

2016

Bepaling van AquaCrop gewasparameters en analyse van hun effect op de modeluitkomsten

Bachelor Eindopdracht



Opdrachtgever:
Universiteit Twente

Begeleider vanuit de Universiteit:
MSc. J.F.Schyns

Robert Hofstra
s0207438



Voorwoord

Dit adviesrapport is tot stand gekomen tijdens een 11 weken durende stage bij de Universiteit Twente. Met dit rapport rond ik mijn bachelor van de opleiding Civiele Techniek af. De Universiteit heeft mij de mogelijkheid gegeven om onderzoek te doen naar een methode om gewasparameters af te leiden voor het programma AquaCrop. Tevens om een opbrengst en evapotranspiratie gevoeligheidsanalyse te doen voor een aantal parameters die gebruikt worden in AquaCrop. Het programma AquaCrop kan de gewasopbrengsten van een aantal gewassen voorspellen in allerlei veldsituaties en klimatologische omstandigheden.

Dit onderwerp sprak mij zeker aan. Het heeft er mede toe geleid dat ik mijn Master ga volgen in de richting Water.

Voor het tot stand komen van dit adviesrapport heb ik begeleiding en hulp gehad. De volgende personen wil ik daarvoor bedanken:

- Joep Schyns (begeleider)
- Martijn Booij (voor zijn hulp bij het tot stand komen van de stageplaats)

Enschede, 15-02-2016

Robert Hofstra

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	5
Begrippenlijst	7
1 Inleiding.....	8
2 AquaCrop	11
3 Methodologie & Data	13
4 Bepaling gewasgroei parameters.....	16
4.1 Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CDroot)	17
4.1.1 Parameter definitie	17
4.1.2 Beschikbare data	18
4.1.3 Bepaling parameterwaarde	18
4.2 Periode van zaaien tot opkomst (CDemer)	19
4.2.1 Parameter definitie	19
4.2.2 Beschikbare data	19
4.2.3 Bepaling parameterwaarde	19
4.3 Periode van zaaien tot begin afsterven en periode van zaaien tot volwassenheid (CDsen en CDmat).....	20
4.3.1 Parameter definitie	20
4.3.2 Beschikbare data	20
4.3.3 Bepaling parameterwaarde	20
4.4 Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC).....	21
4.4.1 Parameter definitie	21
4.4.2 Beschikbare data	21
4.4.3 Bepaling parameterwaarde	23
4.5 Periode van zaaien tot bloeien(CDflower) en lengte van de bloeifase (Lflower)	25
4.5.1 Parameter definitie	25
4.5.2 Beschikbare data	25
4.5.3 Bepaling parameterwaarde	25
4.6 Wortelgroefactor	26
4.6.1 Parameter definitie	26
4.6.2 Beschikbare data	26
4.6.3 Bepaling parameterwaarde	26

5	AquaCrop simulatie en gevoeligheidsanalyse.....	27
5.1	Aanmaak gewasbestand	27
5.1.1	Gewas specifieke parameter van uien	28
5.1.2	Gewas specifieke parameter van koolzaad.....	30
5.2	Vergelijking AquaCrop opbrengsten met historische waarden	32
5.3	AquaCrop Opbrengst en Evapotranspiratie 1992-2015.....	34
5.3.1	Waarnemingen voor het gewas uien:.....	36
5.3.2	Waarnemingen voor het gewas koolzaad:	36
5.4	Gevoeligheidsanalyse.....	37
5.4.1	Planten per ha	38
5.4.2	Maximale bladerdakbedekking (CCx)	40
5.4.3	Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)	41
5.4.4	Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)	43
5.4.5	Periode van zaaien tot maximale worteldiepte	44
5.4.6	Periode van zaaien tot bloeien (CDflower)	45
5.5	Parameter classificatie	46
5.5.1	Opbrengst	46
5.5.2	Evapotranspiratie	47
5.5.3	Geldigheid van de classificatie	48
6	Discussie.....	51
7	Conclusies	52
8	Bibliografie	55
9	Bijlage.....	57
A.	Voorbeeld gewasbestand	57
B.	Simulaties.....	59
B.1	Uien: Planten per ha	60
B.2	Uien: Maximale Bladerdak bedekking (CCx).....	60
B.3	Uien: Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)	61
B.4	Uien: Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)	61
B.5	Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CDroot)	62
B.6	Koolzaad: Periode van zaaien tot bloeien (CDflower)	62
B.7	Koolzaad: Lengte van de bloeifase (Lflower)	63

Samenvatting

Landbouw is wereldwijd de grootste gebruiker van zoet water. Door groei van de wereldbevolking en veranderde consumptiepatronen neemt de vraag naar voedsel en water toe. In grote delen van de wereld is de beschikbaarheid van zoet water een kritische factor voor de voedselproductie.

De FAO (Food and Agriculture Organization) van de Verenigde Naties heeft een simulatie programma (AquaCrop) ontwikkelt om de opbrengst van bepaalde gewassen te voorspellen in allerlei veldsituaties en onder diverse klimatologische omstandigheden. Deze voorspelling is met name van belang als waterbeschikbaarheid een kritische factor is. Inzicht in de te verwachten opbrengsten in relatie tot watergebruik kan gebruikers van AquaCrop (bijvoorbeeld landbouw organisaties) helpen om de juiste gewaskeuzes te maken voor hun specifieke situatie.

Het programma AquaCrop heeft betrouwbare parameterwaarden nodig als essentiële input. Echter, tot nu toe is de beschikbaarheid van parameterwaarden voor AquaCrop slechts beperkt tot een klein aantal gewassen. Het eerder ontwikkelde Allen et al. gewasgroei model (1998) heeft betrouwbare gewasgroefase parameters voor praktisch alle gangbare gewassen. Door afwijkende definities zijn deze parameterwaarden niet direct bruikbaar voor het AquaCrop model.

De doelstelling in het eerste deel van het onderzoek is het ontwikkelen van een methode om de AquaCrop gewasparameters af te leiden. Het tweede deel van het onderzoek richt zich op het toepassen van deze methode om de gewasparameters te bepalen en vervolgens te analyseren op de gevoeligheid van de gesimuleerde opbrengst en evapotranspiratie. De focus ligt hiermee op bladerdak- en wortelontwikkeling parameters en op twee specifieke gewassen (een gewas zonder bloeiperiode en een gewas met bloeiperiode).

In dit onderzoek zijn methoden gevonden om een deel van de AquaCrop gewasgroefasen parameters af te leiden uit de Allen et al. (1998) gewasgroefasen. Dit is gelukt voor de parameters: Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot begin afsterven (CD_{sen}), Periode van zaaien tot volwassenheid (CD_{mat}), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC).

AquaCrop heeft een schattingsfunctie voor het geval dat de AquaCrop parameterwaarden niet afgeleid kunnen worden en ook niet uit andere bronnen bekend zijn. Het tweede deel van het onderzoek controleert of AquaCrop opbrengst en evapotranspiratie gevoelig zijn voor de nauwkeurigheid van de parameterwaarde schatting door middel van simulaties. De meerjaren simulaties (1992-2015) zijn uitgevoerd voor twee gewassen (uien en koolzaad) met als locatie de provincie Flevoland. Door alle parameters constant te houden en de waarden van 1 parameter te variëren tussen een realistisch gekozen minimum en maximum waarde, werd de gevoeligheid bepaald.

De tabel hieronder geeft een samenvatting van de resultaten.

Parameter		Classificatie Opbrengst	Classificatie Evapotranspiratie	Data gebruikt voor schatting parameter
Planten per ha	Uien	Gevoelig	Beperkt gevoelig	Verscheidene bronnen: PennState Extension(2000) en Kennisakker (2016)
	Koolzaad	Beperkt gevoelig	Beperkt gevoelig	
CC_x	Uien	Beperkt gevoelig	Beperkt gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie
	Koolzaad	Gevoelig	Beperkt gevoelig	
CGC	Uien	Zeér gevoelig	Beperkt gevoelig	Allen et al. (1998) gewasgroeifasen plus initiële bladerdakbedekking (CC ₀)
	Koolzaad	Zeér gevoelig	Gevoelig	
CDC	Uien	Zeér gevoelig	Gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie
	Koolzaad	Gevoelig	Beperkt gevoelig	
CD_{root}	Uien	Niet gevoelig	Niet gevoelig	Allen et al. (1998) gewasgroeifasen
	Koolzaad	Beperkt gevoelig	Beperkt gevoelig	
CD_{flower}	Koolzaad	Zeér gevoelig	Beperkt gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie
Lengte van de bloeifase	Koolzaad	Niet gevoelig	Niet gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie

Tabel 1: Overzicht onderzochte parameters op gevoeligheid opbrengst en evapotranspiratie met bijbehorende classificatie. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}). Gewassen uien en koolzaad, Flevoland 1992-2015.

De classificatie laat zien voor welke parameters een zo nauwkeurig mogelijke waardebepaling de hoogste prioriteit heeft. Deze conclusie is alleen geldig voor de onderzochte locatie en gewassen.

Begrippenlijst

Afkorting	Engelse term	Omschrijving/Nederlandse term	Eenheid
Bladerdak ontwikkeling			
CGC	Canopy growth coefficient	Bladerdak groeicoëfficiënt	Fractie/dag
CDC	Canopy decline coefficient	Bladerdak afnamecoëfficiënt	Fractie/dag
CC	Canopy cover	Bladerdakbedekking met 1 (lees 100%) als maximum	%
CC_{max}	Maximum canopy cover	Maximale bladerdakbedekking	%
CC₀	Canopy cover when 90% of seedlings are emerged	Bladerdakbedekking als 90% van de zaailingen zijn opgekomen.	%
Gewasgroeifasen AquaCrop			
CD_{mat}	Calender days: from sowing to maturity	Totale lengte van de gewascyclus van zaaien tot volwassenheid in kalender dagen.	dagen
CD_{emer}	Calender days: from sowing to emergence	Periode tussen het zaaien en het moment dat 90% van de zaailingen zijn opgekomen in kalender dagen.	dagen
CD_{root}	Calender days: from sowing to maximum rooting depth	Periode van zaaien tot de maximum worteldiepte is bereikt in kalender dagen.	dagen
CD_{flower}	Calender days: from sowing to flowering	Periode van zaaien tot de bloeifase is bereikt in kalender dagen.	dagen
CD_{sen}	Calender days: from sowing to senescence	Periode van zaaien tot begin afsterven in kalender dagen.	dagen
Bloeiperiode			
L_{flower}	Length of the flowering stage	Lengte van de bloeiperiode	dagen
Wortelontwikkeling			
Z_n	Minimum effective rooting depth	Minimale effectieve worteldiepte	meter
Z_x	Maximum effective rooting depth	Maximale effectieve worteldiepte	meter
F_{shape}	Shape factor describing root zone expansion	Factor die de wortel groei beschrijft (wortelgroefactor)	-
Gewasgroeifasen Allen et al. (1998)		Deze gewasgroeifasen komen terug in de inleiding en dan met name in Figuur 1	
L_{ini}	Initial stage	Begin fase van de gewasgroeyclus	dagen
L_{dev}	Canopy development stage	Bladerdak ontwikkel fase	dagen
L_{mid}	Mid season stage	Middendeel seizoen fase	dagen
L_{late}	Late season stage	Laatste deel seizoen fase	dagen
Transpiratie en verdamping			
E	Soil evaporation	Grondverdamping	mm
Tr	Crop transpiration	Gewastranspiratie	mm
ET	Evapotranspiration	Evapotranspiratie	mm

1 Inleiding

In 2025 zullen, volgens prognoses van de Wereldvoedselorganisatie van de Verenigde Naties, de FAO (Food and Agriculture Organization), 1,8 miljard mensen in landen of gebieden leven waar absolute waterschaarste heerst. De oorzaak van waterschaarste is een combinatie van factoren. Wereldwijde bevolkingsgroei, urbanisatie en met name veranderende consumptiepatronen zorgen voor een stijgende vraag naar water. Klimaatverandering, ontbossing, waterverspilling en -vervuiling zorgen anderzijds voor een dalende beschikbaarheid. Landbouw is de belangrijkste watergebruiker in de wereld. 70 % van het beschikbare zoete water wordt gebruikt in de landbouw voor de productie van voedsel. Ongelijke geografische verdeling van het beschikbare water en vooral de ongelijke consumptie van water, zorgen er voor dat in sommige delen van de wereld water een kritische factor is voor de productie van gewassen. De komende 5 jaar zal de vraag naar voedsel ruwweg verdubbelen, met name door de toenemende vleesconsumptie. (Raes, D et al. 2009)

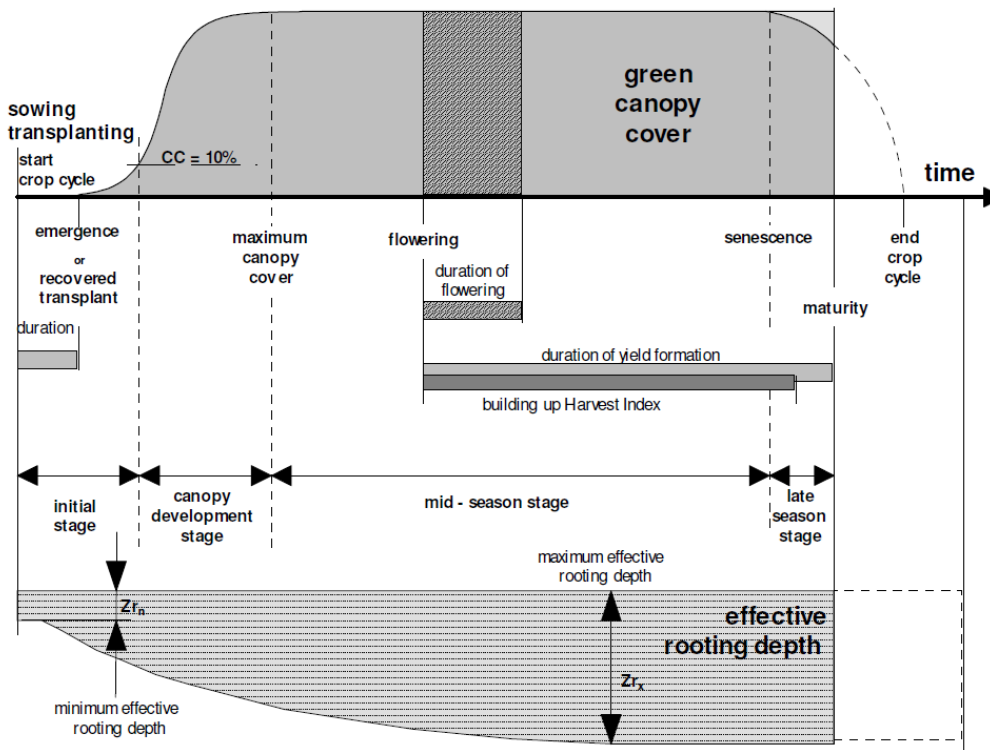
Er is een grondige kennis vereist van de gewasverdamping en de gewasrespons op watertekorten tijdens verschillende groeistadia van gewassen. Het wordt dan ook steeds belangrijker om methodes te ontwikkelen die de waterbehoefte van planten kunnen simuleren voor plaatsen waar weinig water beschikbaar is.

Een onderzoeksteam van de land en water divisie van de FAO ontwikkelde het computermodel AquaCrop, dat de bepaling van de waterproductiviteit van gewassen vereenvoudigt. Het gewas-waterproductiviteitsmodel AquaCrop geeft een beeld van de veranderende hoeveelheden water die tijdens het groeiseizoen opgeslagen zijn in de bodem en waarover de planten kunnen beschikken, de zogenaamde bodemwaterbalans. Het vochtgehalte in de wortelzone bepaalt de ontwikkeling van de gewassen en de gewastranspiratie; gegevens die door het model worden omgezet in gewasgroei en oogst. AquaCrop is nuttig om irrigatiestrategieën te ontwikkelen in gebieden met watertekort, om optimale gewaskalenders te vinden voor regengevoede landbouw, om het effect van bodemtype, plantdatum, veldbeheer en bemesting te analyseren, om oogstschattingen te verkrijgen in verschillende typen van jaren (droge, normale en natte jaren) en zelfs om de impact van de klimaatsverandering te onderzoeken. Met het model kunnen richtlijnen geformuleerd worden voor voorlichtingsdiensten, overheidsagentschappen en landbouwerassociaties, zodat landbouwers meer voedsel kunnen produceren met minder water.

Voor simulatieprogramma's als AquaCrop is het nodig om diverse parameters in te voeren die de gewasgroei modeleren. Voor slechts een klein deel van de gewassen zijn deze beschikbaar.

De vraag is nu, of de ontbrekende parameters en meer specifiek, de benodigde parameters voor de gewasgroeifasen, afgeleid of geschat kunnen worden uit de gewasgroeifasen zoals gedefinieerd door Allen et al. (1998). Dit is een ander model voor gewasgroeifasen dan AquaCrop gebruikt. Echter, het model van Allen et al. (1998) heeft als groot voordeel dat voor dit model wel de gewasgroei parameterwaarden beschikbaar zijn voor alle belangrijke gewassen. Door middel van Figuur 1 op de volgende bladzijde is het probleem uit te leggen.

In onderstaand Figuur 1 staan zowel de gewasgroeifasen die door Allen et al. (1998) gedefinieerd zijn als de AquaCrop gewasparameters. De Allen et al. (1998) parameters zijn bekend en zijn hieronder gedefinieerd.



Figuur 1: Schematische weergave bladerdakontwikkeling (canopy cover development) en wortelontwikkeling (root development) over de tijd. Met daarin de bloeifase (flowering) en duur van opbrengst opbouw (duration of yield formation) en oogst index opbouw. In dit figuur zitten zowel de AquaCrop als de Allen et al. (1998) gewasgroeifasen. Bron: Raes et al. (2012)

- L_{ini} : Begin fase van de gewasgroei cyclus (Initial stage)
- L_{dev} : Bladerdak ontwikkelingsfase (Canopy development stage)
- L_{mid} : Middendeel seizoen fase (Mid - season stage)
- L_{late} : Laatste deel seizoen fase (Late season stage)

Daarnaast staan in Figuur 1 de gewasgroeifasen van AquaCrop:

- CD_{root} : Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (Calendar Days: from sowing to maximum rooting depth)
- CD_{emer} : Periode van zaaien tot opkomst (Calendar Days: from sowing to emergence)
- CD_{sen} : Periode van zaaien tot begin afsterven (Calendar Days: from sowing to start senescence)
- CD_{mat} : Periode van zaaien tot volwassenheid (Calendar Days: from sowing to maturity)
- CD_{flower} : Periode van zaaien tot bloeien (Calendar Days: from sowing to flowering)

Tweeledige doelstelling:

1. Het ontwikkelen van een methode om de AquaCrop gewasparameters af te leiden.
2. Het toepassen van deze methode om gewasparameters te bepalen en het analyseren van de gevoeligheid van de gesimuleerde opbrengst en evapotranspiratie.

De scope die wordt aangehouden bij deze doelstelling heeft twee hoofdpunten: focus op parameters voor bladerdak- en wortelontwikkeling en focus op twee specifieke gewassen (een gewas zonder bloeiperiode en een gewas met bloeiperiode).

Ten behoeve van dit onderzoek zijn twee deelvragen geformuleerd:

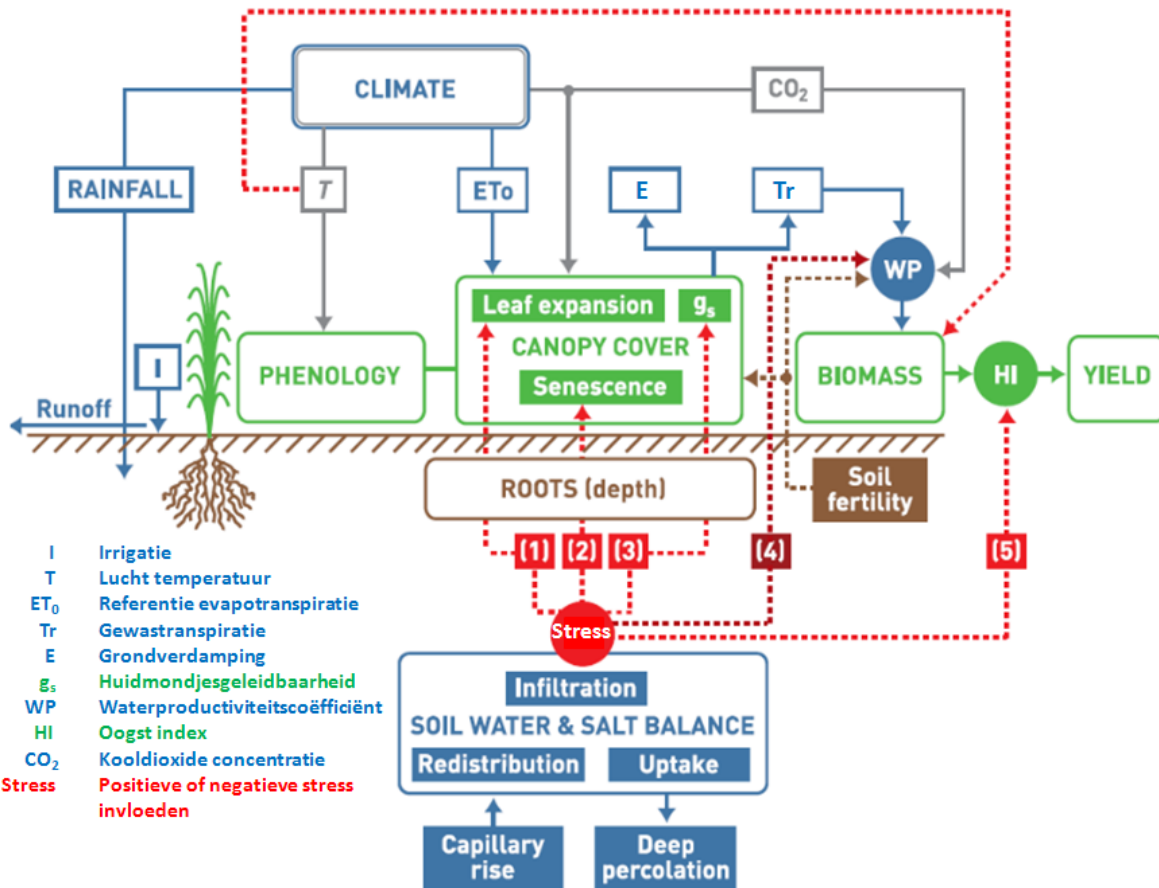
1. Welke methodes zijn geschikt om de AquaCrop gewasparameters af te leiden voor verschillende gewas categorieën?
2. Voor welke parameters is de opbrengst en evapotranspiratie met name gevoelig?

Leeswijzer:

In het volgende hoofdstuk (2) wordt het model AquaCrop nader toegelicht. De methodologie en data wordt uitgelegd in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 en 5 komen achtereenvolgens de verschillende deelvragen aan bod. Met in hoofdstuk 6 de discussie en tot slot de conclusie in hoofdstuk 7.

2 AquaCrop

AquaCrop is een programma dat gewasgroei simuleert. Het model is ontworpen door de Land en Water Divisie van de FAO. Op basis van diverse invoerparameters simuleert het programma de voorspelde opbrengst van diverse typen veldgewassen. De kern van het programma is een module waarin gewastranspiratie (Tr , transpiratie van de plant) wordt omgerekend naar biomassa. De mate van beschikbaarheid van water speelt een sleutelrol bij de berekening van de verwachte opbrengst.



Figuur 2: Schematische weergave van het AquaCrop model met de belangrijkste parameters en onderlinge werking. Met de belangrijkste definities: klimaat (climate), neerslag (rainfall), fenologie (phenology), bladerdak (canopy cover), biomassa (biomass), opbrengst (yield), wortels (roots), grondwater en zout balans (soil water & salt balance). Bron: Steduto, P et al. (2009a)

Het model omvat de bodem, met bijbehorende waterbalans; de plant, met zijn ontwikkeling, groei en opbrengst processen; de atmosfeer, met temperatuur, neerslag, verdamping en kooldioxide concentratie. Daarnaast een aantal bewerkingsaspecten zoals irrigatie en bemesting, omdat deze invloed hebben op de bodemwaterbalans, gewasgroei en daardoor op de opbrengst.

Belangrijke uitgangspunten van het model:

- De berekening van de transpiratie van het gewas is gebaseerd op de grondbedekking van het bladerdak (canopy cover). De rechtstreekse grondverdamping (E) wordt gekoppeld aan de niet met bladerdak bedekte grond. De som van gewastranspiratie (Tr) en verdamping uit de grond (E) is het totale waterverbruik.
- Gewastranspiratie wordt door simulatie in dagelijkse stappen vertaald in Biomassa met behulp van de water productiviteitsparameter (WP).
- De Gewasopbrengst = Biomassa (Biomass) $\times$ Oogst Index (HI of Harvest Index). De Oogst Index geeft de Netto Oogst als percentage van de totale berekende biomassa.
- De gevoeligheid van de gewasopbrengst voor een tekort aan water (stress) kan door 4 variabelen gemodelleerd worden:
 1. Een vertraging van de bladerdakgroei.
 2. Een vermindering van de transpiratie (Tr) door een reactie van de huidmondjes op het gebrek aan water.
 3. De veroudering van het bladerdak (Canopy senescence).
 4. De Oogst Index afhankelijk van de mate van het water tekort en tijdstip van oogsten.

Belangrijkste Input gegevens voor het model:

- Meteorologische data: lucht temperatuur, referentie verdamping en neerslag.
- Grondsamenstelling: grondlagen met bijbehorende kenmerken.
- Zaaidatum
- Gewas parameters gekoppeld aan het groeiseizoen:
 - Initiële en uiteindelijke bladerdakbedekking en procentuele verandering in bladerdekking.
 - Initiële en uiteindelijke worteldiepte en de procentuele verandering in worteldiepte.
- Menselijk ingrijpen: bijvoorbeeld de hoeveelheid en frequentie van de berekening , evenals de frequentie en intensiteit van de bemesting.

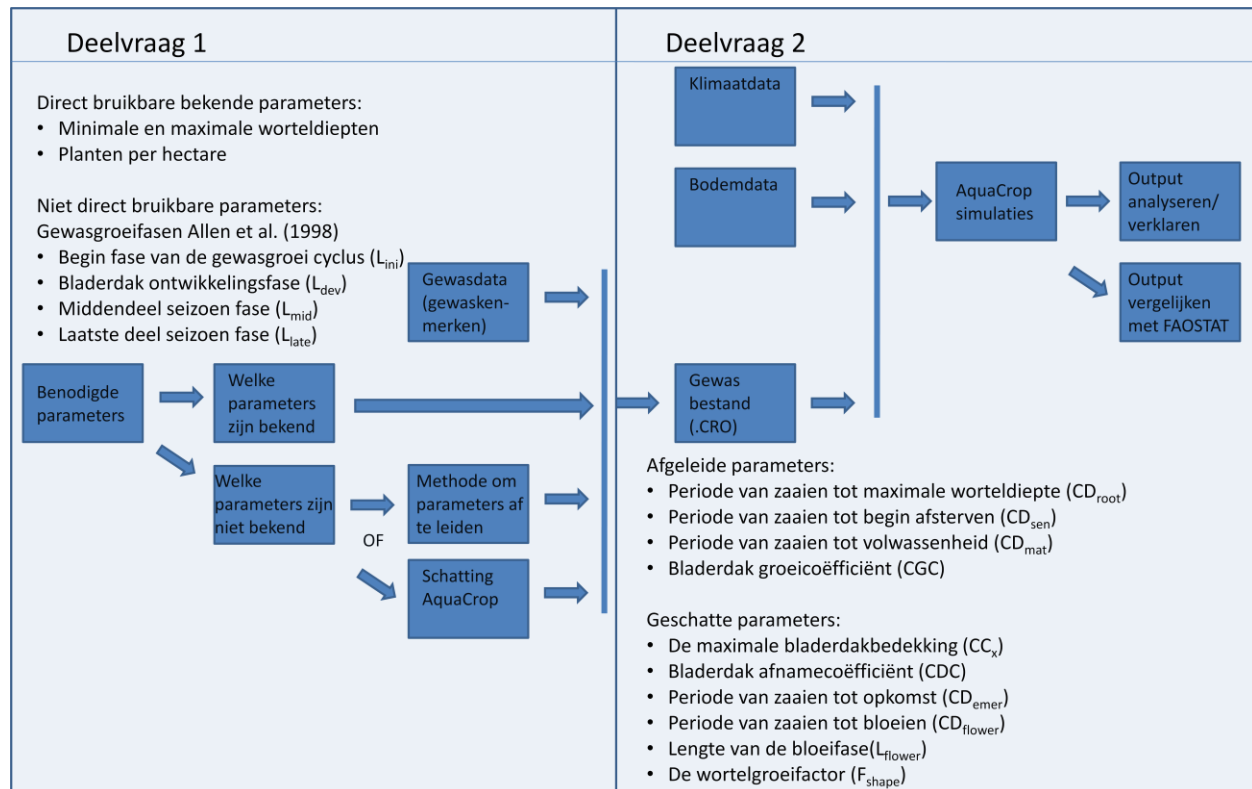
Belangrijkste AquaCrop output:

De voorspelde Biomassa/gewasopbrengst als gevolg van waterbeschikbaarheid/gebruik op basis van ingevoerde klimaatdata en grondcondities. Dit wordt tevens waterproductiviteit genoemd.

Door de input te veranderen kan de voorspelde output gesimuleerd worden voor verschillende omstandigheden. Zo kan de gebruiker het effect van de omgeving op gewasproductie en waterverbruik beter begrijpen. Dit kan de basis zijn om landbouwers richtlijnen te geven om de gewas- en waterproductiviteit te verbeteren.

3 Methodologie & Data

De onderzoeksmethode en het gebruik van data worden besproken aan de hand van Figuur 3 en door middel van de deelvragen. Onderstaande figuur geeft een overzicht van de gevolgde methode.



Figuur 3: Overzicht gebruikte methodologie opgesplitst in de twee deelvragen. Van benodigde parameters tot de uiteindelijke AquaCrop simulaties en output analyse.

Deelvraag 1 luidt: Welke methodes zijn geschikt om de AquaCrop gewasparameters af te leiden voor verschillende gewas categorieën?

In aanvulling op de AquaCrop gewasgroei parameters zijn ook de wortelgroefactor en de "lengte van de bloeifase" geselecteerd. Deze twee parameters zijn gekozen, omdat bekend is dat met name deze significante invloed zou kunnen hebben op de ontwikkeling van het bladerdak. Bladerdakontwikkeling beïnvloedt de opbrengst en evapotranspiratie (ET). Hoe nauwkeuriger de parameters bekend zijn, des te beter zal het model kunnen voorspellen wat de werkelijke opbrengst en evapotranspiratie zijn.

Gevolgde Methode:

- Identificatie van de benodigde parameters voor de gewasgroeifasen in het AquaCrop model. Dit is gedaan op basis van de AquaCrop handleiding en dan met name de modelomschrijving.
- Vaststellen welke van de benodigde parameters bekend zijn.
- Analyse van de beschikbare parameters met parameterwaarden die mogelijk herleid kunnen worden naar bruikbare input voor AquaCrop. Hieronder vallen de gewas groeifasen van Allen et al. (1998). Dit zijn: L_{ini} , L_{dev} , L_{mid} , en L_{late} (zie Figuur 1 in inleiding). Deze gegevens zijn gerapporteerd per land/klimaatzone door Chapagain en Hoekstra (2004). Voor vrijwel alle gewassen zijn de gewasgroeifasen van Allen et al. (1998) beschikbaar per klimaat classificatie.
- Vaststellen voor welke parameters geen nauwkeurige input te vinden of te herleiden is. In die gevallen de AquaCrop schattingsfunctie gebruiken.

Deelvraag twee luidt: Voor welke parameters is de opbrengst en evapotranspiratie met name gevoelig? De gevolgde methode volgt hieronder:

Formulering van een concrete situatie: Als locatie Flevoland in combinatie met uien en koolzaad als gewassen.

Voor het concrete simuleren met AquaCrop is uiteindelijk gekozen voor de provincie Flevoland. De keuze is op Flevoland gevallen, omdat data afkomstig uit Nederland niet alleen beschikbaar is, maar ook betrouwbaar. De Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics division (FAOSTAT) beschikt alleen over nationaal gemiddelde opbrengst data. De spreiding van de opbrengst binnen een klein geografisch land als Nederland is echter, gering waardoor Nederland een goede keus is voor betrouwbare modelresultaten op basis van de gegevens van FAOSTAT. In Nederland zijn de verschillen in landbouwtechnieken en klimaat tussen verschillende regio's ook relatief gering, in tegenstelling tot grotere landen. De twee gekozen gewassen worden al vele jaren verbouwd in de provincie Flevoland. Er zijn dus voldoende historische data beschikbaar. Voor deze specifieke case zijn waarden voor alle benodigde parameters voor AquaCrop verzameld. De gesimuleerde opbrengst uit AquaCrop zal worden vergeleken met de FAOSTAT opbrengst data. Evenals de verklaringen voor de verschillen tussen de gesimuleerde data en bekende data (FAOSTAT data).

Verzamelen van data:

- Klimaatdata van de afgelopen jaren. Hieronder vallen temperatuur, neerslag, verdamping en CO₂ data. Van temperatuur, neerslag en verdamping is de data over de afgelopen 24 jaar beschikbaar voor de individuele dagen (KNMI, 2015).
- Bodemdata van Flevoland. Deze data is gebaseerd op De Lannoy et al. (2014). De grond bestaat uit twee verschillende grondlagen, de classificatie van deze lagen valt onder leem.
- Parameterwaarden uit andere bronnen:
 - De minimale en maximale worteldiepte. De worteldiepte heeft Allen et al. (1998) per gewas en per categorie gerapporteerd.
 - Het aantal planten per hectare volgens PennState Extension(2000) en Kennisakker (2016).
- Herleiden van parameterwaarden door middel van de gevonden methodes bij deelvraag 1.
- De ontbrekende waarden vinden via het AquaCrop schattingsmodel.

Voor de parameters waar de onzekerheid over de juiste waarde het grootst is, wordt de gevoeligheid van de parameters nader onderzocht. In hoofdstuk 4 en 5 wordt per parameter uitgelegd waarom en of er met deze parameter wordt gesimuleerd.

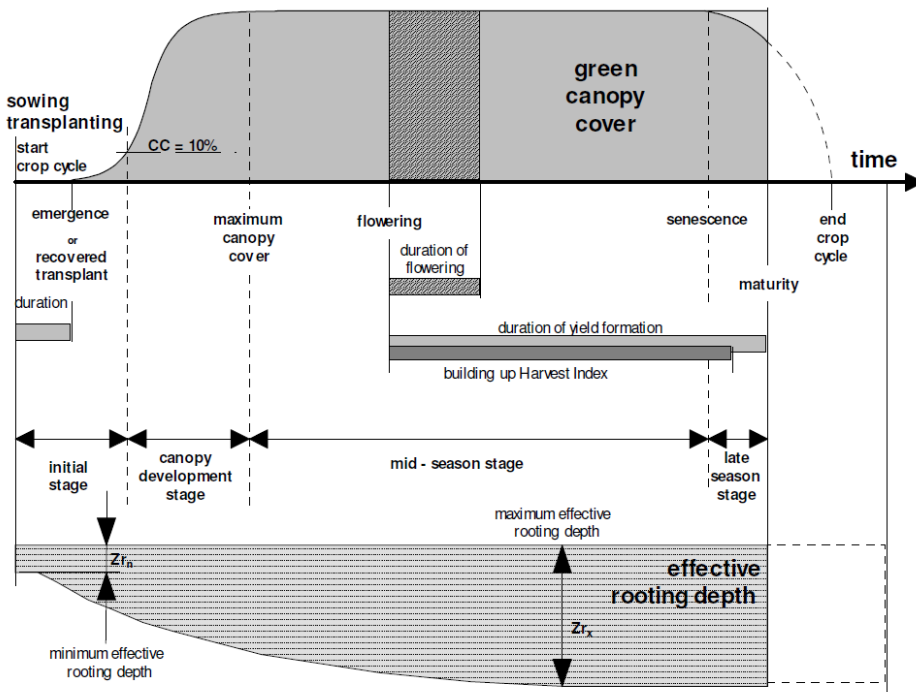
Uitvoering van een gevoeligheidsanalyse: Voor de gedefinieerde concrete case worden alle parameters constant gehouden waarbij het effect op de opbrengst en ET (evapotranspiratie) wordt geanalyseerd bij het variëren van de waarde voor de te schatten parameter. Indien de opbrengst/evapotranspiratie weinig varieert, dan is de gevoeligheid laag en dus de nauwkeurigheid van de inputwaarde van weinig invloed op de uitkomst van de modelisatie.

4 Bepaling gewasgroei parameters

Deelvraag 1 luidt: Welke methodes zijn geschikt om de AquaCrop gewasparameters af te leiden voor verschillende gewas categorieën?

AquaCrop gebruikt niet het gewas groeifasen model van Allen et al. (1998). Voor het AquaCrop model zijn de benodigde gewasgroei parameter waarden, in tegenstelling tot het model van Allen, niet direct beschikbaar. Daarom wordt onderzocht of de AquaCrop groeifase parameters af te leiden zijn uit de Allen et al. (1998) parameters.

De eerste selectie voor nader onderzoek bevat de gewasgroeifasen van AquaCrop. Aanvullend worden een 2-tal gewas specifieke parameters geselecteerd. Deze zijn gekozen vanwege de te verwachten invloed op de opbrengst. Met name van de bladerdakontwikkeling en wortelontwikkeling is bekend dat ze de voorspelde opbrengst significant beïnvloeden.



Figuur 4: Schematische weergave bladerdakontwikkeling (canopy cover development) en wortelontwikkeling (root development) over de tijd. Met daarin de bloeifase (flowering) en duur van opbrengst opbouw (duration of yield formation) en oogst index opbouw. In dit figuur zitten zowel de AquaCrop als de Allen et al. (1998) gewasgroeifasen. Bron: Raes et al. (2012)

In Figuur 4 staan de meeste parameters beschreven in onderlinge samenhang. In de volgende paragrafen komen de geselecteerde parameters een voor een aan de beurt. De selectie bestaat uit:

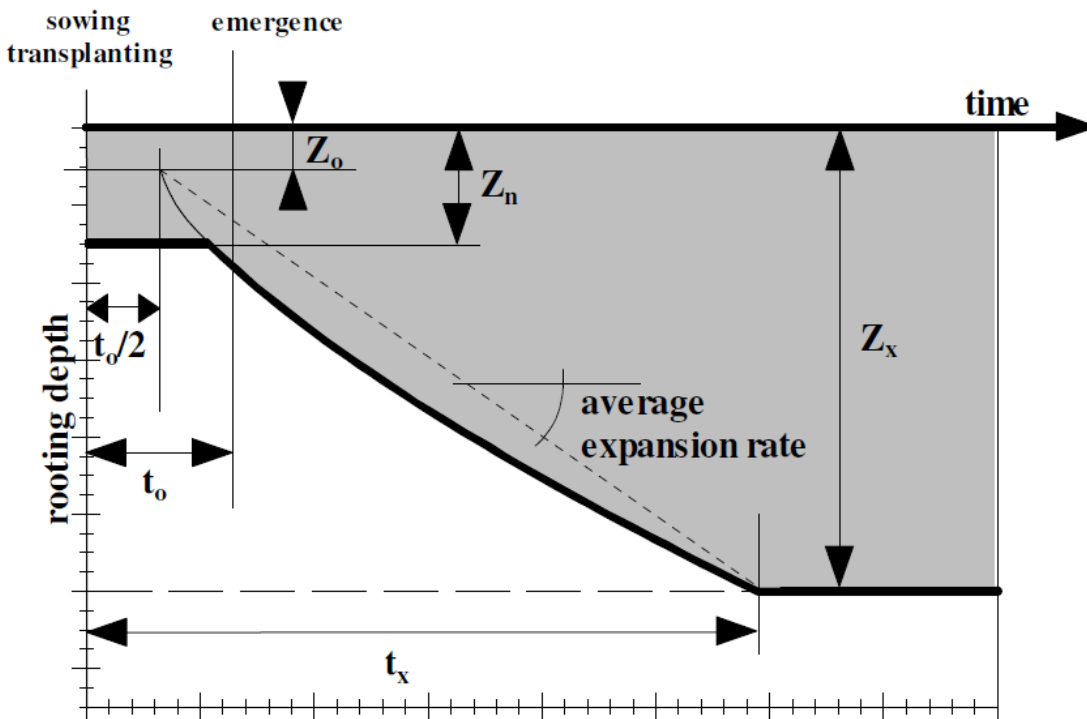
- Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (sowing to maximum rooting depth)
- Periode van zaaien tot opkomst (from sowing to emergence)
- Periode van zaaien tot begin afsterven (from sowing to senescence)
- Periode van zaaien tot volwassenheid (from sowing to maturity)
- Periode van zaaien tot bloeien (from sowing to flowering)
- Lengte van de bloeifase (Duration of flowering)
- Bladerdak groeicoëfficiënt
- Wortelgroefactor

4.1 Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root})

4.1.1 Parameter definitie

CD_{root} is de periode uitgedrukt in kalenderdagen tussen het moment van zaaien totdat de maximum worteldiepte is bereikt. Dit is te zien in Figuur 5.

Onder condities waarin er geen stress optreedt ziet de wortelontwikkeling van een gewas er als volgt uit.



Figuur 5: Ontwikkeling van de effectieve worteldiepte (t_x) tegenover de tijd. Z_0 en t_0 corresponderen met de beginsituatie, Z_x en t_x met de eindsituatie wanneer de maximale effectieve worteldiepte is bereikt. Bron: Raes et al. (2012)

De formule die AquaCrop gebruikt voor het beschrijven van de wortelontwikkeling is als volgt:

$$Z = Z_0 + (Z_x - Z_0) \sqrt[n]{\frac{(t - \frac{t_0}{2})}{(t_x - \frac{t_0}{2})}}$$

Met:

- Z effectieve worteldiepte op tijdstip t [m]
- Z_0 begin diepte van de wortelgroei curve [m]
- Z_x maximale effectieve worteldiepte [m]
- t_0 periode van zaaien tot opkomst (CD_{emer}) [dagen of groeidagen]
- t_x periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}) [dagen of groeidagen]
- t tijd (na het planten) [dagen of groeidagen]
- n wortelgroeifactor

4.1.2 Beschikbare data

De beschikbare data is weergegeven in Figuur 5 van Raes et al. (2012). Wortelontwikkeling data voor het bepalen van de periode tussen het moment van zaaien totdat de maximum worteldiepte is bereikt.

4.1.3 Bepaling parameterwaarde

Wortelontwikkeling is essentieel voor de groei van een gewas. Volgens Allen et al. (1998) bereikt het gewas zijn maximale worteldiepte als de maximale bladerdak bedekking is bereikt.

Bekend zijn: L_{ini} = Begin fase van de gewascyclus (Initial stage)

L_{dev} = Bladerdak ontwikkel fase (Canopy development stage)

L_{mid} = Midden seizoen fase (Mid season stage)

L_{late} = Late seizoen fase (Late season stage)

Dit betekent dat de volgende formule uit Figuur 4 gehaald kan worden:

$$L_{ini} + L_{dev} = CC_{max} = CD_{root}$$

De door Allen et al (1998) geïdentificeerde fasen van de gewasontwikkeling per klimaatzone zijn bekend, waardoor nu ook de tijd tot het bereiken van de maximale worteldiepte afgeleid kan worden. Dit is tevens een van de parameters die AquaCrop nodig heeft voor het model.

Conclusie: De voor AquaCrop "periode tot maximale worteldiepte" is te herleiden uit de "begin fase van de gewascyclus" (L_{ini}) en de "bladerdak ontwikkel fase" (L_{dev}).

4.2 Periode van zaaien tot opkomst (CD_{emer})

4.2.1 Parameter definitie

De "periode van zaaien tot opkomst" is de periode in kalenderdagen tussen het zaaien en het moment dat 90% van de zaailingen is opgekomen.

4.2.2 Beschikbare data

De waarden voor deze parameter zijn slechts voor enkele gewassen direct te vinden in literatuurbronnen (zie Tabel 2). Het valt op dat de waarden aanzienlijk verschillen per gewas. Vermoedelijk kan de keuze van deze parameter van grote invloed zijn op de modeluitkomsten.

FAO gewas code	Gewas	Periode van zaaien tot opkomst (dagen)
15	Tarwe	13
27	Rijst	3
44	Gerst	7
56	Maïs	6
79	Teff/Gierst	14
83	Sorgo	13
92	Quinoa	7
116	Aardappel	16
156	Suikerriet	7
157	Suikerbiet	4
236	Sojabonen	9
267	Zonnebloemzaad	18
328	Katoen	14
388	Tomaten	4

Tabel 2: Overzicht van de bekende CD_{emer} -waarden per gewas met bijbehorende FAO gewas code. Bron: FAO (2016c)

4.2.3 Bepaling parameterwaarde

Na het specificeren van het type gewas, de methode van planten en de "periode van zaaien tot volwassenheid" (CD_{mat}), schat AquaCrop de waarden voor de "periode van zaaien tot opkomst" (CD_{emer}). Deze geschatte waarde zal worden aangenomen indien deze binnen de range van bekende gewassen valt.

Conclusie: voor de "periode van zaaien tot opkomst" (CD_{emer}) is geen directe bruikbare input gevonden. De schatting van AquaCrop wordt in het verdere onderzoek als input voor de AquaCrop simulaties gebruikt.

4.3 Periode van zaaien tot begin afsterven en periode van zaaien tot volwassenheid (CD_{sen} en CD_{mat})

4.3.1 Parameter definitie

Zoals te zien in Figuur 4, is CD_{sen} de periode van tussen het moment van zaaien en het begin van afsterven van het gewas. CD_{mat} is de totale lengte van de gewascyclus; van zaaien tot volwassenheid.

4.3.2 Beschikbare data

De beschikbare data is weergegeven in Figuur 4 van Raes et al. (2012). De volgende data worden gebruikt voor het bepalen van de CD_{sen} en CD_{mat} .

4.3.3 Bepaling parameterwaarde

CD_{sen} en CD_{mat} zijn beide te berekenen door middel van verbanden.

Bekend zijn: L_{ini} = Begin fase van de gewascyclus (Initial stage)

L_{dev} = Bladerdak ontwikkel fase (Canopy development stage)

L_{mid} = Midden seizoen fase (Mid season stage)

L_{late} = Late seizoen fase (Late season stage)

Uit Figuur 4 valt het volgende te constateren:

$$L_{ini} + L_{dev} + L_{mid} = CD_{sen}$$

$$L_{ini} + L_{dev} + L_{mid} + L_{late} = CD_{mat}$$

Met deze gevonden verbanden zijn twee van de AquaCrop groeifasen te berekenen namelijk; CD_{sen} en CD_{mat} .

Conclusie: De voor AquaCrop benodigde "periode van zaaien tot begin afsterven" (CD_{sen}) en "periode van zaaien tot volwassenheid" (CD_{mat}) zijn te herleiden uit de gewasgroeifasen van Allen et al. (1998) zoals hierboven beschreven.

4.4 Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)

4.4.1 Parameter definitie

De bladerdak groeicoëfficiënt geeft de toename in fractie bodembedekking per dag aan. Oftewel de snelheid waarmee het bladerdak groeit in de tijd tot maximale bladerdakbedekking.

4.4.2 Beschikbare data

4.4.2.1 Bladerdak bedekking

Een belangrijke parameter waar AquaCrop mee werkt is bladerdakbedekking. Deze term staat voor de hoeveelheid grond die bedekt wordt met bladeren in procenten. De bladerdak bedekking laat zien hoe een gewas zich ontwikkelt, vaak is hieraan te zien of het gewas een tekortkoming heeft.

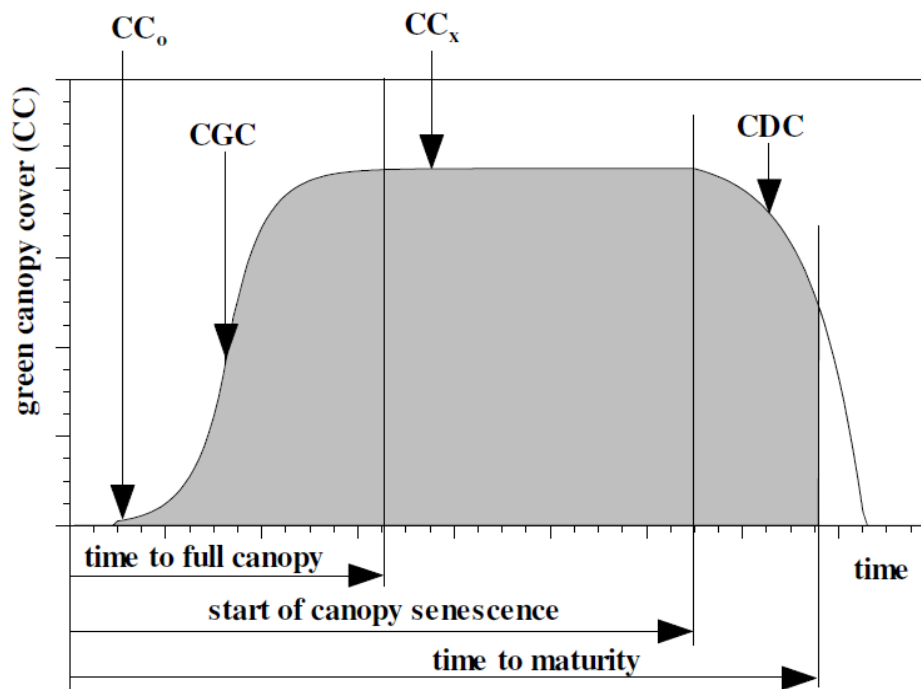
Bladerdakbedekking wordt gekwantificeerd in het percentage van de grond dat afgedekt is door bladerdak. Hieronder staan de variabelen die gebruikt worden om de ontwikkeling van de bladerdakbedekking onder optimale omstandigheden te beschrijven:

CC_0 = De bladerdakbedekking als 90% van de zaailingen is opgekomen. Bij transplanteren(overplanten) wordt het tijdstip van planten genomen. [cm^2]

CC_x = Maximale bladerdak bedekking (maximum canopy cover). [fractie grond bedekking]

CGC = De bladerdak groei coëfficiënt (canopy growth coefficient). [fractie per dag]

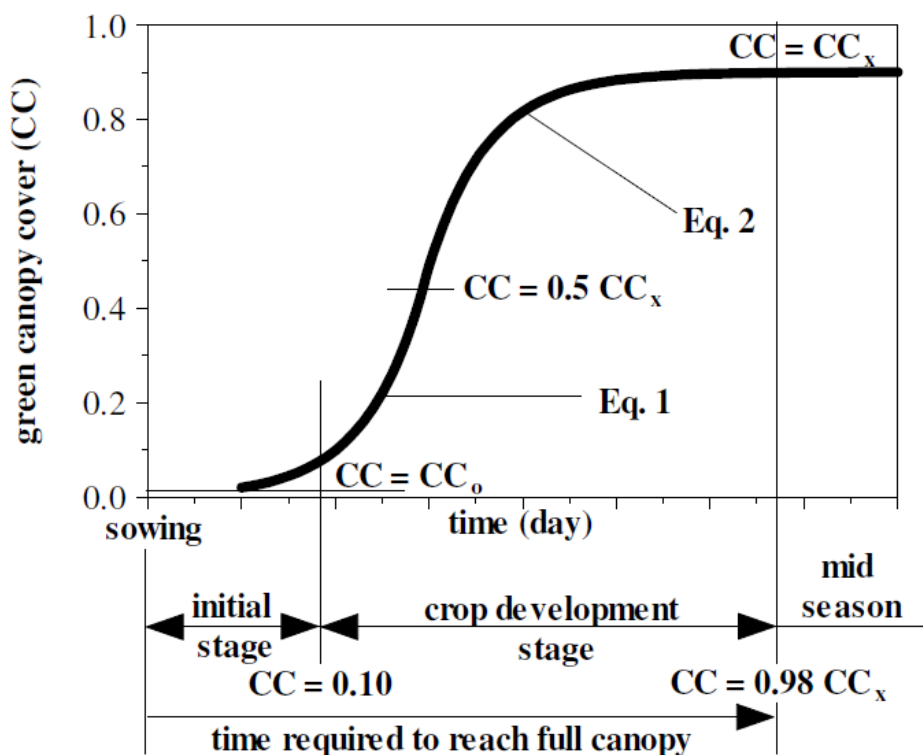
CDC = De bladerdak afname coëfficiënt (canopy decline coefficient). [fractie per dag]



Figuur 6: Grafiek van de bladerdakgroei over de tijd met daarin de bladerdakontwikkeling parameters en belangrijke gewasgroeifasen. Dit zijn: tijd tot volledige bladerdakbedekking (time to full canopy), periode van zaaien tot begin afsterven (CD_{sen}), en periode van zaaien tot volwassenheid (CD_{mat}). De grafiek geeft de bladerdakgroei aan onder optimale omstandigheden. Bron: Raes et al. (2012)

4.4.2.2 Bladerdak ontwikkeling

In onderstaande figuur staat de schematische weergave van de eerste fase van de bladerdak ontwikkeling. De curve wordt beschreven door middel van twee formules.



Figuur 7: Schematische weergave gewas bladerdakontwikkeling over de tijd. De ontwikkeling van het bladerdak vindt vooral plaats in de gewas ontwikkelingsfase (crop development stage).
Bron: Raes et al. (2012)

De CC wordt gesimuleerd door twee formules. In Figuur 7 staat aangegeven waar deze formules gebruikt worden. (Bron: Raes et al.,2012)

Formule 1 (Eq. 1): $CC = CC_0 e^{t CGC}$

Formule 2 (Eq. 2): $CC = CC_x - 0,25 \frac{(CC_x)^2}{CC_0} e^{-t CGC}$

De bladerdakbedekking (CC) in de eerste helft van de curve wordt bepaald door de initiële bladerdakbedekking (CC_0) en de bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) zoals te zien valt in Formule 1. De bladerdakbedekking in de tweede helft wordt ook beïnvloed door de maximale bladerdakbedekking (CC_x). Voor de curve geldt: hoe groter de bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) des te sneller het maximale bladerdak is bereikt.

4.4.3 Bepaling parameterwaarde

De bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) kan berekend worden aan de hand van de twee formules. De CGC is een van AquaCrop zijn benodigde parameters.

Bekend zijn: CC_x (Benaderd)
 L_{ini} (Deze parameters zijn bekend per gewas per klimaat categorie)
 L_{dev}

In punt 1 geldt: $CC = 0,1$ (10%)

In punt 2 geldt: $CC = 0,98 * CC_x$

Verder is $t_2 - t_1 = L_{dev}$

In punt 1 is t_1 uit te drukken in CGC, dit gaat als volgt:

$$CC = CC_0 e^{t_1 CGC}$$

$$10\% = CC_0 e^{t_1 CGC}$$

$$\ln\left(\frac{0,1}{CC_0}\right) = t_1 CGC$$

$$t_1 = \frac{\ln\left(\frac{0,1}{CC_0}\right)}{CGC}$$

In punt 2 is t_2 uit te drukken in CGC, dit gaat als volgt:

$$CC = CC_x - 0,25 \frac{(CC_x)^2}{CC_0} e^{-t_2 CGC}$$

$$0,98 * CC_x = CC_x - 0,25 \frac{(CC_x)^2}{CC_0} e^{-t_2 CGC}$$

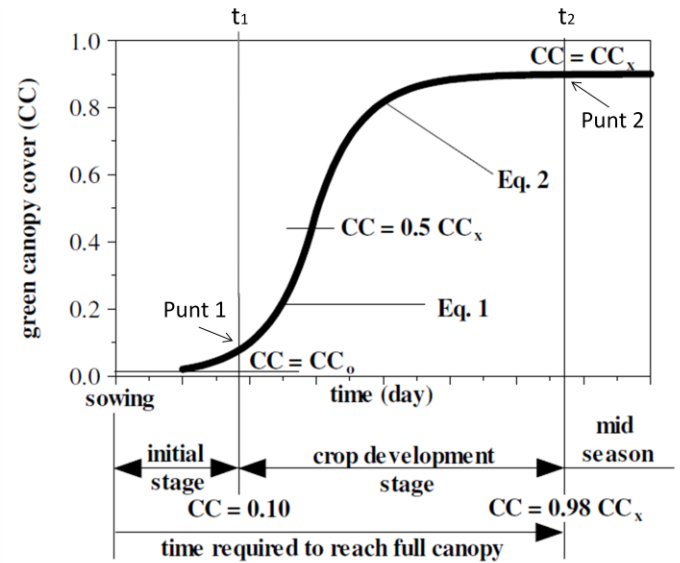
$$\frac{0,98 * CC_x - CC_x}{-0,25} = \frac{(CC_x)^2}{CC_0} e^{-t_2 CGC}$$

$$0,08 CC_x = \frac{(CC_x)^2}{CC_0} e^{-t_2 CGC}$$

$$\frac{0,08 CC_x CC_0}{(CC_x)^2} = e^{-t_2 CGC}$$

$$\ln \frac{0,08 CC_0}{CC_x} = -t_2 CGC$$

$$t_2 = \frac{-\ln\left(\frac{0,08 CC_0}{CC_x}\right)}{CGC}$$



Figuur 8: Schematische weergave gewas bladerdakontwikkeling over de tijd. De ontwikkeling van het bladerdak vindt vooral plaats in de gewas ontwikkelingsfase (L_{dev} , crop development stage).
Bron: Raes et al. (2012)

Nu zijn zowel t_1 en t_2 uitgedrukt in CGC. De volgende formule kan nu worden ingevuld:

$$t_2 - t_1 = L_{dev}$$

$$\frac{-\ln(\frac{0,08}{CC_x})}{CGC} - \frac{\ln(\frac{0,1}{CC_0})}{CGC} = L_{dev}$$

CC_0 valt weg (hoe groot CC_0 ook zal zijn het verschil tussen t_1 en t_2 zal altijd hetzelfde zijn) oftewel:

$$\frac{-\ln(\frac{0,08}{CC_x})}{CGC} - \frac{\ln(0,1)}{CGC} = L_{dev}$$

$$\frac{-\ln(\frac{0,08}{CC_x}) - \ln(0,1)}{CGC} = L_{dev}$$

$$CGC = \frac{-\ln(\frac{0,08}{CC_x}) - \ln(0,1)}{L_{dev}}$$

Het enige wat nodig is om de CGC te berekenen per gewas en klimaatzone zijn de bijbehorende CC_x en L_{dev} . De L_{dev} is bekend voor elk gewas en klimaatzone. De CC_x zal worden geschat door middel van de schattingsfunctie in AquaCrop. Deze schatting is gebaseerd op een aantal kenmerken van het gekozen gewas. Meer uitleg hierover in hoofdstuk 5.

Conclusie: door gebruik van bovenstaande omrekening is de bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) door middel van de maximale bladerdakbedekking (CC_x) en Bladerdak ontwikkel fase (L_{dev}) te vinden voor AquaCrop.

4.5 Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}) en lengte van de bloeifase (L_{flower})

4.5.1 Parameter definitie

De "periode van zaaien tot bloeien" wordt gedefinieerd als de periode in kalender dagen van het moment van zaaien tot de bloeifase is bereikt. De "lengte van de bloeifase" is de periode waarin de plant bloeit.

4.5.2 Beschikbare data

De waarden voor deze parameters is voor enkele gewassen reeds bekend op basis van literatuurbronnen (zie Tabel 3).

FAO gewas code	Gewas	Periode van zaaien tot bloeien (dagen)	Lengte van de bloeiperiode (dagen)
15	Tarwe	127	15
27	Rijst	65	19
44	Gerst	60	12
56	Maïs	66	13
79	Teff/Gierst	55	11
83	Sorgo	65	20
92	Quinoa	70	20
116	Aardappel	47	0
156	Suikerriet	0	0
157	Suikerbiet	70	0
236	Sojabonen	71	29
267	Zonnebloemzaad	78	16
328	Katoen	64	52
388	Tomaten	34	42

Tabel 3: Overzicht van de bekende CD_{flower} en Lengte van de bloeifase waarden per gewas met bijbehorende FAO gewas code. Bron: FAO (2016c)

4.5.3 Bepaling parameterwaarde

De "periode van zaaien tot bloeien" en de "lengte van de bloeifase" zijn voor elke plant verschillend. Voor een zeer beperkt aantal gewassen zijn deze gegevens beschikbaar (zie Tabel 3).

Na het specificeren van het type gewas, de methode van planten en de CD_{mat} schat AquaCrop de waarden voor beide parameters. Of deze AquaCrop schatting betrouwbaar is, is zeer de vraag.

Conclusie: Voor de "periode van zaaien tot bloeien" (CD_{flower}) en de "lengte van de bloeifase" (L_{flower}) is geen rechtstreeks bruikbare input gevonden voor de meeste gewassen. Deze parameters worden dus met name onderzocht in hoofdstuk 5; dit om de gevoeligheid van het model voor deze parameters te onderzoeken.

4.6 Wortelgroefactor

4.6.1 Parameter definitie

De wortelgroefactor is de factor die de wortelgroei beschrijft. In paragraaf 4.1 is deze factor beschreven in Figuur 5 en is tevens terug te vinden in de formule in dezelfde paragraaf.

4.6.2 Beschikbare data

De waarden voor deze parameter zijn slechts voor enkele gewassen beschikbaar (zie Tabel 4).

FAO gewas code	Gewas	Wortelgroefactor
15	Tarwe	15
27	Rijst	25
44	Gerst	15
56	Maïs	13
79	Teff/Gierst	15
83	Sorgo	13
92	Quinoa	15
116	Aardappel	15
156	Suikerriet	13
157	Suikerbiet	15
236	Sojabonen	15
267	Zonnebloemzaad	13
328	Katoen	15
388	Tomaten	15
	Gemiddelde:	15,14

Tabel 4: Overzicht van de bekende wortelgroei factor waarden per gewas met bijbehorende FAO gewascode. Bron: FAO (2016c)

4.6.3 Bepaling parameterwaarde

De gemiddelde waarde van de factor (n) voor de gewassen waarvan de parameters voor AquaCrop al bekend zijn, is 15,14. Zoals te zien is in bovenstaande tabel zitten de waarden voor de meeste gewassen tussen de 13 en 15 met een enkele uitschieter van 25 in het geval van rijst. De waarde die wordt aangenomen is het gemiddelde van de waardes voor gewassen waarvoor we over alle benodigde parameters beschikken en komt daarmee uit op 15,14.

Conclusie: De waarden voor de wortelgroefactor liggen voor de meeste gewassen zeer dicht bij elkaar, uitzonderingen zoals rijst daargelaten. Voor verder onderzoek wordt als wortelgroefactor 15 als schatting aangenomen, omdat dit het gemiddelde is van de wortelgroefactor waarden voor de gewassen waarvan we over alle benodigde modelparameters beschikken .

5 AquaCrop simulatie en gevoeligheidsanalyse

Deelvraag 2 luidt: Voor welke parameters is de opbrengst en evapotranspiratie met name gevoelig?

In dit hoofdstuk wordt de volgende methode gevolgd om bovenstaande deelvraag te beantwoorden:

1. Een gewasbestand wordt aangemaakt in het programma voor beide gewassen. Dit gewasbestand wordt aangevuld met de parameters waarvoor de berekenmethodes uitgelegd zijn in het voorgaande hoofdstuk. Een aantal parameters wordt bepaald door middel van de schattingsfunctie van AquaCrop, of er wordt gebruik gemaakt van parameterwaarden uit andere bronnen.
2. De gesimuleerde opbrengst uit AquaCrop zal vervolgens worden vergeleken met de gewasopbrengst data van FAOSTAT. Tevens worden verklaringen gegeven voor de verschillen tussen de gesimuleerde resultaten en empirische data (FAOSTAT data).
3. De AquaCrop opbrengst en evapotranspiratie worden uiteengezet over de jaren 1992-2015, met daarbij verklaringen over het verloop van de opbrengst, de evapotranspiratie en de uitschieters.
4. De 7 geselecteerde parameters worden gevarieerd om de gevoeligheid van het model te testen. De resultaten worden weergegeven in gevoeligheidsplots.

5.1 Aanmaak gewasbestand

In eerste instantie zijn de zogenaamde gewasbestanden aangemaakt: hiermee wordt een nieuw gewas in AquaCrop aangemaakt. AquaCrop heeft naast de gevonden parameters uit het vorige hoofdstuk meer invoergegevens nodig. Deze worden door de AquaCrop schattingsfunctie geschat. Hiervoor zijn een aantal inputs noodzakelijk:

1. Het type gewas:
 - Fruit/graaan gewas
 - Bladgroente gewas
 - Wortels en knollen gewas
 - Voedergewas
2. De manier waarop de fotosynthese plaats vindt: (Worldpress.com, 2009)
 - C3 gewas
 - C4 gewas
3. De plant methode:
 - Zaaïen
 - Verplanten
4. De plant datum met bijbehorende groei periode (de periode van zaaïen tot en met volwassenheid (CD_{mat})).

5.1.1 Gewas specifieke parameter van uien

Uien is een C3 gewas Sage en Zhu (2011) en valt onder de "bladgroente".

De gewasfasen van Allen et al. (1998) afkomstig uit Chapagain en Hoekstra (2004) zijn valide voor het klimaat van Flevoland dat valt onder zeeklimaat (oceanic temperate). De parameterwaarden zijn als volgt:

$$L_{ini} = 20 \text{ dagen}$$

$$L_{dev} = 35 \text{ dagen}$$

$$L_{mid} = 110 \text{ dagen}$$

$$L_{late} = 45 \text{ dagen}$$

In totaal zijn dit 210 dagen. Met de formules uit hoofdstuk 4 valt het volgende te berekenen:

$$L_{ini} + L_{dev} + L_{mid} = CD_{sen} = 165 \text{ dagen}$$

$$L_{ini} + L_{dev} + L_{mid} + L_{late} = CD_{mat} = 210 \text{ dagen}$$

$$L_{ini} + L_{dev} = CC_{max} = CD_{root} = 55 \text{ dagen}$$

De onderstaande waarden worden gevarieerd in de simulaties:

- Het geadviseerde aantal planten per hectare ligt tussen de 185000 en 300000 volgens PennState Extension(2000). Deze waarden worden als minimum en maximum gehanteerd voor de simulaties.
- Voor de maximale bladerdak bedekking (CC_x) wordt de schatting van AquaCrop van; 0.85 gebruikt als referentiewaarde.
- De bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) wordt berekend door middel van de geschatte CC_x en L_{dev} . Deze komt uit op 0,1333 (fractie grond bedekking per dag) (volgens methode in paragraaf 4.4).
- In tegenstelling tot de CGC is de bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC) niet te berekenen met de beschikbare gegevens. De AquaCrop schatting van 0,08000 wordt daarom gebruikt als referentiewaarde.
- De "periode van zaaien tot maximale wortel diepte" (CD_{root}) = 55 dagen (referentiewaarde)

Ter completering van het gewasbestand zijn de volgende parameters meegenomen in het referentie gewasbestand:

- De minimale en maximale worteldiepte zijn respectievelijk 0.30 en 0.45 meter volgens Allen et al. (1998).
- Als schatting is de wortelgroefactor 15 aangenomen. AquaCrop schat deze waarde tevens op 15, wat het vermoeden versterkt dat deze parameterwaarde betrouwbaar is. (zie paragraaf 4.6)
- $CD_{sen} = 165$ dagen
- $CD_{mat} = 210$ dagen

Al deze bovenstaande waarden vormen samen het referentie gewasbestand voor uien. In Tabel 5 staan deze waarden in een overzicht.

De meeste van deze parameters zijn gekozen omdat ze een hoge onzekerheid hebben en mogelijk een significante impact op de opbrengst en evapotranspiratie.

Parameter	Referentie waarde -Delta	Referentie waarde -1/2 Delta	Referentie waarde gewasbestand	Referentie waarde +1/2 Delta	Referentie waarde +Delta	Schatting AquaCrop
Planten per ha	185000	213750	242500	271250	300000	300000
CC _x	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.85
CGC	0.08	0.105	0.1333	0.155	0.18	0.067
CDC	0.05	0.065	0.08	0.095	0.11	0.08
CD _{root}	35	45	55	65	75	105

Tabel 5: Overzicht waarden van referentie gewasbestand en variatie waarden per parameter. Met de parameters: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}).

De waarden bestaan uit een maximum (Referentie waarde plus Delta) en een minimum (Referentiewaarde min Delta). Daarnaast zijn twee tussenliggende waarden berekend (plus/min 1/2 Delta ten opzichte van referentiewaarde).

Voor elke parameter zijn minimale en maximale waarden bepaald. Deze zijn gebaseerd op literatuur, zodat de waarden van deze parameters fysiek aannemelijk zouden zijn. De meeste ranges zijn gebaseerd op de al bekende gewassen (FAO, 2016c). Bij de bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) en de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" (CD_{root}) lag de schatting van AquaCrop buiten de gekozen range. Als extra controle zijn ook de AquaCrop schattingen meegenomen als simulatiewaarden.

5.1.2 Gewas specifieke parameter van koolzaad

Koolzaad is een C3 gewas (Sage, R, Zhu, X, 2011) en valt onder de "graan gewassen". Een van de grote verschillen met het gewas uien is, dat koolzaad in tegenstelling tot uien wel een bloeifase heeft. Hierdoor kunnen de "periode van zaaien tot bloeien" (CD_{flower}) en de "lengte van de bloeifase" bij uien ook worden gesimuleerd.

De gewasfasen van Allen et al (1998) komende uit Chapagain en Hoekstra (2004), deze zijn voor het klimaat van Flevoland dat valt onder zeeklimaat (oceanic temperate) als volgt:

$$L_{ini} = 30 \text{ dagen}$$

$$L_{dev} = 60 \text{ dagen}$$

$$L_{mid} = 60 \text{ dagen}$$

$$L_{late} = 30 \text{ dagen}$$

In totaal zijn dit 180 dagen. Met de verbanden uit hoofdstuk 4 valt het volgende te berekenen:

$$L_{ini} + L_{dev} + L_{mid} = CD_{sen} = 150 \text{ dagen}$$

$$L_{ini} + L_{dev} + L_{mid} + L_{late} = CD_{mat} = 180 \text{ dagen}$$

$$L_{ini} + L_{dev} = CC_{max} = CD_{root} = 90 \text{ dagen}$$

De onderstaande waarden worden gevarieerd in de simulaties:

- Het aantal planten per hectare ligt tussen de 500000 en 800000 in volgens Kennisakker (2016). 650000 is genomen voor het referentie gewasbestand.
- Voor de maximale bladerdak bedekking (CC_x) is de AquaCrop schatting van 0.85 gebruikt als referentiewaarde.
- De bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) wordt berekend door middel van de geschatte CC_x en L_{dev} . Deze komt uit op 0,0778 (fractie grond bedekking per dag) (volgens methode in paragraaf 4.4).
- In tegenstelling tot de CGC is de bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC) niet te berekenen met de beschikbare gegevens. De AquaCrop schatting van 0,08000 is gebruikt.
- De "periode van zaaien tot maximale wortel diepte" (CD_{root}) = 90 dagen (referentiewaarde)
- Voor de "periode van zaaien tot bloeien" (CD_{flower}) is de AquaCrop schatting van 102 dagen genomen als referentiewaarde.
- De "lengte van de bloei fase" heeft AquaCrop op 22 dagen geschat. Deze waarde is overgenomen.

Ter completering van het gewasbestand zijn de volgende parameters meegenomen in het referentie gewasbestand:

- De minimale en maximale worteldiepte zijn respectievelijk 0.30 en 1.00 meter (Allen et al, 1998).
- De wortelgroefactor blijft 15, net als de door AquaCrop geschatte parameterwaarde (zie paragraaf 4.6)
- $CD_{sen} = 150$ dagen
- $CD_{mat} = 180$ dagen

Al deze waarden op de vorige pagina vormen samen het referentie gewasbestand voor koolzaad. In Tabel 6 staan deze waarden in een overzicht.

Parameter	Referentie waarde - Delta	Referentie waarde - 1/2 Delta	Referentie waarde	Referentie waarde +1/2 Delta	Referentie waarde +Delta	Schatting AquaCrop
Planten per ha	500000	575000	650000	725000	800000	
CC _x	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.85
CGC	0.05	0.064	0.078	0.092	0.106	0.090
CDC	0.05	0.065	0.08	0.095	0.11	0.08
CD _{root}	70	80	90	100	110	80
CD _{flower}	80	91	102	113	124	102
Lengte van de bloefase (L_{flower})	10	16	22	28	34	22

Tabel 6: Overzicht waarden van referentie gewasbestand en variatie waarden per parameter. Met de parameters: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloefase (L_{flower}).

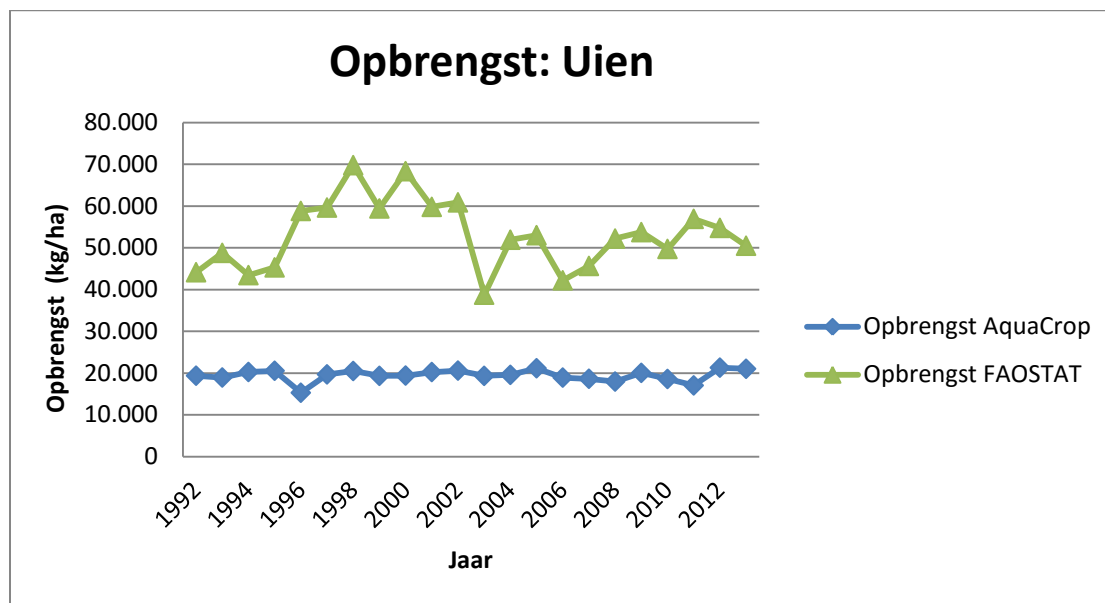
De waarden bestaan uit een maximum (Referentie waarde plus Delta) en een minimum (Referentiewaarde min Delta). Daarnaast zijn twee tussenliggende waarden berekend (plus/min 1/2 Delta ten opzichte van referentiewaarde).

Voor koolzaad wordt naast de 5 parameters die voor uien worden gevarieerd, ook met de "periode van zaaien tot bloeien" (CD_{flower}) en "Lengte van de bloefase" gevarieerd. Deze zijn allereerst gekozen voor de koolzaad simulatie omdat uien, als niet bloeiend gewas, deze parameters niet kent.

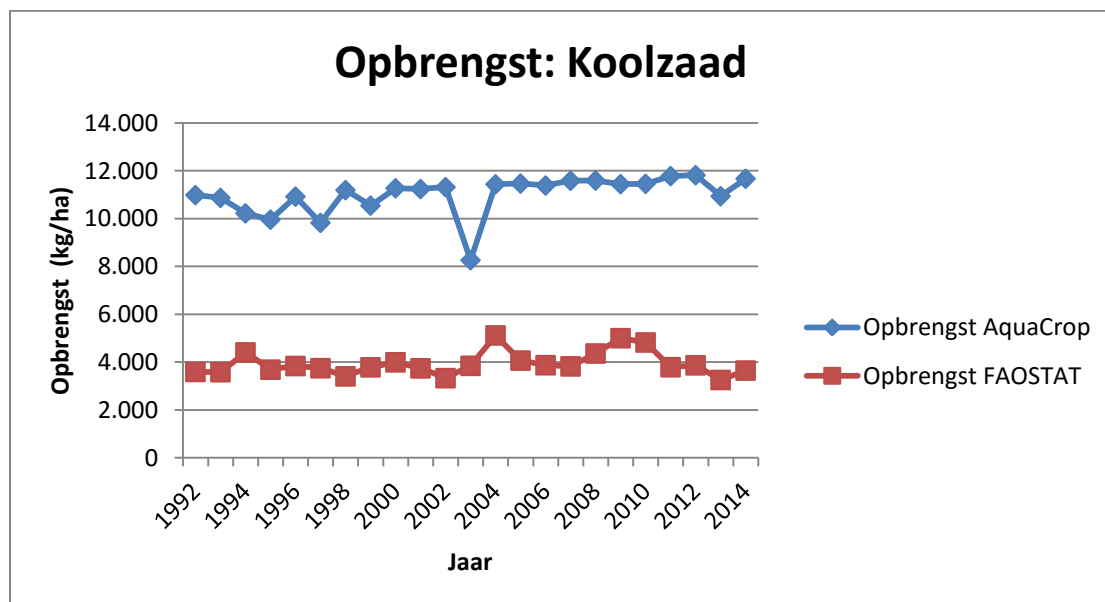
Daarnaast zijn de "periode van zaaien tot bloeien" en "lengte van de bloei fase" gekozen vanwege de potentieel grote invloed op de ontwikkeling van het bladerdak. Dit zou dan op zijn beurt de opbrengst en evapotranspiratie (ET) beïnvloeden.

5.2 Vergelijking AquaCrop opbrengsten met historische waarden

De opbrengst van beide gesimuleerde gewassen wordt internationaal bijgehouden door and Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics division (FAOSTAT). In dit hoofdstuk worden de gesimuleerde opbrengsten vergeleken met de gemeten waarden. Evapotranspiratie (ET) kan niet worden vergeleken, omdat hier de gegevens niet van worden bijgehouden.



Figuur 9: Gesimuleerde en FAOSTAT opbrengst van uien in (kg/ha) over de jaren.



Figuur 10: Gesimuleerde en FAOSTAT opbrengst van koolzaad (kg/ha) over de jaren.

De verschillen in Figuur 9 en 10 tussen de berekende opbrengsten uit AquaCrop en de historische werkelijke opbrengsten uit FAOSTAT zijn erg groot:

- Voor uien is de berekende AquaCrop opbrengst 50-70% lager dan de historische opbrengst (Figuur 9)
- Voor koolzaad is het effect andersom: De AquaCrop opbrengst ligt een factor 2-3 hoger dan de historische opbrengst (Figuur 10)

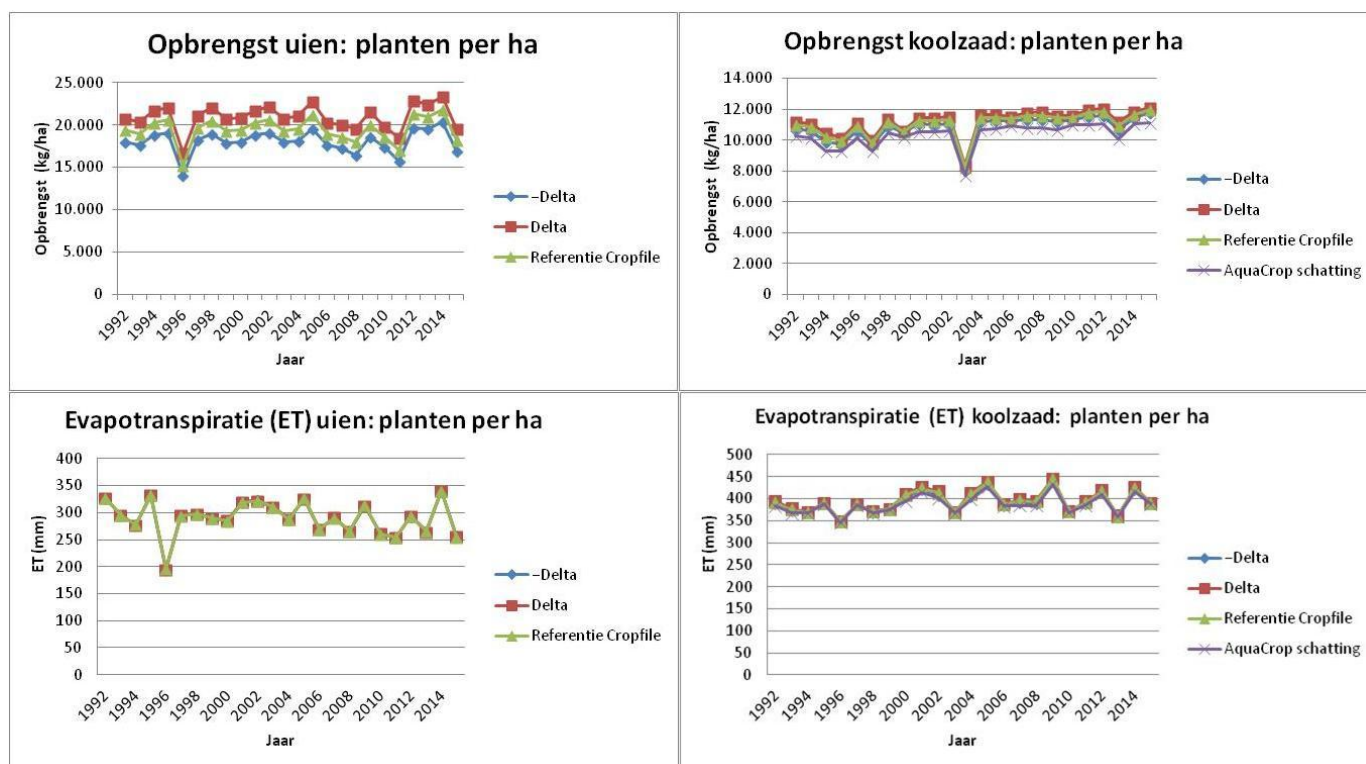
Mogelijke verklaringen

Het is bekend uit de literatuur over AquaCrop dat het model gekalibreerd moet worden voor een nieuw gewas voor AquaCrop volgens Steduto, P et al. (2009b). Dit is voor zowel uien als koolzaad niet gebeurd omdat, hier aanzienlijk meer onderzoek en tijd voor nodig is. Bij kalibratie verdienen de volgende punten zeker nader onderzoek:

- De oogst index (oogst als percentage van de totale biomassa) is een uiterst belangrijke parameter (opbrengst recht evenredig met HI). Het model heeft gerekend met een door AquaCrop geschatte oogst index (HI) die mogelijk significant te laag is in geval van uien. Zeker in een land als Nederland waar gewasveredeling op een hoog niveau staat zou dit een belangrijk deel van de verschillen bij uien kunnen verklaren. Zo is de opbrengst van uien van 1962 tot 2012 met maar liefst 75% gestegen volgens Beekman, J (2014).
- Ook voor koolzaad is het van groot belang de schatting van de AquaCrop oogst index te controleren. Deze zou wel eens veel te hoog kunnen zijn.
- Bij het simuleren van de gewassen is geen kunstmatige beregening of irrigatie meegenomen, omdat hierover geen gegevens bekend waren. Beregening wordt in droge periodes vaak toegepast in Flevoland. Alhoewel AquaCrop het mogelijk maakt om beregening toe te voegen is dit niet gebeurd, omdat deze historische gegevens niet beschikbaar waren. Als AquaCrop dus stress als gevolg van water tekort constateert, is het dus de vraag of dit ook de realiteit was in de onderzochte periode.
- Niet alle parameters die gebruikt worden door AquaCrop zijn bekend en sommige zijn dus geschat. Dit laatste punt onderstreept het belang van gevoeligheidsanalyse bij parameters met geschatte waarden. Voor de gevoelige parameters is verificatie noodzakelijk.
- Bij de berekende parameters is uitgegaan van de juistheid van de beschikbare parameterwaarden in het Allen et al. (1998) gewasmodel. Ook deze aanname moet gecontroleerd worden.

5.3 AquaCrop Opbrengst en Evapotranspiratie 1992-2015

Voor de gewassen uien en koolzaad staan hieronder de gemodelleerde grafieken voor opbrengst en evapotranspiratie (ET) gedurende 24 jaar, te beginnen met 1992. In deze set grafieken worden alle parameters constant gehouden met uitzondering van het aantal planten per hectare. De zichtbare bandbreedte geeft een eerste indruk van de gevoeligheid van de parameter "Planten per ha". Voor een soortgelijk eerste impressie van de gevoeligheid van alle andere parameters uit de gekozen set voor de gevoeligheidsanalyse: zie bijlage B.

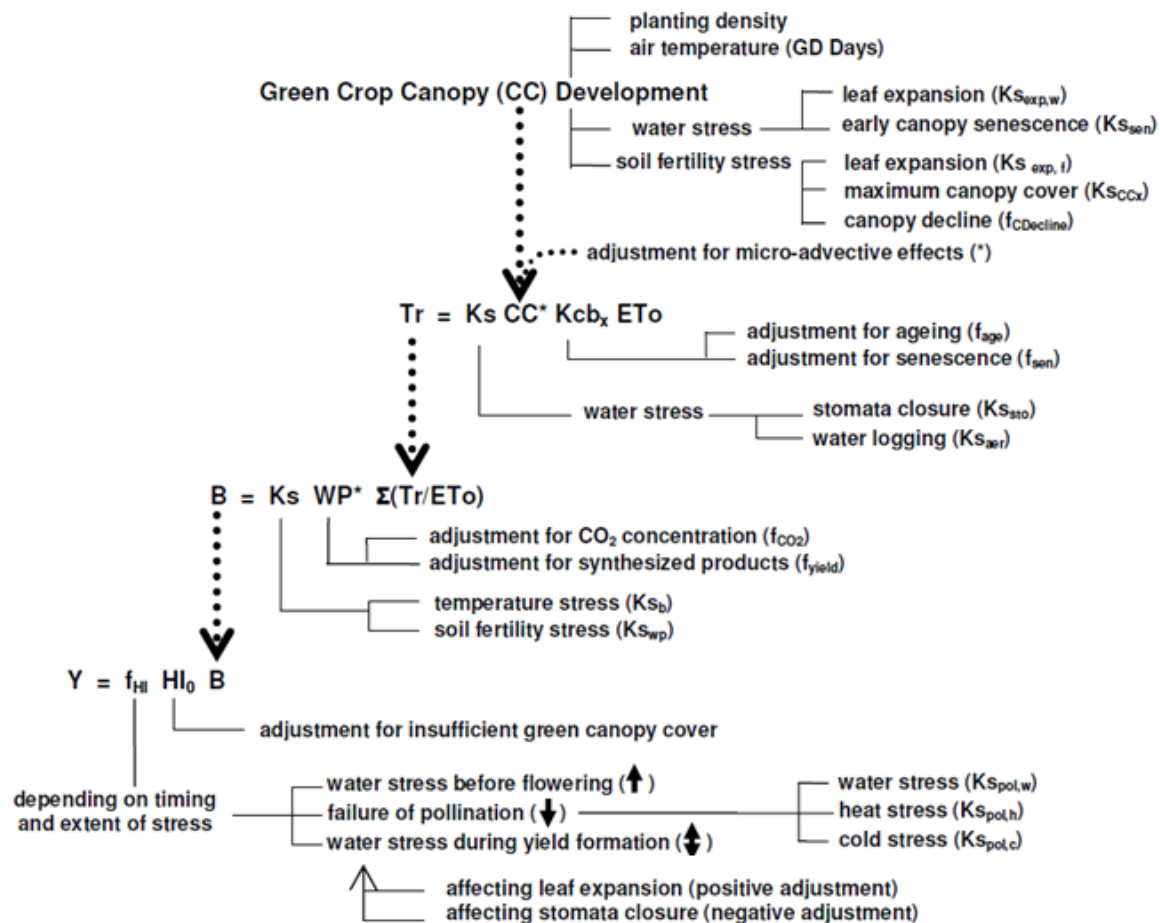


Figuur 11: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad en uien in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Planten per hectaren.

Voor een nadere analyse van de simulatie resultaten wordt nu als eerste gekeken naar opvallende fluctuaties in opbrengst en evapotranspiratie over de periode 1992-2015. De hier beschreven waarnemingen en bijbehorende verklaringen vanuit het AquaCrop model hebben in eerste instantie betrekking op bovenstaande grafieken (Parameter: Planten per ha). Echter, de grafieken uit bijlage B vertonen vergelijkbare uitschieters in bepaalde jaren en leiden tot vergelijkbare verklaringen.

Het is belangrijk om op te merken dat de uitschieters voor uien en koolzaad niet in dezelfde jaren hoeven te vallen. Dit komt vooral omdat de zaaiperioden van deze gewassen verschillen (Uien begin januari en koolzaad begin mei).

Onderstaand Figuur 12 geeft een gedetailleerd overzicht van de logica binnen het AquaCrop model. Daaropvolgend komt uitleg bij het figuur.



Figuur 12: Schematisch overzicht van de handelingen binnen het AquaCrop model. Nadere toelichting van parameters en werking zie hieronder. Bron: Raes et al. (2012)

Bladerdakontwikkeling wordt bepaald door de factoren: planten per ha (planting density), lucht temperatuur (air temperature), de effecten van water (water stress) en vruchtbaarheid stress (soil fertility stress). Dagelijkse transpiratie (Tr) is een functie van water tekort (wat huidmondjes stress veroorzaakt (stomata closure)), bladerdakbedekking (CC), de referentie evapotranspiratie (ETo) en de transpiratie coëfficiënt (die op basis van gewas veroudering (ageing) en afsterving (senescence) is aangepast). Zodra dagelijkse transpiratie bekend is, wordt biomassa (B) geschat nadat de negatieve factoren die biomassa beïnvloeden zijn meegenomen (temperatuur (temperature stress) en bodemvruchtbaarheid stress (soil fertility stress)) en zodra de water productiviteit factor is meegenomen die aangepast is voor de CO_2 concentratie (CO_2 concentration) en gesynthetiseerde gewas producten (synthesized products). Uiteindelijk is de opbrengst het resultaat van de oogst index (HI), biomassa (B) en oogst index factor (f_{HI}). De oogst index factor wordt positief of negatief beïnvloed door de verschillende soorten van stress.

5.3.1 Waarnemingen voor het gewas uien:

In vrijwel elk jaar is er in de output bestanden van AquaCrop stress te bekennen. De meeste jaren is er sprake van huidmondjes stress (stomata closure stress). Het meest opvallende jaar voor uien is 1996. Voor alle parameters geldt dat in het jaar 1996 de opbrengst drastisch lager ligt dan in de andere jaren. In de groeiperiode van uien viel er dat jaar slechts 211 millimeter regen. Het gemiddelde ligt op 441 millimeter. In dit jaar is de grootste huidmondjes stress te constateren als een gevolg van het gebrek aan water.

Door de huidmondjes stress is ook de daling in evapotranspiratie (ET) te verklaren. Evapotranspiratie is de som van de grondverdamping (E) en gewastranspiratie (Tr). Door de waterstress gaan de huidmondjes dicht om water in de plant vast te houden. Het gevolg is dat de gewastranspiratie daalt. In Figuur 12 is dit te zien; de huidmondjes stress (stomata closure) heeft negatieve invloed op de gewastranspiratie (Tr). De gewastranspiratie heeft op zijn beurt invloed op de hoeveelheid biomassa. Dit bepaalt uiteindelijk samen met de referentie harvest index (HI_0) en de aanpas factor (f_{HI}) de opbrengst.

Een ander dieptepunt in opbrengst is het jaar 2011. In dit jaar is er naast huidmondjes stress ook sprake van bladergroei stress (leaf expansion stress). Tijdens ernstig water tekort komt bladergroei stress voor. Dit heeft invloed op de bladerdak ontwikkeling. Het kan zelfs zo zijn dat het gewas eerder afsterft als gevolg van dergelijke watertekorten. In het jaar 2011 nam de bladerdak bedekking op een gegeven moment af. In Figuur 12 is te zien dat de bladerdak ontwikkeling (Green Crop Canopy (CC) Development) invloed heeft op de gewas transpiratie. Zoals hierboven beschreven heeft dit invloed op de opbrengst.

5.3.2 Waarnemingen voor het gewas koolzaad:

Vergeleken met uien heeft koolzaad meer te maken met bladergroei stress. Vooral het jaar 2003 valt op uit de grafieken. 2003 is niet het enige droge jaar, maar koolzaad heeft in 2003 te maken met zowel grote bladergroei stress als huidmondjes stress. Het verschil met 1996, eveneens een droog jaar, is dat de regen in dit jaar geleidelijker viel dan in 2003. In 2003 viel de meeste regen in de begin groeifase, waardoor later in de cyclus het gewas geconfronteerd werd met significante periodes van droogte. Deze periodes zorgen voor huidmondjes stress.

De vraag is waarom er bij koolzaad evapotranspiratie (ET) niet hetzelfde effect optreedt als bij uien evapotranspiratie. Dit komt door het type stress dat optreedt. Uien hebben vooral last van huidmondjes stress en koolzaad van bladergroei stress. De vermindering van de gewastranspiratie wordt bij koolzaad gedeeltelijk gecompenseerd door de bladergroei stress. De bladergroei stress zorgt voor minder bladerdakbedekking, dit heeft als gevolg dat de grondverdamping toeneemt. Evapotranspiratie is de som van grondverdamping en gewastranspiratie waardoor de grondverdamping de afname in gewastranspiratie gedeeltelijk compenseert. Er is echter nog steeds een afname te zien in ET.

5.4 Gevoeligheidsanalyse

Voor de parameters, hieronder weergegeven in Tabel 7, wordt via simulatie de gevoeligheid getest. Bij iedere gekozen referentie waarde wordt een simulatie gedaan met een maximum (Referentie waarde plus Delta) en een minimum (Referentiewaarde min Delta). Daarnaast zijn twee tussenliggende waarden berekend (plus/min 1/2 Delta ten opzichte van referentiewaarde).

Parameter	Referentie waarde -Delta	Referentie waarde -1/2 Delta	Referentie waarde gewasbestand	Referentie waarde +1/2 Delta	Referentie waarde +Delta	Schatting AquaCrop	Delta als % van referentie waarde	1/2 Delta als % van referentie waarde
Uien								
Planten per ha	185000	213750	242500	271250	300000	300000	24	12
CC _x	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.85	11.8	5.9
CGC	0.08	0.105	0.133	0.155	0.18	0.067	38.5	19.2
CDC	0.05	0.065	0.08	0.095	0.11	0.08	37.5	18.8
CD _{root}	35	45	55	65	75	105		
Koolzaad								
Planten per ha	500000	575000	650000	725000	800000	300000	23.1	11.5
CC _x	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.85	11.8	5.9
CGC	0.05	0.064	0.078	0.092	0.106	0.090	35.7	17.9
CDC	0.05	0.065	0.08	0.095	0.11	0.08	37.5	18.8
CD _{root}	70	80	90	100	110	80	22.2	11.1
CD _{flower}	80	91	102	113	124	102	21.6	10.8
L _{flower}	10	16	22	28	34	22		

Tabel 7: Volledig overzicht simulatie gevoeligheid analyse. Met daarin per parameter de variatie waarden en percentage afwijking van de referentie waarde. Met de parameters: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}).

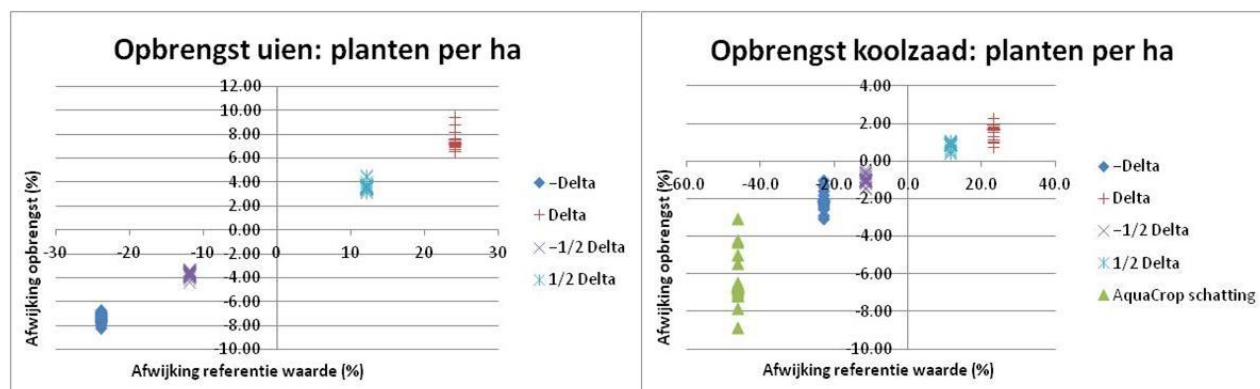
In de nu volgende paragraaf staan in plots weergegeven, wat de gevonden afwijkingen per parameter zijn voor de gevarieerde waarden. Hierop zijn 2 uitzonderingen gemaakt omdat in die gevallen het AquaCrop model ongevoelig was voor het variëren met de desbetreffende parameter:

- Bij uien is dit het geval bij de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" (CD_{root}). Opmerkelijk is dat dit bij koolzaad niet het geval is. Dit kan verklaard worden doordat uien praktisch geen water stress hebben gehad gedurende relevante intervallen in de 24 jarige periode. Bij koolzaad is wel waterstress opgetreden (NB: de periode tot maximale worteldiepte is een andere dan bij uien binnen hetzelfde jaar). Van Koolzaad is daarom een plot toegevoegd.
- Koolzaad is ongevoelig voor de "lengte van de bloeifase". Deze plot is niet toegevoegd.

5.4.1 Planten per ha

5.4.1.1 Opbrengst

De eerste plot vraagt wat extra toelichting. De simulatie is uitgevoerd voor een periode van 24 jaar. Ieder jaar levert een plot op in de grafiek bij een bepaalde waarde van de 4 te simuleren waarden van de te onderzoeken parameter. De afbeelding van deze waarde in het assenstelsel heeft een bepaalde vorm en kleur afhankelijk van de waarde van de parameter (zie legenda). Alle afwijkingen in Opbrengst en ET worden aangegeven t.o.v. de referentiewaarden. Per parameterwaarde leveren 24 jaar dus 24 punten op zodat ook de spreiding over de jaren zichtbaar wordt. Als er veel punten bij elkaar komen levert dit dus een vlekkerig beeld op. Goed zichtbaar is hiermee de spreiding binnen een parameter waarde over de jaren.



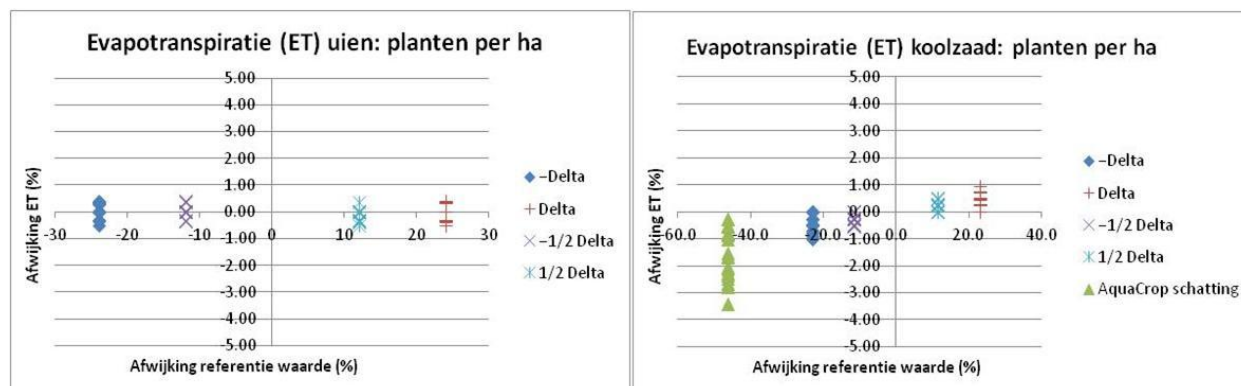
Figuur 13: Gevoeligheidsplots opbrengst uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Planten per hectare.

In de plots is te zien dat meer aangeplante planten per hectare meer opbrengst genereren. Bij uien heeft dit een groter effect dan bij koolzaad. De initiële bladerdakbedekking (CC_0) wordt berekend aan de hand van de planten per hectare en de bladerdakbedekking van een zaailing. Zoals af te leiden valt uit formule 1 in paragraaf 4.4.2.2 is de maximale bladerdakbedekking eerder bereikt bij een grotere CC_0 . Meer bladerdakbedekking leidt tot een hogere gewastranspiratie(Tr), met als gevolg een grotere biomassa en hogere opbrengst.

Tevens is er een belangrijk economisch motief: een groter aantal aanplantingen kost meer geld, maar komt die investering wel terug in de vorm van een hogere opbrengst? Ondanks het feit dat deze optimalisatie niet in AquaCrop ondersteund wordt, kan AquaCrop hiervoor wel de verwachte opbrengst leveren.

5.4.1.2 Evapotranspiratie

Zoals hierboven beschreven zal een groter aantal planten per hectare logischerwijze leiden tot meer gewastranspiratie. Evapotranspiratie is de som van de grondverdamping (E) en gewastranspiratie (Tr). Meer bladerdakbedekking vertaalt zich in een lagere grondverdamping. In het geval van uien compenseren grondverdamping (E) en gewastranspiratie (Tr) elkaar. Bij koolzaad is dit niet het geval, meer planten per hectare leidt tot meer evapotranspiratie (ET). De gewastranspiratie stijgt sneller dan de grondverdamping daalt. Het percentuele verschil in stijging tussen de twee gewassen kan verklaard worden door de verschillende soorten stress die de gewassen hebben.



Figuur 14: Gevoeligheidsplots evapotranspiratie uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: planten per hectare.

Conclusie "planten per ha": Een 24% hogere aanplanting van uien, boven de referentiewaarde geeft een 7-9% hogere opbrengst. Voor koolzaad is de meeropbrengst 0,5% tot 2,5%. Bij een 24% lager aantal planten is de referentie opbrengst 3-8,5% lager in het geval van uien. Bij koolzaad leidt de minimum aanplanting tot -0,5% tot -3,5% lagere opbrengst. De evapotranspiratie is vrijwel ongevoelig voor deze parameter. Echter, gelet op de fluctuatie in opbrengst, is dit een redelijk gevoelige parameter die aandacht verdient om goed te worden bepaald.

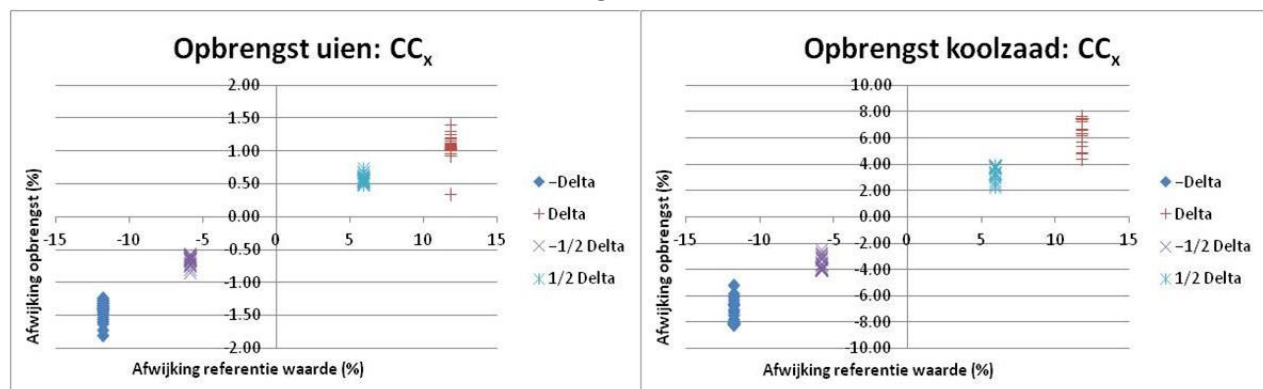
5.4.2 Maximale bladerdakbedekking (CC_x)

5.4.2.1 Opbrengst

Voor uien is er een beperkte gevoeligheid, de maximale bandbreedte is van -2% tot +1,5%. Voor koolzaad ligt dit een stuk hoger, met een maximale bandbreedte van -8,5% tot 8%. De plots laten zien dat voor beide gewassen een hogere maximale bladerdakbedekking zorgt voor meer opbrengst. Een grotere bladerdakbedekking leidt tot meer gewastranspiratie(Tr), met als gevolg een grotere biomassa en meer opbrengst. De vertaling van een hogere maximale bladerdakbedekking naar opbrengst is een gecompliceerd proces, dat wordt weergegeven in Figuur 12. Diverse factoren dragen bij aan de rol die bladerdakbedekking speelt. Factoren die verschillend zijn bij de twee gewassen zijn:

- De soorten stress; het gewas uien heeft meer last van huidmondjes stress, koolzaad heeft meer last van bladergroei stress. De huidmondjes stress heeft invloed op de grondwater stress coëfficiënt(K_s). De bladergroei stress heeft invloed op de bladerdakontwikkeling. Tevens hebben de soorten stress invloed op de oogst index aanpas factor (f_{HI})
- De oogst index (HI) is verschillend (~50-55% voor koolzaad en 85% voor uien(schatting AquaCrop))
- De gewas transpiratie coëfficiënt (K_{cb_x}), beïnvloed de transpiratie. De waarde verandert door de veroudering en afsterven van het gewas. Voor de gewassen is niet te zeggen hoeveel invloed deze coëfficiënt heeft.

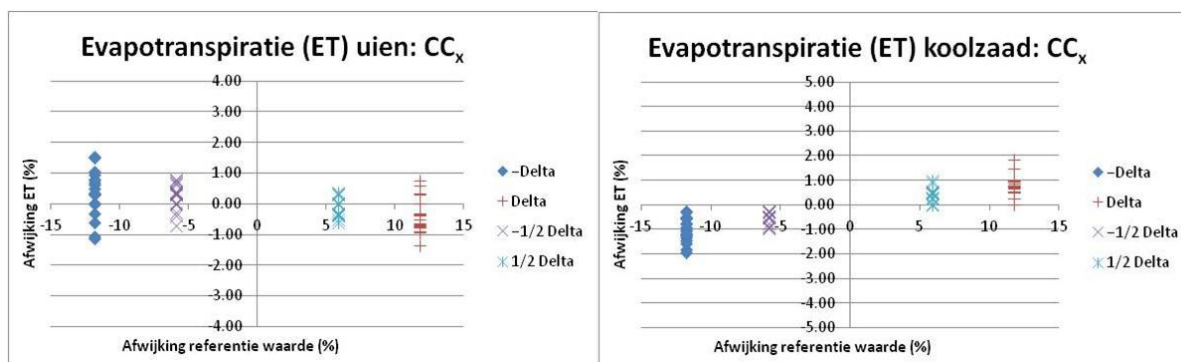
Door al deze verschillen komt het verloop van de opbrengst anders uit bij de twee gewassen, ondanks dezelfde variatie in maximale bladerdak bedekking.



Figuur 15: Gevoeligheidsplots opbrengst uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Maximale bladerdakbedekking (CC_x).

5.4.2.2 Evapotranspiratie

Zoals eerder gezegd kunnen grondverdamping en gewastranspiratie elkaar compenseren, bij koolzaad is dit minder gebeurd. Hier zijn grondverdamping en gewastranspiratie bij elkaar opgeteld toegenomen.



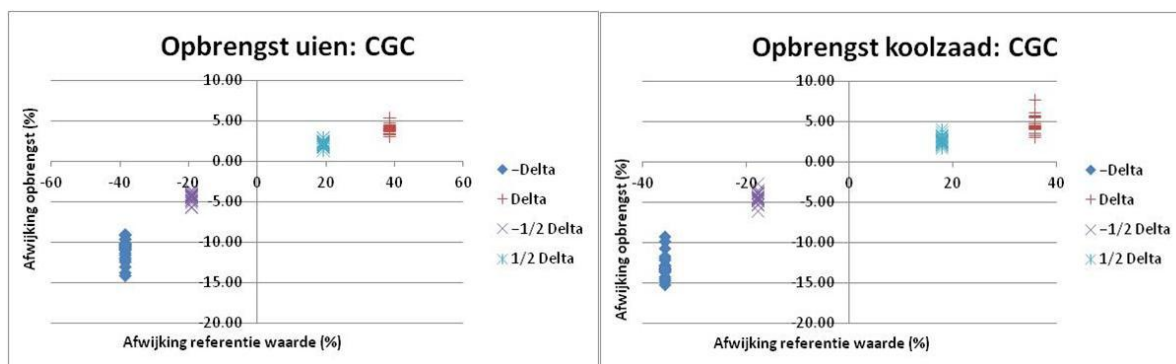
Figuur 16: Gevoeligheidsplots evapotranspiratie uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Maximale bladerdakbedekking (CC_x).

Conclusie "maximale bladerdakbedekking": De parameter laat voor uien slechts een beperkte gevoeligheid zien. Alle uitkomsten in de plot van uien bevinden zich binnen een bandbreedte van -2% tot +1,5%, voor zowel opbrengst als evapotranspiratie. Echter, bij koolzaad ligt de bandbreedte tussen de -8% tot 8%. Deze parameter verdient daarom in het geval van koolzaad extra aandacht om goed te worden bepaald.

5.4.3 Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)

5.4.3.1 Opbrengst

De plot laat zien dat er behoorlijke fluctuaties optreden, wanneer de CGC waarde afwijkt van de berekende referentie waarde. De opbrengst verminderingen van beide gewassen lopen van 6-15 % bij een lagere bladerdak groeicoëfficiënt. Aan de plus kant is de opbrengst vermeerdering beperkt tot maximaal 5 %. Voor deze parameter is een correcte waarde dus uiterst belangrijk. Dit onderstreept het belang van de gevonden methode om deze parameter te berekenen uit de gerapporteerde gewasdata door Chapagain en Hoekstra (2004). Een hogere CGC betekent dat het gewas eerder de maximale bladerdak bedekking bereikt. Hoe eerder de maximale bladerdak bedekking is bereikt, des te meer biomassa er wordt opgebouwd. Meer opgebouwde biomassa betekent een hogere opbrengst.(Figuur17)

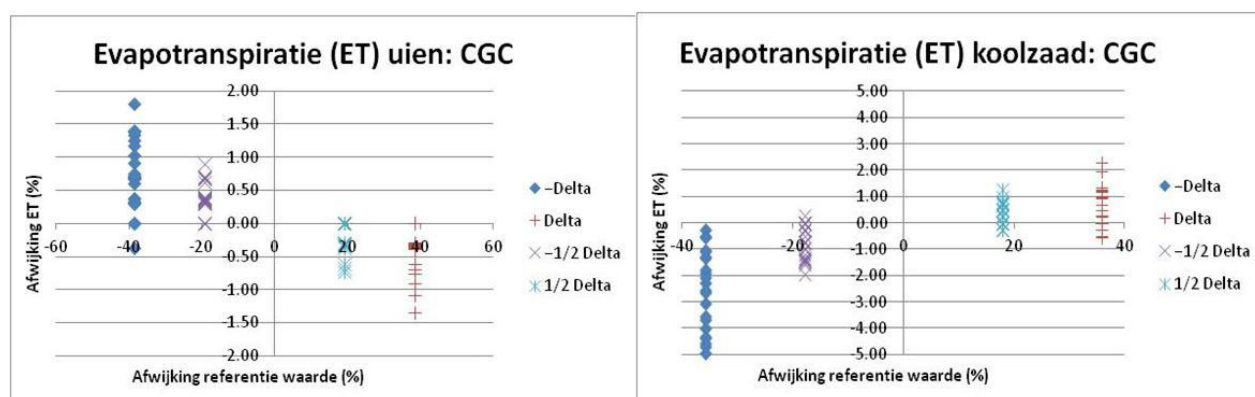


Figuur 17: Gevoeligheidsplots opbrengst uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC).

5.4.3.2 Evapotranspiratie

De gevoeligheden voor uien lopen uiteen van 1.5% tot -1,2% met een enkele uitschieter. Voor koolzaad ligt dit tussen de -5% tot 2,5%.

De evapotranspiratie grafieken van beide gewassen verschillen. Met een lage CGC bereiken uien de maximale bladerdakbedekking. Bij koolzaad heeft een lagere CGC een veel groter effect op de bladerdakontwikkeling en deze bereikt hierdoor namelijk niet de maximale bladerdakbedekking. Daarom neemt de gewastranspiratie in het geval van koolzaad meer toe dan bij uien. Er komt immers een stuk meer bladerdak bij. De grondverdamping neemt hierdoor af, maar niet zoveel als de gewastranspiratie toe neemt. In het geval van uien neemt de gewastranspiratie toe, maar niet zoveel als bij koolzaad. Dit komt ook door de huidmondjesstress waar uien meer last van heeft dan koolzaad. De grondverdamping neemt meer toe dan de gewastranspiratie wat leidt tot een dalende lijn in ET.



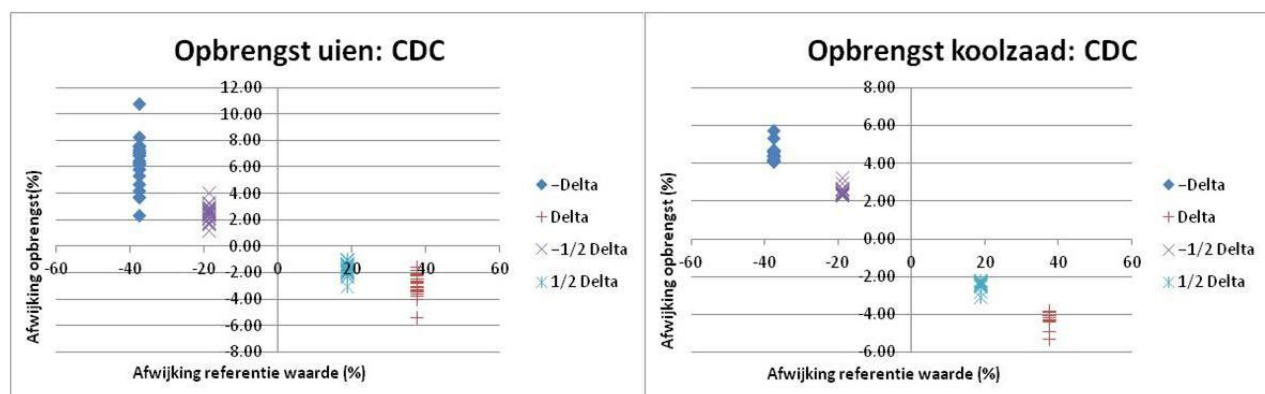
Figuur 18: Gevoeligheidsplots evapotranspiratie uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC).

Conclusie CGC: De bladerdak groeicoëfficiënt laat behoorlijk grote fluctuaties zien voor opbrengst en evapotranspiratie(ET). Met name een lagere waarde t.o.v. de referentie waarde geeft voor beide gewassen aanzienlijke verminderingen: van 6-15% . Een hogere waarde t.o.v. de referentie geeft een opbrengst en evapotranspiratie vermeerdering tot maximaal 5%. Dit onderstreept het belang van de in paragraaf 4.4 gedefinieerde methode om deze parameter te kunnen herleiden uit de gewasgroefasen van Allen et al. (1998).

5.4.4 Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)

5.4.4.1 Opbrengst

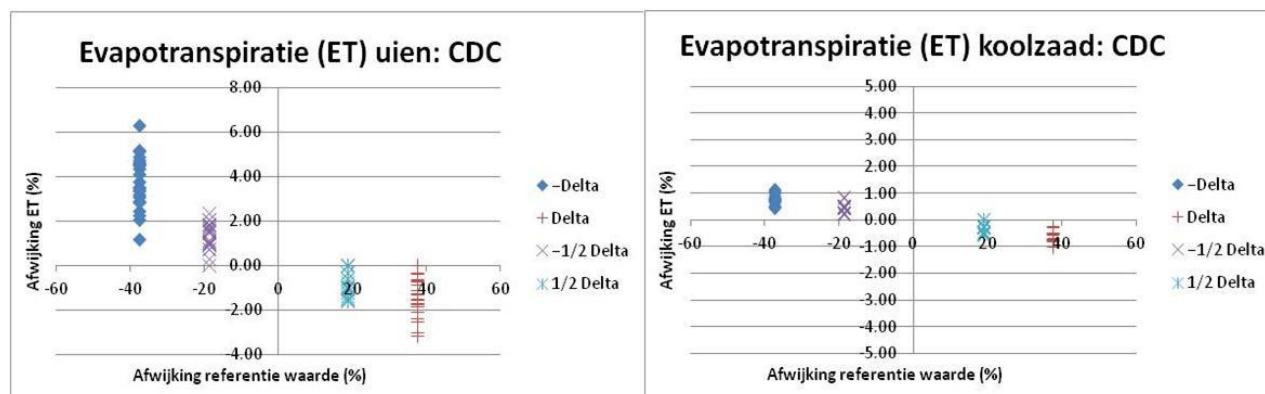
Een lagere CDC betekent dat het gewas minder snel afsterft. Hier ligt ook de grootse gevoeligheid met meer opbrengsten van 1-8,5% voor uien met een uitschieter op 11%. Voor koolzaad is dit 2% tot 6%. De opbrengst opbouw gaat door tot aan de "periode van zaaien tot volwassenheid". Een hogere bladerdak afname snelheid betekend dat de plant eerder afsterft, waardoor er minder biomassa wordt opgebouwd, wat een lagere opbrengst betekend. Dit is terug te zien in Figuur 4 in hoofdstuk 4. Alle waarden voor uien zitten (met een uitschieter) in een bandbreedte van -1% tot -4%. Voor koolzaad is dit -2% tot -5,5%.



Figuur 19: Gevoeligheidsplots opbrengst uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC).

5.4.4.2 Evapotranspiratie

De gevoeligheden voor uien lopen uiteen van -3,5% tot 5,5% met een enkele uitschieter. Voor koolzaad ligt dit tussen de -1,1% tot 1,2%. Dit lijkt een groot verschil, maar de absolute waarden veranderen nauwelijks. De evapotranspiratie neemt af bij grotere bladerdak afnamecoëfficiënt. De absolute afname van de gewastranspiratie door het afsterven van de plant is groter dan de toename in grondverdamping.



Figuur 20: Gevoeligheidsplots evapotranspiratie uien en koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC).

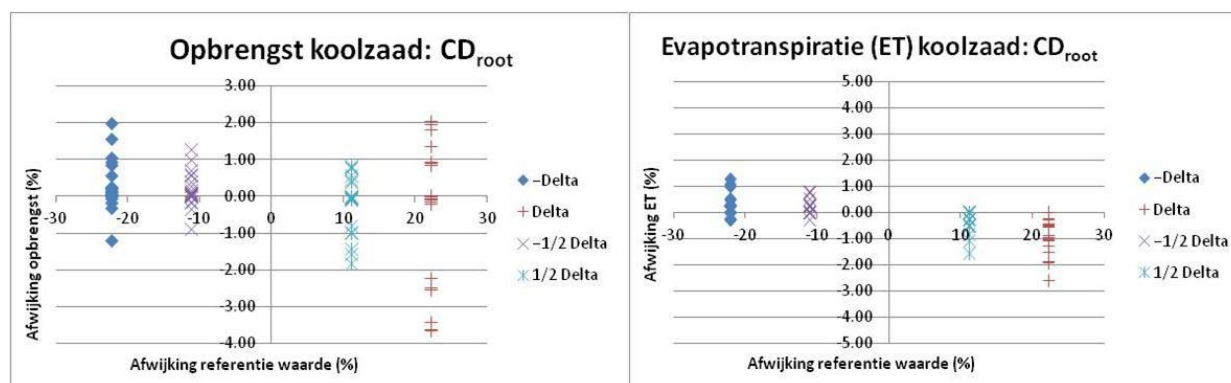
Conclusie: De parameter bladerdak afname coëfficiënt (CDC) is een maat voor de snelheid van het verval van het gewas. De verhoogde opbrengst indien het gewas langzamer vervalst ligt in de range van 1% tot

8,5% voor uien en 2 tot 6% voor koolzaad. Bij eerder verval zijn er minder opbrengsten; 1-4% voor uien en 2-5,5% voor koolzaad. Ook in evapotranspiratie zijn grote fluctuaties te zien bij uien. Op voorhand is moeilijk in te schatten of het verval van de plant vervroegd in zal zetten. Dit is immers van vele factoren afhankelijk, waaronder het weer. Deze parameter is dus nauwelijks goed te schatten.

5.4.5 Periode van zaaien tot maximale worteldiepte

5.4.5.1 Opbrengst

Uien zijn ongevoelig voor de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" (CD_{root}). Daarom is de plot niet weergegeven. De fluctuaties van koolzaad lopen van 2% tot -3,5%. Koolzaad is wel gevoelig voor de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte". Dit kan verklaard worden, doordat het gewas uien ten opzichte van koolzaad minder water stress heeft. In de 24 bestudeerde jaren heeft uien tijdens de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" geen watertekort gekend. Koolzaad heeft dit wel (andere zaaitijd) dus als de tijd tot maximale worteldiepte toeneemt kan het gewas minder water opnemen en groeit de plant niet optimaal. Dit leidt tot een kleine vermindering van de opbrengst.



Figuur 21: Gevoeligheidsplots opbrengst en evapotranspiratie koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}).

5.4.5.2 Evapotranspiratie

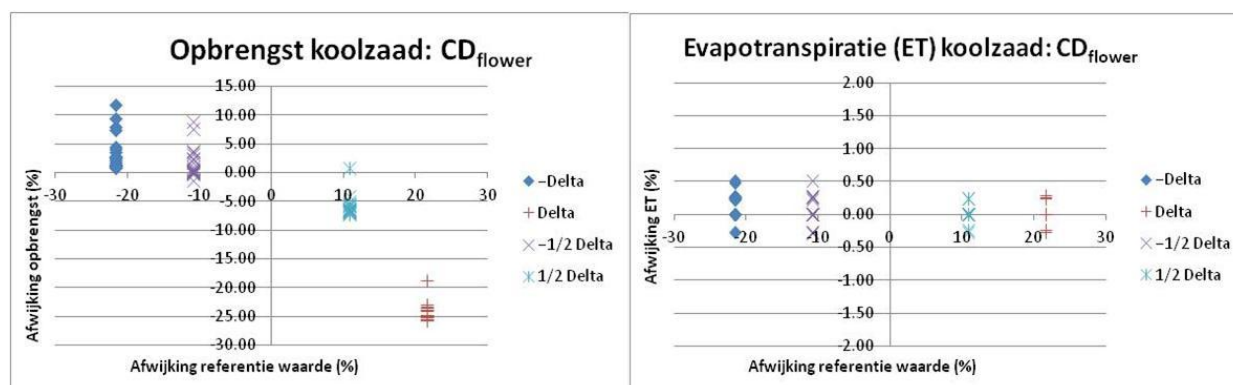
De evapotranspiratie loopt van 1,5% tot -2,5%. De gewastranspiratie neemt af omdat de plant minder optimaal groeit naarmate de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" toe neemt. De grondverdamping neemt minder toe dan de gewastranspiratie. Dit leidt tot een dalende lijn.

Conclusie: De "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" (CD_{root}) laat fluctuaties zien van 2% tot -3,5% voor opbrengst en van 1,5% tot -2,5% voor evapotranspiratie. Voor uien is deze "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" totaal niet gevoelig. Voor verklaringen moet goed gekeken worden naar de soorten van waterstress. Dit onderbouwd de in paragraaf 4.1 gedefinieerde methode. om deze parameter te kunnen herleiden uit de gewasgroeifasen van Allen et al. (1998). De hier gevonden relatief lage gevoeligheid/ongevoeligheid kan met name in situaties met waterstress en voor andere gewassen anders uitpakken. Een goede waardebepaling is dus belangrijk.

5.4.6 Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower})

5.4.6.1 Opbrengst

Deze variabele is meegenomen voor onderzoek uit hoofdstuk 4. De "periode van zaaien tot bloeien" bepaalt wanneer de opbrengst en oogst index (HI) zich begint te ontwikkelen. Hoe eerder deze zich ontwikkelt des te meer opbrengst dit zal genereren. Dus hoe later het gewas begint te bloeien, des te kleiner zal de opbrengst zijn. De opbrengst fluctueert heftig; bij een kortere periode tot 11% meer opbrengst, maar bij een langere periode tot 25% minder opbrengst. Hiermee is duidelijk dat deze parameter zo goed mogelijk ingeschat moet worden vanwege de hoge gevoeligheid van de opbrengst voor deze parameter.



Figuur 22: Gevoeligheidsplots opbrengst en evapotranspiratie koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower})

5.4.6.2 Evapotranspiratie

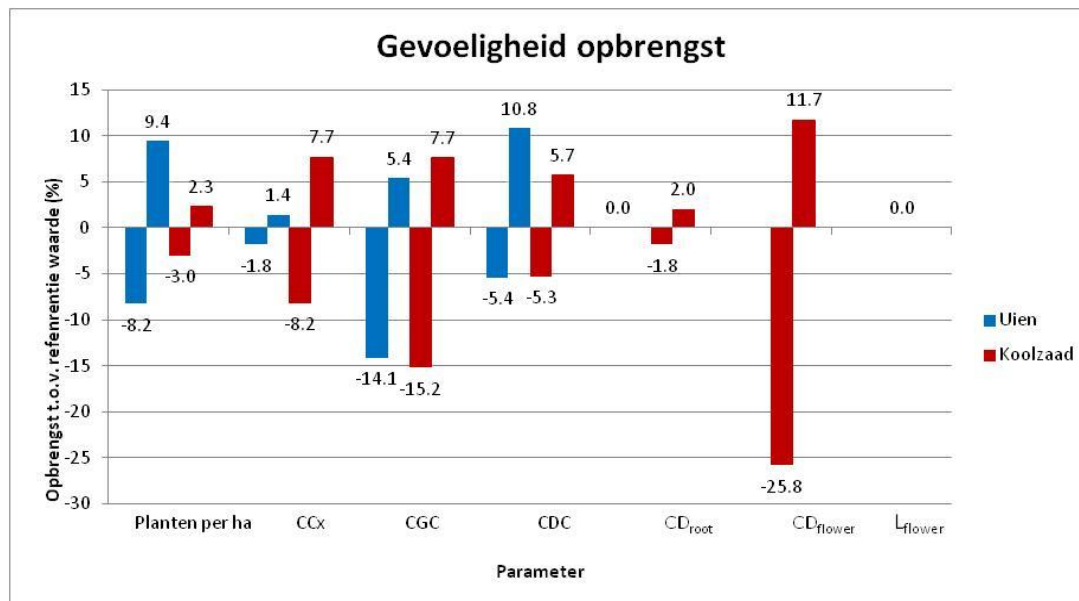
De evapotranspiratie verandert nauwelijks, de "periode van zaaien tot bloeien" heeft hier weinig invloed op. Door de bloeiperiode neemt de bladerdakbedekking iets toe vanwege de bloemen. Dit is echter weinig, de grondverdamping en gewastranspiratie compenseren elkaar gedeeltelijk.

Conclusie: Naar nu blijkt is de "periode van zaaien tot bloeien" in hoofdstuk 4 terecht geselecteerd voor nadere analyse. De opbrengst fluctueert heftig: meer opbrengsten tot 11% en minder opbrengsten (bij een langere periode tot bloei) tot 25%. De evapotranspiratie verandert nauwelijks. De hoge gevoeligheid van de te verwachten opbrengst maakt het belangrijk om de inschatting zo goed mogelijk te doen.

5.5 Parameter classificatie

5.5.1 Opbrengst

In Figuur 23 staan de gevoeligheidsbandbreedtes van opbrengst voor zowel uien als koolzaad samengevat. Van elke parameter is de gevonden bandbreedte zichtbaar gemaakt ten opzichte van de parameter referentiewaarde.



Figuur 23: AquaCrop Gevoeligheidsbandbreedte van Opbrengst per gevarieerde parameter. Voor Uien en Koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}). De laatste twee parameters zijn alleen van toepassing bij het gewas koolzaad. NB: De minimum en maximum waarde zijn onafhankelijk van elkaar per parameter bepaald als absolute waarden.

Op basis van de gevoeligheid van de opbrengst voor de onderzochte parameters is in tabel 8 een classificatie gemaakt.

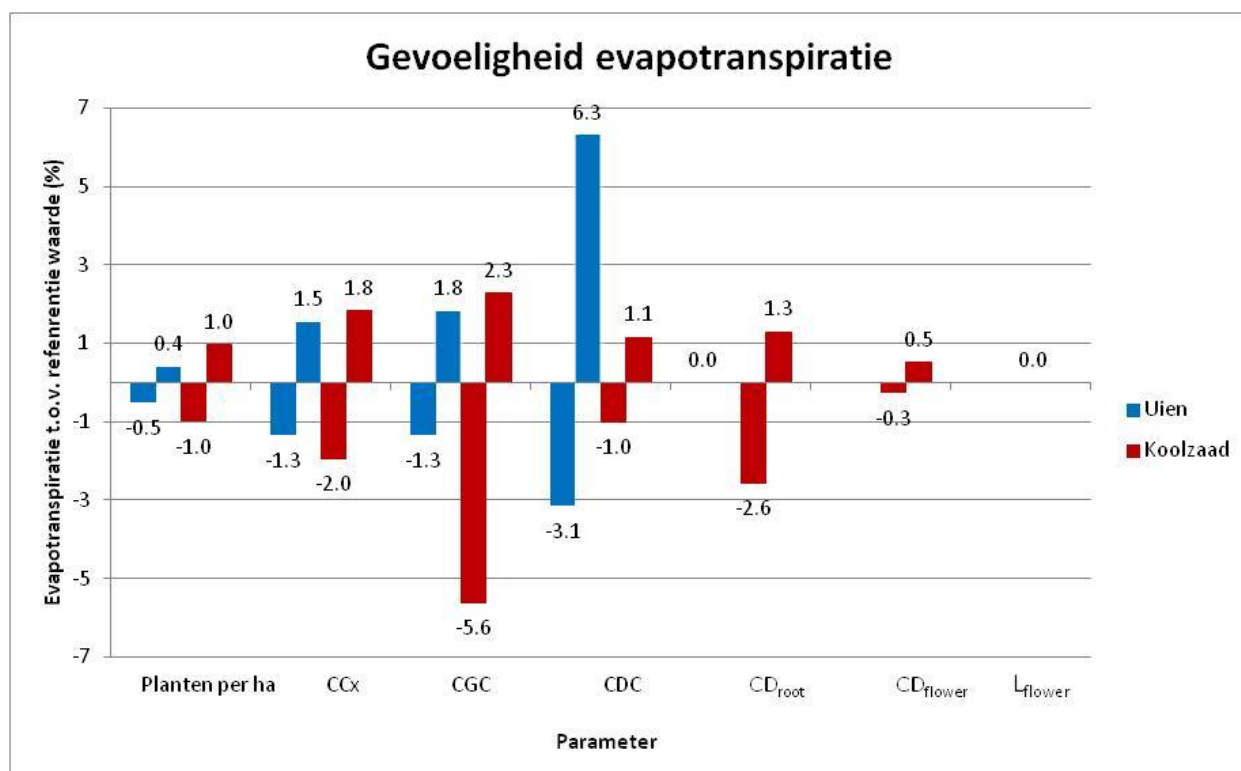
Parameter		≤±3%	3% tot ±10%	>±10%	Classificatie
Planten per ha	Uien		x		Gevoelig
	Koolzaad	x			Beperkt gevoelig
CC _x	Uien	x			Beperkt gevoelig
	Koolzaad		x		Gevoelig
CGC	Uien			x	Zeér gevoelig
	Koolzaad			x	Zeér gevoelig
CDC	Uien			x	Zeér gevoelig
	Koolzaad		x		Gevoelig
CD _{root}	Uien	x			Niet gevoelig
	Koolzaad	x			Beperkt gevoelig
CD _{flower}	Koolzaad			x	Zeér gevoelig
L _{flower}	Koolzaad	x			Niet gevoelig

Tabel 8: Overzicht onderzochte parameters op gevoeligheid opbrengst Flevoland over de jaren 1992-2015 met bijbehorende classificatie. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase(L_{flower}).

Met behulp van de classificatie valt te zien voor welke parameters de opbrengst het meeste gevoelig is voor de onderzochte gewassen in Flevoland. De gevoelige parameters moeten zo goed mogelijk bepaald worden gezien hun mogelijk impact op de opbrengst.

5.5.2 Evapotranspiratie

In Figuur 24 staan de gevoeligheidsbandbreedtes van evapotranspiratie voor zowel uien als koolzaad samengevat. Van elke parameter is de gevonden bandbreedte zichtbaar gemaakt ten opzichte van de parameterreferentiewaarde.



Figuur 24: AquaCrop Gevoeligheidsbandbreedte van Evapotranspiratie per gevarieerde parameter. Voor Uien en Koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}). De laatste twee parameters zijn alleen van toepassing bij het gewas koolzaad. NB: De minimum en maximum waarde zijn onafhankelijk van elkaar per parameter bepaald als absolute waarden .

Op basis van de gevoeligheid van de evapotranspiratie voor de onderzochte parameters is in tabel 9 een classificatie gemaakt. Met behulp van de classificatie valt te zien welke parameters het meeste gevoelig zijn voor de onderzochte gewassen in Flevoland. De gevoelige parameters moeten zo goed mogelijk bepaald worden gezien hun mogelijk impact op evapotranspiratie.

Op basis van de gevoeligheid van de evapotranspiratie voor de onderzochte parameters is in tabel 9 een classificatie gemaakt.

Parameter		$\leq \pm 3\%$	$> \pm 3\%$	Classificatie
Planten per ha	Uien	x		Beperkt gevoelig
	Koolzaad	x		Beperkt gevoelig
CC_x	Uien	x		Beperkt gevoelig
	Koolzaad	x		Beperkt gevoelig
CGC	Uien	x		Beperkt gevoelig
	Koolzaad		x	Gevoelig
CDC	Uien		x	Gevoelig
	Koolzaad	x		Beperkt gevoelig
CD_{root}	Uien	x		Niet gevoelig
	Koolzaad	x		Beperkt gevoelig
CD_{flower}	Koolzaad	x		Beperkt gevoelig
L_{flower}	Koolzaad	x		Niet gevoelig

Tabel 9: Overzicht onderzochte parameters op gevoeligheid evapotranspiratie Flevoland over de jaren 1992-2015 met bijbehorende classificatie. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}).

Door middel van de classificatie valt te zien welke parameters het meeste gevoelig zijn voor de onderzochte case.

5.5.3 Geldigheid van de classificatie

In hoeverre hebben de gevonden parameter gevoeligheden nu een waarde buiten het onderzochte kader? De verschillen tussen de 2 onderzochte gewassen geven al reden tot voorzichtigheid: de gevonden gevoeligheden zijn niet altijd in dezelfde orde van grootte.

Hiervoor is in ieder geval gedeeltelijke verklaring te vinden: De AquaCrop opbrengst en evapotranspiratie gevoeligheid is voor koolzaad en uien niet direct vergelijkbaar voor alle 7 parameters ondanks het feit dat het gaat over dezelfde locatie (Flevoland) en het zelfde tijdsvak (1992-2015):

- Uien kent geen bloeifase vandaar dat 2 bloeifase gerelateerde parameters geen waarde hebben.
- De gesimuleerde jaren zijn weliswaar gelijk voor beide gewassen maar de zaaiperioden van de gewassen verschillen (Uien begin januari en koolzaad begin mei). Dit betekent dat verschillen in het weer (ook al zijn het dezelfde jaren) de bandbreedtes van beide gewassen niet direct vergelijkbaar maakt.

Om te onderzoeken of de gevonden gevoeligheden mogelijk ook geldig zijn voor andere gewassen op andere locaties is de vergelijking getrokken met de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van Vanuytrecht et al. (2013). Vanuytrecht et al. (2013) heeft een studie gedaan naar de AquaCrop parameter gevoeligheid op de opbrengst. Het onderzoek richt zich op 3 gewassen (maïs, winter tarwe en rijst) onder wisselende omgevingsomstandigheden (variëaties in klimaat, grondsoort en meteorologische data).

Vanuytrecht gebruikt een gevoeligheidsindex van 0 (geen invloed op opbrengstvariatie) tot 1 (100% bepalend voor opbrengst variatie) per parameter. De waarden van de Vanuytrecht gevoeligheidsindex staan in tabel 10 naast de classificatie van uien en koolzaad. Opmerkelijk is dat Vanuytrecht ook een bandbreedte geeft: een minimum waarde en een maximum voor de index. De werkelijke gevoeligheid en dus index- waarde van een parameter wordt bepaald door de omgevingsomstandigheden.

NB: Dit is dus een ander soort bandbreedte dan de plots in dit onderzoek. Hier gaat het over dezelfde omgevingsomstandigheden op een en dezelfde locatie: Flevoland.

Parameter		Classificatie gesimuleerde opbrengst	Bandbreedte Gevoeligheidsindex Vanuytrecht
Planten per ha	Uien	Gevoelig	0.19 - 0.20
	Koolzaad	Beperkt gevoelig	
CC_x	Uien	Beperkt gevoelig	0.22 - 0.35
	Koolzaad	Gevoelig	
CGC	Uien	Zeer gevoelig	0.01 - 0.22
	Koolzaad	Zeer gevoelig	
CDC	Uien	Zeer gevoelig	0.03 - 0.45
	Koolzaad	Gevoelig	
CD_{root}	Uien	Niet gevoelig	0.24 - 0.25
	Koolzaad	Beperkt gevoelig	
CD_{flower}	Koolzaad	Zeer gevoelig	0.07 - 0.07
L_{flower}	Koolzaad	Niet gevoelig	0.07 - 0.07

Tabel 10: Overzicht onderzochte parameters op gevoeligheid Opbrengst Flevoland over de jaren 1992-2015 met bijbehorende eigen classificaties en gevoeligheidsindex waarden uit de Vanuytrecht studie. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}).

De eigen onderzoeksclassificatie is niet direct te relateren aan de bevindingen van Vanuytrecht. Een paar opvallende resultaten die in dezelfde richting wijzen:

- De lengte van de bloeifase (L_{flower}) is in beide studies ongevoelig (Vanuytrecht classificeert alles onder index waarde 0,15 als ongevoelig).
- De maximale bladerdakbedekking (CC_x) gevoeligheid ligt in lijn met de index waarden
- De bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC) gevoeligheidsindex laat als gevolg van de omstandigheden een enorme variatie zien. Ook gezien de onderzoeksclassificatie een parameter om veel aandacht aan te geven.

De "periode van zaaien tot bloeien" geeft een ongevoelige indexwaarde en "zeer gevoelig" als classificatie bij koolzaad. Dit laat de beperkingen duidelijk zien om conclusies over gevoeligheid van parameters buiten de onderzochte scope te veralgemeniseren. Ook Vanuytrecht concludeert dat andere omgevingsomstandigheden een ander significant afwijkend beeld van de gevoeligheid van parameters kan geven.

Conclusie over de gevonden geldigheid classificatie: Deze gevoeligheidsclassificatie is alleen geldig voor de onderzochte locatie en gewassen.

6 Discussie

Een gewasgroeifasemodel dat een goede prognose kan geven van de te verwachten opbrengst en het waterverbruik, heeft een zeer belangrijke toegevoegde waarde voor de voedselproductie en een verantwoord watergebruik. Dit geldt in het bijzonder voor gebieden waar waterschaarste is. Ieder model is een vereenvoudiging van de werkelijkheid en heeft per definitie zijn beperkingen. Ook AquaCrop kent zijn beperkingen. Zo wordt met een aantal zaken geen rekening gehouden, zoals bijvoorbeeld de invloed van onkruid en ziektes op de opbrengst.

AquaCrop claimt met een relatief beperkte input tot goede voorspellingen van opbrengst en waterverbruik te komen. Niettemin is de benodigde input nog steeds aanzienlijk en niet alle parameterwaarden zijn eenvoudig beschikbaar. Daarnaast is het voor beschikbare data van belang de betrouwbaarheid te toetsen. Zeker voor die parameters, waarvoor uitgevoerde simulaties laten zien dat de impact op de modeluitkomst groot is.

De historische FAOSTAT opbrengst is vergeleken met de AquaCrop opbrengst (paragraaf 5.2) voor de jaren 1992-2015. De grote verschillen onderstrepen de noodzaak van kalibratie van het model:

- Voor uien is de berekende AquaCrop opbrengst 50-70% lager dan de historische opbrengst
- Voor koolzaad is het effect andersom: De AquaCrop opbrengst ligt een factor 2-3 hoger dan de historisch opbrengst

Zeker voor gewassen die nieuw zijn voor AquaCrop, zoals de onderzochte gewassen (uien en koolzaad) is kalibratie essentieel. In paragraaf 5.2 worden mogelijke verklaringen gegeven voor de verschillen, maar om tot conclusies te komen is nader onderzoek noodzakelijk. Bij kalibratie verdienen de volgende punten zeker nader onderzoek:

- De oogst index (oogst als percentage van de totale biomassa) is een uiterst belangrijke parameter (opbrengst recht evenredig met HI). Het model heeft gerekend met een door AquaCrop geschatte oogst index (HI) die mogelijk significant te laag is in geval van uien. Zeker in een land als Nederland waar gewasveredeling op een hoog niveau staat, zou dit een belangrijk deel van de verschillen bij uien kunnen verklaren. Zo is de opbrengst van uien van 1962 tot 2012 in Nederland met maar liefst 75% gestegen volgens Beekman, J (2014).
- Ook voor koolzaad is het van groot belang de schatting van de AquaCrop oogst index te controleren. Deze zou wel eens veel te hoog kunnen zijn.
- Bij het simuleren van de gewassen is geen kunstmatige beregening of irrigatie meegenomen omdat hierover geen gegevens bekend waren. Beregening wordt in droge periodes vaak toegepast in de Flevoland. Ondanks het feit dat AquaCrop het mogelijk maakt om beregening toe te voegen is dit niet gebeurd, omdat deze historische gegevens niet beschikbaar waren. Als AquaCrop dus stress als gevolg van water tekort constateert is het dus de vraag of dit ook de realiteit was in de onderzochte periode.

7 Conclusies

In dit rapport is verslag gedaan van een onderzoek naar het ontwikkelen van een methode om de AquaCrop gewas parameters af te leiden. Deze methode om een aantal belangrijke gewasparameters te bepalen is toegepast en gebruikt bij het analyseren van de gevoeligheid van de AquaCrop opbrengst en evapotranspiratie. In dit hoofdstuk worden de resultaten samengevat aan de hand van de deelvragen en worden daaruit conclusies getrokken.

Welke methodes zijn geschikt om de AquaCrop gewasparameters af te leiden voor verschillende gewas categorieën?

Voor een viertal AquaCrop gewasgroeifase parameters zijn methodes gevonden om deze af te leiden uit hoofdzakelijk de gewasgroeifasen van Allen et al. (1998):

- Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root})(zie 4.1)
- Periode van zaaien tot begin afsterven (CD_{sen})(zie 4.3)
- Periode van zaaien tot volwassenheid (CD_{mat})(zie 4.3)
- Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)(zie 4.5)

Door de afgeleide formules te gebruiken kunnen vier van de voor AquaCrop noodzakelijke gewasgroeifase parameterwaarden worden gevonden. De parameterwaarden zoals deze zijn gerapporteerd per land/klimaatzone door Chapagain en Hoekstra (2004) zijn hierdoor om te rekenen naar de hiervoor benoemde parameterwaarden van AquaCrop. De aldus berekende parameterwaarden zijn meegenomen in de simulaties bij de gevoeligheidssimulaties.

Voor 7 onderzochte parameters is het niet gelukt om een methode te vinden om ze te herleiden uit de gewasgroeifasen van Allen et al. (1998):

- Planten per hectare
- De maximale bladerdakbedekking (CC_x)
- Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)
- Periode van zaaien tot opkomst (CD_{emer})
- Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower})
- Lengte van de bloeifase(L_{flower})
- De wortelgroefactor (F_{shape})

Voor 6 van deze 7 parameters zijn schattingen gebruikt bij de verdere simulaties. Voor de parameterwaarden van "planten per hectare" zijn bronnen gevonden. De parameters met de grootste onzekerheid (planten per hectare, maximale bladerdakbedekking, bladerdak afnamecoëfficiënt, periode van zaaien tot bloeien en lengte van de bloeifase) zijn meegenomen in de gevoeligheidssimulaties.

Voor welke parameters is de opbrengst en evapotranspiratie met name gevoelig?

Onderstaand overzicht is een samenvatting van de gevonden gevoeligheden zoals beschreven in hoofdstuk 5.

Parameter		Classificatie Opbrengst	Classificatie Evapotranspiratie	Methode gebruikt voor schatting parameter
Planten per ha	Uien	Gevoelig	Beperkt gevoelig	Verscheidene bronnen: PennState Extension(2000) en Kennisakker (2016)
	Koolzaad	Beperkt gevoelig	Beperkt gevoelig	
CC_x	Uien	Beperkt gevoelig	Beperkt gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie
	Koolzaad	Gevoelig	Beperkt gevoelig	
CGC	Uien	Zeér gevoelig	Beperkt gevoelig	Allen et al. (1998) gewasgroeifasen plus initiële bladerdakbedekking (CC ₀)
	Koolzaad	Zeér gevoelig	Gevoelig	
CDC	Uien	Zeér gevoelig	Gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie
	Koolzaad	Gevoelig	Beperkt gevoelig	
CD_{root}	Uien	Niet gevoelig	Niet gevoelig	Allen et al. (1998) gewasgroeifasen
	Koolzaad	Beperkt gevoelig	Beperkt gevoelig	
CD_{flower}	Koolzaad	Zeér gevoelig	Beperkt gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie
L_{flower}	Koolzaad	Niet gevoelig	Niet gevoelig	AquaCrop schattingsfunctie

Tabel 11: Overzicht onderzochte parameters op gevoeligheid opbrengst en evapotranspiratie met bijbehorende classificatie. Parameter omschrijving: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}). Gewassen uien en koolzaad, Flevoland 1992-2015.

De classificatie laat zien voor welke parameters een zo nauwkeurig mogelijke waardebeoordeling de hoogste prioriteit heeft. De bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), en de "periode van zaaien tot maximale worteldiepte" (CD_{root}) zijn herleid op basis van de methodes beschreven in paragraaf 4.1 en 4.3. Hierdoor zijn de parameterwaarden afgeleid uit de betrouwbare data per land/klimaatzone van Chapagain en Hoekstra (2004). Met name in het geval van de bladerdak groeicoëfficiënt (CGC) is dit belangrijk, omdat deze als zeer gevoelig voor de opbrengst en als gevoelig voor evapotranspiratie uit de gevoeligheidsanalyse komt.

Om te onderzoeken of de gevonden gevoeligheden mogelijk ook geldig zijn voor andere gewassen op andere locaties, is de vergelijking getrokken met de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van Vanuytrecht et al. (2013). Vanuytrecht et al. (2013) heeft een studie gedaan naar de AquaCrop parameter gevoeligheid op de opbrengst. Het onderzoek richt zich op 3 gewassen (maïs, winter tarwe en rijst) onder wisselende omgevingsomstandigheden (variëaties in klimaat, grondsoort en meteorologische data). De gevoeligheidsindex van Vanuytrecht en de classificatie van dit onderzoek laten zich niet direct onderling vergelijken. Voor een aantal parameters (lengte van de bloeifase (L_{flower}), maximale bladerdakbedekking (CC_x), bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)) wijst de conclusie over de mate van gevoeligheid in dezelfde richting. Echter, ook het omgekeerde komt voor (periode van zaaien tot bloeien).

Dit laat duidelijk zien, dat conclusies over gevoeligheid van parameters buiten de onderzochte scope niet zomaar algemeen aangenomen mogen worden. Ook Vanuytrecht concludeert dat andere omgevingsomstandigheden een ander significant afwijkend beeld van de gevoeligheid van parameters kunnen geven.

Conclusie over de geldigheid van de gevonden classificatie: Deze gevoeligheidsclassificatie is alleen geldig voor de onderzochte locatie en gewassen.

8 Bibliografie

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (Vol. FAO Irrigation and drainage paper no. 56). Rome: FAO.
<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- Beekman, J (2014). *Opbrengstgroei gewassen nog niet uitgeput*. Verkregen op 07-02-2016 van <http://www.boerderij.nl/Akkerbouw/Nieuws/2014/10/Opbrengstgroei-gewassen-nog-niet-uitgeput-1627788W/?intcmp=related-content>
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). *Water footprints of nations Value of Water Research Report Series No. 16 (Vol. Volume 1: Main Report)*. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE. Verkregen op 08-09-2015 van <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol1.pdf>
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). *Water footprints of nations Value of Water Research Report Series No. 16 (Vol. Volume 2: Appendices)*. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE. Verkregen op 08-09-2015 van <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol2.pdf>
- De Lannoy, G.J.M., Koster, R.D, Reichle, R.H., Mahanama, S.P.P., Liu, Q (2014). *An updated treatment of soil texture and associated hydraulic properties in a global land modeling system*. Verkregen op 16-12-2015 van <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014MS000330/pdf>
- FAO (2012). *Reference Manual, Annex I – AquaCrop*. Verkregen op 10-12-2015 van <http://www.fao.org/nr/water/docs/aquacropv40annexes.pdf>
- FAO (2015). *Crop water information: Onion*. Verkregen op 10-12-2015 van http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_onions.html
- FAO (2016a). *Production/Crops*. Verkregen op 09-11-2015 van <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>
- FAO (2016b). *Software*. Verkregen op 20-01-2016 van http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_aquacrop.html
- FAO (2016c). *AquaCrop Default Crop Parameters*. Verkregen op 08-09-2015 van: <http://www.fao.org/nr/water/jsp/downloadAquacrop/index.htm?dUrl=http://www.fao.org/nr/water/docs/AquaCropV40Nr31082012.zip>
- Fruit Vegetable agency Holland (2009). *Dutch Onions*. Verkregen op 09-12-2015 van <http://cop-horti.net/IMG/pdf/Procesbeschrijvinguien.pdf>
- Kennisakker (2016). *Teelthandleiding koolzaad - zaad en zaaien*. Verkregen op 14-12-2015 van <http://www.kennisakker.nl/book/export/html/201>
- KNMI (2015). *Klimatologie*. Verkregen op 26-11-2015 van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maandgegevens>

- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products*. *Value of Water Research Report Series No.47*. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE. Verkregen op 08-09-2015 van <http://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>
- Monfreda, C, Ramankutty, N, Foley, J.A. (2008). *Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000. Global biogeochemical cycles, vol 22*. Verkregen op 08-09-2015 van ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/EcoCrop/_documents/Monfreda_et_al_2008_Farming-the-planet.pdf
- PennState Extension(2000). *Onion production*. Verkregen op 25-12-2015 van <http://extension.psu.edu/business/ag-alternatives/horticulture/vegetables/onion-production>
- Raes, D, Steduto, P, HsiaO, T, Fereres, E (2012a). *AquaCrop Chapter 2 Users guide*. Verkregen op 21-09-2015 van <http://www.fao.org/nr/water/docs/aquacropv40chapter2.pdf>
- Raes, D, Steduto, P, HsiaO, T, Fereres, E (2012b). *AquaCrop Chapter 3 Calculation procedures*. Verkregen op 21-09-2015 van <http://www.fao.org/nr/water/docs/aquacropv40chapter3.pdf>
- Raes, D, Geerts, S (2005). *Meer voedsel met minder water. Karakter. Tijdschrift van de wetenschap nummer 10*. Verkregen op 04-02-2016 van https://perswww.kuleuven.be/~u0046937/Publications/Raes_&_Geerts_05-Meer%20voedsel%20met%20minder%20water.pdf
- Raes, D, Geerts, S, Vanuytrecht, E (2009). *Is er nog voldoende water om ons voedsel te produceren*. Verkregen op 15-01-2016 van <https://www.kuleuven.be/emeritiforum/em/Forumgesprekken/2010-2011/281010/090205-drukproef-xxiste-eeuw-2009-09-raes.pdf>
- Sage, R, Zhu, X (2011). *Exploiting the engine of C4 photosynthesis*. Verkregen op 14-12-2015 van <http://jxb.oxfordjournals.org/content/62/9/2989.full.pdf>
- Steduto, P, HsiaO, T, Raes, D, Fereres, E (2009a). *AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles*. Verkregen op 12-01-2016 van <http://nhjy.hzau.edu.cn/kech/ssyy/qysd/szmx/8.pdf>
- Steduto, P, Raes, D, HsiaO, T, Fereres, E, Heng, L, Izzi, G, Hoogeveen, J (2009b). *AquaCrop: A new model for crop prediction under water deficit conditions*. Verkregen op 08-10-2015 van http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/a-80_OPTIONS/Sesion%203/%28285-292%29%2039%20Steduto%20GS3.pdf
- Vanuytrecht, E, Raes, D, Willems, P (2013). *Global sensitivity analysis of yield output from the water productivity model*. Verkregen op 08-01-2016 van https://www.researchgate.net/publication/258137275_Global_sensitivity_analysis_of_yield_output_from_the_water_productivity_model_Envir on_Model_Softw
- Worldpress.com (2009). *Photosynthesis and CO2 Enrichment*. Verkregen op 14-12-2015 van <https://buythetruth.wordpress.com/2009/06/13/photosynthesis-and-co2-enrichment/>

9 Bijlage

A. Voorbeeld gewasbestand

Dit is een voorbeeld van hoe een gewasbestand eruit zou kunnen zien.

4.0	: AquaCrop Version (June 2012)
1	: File not protected
2	: fruit/grain producing crop
1	: Crop is sown
1	: Determination of crop cycle : by calendar days
1	: Soil water depletion factors (p) are adjusted by ETo
10.0	: Base temperature (°C) below which crop development does not progress
30.0	: Upper temperature (°C) above which crop development no longer increases with an increase in temperature
-9	: Total length of crop cycle in growing degree-days
0.25	: Soil water depletion factor for canopy expansion (p-exp) - Upper threshold
0.55	: Soil water depletion factor for canopy expansion (p-exp) - Lower threshold
3.0	: Shape factor for water stress coefficient for canopy expansion (0.0 = straight line)
0.50	: Soil water depletion fraction for stomatal control (p - sto) - Upper threshold
3.0	: Shape factor for water stress coefficient for stomatal control (0.0 = straight line)
0.85	: Soil water depletion factor for canopy senescence (p - sen) - Upper threshold
3.0	: Shape factor for water stress coefficient for canopy senescence (0.0 = straight line)
0	: Sum(ETo) during stress period to be exceeded before senescence is triggered
0.90	: Soil water depletion factor for pollination (p - pol) - Upper threshold
5	: Vol% for Anaerobiotic point (* (SAT - [vol%]) at which deficient aeration occurs *)
50	: Considered soil fertility/salinity stress for calibration of stress response (%)
3.00	: Shape factor for the response of canopy expansion to soil fertility/salinity stress
1.00	: Shape factor for the response of maximum canopy cover to soil fertility/salinity stress
5.00	: Shape factor for the response of crop Water Productivity to soil fertility stress
-2.50	: Shape factor for the response of decline of canopy cover to soil fertility/salinity stress
5.00	: Shape factor for the response of stomatal closure to soil salinity stress
8	: Minimum air temperature below which pollination starts to fail (cold stress) (°C)
40	: Maximum air temperature above which pollination starts to fail (heat stress) (°C)
-9.0	: Cold (air temperature) stress on production of above ground biomass not considered
2	: Electrical Conductivity of soil saturation extract at which crop starts to be affected by soil salinity (dS/m)
15	: Electrical Conductivity of soil saturation extract at which crop can no longer grow (dS/m)
0	: Shape factor for soil salinity stress coefficient (0 : linear response)
1.10	: Crop coefficient when canopy is complete but prior to senescence (KcTr,x)
0.150	: Decline of crop coefficient (%/day) as a result of ageing, nitrogen deficiency, etc.
0.30	: Minimum effective rooting depth (m)
1.00	: Maximum effective rooting depth (m)
15	: Shape factor describing root zone expansion
0.024	: Maximum root water extraction (m ³ water/m ³ soil.day) in top quarter of root zone
0.006	: Maximum root water extraction (m ³ water/m ³ soil.day) in bottom quarter of root zone
60	: Effect of canopy cover in reducing soil evaporation in late season stage
5.00	: Soil surface covered by an individual seedling at 90 % emergence (cm ²)
300000	: Number of plants per hectare
0.08990	: Canopy growth coefficient (CGC): Increase in canopy cover (fraction soil cover per day)

-9	: Maximum decrease of Canopy Growth Coefficient in and between seasons - Not Applicable
-9	: Number of seasons at which maximum decrease of Canopy Growth Coefficient is reached - Not Applicable
-9.0	: Shape factor for decrease Canopy Growth Coefficient - Not Applicable
0.85	: Maximum canopy cover (CCx) in fraction soil cover
0.08000	: Canopy decline coefficient (CDC): Decrease in canopy cover (in fraction per day)
7	: Calendar Days: from sowing to emergence
80	: Calendar Days: from sowing to maximum rooting depth
145	: Calendar Days: from sowing to start senescence
180	: Calendar Days: from sowing to maturity (length of crop cycle)
102	: Calendar Days: from sowing to flowering
22	: Length of the flowering stage (days)
1	: Crop determinancy linked with flowering
50	: Excess of potential fruits (%)
70	: Building up of Harvest Index starting at flowering (days)
17.0	: Water Productivity normalized for ETo and CO2 (WP*) (gram/m2)
100	: Water Productivity normalized for ETo and CO2 during yield formation (as % WP*)
50	: Crop performance under elevated atmospheric CO2 concentration (%)
50	: Reference Harvest Index (HIo) (%)
10	: Possible increase (%) of HI due to water stress before flowering
10.0	: Coefficient describing positive impact on HI of restricted vegetative growth during yield formation
8.0	: Coefficient describing negative impact on HI of stomatal closure during yield formation
15	: Allowable maximum increase (%) of specified HI
-9	: GDDays: from sowing to emergence
-9	: GDDays: from sowing to maximum rooting depth
-9	: GDDays: from sowing to start senescence
-9	: GDDays: from sowing to maturity (length of crop cycle)
-9	: GDDays: from sowing to flowering
-9	: Length of the flowering stage (growing degree days)
-9.000000	: CGC for GGDays: Increase in canopy cover (in fraction soil cover per growing-degree day)
-9.000000	: CDC for GGDays: Decrease in canopy cover (in fraction per growing-degree day)
-9	: GDDays: building-up of Harvest Index during yield formation

B. Simulaties

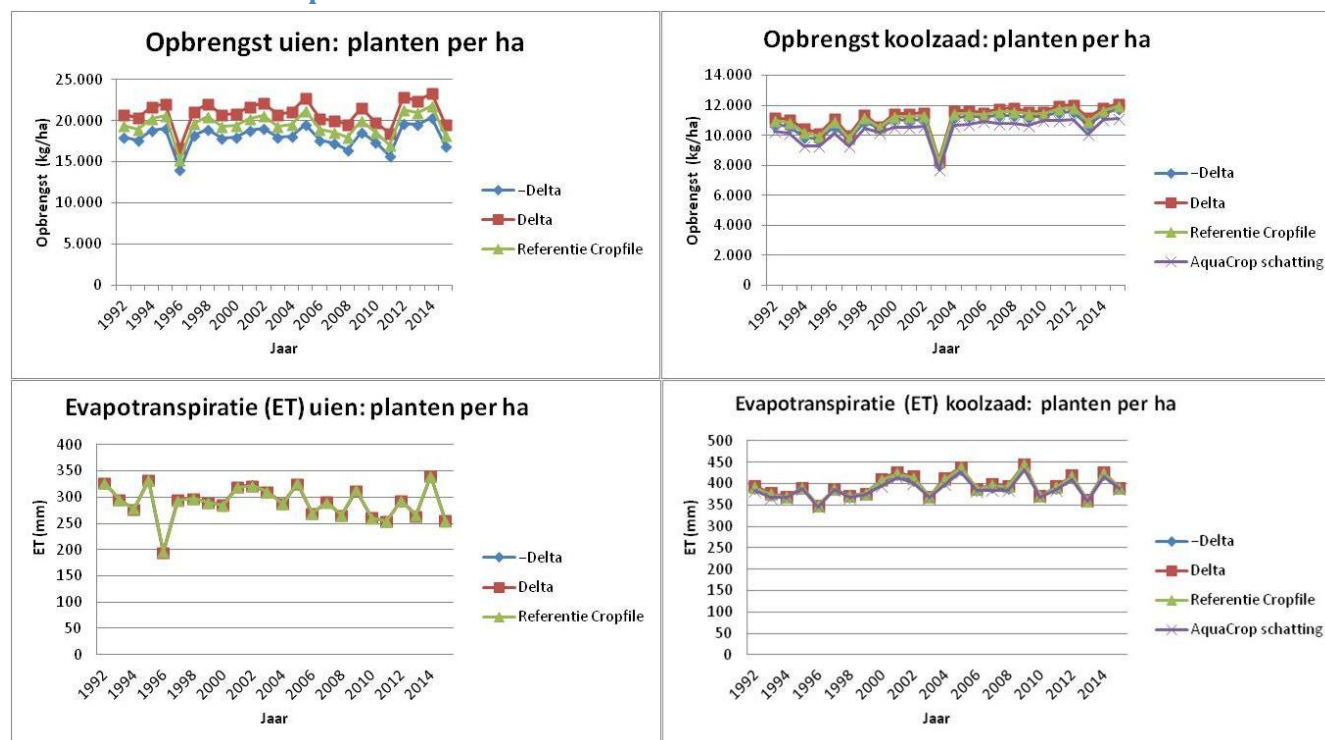
Voor de parameters, hieronder weergegeven in Tabel 12, zijn via simulatie de gevoeligheid getest. Bij iedere gekozen referentie waarde is een simulatie gedaan met een maximum (Referentie waarde plus Delta) en een minimum (Referentiewaarde min Delta). Daarnaast zijn twee tussenliggende waarden berekend (plus/min 1/2 Delta ten opzichte van referentiewaarde).

Parameter	Referentie waarde -Delta	Referenti e waarde -1/2 Delta	Referentie waarde gewasbestand	Referentie waarde +1/2 Delta	Referentie waarde +Delta	Schatting AquaCrop	Delta als % van referentie waarde	1/2 Delta als % van referentie waarde
Uien								
Planten per ha	185000	213750	242500	271250	300000	300000	24	12
CC _x	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.85	11.8	5.9
CGC	0.08	0.105	0.133	0.155	0.18	0.067	38.5	19.2
CDC	0.05	0.065	0.08	0.095	0.11	0.08	37.5	18.8
CD _{root}	35	45	55	65	75	105		
Koolzaad								
Planten per ha	500000	575000	650000	725000	800000	300000	23.1	11.5
CC _x	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	0.85	11.8	5.9
CGC	0.05	0.064	0.078	0.092	0.106	0.090	35.7	17.9
CDC	0.05	0.065	0.08	0.095	0.11	0.08	37.5	18.8
CD _{root}	70	80	90	100	110	80	22.2	11.1
CD _{flower}	80	91	102	113	124	102	21.6	10.8
L _{flower}	10	16	22	28	34	22		

Tabel 12: Volledig overzicht simulatie gevoeligheid analyse. Met daarin per parameter de variatie waarden en percentage afwijking van de referentie waarde. Met de parameters: Planten per hectaren, Maximale bladerdakbedekking (CC_x), Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC), Bladerdak afnamecoëfficiënt(CDC), Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}), Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}), Lengte van de bloeifase (L_{flower}).

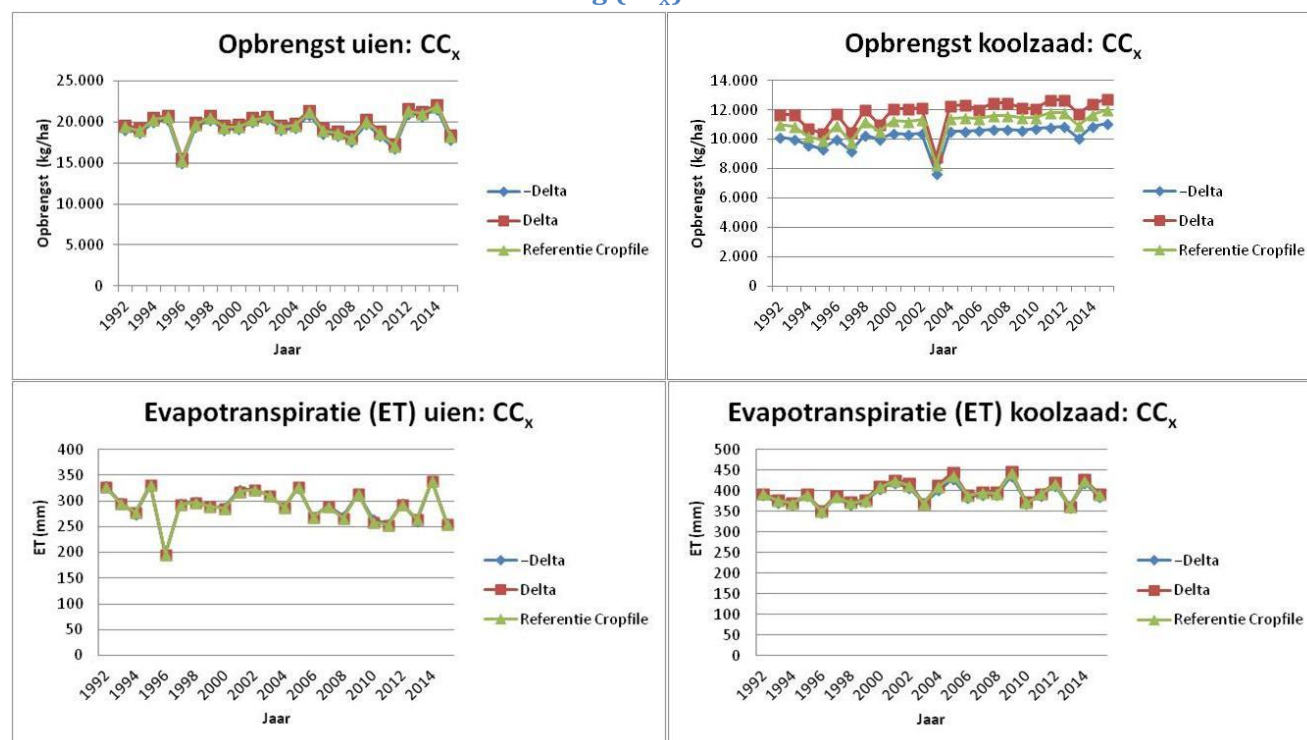
In de komende paragrafen staan de opbrengst en evapotranspiratie (ET) grafieken van uien en koolzaad per varieerde parameter.

B.1 Uien: Planten per ha



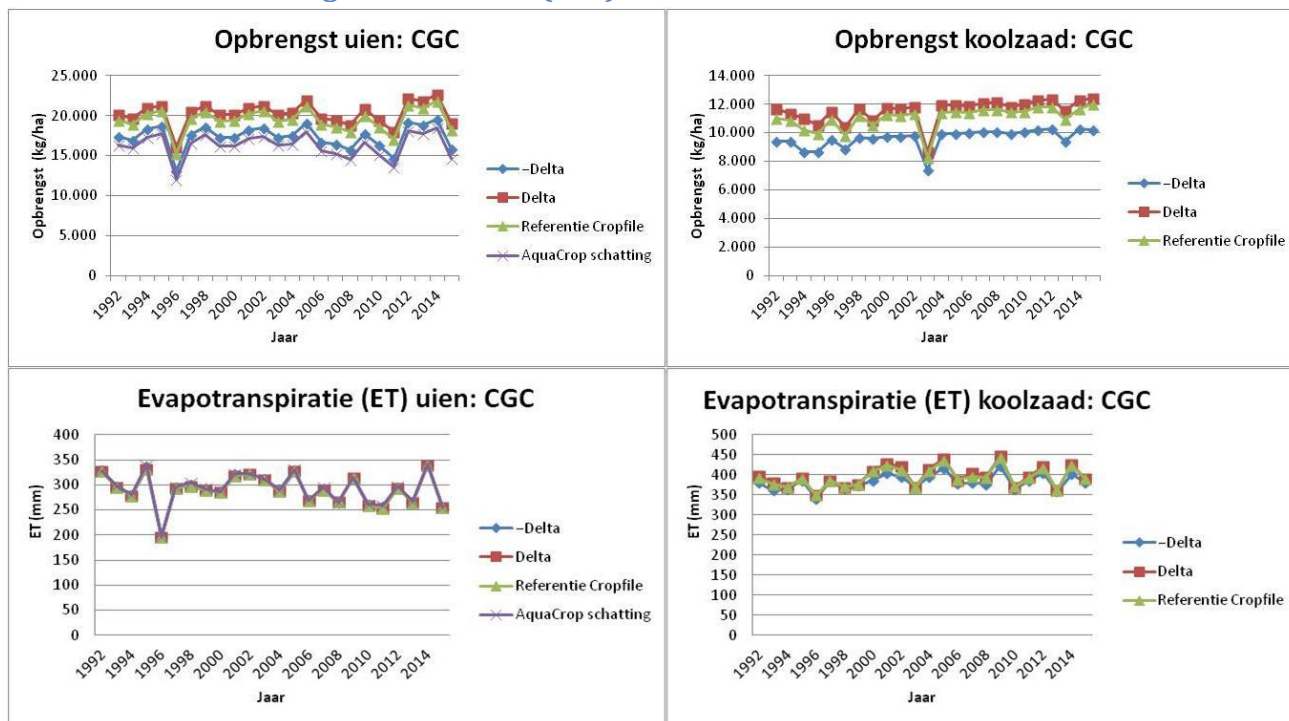
Figuur 25: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad en uien in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Planten per hectaren.

B.2 Uien: Maximale Bladerdak bedekking (CC_x)



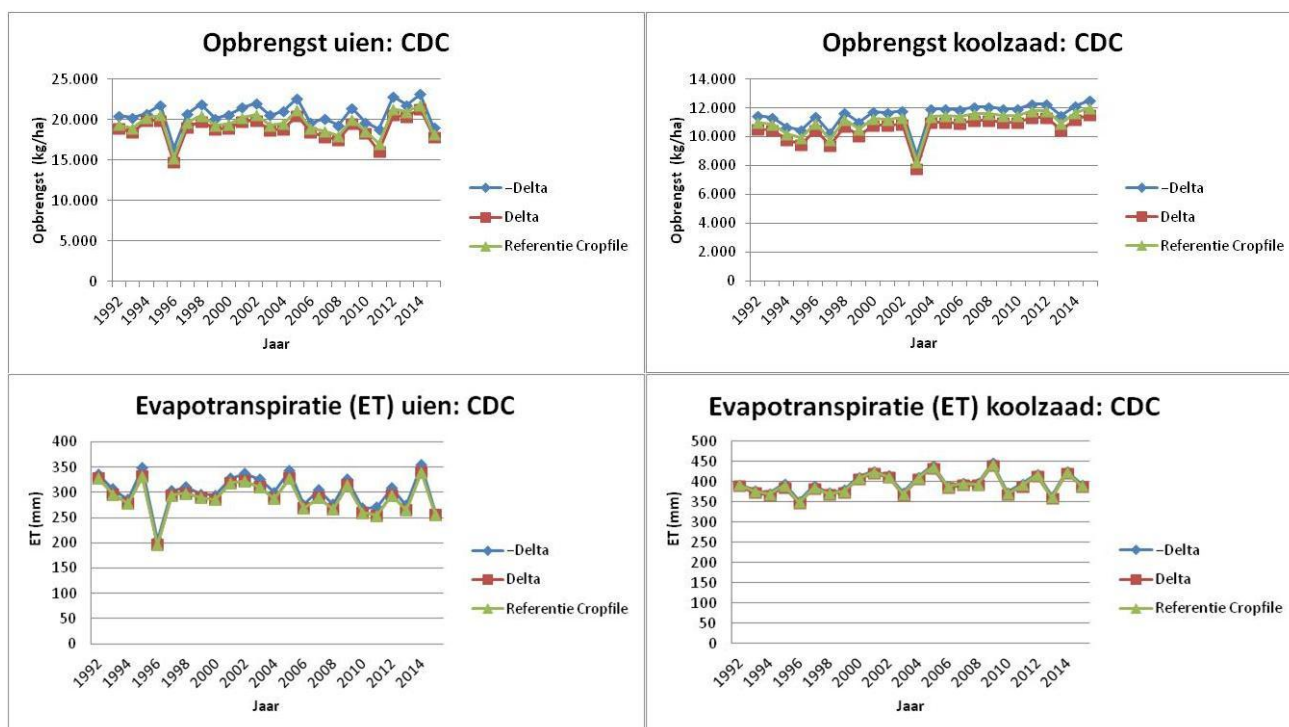
Figuur 26: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad en uien in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Maximale bladerdakbedekking (CC_x)

B.3 Uien: Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)



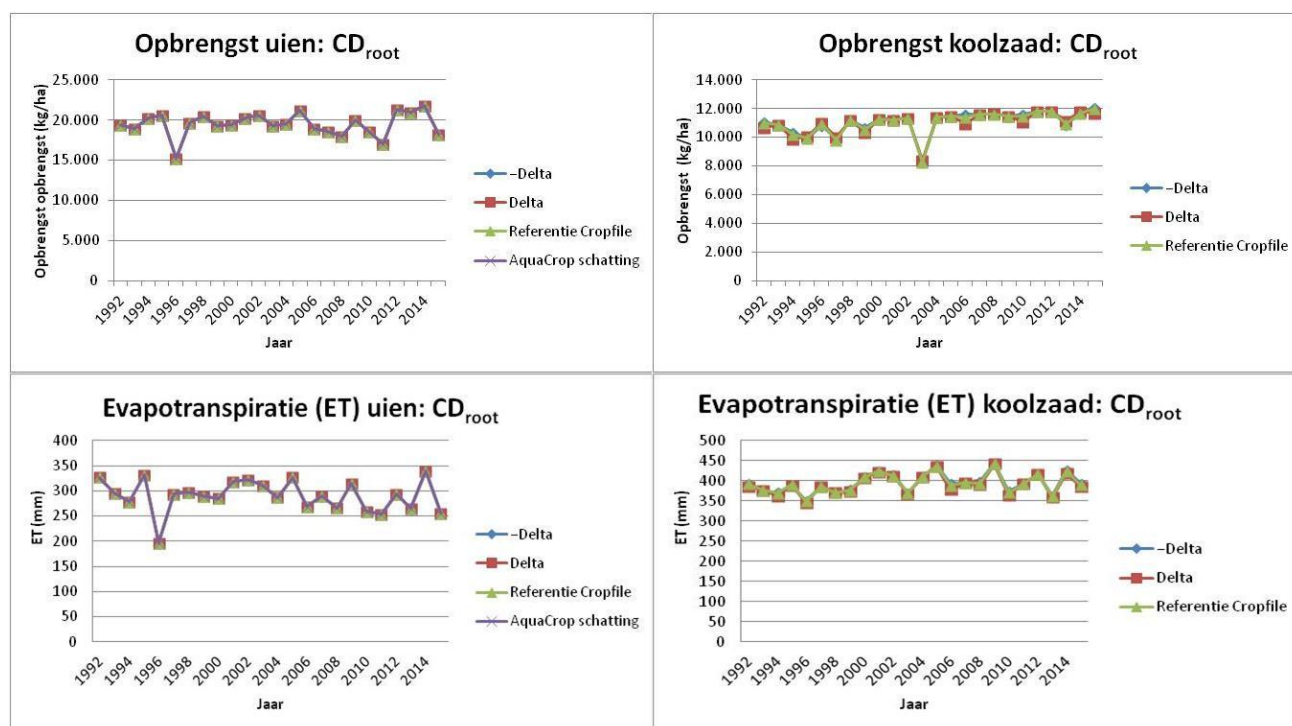
Figuur 27: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad en uien in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Bladerdak groeicoëfficiënt (CGC)

B.4 Uien: Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)



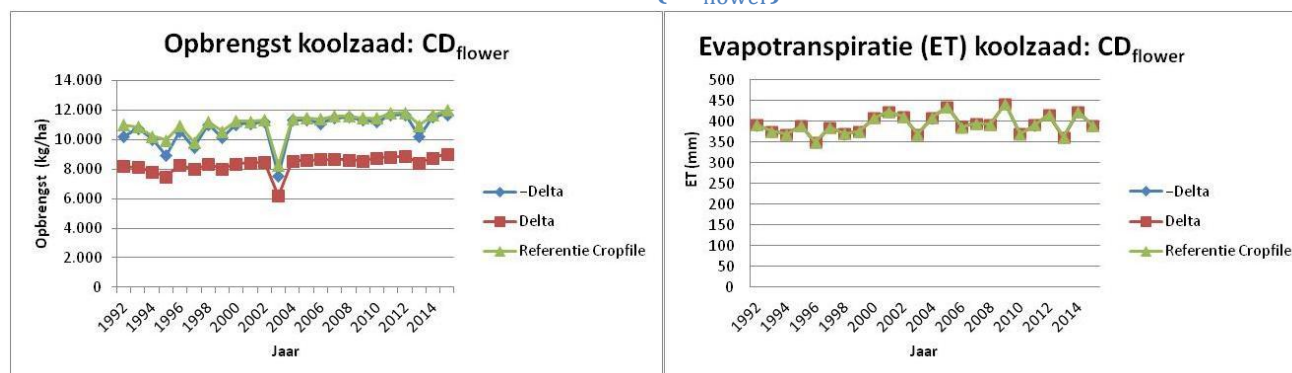
Figuur 28: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad en uien in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Bladerdak afnamecoëfficiënt (CDC)

B.5 Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root})



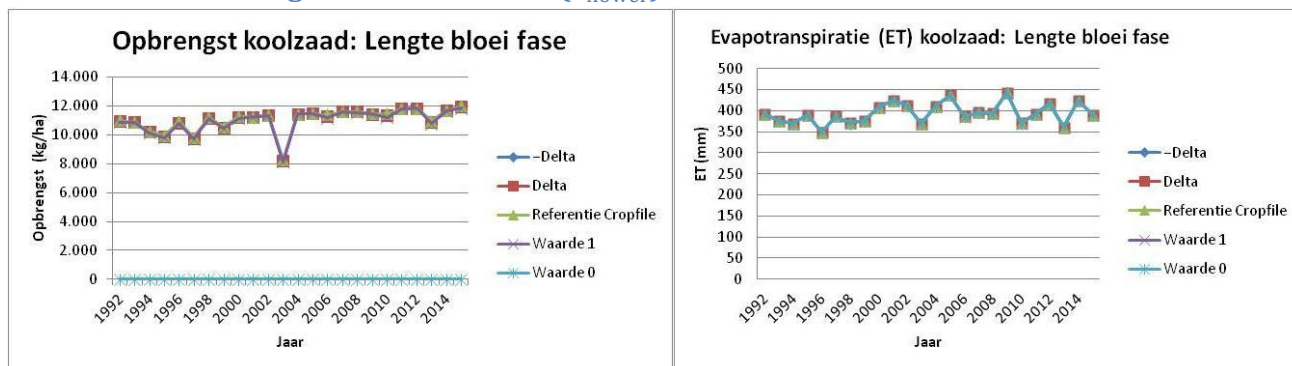
Figuur 29: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad en uien in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Periode van zaaien tot maximale worteldiepte (CD_{root}).

B.6 Koolzaad: Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower})



Figuur 30: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Periode van zaaien tot bloeien (CD_{flower}).

B.7 Koolzaad: Lengte van de bloeifase (L_{flower})



Figuur 31: Opbrengst en evapotranspiratie koolzaad in Flevoland over de jaren 1992-2015. Parameter: Lengte van de bloeifase (L_{flower}).