



Pilot SWAP berekening droogteschade

Vergelijking droogteschadeberekening volgens SWAP met de TCGB-tabel voor de waterwinning Vierlingsbeek

Massop H.Th.L., J.G. Kroes, H.R.J. Vroon en H.M. Mulder



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Pilot SWAP berekening droogteschade

Vergelijking droogteschadeberekening volgens SWAP met de TCGB-tabel voor de waterwinning Vierlingsbeek

Massop H.Th.L., J.G. Kroes, H.R.J. Vroon en H.M. Mulder

This research was funded by the Dutch Ministry of Economic Affairs and the 12 Dutch provinces (projectnummer KB014-001-063).

Alterra Wageningen UR
Wageningen, december 2014

Alterra-rapport 2600
ISSN 1566-7197

Massop, H. Th. L., J.G. Kroes, H.R.J. Vroon en H.M. Mulder, 2014. *Pilot SWAP berekening droogteschade; Vergelijking droogteschadeberekening volgens SWAP met de TCGB-tabel voor de waterwinning Vierlingsbeek*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2600. 66 blz.; 22 fig.; 5 tab.; 22 ref.

Sinds de jaren tachtig gebruikt de Advies Commissie Schade Grondwater (ACSG) zogenaamde TCGB-tabellen om opbrengstdepressies als gevolg van drinkwaterwinning te berekenen. In deze studie wordt de mogelijkheid verkend van een modernisering van de methodiek door daarvoor het model SWAP in te zetten. Oude en nieuwe methodiek zijn toegepast in de pilot Vierlingsbeek. Resultaten zijn vergeleken en daarbij bleek dat, voor deze pilot, de nieuwe methodiek zowel hogere als lagere droogteschades kan berekenen dan de TCGB-tabel aangeeft. De droogteschades als gevolg van de winning vallen voor dit gebied lager uit. De conclusies uit deze pilotstudie kunnen in andere gebieden anders uitvallen omdat er mogelijk andere randvoorwaarden gelden. De nieuwe methodiek is dynamischer en biedt meer mogelijkheden voor aansluiting bij realistischere randvoorwaarden.

Trefwoorden: TCGB, SWAP, PROD, opbrengstdepressie, drinkwaterwinning

Pilot SWAP drought stress calculations; Comparison of drought stress calculations using SWAP and TCGB tables for water extraction at Vierlingsbeek

Since the 1980s the 'advisory panel on groundwater damage' uses so-called TCGB-tables to calculate crop yield depressions owing to groundwater extraction by water companies. This study explores the possibility to modernize this method by deployment of the 'SWAP' computer model. The old and the new methods were applied in the pilot area Vierlingsbeek. After comparison of the results, it was found that the new methodology, in this pilot, could calculate both higher and lower drought stresses than the values that appear in the TCGB-tables. In this pilot area the drought stress caused by groundwater extraction turned out to be lower. The findings from this pilot study could show different results in other areas due to different circumstances and conditions. The new method is more dynamic and offers more possibilities to implement (more) realistic boundary conditions.

Keywords: TCGB, SWAP, PROD, crop yield depression, drinking water extraction

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2600 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: J.G. Kroes

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond	9
	1.2 Aanleiding	10
	1.3 Projectdoelstelling	10
	1.4 Werkwijze	10
	1.5 Leeswijzer	11
2	Gebiedsbeschrijving	12
	2.1 Historische achtergrond	12
	2.2 Locatie	12
	2.3 Geohydrologische opbouw	14
	2.4 Bodemkundige beschrijving	16
	2.5 Grondwatertrappen	17
	2.6 Verlaging freatische grondwaterstand	19
3	Methode schadeberekening	21
	3.1 TCGB-methode	21
	3.2 Modelberekeningen met SWAP	23
4	Parametrisatie SWAP	24
	4.1 Rekenperiode	24
	4.2 Meteo	24
	4.3 Gewas	25
	4.4 Bodem	25
	4.5 Onderrand	29
5	Berekening opbrengstderiving	30
	5.1 Gevoeligheidsanalyse voor vier proefvlakken	30
	5.2 Modelberekeningen met SWAP	34
	5.2.1 Droogteschade Vierlingsbeek in extreem droog jaar 2003	34
	5.2.2 Droogteschade Vierlingsbeek in GEM jaar(2005-2006)	36
	5.3 Vergelijking TCGB-methode en SWAP	36
	5.3.1 Extreem droog jaar 2003	37
	5.3.2 GEM-jaar (2005-2006)	38
	5.3.3 Gebieden waarin de GHG >1m-mv	40
6	Discussie	44
7	Conclusies en aanbevelingen	46
	7.1 Conclusie	46
	7.2 Aanbevelingen	46

Literatuur	48
Bijlage 1 Enkele kenmerken van Pleistocene afzettingen	50
Bijlage 2 Subgroep op basis van de bodemclassificatie	51
Bijlage 3 Q/h-relatie	52
Bijlage 4 Fase 1, Analyse methodiek aan de hand van vier proefvlakken	54

Woord vooraf

De Advies Commissie Schade Grondwater (ACSG) maakt bij het vaststellen van de toename van droogteschade in de landbouw als gevolg van grondwateronttrekkingen gebruik van de in de tachtiger jaren ontwikkelde TCGB-tabellen. Sindsdien heeft de ontwikkeling van de agrohydrologische kennis natuurlijk niet stilgestaan en zijn er nieuwere modellen in ontwikkeling om vast te stellen hoe de landbouwopbrengst samenhangt met agrohydrologische omstandigheden. Ook het klimaat en de landbouw veranderen. Dit kan betekenen dat de relatie tussen hydrologie en landbouwopbrengsten ook verandert. Bij de ACSG is daarom behoefte ontstaan aan inzicht in hoeverre de nu nog gebruikte methodiek nog voldoet. Op dit moment wordt het agrohydrologische model SWAP veel gebruikt om vast te stellen hoe de groei van landbouwgewassen varieert met veranderende hydrologische omstandigheden. De ACSG is dan ook voornemens om de huidige TCGB-methode te vervangen door een methode die is gebaseerd op toepassing van SWAP. Om erachter te komen of dit mogelijk is en zo ja, in hoeverre dit leidt tot wijzigingen in de te berekenen landbouwschade, heeft de ACSG Alterra Wageningen UR verzocht een vergelijking te maken van de toename van de droogteschade bij grondwateronttrekking zoals berekend met de TCGB-methode en volgens SWAP. Deze vergelijking is uitgevoerd voor het invloedsgebied van de inmiddels gesloten waterwinning Vierlingsbeek in Noord-Brabant, waarvoor de ACSG onlangs een advies voor vergoeding van de droogteschade heeft uitgebracht. Het betreft natuurlijk een vergelijking voor maar één gebied, maar toepassing van SWAP in de praktijk van de ACSG lijkt perspectiefvol en te leiden tot vast te stellen schades die in dezelfde orde van grootte liggen zoals die worden vastgesteld met de TCGB-methode.

Ir. G.N. Kok,
Voorzitter ACSG

Samenvatting

De Advies Commissie Schade Grondwater (ACSG) heeft Wageningen UR verzocht om ondersteuning bij het moderniseren van de methodiek om opbrengstdepressies te berekenen. Als eerste stap is in de pilot Vierlingsbeek onderzocht of het model SWAP geschikt is om droogteschade als gevolg van drinkwaterwinningen te berekenen. Indien dit het geval is, zou het model SWAP kunnen worden toegepast bij het vervangen op relevante onderdelen van de tot op heden gehanteerde TCGB-methodiek.

De drinkwaterwinning Vierlingsbeek is begonnen in 1965 en in 2012 buiten bedrijf gesteld. Het betreft een freatische winning. In 2007/2008 is een bodemkundig-hydrologisch onderzoek uitgevoerd waarbij bodemkundige eigenschappen, zoals dikte en vocht karakteristiek wortelzone en de doorlatendheids- en vocht karakteristiek van de ondergrond, en hydrologische eigenschappen, zoals de GHG, GVG en de GLG in het invloedsgebied van de winning, zijn gekarteerd. Omdat de verlaginglijnen als gevolg van de winning bekend waren bij de toenmalige CDG (thans ACSG) konden tevens de GHG, GVG en GLG in de onbeïnvloede situatie worden bepaald.

Voor de bepaling van de opbrengstdepressie van alle onderscheiden bodem/GT-vlakken als gevolg van de drinkwaterwinning zijn beide methoden (TCGB en SWAP-PROD) toegepast, waarbij zo veel als mogelijk identieke uitgangspunten zijn gehanteerd, zoals bijv. de beschikbare bodemkundige-hydrologische informatie. Om modelberekeningen te kunnen uitvoeren is de GxG¹ informatie gebruikt om parameters van een q/h-relatie te kalibreren, waardoor het berekende grondwaterstandsverloop de gekarteerde GxG en de GxG zonder drinkwaterwinning goed benadert.

Voor de vergelijking van beide methoden zijn twee jaren geselecteerd, nl. het extreem droge jaar 2003 en een gemiddeld jaar (het zogenaamde GEM-jaar). De resultaten laten zien dat voor het extreem droge jaar 2003 de droogteschade berekend met SWAP-PROD groter is dan met de TCGB-tabel. Voor het GEM-jaar worden met SWAP-PROD zowel hogere als lagere droogteschades berekend. De medianen van de opbrengstdepressies, als gevolg van de winning in het extreem droge jaar 2003, vallen voor SWAP-PROD iets lager uit dan voor TCGB-tabel, ook is de spreiding voor SWAP-PROD geringer. Voor het GEM-jaar ligt de mediaan van de berekende opbrengstdepressies als gevolg van de winning voor SWAP-PROD lager dan voor de TCGB-tabel.

Het model SWAP is in deze situatie geschikt gebleken voor het berekenen van opbrengstdepressies en kan worden ingezet bij het vervangen van de TCGB-tabel. Bovendien kan bij gebruik van het model SWAP de situatie in het veld beter worden benaderd dan bij gebruik van het model MUST2, dat ten grondslag ligt aan de TCGB-tabel. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat gedetailleerde bodemkundige informatie, een realistische grondwaterstand bij de start van het groeiseizoen en realistisch landgebruik als input voor de berekeningen beschikbaar zijn.

¹ GxG staat voor de begrippen GHG, GVG en GLG. GHG, GVG en GLG (**G**emiddeld **H**oogste **G**rondwaterstand, **G**emiddelde **V**oorjaars **G**rondwaterstand en **G**emiddeld **L**aagste **G**rondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van respectievelijk de HG3, de VG3 en de LG3 over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen waterhuishoudkundige ingrepen hebben plaatsgevonden. HG3 en LG3 zijn de gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk de drie laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) worden gemeten, uitgaande van een halfmaandelijke meetfrequentie op de 14^e en de 28^e van de maand. VG3 is de gemiddelde grondwaterstand voor de meetdata 14 maart, 28 maart en 14 april in een bepaald kalenderjaar.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Waterwet biedt iedereen die denkt schade te ondervinden als gevolg van een onttrekking of infiltratie van grondwater waarvoor een watervergunning is afgegeven, de mogelijkheid om Gedeputeerde Staten van de provincie waarin de schade zich voordoet, te verzoeken hiernaar een onderzoek in te stellen. Gedeputeerde Staten van alle 12 provincies hebben de landelijke Advies Commissie Schade Grondwater (ACSG) ingesteld met als opdracht deze onderzoeken uit te voeren en de resultaten te verwerken in een advies aan partijen. De ACSG is begin 2012 in de plaats getreden van de Commissie van Deskundigen Grondwaterwet (CDG). Reden hiervoor was het opgaan van de Grondwaterwet in de Waterwet.

In de adviezen van de ACSG gaat het veelal om droogteschade aan gewassen als gevolg van vochttekorten door grondwaterwinning. Voor het berekenen van de vochttekorten maakt de ACSG gebruik van de rond 1990 door de Technische Commissie Grondwaterbeheer (TCGB, voorganger van de CDG) ontwikkelde TCGB-tabel (Bouwmans, 1990).

Omdat bij een waterwinning informatie over de situatie zonder winning meestal ontbreekt, wordt het effect van de winning bepaald aan de hand van modelberekeningen, zodat de onbeïnvloede situatie kan worden berekend door de berekende verlagingen als gevolg van de winning en eventuele andere invloeden op de huidige gekarteerde GxG te superponeren. Om deze berekeningen uit te kunnen voeren karteert een bodemkundige vaak de bodem en grondwatersituatie in termen van GHG, GVG en GLG in de door de winning beïnvloede situatie. Met de TCGB-tabellen worden o.a. op basis van een aantal belangrijke invoergegevens ten aanzien van de bodemgesteldheid, zoals de aard en samenstelling bovengrond, dikte effectieve wortelzone, profielopbouw, GVG en GLG, de droogte- en natschade in de onbeïnvloede (zonder grondwateronttrekking) en de beïnvloede (met grondwateronttrekking) situatie vastgesteld. Uit het verschil tussen beiden situaties kan vervolgens de eventuele droogteschade als gevolg van een toename van de opbrengstdepressie aan het gewas worden bepaald.

Omdat de TCGB-tabel inmiddels meer dan 20 jaar oud is, is de behoefte ontstaan om te onderzoeken in hoeverre deze tabel op grond van de huidige kennis nog voldoet. Dit onderzoek is gedaan door de droogteschade als gevolg van vochttekorten voor het gewas volgens de TCGB-tabel te vergelijken met de droogteschade op basis van de met het onverzadigde stromingsmodel SWAP berekende verdampingsreductie. Hierbij is er vanuit gegaan dat resultaten die zijn verkregen met het model SWAP de huidige praktijk, vooral op het bodemfysische vlak, beter benaderen dan wanneer men uitgaat van de resultaten die zijn berekend met het model MUST2 dat is gebruikt bij het samenstellen van de TCGB-tabel.

Het agrohydrologische model SWAP staat centraal in een vernieuwde modelmatige aanpak in de pilot Vierlingsbeek. SWAP kent een lange voorgeschiedenis; de eerste versie dateert uit de jaren '70 van de vorige eeuw (Feddes *et al.*, 1978). Met het model SWAP kan op perceelschaal worden gerekend (Kroes *et al.*, 2009). Daarbij verdient het aanbeveling de bodemkundige invoergegevens op te nemen met een schaal 1 : 10.000 zoals tot nu toe gebruikelijk is. Het model berekent in een, uit verscheidene lagen opgebouwde, grondkolom op basis van de meteorologische omstandigheden (bovenrand), kwel/wegzijing (onderrand), drainage (zijrand) en de eigenschappen van bodem en grondwater de waterbalans van het bovenste onverzadigde/verzadigde deel van de bodem, inclusief verschillende verdampingstermen. Met dit model kunnen, door aanpassing van de onderrand, berekeningen worden uitgevoerd voor zowel de beïnvloede als de onbeïnvloede situatie. Voor beide situaties wordt de

actuele² verdamping berekend. Het verschil in actuele verdamping tussen de beïnvloede en onbeïnvloede situatie kan vervolgens worden gebruikt om de opbrengstdepressie als gevolg van vochttekort van de gewassen te berekenen.

1.2 Aanleiding

De CDG heeft in haar vergadering op 3 mei 2011 besloten Wageningen UR te verzoeken om ondersteuning bij het moderniseren van de methodiek voor de berekening van opbrengstdepressies. Daartoe is als eerste stap de mogelijkheid van inzet van het model SWAP (www.swap.alterra.nl) verkend. De eerste stap bestond uit het verzorgen van een oriëntatie-cursus over de inzet en het gebruik door de CDG van het agrohydrologische model SWAP. De oriëntatie-cursus heeft plaatsgevonden op 6 oktober 2011. Bij de evaluatie is besloten om door te gaan op de ingeslagen weg met de inzet van een modelmatige aanpak in een pilot, waarvoor het invloedsgebied van de waterwinning Vierlingsbeek is gekozen. Dit rapport doet verslag van deze pilot.

1.3 Projectdoelstelling

Het doel van de pilot Vierlingsbeek is om te onderzoeken of het model SWAP geschikt is om eventuele opbrengstdepressies als gevolg van vochttekorten aan gewassen door grondwaterwinning te berekenen. Indien dit het geval is zou het model SWAP de tot op heden door de ACSG gehanteerde TCGB-tabel kunnen vervangen.

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden, wordt in een pilot de droogteschade berekend met SWAP. Bij vervanging van de TCGB-tabel door modelberekeningen met het model SWAP ontstaat een trendbreuk die kan leiden tot hogere of lagere berekende opbrengstdepressies. Om inzicht te krijgen in de grootte van de verschillen worden de opbrengstdepressies volgens de SWAP-PROD³-berekeningen vergeleken met die volgens de TCGB-methodiek.

1.4 Werkwijze

Bij de opstelling van de TCGB-tabel, aan het eind van de jaren 80 in de vorige eeuw, zijn twee modelberekeningen uitgevoerd. Allereerst is met het hydrologische model MUST2 de jaarlijkse verdamping (ca. 30 jaar) berekend van het gewas gras. Met behulp van het programma PROD is vervolgens het potentiële en actuele productieniveau van het gewas gras per jaar berekend o.a. aan de hand van de functie van Van Boheemen (1981) en onder praktijkomstandigheden. Voor de vergelijking van de resultaten volgens de TCGB-tabel met de SWAP-benadering is de meest zuivere vergelijking om na SWAP met het programma PROD de definitieve opbrengstdepressie te berekenen.

Het model SWAP heeft ook een koppeling met het gewasgroeimodel WOFOST, maar daar is in deze pilot geen gebruik van gemaakt om de vergelijking met de TCGB-methodiek zo zuiver mogelijk te houden.

² De onder de meteorologische omstandigheden werkelijk optredende verdamping. Dit in tegenstelling tot de potentiële verdamping.

³ Voor programma PROD wordt verwezen naar paragraaf 3.1.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het pilotgebied Vierlingsbeek beschreven. In hoofdstuk 3 worden de beide methoden van schadeberekening besproken. De parameterisatie van het model SWAP en van de TCGB-tabel komen aan de orde in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de rekenresultaten besproken. In hoofdstuk 6 volgt een discussie en in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Historische achtergrond

De grondwaterwinning Vierlingsbeek is begonnen in 1965. Het pompstation had een vergunning voor het onttrekken van maximaal 3.000.000 m³/jaar.

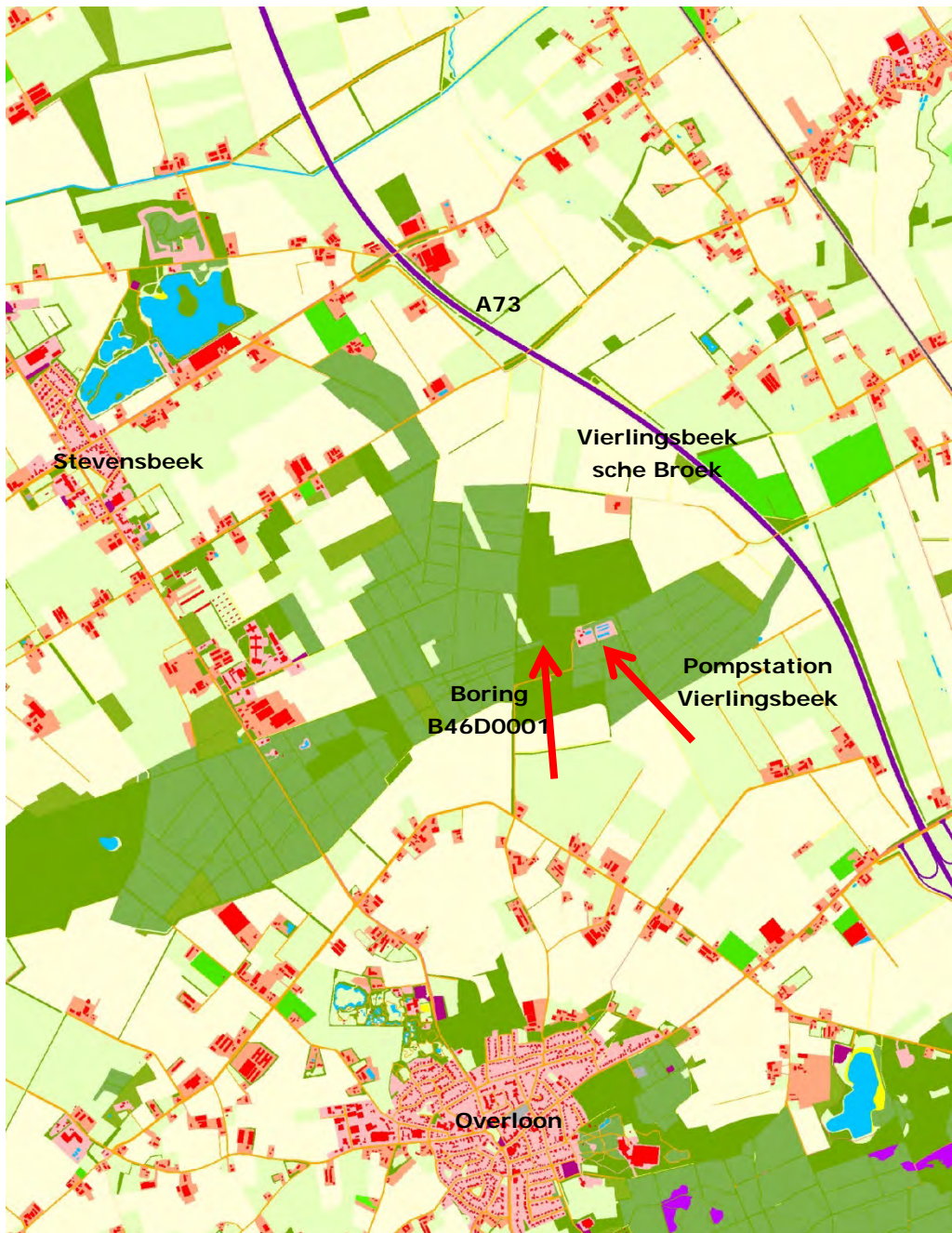
In het voorjaar van 2003 hebben 29 grondgebruikers uit de omgeving van het pompstation Vierlingsbeek, op grond van art. 37 van de toenmalige Grondwaterwet, bij Gedeputeerde Staten van de provincie Noord-Brabant een verzoek ingediend voor een onderzoek door de CDG naar de vermeende droogteschade als gevolg van de waterwinning Vierlingsbeek. De ACSG heeft deze aanvraag afgerond als een onderzoek ex artikel 7.19, lid 1 van de Waterwet. Het betrof de herziening van een eerdere droogteschaderegeling. Brabant Water heeft de winning Vierlingsbeek in augustus 2012 buiten bedrijf gesteld.

Nadat in de loop van 2012 ook de inventarisatie van het grondgebruik werd gecompleteerd, heeft de ACSG de schade per bedrijf berekend en haar ontwerpadvies in december 2012 uitgebracht aan partijen. Naar aanleiding van dit advies heeft de ACSG op 24 januari 2013 een voorlichtingsbijeenkomst voor partijen verzorgd. Men is tot 22 februari 2013 in de gelegenheid geweest om zienswijzen bij het ontwerpadvies in te dienen bij de ACSG. Een aantal betrokkenen heeft zijn zienswijze op 25 april 2013 toegelicht in een daartoe door de commissie belegde hoorzitting. Op de zitting is afgesproken dat belanghebbenden tot 1 augustus 2013 aanvullende gegevens ter onderbouwing van hun zienswijzen konden indienen. De commissie heeft de resultaten van de hoorzitting en de ingekomen zienswijzen inmiddels verwerkt en haar advies op 16 december 2013 uitgebracht.

Tevens heeft de ACSG aanvullend in 2013 van nog eens 23 landbouwers een verzoek om advies ontvangen. Voor deze groep heeft de ACSG een advies opgesteld dat op 5 juni 2014 is verzonden (<http://www.grondwater-cdg.nl>).

2.2 Locatie

Pompstation Vierlingsbeek ligt in de provincie Noord-Brabant ten westen van Vierlingsbeek en ten noorden van Overloon (coördinaten X=194300,Y=400750) (Figuur 1).



Figuur 1 Locatie pompstation Vierlingsbeek.

Het pompstation is gesitueerd in een bosgebied. Ten noorden en zuiden van dit bosgebied liggen landbouwgronden. De globale verdeling van het agrarisch landgebruik op basis van de BRP2012⁴ bedraagt globaal:

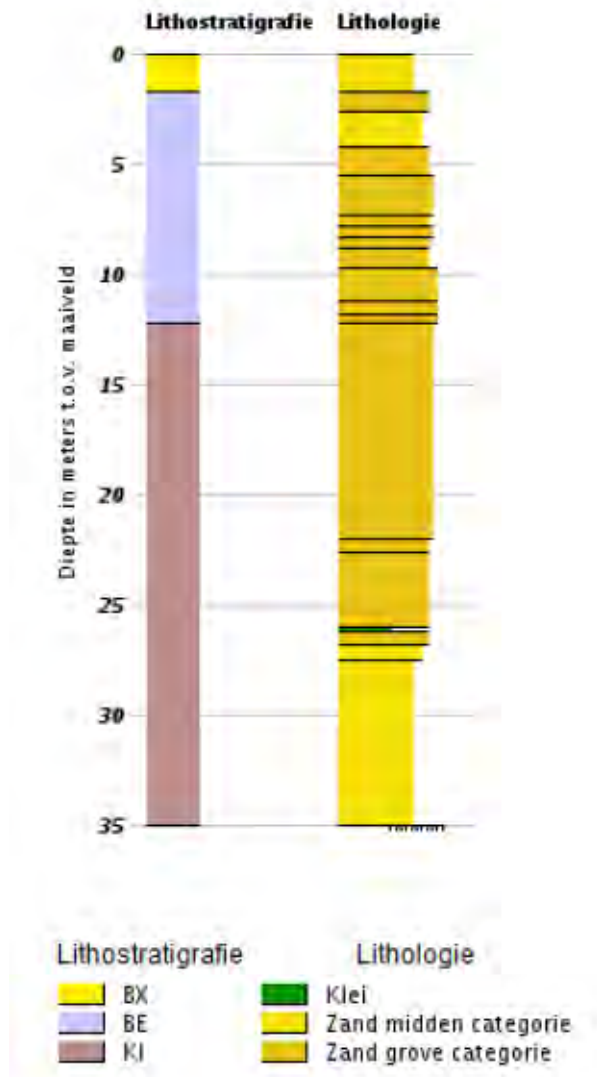
- Grasland (incl. graszoden) 33%
- Mais 28%
- Aardappelen en bieten 12%
- Boomkwekerij en bloembollen 11%
- Groente open grond 14%
- Granen 1%

⁴ BRP Basis Registratie Percelen.

De maaiveldhoogte van het onderzoeksgebied varieert van ca. 26 m + NAP in het zuidwestelijk deel (oude bouwlanden rondom Overloon) tot ca. 14 m + NAP in het noordoostelijke deel van het onderzoeksgebied (Vierlingsbeeksche Broek).

2.3 Geohydrologische opbouw

Het maaiveld ter plaatse van het pompstation ligt op ca. 19 m + NAP. De ondergrond nabij het pompstation bestaat tot ca. 35 m-maaiveld overwegend uit zandige afzettingen. In Figuur 2 is het boorprofiel van boring B46D0001 (Coördinaten X=194 150, Y=400 770 met maaiveld op 18,94 m + NAP) bij het voormalige pompstation Vierlingsbeek weergegeven.



Figuur 2 Lithostratigrafie⁵ en lithologie van boring B46D0001 pompstation Vierlingsbeek (<http://www.dinoloket.nl/>).

Slecht doorlatende kleilagen ontbreken; alleen op ca. 27 m-mv komt een dun kleilaagje voor. Het betreft een freatische winning. De onttrekkingsdiepte ligt tussen +10 - -10 m t.o.v. NAP; dit komt

⁵ BX: Formatie van Boxtel, BE: Formatie van Beegden, KI: Kiezeloollietformatie.

overeen met 9 – 29 m -maaiveld (Cattenstart, 1983). In dit traject komen zanden voor van de grove categorie behorende tot de Formatie van Beegden en Kiezeloölietformatie. Enkele kenmerken van deze formaties zijn weergegeven in Bijlage 1.

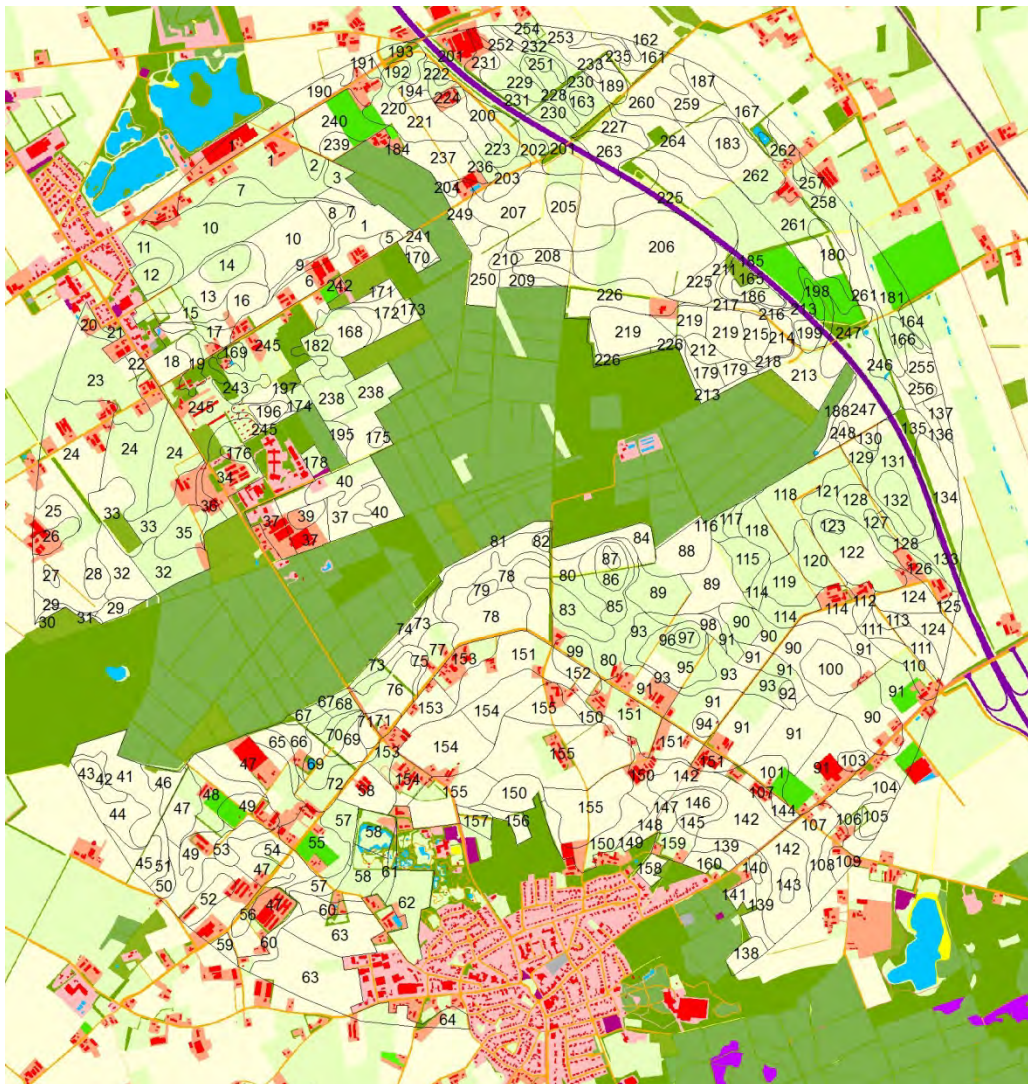
Voorafgaand aan de bouw van het pompstation heeft het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in 1958 een geohydrologisch onderzoek uitgevoerd. Als onderdeel van dit onderzoek is een pompproef uitgevoerd, waaruit de volgende bodemconstanten zijn afgeleid.

$$\text{Doorlaatvermogen (kD)} = 995 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\text{Spreidingslengte (\lambda)} = 90 \text{ m}$$

Omdat het een freatische winning betreft, is de spreidingslengte gering.

Door de onttrekking van grondwater wordt de grondwaterstand verlaagd; dit effect is uiteraard afhankelijk van de grootte van de onttrekking. De CDG heeft het door de winning beïnvloede gebied vastgesteld (gebied binnen de berekende lijn met een verlaging van 5 cm van de freatische grondwaterstand) bij een onttrekking van 2 800 000 m³/jaar. In Figuur 3 is de begrenzing van het invloedsgebied weergegeven, hierbij geven de vlakken bodemeenheden weer.



Figuur 3 Beïnvloedingsgebied (binnen de berekende lijn met een verlaging van de freatische grondwaterstand van 5 cm) van de winning Vierlingsbeek bij een onttrekking van 2 800 000 m³/jaar.

2.4 Bodemkundige beschrijving

In opdracht van de CDG heeft Alterra van oktober 2007 tot en met september 2008 een bodemkundig hydrologisch onderzoek uitgevoerd (schaal 1 : 25.000) op een groot aantal landbouwpercelen (ca. 1236 ha) binnen het beïnvloedingsgebied van de waterwinning Vierlingsbeek. Het onderzoek omvatte het vastleggen van de bodemgesteldheid, de huidige hydrologische situatie en het samenstellen van een vlakkenkaart van het beïnvloedingsgebied (Figuur 3). Het onderzoek moet de noodzakelijke gegevens opleveren om de TCGB-methode toe te kunnen passen voor de berekening van de droogte- en natschade.

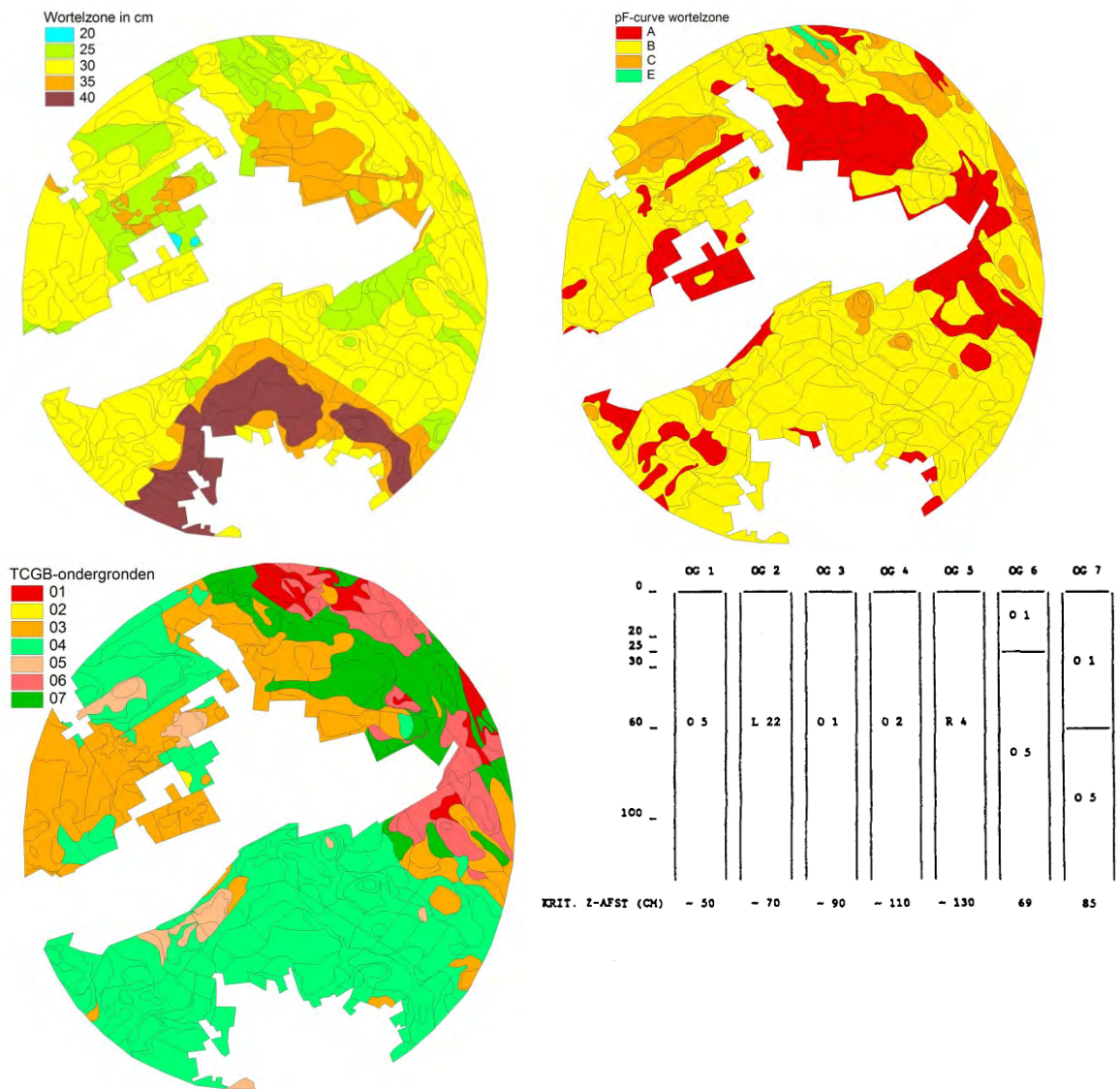
Voor het vastleggen van de bodemgesteldheid van de percelen is met behulp van een edelmanboor informatie verzameld over de bodemgesteldheid door aan bodemprofielmonsters (ca. 1 beschreven boring per 4 ha) de profielopbouw van de gronden tot aan GLG-niveau (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) of tot maximaal 2,50 m -mv te beschrijven. Voor elke onderscheiden horizont is de dikte, de aard van het materiaal, het organisch stofgehalte en de textuur (korrelgroottesamenstelling van de grondsoort) geschat. Per boring zijn de volgende gegevens vastgelegd:

- de subgroep volgens het systeem van bodemclassificatie, vastgelegd op basis van dikte, aard en opeenvolging van verschillende horizonten,
- bewortelbare diepte, effectieve wortelzone voor gras en eventueel bewerkingdiepte,
- organisch stofgehalte, leemgehalte, lutumgehalte en de mediaan (M50) van de zandfractie van de boven- en ondergrond,
- voorkomen van afwijkende materiaalsoorten, zoals lössleem⁶, grof zand en/of grind en moerig materiaal.

De boorpuntinformatie is omgezet in bodemkundige eenheden of vlakken; deze vlakken worden afgegrensd op basis van dikte, organisch stofgehalte, textuur van de bewortelbare laag en de profielopbouw. Binnen een vlak bestaat overeenkomst in dikte en aard van de bovengrond, de opbouw en samenstelling van de ondergrond en de huidige hydrologische situatie (Vroon en Brouwer, 2008).

Voor de toepassing van de TCGB-methodiek zijn de dikte van de effectieve wortelzone, pF-curve van de effectieve wortelzone en het type ondergrond (zie paragraaf 4.1.4) van belang (Figuur 4).

⁶ Lössleem is materiaal dat vooral in het pleniglaciaal is afgezet. Door smeltwater neemt het water zeer fijne delen op en deze komen tot bezinking in de terreindepressies. Soms wordt ook organische stof meegenomen. Het materiaal heeft in het algemeen een relatief laag lutumgehalte (delen < 2 µm) en een vrij hoge fractie silt (delen 2-50 µm). Het leemgehalte (deeltjes van 0-50 µm) kan variëren van ca. 30 tot meer dan 50%. Het materiaal is gelaagd (gespekt) en sterk anisotroop. De dikte varieert sterk en vaak komen meerdere lagen onder elkaar voor. De doorlatendheid is afhankelijk van het leemgehalte, organische stofgehalte en compactheid. In het algemeen is de verticale verzadigde doorlatendheid van de zandige lössleem (leemgehalte ca. 30-35%) slechts (1 tot 10 cm/dag) terwijl de zwaardere lössleem in het algemeen een zeer slechte (< 1 cm/dag) verticale verzadigde doorlatendheid heeft. Dit wordt nog versterkt indien er organische stof in aanwezig is.



Figuur 4 Bodemopbouw Vierlingsbeek, dikte wortelzone (linksboven), bodemfysische eigenschappen van de wortelzone (rechtsboven) en type ondergrond (linksonder).

De dikte van de effectieve wortelzone is overwegend 30 cm, rondom Overloon liggen oude bouwlanden met een dikkere wortelzone tot 40 cm, ten noorden van het bosgebied ligt een gebied met een dikte van de wortelzone van 35 cm. Verder liggen verspreid gebieden met een wortelzone met een dikte van 25 cm en soms iets geringer. De vochtbeschikbaarheid van de effectieve wortelzone in het onderzoeksgebied kan door 4 pF-curven (A, B, C en E) worden beschreven. Verder worden 7 typen ondergronden onderscheiden.

Uit veldonderzoek blijkt verder dat er in het midden en westelijk deel van het onderzoeksgebied veelvuldig weerstandbiedende lagen (veelal lössleem) in het ondiepe bodemprofiel voorkomen. Meestal betreft het een circa 40 cm dikke laag op een diepte van ongeveer 100 cm beneden maaiveld.

2.5 Grondwatertrappen

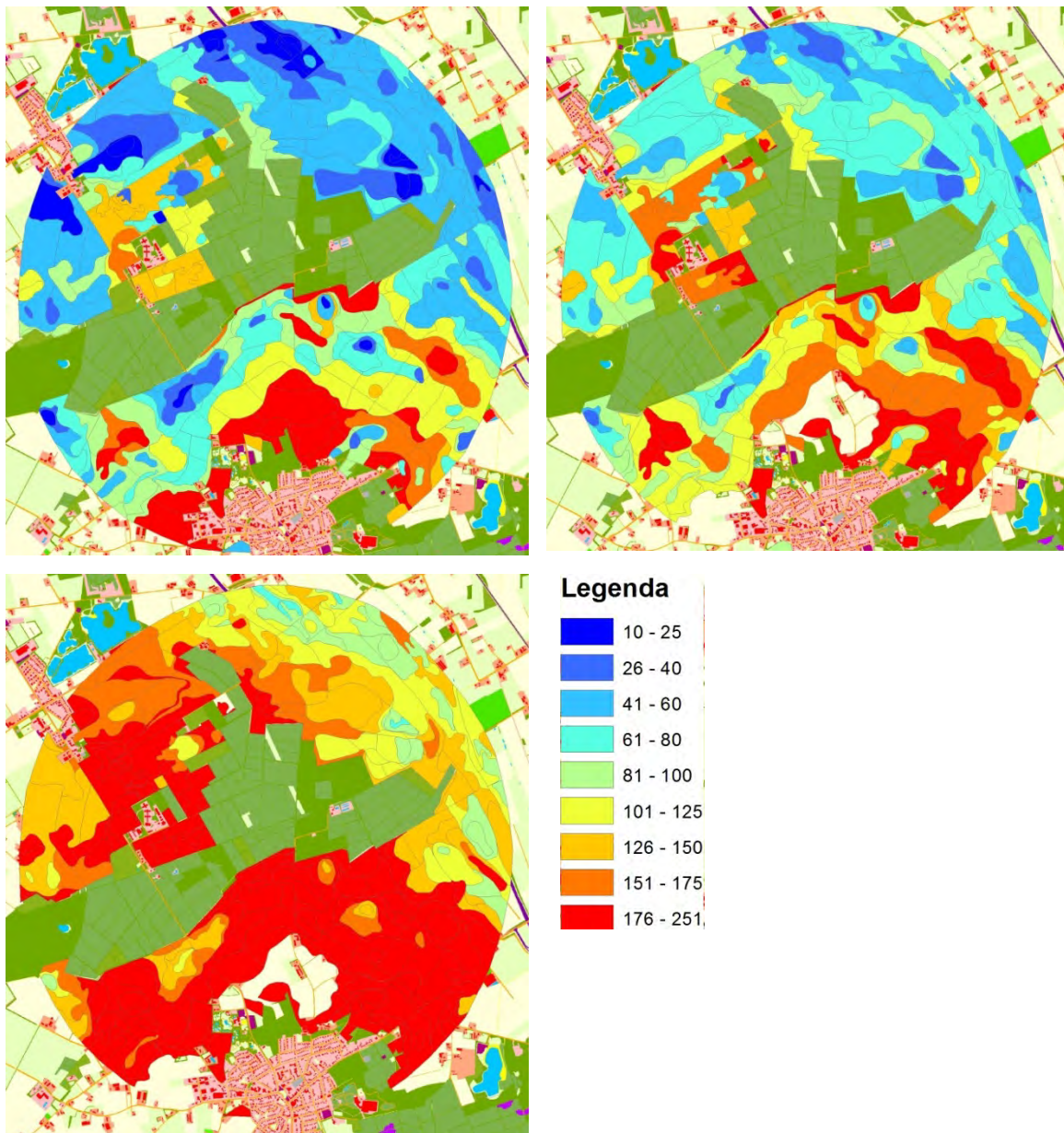
De grondwateronttrekking heeft invloed op de freatische grondwaterstand. De gebruikswaarde van gronden berust vooral op bodemfactoren, die sterk door de grondwaterstand en –fluctuatie worden beïnvloed, zoals het vochtleverend vermogen, de aëtie/ontwatering en de stevigheid van de bovengrond. De grondwaterstand op een bepaalde plaats varieert gedurende het jaar en tussen de

jaren. De grondwaterstandsfluctuatie varieert door verschil in grondsoort, profielopbouw, ont- en afwateringstoestand, grondwateronttrekkingen en neerslag en verdamping.

Het jaarlijks wisselende verloop van de grondwaterstand op een bepaalde locatie is te herleiden tot een regiemcurve. De top en het dal van de grondwaterregiemcurve geven het niveau aan tot waar de grondwaterstand gemiddeld in de winter stijgt (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, GHG) en in de zomer daalt (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, GLG).

De GHG en de GLG worden berekend door middeling van resp. de drie hoogste (HG3) en drie laagste (LG3) gemeten grondwaterstanden gemeten op de 14^e en de 28^e van elke maand van een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) over minimaal 8 aaneengesloten hydrologische jaren. Metingen in peilbuizen zijn echter beperkt beschikbaar; daarom worden in het veld de GHG en GLG geschat aan de hand van veldkenmerken. De schatting van het GHG-niveau is gebaseerd op hydromorfe kenmerken en overige veldkenmerken. Om de geschatte GHG- en GLG-waarden zo goed mogelijk te onderbouwen, zijn in de meeste boorgaten (na ca. één of meerdere dagen insteltijd) de grondwaterstanden gemeten. De geschatte GHG- en GLG-waarden zijn getoetst aan langjarige gegevens. Verder zijn de GHG- en GLG-schattingen ook getoetst aan de hand van controlemetingen en aan gemeten grondwaterstanden in tijdelijke buizen die Alterra in het gebied heeft geplaatst (Vroon en Brouwer, 2008).

Naast de GHG en de GLG is de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) bepaald; deze geeft de grondwaterstand aan het begin van het groeiseizoen op 1 april. De GVG wordt berekend uit de GHG en de GLG met de relatie $GVG = 5,4 + 0,83 \cdot GHG + 0,19 \cdot GLG$. Kaarten voor de GHG, GVG en GLG bij een onttrekking van 2 800 000 m³/jaar zijn weergegeven in Figuur 5.



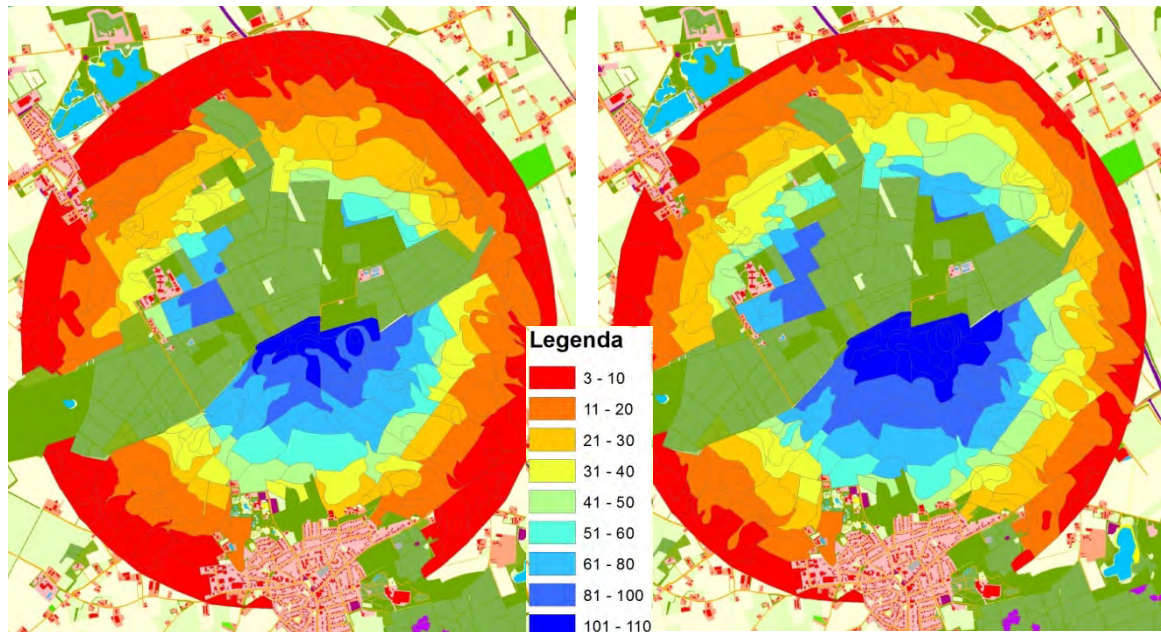
Figuur 5 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG, linksboven), Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG, rechtsboven) en Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG, linksonder).

De in het midden en westelijk deel van het onderzoeksgebied veelvuldig voorkomende weerstand-biedende lagen (veelal lössleem) in het ondiepe bodemprofiel veroorzaken op veel plaatsten schijngrondwaterspiegels of, wanneer de weerstandbiedende lagen dieper in het profiel worden aangetroffen, een verschil in stijghoogte onder en boven de weerstandbiedende laag. Met het schatten van de GxG's is hiermee rekening gehouden.

2.6 Verlaging freatische grondwaterstand

De in paragraaf 2.5 gepresenteerde GHG, GVG en GLG gelden ingeval er 2 800 000 m³ water per jaar wordt onttrokken. Om schadeberekeningen te kunnen uitvoeren, dient ook de GxG bekend te zijn ingeval er geen water wordt onttrokken. Hiervoor zijn door de CDG de verlaginglijnen van de freatische grondwaterstand als gevolg van de winning aangeleverd. Alterra heeft met behulp van deze verlaginglijnen de verlaging van de GxG per bodemvlak vastgesteld. Omdat er in delen van het gebied sprake is van weerstandbiedende lagen, heeft Alterra de reducerende invloed van weerstandbiedende lagen in het ondiepe bodemprofiel op de verlaging van de grondwaterstand

gekwantificeerd (Vroon, 2010) aan de hand van informatie uit boorbeschrijvingen, zoals de aard, samenstelling en de dikte van de weerstandbiedende deklaag (Vroon en Brouwer, 2008). Gebiedsdekkende informatie over de drainageweerstand is ontleend aan het onderzoek 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' (Van der Gaast *et al.*, 2006). De verlagingenbeelden, vertaald naar bodemvlakken, zijn weergegeven in Figuur 6. De ACSG heeft de bodemkundige en hydrologische gegevens van het onderzoek door Alterra verwerkt en, samen met de berekende verlagingen, gebruikt bij de vaststelling van de opbrengstdepressies per bodemvlak.



Figuur 6 Verlaging GHG (links) en GLG (rechts) toegekend aan bodemvlakken⁷.

⁷ De begrenzing van het beïnvloedingsgebied wordt bepaald door de berekende verlaginglijn van 5 cm. Vervolgens wordt voor de bepaling van de verlaging van de GHG en de GLG rekening gehouden met ondiepe weerstandbiedende lagen, zoals lössleem. Hierdoor kan de verlaging per bodemvlak lager uitvallen dan 5 cm.

3 Methode schadeberekening

3.1 TCGB-methode

Met de introductie van de computer bij de berekening van landbouwschade is de schadeberekening steeds verder gedetailleerd en gedifferentieerd. Hierdoor werd het geheel zeer complex, vrij arbeidsintensief en fout-gevoelig. Hoewel de nauwkeurigheid van de uitkomsten toenam, werd de betrouwbaarheid van de uitkomst in hoofdzaak bepaald door de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de invoergegevens. Op basis van de aanbevelingen uit het LAGO-rapport (COGROWA, 1984) is de werkwijze van de landbouwschadeberekeningen vereenvoudigd en doorzichtiger gemaakt, zonder de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid geweld aan te doen. Voor de schadecategorie grasland op zandgronden, die het merendeel van de schadegevallen omvat, is een tabel ontwikkeld waarin de opbrengstvermindering door grondwaterstandsverlaging voor een groot aantal zandprofieltypen, grondwaterstandsverlopen en meteorologische omstandigheden zijn opgeslagen. Deze tabel wordt de 'TCGB-tabel' genoemd. In de TCGB-tabel worden 251 profieltypen onderscheiden; deze zijn opgebouwd uit 30 bovengronden, bestaande uit combinaties van 6 dikten voor de wortelzone en 5 pFcurven, en 11 ondergronden (5 homogene ondergronden en 6 gelaagde ondergronden). Voor deze 251 standaardprofielen zijn voor de periode 1911-1986 voor 85 grondwaterstandsverlopen de opbrengstdepressies voor grasland berekend met het model MUST2. Voor de meteorologische gegevens is gebruik gemaakt van decadecijfers van meteostation De Bilt.

Om de TCGB-tabel toe te passen zijn o.a. de volgende invoergegevens noodzakelijk:

- Dikte effectieve wortelzone
- pF-curve effectieve wortelzone
- Ondergrondtype
- GVG
- GLG.

In Figuur 7 staat een deel van de TCGB-tabel weergegeven.

- 125 -

DEPRESSIE-TABEL T.C.G.B.

DROOGTEGRAAD JAREN

pF-CURVE WORTELZONE: 8

DIKTE WORTELZONE (cm) 30

GVG	GLG	ONDERGROND 10										ONDERGROND 11										ONDERGROND														
		droogtegraad X overschrijdingskans										droogtegraad X overschrijdingskans										droogtegraad X overschrijdingskans														
		1	2	5	10	20	33	50	67	80	90	95	GEM	1	2	5	10	20	33	50	67	80	90	95	GEM	1	2	5	10	20	33	50	67	80	90	95
20	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
90	90	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	29	20	9	3	1	0	0	0	0	0	0												
110	110	15	11	4	0	0	0	0	0	0	0	1	43	37	28	14	8	4	2	0	0	0	0	5												
130	130	25	20	14	4	1	0	0	0	0	0	2	48	41	32	18	12	7	4	1	0	0	0	7												
150	150	35	30	24	9	4	1	0	0	0	0	3	52	45	37	23	14	10	6	3	0	0	0	9												
170	170	43	38	30	16	9	5	2	0	0	0	6	56	48	40	26	17	12	8	4	1	0	0	11												
190	190	49	44	37	22	14	9	5	2	1	0	9	59	50	41	27	19	14	10	5	2	0	0	12												
40	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1												
90	90	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	30	20	9	3	1	0	0	0	0	0	3												
110	110	15	11	4	0	0	0	0	0	0	0	1	43	38	28	14	8	4	2	0	0	0	0	6												
130	130	25	21	14	4	1	0	0	0	0	0	2	48	41	33	19	12	7	4	1	0	0	0	7												
150	150	34	31	24	10	4	1	0	0	0	0	3	53	46	37	22	14	10	6	3	1	0	0	10												
170	170	43	40	31	16	10	5	3	1	0	0	6	57	49	40	26	17	13	9	5	1	0	0	12												
190	190	51	45	37	23	15	9	6	3	1	0	9	59	52	42	30	19	14	11	6	2	1	0	13												
210	210	56	50	41	26	17	12	8	4	2	1	12	62	54	43	31	21	15	12	7	3	1	0	14												
230	230	60	53	43	27	20	15	10	6	3	2	13	65	55	45	31	21	17	13	8	3	1	0	15												
250	250	64	55	45	29	24	17	13	8	5	3	16	66	57	47	32	23	18	14	8	4	2	0	16												

Figuur 7 Voorbeeld van de TCGB-tabel.

In de volgende situatie:

Dikte effectieve wortelzone	= 30 cm,
pF-curve effectieve wortelzone	= B,
Ondergrondtype	= 11,
GVG	= 20 cm,
GLG	= 110 cm.

Bedraagt de gemiddelde opbrengstdepressie voor droogteschade (gras) in een gemiddeld jaar 5%.

Daalt als gevolg van de winning de grondwaterstand, waarbij:

GVG	= 40 cm
GLG	= 150 cm

dan neemt de gemiddelde opbrengstdepressie in een gemiddeld jaar toe naar 10%. De grondwater-onttrekking veroorzaakt in dit geval een toename van de droogteschade van 5%. In deze studie wordt geen aandacht besteed aan natschade en deze wordt daarom niet nader beschouwd.

De meteorologische omstandigheden van De Bilt, gebruikt bij het afleiden van de TCGB-tabel, zijn slechts voor een beperkt gebied geldig. De meteorologische omstandigheden in andere regio's zijn via de zogenaamde droogtegraad aan die van De Bilt te relateren en daarmee aan de opbrengstdepressies in de TCGB-tabel. De droogtegraad van een bepaald jaar wordt vaak uitgedrukt in het percentage overschrijdingskans van het neerslagoverschot; bij de TCGB-tabel wordt de droogtegraad uitgedrukt in het percentage overschrijdingskans van de MCVO-waarde (Maximaal Cumulatief Verdampings-Overschot); dit is de maximale toename van het potentieel verdampingsoverschot (Bouwmans, 1990).

Bij regionale toepassing voor lokale meteorologische condities dient men eerst de maximale toename van het cumulatief verdampingsoverschot (MCVO) voor het betreffende jaar te bepalen. Via het berekende MCVO wordt de opbrengstdepressie bepaald bij een overeenkomstige MCVO-waarde van De Bilt. Hierbij wordt impliciet aangenomen dat de opbrengstdepressie door vochttekort op een bepaald profiel bij dezelfde MCVO-waarde in heel Nederland hetzelfde is (Bouwmans 1990).

De langjarig gemiddelde opbrengstdepressie komt veelal overeen met een waarde tussen een droogtegraad van 33% en 50%.

Het gemiddelde potentieel productieniveau is naast de groeifactor water eveneens sterk afhankelijk van bedrijfseconomische factoren zoals veebezetting, maai- en weideschema, bemesting, graslandverzorging, etc. Het gemiddelde potentieel productieniveau voor gras is tussen 1957 – 1980 gestegen van 11 000 kg ds/ha naar 13 500 kg ds/ha. Vanaf 1980 wordt gerekend met een gemiddeld potentieel productieniveau van 13 500 kg ds/ha; dit komt overeen met een meeropbrengst van 30,1 kg.ds/(ha.mm). De meeropbrengst per mm water is niet constant maar varieert, afhankelijk van het productieniveau, van 20 tot 50 kg droge stof per hectare. Dit betekent dat in een jaar met een hoge potentiële verdamping ook de potentiële productie en de meeropbrengst in kg.ds per mm water hoger is. Voor de omrekening van verdampingsreductie naar opbrengstreductie is gebruik gemaakt van het programma PROD.EXE, gebaseerd op berekeningsexperimenten die door Van Boheemen (1981) zijn samengevat (Bouwmans 1990).

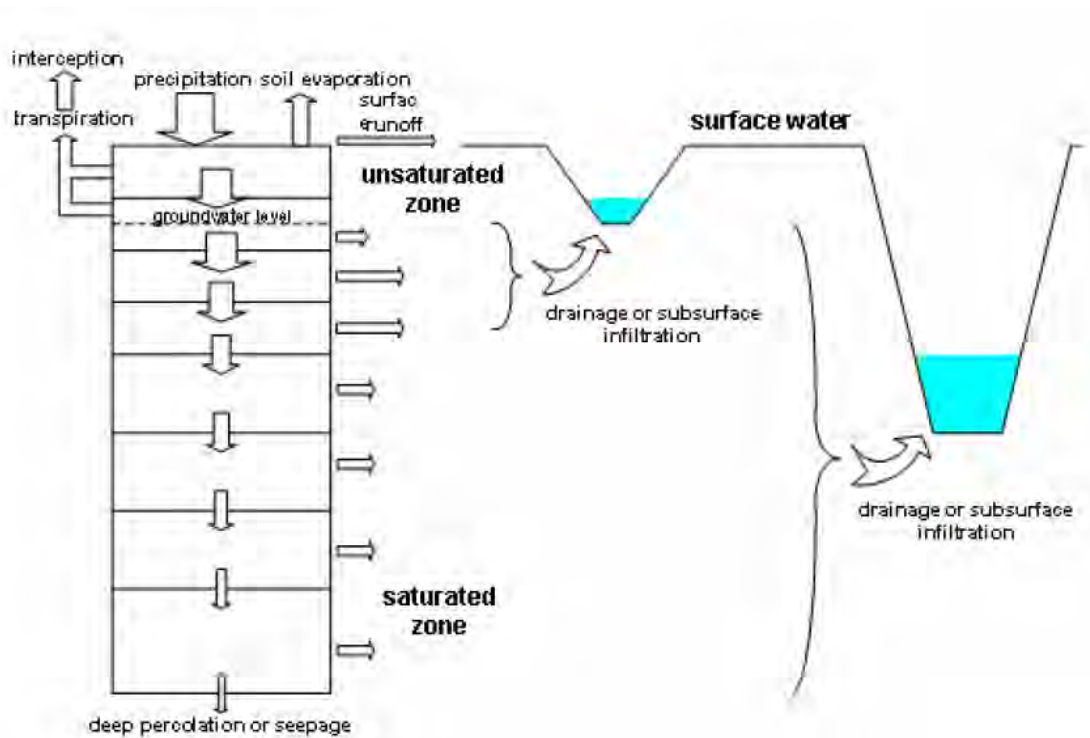
Hierbij dient te worden opgemerkt dat het programma PROD.EXE en de methodiek verouderd zijn en niet meer kunnen worden toegepast.

In de berekeningen met het model MUST2 die ten grondslag liggen aan de TCGB-tabel, wordt geen directe interactie met het oppervlaktewater meegenomen; deze interactie is verwerkt in de onderrand waarvoor een $q(h)$ -relatie is gebruikt.

Door de uitvoering van een bodemkundig-hydrologisch onderzoek worden in het veld de gegevens verzameld om de TCGB-tabel te kunnen toepassen.

3.2 Modelberekeningen met SWAP

SWAP is een één-dimensionaal hydrologisch model dat het transport van water in de bodem beschrijft. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Richards-vergelijking (Kroes *et al.*, 2009). De neerslag en verdamping op dagbasis vormen de bovenrandvoorwaarde voor het model. Het model kent een groot aantal mogelijke onderrandvoorwaarden, zoals een opgelegde grondwaterstand of een opgelegde kwel/infiltratieflex. Het model kent tevens verschillende opties voor de bovenrand, zoals dynamische interactie met een gewasgroeimodel (WOFOST) alsook een vereenvoudigde gewasgroeimodule; in deze studie is de vereenvoudigde gewasgroeimodule gebruikt. De bodem is geschematiseerd in een aantal lagen, waaraan een vocht karakteristiek ($\theta(h)$) en een doorlatendheidskarakteristiek ($k(h)$) worden toegekend. Verder kan de relatie met het oppervlaktewater worden meegenomen. In Figuur 8 is schematisch een SWAP-profiel weergegeven.



Figuur 8 Schematische weergaven van een SWAP-kolom.

Om de vergelijking met de TCGB-methode zo zuiver mogelijk te maken is SWAP uitgebreid zodat kan worden gerekend met een $q(h)$ -relatie als onderrand die gelijk is aan de onderrand van het model MUST2 dat voor de TCGB-tabellen is gebruikt. Dit betekent voor de modelberekeningen dat voor elk door te rekenen bodemvlak twee $q(h)$ -relaties moeten worden gezocht, namelijk voor de situatie zonder grondwaterwinning en met grondwaterwinning. De twee $q(h)$ -relaties dienen dusdanige grondwaterstandreeksen op te leveren dat de hieruit afgeleide GxG zo goed mogelijk overeenkomt met respectievelijk de GxG, zoals deze is gekarteerd (bij onttrekking), en met de GxG voor de situatie zonder onttrekking.

Met SWAP wordt de potentiële en actuele evapotranspiratie berekend gedurende het groeiseizoen. De evapotranspiratie wordt opgesplitst over verschillende verdampingsvormen, zoals bodem-, en gewasverdamping (Kroes *et al.*, 2009). De verdampingsreductie is berekend op basis van de ratio tussen de actuele en potentiële gewasverdamping voor het groeiseizoen. Voor de omzetting van verdampingsreductie naar opbrengstreductie is dezelfde methodiek gehanteerd als bij de MUST/TCGB-methode (zie paragraaf 3.1).

4 Parametrisatie SWAP

4.1 Rekenperiode

De GxG die bij bodemkundig-hydrologisch onderzoek is vastgesteld, heeft betrekking op de periode 1997 -2007, de berekeningen met SWAP hebben eveneens betrekking op deze periode. Voor alle onderscheiden bodemvlakken worden twee berekeningen uitgevoerd, namelijk de situatie met grondwateronttrekking en zonder grondwateronttrekking.

4.2 Meteo

De berekeningen voor de TCGB-tabel zijn uitgevoerd met meteorologische gegevens van het KNMI-station De Bilt voor de periode 1911-1986. Hierbij is gerekend voor afzonderlijke groeiseizoenen die lopen van 1 april tot 1 oktober, waarbij voor elk jaar de uitgangsgroundwaterstand op 1 april gelijk is aan de GVG. Ook is gerekend met tijdstappen van 10 dagen.

Voor de modelberekeningen met SWAP is onderscheid gemaakt tussen de berekeningen voor vier proefvlakken en de berekeningen voor het hele beïnvloedingsgebied van de waterwinning Vierlingsbeek. Voor de proefvlakken is zowel gerekend met lokale meteo-informatie alsook met De Bilt en voor het beïnvloedingsgebied is De Bilt gebruikt. Voor de lokale meteo is het meteostation Volkel (station 375) gebruikt. SWAP rekent met tijdstappen van 1 dag. Wel is steeds gerekend voor groeiseizoenen en is de beginwaarde van de grondwaterstand op 1 april gelijk genomen aan de GVG.

De jaren waarvoor is gerekend, zijn door de ACSG gekarakteriseerd naar droogtegraad (overschrijdingskans van de MCVO-waarde), wateroverlastfactor en MCVO (Tabel 2).

Tabel 2

GEM jaar als gemiddeld bepaald voor de jaren 2005 en 2006.

Jaar	Droogtegraad	Wateroverlastfactor	MCVO (interpolatie)	
1997	68	0.59	115	
1998	94	2.07	68	
1999	49	1.08	137	
2000	90	1.23	73	
2001	60	1.80	127	
2002	94	1.10	68	
2003	7	0.47	260	Extreem droog
2004	62	0.89	122	
2005	72	0.64	106	} GEM-jaar
2006	14	1.13	210	
2007	84	1.41	84	
Gemiddeld		1.00	124	

Het droogste jaar uit de rekenreeks is 2003, dat als een 7% droog jaar kan worden geclassificeerd. De TCGB onderscheidt ook nog het zogenaamde GEM-jaar, dit staat voor het langjarig gemiddelde en is niet gelijk aan een jaar met een droogtegraad van 50%, maar komt overeen met een droogtegraad ergens tussen de 33-50%. Om het GEM-jaar enigszins te benaderen is in overleg met de opdrachtgever gekozen om de jaren 2005-2006 te middelen.

4.3 Gewas

Wateropnamefunctie Feddes

De TCGB-tabel is afgeleid voor het gewas gras. Ook de berekeningen met SWAP zijn uitgevoerd voor het gewas gras. Voor de berekening van de verdamping van gras is de wateropname functie voor gras volgens Feddes gebruikt (Kroes *et al.*, 2009), waarbij vrijwel niet wordt gerekend met wateroverlast door de drukhoogtecriteria van de wateropnamefunctie (Box 1).

Wateropname functie volgens Feddes voor gras

HLIM1 = 0.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U = -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L = -1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H = -200.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L = -800.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4 = -8000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]

Box 1 *Wateropname functie volgens Feddes.*

Om de verdampingsreductie als gevolg van wateroverlast uit te schakelen zijn de waarden HLIM2U en HLIM2L (Box 1) op -1cm gezet. Dit betekent dat het gewas, zodra de vochtspanning (HLIM1) in de wortelzone negatief wordt, optimaal begint te verdampen. Voor de relatief droge vochttoestand van de wortelzone worden afhankelijk van de atmosferische vraag twee functies beschreven. Bij een hoge atmosferische vraag (5 mm/d) begint droogteschade te ontstaan bij een vochtspanning kleiner dan -200 cm (HLIM3H), terwijl bij een lage atmosferische vraag (1 mm/d) de droogteschade begint vanaf een vochtspanning kleiner dan -800 cm (HLIM3L). In beide gevallen neemt de droogteschade vervolgens lineair toe bij kleinere waarden voor de vochtspanning. Bij een vochtspanning van -8000 cm (HLIM4) wordt aangenomen dat er geen onttrekking van vocht meer door het gewas plaatsvindt.

Voor de berekeningen met MUST en SWAP zijn identieke waarden gebruikt voor HLIM3H en HLIM3L

Leaf Area Index

De berekeningen met SWAP zijn, conform de MUST-berekeningen, uitgevoerd met een constante Leaf Area Index (LAI) met een waarde van 3 voor een 4-tal geselecteerde vlakken om de vergelijking zo optimaal mogelijk te laten zijn (Bijlage 4).

Voor de definitieve berekeningen van het gehele pilotgebied is rekening gehouden met het management van de boer door uit te gaan van 4 sneden en een gemiddelde beweiding.

4.4 Bodem

De geïnventariseerde bodemkundige, bodemfysische en hydrologische gegevens worden gebruikt om het opbrengstniveau (gras) van de onderscheiden kaartvlakken te bepalen.

Bij de bepaling van de opbrengstdepressie van gras door vochttekort met de TCGB-tabel gaat men er vanuit, dat de hoeveelheid vocht die de plant opneemt, geleverd wordt door:

- de hoeveelheid opneembaar vocht in de effectieve wortelzone;
- de aanvulling van de vochtvoorraad in de effectieve wortelzone door neerslag tijdens het groeiseizoen;
- de hoeveelheid vocht die door capillair transport vanuit het grondwater via de onverzadigde ondergrond naar de onderkant van de effectieve wortelzone wordt aangevoerd.

Voor de berekeningen met het model SWAP is onderscheid gemaakt tussen een bovengrond en een ondergrond evenals bij de berekeningen met het model MUST. De bovengrond komt overeen met de

effectieve wortelzone, terwijl met de ondergrond het gedeelte van het bodemprofiel wordt bedoeld dat direct onder de effectieve wortelzone begint.

Effectieve wortelzone (bovengrond)

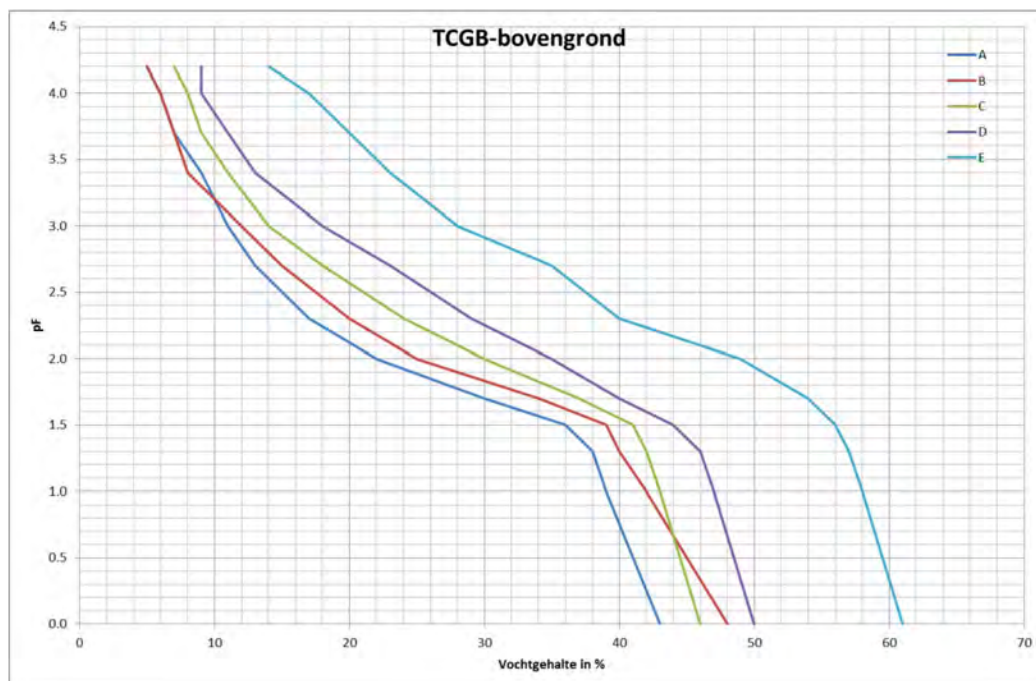
Voor de effectieve wortelzone zijn aard en dikte van de humushoudende bovengrond bepalend. De effectieve wortelzone wordt gedefinieerd als het gedeelte van de bovengrond, waarin 80% van de wortelmasa aanwezig is (Rijtema, 1971).

Door de grote verscheidenheid in dikten van de effectieve wortelzone heeft de TCGB de dikte van deze zone ingedeeld in de volgende zes standaard-eenheden: 15, 20, 25, 30, 35 en 40 cm. Deze standaard-dikten zijn vastgesteld voor weidebouw (Bouwmans, 1990).

Vochtkarakteristieken van de effectieve wortelzone (bovengrond)

De voorraad opneembaar bodemvocht in de effectieve wortelzone is afhankelijk van de dikte van deze laag en van de hoeveelheid beschikbaar vocht per decimeter grond. De hoeveelheid beschikbaar vocht in de effectieve wortelzone wordt gekarakteriseerd door gebruik te maken van een schema op basis van een reeks standaardvochtkarakteristieken uit Krabbenborg (1983). Er is een relatie vastgesteld tussen de aard (afhankelijk van het bodemtype), granulaire samenstelling (textuur) en het organische stofgehalte enerzijds en het percentage vocht bij diverse vochtspanningen anderzijds. Met deze relatie kan aan de effectieve wortelzone van elk kaartvlak een gemiddelde vochtkarakteristiek worden toegekend.

Voor de opzet van de TCGB-tabel worden vijf pF-curven onderscheiden (A t/m E), tijdens het bodemkundig-hydrologisch onderzoek is aan elk bodemvlak een pF-curve toegekend (Figuur 4).



Figuur 9 $\theta(h)$ -relaties uit TCGB-rapport voor wortelzone.

Voor berekeningen met SWAP is de dikte van de effectieve wortelzone en de pF-curve overgenomen (Bouwmans, 1990, Figuur 9). SWAP vraagt naast een pF-curve ook om een doorlatendheids-karakteristiek voor de wortelzone, in overleg met Vroon zijn de volgende $k(h)$ relaties gelegd tussen de TCGB-code wortelzone en de Staringreeks (Tabel 3).

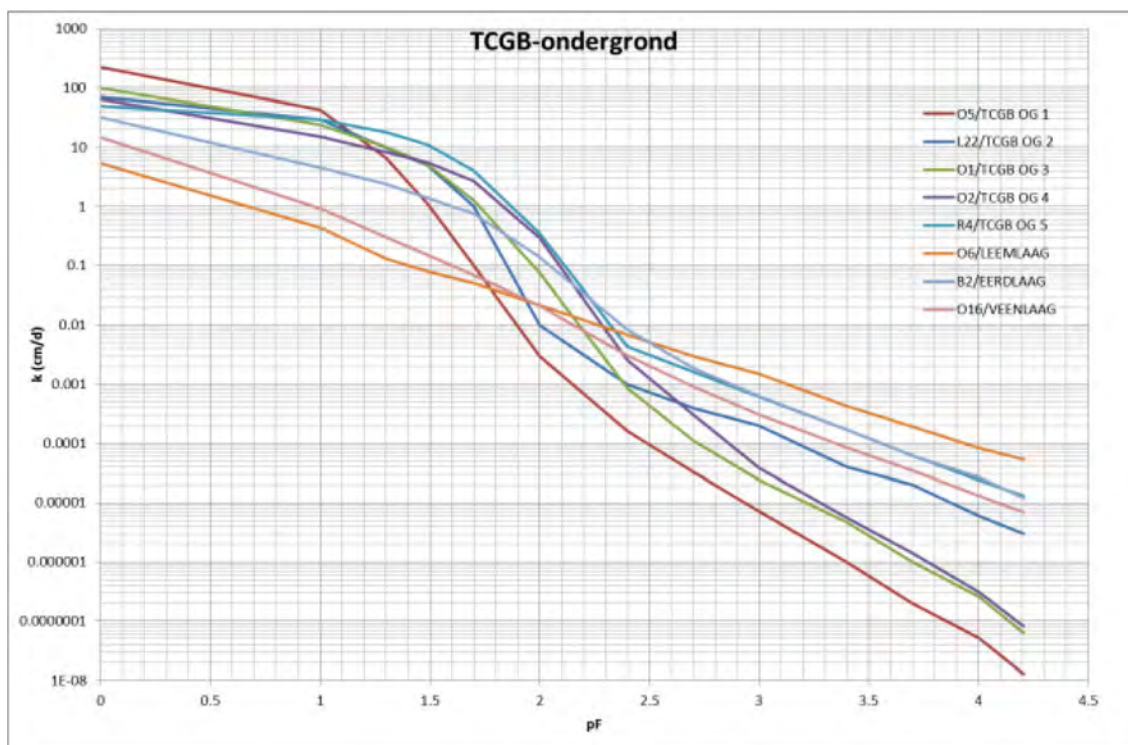
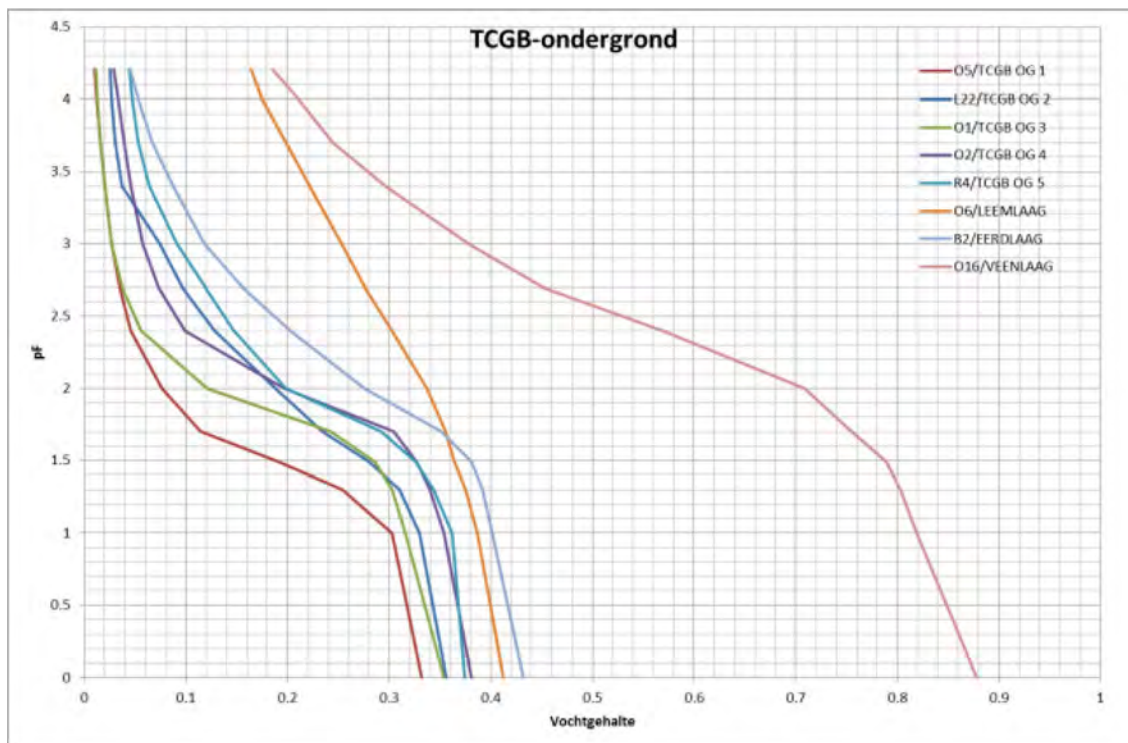
Tabel 3

TCGB-code wortelzone met overeenkomstige Staringreekscode.

TCGB-code	Staringreekscode
A	B1
B	B2
C	B3
E	B15

Ondergrond

Naast het vochthoudend vermogen van de effectieve wortelzone is ook de bijdrage vanuit het grondwater van belang. Bepalend hiervoor is de afstand van de onderkant van de effectieve wortelzone tot het grondwater en het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond. Het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond wordt bepaald door de $k(h)$ -relaties van de verschillende lagen in de ondergrond. Voor het bepalen van het capillair geleidingsvermogen wordt uitgegaan van de $k(h)$ -relaties die door Wösten *et al.* (1987) bepaald zijn voor een aantal ondergrondbouwstenen. Als maat voor het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond wordt de kritieke z -afstand gebruikt. Hieronder verstaat men de maximale afstand tussen het grondwater en de onderkant van de effectieve wortelzone, waarover een bepaalde vochtstroom (flux) nog mogelijk is. Er wordt aangenomen dat een flux van 2 mm/dag als aanvulling van de vochtvoorraad in de wortelzone in Nederland meestal toereikend is om een gewas optimaal te laten groeien (Van Soesbergen *et al.*, 1986). Door variatie in diepte en dikte van de bodemlagen bestaat een grote verscheidenheid aan ondergrondtypen. Deze ondergrondtypen kunnen echter ten aanzien van capillaire eigenschappen en vochtleverantie een grote mate van overeenkomst vertonen. Op grond hiervan heeft de TCGB voor zandgronden een standaardreeks samengesteld van in totaal elf ondergrondtypen (OG 1 t/m OG 11). Een ondergrond is opgebouwd uit 1, 2 of 3 horizonten (Figuur 4). Voor elke horizont is een bouwsteencode van de Staringreeks gegeven (Bouwmans, 1990). Voor de berekeningen voor de TCGB-tabel zijn acht Staringreeksbouwstenen gebruikt, waarvan de $k(h)$ en $\theta(h)$ -relaties in Figuur 10 zijn weergegeven.



Figuur 10 $\theta(h)$ - (boven) en $k(h)$ - (onder) relaties ondergrond (onder).

Bij de toedeling van de ondergronden naar één van de elf standaard-ondergrondtypen is gebruik gemaakt van het door De Laat (1972) ontwikkelde rekenmodel VPOS. Dit model wordt gebruikt voor het berekenen van de onverzadigde stroming in pseudo-stationaire toestand van gelaagde bodemprofielen. Om de onderscheiden ondergrondtypen in de standaard-ondergrondtypenreeks te kunnen onderbrengen, zijn de uitkomsten (VPOS) van de kritieke z-afstanden en de vochtdeficieten bij een flux van 2 mm/dag en 1 mm/dag in de VPOS-tabellen met elkaar vergeleken. Vervolgens zijn op basis van onderlinge verwantschap alle ondergrondtypen vertaald naar één van de elf standaard-ondergrondtypen (Stolp en Vroon, 1990). Het ruimtelijk beeld van de ondergronden binnen het invloedsgebied met het bijbehorende bodemprofiel en bodemfysische eenheid staat weergegeven in Figuur 4.

Voor de berekeningen met SWAP is uitgegaan van dezelfde profielopbouw en bodemfysische eigenschappen als bij de berekeningen voor de TCGB tabel.

4.5 Onderrand

Voor de TCGB-tabel is het grondwaterstandsverloop in een bepaald jaar berekend uit de GVG, de GLG en een lineaire of exponentiële relatie tussen grondwaterstand en afvoer. De GVG is daarbij ieder jaar als een vaste initiële grondwaterstand genomen, terwijl de LG3 variabel is, met dien verstande dat de gemiddelde LG3 over de rekenperiode (meestal 30 jaar) zo goed mogelijk overeen moet komen met de GLG (nauwkeurigheid kan in cm worden opgegeven).

De exponentiële relatie tussen grondwaterstand en afvoer is hiermee een gecombineerde zij- en onderrand in de vorm van :

$$Q_w = A_1 e^{A_2 W} + A_3$$

Hierin is:

Q_w = basisafvoer in cm/dag

W = grondwaterstandsdiepte in cm –mv

A_1, A_2, A_3 = parameters exponentiële Q_w -relatie

Bij het bodemkundig-hydrologisch onderzoek zijn de GxG-waarden voor de situatie met en zonder grondwaterwinning afgeleid. In SWAP ontbrak aanvankelijk de gecombineerde onderrandkeuze zoals hierboven besproken; daarom is SWAP aangepast om alsnog met deze onderrandkeuze te kunnen rekenen.

Optional extension of lower boundary option for q/h (swbotb=4 AND swqbot=1):

The relation between q_{bot} and ϕ_{avg} can be given as an exponential relation or as a table (Manual, paragraaf 2.8.2, option swbotb=4).

The exponential relationship is now formulated as:

$$q_{bot} = a_{qbot} \exp\left(b_{qbot} \left| \phi_{avg} \right| \right) + c_{qbot}$$

where a_{qbot} (cm d⁻¹) and b_{qbot} (cm⁻¹) and c_{qbot} (cm d⁻¹) are empirical coefficients.

The parameter c_{qbot} was added to allow upward seepage which may be especially relevant in situations with shallow groundwater levels.

Implemented as follows:

- Input of new variable cofqhc as additional flux (similar to MUST).
- Input with rdinqr(cofqhc) in subr readswap. Flux added in subr boundbottom using separate switch swcofqhc (set in subr readswap).
- Should not be used in combination with lateral drainage. Not/poorly protected, so only for expert-use.

Box 2 Modelimplementatie van gewijzigde q/h relatie.

Om het gewenste grondwaterstandsverloop te bepalen is per bodemvlak een geautomatiseerde kalibratie uitgevoerd m.b.v. PEST om de parameters A_1 , A_2 , A_3 resp. a_{qbot} , b_{qbot} en c_{qbot} te bepalen.

5 Berekening opbrengstderving

De TCGB-tabel is opgesteld in de jaren 80 op basis van berekeningen met het hydrologische model MUST2, op dat moment een state of the art model. Sindsdien zijn de ontwikkelingen voortgeschreden, dit heeft geresulteerd in:

- grotere beschikbaarheid van data, zoals gedetailleerde bodemfysische data (Staringreeks, Priapus), gedetailleerde meteodata naar ruimte en tijd, enz.,
- verdere ontwikkeling van modellen, een voorbeeld is het model SWAP, waarvan met grote regelmaat nieuwe updates verschijnen,
- ontwikkeling van nieuwe modelconcepten, m.b.t. verdamping, vorst, gewasontwikkeling.

Bij de aanvang van het project was het uitgangspunt om de parametrisatie van SWAP zo goed als mogelijk in overeenstemming te brengen met de oorspronkelijke MUST2-berekeningen voor de TCGB-tabel. Uit de eerste berekeningen bleek de droogteschade soms lager uit te vallen dan hetgeen is berekend met behulp van de TCGB-methode.

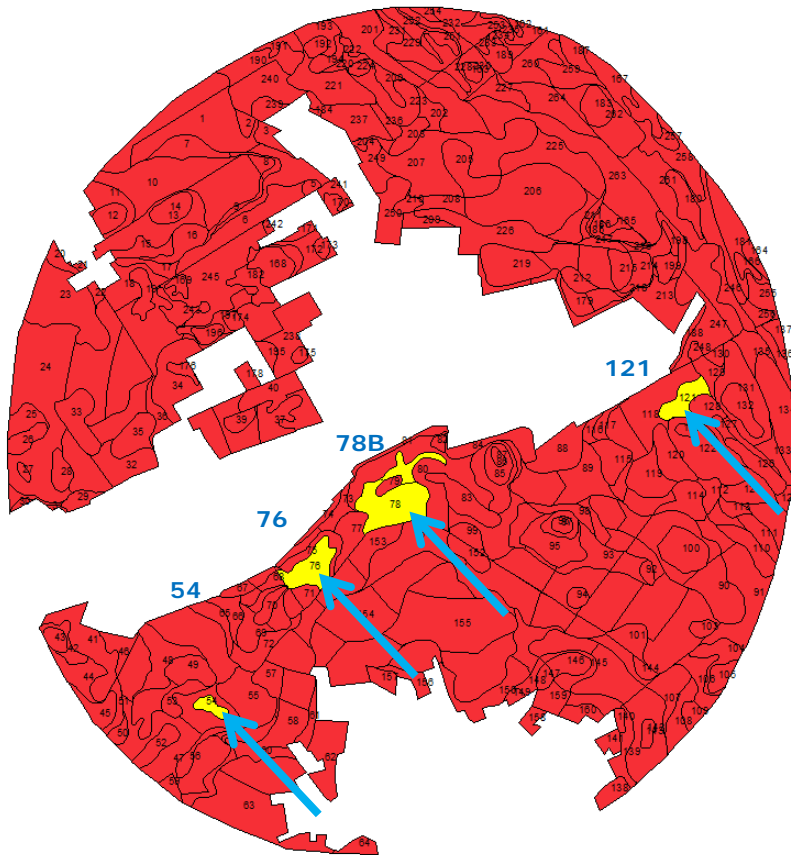
Om de oorzaken van de verschillen te achterhalen is allereerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor vier geselecteerde bodemvlakken. Het doel van de gevoeligheidsanalyse is om het effect van het verschil in uitgangspunten zoals gehanteerd in de jaren 80 bij de samenstelling van de TCGB-tabel te vergelijken met de huidige modelleerpraktijk met SWAP. De volgende uitgangspunten zijn nader onderzocht:

- meteogegevens op dagbasis en op decadebasis,
- lokale meteodata versus meteodata De Bilt,
- LAI constant of variabel,
- bodemfysica op basis van tabellen of m.b.t. Mualem Van Genuchten parameters (Kroes *et al.*, 2009),
- wel of geen hysteresis.

De resultaten van deze analyse zijn besproken met de opdrachtgever en staan weergegeven in Bijlage 4. In de volgende paragrafen worden allereerst de resultaten van gevoeligheidsanalyse samengevat, gevolgd door de modelberekeningen met SWAP en tot slot volgt een vergelijking tussen de TCGB-methode en SWAP. Bij vergelijking van de resultaten van SWAP met de TCGB-tabel, betreft het een vergelijking van de resultaten inclusief nabewerking met het programma PROD.

5.1 Gevoeligheidsanalyse voor vier proefvlakken

Om de gevoeligheid te testen zijn vier proefvlakken geselecteerd, die onderling verschillen in mate van beïnvloeding door de winning, deze neemt af van 78B, het meest beïnvloed, gevolgd door de proefvlakken 76 en 54. Deze drie vlakken hebben dezelfde bodemopbouw. Hier is vlak 121 aan toegevoegd met een afwijkende bodemopbouw (Figuur 11).



Figuur 11 Locatie van de geselecteerde proefvlakken.

Voor de vier geselecteerde proefplekken zijn allereerst referentieberekeningen uitgevoerd voor de beïnvloede en onbeïnvloede situatie met de volgende uitgangspunten:

- Rekenperiode 1997-2007,
- Rekenen per zomerperiode van 1 april tot 1 oktober,
- Grondwaterstand op 1 april gelijk aan de GVG,
- Meteostation De Bilt en meteogegevens op decade basis,
- Landgebruik is grasland met constante LAI (=3,0),
- Kalibreren q(h)-relatie met PEST op basis van de GLG voor de zomerperiodes van 1997-2007,
- Startwaarde q(h)-relatie van de onderrand gelijk aan Oostelijk Noord-Brabant (rug) (Bijlage 4).

De berekende transpiratie-reducties zijn weergegeven in Tabel 4 als rekenkundig gemiddelde over de periode 1997-2007, zowel als relatieve transpiratie ($T_{rel} = T_{act}/T_{pot}$) en ook als reductie in T_{rel} (Stress in %) door het procentuele verschil te bepalen tussen de onbeïnvloede en de beïnvloede situatie.

Tabel 4

Berekende reducties in transpiratie voor de 4 proefvlakken in Vierlingsbeek, gepresenteerd als gemiddelde voor de periode 1997-2007.

Proef- vlak	Case	GLG_obs (cm)	GLG_sim (cm)	Tpot (mm)	Tact (mm)	Droogte stress ⁸ (%)	Droogte toename (%)
121	beïnvloed	-147	-147	316	265	15.0	8.0
121	onbeïnvloed	-106	-106	316	291	7.0	
54	beïnvloed	-186	-186	316	302	4.0	1.7
54	onbeïnvloed	-158	-158	316	308	2.3	
76	beïnvloed	-171	-171	316	311	1.5	1.5
76	onbeïnvloed	-86	-86	316	273	0.0	
78B	beïnvloed	-258	-258	316	289	7.9	5.4
78B	onbeïnvloed	-166	-166	316	307	2.5	

Uit Tabel 4 kan worden afgeleid dat de met behulp van de gekalibreerde q(h)-relatie (PEST) berekende GLG goed overeenkomt met de vastgestelde GLG van het betreffende kaartvlak. De verschillen tussen de gekarteerde GLG (GLG_obs) en de berekende GLG (GLG_sim) zijn te verwaarlozen. Omdat wordt gerekend met hetzelfde gewas gras voor dezelfde periode is de potentiële transpiratie voor alle situatie gelijk aan 316 mm als gemiddelde voor de periode april tot en met september. De berekende actuele transpiratie verschilt door verschillen in hydrologische uitgangssituatie en mate van beïnvloeding door de winning. In Tabel 4 is de droogtestress weergegeven. De grootste droogteschade als gevolg van de winning wordt berekend voor proefvlak 121. Voor de overige drie vlakken met dezelfde bodemopbouw wordt voor het vlak met de grootste invloed van de winning de grootste droogteschade berekend, voor de andere twee vlakken is de droogteschade vrijwel gelijk.

Vervolgens is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij steeds één verandering is doorgevoerd als variant op de referentieberekening die is weergegeven in Tabel 4.

Een overzicht van de eigenschappen van de gevoeligheidsanalyse is gegeven in Tabel 5.

Tabel 5

Overzicht van eigenschappen van varianten waarvoor een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd.

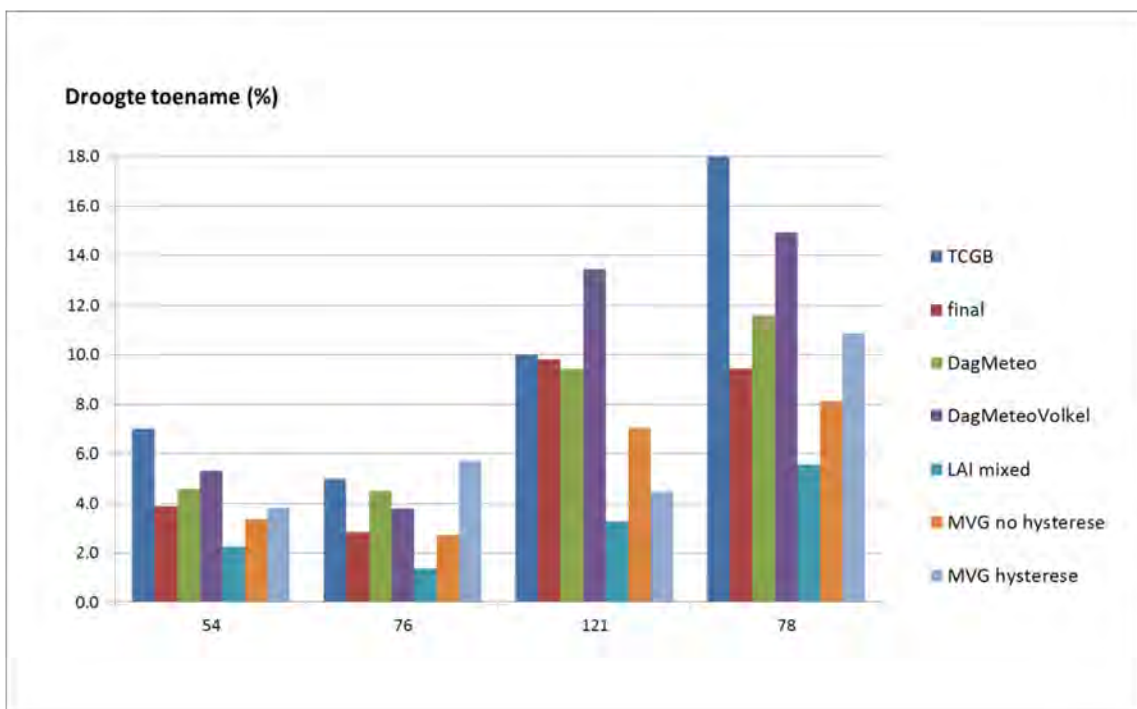
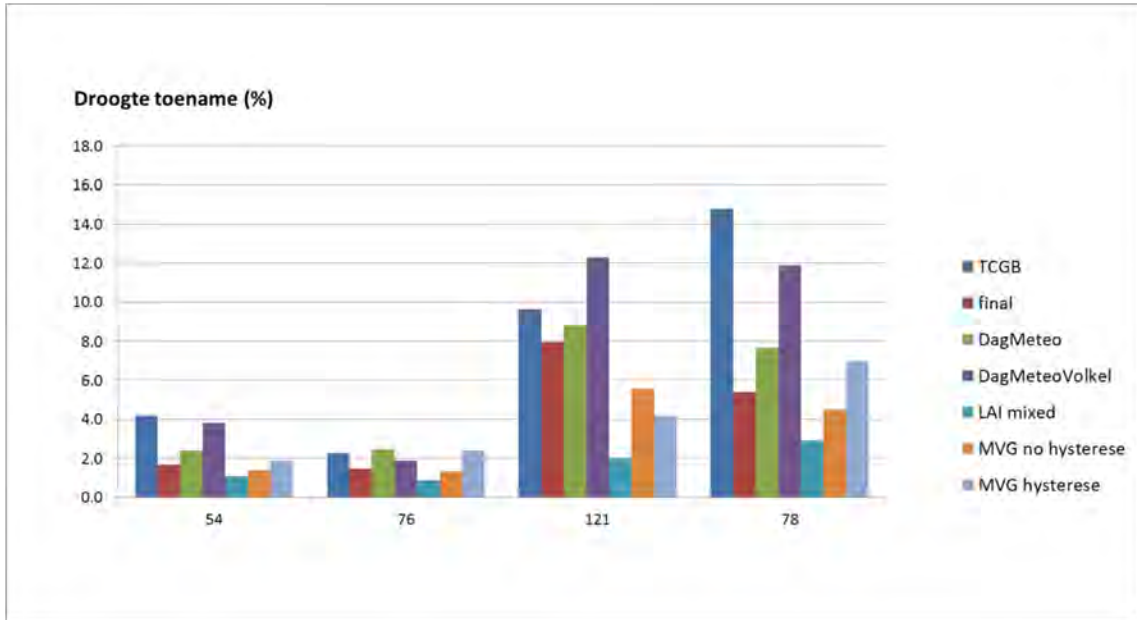
Variant	Referentie (Tabel 4)	Variant (Bijlage 4, Tabel B4.5)
DagMeteo	Decadecijfers voor neerslag en verdamping	dagcijfers
DagMeteoVolk	Meteo data van De Bilt	Meteo data van Volk
LAI mixed	LAI constant en gelijk aan 3	LAI varieert
MVG no hysteresis	Tabellen voor bodemfysische relaties	Mualem Van Genuchten (MVG) parameters om bodemfysische relaties te beschrijven
MVG hysteresis	Geen hysteresis	MVG parameters gecombineerd met hysteresis

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn gegeven in Figuur 12 als rekenkundig gemiddelde over de periode 1997-2007 en als het resultaat voor het GEM-jaar (gemiddelde 2005 en 2006). Voor meer uitgebreide informatie wordt verwezen naar Tabel B4.5 in Bijlage 4. Ter vergelijking van de resultaten zijn tevens de droogteschades volgens de TCGB-tabel en volgens de referentieberekening (final) opgenomen.

Het gebruik van dagelijkse meteo (DagMeteo) leidt in bijna alle gevallen, met uitzondering van vlak 121 voor de GEM-periode, tot een verhoging van de droogtestress in vergelijking met de

⁸ Droogtestress is niet gelijk aan de totale stress, de totale stress bestaat uit de som van droogtestress en natschade. In verband met de vergelijking met MUST2 is de natschade niet meegenomen.

referentieberekening. De berekening met dagelijkse lokale meteo laat zien dat de droogtestress, met uitzondering van vlak 76, verder toeneemt en voor sommige proefvlakken zelfs fors, zoals proefvlak 78 (zie DagMeteoVolkel in Bijlage 4 Tabel B4.5 en Figuur 12). Door gemengde LAI, om effect management van de boer in rekening te brengen, en MVG-parameters vermindert de droogtestress. Daarnaast stijgt door de introductie van hysteresis⁹ de droogtestress. Combinatie van tabellen met hysteresis is niet mogelijk waardoor hysteresis in twee stappen is geïntroduceerd. De daarbij gehanteerde MVG-parameters komen uit de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1994) en zijn een benadering van de tabellen die in de referentietoestand zijn gebruikt.



Figuur 12 Voor 4 proefvlakken: resultaat gevoeligheidsanalyse SWAP: als rekenkundig gemiddelde over de periode 1997-2007 (boven) en als gemiddeld voor de GEM-periode 2005 en 2006 (onder).

⁹ De pF-curve voor drogende grond (desorptie) is anders dan voor natter wordende grond (adsorptie). De adsorptiecurve is bij eenzelfde vochtspanning veel droger dan bij de desorptiecurve. In Figuur 9 en 10 staan gemiddelde pF-curve weergegeven.

In overleg met de opdrachtgever is vervolgens besloten om af te zien van het uitgangspunt om de parametrisatie van SWAP volledig in overeenstemming te brengen met de oorspronkelijke MUST2-berekeningen voor de TCGB-tabel maar om state-of-the-art te rekenen met SWAP.

5.2 Modelberekeningen met SWAP

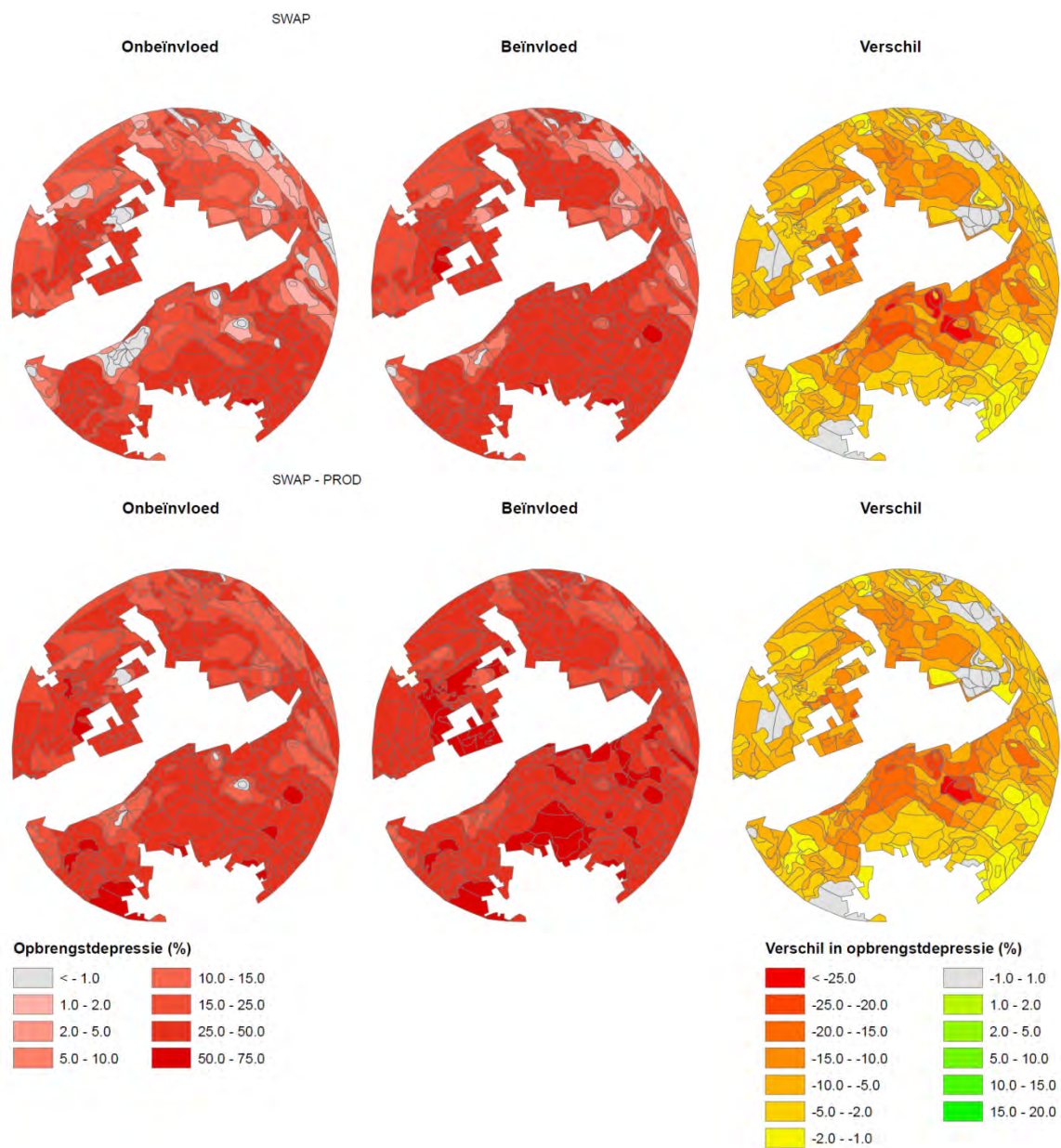
Bij de kartering van het invloedsgebied van de waterwinning Vierlingsbeek zijn 263 bodemvlakken onderscheiden. Met SWAP zijn voor alle vlakken twee berekeningen gemaakt voor de periode 1997-2007, namelijk voor de situatie met en zonder grondwateronttrekking. Er is alleen gerekend aan eventuele droogteschade van het gewas gras. De resultaten van de SWAP-berekeningen worden op twee manieren gepresenteerd, nl. :

- De transpiratie-reductie $(T_{pot}-T_{act})/T_{pot}$, verder aangeduid als SWAP,
- De reductie in gewasopbrengst berekend als nabewerking op de verdampingsreductie $(E_{pot}+T_{pot})-(E_{act}+T_{act})$, verder aangeduid als SWAP-PROD. De nabewerking is zo goed mogelijk uitgevoerd met het programma PROD gebaseerd op relaties tussen reductie van verdamping en opbrengst volgens Van Boheemen (1981), zie ook paragraaf 3.1.

De resultaten worden gepresenteerd voor een extreem droog jaar (2003) en voor een GEM-jaar dat wordt benaderd door het gemiddelde van de jaren 2005 en 2006.

5.2.1 Droogteschade Vierlingsbeek in extreem droog jaar 2003

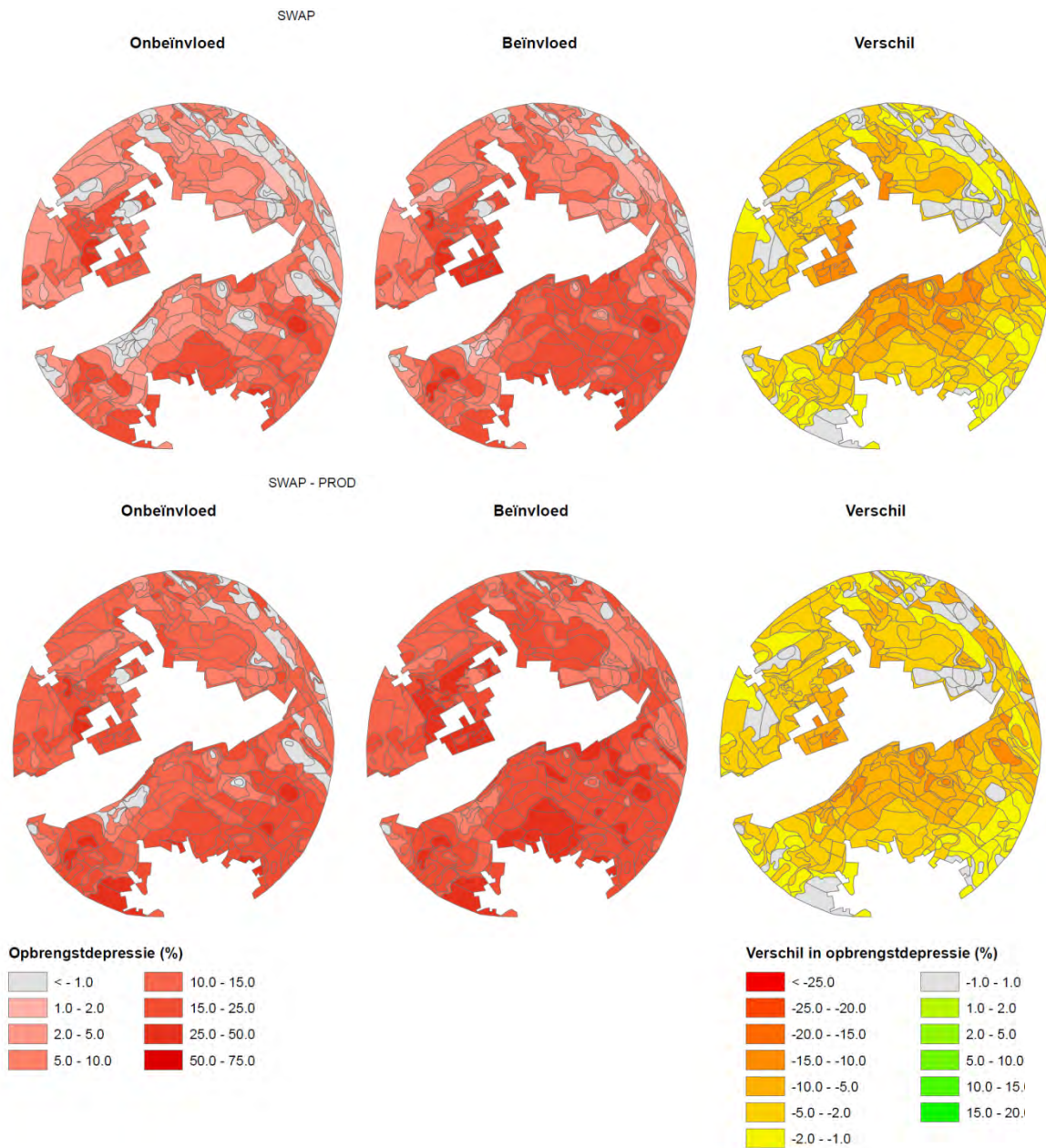
Het jaar 2003 is een 7% droog jaar met een MCVO van 260 mm. In Figuur 13 is de droogtestress in de situatie zonder grondwaterwinning en met grondwaterwinning weergegeven evenals het verschil tussen beide berekeningen. Het verschil kan worden toegekend aan de grondwaterwinning Vierlingsbeek.



Figuur 13 Droogtestress (%) in extreem droog jaar 2003 berekend met SWAP (boven) en SWAP-PROD (onder) voor de onbeïnvloede (links) en de beïnvloede (midden) situatie en het verschil tussen beide (rechts).

In het extreem droge jaar 2003 is er in zowel de situatie met als zonder winning sprake van droogtestress. De toename van de droogtestress als gevolg van de grondwateronttrekking is het grootst nabij het centrum van de onttrekking. De verschillen in droogtestress op basis van transpiratie (SWAP) en op basis van droge stof productie (SWAP-PROD) komen redelijk overeen.

5.2.2 Droogtestress Vierlingsbeek in GEM jaar(2005-2006)



Figuur 14 Droogtestress (%) in GEM jaar berekend met SWAP (boven) en SWAP-PROD (onder) voor de onbeïnvloede (links) en de beïnvloede (midden) situatie en het verschil tussen beide (rechts).

Ook in het benaderde GEM jaar (Figuur 14) is er in zowel de situatie met als zonder winning voor de meeste bodemvlakken sprake van droogtestress. Het verschil is wederom het grootst nabij het centrum van de onttrekking. De verschillen in droogtestress op basis van transpiratie (SWAP) en op basis van droge stof productie (SWAP-PROD) komen voor SWAP-PROD iets lager uit.

5.3 Vergelijking TCGB-methode en SWAP

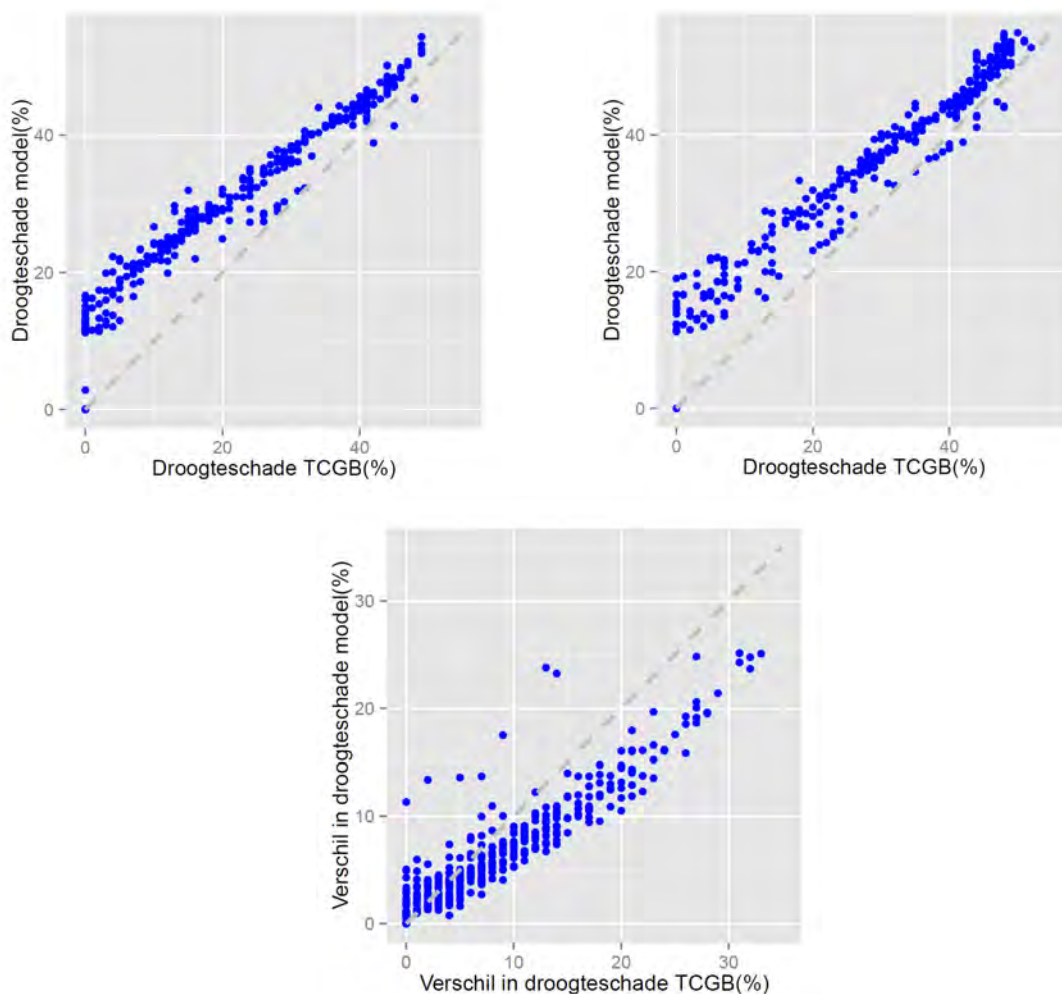
Om de SWAP berekeningen te kunnen vergelijken met de TCGB-methode heeft ACSG de droogtestress berekend met de TCGB-tabel, waarop tevens de nabewerking met PROD is toegepast, beschikbaar gesteld voor deze studie. De droogtestress met de TCGB-tabel is berekend voor zowel het zogenaamde GEM-jaar en voor het extreem droge jaar 2003. Om beide methoden te vergelijken zijn twee typen figuren gemaakt, nl:

- Scatterplot: hierbij is de droogteschade berekend met model x uitgezet tegen droogteschade berekend met model y. Hierbij wordt elk bodemvlak als punt gevisualiseerd.
 - Boxplot: geeft een visualisatie van *spreiding* van de berekende droogteschade¹⁰.
- In gebieden met een diepe GLG (>1m-mv) is de capillaire nalevering naar de wortelzone van ca. 30 cm dikte gering, voor deze gebieden mag worden verwacht dat de opbrengstreducties gering zijn, daarom zijn deze apart beschouwd.

5.3.1 Extreem droog jaar 2003

Voor het extreem droge jaar 2003 is de droogteschade berekend met model SWAP-PROD hoger dan de droogteschade berekend met de TCGB-tabel (zie grijze 1 op 1 lijn in Figuur 15 linksboven en rechtsboven).

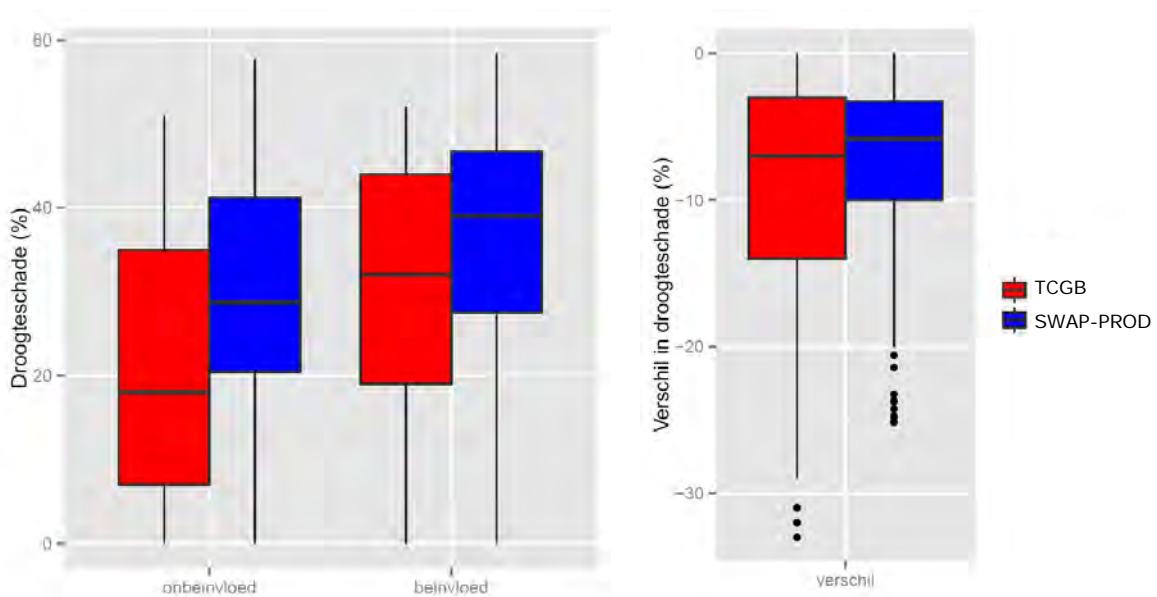
Het verschil in berekende droogteschade tussen de situaties onbeïnvloed en beïnvloed is groter bij toepassing van de TCGB-tabel dan bij toepassing van het model.



Figuur 15 Vergelijking droogteschade voor 2003 voor situatie onbeïnvloed (linksboven), beïnvloed (rechtsboven) en het verschil gedefinieerd als beïnvloed – onbeïnvloed (onder) berekend met TCGB vs. SWAP-PROD (blauw).

¹⁰ De boxplot (Figuur 16) is een grafische weergave van de vijf-getallensamenvatting, waarbij de vijf-getallen samenvatting bestaat uit het minimum, het eerste kwartiel, de mediaan (tweede kwartiel), het derde kwartiel en het maximum. De gekleurde box loopt van het eerste tot het derde kwartiel. De zwarte verticale lijn loopt van $1,5 \cdot$ kwartielfstand + eerste en derde kwartiel. De zwarte stippen geven de uitbijters in de reeks weer die zich buiten de begrenzing van de verticale lijnen bevinden.

In Figuur 16a en b is de spreiding van de berekende droogteschade voor het droge jaar 2003 weergegeven aan de hand van de TCGB-tabel, en de SWAP-PROD methode.



Figuur 16a Spreiding in droogteschade onbeïnvloed vs. beïnvloed voor 2003 berekend met TCGB (rood) en SWAP-PROD (blauw).

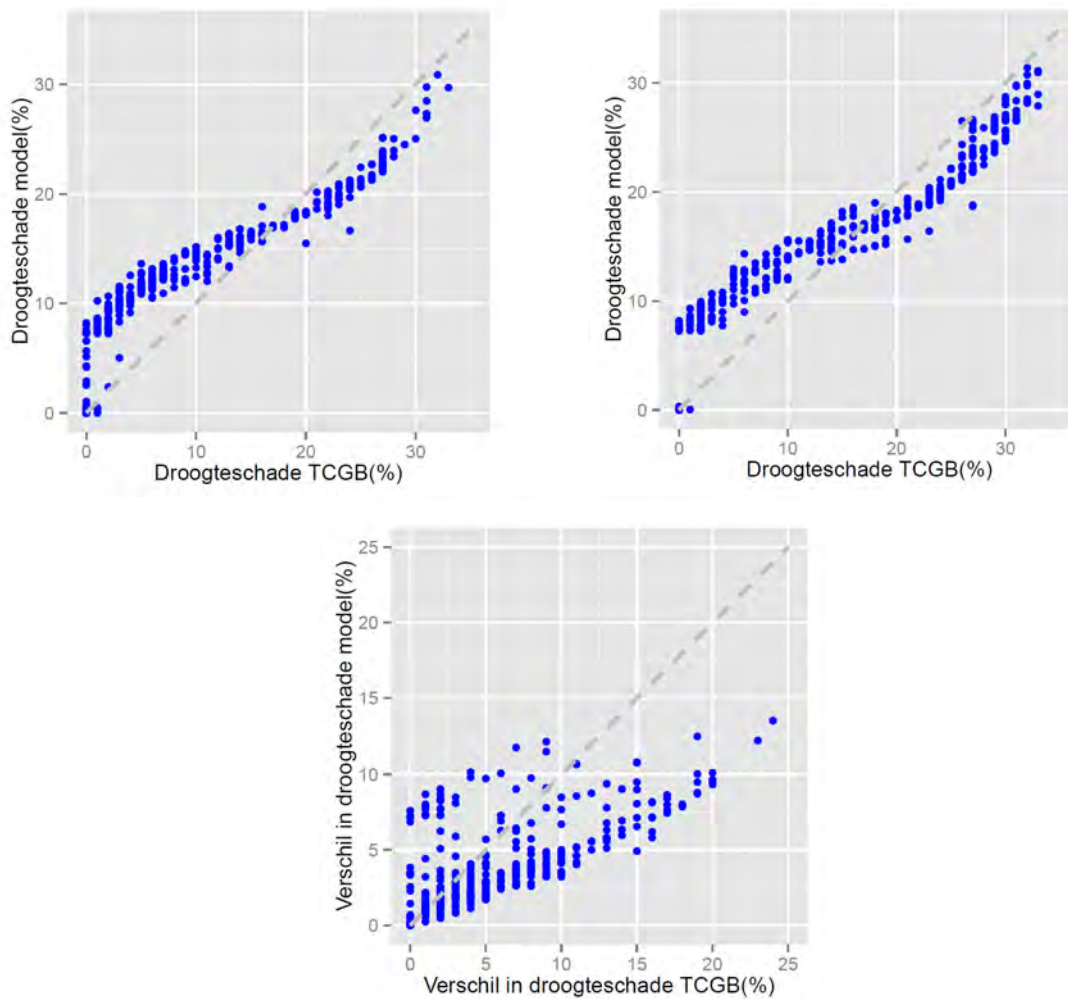
Figuur 16b Spreiding in verschil droogteschade (onbeïnvloed – beïnvloed) voor 2003 berekend met TCGB (rood) en SWAP-PROD (blauw).

De droogte schade bepaald met de TCGB-tabel valt lager uit dan berekend met SWAP-PROD; de mediaan voor SWAP-PROD is zowel in de onbeïnvloede situatie als beïnvloede situatie hoger dan de mediaan volgens de TCGB-tabel. Het totale bereik varieert voor de TCGB tussen 0-50% en voor SWAP_PROD van 0-58%. De breedte van het tweede en derde kwartiel is smaller voor berekende droogteschade met SWAP-PROD dan met de TCGB-tabel. Dit komt ook tot uiting in de berekende droogteschade als gevolg van de winning waarbij de mediaan van de schade volgens SWAP-PROD geringer en de breedte van het tweede en derde kwartiel volgens SWAP-PROD smaller is dan volgens de TCGB-methode. De meest extreme droogteschade wordt berekend met de TCGB-tabel, voor drie percelen worden droogteschades van meer dan 30% als gevolg van de drinkwaterwinning berekend voor 2003, terwijl de maximale droogteschade berekend met SWAP-PROD 25% bedraagt.

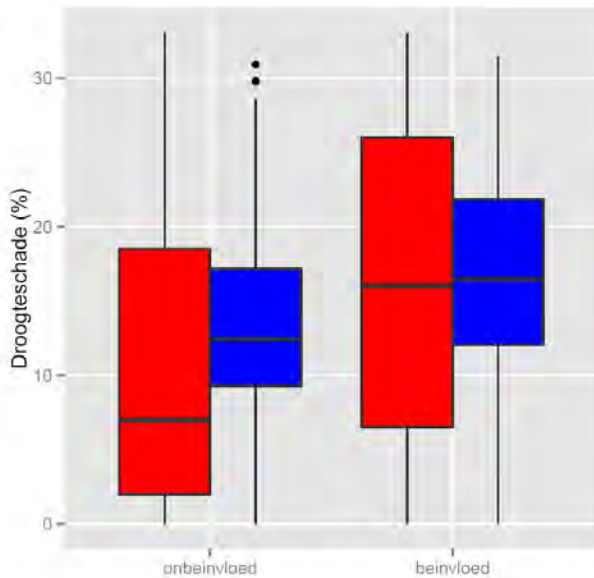
5.3.2 GEM-jaar (2005-2006)

In Figuur 17 linksboven en rechtsboven is te zien dat de droogteschade berekend met SWAP-PROD over het algemeen lagere waardes geeft voor de hogere schades ten opzichte van de droogteschade berekend met TCGB. Dit geldt zowel voor de situatie onbeïnvloed en beïnvloed door de drinkwaterwinning. Voor lagere schades zijn voor SWAP-PROD de berekende schades groter dan volgens de TCGB-tabel.

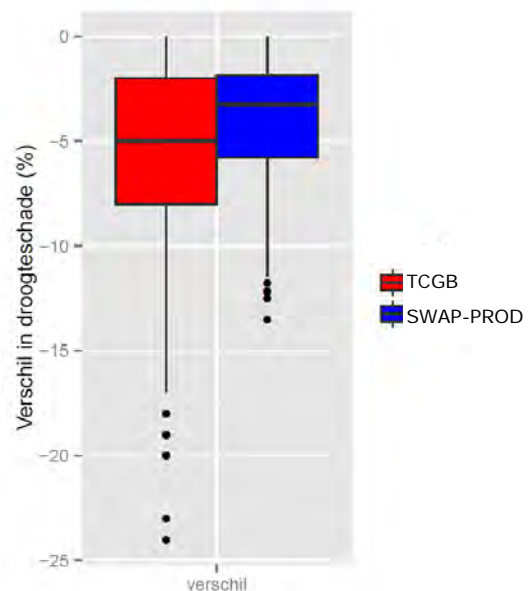
De spreiding in de opbrengstreductie bij vergelijking van de TCGB-tabel met SWAP-PROD is groot (Figuur 18).



Figuur 17 Vergelijking droogteschade voor GEM-jaar voor situatie onbeïnvloed (linksboven), beïnvloed (rechtsboven) en het verschil gedefinieerd als beïnvloed – onbeïnvloed (onder) berekend met TCGB vs. SWAP-PROD (blauw).



Figuur 18a Spreiding in droogteschade onbeïnvloed vs. beïnvloed voor GEM-jaar berekend met TCGB (rood) en SWAP-PROD (blauw).

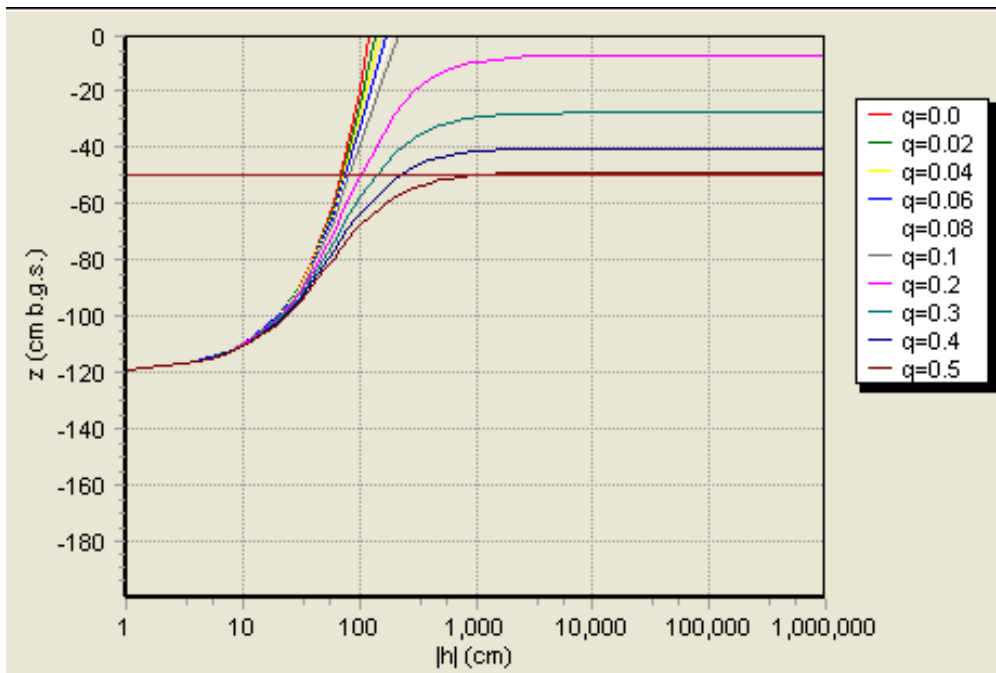


Figuur 18b Spreiding in verschil droogteschade (onbeïnvloed – beïnvloed) voor GEM-jaar berekend met TCGB (rood) en SWAP-PROD (blauw).

Evenals bij het extreme jaar 2003 is de gemiddelde droogteschade als verschil tussen de beïnvloede en niet beïnvloede situatie berekend met SWAP-PROD iets lager dan de droogteschade berekend met de TCGB-tabel.

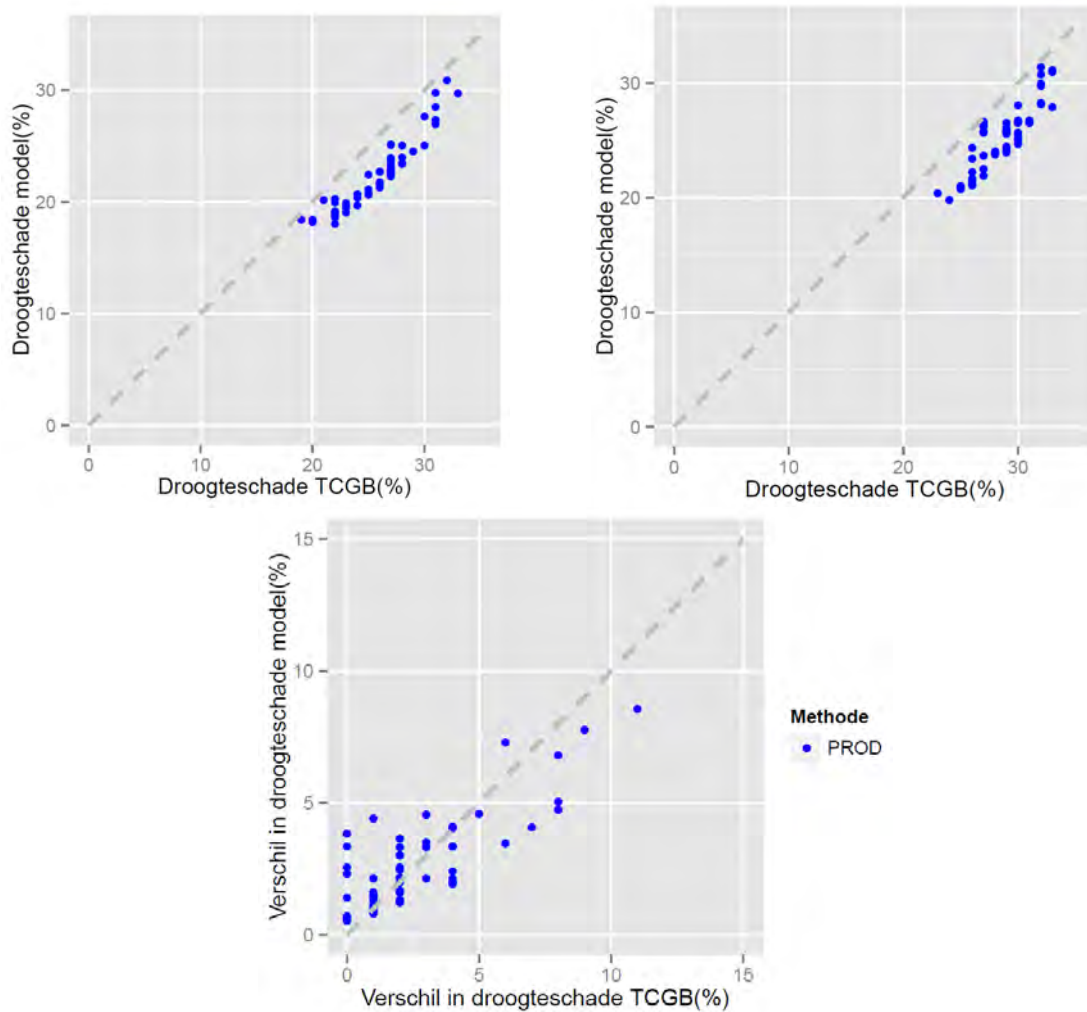
5.3.3 Gebieden waarin de GHG > 1m-mv

In de vochtvoorziening van de gewassen wordt voorzien door neerslag, beregening, beschikbare vochtvoorraad in de wortelzone en capillaire nalevering vanuit het grondwater. De drinkwaterwinning heeft alleen invloed op de stand van het grondwater en daarmee op de capillaire nalevering vanuit het grondwater aan het gewas. Naarmate de grondwaterstand dieper uitzakt, kan er minder water via capillaire nalevering aan het gewas worden geleverd. Vanaf een bepaalde diepte is nog nauwelijks capillaire nalevering naar de wortelzone mogelijk, we spreken in dat geval van een hangwaterprofiel. Als op een locatie met een hangwaterprofiel de grondwaterstand door een winning wordt verlaagd is er wel sprake van droogteschade maar geen sprake van opbrengstdepressies als gevolg van de winning omdat er geen sprake is van capillaire nalevering. In Figuur 19 is een voorbeeld gegeven van de maximale capillaire flux (q) in cm/d voor een profiel. Op de verticale as is de grondwaterstand (z) (cm – mv) weergegeven in cm beneden maaiveld en op de horizontale as staat de absolute waarde van de drukhoogte ($|h|$) in cm. Uit de figuur kunnen we lezen dat bij een grondwaterstand (z) van 120 cm –mv een maximale capillaire flux mogelijk is van 5 mm/d tot 50 cm-mv. en een maximale capillaire flux van 2 mm/d is mogelijk tot 10 cm-mv.



Figuur 19 Capillaire flux in cm/d.

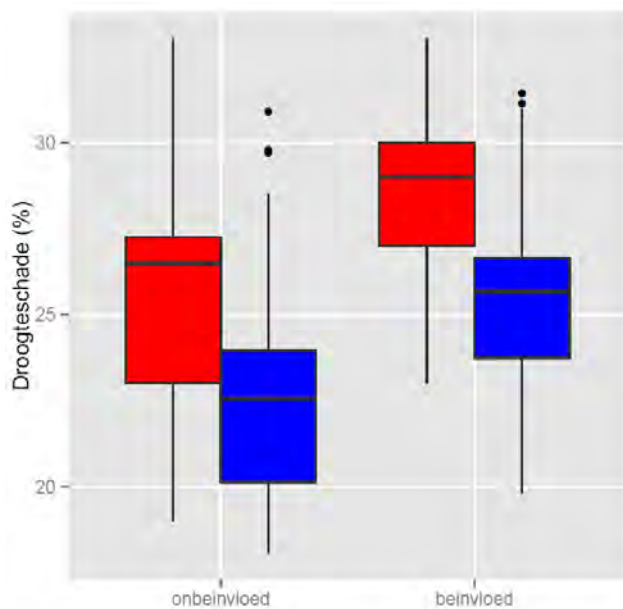
Voor de gebieden met een diepe grondwaterstand zal de bijdrage via capillaire nalevering geringer zijn, en wordt minder schade verwacht. Om dit te onderzoeken is een selectie gemaakt van de bodemvlakken waarin de GHG > 1m-mv. De berekende droogteschade met zowel SWAP-PROD als met de TCGB-tabel betreft bodemvlakken met grote droogteschade, veelal groter dan 20% (Figuur 20 links- en rechtsboven). De droogteschade als gevolg van de winning, verschil tussen de beïnvloede en onbeïnvloede situatie, is relatief gering zoals mocht worden verwacht (Figuur 20 onder).



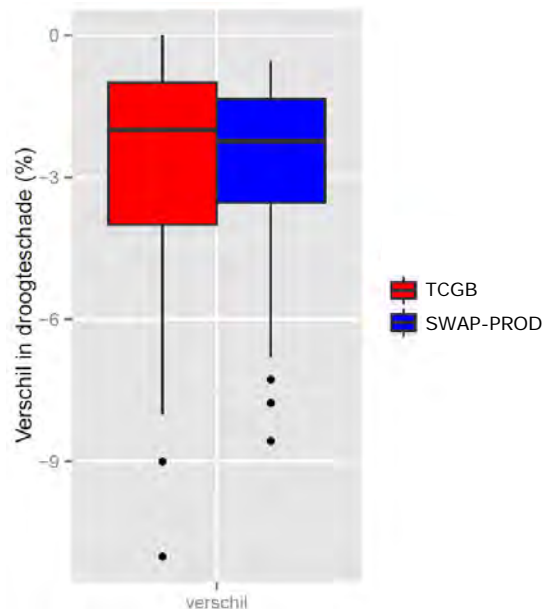
Figuur 20 Vergelijking droogteschade voor GEM-jaar voor situatie onbeïnvloed (linksboven), beïnvloed (rechtsboven) en het verschil gedefinieerd als beïnvloed – onbeïnvloed (onder) berekend met TCGB vs. SWAP-PROD (blauw).

Figuur 21a geeft de spreiding van de berekende droogteschade weer aan de hand van de TCGB-tabel, en de modellen SWAP-PROD voor de gebieden waarin de GHG > 1 m-mv. De berekende medianen voor de droogteschade verschillen onderling sterk.

De droogteschade voor de situaties onbeïnvloed en beïnvloed berekend met SWAP-PROD ligt over het algemeen lager dan de droogteschade berekend met TCGB-tabel (Figuur 21a). Echter het verschil tussen de droogteschade onbeïnvloed en beïnvloed berekend met de TCGB-tabel en SWAP-PROD verschillen maar de verschillen zijn klein (Figuur 21b).



Figuur 21a Spreiding in droogteschade onbeïnvloed vs. beïnvloed voor GEM-jaar berekend met TCGB (rood) en SWAP-PROD (blauw).



Figuur 21b Spreiding in verschil droogteschade (onbeïnvloed – beïnvloed) voor GEM-jaar berekend met TCGB (rood) en SWAP-PROD (blauw).

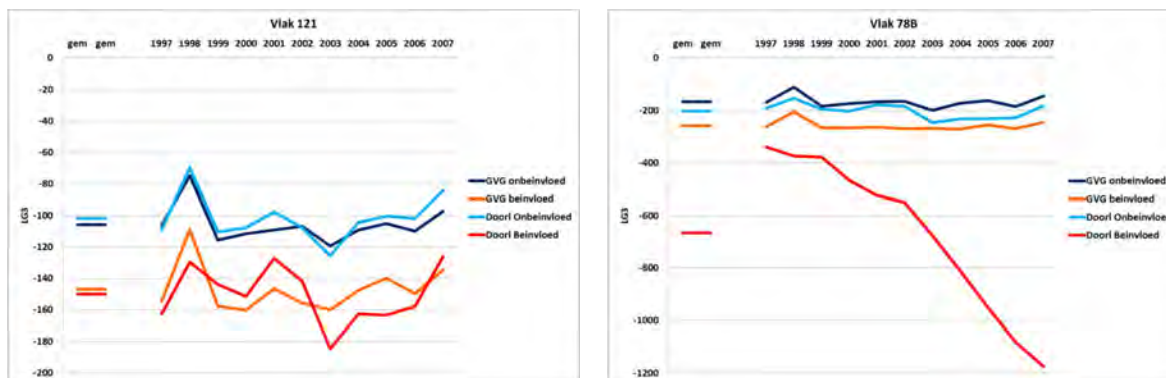
6 Discussie

Grondwaterstand op 1 april is niet gelijk aan de GVG

Om de modelberekeningen zo goed mogelijk af te stemmen op de TCGB-methode zijn de berekeningen uitgevoerd voor zomerhalfjaren, van 1 april tot 1 oktober, met als startdatum 1 april. De initiële grondwaterstand is gelijk aan de GVG en verder is uitgegaan van een hydrostatisch drukverloop bij aanvang van het groeiseizoen. Afhankelijk van de meteorologische omstandigheden kan de grondwaterstand daarbij dieper of minder diep uitzakken dan de GLG. De q/h relaties, waarmee de uitzakking van de grondwaterstand kan worden gestuurd, zijn zodanig gekalibreerd dat de berekende GLG's overeenkomen met de gekarteerde GLG's in de beïnvloede situatie respectievelijk de gereconstrueerde niet beïnvloede situatie.

De grondwaterstand zal in werkelijkheid op 1 april meestal niet overeenkomen met de GVG; de grondwaterstand is afhankelijk van de voorafgaande meteorologische omstandigheden. Tegenwoordig kunnen bij modelberekeningen meerdere jaren als een aansluitende periode worden doorgerekend. Omdat hierbij ook de winterperiode wordt meegenomen, zal de berekende grondwaterstand op 1 april naar verwachting beter overeenkomen met de werkelijke grondwaterstand op 1 april; bovendien zal het drukverloop over het profiel afwijken van het hydrostatisch drukverloop. Om na te gaan of de afgeleide q/h relatie ook geldig is indien de hele periode 1997-2007 aaneengesloten wordt doorgerekend is het tijdsverloop van de LG3 geanalyseerd voor berekeningen met herstart op 1 april en voor doorlopende berekeningen voor vier bodemvlakken. Voor 3 van de 4 bodemvlakken lijkt de q/h relatie redelijk over een te komen (zie bodemvlak 121 Figuur 22 links), maar voor vlak 78B resulteert de q/h-relatie bij doorlopende simulatie in een grondwaterstand die onrealistisch diep wegzakt (Figuur 22 rechts).

Bij doorlopende berekeningen verdient de onderrand dus extra aandacht. Dit kan worden opgevangen met een her-kalibratie van de q/h-relatie voor een doorlopende periode op zowel de GVG als de GHG of met andere vormen van koppeling aan een regionaal hydrologische systeem.



Figuur 22 Het verloop van de LG3 voor bodemvlak 121 (links) en bodemvlak 78B (rechts) in de onbeïnvloede en beïnvloede situatie bij vaste diepte voor GVG op 1 april en een variërende diepte van de GVG op basis van doorlopende berekeningen.

Vergelijking TCGB-tabel met SWAP is niet eenvoudig

Twee methodes vergelijken blijkt geen sinecure. De TCGB methode omvat meer dan menigeen vermoedt. De TCGB-methode houdt zelfs rekening met het meer of minder efficiënte benutting van water bij verschillende opbrengst-niveaus. In deze studie was er geen mogelijkheid om de TCGB-procedure tot in detail te reproduceren; daarvoor ontbraken tijd en middelen. De methode-vergelijking in deze studie is gebaseerd op het vergelijken van de TCGB-resultaten met nieuwe berekeningen met het SWAP-model (versie 3.2.36). Daarbij is stapsgewijs een zo goed mogelijk benadering gezocht van de methode en de randvoorwaarden die indertijd bij het opstellen van de TCGB-tabel zijn gebruikt.

Volledig identieke berekeningen, en dus resultaten, worden daarbij niet verkregen omdat:

- i) de onderliggende modellen conceptueel verschillend zijn (MUST, vs. SWAP),
- ii) er geen zekerheid bestaat of de gehanteerde datasets identiek zijn,
- iii) er nabewerkingen zijn gepleegd die slechts benaderd konden worden, gegeven het beperkte tijdspad.

Ad i) De TCGB-tabel is met MUST (De Laat, 1976) doorgerekend en in dit verslag herberekend met SWAP. MUST is een pseudo-stationair model dat steady state profielen gebruikt om dynamisch te kunnen rekenen. SWAP lost de Richard's vergelijking op en heeft daardoor continue variërende drukhoogte-profielen die dynamisch rekenen mogelijk maken. De verschillen tussen MUST en SWAP zijn mede aanleiding geweest om MetaSWAP te ontwikkelen (Van Walsum en Groenendijk, 2008). Zij geven aan dat er meer capillaire nalevering verwacht mag worden indien de SWAP/MetaSWAP methodiek wordt toegepast, wat impliceert dat er minder droogtestress wordt berekend.

Ad ii) Er is geprobeerd zo goed mogelijk de gegevens en randvoorwaarden te benaderen, maar de historische berekeningen en exacte randvoorwaarden zijn niet meer direct voorhanden en het zou te tijdrovend zijn om die te achterhalen.

Ad iii) De rekenresultaten van MUST zijn transpiratie-reducties; deze zijn vertaald naar opbrengst-reducties met een Fortran-programma genaamd PROD.EXE (zie paragraaf 5.2). De broncode van PROD.EXE is achterhaald en de nabewerking daarmee is zo goed mogelijk gereproduceerd. De impact lijkt echter relatief groot en daarmee is enige onzekerheid ontstaan in de juistheid van de implementatie van deze nabewerking. De methode is gebaseerd op oude gegevens en zou met nieuwe gegevens geanalyseerd moeten worden. Een onafhankelijke toets verdient aanbeveling.

Berekeningen voor het zomerhalfjaar waren in de jaren 60-70, de jaren waarin de basis voor de TCGB-tabellen is gelegd, zeer gebruikelijk, omdat onderzoek gericht was op landbouwproductie en men vooral geïnteresseerd was in de periode waarin werd geoogst. Vanaf de jaren 80 heeft het milieu meer aandacht gekregen, uitspoeling vond vooral in de winter plaats en rekenperiodes werden daarmee verlengd. Momenteel ligt de focus op hele kalenderjaren en bij voorkeur klimaatreeksen. Een rekensessie met her-starten op 1 april is tegenwoordig niet meer gebruikelijk. Het is uitgevoerd om zo goed mogelijk bij de TCGB procedure aan te sluiten. Toekomstige berekeningen zullen doorlopend zijn en daarbij verdient de onderrand extra aandacht. Deze kan worden verbeterd met een her-kalibratie van de q/h voor een doorlopende periode of met andere vormen van koppeling aan een regionaal hydrologische systeem.

Er is nu gerekend met een aantal randvoorwaarden die in de huidige tijd discutabel zijn en eenvoudig verbeterd kunnen worden:

- i) meteo van De Bilt als decade-cijfers,
- ii) grasland met een constante LAI,
- iii) doorrekenen van zomerhalfjaar met GVG als initiële conditie,
- iv) eenvoudige bodemopbouw (twee lagen, weinig differentiatie) waardoor beperkt gebruik is gemaakt van veldgegevens.

Recent is de combinatie van SWAP met een gewasgroei model als klimaatrobuuste ontwikkeling gepresenteerd (Kroes *et al.*, 2009 en Deltafactsheets, 2012). Aansluiting bij deze ontwikkeling biedt mogelijkheden om de nabewerking met het programma PROD.EXE te vervangen.

Een onafhankelijke toetsing van rekenresultaten aan resultaten van remote sensing beelden kan ondersteuning geven aan de modelbenadering. Daarbij dient men zich te realiseren dat ook resultaten van remote sensing worden verkregen met een modelmatige interpretatie. Bovendien kunnen satellieten niet 'onder de grond' kijken en zal veldwerk of andere aanvulling nodig zijn om 'ondergronds gedrag' (van bijvoorbeeld wortel- en knolgewassen) te meten.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusie

Is het model SWAP geschikt voor de berekening van opbrengstdepressies als gevolg van vochttekorten aan gewassen?

Het onderzoek voor de pilot Vierlingsbeek heeft uitgewezen dat voor deze situatie het model SWAP geschikt is voor het berekenen van opbrengstdepressies en dus kan worden ingezet bij de vervanging van de TCGB-tabel. Vierlingsbeek is echter niet representatief voor alle situaties in Nederland, bijv. gebieden met keileem ontbreken; hiervoor is een aanvullende pilot noodzakelijk. Bovendien kan bij gebruik van het model SWAP de situatie in het veld beter worden benaderd dan bij gebruik van het model MUST2, dat ten grondslag ligt aan de TCGB-tabel.

Met de gekalibreerde $q(h)$ -relatie is de GxG goed te benaderen

Het grondwaterstandsverloop voor de beïnvloede situatie is gekarteerd en vastgelegd met de GxG. Omdat voor zomerhalfjaren wordt gerekend en de GVG vastligt, is de enige variabele de GLG. Het blijkt goed mogelijk om met PEST een q/h -relatie te kalibreren waarbij de berekende GLG over de periode 1997-2007 voldoet aan de gekarteerde GLG (Bijlage 3). Als voor de toekomst wordt besloten om één aaneengesloten periode door te rekenen, zijn er twee variabelen waarop de q/h -relatie moet worden gekalibreerd, nl. de GVG en de GLG. Dit geeft een andere parameterset voor q/h -relatie.

De droogteschade voor Vierlingsbeek berekend met SWAP-PROD kan zowel hoger als lager uitvallen dan volgens de TCGB-tabel

In het algemeen wordt voor het pilot-gebied Vierlingsbeek met het model SWAP-PROD een grotere droogteschade berekend dan met de TCGB-tabel; dit geldt vooral voor het jaar 2003. Voor het GEM-jaar zijn de berekende droogteschades bij grotere droogteschades groter voor SWAP-PROD dan volgens de TCGB-tabel en voor kleinere droogteschade geldt het omgekeerde. De omslag ligt bij ongeveer 15%. Terugkoppelingen en aanvullende schades zijn en blijven lastig te kwantificeren. Het model SWAP gevoed met recentere extremere klimaatsituaties kan ook resulteren in hogere droogteschades.

De berekende opbrengstreductie, verschil tussen onbeïnvloede en beïnvloede situatie, berekend met SWAP-PROD, is enigszins lager dan met de TCGB-tabel

Voor het GEM-jaar is de mediaan van de opbrengstreductie berekend met SWAP-PROD lager dan berekend met de TCGB-tabel, voor het droge jaar 2003 zijn de verschillen kleiner. De spreiding in opbrengstreducties is voor de TCGB-tabel groter dan berekend met SWAP-PROD, dat geldt ook voor de grootte van de meest extreme opbrengstreducties.

7.2 Aanbevelingen

Vergelijk de modellen MUST en SWAP

Voer een één op één vergelijking uit tussen MUST en SWAP, zoals ook aanbevolen door Van Walsum en Groenendijk (2008). Toepassing op een of twee proefvlakken kan tot meer inzicht leiden in de conceptuele verschillen en nadere onderbouwing van de lagere schades.

Gebruik een gewasgroeimodel naast SWAP

Voer een nadere analyse uit van de invloed van de nabewerking met PROD.EXE. De voorkeur verdient de vervanging van het model PROD.EXE door een gewasgroei-model zoals WOFOST (Van Diepen *et al.*, 1989).

Methode ook in andere gebieden toepassen

Het onderzoek te Vierlingsbeek heeft betrekking op een beperkt aantal combinaties binnen de TCGB-tabel. Om de conclusies verder te onderbouwen verdient het aanbeveling om eenzelfde analyse in een of meerdere grondwateronttrekkingsgebieden met een afwijkende bodemkundige opbouw (incl. ondergronden 8 t/m 11) uit te voeren.

Gebruik lokale meteorologische gegevens

De TCGB-tabel is afgeleid op basis van meteorologische gegevens van meteo-station De Bilt. De opbrengstdepressies voor andere regio's zijn via de droogtegraad aan die van De Bilt te relateren en daarmee aan de opbrengstdepressiewaarden van de TCGB-tabel. Momenteel zijn van ca. 300 locaties verdeeld over 15 districten neerslagcijfers bekend, en voor 19 locaties de referentiegewasverdamping. De mogelijkheden om met lokale meteo-informatie te rekenen zijn sterk toegenomen sinds de vaststelling van de TCGB-tabel. Het gebruik van lokale meteo-informatie geeft de mogelijkheid om direct de droogteschade te berekenen zonder omrekeningen gebaseerd op meteo-informatie van de Bilt.

Klimaatverandering vraagt om nieuwe berekeningen

De meteogegevens die zijn gebruikt voor de vaststelling van de TCGB-tabel zijn gebaseerd op de periode 1911-1986. Op basis van deze periode zijn de percentages droogtegraadjaren berekend die als basis dienen voor het toekennen van de droogteschade per jaar. Uit verschillende bronnen, bijv. de klimaatatlas, kan worden afgeleid dat het klimaat verandert waardoor de behoefte is toegenomen om nieuwe berekening voor het huidige klimaat uit te voeren en droogtegraadjaren opnieuw te berekenen; dit kan worden uitgevoerd met het model SWAP.

Neem berekening mee

Als vochttekort dreigt, gaat de boer veelal beregenen. Bij de vaststelling van de TCGB tabel is beregening niet meegenomen. In modelberekeningen kan beregening worden meegenomen en kan het effect op de gewasopbrengst worden bepaald. Om gewasopbrengsten in geval van beregening te kunnen relateren aan berekende opbrengsten is modellering van beregening noodzakelijk.

Gebruik actueel landgebruik

De TCGB-tabel is opgesteld voor het berekenen van opbrengstdepressies voor het gewas grasland, echter in Vierlingsbeek worden ook ander gewassen geteeld, zie paragraaf 2.2. De ACSG gaat voor de overige landbouwsectoren als volgt te werk:

- Voor kapitaalintensieve gewassen wordt aangenomen dat vochttekorten worden opgelost door te beregenen. De opbrengstdervingen worden dan berekend op basis van de kosten van de extra beregeningsgiften.
- Deze giften zijn wel berekend op basis van het gewas gras.
- Voor de minder kapitaalintensieve land – en tuinbouwgewassen wordt de droogteschade procentueel meestal gelijk gesteld met gras en wordt een gewasafhankelijke omrekening naar Euro's toegepast. Bij gebruik van SWAP kunnen ook andere gewassen dan gras worden doorgerekend. Deze gewassen hebben een andere wateropnamefunctie, groeiseizoen, diepte beworteling etc.; dit leidt tot andere opbrengstdepressies dan voor gras.

Gebruik oorspronkelijke gekarteerde bodemkundige informatie

Het beïnvloedingsgebied van de winning is gedetailleerd bodemkundig gekarteerd. Voor elk bodemvlak is een bodemeenheid vastgesteld. Deze bodemeenheid wordt vervolgens vertaald naar één van de elf profielen voor de ondergrond en één van de vijf pF-curves voor de wortelzone. Bij deze vertaling kan informatie verloren gaan. De in 1990 vastgestelde combinaties van boven- en ondergrond en dikte van de effectieve wortelzone (TCGB-code) schiet te kort om de in het veld vastgelegde bodemkundige informatie op een correcte wijze te kunnen voorzien van een TCGB-code.

Bij modelberekeningen met SWAP kan meer recht worden gedaan aan de in het veld gekarteerde bodemkundige eigenschappen. De berekeningen van de opbrengstdepressies voor huidige TCGB-tabel zijn alleen uitgevoerd voor zandgronden en een beperkt aantal moerige gronden. Opbrengstdepressie van het gewas gras op kleigronden zijn niet uitgerekend. In de praktijk komt het regelmatig voor dat er schadeclaims worden ingediend voor kleigronden of gronden met een kleidek. Opbrengstdepressies kunnen op deze gronden met de TCGB-tabel niet worden berekend en worden daarom in de praktijk ondergebracht bij de zandgronden.

Literatuur

- Boheemen, P.J.M. van, 1981. *Toename van de productie van grasland bij verbetering van de watervoorziening*. ICW-nota 1298. Wageningen.
- Bouwmans, J.M.M., 1990. *Achtergrond en toepassing van de TCGB-tabel. Een methode voor het bepalen van de opbrengstdepressie van grasland op zandgrond als gevolg van een grondwaterstandsverlaging*. Technische Commissie Grondwaterbeheer, Utrecht.
- Commissie Grondwaterwet Waterleidingsbedrijven, 1984. *Landbouwkundige aspecten van grondwaterwinning*.
- Cattenstart G.C., 1983. *Geohydrologische inventarisatie van waterwingebieden*. Utrecht, Landinrichtingsdienst, Ministerie van Landbouw en Visserij.
- De Laat, P.J.M., 1976. *A pseudo steady-state solution for water movement in the unsaturated zone of the soil*. J. Hydrol. 30:19–27.
- Deltafactsheets, 2012. Bekeken op 7-dec-2012
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J. and Zaradny, H., 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. PUDOC, Wageningen, 189 pp.
- Krabbenborg, A.J., 1983. *Standaardvochtkarakteristieken van zandgronden en veenkoloniale gronden*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1680.
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2009. *SWAP version 3.2(26). Theory description and user manual. Alterra-report 1649(update 02)*, 284 pp, Alterra, Research Institute, Wageningen, The Netherlands. Available on line: www.swap.alterra.nl.
- Kroes, J. G., en I. Supit, 2011. Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in The Netherlands using historical and future climate data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 370–381. doi:10.1016/j.agee.2011.09.008
- Rijtema, P.E., 1971. *Een berekeningsmethode voor de benadering van de landbouwschade ten gevolge van grondwateronttrekkingen*. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Nota nr. 578.
- Stolp, J. en H.R.J. Vroon, 1990. *Een snelle methode voor het berekenen van kritieke z-afstanden en verzadigingstekorten bij twee fluxen (2 en 1 mm/dag) in gelaagde bodemprofielen tijdens de veldopname*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Interne mededeling 92.
- Van der Gaast, J.W.J., H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon en I.G. Staritski, 2006. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken*. Wageningen, Alterra. Rapport 1339.
- Van Diepen, C.A., Wolf, J., van Keulen, H., 1989. *WOFOST: a simulation model of crop production*. Soil Use and Management 5, 16–24.
- Van Soesbergen, G., C. van Wallenburg, K.R. van Lynden en H.A.J. van Lanen, 1986. *De interpretatie van bodemkundige gegevens*. Wageningen, STIBOKA-rapport 1967.
- Van Walsum, P. E. V, en P. Groenendijk, 2008. *Quasi Steady-State Simulation of the Unsaturated Zone in Groundwater Modeling of Lowland Regions*. *Vadose Zone*, 7, 769–781. doi: 10.2136/vzj2007.0146.
- Verzandvoort, S., Vroon, H., Wesseling, J., Bakker, G., Oostindie, K., & Stoffelsen, G. (2012). *Naar een database van bodemhydraulische karakteristieken voor Nederland*. Alterra rapport 2238, Wageningen.
- Vroon, H.R.J. en F. Brouwer, 2008. *Bodemkundig hydrologisch onderzoek in het waterwingebied Vierlingsbeek*. Alterra rapport 1758. Wageningen.
- Vroon, H.R.J., 2010. *Onderzoek naar de freatische grondwaterstandsverlaging als gevolg van grondwateronttrekking in het waterwingebied Vierlingsbeek*. Alterra Notitie augustus 2010, Wageningen.
- Wesseling, J. G. (2009). *Soil physical data and modeling soil moisture flow*. Ph.D.-thesis Wageningen UR.
- Wösten J.H.M, M.H. Bannink, J. Beuving, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*, ICW rapport 18 en Stiboka rapport 1932, Wageningen.

Wösten J.H.M, G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 1994, Wageningen, SC-DLO, Technisch Document 18.

Bijlage 1 Enkele kenmerken van Pleistocene afzettingen

Formatie	Ouderdom	Genese	Dominante lithologische kenmerken
Boxtel	Midden-Pleistoceen (Cromerien) tot en met Holoceen	Eolische afzettingen (stuifzand, land- en rivierduinen, dekzand, nat-eolische afzettingen, 'desert pavements', löss), kleinschalig fluviatiele afzettingen, niveo-eolische afzettingen, hellingafzettingen, lacustriene afzettingen en organogene vormen.	<ul style="list-style-type: none"> • Zand, matig fijn tot matig grof (150-300 µm), zwak siltig, lichtgeel tot donkerbruin, kalkloos tot kalkhoudend. • Zand, sterk siltig, zeer fijn tot matig fijn (105-210 µm), lichtgeel tot lichtgrijs, kalkloos tot sterk kalkhoudend. • Leem, zwak tot sterk zandig, soms kleiig, soms humeus, grijsbruin tot donkergrijs, kalkloos tot sterk kalkhoudend
Beegden	Pliocene tot en met Holoceen	De gehele formatie bestaat uit afzettingen die door de Maas zijn neergelegd. Het materiaal van de rivierafzettingen werd aangevoerd vanuit de Ardennen, Noord-Frankrijk en de Vogezes.	Zand, matig grof tot uiterst grof (210–2000 µm), zwak tot sterk grindig, overwegend kalkloos, grijs en blauwgrijs. Indien de bovenkant aan of nabij het oppervlak ligt treedt als gevolg van neerslag van ijzerhydroxiden meestal een sterke roodbruine kleuring op.
Kiezeloöliet Formatie	Laat-Mioceen en Pliocene	De formatie bestaat uit fluviatiele en in kustvlaktes afgezette sedimenten van voorlopers van Rijn en Maas. De sedimenten bestaan dan uit zeer kwartsrijke zanden met een zeer stabiele zware mineralen samenstelling. Tijdens de vorming van de afzettingen vinden er groot-schalige tectonische bewegingen in het afzettingsgebied (Nederrijnse Laagvlakte) plaats. Daarnaast spelen klimaat en zeespiegelbewegingen een rol bij de afzettingsgeschiedenis. De sedimentaire kenmerken van de afzettingen wijzen, voor een deel, op vorming in een getijdemilieu. In Nederland komen dergelijke afzettingen vooral voor op het noordelijk deel van de Peelhorst en vandaar in noordelijke richting langs de oostgrens.	Zand, uiterst fijn tot uiterst grof (63–2000µm), kalkloos tot kalkarm, wit en bruingrijs. Kenmerkend zijn het hoge kwartsgehalte en het zeer geringe gehalte aan macroscopisch waarneembare donkere componenten. Als gevolg van humus inspoeling afkomstig van bodemvorming of veenlagen zijn delen van het zand plaatselijk donkerbruin van kleur.

Bijlage 3 Q/h-relatie

Voor de kalibratie van de q/h-relatie is met de volgende randvoorwaarden gerekend:

- Geen berekening;
- Natschade geminimaliseerd (Box 1).

Na kalibratie zijn resultaten verkregen waaruit een goede fit blijkt voor de berekende en gemeten GLG (Tabel B3.1). In Tabel B3.1 zijn enkele tussenresultaten voor de 4 proefvlakken gegeven.

Tabel B3.3

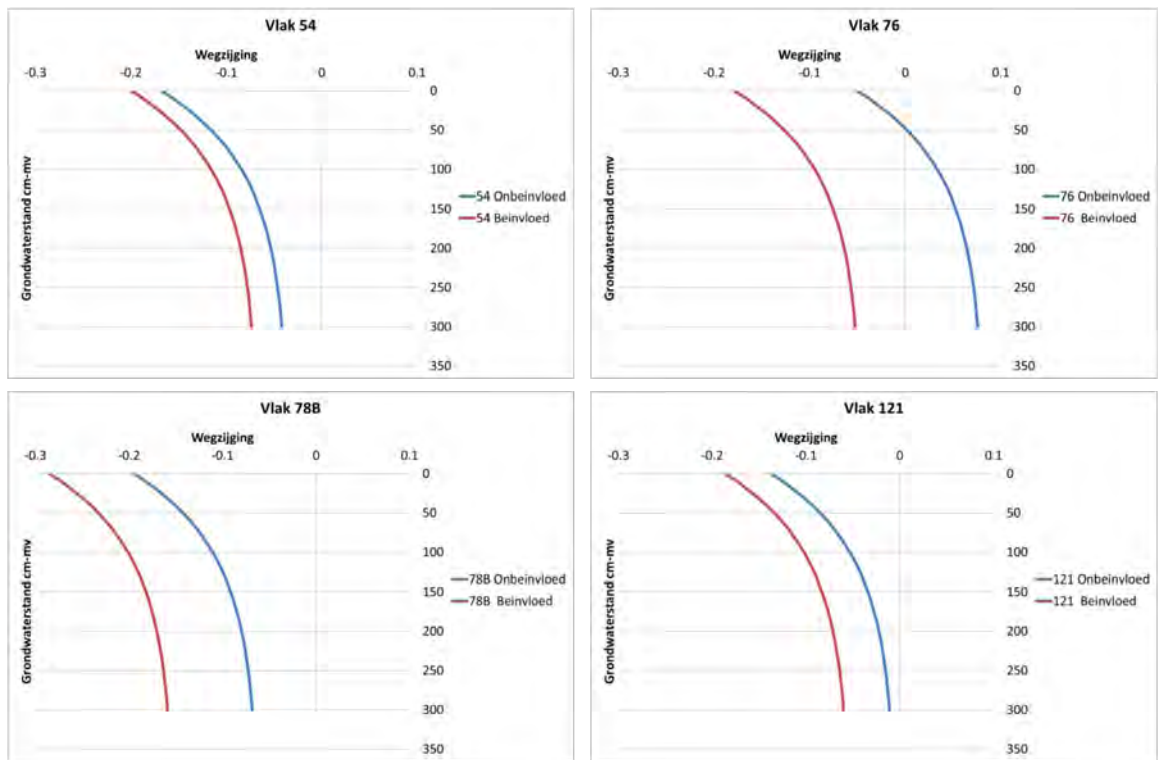
Calibratie resultaten voor q/h-relatie.

Perceel	ingreep	COFQHA	COFQHB	COFQHC	glg_sim	gvg_obs	glg_obs	glg_diff
		cm/d	/d	cm/d	cm-mv	cm-mv	cm-mv	cm
121	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.03	-147	-97	-147	-0.003
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	0.04	-106	-67	-106	-0.003
54	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.04	-186	-94	-186	0.003
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	0.02	-158	-72	-158	0.000
76	beïnvloed	-0.133	-0.01	0.05	-171	-69	-171	-0.003
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	0.19	-86	-35	-86	0.003
78B	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.15	-258	-133	-258	0.000
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	-0.01	-166	-57	-166	0.003

De kalibratie is uitgevoerd met de A3 (=c) parameter (Box 2).

De resulterende q/h-relatie voor de 4 proefpercelen is gegeven in Figuur B3.1, waarbij geldt dat 78B dichtbij winning ligt en 76 een nat perceel is.

De vorm van de q/h-relatie ligt vast met de A1 en A2 parameters. Met de variatie in A3 verschuift de kromme door variatie in de onderrand flux (kwel/wegzijging). Vlak 76 was in de uitgangssituatie erg nat; proefvlak 78B was relatief droog.



Figuur B3.1 q/h voor de 4 geselecteerde proefvlakken.

Bijlage 4 Fase 1, Analyse methodiek aan de hand van vier proefvlakken

Voordat de definitieve berekeningen zijn uitgevoerd is de aanpak getest op vier proefvlakken. Dit onderdeel wordt aangeduid als fase 1 van het onderzoek. In deze bijlage wordt de bevindingen weergegeven.

B4.1 Basisgegevens

B4.1.1 Landgebruik

De TCGB-tabellen zijn afgeleid voor grasland, daarom is gerekend met landgebruik grasland. Voor de berekening van de verdamping van gras is wateropname functie van Feddes gebruikt, waarbij (vrijwel) niet wordt gerekend met wateroverlast (Box B1).

HLIM1	=	0.0 ! No water extraction at higher pressure heads, [-100..100 cm, R]
HLIM2U	=	-1.0 ! h below which optimum water extr. starts for top layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM2L	=	-1.0 ! h below which optimum water extr. starts for sub layer, [-1000..100 cm, R]
HLIM3H	=	-200.0 ! h below which water uptake red. starts at high Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM3L	=	-800.0 ! h below which water uptake red. starts at low Tpot, [-10000..100 cm, R]
HLIM4	=	-8000.0 ! No water extraction at lower pressure heads, [-16000..100 cm, R]

Box B4.1 *Water stress functie als dimensieloze sink-term.*

In eerste instantie is rekening gehouden met het management van de boer door uit te gaan van 4 sneden en een gemiddelde beweiding. Aangezien MUST met constante LAI is doorgerekend, is ook bij SWAP met LAI=3 gerekend. Aparte gevoeligheidsanalyse voor impact.

B4.1.2 Bodem

Bodemopbouw en bodemfysica volgens de TCGB-schematisering. In eerste instantie met Mualem-Van Genuchten (MVG)-parameters (Staringreeks 1994); evt. later met tabellen. Bij voorkeur volgens de spline-methode van Wesseling (2009); zie ook Verzandvoort *et al.* (2012).

In paragraaf 2.4 is de informatie over bodemopbouw verzameld.

Extra:

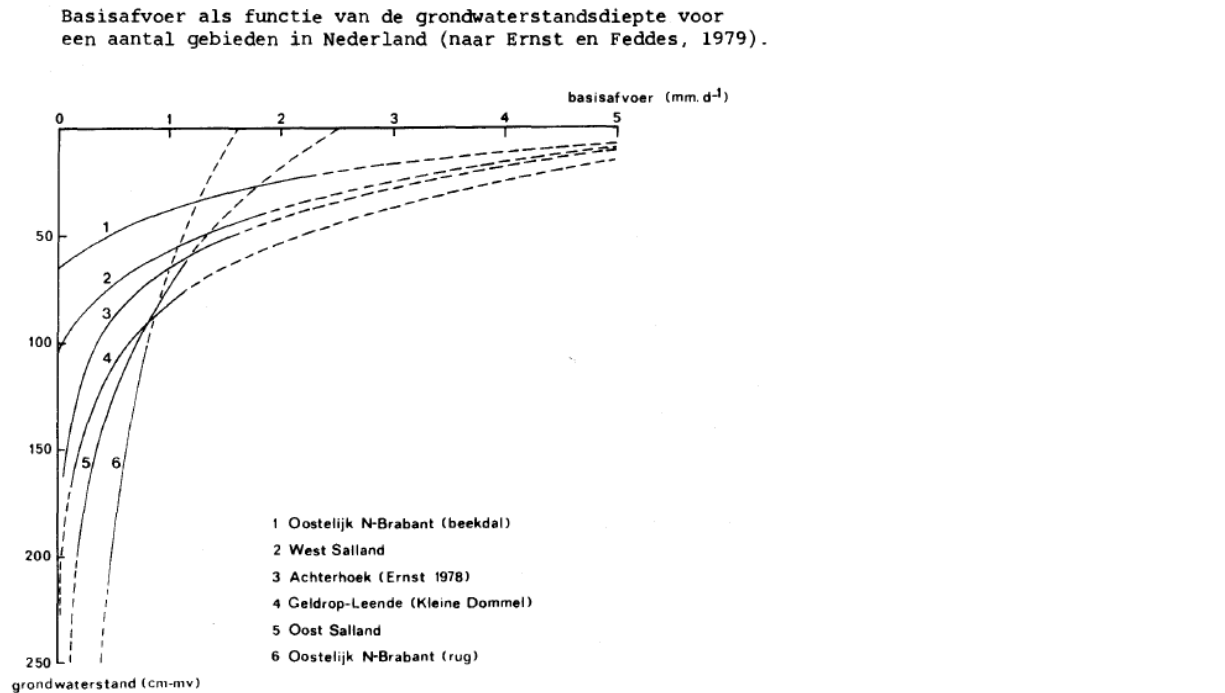
- Tabeloptie van Swap is uitgebreid getest. Rekenen met tabel-optie voor bodemfysische relaties ($\theta(h)$ en $K(h)$) vereist meer expertise dan op voorhand is ingeschat. Extra werk bleek nodig om vloeiend lopende relaties te verkrijgen.
- Combinatie van tabel-optie met hysteresis is niet mogelijk. Met gevoeligheidsanalyse is gepoogd effect zichtbaar te maken.
- Bodemopbouw en bodemfysica volgens de TCGB-schematisering met tabellen volgens spline-methode van Wesseling (2009).

B4.1.3 Berekening

Er is niet gerekend met berekening, wat alleen mogelijk is als data over beregende percelen en toegepaste praktijk bekend is. In de TCGB-tabel is ook niet gerekend met berekening. Berekening is een compenserende maatregel tegen de effecten van de winning.

B4.1.4 Zijrand/onderrand

Door de keuze voor de q/h relatie is gekozen voor een gecombineerde zij- en onderrand methodiek. De grondwaterstands-afvoerrelatie voor de Brabantse rug is gebruikt (Figuur B4.1), waarbij de coëfficiënt A3, is gebruikt om de grondwaterkarakteristiek in overeenstemming te brengen met de gekarteerde GxG.



Figuur B4.1 Functies voor de basisafvoer voor 6 gebieden volgens Ernst en Feddes (1979).

Omdat MUST rekent voor het groeiseizoen en als startwaarde de GVG op 1 april neemt, is dit voor SWAP overgenomen. Hierdoor resteert de GLG om op te kalibreren. Om de GLG te bepalen beschikken we bij de berekening over 11 groeiseizoenen van 183 dagen uit de periode 1997-2007. Voor elk groeiseizoen wordt de grondwaterstand op de 14^e en 28^e geselecteerd, uit deze selectie worden vervolgens de drie laagste waarden gemiddeld, dit geeft de LG3. De aldus berekende 11 LG3's worden gemiddeld, dit geeft de GLG.

B4.2 Selectie proefvlakken

Om de methode te toetsen zijn 4 proefvlakken geselecteerd. De vlakken verschillen in mate van beïnvloeding door de winning, deze neemt af van vlak 78B naar 76 naar 54. Deze drie vlakken hebben dezelfde bodemopbouw. Hier is vlak 121 aan toegevoegd met een afwijkende bodemopbouw t.a.v. de drie andere vlakken (Figuur B4.2 en Tabel B4.1).



Figuur B4.2 Geselecteerde vlakken.

Tabel B4.1

Gegevens geselecteerde vlakken.

VLAK NR	TCGB-code	Onbeïnvloede gr.w.stand			Beïnvloede grwst (bij 2,8 milj/j)			Gecorr verl. (bij 2,8 milj/j)		Verl. overige invl.	
		GHG	GVG	GLG	GHG	GVG	GLG	GHG	GLG	GHG	GLG
54	B 30 04	42	72	158	64	94	186	12	18	10	10
76	B 30 05	5	35	86	39	69	171	29	80	5	5
78	B B 30 04	22	57	166	98	133	258	71	87	5	5
121	A 25 01	47	67	106	77	97	147	23	36	7	5

B4.3 Rekenperiode

De rekenperiode is in overeenstemming met de periode waarvoor de GxG is vastgesteld, nl 1997-2007. Omdat met MUST alleen is gerekend voor groeiseizoenen, is dit met SWAP eveneens gedaan. De aanvangsgrondwaterstand is daarbij voor elk jaar, conform de MUST-berekeningen, steeds gelijk gesteld aan de GVG.

B4.4 Rekensessie

Voor de proefvlakken zijn verschillen in verdampingsreductie uitgerekend voor de onbeïnvloede en de beïnvloede situatie, ofwel vóór en na verlaging van de freatische grondwaterstand door de waterwinning.

De berekeningen zijn uitgevoerd met een automatische kalibratie waaraan een beperkte gevoeligheidsanalyse is voorafgegaan.

B4.4.1 Gevoeligheidsanalyse parameters onderrand

Het doel van de kalibratie is een grondwaterstandsreeks te genereren die zoveel mogelijk overeenkomt met de gekarteerde GxG (beïnvloed) en de onbeïnvloede GxG. De onbeïnvloede GxG wordt vastgesteld op basis van een combinatie van modelberekeningen en veldwaarnemingen. Er wordt voor deze studie alleen gerekend aan (eventuele) droogteschade aan de gewassen door grondwaterstands-veranderingen als gevolg van een grondwaterwinning. Deze droogteschade wordt het best benaderd met de GLG; de GHG wordt niet gebruikt. Omdat de GVG wordt gebruikt als startwaarde van de berekening van het groeiseizoen, resteert als doelvariabele de GLG. Voor de optimalisatie wordt gebruik gemaakt van PEST. Er wordt gekalibreerd op de onderrand. De onderrand wordt gekarakteriseerd door parameters van de q/h relatie. Als eerste stap is de gevoeligheid van de parameters a_{qbot} en b_{qbot} onderzocht op de berekende GLG voor vlak 78B voor de onbeïnvloede situatie. Uit de berekeningen blijkt de gevoeligheid van wijzingen in de q/h- parameters op de GLG en de daarmee samenhangende transpiratie-reductie (Trel). Als tweede stap is de parameter c_{qbot} toegevoegd aan de q/h relatie en de analyses zijn met 3 parameters (a_{qbot} , b_{qbot} en c_{qbot} , zie Box 2) uitgevoerd. De gevoeligheid bleek ook groot bij verkennende berekeningen waarbij PEST is gebruikt om op de 3 q/h- parameters te kalibreren. Dit laatste resulteerde in onbetrouwbare uitkomsten (meerdere minima, e.d.). Voor de TCGB is uiteindelijk gekalibreerd op de c_{qbot} parameter voor de proefvlakken. Met deze aanpak lukte het goed om de vereiste GLG voldoende nauwkeurig te benaderen zoals een toets voor de proefvlakken uitwees (Bijlage 3).

B4.4.2 Gekalibreerde q/h relatie

Er is met de volgende randvoorwaarden gerekend:

- Geen berekening;
- Natschade geminimaliseerd (Box 1)

Na kalibratie zijn resultaten voor de 4 proefvlakken verkregen waaruit een goede fit blijkt voor de berekende en gemeten GLG (Tabel B4.2).

Tabel B4.2

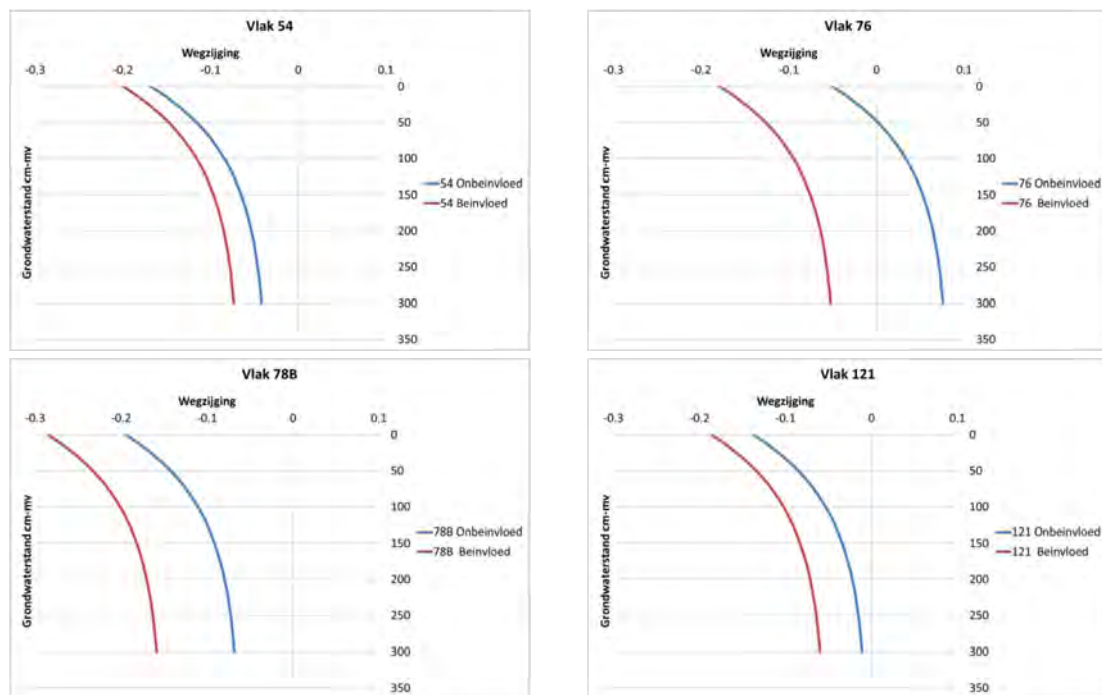
Calibratie resultaten voor q/h.

Perceel	Ingreep	COFQHA	COFQHB	COFQHC	glg_sim	gvg_obs	glg_obs	glg_diff
		cm/d	/d	cm/d	cm-mv	cm-mv	cm-mv	cm
121	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.053	-147	-97	-147	-0.003
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	-0.004	-106	-67	-106	-0.003
54	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.067	-186	-94	-186	0.003
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	-0.035	-158	-72	-158	0.000
76	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.046	-171	-69	-171	-0.003
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	+0.082	-86	-35	-86	0.003
78B	beïnvloed	-0.133	-0.01	-0.152	-258	-133	-258	0.000
	onbeïnvloed	-0.133	-0.01	-0.062	-166	-57	-166	0.003

De kalibratie is uitgevoerd met de A3 (=c) parameter.

De resulterende q/h voor de 4 proefpercelen is gegeven in Figuur B4.3, waarbij geldt dat 78B dichtbij winning ligt en 76 een nat perceel is.

De vorm van de q/h relatie ligt vast met de A1 en A2 parameters. Met de variatie in A3 verschuift de kromme door variatie in de onderrand flux (kwel/wegzijging). Vlak 76 was in de uitgangssituatie erg nat; proefvlak 78B was relatief droog.



Figuur B4.3 q/h voor de 4 geselecteerde proefvlakken.

B4.5 Tussenoverleg

Op 15 oktober 2012 in Wageningen zijn de eerste resultaten van fase 1 besproken met de opdrachtgever. Er was overeenstemming over de te volgen procedure. Er zijn voorstellen gedaan om methodisch betere overeenstemming te verkrijgen tussen de huidige Swap-berekeningen en de historische MUST-berekeningen.

In principe was veldbezoek gepland voor begin november. Eind november bleek een gunstiger tijd voor veldbezoek; eindbespreking van begin november is verzet naar eind november en kon daarmee samenvallen met veldbezoek. Tijdens het tussenoverleg wordt besloten om door te gaan met fase 2: de definitieve berekeningen voor het gehele beïnvloedingsgebied.

Na tussenoverleg worden onvolkomenheden voor proefvlakken hersteld. Tevens zal een beperkte gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd voor de 4 proefvlakken. En de regionale berekeningen zullen worden ingezet om ze eind november te kunnen bespreken.

B4.6 Resultaten voor vier proefvlakken

In deze paragraaf worden de modelresultaten vergeleken met de TCGB-tabellen. Het bleek dat de TCGB-tabellen zijn gebaseerd op resultaten van MUST waarop een nabewerking is uitgevoerd om de transpiratie-reductie (mm water) om te zetten in opbrengst-reductie (kg/ha droge stof). Bij de vergelijking met de TCGB-tabellen (Bouwman, 1990) betreft het steeds TCGB-resultaten inclusief nabewerking (zie ook Bijlage 4 paragraaf 5.2 en hoofdstuk 5). In deze paragraaf zijn de resultaten van SWAP gegeven als transpiratie-reducties.

B4.6.1 Eindresultaat met enkele gevoeligheden

Samengevat is de volgende methode gebruikt voor de 4 geselecteerde proefvlakken:

- Rekenperiode gelijk aan GxG karterperiode: 1997-2007
- Rekenen voor zomerperiode 1 april-30 september
- Grondwaterstand op 1 april = GVG
- Meteo station De Bilt en gegevens op decade basis
- Grasland met constante LAI (=3.0)
- Calibreren met PEST op GLG voor de zomerperiodes van 1997-2007

- Startwaarde onderrand: Oostelijk N- Brabant (rug)

De uiteindelijke transpiratie-reducties zijn gegeven in Tabel B4.3 als rekenkundig gemiddelde over de periode 1997-2007, zowel als relatieve transpiratie en ook als reductie in Trel (Stress in %) door het procentuele verschil te bepalen tussen de onbeïnvloede en de beïnvloede situatie. Droogte en natschade zijn opgesplitst.

Tabel B4.3

Berekende reducties in transpiratie voor de 4 proefvlakken in Vierlingsbeek, gepresenteerde als gemiddelde voor de periode 1997-2007.

Proef- vlak	Case	glg_obs (cm)	glg_sim (cm)	Tpot (mm)	Tact (mm)	Stress Totaal (%)	Stress Droogte (%)	Stres Nat (%)	Droogte toename (%)	Nat toename (%)
121	beïnvloed	-147	-147	316	265	15.0	15.0	0.0	8.0	-0.4
121	onbeïnvloed	-106	-106	316	291	7.4	7.0	0.4		
54	beïnvloed	-186	-186	316	302	4.0	4.0	0.0	1.7	-0.1
54	onbeïnvloed	-158	-158	316	308	2.4	2.3	0.1		
76	beïnvloed	-171	-171	316	311	1.5	1.5	0.0	1.5	-14.5
76	onbeïnvloed	-86	-86	315	273	14.5	0.0	14.5		
78B	beïnvloed	-258	-258	316	289	7.9	7.9	0.0	5.4	0.0
78B	onbeïnvloed	-166	-166	316	307	2.5	2.5	0.0		

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij steeds één verandering is doorgevoerd als variant op de uitgangssituatie die is gegeven in Tabel B4.3.

Een overzicht van de eigenschappen van de gevoeligheidsanalyse is gegeven in Tabel B4.4.

Tabel B4.4

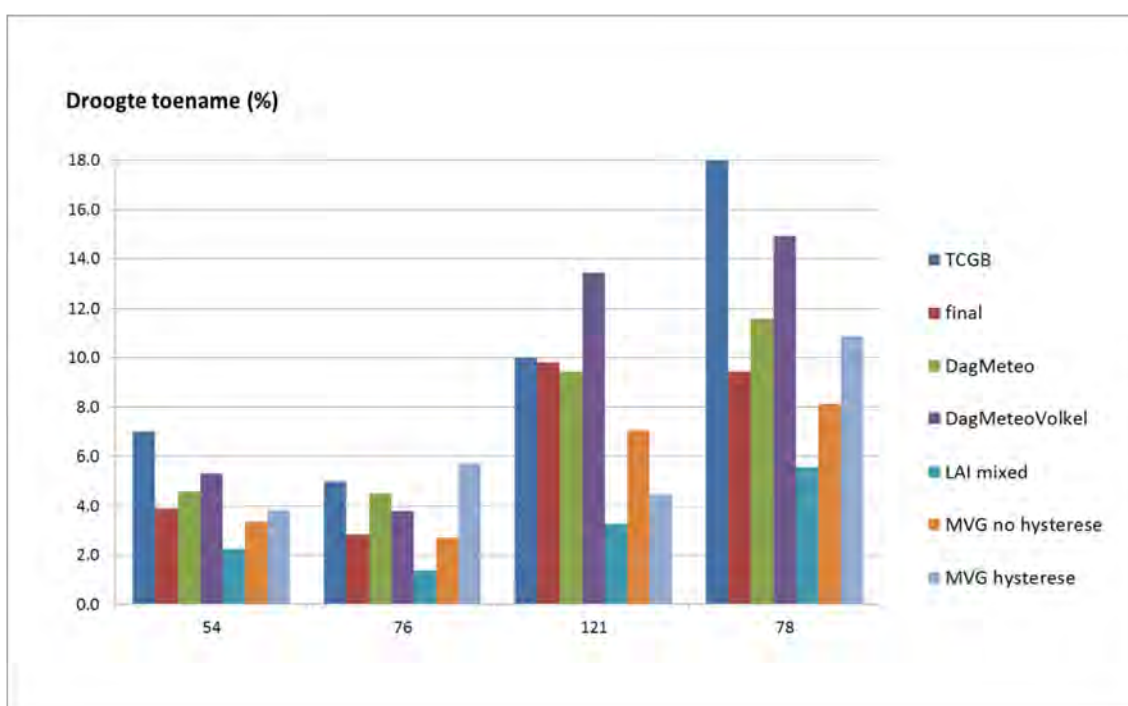
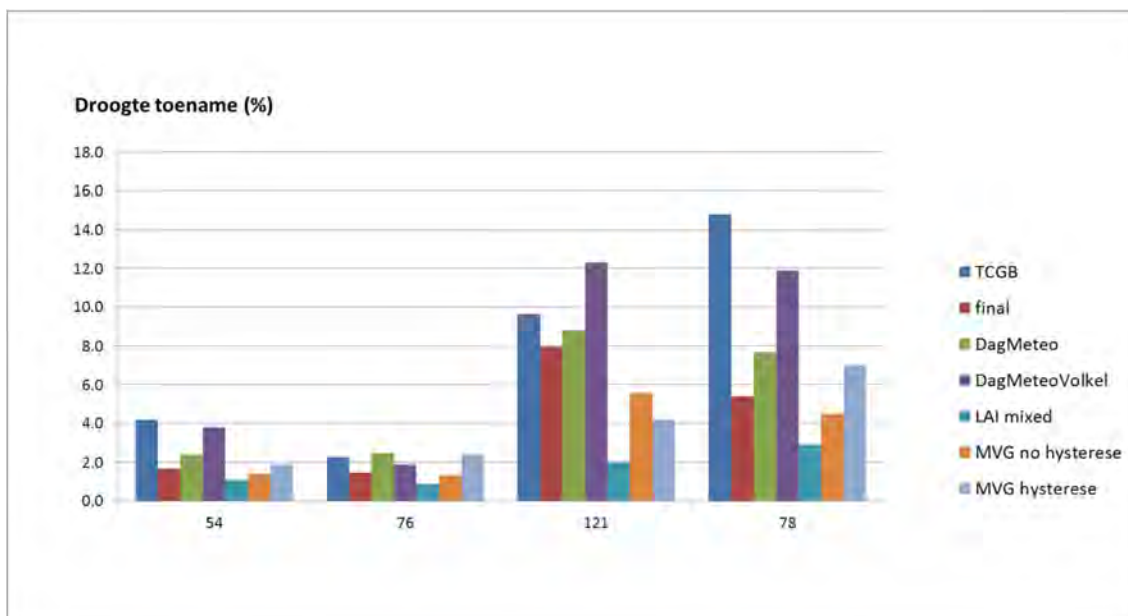
Overzicht van eigenschappen van varianten waarvoor een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd.

variant	Referentie (Tabel 4)	Variante (Tabel B4.5)
DagMeteo	Decadecijfers voor neerslag en verdamping	dagcijfers
DagMeteoVolkel	Meteo data van De Bilt	Meteo data van Volkel
LAI mixed	LAI constant en gelijk aan 3	LAI varieert
MVG no hysteresis	Tabellen voor bodemfysische relaties	Mualem Van Genuchten (MVG) parameters om bodemfysische relaties te beschrijven
MVG hysteresis	Geen hysteresis	MVG parameters gecombineerd met hysteresis

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn gegeven in Tabel B4.5 en in Figuur B4.4 als rekenkundig gemiddelde over de periode 1997-2007 en als het resultaat voor het GEM-jaar (gemiddelde 2005 en 2006).

De berekening met dagelijkse lokale meteo laat zien dat de droogtestress fors toeneemt en voor sommige proefvlakken zelfs vrijwel verdubbelt (zie DagMeteoVolkel in Tabel B4.3, B4.5 en Figuur B4.4). Door gemengde LAI en MVG-parameters verlaagt droogtestress. Door introductie van hysteresis stijgt de droogtestress.

Combinatie van tabellen met hysteresis is niet mogelijk waardoor hysteresis in 2 stappen is geïntroduceerd. De, daarbij gehanteerde MVG-parameters komen uit de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1994) en zijn een benadering van de tabellen die in de referentietoestand zijn gebruikt.



Figuur B4.4 Voor 4 proefvlakken: resultaat gevoeligheidsanalyse SWAP: als rekenkundig gemiddelde over de periode 1997-2007 (boven) en als gemiddeld voor de GEM-periode 2005 en 2006 (onder).

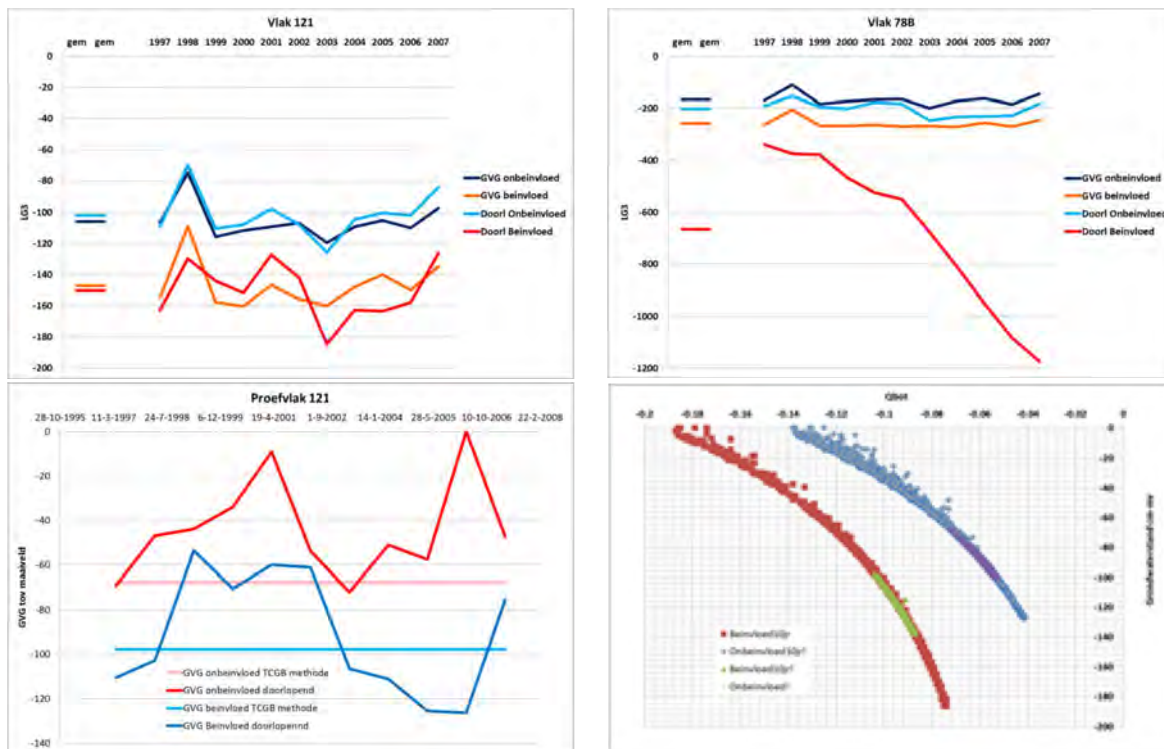
Tabel B4.5

Resultaat gevoeligheidsanalyse: transpiratie-reducties voor de 4 percelen in Vierlingsbeek gepresenteerd als rekenkundig gemiddelde van de resultaten voor de periode 1997-2007 en als resultaat voor het GEM-jaar (gemiddelde van 2005 en 2006).

variant	proef- vlak	case	glg_obs (cm)	Rekenkundig gemiddeld periode 1997- 2007					Gemiddeld GEM-periode 2005 en 2006		
				Tpot (mm)	Tact (mm)	Stress Totaal (%)	Stress Droogte (%)	Droogte toename (%)	Stress Totaal (%)	Stress Droogte (%)	Droogte toename (%)
Dag	121	beïnvloed	-147	348	282	18.0	18.0	8.8	23.1	23.1	9.8
Meteo	121	onbeïnvloed	-106	348	313	9.6	9.2		13.3	13.3	
	54	beïnvloed	-186	348	326	5.9	5.9	2.4	8.5	8.5	3.9
	54	onbeïnvloed	-158	348	334	3.6	3.5		4.6	4.6	
	76	beïnvloed	-171	348	338	2.6	2.5	2.5	2.8	2.8	2.8
	76	onbeïnvloed	-86	346	293	16.5	0.0		13.1	0.0	
	78B	beïnvloed	-258	348	306	11.4	11.4	7.7	14.2	14.2	9.4
	78B	onbeïnvloed	-166	348	334	3.7	3.7		4.8	4.8	
	Dag-Meteo	121	beïnvloed	-147	360	275	23.0	23.0	12.3	25.1	25.1
Volkel	121	onbeïnvloed	-106	360	319	10.7	10.7		15.6	15.6	
	54	beïnvloed	-186	360	335	6.6	6.6	3.8	10.8	10.8	4.6
	54	onbeïnvloed	-158	360	349	2.8	2.8		6.2	6.2	
	76	beïnvloed	-171	360	353	1.9	1.9	1.9	4.6	4.6	4.5
	76	onbeïnvloed	-86	358	302	16.6	0.0		9.6	0.1	
	78B	beïnvloed	-258	360	303	15.1	15.1	11.9	18.0	18.0	11.6
	78B	onbeïnvloed	-166	360	347	3.2	3.2		6.4	6.4	
	LAI mixed	121	beïnvloed	-147	240	223	6.2	6.2	2.0	28.0	28.0
121		onbeïnvloed	-106	240	227	4.7	4.2		14.6	14.6	
54		beïnvloed	-186	240	233	2.4	2.4	1.1	10.4	10.4	5.3
54		onbeïnvloed	-158	240	236	1.3	1.3		5.0	5.0	
76		beïnvloed	-171	240	237	0.9	0.9	0.9	3.8	3.8	3.8
76		onbeïnvloed	-86	238	223	6.8	0.0		23.5	0.0	
78B		beïnvloed	-258	240	228	4.3	4.3	2.9	20.3	20.3	14.9
78B		onbeïnvloed	-166	240	236	1.4	1.4		5.4	5.4	
MVG no hyste rese	121	beïnvloed	-147	316	277	11.5	11.5	5.6	11.0	11.0	3.3
	121	onbeïnvloed	-106	316	294	6.1	5.9		7.7	7.7	
	54	beïnvloed	-186	316	304	3.4	3.4	1.4	4.1	4.1	2.2
	54	onbeïnvloed	-158	316	309	2.0	2.0		1.9	1.9	
	76	beïnvloed	-171	316	311	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
	76	onbeïnvloed	-86	313	252	20.6	0.0		7.2	0.0	
	78B	beïnvloed	-258	316	293	6.6	6.6	4.5	7.6	7.6	5.6
	78B	onbeïnvloed	-166	316	308	2.1	2.1		2.0	2.0	
MVG hysteresse	121	beïnvloed	-147	316	261	16.4	16.4	4.2	19.0	19.0	7.0
	121	onbeïnvloed	-106	316	275	12.2	12.2		11.9	11.9	
	54	beïnvloed	-186	316	296	5.6	5.6	1.9	7.3	7.3	3.4
	54	onbeïnvloed	-158	316	303	3.7	3.7		3.9	3.9	
	76	beïnvloed	-171	316	307	2.6	2.6	2.4	2.7	2.7	2.7
	76	onbeïnvloed	-86	315	290	8.8	0.2		16.6	0.0	
	78B	beïnvloed	-258	316	280	10.4	10.4	7.0	12.3	12.3	8.1
	78B	onbeïnvloed	-166	316	304	3.4	3.4		4.1	4.1	

B4.6.2 GVG niet altijd op 1 april

Om de TCGB-methode zoveel mogelijk te benaderen is elk jaar opnieuw gestart met de in het veld vastgestelde GVG. Met deze GVG is telkens op 1 april gestart en tot 1 oktober doorgerekend. Dit heeft tot een bepaalde q/h relatie voor de onderrand geleid. Om na te gaan of de aldus verkregen q/h relatie ook geldig is indien de hele periode 1979-2007 doorlopend wordt doorgerekend is het tijdverloop van de LG3 geanalyseerd van berekeningen met herstart en van de doorlopende berekeningen. Voor 3 van de 4 proefvlakken lijkt de q/h redelijk, maar voor vlak 78B resulteert de q/h bij doorlopende simulatie in een grondwaterstand die onrealistisch diep wegzakt (Figuur B4.5 rechts).



Figuur B4.5 Bovenste 2 figuren: Per jaar de LG3 voor 2 proefvlakken (vlak 121 links, vlak 78B rechts) alsmede de afgeleide GLG voor de periode 1997-2007 weergegeven als lijnstuk (is gemiddelde van LG3's). Onderste figuur links: De GVG voor proefvlak 121. Onderste figuur rechts: q(h)-relatie voor de onbeïnvloede en de beïnvloede situatie voor proefvlak 121.

Voor proefvlak 121 is voor de doorlopende berekening de GLG in de onbeïnvloede situatie natter en in de beïnvloede situatie droger. Voor vlak 78B is in de doorlopende berekening de GLG in de onbeïnvloede situatie droger. In de beïnvloede situatie zien we dat de grondwaterstand zich bij vlak 78B bij de doorlopende berekening in de winter niet herstelt, de wegzijging is groter dan het neerslagoverschot. In Figuur B4.5 is het verloop van GVG uitgezet voor de doorlopende berekening voor vlak 121 evenals de gebruikte q/h-relatie. Voor de doorlopende berekening wordt gebruik gemaakt van een groter deel van de q/h-relatie dan ingeval van halfjaarlijkse berekeningen met herstart op 1 april. De GVG in de doorlopende berekening is duidelijk natter voor de onbeïnvloede situatie. In Tabel B4.6 zijn de gegevens voor vlak 121 samengevat.

Tabel B4.6

Grondwaterkarakteristieken voor vlak 121.

Situatie	Grondwaterstand			
	1-april	GVG	GLG	Uitzakking
Onbeïnvloed	GVG	67.7	106	38.3
Onbeïnvloed	Berekend	44.1	102	57.9
Beïnvloed	GVG	97.8	147	49.2
Beïnvloed	Berekend	91.2	150	58.8

Hoewel is gerekend met dezelfde $q(h-)$ relatie laat Tabel B4.6 en Figuur B4.5 (rechtsonder) zien dat de aanname dat op 1 april de GVG altijd dezelfde waarde heeft niet correct is. Verder zien we dat met de q/h -relatie de GLG voor dit vlak goed wordt benaderd, dit geldt echter niet voor de GVG, waardoor de dynamiek voor dit vlak groter is dan uit de kartering kan worden afgeleid.

Bij doorlopende berekeningen verdient de onderrand dus extra aandacht. Dit kan worden opgevangen met een her-kalibratie van de q/h voor een doorlopende periode met GVG (en eventueel GHG) of met andere vormen van koppeling aan een regionaal hydrologische systeem.

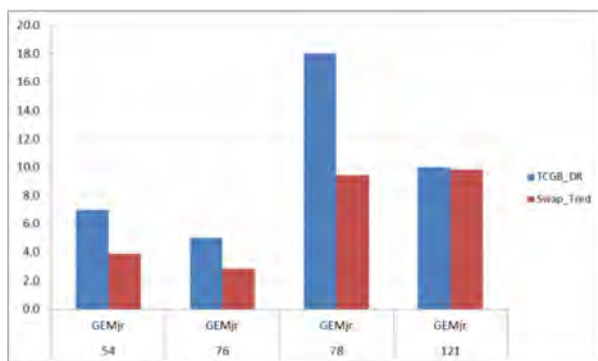
B4.6.3 Vergelijking met de TCGB-tabel

De modelresultaten zijn vervolgens vergeleken met de TCGB-tabellen. Zoals eerder vermeldt, betreft het steeds TCGB-resultaten inclusief nabewerking. Bovendien bleek dat de TCGB-resultaten worden gegenereerd voor een zgn. GEM-jaar. Om de vergelijking mogelijk te maken met de TCGB-resultaten is het GEM-jaar bepaald. Een GEM-jaar is gedefinieerd als een 35-40% droog jaar op basis van het maximaal cumulatieve verdampingsoverschot in het groeiseizoen (MCVO). Door ACSG zijn de droogtegraden aangeleverd voor jaren 1997-2007. Omdat geen enkel jaar overeenkomt met het GEM-jaar is gekozen voor het gemiddelde van de jaren 2005 en 2006 respectievelijk een 72% en 14% droogtejaar (Tabel B4.8). De resultaten zijn gegeven in Tabel B4.7 en Figuur B4.6 en b4.7.

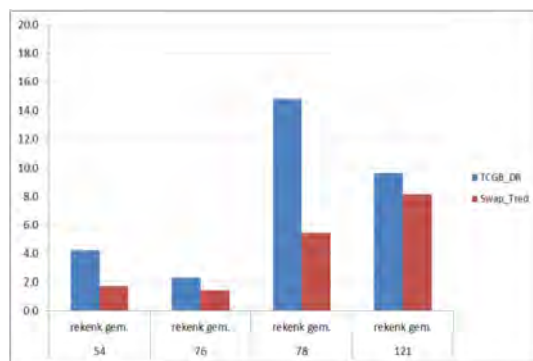
Tabel B4.7

Verandering in droogteschade (%) door een onttrekking van 2,9 miljoen m^3 /jaar; volgens de TCGB-tabellen en SWAP voor 4 proefvlakken en 2 varianten: GEMjr en rekenkundig gemid. 1997-2007.

Proefvlak	Variant	TCGB_DR	Swap_Tred
54	GEMjr	7.0	3.9
76	GEMjr	5.0	2.8
78	GEMjr	18.0	9.4
121	GEMjr	10.0	9.8
54	rekenk gem.	4.2	1.7
76	rekenk gem.	2.3	1.4
78	rekenk gem.	14.8	5.4
121	rekenk gem.	9.6	8.1



Figuur B4.6 Voor 4 proefvlakken: resultaat vergelijking TCGB en SWAP voor GEMjr.



Figuur B4.7 Voor 4 proefvlakken: resultaat vergelijking TCGB en SWAP als rekenkundig gemiddelde over 1997-2007.

Tabel B4.8

GEM jaar als gemiddeld bepaald voor de jaren 2005 en 2006.

Jaar	Droogtegraad	Wateroverlastfactor	MCVO (interpolatie)
1997	68	0.59	115
1998	94	2.07	68
1999	49	1.08	137
2000	90	1.23	73
2001	60	1.80	127
2002	94	1.10	68
2003	7	0.47	260
2004	62	0.89	122
2005	72	0.64	106
2006	14	1.13	210
2007	84	1.41	84
GEM		1.00	124



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2600
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2600
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

