitenscherm

heeft het voordeel dat de warmte direct buiten de kas wordt gehouden, terwijl met een binnenscherm de warmte al in de kas is en vervolgens moet worden afgevoerd. Een binnenscherm heeft echter het voordeel dat gangbare schermssystemen kunnen worden gebruikt. Eventueel kan de functie van een NIR-reflecterend buitenscherm in de winter ook met de functie als energiescherm worden gekoppeld. Een andere optie is om NIR-reflectie op bepaalde gedeeltes van de kas toe te passen (bijv. alleen de zuidkant). Ook het gebruik van een NIR-reflecterend krijtmateriaal is een optie om in de zomer de warmtebelasting in de kas te verlagen.

In dit project zal worden onderzocht, welke methode in een traditionele kas het grootste voordeel voor de tuinder oplevert qua energiebesparing en opbrengstverhoging. De potenties van verschillende maatregelen worden onderzocht. Er vindt een analyse plaats naar de potenties om een traditionele kas zo veel mogelijk gesloten te kunnen houden als NIR zo veel mogelijk buiten de kas kan worden gehouden. Ook wordt onderzocht, welke effecten met huidige beschikbare materialen (kasdek, scherm, krijt) al bereikt kunnen worden en welke materiaalontwikkelingen in de toekomst zinvol zijn.

2 Literatuuroverzicht

Tuinbouwgewassen worden vaak in kassen geteeld om de planten enerzijds tegen de weersinvloeden van buiten te beschermen, en anderzijds om het klimaat te kunnen beïnvloeden.

Straling treedt binnen via de kasomhulling en bestaat grofweg uit ultraviolette straling UV (300-380nm), fotosynthetisch actieve straling PAR (400–700nm) en nabij infrarode straling NIR (800–2500nm). PAR is belangrijk voor de groei van planten, NIR zorgt voor opwarming van gewas en de kasdelen en daarmee van de kaslucht.

In Nederlandse omstandigheden is in de winter opwarming door NIR meestal voordelig, maar in de zomer kan de temperatuur in de kas tot te hoge waarden oplopen. Om dit te vermijden wordt gelucht, geschermd, gekoeld of gekrijt.

Wereldwijd speelt de wens om hoge temperaturen in kassen tijdens periodes met hoge instraling en hoge temperaturen te voorkomen of de koelbehoefte te reduceren in de beschermde tuinbouwteelt. Het lijkt essentieel dat de kasomhulling bijdraagt aan een koelend, schaduwgevend of lichtverstrooiend effect zodat kasluchttemperatuur en gewastemperatuur worden gereduceerd en planten worden beschermd tegen verbrandingsschade aan bladeren, bloemen of vruchten (Hoffmann and Waaijenberg, 2002).

Sinds meerdere jaren werken wetenschappers en bedrijven aan nieuwe materialen om het warmteoverschot in kassen te reduceren. Sinds 1939 worden waterlagen op de buitenkant van kassen of tussen twee lagen van een kasomhullingsmateriaal gebruikt om de (maximale) kasluchttemperatuur significant te reduceren. Dit moest worden bereikt door absorptie van nabij infrarode straling (NIR). Brown (1939) beschrijft voor het eerst dit idee. Onderzoek naar een optimalisatie van dergelijke watergevulde kasomhullingen volgden, de zogenoemde “fluid-roof-systems”. Ook werden CuSO_4 -oplossingen en andere gekleurde oplossingen gebruikt om NIR meer specifiek te reduceren (Figuur 1). Het eerste gedetailleerde onderzoek naar een fluid-roof kas werd uitgevoerd door Morris et al. (1958). Andere onderzoeksgroepen volgden met verdere verbeteringen, simulaties en praktische experimenten (Canham, 1962; Chiapale et al. 1983; Damagnez; 1975; Sebesta en Jeksrud, 1989).

Verschillende auteurs benadrukken de positieve effecten van een **fluid-roof kas** op het kasklimaat en de plantenproductie (Canham, 1962; Chiapale et al.; 1977; Feuermann et al. 1998; Gale et al., 1996 en 2000; Morris et al., 1958; Pollock et al., 1990; Sebesta en Jeksrud, 1989; Tross et al., 1984; van Bavel, 1978; van Bavel et al., 1981). Het fluid-roof kasconcept bestaat uit een kas gedekt met een transparant dubbel kasomhullingsmateriaal, meestal PMMA of PC dubbele platen. Een vloeistof vloeit door de dubbele kasomhulling. De vloeistof bestaat uit water of een met water gemengde gekleurde oplossing en stroomt door de kasomhulling in een buffer en weer terug (Figuur 2). Deze oplossing reduceert de zonnestraling met circa 50%. Afhankelijk van de soort oplossing wordt NIR meer gereduceerd dan PAR. Echter, een reductie van de hoeveelheid PAR kan niet worden vermeden. De reductie van de stralingsenergie

resulteert in een lagere bladtemperatuur, minder watergebruik en een reductie van de relatieve vochtigheid in de kaslucht maar ook tot een reductie van de fotosynthese door het wegvangen van PAR. Kasluchttemperatuur en bladtemperatuur blijven onder het kritische punt, zodat het fotosyntheseproces niet onomkeerbaar wordt beschadigd. De kasventilatie kan langer uitgesteld worden en CO₂ gehaltes in de kas blijven op een hoger niveau (van Bavel, 1978). De stralingsenergie, welke tijdens periodes met hoge instraling door de vloeistof wordt geabsorbeerd, kan in de buffer worden opgeslagen en weer worden gebruikt in periodes met een lagere instraling.

Van Bavel et al. (1981) laten in simulaties met een fluid-roof kas met geforceerde ventilatie voor een situatie in Zuid-Centraal Texas en Zuid-Oost Frankrijk zien, dat de koelbehoefte afnam en een 5-6°C lagere bladtemperatuur bij hoge instraling kan worden behaald. De verdamping wordt gereduceerd door de energieonderschepping van de kasomhulling. De noodzaak om te ventileren wordt verminderd. De onderzoekers tonen aan dat het fluid-roof systeem kan worden gebruikt om het overschot aan zonenergie overdag te benutten voor zowel verwarming in de nacht als koeling overdag. De voordelen voor de koeling zijn echter groter. Omdat het systeem de hoeveelheid PAR reduceert, levert het volgens de auteurs vooral voor warme klimaten met een hoge instraling voordelen op.

Gale et al. (1996) hebben simulaties met een fluid-roof kas uit voor een koud Canadees klimaat en voor een heet Israëlish klimaat uitgevoerd. In deze simulaties wordt aangetoond, dat in een koud klimaat altijd een acceptabele kasluchttemperatuur kon worden behouden, ook tijdens koude winterdagen, als een geothermische bron van minimaal 45°C ter beschikking stond. De onderzoekers tonen ook aan dat in een heet klimaat een koude waterbron van maximaal 16°C nodig is. Het grootste voordeel van het systeem wordt behaald, doordat de kasventilatie meer gesloten kan worden houden en zo de CO₂-concentratie in de kas hoger blijft vergeleken met een traditionele kas. Het resultaat van praktische experimenten in een fluid-roof kas was, dat *Ficus benjamina* twee keer sneller groeide en de opbrengst van tomaat was verdubbeld ten opzichte van een traditionele kas (Gale et al., 2000).

Omdat een fluid-roof kas hoge investeringen vraagt en lekkages problematisch kunnen zijn, wordt door Shen et al. (1992) opgeroepen, zich meer op de ontwikkeling van **NIR-filterende kasomhullingsmaterialen**, zoals tuinbouwfolies, te richten. Onderzoek in de laatste jaren is inderdaad meer gericht op de ontwikkeling van vaste NIR-filterende materialen, zoals plastic folies of glas, welke als kasomhullingsmateriaal kunnen worden gebruikt.

Er zijn verschillende methodes om NIR buiten de kas te houden: absorptie, reflectie en interferentie. Door NIR-reflectie of NIR-interferentie aan de kasomhulling, wordt overtollige zonnestralingsenergie gereflecteerd en blijft deze buiten de kas. Door NIR-absorptie wordt een materiaal opgewarmd, 50% van de geabsorbeerde energie wordt geëmitteerd naar buiten en 50% van de geabsorbeerde energie wordt naar binnen (in de kas) geëmitteerd en draagt alsnog bij aan de opwarming van de kas. Vanuit energetische overwegingen is het dus zinvoller om een NIR-reflecterend of NIR-interfererend

materiaal als kasomhulling te gebruiken om overvloedige warmte buiten de kas te houden. Het interferentie-effect van materialen, welke NIR-interferentiepigmenten bevatten of een NIR-interferentie multilayer coating hebben, hangt af van de invalshoek van de straling (Hoffmann en Waaijenberg, 2002; Daponte, 1997). Ook lichttransmissie van deze materialen en het transmissiespectrum variëren iets met een veranderende invalshoek van de straling.

Er zijn eerste commerciële folieproducten van Hyplast nv (België), welke interferentie pigmenten van Merck (Duitsland) bevatten, die delen van het zichtbare lichtspectrum reflecteren en bijdragen aan een schaduwgevend effect. Ook hebben deze folies diffuse eigenschappen (Verlode et al., 1995). Nieuwe generaties van deze interferentiepigmenten zijn meer selectief in het NIR gebied van het zonnespectrum, de reductie van PAR is veel kleiner (Figuur 3). Deze plastic folies reduceren de kasluchttemperatuur duidelijk, in het bijzonder tijdens periodes met hoge instraling en bij hoge zonnestand, omdat het NIR-filterend effect afhankelijk is van de invalshoek van de zonnestraling. Verlode en Verschaeren (1997) laten zien, dat de gemiddelde maximum temperatuur 1.5°C lager is dan onder een referentie folie. Tijdens de warmste periode van de dag kan dit verschil zelfs oplopen tot meer dan 5°C. Hierdoor kan de productie van tomaat met 10-15% worden verhoogd (Verlode en Verschaeren, 1997).

Hemming et al. (2004) hebben nieuwe plastic folieprototypes van Oerlemans Packaging bv (Nederland) met NIR-reflecterende pigmenten in verschillende concentratie onderzocht. De folieprototypes bestaan uit 200µm polyethyleen folies met een UV-block pigment en diffuse eigenschappen. Metingen van de optische eigenschappen tonen aan dat een reductie van NIR (700-1100nm) tot 25.7% mogelijk is. Gelijktijdig wordt de PAR (400-700nm) transmissie met 8.7% verminderd. Het effect van deze energieonderschepping op de kasluchttemperatuur is sterk afhankelijk van de ventilatiecapaciteit van de kassen.

Het effect van de kasventilatie wordt ook beschreven door Abdel-Ghany et al. (2001a). De onderzoekers voerden een simulatie uit om de effecten te analyseren van drie NIR-filterende plastic folies van Mitsui Chemicals Inc. (Japan) (Figuur 4) en een fluid-roof kas (dubbele PC platen gevuld met een 1.5% CuSO₄-water oplossing) op kasluchttemperatuur, gewastemperatuur en bodemtemperatuur in Japan tijdens hete stralingsrijke dagen. Een gesloten fluid-roof kas en plastic foliekassen met natuurlijke ventilatie werden onderzocht met verschillende plantdichtheden. De resultaten laten zien dat met hoge plant dichtheden, bodemtemperatuur en gewastemperatuur in geventileerde foliekassen lager waren dan in een gesloten fluid-roof kas. Vooral de gewastemperatuur was onaanvaardbaar hoog in de gesloten fluid-roof kas, dus de NIR-reductie was niet voldoende. De onderzoekers bevelen aan om in hete klimaten goed geventileerde NIR-filterende plastic foliekassen te gebruiken in plaats van de complexe fluid-roof kassen (Abdel-Ghany et al., 2001b).

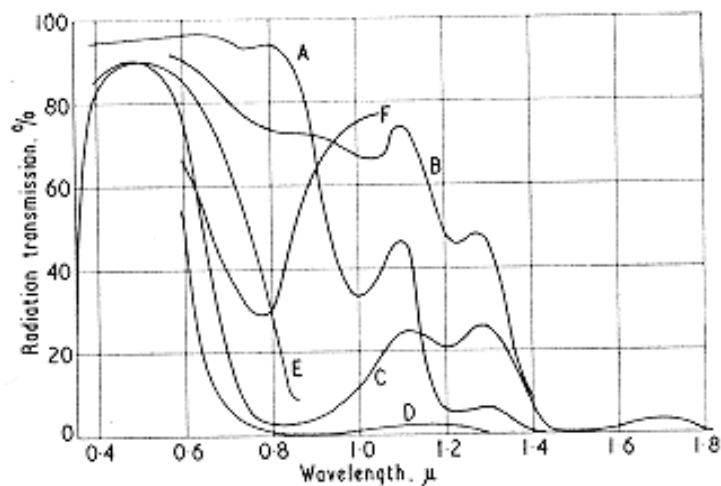
In Japan is in de jaren negentig een materiaal ontwikkeld, dat selectief NIR filtert. Het filter houdt 60% van de NIR straling tegen en 30% van het PAR. Door het gebruik van dit filter kon de koelbehoefte van kassen met 8% worden gereduceerd vergeleken met een neutraal filter, dat geen NIR, maar wel 30% PAR tegenhoudt (Tanaka, 1997).

Inmiddels zijn er ook glasmaterialen beschikbaar met een interferentie multilayer coating, welke selectief straling in het NIR gebied reflecteert en grote hoeveelheden PAR doorlaat. Deze materialen worden als warmtereflectiefilters en optische filters gebruikt (Prinz Optics, 2005; PGO, 2005) (Figuur 6 en Figuur 7). Echter, deze materialen zijn tot nu toe nog niet gebruikt in de tuinbouw.

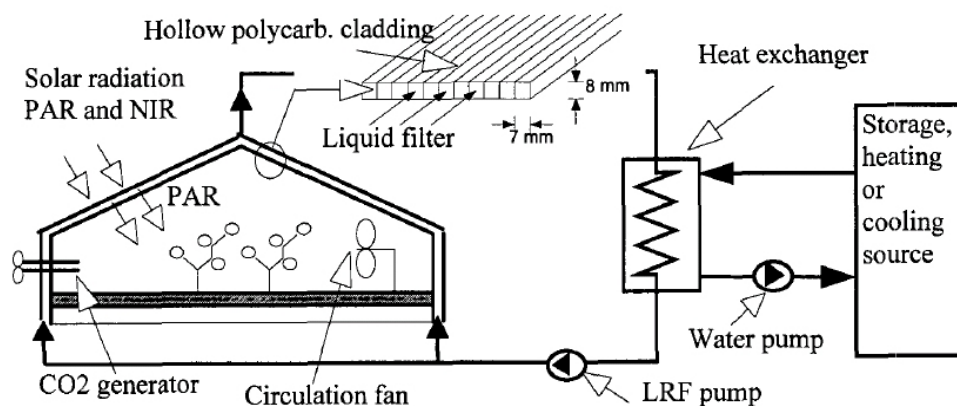
Runkle et al. (2002a) onderzoeken de mogelijkheid om **NIR-filterende plastic folies als binnenscherm** in een kas te gebruiken. NIR-filterend plastic folie heeft een multilayer coating. Er worden verschillende types schermmaterialen geproduceerd, een massief scherm en een geweven scherm. De materialen worden vergeleken met een neutraal geweven scherm met aluminium bandjes. De onderzoekers stellen vast dat de twee NIR-filterende materialen meer PAR doorlaten, maar minder NIR vergeleken met het neutrale scherm. De verhouding PAR tot totale energie was onder de NIR-filterende materialen hoger. Echter, er wordt door de NIR-filterende materialen in totaal meer zonnestralingsenergie doorgelaten. Hierdoor stijgt de kasluchttemperatuur onder de NIR-filterende schermen, terwijl de gewastemperaturen ongeveer vergelijkbaar zijn. Runkle et al. (2002b) halen de afhankelijkheid van het NIR-filterend effect van de invalshoek van de zon naar voren (Figuur 5). Omdat de NIR-filterende materialen ook de rood:verrood verhouding verhogen, wordt de planthoogte van veel perkplanten gereduceerd. Ook het drooggewicht van de meeste onderzochte plantensoorten nam vergeleken met het neutrale scherm af. Dit verklaren de onderzoekers met een kleinere strekkingsgroei veroorzaakt door waterstres als gevolg van meer stralingsenergie. Helaas worden er geen data van de drogestofgehalte weergegeven. Meer PAR onder het scherm is niet voor alle planten voordelig. Schaduwplanten moeten tegen teveel PAR worden beschermd.

Naast fluid-roof kassen, kasomhullingsmaterialen en schermmaterialen, is de laatste jaren ook **NIR-filterend krijtmateriaal** ontwikkeld. De universiteit van Hanover (Duitsland) heeft onderzoek gedaan naar krijt, welke NIR-interferentie pigmenten van Merck (Duitsland) bevatten (von Elsner en Xie, 2003). Twee verschillende pigmenten in verschillende concentratie worden gebruikt om krijt te produceren en deze op folietunnels tijdens de zomermaanden te testen. De nieuwe krijtmiddelen laten meer PAR door, vergeleken met conventioneel krijt (Figuur 8). De warmtebelasting van de tunnels wordt gereduceerd door een verminderde NIR transmissie en een verminderde transmissie van totale zonenergie. Ook door deze onderzoekers wordt benadrukt, dat het effect op de kasluchttemperatuur sterk afhankelijk zal zijn van de ventilatiecapaciteit van de kassen (von Elsner en Xie, 2003). In 2004 bracht Mardenkro (Baarle-Nassau, Nederland) dit NIR-filterend krijtmateriaal als commercieel product op de markt.

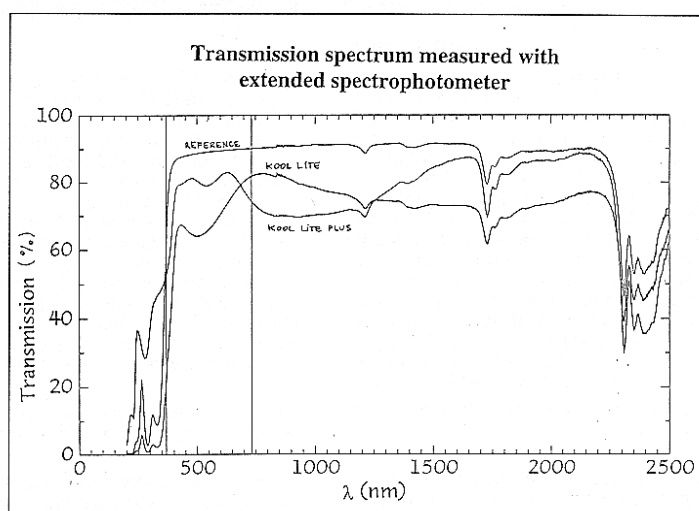
In de literatuur zijn verschillende studies over NIR-filters te vinden, een structurele analyse van NIR-filterende maatregelen, welke ook geschikt zijn voor het Midden-Europese klimaat ontbreekt echter tot nu toe.



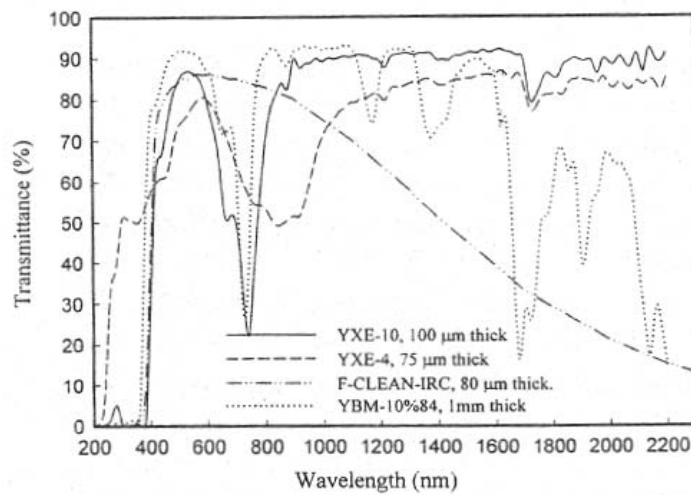
Figuur 1 Transmissie van water en verschillende oplossingen (A=water; B=0.5% CuSO₄ ½ cm laag; C=5% CuSO₄ ½ cm laag; D=2.5% CuSO₄ 2cm laag; E=3% FeNH₃(SO₄)₂ 10 cm laag; F=2% VOSO₄ ½ cm laag) (Morris et al., 1958).



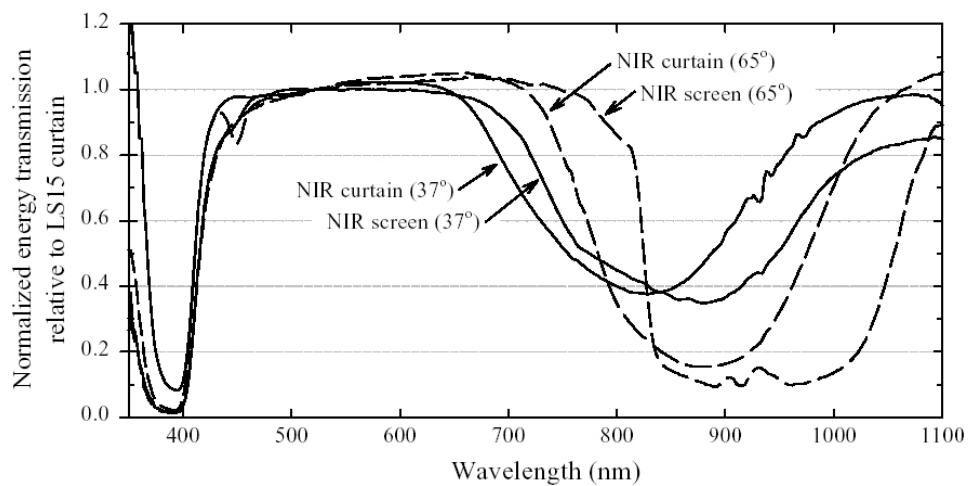
Figuur 2 Schema van een "liquid-roof" kas (Feuermann, 1997).



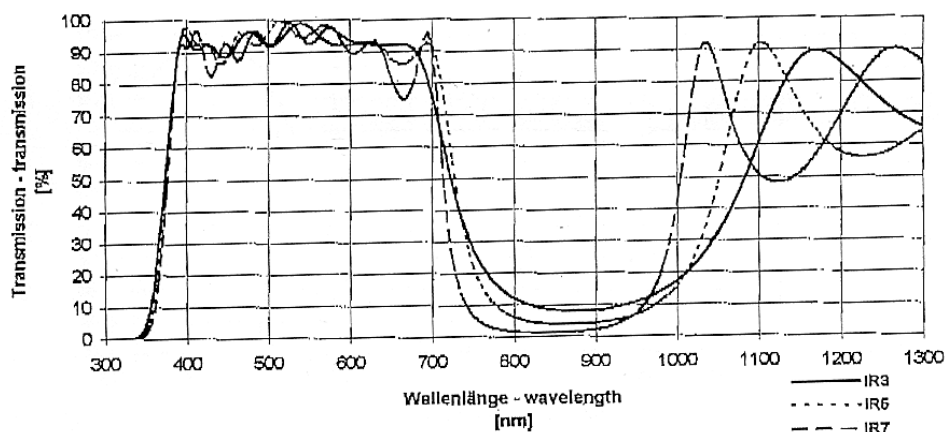
Figuur 3 Transmissie van twee interferentie folies met een filterende werking in PAR (Kool Lite) en NIR (Kool Lite Plus) vergeleken met een neutrale referentie folie (Verlodyt en Verschaeren, 1997).



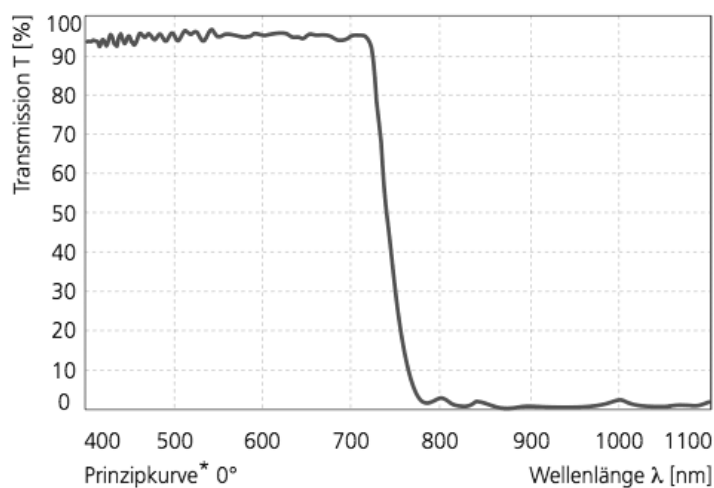
Figuur 4 Transmissie van NIR-filterende folie prototypes (Abdel-Ghany, 2001b)



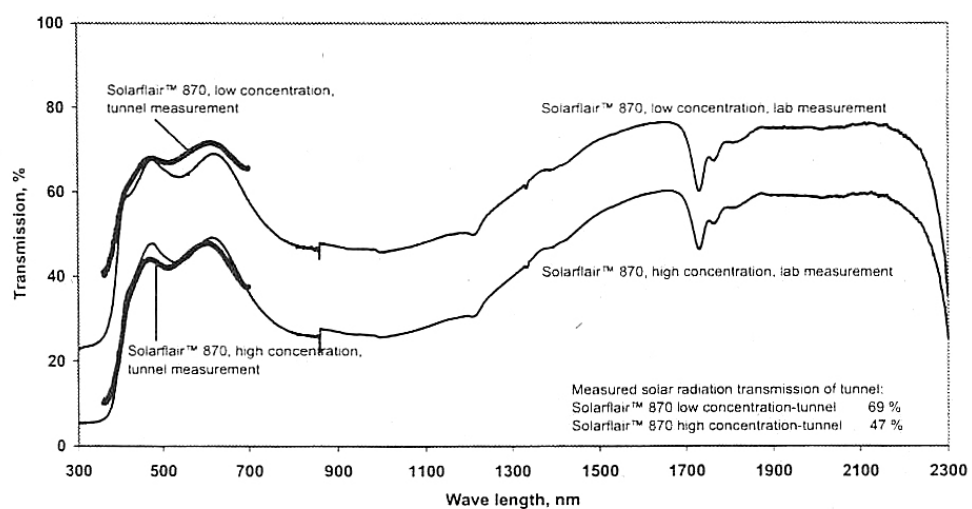
Figuur 5 Transmissie van een foliescherm (NIR screen) en een geweven scherm (NIR curtain) met NIR-interferentie multi-layer coatings onder twee invalshoeken van de straling (Runkle et al., 2002b)



Figuur 6 Transmissie van glas met NIR-interferentie multilayer coatings (Prinz Optics, 2005).



Figuur 7 Transmissie van glas met een nauwkeurige NIR-interferentie multilayer coating (PGO, 2005).



Figuur 8 Transmission of plastic film covered with a NIR-interference shading paint (von Elsner en Xie, 2003)

3 Materialen met NIR-filterend vermogen

Verschillende transparante materialen, te gebruiken voor het uitfilteren van NIR, zijn in het hier gerapporteerde project verzameld. Er is gezocht naar verschillende soorten glas, dat als kasdek materiaal kan worden toegepast en naar verschillende kunststofmaterialen, welke gebruikt kunnen worden als scherm materiaal voor een scherm installatie binnen of buiten de kas. Ook een commercieel NIR-filterend krijtmateriaal is onderzocht. In Tabel 1 wordt een overzicht van de verschillende NIR-filterende materialen gegeven.

Tabel 1 Overzicht materialen met NIR-filterende eigenschappen

Leverancier	Materiaal	Naam
Tuinbouwglas	Floatglas 4mm neutraal	Glas
Prinz Optics GmbH	Borofloat® glas Wärmereflexionsfilter 2mm met NIR-coating	Glas IR3 2mm
	Borofloat® glas Wärmereflexionsfilter 3.3mm met NIR-coating	Glas IR3 3.3mm
	Borofloat® glas Wärmereflexionsfilter 2mm met NIR-coating	Glas IR5 2mm
	Borofloat® glas Wärmereflexionsfilter 3.3mm met NIR-coating	Glas IR5 3.3mm
	Borofloat® glas Wärmereflexionsfilter 2.7mm met NIR-coating	Glas SIR
Präzisions Glas & Optik GmbH	Borofloat® glas Wärmereflexionsfilter 1.7mm met NIR-coating	Glas SIR-IR
Glaverbel	Autoruit met NIR-coating	Glas GB
Oerlemans Packaging bv / Plasthill bv	Polyethyleen folie 200µm neutraal	PE folie PH0
	Polyethyleen folie 200µm met NIR-reflectie pigment concentratie a	PE folie PH1
	Polyethyleen folie 200µm met NIR-reflectie pigment concentratie b	PE folie PH2
Anoniem	Polyethyleen folie 200µm neutraal	PE folie SF0
	Polyethyleen folie 200µm met NIR-absorptie pigment	PE folie SF1
	Polyethyleen folie 200µm met NIR-absorptie pigment	PE folie SF2
Ludvig Svensson bv	Polyesterscherm LS10 Ultra Plus 1:15 neutraal	PET scherm
Anoniem	Polyesterfolie 60µm met NIR-coating	PET folie M 60µm
	Polyesterfolie 100µm met NIR-coating	PET folie M 100µm
Mardenkro bv	ReduSol® 1:3 neutraal	ReduSol
	ReduHeat® 1:3 NIR-filter	ReduHeat
Elektropa Kunststoffoffen bv	Acrylaat massieve plaat helder 4mm	PMMA 4mm
	Polycarbonaat massieve plaat helder 4mm	PC 4mm
Röhm GmbH & Co KG	Plexiglas® Alltop kanaalplaat 16mm	PMMA 16mm
General Electrics Plastics bv	Lexan® LTC kanaalplaat 16mm	PC 16mm

3.1 Optische eigenschappen

Bij de materiaalselectie is met name de mate van NIR-filtering gecombineerd met een goede lichtdoorlatendheid belangrijk. De **optische eigenschappen** zijn voor alle verzamelde materialen bepaald. De directe lichtdoorlatendheid is gemeten op een Perkin Elmer spectrofotometer volgens NEN2675. Ook de solaire transmissie volgens EN410 werd berekend. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 PAR-transmissie (400-700nm) volgens NEN2675 en solaire transmissie (300-2500nm) volgens EN410 van de verschillende NIR-filterende materialen

Naam	A&F sample code	PAR-transmissie direct 400-700nm volgens NEN2675	Solaire transmissie direct 300-2500nm volgens EN410
Glas	PLA01Z	0.8933	0.8504
Glas IR3 2mm	PO04A	0.9114	0.6439
Glas IR3 3.3mm	PO04B	0.9384	0.6605
Glas IR5 2mm	PO04C	0.9040	0.6318
Glas IR5 3.3mm	PO04D	0.8759	0.6246
Glas SIR	PG04A	0.9220	0.5959
Glas SIR-IR	PG05A	0.8733	0.5510
Glas GB	GB05A	0.7292	0.4385
PE folie PH0	PH03A	0.8963	0.8453
PE folie PH1	PH03B	0.8053	0.7284
PE folie PH2	PH03C	0.7725	0.6807
PE folie SF0	SF02L	0.8427	0.8475
PE folie SF1	SF02M	0.7462	0.6970
PE folie SF2	SF02O	0.7135	0.6557
PET scherm	LS04D	0.8320	0.8190
PET folie M 60µm	3M04A	0.8529	0.6771
PET folie M 100µm	3M04D	0.8812	0.7174
ReduSol		0.6003	0.6022
ReduHeat		0.7583	0.6750
PMMA 4mm	EK04A	0.9255	0.8697
PMMA 16mm	EK02A	0.8805	*
PC 4mm	EK04B	0.8657	0.7850
PC 16mm	GE99A	0.7590	*

* niet gemeten

De **PAR-transmissie** direct gemeten in het gebied van 400-700nm is een maat voor de geschiktheid voor de plantproductie onder deze materialen. De PAR-straling 400-700nm is het gebied van de zonnestraling dat nodig is voor de fotosynthese en dus groei van de planten.

De PAR-transmissie van de glasmaterialen is goed. Het valt op dat door een NIR-filterende multilayer coating, de PAR-transmissie niet achteruit gaat. Bij de onderzochte materialen wordt zelfs een hogere PAR-transmissie gemeten, deze wordt echter veroorzaakt door het glas materiaal zelf. Als substraat voor de NIR-coating werd bij de meeste glasmonsters borosilicaat floatglas (Borofloat®) gebruikt in plaats van gewoon tuinbouw floatglas. Dit type glas is extra temperatuurbestendig, heeft een hele hoge bestendigheid tegen chemische middelen als zuren en logen en wordt gekenmerkt door een ca. 2% hogere lichtdoorlatendheid ten opzichte van gewoon glas, maar ook door een hogere prijs. Alleen glas GB heeft een lage PAR-transmissie.

De PAR-transmissie van de polyethyleen folies gaat achteruit en is afhankelijk van het NIR-filterende pigment dat aan de folie wordt toegevoegd. Het NIR-reflecterende pigment in de PE folies PH1 en PH2 zorgt voor een reductie van de PAR-transmissie van rond 10% ten opzichte van de neutrale PE folie PH0. De reductie is afhankelijk van de pigmentconcentratie. Wordt een hogere concentratie NIR-reflecterend pigment in het polymeer toegevoegd zoals in PE folie PH2, dan heeft dit een sterke afname in PAR-transmissie tot gevolg. De PAR-transmissie van de polyethyleen folies met een NIR-absorberend pigment wordt nog sterker gereduceerd. Beide types pigment worden tijdens het folie productieproces, tijdens de extrusie, toegevoegd.

De PAR-transmissie van de PET folie M 100µm is bijna vergelijkbaar met tuinbouwglas. Deze folie zal al dan niet in een geweven vorm gebruikt kunnen worden als schermmateriaal voor binnen of buiten de kas. De grondstof voor deze folie is polyester, hiervan zijn ook vrijwel alle traditionele schermmaterialen gemaakt.

In ReduHeat zijn dezelfde NIR-reflecterende pigmenten verwerkt als in PE folies PH1 en PH2. De PAR-transmissie is daarom ook ongeveer vergelijkbaar. Terwijl het traditioneel krijtmateriaal ReduSol de in de kas binnenkomende straling in alle golflengtes even veel reduceert, reflecteert ReduHeat selectief straling in het NIR gebied. De PAR-transmissie onder ReduHeat is zo ca. 15% hoger dan die onder ReduSol, als dezelfde hoeveelheid NIR uitgefilterd wordt.

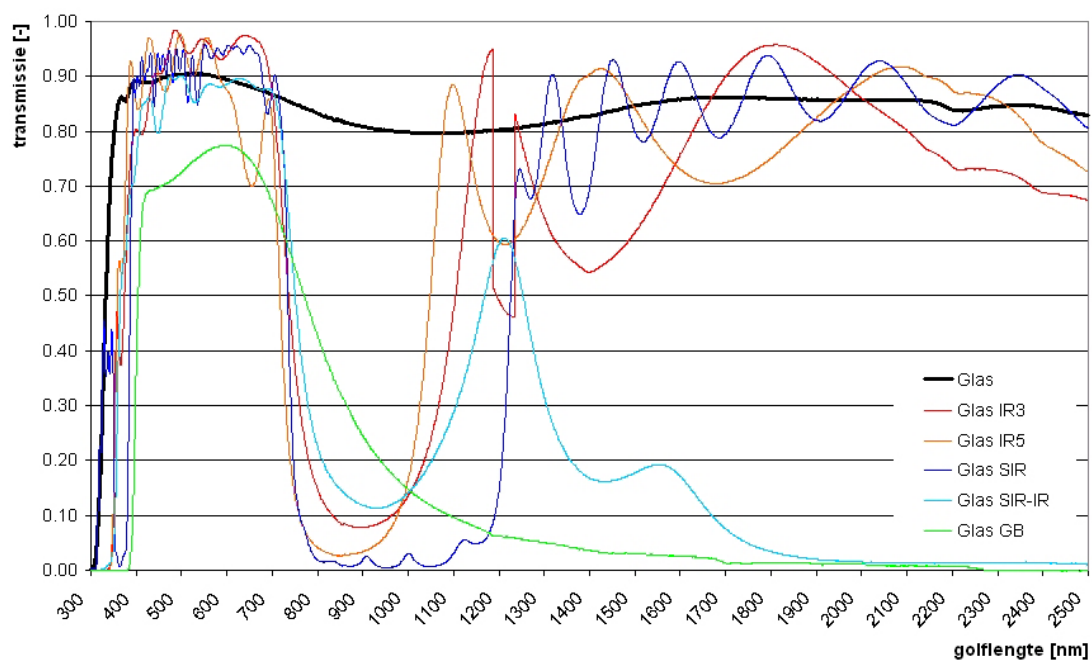
De **solaire transmissie** van de materialen in het gebied van 300-2500nm is een maat voor de doorlatendheid van zonne-energie door deze materialen. Als een materiaal een hoge solaire transmissie heeft, betekent dit, dat als er veel energie de kas binnen komt, de kas wordt opgewarmd. Heeft een materiaal een lage solaire transmissie dan betekent dit, dat er minder stralingsenergie van de zon binnen kan komen, de kas warmt dan minder op. Een lage solaire transmissie kan worden veroorzaakt door een lage PAR-transmissie en dus minder stralingsenergie welke in het PAR-gebied binnen komt. Dit effect is niet wenselijk. Een lage solaire transmissie kan ook worden veroorzaakt door het selectieve tegenhouden van stralingsenergie in het NIR gebied. Naar dit soort materialen zijn wij op zoek in dit project.

Alle glasmaterialen hebben een lage solaire transmissie, die veroorzaakt wordt door een selectieve NIR-filtering. Hetzelfde geldt voor de polyester PET folie M, hoewel de mate van NIR-filtering hier blijkbaar geringer is dan bij de glasmaterialen. De polyethyleen folies laten evenwel een iets lagere solaire transmissie zien. Echter deze is gedeeltelijk

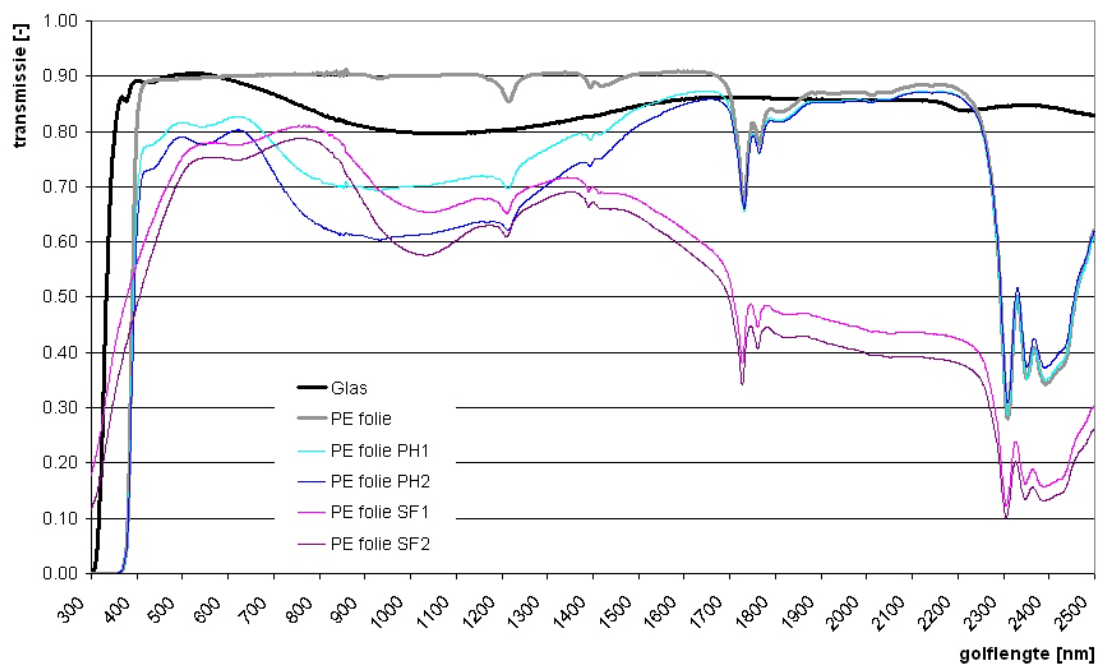
veroorzaakt door een lagere PAR-transmissie. De effectiviteit van NIR-filtering van deze folies is blijkbaar minder. Ook de krijtmaterialen laten een lagere solaire transmissie zien. De solaire transmissie van ReduSol is lager dan de solaire transmissie van ReduHeat als dezelfde hoeveelheid NIR wordt uitgefilterd, omdat additioneel ook minder PAR wordt doorgelaten.

In Figuur 9 t/m Figuur 12 is de spectrale transmissie van de verschillende materialen weergegeven. De glasmaterialen filteren afhankelijk van het type NIR-coating en de dikte van het glas vooral NIR straling in het gebied tussen 700nm tot 1100nm uit. Vooral glas SIR-IR en glas GB laten een hoge NIR-filtering zien, maar ook de NIR-reductie van de andere glazen is aanzienlijk (Figuur 9). De polyester materialen PET folie M 60µm en PET folie M 100µm houden NIR straling in het gebied tussen 900nm tot 1250nm tegen. Net als bij de glasmaterialen, blijkt het dikkere materiaal effectiever te zijn (Figuur 11). Daarentegen zijn de PE folies veel minder effectief in het tegenhouden van NIR. De PE folies PH1 en PH2 zijn selectief in een groter gebied, namelijk 700nm tot 1650nm, maar in dit gebied wordt maar een klein gedeelte van de NIR-straling gereflecteerd. De PE folies SF1 en SF2 absorberen NIR pas bij langere golflengtes, beginnend bij 900nm en oplopend tot 2500nm. Vooral de langere, maar energiearmere golflengtes worden tegengehouden, zodat ook bij deze folie een geringere effectiviteit wordt verwacht (Figuur 10). Ook de in de tuinbouw gebruikte kunststofmaterialen PMMA en PC laten een lichte NIR-filtering zien, dit echter pas vanaf 1600nm. In de kortere golflengtes laten beide materialen juist meer NIR straling door dan glas (Figuur 11). De solaire transmissie van PC maakt aannemelijk dat onder dit materiaal een lagere energietoetreding kan worden verwacht (Tabel 2).

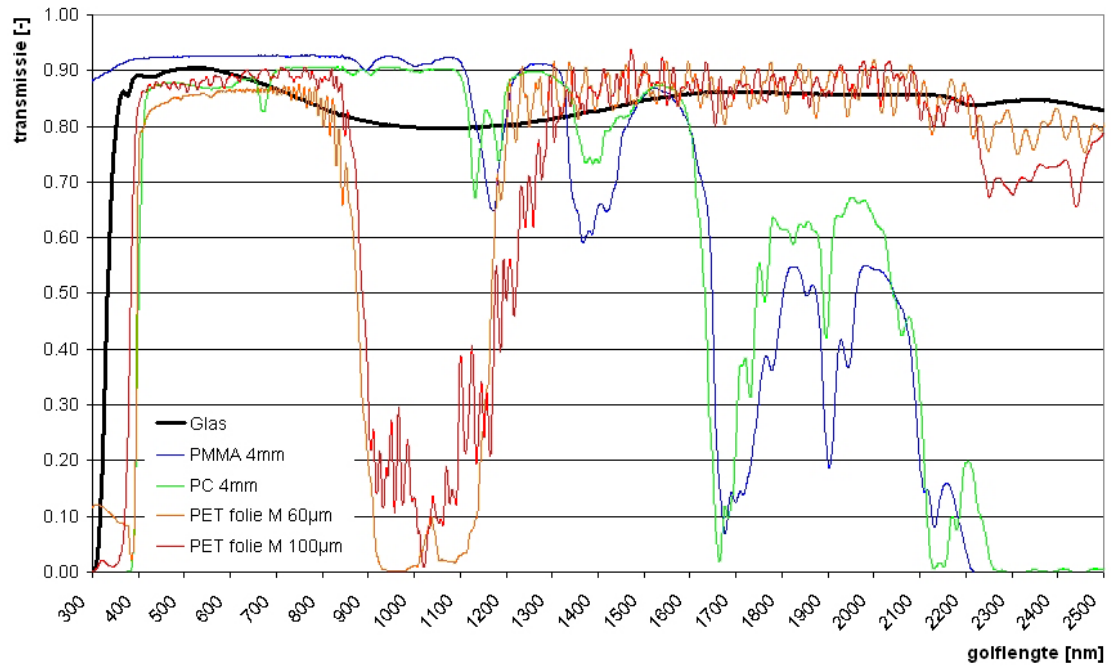
In Figuur 12 is het transmissiespectrum van een NIR-filterend krijtmateriaal te zien ten opzichte van een traditioneel krijtmateriaal. Terwijl traditioneel krijtmateriaal gemiddeld een PAR-transmissie van ca. 60% heeft, is de PAR-transmissie van het NIR-selectieve krijtmateriaal ca. 75%, terwijl dezelfde hoeveelheid NIR wordt tegen gehouden.



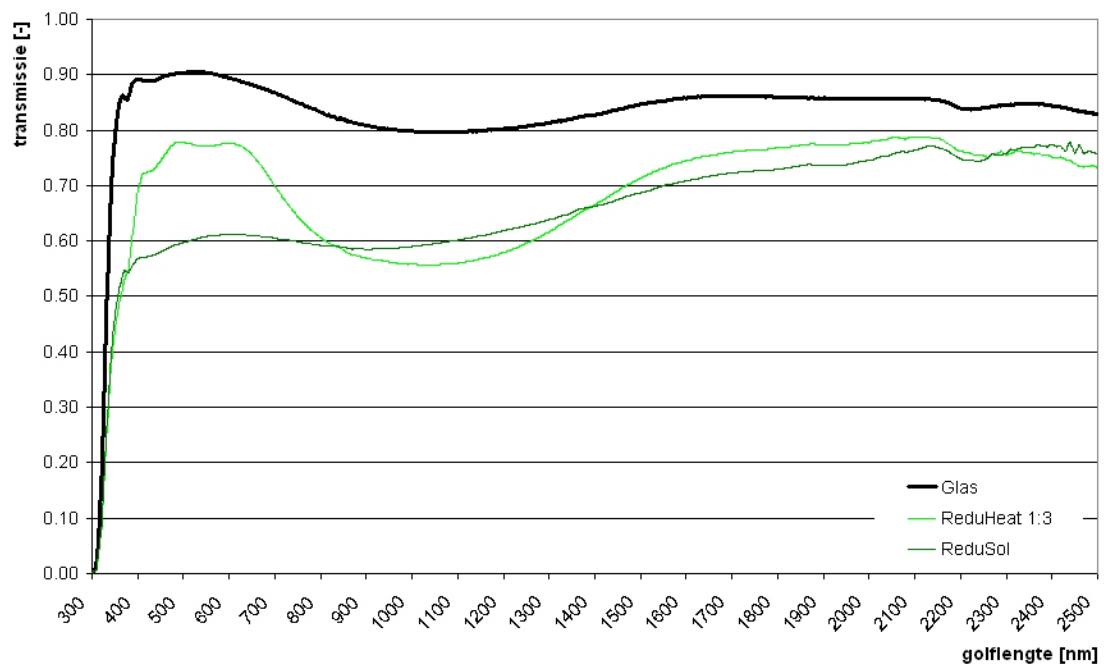
Figuur 9 Spectrale transmissie van tuinbouwglas en verschillende NIR-filterende glasmaterialen



Figuur 10 Spectrale transmissie van tuinbouwglas, PE folie en PE-folie met NIR-reflecterenden en NIR-absorberenden pigmenten



Figuur 11 Spectrale transmissie van tuinbouwglas, PMMA, PC en NIR-filterenden polyester folies



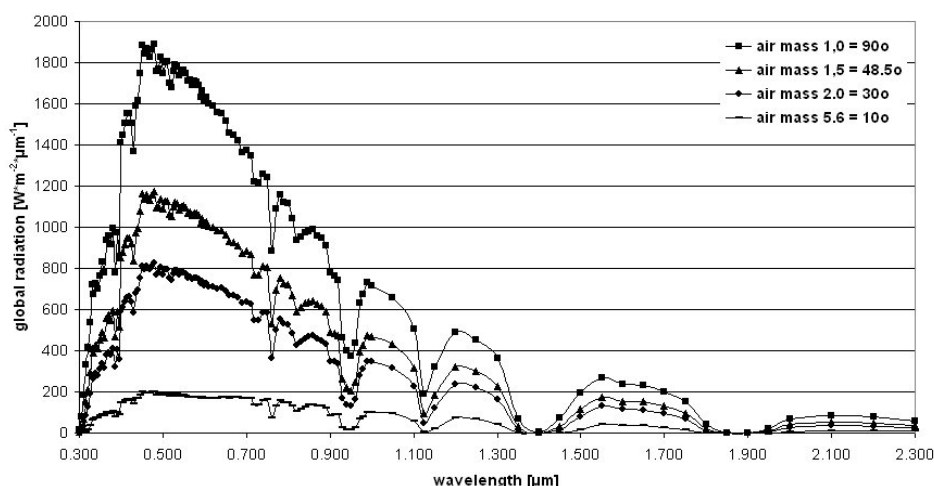
Figuur 12 Spectrale transmissie van NIR-filterend krijtmateriaal

Door de grafieken van de spectrale transmissie en de getallen van de solaire transmissie van de materialen te analyseren kan een eerste inschatting van de optische eigenschappen van de materialen worden gemaakt. Echter, ook de spectrale energieverdeling van de zonnestraling en de variatie van de zonnestraling in de tijd is belangrijk voor een beoordeling van de materialen.

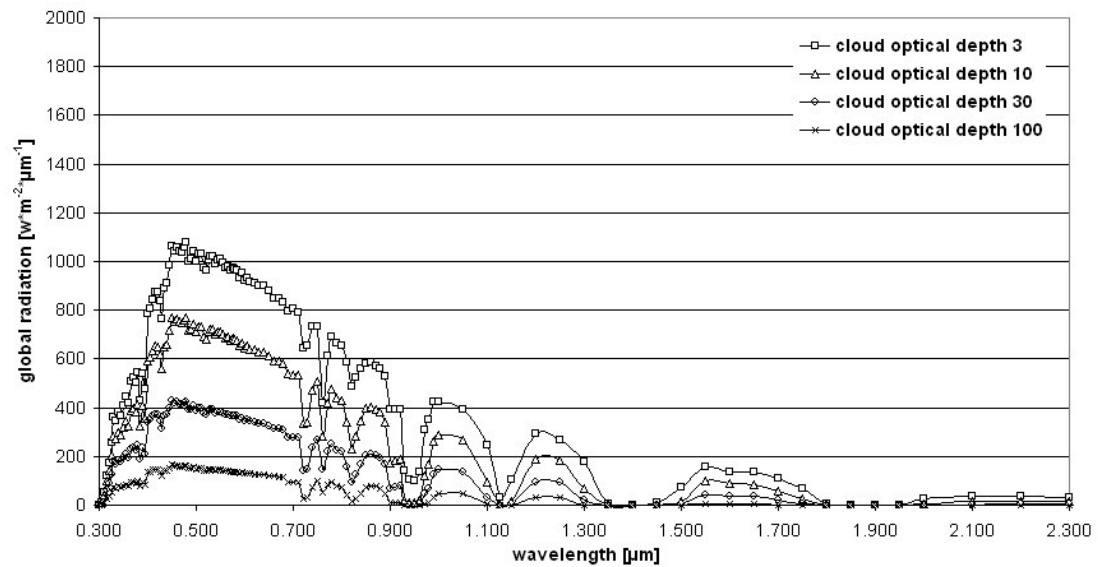
In het volgende wordt geanalyseerd hoe de zonnestraling in Nederland door verschillende omstandigheden kan veranderen en welke invloed dit heeft op de NIR-filterende materialen.

De **zonnestraling** of globale straling varieert in de loop van het jaar, met veranderende bewolking en in de loop van de dag. In CIE 85 (Commission Internationale de l'Éclairage) wordt de spectrale zonnestraling voor verschillende situaties gedefinieerd. In Figuur 13 en Figuur 14 wordt de globale straling met en zonder bewolking en onder verschillende invalshoeken weergegeven in termen van energie-inhoud van de straling, in $W \cdot m^{-2}$. Een “air mass” van 1.5 is ongeveer equivalent met een zomerdag in Nederland, een “air mass” van 5.6 is ongeveer equivalent met een winterdag in Nederland.

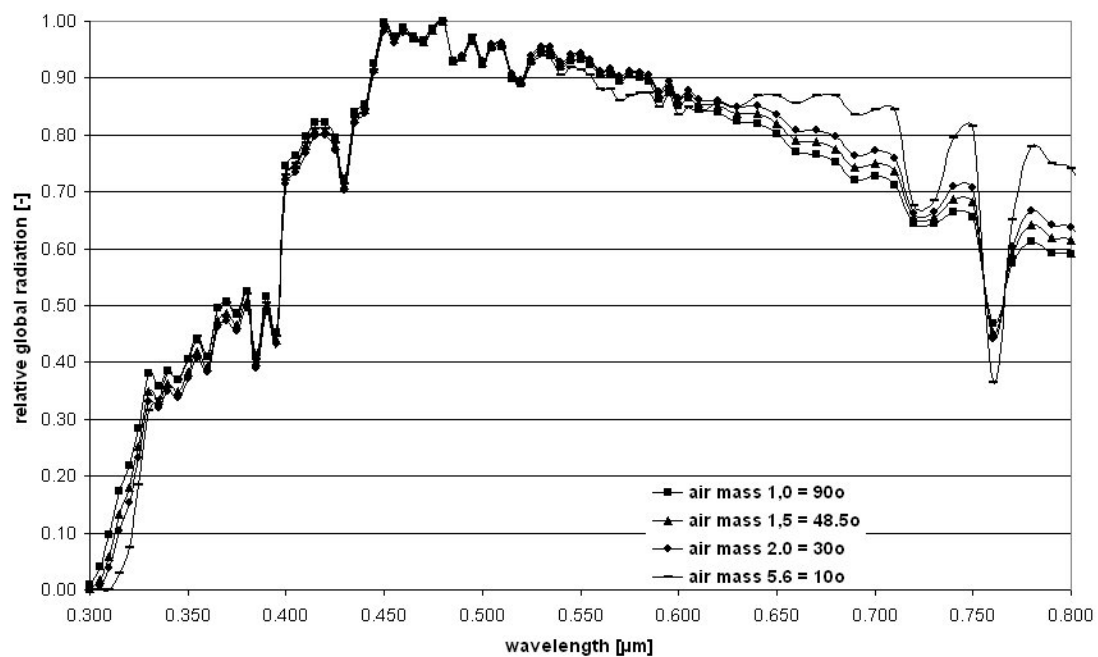
De spectrale verdeling van de globale straling varieert licht onder de verschillende omstandigheden. Zo is het aandeel UV straling (300-400 nm) onder een grotere invalshoek tijdens de zomermaanden, absoluut en relatief gezien, hoger dan onder een kleinere invalshoek tijdens de wintermaanden (Figuur 13, Figuur 15). Gelijktijdig is het aandeel NIR-straling (800 – 3000 nm) relatief gezien bij een kleinere invalshoek groter en bij een grotere invalshoek kleiner (Figuur 15). Met toenemende bewolking neemt het aandeel UV straling absoluut wel af, (Figuur 14) maar relatief gezien neemt het aandeel UV straling met een toenemende bewolking toe (Figuur 16). Het aandeel NIR straling neemt relatief gezien met een toenemende bewolking af (Figuur 16), omdat deze straling goed wordt geabsorbeerd door waterdamp.



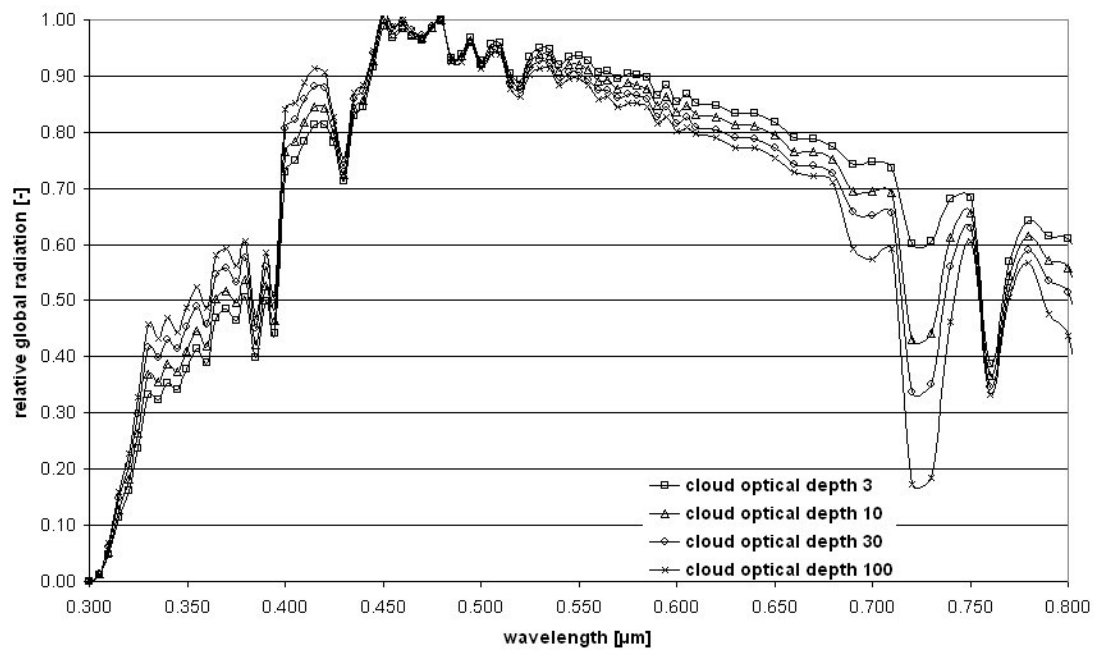
Figuur 13 Energie inhoud van de globale straling als functie van de golflengte zonder bewolking bij verschillende zonnestanden tijdens het seizoen (air mass 1.5 komt overeen met een heldere zomerdag in Nederland, air mass 5.6 komt overeen met een heldere winterdag in Nederland)



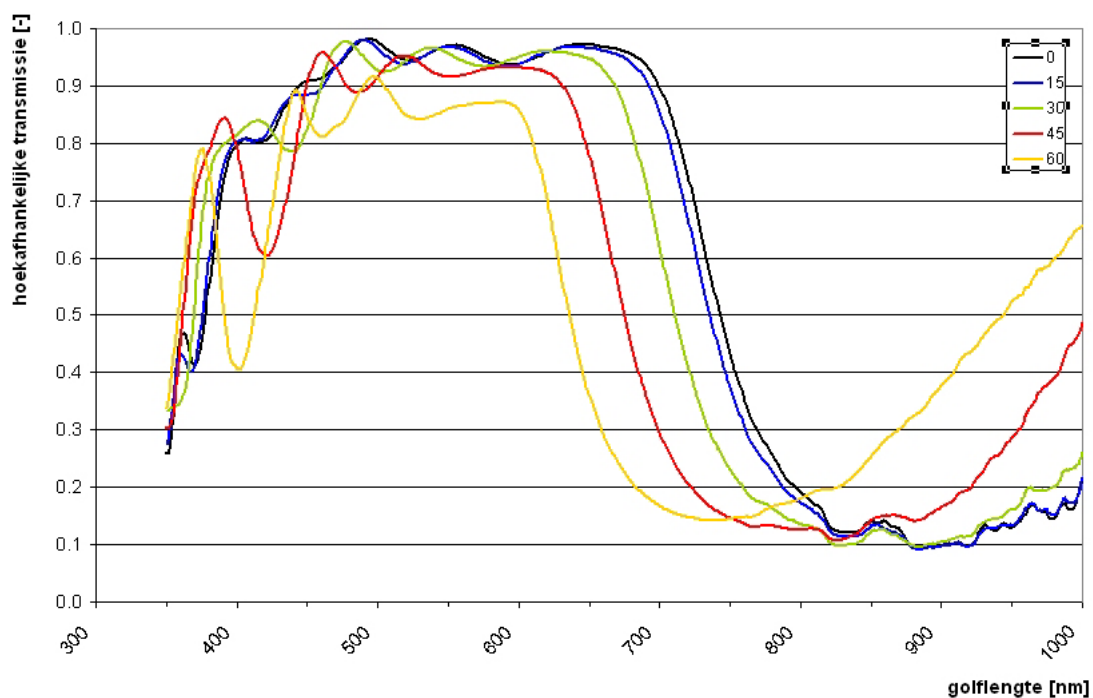
Figuur 14 Energie-inhoud van de globale straling als functie van de golflengte met verschillende bewolgingsgraden (cloud optical depth 10 = licht bewolkt, 30 = bewolkt, 100= sterk bewolkt)



Figuur 15 Relatieve verdeling van de globale straling zonder bewolking bij verschillende zonnestanden tijdens het seizoen



Figuur 16 Relatieve verdeling van de globale straling met verschillende bewolgingsgraden



Figuur 17 Spectrale transmissie van een NIR-filterend glas met multilayer coating technologie afhankelijk van de invalshoek van de straling (0, 15, 30, 45, 60 graden)

Vervolgens kan het gedrag van de verschillende NIR-filterende materialen onder verschillende buitenomstandigheden worden geanalyseerd. Als de spectrale transmissie van de NIR-filterende materialen (Figuur 9, Figuur 10, Figuur 11) en de verandering van de zonnestraling onder verschillende omstandigheden (Figuur 13, Figuur 14) bekend zijn, kunnen de optische eigenschappen van de materialen in de verschillende situaties worden berekend. Een compleet overzicht van de resultaten wordt in de bijlage weergegeven. Tabel 3 geeft een overzicht over de optische eigenschappen van de verschillende NIR-filterende materialen op een bewolkte en een heldere zomerdag.

Een belangrijke eigenschap is de **effectiviteit van de NIR-filtering** ten opzichte van glas (Tabel 3 en Figuur 19). Deze is groter dan 50% voor de glasmaterialen en tussen de 10% en 25% voor de foliematerialen. De effectiviteit van NIR-filtering van de krijtmaterialen is ongeveer vergelijkbaar met de beste foliematerialen, zowel ReduHeat (in een concentratie 1:3) als ook PET folie M zijn is staat om 24% van de NIR stralingsenergie tegen te houden. Terwijl PET folie M dit volledig door reflectie doet, reflecteert ReduHeat minder, maar absorbeert een deel van de stralingsenergie (ca. 12%).

De **optische eigenschappen** van de verschillende NIR-filterende materialen kunnen als volgt worden samengevat en beoordeeld:

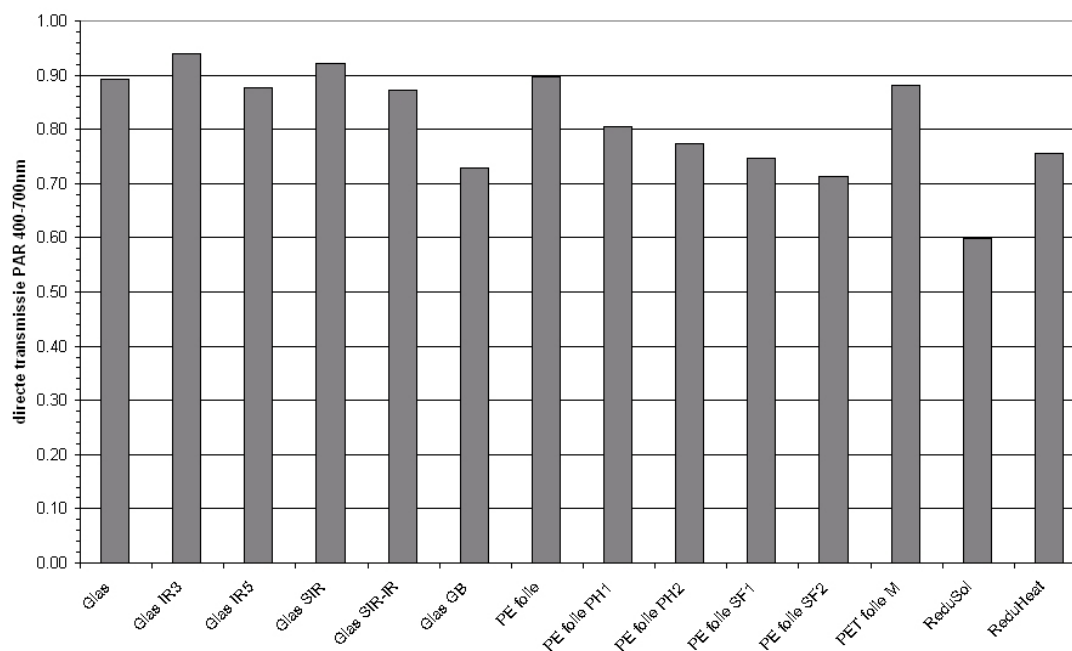
- De PAR-transmissie van de NIR-filterende materialen is ongeveer vergelijkbaar of zelfs hoger dan bij tuinbouw glas, met uitzondering van glas GB en de PE folies met NIR-reflecterende of NIR-absorberende pigmenten (Figuur 18). De PE folies zijn niet geschikt voor een gebruik als NIR-filterend schermmateriaal in een Nederlandse kas.
- Het NIR-filterend vermogen van de glasmaterialen is groter dan 50% van de NIR straling ten opzichte van tuinbouw glas → NIR-filterend kasdek houdt 50-70% van de NIR straling tegen (Figuur 19).
- Het NIR-filterend vermogen van het beste foliemateriaal is ca. 25% van de NIR straling ten opzichte van glas → NIR-filterend binnen- of buitenscherm houdt 25% van de NIR straling tegen (Figuur 19).
- De beste opbrengst van PAR-straling ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) ten opzichte van de totaal doorgelaten zonne-energie ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) vertonen de glasmaterialen IR3, IR5 en SIR, SIR-IR en GB gevolgd door het foliemateriaal PET folie M (Figuur 20).
- De R:FR verhouding van ReduHeat en PE folie PH1 en PH2 wordt maar licht veranderd, de R:FR verhouding van de NIR-filterende glasmaterialen IR3, IR5 en SIR wordt sterk verhoogd (Figuur 21). → Er moet worden nagegaan welke gevolgen dit voor de plantenproductie bij verschillende gewassen heeft en of het spectrum kan worden verschoven door een verandering in het productieproces van het materiaal.

De optische eigenschappen van zowel de glasmaterialen als ook het foliemateriaal zijn niet geoptimaliseerd voor de eisen van de tuinbouw. Deze eigenschappen moeten en kunnen verder worden verbeterd. Zo kan de effectiviteit van de NIR-filtering verder worden verbeterd. Technologisch gezien blijkt het NIR-filterend principe van een multilayer coating op glas of folie op dit moment de meeste potenties te bieden. Met deze technologie kan precies worden bepaald welke stralingsgebieden worden tegengehouden. Ook is deze technologie het meest effectief om NIR tegen te houden. Multilayer coatings kunnen op glas of folies worden toegepast. Voorbeeldmaterialen zijn de NIR-filterende glassoorten en de PET folie M. Door optimalisatie van de multilayer coating kunnen ook de spectrale eigenschappen worden aangepast, zodat een te hoge R:FR verhouding wordt vermeden. Verder moet aandacht worden besteedt aan de hoekafhankelijke transmissie van de materialen. Door een andere invalshoek van de straling kan de spectrale transmissie van een NIR-filterend materiaal met een multilayer coating verschuiven (Figuur 17 en Figuur 5). Hiermee kan en moet rekening worden gehouden bij de optimalisatie van de optische eigenschappen.

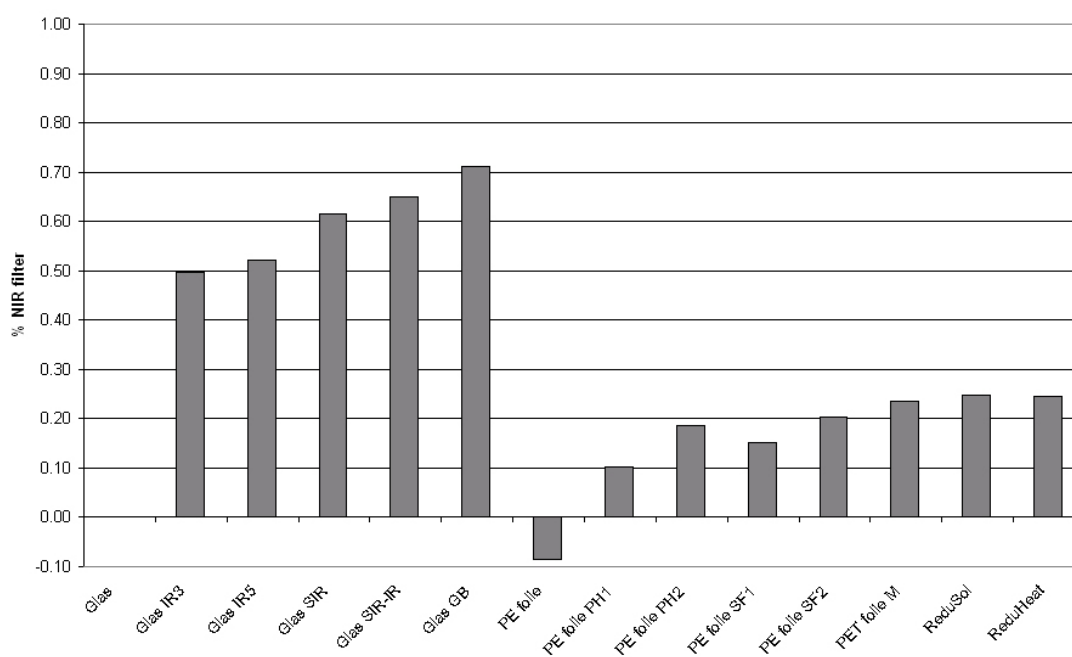
→ Er zijn reeds materialen met goede NIR-filterende eigenschappen beschikbaar. De optische eigenschappen zijn echter niet afgestemd op de eisen van de tuinbouw. Een optimalisatie van de materiaaleigenschappen is mogelijk en nodig.

Tabel 3 Globale straling, PAR, NIR en Rood:Verrood verhouding onder verschillende NIR-filterende materialen op een bewolkte en een heldere zomerdag

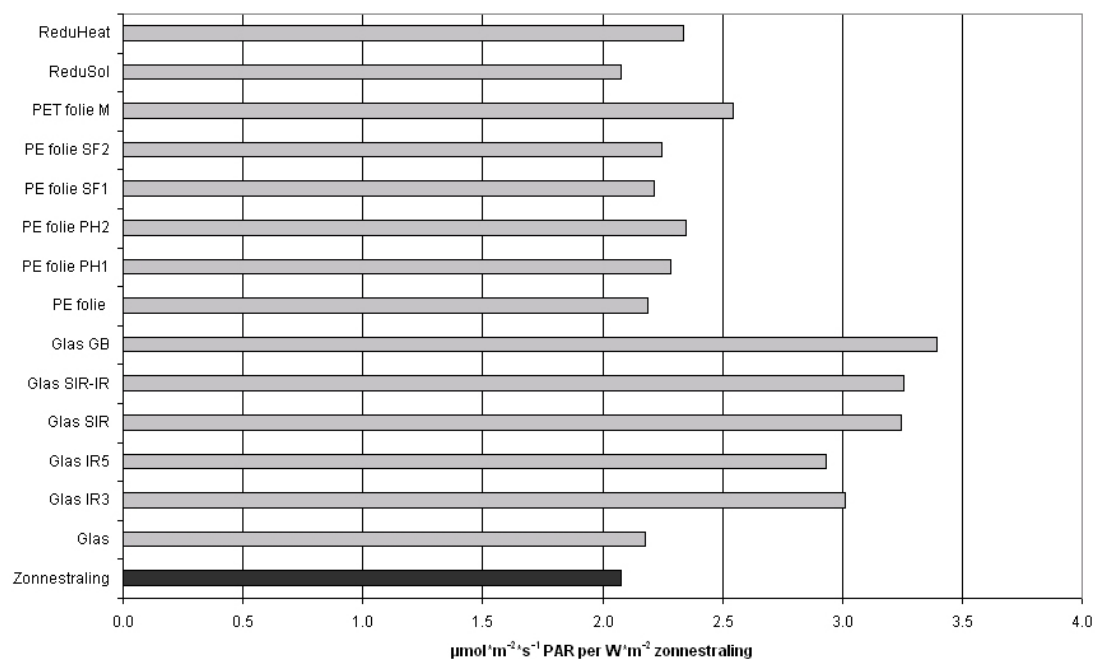
Materiaal	% NIR-filtering t.o.v. glas	$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ PAR per $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ globale straling	Globale straling 300-2500nm $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	PAR 400-700nm $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	NIR 700-2500nm $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}]$	PAR: Globale straling	NIR: Globale straling	PAR: NIR	R:FR verhouding (600-700nm: 700-800nm)
Heldere zomerdag									
Zonnestraling		2.1	679	308	332	0.45	0.49	0.93	1.20
Glas	0.00	2.2	578	275	274	0.48	0.47	1.00	1.24
Glas IR3	0.50	3.0	441	288	138	0.65	0.31	2.09	2.05
Glas IR5	0.52	2.9	420	271	131	0.64	0.31	2.07	2.84
Glas SIR	0.62	3.2	401	283	105	0.71	0.26	2.69	1.77
Glas SIR-IR	0.65	3.3	379	268	96	0.71	0.25	2.79	1.50
Glas GB	0.71	3.4	304	224	79	0.74	0.26	2.82	1.48
PE folie	-0.08	2.2	578	276	297	0.48	0.51	0.93	1.20
PE folie PH1	0.10	2.3	498	247	246	0.50	0.49	1.01	1.30
PE folie PH2	0.19	2.3	465	237	223	0.51	0.48	1.06	1.37
PE folie SF1	0.15	2.2	478	228	233	0.48	0.49	0.98	1.17
PE folie SF2	0.20	2.2	450	218	218	0.48	0.48	1.00	1.17
PET folie M	0.24	2.5	489	271	209	0.55	0.43	1.29	1.20
ReduSol	0.25	2.1	408	184	206	0.45	0.50	0.89	1.22
ReduHeat	0.24	2.3	458	233	207	0.51	0.45	1.13	1.35
PC	0.00	2.3	541	266	273	0.49	0.51	0.97	1.15
PMMA	-0.01	2.2	597	285	276	0.48	0.46	1.03	1.21
Bewolkte dag									
Zonnestraling		2.5	199	109	74	0.54	0.37	1.46	1.97
Glas	0.00	2.6	171	97	61	0.57	0.36	1.58	2.03
Glas IR3	0.55	3.4	135	101	28	0.75	0.21	3.65	3.38
Glas IR5	0.59	3.4	128	96	25	0.75	0.20	3.81	4.71
Glas SIR	0.67	3.6	125	100	20	0.80	0.16	4.95	2.94
PE folie	0.61	3.5	124	95	24	0.76	0.19	3.99	2.47
PE folie PH1	0.66	3.6	100	79	21	0.79	0.21	3.81	2.42
PE folie PH2	-0.09	2.7	166	97	67	0.58	0.40	1.46	1.97
PE folie SF1	0.11	2.8	144	87	54	0.61	0.38	1.60	2.14
PE folie SF2	0.20	2.8	134	84	49	0.62	0.37	1.70	2.24
PET folie M	0.12	2.6	141	80	54	0.57	0.38	1.49	1.92
ReduSol	0.17	2.7	133	76	51	0.58	0.38	1.51	1.91
ReduHeat	0.22	3.0	147	96	48	0.65	0.33	2.00	1.97
PC	0.26	2.5	118	65	45	0.55	0.39	1.43	2.00
PMMA	0.25	2.8	136	82	46	0.61	0.34	1.80	2.22



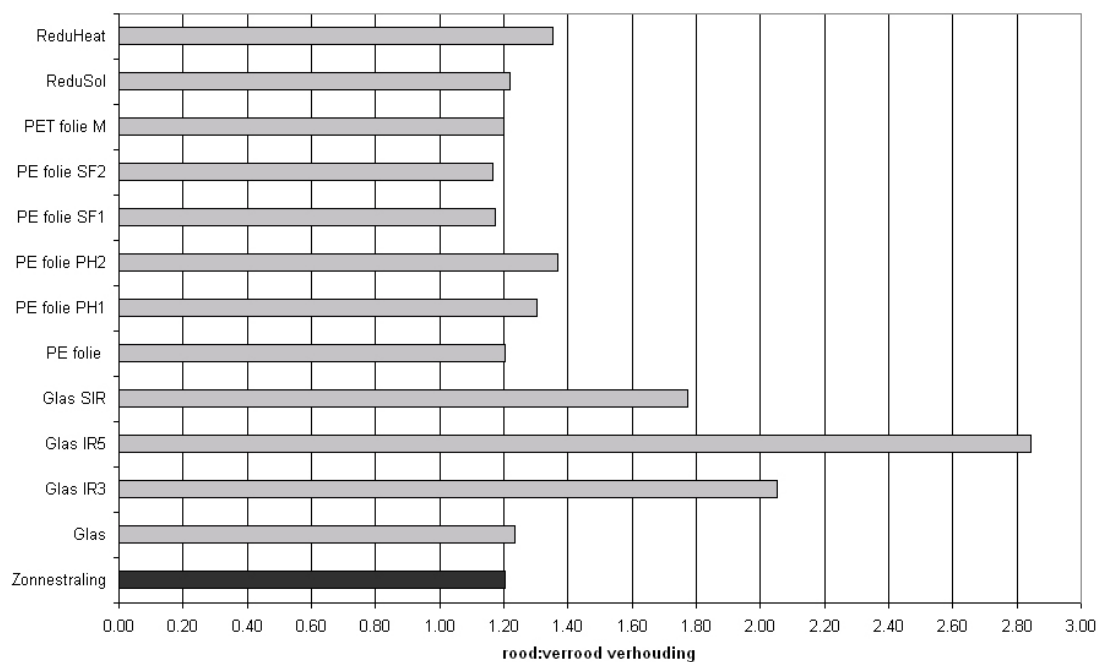
Figuur 18 PAR-transmissie van de verschillende NIR-filterende materialen



Figuur 19 NIR-filterend vermogen van de verschillende materialen ten opzichte van glas



Figuur 20 Transmissie PAR straling ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) per eenheid doorgelaten zonnestralingsenergie ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) van de verschillende NIR-filterende materialen



Figuur 21 Verhouding rode en verrode straling (600-700nm:700-800nm) onder de verschillende NIR-filterende materialen

3.2 Andere eigenschappen

Naast de optische eigenschappen van de verschillende NIR-filterende materialen zijn ook andere eigenschappen zoals de sterkte van het materiaal, de levensduur en de veroudering van belang. Eveneens spelen de prijs en de maximaal beschikbare afmetingen een rol bij de keuze van een materiaal. Deze eigenschappen zijn samengevat in Tabel 4.

Tabel 4 Sterkte, levensduur, prijs en maximale afmetingen van verschillende NIR-filterende materialen

Materiaal	Transmissie voor warmtestraling (FIR) [%]	Treksterkte [N mm⁻²]	Levensduur [jaar]	Prijs [€ m⁻²]	Afmetingen
Glas	0	40	25	3.50-5.00	
Glas IR3, IR5	0	40	?	>100	Maximaal 800mm*1100mm
Glas SIR, SIR-IR	0	40	?	?	maximaal 300mm*300mm
PE folie	20-40	20	4-5	0.70-1.00	Breedte tot ca. 12m
PE folie PH1, PH2	20-40	20	4-5	1.00-1.50	Breedte tot ca. 12m
PE folie SF1, SF2	20-40	20	2-4	1.00-1.50	Breedte tot ca. 12m
LS10 Ultra Plus	40-60	16	4-10	1.00-2.00	Standaard breedte 3.20, 3.50, 4.30, 4.70 en 5.40m
PET folie M	40-60	16	4-10	80	Standaard breedte 1m

Het valt op dat de prijs voor NIR-filterende materialen enorm hoog is. Dit komt echter omdat deze materialen op dit moment voor speciale optische toepassing zijn geproduceerd, waar een hoge prijs kan worden gerekend omdat hiervoor altijd kleine hoeveelheden nodig zijn. Technologisch gezien blijkt het NIR-filterend principe van een multilayer coating op glas of folie op dit moment de meeste potenties te bieden. Deze technologie kan in de toekomst gebruikt worden om ook voor de tuinbouw specifieke materialen te produceren met een lagere prijs en in grote hoeveelheden. Dit traject moet in gang worden gezet als blijkt dat een NIR-filterend kasdek materiaal voor de tuinbouw wenselijk is. Folie materialen met NIR-reflecterende pigmenten zijn wel voor een redelijke prijs beschikbaar. Echter, dit NIR-filterend principe is veel minder effectief. Verbeteringen in de toekomst zullen beperkt blijven.

De maximale afmetingen van de NIR-filterende materialen (glas en PET folie M) zijn momenteel nog beperkt. Dit kan in de toekomst echter worden veranderd. De levensduur van de nieuwe materialen is naar verwachting vergelijkbaar met traditionele materialen. Dit moet echter nader worden onderzocht.

→ De prijs van NIR-filterende materialen is op dit moment nog hoog, maar zal bij productie op grotere schaal aanzienlijk kunnen worden verlaagd. Onderzoek naar levensduur en condensatie eigenschappen is wenselijk.

4 Installatiemogelijkheden

Het hoofddoel van een NIR-filter is ongewenste warmte buiten de kas te houden. In de zomermaanden lopen door een hoge zonnestralsingsintensiteit kasluchttemperatuur en gewastemperatuur op. Hierdoor stijgt de verdamping van de plant en als de aanvoer van water beperkt is sluiten de huidmondjes, waardoor de opname van CO₂ beperkt wordt en het fotosyntheseproces wordt belemmerd.

In een traditionele kas zijn er verschillende manieren om ongewenste warmte tegen te houden of af te voeren. Door het openen van de luchttingsramen daalt de kasluchttemperatuur, maar ook het CO₂-gehalte. Door het sluiten van een schaduwscherm wordt de hoeveelheid zonnestralsingsenergie gereduceerd op tijden van stralingsoverschot, maar ook de hoeveelheid PAR-straling. Traditioneel krijtmateriaal heeft dezelfde functie, echter in een vaste periode, ook op tijden met minder zonnestraling. Door de hoeveelheid zonnestraling te reduceren komt minder energie in de kas, warmt de kas minder op en daalt de gewastemperatuur. Echter, voor maar weinig gewassen is de hoeveelheid PAR de beperkende factor en veel gewassen hebben het lichtverzadigingspunt dan ook nog niet bereikt. Voor deze gewassen is het wenselijk dat niet de hoeveelheid PAR wordt gereduceerd maar gericht de rest van de zonnestraling, welke niet bijdraagt aan fotosynthese, groei en vormgeving van de planten. Een NIR-filter houdt juist deze straling tegen.

Een NIR-filter kan op verschillende plaatsen in een kas worden gebruikt, als:

- a. kasomhullingsmateriaal
- b. deel van de kasomhulling
- c. beweegbaar binnenscherm
- d. beweegbaar buitenscherm
- e. tijdelijk krijtmateriaal

Als kasomhullingsmateriaal wordt in Nederland tot nu toe in ca. 95% van alle kassen tuinbouwglas gebruikt. In deze studie zal er daarom van uitgegaan worden, dat een warmtewerend kasdek uit een NIR-filterend glas zal bestaan. Dit kan worden geïnstalleerd in alle delen van de kasomhulling (dak en gevels) (a). Een kasdek materiaal filtert in de zomer alle ongewenste zonnestraling, de kas warmt minder op. Het kasdek materiaal doet dit echter ook in de winter, ook dan warmt de kas minder op, zodat het gasverbruik zal stijgen. Een andere mogelijkheid bestaat uit het installeren van een NIR-filterend glas alleen in de zuidkanten van de kas, omdat hier het grootste aandeel zonnestraling de kas binnen zal komen (b).

Voor energiebesparing in de winter of schaduwwerking in de zomer zijn veel kassen voorzien van scherminstallaties. Dit is meestal een beweegbaar binnenscherm (c), welke horizontaal in een kas is geïnstalleerd (Figuur 22). In Breedkapkassen wordt het scherm vaak parallel met het dakvlak opgerold (Figuur 23). Het schermdoek zelf bestaat uit een geweven kunststofmateriaal, meestal polyester. Het doek is of voorzien met aluminiumbandjes, als het alleen in de nacht wordt gesloten voor de

energiebesparingfunctie, of het is transparant als het ook overdag wordt gesloten voor een goed kasklimaat. Afhankelijk van de nodige combinatie met een schaduwwerkende functie tijdens de zomermaanden, onderschept het scherm meer of minder licht. Bij sommige gewassen wordt ook nog gewerkt met een (tijdelijk) vast, transparant binnenscherm. Het kasareaal met een vast scherm neemt echter de laatste jaren enorm af en zal daarom in deze studie niet worden meegenomen. Een binnenscherm heeft het voordeel dat de installatie zelf relatief weinig licht onderschept, omdat huidige scherminstallaties zo veel mogelijk zijn geïntegreerd in de kasconstructie. Een binnenscherm heeft echter het nadeel dat de ventilatiecapaciteit wordt verminderd als het scherm dicht is. Dit heeft tot gevolg dat de kasluchttemperatuur enkele graden op kan lopen ten opzichte van de buitentemperatuur tijdens warme perioden, als het scherm voor schaduwwerking wordt gesloten. Dit zal ook het geval zijn als een NIR-filterend binnenscherm in deze perioden wordt gesloten.

Een nieuwe trend is het gebruik van een beweegbaar buitenscherm (d). Een buitenscherm wordt voor schaduwwerking boven het kasdak geïnstalleerd, de ventilatie van de kas wordt in dit geval nauwelijks belemmerd (Figuur 24). Alle ongewenste zonnestraling wordt direct buiten de kas gehouden. De kasluchttemperatuur loopt minder op tijdens warme perioden. Dit zal ook het geval zijn als een NIR-filterend buitenscherm wordt gebruikt. De installatie van een buitenscherm is echter ingewikkelder (zwaarder in verband met windbelasting) dan die van een binnenscherm. Er zijn meer constructiedelen nodig, zodat de lichtonderschepping ook hoger en de installatie duurder zal zijn. Ook is het niet mogelijk een buitenscherm voor energiebesparing in de winter te gebruiken.

Een laatste mogelijkheid om ongewenste opwarming van de kas te voorkomen is het gebruik van een krijtmateriaal (e). Krijtmiddelen worden gemengd met water voor een bepaalde periode op de kasomhulling gespoten (Figuur 25). De concentratie bepaalt het lichtonderscheppend vermogen van de scherm laag. Deze kan door het aanbrengen van meerdere lagen in beperkte mate worden aangepast aan het seizoen. Het gebruik van krijtmateriaal is een goedkope manier om opwarming van de kas te voorkomen. Als een NIR-filterend krijtmateriaal wordt gebruikt, wordt relatief minder PAR onderschept en NIR, selectief tegengehouden. Echter dit zal in een vaste periode gebeuren, tegenover een beweegbaar scherm dat op buitenstraling kan worden geregeld.



Figuur 22 Installatie van een beweegbaar horizontaal binnenscherm in een Venlokaas (Alweco, 2005)



Figuur 23 Installatie van een beweegbaar binnenscherm oprolbaar langs het dak van een Breedkapkas (Alweco, 2005)



Figuur 24 Installatie van een beweegbaar horizontaal buitenscherm op een Venlokaas (Maurice, 2005)



Figuur 25 Aanbrengen van een tijdelijk krijtmateriaal op de kasomhulling (Hermadix, 2005)

5 Kasklimaat, energieverbruik en gewasproductie

5.1 Materiaal en methoden

5.1.1 Beschrijving KASPRO model

Het simulatiemodel (KASPRO) is een uit samenhangende componenten samengesteld model van de eigenschappen van een kas, gewasgegevens, ingestelde setpoints en buitenklimaat, dat de relevante variabelen berekent als functie van de tijd. Dit maakt berekening van de energiestromen en gewasproductie mogelijk.

De basis van het model wordt gevormd door de energie-, water- en CO₂-balansen van de in beschouwing genomen samenhangende onderdelen van het systeem. Het resulteert in een set van niet lineaire, eerste orde differentiaal vergelijkingen die numeriek worden opgelost.

Het kasklimaatmodel heeft als startpunt de kasklimaatregelaar. Kaslucht is een component waarvan de temperatuur, vochtigheid en CO₂-concentratie als primaire variabelen worden beschouwd. De kasklimaatregelaar vergelijkt deze waarden met setpoints. De setpoints zijn functies van tijd en buitenklimaat en aangenomen wordt dat de teler ze van parameters voorziet.

Op grond van de vergelijkingen zal de regelaar het volgende doen:

- De stand van de mengklep van de warmwatertoevoer wordt aangepast, ten einde de temperatuur van de verwarmingbuizen te wijzigen. Meestal wordt de temperatuur van twee afzonderlijke verwarmingssystemen geregeld, waarvan één met pijpen dicht bij de grond en één met pijpen in of boven het gewas.
- De stand van de luchtramen wordt aangepast voor warmte, vocht en CO₂-uitwisseling tussen de kas- en buitenlucht.
- De CO₂-gift naar de kas wordt gestart en gestopt.

Naast het kasklimaat, stuurt de regelaar de apparaten aan die van belang zijn voor de warmtevoorziening (ketel en evt. warmtepomp, opslagtank etc.) en de CO₂-productie van de ketel. De regelactiviteiten hebben direct of indirect invloed op het brandstofverbruik. Dit is duidelijk het geval bij verhoging van de buistemperatuur, hoewel de brandstof om in de warmtebehoefte te voorzien, al uren eerder opgewekt kan worden en tijdelijk worden opgeslagen in een warmteopslagtank.

Geopende ramen hebben een effect op de energieconsumptie wanneer de regelactiviteiten worden uitgevoerd op grond van het setpoint luchtvochtigheid gedurende perioden van energievraag. De CO₂-gift veroorzaakt een brandstofverbruik indien CO₂ wordt verkregen uit uitlaatgassen van de ketel of de WK-installatie tijdens perioden zonder energievraag.

Omdat het warmtedistributiesysteem in kassen gewoonlijk bestaat uit een warmwatercircuit van pijpen met een groot thermisch vermogen met typische afkoelingseigenschappen, wordt extra aandacht besteed aan de beschrijving van het dynamisch gedrag (De Zwart, 1996). De tank voor korte termijn warmteopslag met zijn grote thermische vermogen is gemodelleerd met een uitgebreid meer lagen model

overeenkomstig de uitgangspunten gepresenteerd door Yoo en Pak (1993). Naast de kasklimaatregelaar zijn de kasluchtomstandigheden ook afhankelijk van de warmte, vocht en CO₂-uitwisseling tussen de kaslucht en zijn directe omgeving. Om deze interacties te beschrijven onderscheidt het model samenhangende componenten voor het gewas, de bodem en het kasdek.

De grond onder de kas vertegenwoordigt een grote warmteopslagcapaciteit met een sterk dempend effect op fluctuaties van de kasluchttemperatuur. Om een goede afspiegeling van dit effect te verkrijgen is de grond onderverdeeld in meerdere lagen.

Het kasdek vormt een belangrijke belemmering voor warmteverlies naar de buitenlucht. Indien de temperatuur van het dek echter onder het dauwpunt van de kaslucht komt, veroorzaakt het dekoppervlak ontvochtiging van de kas.

De buitenomstandigheden dienen als omgevingsfactoren voor het model. De buitenluchttemperatuur en de hemeltemperatuur beïnvloeden de warmteverliezen door convectie en straling bij het kasdek en daardoor de temperatuur van het dek. De buitentemperatuur, vochtigheid en CO₂-concentratie hebben een directe invloed op de primaire toestandsvariabelen via luchtuitwisseling door geopende ramen of kieren. De windsnelheid is een belangrijke indirecte weerconditie omdat deze invloed heeft op de convectieve warmte-uitwisseling aan het dek en in belangrijke mate de luchtuitwisseling door de ramen bepaalt.

Een belangrijk weergegeven is de globale straling. Directe en diffuse straling wordt geabsorbeerd, gereflecteerd en doorgelaten door het dek, het gewas en de grondoppervlakte. Bovendien is straling op gewashoogte belangrijk voor de fotosynthese. Voor de berekening van de warmte-, vocht- en CO₂-stromen tussen de samenhangende componenten, zijn de relaties voor de warmtestroming ontleend aan een aantal auteurs. De warmtestraling is berekend met gebruikmaking van relaties gebaseerd op de wet van Stefan-Boltzmann, en bevat view factoren, absorptie en emissie. Interceptie van de straling door het gewas is behandeld in overeenstemming met Goudriaan (1988). De transmissie van licht door het dek is berekend middels een methode beschreven door Bot (1983). De convectieve warmte-uitwisseling aan de binnen en buitenkant van het dek is beschreven in de relaties eveneens gepresenteerd door Bot. De ventilatiestromen, in tuinbouwkundige context is gebaseerd op natuurlijke ventilatie, en is berekend op basis van de theorie gepresenteerd door De Jong (1990). De gewasverdamping, een belangrijk onderdeel van het model, is afgeleid van het werk van Stanghellini (1987). De convectieve warmteoverdracht van verwarmingsbuizen en convectieve warmte-uitwisseling van de bodem is eveneens beschreven door Bot. De warmtegeleiding in de grond is benaderd vanuit de algemene warmtegeleidingtheorie.

Ten gevolge van de complexiteit en de niet lineairiteit van het model, is de oplossing van de differentiaalvergelijkingen uitgevoerd in numerieke voorwaartse integratie. De stapgrootte wordt steeds zodanig gekozen dat geen numerieke instabiliteit ontstaat. Dat betekent dat het tijdsduur per integratiestap vaak niet meer dan 15 sec bedraagt. Wanneer

het buitenklimaat en de klimaatregelaar activiteiten stabiel zijn, neemt de stapgrootte toe tot 2 minuten, hetgeen overeen komt met de meetfrequentie van de klimaatregelaar. Vergelijking van de resultaten van het model met metingen in een semi-praktijk kas (4 afdelingen van 200m² elk) toonden een zeer goede overeenkomst. Absolute verschillen tussen model en metingen voor de luchttemperatuur voor gemiddelde 10 minuten waarden bedroegen minder dan 0.5 °C in 90% van de tijd. Het energieverbruik (warmte) werd gesimuleerd met een nauwkeurigheid van 95% en de regelactiviteiten met betrekking tot ramen en de CO₂-gift toonden een goede gelijkensis. (de Zwart, 1996). Voor de beschrijving van het buitenklimaat wordt een dataset gebruikt die uitgaat van typisch Nederlandse weersomstandigheden. Deze dataset is wordt aangeduid als het SEL-jaar (Breuer en Van de Braak, 1989).

5.1.2 *Beschrijving INTKAM model*

Het INTKAM gewasgroeimodel voor tomaat van Plant Research International (Marcelis et al., 2000) is gebaseerd op het HORTSIM model (Gijzen et al., 1998). Het berekent de fotosynthesesnelheid op basis van de gedetailleerde biochemische Farquhar vergelijkingen (Farquhar et al., 1980), welke rekening houden met de effecten van straling, temperatuur, de CO₂ concentratie en het dampdruktekort van de atmosfeer. Gebruik makend van een drogestofverdeling tussen organen die is gebaseerd op relatieve sinksterktes, worden werkelijke groeisnelheden van de organen berekend. De toename van het bladoppervlak wordt berekend uit de gewichtstoename van het blad en een potentiële specifiek bladoppervlak. De verdamping wordt berekend met behulp van de Penman-Monteith vergelijking, en maakt gebruik van het model voor stomataire geleidbaarheid zoals beschreven door Nederhoff en de Graaff (1993). Op verschillende niveaus in het gewas wordt de hoeveelheid onderschepte straling berekend, en de fotosynthese en verdamping op gewasniveau wordt verkregen door de snelheden op de verschillende gewasdiepten te integreren. De gewasontwikkeling wordt dagelijks berekend via de temperatuurafhankelijke ontwikkeling van internodiën (bestaande uit een tros en drie bladeren). Er ontwikkelt zich ongeveer een internode per week.

5.1.3 *Beschrijving cases*

5.1.3.1 *Bedrijfsuitrusting*

Voor alle cases in de modelberekeningen, wordt een virtuele kas gebruikt die in principe voor alle cases gelijk is. De kas heeft een oppervlakte van 40500m² (vierkant verondersteld) met een padbreedte van 3 meter. De goothoogte is 4.5m, de dakhelling 22°. De kapbreedte en vakmaat zijn respectievelijk 4m en 4.5m. De luchtramen zijn 2 ruits (glasmaat 1.125m) en de hoogte van de luchtramen is 0.825m. Er zijn 2 verwarmingsnetten, één van 5 x 51-ers per kap van 4m en één van 2.5 x 28-ers per kap van 4m. De ketel wordt verondersteld maximaal 150W/m² te kunnen leveren en er is een combicondensor achter de ketel geplaatst. Er is een warmtebuffer met een buffervolume van 120m³/ha. Als de buffer vol is, wordt er gestopt met de CO₂-dosering.

5.1.3.2 Gewas

Als gewas wordt tomaat geteeld, waarbij de plantdatum 11-12 en de ruimdatum 20-11 is.

5.1.3.3 Setpoints

De volgende setpoints zijn in de berekeningen aangehouden.

<i>Verwarmen</i>			
van	tot	StookTemperatuur	StookTemperatuur Tijdstip
11/12	29/12	20 18 18	op ¹⁾ on ²⁾ 23
29/12	15/01	18 17 17	op on 23
15/01	01/05	20 20 15 17	op+1 ³⁾ on-1 ⁴⁾ on+1 23 ⁵⁾
01/05	15/09	20 20 14 17	op+1 on-1 on+1 23
15/09	20/11	20 20 15 17	op+1 on-1 on+1 23

¹⁾ op is zonsopkomst

²⁾ on is zonsondergang

³⁾ -1 → 1 uur voor

⁴⁾ +1 → 1 uur na

⁵⁾ kloktijd 23:00 uur

<i>Ventileren</i>			
van	tot	DodeZone:	DodeZone Tijdstip
11/12	15/01	2	0 ¹⁾
15/01	15/03	1	0
15/03	01/10	0.5	0
01/10	20/11	1	0

¹⁾ 0 → dag en nacht 24 uur per dag

Tussen 100 en 300 W/m² globale straling wordt een lichtverhoging toegepast

van	tot	LichtVerhoging
11/12	10/01	1
10/01	31/03	2
31/03	20/11	1.5
20/11	11/12	0

Vocht

Het vocht wordt op RV-niveau van 85% geregeld. Bij een overschrijding van het vochtsetpoint zullen de ventilatieramen geopend worden, afhankelijk van de buitentemperatuur. Bij 5 °C is dit 0.25% raamopening per % RV overschrijding en bij 12°C is dit 0.5% raamopening per % RV overschrijding

CO₂

De CO₂ bron is de ketel en er wordt maximaal 180 kg CO₂ /ha/uur gedoseerd, wat overeenkomt met 100 m³/ha/uur. De CO₂ wordt tussen zonsop- en zonsondergang tot maximaal 1000 ppm verhoogd. De luchtramen worden onder een buitentemperatuur van 1°C niet meer geopend (vorstgrens). De windzijde wordt pas geopend bij een raamstand van 50% aan de loefzijde. Daarnaast wordt er geen minimumraamstand ingezet. Bij een temperatuuroverschreiding van de kasluchttemperatuur tot boven de ventilatielijn, wordt een versterkingsfactor op de raamstand [% raam / °C setpointoverschrijding] van 20 aangehouden. De buistemperatuur is begrensd op 80°C. De minimumbuistemperatuur is overdag 45°C en in de nacht 40°C en wordt bij een globale straling van 100 tot 250 W/m² afgebouwd tot de kasluchttemperatuur.

Energiescherm

Er is standaard een SLS10Ultraplus scherm, dat van half september tot 1 mei gebruikt wordt. In de periode 10 november tot en met 15 februari wordt het scherm gesloten als de buitentemperatuur onder de 10°C komt, de rest van het schermseizoen is dit 5°C. Voor het openen en sluiten van het scherm, wordt er ook nog naar de globale straling gekeken, van 10 november tot 1 januari is het scherm open bij een globale straling van meer dan 100W/m², de rest van het schermseizoen is dit 10W/m². Er wordt een vochtier ingezet tot maximaal 4%. Bij de berekeningen is er van uit gegaan dat indien dit horizontalescherm gesloten is er aan de gevel een scherm met vergelijkbare isolatiegraad aanwezig is.

Belichting

In cases waarbij belichting is toegepast, wordt in de periode 15 september tot en met 30 april maximaal 15 uur per dag met 75W_{el}/m² belicht (komt over een met ca. 19 W PAR / m²). De lampen gaan uit als het niveau van de globale straling (buiten gemeten) boven de 150W/m² komt.

5.1.3.4 NIR-filterende maatregelen

Er zijn in totaal op 5 verschillende plaatsen NIR reducerende maatregelen in de cases toegepast. Daarnaast is met verschillende variaties in de NIR-reductie gewerkt.

Kasomhullingsmateriaal

Als kasomhullingsmateriaal is zowel in de referentie als ook in de NIR-cases glas gekozen met een directe PAR-transmissie van 90% en een diffuse PAR-transmissie van 83%. In de referentie wordt alle NIR-straling doorgelaten, in de NIR-cases wordt door de gehele kasomhulling de NIR-straling gereduceerd. Er is met 2 NIR-reflecterende dekfactoren gewerkt 0.5 (50% van alle NIR-straling wordt gereflecteerd) en 1 (alle alle NIR-straling wordt gereflecteerd).

Deel van de kasombulling

In deze cases wordt alleen in de zuidkant van het kasdek een NIR-reflecterend materiaal toegepast. Diffuse NIR-straling kan dan alsnog ongehinderd via de noordzijde van de kap in de kas toetreden. Ook hier is met 2 NIR-reflecterende dekfactoren gewerkt (0.5 en 1).

Beweegbaar horizontaal binnenscherm

Naast het standaard aanwezige SLS10ultraplus energiescherm is er in deze cases een 2^e scherm toegepast, dat NIR-reducerende eigenschappen bezit. Dit scherm heeft een directe PAR-transmissie van 88%. In de berekeningen is met 3 NIR-reflecterende schermfactoren gewerkt. (0.25, 0.5 en 1). Bij beweegbare schermen moet voorts nog de keus worden gemaakt wanneer het scherm gesloten wordt. Nadeel van een binnenscherm is namelijk dat het kasklimaat hierdoor sterk beïnvloed wordt. Door het scherm wordt er immers een extra barrière opgeworpen die de luchtuitwisseling (kan) beperken, waardoor het erg warm en/of vochtig kan worden. In de cases is het scherm bij verschillende globale stralingsniveaus gesloten (200, 300, 400, 450, 500 en 600 W/m²). Omdat de PAR-transmissie van het scherm belangrijk is, zijn er additionele berekeningen uitgevoerd met een NIR-reflecterend binnenscherm met een directe PAR-transmissie van 95%.

Beweegbaar buitenscherm

In de berekeningen is met 3 NIR-reflecterende schermfactoren gewerkt. (0.25, 0.5 en 1). Ook bij het buitenscherm moet de keus worden gemaakt wanneer het scherm gesloten wordt. Voordeel van een buitenscherm ten opzichte van een binnenscherm is dat het kasklimaat hierdoor veel minder sterk beïnvloed wordt. In de cases is het buitenscherm ook bij 6 verschillende globale stralingsniveaus gesloten (200, 300, 400, 450, 500 en 600 W/m²). Omdat een seizoensafhankelijke schermstrategie belangrijk is, zijn er additionele berekeningen uitgevoerd met een NIR-reflecterend buitenscherm, dat in de winter bij 600 W/m² wordt gesloten, in voor-en najaar bij 450 W/m² en in de zomer bij 200 W/m². Ook voor een buitenscherm is de PAR-transmissie belangrijk en zijn er additionele berekeningen uitgevoerd met een NIR-reflecterend buitenscherm met een directe PAR-transmissie van 95%.

Tijdelijk krijtmateriaal

Een krijtmateriaal wordt slechts een gedeelte van het jaar toegepast, in deze cases van week 20 tot en met 31. Nadeel van een krijt is dat ook de PAR-transmissie hierdoor nadelig beïnvloed wordt. De transmissie van het standaard kasdek (dat in alle cases gebruikt is) is ca. 76%. Bij de toepassing van ReduSol en ReduHeat is dit respectievelijk 50 en 57%. De NIR-reflectie is voor beide materialen 25%.

5.2 Resultaten

5.2.1 *Tomaat onbelicht*

In dit hoofdstuk wordt een inschatting van de te verwachten effecten van verschillende NIR-filterende methodes op kasklimaat, energieverbruik en gewasgroei en productie gegeven.

5.2.1.1 Kasklimaat

- De verschillende NIR-filterende maatregelen hebben direct en indirect invloed op het kasklimaat. Verschillen in het kasklimaat leiden tot een andere gewasgroei en productie en bovendien tot verschillen in energieverbruik.
- Er wordt een vergelijking gemaakt tussen de referentiesituatie (traditionele tomatenkas met energiescherm tijdens voornamelijk de nachturen) en verschillende NIR-filterende maatregelen: kasdek, binnenscherm, buitenscherm. Verder wordt gekeken welke invloed de mate van NIR-filtering t.o.v. standaard tuinbouwglas heeft: 100%, 50%, 25%. Ook verschillende schermstrategieën worden vergeleken: sluiten scherm vanaf 200 tot 600 W/m² buitenstraling. Het effect van de beschreven NIR-filterende maatregelen tijdens specifieke periodes wordt geanalyseerd: koude winterdag, droge voorjaarsdag, hete zomerdag, natte najaarsdag. Daarnaast wordt ook het effect jaarrond en gemiddeldes per periode van 4 weken bekeken (Tabel 9 t/m Tabel 20).
- Tijdens de zomermaanden, moeten de luchtramen in periode 8 in de referentie situatie gemiddeld 37% van de uren worden geopend als gevolg van een (te) hoge instraling (Tabel 9, Figuur 27). Dit kan door een NIR-filterend kasdek materiaal worden teruggebracht naar gemiddeld 29%, dus de ramen kunnen 20% meer gesloten worden gehouden. Ook door gebruik van een NIR-filterend buitenscherm kunnen de ramen ca. 10% meer gesloten worden gehouden. Dit percentage ligt voor het buitenscherm lager dan voor het kasdek omdat de NIR-reflectie bij het kasdek altijd aanwezig is, terwijl het buitenscherm maar een beperkt aantal uren gesloten is geweest in deze periode. Door gebruik van een NIR-filterend binnenscherm neemt het aantal uren dat de ramen open moeten staan echter toe, omdat ook de kasluchttemperatuur toeneemt doordat luchtuitwisseling via de luchtramen met buiten slechter wordt als het binnenscherm gesloten is.
- Als we de raamstand op typische dagen bekijken, valt op dat de ramen op een koude winterdag meestal gesloten zijn (Figuur 33) en op echte hete zomerdagen bijna altijd openstaan (Figuur 35). Juist op iets minder warme zomerdagen (Figuur 36) en in overgangperiodes (Figuur 34, Figuur 37) kan door een NIR-filterend kasdek en een NIR-filterend buitenscherm de kas meer gesloten worden gehouden. Dit geldt ook voor de ochtend en late middaguren op een hete zomerdag (Figuur 35). Een NIR-filterend binnenscherm daarentegen leidt gedeeltelijk tot het nog meer open zetten van de luchtramen.

- Raam- en schermstand hebben directe gevolgen voor de CO₂-gehalte in de kas. Als de ramen van een kas met een NIR-filterend kasdek materiaal meer dicht kunnen worden gehouden, kan de CO₂-gehalte gemiddeld op een hoger niveau worden gehouden (Tabel 12, Figuur 28). Dit kan ook worden gezien op typische voorjaars- en najaarsdagen (Figuur 34, Figuur 37) en in mindere mate op warme zomerdagen (Figuur 36). Dit geldt in iets mindere mate ook voor het gebruik van een NIR-filterend buitenscherm. Een NIR-filterend binnenscherm fungeert als een weerstand voor de lucht uitwisseling tussen binnen en buiten en dus als een CO₂-barrière en is blijkbaar goed in staat om CO₂ binnen de kas te houden ook als de luchtramen geopend zijn. Dit is vooral te zien op hete zomerdagen (Figuur 35), maar ook tijdens andere periodes als het scherm gesloten is en de ramen open zijn.
- De hoge instraling tijdens de zomermaanden heeft direct gevolgen voor de kasluchttemperatuur. In de referentiekas loopt de kasluchttemperatuur in de zomermaanden tijdens de dag op tot gemiddeld bijna 25°C (Tabel 14, Figuur 29), op een hete dag kan de temperatuur tijdens de middaguren zelfs boven de 30°C oplopen (Figuur 35). Onder een NIR-filterend kasdek materiaal ligt de kasluchttemperatuur gemiddeld 1°C lager. Op een hete dag kan het verschil echter oplopen tot 2°C. Ook een NIR-filterend buitenscherm kan de gemiddelde kasluchttemperatuur verlagen, op een hete dag zijn dit evenwel bijna 2°C. Onder een NIR-filterend binnenscherm stijgt de gemiddelde kasluchttemperatuur echter gemiddeld met 1-2°C vergeleken met de referentie. Op een hete dag kan dit oplopen tot een verschil van 5°C (Figuur 35, maar ook Figuur 36). De schermstrategie heeft behoorlijk invloed. Naar mate het scherm vaker worden gesloten, neemt het aantal uren met verhoogde temperaturen toe, omdat de convectieve luchtuitwisseling met buiten wordt belemmerd door het gesloten scherm (Figuur 38).
- Ook de gewastemperatuur is afhankelijk van de verschillende NIR-filterende maatregelen. De gewastemperatuur ligt onder een NIR-filterend kasdek materiaal in de zomermaanden gemiddeld 0.8°C onder de temperatuur van een gewas in de referentie situatie (Tabel 16, Figuur 30), omdat de bladeren minder stralingsenergie (moeten) absorberen. Hierdoor is ook de gewasverdamping duidelijk lager, het gewas hoeft minder te verdampen om overvloedige warmte af te voeren. Als een NIR-filterend buitenscherm wordt gebruikt is evenwel de gewastemperatuur lager, vooral als veel geschermd wordt en het scherm veel NIR-straling eruit filtert. De verlaging van de gewastemperatuur door een NIR-filterend kasdek materiaal of buitenscherm kan ook worden gezien op typische dagen in het voorjaar, de zomer en in het najaar (Figuur 34, Figuur 35, Figuur 36, Figuur 37). Helaas zorgt het NIR-filterend kasdek materiaal ook tijdens de wintermaanden voor een iets lagere gewastemperatuur (Figuur 30, Figuur 33). Als een NIR-filterend binnenscherm wordt gebruikt stijgt echter gemiddeld de gewastemperatuur (Figuur 30), omdat ook de temperatuur onder het scherm toeneemt doordat het scherm een barrière voor de luchtuitwisseling met buiten

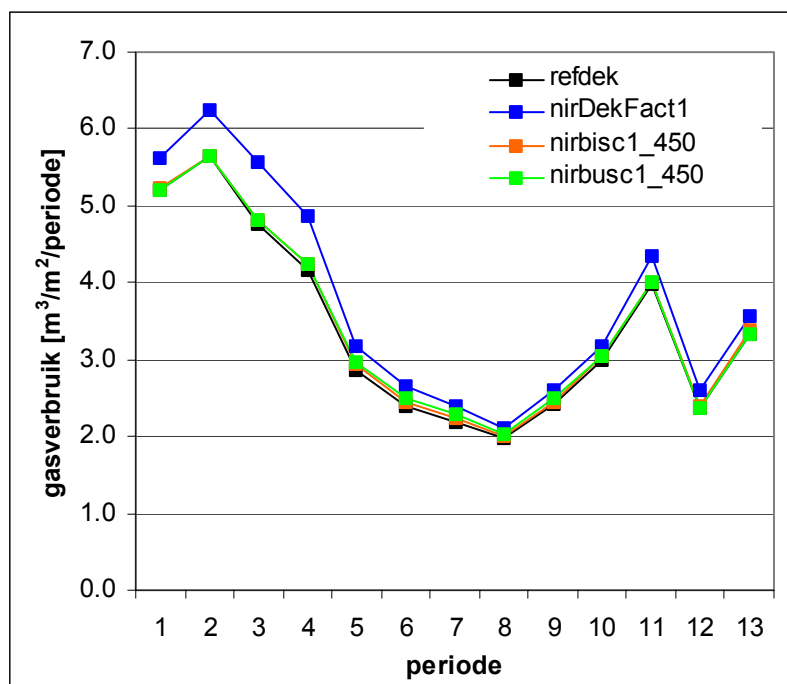
vormt. Vooral tijdens de zomermaanden stijgt de gewastemperatuur onder het NIR-filterend binnenscherm (Figuur 35, Figuur 36) meer dan 5°C boven die van het referentiegewas. Het NIR-filterend effect van het scherm weegt niet op tegen het nadelige effect van de belemmerde convectie. Afhankelijk van de hoeveelheid NIR die door het scherm wordt uitgefilterd en het aantal gemaakte schermuren kan de gewastemperatuur enorm stijgen vergeleken met de referentie (Figuur 38).

- Het gebruik van een NIR-filter heeft ook gevolgen voor de relatieve vocht in de kas. In de referentie ligt de gemiddelde RV tijdens de zomermaanden rond de 80% (Tabel 17, Tabel 18, Figuur 31). Door de installatie van een NIR-filterend kasdek materiaal komt de gemiddelde RV in dezelfde periode op een hoger niveau (ca. 85%). Dit is o.a. het gevolg van de lagere kasluchttemperatuur, deze kan minder waterdamp opnemen en het meer gesloten houden van de ramen. Bij de NIR-reflectie in het kasdek zal minder op temperatuur geventileerd hoeven te worden dan bij de referentie. Hierdoor neemt de gemiddelde RV toe. Wordt er immers alleen op RV geventileerd, dan zal de gemiddelde RV richting het setpoint van 85% gaan. Ook onder een NIR-filterend binnen- of buitenscherm kan de gemiddelde RV t.o.v. de referentiesituatie op een hoger niveau worden gehouden (Figuur 34, Figuur 36, Figuur 37). Vooral het binnenscherm vormt een barrière voor de luchtuitwisseling. Onder een NIR-filterend buitenscherm ligt de gemiddelde RV vergeleken met een binnenscherm lager, omdat de kas beter kan ventileren, hierdoor wordt vocht afgevoerd. Opvallend is de situatie op een hete zomerdag (Figuur 35), waar alleen het binnenscherm in staat blijkt te zijn om de RV op een hoger niveau te kunnen houden. Dit zijn ook dagen waarbij het RV niveau van de buitenlucht laag kan zijn zodat bij ongeremde luchtuitwisseling via de luchtramen de RV in de kas ook ver terug kan zakken.
- Bij gebruik van NIR-filters neemt de gewasverdamping tijdens de zomermaanden duidelijk af (Figuur 32). Dit komt met name door minder straling op het gewas, waardoor het gewas minder hoeft te verdampen om te koelen in vergelijking met de referentie. Door het meer gesloten kunnen houden van de ramen onder een NIR-filterend kasdek materiaal kan de RV beter op een hoger niveau worden gehouden. Ook hierdoor is de verdamping geringer. Onder een NIR-filterend binnenscherm ligt de gewasverdamping hoger dan onder een NIR-filterend kasdek materiaal, omdat hieronder ook de kasluchttemperatuur hoger is doordat het scherm een barrière vormt. Bij gebruik van een NIR-filterend buitenscherm is de verdamping licht hoger vergeleken met een NIR-filterend binnenscherm of kasdek materiaal, omdat zowel RV als ook kasluchttemperatuur lager zijn door een betere luchtuitwisseling met de buitenomgeving.
- De beschreven parameters hebben directe gevolgen voor de gewasgroei en het energieverbruik.

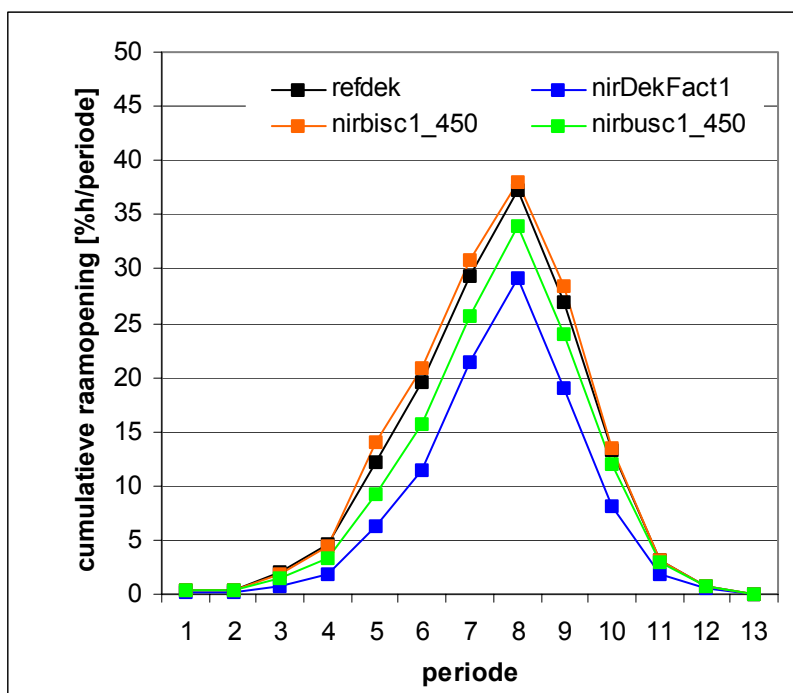
➔ De verschillende NIR-filterende maatregelen zorgen allemaal voor een hoger CO₂-niveau in de kas en een op pijl houden van de RV tijdens warme periodes. Terwijl een NIR-filterend kasdek en NIR-filterend buitenscherm

temperatuurverlagend werken, stijgt de temperatuur onder een NIR-filterend binnenscherm omdat het scherm een barrière vormt. De luchtramen kunnen als gevolg van het gebruik van een NIR-filterend kasdek materiaal of een NIR-filterend buitenscherm langer gesloten worden gehouden. Hierdoor is de realisatie van een semi-gesloten kas mogelijk.

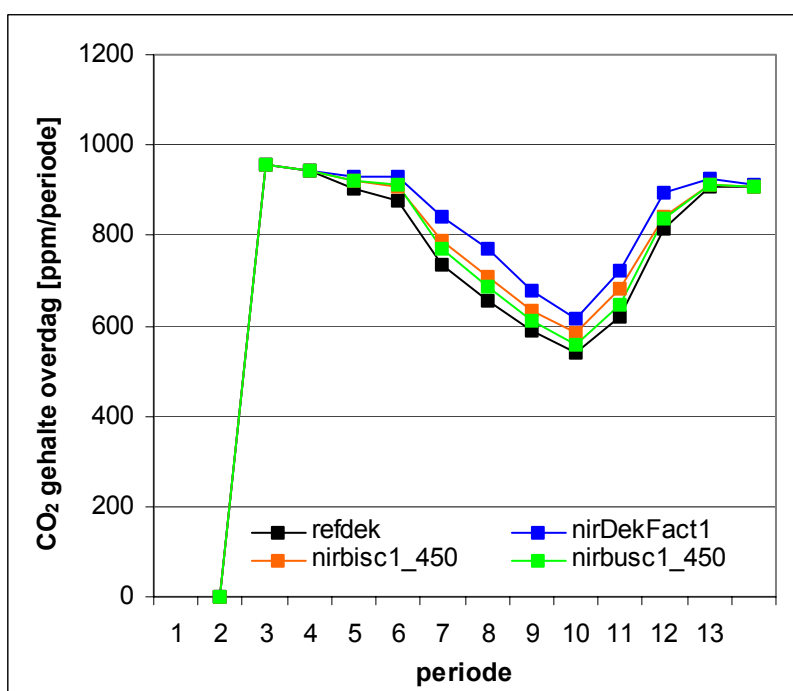
	CO_2 niveau	RV niveau	T_{kas}	T_{gewas}	raamopening
NIR-kasdek	↑↑	↑	↓↓	↓	↓↓
NIR-binnenscherm	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↑
NIR-buitenscherm	↑	↑	↓	↓	↓



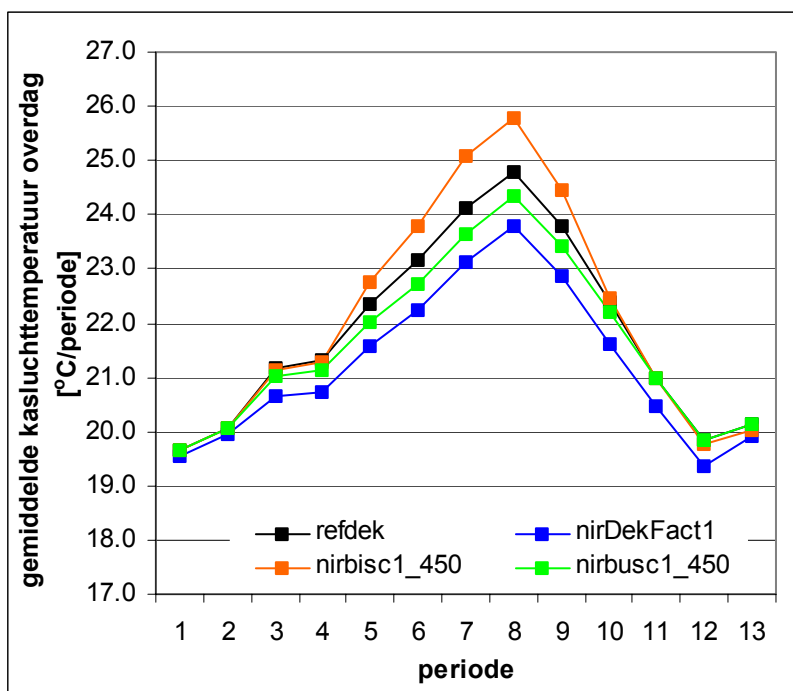
Figuur 26 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op het gasverbruik per periode in een onbelichte tomatenteelt



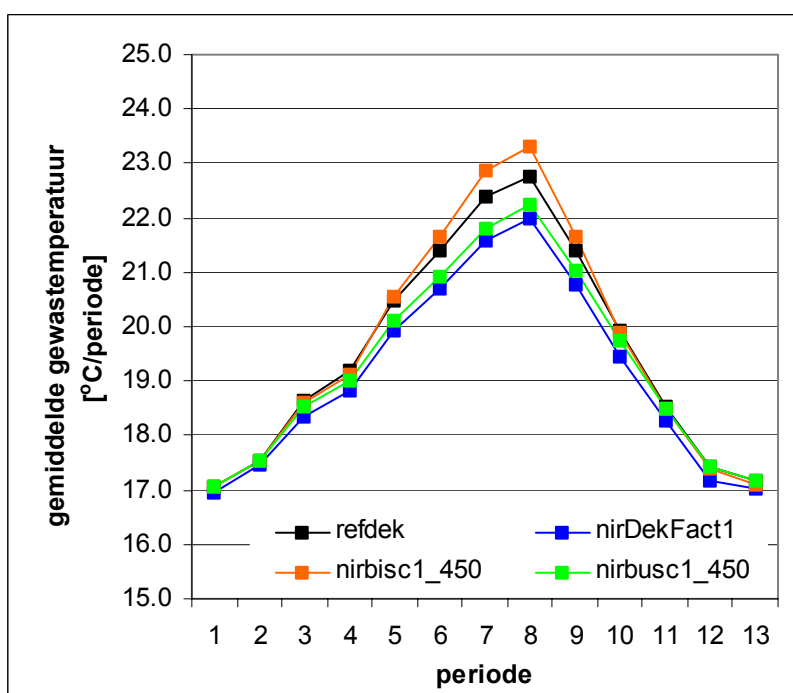
Figuur 27 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de cumulatieve raamopening per periode in een onbelichte tomatenteelt



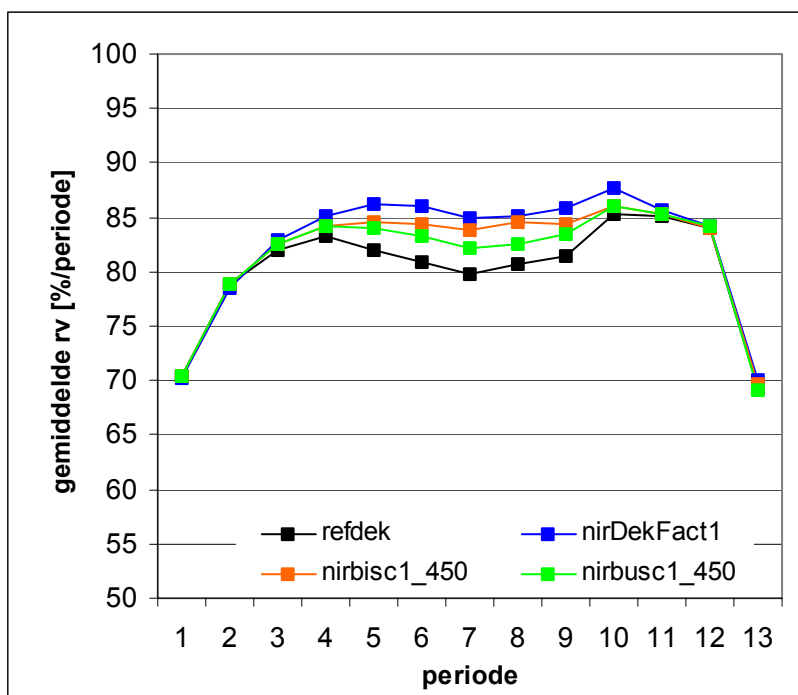
Figuur 28 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de CO₂-gehalte tijdens de daguren per periode in een onbelichte tomatenteelt



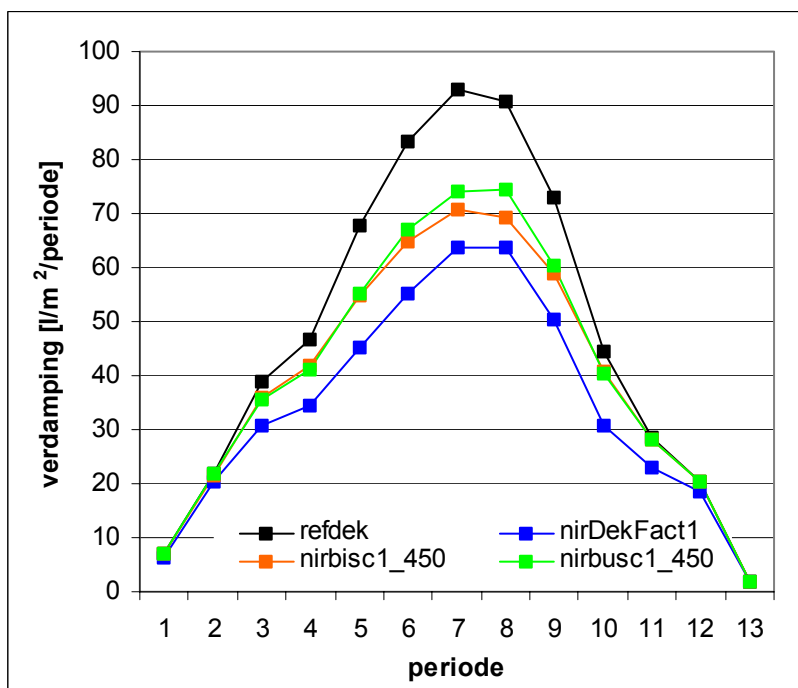
Figuur 29 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gemiddelde kasluchttemperatuur overdag in een onbelichte tomatenteelt per periode



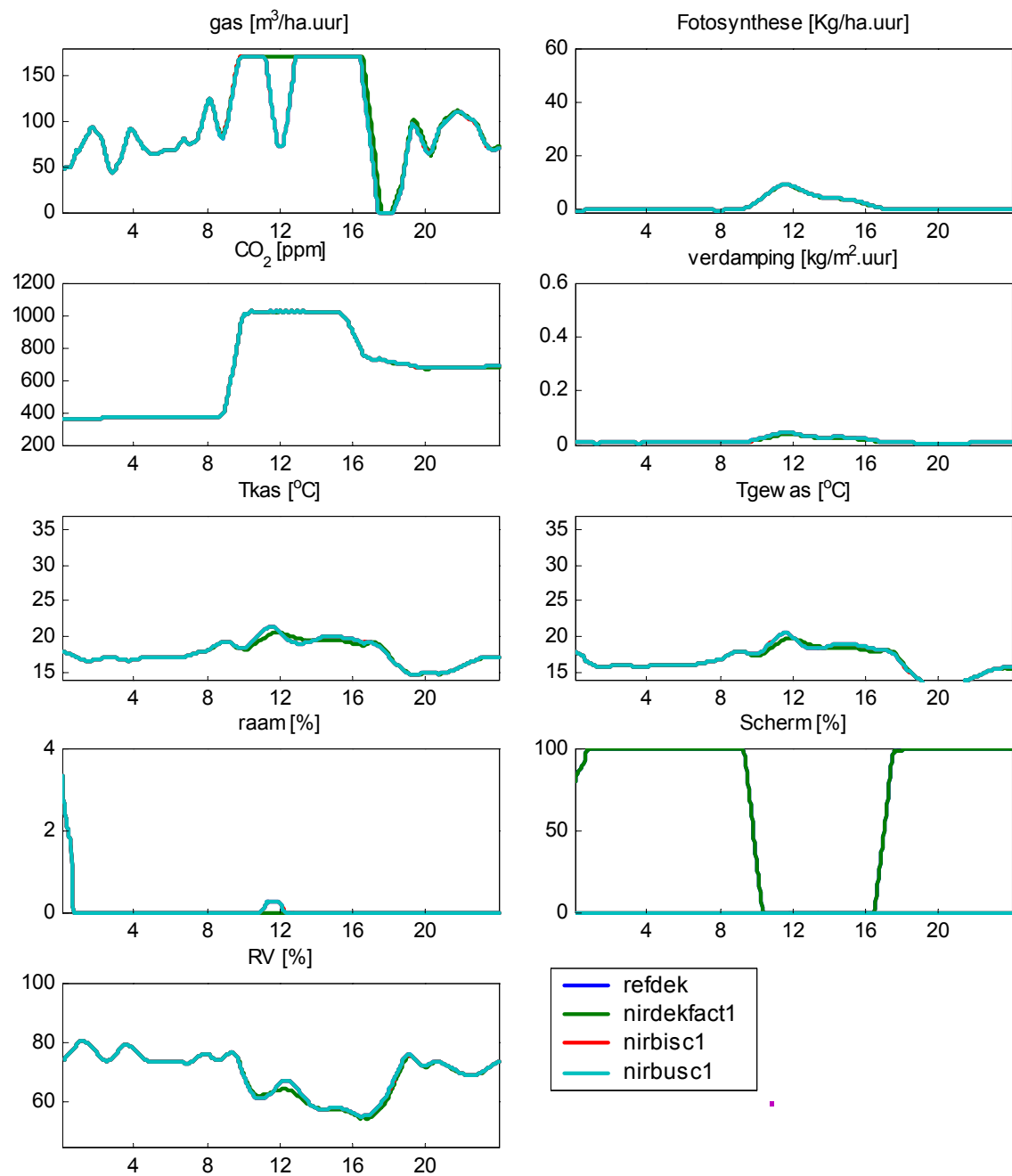
Figuur 30 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gemiddelde gewastemperatuur per periode in een onbelichte tomatenteelt



Figuur 31 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gemiddelde relatieve vocht per periode in een onbelichte tomatenteelt

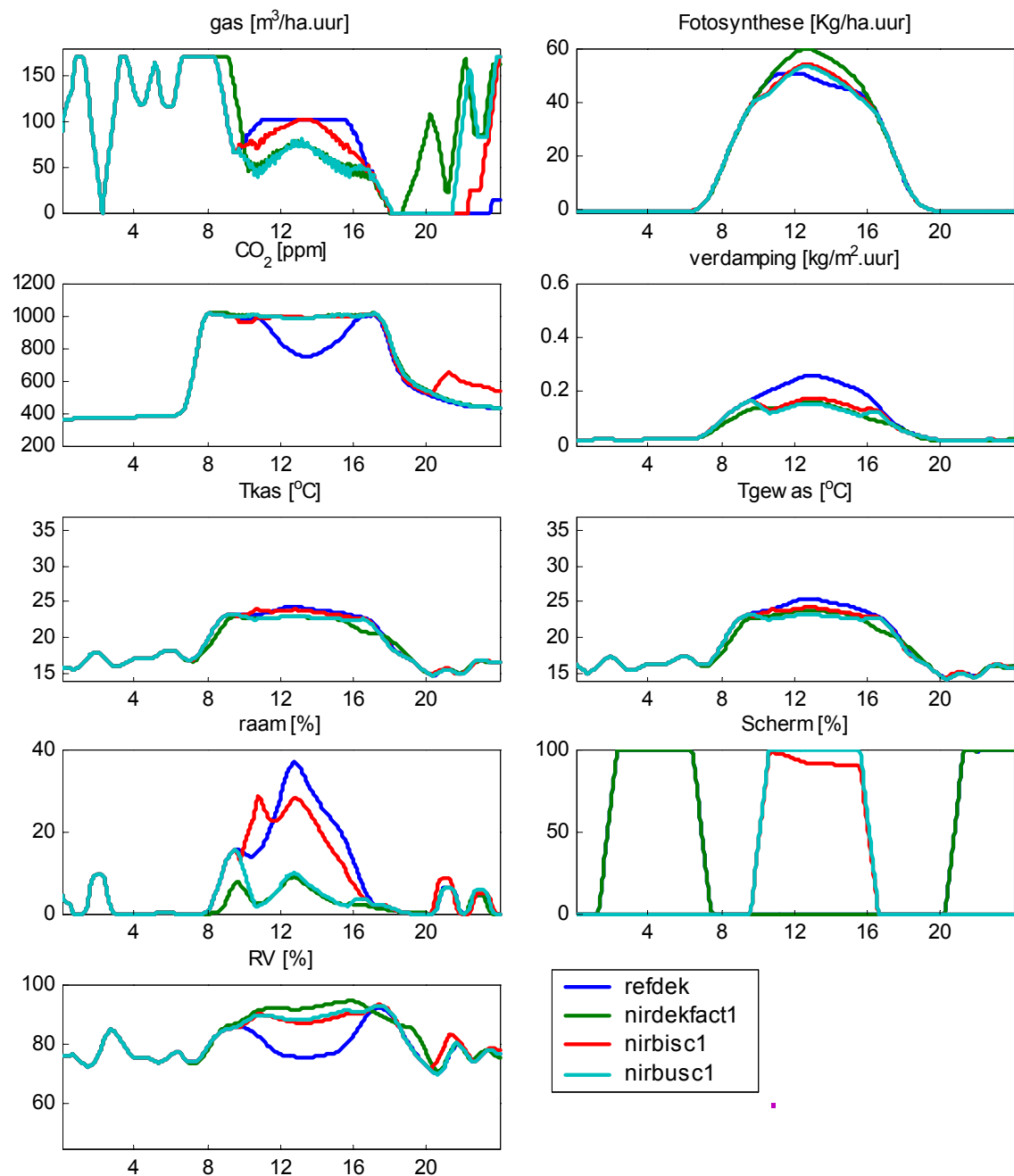


Figuur 32 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gewasverdamping per periode in een onbelichte tomatenteelt

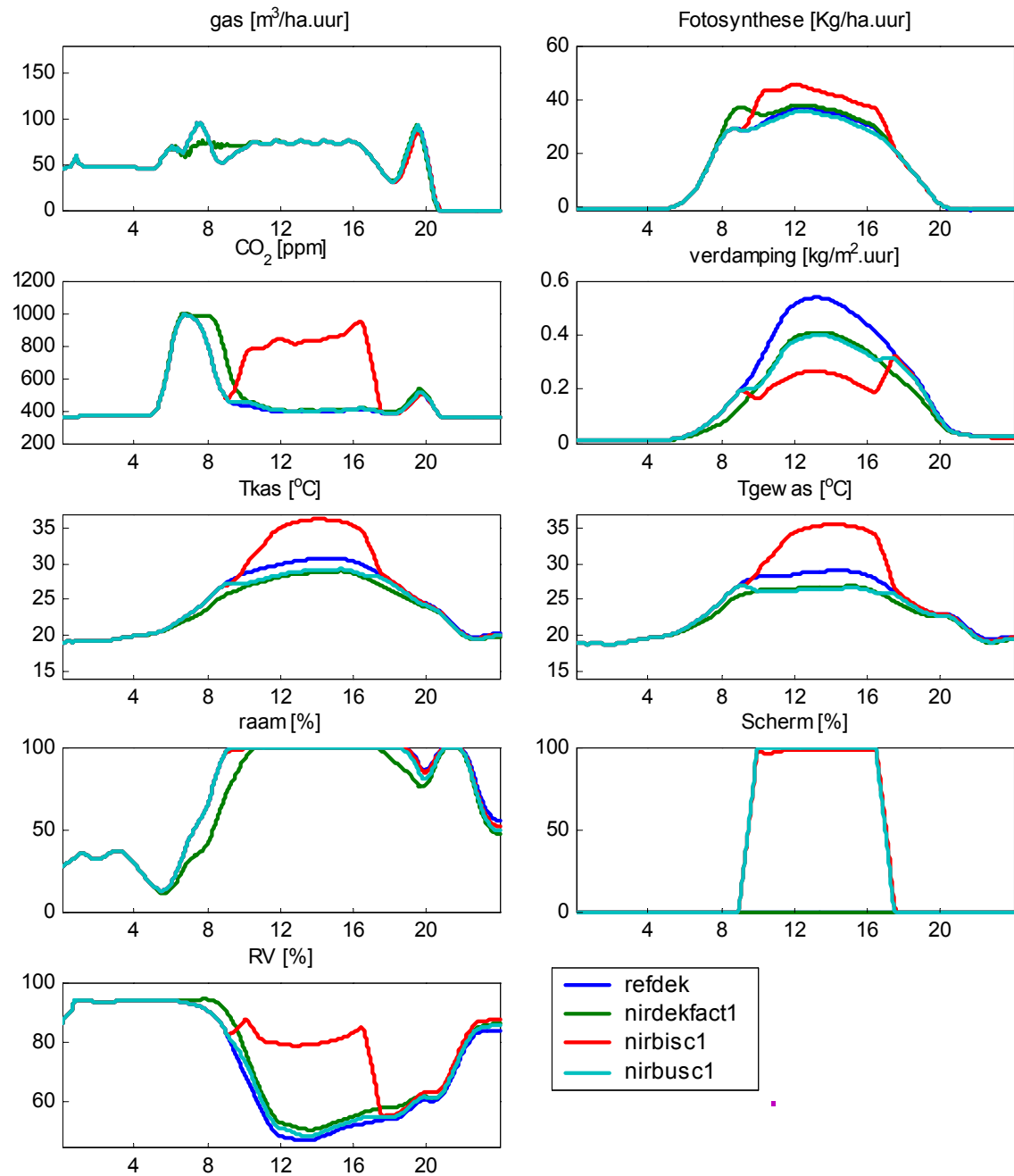


Figuur 33 Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen tijdens een typische **koude winterdag** in een onbelichte tomatenteelt (23 januari SEL-jaar)

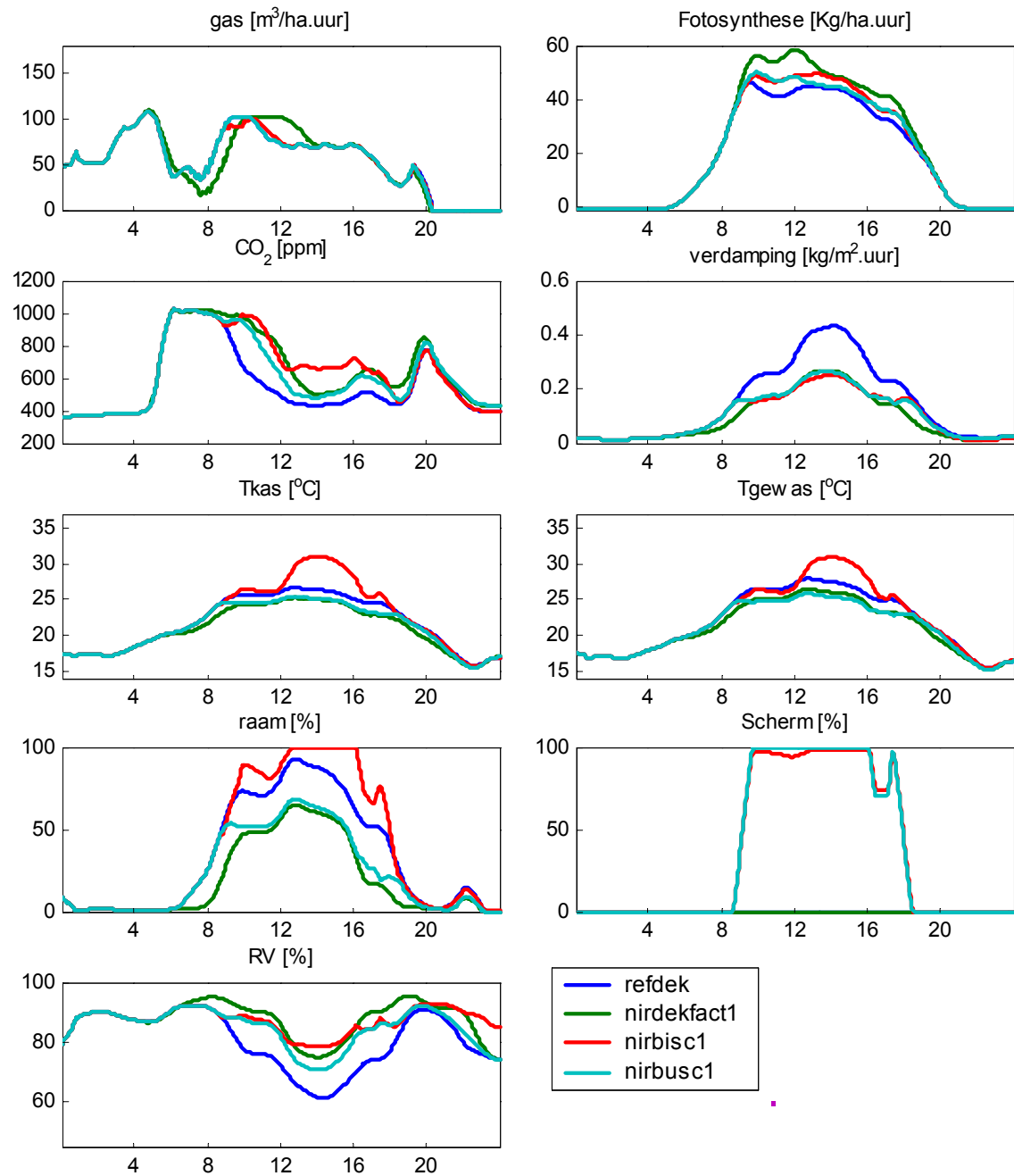
[parameters: NIR-filtering 100% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%, scherm sluiten bij $450 \text{ W}/\text{m}^2$ buitenstraling]



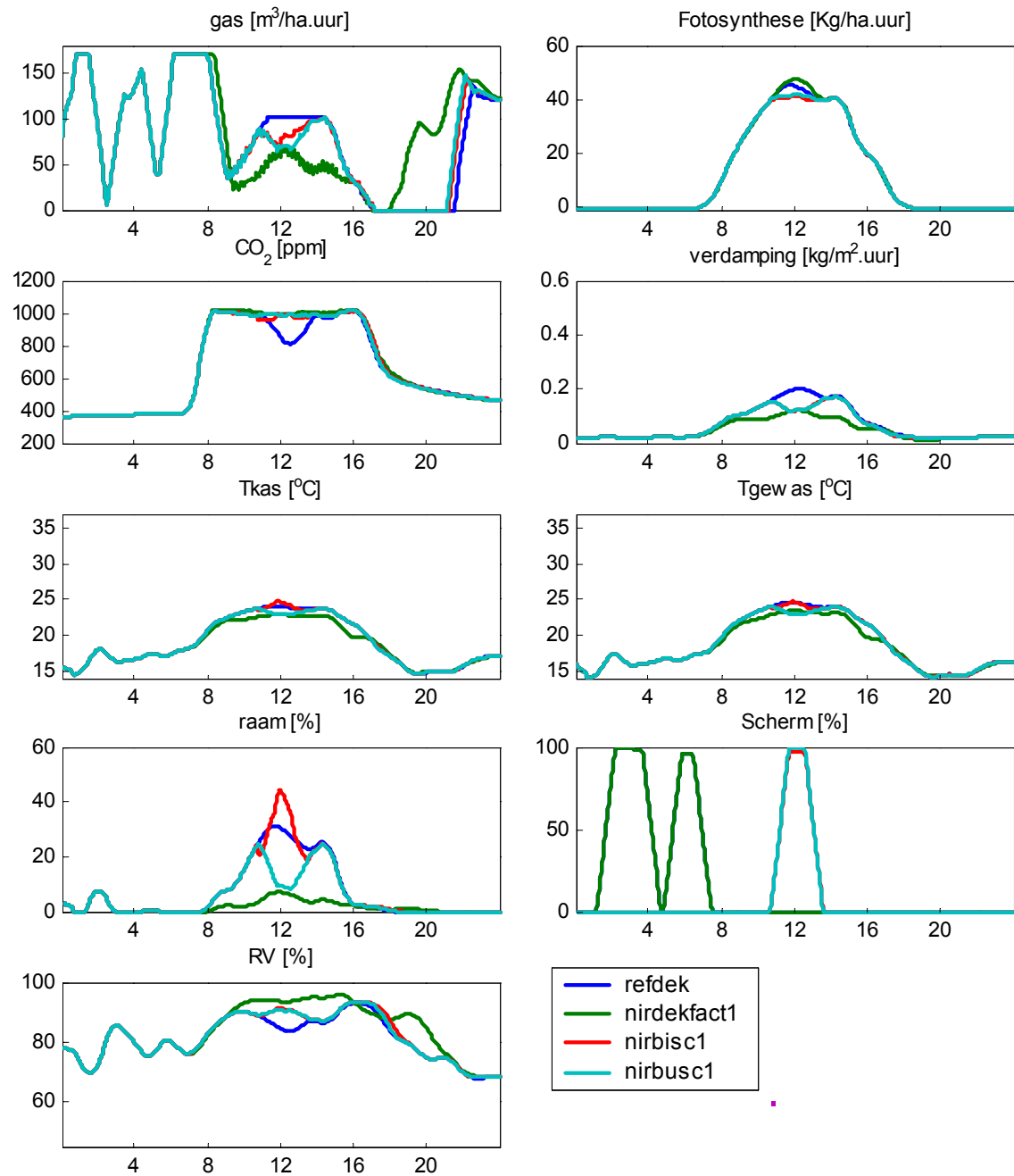
Figuur 34 Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen tijdens een typische voorjaarsdag in een onbelichte tomatenteelt (27 maart SEL-jaar)
[parameters: NIR-filtering 100% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%, scherm sluiten bij $450 \text{ W}/\text{m}^2$ buitenstraling]



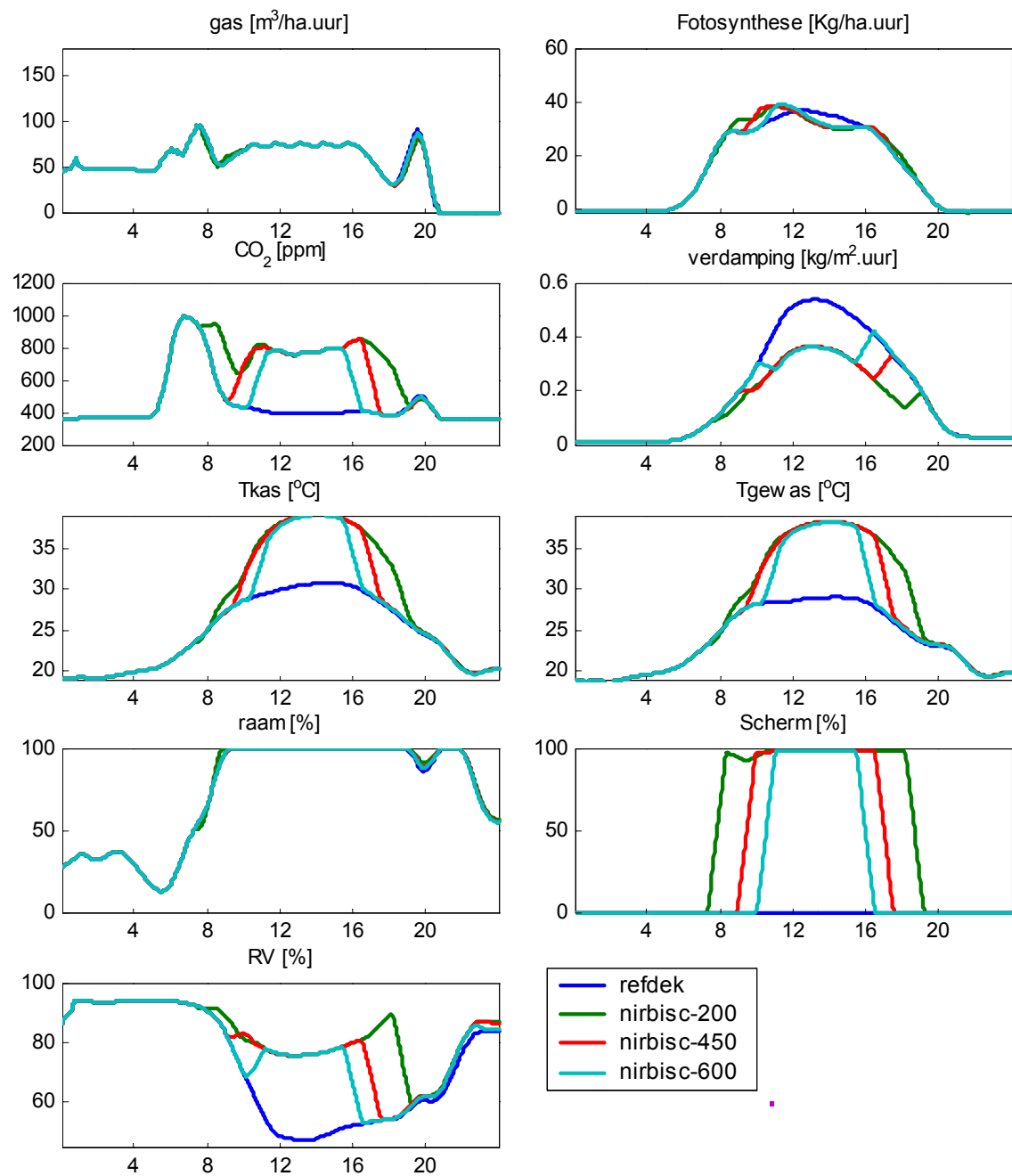
Figuur 35 Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen tijdens een typische **stralingsrijke heldere hete zomerdag** in een onbelichte tomatenteelt (30 juli SEL-jaar)
[parameters: NIR-filtering 100% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%, scherm sluiten bij $450 \text{ W}/\text{m}^2$ buitenstraling]



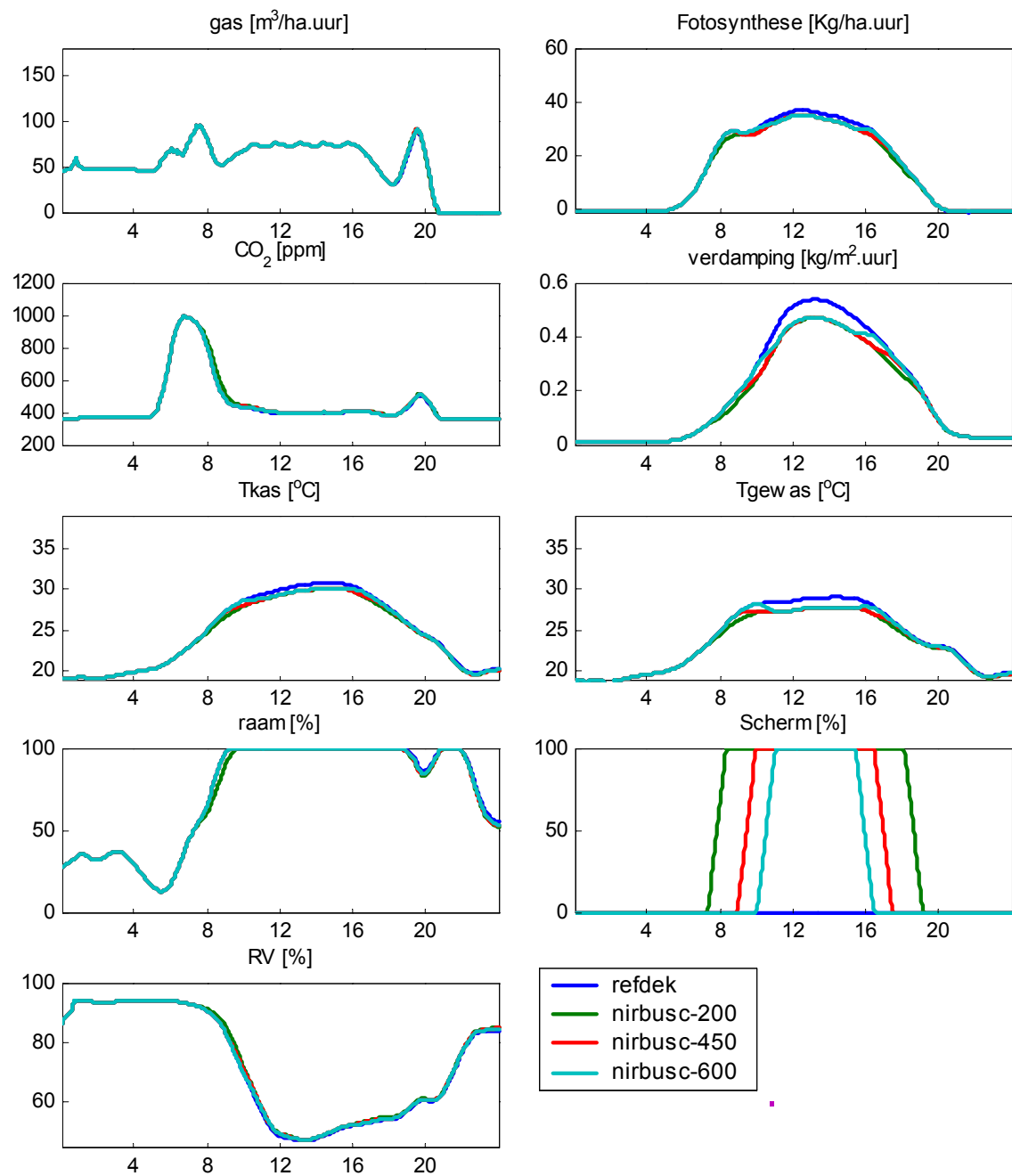
Figuur 36 Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen tijdens een typische **bewolkte warme zomerdag** in een onbelichte tomatenteelt (24 juni SEL-jaar)
[parameters: NIR-filtering 100% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%, scherm sluiten bij $450 \text{ W}/\text{m}^2$ buitenstraling]



Figuur 37 Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen tijdens een typische **najaarsdag** in een onbelichte tomatenteelt (8 oktober SEL-jaar)
[parameters: NIR-filtering 100% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%, scherm sluiten bij 450 W/m² buitenstraling]



Figuur 38 Effect van verschillende schermstrategieën van een NIR-filterend binnenscherm tijdens een typische zomerdag in een onbelichte tomatenteelt (30 juli SEL-jaar) [parameters: NIR-filtering 25% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%]



Figuur 39 Effect van verschillende schermstrategieën van een NIR-filterend buitenscherm tijdens een typische zomerdag in een onbelichte tomatenteelt (30 juli SEL-jaar)
[parameters: NIR-filtering 25% t.o.v. van referentie, PAR-doorlatendheid direct schermmaterialen ca. 88%]

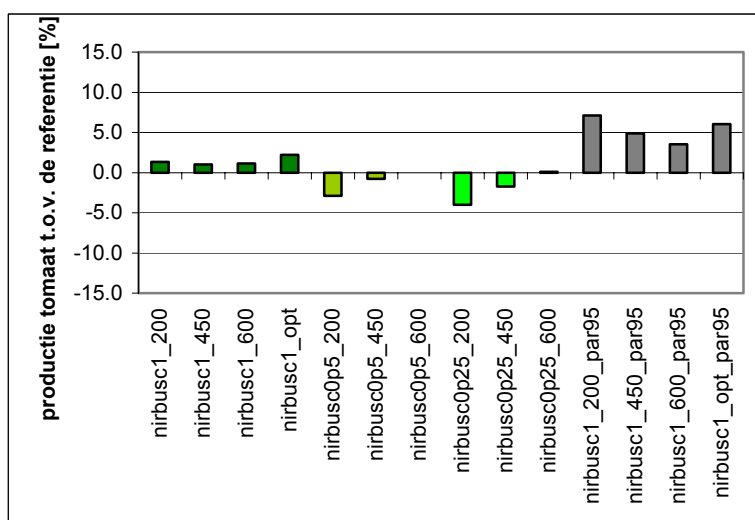
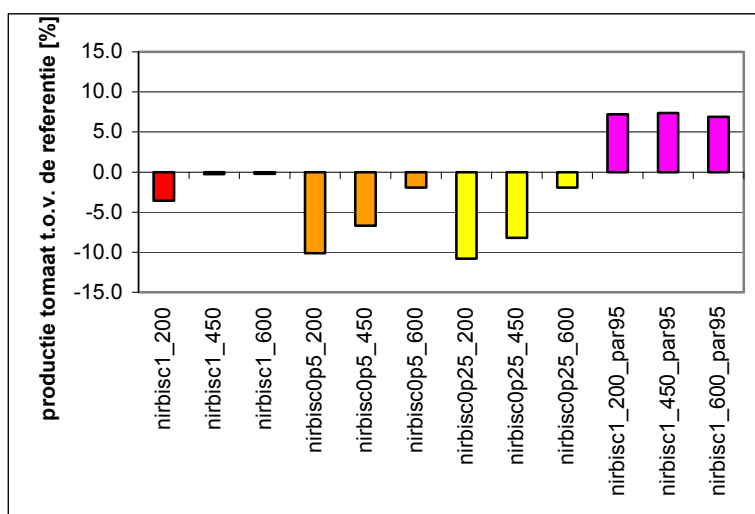
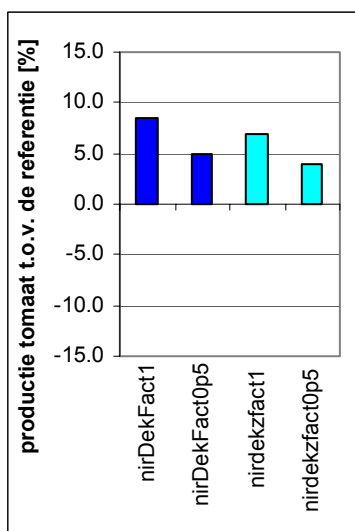
5.2.1.2 Gewasproductie

- NIR-filterende maatregelen kunnen enorme invloed op de fotosynthese hebben. Een kasdek, dat 100% van de door de zon beschikbare NIR-straling eruit filtert, verhoogt de productie van tomaat met 6.4% op jaarbasis, tijdens de zomermaanden zijn dit zelfs 8.6% (Tabel 11, Figuur 40). De oorzaken hiervan zijn:
 - een hogere CO₂-concentratie in de kas (Figuur 28), welke in de zomermaanden tot gemiddeld 100ppm hoger is dan in de referentie, vooral tijdens de dag en specifiek tijdens de middaguren, wanneer CO₂ het beste door het gewas benut kan worden;
 - de hogere CO₂-concentratie resulteert uit een meer gesloten kunnen houden van de luchtramen (Figuur 27), dit kan oplopen tot gemiddeld 20% in de zomermaanden;
 - een lagere kasluchttemperatuur (Figuur 29), welke in de zomermaanden gemiddeld ca. 1°C lager is dan in de referentie en absoluut rond 2°C lager kan zijn in de middaguren tijdens de zomer, waardoor extra CO₂-verlies door ventilatie wordt voorkomen (Figuur 35, Figuur 36);
 - een lagere gewastemperatuur (Figuur 30), welke in de zomermaanden gemiddeld ca. 0.8°C lager is dan in de referentie en absoluut rond 2°C lager kan zijn in de middaguren tijdens de zomer (Figuur 35, Figuur 36);
 - een hogere RV tijdens de zomermaanden (Figuur 31), deze kan vooral overdag rond 15% hoger zijn dan in de referentie (Figuur 36).
- Een kasdek materiaal dat minder NIR tegenhoudt, is minder in staat om de fotosynthese te verhogen. Een kasdek, dat maar 50% van NIR-straling eruit filtert, verhoogt de fotosynthese nog met 4.9% tijdens de zomermaanden. Als alleen in de zuidkanten van de kas een NIR-filterend kasdek materiaal is geïnstalleerd, stijgt de productie tijdens de zomermaanden met 6.9% en 3.9% voor respectievelijk een 100% en 50% NIR-filter (Tabel 11, Figuur 40).
- Ook bij gebruik van een scherm als NIR-filter blijkt het van belang, hoeveel hoeveel PAR wordt doorgelaten, omdat het scherm een tweede lichtonderscheppende laag in de kas vormt. In de berekeningen is standaard ervan uitgegaan dat een scherm een directe PAR-doorlatendheid van 88% heeft. Ook zijn er berekeningen uitgevoerd met een scherm met een directe PAR-transmissie van 95%.
- Door gebruik te maken van een horizontaal NIR-filterend binnenscherm, neemt de vruchtproductie van tomaat niet toe. De PAR-reductie door het binnenscherm wordt blijkbaar niet gecompenseerd door het NIR-filterende effect van het scherm. Alleen een NIR-filterend binnenscherm met een hogere PAR-transmissie (>90%) is positief voor de productie van tomaat. Tijdens de zomermaanden kan de productie met ca. 7% toenemen (Figuur 40, Tabel 11). Dit is met name het gevolg van een hogere CO₂-concentratie in de kas, omdat het binnenscherm een barrière vormt.

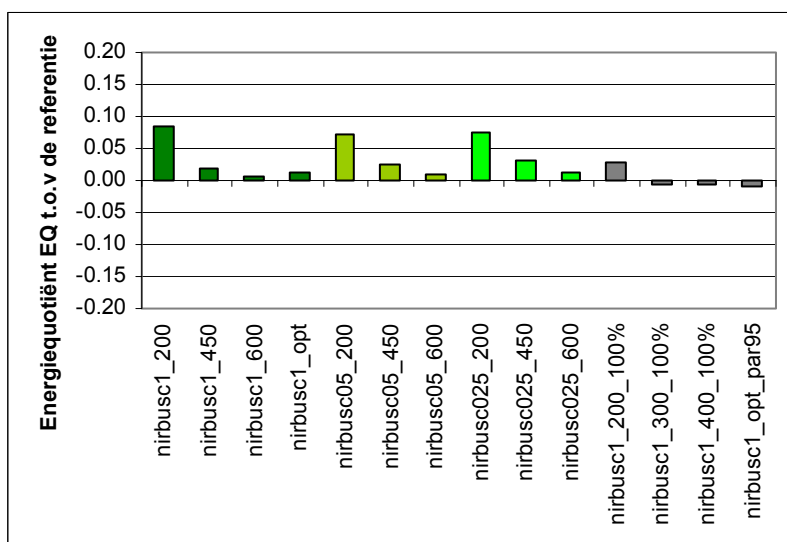
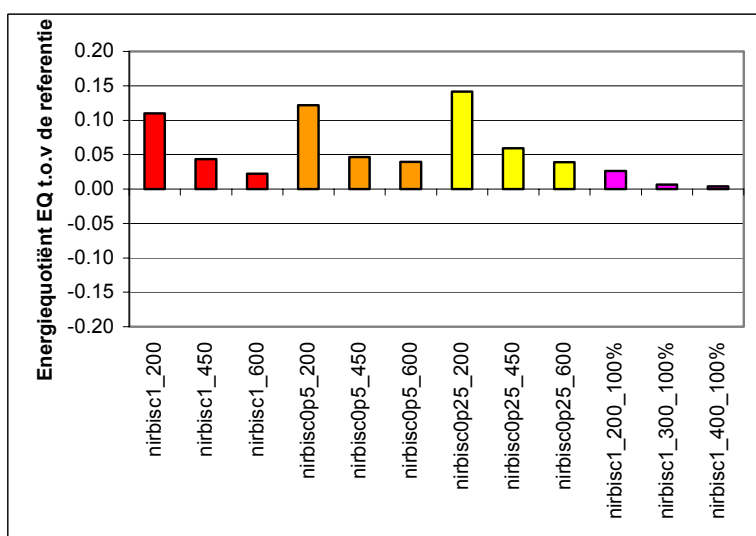
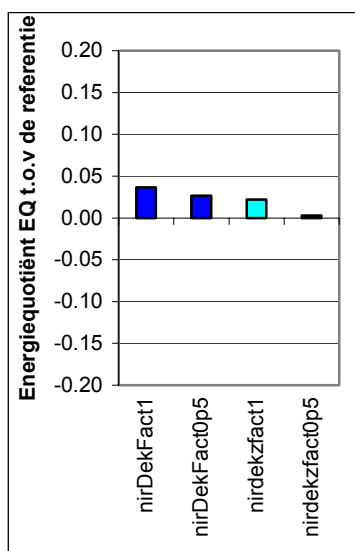
- Ook de efficiëntie van de NIR-filtering is van belang. Als een NIR-filterend scherm wordt gebruikt dat maar 50% of 25% van de NIR-straling tegenhoudt, is dit minder gunstig voor de gewasproductie (Figuur 40, Tabel 11).
- De optimale schermstrategie voor het sluiten van het NIR-filterende binnenscherm is afhankelijk van het seizoen en de optische eigenschappen van het scherm. Het is alleen zinvol om het scherm tijdens de zomermaanden (periode 6 t/m 8 te gebruiken). Wordt het scherm ook in andere periodes gebruikt, heeft dit nadelige gevolgen voor de gewasproductie (Tabel 11).
- Het gebruik van een NIR-filterend buitenscherm dat 100% van de NIR-straling tegenhoudt leidt tijdens de zomermaanden tot een lichte toename van de vruchtproductie van tomaat. Dit komt met name door een hogere CO₂-concentratie en een lagere kaslucht- en gewas temperatuur. Wordt echter een NIR-filterend buitenscherm gebruikt dat een hogere PAR-doorlatendheid heeft (95% direct), stijgt de productie van tomaat met 6-7% tijdens de zomermaanden (Figuur 40, Tabel 11).
- Ook voor een buitenscherm is de optimale schermstrategie afhankelijk van de optische eigenschappen van het scherm. Een seizoensafhankelijke schermstrategie is optimaal, waarin in het voor- en najaar minder wordt geschermd dan in de zomer (Figuur 40, Tabel 11).
- Als een buitenscherm minder NIR tegen houdt (50% of 25%), heeft dit geen voordelen meer voor de fotosynthese en neemt deze af vergeleken met de referentie, tenzij de PAR-doorlatendheid van het scherm wordt verbeterd (Figuur 40, Tabel 11).

➔ Een NIR-filterend kasdek materiaal verhoogt de productie van tomaat, bij een NIR-filterend scherm is dit minder. Een hoge PAR-doorlatendheid van het scherm is van essentieel belang. Een NIR-filterend binnenscherm heeft alleen voordelen als de PAR-transmissie van het scherm heel hoog is en nagenoeg 100% van de NIR-straling tegen worden gehouden, anders wegen lichtverlies door het scherm en hoge temperaturen onder het scherm niet op tegen een hoger CO₂-concentratie. Een NIR-filterend buitenscherm biedt meer voordelen dan een binnenscherm. De optimale schermstrategie moet seizoensafhankelijk worden gekozen en is afhankelijk van de optische eigenschappen van het scherm.

➔ Een hogere fotosynthese en gewasproductie wordt met name veroorzaakt door een hogere CO₂-gehalte, dus het tegenhouden van een CO₂-afname in bepaalde periodes en een lagere kaslucht- en gewas temperatuur. Tijdens hete periodes met een lage RV binnen en buiten de kas ontstaat een stresssituatie voor de plant, de huidmondjes sluiten, de gewasverdamming wordt gereduceerd. Dit kan worden vermeden door NIR-filterende maatregelen, omdat dan het openen van de ventilatie wordt uitgesteld en een te sterke afval van de RV in de kas wordt voorkomen. Dit bevordert de fotosynthese.



Figuur 40 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gewasproductie tijdens de zomermaanden (half mei tot half augustus) in een onbelichte tomatenteelt



Figuur 41 Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen op de energiequotiënt EQ jaarrond in een onbelichte tomatenteelt

5.2.1.3 Energieverbruik

- Een kasdek, dat 100% van de door de zon beschikbare NIR-straling eruit filtert, verhoogt het gasverbruik met 10.3% jaarrond, omdat in de winter minder stralingsenergie de kas binnen komt. In absolute termen betekent dit een toename van het gasverbruik met 4.6m^3 , namelijk van 44.3m^3 per m^2 kasoppervlak per jaar in een traditionele tomatenkas met een energiescherm (referentie) tot maximaal 48.9m^3 per m^2 per jaar in een tomatenkas met een 100% NIR-filterend kasdek (Tabel 10). Bij een kasdek, dat maar 50% van de NIR-straling eruit filtert, stijgt het gasverbruik nog met 2m^3 jaarrond. Als alleen in de zuidkanten van de kas een NIR-filterend kasdek materiaal is geïnstalleerd, neemt het gasverbruik met 2.5m^3 (100% NIR-filter) danwel 1m^3 (50% NIR-filter) toe.
- Ook als een NIR-filterend binnenscherm wordt gebruikt, welke vaak wordt gesloten, stijgt het gasverbruik met 1m^3 (Tabel 10). Het isolerend effect van het scherm weegt niet op tegen het feit, dat het scherm minder stralingsenergie binnen laat. Naar mate het scherm minder overdag dicht gaat, heeft dit nauwelijks nog invloed op het gasverbruik. Het kiezen van de juiste schermstrategie is belangrijk om een onnodige toename van het gasverbruik te voorkomen. Zo is het niet zonnig het scherm tijdens de wintermaanden te gebruiken.
- Ook bij gebruik van een NIR-filterend buitenscherm stijgt het gasverbruik met $1-2\text{m}^3$ en is de keuze van de juiste schermstrategie belangrijk om nadelige gevolgen voor het energieverbruik te voorkomen (Tabel 10). Omdat het buitenscherm geen isolerend effect heeft, kan hierdoor nooit energie worden bespaard.

➔ Het gebruik van een NIR-filterende maatregel verhoogt altijd het gasverbruik. Het is niet zinvol om een scherm tijdens de wintermaanden te gebruiken. De keuze van de juiste schermstrategie is belangrijk, om een onnodige toename van het gasverbruik te voorkomen. Het gebruik van een NIR-filterend kasdek materiaal verhoogt het gasverbruik vooral tijdens de wintermaanden.

Het totale gasverbruik is echter niet de enige belangrijke factor. Om de verschillende cases oftewel NIR-filterende maatregelen te kunnen beoordelen qua effect op gasverbruik EN gewasproductie, werd de zogenoemde energiequotiënt EQ (gasverbruik/productie) in [m^3 gas per kg versgewicht tomaat] ten opzichte van glas uitgerekend (Dueck et al. 2004). De energiequotiënt van glas is 1. Als de energiequotiënt van een NIR-filterende maatregel kleiner is dan 1, betekent dit een energiebesparing per eenheid product. Als de energiequotiënt groter dan 1 is, stijgt het energieverbruik per eenheid product.

- Als een NIR-filterend kasdek materiaal wordt gebruikt, heeft dit een lichte toename van de EQ tot gevolg, namelijk tot 4% ten opzichte van de referentie (Figuur 41).
- Ook een NIR-filterend binnenscherm zal altijd de EQ verhogen. Afhankelijk van het aantal gemaakte schermuren en de optische eigenschappen van het scherm, stijgt de EQ met 5-15% ten opzichte van de referentie (Figuur 41). Bij het gebruik van een scherm is de schermstrategie van belang. Als het scherm te vaak

dicht gaat, stijgt de EQ, als het scherm minder vaak dicht gaat, worden weinig schermuren gemaakt en ligt de EQ dichterbij de referentiesituatie. Ook de efficiëntie van het NIR-filter is belangrijk. Een scherm, welke maar 50% of 25% van de NIR-straling filtert in plaats van 100% leidt tot een hogere EQ.

- Een NIR-filterend buitenscherm leidt evenwel tot een hogere EQ, tenzij een scherm met een hoge PAR-transmissie wordt gebruikt en niet te veel schermuren worden gemaakt (Figuur 41). Er moet dus gestreefd worden naar de ontwikkeling van een scherm met een zo hoog mogelijke PAR-doorlatendheid en een hoge NIR-filtering.

➔ Een betere parameter dan het absolute gasverbruik is de energieuotiënt EQ. Alleen een NIR-filterend buitenscherm, welke een hoge PAR-transmissie heeft en in staat is om nagenoeg alle NIR-straling tegen te houden, leidt tot een lagere EQ.

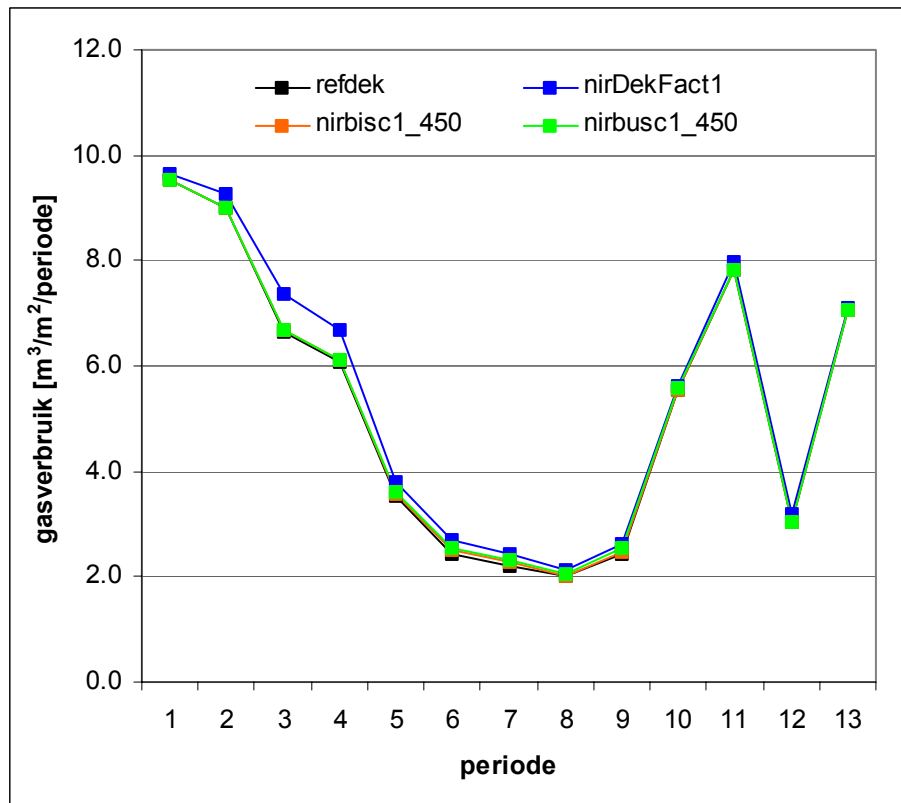
5.2.2 *Tomaat belicht*

In een belichte tomatenteelt zijn de effecten van de verschillende NIR-filterende materialen in de zomermaanden vergelijkbaar met de effecten in een onbelichte tomatenteelt, immers de assimilatiebelichting wordt in deze periode niet gebruikt. Verschillen in de diverse parameters ontstaan tijdens de winterperiode. Deze zullen in dit hoofdstuk verder worden geanalyseerd. Omdat schermen tijdens de belichte periode nauwelijks worden gebruikt, zijn vooral effecten door een NIR-filterend kasdek materiaal te verwachten.

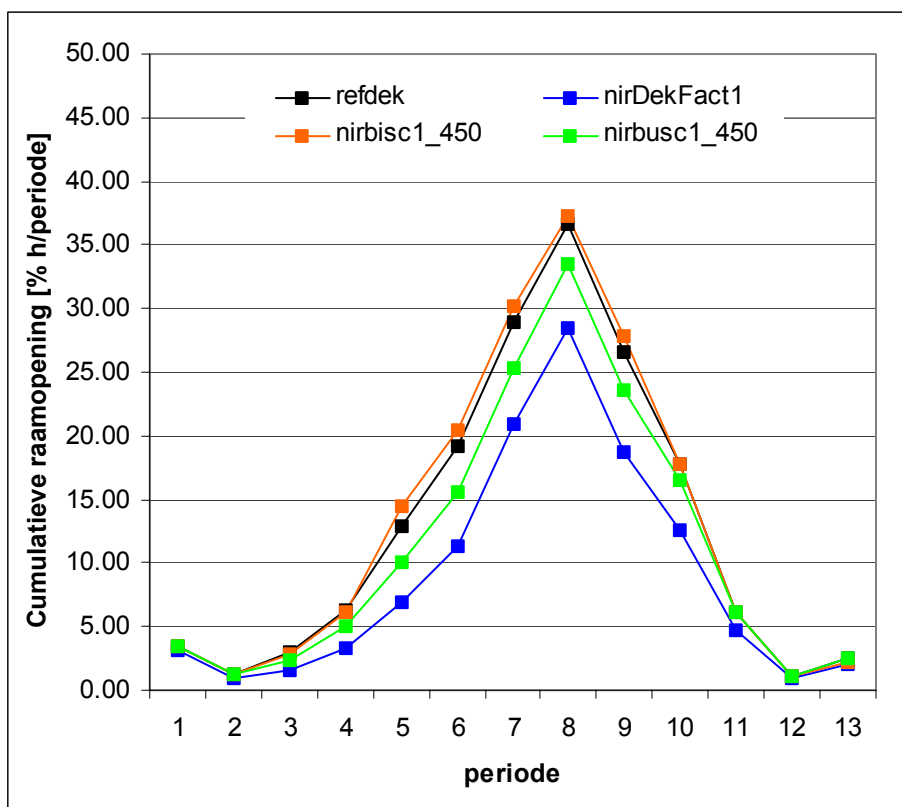
5.2.2.1 Kasklimaat

- Ook in een belichte teelt zijn de meest kenmerkende factoren voor het kasklimaat de raamstand, de CO₂-gehalte, de kasluchttemperatuur, de gewastemperatuur, de RV en de gewasverdamping (Tabel 21 t/m Tabel 33). Door veranderingen van deze factoren resulteren veranderingen in de gewasgroei en productie en in het energieverbruik.
- Veel factoren zijn vergelijkbaar met de resultaten zoals beschreven bij de onbelichte teelt: raamopening (Figuur 43), gewastemperatuur (Figuur 47), RV (Figuur 48), verdamping (Figuur 49).
- Het valt echter op dat de kasluchttemperatuur vooral in de periode met de belichting aan onder een NIR-filterend kasdek materiaal lager is dan in de referentie (Figuur 46). Overtollige warmte door de lampen kan gedeeltelijk door het kasdek worden afgevoerd, dit leidt ook tot minder energievernietiging (Figuur 44).
- De grootste verschillen ontstaan in de CO₂-gehalte (Figuur 45). Met name in periode 3 t/m 6 is de CO₂-gehalte onder een NIR-filterend kasdek materiaal veel hoger dan in de referentie. Dit wordt meteen zichtbaar in een stijging van de fotosynthese en gewasproductie.

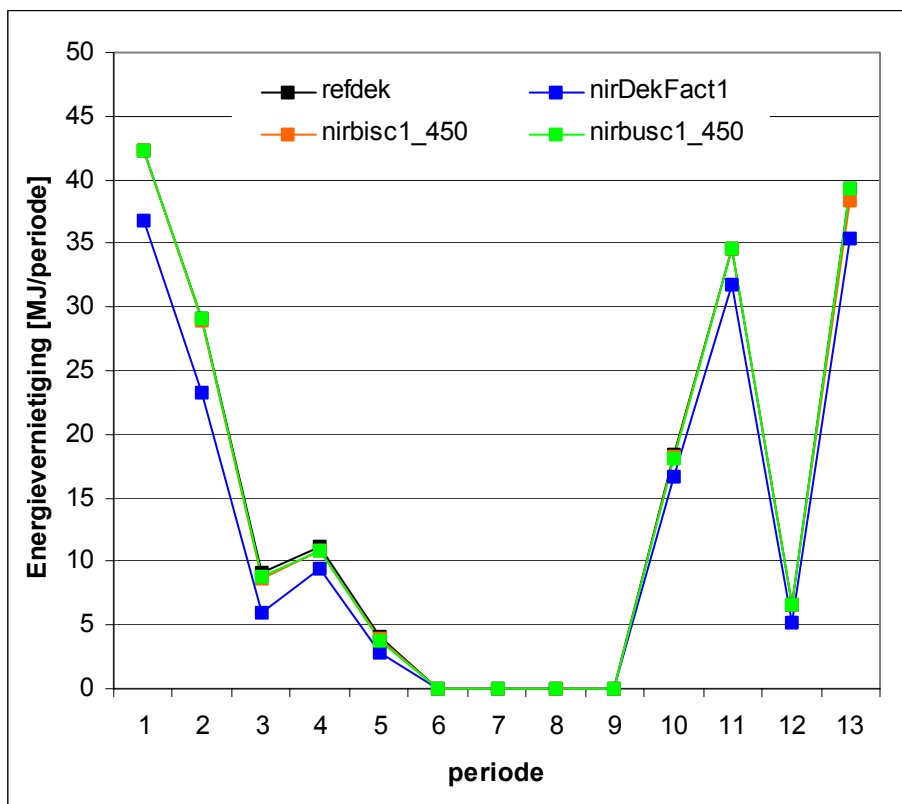
→ In een belichte teelt heeft een NIR-filterend kasdek materiaal meer voordelen. Deze resulteren met name in een kleiner warmteoverschot door de lampen. Overtollige warmte wordt beter afgevoerd. Vooral de CO₂-gehalte ligt op een duidelijk hoger niveau en leidt tot een productiestijging.



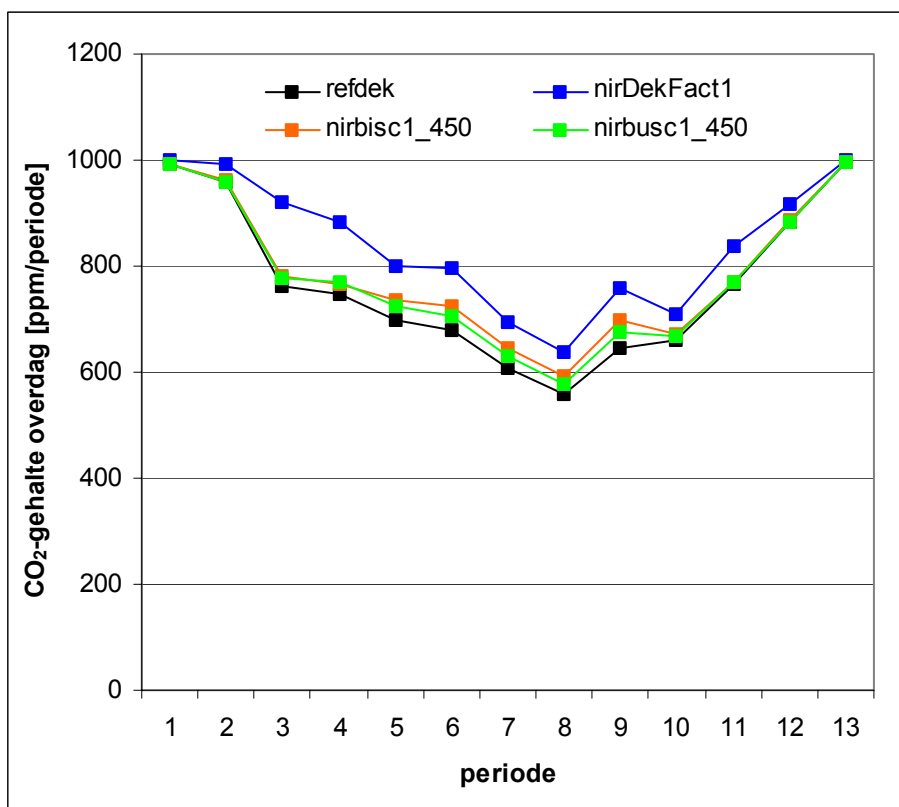
Figuur 42 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op het gasverbruik per periode in een belichte tomatenteelt



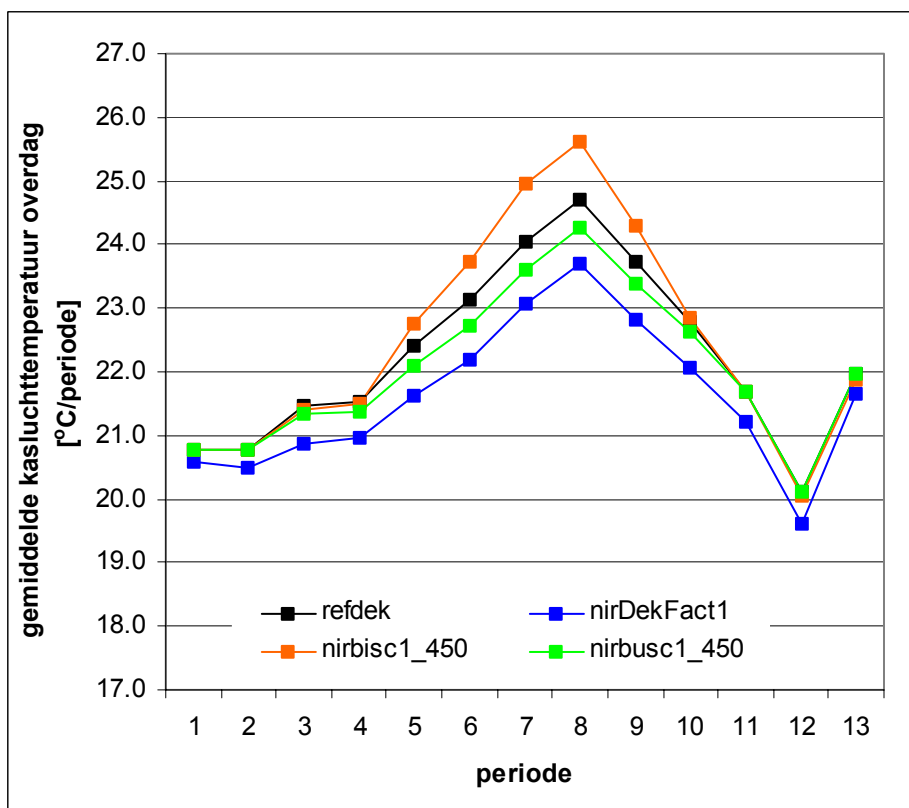
Figuur 43 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de cumulatieve raamopening per periode in een belichte tomatenteelt



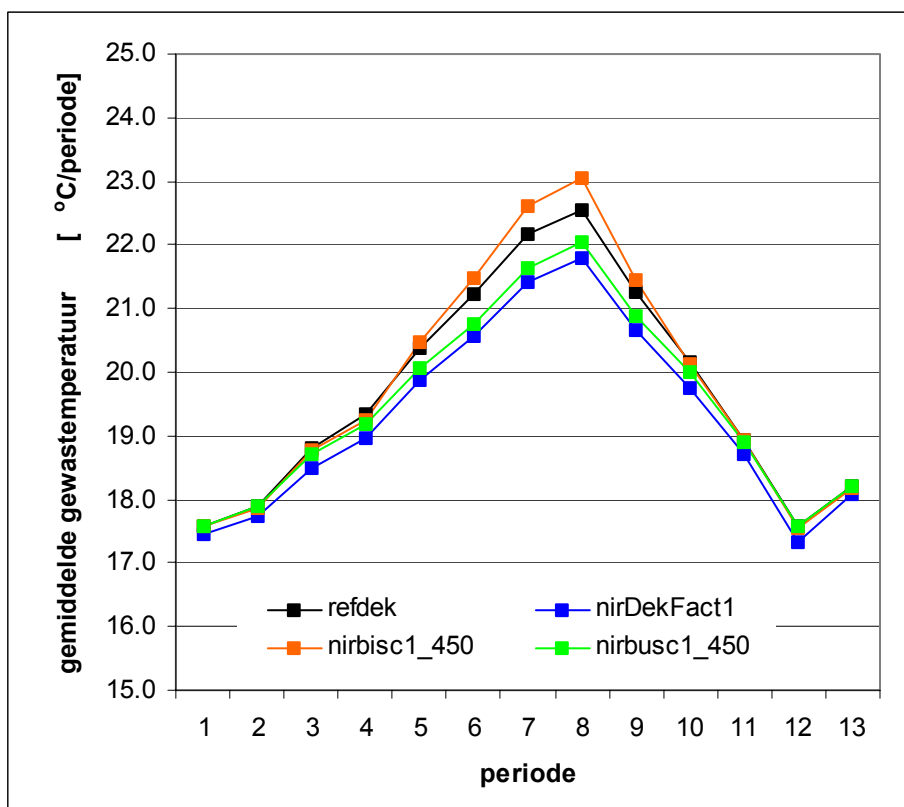
Figuur 44 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de energievernietiging per periode in een belichte tomatenteelt



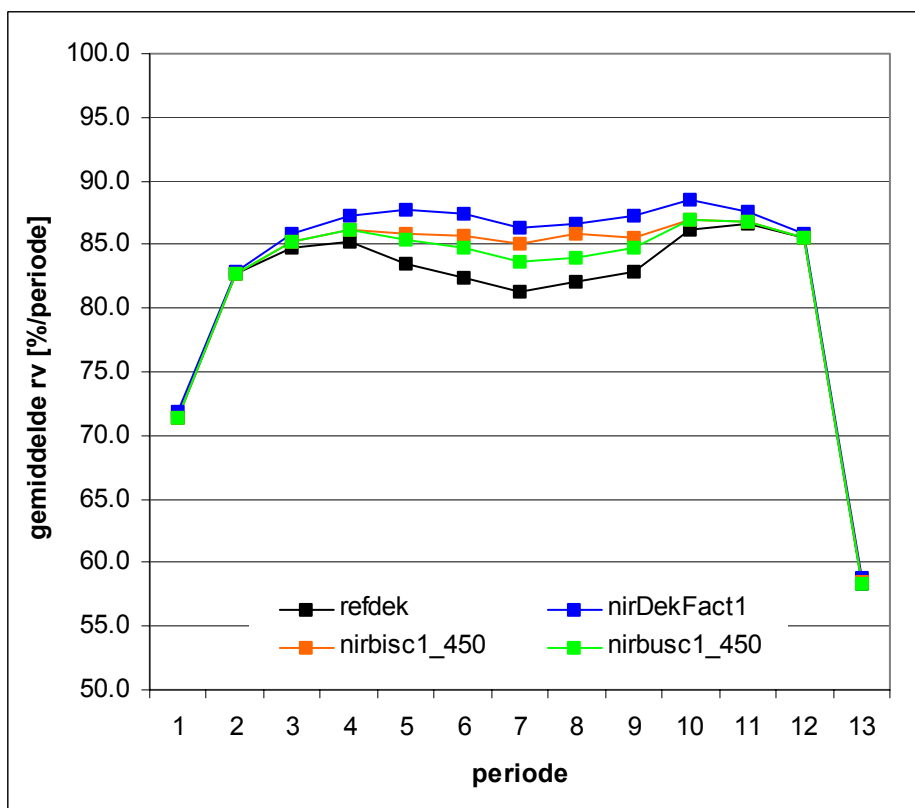
Figuur 45 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de CO₂-gehalte tijdens de daguren per periode in een belichte tomatenteelt



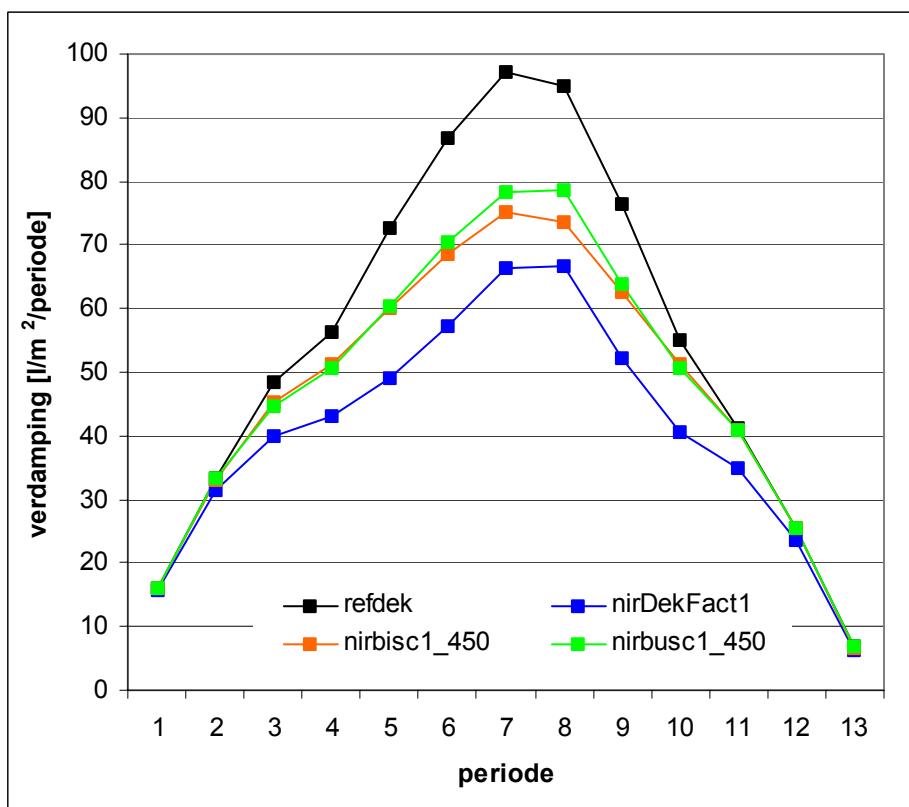
Figuur 46 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gemiddelde kasluchttemperatuur overdag in een belichte tomatenteelt per periode



Figuur 47 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gemiddelde gewastemperatuur per periode in een belichte tomatenteelt



Figuur 48 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gemiddelde relatieve vocht per periode in een belichte tomatenteelt



Figuur 49 Effect van verschillende NIR-filterende methoden op de gewasverdamping per periode in een belichte tomatenteelt

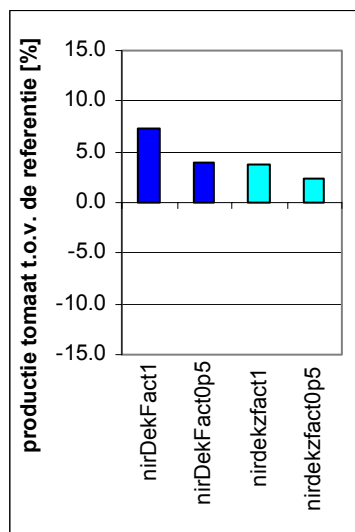
5.2.2.2 Gewasproductie

- Door een tomatenteelt te belichten stijgt de fotosynthese, met name in de wintermaanden. De gewasproductie is gemiddeld in de winterperiodes verdubbeld vergeleken met een onbelichte teelt. Jaarrond leidt de belichting tot een 9.5% hogere gewasproductie ten opzichte van een onbelichte teelt (Tabel 24 en Tabel 11). Dit is veroorzaakt door meer PAR en meer CO₂ van de WK-installatie.
- Door gebruik van een NIR-filterend kasdek materiaal neemt de gewasproductie jaarrond met 7.3% toe. Dit is een nog verdere toename vergeleken met een onbelichte teelt, waar deze toename jaarrond 6.4% was. Naast een toename in de zomermaanden, net als bij een onbelichte teelt, valt een additionele stijging van de productie in de winter in periode 2 t/m 4 op (Tabel 24). Dit is te verklaren door de openingspercentage van de luchtramen en de CO₂-gehalte:
 - De ramen van een kas met een NIR-filterend kasdek materiaal kunnen in deze periodes meer gesloten worden gehouden dan in de referentie kas. Terwijl bij een belichte teelt de ramen in de referentie situatie vaker geopend moeten worden om overtollige warmte af te voeren, is dit bij een NIR-filterend kasdek in mindere mate nodig. De CO₂-gehalte ligt in periode 3 en 4 onder een NIR-filterend kasdek rond 20% hoger dan

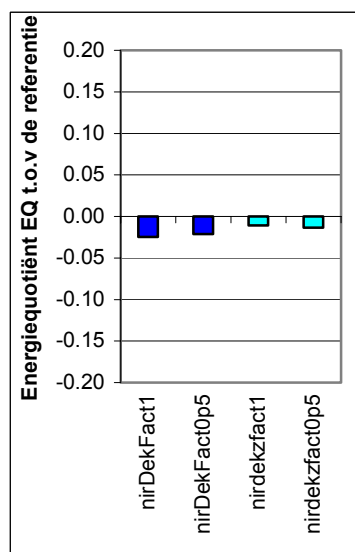
onder een referentie kasdek. Bij een onbelichte teelt is dit verschil in dezelfde periode maar 4%.

- Het effect van een NIR-filterend binnen- of buitenscherm op de fotosynthese is bij een belichte tomatenteelt iets minder gunstig dan bij een onbelichte tomatenteelt (Tabel 24). Ook dit is te wijten aan de overtollige warmte door de belichting. Het is niet aan te raden een NIR-filterend scherm tijdens de belichte periode te gebruiken.

→ De fotosynthese in een belichte teelt stijgt onder een NIR-filterend kasdek materiaal nog verder dan in een onbelichte teelt.



Figuur 50 Effect van NIR-filterende kasdekmaterialen op de gewasproductie jaarrond van een belichte tomatenteelt



Figuur 51 Effect van NIR-filterende kasdekmaterialen op de energiequotiënt EQ in een belichte tomatenteelt

5.2.2.3 Energieverbruik

- Het gasverbruik van een belichte tomatenteelt is rond 50% hoger dan het gasverbruik van een onbelichte tomatenteelt. In absolute termen zijn dit 67m³ gas per m² tegenover 44.3m³ per m² in de referentienteelt (Tabel 22 en Tabel 10).
- Door gebruik van een NIR-filterend kasdekmetaal met 100% NIR-filtering stijgt het gasverbruik jaarrond met 4.4%. De toename in het gasverbruik is minder dan bij een onbelichte teelt, waar het gasverbruik met 10,3% toeneemt.
- Omdat door de belichting een warmteoverschot in de kassen ontstaat door warmte van de lampen en warmte van de WK-installatie, is er minder behoefte aan natuurlijke zonnestralingsenergie. Een NIR-filterend kasdekmetaal reduceert in dit geval het warmteoverschot tijdens de belichte periode. De energievermijding is dan ook aanzienlijk lager onder een NIR-filterend kasdekmetaal dan in de belichte referentie (Figuur 44, Tabel 23)
- In een belichte teelt daalt door het gebruik van een NIR-filterend kasdekmetaal de EQ ten opzichte van de belichte referentie (Figuur 51).

➔ Bij een belichte teelt leidt een NIR-filterend kasdekmetaal tot een lagere EQ.

5.2.3 Potenties NIR-filterende materialen

Maximale potenties NIR-filterende materialen

- In de berekeningen zoals in hoofdstuk 5.2.1 en 5.2.2 beschreven is in de meeste cases uitgegaan van kasdek- en schermmaterialen welke 90% van de PAR-straling doorlaten. Het is natuurlijk denkbaar dat in de toekomst glas of schermmaterialen worden ontwikkeld met een PAR-doorlatendheid tot 95%. In dit geval heeft dit een gunstiger effect op de fotosynthese van het gewas.
- Naar schatting kan onder een NIR-filterend kasdekmetaal met een hogere PAR-doorlatendheid de fotosynthese met 10-12% worden verhoogd.
- Onder een NIR-filterend binnenscherm zal de toename van de fotosynthese altijd lager uitvallen omdat bij het sluiten van het scherm altijd meer PAR wordt weggenomen dan alleen door een kasdekmetaal. Echter, de fotosynthese zal volgens berekeningen stijgen als een scherm wordt gebruikt met betere PAR-doorlatendheid. Onder een NIR-filterend buitenscherm met een hoge PAR-doorlatendheid stijgt de productie van tomaat tijdens de zomermaanden fors met ca. 6-7%. De keuze van de juiste schermstrategie is zeer belangrijk. Belangrijke aandachtspunten voor de keuze van de juiste schermstrategie zijn PAR, CO₂-concentratie, temperatuur en RV.
- Om de maximale potenties van een NIR-filterend metaal te kunnen bereiken zijn de volgende factoren belangrijk:
 - Hoge PAR-transmissie van het metaal
 - Nagenoeg 100% van de NIR-straling tegenhouden
 - CO₂-gehalte, temperatuur en RV te optimaliseren door de juiste klimaatsetpoints en de juiste schermstrategie te kiezen

Potenties huidige NIR-filterende materialen

- Huidige NIR-filterende materialen zijn in hoofdstuk 3 beschreven. Glas IR3 kan als kasdek materiaal worden gebruikt. Het materiaal filtert 50% van de NIR-straling en laat ca. 93% PAR-straling door. Hierdoor neemt naar verwachting de productie van tomaat met 4-5% toe. Echter, ook het gasverbruik neemt met ca. 4% toe. Als het materiaal alleen in de zuidkanten van de kas wordt geïnstalleerd, stijgt de gewasproductie nog met 4% en het gasverbruik met ruim 2%.
- PET folie M is het enige materiaal dat als scherm kan worden gebruikt. Het materiaal filtert 25% van de NIR-straling en laat 88% PAR-straling door. Het is nodig om de optische eigenschappen van het materiaal te verbeteren om het als NIR-filterend buitenscherm te kunnen gebruiken. De PAR-transmissie kan hoger, de NIR-filtering is zeker te laag. Omdat het materiaal echter niet is geoptimaliseerd voor de tuinbouw, zijn er potenties voor verbeteringen.
- Het NIR-filterende krijtmateriaal ReduHeat verhoogt de fotosynthese tegenover het traditionele krijtmateriaal ReduSol naar verwachting met ca. 3%. Vergeleken met de referentie tomatenteelt daalt naar verwachting echter de gewasproductie door toepassing van krijt op de kas. Tomaat is een zeer lichtminnend gewas, daarom wordt krijt hier ook niet toegepast. Voor andere teelten heeft het gebruik van het NIR-filterende krijt naar verwachting wel voordelen. Het materiaal heeft geen effect op het energieverbruik.

Effect van verschillende NIR-filterende maatregelen op de gewasproductie:

<i>Huidige materialen</i>	<i>Optimale materialen</i>
<i>NIR-kasdek (glas IR3)</i> +4-5%	+10-12%
<i>NIR-buitenscherm (PET folie M)</i> -2%	+6-7%
<i>NIR-krijt (ReduHeat)</i> +3% t.o.v. traditioneel krijt -6% t.o.v. referentie bij tomaat*	n.v.t.

* De NIR-krijt is blijkbaar niet geschikt voor tomaat

5.2.4 *Perspectieven voor andere gewassen*

De simulatieberekeningen zoals in de voorgaande hoofdstukken beschreven zijn gericht op tomaat. Er zijn echter een aantal andere gewassen, voor welke NIR-filterende maatregelen voordelen bieden.

Zo zijn NIR-filterende maatregelen naar verwachting ook voordelig voor andere vruchtgroenten zoals paprika en komkommer. Voor Paprika geldt dat in de zomer geschermd of gekrijt wordt om de temperatuur laag te houden. Als de temperatuur te hoog wordt, is de zetting slecht. Ook kunnen de bovenste vruchten verbranden bij te hoge instraling. Waarschijnlijk is er geen maximum aan PAR-straling, dus daarvoor zou niet geschermd of gekrijt hoeven te worden. Het tegenhouden van NIR is echter na te streven. De voordelen voor paprika zijn dan ook te vinden in het beter in de kas houden van CO₂. De interesse voor paprikateelt in een gesloten kas is groot.

Voor Komkommer geldt dat in de zomer vaak geschermd wordt bij jonge planten (met het energiedoek), ook wordt tijdelijk gekrijt. Maar bij jonge planten wordt niet zoveel CO₂ gedoseerd als bijvoorbeeld bij tomaat, omdat men bang is voor CO₂-schade. Bij een volgroeid gewas wordt bij een aantal bedrijven geprobeerd de temperatuur laag te houden door vernevelen of dakbesproeiing, dit geeft lagere vruchtabortie, dus een betere oogst. Ook wordt bij een volgroeid gewas een hoog CO₂-gehalte aangehouden, dus is minder luchten gunstig. Vooral bij hoge-draad-teelt is er niet gauw teveel PAR, en is een lagere temperatuur gunstig. Perspectieven dus voor NIR-filterend krijt bij jonge planten en NIR-filterend kasdek of buitenscherm bij een volgroeid gewas.

Ook voor een aantal siergewassen hebben NIR-filterende maatregelen voordelen. Bij Roos wordt soms geschermd in de zomer om de temperatuur te verlagen, maar niet om de PAR-straling tegen te houden, omdat voor een rozengejas wordt aangenomen dat onder Nederlandse omstandigheden de PAR-straling niet gauw te hoog is. In één vooroplopend bedrijf wordt een proefopstelling met kaskoeling van 0.5 ha uitgebreid tot 2.5 ha, om de zomerkwaliteit van de rozen te verbeteren. Het is mogelijk dat dit nog niet rendabele systeem wél rendabel kan draaien wanneer de NIR-straling wordt gereflecteerd. Net als bij de meeste vruchtgroenten wordt ook bij roos de ketel in de zomer gestookt om CO₂ te produceren en niet primair voor de warmte productie. Door een NIR-filterende maatregel en het meer gesloten kunnen houden van de kas, kan of minder gestookt worden of zal de CO₂-gehalte verder worden verhoogd.

Voor de twee grootste orchideeënsoorten, Phalaenopsis en Cymbidium, is verlaging van de kasluchttemperatuur in de zomer een groot voordeel. De teelt van Phalaenopsis is in twee fasen te verdelen: de vegetatieve fase met hoge temperaturen en de generatieve fase met lagere temperaturen. Om een jaarrond aanvoer te realiseren wordt op veel Phalaenopsis bedrijven nu een deel van de kassen gekoeld, om steeds planten te hebben waarvan de bloei is geïnduceerd. In de teelt van Cymbidium is gebleken dat in de zomer de bladtemperatuur te hoog oploopt, dat de huidmondjes dicht gaan, en dat de temperatuur te hoog oploopt voor een efficiënte fotosynthese. Een streefwaarde van

maximaal 26°C bladtemperatuur wordt vaak overschreden. Voor beide gewassen bieden NIR-filterende maatregelen in de zomer een voordeel.

Bij de teelt van Azalea's is een lage nazomertemperatuur gewenst om vervroegd bloeiende planten aan te kunnen leveren op de veiling. En ook Cyclamen is bij uitstek een teelt waarbij de planten veel licht vragen, maar weinig warmte. Verlaging van de teelttemperatuur in de zomer is gunstig voor de kwaliteit en ziektebeheersing. In traditionele kassen loopt de temperatuur vaak te hoog op. Ook hier bieden NIR-filterende maatregelen een voordeel.

In de teelt van schaduwplanten, veelal potplanten, wordt nu ook in de zomermaanden veel gekrijt en geschermd. Vaak wordt dit gedaan om zowel warmte als ook PAR te verminderen. Voorbeeldgewassen zijn: Saintpaulia, Anthurium, Groene en Bonte bladplanten. Een NIR-filterend krijt dat relatief meer PAR-licht doorlaat is een goede optie om toch genoeg groei in het gewas te houden. Voor een aantal échte schaduwplanten, zoals Spatiphyllum is selectief buiten houden van NIR-straling niet nuttig; in de zomer is er ook teveel PAR-straling en is een conventioneel scherm een betere optie.

Andere gewassen waarvoor NIR-reductie potenties heeft zijn diegene waar grondkoeling wordt toegepast (Freesia, Alstroemeria). Het bereiken van de vereiste (lage) grondtemperatuur in de zomer zal makkelijker zijn naarmate de luchttemperatuur in de kas ook beter laag gehouden kan worden. Ook de directe opwarming van de grond door NIR-straling zal minder zijn.

→ NIR-filterende maatregelen bieden naar verwachting ook voordelen bij andere vruchtgroenten zoals paprika en komkommer en bij sommige siergewassen zoals Phalaenopsis, Cymbidium, Azalea's, Cyclamen, Saintpaulia, Anthurium, Groene en Bonte bladplanten, Freesia, Alstroemeria.

6 Economische analyse

Er is een economische analyse uitgevoerd naar de hogere opbrengsten en kostenbesparingen door een NIR-filterende maatregel tegenover de hogere investeringskosten in een NIR-filter technologie.

6.1 Materialen en methoden

6.1.1 Referentie

Gebaseerd op standaardgegevens uit de KWIN zijn de kosten en baten voor de referentiesituatie in kaart gebracht. Prijzen voor het geoogste product, in dit geval trostomaat, zijn per seizoen uit de KWIN genomen (teelt G55). De opbrengst geoogst versproduct is berekend met INTKAM. Als deze vermenigvuldigd wordt met de prijs kunnen de baten voor de gewasopbrengst worden berekend.

Het gasverbruik wordt met KASPRO berekend. De gasprijs wordt voor een onbelichte teelt vastgesteld op 14,6 cent per m³ gas, voor een belichte teelt ligt deze prijs bij 14,4 €cent per m³ gas. De invloed van lichte prijsveranderingen door een hogere of lagere afnamecapaciteit is klein en wordt hier niet meegenomen.

Het waterverbruik is gebaseerd op de gewasverdamping berekend met KASPRO. Er wordt uitgegaan van het gebruik van leidingwater met een prijs van 91 €cent per m³ water.

De kosten voor plantmateriaal, gewasbescherming, bemesting, substraat, plastic folie, draden, clips en hun afvoer is volgens de KWIN standaard.

Arbeidskosten, fust en verpakking, veilingkosten en rente op het omlopende vermogen zijn evenwel gebaseerd op de KWIN, maar zijn bovendien afhankelijk van de teeltopbrengst. Voor de loonkosten wordt een uurtarief van €16 aangenomen.

Het standaard kasdek materiaal is glas met een prijs van €3,85 per m² materiaal. Omdat voor een Venlo-kas 1,23m² glas materiaal per 1m² kasgrondvlak nodig is, zijn de investeringskosten hiervan €4.74 per m² kasgrondvlak. De levensduur van glas bedraagt 15 jaar. Dit komt neer op een afschrijvingpercentage van 7%. Het onderhoudspercentage bedraagt volgens de KWIN 0,5%, de rente 3%. Met deze gegevens kunnen de jaarlijkse kosten van het kasdek materiaal worden berekend.

Ook de jaarlijkse kosten voor de scherminstallatie zijn gebaseerd op gegevens uit de KWIN. Een standaard schermdoek kost €1,82 per m², heeft een levensduur van 5 jaar, dus een afschrijvingspercentage van 20% en een onderhoudspercentage van 5%. Een standaard scherminstallatie kost zonder doek €4.54 en buitenscherminstallatie kost 1,5 keer zo veel, dus €6,81. Het afschrijvingspercentage bedraagt 14% en onderhoudspercentage 5%.

Bij het berekenen van de referentiesituatie wordt niet een echte kosten-baten-analyse per teelt gemaakt. Diverse kosten, welke in alle cases gelijk blijven, worden buiten beschouwing gelaten. Alleen de relevante meeropbrengsten, kostenbesparingen en meerkosten worden meegenomen (Tabel 5).

6.1.2 NIR-filterende maatregelen

Naast de referentiesituatie wordt geanalyseerd wat de meerkosten voor een NIR-filterend kasdek materiaal of scherm mogen zijn.

Door een NIR-filterende maatregel, stijgen in het algemene de gewasopbrengsten.

Hierdoor stijgen echter ook de arbeidskosten en kosten voor fust, verpakking, veiling en rente op omlopend vermogen. Gas- en waterverbruik variëren sterk door een NIR-filterend maatregel.

6.2 Resultaten

6.2.1 *Trostomaat onbelicht*

De resultaten van de economische analyse worden samengevat in (Tabel 6 en Tabel 7).

De maximale meerkosten voor een NIR-filterend kasdek materiaal ligt rond de €20 per m² kasdek materiaal afhankelijk van de efficiëntie van de NIR-filtering en of het NIR-filterend kasdek materiaal alleen in de zuidkanten van de kas wordt toegepast.

De maximale meerkosten voor een NIR-filterend scherm zijn afhankelijk van de optische eigenschappen van het materiaal. Met name de PAR-doorlatendheid speelt een belangrijke rol, omdat door een hogere PAR-doorlatendheid ook de teeltopbrengst toeneemt. Een buitenscherm met een 95% doorlatendheid voor PAR mag rond €5 meer kosten. Bij een lagere PAR-doorlatendheid van 88% is een buitenscherm is minder rendabel. In deze berekeningen is ervan uitgegaan dat het scherm 100% van de NIR-straling tegen houdt. Als dit minder is, is een scherm minder rendabel. Een binnenscherm is alleen rendabel als het een zeer hoge PAR-doorlatendheid heeft.

➔ Er zijn dus economische perspectieven om een NIR-filterend kasdek materiaal te ontwikkelen. Ook zijn er perspectieven om een NIR-filterend buitenscherm te ontwikkelen. Een NIR-filterend binnenscherm is alleen rendabel als de optische PAR-transmissie 95% is. In beide gevallen is alleen een scherm dat veel NIR-straling tegenhoudt rendabel.

6.2.2 *Trostomaat belicht*

De resultaten van de economische analyse worden samengevat in Tabel 8. De maximale meerkosten voor een NIR-filterend kasdek materiaal ligt hoger voor een belichte tomatenteelt dan voor een onbelichte tomatenteelt. De meerkosten mogen rond de €40 per m² kasdek materiaal kosten afhankelijk van de efficiëntie van de NIR-filtering of het NIR-filterend kasdek materiaal alleen in de zuidkanten van de kas wordt toegepast.

➔ In een belichte tomatenteelt zijn de economische perspectieven voor een NIR-filterend kasdek materiaal nog beter. De meerkosten mogen hoger zijn.

Tabel 5 Tegenoverstelling relevante kosten en baten van de referentieteelst tomatomaat onbelicht

				refdek
	periode	opbrengst [kg/m ²]	prijs [€/aantal]	baten [€/m ² /jaar]
opbrengst tomaat [kg per m ² per periode]	1	0.0		
	2	0.7	2.15	1.51
	3	3.1	2.15	6.67
	4	5.5	1.82	10.01
	5	7.6	1.32	10.03
	6	9.8	0.70	6.86
	7	9.2	0.63	5.80
	8	8.4	0.80	6.72
	9	7.6	0.90	6.84
	10	6.8	1.06	7.21
	11	4.9	1.37	6.71
	12	1.3	1.22	1.59
	13	0.0	1.36	0.00
baten teelt [€/m²/jaar]		64.9		69.94
		aantal [aantal/m ²]	prijs [€/aantal]	kosten [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]		44.30	0.146	6.49
kosten energie [€/m²/jaar]				6.49
plantmateriaal [planten per m ²]		2.5	0.68	1.70
arbeidskosten teelt [h per m ²]		1.153	16.00	18.45
gewasbescherming				0.57
bemesting				0.45
water [m ³ per m ²]		0.617	0.91	0.62
substraat en afvoer				1.30
plastic folie, draden, clips en afvoer				0.97
fust en verpakking		64.9	0.01	0.65
veilingkosten		69.94	2.75%	1.92
rente omlopend vermogen		69.94	1%	0.70
kosten teelt [€/m²/jaar]				27.32
kasdek materiaal [€ per m ²]				4.74
afschrijving 7% [€ per m ² per jaar]				0.33
onderhoud 0.5% [€ per m ² per jaar]				0.02
rente 3% [€ per m ² per jaar]				0.14
kosten kasdek materiaal [€/m²/jaar]				0.50
schermdoek [€ per m ²]				1.82
afschrijving 20% [€ per m ² per jaar]				0.36
onderhoud 5% [€ per m ² per jaar]				0.09
rente 3% [€ per m ² per jaar]				0.05
kosten schermdoek [€/m²/jaar]				0.51
scherminstallatie [€ per m ²]				4.54
afschrijving 14% [€ per m ² per jaar]				0.64
onderhoud 5% [€ per m ² per jaar]				0.23
rente 3% [€ per m ² per jaar]				0.14
kosten scherminstallatie [€/m²/jaar]				1.00
kosten-baten referentie [€/m²/jaar]				34.12

Tabel 6 Economische analyse van verschillende NIR-filterende kasdekmaterialen bij een onbelichte trostomatenteelt, berekening van de maximale meerkosten voor een investering

		refdek			nirdekfact1		nirdekfact0p5		nirdekzfact1		nirdekzfact0p5	
	periode	opbrengst [kg/m ²]	prijs [€/aantal]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]
opbrengst tomaat	1	0.0			0.0		0.0		0.0		0.0	
[kg per m ² per periode]	2	0.7	2.15	1.51	0.6	1.29	0.6	1.29	0.6	1.29	0.7	1.51
	3	3.1	2.15	6.67	3.2	6.88	3.2	6.88	3.2	6.88	3.1	6.67
	4	5.5	1.82	10.01	5.8	10.56	5.7	10.37	5.7	10.37	5.6	10.19
	5	7.6	1.32	10.03	7.4	9.77	7.4	9.77	7.5	9.90	7.3	9.64
	6	9.8	0.70	6.86	9.9	6.93	10.0	7.00	10.1	7.07	9.8	6.86
	7	9.2	0.63	5.80	11.1	6.99	9.7	6.11	9.8	6.17	10.2	6.43
	8	8.4	0.80	6.72	8.8	7.04	9.2	7.36	9.4	7.52	8.5	6.80
	9	7.6	0.90	6.84	8.2	7.38	7.2	6.48	7.4	6.66	7.1	6.39
	10	6.8	1.06	7.21	6.9	7.31	7.1	7.53	7.3	7.74	6.8	7.21
	11	4.9	1.37	6.71	5.9	8.08	5.9	8.08	5.2	7.12	6.0	8.22
	12	1.3	1.22	1.59	1.3	1.59	0.1	0.12	0.9	1.10	1.2	1.46
	13	0.0	1.36	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
baten teelt [€/m²/jaar]		64.9		69.94	69.1	73.82	66.1	70.99	67.1	71.83	66.3	71.37
		aantal [aantal/m ²]	prijs [€/aantal]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]		44.30	0.146	6.49	48.90	7.16	46.20	6.76	46.80	6.85	45.40	6.65
kosten energie [€/m²/jaar]				6.49		7.16		6.76		6.85		6.65
plantmateriaal [planten per m ²]		2.5	0.68	1.70		1.70		1.70		1.70		1.70
arbeidskosten teelt [h per m ²]		1.153	16.00	18.45	1.227	19.64	1.174	18.79	1.192	19.07	1.178	18.84
gewasbescherming				0.57		0.57		0.57		0.57		0.57
bemesting				0.45		0.45		0.45		0.45		0.45
water [m ³ per m ²]		0.617	0.91	0.62	0.444	0.44	0.531	0.53	0.504	0.50	0.561	0.56
substraat en afvoer				1.30		1.30		1.30		1.30		1.30
plastic folie, draden, clips en afvoer				0.97		0.97		0.97		0.97		0.97
fust en verpakking		64.9	0.01	0.65	69.1	0.69	66.1	0.66	67.1	0.67	66.3	0.66
veilingkosten		69.94	2.75%	1.92	73.82	2.03	70.99	1.95	71.83	1.98	71.37	1.96
rente omlopend vermogen		69.94	1%	0.70	73.82	0.74	70.99	0.71	71.83	0.72	71.37	0.71
kosten teelt [€/m²/jaar]				27.32		28.53		27.63		27.93		27.73
maximale meerkosten investering kasdek materiaal [€/m²]				-		€25		€7		€23		€21
maximale meerkosten investering schermdoek [€/m²]				-		nvt		nvt		nvt		nvt

Tabel 7 Economische analyse van verschillende NIR-filterende schermen bij een onbelichte trostomatenteelt, berekening van de maximale meerkosten voor een investering

		refdek			nirbisc1_opt		nirbisc_opt_par95		nirbusc1_opt		nirbusc_opt_par95	
	periode	opbrengst [kg/m ²]	prijs [€/aantal]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]	opbrengst [kg/m ²]	baten [€/m ² /jaar]
opbrengst tomaat	1	0.0			0.0		0.0		0.0		0.0	
[kg per m ² per periode]	2	0.7	2.15	1.51	0.7	1.46	0.6	1.31	0.7	1.46	0.6	1.31
	3	3.1	2.15	6.67	3.1	6.71	3.2	6.86	3.1	6.69	3.2	6.84
	4	5.5	1.82	10.01	5.5	10.05	5.5	10.06	5.5	10.06	5.6	10.12
	5	7.6	1.32	10.03	7.5	9.95	7.0	9.25	7.2	9.52	7.1	9.32
	6	9.8	0.70	6.86	9.6	6.70	10.5	7.32	10.1	7.04	11.0	7.72
	7	9.2	0.63	5.80	9.8	6.17	10.5	6.62	10.0	6.27	8.9	5.61
	8	8.4	0.80	6.72	8.3	6.67	8.5	6.83	8.8	7.06	9.5	7.57
	9	7.6	0.90	6.84	7.1	6.40	6.8	6.08	7.3	6.59	7.1	6.43
	10	6.8	1.06	7.21	6.7	7.14	6.9	7.36	6.7	7.14	7.1	7.52
	11	4.9	1.37	6.71	4.9	6.71	5.9	8.10	5.7	7.85	6.0	8.18
	12	1.3	1.22	1.59	0.9	1.05	1.3	1.59	1.4	1.68	1.3	1.60
	13	0.0	1.36	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
baten teelt [€/m²/jaar]		64.9		69.94	64.2	69.01	66.8	71.38	66.5	71.37	67.3	72.21
		aantal [aantal/m ²]	prijs [€/aantal]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]		44.30	0.146	6.49	44.80	6.56	44.30	6.49	44.90	6.57	44.30	6.49
kosten energie [€/m²/jaar]				6.49		6.56		6.49		6.57		6.49
plantmateriaal [planten per m ²]		2.5	0.68	1.70		1.70		1.70		1.70		1.70
arbeidskosten teelt [h per m ²]		1.153	16.00	18.45	1.140	18.24	1.186	18.97	1.182	18.91	1.196	19.13
gewasbescherming				0.57		0.57		0.57		0.57		0.57
bemesting				0.45		0.45		0.45		0.45		0.45
water [m ³ per m ²]		0.617	0.91	0.62	0.515	0.52	0.549	0.55	0.527	0.53	0.549	0.55
substraat en afvoer				1.30		1.30		1.30		1.30		1.30
plastic folie, draden, clips en afvoer				0.97		0.97		0.97		0.97		0.97
fust en verpakking		64.9	0.01	0.65	64.2	0.64	66.8	0.67	66.5	0.67	67.3	0.67
veilingkosten		69.94	2.75%	1.92	69.01	1.90	71.38	1.96	71.37	1.96	72.21	1.99
rente omlopend vermogen		69.94	1%	0.70	69.01	0.69	71.38	0.71	71.37	0.71	72.21	0.72
kosten teelt [€/m²/jaar]				27.32		26.97		27.85		27.77		28.05
maximale meerkosten investering kasdek materiaal [€/m²]				-		nvt		nvt		nvt		nvt
maximale meerkosten investering schermdoek [€/m²]				-		€ (2)		€ 7		€ 1		€ 4

Tabel 8 Economische analyse van verschillende NIR-filterende kasdekmaterialen bij een belichte trostomatenteelt, berekening van de maximale meerkosten voor een investering

	periode	opbrengst [kg/m ²]	prijs [€/aantal]	refdek baten [€/m ² /jaar]	nirdekfact1 opbrengst [kg/m ²]	nirdekfact1 baten [€/m ² /jaar]	nirdekfact0p5 opbrengst [kg/m ²]	nirdekfact0p5 baten [€/m ² /jaar]	nirdekzfact1 opbrengst [kg/m ²]	nirdekzfact1 baten [€/m ² /jaar]	nirdekzfact0p5 opbrengst [kg/m ²]	nirdekzfact0p5 baten [€/m ² /jaar]
opbrengst tomaat	1	0.0			0.0		0.0		0.0		0.0	
[kg per m ² per periode]	2	3.6	2.15	7.74	3.7	7.96	3.7	7.96	3.7	7.96	3.7	7.96
	3	6.3	2.15	13.55	6.5	13.98	6.3	13.55	6.3	13.55	6.3	13.55
	4	6.8	1.82	12.38	7.2	13.10	7.1	12.92	7.2	13.10	7.2	13.10
	5	7.1	1.32	9.37	8.3	10.96	7.6	10.03	7.7	10.16	7.3	9.64
	6	9.4	0.70	6.58	9.3	6.51	8.7	6.09	8.9	6.23	9.0	6.30
	7	9.5	0.63	5.99	10.8	6.80	10.5	6.62	10.5	6.62	9.8	6.17
	8	8.0	0.80	6.40	8.5	6.80	8.4	6.72	8.3	6.64	8.8	7.04
	9	6.7	0.90	6.03	7.2	6.48	7.4	6.66	8.0	7.20	6.9	6.21
	10	6.5	1.06	6.89	7.7	8.16	6.8	7.21	6.9	7.31	6.7	7.10
	11	5.8	1.37	7.95	5.8	7.95	5.9	8.08	5.8	7.95	6.0	8.22
	12	1.4	1.22	1.71	1.5	1.83	1.6	1.95	0.5	0.61	1.4	1.71
	13	0.0	1.36	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
baten teelt [€/m²/jaar]		71.1		84.57	76.5	90.52	74.0	87.78	73.8	87.32	73.1	86.99
		aantal [aantal/m ²]	prijs [€/aantal]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]	aantal [aantal/m ²]	kosten [€/m ² /jaar]
gasverbruik [m ³ per m ²]		44.30	0.146	6.49	48.90	7.16	46.20	6.76	46.80	6.85	45.40	6.65
kosten energie [€/m²/jaar]				6.49		7.16		6.76		6.85		6.65
plantmateriaal [planten per m ²]		2.5	0.68	1.70		1.70		1.70		1.70		1.70
arbeidskosten teelt [h per m ²]		1.263	16.00	20.21	1.359	21.74	1.314	21.03	1.311	20.97	1.298	20.78
gewasbescherming				0.57		0.57		0.57		0.57		0.57
bemesting				0.45		0.45		0.45		0.45		0.45
water [m ³ per m ²]		0.617	0.91	0.62	0.444	0.44	0.531	0.53	0.504	0.50	0.561	0.56
substraat en afvoer				1.30		1.30		1.30		1.30		1.30
plastic folie, draden, clips en afvoer				0.97		0.97		0.97		0.97		0.97
fust en verpakking		71.1	0.01	0.71	76.5	0.77	74.0	0.74	73.8	0.74	73.1	0.73
veilingkosten		84.57	2.75%	2.33	90.52	2.49	87.78	2.41	87.32	2.40	86.99	2.39
rente omlopend vermogen		84.57	1%	0.85	90.52	0.91	87.78	0.88	87.32	0.87	86.99	0.87
kosten teelt [€/m²/jaar]				29.70		31.34		30.58		30.48		30.32
maximale meerkosten investering kasdek materiaal [€/m²]				-		€ 44		€ 25		€ 39		€ 39
maximale meerkosten investering schermdoek [€/m²]				-		nvt		nvt		nvt		nvt

7 Samenvatting

Het NIR gedeelte in de zonnestraling is niet direct nodig voor de plantengroei, de stralingsenergie in dit gebied leidt tot een opwarming van kasonderdelen, installaties en planten en zo tot een temperatuurverhoging in de kas. Dit is een wenselijk effect in de wintermaanden, sinds de in de kas komende stralingsenergie bijdraagt aan de kasverwarming, het gasverbruik daalt. Tijdens de zomermaanden is deze temperatuurverhoging ongewenst, zonder onvoldoende luchtingscapaciteit leiden hoge temperaturen tot stressverschijnselen in het gewas.

Maatregelen om NIR te filteren zijn in deze studie onderzocht. Er is een analyse uitgevoerd naar de potenties om een traditionele kas zo veel mogelijk gesloten te kunnen houden als het NIR gedeelte van de zonnestraling zo veel mogelijk buiten de kas kan worden gehouden. Ook is onderzocht, welke effecten met NIR-filterende materialen (kasdek, scherm, krijt) bereikt kunnen worden en welke materiaalontwikkelingen in de toekomst nodig zijn. De belangrijkste resultaten van deze studie kunnen puntsgewijs worden samengevat.

7.1 Materiaaleigenschappen

- Er zijn NIR-filterende materialen beschikbaar met goede optische eigenschappen.
- Een multilayer coating blijkt een effectieve NIR-filterende technologie.
- Een optimalisatie van de materiaaleigenschappen is echter wenselijk, hierbij zijn belangrijk:
 - PAR-transmissie > 90%
 - NIR-filtering nagenoeg 100%
 - Spectrale transmissie ook hoekafhankelijk moet nodige aandacht hebben, zodat geen PAR wordt gereduceerd of de R:FR verhouding te hoog wordt
- De prijs van een NIR-filter is belangrijk, deze kan door een productie op grotere schaal aanzienlijk worden verlaagd, volgens economische analyse zijn er voldoende potenties.
- Andere materiaaleigenschappen zoals veroudering, sterkte, condensgedrag etc. moeten nader worden onderzocht in het kader van de materiaalontwikkeling

7.2 Kasklimaat

- De verschillende NIR-filterende maatregelen zorgen allemaal voor een hoger CO₂-niveau in de kas en een op pijl houden van de RV tijdens warme periodes.
- Terwijl een NIR-filterend kasdek en een NIR-filterend buitenscherm in staat zijn om kasluchttemperatuur en gewastemperatuur te reduceren, stijgt de temperatuur onder een NIR-filterend binnenscherm omdat het scherm een barrière voor de luchtuitwisseling met de buitenomgeving vormt.
- Door een NIR-filterend kasdek materiaal en in mindere mate door een NIR-filterend buitenscherm kunnen de luchttingsramen meer gesloten worden gehouden met een hogere CO₂-concentratie als gevolg. Zo komt het principe van een semi-gesloten kas dichterbij. NIR-filterende methodes zullen in een gesloten kas tijdens stralingsrijke periodes voor een aanzienlijk lagere koelbehoefte zorgen.

- In de belichte tomatenteelt zijn de effecten van de verschillende NIR-filterende methodes in de zomermaanden vergelijkbaar met de effecten in een onbelichte teelt, immers de assimilatiebelichting wordt in deze periode niet gebruikt.
- In de wintermaanden ontstaat bij een belichte teelt door een NIR-filterend kasdek minder overtollige warmte, de kasluchttemperatuur is dus in periodes met belichting lager onder een NIR-filterend kasdek. Ook kunnen de ramen meer gesloten worden gehouden, hierdoor stijgt de CO₂-concentratie.

7.3 Gewasproductie

- Een NIR-filterend kasdek materiaal verhoogt de fotosynthese en de vruchtproductie bij tomaat jaarrond.
- Bij een NIR-filterend scherm is de fotosynthese minder, omdat een scherm, als het overdag wordt gesloten, altijd tot een PAR-reductie zal leiden. Een hoge PAR-transmissie van een NIR-filterend scherm is dus van groot belang en heeft een productiestijging tot gevolg. De optimale schermstrategie is afhankelijk van de optische eigenschappen van het scherm.
- Een buitenscherm heeft, als gevolg van het gunstiger kasklimaat dat daarbij ontstaat, voordelen ten opzichte van een binnenscherm.
- Een hogere fotosynthese wordt met name veroorzaakt door een hoger CO₂-gehalte, dus de preventie van de daling van de CO₂-concentratie in bepaalde periodes, en een lagere temperatuur in de zomer. CO₂ kan op een hoger niveau worden gehouden door het meer gesloten houden van de ventilatieramen als gevolg van een NIR-filterende maatregel.
- Ook een te sterke daling van de RV in de kas en hiermee een ongewenste reductie van de gewasverdamping kan worden vermeden door NIR-filterende maatregelen en bevordert de fotosynthese tijdens bepaalde periodes.
- De temperatuurverlaging door een NIR-filterend kasdek en buitenscherm in de zomermaanden is positief voor de vruchtproductie van tomaat. Een NIR-filterend binnenscherm zorgt juist voor een verhoging van kasluchttemperatuur en gewas temperatuur met een verminderde vruchtzetting en bloemabortie als gevolg.
- In een belichte teelt stijgt de fotosynthese onder een NIR-filterend kasdek materiaal ten opzichte van de belichte referentieteelt nog verder dan de fotosynthese onder een NIR-filterend kasdek in een onbelichte teelt ten opzichte van de onbelichte referentie. Terwijl in een belichte teelt al vanaf periode 3 duidelijk productiestijgingen te zien zijn is dit in een onbelichte teelt pas vanaf periode 5/6 te zien. Dit wordt vooral veroorzaakt door een hoger CO₂-gehalte.
- NIR-filterende maatregelen bieden naar verwachting ook voordelen bij andere vruchtgroenten zoals paprika en komkommer en bij sommige siergewassen zoals Phalaenopsis, Cymbidium, Azalea's, Cyclamen, Saintpaulia, Anthurium, Groene en Bonte bladplanten, Freesia, Alstroemeria.

7.4 Energieverbruik

- Het gebruik van een NIR-filterende maatregel verhoogt altijd het absolute gasverbruik omdat minder stralingsenergie in de kas komt.
- Een betere parameter dan het absolute gasverbruik is de energiequotiënt EQ, het gasverbruik per eenheid productie ten opzichte van de referentie.
- Een NIR-filterend kasdek leidt tot een lichte stijging van de EQ jaarrond in een onbelichte tomatenteelt, terwijl het bij een belichte teelt zelfs tot een lagere EQ leidt vergeleken met de referentie. Bij een belichte tomatenteelt leidt de toepassing van een NIR-filterend kasdek materiaal tot een minder hoog gasverbruik dan bij een onbelichte teelt op grond van het warmteoverschot veroorzaakt door de lampen.
- In een onbelichte tomatenteelt is alleen een NIR-filterend buitenscherm, welke een hoge PAR-transmissie heeft en welke nagenoeg alle NIR-straling tegenhoudt, in staat om de EQ te verlagen. Het is niet zinvol om een NIR-filterend scherm tijdens de wintermaanden te gebruiken. De keuze van de juiste schermstrategie is belangrijk, om een onnodige toename van het gasverbruik te voorkomen.

7.5 Economie

- Er zijn economische perspectieven om een NIR-filterend kasdek materiaal te ontwikkelen. De meerkosten mogen rond €20-25 per m² materiaal in een onbelichte teelt en rond €40 per m² materiaal in een belichte teelt bedragen.
- Ook zijn er perspectieven om een NIR-filterend scherm te ontwikkelen. De meerkosten hiervoor mogen rond €5 bedragen, als het scherm een PAR-doorlatendheid van minimaal 90% heeft en in staat zijn om nagenoeg 100% van de NIR-straling tegen te houden.

NIR-filterende maatregelen bieden perspectief in de tuinbouw. Op termijn is de ontwikkeling van een NIR-filterend kasdek en een NIR-filterend buitenscherm het meest perspectiefvol. Ze zullen een belangrijke bijdrage leveren aan het meer gesloten kunnen houden van kassen. Het gebruik van dergelijke technologieën in een gesloten kas zal het energiegebruik voor koeling aanzienlijk verminderen en daarmee ook de investeringskosten voor het gehele systeem. Nader onderzoek is hiervoor noodzakelijk.

8 Conclusies

Op basis van de in hoofdstuk 7 samengevatte resultaten kunnen de verschillende NIR-filterende maatregelen worden beoordeeld op de volgende criteria:

- Effect op het kasklimaat
- Effect op de gewasproductie
- Effect op het energieverbruik
- Technologisch perspectief
- Economisch perspectief

Vervolgens kunnen de meest perspectiefvolle opties worden gekozen.

NIR-filterend binnenscherm

NIET DOEN, want:

- Een NIR-filterend binnenscherm is ondanks het tegenhouden van NIR-straling niet in staat om kasluchttemperatuur en gewastemperatuur in de zomer te verlagen. De temperaturen onder het scherm lopen in stralingsrijke periodes zelfs op, omdat het scherm als het gesloten is een barrière voor de luchtuitwisseling met buiten vormt.
- Door de barrière werking van een NIR-filterend binnenscherm wordt ook CO₂ binnen gehouden. Een hoger CO₂-gehalte weegt echter niet op tegen het PAR-verlies door het scherm, omdat een scherm altijd een additionele lichtonderscheppende laag in de kas vormt als het overdag wordt gesloten.
- Een NIR-filterend scherm heeft naar verwachting alleen een positieve invloed op de gewasproductie als het een zeer hoge PAR-transmissie heeft.
- Een NIR-filterend scherm mag niet worden gebruikt tijdens de winterperiode, omdat anders het gasverbruik stijgt, doordat minder stralingsenergie in de kas komt. Een NIR-filterend scherm heeft dan ook geen energiebesparende werking. Een NIR-filterend scherm leidt altijd tot een hogere EQ, wat niet wenselijk is voor het energieverbruik.
- Er zijn lage technologische of economische perspectieven voor een NIR-filterend binnenscherm.

NIR-filterend buitenscherm

DOEN MITS:

- Een NIR-filterend buitenscherm is in staat om kasluchttemperatuur en gewastemperatuur te verlagen. Hierdoor kunnen de ramen langer gesloten worden gehouden, waardoor het gemiddeld CO₂-gehalte op een hoger niveau blijft en dit positieve gevolgen voor de productie zal hebben. De efficiëntie van de NIR-filterende werking is hiervoor echter belangrijk. Als de NIR-filterende werking te klein is, zijn er geen voordelen meer te behalen.
- Afhankelijk van de optische eigenschappen van het NIR-filterend buitenscherm heeft het een positieve werking op de gewasproductie. Omdat een scherm altijd een additionele lichtonderscheppende laag vormt als het overdag wordt gesloten, is een hoge PAR-doorlatendheid van het scherm heel belangrijk. Als de PAR-

transmissie te klein is, wegen de NIR-filterende eigenschappen en de voordelen ervan niet op tegen het lichtverlies en is er geen productiewinst te halen.

- Voor een positief effect op de gewasproductie is ook de keuze van de schermstrategie belangrijk: in voorjaar/najaar minder schermen (pas bij hogere waarden van de buitenstraling, weinig schermuren), in de zomer (schermen al bij lagere waarden van de buitenstraling, meer schermuren).
- Een NIR-filterend scherm mag niet worden gebruikt tijdens de winterperiode (periodes 13 t/m 4), omdat dan licht belangrijk is voor een snelle groei van een beginnend gewas en omdat anders het gasverbruik stijgt doordat minder stralingsenergie in de kas komt. Een NIR-filterend buitenscherm heeft dan geen energiebesparende werking. Omdat een NIR-filterend buitenscherm afhankelijk van de optische eigenschappen van het scherm positief werkt op de productie, neemt de EQ af, wat positief is voor de energiebesparing.
- Er is technologisch perspectief voor een NIR-filterend buitenscherm. Een NIR-filterende multilayer coating, vergelijkbaar met het hier onderzochte folie PET M, kan een toekomstige oplossing zijn. Omdat de hier onderzochte NIR-filterende materialen echter niet zijn geoptimaliseerd op de eisen van de tuinbouw, is een optimalisatie van de materiaaleigenschappen wenselijk. Bij een optimalisatie is belangrijk dat de PAR-transmissie en de efficiëntie van de NIR-filtering verder worden verbeterd.
- Terwijl een traditioneel neutraal scherm een directe PAR-transmissie van rond 83% heeft, heeft PET folie M al een directe PAR-transmissie van 88%. Andere foliematerialen, welke ook geschikt zijn als scherm, laten directe PAR-transmissies >90% zien, zodat het aannemelijk is dat een NIR-filterend buitenscherm met een vergelijkbare transparantie te produceren is.
- Het NIR-filterend materiaal PET folie M houdt rond 25% van de NIR-straling tegen. Het is aannemelijk dat dit verder kan worden verbeterd, omdat met dezelfde technologie op glas waarden hoger dan 70% kunnen worden bereikt. Ook de hoekafhankelijke spectrale transmissie moet de nodige aandacht hebben, zodat geen PAR wordt gereduceerd of de R:FR verhouding te hoog wordt voor een applicatie in de tuinbouw.
- Bij een NIR-filterend buitenscherm moet worden gedacht aan een folieachtig materiaal dat parallel met het dakvlak wordt opgerold. Lichtonderscheppende delen van huidige buitenscherm constructies moeten zoveel mogelijk worden vermeden.
- Een NIR-filterend buitenscherm met goede optische eigenschappen biedt ook economisch perspectief. De meerkosten van een NIR-filterend buitenschermdoek mogen rond de €5 bedragen.

NIR-filterend kasdek

DOEN voor productie, want:

- Door gebruik van een NIR-filterend kasdek stijgt de productie. Dit wordt met name veroorzaakt door een lagere kasluchttemperatuur en gewastemperatuur,

waardoor de ramen meer gesloten kunnen worden gehouden met positieve gevolgen voor het CO₂-gehalte. Hoe meer NIR-straling eruit wordt gefilterd, hoe beter de productie.

- Een NIR-filterend kasdek heeft echter negatieve gevolgen voor het absolute gasverbruik in de winter. Deze stijgt ten opzichte van de productie zodat de EQ in een onbelichte tomatenteelt licht stijgt. In een belichte tomatenteelt leidt het gebruik van een NIR-filterend kasdek tot een lagere EQ.
- Als een NIR-filterend kasdek alleen in naar het zuiden gerichte kanten van de kas wordt geïnstalleerd, is dit energetisch gezien een betere optie, de productie neemt minder toe dan bij een volledig NIR-filterend kasdek, maar het gasverbruik stijgt naar verhouding minder. Hierdoor is de EQ van een NIR-filterend kasdek alleen in de zuidkanten van de kas gunstiger dan de EQ van een volledig NIR-filterend kasdek.
- Een NIR-filterend kasdek helpt mee om een semi-gesloten kas te kunnen realiseren. Voor een gesloten kas is een NIR-filterende maatregel zelfs een vereiste. Een NIR-filterend kasdek biedt hierbij perspectief. Naar verwachting wordt een hoger energieverbruik in de winter ruim gecompenseerd door een tot 50% oplopende reductie van de koelbehoefte in de zomer.
- Er is technologisch perspectief voor een NIR-filterend kasdek materiaal. Een NIR-filterende multilayer coating op glas is de toekomst. De hier onderzochte materialen hebben al goede optische eigenschappen. De PAR-transmissie is ongeveer vergelijkbaar met gewoon tuinbouwglas of hoger. De materialen zijn in staat om 50-70% van de NIR-straling tegen te houden. Omdat de onderzochte NIR-filterende glasmaterialen nog niet zijn geoptimaliseerd op de eisen van de tuinbouw, is er nog ruimte voor verbetering. Bij een optimalisatie verdient de hoekafhankelijke spectrale transmissie aandacht en is het belangrijk dat de efficiëntie van de NIR-filtering verder wordt verbeterd.
- Er zijn economische perspectieven voor een NIR-filterend kasdek. In een onbelichte tomatenteelt mogen de meerkosten van een NIR-filterend kasdek materiaal €20-25 per m² bedragen, in een belichte teelt mag het materiaal zelfs €40 meer kosten. Huidige materialen worden voor andere toepassingsgebieden geproduceerd, waardoor de prijs nog te hoog is. Door aanpassing van de materialen aan de eisen van de tuinbouw en productie van grotere eenheden wordt verwacht dat de prijs aanzienlijk kan worden verlaagd.

Effect van de verschillende NIR-filterende maatregelen op de beoordelingscriteria:

NIR-methode	CO ₂ op pijl	RV op pijl	T _{kas} omlaag	T _{gewas} omlaag	Ramen gesloten	EQ	Gewas- productie	Techno- logie	Econo- mie
Binnenscherm	++	+	--	-	-	-	-	-	-
Buitenscherm	+	+	+	+	+	(+)*	+	(+)	(+)
Kasdek	++	+	++	+	++	o**	++	+	+

* als PAR-transmissie en NIR-filtering hoog

** in een onbelichte teelt EQ hoog, in belichte teelt EQ laag

9 Aanbevelingen

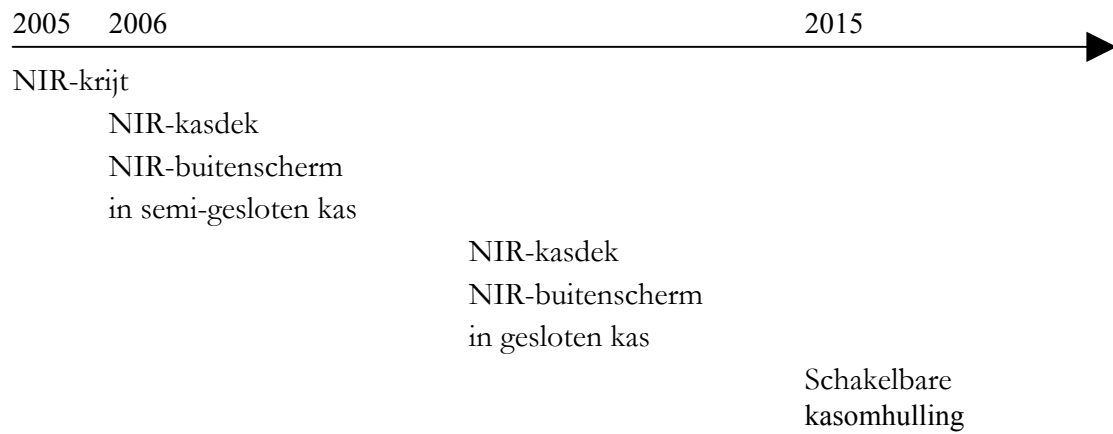
NIR-filterede maatregelen bieden perspectief in de tuinbouw. Deze perspectieven moeten als een ontwikkeling in de tijd worden gezien. Op lange termijn kan gedacht worden aan het ideaalbeeld van een **“schakelbare kasomhulling”**. Deze kasomhulling is regelbaar of past zich automatisch aan aan de licht- en temperatuurbehoeftes van het gewas en daarmee aan de buitenstraling en -temperatuur. De kasomhulling is schaduwgevend of temperatuurverlagend in stralingsrijke of hete periodes en het is lichtgevend in stralingsarme periodes.

Met de huidige beschikbare technologieën is het mogelijk om tussenstappen te zetten op weg naar het ideaalbeeld in de toekomst. Op korte termijn is de nu al beschikbare **NIR-filterend krijt** zeker een stap in de juiste richting.

Op middellange termijn is de ontwikkeling van een **NIR-filterend kasdek** en een **NIR-filterend buitenscherm** het meest perspectiefvol. Om een verdere ontwikkeling van deze technologieën te bevorderen zijn nu al een aantal stappen noodzakelijk.

- In een experimentele proef laten zien dat een NIR-filterend kasdek en een NIR-filterend buitenscherm in staat zijn de temperatuur te verlagen en het CO₂-gehalte te verhogen door de ramen meer dicht te kunnen houden. Hierin ook laten zien dat dit tot een aanzienlijke productiestijging leidt. Als teelt zal een warmtegevoelig lichtminnend gewas gekozen moeten worden (tomaat of paprika). Aandacht in deze proef moet worden besteedt aan het gerealiseerd kasklimaat, de groei en productie en het energiegebruik. Hierdoor zullen theoretische berekeningen worden ondersteund en geverifieerd en wordt de verdere ontwikkeling van goedkopere materialen bevorderd.
- Een praktijkproef in een nu al gekoelde kas (rozen) of in een gesloten kas levert additionele waardevolle informatie. Het energiegebruik voor koeling wordt naar verwachting aanzienlijk minder en daarmee ook de investeringskosten voor het gehele gesloten kas systeem. Aandacht in een dergelijke proef moet dan ook met name worden besteedt aan het energieverbruik, naast kasklimaat, groei en productie.
- Ontwikkeling van een hoog transparant NIR-buitenscherm of NIR-kasdek met hoge lichtdoorlatendheid met mogelijk 100% NIR-filtering, NIR-filter vanaf 800-900nm, afhankelijk van de hoekafhankelijke spectrale transmissie, lage prijs. Onderzoek naar levensduur, sterkte en andere randvoorwaarden. Ontwikkeling van een geschikt installatiesysteem voor een NIR-filterend buitenscherm. Onderzoek naar (semi) gesloten kas.

Perspectieven van de verschillende NIR-filterende maatregelen in de tijd:



10 Literatuur

- Abdel-Ghany, A.M., T. Kozai and Chun-Changhoo 2001a – Plastic films vs fluid-roof cover for a greenhouse in a hot climate: a comparative study by simulation. *Journal of Society of High Technology in Agriculture* 13 (4), 237-246.
- Abdel-Ghany, A.M., T. Kozai and Chun-Changhoo 2001b – Evaluation of selected greenhouse covers for use in regions with a hot climate. *Japanese Journal of Tropical Agriculture* 45 (4), 242-250.
- Alweco 2005 – <http://www.alweco.nl/>
- Bot, G.P.A. 1983 - Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Ph. D. Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Breuer, J.J.G. en N.J. van de Braak 1989 - Reference Year for Dutch Greenhouses, *Acta Horticulturae* 248, 1989.
- Brown, E. M. 1939 - Equipment for the growing of plants at controlled temperatures. *Plant Physiology* 14, 517.
- Canham, A. E. 1962 - Shading glasshouses with liquid films. British Electrical and Allied Industries Research Association Report W/T40.
- Chiapale, J.P., C.H.M. van Bavel and E.J. Sadler 1983 – comparison of calculated and measured performance of a fluid-roof and a standard greenhouse. *Energy in Agriculture* 2, 75-89.
- Chiapale, J.P., J. Damagnez and P. Denis 1977 – Modification of a greenhouse environment through the use of a collecting fluid. *Proceedings of the International Symposium on Controlled Environment in Agriculture*, University of Arizona April 1977, 413pp.
- Damagnez, J. 1975 – Utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage et la climatisation des serres. *Rev. Hortic. Suppl.* 121-125.
- Daponte, T.L.F. 1997 - Recent advances in photosensitive films with interference effects. In: *Plant Production in Closed Ecosystems: 123-138* (Editors: Goto, E., Kurata, K., Hayashi, M. and Sase, S.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht – Boston – London.
- De Jong, T. 1990 - Natural ventilation of large multi-span greenhouses. Ph. D. Thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- De Zwart, H.F. 1996 - Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. *IMAG-DLO rapport* 96-05, 236 pp.
- Dueck, T., A. Elings, F. Kempkes, P. Knies, N. van de Braak, N. Garcia, G. Heij, J. Janse, R. Kaarsemaker, P. Korsten, R. Maaswinkel, F. van Noort, M. Ruijs, C. Reijnders, en R. van der Meer 2004 – Energie in kengetallen: op zoek naar een nieuwe balans. *Nota Plant Research International*, 50p.
- Farquhar, G.D., S. von Caemmerer and J.A. Berry 1980 - A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta* 149, 78-90.
- Feuermann, D., R. Kopel, M. Zeroni, S. Levi and J. Gale 1997 – Theory and validation of a liquid radiation filter greenhouse for performance prediction. *Transactions of the ASAE* 40(1), 175-184.

- Feuermann, D., R. Kopel, M. Zeroni, S. Levi and J. Gale 1998 – Evaluation of a liquid radiation filter greenhouse in a desert Environment. Transactions of the ASAE 41(6), 1781-1788.
- Gale, J., D. Feuermann, R. Kopel and S. Levi 1996 – Liquid radiation filter greenhouses (LRFGs) and their use of low quality hot and cold water, for heating and cooling. Acta Horticulturae 440, 93-98.
- Gale, J., D. Feuermann, D. Sivan, R. Kopel and E. Shlomo 2000 – Engineering and economics of liquid radiation filter greenhouses. Acta Horticulturae 534, 361-366.
- Gijzen, H., E. Heuvelink, H. Challa, L.F.M. Marcelis, E. Dayan, S. Cohen and M. Fuchs 1998 - HORTSIM: A model for greenhouse crops and greenhouse climate. Acta Horticulturae 456, 441-450.
- Goudriaan, J. 1988 - The bare bones of leaf-angle distribution in radiation models for canopy photosynthesis and energy exchange. Agricultural and forest meteorology, 43, 155-169.
- Hemming, S.; D. Waaijenberg; J.B. Campen; Impron; G.P.A. Bot 2004 - Development of a greenhouse system for tropical lowland in Indonesia. Paper submitted to ISHS International symposium on Greenhouses, Environmental Controls and In-House Mechanization for Crop Production in the 'Tropics and Sub-Tropics' on 15-17 June 2004 at Cameron Highlands, Malaysia, will be published in Acta Horticulturae.
- Hermadix 2005 - <http://www.hermadix.nl/>
- Hoffmann, S. and D. Waaijenberg 2002 – Tropical and subtropical greenhouses – A challenge for new plastic films. Acta Horticulturae 578, 163-171.
- Marcelis, L.F.M., H.A.G.M van den Boogaard and E. Meinen 2000 - Control of crop growth and nutrient supply by the combined use of crop models and plant sensors. In: Proc. Int. Conf. Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post-Harvested Processing. IFAC, 351-356.
- Maurice 2005 – <http://www.kassenbouw.com/>
- Morris, L.G., E.S. Trickett, F.H. Vanstone and D.A. Wells 1958 – The limitation of maximum temperature in a glasshouse by the use of a water film on the roof. Journal of Agricultural Engineering Research 3, 121-130.
- Nederhoff, E.M. and R. de Graaf 1993 - Effects of CO₂ on leaf conductance and canopy transpiration of greenhouse grown cucumber and tomato. Journal of Horticultural Science 68, 925-937.
- PGO, 2005 - Productinformation “Dielectric Heat Reflecting Hot Mirrors”, Präzisions Glas & Optik GmbH, 58640 Iserlohn, Germany, <http://www.pgo.de> .
- Pollock, R. K., M. J. McMahon, R. E. Young and J. W. Kelly 1990 - Liquid spectral filtering for greenhouses: Regulation of photomorphogenesis in plants. Papers of American Society for Agricultural Engineers 90 (4036), 14.
- Prinz Optics 2005 - Productinformation “Heat Reflection Filters”, Prinz Optics GmbH, 55442 Stromberg, Germany, <http://www.prinzoptics.de> .

- Runkle, E.S., R.D. Heins, P. Jaster and C. Thill 2002a – Environmental conditions under an experimental near infra-red reflecting greenhouse film. *Acta Horticulturae* 578, 181-185.
- Runkle, E.S., R.D. Heins, P. Jaster and C. Thill 2002b – Plant responses under an experimental near infra-red reflecting greenhouse film. *Acta Horticulturae* 580, 137-143.
- Sebesta, Z. and V.V.K. Jeksrud 1989 – The fluid-roof solar greenhouse. IBT-Rapport Norway (262), 18.
- Shen, Y., J.T. Wu and I.P. Wang 1992 – Solar Radiation Quality Inside Greenhouses and An Improvement Technique. *Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society* 30 (3), 321-327.
- Stanghellini, C 1987 - Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. Ph. D. Thesis, Agricultural University Wageningen, The Netherlands.
- Tanaka, J. 1997 – A model experiment on reduction of greenhouse cooling load in the daytime using shading material against infrared radiation as covering. *Environment Control in Biology* 35 (1), 15-20.
- Tross, M.J., D. Degani, A. Ziv and R. Kopel 1984 – An optical liquid filter greenhouse: numerical solution and verification of a thermodynamic model. *Acta Horticulturae* 148, 401-409.
- van Bavel, C.H.M., J. Damagnez and E.J. Sadler 1981 – The fluid-roof solar greenhouse: energy budget analysis by simulation. *Agricultural Meteorology* 23 (1), 61-76.
- van Bavel, C.H.M. 1978 - Projecting crop growth in a fluid-roof solar greenhouse. *Acta Horticulturae* 87, 301-310.
- Verlode, I. and P. Verschaeren 1997 – New interference film for climate control. *Plasticulture* 115, 27-35.
- Verlode, I., T. Daponte and P. Verschaeren 1995 - Interference pigments for greenhouse films. *Plasticulture* 108, 13-26.
- von Elsner, B. and J. Xie 2003 – Effects of interference pigments in shading paint for greenhouses. *Proceedings of the Thirty-first Agricultural Plastics Congress*, August 16-19, 2003 in Grand Rapids, Michigan, USA, 6-16.
- Yoo H. en E. Pak 1993 - Theoretical model of the charging process for stratified thermal storage tanks. *Solar Energy*, 51, 513-519.

Annex

De volgende tabellen geven de resultaten van de KASPRO-berekeningen met verschillende NIR-filterende methodes weer.

A.1. Tomaat onbelicht

Tabel 9 Cumulatieve raamopening per periode [%]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	0.28	0.32	2.05	4.63	12.21	19.48	29.39	37.23	26.99	13.29	3.08	0.68	0.00
nirDekFact1	0.24	0.24	0.79	1.89	6.29	11.48	21.32	29.12	19.09	8.04	1.90	0.54	0.00
nirDekFact0p5	0.26	0.27	1.30	3.13	9.26	15.71	25.71	33.60	23.46	10.73	2.39	0.58	0.00
nirdekzfact1	0.25	0.26	1.16	2.82	8.51	14.44	24.27	32.09	22.14	10.01	2.26	0.57	0.00
nirdekzfact0p5	0.27	0.28	1.57	3.68	10.40	17.09	27.01	34.87	24.73	11.70	2.64	0.61	0.00
nirbisc1_200	0.31	0.40	1.55	4.07	13.94	20.82	31.49	38.74	29.08	13.18	2.84	0.63	0.02
nirbisc1_450	0.28	0.32	1.85	4.51	14.02	20.79	30.83	38.07	28.37	13.53	3.07	0.66	0.00
nirbisc1_600	0.28	0.32	2.05	4.92	13.86	20.33	30.17	37.40	27.36	13.48	3.08	0.65	0.00
nirbisc0p5_200	0.33	0.45	2.36	6.35	17.61	25.21	35.17	41.81	32.15	15.63	3.46	0.71	0.02
nirbisc0p5_450	0.28	0.32	2.22	5.91	15.93	22.84	32.34	39.12	29.37	14.57	3.13	0.67	0.00
nirbisc0p5_600	0.28	0.32	2.05	5.43	14.35	20.83	30.74	37.89	27.70	13.65	3.09	0.67	0.00
nirbisc0p25_200	0.34	0.50	2.90	7.37	19.24	27.08	36.33	43.06	33.37	16.85	3.78	0.76	0.02
nirbisc0p25_450	0.28	0.32	2.49	6.47	16.55	23.51	32.79	39.54	29.73	14.89	3.17	0.68	0.00
nirbisc0p25_600	0.28	0.32	2.05	5.60	14.50	21.00	30.97	38.11	27.85	13.70	3.09	0.68	0.00
nirbusc1_200	0.27	0.25	0.89	2.29	7.30	12.88	22.97	31.09	20.94	9.72	2.21	0.62	0.00
nirbusc1_450	0.28	0.32	1.44	3.41	9.29	15.67	25.70	33.98	23.93	12.00	3.00	0.68	0.00
nirbusc1_600	0.28	0.32	2.05	4.10	10.61	17.71	27.36	35.56	25.84	12.94	3.09	0.68	0.00
nirbusc05_200	0.28	0.27	1.23	3.12	9.27	15.62	25.73	33.74	23.56	11.14	2.49	0.63	0.00
nirbusc05_450	0.28	0.32	1.65	3.87	10.53	17.34	27.32	35.39	25.28	12.54	3.03	0.68	0.00
nirbusc05_600	0.28	0.32	2.05	4.31	11.31	18.48	28.24	36.29	26.33	13.08	3.08	0.68	0.00
nirbusc025_200	0.28	0.27	1.45	3.56	10.21	16.89	26.97	34.95	24.72	11.82	2.65	0.63	0.00
nirbusc025_450	0.28	0.32	1.76	4.11	11.09	18.08	28.04	36.04	25.86	12.77	3.04	0.68	0.00
nirbusc025_600	0.28	0.32	2.05	4.41	11.60	18.82	28.63	36.62	26.56	13.14	3.09	0.68	0.00
redusol	0.28	0.32	2.05	4.63	11.10	14.29	24.32	33.49	26.99	13.29	3.08	0.68	0.00
reduheat	0.28	0.32	2.05	4.63	11.38	15.63	25.66	34.49	26.99	13.29	3.08	0.68	0.00

Tabel 10 Gasverbruik per periode en jaarsom [m³ gas per m² kasgrondvlak]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
refdek	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.3
nirDekFact1	5.6	6.2	5.6	4.9	3.2	2.6	2.4	2.1	2.6	3.2	4.3	2.6	3.6	48.9
nirDekFact0p5	5.4	5.9	5.1	4.4	3.0	2.5	2.3	2.0	2.5	3.1	4.1	2.5	3.4	46.2
nirdekzfact1	5.5	6.0	5.1	4.5	3.0	2.5	2.3	2.1	2.5	3.1	4.2	2.5	3.5	46.8
nirdekzfact0p5	5.3	5.8	4.9	4.3	2.9	2.5	2.2	2.0	2.5	3.1	4.1	2.4	3.4	45.4
nirbisc1_200	5.2	5.7	5.0	4.4	3.0	2.5	2.3	2.0	2.5	3.1	4.1	2.4	3.4	45.6
nirbisc1_450	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.8
nirbisc1_600	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.5
nirbisc0p5_200	5.2	5.7	4.8	4.3	2.9	2.4	2.2	1.9	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.7
nirbisc0p5_450	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	1.9	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.3
nirbisc0p5_600	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.3
nirbisc0p25_200	5.2	5.7	4.8	4.2	2.9	2.4	2.1	1.9	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.3
nirbisc0p25_450	5.2	5.6	4.8	4.2	2.8	2.4	2.1	1.9	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.2
nirbisc0p25_600	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	1.9	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.2
nirbisc1_200_par95	5.2	5.7	4.9	4.4	3.0	2.5	2.3	2.0	2.5	3.1	4.1	2.4	3.4	45.5
nirbisc1_450_par95	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.8
nirbisc1_600_par95	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.4	44.5
nirbusc1_200	5.3	5.8	5.2	4.5	3.0	2.6	2.3	2.1	2.6	3.1	4.1	2.4	3.3	46.3
nirbusc1_450	5.2	5.6	4.8	4.3	3.0	2.5	2.3	2.0	2.5	3.0	4.0	2.4	3.3	44.9
nirbusc1_600	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.6
nirbusc1_opt	5.2	5.6	4.8	4.2	3.0	2.5	2.3	2.1	2.5	3.0	4.0	2.4	3.3	44.8
nirbusc05_200	5.3	5.7	4.9	4.3	3.0	2.5	2.3	2.0	2.5	3.1	4.0	2.4	3.3	45.4
nirbusc05_450	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.5	3.0	4.0	2.4	3.3	44.7
nirbusc05_600	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.5
nirbusc025_200	5.3	5.7	4.9	4.3	2.9	2.5	2.2	2.0	2.5	3.0	4.0	2.4	3.3	45.0
nirbusc025_450	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.5
nirbusc025_600	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.4
nirbusc1_200_par95	5.3	5.8	5.1	4.5	3.0	2.6	2.3	2.1	2.5	3.1	4.1	2.4	3.3	46.1
nirbusc1_450_par95	5.2	5.6	4.8	4.3	3.0	2.5	2.3	2.0	2.5	3.0	4.0	2.4	3.3	44.9
nirbusc1_600_par95	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.4	2.2	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.6
nirbusc1_opt_par95	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.5	2.3	2.1	2.5	3.0	4.0	2.4	3.3	44.8
redusol	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.5	2.3	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.7
reduheat	5.2	5.6	4.8	4.2	2.9	2.5	2.3	2.0	2.4	3.0	4.0	2.4	3.3	44.6

Tabel 11 Vruchtproductie tomaat per periode en jaarsom [kg versgewicht per m² kasgrondvlak]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	jaar	%	zomer	%
refdek	0.00	0.68	3.11	5.52	7.61	9.80	9.24	8.41	7.62	6.80	4.95	1.26	65.0	0.0	27.5	0.0
nirDekFact1	0.00	0.61	3.24	5.76	7.40	9.91	11.11	8.78	8.20	6.90	5.94	1.32	69.2	6.4	29.8	8.6
nirDekFact0p5	0.00	0.61	3.22	5.69	7.39	9.99	9.66	9.17	7.19	7.07	5.94	0.15	66.1	1.7	28.8	4.9
nirdekzfact1	0.00	0.61	3.23	5.71	7.46	10.15	9.79	9.42	7.41	7.30	5.18	0.89	67.1	3.3	29.4	6.9
nirdekzfact0p5	0.00	0.68	3.12	5.60	7.34	9.84	10.20	8.49	7.08	6.83	6.04	1.24	66.5	2.3	28.5	3.9
nirbisc1_200	0.00	0.59	2.95	4.99	6.93	9.03	9.46	7.99	6.41	6.44	4.63	0.80	60.2	-7.4	26.5	-3.6
nirbisc1_450	0.00	0.68	3.10	5.39	7.39	9.42	9.79	8.17	6.52	6.67	4.91	0.86	62.9	-3.2	27.4	-0.3
nirbisc1_600	0.00	0.68	3.12	5.52	7.54	9.57	9.49	8.34	7.11	6.74	4.90	0.86	63.9	-1.7	27.4	-0.2
nirbisc0p5_200	0.00	0.65	2.87	5.08	7.13	8.32	8.96	7.39	6.67	5.89	4.29	1.18	58.4	-10.1	24.7	-10.1
nirbisc0p5_450	0.00	0.68	3.10	5.51	7.75	8.75	9.21	7.65	7.04	5.85	5.36	1.24	62.1	-4.4	25.6	-6.7
nirbisc0p5_600	0.00	0.68	3.12	5.67	7.30	9.30	9.71	7.91	6.23	6.62	5.84	0.14	62.5	-3.8	26.9	-1.9
nirbisc0p25_200	0.00	0.65	2.88	5.02	7.04	8.28	9.13	7.08	5.61	5.97	4.88	0.39	56.9	-12.4	24.5	-10.8
nirbisc0p25_450	0.00	0.68	3.10	5.49	7.62	8.63	9.26	7.30	7.16	6.09	4.53	1.27	61.1	-6.0	25.2	-8.2
nirbisc0p25_600	0.00	0.68	3.12	5.67	7.30	9.30	9.71	7.91	6.23	6.62	5.84	0.00	62.4	-4.0	26.9	-1.9
nirbisc1_200_par95	0.00	0.61	3.15	5.45	6.95	10.46	10.47	8.50	6.63	6.94	5.91	0.00	65.1	0.1	29.4	7.2
nirbisc1_450_par95	0.00	0.61	3.19	5.53	7.00	10.43	10.51	8.54	6.58	6.89	5.91	0.00	65.2	0.3	29.5	7.4
nirbisc1_600_par95	0.00	0.61	3.19	5.52	7.01	10.41	10.46	8.48	6.75	6.82	4.50	1.30	65.1	0.1	29.3	6.9
nirbusc1_200	0.00	0.65	2.95	5.19	6.72	9.04	9.96	8.83	6.98	6.74	4.81	0.84	62.7	-3.5	27.8	1.4
nirbusc1_450	0.00	0.68	3.09	5.46	7.12	9.56	9.46	8.72	6.70	6.81	5.73	1.38	64.7	-0.4	27.7	1.0
nirbusc1_600	0.00	0.68	3.11	5.53	7.21	10.05	9.45	8.26	7.32	6.47	5.73	1.23	65.0	0.1	27.8	1.1
nirbusc1_opt	0.00	0.61	3.18	5.52	7.00	10.52	8.56	8.98	6.69	6.76	5.85	1.23	64.9	-0.1	28.1	2.2
nirbusc0p5_200	0.00	0.65	2.93	5.14	6.80	9.26	8.92	8.48	6.62	6.52	5.44	1.30	62.1	-4.5	26.7	-2.9
nirbusc0p5_450	0.00	0.68	3.09	5.44	7.07	9.86	9.30	8.08	7.11	6.34	5.69	1.25	63.9	-1.7	27.2	-0.8
nirbusc0p5_600	0.00	0.68	3.11	5.52	7.15	9.91	9.36	8.17	7.26	6.40	5.74	1.22	64.5	-0.7	27.4	0.0
nirbusc0p25_200	0.00	0.65	2.93	5.13	6.73	9.08	9.45	7.82	6.56	6.32	5.59	1.16	61.4	-5.5	26.4	-4.0
nirbusc0p25_450	0.00	0.68	3.09	5.42	7.05	9.75	9.19	8.05	7.08	6.30	5.64	1.21	63.4	-2.4	27.0	-1.7
nirbusc0p25_600	0.00	0.68	3.11	5.52	7.14	10.09	9.09	8.30	6.97	6.73	5.43	1.24	64.3	-1.1	27.5	0.1
nirbusc1_200_par95	0.00	0.60	3.15	5.52	7.06	11.03	8.91	9.46	7.14	7.09	4.62	1.31	65.9	1.4	29.4	7.1
nirbusc1_450_par95	0.00	0.61	3.18	5.56	7.06	10.78	8.79	9.22	6.87	6.97	5.97	1.24	66.2	1.9	28.8	4.9
nirbusc1_600_par95	0.00	0.61	3.18	5.53	7.04	10.63	8.70	9.09	6.85	6.88	5.96	1.23	65.7	1.1	28.4	3.5
nirbusc1_opt_par95	0.00	0.61	3.18	5.52	7.04	10.80	8.93	9.39	6.91	6.94	5.88	1.24	66.4	2.2	29.1	6.0
redusol	0.00	0.61	3.18	5.52	6.99	9.50	6.70	7.01	5.81	6.75	5.87	1.24	59.2	0.0	23.2	0.0
reduheat	0.00	0.61	3.18	5.52	6.99	9.82	7.32	7.65	6.06	6.75	5.96	1.25	61.1	3.2	24.8	6.8

Tabel 12 Gemiddelde CO₂-gehalte tijdens de daguren per periode [ppm]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	955	942	905	879	735	654	587	540	619	815	908	909	1009
nirDekFact1	956	943	928	932	843	769	676	617	723	895	925	912	1022
nirDekFact0p5	955	943	921	911	785	704	625	571	661	854	921	912	1014
nirdekzfact1	955	942	923	919	800	721	639	584	678	869	923	912	1017
nirdekzfact0p5	956	941	917	899	765	683	611	559	645	840	916	911	1012
nirbisc1_200	956	943	927	926	836	761	671	621	745	883	922	910	1016
nirbisc1_450	955	941	922	909	789	709	634	585	683	840	910	909	1016
nirbisc1_600	955	941	905	891	768	682	616	563	646	822	908	909	1014
nirbisc0p5_200	955	942	921	913	810	732	654	608	729	869	920	908	1013
nirbisc0p5_450	955	941	917	900	782	700	627	578	679	840	910	908	1013
nirbisc0p5_600	955	941	905	888	762	677	612	559	642	821	908	908	1012
nirbisc0p25_200	956	942	916	903	798	721	646	602	721	864	918	908	1011
nirbisc0p25_450	955	942	913	896	776	695	624	575	675	839	910	908	1011
nirbisc0p25_600	955	942	905	887	759	674	609	557	641	821	907	909	1011
nirbusc1_200	955	943	928	929	829	746	650	587	695	879	924	910	1011
nirbusc1_450	955	942	921	914	771	685	612	558	646	837	911	908	1011
nirbusc1_600	955	942	905	891	752	666	600	548	629	818	907	908	1011
nirbusc05_200	955	943	924	916	789	704	622	566	659	857	922	910	1009
nirbusc05_450	955	942	918	900	755	671	600	550	633	826	910	909	1011
nirbusc05_600	955	942	905	885	744	660	595	545	625	817	908	909	1011
nirbusc025_200	955	944	920	907	771	687	610	557	646	844	917	909	1012
nirbusc025_450	955	942	916	893	748	665	596	547	629	823	910	908	1011
nirbusc025_600	955	942	905	883	741	658	591	543	623	815	907	908	1009
redusol	955	942	905	878	761	741	654	581	619	815	908	908	1009
reduheat	955	942	905	878	753	718	634	569	619	815	908	908	1009

Tabel 13 Gemiddelde kasluchttemperatuur per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	18.1	18.1	18.9	19.4	20.5	21.4	22.5	23.0	21.6	20.1	18.8	17.7	18.7
nirDekFact1	18.0	18.0	18.7	19.1	20.0	20.7	21.7	22.2	20.9	19.6	18.5	17.5	18.6
nirDekFact0p5	18.0	18.0	18.8	19.2	20.3	21.1	22.1	22.6	21.3	19.9	18.7	17.6	18.6
nirdekzfact1	18.0	18.0	18.8	19.2	20.2	21.0	22.0	22.4	21.2	19.8	18.6	17.6	18.6
nirdekzfact0p5	18.0	18.1	18.9	19.3	20.4	21.2	22.2	22.7	21.4	20.0	18.7	17.7	18.7
nirbisc1_200	18.1	18.1	18.8	19.3	20.7	21.8	23.2	23.7	22.0	20.1	18.7	17.7	18.6
nirbisc1_450	18.1	18.1	18.9	19.4	20.7	21.9	23.1	23.6	21.9	20.1	18.8	17.7	18.6
nirbisc1_600	18.1	18.1	18.9	19.4	20.7	21.8	23.0	23.4	21.8	20.1	18.8	17.7	18.6
nirbisc0p5_200	18.1	18.1	18.9	19.5	21.2	22.5	24.0	24.5	22.6	20.3	18.8	17.7	18.7
nirbisc0p5_450	18.1	18.1	18.9	19.5	21.1	22.3	23.7	24.1	22.4	20.3	18.8	17.7	18.7
nirbisc0p5_600	18.1	18.1	18.9	19.5	20.9	22.0	23.3	23.7	21.9	20.2	18.8	17.7	18.7
nirbisc0p25_200	18.1	18.1	19.0	19.6	21.5	22.9	24.4	24.9	22.9	20.5	18.8	17.8	18.7
nirbisc0p25_450	18.1	18.1	19.0	19.6	21.2	22.6	23.9	24.3	22.5	20.3	18.8	17.7	18.7
nirbisc0p25_600	18.1	18.1	18.9	19.5	21.0	22.1	23.4	23.8	22.0	20.2	18.8	17.7	18.7
nirbusc1_200	18.0	18.1	18.7	19.1	20.1	20.9	21.9	22.4	21.1	19.8	18.7	17.7	18.7
nirbusc1_450	18.1	18.1	18.9	19.3	20.3	21.1	22.1	22.6	21.3	20.0	18.8	17.7	18.7
nirbusc1_600	18.1	18.1	18.9	19.3	20.4	21.3	22.2	22.8	21.4	20.1	18.8	17.7	18.7
nirbusc05_200	18.0	18.1	18.8	19.2	20.3	21.1	22.1	22.6	21.3	19.9	18.7	17.7	18.7
nirbusc05_450	18.1	18.1	18.9	19.3	20.4	21.2	22.2	22.7	21.4	20.0	18.8	17.7	18.7
nirbusc05_600	18.1	18.1	18.9	19.4	20.4	21.3	22.3	22.8	21.5	20.1	18.8	17.7	18.7
nirbusc025_200	18.0	18.1	18.9	19.3	20.4	21.2	22.2	22.7	21.4	20.0	18.7	17.7	18.7
nirbusc025_450	18.1	18.1	18.9	19.3	20.4	21.3	22.3	22.8	21.5	20.0	18.8	17.7	18.7
nirbusc025_600	18.1	18.1	18.9	19.4	20.5	21.4	22.4	22.9	21.5	20.1	18.8	17.7	18.7
redusol	18.1	18.1	18.9	19.4	20.4	21.0	22.0	22.6	21.6	20.1	18.8	17.7	18.7
reduheat	18.1	18.1	18.9	19.4	20.4	21.1	22.1	22.7	21.6	20.1	18.8	17.7	18.7

Tabel 14 Gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens de daguren per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	19.7	20.0	21.2	21.3	22.4	23.2	24.1	24.8	23.8	22.4	21.0	19.9	20.1
nirDekFact1	19.5	19.9	20.7	20.7	21.6	22.2	23.1	23.8	22.9	21.6	20.5	19.4	19.9
nirDekFact0p5	19.6	20.0	20.9	21.0	22.0	22.7	23.7	24.3	23.4	22.0	20.7	19.6	20.0
nirdekzfact1	19.6	20.0	20.9	21.0	21.9	22.6	23.5	24.1	23.2	21.9	20.7	19.5	20.0
nirdekzfact0p5	19.6	20.0	21.0	21.1	22.1	22.9	23.8	24.5	23.5	22.2	20.8	19.7	20.1
nirbisc1_200	19.7	20.0	21.0	21.2	22.7	23.8	25.2	25.9	24.5	22.4	20.9	19.7	20.0
nirbisc1_450	19.7	20.0	21.1	21.3	22.7	23.8	25.1	25.8	24.4	22.5	21.0	19.8	20.0
nirbisc1_600	19.7	20.0	21.2	21.3	22.7	23.7	24.9	25.5	24.2	22.5	21.0	19.8	20.0
nirbisc0p5_200	19.7	20.1	21.2	21.6	23.5	24.8	26.3	27.1	25.5	22.9	21.1	19.8	20.1
nirbisc0p5_450	19.7	20.0	21.2	21.5	23.3	24.5	25.8	26.5	25.1	22.7	21.0	19.8	20.1
nirbisc0p5_600	19.7	20.0	21.2	21.4	23.0	24.0	25.3	25.8	24.4	22.5	21.0	19.8	20.1
nirbisc0p25_200	19.7	20.1	21.3	21.7	23.8	25.3	26.8	27.6	26.0	23.1	21.1	19.9	20.1
nirbisc0p25_450	19.7	20.0	21.2	21.6	23.5	24.8	26.2	26.8	25.4	22.9	21.0	19.8	20.1
nirbisc0p25_600	19.7	20.0	21.2	21.5	23.1	24.1	25.5	26.0	24.5	22.5	21.0	19.8	20.1
nirbusc1_200	19.6	20.0	20.8	20.9	21.8	22.4	23.4	24.0	23.1	21.9	20.7	19.7	20.1
nirbusc1_450	19.7	20.0	21.0	21.1	22.0	22.7	23.6	24.3	23.4	22.2	21.0	19.9	20.1
nirbusc1_600	19.7	20.0	21.2	21.2	22.2	22.9	23.8	24.5	23.6	22.3	21.0	19.9	20.1
nirbusc05_200	19.6	20.0	20.9	21.1	22.0	22.7	23.7	24.3	23.4	22.1	20.8	19.7	20.1
nirbusc05_450	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	22.9	23.8	24.5	23.6	22.3	21.0	19.9	20.1
nirbusc05_600	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	23.0	23.9	24.6	23.7	22.4	21.0	19.9	20.1
nirbusc025_200	19.6	20.0	21.0	21.1	22.1	22.9	23.8	24.5	23.5	22.2	20.9	19.8	20.1
nirbusc025_450	19.7	20.0	21.1	21.2	22.2	23.0	23.9	24.6	23.6	22.3	21.0	19.9	20.1
nirbusc025_600	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	23.1	24.0	24.7	23.7	22.4	21.0	19.9	20.1
redusol	19.7	20.0	21.2	21.3	22.2	22.6	23.5	24.3	23.8	22.4	21.0	19.9	20.1
reduheat	19.7	20.0	21.2	21.3	22.3	22.7	23.7	24.4	23.8	22.4	21.0	19.9	20.1

Tabel 15 Gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens de nachturen per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.7	18.8	19.4	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
nirDekFact1	17.2	16.8	16.7	16.9	17.3	17.5	18.5	19.1	18.0	17.5	17.1	16.5	18.0
nirDekFact0p5	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirdekzfact1	17.2	16.8	16.7	16.9	17.3	17.5	18.6	19.2	18.1	17.6	17.1	16.5	18.1
nirdekzfact0p5	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc1_200	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc1_450	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.4	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc1_600	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.6	18.8	19.4	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc0p5_200	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.7	18.8	19.5	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc0p5_450	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.7	18.8	19.5	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc0p5_600	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.7	18.8	19.5	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc0p25_200	17.2	16.8	16.8	16.9	17.5	17.7	18.9	19.6	18.4	17.7	17.1	16.5	18.1
nirbisc0p25_450	17.2	16.8	16.8	16.9	17.5	17.7	18.9	19.6	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbisc0p25_600	17.2	16.8	16.8	16.9	17.5	17.7	18.9	19.5	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc1_200	17.2	16.8	16.7	16.9	17.3	17.5	18.5	19.1	18.1	17.5	17.1	16.5	18.1
nirbusc1_450	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.5	18.6	19.2	18.1	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc1_600	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc05_200	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.6	19.3	18.1	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc05_450	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc05_600	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.6	18.7	19.4	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc025_200	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc025_450	17.2	16.8	16.7	16.9	17.4	17.6	18.7	19.4	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
nirbusc025_600	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.6	18.8	19.4	18.2	17.6	17.1	16.5	18.1
redusol	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.5	18.6	19.3	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1
reduheat	17.2	16.8	16.8	16.9	17.4	17.6	18.7	19.3	18.3	17.6	17.1	16.5	18.1

Tabel 16 Gemiddelde gewastemperatuur per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	17.0	17.5	18.7	19.2	20.5	21.4	22.4	22.8	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
nirDekFact1	17.0	17.5	18.3	18.8	19.9	20.7	21.6	22.0	20.8	19.5	18.3	17.2	17.0
nirDekFact0p5	17.0	17.5	18.5	19.0	20.2	21.0	22.0	22.4	21.1	19.7	18.4	17.3	17.1
nirdekzfact1	17.0	17.5	18.5	19.0	20.1	20.9	21.8	22.2	21.0	19.6	18.4	17.3	17.1
nirdekzfact0p5	17.0	17.5	18.6	19.1	20.3	21.2	22.1	22.5	21.2	19.8	18.4	17.3	17.1
nirbisc1_200	17.0	17.5	18.5	19.0	20.5	21.6	22.9	23.4	21.7	19.8	18.4	17.3	17.1
nirbisc1_450	17.0	17.5	18.6	19.1	20.5	21.7	22.9	23.3	21.7	19.9	18.5	17.4	17.1
nirbisc1_600	17.0	17.5	18.7	19.2	20.6	21.6	22.8	23.1	21.6	19.9	18.5	17.4	17.1
nirbisc0p5_200	17.0	17.5	18.6	19.2	21.0	22.3	23.8	24.2	22.3	20.1	18.5	17.4	17.1
nirbisc0p5_450	17.0	17.5	18.6	19.2	20.9	22.2	23.4	23.8	22.1	20.0	18.5	17.4	17.1
nirbisc0p5_600	17.0	17.5	18.7	19.2	20.8	21.9	23.1	23.4	21.7	20.0	18.5	17.4	17.1
nirbisc0p25_200	17.1	17.6	18.7	19.3	21.2	22.7	24.1	24.6	22.7	20.2	18.5	17.4	17.2
nirbisc0p25_450	17.0	17.5	18.7	19.3	21.1	22.4	23.7	24.1	22.3	20.1	18.5	17.4	17.2
nirbisc0p25_600	17.0	17.5	18.7	19.3	20.9	22.0	23.3	23.5	21.8	20.0	18.5	17.4	17.2
nirbusc1_200	17.0	17.5	18.3	18.8	19.9	20.6	21.5	22.0	20.8	19.5	18.3	17.3	17.2
nirbusc1_450	17.0	17.5	18.5	19.0	20.1	20.9	21.8	22.2	21.0	19.8	18.5	17.4	17.2
nirbusc1_600	17.0	17.5	18.7	19.1	20.3	21.1	22.0	22.5	21.3	19.9	18.5	17.4	17.2
nirbusc05_200	17.0	17.5	18.5	19.0	20.1	20.9	21.9	22.3	21.0	19.7	18.4	17.3	17.2
nirbusc05_450	17.0	17.5	18.6	19.1	20.2	21.1	22.0	22.4	21.2	19.8	18.5	17.4	17.2
nirbusc05_600	17.0	17.5	18.7	19.1	20.3	21.2	22.2	22.6	21.3	19.9	18.5	17.4	17.2
nirbusc025_200	17.0	17.5	18.5	19.0	20.2	21.0	22.0	22.4	21.1	19.7	18.4	17.4	17.2
nirbusc025_450	17.0	17.5	18.6	19.1	20.3	21.2	22.1	22.5	21.2	19.8	18.5	17.4	17.2
nirbusc025_600	17.0	17.5	18.7	19.2	20.4	21.3	22.2	22.6	21.3	19.9	18.5	17.4	17.2
redusol	17.0	17.5	18.7	19.2	20.3	20.7	21.7	22.2	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2
reduheat	17.0	17.5	18.7	19.2	20.4	20.9	21.9	22.4	21.4	19.9	18.5	17.4	17.2

Tabel 17 Gemiddelde RV per periode [%]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	70.4	78.9	82.0	83.3	81.9	80.8	79.8	80.7	81.5	85.3	85.2	84.1	69.2
nirDekFact1	70.3	78.5	82.8	85.2	86.3	86.1	84.9	85.2	85.9	87.8	85.7	84.2	70.0
nirDekFact0p5	70.4	78.8	82.6	84.3	84.0	83.2	82.1	82.7	83.5	86.5	85.5	84.2	69.6
nirdekzfact1	70.3	78.7	82.7	84.6	84.6	84.1	83.0	83.6	84.2	86.9	85.6	84.2	69.7
nirdekzfact0p5	70.4	78.8	82.4	84.0	83.2	82.3	81.3	82.0	82.8	86.1	85.4	84.2	69.4
nirbisc1_200	70.7	79.1	83.1	84.9	85.6	85.8	85.4	86.5	85.9	86.9	85.7	84.2	69.6
nirbisc1_450	70.4	78.9	82.6	84.3	84.5	84.3	83.7	84.6	84.3	86.1	85.3	84.0	69.6
nirbisc1_600	70.4	78.9	82.0	83.8	83.5	82.6	82.2	82.8	82.7	85.5	85.2	84.0	69.6
nirbisc0p5_200	70.7	79.1	82.7	84.3	84.4	84.4	84.1	85.3	84.8	86.3	85.5	84.2	69.4
nirbisc0p5_450	70.4	78.9	82.4	84.0	83.6	83.3	82.7	83.7	83.5	85.9	85.2	84.1	69.4
nirbisc0p5_600	70.4	78.9	82.0	83.5	82.9	82.1	81.6	82.4	82.3	85.4	85.2	84.1	69.4
nirbisc0p25_200	70.6	79.1	82.5	84.0	83.8	83.8	83.4	84.7	84.2	86.1	85.4	84.2	69.2
nirbisc0p25_450	70.4	78.9	82.3	83.8	83.2	82.9	82.2	83.3	83.2	85.7	85.2	84.1	69.3
nirbisc0p25_600	70.4	78.9	82.0	83.5	82.7	81.9	81.3	82.2	82.2	85.4	85.2	84.1	69.3
nirbusc1_200	70.3	78.9	82.7	84.7	85.1	84.7	83.5	83.9	84.7	86.9	85.6	84.1	69.3
nirbusc1_450	70.4	78.9	82.5	84.3	84.0	83.3	82.1	82.5	83.4	86.1	85.2	84.1	69.2
nirbusc1_600	70.4	78.9	82.0	83.7	83.0	81.9	81.0	81.5	82.1	85.5	85.2	84.1	69.2
nirbusc05_200	70.4	78.9	82.5	84.2	83.7	83.0	81.8	82.5	83.3	86.3	85.4	84.1	69.2
nirbusc05_450	70.4	78.9	82.4	83.9	83.0	82.1	81.0	81.7	82.5	85.7	85.2	84.1	69.2
nirbusc05_600	70.4	78.9	82.0	83.5	82.5	81.4	80.5	81.1	81.9	85.4	85.2	84.1	69.2
nirbusc025_200	70.4	78.9	82.4	83.9	83.1	82.2	81.1	81.9	82.7	85.9	85.3	84.1	69.2
nirbusc025_450	70.4	78.9	82.3	83.7	82.6	81.6	80.6	81.3	82.1	85.6	85.2	84.1	69.2
nirbusc025_600	70.4	78.9	82.0	83.4	82.3	81.2	80.2	81.0	81.7	85.3	85.2	84.1	69.2
redusol	70.4	78.9	82.0	83.3	82.7	83.6	82.3	82.3	81.5	85.3	85.2	84.1	69.2
reduheat	70.4	78.9	82.0	83.3	82.5	82.9	81.7	81.9	81.5	85.3	85.2	84.1	69.2

Tabel 18 Gemiddelde RV tijdens de daguren per periode [%]

periode	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
refdek	64.8	81.7	86.4	86.0	82.8	80.9	79.2	78.7	80.8	87.2	88.9	88.0	63.7
nirDekFact1	64.3	80.5	88.0	89.1	89.2	88.0	85.9	84.7	87.4	91.6	89.9	87.9	64.9
nirDekFact0p5	64.6	81.2	87.6	87.7	85.9	84.1	82.2	81.3	83.7	89.3	89.6	88.0	64.3
nirdekzfact1	64.5	81.1	87.9	88.2	86.7	85.2	83.4	82.4	84.8	90.1	89.7	88.1	64.3
nirdekzfact0p5	64.7	81.4	87.3	87.1	84.7	82.9	81.2	80.4	82.7	88.6	89.3	88.1	64.0
nirbisc1_200	65.4	81.9	88.3	88.5	88.3	87.8	87.0	87.2	87.8	90.1	89.8	87.9	64.2
nirbisc1_450	64.8	81.6	87.4	87.5	86.7	85.8	84.7	84.4	85.3	88.8	89.0	87.8	64.3
nirbisc1_600	64.8	81.6	86.4	86.7	85.2	83.4	82.6	81.8	82.7	87.7	88.9	87.8	64.3
nirbisc0p5_200	65.2	81.9	87.6	87.6	86.8	86.2	85.5	85.8	86.3	89.2	89.4	88.0	63.9
nirbisc0p5_450	64.8	81.6	87.0	87.1	85.6	84.6	83.5	83.3	84.3	88.4	88.9	88.0	64.0
nirbisc0p5_600	64.8	81.6	86.4	86.4	84.4	82.8	81.9	81.3	82.2	87.5	88.9	88.0	63.9
nirbisc0p25_200	65.1	81.8	87.1	87.2	86.1	85.4	84.7	85.2	85.7	88.8	89.2	87.9	63.7
nirbisc0p25_450	64.8	81.7	86.8	86.8	85.1	84.0	82.9	82.8	83.8	88.1	88.9	88.0	63.7
nirbisc0p25_600	64.8	81.7	86.4	86.3	84.2	82.6	81.6	81.0	82.0	87.5	88.9	88.0	63.7
nirbusc1_200	64.5	81.4	87.8	88.4	87.4	85.9	83.9	82.8	85.5	90.0	89.7	88.1	63.7
nirbusc1_450	64.8	81.7	87.5	87.6	85.7	84.1	82.1	81.0	83.5	88.7	89.0	88.0	63.6
nirbusc1_600	64.8	81.7	86.4	86.7	84.3	82.2	80.7	79.6	81.6	87.5	88.9	88.0	63.7
nirbusc05_200	64.6	81.5	87.5	87.5	85.4	83.7	81.8	81.0	83.3	88.9	89.4	88.1	63.7
nirbusc05_450	64.8	81.7	87.2	86.9	84.4	82.5	80.7	79.8	82.1	88.0	89.0	88.0	63.6
nirbusc05_600	64.8	81.7	86.4	86.3	83.6	81.5	80.0	79.2	81.3	87.4	88.9	88.0	63.6
nirbusc025_200	64.6	81.6	87.2	87.0	84.5	82.7	80.9	80.1	82.4	88.3	89.2	88.1	63.6
nirbusc025_450	64.8	81.7	87.0	86.6	83.8	81.9	80.2	79.3	81.6	87.7	88.9	88.0	63.6
nirbusc025_600	64.8	81.7	86.4	86.2	83.3	81.3	79.7	79.0	81.1	87.3	88.9	88.0	63.7

Tabel 19 Gemiddelde PAR-straling in de kas per periode [W PAR per m²]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
refdek	18.2	29.6	78.5	98.3	145.2	174.4	185.2	167.5	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	1199
nirDekFact1	18.2	29.6	78.5	98.3	145.2	174.4	185.2	167.5	138.6	83.4	43.9	22.9	12.9	1199
nirDekFact0p5	18.2	29.6	78.5	98.3	145.2	174.4	185.2	167.5	138.6	83.4	43.9	22.9	12.9	1199
nirdekzfact1	18.2	29.6	78.5	98.3	145.2	174.4	185.2	167.5	138.6	83.4	43.9	22.9	12.9	1199
nirdekzfact0p5	18.2	29.6	78.5	98.3	145.2	174.4	185.2	167.5	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	1199
nirbisc1_200	17.4	27.5	68.5	85.6	124.0	148.3	158.1	143.4	118.5	73.3	39.5	21.9	13.0	1039
nirbisc1_450	18.2	29.6	74.6	92.4	131.8	157.1	165.8	151.1	125.9	79.6	43.5	23.0	13.1	1106
nirbisc1_600	18.2	29.6	78.5	95.6	136.7	164.5	172.3	157.9	132.7	82.2	43.9	23.0	13.1	1148
nirbisc0p5_200	17.4	27.6	68.4	85.3	123.5	147.8	157.5	143.0	118.1	73.1	39.5	21.9	13.0	1036
nirbisc0p5_450	18.2	29.6	74.6	92.2	131.5	156.8	165.6	150.9	125.7	79.4	43.5	23.0	13.1	1104
nirbisc0p5_600	18.2	29.6	78.5	95.5	136.7	164.5	172.2	157.8	132.7	82.2	43.9	23.0	13.1	1148
nirbisc0p25_200	17.4	27.5	68.4	85.3	123.4	147.6	157.4	142.8	117.9	73.0	39.5	21.9	13.0	1035
nirbisc0p25_450	18.2	29.6	74.6	92.1	131.5	156.7	165.5	150.9	125.7	79.4	43.5	23.0	13.1	1104
nirbisc0p25_600	18.2	29.6	78.5	95.5	136.7	164.6	172.3	157.8	132.7	82.2	43.9	23.0	13.1	1148
nirbisc1_200_par95	18.0	29.0	75.7	94.8	139.2	167.0	177.2	160.4	132.7	80.5	42.7	22.7	13.1	1153
nirbisc1_450_par95	18.2	29.6	77.4	96.6	141.4	169.4	179.4	162.6	134.8	82.2	43.8	23.0	13.1	1172
nirbisc1_600_par95	18.2	29.6	78.5	97.5	142.7	171.5	181.3	164.5	136.8	83.0	43.9	23.0	13.1	1184
nirbusc1_200	17.6	28.1	70.9	88.8	129.8	155.0	163.6	147.9	122.8	75.0	40.3	21.8	12.8	1074
nirbusc1_450	18.2	29.6	75.3	93.6	135.3	161.6	169.8	154.1	128.5	79.6	43.6	22.9	13.0	1125
nirbusc1_600	18.2	29.6	78.5	96.1	138.9	167.1	174.9	159.3	133.9	82.3	43.9	22.9	12.9	1159
nirbusc1_opt	18.2	29.6	78.5	97.4	135.9	157.8	164.4	151.0	130.4	82.3	43.9	22.9	13.0	1125
nirbusc05_200	17.6	28.1	70.9	88.8	129.8	155.0	163.6	147.9	122.8	75.0	40.3	21.8	12.8	1074
nirbusc05_450	18.2	29.6	75.3	93.6	135.3	161.6	169.8	154.1	128.5	79.6	43.6	22.9	13.0	1125
nirbusc05_600	18.2	29.6	78.5	96.1	138.9	167.1	174.9	159.3	133.9	82.3	43.9	22.9	13.0	1159
nirbusc025_200	17.6	28.1	70.9	88.8	129.8	155.0	163.6	147.9	122.8	75.0	40.3	21.8	12.8	1074
nirbusc025_450	18.2	29.6	75.3	93.6	135.3	161.6	169.8	154.1	128.5	79.6	43.6	22.9	13.0	1125
nirbusc025_600	18.2	29.6	78.5	96.1	138.9	167.1	174.9	159.3	133.9	82.3	43.9	22.9	13.0	1159
nirbusc1_200_par95	18.0	29.1	76.1	95.3	140.4	168.2	178.0	160.9	133.4	80.6	42.8	22.5	12.9	1158
nirbusc1_450_par95	18.2	29.6	77.5	96.7	142.0	170.2	180.0	162.9	135.2	82.1	43.8	22.9	13.0	1174
nirbusc1_600_par95	18.2	29.6	78.5	97.5	143.1	172.0	181.6	164.6	137.0	83.0	43.9	22.9	13.0	1185
nirbusc1_opt_par95	18.2	29.6	78.5	98.0	142.2	169.1	178.2	161.9	135.8	83.0	43.9	22.9	13.0	1174
redusol	18.2	29.6	78.5	98.3	130.9	116.3	123.5	121.8	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	1019
reduheat	18.2	29.6	78.5	98.3	134.9	132.5	140.7	134.5	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	1069

Tabel 20 Gemiddelde NIR-straling in de kas per periode [W NIR per m²]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
refdek	18.2	29.6	78.5	98.3	145.2	174.4	185.2	167.5	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	1199
nirDekFact1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
nirDekFact0p5	9.1	14.8	39.2	49.1	72.6	87.2	92.6	83.8	69.3	41.7	22.0	11.5	6.5	599
nirdekzfact1	7.8	12.9	31.0	38.4	54.5	62.3	59.3	52.4	46.9	29.4	17.1	8.9	5.4	426
nirdekzfact0p5	13.0	21.2	54.7	68.3	99.9	118.3	122.2	110.0	92.7	56.4	30.5	15.9	9.2	812
nirbisc1_200	13.5	18.6	23.8	28.9	28.4	29.6	30.2	28.7	25.2	26.2	19.4	13.0	7.2	293
nirbisc1_450	17.9	29.4	56.5	65.2	70.2	77.3	73.1	71.3	65.9	60.1	41.7	19.3	7.8	656
nirbisc1_600	17.9	29.4	78.4	82.6	96.8	118.3	109.8	109.8	104.2	75.8	43.9	19.3	7.8	894
nirbisc0p5_200	15.9	24.0	50.3	61.9	84.1	98.8	104.7	95.7	79.5	53.6	31.3	18.3	10.6	729
nirbisc0p5_450	18.1	29.5	67.3	80.7	106.0	124.0	127.6	118.2	101.0	71.2	42.8	21.5	11.0	919
nirbisc0p5_600	18.1	29.5	78.5	90.1	120.5	145.8	146.8	138.2	121.3	79.6	43.9	21.5	11.0	1045
nirbisc0p25_200	17.0	26.6	63.6	79.0	112.9	134.5	143.4	130.2	107.6	67.7	37.3	21.0	12.4	953
nirbisc0p25_450	18.2	29.5	72.6	89.0	124.7	147.9	155.5	142.2	119.1	77.2	43.3	22.6	12.5	1054
nirbisc0p25_600	18.2	29.5	78.5	94.1	132.4	159.6	165.5	152.6	129.7	81.5	43.9	22.6	12.5	1121
nirbisc1_200_par95	13.4	18.5	22.7	27.5	25.4	25.8	25.1	24.1	22.0	24.6	18.9	12.8	7.2	268
nirbisc1_450_par95	17.9	29.4	56.0	64.0	68.0	74.3	69.3	67.9	63.7	59.1	41.7	19.3	7.8	638
nirbisc1_600_par95	17.9	29.4	78.4	82.1	95.3	116.6	107.1	107.5	103.3	75.5	43.9	19.3	7.8	884
nirbusc1_200	13.9	17.8	16.7	20.1	17.4	15.9	16.6	16.1	14.5	18.8	16.1	15.8	12.3	212
nirbusc1_450	18.2	29.6	54.0	61.3	64.9	71.0	66.3	65.5	61.2	57.4	41.6	22.9	13.0	627
nirbusc1_600	18.2	29.6	78.5	81.7	95.1	116.4	106.3	106.7	103.5	75.5	43.9	22.9	12.9	891
nirbusc1_opt	18.2	29.6	78.5	90.1	70.4	39.3	22.6	41.9	75.1	75.5	43.9	22.9	13.0	621
nirbusc05_200	15.7	23.0	43.8	54.4	73.6	85.5	90.1	82.0	68.7	46.9	28.2	18.8	12.6	643
nirbusc05_450	18.2	29.6	64.6	77.4	100.1	116.3	118.0	109.8	94.9	68.5	42.6	22.9	13.0	876
nirbusc05_600	18.2	29.6	78.5	88.9	117.0	141.8	140.6	133.0	118.7	78.9	43.9	22.9	13.0	1025
nirbusc025_200	16.6	25.6	57.3	71.6	101.7	120.2	126.9	115.0	95.7	60.9	34.3	20.3	12.7	859
nirbusc025_450	18.2	29.6	70.0	85.5	117.7	138.9	143.9	132.0	111.7	74.1	43.1	22.9	13.0	1001
nirbusc025_600	18.2	29.6	78.5	92.5	127.9	154.4	157.7	146.2	126.3	80.6	43.9	22.9	13.0	1092
nirbusc1_200_par95	13.9	17.8	16.7	20.1	17.5	15.9	16.6	16.1	14.6	18.8	16.1	15.8	12.3	212
nirbusc1_450_par95	18.2	29.6	54.0	61.4	64.9	71.0	66.3	65.6	61.3	57.4	41.6	22.9	13.0	627
nirbusc1_600_par95	18.2	29.6	78.5	81.7	95.1	116.5	106.4	106.8	103.6	75.5	43.9	22.9	13.0	892
nirbusc1_opt_par95	18.2	29.6	78.5	90.2	70.4	39.3	22.7	42.0	75.1	75.5	43.9	22.9	13.0	621
redusol	18.2	29.6	78.5	98.3	123.7	87.2	92.6	98.9	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	929
reduheat	18.2	29.6	78.5	98.3	126.7	99.4	105.5	108.5	138.6	83.4	43.9	22.9	13.0	966

A.2. Tomaat belicht

Tabel 21 Cumulatieve raamopening [%]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	3.41	1.19	2.96	6.30	12.84	19.22	28.96	36.67	26.62	17.76	6.15	1.13	2.47
nirDekFact1	3.07	0.98	1.64	3.38	6.89	11.26	20.89	28.52	18.68	12.57	4.67	0.92	1.99
nirDekFact0p5	3.25	1.07	2.18	4.72	9.88	15.45	25.26	33.01	23.07	15.24	5.32	0.99	2.22
nirdekzfact1	3.23	1.07	2.05	4.43	9.13	14.19	23.82	31.50	21.73	14.52	5.18	0.98	2.19
nirdekzfact0p5	3.32	1.13	2.47	5.32	11.02	16.81	26.56	34.29	24.36	16.19	5.64	1.04	2.33
nirbisc1_200	3.40	1.19	2.49	5.74	14.37	20.74	30.97	38.42	28.29	17.66	5.92	1.08	2.25
nirbisc1_450	3.39	1.19	2.79	6.17	14.50	20.44	30.19	37.34	27.79	17.82	6.14	1.10	2.25
nirbisc1_600	3.39	1.19	2.97	6.54	14.46	20.06	29.76	36.86	26.99	17.95	6.16	1.10	2.25
nirbisc0p5_200	3.44	1.23	3.21	7.62	18.07	24.67	34.63	41.06	31.68	19.91	6.50	1.16	2.39
nirbisc0p5_450	3.40	1.20	3.15	7.26	16.34	22.28	31.85	38.51	28.94	18.83	6.22	1.12	2.39
nirbisc0p5_600	3.40	1.20	2.97	7.05	14.98	20.58	30.30	37.35	27.33	18.11	6.16	1.12	2.39
nirbisc0p25_200	3.46	1.26	3.61	8.78	19.53	26.23	35.83	42.35	32.84	20.96	6.82	1.21	2.47
nirbisc0p25_450	3.41	1.20	3.33	7.90	17.07	23.04	32.31	38.96	29.33	19.29	6.24	1.13	2.46
nirbisc0p25_600	3.41	1.20	2.96	7.24	15.12	20.74	30.53	37.57	27.48	18.17	6.16	1.13	2.46
nirbusc1_200	3.40	1.15	1.91	4.09	8.12	12.89	22.80	30.74	20.78	14.32	5.31	1.07	2.46
nirbusc1_450	3.41	1.19	2.39	5.10	9.99	15.53	25.36	33.47	23.60	16.50	6.07	1.13	2.47
nirbusc1_600	3.41	1.19	2.96	5.77	11.26	17.47	26.97	35.03	25.48	17.41	6.15	1.13	2.47
nirbusc0p5_200	3.41	1.16	2.23	4.87	10.00	15.49	25.40	33.28	23.28	15.66	5.58	1.08	2.47
nirbusc0p5_450	3.41	1.19	2.59	5.56	11.18	17.11	26.91	34.84	24.91	17.00	6.10	1.13	2.47
nirbusc0p5_600	3.41	1.19	2.96	5.97	11.95	18.24	27.84	35.75	25.98	17.55	6.15	1.14	2.47
nirbusc0p25_200	3.41	1.17	2.43	5.28	10.90	16.69	26.59	34.42	24.40	16.32	5.74	1.08	2.47
nirbusc0p25_450	3.41	1.19	2.69	5.78	11.72	17.81	27.61	35.47	25.48	17.24	6.11	1.14	2.47
nirbusc0p25_600	3.41	1.19	2.96	6.08	12.24	18.57	28.22	36.07	26.19	17.61	6.15	1.13	2.47
redusol	4.57	1.46	3.05	6.53	12.12	14.50	24.53	33.72	27.32	18.32	6.44	1.10	3.11
reduheat	4.57	1.46	3.05	6.53	12.40	15.87	25.90	34.73	27.32	18.32	6.44	1.10	3.11

Tabel 22 Gasverbruik per periode en jaarsom [m³ gas per m² kasgrondvlak]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
refdek	9.5	9.0	6.7	6.1	3.5	2.4	2.2	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.4
nirDekFact1	9.7	9.3	7.3	6.7	3.8	2.7	2.4	2.1	2.6	5.6	8.0	3.2	7.1	70.5
nirDekFact0p5	9.6	9.1	6.9	6.3	3.6	2.5	2.3	2.1	2.5	5.6	7.9	3.1	7.1	68.6
nirdekzfact1	9.6	9.1	7.0	6.4	3.7	2.6	2.4	2.1	2.6	5.6	7.9	3.1	7.1	69.1
nirdekzfact0p5	9.6	9.0	6.8	6.2	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	68.1
nirbisc1_200	9.5	9.0	6.8	6.2	3.6	2.6	2.3	2.0	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	68.2
nirbisc1_450	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	67.6
nirbisc1_600	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.2	2.0	2.5	5.5	7.8	3.0	7.1	67.5
nirbisc0p5_200	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.2	2.0	2.4	5.6	7.8	3.0	7.1	67.5
nirbisc0p5_450	9.5	9.0	6.7	6.1	3.5	2.4	2.2	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.3
nirbisc0p5_600	9.5	9.0	6.7	6.1	3.5	2.4	2.2	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.3
nirbisc0p25_200	9.5	9.0	6.6	6.1	3.5	2.4	2.2	1.9	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.2
nirbisc0p25_450	9.5	9.0	6.6	6.1	3.5	2.4	2.2	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.2
nirbisc0p25_600	9.5	9.0	6.6	6.1	3.5	2.4	2.2	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.2
nirbusc1_200	9.6	9.1	7.1	6.4	3.7	2.6	2.4	2.1	2.6	5.6	7.9	3.0	7.1	69.1
nirbusc1_450	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.3	2.1	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	67.9
nirbusc1_600	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.5	7.8	3.0	7.1	67.6
nirbusc0p5_200	9.6	9.1	6.9	6.2	3.6	2.5	2.3	2.1	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	68.3
nirbusc0p5_450	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	67.7
nirbusc0p5_600	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.5	7.8	3.0	7.1	67.5
nirbusc0p25_200	9.6	9.0	6.8	6.2	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.6	7.8	3.0	7.1	67.9
nirbusc0p25_450	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.3	2.0	2.5	5.5	7.8	3.0	7.1	67.6
nirbusc0p25_600	9.5	9.0	6.7	6.1	3.6	2.5	2.2	2.0	2.5	5.5	7.8	3.0	7.1	67.5
redusol	9.5	9.0	6.6	6.0	3.5	2.5	2.3	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.4
reduheat	9.5	9.0	6.6	6.0	3.5	2.5	2.3	2.0	2.4	5.5	7.8	3.0	7.1	67.3

Tabel 23 Energieverniegting per periode en per teelt totaal [MJ] en gasequivalent [m³]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	teelt	gas [m3]
refdek	42.3	29.1	9.1	11.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	34.6	6.7	39.3	194.7	6.2
nirDekFact1	36.7	23.2	6.0	9.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6	31.8	5.2	35.4	167.2	5.3
nirDekFact0p5	39.0	25.7	7.6	10.3	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.7	33.3	6.5	37.2	180.8	5.7
nirdekzfact1	38.7	25.3	7.6	10.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6	33.1	6.2	36.9	179.0	5.7
nirdekzfact0p5	40.1	26.8	8.5	10.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	34.0	6.6	38.0	186.4	5.9
nirbisc1_200	41.7	27.1	8.3	10.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	33.8	6.6	38.3	187.1	5.9
nirbisc1_450	42.3	29.0	8.6	10.8	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	34.6	6.7	38.4	192.4	6.1
nirbisc1_600	42.3	29.0	9.0	11.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	34.6	6.7	38.4	193.3	6.1
nirbisc0p5_200	42.4	28.1	8.6	10.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	34.1	6.7	38.8	191.3	6.0
nirbisc0p5_450	42.4	28.9	8.9	11.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	34.6	6.7	39.1	193.9	6.1
nirbisc0p5_600	42.4	28.9	9.0	11.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	34.6	6.7	39.1	194.2	6.1
nirbisc0p25_200	42.5	28.6	8.5	10.9	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	34.3	6.7	39.1	192.7	6.1
nirbisc0p25_450	42.3	29.1	9.0	11.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	34.7	6.6	39.3	194.5	6.1
nirbisc0p25_600	42.3	29.1	9.0	11.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.5	34.6	6.7	39.3	194.6	6.1
nirbusc1_200	40.6	26.4	8.0	10.3	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	33.4	6.3	38.9	184.5	5.8
nirbusc1_450	42.3	29.1	8.8	10.8	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	34.6	6.7	39.3	193.4	6.1
nirbusc1_600	42.3	29.1	9.1	11.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	34.7	6.7	39.3	194.3	6.1
nirbusc0p5_200	41.3	27.1	8.5	10.8	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	33.6	6.5	39.0	188.4	6.0
nirbusc0p5_450	42.3	29.1	8.9	10.9	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	34.6	6.7	39.3	193.9	6.1
nirbusc0p5_600	42.3	29.1	9.1	11.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	34.6	6.6	39.2	194.4	6.1
nirbusc0p25_200	41.6	27.6	8.7	10.8	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	34.2	6.6	39.1	190.4	6.0
nirbusc0p25_450	42.3	29.1	8.9	11.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	34.7	6.7	39.3	194.1	6.1
nirbusc0p25_600	42.3	29.1	9.1	11.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	34.6	6.7	39.3	194.4	6.1

Tabel 24 Vruchtproductie tomaat per periode en jaarrond [kg versgewicht per m² kasgrondvlak]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	jaar	%	zomer	%
refdek	0.00	3.64	6.31	6.81	7.09	9.44	9.50	7.95	6.74	6.53	5.77	1.38	71.2	0.0	26.9	0.0
nirDekFact1	0.00	3.73	6.48	7.18	8.31	9.29	10.80	8.50	7.21	7.68	5.78	1.45	76.4	7.3	28.6	6.3
nirDekFact0p5	0.00	3.66	6.29	7.14	7.63	8.72	10.54	8.43	7.39	6.77	5.85	1.57	74.0	4.0	27.7	3.0
nirdekzfact1	0.00	3.69	6.31	7.23	7.74	8.86	10.54	8.26	7.97	6.90	5.81	0.47	73.8	3.7	27.7	2.8
nirdekzfact0p5	0.00	3.65	6.25	7.19	7.26	9.03	9.81	8.75	6.89	6.66	5.98	1.40	72.9	2.4	27.6	2.6
nirbisc1_200	0.00	3.59	6.02	6.72	6.82	8.85	8.68	7.03	6.87	6.10	5.43	0.15	66.3	-6.9	24.6	-8.7
nirbisc1_450	0.00	3.65	6.17	6.91	7.08	9.21	9.00	7.23	7.10	6.32	5.35	0.45	68.5	-3.8	25.4	-5.4
nirbisc1_600	0.00	3.65	6.18	6.98	7.19	9.39	9.26	7.08	7.11	6.76	5.59	0.46	69.6	-2.1	25.7	-4.3
nirbisc0p5_200	0.00	3.58	6.10	6.39	6.96	8.26	8.49	6.83	6.55	5.72	4.75	0.88	64.5	-9.4	23.6	-12.3
nirbisc0p5_450	0.00	3.65	6.15	6.83	7.31	8.65	8.87	7.30	6.16	6.06	5.31	1.39	67.7	-4.9	24.8	-7.7
nirbisc0p5_600	0.00	3.65	6.18	6.94	7.10	9.41	8.85	7.68	6.58	6.36	5.75	0.16	68.6	-3.6	25.9	-3.6
nirbisc0p25_200	0.00	3.58	6.08	6.33	6.88	8.57	8.11	6.39	6.04	5.64	5.26	1.48	64.4	-9.6	23.1	-14.2
nirbisc0p25_450	0.00	3.64	6.29	6.65	7.26	8.53	8.79	7.07	5.98	6.79	4.63	1.23	66.9	-6.1	24.4	-9.3
nirbisc0p25_600	0.00	3.64	6.31	6.77	7.08	9.31	9.07	7.26	6.40	6.36	5.86	1.38	69.4	-2.4	25.6	-4.7
nirbusc1_200	0.00	3.61	6.14	6.87	7.29	8.32	9.86	7.68	7.39	6.09	5.38	0.92	69.6	-2.3	25.9	-3.8
nirbusc1_450	0.00	3.64	6.29	6.76	7.06	8.75	9.54	8.46	6.64	6.48	5.86	1.39	70.9	-0.4	26.8	-0.5
nirbusc1_600	0.00	3.64	6.31	6.82	7.11	9.41	8.86	8.46	6.58	6.55	5.95	1.40	71.1	-0.1	26.7	-0.6
nirbusc0p5_200	0.00	3.61	6.09	6.85	6.87	8.03	9.70	8.13	6.43	6.29	5.70	1.34	69.0	-3.0	25.9	-3.8
nirbusc0p5_450	0.00	3.64	6.29	6.73	7.00	9.26	8.68	8.26	6.49	6.43	5.84	1.39	70.0	-1.6	26.2	-2.6
nirbusc0p5_600	0.00	3.64	6.31	6.81	7.07	9.33	8.76	8.46	6.57	6.51	5.78	1.38	70.6	-0.8	26.5	-1.3
nirbusc0p25_200	0.00	3.61	6.04	6.74	6.83	8.99	8.37	8.05	6.33	6.14	5.65	1.35	68.1	-4.3	25.4	-5.5
nirbusc0p25_450	0.00	3.64	6.29	6.71	6.99	9.17	8.62	8.35	6.43	6.24	5.85	1.38	69.7	-2.1	26.1	-2.8
nirbusc0p25_600	0.00	3.64	6.31	6.80	7.06	9.31	8.73	8.42	6.55	6.46	5.77	1.39	70.4	-1.0	26.5	-1.6
redusol	0.00	3.64	6.30	6.81	7.08	7.40	8.16	6.78	5.65	6.42	5.93	1.39	65.6	0.0	22.3	0.0
reduheat	0.00	3.64	6.30	6.81	7.09	9.45	7.00	7.37	5.95	6.42	5.91	1.39	67.3	2.7	23.8	6.6

Tabel 25 Gemiddelde CO₂-gehalte tijdens de daguren per periode [ppm]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	994	960	763	746	698	677	606	558	646	662	768	883	996
nirDekFact1	1001	993	921	883	802	795	696	636	757	711	836	919	999
nirDekFact0p5	999	978	823	796	741	728	644	589	691	683	787	890	998
nirdekzfact1	1000	980	842	817	755	745	658	603	708	693	798	904	998
nirdekzfact0p5	997	971	799	773	723	707	628	577	673	675	778	886	997
nirbisc1_200	995	970	818	801	775	774	676	625	747	686	780	892	996
nirbisc1_450	994	960	780	764	736	723	643	592	696	671	769	885	996
nirbisc1_600	994	960	763	754	724	702	630	576	669	666	768	885	996
nirbisc0p5_200	993	964	789	774	755	745	661	609	735	680	775	891	996
nirbisc0p5_450	994	960	774	756	732	715	638	587	693	669	769	883	996
nirbisc0p5_600	994	960	763	751	719	697	626	573	665	666	768	882	996
nirbisc0p25_200	992	961	778	765	744	730	653	604	728	677	774	891	996
nirbisc0p25_450	993	960	772	753	728	710	635	584	692	669	769	883	996
nirbisc0p25_600	993	960	763	749	716	694	625	571	664	666	768	883	996
nirbusc1_200	998	977	861	827	777	766	666	603	720	686	800	906	996
nirbusc1_450	994	960	779	769	726	707	629	576	674	670	769	883	996
nirbusc1_600	994	960	763	753	712	689	618	566	655	664	768	883	996
nirbusc0p5_200	996	970	818	790	740	725	638	583	686	676	780	887	996
nirbusc0p5_450	994	960	771	758	713	693	618	568	661	666	769	882	996
nirbusc0p5_600	994	960	763	750	705	684	612	563	651	663	768	882	996
nirbusc0p25_200	995	967	802	774	725	709	627	574	673	672	777	886	996
nirbusc0p25_450	994	960	768	755	707	688	614	564	656	665	769	883	996
nirbusc0p25_600	994	960	763	749	703	682	610	561	649	662	768	882	996
redusol	993	953	757	742	718	763	667	591	638	658	765	884	995
reduheat	993	953	757	742	710	736	647	579	638	658	765	884	995

Tabel 26 Gemiddelde kasluchttemperatuur per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	19.0	18.6	19.2	19.6	20.6	21.4	22.4	22.9	21.5	20.5	19.4	17.9	20.1
nirDekFact1	18.9	18.5	18.9	19.3	20.0	20.7	21.6	22.1	20.9	20.1	19.1	17.7	19.9
nirDekFact0p5	18.9	18.5	19.0	19.5	20.3	21.1	22.1	22.5	21.2	20.3	19.3	17.8	20.0
nirdekzfact1	18.9	18.5	19.0	19.4	20.3	21.0	21.9	22.4	21.1	20.2	19.2	17.8	20.0
nirdekzfact0p5	18.9	18.6	19.1	19.5	20.4	21.2	22.2	22.6	21.3	20.4	19.3	17.9	20.0
nirbisc1_200	19.0	18.6	19.1	19.6	20.8	21.8	23.1	23.6	21.8	20.5	19.3	17.9	20.0
nirbisc1_450	19.0	18.6	19.2	19.6	20.8	21.8	23.0	23.5	21.8	20.5	19.4	17.9	20.0
nirbisc1_600	19.0	18.6	19.2	19.6	20.8	21.7	22.9	23.3	21.7	20.5	19.4	17.9	20.0
nirbisc0p5_200	19.0	18.6	19.2	19.7	21.3	22.5	23.9	24.3	22.5	20.7	19.4	17.9	20.0
nirbisc0p5_450	19.0	18.6	19.2	19.7	21.1	22.3	23.6	24.0	22.3	20.6	19.4	17.9	20.0
nirbisc0p5_600	19.0	18.6	19.2	19.7	21.0	22.0	23.3	23.6	21.9	20.6	19.4	17.9	20.0
nirbisc0p25_200	19.0	18.6	19.3	19.9	21.5	22.8	24.3	24.7	22.8	20.9	19.4	18.0	20.1
nirbisc0p25_450	19.0	18.6	19.2	19.8	21.3	22.5	23.8	24.2	22.5	20.7	19.4	17.9	20.1
nirbisc0p25_600	19.0	18.6	19.2	19.7	21.1	22.1	23.4	23.7	22.0	20.6	19.4	17.9	20.1
nirbusc1_200	19.0	18.6	19.0	19.4	20.2	20.9	21.8	22.3	21.0	20.2	19.2	17.9	20.1
nirbusc1_450	19.0	18.6	19.1	19.5	20.4	21.1	22.0	22.5	21.3	20.4	19.4	17.9	20.1
nirbusc1_600	19.0	18.6	19.2	19.6	20.5	21.2	22.2	22.7	21.4	20.5	19.4	17.9	20.1
nirbusc0p5_200	19.0	18.6	19.1	19.5	20.3	21.1	22.1	22.5	21.2	20.3	19.3	17.9	20.1
nirbusc0p5_450	19.0	18.6	19.2	19.6	20.4	21.2	22.2	22.7	21.4	20.4	19.4	17.9	20.1
nirbusc0p5_600	19.0	18.6	19.2	19.6	20.5	21.3	22.3	22.8	21.5	20.5	19.4	17.9	20.1
nirbusc0p25_200	19.0	18.6	19.1	19.5	20.4	21.2	22.2	22.7	21.3	20.4	19.3	17.9	20.1
nirbusc0p25_450	19.0	18.6	19.2	19.6	20.5	21.3	22.3	22.8	21.4	20.5	19.4	17.9	20.1
nirbusc0p25_600	19.0	18.6	19.2	19.6	20.5	21.3	22.3	22.8	21.5	20.5	19.4	17.9	20.1
redusol	19.1	18.7	19.3	19.7	20.5	21.0	22.0	22.6	21.6	20.6	19.4	18.0	20.2
reduheat	19.1	18.7	19.3	19.7	20.6	21.1	22.1	22.7	21.6	20.6	19.4	18.0	20.2

Tabel 27 Gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens de daguren per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	20.8	20.8	21.5	21.5	22.4	23.1	24.1	24.7	23.7	22.8	21.7	20.1	22.0
nirDekFact1	20.6	20.5	20.9	21.0	21.6	22.2	23.1	23.7	22.8	22.1	21.2	19.6	21.7
nirDekFact0p5	20.7	20.6	21.2	21.2	22.1	22.7	23.6	24.2	23.3	22.5	21.5	19.8	21.8
nirdekzfact1	20.7	20.6	21.1	21.2	22.0	22.6	23.4	24.0	23.2	22.3	21.4	19.8	21.8
nirdekzfact0p5	20.7	20.7	21.3	21.4	22.2	22.8	23.8	24.4	23.5	22.6	21.6	19.9	21.9
nirbisc1_200	20.8	20.7	21.3	21.4	22.7	23.8	25.1	25.8	24.3	22.8	21.6	20.0	21.9
nirbisc1_450	20.8	20.8	21.4	21.5	22.7	23.7	25.0	25.6	24.3	22.8	21.7	20.0	21.9
nirbisc1_600	20.8	20.8	21.5	21.6	22.8	23.6	24.8	25.4	24.1	22.9	21.7	20.0	21.9
nirbisc0p5_200	20.8	20.8	21.5	21.7	23.5	24.7	26.2	26.9	25.4	23.2	21.8	20.1	21.9
nirbisc0p5_450	20.8	20.8	21.5	21.7	23.3	24.4	25.7	26.4	24.9	23.1	21.7	20.1	21.9
nirbisc0p5_600	20.8	20.8	21.5	21.7	23.1	24.0	25.3	25.8	24.4	22.9	21.7	20.1	21.9
nirbisc0p25_200	20.8	20.8	21.6	21.9	23.8	25.1	26.7	27.5	25.9	23.5	21.8	20.2	22.0
nirbisc0p25_450	20.8	20.8	21.5	21.8	23.5	24.7	26.1	26.7	25.3	23.2	21.7	20.1	22.0
nirbisc0p25_600	20.8	20.8	21.5	21.7	23.2	24.1	25.5	25.9	24.5	23.0	21.7	20.1	22.0
nirbusc1_200	20.8	20.7	21.1	21.1	21.9	22.4	23.3	24.0	23.1	22.3	21.4	19.9	22.0
nirbusc1_450	20.8	20.8	21.3	21.4	22.1	22.7	23.6	24.3	23.4	22.6	21.7	20.1	22.0
nirbusc1_600	20.8	20.8	21.5	21.5	22.2	22.9	23.8	24.5	23.6	22.7	21.7	20.1	22.0
nirbusc0p5_200	20.8	20.7	21.2	21.3	22.1	22.7	23.6	24.3	23.3	22.5	21.5	20.0	22.0
nirbusc0p5_450	20.8	20.8	21.4	21.4	22.2	22.9	23.8	24.4	23.5	22.7	21.7	20.1	22.0
nirbusc0p5_600	20.8	20.8	21.5	21.5	22.3	23.0	23.9	24.6	23.7	22.8	21.7	20.1	22.0
nirbusc0p25_200	20.8	20.7	21.3	21.4	22.2	22.8	23.8	24.4	23.5	22.6	21.6	20.0	22.0
nirbusc0p25_450	20.8	20.8	21.4	21.5	22.3	23.0	23.9	24.5	23.6	22.7	21.7	20.1	22.0
nirbusc0p25_600	20.8	20.8	21.5	21.5	22.3	23.0	23.9	24.6	23.7	22.8	21.7	20.1	22.0
reducol	20.9	20.8	21.5	21.6	22.3	22.6	23.5	24.3	23.8	22.8	21.8	20.2	22.2
reduheat	20.9	20.8	21.5	21.6	22.4	22.8	23.7	24.4	23.8	22.8	21.8	20.2	22.2

Tabel 28 Gemiddelde kasluchttemperatuur tijdens de nachturen per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.8	19.4	18.2	18.1	17.6	16.7	19.3
nirDekFact1	18.0	17.2	17.0	17.1	17.4	17.4	18.5	19.1	18.0	17.9	17.6	16.6	19.2
nirDekFact0p5	18.0	17.2	17.0	17.1	17.4	17.5	18.6	19.3	18.1	18.0	17.6	16.7	19.2
nirdekzfact1	18.0	17.2	17.0	17.1	17.4	17.5	18.6	19.2	18.1	18.0	17.6	16.6	19.2
nirdekzfact0p5	18.0	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.2	18.0	17.6	16.7	19.2
nirbisc1_200	18.1	17.2	17.0	17.1	17.4	17.5	18.6	19.3	18.1	18.0	17.6	16.7	19.2
nirbisc1_450	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.2	18.0	17.6	16.7	19.2
nirbisc1_600	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.4	18.2	18.1	17.6	16.7	19.2
nirbisc0p5_200	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.7	18.8	19.5	18.3	18.0	17.6	16.7	19.2
nirbisc0p5_450	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.7	18.8	19.5	18.3	18.1	17.6	16.7	19.2
nirbisc0p5_600	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.7	18.8	19.4	18.3	18.1	17.6	16.7	19.2
nirbisc0p25_200	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.7	18.9	19.5	18.3	18.1	17.6	16.7	19.3
nirbisc0p25_450	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.7	18.8	19.5	18.3	18.1	17.6	16.7	19.3
nirbisc0p25_600	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.7	18.8	19.5	18.3	18.1	17.6	16.7	19.3
nirbusc1_200	18.1	17.2	17.0	17.1	17.4	17.4	18.5	19.1	18.1	18.0	17.6	16.7	19.2
nirbusc1_450	18.1	17.2	17.0	17.2	17.4	17.5	18.6	19.2	18.1	18.0	17.6	16.7	19.3
nirbusc1_600	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.6	19.3	18.2	18.0	17.6	16.7	19.3
nirbusc0p5_200	18.1	17.2	17.0	17.1	17.4	17.5	18.6	19.2	18.1	18.0	17.6	16.7	19.3
nirbusc0p5_450	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.2	18.0	17.6	16.7	19.3
nirbusc0p5_600	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.2	18.1	17.6	16.7	19.3
nirbusc0p25_200	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.2	18.0	17.6	16.7	19.3
nirbusc0p25_450	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.2	18.0	17.6	16.7	19.3
nirbusc0p25_600	18.1	17.2	17.0	17.2	17.5	17.6	18.7	19.4	18.2	18.1	17.6	16.7	19.3
redusol	18.3	17.3	17.1	17.2	17.5	17.5	18.6	19.3	18.3	18.1	17.7	16.7	19.4
reduheat	18.3	17.3	17.1	17.2	17.5	17.6	18.7	19.3	18.3	18.1	17.7	16.7	19.4

Tabel 29 Gemiddelde gewastemperatuur per periode [°C]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	17.6	17.9	18.8	19.3	20.4	21.2	22.2	22.6	21.3	20.2	18.9	17.6	18.2
nirDekFact1	17.4	17.7	18.5	19.0	19.9	20.6	21.4	21.8	20.7	19.8	18.7	17.3	18.1
nirDekFact0p5	17.5	17.8	18.7	19.1	20.1	20.9	21.8	22.2	21.0	20.0	18.8	17.4	18.1
nirdekzfact1	17.5	17.8	18.6	19.1	20.1	20.8	21.7	22.0	20.9	19.9	18.8	17.4	18.1
nirdekzfact0p5	17.5	17.8	18.7	19.2	20.2	21.0	21.9	22.3	21.1	20.0	18.9	17.5	18.2
nirbisc1_200	17.6	17.8	18.7	19.2	20.4	21.4	22.7	23.2	21.4	20.1	18.9	17.5	18.2
nirbisc1_450	17.6	17.9	18.8	19.3	20.5	21.5	22.6	23.1	21.5	20.1	18.9	17.5	18.2
nirbisc1_600	17.6	17.9	18.8	19.3	20.5	21.5	22.6	22.9	21.4	20.2	18.9	17.5	18.2
nirbisc0p5_200	17.6	17.9	18.8	19.4	20.9	22.1	23.5	23.9	22.1	20.3	18.9	17.6	18.2
nirbisc0p5_450	17.6	17.9	18.8	19.4	20.8	21.9	23.2	23.6	21.9	20.3	18.9	17.6	18.2
nirbisc0p5_600	17.6	17.9	18.8	19.4	20.7	21.7	22.9	23.2	21.6	20.2	18.9	17.6	18.2
nirbisc0p25_200	17.6	17.9	18.8	19.5	21.1	22.4	23.9	24.3	22.5	20.4	19.0	17.6	18.2
nirbisc0p25_450	17.6	17.9	18.8	19.4	21.0	22.2	23.5	23.8	22.1	20.3	18.9	17.6	18.2
nirbisc0p25_600	17.6	17.9	18.8	19.4	20.8	21.8	23.1	23.3	21.7	20.2	18.9	17.6	18.2
nirbusc1_200	17.5	17.8	18.5	19.0	19.8	20.5	21.4	21.8	20.6	19.8	18.8	17.5	18.2
nirbusc1_450	17.6	17.9	18.7	19.2	20.0	20.8	21.6	22.0	20.9	20.0	18.9	17.6	18.2
nirbusc1_600	17.6	17.9	18.8	19.3	20.2	21.0	21.8	22.3	21.1	20.1	18.9	17.6	18.2
nirbusc0p5_200	17.5	17.8	18.6	19.1	20.0	20.8	21.7	22.1	20.9	19.9	18.8	17.5	18.2
nirbusc0p5_450	17.6	17.9	18.8	19.2	20.2	20.9	21.8	22.2	21.0	20.1	18.9	17.6	18.2
nirbusc0p5_600	17.6	17.9	18.8	19.3	20.3	21.1	22.0	22.4	21.2	20.1	18.9	17.6	18.2
nirbusc0p25_200	17.6	17.9	18.7	19.2	20.1	20.9	21.8	22.2	21.0	20.0	18.8	17.5	18.2
nirbusc0p25_450	17.6	17.9	18.8	19.2	20.2	21.0	21.9	22.3	21.1	20.1	18.9	17.6	18.2
nirbusc0p25_600	17.6	17.9	18.8	19.3	20.3	21.1	22.0	22.4	21.2	20.1	18.9	17.6	18.2
reducol	18.1	18.0	18.9	19.4	20.4	20.7	21.6	22.2	21.4	20.2	19.0	17.6	18.7
reduheat	18.1	18.0	18.9	19.4	20.4	20.9	21.8	22.3	21.4	20.2	19.0	17.6	18.7

Tabel 30 Gemiddelde RV per periode [%]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
refdek	71.4	82.8	84.8	85.3	83.4	82.4	81.3	82.1	82.9	86.1	86.7	85.6	58.3
nirDekFact1	71.8	82.9	85.8	87.3	87.7	87.5	86.3	86.6	87.2	88.6	87.5	85.8	58.8
nirDekFact0p5	71.6	82.9	85.4	86.4	85.5	84.8	83.6	84.1	84.8	87.4	87.2	85.8	58.5
nirdekzfact1	71.6	82.8	85.6	86.6	86.1	85.6	84.5	85.0	85.6	87.8	87.2	85.8	58.6
nirdekzfact0p5	71.5	82.8	85.2	86.0	84.7	83.9	82.8	83.4	84.1	86.9	87.0	85.6	58.4
nirbisc1_200	71.7	82.9	85.7	86.6	86.7	86.9	86.5	87.6	86.7	87.6	87.1	85.6	58.5
nirbisc1_450	71.4	82.7	85.2	86.1	85.8	85.7	85.1	85.9	85.5	86.9	86.7	85.5	58.5
nirbisc1_600	71.4	82.7	84.8	85.7	85.0	84.2	83.8	84.2	84.1	86.4	86.7	85.5	58.5
nirbisc0p5_200	71.6	82.9	85.3	86.2	85.7	85.7	85.4	86.4	85.9	87.1	86.9	85.6	58.3
nirbisc0p5_450	71.4	82.7	85.0	85.9	85.1	84.9	84.2	85.1	84.9	86.7	86.7	85.6	58.3
nirbisc0p5_600	71.4	82.7	84.8	85.6	84.4	83.7	83.1	83.7	83.7	86.3	86.7	85.6	58.3
nirbisc0p25_200	71.6	82.8	85.1	85.9	85.2	85.1	84.8	86.0	85.5	86.9	86.8	85.5	58.3
nirbisc0p25_450	71.4	82.7	84.9	85.7	84.8	84.5	83.8	84.7	84.6	86.6	86.7	85.6	58.3
nirbisc0p25_600	71.4	82.7	84.8	85.5	84.2	83.5	82.9	83.5	83.5	86.3	86.7	85.6	58.3
nirbusc1_200	71.4	82.7	85.3	86.5	86.4	85.9	84.8	85.2	85.9	87.6	87.0	85.6	58.3
nirbusc1_450	71.4	82.8	85.2	86.2	85.4	84.7	83.7	84.0	84.8	86.9	86.7	85.6	58.3
nirbusc1_600	71.4	82.8	84.8	85.7	84.5	83.4	82.6	82.9	83.5	86.3	86.7	85.6	58.3
nirbusc0p5_200	71.4	82.7	85.2	86.1	85.1	84.4	83.3	83.8	84.6	87.1	86.9	85.6	58.3
nirbusc0p5_450	71.4	82.8	85.1	85.8	84.5	83.7	82.6	83.1	83.9	86.6	86.7	85.6	58.3
nirbusc0p5_600	71.4	82.8	84.8	85.5	84.0	82.9	82.0	82.5	83.2	86.2	86.7	85.6	58.2
nirbusc0p25_200	71.4	82.7	85.1	85.8	84.5	83.7	82.6	83.2	84.0	86.8	86.8	85.6	58.3
nirbusc0p25_450	71.4	82.8	85.0	85.6	84.1	83.2	82.1	82.7	83.5	86.5	86.7	85.6	58.2
nirbusc0p25_600	71.4	82.8	84.8	85.4	83.8	82.7	81.7	82.4	83.1	86.2	86.7	85.6	58.3
redusol	64.6	80.2	82.8	83.3	82.2	83.2	82.0	82.1	81.2	84.5	85.0	84.3	52.1
reduheat	64.6	80.2	82.8	83.3	82.1	82.6	81.4	81.7	81.2	84.5	85.0	84.3	52.1

Tabel 31 Gemiddelde RV tijdens de daguren [%]

periode	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0
refdek	61.5	82.5	86.3	85.3	81.9	80.2	78.6	78.1	80.2	85.5	87.5	87.6	45.6
nirDekFact1	62.1	82.7	88.6	89.0	88.6	87.6	85.5	84.4	87.1	90.2	89.3	87.9	46.7
nirDekFact0p5	61.8	82.7	87.9	87.2	85.1	83.6	81.7	80.9	83.2	87.7	88.5	87.9	46.2
nirdekzfact1	61.8	82.7	88.1	87.8	86.0	84.7	82.9	82.0	84.3	88.6	88.7	87.9	46.2
nirdekzfact0p5	61.7	82.6	87.3	86.5	83.9	82.3	80.6	79.9	82.1	87.0	88.1	87.8	45.9
nirbisc1_200	62.2	82.8	88.2	87.8	87.4	87.2	86.4	86.7	87.2	88.4	88.4	87.4	45.9
nirbisc1_450	61.6	82.5	87.3	86.8	85.8	85.1	84.1	83.9	84.7	87.1	87.6	87.4	46.0
nirbisc1_600	61.6	82.5	86.3	86.0	84.2	82.7	82.0	81.2	82.0	86.0	87.5	87.4	46.0
nirbisc0p5_200	62.0	82.8	87.5	86.9	85.9	85.5	84.8	85.3	85.8	87.6	88.0	87.4	45.7
nirbisc0p5_450	61.6	82.5	86.9	86.3	84.7	83.9	82.8	82.7	83.7	86.7	87.5	87.5	45.8
nirbisc0p5_600	61.6	82.5	86.3	85.7	83.5	82.1	81.2	80.7	81.6	85.8	87.5	87.5	45.8
nirbisc0p25_200	61.9	82.7	87.0	86.4	85.1	84.7	84.0	84.6	85.1	87.1	87.8	87.4	45.6
nirbisc0p25_450	61.6	82.5	86.7	86.0	84.2	83.4	82.2	82.2	83.2	86.4	87.5	87.6	45.7
nirbisc0p25_600	61.6	82.5	86.3	85.6	83.2	81.9	80.9	80.4	81.4	85.7	87.5	87.6	45.7
nirbusc1_200	61.3	82.2	87.6	87.5	86.3	85.1	83.1	82.1	84.6	88.3	88.3	87.6	45.6
nirbusc1_450	61.5	82.5	87.4	86.9	84.7	83.2	81.4	80.3	82.7	86.9	87.6	87.6	45.6
nirbusc1_600	61.5	82.5	86.3	85.9	83.3	81.4	80.0	79.0	81.0	85.8	87.5	87.6	45.6
nirbusc05_200	61.4	82.3	87.3	86.7	84.4	82.9	81.1	80.4	82.6	87.1	88.0	87.7	45.6
nirbusc05_450	61.5	82.5	87.1	86.2	83.4	81.8	80.0	79.2	81.5	86.3	87.5	87.6	45.6
nirbusc05_600	61.5	82.5	86.3	85.6	82.6	80.9	79.4	78.6	80.6	85.7	87.5	87.6	45.6
nirbusc025_200	61.4	82.4	87.0	86.2	83.6	81.9	80.2	79.5	81.8	86.6	87.8	87.6	45.6
nirbusc025_450	61.5	82.5	86.9	85.9	82.9	81.2	79.5	78.8	81.0	86.0	87.5	87.6	45.6
nirbusc025_600	61.5	82.5	86.3	85.4	82.4	80.6	79.1	78.5	80.5	85.6	87.5	87.6	45.6

Tabel 32 Gemiddelde PAR-straling in de kas per periode [W PAR per m²]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
refdek	43.9	53.0	93.1	110.9	145.5	170.0	180.5	163.3	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1313
nirDekFact1	43.9	53.0	93.1	110.9	145.5	170.0	180.5	163.3	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1313
nirDekFactOp5	43.9	53.0	93.1	110.9	145.5	170.0	180.5	163.3	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1313
nirdekzfact1	43.9	53.0	93.1	110.9	145.5	170.0	180.5	163.3	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1313
nirdekzfactOp5	43.9	53.0	93.1	110.9	145.5	170.0	180.5	163.3	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1313
nirbisc1_200	43.1	51.1	83.4	98.5	124.9	144.6	154.2	139.8	115.7	85.1	59.8	25.6	32.2	1158
nirbisc1_450	43.9	53.0	89.3	105.2	132.5	153.2	161.8	147.4	122.9	91.3	63.8	26.6	32.3	1223
nirbisc1_600	43.9	53.0	93.1	108.3	137.3	160.3	167.9	153.9	129.3	93.8	64.1	26.6	32.3	1264
nirbiscOp5_200	43.1	51.1	83.4	98.4	124.5	144.2	153.6	139.5	115.2	85.0	59.8	25.6	32.2	1155
nirbiscOp5_450	43.9	53.0	89.3	105.1	132.2	152.9	161.4	147.2	122.6	91.2	63.8	26.6	32.3	1221
nirbiscOp5_600	43.9	53.0	93.1	108.2	137.2	160.3	167.8	153.8	129.3	93.8	64.1	26.6	32.3	1263
nirbiscOp25_200	43.1	51.1	83.4	98.3	124.3	144.0	153.5	139.3	115.0	84.9	59.8	25.6	32.2	1154
nirbiscOp25_450	43.9	53.0	89.3	104.9	132.1	152.8	161.4	147.1	122.5	91.1	63.7	26.6	32.3	1221
nirbiscOp25_600	43.9	53.0	93.1	108.2	137.1	160.3	167.8	153.8	129.3	93.8	64.1	26.6	32.3	1263
nirbusc1_200	43.3	51.6	85.6	101.5	130.3	150.9	159.2	143.9	119.5	86.6	60.6	25.3	32.0	1190
nirbusc1_450	43.9	53.0	90.0	106.2	135.7	157.3	165.3	150.0	125.1	91.2	63.8	26.5	32.1	1240
nirbusc1_600	43.9	53.0	93.1	108.7	139.2	162.8	170.3	155.1	130.4	93.8	64.1	26.5	32.1	1273
nirbuscOp5_200	43.3	51.6	85.6	101.5	130.3	150.9	159.2	143.9	119.5	86.6	60.6	25.3	32.0	1190
nirbuscOp5_450	43.9	53.0	90.0	106.2	135.7	157.3	165.3	150.0	125.1	91.2	63.8	26.5	32.1	1240
nirbuscOp5_600	43.9	53.0	93.1	108.7	139.2	162.8	170.3	155.1	130.4	93.8	64.1	26.5	32.1	1273
nirbuscOp25_200	43.3	51.6	85.6	101.5	130.3	150.9	159.2	143.9	119.5	86.6	60.6	25.3	32.0	1190
nirbuscOp25_450	43.9	53.0	90.0	106.2	135.7	157.3	165.3	150.0	125.1	91.2	63.8	26.5	32.1	1240
nirbuscOp25_600	43.9	53.0	93.1	108.7	139.2	162.8	170.3	155.1	130.4	93.8	64.1	26.5	32.1	1273
redusol	43.9	53.0	93.1	110.9	131.5	113.3	120.3	118.7	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1137
reduheat	43.9	53.0	93.1	110.9	135.4	129.1	137.1	131.1	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1186

Tabel 33 Gemiddelde NIR-straling in de kas per periode [W NIR per m²]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	jaar
refdek	43.9	53.0	93.1	110.9	145.5	170.0	180.5	163.3	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1313
nirDekFact1	26.1	24.2	16.6	15.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.7	21.3	4.2	19.4	145
nirDekFactOp5	35.0	38.6	54.9	63.0	74.7	85.0	90.2	81.6	67.5	54.3	42.7	15.3	25.8	729
nirdekzfact1	33.7	36.8	46.8	52.5	57.1	60.7	57.7	51.1	45.7	42.4	38.0	12.8	24.7	560
nirdekzfactOp5	38.8	44.9	70.0	81.7	101.3	115.3	119.1	107.2	90.3	68.7	51.1	19.7	28.4	936
nirbisc1_200	39.4	42.7	39.9	43.4	32.4	29.3	30.3	28.4	26.2	39.4	40.2	16.9	27.0	435
nirbisc1_450	43.6	52.8	71.7	78.9	72.9	76.0	72.1	70.6	65.2	72.7	62.0	23.0	27.6	789
nirbisc1_600	43.6	52.8	93.1	95.8	98.8	115.3	106.9	107.2	101.8	87.7	64.1	22.9	27.6	1018
nirbiscOp5_200	41.7	47.7	65.8	75.7	86.2	96.7	102.4	93.8	77.9	66.1	51.9	22.0	30.0	858
nirbiscOp5_450	43.8	52.9	82.2	94.1	107.5	121.1	124.6	115.5	98.7	83.3	63.0	25.1	30.4	1042
nirbiscOp5_600	43.8	52.9	93.1	103.0	121.4	141.9	143.0	134.7	118.1	91.3	64.1	25.1	30.4	1163
nirbiscOp25_200	42.8	50.2	78.7	92.2	114.1	131.4	139.9	127.1	105.1	79.8	57.7	24.6	31.6	1075
nirbiscOp25_450	43.9	53.0	87.4	102.0	125.5	144.3	151.6	138.7	116.1	88.9	63.6	26.2	31.7	1173
nirbiscOp25_600	43.9	53.0	93.1	106.8	133.0	155.5	161.3	148.7	126.4	93.1	64.1	26.2	31.7	1237
nirbusc1_200	39.7	41.5	32.9	34.7	21.0	15.5	16.1	15.7	14.2	32.0	37.0	19.6	31.5	351
nirbusc1_450	43.9	53.0	69.2	74.8	67.2	69.1	64.6	63.8	59.6	69.6	61.8	26.5	32.1	755
nirbusc1_600	43.9	53.0	93.1	94.7	96.6	113.4	103.6	104.0	100.9	87.3	64.1	26.5	32.1	1013
nirbuscOp5_200	41.5	46.6	59.3	68.1	75.6	83.2	87.7	79.8	66.8	59.3	48.8	22.4	31.7	771
nirbuscOp5_450	43.9	53.0	79.6	90.5	101.4	113.2	114.9	106.9	92.4	80.4	62.8	26.5	32.1	998
nirbuscOp5_600	43.9	53.0	93.1	101.7	117.9	138.1	136.9	129.6	115.6	90.5	64.1	26.5	32.1	1143
nirbuscOp25_200	42.4	49.1	72.4	84.8	103.0	117.0	123.4	111.8	93.1	73.0	54.7	23.9	31.9	980
nirbuscOp25_450	43.9	53.0	84.8	98.4	118.6	135.3	140.1	128.4	108.7	85.8	63.3	26.5	32.1	1119
nirbuscOp25_600	43.9	53.0	93.1	105.2	128.6	150.4	153.6	142.3	123.0	92.2	64.1	26.5	32.1	1208
redusol	43.9	53.0	93.1	110.9	124.5	85.0	90.2	96.4	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1050
reduheat	43.9	53.0	93.1	110.9	127.4	96.8	102.8	105.7	135.0	95.0	64.1	26.5	32.1	1086