



WAGENINGENUR
For quality of life



Parapluplan Gerbera
"beheersing van botrytis door efficiënter energiegebruik"

Deelproject 6: Voorspellen en Sturen

Pieter de Visser, Oliver Körner, Filip van Noort, Leo Marcelis



Productschap  Tuinbouw



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport GTB-1049



© 2010 Wageningen, Wageningen UR Glastuinbouw

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 48 60 01
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting		5
1	Inleiding	7
	1.1	Achtergrond 7
	1.2	Huidige kennis en adviezen 7
	1.3	Doelstelling 9
2	Het voorspellings- en sturingssysteem	11
	2.1	Opzet / Overzicht 11
		2.1.1 Microklimaat 11
		2.1.2 Groeimodel gerbera 12
		2.1.3 Schimmelmodel 12
		2.1.4 Energiemodel 12
		2.1.5 Module voorspellen/sturen 12
	2.2	Systeemgrenzen 13
3	Gewasgroeimodel	15
	3.1	Basismodel 15
	3.2	Verbeterd model 16
		3.2.1 Algemeen 16
		3.2.2 Opzet kasproef WUR Glastuinbouw Bleiswijk 17
		3.2.3 Resultaten 17
4	Microklimaat	19
5	Botrytismodel	21
	5.1	Sporenbron en sporulatie 22
	5.2	Sporendruk in de kas 22
	5.3	Infectie 23
	5.4	Afname sporenvitaliteit en afsterven gekiemde sporen 27
	5.5	Resultaten en modelgevoeligheid 27
6	Energieberekeningen	29
7	IJking en test van het groeimodel	31
	7.1	Inleiding 31
	7.2	Methode 31
	7.3	Resultaten 32
		7.3.1 Calibratie 32
		7.3.2 Validatie 33
	7.4	Conclusies 33
8	Berekend effect van klimaatstrategie op smet	35

9	Voorspellings- en sturingssysteem: praktisch gebruik	37
9.1	Het voorspellings- en sturingssysteem: waar en wanneer te gebruiken	37
9.2	Invoer en uitvoer via de interface	37
9.3	Modelgebruik via Letsgrow.com	39
10	Discussie en conclusies	41
10.1	Discussie	41
10.2	Conclusies	43
11	Literatuur	45
Bijlage I	Rekenregels van het model	47
Bijlage II	Handleiding model	51

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de methoden en resultaten van deelproject 6 van het Parapluplan “Botrytis in relatie tot energie bij gerbera”. Dit deelproject behelsde het integreren van kennis over botrytis en gerberagroei uit de overige deelprojecten in een voorspellend computermodel. Het Parapluplan was een 3-jarig onderzoeksprogramma waarin onderzoekers, gerberatelers en andere belanghebbenden uit de sector samenwerkten om het botrytisprobleem onder de knie te krijgen. Het Parapluplan verkreeg daarvoor financiering van het ministerie van LNV en het Productschap Tuinbouw, en viel deels onder het PT/LNV-onderzoeksprogramma energie.

De kennis ten behoeve van de bouw en toetsing van het voorspellend rekenmodel is betrokken uit bestaande literatuurdata en door in dit project additioneel uitgevoerd onderzoek. Uit andere deelprojecten van het Parapluplan is met name kennis over de botrytisontwikkeling betrokken, terwijl in dit deelproject een proef over bloemkwaliteit extra informatie opleverde over groei en kwaliteit van de gerberabloem.

Het opgeleverde model bestaat uit 3 onderdelen: (1) gerbera groei-model, (2) botrytis-model, (3) energiemodel. Het groei-model is gebouwd door onderdelen van bestaande modellen van WUR glastuinbouw te integreren met een in dit project ontwikkeld, nieuw onderdeel dat de bloemproductie en –kwaliteit berekent. Het gehele model is geijkt voor 2 gerbera rassen (Heatwave en Dino) m.b.v. in het project uitgevoerde teeltproeven, en voor het ras Kimsey m.b.v. registratiedata van enkele telers. Het groei-model is vervolgens getest met behulp van productiegegevens van enkele gerberabedrijven. Daarbij bleken de voorspellingen goede overeenkomst te vertonen met de metingen.

Bij de bouw van het botrytis-model is gebruik gemaakt van de ruime kennis die vanuit eerder botrytisonderzoek wereldwijd al bekend was. Onder de vele ingebouwde mechanismen behoren kieming, penetratie en groei van de schimmelspore, de invloed van licht en droogte, de voortplanting en het transport door de lucht. Reeds bekende invloeden van het klimaat zijn hierbij ingebracht. Het model is geijkt door de op enkele praktijkbedrijven gemeten botrytisdruk en infectie na te rekenen, hetgeen goede voorspellingen opleverde. Het botrytis-model werd vervolgens getest door zeer verschillende kasklimaten na te rekenen, waarna een goed te verklaren respons t.a.v. botrytisrisico werd voorspeld.

Bij praktijkgebruik moet de modelvoorspelling vooral als een indicatie van infectierisico gezien worden, gelet op de beperkte metingen in het lokale microklimaat. Aldus zijn lokale metingen een zinvolle aanvulling op het model, met name als er minder gangbare klimaatstrategieën (zoals Het Nieuwe Telen) worden gebruikt.

Het ontwikkelde model, genaamd “BotrytisVoorspeller”, is via de website www.glastuinbouw.wur.nl als download beschikbaar gesteld aan belangstellenden uit de gerberapraktijk. De gerberakweker of adviseur kan hiermee zelf het risico op botrytis berekenen. Kern van het model is voorspelling van het schimmelrisico voor de komende nacht, op basis van de gebruikte klimaatinstellingen. Naast het botrytis-model bevat het model een berekening van de groei en enkele bloemkenmerken van de gerbera's.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Schade aan gerberabloemen door botrytisaantasting (smet) is één van de belangrijkste knelpunten in de gerberateelt. Afgekeurde partijen zijn ongewenst, maar de vraag is hoe men dat voorkomt. Ondanks veel onderzoek is het nog niet duidelijk welke aanpak hierbij het meest doeltreffend is. Waarschijnlijk speelt het kasklimaat een grote rol bij de kans op infectie. Als we hierover meer weten, is een gerichter stook- en ventilatiegedrag mogelijk. Naast het vermijden van besmetting is er mogelijk energiewinst te behalen. Naast de klimaatinvloed zijn er ook belangrijke kennisvragen over gewasweerbaarheid, hygiëne etc.

Een socio-technisch netwerk van veredelaars, telers, toeleveranciers, adviseurs en marktpartijen in de gerberasector heeft daarom in 2005 een meerjarige onderzoeksagenda opgesteld. Op basis hiervan is het onderzoeksproject Parapluplan Botrytis in relatie tot energie bij gerbera gepland. Binnen dit parapluplan wordt vanuit verschillende invalshoeken gewerkt aan het beheersbaar maken van het Botrytisprobleem en gelijktijdig energie te besparen. Het onderzoek wordt intensief begeleid door begeleidingsgroepen waarin verschillende partijen uit de gerberasector aanwezig zijn.

In dit rapport wordt de ontwikkeling en implementatie beschreven van een voorspellings- en sturingsmodel voor het verminderen van botrytisinfectie. Dit onderzoek betreft deelproject 6 van het overkoepelende Parapluplan. Dit deelproject is het laatste project en neemt de uit de andere deelprojecten opgedane kennis als uitgangspunt.

1.2 Huidige kennis en adviezen

De huidige kennis van botrytis in land- en tuinbouwgewassen dateert vooral uit onderzoek verricht in de jaren 90. In die tijd vond er uitgebreid, mondiaal Botrytisonderzoek plaats. Aangezien het altijd de zogenaamde grauwe schimmel of *Botrytis cinerea* betrof, zijn de onderzoeksresultaten goed bruikbaar in de huidige problematiek bij gerbera, met dezelfde soort schimmel. In het tekstkader is een algemene omschrijving gegeven van de eigenschappen van botrytis en welke condities globaal een schimmelrisico inhouden. Voor verdere details over de biologische kenmerken wordt verwezen naar de literatuurstudie (Köhl *et al.*, 2006) verricht voorafgaand aan de hier gerapporteerde modelontwikkeling binnen deelproject 6.

Algemene kenmerken Botrytis cinerea

Botrytis cinerea is een in gematigde klimaatzones zeer algemeen voorkomende schimmel. De schimmel koloniseert voornamelijk het bovengrondse, afgestorven plantenweefsel. Hierbij is geen specificiteit voor bepaalde plantensoorten of plantendelen te constateren. *B. cinerea* is een van de eerste kolonisatoren op de plant, consumeert gemakkelijk afbreekbare planteninhoudsstoffen en wordt in de loop van zijn kolonisatie teruggedrongen door andere schimmels. Alvorens zich te voeden met de celinhoud doodt de schimmel eerst de cel met toxines.

Voortplanting en verspreiding vindt plaats door ongeslachtelijke productie van sporen of conidia. Deze sporen kunnen na verspreiding door vooral wind onder vochtige en lichtarme omstandigheden kiemen, de plant infecteren en nieuw schimmelmycelium vormen. Infectie is alleen mogelijk op zacht weefsel, zoals delen van bloemen, of op door o.a. slechte voeding of veroudering/rijping verzwakt weefsel.

De symptomen van botrytisbesmetting variëren afhankelijk van de plantensoort en de locatie van de besmetting, van necrotische vlekjes (bv. 'smet' op de lintblaadjes van de bloem) tot dood van de plant bij aantasting van de stengel in bijv. tomaat.

De botrytisschimmel is in de vorm van sporen in principe in elk tuinbouwbedrijf aanwezig en zal onder bepaalde condities (zie kader) zich snel vermeerderen en gewasschade veroorzaken. De sporen op de bloemen kiemen en beschadigen de lintbloemen (pokken). Zo'n infectie kan vooral in najaar en winter tot een ernstige verdere aantasting leiden, waarbij de buisbloemen gaan rotten, waarna de bloembodem wordt aangetast en de bloem uiteenvalt. Dit verschijnsel wordt in de praktijk hartrot of rotkoppen genoemd. In beide situaties zijn Botrytissporen in de open bloemen terecht gekomen en daar gekiemd. Aantastingen aan de onderkant van de bloem en de bloemstengel komen niet of nauwelijks voor. In de huidige teeltpraktijk lijkt de infectie vooral plaats te vinden in de naoogstfase, dus tijdens opslag en transport, en niet tijdens de teelt in de kas.

Voor de gerberakwekers is praktijkgerichte kennis het meest van belang. Via bedrijfsonderzoek moet getoetst worden of een teelt smetvrij kan produceren op basis van voorgaande, veelal theoretische, wetenschappelijke kennis. Dit bedrijfsonderzoek dient dan als basis van het voorspellings- en sturingsmodel, zoals hier gerapporteerd. In deelproject 5 van het Parapluplan Gerbera is dit bedrijfsonderzoek uitgevoerd en gerapporteerd (Van Os *et al.*, 2009). Als onderdeel van het onderzoek is een vergelijking gedaan naar de factoren die op de teeltbedrijven een rol spelen bij het ontstaan van Botrytissmet. Hierbij kwamen een aantal belangwekkende resultaten naar voren. Enkele voorbeelden:

Heeft een bedrijf relatief veel botrytis in het ene seizoen dan heeft het ook relatief veel botrytis in andere seizoenen. Luchtvochtigheid in het gewas (vooral in de nacht) en lage lichtsommen zijn belangrijke factoren voor optreden van botrytis in de na-oogst. Weinig vocht en veel licht leidt dus tot minder botrytisschade. Het positieve effect van hoge lichtsom, zien we ook terug bij belichting: bedrijven die met hoge intensiteit belichten hebben minder botrytis. De aanwezigheid en het gebruiken van ventilatoren op bedrijven correleerde sterk met minder botrytis. Waarschijnlijk verbetert dit het microklimaat zodanig dat er minder vochtige lucht rond de bladeren en bloemen blijft zitten. Ook een lage plantdichtheid correleerde sterk met minder botrytis, waarschijnlijk als gevolg van een meer open gewas. Dit onderzoek geeft duidelijke indicaties dat een aantal teeltfactoren een belangrijke rol spelen bij het ontstaan van botrytis in de na-oogst en geeft teler daarmee handvaten om maatregelen tegen botrytis te nemen. Het laat ook zien dat niet één factor alles bepalend is, maar dat het een optelsom is van meerdere factoren. Bijvoorbeeld een bedrijf met hele hoge luchtvochtigheid had weinig botrytis, wel had dit bedrijf bijvoorbeeld ventilatoren, veel licht en lage plantdichtheid.

Deskundigen zijn het eens over de onderstaande maatregelen:

1. In de teelt moet in eerste instantie worden vermeden dat schimmelsporen kunnen kiemen. Hoge luchtvochtigheden of vrij water dichtbij het plantoppervlak gedurende meerdere uren (max. 6-8 uur) moeten dus worden voorkomen. De droogteperiodes tussen natte perioden mogen ook niet te kort zijn, omdat anders de kiemende spore niet door de droogte wordt afgedood.
2. Lokale verschillen in de kas voor wat betreft temperatuur en RV moeten worden voorkomen. Deze verschillen worden o.a. veroorzaakt door lokaal warmteverlies, waterreservoirs, stilstaande lucht. Verhoogde luchtcirculatie blijkt volgens enkele studies een goede remedie hiertegen te zijn. Een betere menging van de kaslucht vermindert namelijk de kans op dode, te vochtige en te koude plekken en condensatie op het gewas, en reduceert aldus de kans op infectie door Botrytis. De lokaal optredende afkoeling en mogelijke condensatie wordt vermeden. Een verhoogde luchtcirculatie kan tevens de vochtige grenslaag rond bloem en blad openbreken, indien de vochtige lucht wordt afgevoerd (via bijv. luchten of een vochtkier in het scherm). Dit vermindert ook de kans op sporenkieming op het plantorgaan.
3. Het infectievermogen van de sporen wordt verminderd door zonnestraling en hoge temperaturen. Dit sluit aan bij de praktijkervaring dat infecties minder plaats vinden in de zomer, maar meer optreden in voor- en najaar. De lage stralingsniveaus leiden tot infecties in combinatie met gematigde temperaturen en een hoge RV in een niet zo actief kasklimaat. Over het algemeen wordt invloed van het kasklimaat op infectierisico groter geacht dan op gewasgevoeligheid. Toch blijft ook de gevoeligheid van de plant van groot belang.

4. De gevoeligheid van het gewas moet zo laag mogelijk worden gehouden. Deze gevoeligheid is o.a. cultivar-afhankelijk, maar wordt door de volgende zaken verhoogd.
 - ontstaan van wonden, door bijv. bloem- en bladpluk.
 - Verhoogde worteldruk, die tot verhoogde water- en nutriëntenbeschikbaarheid voor botrytis bij kwetsbare plantendelen (bloem, wond) leidt. Dit is wellicht in gerbera nog een wat onderbelicht fenomeen en weinig onderzocht. In de groenteteelt zijn verschillende mensen er van overtuigd dat worteldruk een erg belangrijke rol speelt.
 - Te weinig stikstofvoeding vermindert de groeikracht, teveel stikstof geeft zachte, welige gewassen.
 - In het algemeen een bemesting waarin de verhouding van de elementen erg verstoord is.
 - Een door andere ziekten reeds verzwakt gewas.
5. De ziekte(sporen)druk verminderen door een goede hygiëne:
 - vermijden van (teveel) oude, afstervende plantorganen
 - aanwezige oude plantenresten zo droog mogelijk houden
 - vermijden gewashandelingen bij besmette plantorganen geeft minder sporenverspreiding
6. Voorkomen is beter dan genezen: het is namelijk moeilijk om uitgroei van een bestaande aantasting (laesie) via klimaatregeling of voeding tegen te gaan. Zo komen schimmelgroei en sporulatie (vrijzetting van sporen) gelijktijdig voor in de kas, maar reageren verschillend op het klimaat.

Bovenstaande aspecten zijn al in grote mate in algemene praktijkadviezen verwerkt (o.a. bij DLV Facet), maar een echte beheersing van het botrytisprobleem vergt nog nader onderzoek. Zo zijn in het parapluplan Botrytis in gerbera de volgende deelvragen onderzocht:

- Hoe ontwikkelt de infectie zich afhankelijk van het (micro)klimaat?
- Welke infectieroutes kent de schimmel in de keten van teelt t/m veiling?
- Wat is het effect van teeltmaatregelen (watergift, gewasonderhoud, plukken, etc.)?
- Welke kennis is nog nodig om een voorspellingsmodel voor botrytisaantasting in gerbera te ontwikkelen?
- Welke opties zijn er voor energiezuinig stookgedrag zonder risico op botrytis-besmetting?

1.3 Doelstelling

Een cijfermatig beter onderbouwd advies is gewenst om de kans op botrytis te minimaliseren voor een specifiek bedrijf met specifieke kenmerken qua teelt en klimaatstrategie, met inachtneming van een zo laag mogelijk energiegebruik. Het doel van dit deelproject van het Parapluplan gerbera is daarom als volgt:

Ontwikkeling van een computermodel, het “ voorspellings- en sturingssysteem”, dat het risico op botrytis voorspelt op grond van aanwezig klimaat en gewas, de gewasgroei en het energieverbruik berekent, en een klimaatsturing adviseert. Dit model wordt kwantitatief onderbouwd m.b.v. de resultaten uit alle deelprojecten en uit recente literatuur. In het model onderscheiden we diverse submodules. Allereerst is er het botrytismodel, dat de processen van kieming, groei en sporenvorming van botrytis simuleert in afhankelijkheid van het lokale klimaat. Naast het botrytismodel zal er een module nodig zijn die de groei en kwaliteit van gerbera simuleert, en een module die een geschikte klimaatregeling in de kas uitrekt ter voorkoming van schimmelaantasting, en een inschatting van het energiegebruik maakt.

De ontwikkelde rekenregels van het computermodel en de daarvoor gebruikte kennis worden in dit rapport per module behandeld. Het betreft het gewasgroeimodel (Hfst. 3), het microklimaatmodel (Hfst. 4), het botrytismodel (Hfst. 5), en het energiemodel (Hfst. 6). Vervolgens wordt in Hoofdstuk 7 het groeimodel getest m.b.v. data uit de gerberapraktijk en wordt in hoofdstuk 8 het effect van klimaatstrategie op botrytismet gerapporteerd. Hoe het model gebruikt kan worden en wat precies input en output zijn wordt in hoofdstuk 9 gerapporteerd. Het rapport sluit af met een discussie en conclusies (Hfst. 10). Naast het rapport komt voor de gerberasector ook het computermodel beschikbaar.

2 Het voorspellings- en sturingssysteem

De concrete output van deelproject 6 is een voorspellings- en sturingssysteem voor botrytis in gerbera. Het systeem moet de processen simuleren zoals relevant voor botrytis, gerberagroei en energiegebruik bij praktijkbedrijven. Er is van uit gegaan dat zo'n model dan moet bestaan uit verschillende deelmodellen die deze zeer verschillende processen afzonderlijk berekenen:

1. een gewasgroeimodel
2. een microklimaatmodel
3. een botrytismodel
4. een energiemodel.

Elk van deze modelonderdelen wordt in een afzonderlijk hoofdstuk gerapporteerd. De verbinding tussen deze modellen wordt gerealiseerd door het voorspellings- en sturingssysteem, dat beschreven wordt in hoofdstuk 9. Het gehele systeem kan voor twee verschillende doelstellingen gebruikt worden: 1. Voorspellen botrytis en gewasgroei, en 2. Sturen tegen botrytis. Voor het tweede doel is koppeling aan de klimaatcomputer op het bedrijf noodzakelijk. Die koppeling is in principe mogelijk, maar implementatie daarvan valt buiten het bestek van dit onderzoek.

De gevraagde invoer van het voorspellingssysteem moet aan realistische eisen voldoen: wat zijn de meest gebruikelijke registraties door klimaatcomputer en teler, en kan het model daarmee uit de voeten.

Als noodzakelijke uitvoer is gepland: (1) kans op smet aan de bloemen door botrytis, (2) energiegebruik bij gekozen klimaatstrategie, (3) bloemproductie en –kwaliteit bij de gekozen strategie. Daarnaast is het gewenst dat van de afgelopen, geregistreeerde periode het model de bloemproductie en schimmelrisico's berekend. Voor gewasgroei en botrytis-ontwikkeling is sowieso een minimum periode voorafgaand aan de voorspelling noodzakelijk om de juiste staat van gewas en sporendruk te berekenen (zie hiervoor hoofdstukken 3 en 5 resp.).

2.1 Opzet / Overzicht

Het Botrytis voorspellings- en sturingssysteem bestaat uit vijf delen: het gewasgroei- en bloemkwaliteitsmodel (hoofdstuk 3), het microklimaatmodel (hoofdstuk 4), een *Botrytis* ontwikkeling- en besmettingsmodel (hoofdstuk 5), een energieberekening (hoofdstuk 7) en een voorspellingsmodule (hoofdstuk 9)(Figuur 1.). De twee modellen zijn geïntegreerd en de waarschijnlijkheid van kieming van de sporen in de naoogstfase wordt berekend en daaruit het risico voor optreden van pokken geschat.

2.1.1 Microklimaat

Het microklimaat moet op verschillende plaatsen in het gewas gemeten en/of gemodelleerd worden. Onder microklimaat wordt de temperatuur, het vochtdeficiet, licht (straling) en de CO₂ concentratie in de grenslaag (*boundary layer*) tussen van plantorgaan en lucht bedoeld.

2.1.2 Groeimodel gerbera

Basismodel

Het groeimodel wordt gebaseerd op de veel gebruikte en geteste fysiologische gewasgroeimodellen zoals bij WUR beschikbaar. Voor de check van de modeluitkomsten zullen productiecijfers en klimaatgegevens van een heel jaar van 6 bedrijven uit Deelproject 5 benut worden (zie hoofdstuk 6).

Bloemkwaliteit

Modellering van bloemkwaliteit (bloemgrootte, taklengte) is van belang voor de voorspelling van (a) het effect van een opgelegde klimaatstrategie t.a.v. beperkt energieverbruik of reductie van schimmelrisico, en (b) de bepaling van het sporenvangend oppervlak van de bloem. Een kasexperiment was nodig om informatie te leveren t.b.v. de benodigde rekenregels voor bloemkwaliteit. De rekenregels zijn nadien uitgetest door het model de productie en bloemkwaliteit van diverse praktijkbedrijven te laten narekenen.

2.1.3 Schimmelmodel

Het Botrytismodel is opgebouwd m.b.v. literatuurgegevens en de onderzoeksresultaten van de naogstobservaties in deelproject 5. De noodzakelijke klimaat- en sporendrukgegevens waren aanwezig om het model te ijken, evenals sporen-aantallen op de bloemen. Er was naar gestreefd om ook de smetgegevens en de meetboxgegevens van de bedrijven van een langere periode te gebruiken om het model verder te testen. Op de bedrijven waren helaas geen gegevens verkrijgbaar om een volledig goede validatie uit te voeren, dwz. gegevens van onafhankelijke bedrijven niet gebruikt bij de opbouw van het model. Het model is daarom op dezelfde bedrijven van deelproject 5 getoetst. Hier is voor gekozen om het voorspelde risico t.a.v. botrytismet op bedrijven met verschillende uitkomsten in de naogstobservaties met elkaar en met het model te vergelijken.

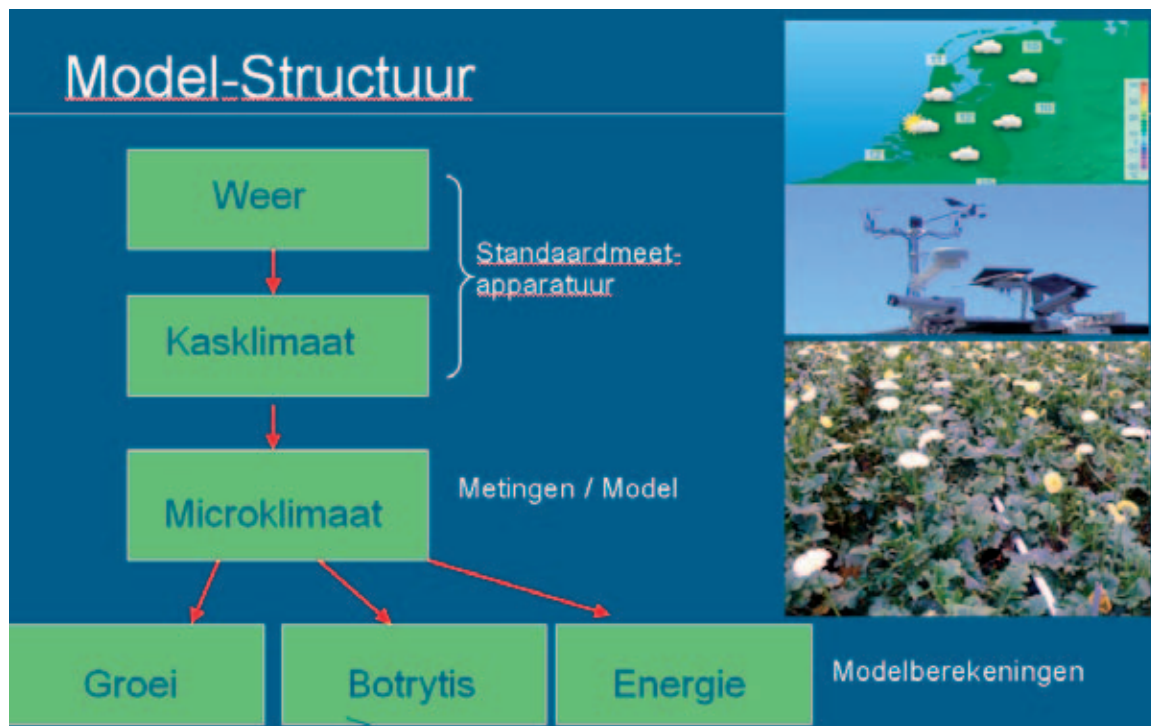
2.1.4 Energiemodel

Een module t.a.v. energiegebruik geïntegreerd (hoofdstuk 6) waarbij rekenregels ontleend zijn aan het kasklimaatmodel Kaspro (De Zwart, 1996).

2.1.5 Module voorspellen/sturen

Het geheel is geïntegreerd in een voorspellings- en sturingsmodel. Hierin is *niet* het waarschuwingssysteem van Deelproject 1 opgenomen. Deze module omvat zowel de voorspellende berekening voor de komende periode alswel de interface die beheer van invoer, uitvoer en draaien van het model gebruikersvriendelijk maakt.

Los van de interface is het geheel als onderdeel (in exe-format) te implementeren in een klimaatregeling.



Figuur 2.1 Overzicht van het voorspelling- en sturingssysteem van botrytis in gerbera.

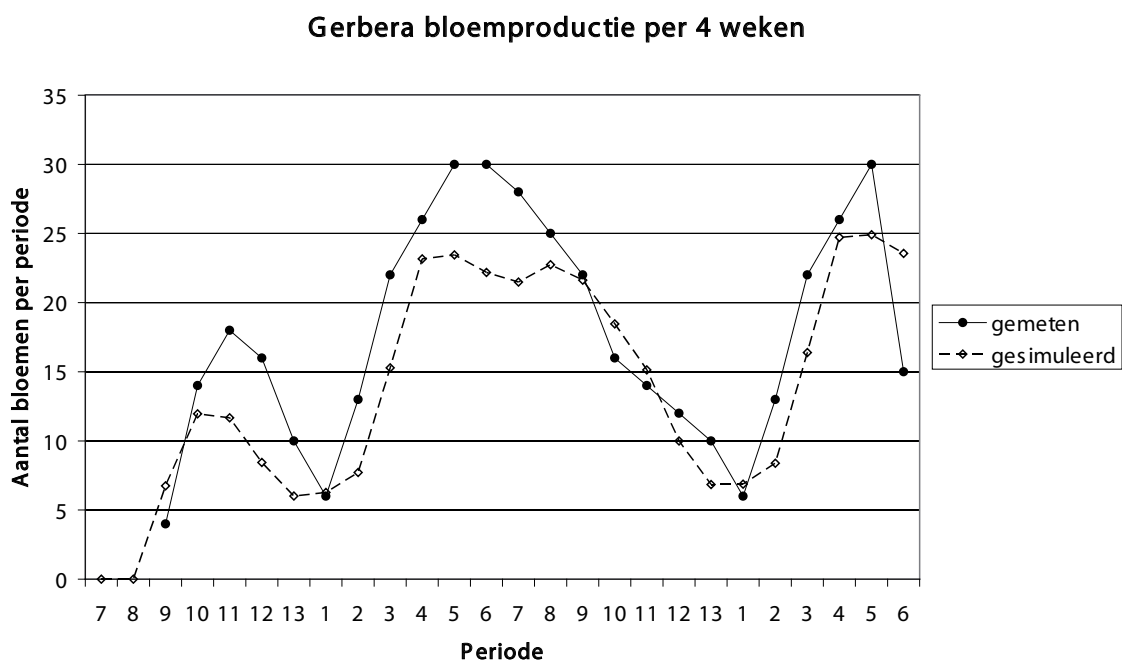
2.2 Systeemgrenzen

De systeemgrenzen zijn gedefinieerd naar Van den Ende *et al.* (2000): gevoeligheid van het plantmateriaal is onafhankelijk van leeftijd van de plant. Ook zijn er aanwijzingen dat Botrytis sporen in kassen altijd aanwezig zijn (Kerssies, 1994). De afhankelijkheid van schade van de concentratie van de sporen in de kaslucht is onderzocht in Deelproject 5. Er bleek een lage scherpe drempel te bestaan voor sporenconcentratie en schade: Onder de drempel (=een bepaalde sporenconcentratie) is de kans op Botrytisaantasting zeer laag en boven de drempel hoog. Er waren geen aanwijzingen voor een langzaam toenemend effect van luchtsporenconcentratie en pokken in de naoogst.

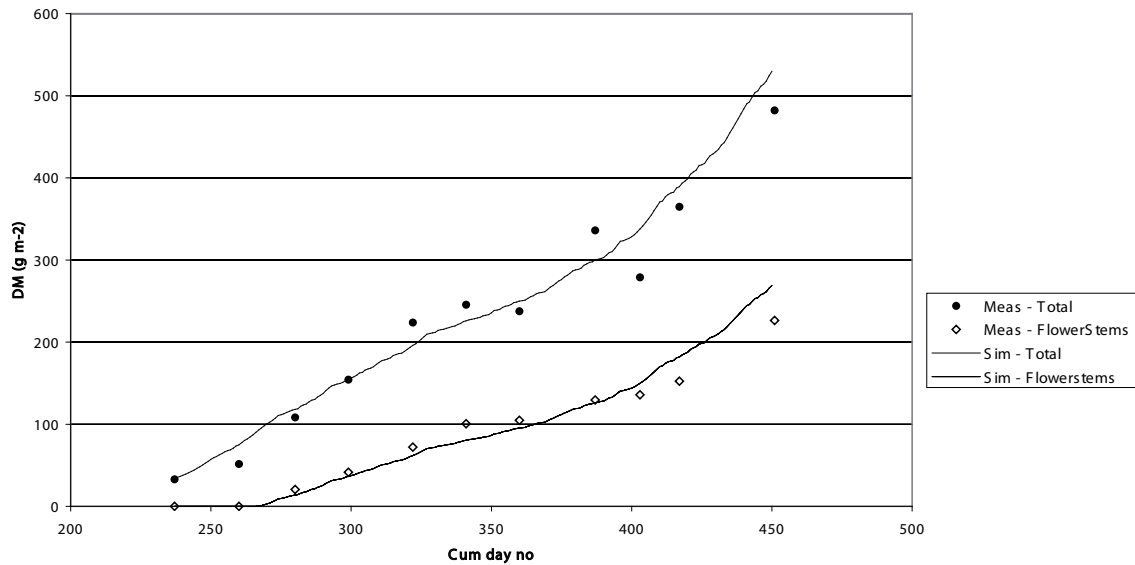
3 Gewasgroeimodel

3.1 Basismodel

Op basis van groeimodellen van WUR Glastuinbouw bij andere gewassen, literatuur over gerbera en data van Belgische (Labeke e.a.) en Duitse (Richter) onderzoekers is een groeimodel voor gerbera gemaakt dat op basis van klimaatgegevens de groei en bloemproductie kan berekenen. Er zijn een aantal plantgegevens bij enkele bedrijven verzameld. Het model is voor het ras Optima al getest en vergeleken met de gegevens uit het KWIN-rapport uit 2001-2002 (zie Figuur 3.1). De kern van het groeimodel bestaat uit (a) fotosynthese op basis van onderschept licht, CO₂, temperatuur en luchtvochtigheid, (b) LAI-ontwikkeling gerelateerd aan temperatuursom, met een basistemperatuur van 5 graden, (c) ademhaling voor groei en onderhoud van de biomassa, in afhankelijkheid van de temperatuur, (d) bloemaantal en -gewicht afhankelijk van fotosynthese, temperatuur, en daglengte. Het basismodel is nauwkeurig beschreven door Gijzen (Modelling of gerbera flower production, WUR Glastuinbouw, Gijzen, H., 2006).



Figuur 3.1. Bloemproductie gemeten en gesimuleerd in 4 weken met het basismodel



Gerbera cv Optima-experiment (Van Labeke & Dambre, 1999)
Measured and fitted simulated cumulative DM production

Figuur 3.2. Gemeten en gesimuleerde drogestofproductie van gerbera cv Optima in het experiment Van Labeke & Dambre (1999)

3.2 Verbeterd model

Het basismodel berekent alleen de fotosynthese, drogestofgroei en drogestofverdeling in gerbera. Om het aantal bloemen en bloemkwaliteit te kunnen berekenen door het model waren relatief weinig experimentele gegevens beschikbaar voor het basismodel. Om het model te verbeteren is daarom een proef uitgevoerd met de doelstelling de invloed van klimaat op bloemkwaliteit te kwantificeren. De invloed van de belangrijkste klimaatfactoren (temperatuur en licht) zijn hier nader onderzocht.

Hieronder worden opzet en resultaten van de bloemkwaliteit-proef besproken. Tevens worden de relaties beschreven die in het model zijn ingebouwd.

3.2.1 Algemeen

Het model berekent de ontwikkeling van bladoppervlakte (LAI). Dit is in het begin van de teelt een belangrijke factor voor de groei van het gewas en daarom is het belangrijk dat het model dit goed berekent. Voor een ouder gewas wordt de LAI nooit hoger dan een zeker maximum omdat het bladpakket regelmatig gesnoeid/gezaagd wordt. We gaan dan uit van een vrij constante LAI, en deze is in het model op een maximum van 3 gezet (met daarbij >95% lichtonderschepping). Voor een jong gewas kan de LAI worden berekend via de drogestofproductie. Deze drogestofproductie wordt weer berekend via de fotosynthese. De LAI volgt uit de hoeveelheid biomassa, door vermenigvuldiging van biomassa x specifieke bladoppervlak. Dit specifieke bladoppervlak (of in het Engels "specific leaf area", SLA, in m² per gram drogestof) is een maat voor de blad dikte en wordt berekend als functie van het dagnummer in het jaar (zie Bijlage 1). De vergelijking is gebaseerd op de gegevens van Belgisch onderzoek door Van Labeke (pers.comm.).

Metingen in een kasproef bij WUR Glastuinbouw dienen ter ontwikkeling van onderdelen van het model. Vervolgens zijn metingen op enkele bedrijven uitgevoerd (Tabel 3.1) om het model te toetsen aan praktijkdata en indien nodig verder aan te passen aan deze observaties. De volgende gegevens zijn op de bedrijven verzameld:

- Wekelijkse bloemproductie
- Verloop bloemgrootte en –gewicht per twee weken
- Klimaatdata en bedrijfskenmerken

Tabel 3.1. Geobserveerde bedrijven voor de groeimodelvalidatie

Bedrijf	Locatie	Ras
Mistral	Zevenhuizen	Dino, Heatwave
Koolhaas	Nieuwekerk	Dino, Heatwave, Kimsey, Harley
Gebr Reym	Nieuwekerk	Dino, Heatwave, Kimsey

3.2.2 Opzet kasproef WUR Glastuinbouw Bleiswijk

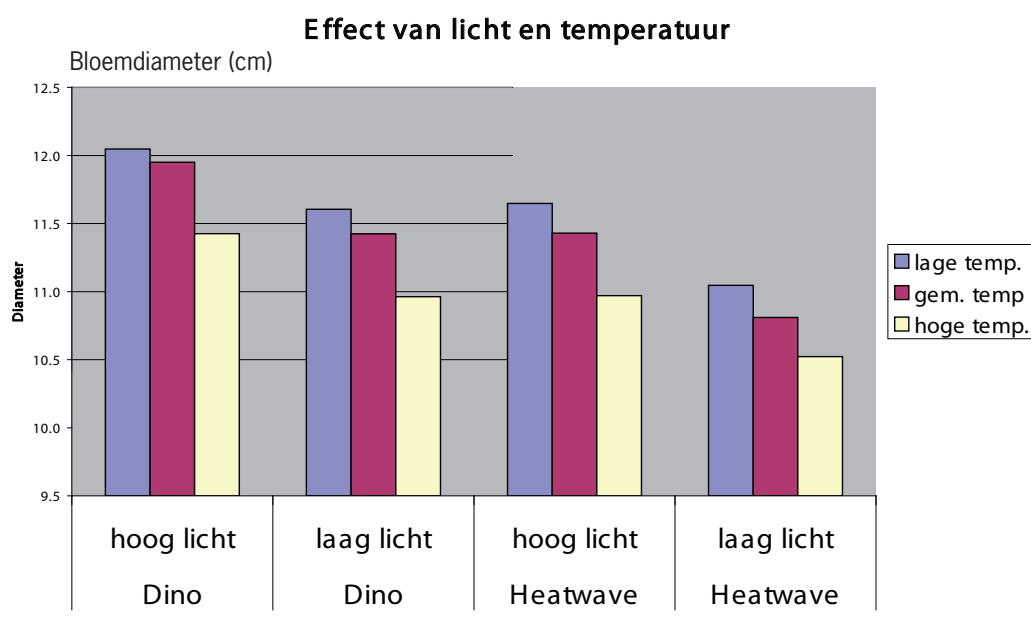
1/2-jaar oude Dino en Heatwave planten zijn in week 2 (2008) in 6 geconditioneerde kassen van 24 m² op tafels van 3.3 m * 1.4m met drie roltafels per afdeling in kokos geplant. De kassen waren in twee lichtniveaus, 5000 en 10.000 lux (met het oog op de toekomst), ingedeeld (3 en 3) en er was een daglengte van 11.5 uur gedurende het experiment (18 weken).

Er zijn verschillende temperatuurniveaus gebruikt: starten in week 1 met dag/nacht 18/14 (etmaal 16) ; 20/16 (etmaal 18) en 22/18 (etmaal 20) en eindigen in week 19 met 21/17 (19); 23/19 (21) en 25/21 (23), waarbij er om de 3 weken een ½ graad bij kwam.

Er zijn wekelijkse metingen gedaan van blad- en bloemafplitsing, gewichtstoename wortel, blad, bloem, bloemkenmerken: diameter, gewicht, lengte, stevigheid en het kasklimaat.

3.2.3 Resultaten

Beide cultivars produceerden grotere bloemen (Figuur 3.3) en stelen bij verhoogde belichtingsintensiteit. Maar een verhoging van de temperatuur resulteerde juist in kleinere bloemen.



Figuur 3.3 Invloed van lichtniveau en temperatuur op bloemdiameter (cm) bij de cultivars Dino en Heatwave.

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

1. Een hogere temperatuur geeft meer stuks, een kleinere diameter, langere takken, een lager takgewicht en een kortere uitgroei duur
2. Een hoger lichtniveau geeft meer stuks, een grotere diameter, een hoger takgewicht, maar heeft geen invloed op taklengte en uitgroei duur

De statistische regressies m.b.v. meetdata hebben de volgende relaties opgeleverd tussen klimaatcondities en bloemkwaliteit (f betekent "functie van", en de eenheid van de variabele staat tussen haakjes []):

Bloemdiameter=	f(gemiddelde bloemtemperatuur, lichtsom) [m]
Steellengte=	f(gemiddelde bloemtemperatuur) [m]
Steel/bloem-ratio=	f(gemiddelde bloemtemperatuur) []
Bloemaantal per week per m ² =	f(aantalvoorgaandeweek, gemiddeldebloemtemperatuur, lichtsom) [nr m ² week ⁻¹]
Uitgroei duur=	f(gemiddelde bloemtemperatuur) [dagen]
Bloemschijfgewicht versus bloemtotaalgewicht=	f(gemiddelde bloemtemperatuur) []

4 Microklimaat

Het microklimaat moet op verschillende plaatsen in het gewas gemeten en/of gemodelleerd worden. Met microklimaat bedoelen we de temperatuur, het vochtdeficiet (of RV), licht (straling) en de CO₂ concentratie in de *boundary layer* (grenslaag) van de plantendelen. Voor bepaling van het microklimaat kunnen microsensoren met de klimaatPC verbonden worden. De microsensoren kunnen ook (tijdelijk) gebruikt worden om de relatie tussen meetbox en microklimaat te bepalen. Deze relatie kan dan benut worden in het voorspellings- en sturingssysteem want dat gaat uit van gegevens uit de meetbox (Hfst. 7).

In de huidige modelaanpak veronderstellen we dat de meetbox in de omgeving van de planten hangt (op bloemhoogte). Indien de teler verwacht dat er grote lokale verschillen zijn i.v.m. zijn klimaatstrategie (bijv. AircoBreeze, of een (semi-) gesloten kas) raden we plaatsing van de meetbox tussen inkomende lucht en gewas (en bij voorkeur zo dicht mogelijk bij het gewas) aan. Zo kan dan bijv. het effect van inkomende drogere lucht, zoals bij Het Nieuwe Telen, meegenomen worden in de berekeningen.

Al de microklimaatcondities in de grenslaag worden berekend via die klimaatbox data. Dit betreft allereerst de temperatuur. Verder behoort bij het microklimaat ook het vochtgehalte op de bladeren/bloemen: door condensatie kan vrij water op het plantenweefsel ontstaan, dat dan door evaporatie weer opdroogt. De zogenoemde *Leaf Wetness Duration* (Blatnatduur) is een van de belangrijkste indicatoren voor botrytisbesmetting.

Evaporatie (LE) en Condensatie (C) op het weefsel wordt berekend met de Penman-Monteith vergelijking (zie o.a. Stanghellini, 1993). LE en C worden hiermee via een stralings-term en een vocht-term berekend. Hierbij is de evaporatie een functie van:

- kortgolvlige straling op het weefsel
- langgolvlige straling op het weefsel
- grenslaagweerstand,
- huidmondjes weerstand
- temperatuur van het weefsel
- vochtdeficiet tussen blad en lucht

Drogere lucht zal dus de verdamping stimuleren omdat het dampdrukdeficiet tussen huidmondjes en de lucht toeneemt. In het huidige model verhoogt de luchtstroming de convectieve afkoeling, via een functie die meer warmtestraling afvoert als gevolg van verlaagde grenslaagweerstand. Meestal zorgt dit ook voor meer verdamping. Maar bij bepaalde waarden zal eerder afkoeling door convectie dan door verdamping optreden (hoewel beiden worden gestimuleerd door verhoogde luchtstroming), en zakt de verdamping bij verhoogde luchtstroming omdat verdamping een verminderde rol speelt in de afkoeling (pers.comm. C. Stanghellini).

De grenslaagweerstand wordt berekend als functie van:

- windsnelheid
- ruwheidslengte gewas (=maat voor weerstand tegen wind)

De huidmondjesweerstand wordt berekend uit:

- CO₂ concentratie
- relatieve luchtvochtigheid
- Fotosynthesesnelheid
- luchtdruk

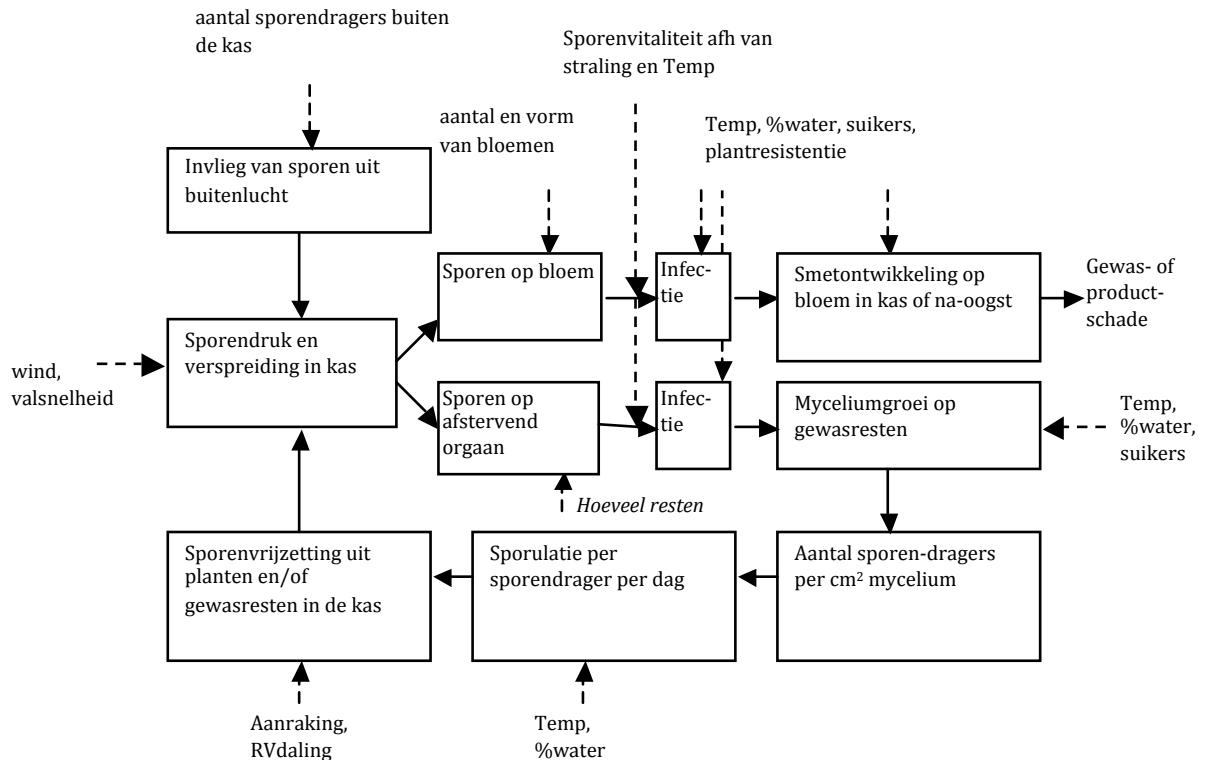
Het model neemt aan dat er condensatie optreedt als de evaporatie (LE) kleiner of gelijk 0 is. Er wordt dan de integraal over LE berekend zodat condensatie op het weefsel met de tijd groter wordt als LE over een periode kleiner dan 0 is. Als er een laagje water op het weefsel staat (condensatie), wordt de berekening van LE aangepast (grenslaagweerstand wordt op 0 gesteld).

Al deze berekeningen worden voor blad en bloem apart gedaan. Zo zou dan bijvoorbeeld condensatie ontstaan bij de koude bladeren terwijl de bloem droog blijft omdat deze volgens de energiebalans (o.a. uitstraling naar het kasdek) geen lagere temperatuur heeft dan zijn omgeving. Maar een bloem kan ook sneller afkoelen dan het blad door zijn lagere warmtecapaciteit, en dan 's nachts het risico lopen op condensatie. Zowel in de BotrytisVoorspeller (zie Hfst. 9) als in het Excel-model DxBloem (eenvoudig model voor bloemtemperatuur, gratis verkrijgbaar bij Feije de Zwart, WUR) wordt hier rekening mee gehouden.

5 Botrytismodel

Op basis van literatuurgegevens is een model voor Botrytis opgesteld. Naast bekende relaties tussen infectie en waterdampspanning, temperatuur en licht, zijn in het model sporendruk in de kas, depositie en aanhechting van sporen op de bloemen gesimuleerd. In het tijdsbestek van sporulatie (vanuit het mycelium) tot oogst van de bloemen zijn de sporen aan het kasklimaat en het microklimaat blootgesteld.

De berekening van ontwikkeling én aantasting met botrytis is opgedeeld in drie fasen: (1) het vormen van sporen, (2) het landen en aanhechten van de sporen op de bloemen en bladeren, en (3) het besmetten van het plantenweefsel.



Figuur 5.1 Processen die een rol spelen bij botrytisschade in de teeltfase bij gerbera. Infecties na oogst en bij transport zijn niet vermeld. Doorgetrokken pijl: richting van ziekteproces; onderbroken pijl: factor. (uit Köhl et al. 2006)

Het Botrytismodel is opgedeeld in een aantal submodellen: (1) Ontwikkeling van sporenbron in het kas (mycelium), (2) Sporulatie, (3) Verspreiding van sporen in de kaslucht, (4) Landen en aanhechten van sporen op de lintbloemen, (5) Kieming van sporen op het weefsel, (6) Groei en binnendringen van de gekiemde sporen het weefsel.

5.1 Sporenbron en sporulatie

De sporenbron voor *Botrytis* zijn oude afstervende bladeren en ander plantenweefsel. Het mycelium als sporenontwikkelingsbron groeit in het oude weefsel. Omdat het mycelium met suiker en water van het plantenweefsel verzorgd wordt, is microklimaat van de bladgrenslaag niet direct van invloed op de myceliumgroei, maar echter wel de waterpotentiaal van het weefsel. Voor het berekenen van de waterpotentiaal in de tijd (verdamping en uitdroging van oud plantenweefsel) is de transpiratie/evaporatie (en andere processen) belangrijker, en daardoor het kennen van straling op het weefsel, grenslaag- en huidmondjesweerstand en vochtdeficiet tussen blad en lucht. Onder sporulatie wordt het vrijkomen van sporen vanuit de conidia verstaan. Conidia zijn sporendragers die door stress de sporen de lucht in schieten. Stress kan zowel fysisch (aanraken) als klimaatbepaald (temperatuur, vocht, wind) zijn. Windbeweging door ventilatoren, open ramen, werkzaamheden, en snelle fluctuaties van vochtdeficiet en/of temperatuur, kunnen tot sporulatie leiden. In natuurlijke vegetaties kan de sporulatie soms een specifiek dag/nacht patroon vertonen doordat het vochtdeficiet meeloopt met de opkomende zon. In de kas kan deze dynamiek tevens veroorzaakt worden door de momenten van schermen, luchten etc. Het model moet daarom alle uren van de dag de sporulatie inschatten, en daarvoor moet voor het model de windsnelheid bij de sporenbron eigenlijk continu (minimaal per 5 min) gemeten worden. Met dezelfde intensiteit moeten vochtdeficiet en temperatuur in het microklimaat van de plek van het mycelium gemeten worden. Door onderzoeksgegevens van de bedrijfsvergelijking (deelproject 5) zijn rekenkundige relaties van de invloed op de sporenontwikkeling gemaakt van raamopeningen, ventilatoren etc. t.b.v. berekening van de sporenontwikkeling. De sporenontwikkeling is daarbij uitgedrukt in sporendruk (zie §5.2) , in feite dus een resultaat van de sporulatie.

5.2 Sporendruk in de kas

Het sporendrukmodel is gebaseerd op de gegevens van de observaties van sporenaantallen in deelproject 5 van het Parapluplan. Hier waren 4 klassen van sporenhoeveelheden ingedeeld, verzameld in een 24-uurs periode gelijktijdig met de oogst van de bloemenmonsters. De sporenklassen waren: 0=0 sporen; 1:1-10 sporen; 2:10-50 sporen; 3: 50 tot 100 sporen; 4: meer dan 100 sporen. In deelproject 5 zijn deze getallen met de klimaatcondities van de 144 observaties en de gemiddelde gegevens over de 3 dagen voorafgaand aan de oogst geanalyseerd en zijn er wiskundige relaties mee bepaald.

In dit sporendrukmodel wordt eerst de vochtbalans van de bladeren en bloemen berekend. I.v.m. overeenstemming met deelproject 5 (zie boven) zijn in het model vergelijkbare sporenklassen gedefinieerd: van klasse 1 tot klasse 4. Gegevens van verschillende tuinders hebben de volgende vergelijking aangetoond, waarbij de sporenklasse afhankelijk wordt gemaakt van het gemiddelde vochtdeficiet (vapor pressure deficit of VPD, in kPa) tussen weefsel en kaslucht tijdens dag en nachturen (VPDdaggemiddelde, VPDnachtgemiddelde) zowel als aantal nachturen (exkl. uren met belichting). De vergelijking was vrij nauwkeurig en verklaarde 82% van de sporendruk (A, B en C zijn constanten, zie bijlage 1 voor de waarden):

$$\text{Sporenklasse} = A \cdot \text{VPDdaggemiddelde} - B \cdot \text{VPDnachtgemiddelde} + C \cdot \text{aantal nachturen}$$

Vervolgens kan met deze sporenklasse het aantal geproduceerde sporen per 24 uur op een oppervlakte van de grootte van een petrischaal berekend worden mb.v. een eenvoudige regressiefunctie (zie bijlage 1).

Er waren niet genoeg data om de relatie te verfijnen tot uurbasis of zelfs 5-minuten basis omdat de vangplaten geen nauwkeurige sporendruk kunnen meten in zulke korte meetintervallen.

Het aantal nieuwgevormde sporen wordt vóór elk simulatiestap bepaald. De leeftijd en activiteit van de sporen is dan berekend door het gebruik van een zogenaamd box-car model. Zo'n model blijft de per stap nieuwgevormde sporen volgen in de tijd, dus onder welke omgevingscondities (droogte, vocht, straling, temperatuur) die sporen steeds bloot staan.

Het wordt aangenomen dat de geproduceerde sporen zich eerst kort (tot enkele uren maximaal) in de kaslucht bewegen en dan neer vallen. Afhankelijk van de oppervlakte van de bloemen wordt de waarschijnlijkheid van het vallen op geopende bloemen berekend en het aantal sporen op de bloem wordt dan in de tijd gesimuleerd. Het zijn sporen van verschillende klimaatgeschiedenis (vocht, temperatuur, etc.) naast elkaar.

De flux van op blad, bloem en bodem neerdalende sporen is gelijk aan de constante voor de valsnelheid van dergelijke kleine deeltjes ($0.22-0.45 \text{ cm s}^{-1}$ bij stilstaande lucht, zie Gregory en Stedman, 1953), vermenigvuldigd met het aantal sporen in de lucht.

De sporenvitaliteit is gedefinieerd als het vermogen van de sporen om het weefsel binnen te dringen (bij de optimale omstandigheden). De vitaliteit is berekend van een gemiddelde RV in de kas in de laatste 24 uur en de stralingsom van de laatste 24 uur.

Nadat de sporen de kaslucht binnengesloten zijn, leidt verspreiding van de sporen ook tot verspreiding van schade. Hiervoor zou de windsnelheid in de kaslucht tot 1.50 m hoogte gemeten moeten worden. Hiervoor kan echter ook een model worden gebruikt die rekent m.b.v. gemeten waarden van raamopening en ventilatoren.

Zonder enige luchtbeweging zullen de sporen binnen een uur of twee op de kasbodem en plantendelen beland zijn. Voor schade aan bloemen (bijv. Gerbera) of hele planten (tomaat) moet het voorspellingsstelsel het risico voor het belanden van sporen op de gevoelige plantendelen kunnen berekenen. Voor het berekenen van de hoeveelheid met succes gelande sporen is de windsnelheid in de hoogte van de belangrijke plantendelen belangrijk, bijv. 60 cm vanaf plantenbasis in Gerbera (gemiddelde hoogte van een open bloem). Het aanhechten van de sporen aan het weefsel verloopt daarna in twee stappen. De eerste stap is een zwakke aanhechting en kan met weinig moeite (mechanisch) weer terug gedraaid worden. Deze eerste stap van besmetting wordt door vocht ondersteund. Een droog microklimaat leidt tot een lagere kans op aanhechting. Door de fysische eigenschappen van de sporen (rond en glad) kunnen deze beter op loodrecht weefsel hechten en aan weefsel met een grof oppervlakte.

5.3 Infectie

De berekening van het risico op infectie met sporen is gedaan door de tijdsintegralen van vocht op het weefsel en droge perioden met elkaar te verrekenen. Er wordt eerst een p-value voor het uitdrogen berekend. Het plantmateriaal is droog en heeft een uitdrogend effect als het vochtdeficiet hoger is dan 0.5 kPa. De snelheid van het kiemen van de sporen wordt berekend met verschillende vergelijkingen afhankelijk van temperatuur en of vocht op het weefsel aanwezig is of niet.

Sporenkieming is afhankelijk van het vochtdeficiet en de temperatuur in het microklimaat. Bij optimale omstandigheden, vochtdeficiet van 0 kPa (vrij water) en 20-25 °C kiemen sporen binnen 2-3 uur. Om kieming te voorspellen moeten vochtdeficiet en temperatuur in het zachte (lintbladen van Gerbera) of beschadigde weefsel (tomaat) bekend zijn. Kieming is een functie van natslag (condens), temperatuur en vochtdeficiet. Sporen kunnen zowel bij hoog RV kiemen en bij vrij water. Kieming gebeurt zowel bij licht als in het donker (Blakeman, 1980), maar er is een invloed van temperatuur [Yunis, 1994]. De kieming van sporen als functie van temperatuur bij vrij water in komkommer waargenomen door Yunis *et al.* (1994) is in het model opgenomen (Figuur 5.2) en ontwikkelingssnelheid van kieming per min kan berekend worden in afhankelijkheid van temperatuur (zie bijlage I voor details).

Bij een temperatuur over 30 °C vindt er geen ontwikkeling plaats [Eden *et al.*, 1996]. Kieming kan ook plaats vinden zonder vrij water (Figuur 5.3). Gegevens van Salinas *et al.* (1989) van kieming van sporen op gerberabloemen bij 100% RV in de lucht maar zonder condensatie tussen 4 en 25 °C is gebruikt in Figuur 5.3.

De ontwikkelingssnelheid neemt met toenemend vochtdeficiet af. Gegevens van een experiment op Agar van Köhl (PRI) zijn gebruikt om deze relatie in het model te implementeren (Figuur 5.4).

Kiemingssnelheid = $A + B (1 + 10^{((VPD-C)*D)})^E$, waarbij A t/m E constanten, en VPD = vochtdeficiet in kPa

In de microklimaatmodule wordt natslag en/of het vochtdeficiet en temperatuur in de grenslaag van de bloemen berekend. Op basis daarvan kan kieming berekend worden.

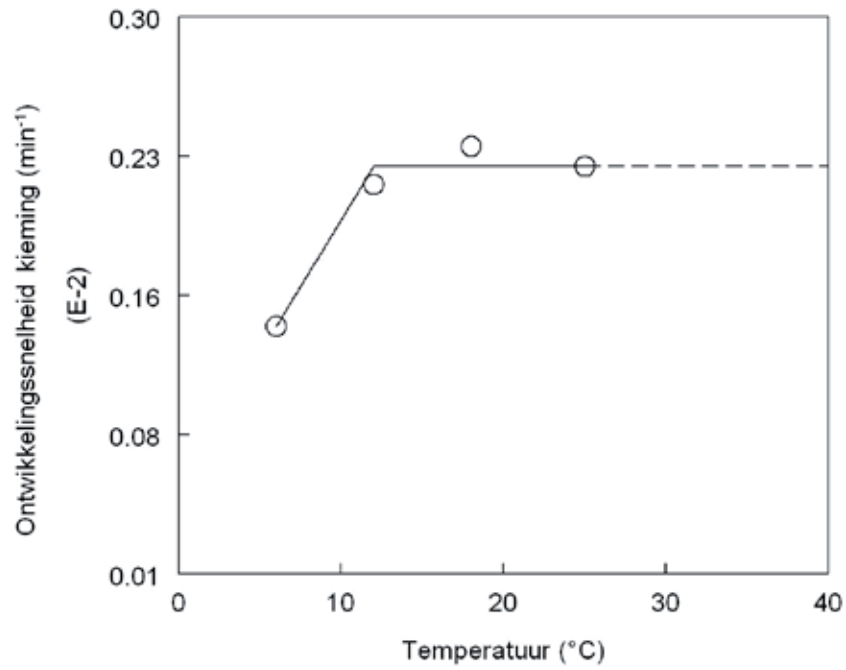
Een succes in de kieming wordt bereikt als over een bepaalde tijdsperiode de kieming meer succes heeft dan het uitdrogen en dus de kiembuis uit de spore kan groeien.

Er is een bepaalde tijdsduur tussen kieming en penetratie van de kiembuis in het weefsel. In deze fase is de spore het gevoeligst. In deze periode heeft een droge periode een groot effect; als een droge periode te lang of te extreem is sterft de gekiemde spore.

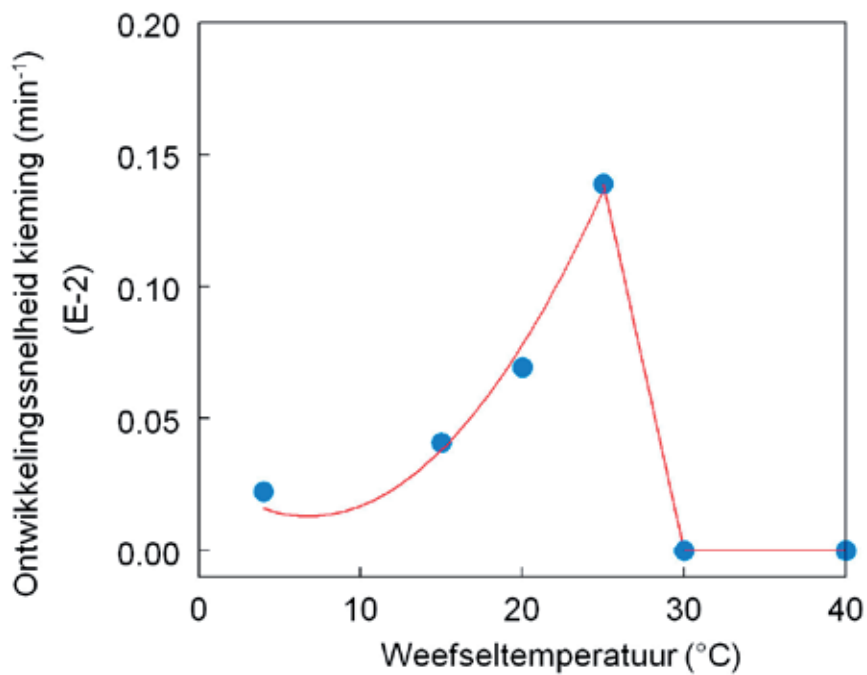
Bij hoge luchtvochtigheid neemt de kans op botrytis toe. Het microklimaat is hier van groot belang. Door het vormen van sporen in de bladmassa van het gewas is hier de bron van de ziekte te zoeken. Om het ontwikkelen van sporen te voorkomen (of te verminderen) moet vooral het vochtdeficiet tussen de bladeren in de nacht hoog gehouden worden; bij een gemiddeld nacht-vochtdeficiet tussen de bladeren hoger dan 2.25 g/m³ is het risico voor besmetting laag (door onderdrukking van sporenvorming)(Tabel 5.1). Ook bij zeer hoge vochtdeficiets is er nog kans op ontwikkeling van Botrytis (Figuur 5.4).

Tabel 5.1. Niveau van vochtdeficiets voor enig en hoog risico voor Botrytis besmetting

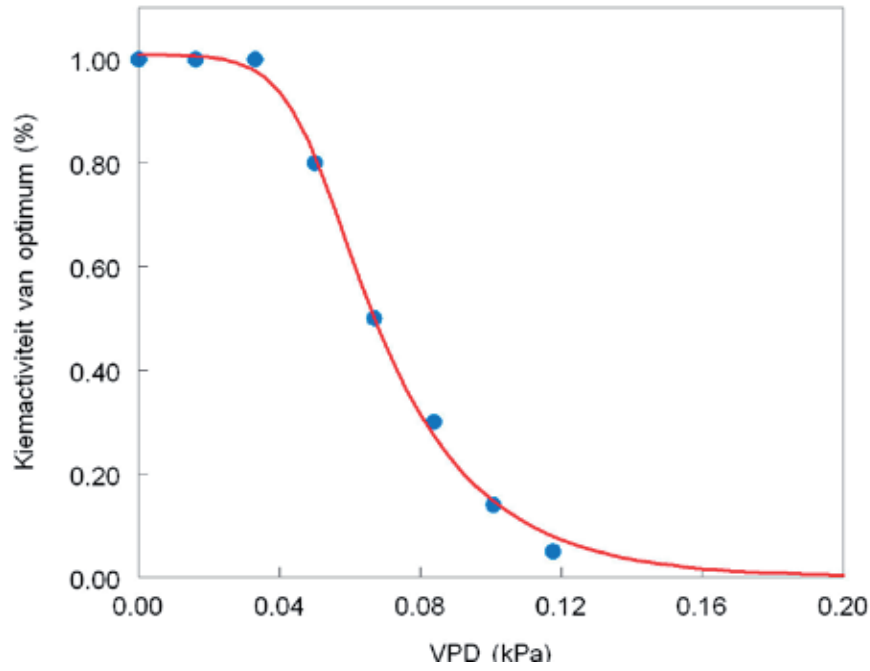
	Enig risico	Hoog risico
Dag (bloem)	5.25 g/m ³	2.25 g/m ³
Nacht (blad)	2.25 g/m ³	0.75 g/m ³



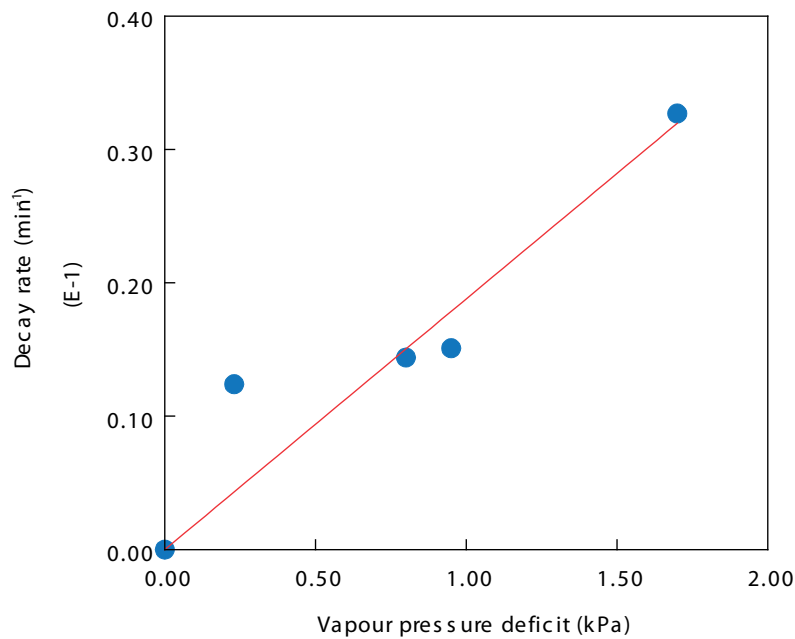
Figuur 5.2. Ontwikkelingssnelheid van het kiemingsproces in gerbera bij 100% RV en vrij water, als functie van temperatuur



Figuur 5.3 Ontwikkelingssnelheid van het kiemingsproces in gerbera zonder vrij water en minder dan 100% RV als functie van temperatuur



Figuur 5.4. Relatieve kiemactiviteit van het kiemingsproces in gerbera (Köhl, pers.meded.) als functie van vochtdeficiet (VPD), $R^2 = 0.996$



Figuur 5.5. Afbraaknelheid van sporen als functie van het vochtdeficiet.

5.4 Afname sporevitaliteit en afsterven gekiemde sporen

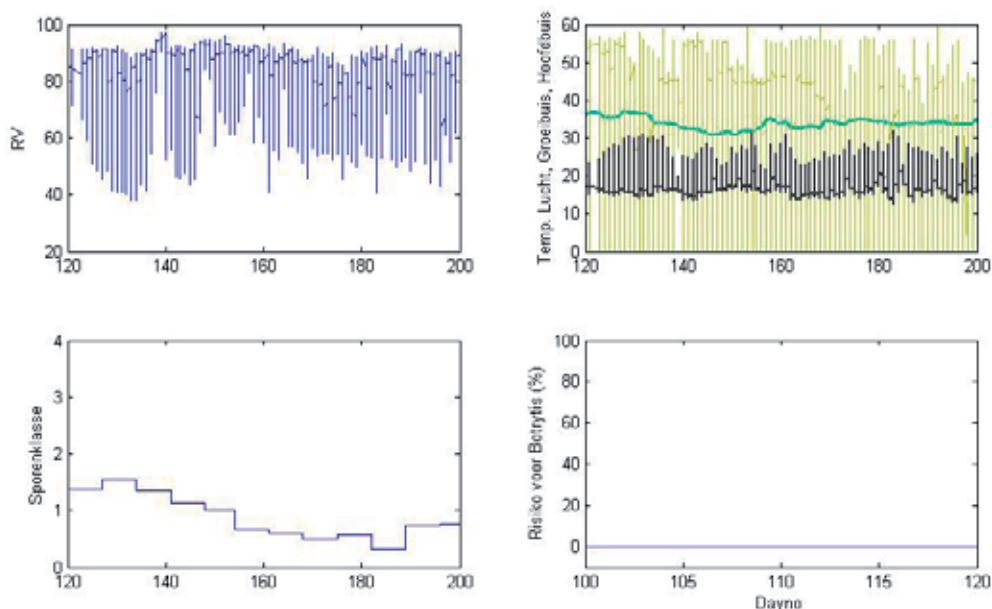
Door fluctuaties in vocht en temperatuur en door licht (ook UV) neemt in de tijd de vitaliteit van sporen af. Als sporen lang aan het weefsel gehecht zijn en RV en tk fluctueren neemt de vitaliteit door de wisselende wateropname en uitdroging van de sporen af; licht heeft ook een “vermoeiend” effect op de sporen. De sporen kunnen ook afsterven als ze direct na de kieming uitdrogen. Het proces tussen kieming en binnendringen van het sporenbuisje in het weefsel duurt afhankelijk van de vitaliteit van de sporen en de microklimaatomstandigheden tussen minuten en uren. In dit tijdvenster kunnen de sporen afsterven. Bepaling van het vochtdeficiet en temperatuur in de boundary layer zijn hier belangrijk.

Door droogte kunnen kiemende sporen afsterven en naar 4 uur zijn ze dood (Nederhoff, 1997), dus een vochtdeficiet van 0.95 kPa bij 20 °C (7.125 g m^{-3}). In het model is aangenomen dat uitdroging plaats vindt op de bloemen en een functie is van evaporatie. Wij hebben de evaporatie-energie bij 0.95 kPa VPD, 20 °C en 100 Wm^{-2} straling op 70 W m^{-2} berekend. Daardoor kan ontwikkeling van uitdroging per min beschreven worden als functie van de evaporatiesnelheid, met als voorwaarde een VPD hoger dan 0.5 kPa (zie Bijlage I).

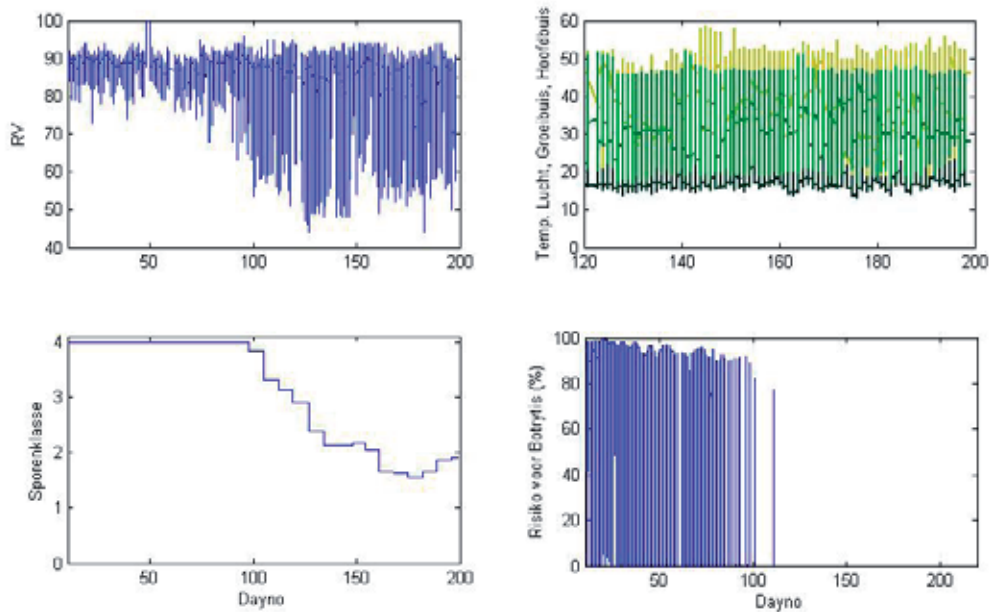
5.5 Resultaten en modelgevoeligheid

De boven vermelde rekenregels zijn verwerkt in een Matlab model. Matlab software is zeer sterk in het rekenen met matrices en dit bleek noodzakelijk t.a.v. het simuleren van botrytissporen, waarmee de historie (temperatuur, straling en vochtdeficiet in het microklimaat) van groepjes sporen van dezelfde leeftijd in de computer wordt bijgehouden.

Het botrytismodel is getest door de botrytisontwikkeling te simuleren voor het gegeven klimaat van 2 sterk verschillende gerberabedrijven. Voor bedrijf 2 dat sterke schommelingen in luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid kent, laat het model een aanzienlijke sporendruk en infectierisico zien (Figuur 5.6b), terwijl voor bedrijf 1 dat continue een minimumbuis aanhoudt van 40 °C door de drogere lucht vrijwel geen botrytis wordt voorspeld (Figuur 5.6a). De sporendruk wordt uitgedrukt in sporenklasse, conform de metingen in de bedrijfsvergelijking (zie 5.2).



Figuur 5.6a. Model invoer (RV en temperaturen lucht, groeibuis en hoofdbuis) en uitvoer (sporendruk en botrytisisico) bij het gegeven kasklimaat van gerberabedrijf 1



Figuur 5.6b. Modelinvoer (RV en temperaturen lucht, groeibuis en hoofbuis) en uitvoer (sporendruk en botrytisrisico) bij het gegeven kasklimaat van gerberabedrijf 2

N.B. met betrekking tot de output:

1. een berekende botrytiskans van 50% betekent dat van elke 100 bloemen er 50 besmet zijn met botrytissporen. Niet bekend is hoe groot de dan ontstane lesions dan zijn; in principe kan bij gerbera elke kiemende spore een vlek/pok veroorzaken.
2. Er worden 2 besmettingen berekend: (a) in de kas, en (b) in de naooogst. Voor de naooogst wordt met dezelfde rekenprincipes de waarschijnlijkheid van kieming van de sporen berekend uitgaande van een RV van 95% en een temperatuur van 20 ° tijdens bewaring. Deze setpoints zijn te wijzigen door de gebruiker.

6 Energieberekeningen

Het beheersen van het kasklimaat heeft een bepaald energiegebruik tot gevolg. Als er gekozen wordt voor een bepaalde klimaatstrategie om botrytisrisico te verminderen, is het wenselijk om hierbij de consequenties voor het energiegebruik mee te nemen in de berekening. De genoemde strategie kan worden berekend met het voorspellings- en sturingsmodel, zoals beschreven in Hoofdstuk 9. Hieronder staat beschreven hoe daarbij het energiegebruik is berekend. Het betreft dan de toekomstige nacht waarvoor ook de botrytisvoorspelling wordt gedaan.

Het model gaat er vanuit dat het vocht dat door het gewas wordt geproduceerd wordt afgevoerd via 3 mechanismen.

1. condensatie tegen het dek
2. lek vanuit de kas
3. moedwillig openen van ramen om de RV te verlagen.

De eerste twee processen gaan autonoom, waardoor de RV in koude nachten of in situaties met veel wind vanzelf laag blijft.

Is de nacht niet koud en waait het weinig of is de absolute luchtvochtigheid buiten hoog dan voeren de 'automatische processen' te weinig vocht af. In dat geval worden de ramen opengestuurd, en wel met een zodanige luchtafvoer dat het overschot van verdamping minus condensatie minus lekverlies wordt gecompenseerd.

Bij de daarvoor benodigde luchtuitwisseling hoort een energieverlies dat afhangt van het temperatuurverschil tussen binnen en buitenlucht. Het luchtuitwisselingsdebiet, en dus het energieverlies, hangt af van de na te streven luchtvochtigheid en dat geeft het energieverbruiks-effect.

Naast dit effect speelt er nog een effect: de verdamping van het gewas neemt af naarmate de luchtvochtigheid toeneemt. Deze relatie wordt op dit moment via een schatting berekend, zodanig dat het gewas bij 60% RV 22 gram per m² per uur verdampt en bij 90% nog maar 10 gram per m² per uur.

Als de verdamping van het gewas verschilt dan zal de latente warmte-opname van het gewas ook verschillen. Het kiezen van een andere RV in de kas geeft dus ook langs deze weg een effect op het energieverbruik.

Het gasverbruikseffect wordt getoond als een meer- of minder verbruik ten opzichte van een referentie RV-setpoint van 85%.

Op dit moment levert het programma voor elke dag exact dezelfde relatie tussen RV en gasverbruik op omdat er geen variërende buitentemperatuur en windsnelheid in de dataset zit (deze zijn resp. 10 °C en 4 m per s). Indien gerberabedrijven deze data kunnen aanleveren wordt de voorspelling van het energieverbruik een stuk reëler.

Als de belichting in een bepaalde periode wordt aangezet komt er een extra warmte-input in de kas. Als het toegepaste belichtingsvermogen niet bekend is, wordt er 20 W m² gebruikt.

7 IJking en test van het groeimodel

7.1 Inleiding

Een ijking van een rekenmodel is noodzakelijk om de modelresultaten te laten aansluiten op de metingen. Met het geijkte model kunnen vervolgens voorspellingen gedaan worden. De ijking moet onder gecontroleerde groeiomgeving plaats vinden, om correcte rekenregels af te leiden.

Het model heeft wel een beperkt geldigheidsdomein: namelijk voor die systemen waarvoor het getest is. Aangezien het model bij gerberabedrijven moet gelden, is bij ijking een zo praktijkconforme groeiomgeving uitgevoerd. De ijking is gedaan in de proefkassen van Wageningen UR Glastuinbouw. De test is gedaan bij enkele gerberabedrijven. Hieronder worden methode en resultaat gerapporteerd.

7.2 Methode

De ijking (=calibratie) betrof de waarden van de parameters zoals gebruikt in het gerbera groeimodel. Het groeimodel is in voorgaand hoofdstuk beschreven. De geijkte parameters zijn: (1) temperatuurafhankelijkheid van uitgroeiduur bloem (incl. steel), (2) temperatuur- en lichtafhankelijkheid van bloemkwaliteit (i.e. bloemgewicht, -diameter, -oppervlak en steellengte en -gewicht).

Voor calibratie is een experiment in een proefkas bij WUR-Bleiswijk uitgevoerd onder gecontroleerde temperatuur en lichtomstandigheden, zie voor details hoofdstuk 5. De proef is beperkt tot 2 gangbare grootbloemige cultivars, i.e. Dino en Heatwave, na overleg met de klimaatgroep van het parapluplan-project.

7.3 Resultaten

7.3.1 Calibratie

De ijking van parameterwaarden van het bloemkwaliteitsmodel heeft bruikbare resultaten opgeleverd. De verklaarde variatie was altijd minimaal 70%. Zie hiervoor de onderstaande grafieken.

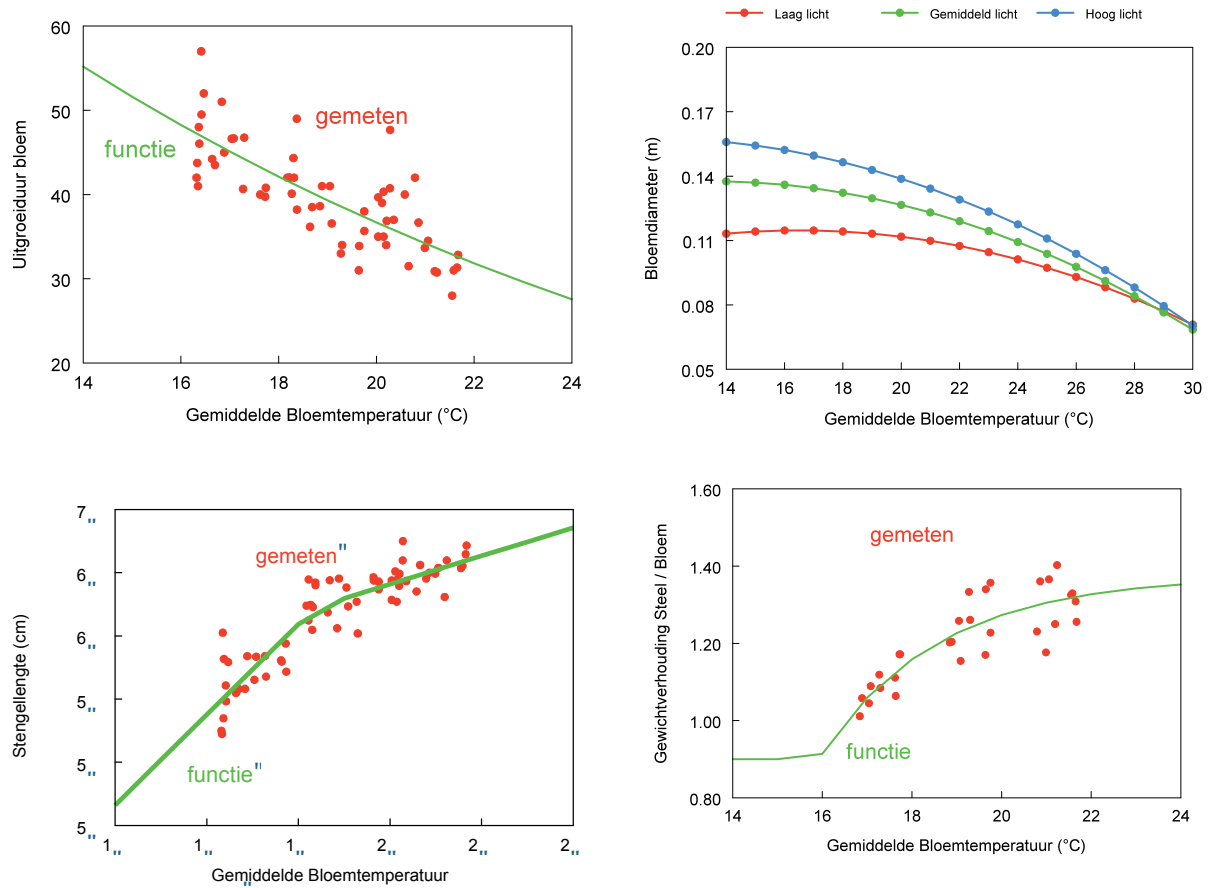
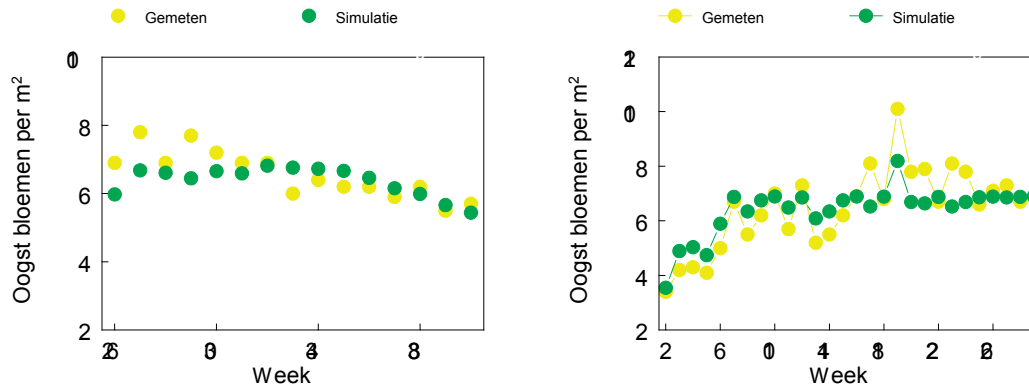


Fig. 7.1 Meetwaarden en gefitte modelrelatie van gecalibreerde parameters voor cv. Dino.

7.3.2 Validatie

De overeenkomst tussen met het model gesimuleerde en waargenomen bloemproductie is te zien in Figuur 7.2. Ten aanzien van het aantal bloemen per week is er in de ruim 40 datapunten maar één punt waar de maximale afwijking van 2 bloemen per week tussen meting en model bedraagt. Voor de andere 2 bedrijven met Dino, en voor de 3 bedrijven met Heatwave, waren vergelijkbare overeenkomsten tussen model en meting gevonden.



Figuur 7.2 Validatiecheck van model m.b.v. de gemeten bloemproductie in 2007 (links) en 2008 (rechts) op een bedrijf met Dino.

7.4 Conclusies

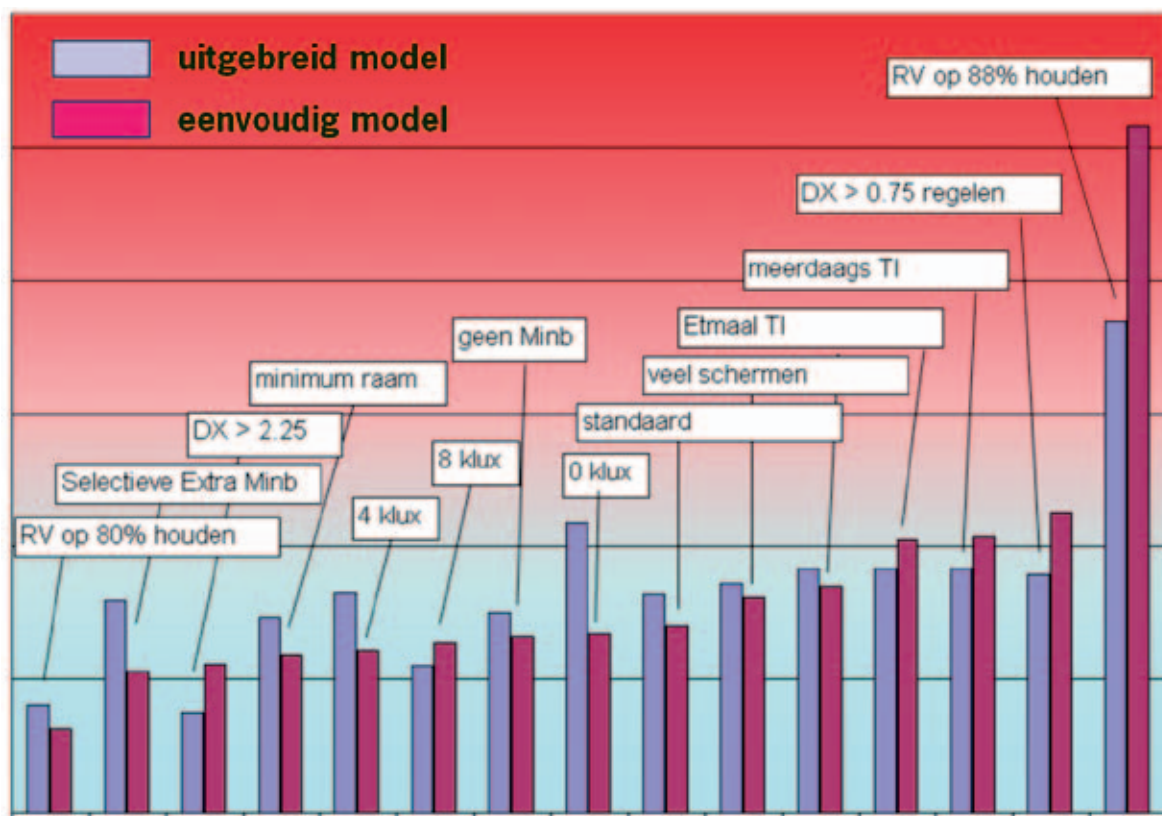
Met de gevonden regressies is de bloemkwaliteit op de praktijkbedrijven goed te voorspellen. Enerzijds is de calibratie correct aangezien de verklaarde variantie minimaal 70% is, anderzijds laat de validatie zien dat overeenkomst tussen meting en voorspelling goed is.

Er zijn uiteraard nog groeifactoren die niet zijn verwerkt in het bloemkwaliteitsmodel (o.a. water- en nutriëntenvoorziening, CO₂). Indien deze condities niet te veel afwijken van de betrekkelijk praktijkconforme condities in de proeven, is het model voldoende in staat goede voorspellingen te doen op basis van temperatuur en lichtniveau in de kas en de cultivar.

8 Berekend effect van klimaatstrategie op smet

Het gecombineerde botrytis-gerbera-model laat een duidelijke verhoging van de botrytiskans zien bij vochtiger kasklimaatcondities. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 8.1 waarin van links naar rechts een kasklimaat is doorgerekend met steeds vochtiger omstandigheden voor een standaardjaar (periode 1 oktober t/m 30 april). Het botrytis-gerbera-model uit dit rapport is weergegeven als “uitgebreid model” (blauwe staven), terwijl de resultaten van het “eenvoudige model” afkomstig zijn van het dx-bloem Excel-model van Feije de Zwart (pers.comm.). Dit eenvoudige model berekent alleen de kans op natslag op de bloem d.m.v. temperatuurverschil tussen bloem en kaslucht gecombineerd met luchtvochtigheid. Dit dx-bloem model houdt dus geen rekening met sporendruk, sporenvitaliteit en bloemaantal en –grootte. Let wel, beide resultaten in Figuur 8.1 staan uitgezet op een relatieve schaal, dus er kan geen absolute waarde aan het verschil worden toegekend.

Het verschil tussen de twee modellen wordt vooral duidelijk als er minder belichting plaats vindt (van 8 klux terug naar 4 klux of helemaal geen lampen): het uitgebreide model houdt rekening met uitdroging en bestraling van de sporen. Het effect van schermen binnen het uitgebreide model is na de berekening van Figuur 8.1 nog verder aangepast, waarna het botrytisrisico veel gevoeliger voor de schermstand is geworden.



Figuur 8.1 Relatieve botrytiskans loopt op bij vochtiger condities in de kas, zoals gesimuleerd voor diverse scenarios van kasklimaatregeling. Het model uit dit rapport wordt weergegeven als “uitgebreid model”.

Ti, temperatuurintegratie; Minb, minimumbuis ingezet; dx, temperatuurverschil bloem - kaslucht

9 Voorspellings- en sturingssysteem: praktisch gebruik

9.1 Het voorspellings- en sturingssysteem: waar en wanneer te gebruiken

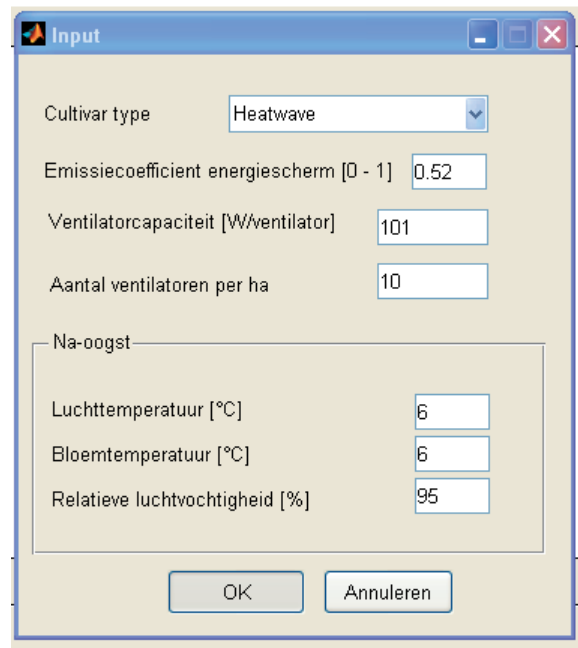
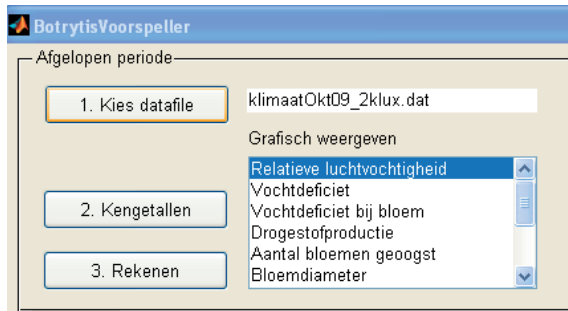
Het voorspellings- en sturingssysteem voor botrytis in gerbera is nu beschikbaar voor de computer. Dit systeem bestaat uit de verschillende wiskundige modellen (gewasgroeimodel, microklimaatmodel, botrytismodel, energiemodel) zoals die besproken zijn in de voorgaande hoofdstukken. Deze modellen zijn met elkaar verbonden om zo het gehele voorspellings- en sturingssysteem te vormen. Het modelsysteem kan voor twee verschillende doelstellingen gebruikt worden: 1. Voorspellen botrytis en gewasgroei, en 2. Sturen tegen botrytis. Voor beide doelstellingen worden alle deelmodellen gebruikt en is er dus een rekenresultaat t.a.v. zowel schimmel, bloemkenmerken en energie. De voorspelling betreft zowel de schimmelgroei en botrytiskans in de afgelopen periode (dit is tenslotte een proces wat de teler vaak niet kan zien), als de processen in de komende nacht. Voor deze nachtelijke voorspelling wordt het gemeten kasklimaat van de laatste dagen gebruikt, waarmee wordt ingeschat wat daardoor de kans op botrytis is in de kas en in de 2 dagen na de oogst. Het voorspellingsysteem kan in de bestaande kasklimaatcomputersoftware meedraaien indien de computerleverancier inputs en outputs op elkaar afstemt. In principe zou het model dan als sturingssysteem direct aan de klimaatcomputer gekoppeld kunnen worden. De meest belangrijke voordelen t.o.v. de huidige 'standalone' versie zijn dat (a) de klimaatdata automatisch binnen komen in het model, en (b) de voorspelling van het toekomstige binnenklimaat in handen is van de klimaatPC, waardoor het botrytismodel veel robuuster getallen kan gebruiken dan de huidige klimaatinschatting voor de komende nacht. Het model kan dan als een softcontroller direct de noodzakelijke stuurvariabelen (bijv. ventilatoren, schermopening, kasverwarming, kasventilatie) controleren. Voor deze mogelijkheid moet er wel een weervoorspelling aangekoppeld worden, waarna voor de komende dagen optimaal tegen een hoog risico voor botrytis gestuurd worden.

9.2 Invoer en uitvoer via de interface

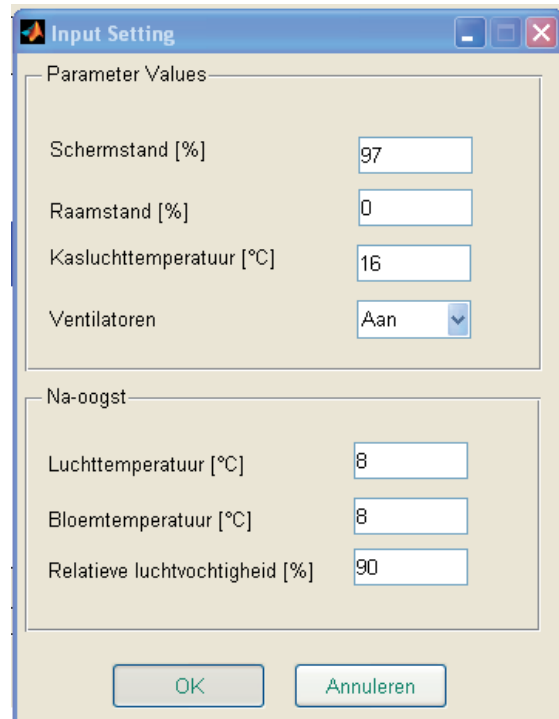
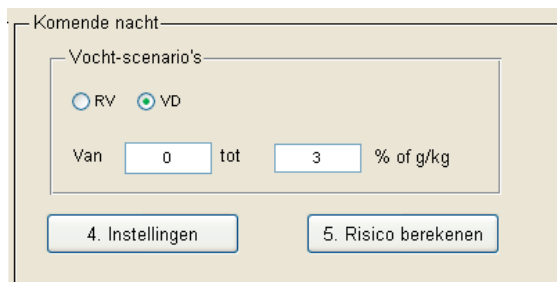
Na het opstarten van het model ziet de gebruiker een scherm waarbij eerst een klimaatfile gekozen moet worden (zie Figuur 9.1). Deze file heeft een eenvoudig dat-format (de getallen zijn gescheiden door spaties). Deze file kan data van de klimaatcomputer bevatten, maar ook een voorbeeldfile of een zelf verzonden klimaat of scenario.

Na klikken op "rekenen" wordt van het gehele aangeboden klimaat, dus van begin tot eind van de file, de gerberagroei en de botrytiskans berekend. Het berekende verloop van het infectierisico verschijnt vervolgens in een grafiek. Naar keuze kan een andere uitvoervariable gekozen worden (aantal geogoste bloemen, hun diameter, etc.).

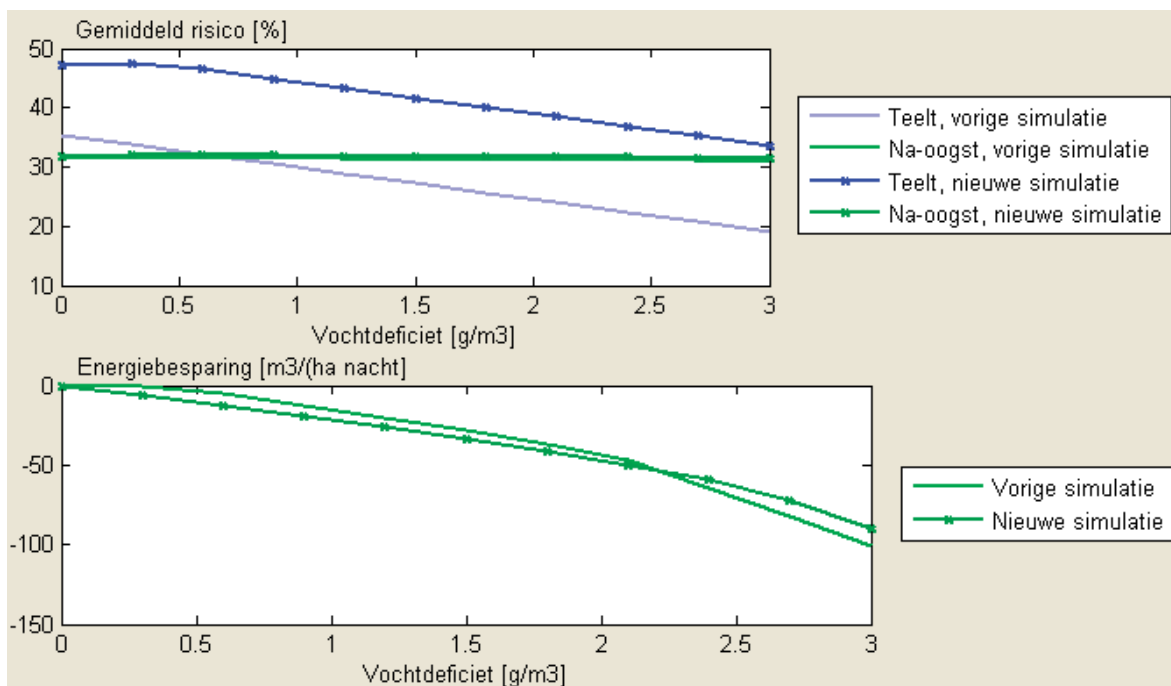
De grootte van het nu berekenende gerberagewas en de sporendruk zijn nu bekend in het programma. Met die situatie kan nu voor de komende nacht een voorspelling van de kans op botrytis, van de gewasgroei en van het energieverbruik worden berekend. Daarvoor moet rechts boven in het scherm eerst de knop "instellingen" worden ingedrukt. In een extra schermje kunnen de nachtelijke instellingen (belichting, scherm, temperatuur, RV, etc) worden aangepast (Figuur 9.2). Na afsluiten van het schermje kan de voorspelling uitgevoerd worden: "risico berekenen". Voor de opgegeven range aan RV-waarden wordt het resultaat getoond (Figuur 9.3). Dit resultaat is een *indicatie*, en geeft aan wat *globaal* verwacht kan worden. Het resultaat kan aanzienlijk worden verbeterd als het model wordt aangepast aan de bedrijfsomstandigheden: de uitkomst zou daarvoor regelmatig moeten worden vergeleken met de gerealiseerde groei, smet en het energieverbruik, gevolgd door aanpassing van de modelinstellingen (waarden van modelparameters). Dit kan dan een voor dat bedrijf goed functionerend voorspellingssysteem opleveren.



Figuur 9.1 Links: Bij start van het model moet eerst een klimaatfile worden gekozen. Vervolgens kan ook de gewenste output worden geselecteerd. Rechts: Instellingen van de afdeling kunnen aangepast worden voordat het model gaat draaien.



Figuur 9.2 Invoerschermen voor berekening botrytisrisico komende nacht. Links: kies voor RV of VD; Rechts: kies de belangrijkste instellingen die het risico beïnvloeden.



Figuur 9.3 Voor de komende nacht wordt risico op botrytis voorspeld en tevens de hoeveelheid gebruikte energie berekend. Men kan ook het resultaat van een vorige run zien, ter vergelijking

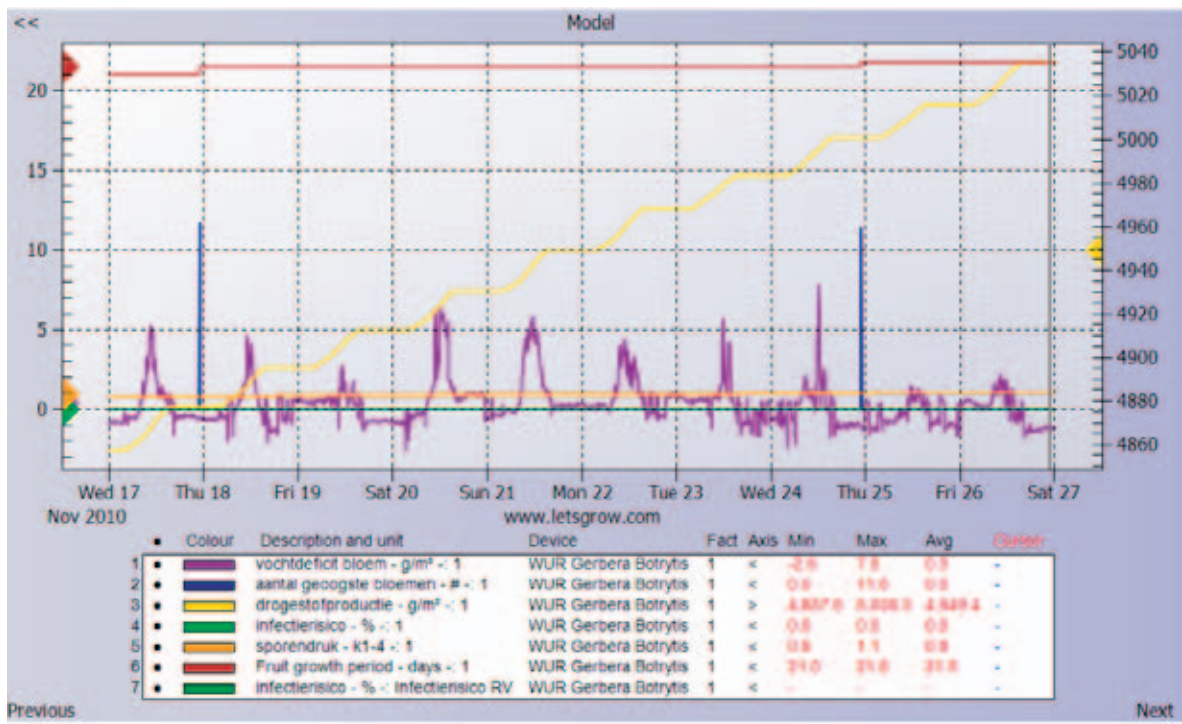
9.3 Modelgebruik via Letsgrow.com

Inmiddels is voor 1 abonnee van klimaatregistratiesoftware Letsgrow een internet-versie van de Botrytisvoorspeller gerealiseerd. Het model maakt automatisch elke dag een hernieuwde berekening van het botrytisrisico op basis van de klimaatdata uit Letsgrow. De teler ziet deze modeluitkomst in de vorm van grafieken op de Letsgrow website, en kan deze delen binnen zijn gebruiksgroep. Er kan elke dag een wijziging gemaakt worden in de settings, i.e. raamstand, schermkier, ventilatoren, temperatuur en VD/RV van de kaslucht. Hiermee zal het model een voorspelling doen van het botrytisrisico in de eerstvolgende nacht, en dit in grafiekvorm presenteren. Daarnaast wordt de sporendruk, de gewasgroei en het risico van de voorgaande periode gepresenteerd (zie Figuur 9.4). Na een positieve evaluatie van deze testversie met deze abonnee, kan WUR deze applicatie tegen onkostenvergoeding aanbieden aan andere telers.

De klimaatfile die op de ftp-server van deze internettoepassing staat is ook te gebruiken met het lokale model. Dit heeft dan twee voordelen voor de teler: (1) hij/zij hoeft de invoerfile niet zelf te bouwen, maar alleen te downloaden, (2) het lokale model kent veel meer opties (dan de web-versie) t.a.v. klimaatscenario's voor de komende nacht.

De teler moet zich wel realiseren dat de rekentijd per run zal oplopen bij toenemende lengte van de ingevoerde historische klimaatperiode.

Bovengenoemde toepassingen via Letsgrow kunnen alleen plaats vinden na overleg met Letsgrow en WUR over de technische haalbaarheid en onkostenvergoeding.



Figuur 9.4 Grafische uitvoer van gemeten klimaat- en gesimuleerde gewas- en botrytis-kenmerken in Letsgrow.com

10 Discussie en conclusies

10.1 Discussie

Schimmelmodel

Er bestaat inmiddels uitgebreide kennis t.a.v. botrytisontwikkeling afhankelijk van klimaatcondities. Deze kennis komt voort uit zowel voorgaand, intensief onderzoek door een scala aan instituten als uit ons eigen onderzoek binnen het Parapluplan. Deze kennis vormde een goede theoretische basis voor een computermodel dat ontwikkeling van en infectie door botrytis simuleert voor een teelt van gerbera.

Het model berekende op correcte wijze de gemeten sporendruk op vangplaten en de bloeminfectie bij de praktijkbedrijven zoals gemeten in deelproject 5. Verder geven de scenarioberekeningen aan dat er een logische verlaging van het botrytisrisico voorspeld wordt indien het kasklimaat door een combinatie van maatregelen droger en lichter wordt.

Zonder gebruik in de praktijk in de weg te staan, zijn er toch enkele verbeterpunten aan te geven bij dit schimmelmodel:

- a. opbouw van de sporendruk is gebaseerd op de metingen met vangplaten op de praktijkbedrijven. Dergelijke vangplaten geven een algemeen beeld van de sporendruk, en verklaren niet wanneer en waar precies de sporen zijn ontstaan. Er kon dus geen relatie gelegd worden met aantal en grootte van sporengaarden (=beschimmelde plantendelen). Het model bevat nu een directe relatie tussen temperatuur, vochtdeficit en straling en ontwikkelde sporendruk. Dit is heel valide voor een gemiddelde situatie, en een dergelijke aanpak was heel succesvol in o.a. de aardbeienteelt (model Bowas). Maar daarmee slaat het model wel aspecten over t.a.v. plantstructuur (plantdichtheid en openheid van plant) en management (beroering van blad, hoeveelheid dood blad en stengelresten). Het model gaat dus uit van een gemiddeld gewasmanagement, zoals aangetroffen in de bedrijfsvergelijking.
- b. De ontstane sporendruk is voor de doorgerekende bedrijven op zich adequaat berekend, maar het betreft slechts achteraf modelmatig een beperkt aantal situaties van droogte/vocht intervallen. De voorspelling van een zo variabel en interacterend proces van droogte en bevochtiging blijft complex als er in de praktijk zoveel variatie is in tijd en ruimte. Kun je bijv. kiemingsremmend effect van droogte-intervallen optellen, of is bijv. het 2^{de} interval effectiever dan het eerste? En 2 uur droging geldt wellicht wel voor de externe delen van de plant, maar binnen tussen de stengels zal de droogte van korter duur zijn door traagheid van het drogingsproces.
- c. Gesimuleerde condities in de grenslaag van de plantorganen waren niet verifieerbaar m.b.v. metingen. De microklimaatmetingen vanuit deelproject 5 waren (1) nog niet dicht genoeg bij de grenslaag (de laag waarin de sporen kiemen is slechts 10 nm dik), (2) niet aan steelresten gemeten (wel aan lucht tussen de stelen in het hart van de plant) waar door vocht uit de steel (worteldruk en condensatie) een voor botrytis optimaal klimaat heerst. De onzekerheden m.b.t. dit microklimaat én het onderbroken kiemproces (zie b) komen samen in de onzekerheid over de sporendrukvoorspelling (zie ook a).

Gewasgroeimodel

De modellering van groei, productie en kwaliteit van gerberabloemen is naar de wens van de telers gerealiseerd. Voor onderbouwing van de rekenregels t.a.v. invloed van licht en temperatuur is een additioneel experiment succesvol uitgevoerd. Het groeimodel bleek na toetsing met bloemkwaliteit- en bloemproductiegegevens uit de praktijk voldoende betrouwbaar voor gebruik in de praktijk.

Uiteraard kent ook het groeimodel enkele restricties. Zo beperkt het model zich tot 3 gerberarassen (Dino, Heatwave en een kleinbloemige cultivar). Voor andere rassen kan een eenvoudige aanpassing van de groeirelaties volstaan indien het belang vooral ligt bij voorspelling van schimmelrisico en energiegebruik. Reden is dat laatstgenoemde twee aspecten nauwelijks beïnvloed worden door keuze van de cultivar. Er is geen ziekteveerbaarheid per cultivar in het model ingevoerd aangezien hier cijfermatig te weinig over bekend was. De infectie kan dus volgens de condities van het microklimaat plaats vinden, terwijl een botrytisresistent ras toch geen infectie en smet krijgt. Deze resistentie is echter maar bij een beperkt aantal rassen aanwezig (zie onderzoek door C. Slootweg in rapportage deelproject 3).

Energiemodel

Dit energiemodel neemt het gerealiseerde klimaat binnen en buiten als uitgangspunt. Dat betekent dat de keuze voor een bepaalde instelling voor scherm, ventilator of raam hierop geen invloed heeft, want gerealiseerde temperatuur en luchtvochtigheid zijn al voldoende om het natuurkundig principe van warmte- en vochtverlies te berekenen, en dus de benodigde energie hiervoor (pers.comm. F. de Zwart, WUR).

Er zijn enige aannamen gedaan t.b.v. deze energieberekening. De belangrijkste zijn: (1) de RV zal 's nachts meestal niet onder de 85% komen, en die waarde gebruiken we daarom als referentie voor energiegebruik t.o.v. de modelberekeningen voor hogere RV's, (2) verdamping die loopt van 22 gr per m² per uur bij 60% naar 10 bij 90%, (3) condensatie van 16 gr m² uur bij -10 tot 4 gr m² uur bij 20 °C, (4) 1 m³ per uur lek bij 4 m per s.

Voorspellings- en sturingsmodel

In overeenstemming met de telers is gekozen om voor de eerstvolgende nacht een voorspelling van het schimmelrisico af te geven. Dit heeft meerdere voordelen: (a) voorspelling van binnenklimaat van komende nacht is gebaseerd op de data van de voorgaande nacht, en in de praktijk zal hier geen groot verschil optreden, (b) na elke werkdag kan men de klimaatsturing zodanig instellen dat de infectierisico's tot de volgende dag minimaal zijn, (c) deze korte termijn sturingen zullen op de iets langere termijn een schimmelvrije teelt realiseren, want de juiste nachtelijke settings zullen binnen 4 á 5 dagen al tot grote verlaging van de sporendruk leiden. Een voorspelling over een langere tijdshorizon lijkt ons weinig reëel: het model heeft een gedetailleerd dagverloop van o.a. temperatuur, straling en luchtvochtigheid nodig en dit is niet correct voorspelbaar.

Voor toekomstige koppeling aan de klimaatcomputer en sturingssoftware is het volgende van belang: de voorspelde kasklimaatcondities betreffen nu het gerealiseerde klimaat. M.a.w., het klimaat wordt niet voorspeld op basis van de instellingen van buistemperatuur, schermkier e.d. Reden is dat ons de gegevens ontbreken over de bedrijfsspecifieke relaties tussen de ingestelde setpoints en het gerealiseerd klimaat. Per bedrijf zal een expert deze relaties echter wel beschikbaar hebben, om zo in de toekomst een koppeling tussen het voorspellingsmodel en de klimaat- en sturingscomputer te realiseren. Voor deze koppeling is het voorspellingsmodel in principe geschikt, o.a. doordat het format van de klimaatvoer overeenkomt met de uitvoer uit de klimaatcomputer, evenals het advies vanuit het sturingsmodel t.a.v. luchtvochtigheid, temperatuur, ventilatie, schermstand en belichting.

Modelbeschikbaarheid

Het model is gratis te downloaden vanaf de website www.glastuinbouw.wur.nl. Evenwel kent dit model twee praktische knelpunten: (1) de Matlab compiler in de download wordt niet altijd goed geïnstalleerd als gevolg van beveiligingssoftware e.d. op de teler-PC, (2) telers hebben moeite met het bouwen van de invoerfile hoewel een ondersteunende macro is meegeleverd.

Twee alternatieve modeltoepassingen zijn inmiddels beschikbaar m.b.v. een Letsgrow-abonnement: (1) het model draait op een ftp-server en de teler hoeft slechts in te loggen om dagelijks het modelresultaat te zien, (2) op dezelfde server wordt de invoerfile ge-update en kan worden gedownload t.b.v. lokaal draaien van het model. Deze toepassingen worden in overleg met de sector nu beschikbaar gesteld.

10.2 Conclusies

Het voorspellings- en sturingsmodel is een samenbundeling van kennis uit meerdere vakgebieden verkregen na vele jaren onderzoek en praktijkwaarnemingen. Het bevat ons inziens de meest relevante teeltaspecten die voor een praktijkinstrument te meten of in te schatten zijn. Het model geeft een inzichtelijk beeld hoe botrytis en gerberagroei gerelateerd zijn aan kasklimaat en hoe hier mee te sturen.

Het is aanbevelenswaardig dat een teler direct kan zien of zijn voorgaand kasklimaat een botrytisrisico met zich mee draagt en hoe het anders kan, incl. het energieplaatje. Aanvullend kan een teelt zonder ogenschijnlijke smet wellicht tóch een hoge sporendruk hebben omdat in de naoogstfase toevallig de condities ongunstig waren voor botrytis (bijv. vrij droog en/of gekoeld) .

Evenwel is de uitkomst van voorspelling en gestuurde regeling op de botrytis meer richtinggevend dan een hard cijfer. Dit komt doordat het model zijn beperkingen kent, waarbij er 2 het meest in het oog springen:

1. Botrytisverspreiding en –infectie zijn processen die plaatsvinden op basis van een kansverdeling, en dit betekent dat het advies een bepaalde onzekerheid kent. De teler zal vanuit zijn ervaring met het smetprobleem met het model hopelijk kunnen zien wanneer de smetincidenten optraden en hoe het model dit verklaart. Met dit inzicht kan dan m.b.v. het model een toekomstige besmetting worden voorkomen.
2. De informatie over het microklimaat per situatie is beperkt: de meetbox hangt meestal niet dicht bij de infectiegevoelige plekken, de locale luchtsnelheid is onbekend, er is veel lokale variatie in microklimaat, etc. Bij nieuwe klimaatbeheersingstechnieken zoals Het Nieuwe Telen is daarnaast het microklimaat wezenlijk anders dan bij de hier gebruikte standaard gerberateelt.
 - è Het advies luidt daarom voor alle soorten van gerberateelt: Meet het klimaat bij de risicovolle locaties in de kas, door microsensoren of door een extra meetbox.

Gelet op de huidige trend naar ruimer gebruik van sensoren en beslissingsondersteuning met modellen zoals hier gerapporteerd, mag in de nabije toekomst een voortschrijdende beheersing van het smetprobleem verwacht worden.

11 Literatuur

Blakeman, J.P., 1980.

Behaviour of conidia on aerial plant surfaces. In: Coley-Smith, J.R. Verhoef, K. and Jarvis, W.R. (Eds.), The biology of *Botrytis*. Academic press, London, pp. 115-151.

De Zwart, H.F., 1996.

Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Proefschrift Wageningen Universiteit, 236 pp.

Eden, M.A., R.A. Hill, R. Beresford & A. Steward, 1996.

The influence of inoculum concentration, relative humidity, and temperature on infection of greenhouse tomatoes by *Botrytis cinerea*. Plant Pathology 45: 795-806.

Gijzen, H., 2006.

Modelling of gerbera flower production. Interne memo, WUR Glastuinbouw.

Gregory, P.H. and Stedman, O.J., 1953.

Deposition of airborne Lycopodium spores on plane surfaces. Annals of Applied biology 40: 651-674.

Kerssies, A., 1994.

Epidemiology of Botrytis spotting on gerbera and rose flowers grown under glass. Proefschrift Wageningen Universiteit, 133 pp.

Köhl, J., De Visser, P.H.B. en Wubben, J., 2006.

Optreden van Botrytis bij gerbera: inventarisatie van de huidige kennis. Nota 430, Plant Research International, Wageningen.

Labeke, M.C van, and P. Dambre, 1999.

Studie van vereenvoudigde gewasverdampingsmodellen bij Gerbera. Proefcentrum voor Sierteelt. Destelbergen, Belgium. 55 p.

Leffring, L., 1981.

De bloemproductie van gerbera. Proefschrift Wageningen Universiteit, 85 pp.

Nederhoff, E., 1997.

How to use RH and other humidity measures. New Zealand Commercial Grower 52 (2), 40

Van Os, E., *et al.*, 2009.

Bedrijfsvergelijkend onderzoek naar botrytis bij gerbera. Deelproject 5 van Parapluplan Botrytis bij gerbera.

Richter, M., 2000.

Erstellung eines Simulationsmodells für ein zu optimierendes Hydrokultursystem für die Gerbera-Schnittblumenkultur unter Berücksichtigung unserer Einflussgrößen auf Leistungsparameter der Pflanze. Proefschrift Humboldt Universität, Berlin, Duitsland.

Stanghellini, C. en Bunce, J.A., 1993.

Response of photosynthesis and conductance to light, CO₂, temperature and humidity in tomato plants acclimated to ambient and elevated CO₂. Photosynthetica 29, 487-497.

Yunis, H., D. Shtienberg, Y. Elad & Y. Mahrer, 1994.

Qualitative approach for modelling outbreaks of grey mould epidemics in non-heated cucumber greenhouses. Crop Protection 13: 99-104.

Bijlage I Rekenregels van het model

Gerbera groeimodel

De bladdikte is seizoensafhankelijk en wordt als zogenaamd “specifieke bladoppervlak” (specific leaf area, SLA, in m² per gram drogestof) m.b.v. de dag (dagnummer) in het jaar berekend:

$$SLA = 0.016 - 0.005 * \sin((\text{dagnummer} + 100 - 20) / 180 * \pi) \text{ (m}^2 \text{ per gram ds)}$$

Met deze bladdikte en de via de fotosynthese berekende biomassa aan droge stof kan dan het bladoppervlak per m² kas worden berekend:

$$LAI = SLA * \text{LeafDW (m}^2 \text{ blad per m}^2 \text{ kas)}$$

Waar LeafDW de droge biomassa van de bladeren is per m² kasoppervlak.

Het model voor de praktijk gaat uit van een volgroeid gewas met een LAI van 3. De bijgroei aan blad wordt daarmee direct weer als bladpluk/bladsnoei verwijderd, terwijl dit in de praktijk maar enkele keren per jaar gebeurt.

Kwaliteitskenmerken bloem

De uiterlijke bloemkenmerken wordt berekend op basis van klimaatomstandigheden en voorgaande bloemaantallen. Hierbij is T de gemiddelde bloemtemperatuur en de lichtsom de hoeveelheid PAR boven het gewas in de kas in μmol per m², beiden gedurende de uitgroei duur van de bloem. NrWk-1 is het bloemaantal geogst in voorgaande week:

Dino:

$$\begin{aligned} \text{Bloemdiameter} &= 0.9532xT + 0.000064x\text{lichtsom} - 0.0252xT^2 \\ &\quad + 6553853x(T/\text{lichtsom}) - 1.93 \times 10^{-6} \times T \times \text{lichtsom} \\ \text{Steellengte} &= [63.837 + 2.87 \times (T - 18.37)]0.93x1.1 \\ \text{Steel/bloem-ratio} &= 1.473 \times e^{-0.788/(T - 14.638)} \\ \text{Bloemaantal} &= \{[-0.00177x(10xNrWk-1)^2 - 0.265x(10xNrWk-1) + \\ &\quad 2.787xT + 0.000296x\text{lichtsom} + 0.361]x1.02/10\}1.1 \\ \text{Uitgroei duur} &= 141.9 \times e^{-(0.0602 \times T) - 5.8951} \end{aligned}$$

Heatwave:

$$\begin{aligned} \text{Bloemdiameter} &= 0.7959xT + 0.000068x\text{lichtsom} - 0.0231xT^2 \\ &\quad + 15733209x(T/\text{lichtsom}) - 1.14 \times 10^{-6} \times T \times \text{lichtsom} - 0.6881 \\ \text{Steellengte} &= [63.0 + 0.9 \times (T - 18.37)]0.93x1.1 \\ \text{Steel/bloem-ratio} &= 2.2 \times e^{-1/(T - 14)} \\ \text{Bloemaantal} &= 90.669598 + 52.141114 * e^{-0.5 * ((x-53.215317)/9.5882944)^2} - 4.0779614 * x \\ &\quad + 0.049236933 * x^2 \\ &\quad \text{waarbij } x = a * (NrWk-1)^2 - b * NrWk-1 + c * T_{\text{mean}} + d * I_{\text{sum}} + e \\ &\quad \text{en } a = -0.5208; b = 4.7697; c = -0.00826; d = 0.000215; e = 0.0837; f = -27.2427 \\ \text{Uitgroei duur} &= 149.5 \times e^{-(0.0824 \times T) + 4.9849} \end{aligned}$$

Kleinbloemige cultivar Kimsey:*

Bloemdiameter = 0.7 x bloemdiameter Heatwave
Steellengte = 0.7 x steellengte Heatwave
Bloemaantal = 1.4 x bloemaantal Dino
Steel/bloem-ratio en Uitgroeiduur: als Dino

**deze cultivar is niet onderzocht in de proefkas; via analyse van de praktijkgegevens van 2007 en 2008 zijn genoemde verbanden vastgesteld*

Microklimaat bij blad en bloem

Evaporatie (LE) en Condensatie (C) op het weefsel wordt berekend met de Penman-Monteith vergelijking (Stanghellini, 1993):

$$LE = \frac{(st/psychr) * (Ri - Bn) + ((RHO_a * cp)/psychr) * ((1/rbH2O + 1/((RHO_a * cp / (4 * sigma * tk^3)))) * (VPDcrop_air)) / (1 + (st./psychr) + (riH2O./rbH2O)) + (1/((RHO_a * cp)/(4 * sigma * tk^3))) * (riH2O + rbH2O))}{1 + (st./psychr) + (riH2O./rbH2O)}$$

Met

- st = temperatuursafhankelijke factor voor latente warmte transport,
- Ri = kortgolvlige straling op het weefsel (in Watt m²)
- Bn = langgolvlige straling (in Watt m²)
- rbH2O = grenslaagweerstand (in s m⁻¹)
- riH2O = huidmondjes weerstand (riH2O in s m⁻¹)
- tk = temperatuur van het weefsel (in Kelvin)
- VPDcrop_air vochtdeficiet tussen blad en lucht (in kPa)

De waarden voor de constanten zijn:

psychr (psychrometrische constante) = 65.8
RHO_a (dichtheid lucht, kg m⁻³) = 1.19
cp (specific heat capacity air [J/kg/K]) = 1000
sigma (Stefan-Boltzmann-Constant (kg s⁻¹ K⁴)) = 5.6704 * 10⁻⁸

Voor verdere toelichting, zie Stanghellini (1993).

Voor het berekenen van evaporatie van gecondenseerd water wordt riH2O op 0 gezet (dus geen transpiratie uit de huidmondjes).

rbH2O en riH2O worden berekend met:

$$rbH2O = 100 * (w/u)^{0.5}$$

$$riH2O = ((b + (ms * PN) * ((RV/100) / ((CO_2 - PN * (1.37 * rbmol) * Pa) / Pa)))^2) / 0.025$$

Waarbij u de windsnelheid (m s⁻¹), CO₂ de CO₂-concentratie, RV de relatieve luchtvochtigheid.

Botrytismodule

Sporendruk

$$\text{Sporenklasse} = -0.2816 * \text{VPD}_{\text{daggemiddelde}} - 2.3583 * \text{VPD}_{\text{nachtgemiddelde}} + 0.2572 * (\text{aantal nachturen})$$

Hierbij is VPD (vapor pressure deficit, oftewel vochtdeficiet) in kPa

Met behulp van deze sporenklasse wordt vervolgens het aantal geproduceerde sporen per 24 uur op een oppervlakte van de grootte van een petrischaal berekend:

$$\text{Sporenproductie} = \text{Sporenklasse} / (0.061 - 0.037 * \text{Sporenklasse} + 0.046 * (\text{Sporenklasse})^{0.5})$$

Sporenkieming

De ontwikkelingssnelheid van kieming bij 100%RV of vrij water per min kan berekend worden in afhankelijkheid van temperatuur (=Tcrop) (zie ook Figuur 5.2):

$gPr = 0.00222 - 0.000139 * (12 - T_{crop})$	$T_{crop} < 12$
$gPr = 0.00222$	$T_{crop} > 12$
$gPr = 0$	$T_{crop} > 30$

Bij een temperatuur boven 30 °C vindt er dus geen ontwikkeling plaats [Eden *et al.*, 1996].

Kieming kan ook plaats vinden zonder vrij water (zie ook Figuur 5.3):

$gPr = 1.94e-004 + 1.58e-005 * \exp(T_{crop}/5.78)$	$T_{crop} < 25$
$gPr = 0.00139 * (1 - (T_{crop} - 25)/5)$	$T_{crop} > 25$
$gPr = 0$	$T_{crop} > 30$

De ontwikkelingssnelheid neemt met toenemend vochtdeficiet af. Gegevens van een experiment op Agar van Köhl (PRI) zijn gebruikt om deze relatie in het model te implementeren (zie ook Figuur 5.4).

$$gPr_{VPD} = 1.832e-004 + 1.0088 / (1 + 10^{((VPD - 0.0485) * 59.273)})^{0.270}$$
$$gPr = gPr * gPr_{VPD}$$

De ontwikkeling van uitdroging van de spore per min kan met de volgende vergelijking beschreven worden:

$$dPr = 5.9524e-005 * \text{evaporatie} \quad \text{voorwaarde: } VPD > 0.5$$

Bijlage II Handleiding model

I. Inleiding

Dit model is gemaakt op verzoek van gerberatelers binnen het **Parapluplan Botrytis in relatie tot energie bij gerbera**. In het Parapluplan is de BotrytisVoorspeller ontwikkeld met het doel om dit model *later mogelijk* in een klimaatregeling in te bouwen. De huidige versie moet u dus als een *proefmodel* zien. Er zullen dus ongetwijfeld modelonderdelen niet werken zoals u verwacht. Wij staan daarom open voor opbouwende kritiek, waarmee het computermodel verder kan worden verbeterd.

II. Draaien model in 5 stappen

Stap 1

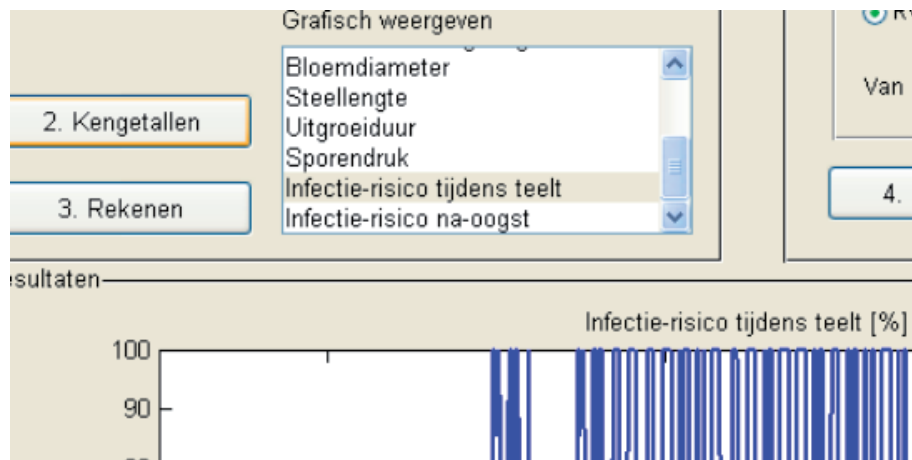
Kies een datafile door de klikken op button 1. De datafile is van het type dat-file. Er staan enkele voorbeeld-files in de folder BotrytisVoorspeller, maar u kunt er zelf ook een of meer aanmaken m.b.v. het bijgevoegde Excel-bestand (zie II).

Stap 2

Wijzig indien gewenst een aantal kengetallen van het bedrijf door indrukken van knop 2. Er zijn 3 rassen in model beschikbaar. Ventilatorkenmerken zijn van belang door de invloed op het microklimaat.

Stap 3

Draai het model nu eerst voor het kasklimaat van de *afgelopen periode*. Als uitkomst ziet u eerst de RV, maar klik in de lijst voor output van een andere variabele:



Nu is ook de sporendruk berekend die in de huidige situatie aanwezig is. Deze kan in de toekomst tot infectie kan leiden. Tevens wordt geschat hoeveel risico er tot nu toe is geweest. Risico betekent niet altijd dat er ook echt smet is geweest, wellicht had het *bijna* kunnen gebeuren!

Stap 4

Nu de situatie qua sporendruk bekend is voor het eind van de dataset, kan hierna voor de *eerstvolgende nacht* het botrytisrisico worden berekend.

Eerst kan een aantal instellingen worden gewijzigd die ook in de kas zelf nog voor de nacht in werking gezet kunnen worden, zoals schermstand, raamstand, ventilators aan/uit en temperatuur.

Stap 5

Hierna wordt voor een reeks vochtgehaltes van de kaslucht het botrytisrisico berekend. We gaan er van uit dat de teler genoeg ervaring heeft om een gewenst vochtgehalte (RV of VD) te realiseren m.b.v. buis en/of raam.

Voor dat gerealiseerde vochtgehalte is ingeschat hoeveel gasverbruik daarvoor nodig is. Hiervoor waren wel de nodige aannames nodig, zoals lekverlies en snelheid van warmteafgifte.

Herhaling van stappen 4 en 5

Bij een wijziging in de instellingen onder knop 4, en een tweede druk op de knop "5. Risico berekenen", wordt in de grafiek het nieuwe, maar ook het voorgaande resultaat weergegeven. Dit vergemakkelijkt de vergelijking, als u bijvoorbeeld een instelling bij stap 4 hebt gewijzigd.

III. Invoer kasklimaatgegevens

Er is weinig met het model te doen als u de klimaatinvoer niet kunt wijzigen:

A – er zijn WEL een aantal voorbeeld-bestanden die gekozen kunnen worden ("Stap 1. Kies datafile").

B – Zelf een klimaatbestand maken kan via de bijgeleverde Excel-file "Maakdatafile.xls". Hiervoor heeft u klimaatdata nodig per 5 minuten.

Hieronder volgt puntsgewijs wat u dan moet doen:

1. open het bestand "Maakdatafile.xls" en (als er om gevraagd wordt) geef aan dat macro's worden toegestaan.
2. Er is al een dataset in het bestand aanwezig, het format moet zo blijven, de eerste getallen zien er zo uit:

7.00E+00	4.00E+00	2.01E+03	1.00E+01	5.00E+00	2.38E+02
7.00E+00	4.00E+00	2.01E+03	1.00E+01	1.00E+01	2.45E+02
3. U kunt nu eigen klimaatdata er in kopiëren vanuit een klimaatcomputer (knip en plak, of "cut and paste"), bijv. de kolom met straling in Watt/m² of de CO₂ in ppm, alles per 5-min interval
4. Daarnaast kan automatisch het assimilatielicht verwerkt worden door belichtings-sterkte en 1 setpoint voor aan/uit in te voeren. Meestal berekent Excel de wijziging meteen door, zo niet, moet u "calculate" of "bereken de cellen" activeren.
5. Hierna op de knop "Update" drukken en de nieuwe getallen worden weggeschreven naar een dat-bestand, met de naam klimaat.dat. Het woord klimaat is te wijzigen in de naam die u wenst, om de verschillende dat-bestanden uit elkaar te houden.

IV. Luchtbeweging in de kas

Verhoging van de luchtbeweging in de kas leidt tot de volgende zaken, die WEL in het model berekend worden:

1. afkoeling van overdag opgewarmd blad en bloem. Dit berekent het model WEL.
2. Vermindering lokale koude plekken en minder condensvorming in de nacht door het stimuleren van de menging met drogere lucht welke zich boven en buiten het gewas bevindt.
3. opdrogen van een waterfilm op blad/bloem of het verkleinen van de vochtige grenslaag rond het plantorgaan. Dus het vochtdeficiet bij de bloem wordt hoger en dus droger.

Wat NIET in het model zit is de berekening van de ventilatievoud oftewel de vervanging van de vochtige kaslucht met drogere buitenlucht. Bij berekening van de KOMENDE NACHT wordt het botrytisrisico voor het GEREALISEERDE vochtdeficiet (of RV) berekend, dus de teler moet zelf gaan bepalen hoe dat vochtdeficiet te bereiken. Ons model geeft alleen aan wat de botrytis bij die RV's doet.

Buisverwarming creëert warme lucht die opstijgt door thermiek, maar deze luchtsnelheid is verwaarloosbaar klein en in het model niet gebruikt. De warmtestraling van de buis is wel betrokken in de berekening van de warmtebalans van het gewas.

V. Nat slaan: kans op smet, en schimmel blijft doorgroeien

Tijdens een koude nacht is dit van groot belang, en als dan raam en/of scherm open zijn zal er zeker afkoeling en condensvorming bij het gewas optreden door warmteafgifte. Ook bij gesloten ramen, namelijk door het koude kasdek. Om dit goed te voorspellen, wordt de berekende hemeltemperatuur gebruikt. Maar als men een *pyrgeometer* heeft, kan de gemeten waarde worden ingevoerd in de Excel-file "Maakdatafile.xls", en dat maakt de berekening betrouwbaarder.

VI. Botrytis berekening

In het model vindt een "race" plaats tussen sporenkieming en sporenverdroging, en als de kieming wint dan is er infectie. Hoe we dit uitrekenen: we sommeren de natte en droge episodes voor blad en bloem, en als de som groot genoeg is dan is er kieming OF sterft de spore. Een vuistregel vat dit goed samen: een som van 6 uur met 100% RV geeft kieming en infectie. Deze periode wordt langer naarmate er meer droogte-episodes tussen zitten. Bovendien zal de spore na 5 dagen sterven als er dan nog geen kieming heeft plaatsgevonden.

In het model bevorderen droge lucht en stralingswarmte (door zon, buis en lamp) de verzwakking en verdroging van de schimmel.

Vermeerdering van de schimmel en verhoging van de sporendruk loopt altijd via het blad, niet via de bloem. De sporendruk wordt weergegeven op een relatieve schaal, van sporenklasse 1 (vrij laag) tot 4 (zeer hoog), zoals gemeten op enkele bedrijven uit het Parapluplan Botrytis bij gerbera.

N.B. de infectierisico's zijn RELATIEVE GETALLEN. Een absoluut nivo van infectie is met de huidige kennis NIET te geven. Kijk ook meer naar het PATROON, bijvoorbeeld: is het risico steeds aan het eind van de nacht groot, wat doet het scherm, vermindert een sterke belichting het risico?

VII. Bloemproductie

In het model worden er per simulatieweek gerbera's geoogst. In de grafiek is te zien hoe lang de stelen zijn, hoe groot de bloemdiameter en de uitgroeiduur. Deze uitkomsten hangen af van straling en temperatuur en variëren per seizoen. De bloem is een "vangplaat" voor sporen, dus hoe groter hoe meer sporen.

Er is uitgegaan van een volgroeid gerberagewas met een dicht bladpakket met constant bladoppervlak. Een gedetailleerder berekening is mogelijk maar niet meegeleverd.

VIII. Disclaimer

Acties die gepleegd worden in navolging van de modelberekening zijn voor u eigen verantwoordelijkheid. WUR Glastuinbouw kan niet aansprakelijk worden gesteld voor schade die mogelijk voortkomt uit de genoemde acties. Het model moet worden beschouwd als een informatiemiddel om meer inzicht te krijgen in de effecten van kasklimaat op botrytis.

