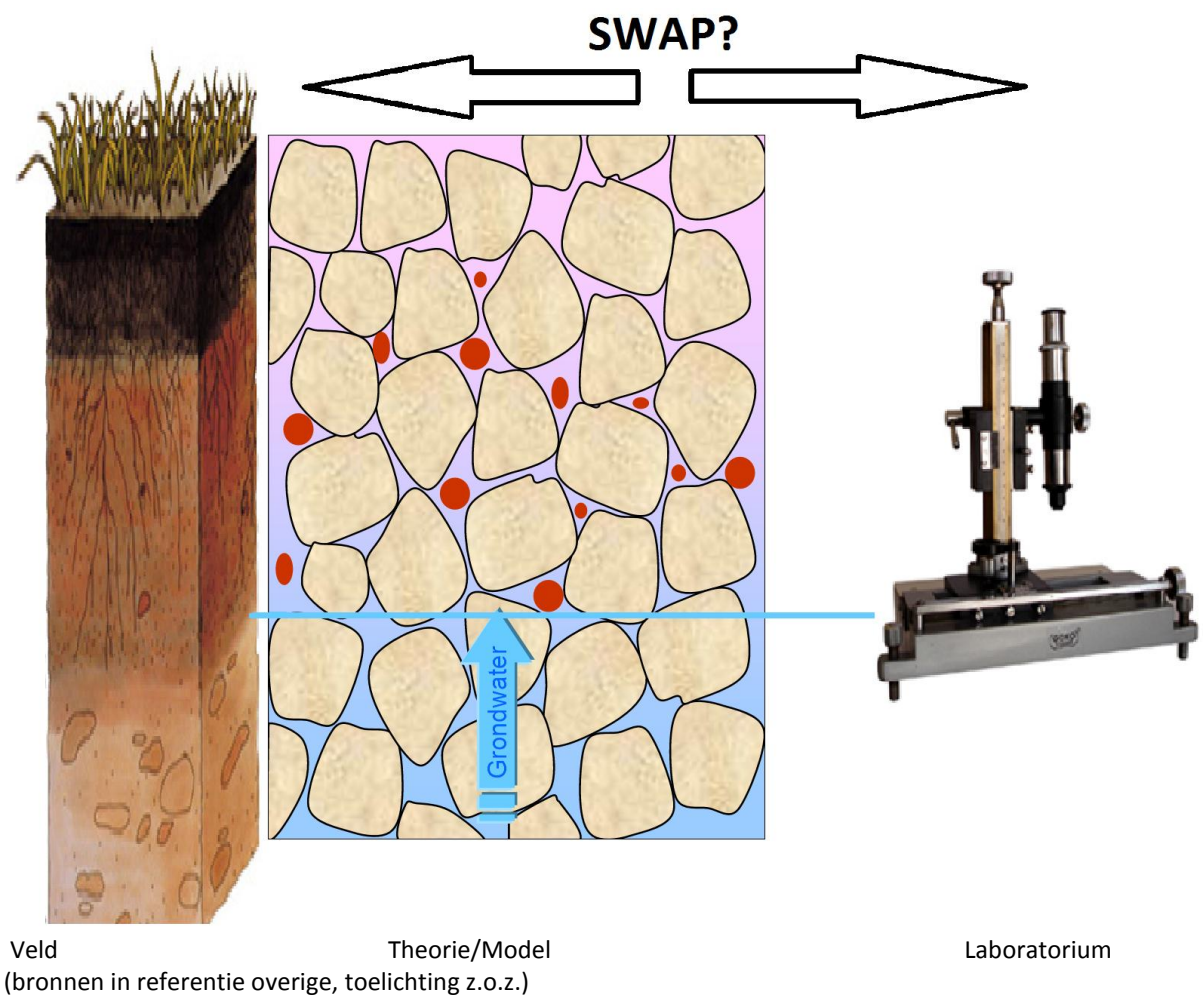


Gevoeligheidsanalyse van de berekende capillaire opstijging in het Baakse Beek gebied



Imre van Hal, Wageningen, Augustus 2012

Toelichting kapt: SWAP is het Engelse woord voor ruilen/omwisselen. Het is tevens de naam van het onderzochte model. Het vraagteken staat voor gaten / moeilijkheid die komen kijken bij uitwisseling tussen de 3 systemen: realiteit, model en laboratorium.

Gevoeligheidsanalyse van de berekende capillaire opstijging in het Baakse Beek gebied

Afstudeeropdracht van Hogeschool Van Hall Larenstein bij Alterra,
Centrum Water en Klimaat, team Integraal Waterbeheer.

Trefwoorden:

Capillaire opstijging, gewasproductie, Baakse Beek, SWAP, WOFOST, bodemfysische parameterisering, modellering onverzadigde zone, numeriek.

Opdrachtgever:

Begeleider Alterra:

Begeleider van Hall-Larenstein:

Door:

Datum

Alterra Centrum Water en Klimaat

dr. ir. Patrick Bogaart

ir. Ad Bot en ir. Sara Eeman

Imre van Hal

Augustus 2012



Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van mijn afstudeeronderzoek ter afronding van de bachelor Land en Watermanagement aan de hogeschool Van Hall-Larenstein. Het omvat een onderzoek naar onzekerheden binnen SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant), voornamelijk naar de berekening van capillaire opstijging. Het onderzoek is verricht bij Alterra van 30 januari 2012 tot augustus 2012.

Aan het begin van het onderzoek waren er veel onzekerheden. De theorie zat er bij mij nog onvoldoende in. De werking van SWAP en de inhoud van onder andere de referentie studie waren voor mij niet inzichtelijk. Na een aantal maanden werken en door goede correcties van met name Patrick Boogaart is het uitgestippelde pad toch bewandeld. Ik ben Patrick Boogaart, Piet Groenendijk, Joop Kroes, Martin Mulder en andere collega's van Alterra hier zeer dankbaar voor.

Het was een leerzame afstudeerstage. Er zijn voor mij nieuwe werkvelden zichtbaar geworden waar ik op doorga in mijn vervolgstudie. Tevens wil ik Pytrik Reidsma bedanken voor haar hulp bij het vormen van deze opdracht en haar betrokkenheid bij het proces. Ook wil ik mijn begeleiders van Van Hall Larenstein bedanken voor hun lange adem en goede ondersteuning: Ad Bot heeft mij tijdens de opleiding begeleid en werd bij de afstudeeropdracht met goede inbreng bijgestaan door Sara Eeman. Hartelijk dank voor de hulp en feedback. Imre van Hal

Samenvatting

Onderzoek naar gewasproductie is zeer belangrijk, inclusief de daarbij spelende processen, dit om onder andere grip te krijgen op berekeningen en voorspellingen van productie. Hier is al zeer veel studie naar gedaan, er zijn echter een tal van onzekerheden over een van de belangrijkste processen namelijk capillaire opstijging. In dit onderzoek worden een aantal aspecten en de mate van invloed op de berekende capillaire opstijging in kaart gebracht. Dit zijn de effecten van bodemfysische parameterisering en numerieke discretisering op capillaire opstijging. Dit in onverzadigde zone rekenmodel SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant) in combinatie met gewasopbrengst model WOFOST (WORLD FOOD STUDIES). Om de effecten goed zichtbaar te maken is een droog jaar gekozen. De resultaten zijn van 2003 tenzij anders aangegeven. Dit onderzoek gebruikt een bestaande dataset van Ruurlo en een fictief gebied. Dit bij gebrek aan gegevens en vanwege het modelmatige karakter van deze studie. Het effect wordt ook zichtbaar zonder validatie. Er wordt dus gekeken naar mate van invloed bij wijziging van modelinvoer. Hieronder de methodiek van de deelvragen alvorens het antwoord erop.

1 Effect van bodemkundige schematisatie.

Er wordt gekeken was het effect is van tussenlagen om zo in kaart te brengen wat het effect is van in bodemgeneralisatie 'vergeten' of weg-geschematiseerde lagen. Dit wordt bekeken door grofzandlagen met verschillende bodemfysische eigenschappen op verschillende diepte in het profiel te plaatsen. Uit de berekeningen kwam het volgende: globaal gezien zorgt een zandlaag van 10 tot 20 cm voor 100% meer droogteschade, omdat de capillaire opstijging verzwakt wordt. De capillaire opstijging is bij grofzand, met ondergrond eigenschappen (humus arm), in het profiel tussen 20–40 cm diepte het laagst met een afname van de capillaire opstijging van 85% ten opzichte van (t.o.v.) berekening onder zelfde condities zonder zandlaag, dit gebaseerd op de maximale capillaire opstijging van de droogste dag van de periode 2002–2004. De invloed van grofzand is het grootst als deze zich bevindt in de wortelzone / humusrijke bovengrond.

2 Om de variabiliteit van bodemfysische relaties weer te geven zijn de onderliggende gegevens van de standaard gebruikte tabel doorgerekend. Dit zijn de bodemfysische relaties van de veldgegevens van de Staringreeks. Dit voor de 26 monsters die waarop de grofzandcode is gebaseerd en de 14 waarop de geanalyseerde humus podzolgrond is gebaseerd. Hieruit kwam dat de variatie binnen de textuurklasse groot is. Dit voor zowel bodemtype humus podzolgronden als voor type grofzand: Uitgedrukt in percentueel verschil t.o.v. referentie is gevoeligheid op de capillaire opstijging op de droogste dag (zie bijlage X getallen en toelichting): voor variatie binnen de monsters van humus podzolgronden is de capillaire opstijging 65% lagere tot 10% hogere dan de referentie. Variatie binnen de monsters grofzand heeft als maximale invloed 55% lagere tot 200% hogere capillaire opstijging dan de referentierun. Voor monsters van de humus podzolgronden is er op een natte zomerdag verschil waarneembaar zowel in capillaire opstijging als drukhoogte. Op de droogste dag is dit minimaal, het verschil in droogteschade uit zich in eerder optreden, niet zozeer in de mate van droogte.

3 Het derde deelonderzoek kijkt naar invoermethode van bodemfysische relaties. Is dit als analytische functie of als tabel met verschillend detail (grote van de tabel). Als de tabel uitgebreider is beschrijft het de functie beter. Met deze deelvraag wordt gekeken waar de grenzen liggen en hoe de tabel functie werkt. Zo wordt de functie vergeleken met verschillende θ -h & en K-h relatie in tabelvorm. Voordeel van het gebruik van tabel i.p.v. een functie is de mogelijkheid om ruwe veld data te gebruiken. Bij invoer van de tabel met 34 drukhoogtes was er 10% minder droogteschade en daarmee een opbrengst reductie voor 2003 van 1.4% t.o.v. potentieel, hetgeen een lage reductie is voor een droog jaar. Dit resulteerde in een 120% hogere capillaire opstijging op de droogste dag. Bij invoer van een goede spreiding van drukhoogtes en een groter aantal punten was de functie gelijk aan tabel. Belangrijk hierbij is de beschrijving van drukhoogte 0 tot 4000 in voldoende detail.

4 Om te kijken naar het effect van rekentijdstapgrootte op capillaire opstijging (en gewasproductie) is de rekentijdstapgrootte binnen de 'range' (reikwijdte) van de parameter maximale tijdstap. Dit leverde een verschil tussen kleinste en grootste tijdstap van nog geen 0.14% invloed op de opbrengst, de invloed op capillaire opstijging op de droogste dag was maximaal 0.3% hoger dan de referentie. Tijdstapgrootte blijkt dus weinig invloed te hebben en is niet de verklaring voor onder of overschatting van capillaire opstijging in SWAP. De tendens was: hoe groter de tijdstap hoe lager de opbrengst.

5 In het onderzoek is gekeken naar invloed van dichtheid van de verticale rekengrid. Hiervoor zijn een aantal diktes van de compartimenten ingesteld en doorgerekend. De trend is; hogere opbrengst berekening bij grovere compartiment indeling. Dit met een verschil van rond de 5% tussen de kleinste en grootst doorgerekende rekengrid. Dit was vrijwel geheel te wijten aan verschil capillaire opstijging tussen de runs en niet aan verschil in drukhoogte. De capillaire opstijging was op de droogste dag (27-08-03) bij 1 cm compartimentdikte 0.93 mm (dit is de referentierun) en bij compartimenten van 25 cm dik was de capillaire opstijging 1.26 mm, een toename van 35%. Bij het verkleinen van de compartimentdikte was het verschil in de maximale capillaire opstijging minimaal, met 2% afname op de droogste dag.

Hoofdvraag beantwoord:

De bekeken onzekerheden zijn uitgedrukt als procentueel verschil (t.o.v. referentie) in capillaire opstijging op de droogste dag. Op volgorde (klein naar groot) is de invloed van factoren op capillaire opstijging: rekentijdstapgrootte (<1%), dichtheid rekengrid (35%), grofzand lagen in het profiel (85%), tabellarische beschrijving Θ -h en K-h relaties (120%) en variabiliteit standaard bodemfysische relaties (Staring monsters) (250%). Het effect is echter klein bij juiste keuze rekentijdstapgrootte en bij invoer van de juiste tabelwaarde. Bij compartimentgrote kan er grote afwijking zijn als er met verschillende dichtheid van rekengrid gewerkt wordt. De mate van effect is het grootst bij bodem generalisatie, dit voor zowel 'in generalisatie vergeten lagen' (getest bij deelvraag tussenlagen) in het profiel als voor verschil tussen de onderliggende data van de bodemgeneralisatie.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Inhoudsopgave.....	8
1. Inleiding.....	9
2. Methodiek.....	12
3. Resultaten gevoeligheidsanalyse	23
3.1. Zandlagen in het profiel.....	23
3.2. Variabiliteit binnen standaard bodemfysische relaties	28
3.3. Analytische en tabellarische beschrijving van Θ -h en K-h relaties	32
3.4. Rekentijdtaggrootte	33
3.5. Dichtheid rekengrid	34
4. Conclusies & aanbevelingen	39
5. Discussie onderzoeksresultaten en methode	43

Referenties.....	45
------------------	----

Bijlages

Bijlage I Begrippen	47
Bijlage II Modelleren (on) verzadigde zone in SWAP	49
Bijlage III Verdamping met Penman-Monteith	50
Bijlage IV Modelleren gewasproductie (WOFOST)	51
Bijlage V Staringreeks	52
Bijlage VI Cosinus & grondwaterstand (Ruurlo experiment)	55
Bijlage VII Onderrand-randvoorwaarde en kalibratie grondwaterstand	56
Bijlage VIII Selectie analyse periode	65
Bijlage IX PAWN ruimtestappen, een overzicht tabel.....	67
Bijlage X Maximale capillaire opstijging op 27-08-2003 voor flux geanalyseerde runs	67

1. Inleiding

Dit onderzoek is een gevoeligheidsanalyse naar de invloed van verschillende aspecten op capillaire opstijging. Het is gestart naar aanleiding van vragen vanuit Alterra. Een voorbeeld van onzekerheden kwam naar voren in het recent verschenen artikel van Kroes en Supit (2011). Hierin spreken de auteurs over mogelijk modelmatig en bodemfysische onvolledigheid als verklaring voor gesimuleerd verschil tussen jaren, hetgeen niet in de meetwaarde terugkwam. Dit onderzoek bekijkt dit nader. Zo richt deze gevoeligheidsanalyse zich op de met SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant, zie bijlage II) berekende capillaire opstijging en secundair de (berekende) gewasproductie. Onderzoek naar gewasproductie is zeer belangrijk, inclusief de daarbij spelende processen, dit om onder andere grip te krijgen op berekeningen en voorspellingen van productie. Hier is al zeer veel studie naar gedaan, er zijn echter een tal van onzekerheden over een van de belangrijkste processen namelijk capillaire opstijging. In dit onderzoek worden een aantal aspecten en de mate van invloed op de berekende capillaire opstijging in kaart gebracht. Dit zijn de effecten van bodemfysische parameterisering en numerieke discretisering op capillaire opstijging. Dit in onverzadigde zone rekenmodel SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant) in combinatie met gewas opbrengstmodel WOFOST (WOrld FOod Studies, zie bijlage IV). Er wordt dus gekeken naar verschil in bodem parameters en rekenkundige parameters om de werking van SWAP te analyseren.

Om de effecten goed zichtbaar te maken is een droog jaar gekozen, namelijk 2003. Als referentie en controle naar de werking van SWAP zijn ook de relatief natte jaren rond het droge jaar 2003 meegenomen, periode van 2002 tot en met 2004. De resultaten spreken over het jaar 2003 tenzij anders aangegeven.

Dit onderzoek gebruikt een bestaande dataset (zie §2.2) als modelvulling met kleine veranderingen voor de doelstellingen in deze studie. Het is een gevoeligheidsanalyse en kijkt naar effecten in het model SWAP, vandaar dat een fictief gebied voldoet in plaats van een werkelijke situatie (waar op gevalideerd wordt). Met deze fictieve locatie (gebaseerd op zo realistisch mogelijke gegevens, zie §2.2) wordt gekeken naar mate van invloed bij wijziging van modelinvoer.

SWAP wordt veel toegepast onder andere (o.a.) voor inzicht in gewasopbrengst, onverzadigde zone stroming, irrigatie vraagstukken en voor berekening van nutriënten concentraties en stroming. Er zijn meerdere modellen die deze toepassingen beslaan, deze studie bekijkt enkel het model SWAP-WOFOST gezien de vragen vanuit Alterra betrekking hadden op voorspellingen met dit model.

Vraagstelling

Hoofdvraag: Wat zijn de effecten van bodemfysische parameterisering en numerieke discretisering op capillaire opstijging in het model SWAP?

De hoofdvraag is opgesplitst in twee delen: onzekerheden op het gebied van bodem en numerieke discretisering. In het deel bodem wordt aandacht geschonken aan bodemkundige schematisatie, variabiliteit binnen bodemfysische relaties van de Staringreeks (zie bijlage V) en bodemfysische parameters in tabelvorm of als functie. Met numerieke discretisering wordt het discreet maken van tijd en ruimte in het model bedoeld, dit om te testen of verschillende stappen in het model verschillende uitkomsten geven. Hieronder wordt de tweedeling verwerkt in concrete deelvragen die tezamen de hoofdvraag beantwoorden, deel 1, bodem, in deelvragen 1,2 en 3. Het deel (2) over discretisering in deelvragen 4 en 5.

Deelvragen:

1. Wat is het effect van bodemkundige schematisatie op de capillaire opstijging?

Met bodemkundige schematisatie wordt de profielopbouw bedoeld. In deze studie wordt er 1 laag tussen de standaard van 2 lagen geplaatst. Dit omdat ingevoerde laag er in werkelijkheid wel kan zitten, maar bij bodemgeneralisaties niet is meegenomen. In dit onderzoek wordt gekeken naar tussenlagen grofzand met verschillende dikte en begindiepte.

2. Wat is het effect van de variatie van individuele Staring bodemonsters op capillaire opstijging?

Met deze deelvraag wordt ingegaan op variabiliteit in bodemfysische relaties, in dit geval van de bodemgeneralisatie Staringreeks, de codes uit Staringreeks (zie tabel 1 in bijlage V: tabel V.1) zijn opgebouwd

uit een middeling van meerdere lab monsters. Dit laat de verschillen in veld data zien. Als de generalisatie de lab monsters niet goed beschrijft is er al veel variatie binnen één grondsoort.

3. Wat is de invloed van de invoermethode voor de Mualem Van Genuchten functie, vergeleken met θ -h & θ -K tabellen?

Met deze vraag wordt gekeken naar verschil in bodemfysische invoer: is dit in de vorm van een analytische functie of dezelfde waarde alleen dan als tabel. Dit om te kijken hoe het model functioneert met gemeten gegevens i.p.v. een curve. Het verschil zit in de interval/detail van beschrijven van de tabel. De tabel kan namelijk meetpunten bevatten van het veld, maar voorspelt het model wel dezelfde waarde als er een tabel geleverd wordt met waarde uit de functie? Dit is dus een controle naar de werking van tabel invoer om inzicht te verkrijgen in de werking ervan.

4. Wat is de invloed van verschillende rekentijdstappen op capillaire opstijging in het model SWAP?

Met deze deelvraag wordt gekeken of en in welke mate numerieke rekenstappen van invloed zijn op capillaire opstijging. Het model kan met meer rekenstappen een hogere capillaire opstijging berekenen, of juist een lagere. Om dit concreet te maken worden verschillende tijdstappen doorgerekend. Met deze vraag komt er meer grip op de invloed van numerieke rekenstappen.

5. Wat is de invloed van dichtheid rekengrid in het model ?

Met deze deelvraag wordt gekeken of numerieke discretisering van het rekengrid in het model voor verschillende capillaire opstijging zorgt.

Doelstellingen

Het doel van deze studie is het analyseren van de gevoeligheid van modelberekeningen (van SWAP) en de doorvertaling naar het gewas-opbrengstmodel (WOFOST), dit na twijfels over de precisie van capillaire opstijging in het hydrologische onderdeel van het model SWAP. Om dit te testen worden een aantal mogelijke oorzaken onderzocht. Dit zijn de effecten van bodemkundige schematisatie, bodemfysische parameterisering en numerieke discretisering op de grasproductie. Het doel is dus het in kaart brengen van de invloed van de ondergrond (samenstelling en indeling) op capillaire opstijging en daarmee op de grasproductie.

Afbakening

Aangezien kwalitatief goede data lastig te verkrijgen zijn, kalibreren en valideren moeilijk is, en deze processen tijdrovend en complex zijn, wordt in dit onderzoek zo goed mogelijk gebruik gemaakt van bestaande data uit case Ruurlo (Jansen., 1991), toelichting zie §2.2. De data van het Ruurlo experiment zijn vertaald naar SWAP door Joop Kroes en Iwan Supit. Deze en 2 andere case studies (op andere gronden) zijn gebruikt voor het artikel van Kroes & Supit (2011) over de impact van droogte en de verhoging van het zoutgehalte in het grondwater. Door gebruikt te maken van deze data is deze studie niet geheel modelmatig maar gebaseerd op realistische gegevens. De gegevens van dit artikel (Kroes et al., 2011) zijn overgenomen en op een aantal vlakken verandert. Zo is er gekozen voor een recent droog jaar (2003) en voor een fictief gebied. Een fictief gebied is geschikt voor een model verificatie studie, hiervoor is gekozen bij gebrek aan meetgegevens, dit o.a. op gebied van bodemfysische data, gewasproductie en nutriënten applicatie. In SWAP zijn een aantal processen waar data van ontbreekt uitgezet, dit zijn o.a. nutriënten limitatie, macroporiën stroming, drainage en irrigatie. Hysteresis effect wordt in het onderzoek 'uitgezet' dit omdat de gebruikte bodemfysische relaties van de Staringreeks zijn opgezet voor de verdrogingcurve en niet de vernattingscurve en verdroging onderzocht wordt. Omdat observatie gegevens van capillaire opstijging, drainage en bodemfysische relaties niet voor handen zijn worden in deze studie modelresultaten onderling vergeleken. Dit houdt in dat er gekeken wordt hoe gevoelig het capillaire opstijgingsproces is voor keuzes (/invoer) in het model SWAP. Dit gebeurt door capillaire opstijgingen, drukhoogtes en gewasopbrengst in kaart te brengen en te vergelijken met een nul situatie (genaamd referentierun).

Het onderzoek bekijkt enkel effecten op zandgronden (gezien ligging referentie studie, zie §2.2.2) en niet op klei of veengronden, tevens spelen bij kleilagen en veenlagen andere processen een grotere rol, zoals macroporiën stroming, al dan niet aanwezig zijn van ondoorlatende lagen, inklinking en oxidatie.

Het onderzoek bekijkt een fictief opgestelde locatie, voor het jaar 2003 (met als controle de jaren eromheen). Het kan zijn dat andere locaties, drogere periode (zowel qua duur als intensiteit) tot andere conclusies leiden, dit rapport is puur een indicatie van de mate van invloed op een zandgrond in oost Gelderland.

De boorprofielen zijn doorgaans genomen tot 1.20m. Omdat berekeningen in SWAP met deze lengte van profiel vaak stopt, hetgeen optreedt als de GWS onder 1.20m komt, is het profiel doorgetrokken tot 3m. Gewasdata mist locatie specifieke oogst grenzen (wanneer de boer besluit te oogsten), tevens wordt de situatie op 31 december niet meegenomen in de status van 1 januari het jaar erop. Er is dus ieder jaar nieuwe aanplant zonder uitwisseling nat of droogschade, wortelontwikkeling etc.

Kader

Dit onderzoek valt binnen landelijke doelstellingen, waaronder afstemmen integraal waterbeheer, project NMDC (Nationale Modellen en Data Centrum) en onderzoek naar klimaatverandering op waterbalans, vegetatie en ecologie: CARE project (Climate Adaptation for Rural Areas). CARE is gestart in 2011 en heeft o.a. als doelstelling het in kaart brengen van de reactie van vegetatie en landbouw op veranderende hydrologische omstandigheden. Zo is er een casestudie in het gebied van de Baakse Beek-Veengoot (www.kennisvoorklimaat.nl). Hier worden de effecten van klimaatverandering op en adaptatiemogelijkheden van waterbeheer, natuur en landbouw bekeken. Het NMDC project heeft 2 pilot gebieden waarin hydrologie, natuur en landbouw aan elkaar gekoppeld worden. Eén van de pilot gebieden is de Baakse Beek-Veengoot. Het sluit tevens aan bij de lopende kwaliteitsverbetering van bodemfysische gegevens voor BIS-Nederland (Bodemkundig Informatie Systeem van Alterra) projectnaam Priapus (Knotters *et al.*, 2011). Het Priapus project richt zich op actualiseren en uitbreiden van bestaande bodemfysische data, hetgeen gepaard gaat met het introduceren van een nieuwe kwaliteitsstatus (Stolte *et al.*, 2007). Dit onderzoek bekijkt de invloeden van variatie in ondergrond en zo dus de noodzaak van kwalitatieve data (zie deelvraag 2).

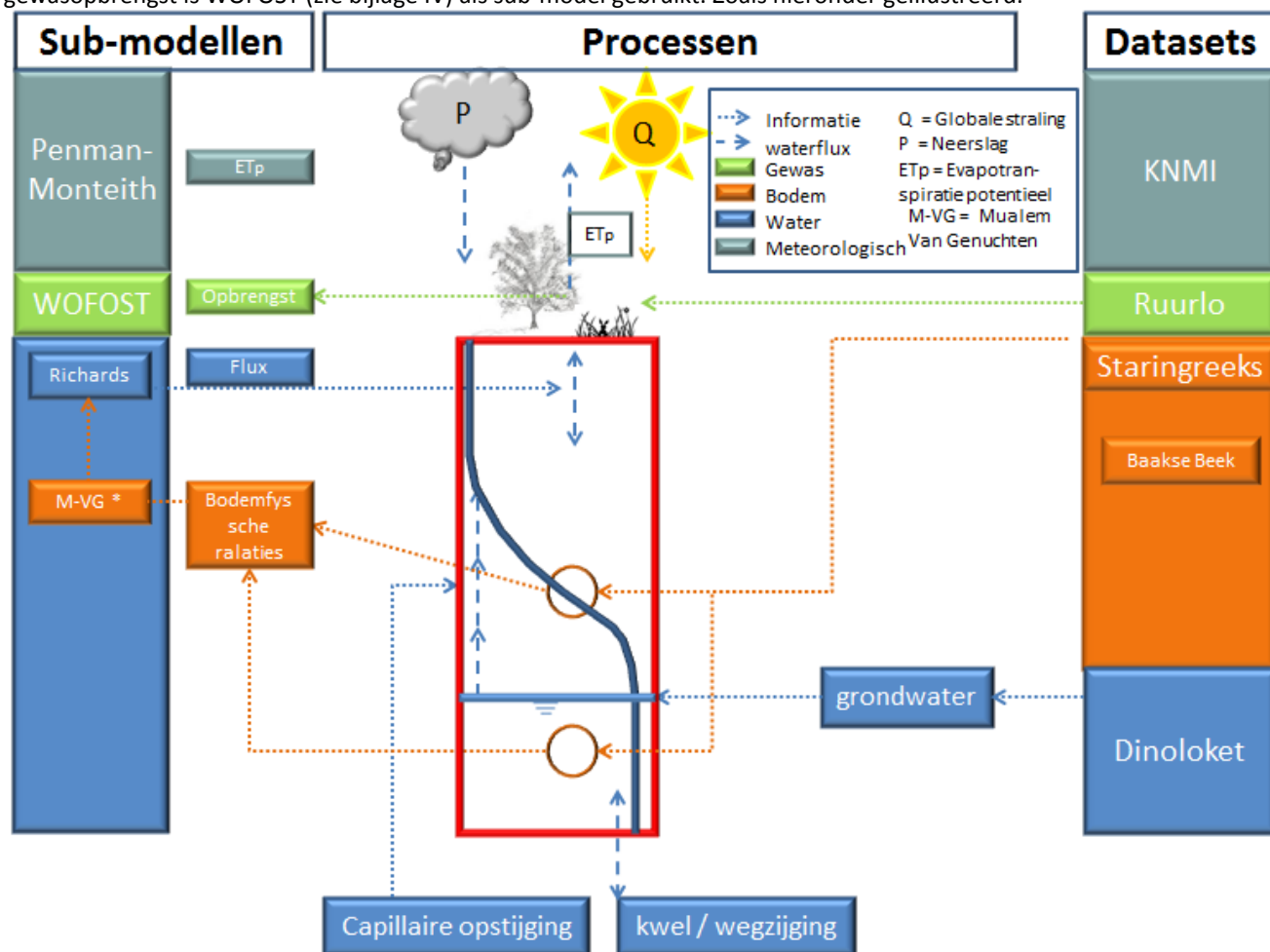
Leeswijzer

In hst 2 methodiek een algemene introductie en overzicht van processen, data en modellen. Gevolgd door de gebruikte data in meer detail uitgewerkt (§2.2). In §2.3 wordt per deelvraag de aanpak beschreven. In §2.4 wordt een test run uitgevoerd om de methode te testen en zo tot een kwalitatieve referentie run te komen in §2.5. In hst 3 wordt gestart met de gevoeligheidsanalyse. §3.1 gaat in op deelvraag 1, §3.2 op deelvraag 2 ect. De hoofdvraag en deelvragen worden beantwoord in hst 4, gevolgd door aanbevelingen. In hst 5 de discussie. Als u onvoldoende bekend bent met een aantal begrippen vindt u in bijlage 1 er een aantal toegelicht. Voor beknopte versie van het verslag wordt verwezen naar de samenvatting, korte versie van de methodiek in figuur 1 en §2.3. En §4.1 voor de conclusies. De grafiek series zijn verder toegelicht in de onderschreven titel, raadpleeg de paragraaf mocht dit te beknopt zijn.

2. Methodiek

2.1. Algemene introductie en overzicht

Om de hoofd en deelvragen te kunnen beantwoorden zijn data nodig. De data wordt ingeladen in SWAP en de onderliggende sub-modellen. Een sub-model is een onderliggend/ gekoppeld model. In dit hoofdstuk worden de data beschreven en de gebruikte methodes om deze te verkrijgen en te verwerken. Allereerst een overzicht van de werking van SWAP en de sub-modellen. Dit om te laten zien welke processen er spelen en waar de datasets voor gebruikt zijn (zie bijlage II voor toelichting onverzadigde zone modellering in SWAP). Het overzicht in figuur 1 kan gezien worden als een negen raam, met horizontaal 1) sub-modellen, 2) processen en 3) datasets. En verticaal 1) meteorologisch, 2) gewas en 3) water. Water is weergegeven in combinatie met bodem vanwege de sterke samenhang. SWAP rekent met bekende relaties tussen drukhoogte en vochtgehalte en drukhoogte en doorlatendheid, bekend als θ -h en K-h relaties. Een veelgebruikte manier om deze relaties te beschrijven is door middel van Mualem Van Genuchten (M-VG) formules (zie bijlage II formule II.3 t/m II.6). SWAP (zie bijlage II) is opgebouwd uit meerdere sub-modellen. In dit onderzoek zijn de volgende sub-modellen gebruikt: voor bodemfysische relaties is gebruik gemaakt van Mualem Van Genuchten (zie bijlage II deel bodemfysische relaties) hetgeen is gebruikt om de Richards vergelijking op te lossen (zie formule II.2), voor de meteodata is gebruik gemaakt van de Penman-Monteith (zie bijlage III) en voor de berekening van gewasopbrengst is WOFOST (zie bijlage IV) als sub-model gebruikt. Zoals hieronder geïllustreerd.



Figuur 1 Schematisatie SWAP: sub-modellen, processen en gebruikte data sets.

In bovenstaande figuur 1 de sub-modellen belangrijkste processen en de gebruikte data. Stippellijnen zijn informatie stromingen (van o.a. bodemfysische eigenschappen, globale straling etc.). Het teken [*] achter M-VG staat voor de mogelijkheid in SWAP om de Richards vergelijking (zie formule II.2) op te lossen. Er zijn meerdere manieren om deze θ -h en K-h relaties te beschrijven, in deze studie wordt gekeken naar manier van invoeren in de vorm van een tabel versus de standaard: M-VG, maar er zijn talloze regressie methodes om dit

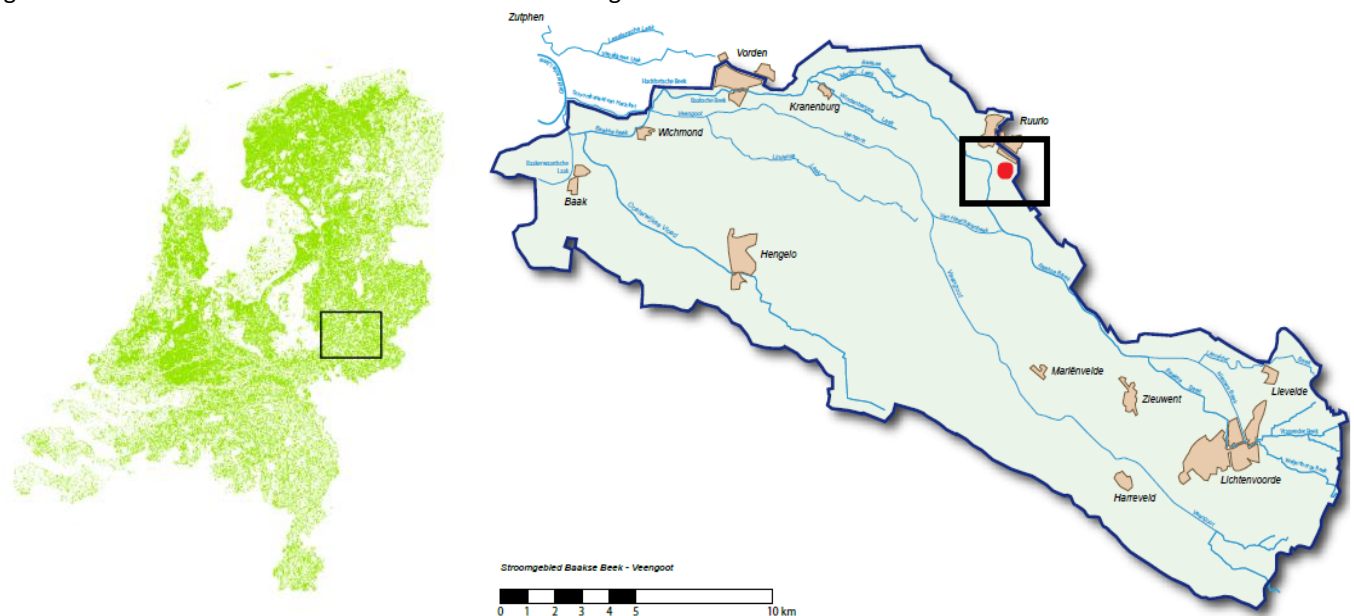
te beschrijven. Hieronder volgt de uitleg van gebruikte data vervolgt door methodiek voor het beantwoorden van de deelvragen en het opstellen van de referentierun, run is term voor doorrekenen. De referentierun wordt de nul-situatie waarmee veranderingen vergeleken worden. De twee ringen in de schematisatie van SWAP (in het rode blok) staan voor bodemfysische relaties van (bovenste ring) 1) onverzadigde zone (Van Genuchten) en 2) verzadigde zone (Mualem) zie bijlage II voor de formules en toelichting.

2.2. Detail uitwerking data

In deze paragraaf (2.2) worden de gebruikte data in detail toegelicht, beginnend met het studie gebied en uitleg van de opzet van belangrijkste bron van data, de referentie studie Ruurlo.

Studiegebied

Dit onderzoek vergelijkt model met model resultaten en is dus geen beschrijving van een werkelijk voorkomend gebied. Hiervoor is een fictief onderzoeksgebied opgesteld dat gebaseerd is op voorkomende gronden rond de Baakse Beek. De keuze voor fictief gebied is gemaakt vanwege tekort aan data, tevens is het een gevoeligheidsanalyse, de effecten komen ook naar voren zonder modelijking/validatie van een locatie. Voor het fictieve studiegebied is gebruik gemaakt van data van referentie studie Ruurlo (Kroes, 2011), tevens is de zone eromheen als inspiratie gebruikt. Zo zullen globale eigenschappen van zandgronden in oost Gelderland gebruikt worden. Hieronder informatie over het 'studie gebied'.



Figuur 2 A) Grasland NL; ligging gebied B) Baakse Beek-Veengoot (bron a) NHI en b) Krajenbrink, 2007)

Het studiegebied omvat de landbouwgronden in het stroomgebied van Baakse Beek-Veengoot en ligt aan de oostkant van de IJssel in de provincie Gelderland (zie figuur 2 a). Ruurlo bevindt zich in het noordelijke deel (figuur 2 b rode stip het blok). Het stroomgebied van de Baakse Beek-Veengoot bestaat in feite uit één groot doorlatend freatisch watervoerend pakket, met hierin verschil tussen west en oost. Het westelijk deel wordt beïnvloed door diepe kwel afkomstig uit de Veluwe. Het oostelijk deel bestaat uit hogere zandgronden en heeft wegzijging. Het grondwater volgt globaal het reliëf, vanaf het zuidoosten aflopend naar noordwesten (Krajenbrink, 2007). De afzettingen in het gebied, voornamelijk zandgrond en kleilagen, dateren zowel uit het Pleistoceen als uit het Holoceen. Door de verschillende afzettingsmilieus zit er veel verschil in ondergrond. Zo komt er veel klei voor in het westen, zand in het oosten en bevinden zich grind en grofzandlagen in het profiel. Het merendeel van de bodems bestaat uit (humus) podzolgronden. Deze studie is gericht op zandgronden en zal daarom gebruik maken van globale eigenschappen van het oostelijk deel van het gebied. Referentie studie Ruurlo valt onder het oostelijke gebied.

Ruurlo referentiestudie

Met Ruurlo wordt verwezen naar studie door Jansen (1991). Het betrof een experiment van 96 velden gelegen ten zuiden van Ruurlo, zie figuur 2 b rode stip (RD coördinaten x 229044 en y 446199). De hoogte van het

maaiveld is 18m NAP. De studie is uitgevoerd van 1980 tot 1985. Het oppervlakte per veld is 37,5 m². Het experiment had als doel de effecten van verschillende mest giften op grasproductie in kaart te brengen. Er zijn voor een aantal velden voor 1980 t/m 1982 vocht retentie karakteristieken gemeten (pF monsters op 7 lagen zie bijlage VII), overige karakteristieken zijn afgeleid van de standaard bodemserie Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001, zie tabel V.1). De bodem is ingedeeld als code B3 bovenop code O2. De dataset bevat grondwatergegevens, bodem temperatuur en meteorologische data van 1980–1985. Meteo data zijn beschikbaar van de locaties Wageningen, lokale neerslagdata, KNMI stations de Bilt (260) en Twente (290). De grondsoort wordt beschreven als Humic Gleysoil, in het Nederlands Humuspodzolgronden (Hn). Deze Ruurlo dataset is gebruikt door Kroes en Supit (2011) voor hun artikel over grasproductie en stressfactoren. Deze studie gebruikt data van Jansen (1991) omgezet en verwerkt naar SWAP bestanden door Kroes en Supit (2011). Vanaf nu wordt met Ruurlo verwezen naar de studie van Jansen (1991) en de vertaling van deze data door Joop Kroes en Iwan Supit.

Gewas

Voor het modelleren van grasgroei worden de instellingen zoals in het artikel van Kroes en Supit (2011) gebruikt. De data achter dit artikel bevatten gedetailleerde modelparameters gebaseerd op literatuur en Ruurlo referentie studie (Jansen, 1991). Het beschrijft de gegevens die voor WOFOST gedetailleerde grasfunctie nodig zijn. Dit zijn o.a. wortel diepte-, LAI ontwikkeling, oogst bij 4.2 ton per ha en jaarlijkse herstart van het gewas. LAI staat voor Leaf area index en is een verhoudingsgetal tussen het bladoppervlakte en bodemoppervlakte (cm² / cm²). Hoe hoger de LAI hoe meer bladoppervlak; de range (reikwijdte) van LAI voor gras is tussen de 0 en 10. Deze data worden overgenomen omdat het samenstellen van een dergelijk gewas bestand complex is en bovendien minder nauwkeurig dan het bestaande bestand.

Aanpassingen zijn gedaan om zout, nutriënten en overige stress factoren niet mee te laten spelen. In WOFOST worden factoren als onkruid, ziekte, ongedierte, vervuiling en nutriënten limitatie niet direct meegenomen. Dit valt onder de residu stress factor. Er is wel een mogelijkheid om zoutstress aan te geven in WOFOST, in deze studie is dit uitgezet. Dit gezien dit onderzoek zich richt op de ondergrond, onverzadigde zone stroming en nat- en droogteschade. Zo zijn de stressfactoren zout en de management aangenomen als optimaal en dus zonder invloed op gewasgroei (onkruid, nutriënten-limitatie, zoutstress etc. komen niet voor). Zo wordt er dus enkel gekeken naar waterlimitatie en kan het verschil tussen actuele en potentiële verdamping direct aan nat- en droogteschade gekoppeld worden.

Grondwater

Als onderand-randvoorwaarde zijn in SWAP acht keuzemogelijkheden. In deze studie wordt in eerste instantie gekeken naar een cosinusfunctie met weerstandsfactoren (C), zie formule VI.1. Dit betekent dat de GWS berekend wordt in interactie met het onderliggende aquifer (beschreven als cosinus) met weerstand tussen 1^e aquifer en de GWS. De keuze is gevallen op de cosinusfunctie omdat deze makkelijk aangepast kan worden naar verschillende locaties en omstandigheden (vb. diepere GWS of hogere amplitude: drogere zomers). Na het bepalen van de weerstand in de ondergrond en de aanname dat er geen drainage plaatsvindt kan de cosinusfunctie opgesteld worden. Dit voor elke GWT, bestaande metingen of fictief opgestelde grondwaterstanden. Zie bijlage VI voor de GWT van de Ruurlo referentie studie en de uitwerking van de cosinus functie zoals gebruikt in de Test-run. In dit rapport wordt met grondwaterstand (GWS) de gesimuleerde GWS bedoeld tenzij anders aangegeven.

Meteodata en klimaat

Er is gekozen voor KNMI weerstation Deelen (station code 275). Dit is het dichtstbijzijnde station met overeenkomende hoogte, nodig voor accuratere bepaling Penman-Monteith. Voor dit KNMI station worden dagwaardes verstrekt met daarin de benodigde data voor SWAP. Het KNMI verstrekt informatie over o.a. minimum en maximum temperatuur, globale straling, luchtvochtigheid, wind en neerslag. Deze gegevens zijn in de juiste eenheden en format gezet. Enkel de luchtvochtigheid (in Kpa) is omgerekend naar gemiddelde relatieve luchtvochtigheid (%), hiervoor is gebruik gemaakt van de volgende formule (Tetens, 1930)

Formule 1

$$e_{act} = 0.01 \left(610.78 \left(17.2694 \frac{T_{mean}}{T_{mean} + 238.3} \right) \right)^H$$

Met e_{act} als gemiddelde relatieve luchtvochtigheid in % en T_{mean} de gemiddelde temperatuur (°C⁻¹), de temperatuur is verkregen uit het KNMI file. Hierna zijn de gegevens ingeladen in SWAP. Er wordt gekeken naar

droogteschade, vandaar dat het droge jaar 2003 als analyse jaar gebruikt is. De jaren eromheen zijn als controle met 2002 als relatief nat jaar en 2004 als 'normaal' jaar. De tijdreeks is van het jaar 2002 tot en met (t/m) 2004.

Bodemkundige schematisatie

In SWAP kunnen meerdere bodemlagen beschreven worden. Per laag dienen de eigenschappen van de grond beschreven te worden, dit zijn vochtgehalte bij drukhoogte (θ -h) en doorlaatvermogen bij drukhoogte (K-h). Dit zijn de bodemfysische relaties. Tevens dient per laag de dikte en het aantal compartimenten beschreven te worden. De bodemfysische eigenschappen worden doorgaans ingevoerd in de vorm van M-VG parameters, maar er zijn opties om ze bijvoorbeeld (bijv.) in tabel vorm te beschrijven. In deze studie zijn de bodemfysische eigenschappen overgenomen van referentie studie Ruurlo. Deze bestaat uit 2 lagen, één bovengrond (B3) en één ondergrond (O2). In deze studie wordt tussen deze 2 lagen een nieuwe laag geplaatst om te kijken wat de invloed is van een laag grofzand op de capillaire opstijging.

De bodem in SWAP is als volgt geschematiseerd: de bovengrond loopt van 0–50cm beneden maaiveld (mv) en de ondergrond van 50–300cm-mv. Boorgatprofielen lopen echter tot 120cm, er is dus de aanname dat de bodemfysische eigenschappen vanaf 120cm homogeen doorloopt tot 3m. De onderrand van het model is op 3m ingesteld om het profiel diep genoeg te maken voor berekening SWAP. Zonder deze diepte geeft het model in veel situaties een foutmelding en stopt het met rekenen (als het model 120cm dik is komt de GWS er onder en stopt het met rekenen).

Naast diepte en bodemfysische eigenschappen dient in SWAP het aantal lagen beschreven te worden. Een voorbeeld hiervan is indeling volgens PAWN (Policy Analysis for the Water management of the Netherlands), toelichting PAWN in bijlage I begrippen. Zie tabel IX.1. voor een voorbeeld van de PAWN dichtheid rekengrid (het aantal lagen in SWAP). De uitwerking van verandering van lagen is verwerkt in deelvraag 5 dichtheid rekengrid, uitwerking in §3.5. Als extra exercitie is de PAWN indeling doorgerekend en vergeleken met een indeling van 300 lagen van 1 cm, dit in §3.5.4.

2.3. Methode per deelvraag

1 Zandlagen in het profiel

Hier wordt de methode om deelvraag “Wat is het effect van profielopbouw op de capillaire opstijging?” te beantwoorden toegelicht. Hiervoor wordt het standaard profiel uitgebreid met extra lagen grofzand. Er wordt gevarieerd in diepte: waar de laag zich bevindt (20 en 60cm-mv) en de dikte van de laag (2, 5, 10 en 20 cm dik). Voor de bodemfysische eigenschappen van de laag is gebruik gemaakt van de Staringreeks (code B5 en O5, zie tabel V.1). Bij bodemgeneralisaties worden tussenlagen niet altijd meegenomen, deze deelvraag is er om te kijken wat het de mate van effect is als deze er wel zijn.

2 Variabiliteit in bodemfysische eigenschappen

Om de variabiliteit in bodemfysische eigenschappen en het effect ervan op capillaire opstijging en opbrengst in kaart te brengen is gebruik gemaakt van de ruwe veld monsters waarop de uiteindelijke Staringreeks (zie tabel V.1) is gebaseerd. Code B3 en O2 zijn gebaseerd op een middeling van 14 veldmonsters (verzameld in heel Nederland en geanalyseerd in het lab) die naar Mualem van Genuchten (M-VG) parameters zijn omgezet. Om de variatie binnen monsters van dezelfde textuurklasse te testen worden de 14 'ruwe' Staring lab monsters in SWAP gerund. Dit geeft inzicht in het verschil dat binnen de monsters is waargenomen. Het geeft ook inzicht in de variatie in het veld. De variatie binnen Staringreeks wordt rechtstreeks in SWAP ingevoerd. Dezelfde bewerking (ruwe lab monsters doorrekenen) is uitgevoerd voor code B5 om de variabiliteit van grof zand te onderzoeken, deze code is gebaseerd op 26 lab monsters.

3 Bodemfysische functie of tabel

Hiervoor worden bodemfysische gegevens in tabelvorm in het model gestopt en vergeleken met de doorgaans gebruikte analytische relaties (zie formule II.3 t/m II.6). Dit zijn de θ -h en K-h relaties (een voorbeeld van tabellarische vorm in tabel V.2). Vervolgens wordt er gevarieerd met het aantal tabelwaarden en de dichtheid (aantal drukhoogtes) waarbij de vochtgehalte en doorlatendheid bij beschreven worden.

Dit om de mate van verschil tussen tabellarische en analytische relaties in kaart te brengen. Dit om in de toekomst op te stellen tabellen van een richtlijn te voorzien. En zo aan te geven waar op gelet dient te worden en welke mate van afwijking er tussen de opties (kan) zit(ten).

4 en 5 Numerieke discretisering in het model

Onder numeriek discretisering valt in deze studie de rekentijdstap en dichtheid van het rekengrid

Rekentijdstapgrootte

Het is mogelijk om SWAP te laten rekenen met verschillende tijdstappen. Er zijn hiervoor 2 variabelen: een maximale en minimale tijdstapgrootte. Alleen het maximum is veranderd. Minimale tijdstap heeft invloed, maar is ongemoeid gelaten omdat verkleinen voor meer precisie zorgt en dus in theorie nauwkeurigere resultaten. Onderzocht wordt welke invloed de maximale tijdstap heeft op de capillaire opstijging. Dit door grotere tijdstappen in het model in te voeren, grotere rekentijdstap zorgt voor minder berekeningen. Om dit te onderzoeken wordt de maximum tijdstap veranderd, van 0.5 tot 0.01 dag, dit is de reikwijdte (Engels 'range') van deze parameter.

Dichtheid rekengrid

Bij bodem discretisering wordt het aantal compartimenten en de daarbij horende dikte bedoeld. Als standaard worden 300 compartimenten van 1 cm ingesteld, hetgeen een goede algemene inschatting is met voldoende detail (kleiner maken levert weinig verschil op). Deze standaard wordt gebruikt bij alle runs behalve bij de aanpassing van compartimentdikte (§3.5) om te zorgen dat de discretisering geen invloed heeft op de vergelijking. De compartimenten worden standaard 1 cm dik. Bij het onderzoek naar invloed discretisering profiel op capillaire opstijging wordt het aantal compartimenten verhoogd en verlaagd.

2.4. Modelopbouw schematiseren van de referentie

In deze paragraaf 2.4 wordt de uitgangssituatie opgesteld. Dit door eerst de gebruikte data in een test run te stoppen en te kijken of dit naar behoren werkt en hoe realistisch de aannames zijn. Met de bevindingen wordt vervolg een studie uitgevoerd (zie §2.5). De test run is gelijk aan de Ruurlo referentiestudie (§2.2.2), alleen dan voor de jaren 2002–2004. Alle stress behalve nat- en droogteschade is uitgezet. Tevens is de onderrand-randvoorwaarde ingesteld met een cosinus (zie formule VI.1) gebaseerd op gemeten grondwaterstanden van het experiment Ruurlo van de jaren 1980–1985 (zie bijlage VI).

Resultaten Test-run

De test run is opgesteld met een cosinus functie gebaseerd op gegevens van het Ruurlo experiment (Jansen 1991) zie bijlage VI. Uit de Test-run kwam naar voren dat onderrand-randvoorwaarde voor hoge fluxen zorgt. Zie onderstaande tabel 1.

Tabel 1 Fluxen per jaar van Test run, positief is opwaards negatief naar beneden

Jaar	cum bodem evaporatie	cum plant transpiratie	Neerslag	Onderrandflux		Som onderrandflux
				wegzijging	kwel	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2002	+ 99	+ 555	- 929	- 416	+ 300	- 116
2003	+ 96	+ 610	- 655	- 507	+ 637	+ 129
2004	+ 117	+ 567	- 890	- 366	+ 260	- 106

In tabel 1 staan de fluxen (in en uit) in mm, met stroming positief opwaarts, onderrandflux is weergegeven als jaar som, dit is kwel min wegzijging. Als voorbeeld 2002: 300 - 416 = -116 mm. Wat opvalt is de grote hoeveelheid kwel in 2003 van 637 mm. In werkelijkheid zal kwel afnemen in drogere jaren; minder water leidt tot minder druk. De grote hoeveelheid kwel wordt veroorzaakt door de onderrand-randvoorwaarde van SWAP. Deze rekent met opgelegd verloop volgens de beschreven cosinus curve (zie figuur VI.2) en zal dus vocht blijven leveren. Elke keer als de GWS onder of boven de opgelegde cosinus komt wordt deze via kwel of wegzijging gecorrigeerd. Dit levert zeer onrealistische fluxen op (zowel kwel en wegzijging).

Conclusie Test-run

Bij het gebruik van een cosinus functie die de GWS oplegt compenseert het model de GWS door te sturen in kwel en wegzijging. Dit zorgt voor onrealistische fluxen: kwel is tussen 260 en 637 mm. Deze hoeveelheid is voor een locatie gelegen in hoge zandgronden veel te hoog (geen of enkele cm kwel is acceptabel). De bovengenoemde kwel is 'modelmatige kwel' hetgeen dus in het model gesimuleerd wordt om de GWS te vormen (zie bijlage I bodem en begrippen 'soorten fluxen' voor extra toelichting).

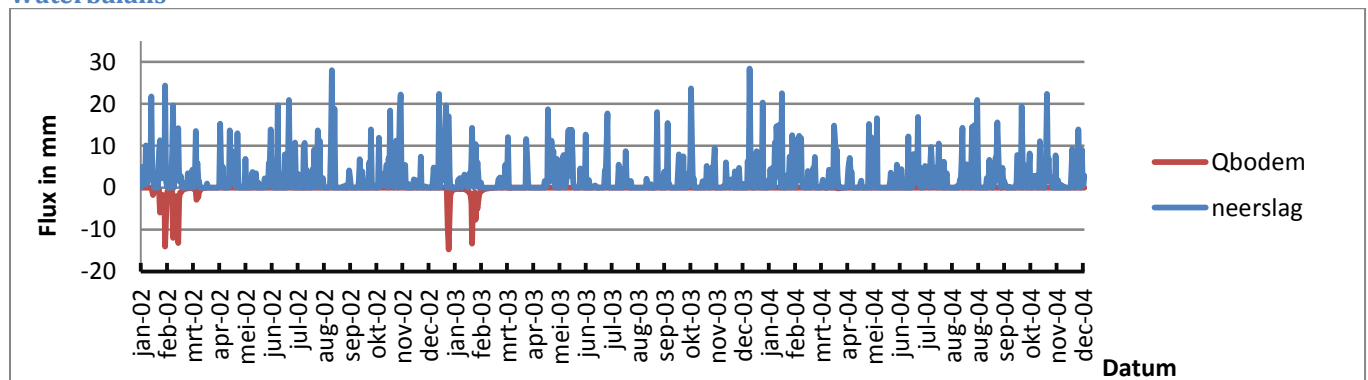
Met de conclusies van de Test-run is een vervolg onderzoek gedaan naar mogelijkheden voor een realistische onderrand-randvoorwaarde. Dit ter verbetering van de methode. Deze exercitie is uitgewerkt in bijlage VII. De meest geschikte onderrand-randvoorwaarde voor deze studie is geselecteerd. De keuze is gevallen op onderrand-randvoorwaarde beschreven als exponentiële functie van de gesimuleerde grondwaterstand. Bij alle runs (behalve Test-run en die van bijlage VII) is de instelling gelijk. Hieronder volgt de referentierun, hetgeen dus met verbeterde instellingen wat betreft onderrand-randvoorwaarde.

2.5. Resultaten Referentierun

SWAP geeft keuze mogelijkheden voor type van uitvoerfiles (vb. gewasfile of stressfile etc.). Belangrijk voor deze studie zijn daarvan de files die waterbalans, gewasopbrengst en oorzaak van opbrengstreductie beschrijven. Afhankelijk van hoe de opbrengstverschillen verklaard kunnen worden wordt in verder detail gekeken naar een van deze files. In deze paragraaf (2.5) worden de meest gebruikte analyse weergegeven en toegelicht. In hst 3 resultaten staan enkel de belangrijkste grafieken voor analyse. In deze paragraaf (2.5) is uitgewerkt wat er in overige runs, daar waar nodig, bekeken is. Zo zijn de opbrengst berekeningen (jaar som) in hst 3 geanalyseerd en gesommeerd zoals in §2.5.4 etc.

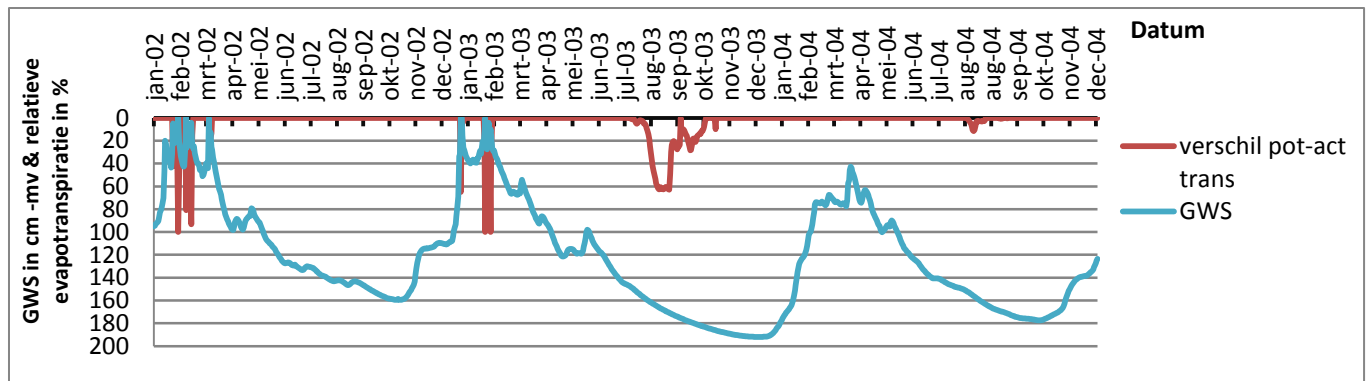
De Referentierun is opgesteld als referentie voor de te testen onderzoeksvragen, het dient dus als basis run; de run met neutrale instellingen waarmee de veranderde runs vergeleken kunnen worden. De referentierun heeft dezelfde instellingen als Test-run. Behalve de aangepaste onderrand-randvoorwaarde, namelijk onderrandflux als exponentiële functie van de gesimuleerde grondwaterstand. Dit met coëfficiënt a_{bot} van $-1.5 \text{ (cm d}^{-1}\text{)}$ en b_{qbot} van $-0.1 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, zie formule VII.3 (VII staat voor bijlage nummer, 3 staat voor derde formule van deze bijlage). Er is gekozen voor deze optie omdat het de gemeten grondwaterstand goed beschrijft én zich voor elke run kan aanpassen. Fluctuatie is bij invoer van gemeten grondwaterstand niet mogelijk. Hetgeen ervoor zorgt dat er vanuit het grondwater capillair water blijft komen terwijl in de werkelijkheid een tekort zou ontstaan. Het tekort is nodig om mate van verschil in runs waar te nemen. Vandaar dat in de referentierun gerekend is met exponentiële functie als onderrand-randvoorwaarde.

Waterbalans



Figuur 3 Onderrandflux en neerslag voor referentierun

In figuur 3 is de neerslag en de onderrandflux (rood) uitgezet over de tijd, te zien is dat enkel in periodes van hogere GWS (zie figuur 4) er een negatieve onderrandflux optreedt, deze flux is lager dan bij de Test-run. Er treedt enkel negatieve onderrandflux op omdat de onderrandflux een eenduidige relatie kent en zo geen kwel berekend, enkel infiltratie. Voor 2004 is de onderrandflux bijzonder laag (en niet zichtbaar in de grafiek), dit betekent dat de gevallen neerslag vastgehouden wordt in de eerste 3m, dit komt ook omdat er begin 2004 minder water in het profiel zat. Dit is een grote afwijking ten opzichte van (t.o.v.) de Test-run.



Figuur 4 GWS (exponentiële functie) en evapotranspiratie relatief aan potentieel

In figuur 4 op de y as is de relatieve evapotranspiratie uitgedrukt als percentage afwijking t.o.v. potentieel. Zo is er in augustus 2003 een stressperiode met een 60% lagere evapotranspiratie dan potentieel. Wat opvalt is dat enkele dagen in februari 2002 en 2003 de actuele transpiratie 100% lager is dan potentieel. Dit betekent dat er geen transpiratie is, dit komt door hoge neerslag die tijdelijk 100% natschade veroorzaakt. Tevens is de evapotranspiratie in deze periode lager zodat als percentage t.o.v. potentieel er veel verschil lijkt op te treden hetgeen uitgedrukt in mm (absolute getallen) laag is. Globaal is zichtbaar dat rond februari 2002 en 2003 stress optreedt onder natte omstandigheden (natschade bij GWS boven 50cm-mv). De droogschade treedt voornamelijk op in juli, augustus september 2003. Wat opvalt is dat stress niet doorzet in oktober 2003 terwijl de GWS blijft zakken, dit komt omdat er dan neerslag valt, de temperatuur en straling daalt (en dus minder verdamping optreedt), blijkbaar is het bergend vermogen en capillaire opstijging hierna voldoende om plant optimaal te voorzien.

Als figuur 4 vergeleken wordt met dezelfde figuur bij invoer van gemeten GWS (zie Figuur VII.2) valt op dat de stress intenser is bij berekening met gemeten GWS (Figuur VII.2) dan bij GWS gesimuleerd met exponentiële Q-h relatie (figuur 4). Dit omdat bij de gemeten GWS de droogste periode droger is: op de droogste dag (27-08-03) is de GWS 10cm lager dan bij berekening met exponentiële relatie (figuur 4). De droogte is ook terug te zien in de capillaire opstijging, deze is 0.1mm lager bij berekening met gemeten in plaats van berekening met exponentiële functie als grondwaterstandverloop. Wat verder opvalt is dat er bij de gemeten GWS geen natschade optreedt, dit in tegenstelling tot GWS met exponentiële functie (zie tabel 3).

Tabel 2 Fluxen (mm) per jaar, Referentierun.

Jaar	cum bodem evaporatie	cum plant transpiratie	Neerslag	wegzijging	Balans
2002	93	547	929	-122	60
2003	103	596	655	-111	-200
2004	116	575	890	-2	99

In tabel 2 is kwel weggelaten omdat dit voor alle jaren 0mm is, kwel is bij de keuze onderrand-randvoorwaarde 'uitgezet' zie bijlage VII. De balans is het verschil in berging tussen 31 december en 1 jan. Te zien is dat de transpiratie van de plant varieert tussen 550 en 600 mm, dit valt binnen verwachte waarde; tussen 1961 t/m 1990 was de hoogste jaar som transpiratie 629 mm en de laagste 497 mm. Voor de regio Ruurlo is de Makkink referentie verdamping 540 mm (KNMI.nl). De bodem evaporatie is rond de 90 –110 mm is. Bij simulatie is er rond de 110 a 120 mm wegzijging per jaar berekend met uitzondering van 2004 slechts met slechts 1.8 mm wegzijging. Dit komt omdat er meer water geborgen wordt in het profiel; 194mm meer aan eind van het jaar dan begin 2004. Dit wordt ten dele verklaard door compensatie van het droge jaar ervoor. De balans laat zien dat jaren elkaar kunnen bufferen; 2003 heeft negatieve balans van 200 mm en 2004 99 mm positief. Er treedt geen kwel op, dus wegzijging is gelijk aan het netto neerslag overschot. De balans laat zien dat voor 2002 en 2004 aan het einde van het jaar meer water in het profiel zit dan aan het begin van het jaar, 2003 heeft het tegenovergestelde.

Droog en natschade

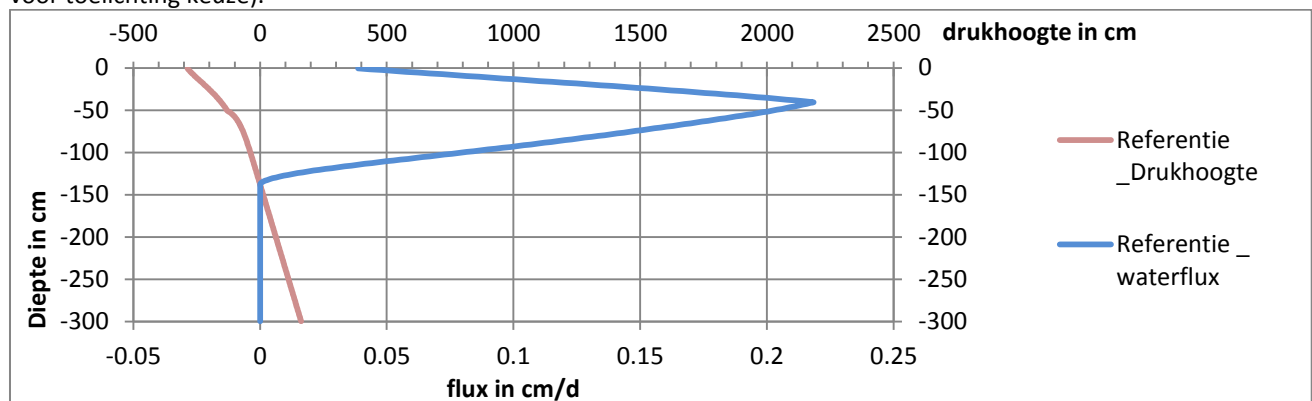
Tabel 3 Absolute nat- en droogteschade in cm, Referentierun

Jaar	natschade cm	droogschade cm	% nat
2002	0.31	0.00	100.00%
2003	0.04	6.27	0.63%
2004	0.00	0.34	0.00%

In tabel 3 de nat en droogschade per jaar. Dit staat voor schade door te natte omstandigheden wat voor zuurstoftekort zorgt, deze schade treed doorgaans op in de winter. Droogschade komt door vochttekort en treed op in de warme periode wanneer de GWS laag is en capillaire opstijging onvoldoende om de plant (optimaal) te blijven voorzien. SWAP berekend de droogteschade door bij de drukhoogtegrens, van onder -300, stress op te laten treden. Te zien is dat in 2002 er enkel natschade optrad, in 2003 nauwelijks en 2004 geen natschade. Opvallend is dat voor het jaar 2002 er geen droogschade optrad.

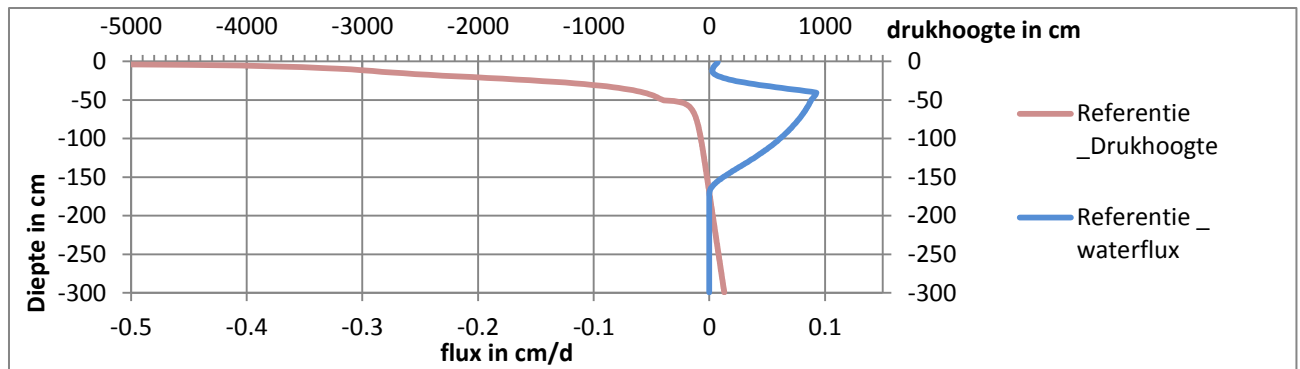
Analyse onverzadigde zone

Er zijn verschillende opties om de belangrijkste processen in de onverzadigde zone weer te geven en grip te krijgen op de gemaakte run. Hierbij kan gekeken worden naar o.a. drukhoogte, GWS, capillaire opstijging, vochtgehalte, gewasproductie of wortelontwikkeling etc. Dit over de tijd of over het profiel van een combinatie. In bijlage VIII zijn een aantal van deze mogelijke manieren van analyseren uitgewerkt alvorens tot de keuze te komen die gebruikt is in deze studie. Dit leverde grafieken op zoals weergegeven in figuur 5 en 6 (zie bijlage VIII voor toelichting keuze).



Figuur 5 Drukhoogte en capillaire opstijging van gehele profiel op op 'natte dag' 28-06-03

In figuur 5 de drukhoogte en capillaire opstijging, de x-as heeft de as-titel 'flux' omdat niet alle stroming in het profiel valt onder capillaire opstijging: fluxen onder de GWS óf negatieve fluxen vallen niet onder capillaire opstijging maar onder grondwaterstroming of infiltratie. Tevens is er onttrekking van vocht door wortels in de eerste 40cm. Onder de GWS is de flux gelijk aan 0mm/d omdat er in het model hier geen potentiaal verschil is en zo dus geen stroming van water. De flux is drukhoogte gestuurd, dit betekent dat er waterstroom plaatsvindt naar het gebied met lagere drukhoogte, in de situatie van figuur 5 is dit naar boven gericht. De naar boven gerichte stroming zorgt voor verandering in berging in een onderliggende laag, wat weer voor groter drukhoogteverschil zorgt met de laag daar weer onder, hetgeen uiteindelijk zorgt dit voor lagere GWS. In figuur 5 op de x as de flux (capillaire opstijging) en drukhoogte in cm van een representatieve natte dag (dit is 28-06-03) toelichting keuze voor deze dag beschreven in bijlage VIII. Op de y as het profiel in cm ten opzichte van (t.o.v.) mv. Bovenstaande analyse (zoals o.a. in figuur 5 en 6) is drukhoogte gestuurd, SWAP rekent de capillaire opstijging uit met potentiaal verschil. De waarden zijn een sommering van de dag. In figuur 5 is te zien is dat de drukhoogte niet onder de -300cm komt en er geen droogteschade optreed (-300 is de grens waar droogteschade begint), de capillaire opstijging is maximaal op 40cm-mv en is daar 2.15 mm/d. De stippellijn is de capillaire opstijging en loopt van 0 tot 2.15 mm/d. De drukhoogte loopt van +150 tot -287 cm water. De GWS is rond de 130cm-mv.

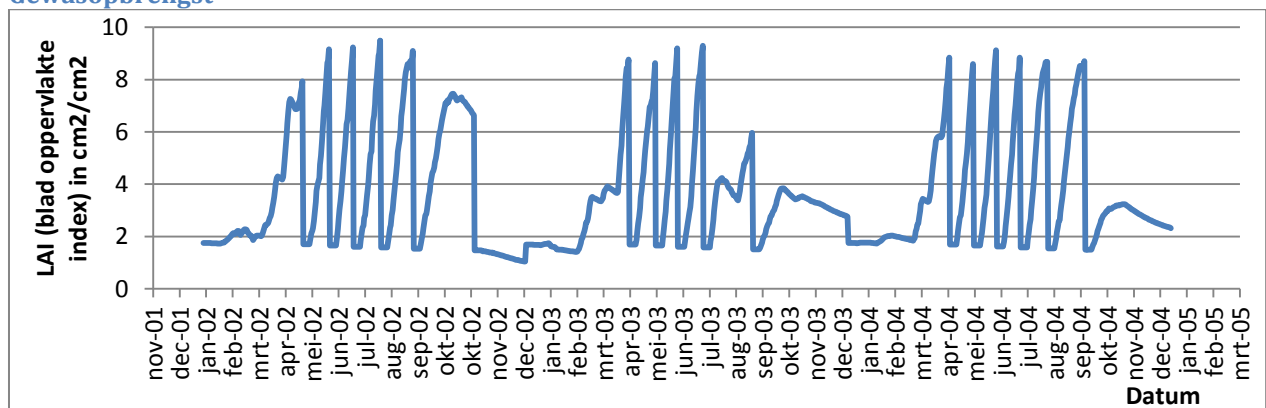


Figuur 6 Drukhoogte en capillaire opstijging van gehele profiel op droogste dag (27-08-03) voor de referentie run

In figuur 6 staan de drukhoogte en de capillaire opstijging in het profiel voor de droogste dag van de periode 2002–2004, toelichting op de keuze voor dag 27-08-03 staat in bijlage VIII. In figuur 6 is te zien dat de drukhoogte een knik heeft rond 50 cm diepte, de wortels hebben hier een zuigende invloed. De tijdsspan tussen de representatieve ‘natte dag’ (figuur 5) en de droogste dag (figuur 6) is 2 maanden, dit is het verschil tussen een situatie van begin zomer zonder droogschade en voldoende vocht in het profiel (op 28-06-03) en droogste dag van 2002–2004 namelijk dag 27-08-03. Droogste dag heeft 63% droogschade in de referentierun. Staand voor een actuele evapotranspiratie van 37% van de potentiële evapotranspiratie. Tevens bevindt ongeveer de helft van de wortels zich in een zone van drukhoogte van -3000 cm of lager; in deze zone stopt de plant met water opnemen. De plant is dus in staat om met een deel van de wortels (het onderste deel van de wortelzone) toch aan water te komen en niet volledig te stoppen met verdampen.

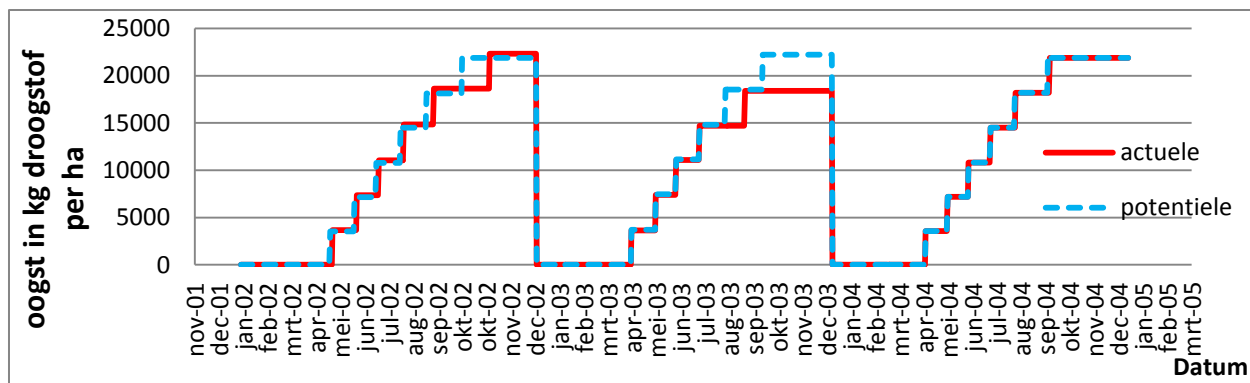
De capillaire opstijging is maximaal vlak onder de wortelzone (in dit geval op 40 cm -mv) en is daar voor de referentierun 0.93 mm/d. De drukhoogte daling tussen 10 en 40cm diep wordt veroorzaakt door onttrekking van de plant, de daling van de drukhoogte onder de -3000 wordt veroorzaakt door bodemverdamping en heeft in de droogste periode invloed tot 11 a 12 cm diepte.

Gewasopbrengst



Figuur 7 LAI (Leaf Area Index in cm^2/cm^2) over de tijd

In figuur 7 is te zien dat LAI aan het einde van het jaar afneemt. Is het op 31 december boven 2400kg droogstof per ha dan wordt alsnog geoogst, anders blijft het op het land achter. Opvallend is de afname van LAI in augustus 2003, hier treedt duidelijk droogschade op die voor verlaging van de LAI zorgt, het gras herstelt zich kort erna maar heeft voor 2003 t.o.v. 2002 en 2004 minder opbrengst. Hetgeen bijna geheel te wijten is aan droogteschade.



Figuur 8 Actuele (is potentieel -nat en droog schade) en potentiële oogst (in kg droogstof per ha)

In figuur 8 de actuele opbrengst en wat er potentieel in dat jaar geproduceerd kon worden. Voor getallen bij de grafiek zie onderstaande tabel 4:

Tabel 4 Actuele en potentiële opbrengst referentierun (in kg droogstof per ha)

Actueel (kg dm ha)				
Jaar	Aantal oogsten	oogst	op veld	Totaal geproduceerd
2002	6	22332	577	22909
2003	5	18384	2004	20388
2004	6	21896	1552	23448

Potentieel (kg dm ha)				
Jaar	Aantal oogsten	oogst	op veld	Totaal geproduceerd
2002	6	21891	1164	23055
2003	6	22219	702	22921
2004	6	21868	1678	23546

Jaar	opbrengst % actueel t.o.v. potentieel
2002	99.4
2003	88.9
2004	99.6

In tabel 4 de actuele en potentiële opbrengst per jaar in kg droogstof per ha. Tevens is de verdeling te zien, het aantal oogsten in het jaar, de geoogste hoeveelheid, wat er aan het einde van het jaar op het veld achterblijft en de som van productie (is oogst plus op veld). Te zien dat de actuele opbrengst als percentage van potentiële niet langer boven de 100% komt voor het jaar 2002, hetgeen in de test run het geval was en werd verklaard door tijd van oogsten die actuele opbrengst gunstigere omstandigheden gaf. SWAP berekend voor referentierun 2003 een opbrengst van 88.9%, dit is potentiële opbrengst min nat- en droogteschade. Dit wordt de referentie.

Conclusie

De onderrand-randvoorwaarde 4, exponentiële relatie, plot de GWS is redelijk (zie figuur VII.8). Berekening in SWAP met deze optie zorgt voor 88.9% van potentiële oogst en komt in de buurt van orde grootte van CARE project (resultaten tussen 90–97% opbrengst, dus 3–10% afname door droog of natschade). De actuele gesimuleerde opbrengst (dus na nat- en droogteschade) zit op 20 ton droogstof per ha terwijl voor 2003 de meetgegevens rond de 9–10 ton zitten (Aarts *et al.*, 2008, Verloop *et al.*, 2007). Dit verschil van +/- 10 ton is te wijten aan management factor, zout stress, meteorologie, fouten in rekenmodel SWAP-WOFOST en mogelijk overige afwijkingen. Zout draagt voor minder dan 1% bij aan stress voor de plant, dit is gebaseerd op verschil actueel en potentiële transpiratie in gebied Ruurlo (Kroes *et al.*, 2011) voor het huidige klimaat (gemiddelde van 1971–2000). Verwacht wordt dat het grootste deel van de opbrengst reductie te wijten is aan management factor. De 11% reductie is lager dan reductie berekend bij invoer met gemeten GWS, dit was 13.7% (en zo actuele opbrengst van 86.3% t.o.v. potentieel). De reductie bij gebruik van gemeten GWS is 25% hoger dan bij een grondwaterstand gebaseerd op exponentiële Q-h functie. Dit is opmerkelijk omdat bij gemeten GWS het

grondwater sneller stijgt na de droogste dag (27-08-03) en zo een kortere periode van droogte heeft. De droogteschade die optreedt in deze periode (midzomer 2003) is echter hoog genoeg om meer schade te geven bij gebruik van exponentiële functie (zoals in de referentierun). Verklaring: droogschade is in de midzomer periode is heviger, de periode erna heeft dus een relatief lagere droogschade. Een lage GWS in de nazomer zorgt voor minder schade. Bodemverdamping is rond de 100 mm en heeft invloed op drukhoogte tot 11-12 cm onder maaiveld.

De opbrengstreductie in referentierun is groot voor 2003 en beperkt voor 2002 en 2004. Een goede manier om grip op de run te krijgen is door het plotten van drukhoogte en capillaire opstijging van droogste dag van het jaar en een nattere dag in dezelfde zomer als vergelijkbaar materiaal. De maximale capillaire opstijging in het profiel op de droogste dag is 0.9 mm/d. Met deze referentierun is een nul-situatie opgesteld waarmee de te testen gevoeligheden vergeleken worden.

3. Resultaten gevoeligheidsanalyse

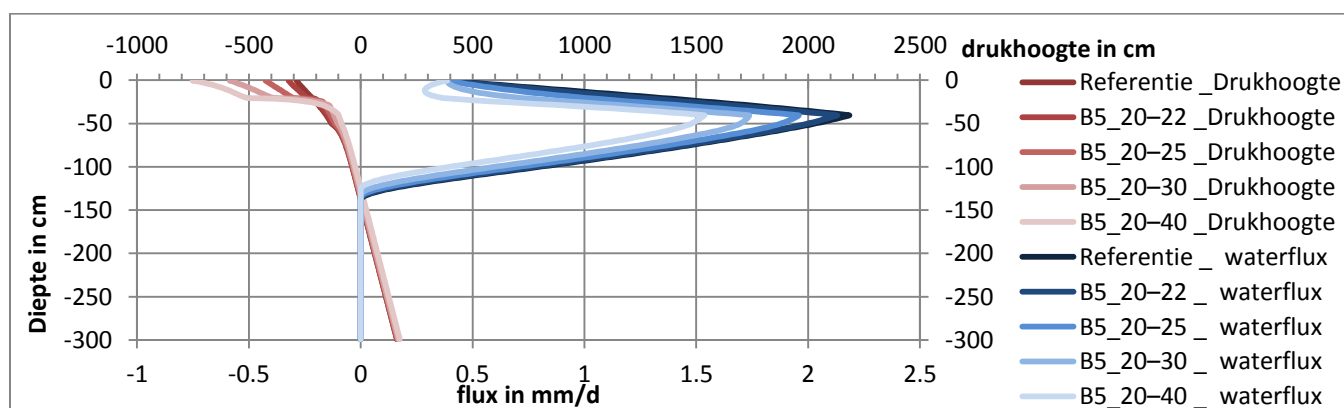
In dit hoofdstuk de resultaten van de gevoeligheidsanalyse, uitgewerkt op volgorde van de deelvragen (§3.1 is deelvraag 1, §3.2 is deelvraag 2 etc.).

3.1. Zandlagen in het profiel

In deze paragraaf wordt de deelvraag “Wat is het effect van profielopbouw op de capillaire opstijging?” behandeld. Hiervoor wordt het standaard profiel uitgebreid met extra lagen grofzand. Er wordt gevarieerd in diepte: waar de laag zich bevindt (20 en 60cm-mv) en de dikte van de laag (2, 5, 10 en 20 cm dik). Voor de bodemfysische eigenschappen van de tussenlaag is gebruik gemaakt van de Staringreeks (B5 en O5, zie tabel V.1). Er zijn verschillende soorten zandlagen in het profiel geplaatst. De naam van de runs is als volgt opgesteld: allereerst de Staringcode (vb. O5) vervolgt door de ligging van de laag: 50–70, staand voor grofzand tussen 50 en 70 cm-mv. Dus O5-40–50 staat voor grofzand met eigenschappen O5 (zie tabel V.1) tussen 40 en 50 cm-mv.

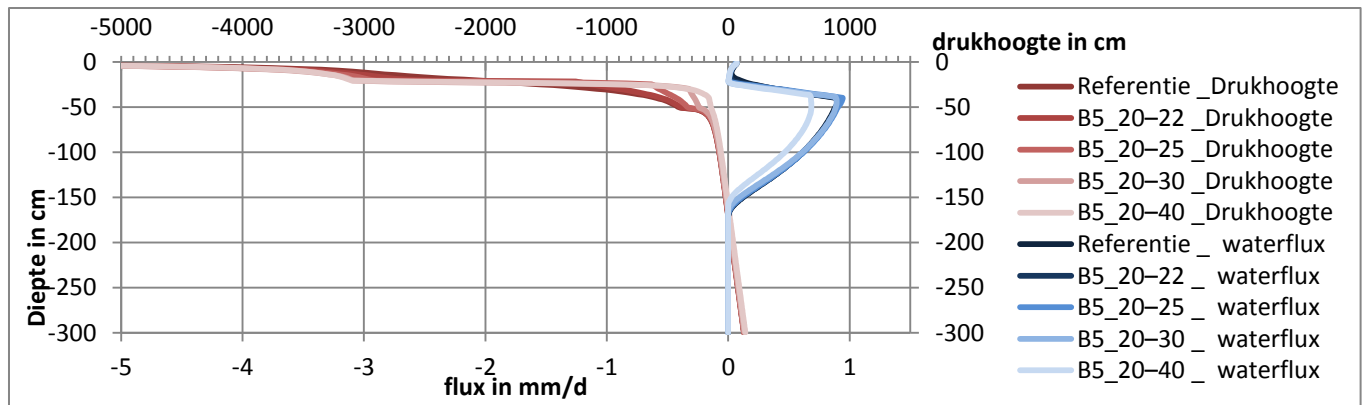
Drukhoogte en capillaire opstijging

Als eerste test is gekeken naar de invloed van bodemcode B5 in het profiel. Er bleek dat bij gebruik van bovengrondcode grofzand in diepere lagen (<50cm-mv) een grotere capillaire werking optrad, omdat zand met code B5 een hogere capillaire werking heeft dan zand met een code O2. Dit is logisch omdat diepere gronden minder organisch materiaal bevatten en daarmee bij gelijke textuur, % zand, silt en klei, een lagere capillaire opstijging kunnen bewerkstelligen. Gezien bovengrond geplaatst in de ondergrond onrealistisch is wordt de code O5 (ondergrond grofzand) gebruikt bij analyse van grofzand berekeningen op begindiepte (bovengrens van de laag) op 60cm-mv. Allereerst wordt er dus gerekend met grofzandcode B5 begindiepte 20cm, vervolgd door O5 met begindiepte 20cm en O5 met begindiepte van 60cm-mv. De reden dat O5 op 20cm ingebouwd wordt is dat grover zand (O5) met minder organisch materiaal zich wel bevindt in bovengrond (0–50cm), maar organische gronden (B5) niet of nauwelijks in de ondergrond (>50cm-mv). Hieronder de uitwerking van B5 in het profiel op aanvangsdiepte 20cm.



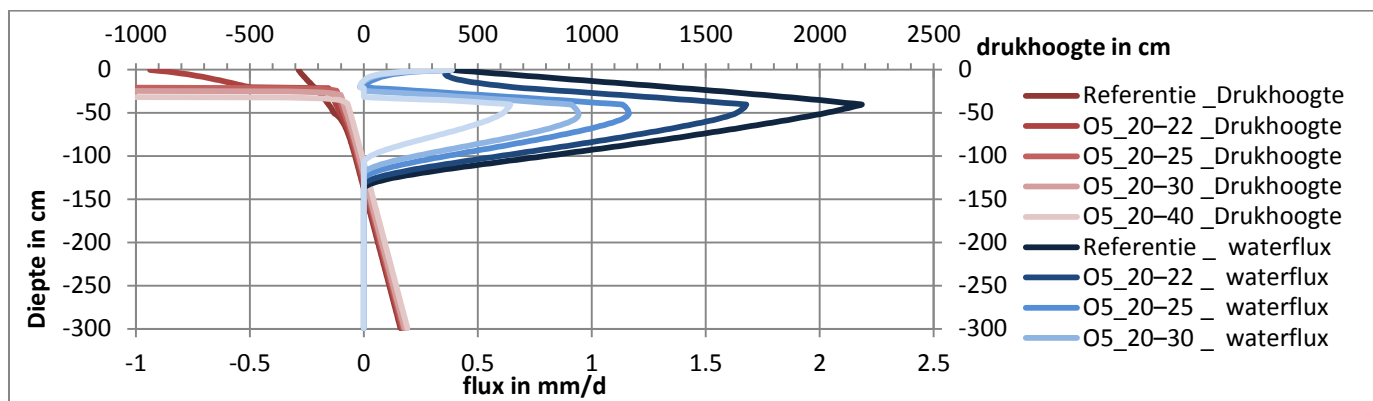
Figuur 9 Drukhoogte en capillaire opstijging op 'natte dag' 28-06-03 voor runs grofzand (Staringreeks B5) beginnend 20cm-mv.

In figuur 9 de drukhoogte en flux (toelichting grafiektype zie figuur 5). Te zien is dat de capillaire opstijging afneemt naarmate er dikkere lagen grofzand in het profiel zitten. Wat opvalt is dat er bijna geen verschil is in capillaire opstijging bij 2 cm grofzand (B5_20-22) t.o.v. referentie. De drukhoogte neemt wel af vanaf 20 cm en kleiner, ook als er maar 2 cm grofzand in het profiel zit. Verklaring: het verschil in capillaire opstijging is minimaal maar wel aanwezig. In drukhoogte is dit duidelijker zichtbaar. Een minimaal lagere capillaire opstijging kan, o.a. d.m.v. bodemverdamping, al grote invloed hebben op drukhoogte.



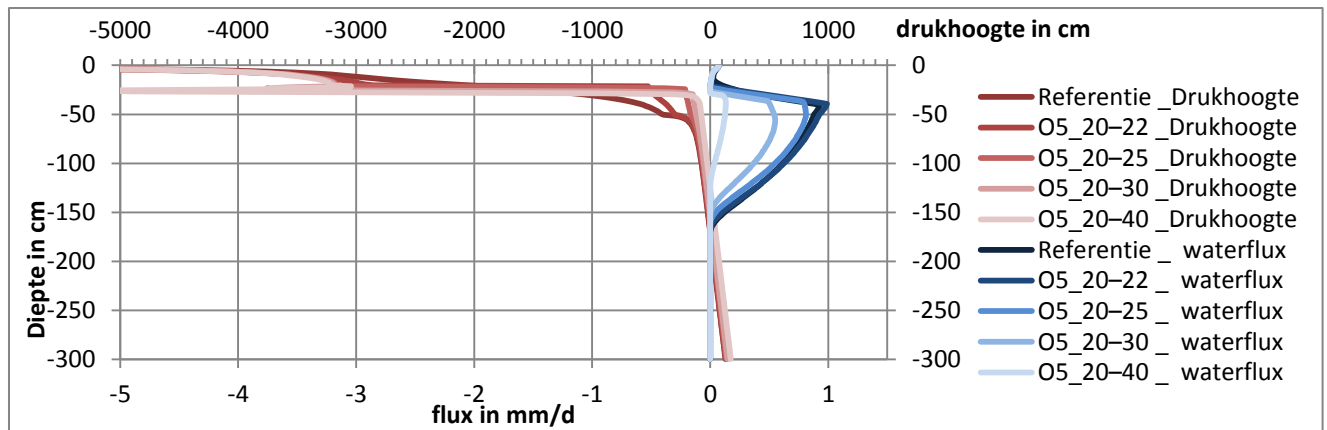
Figuur 10 Drukhoogte en capillaire opstijging droogste dag (27-08-03) voor runs grofzand (Staringreeks B5) beginnend 20cm-mv.

In figuur 10 is te zien dat de capillaire opstijging op de droogste dag enkel afneemt bij B5_20-40 cm. De overige fluxen verschillen weinig van referentierun. De drukhoogtes nemen pas hoger in het profiel af naarmate er dikkere lagen grofzand zijn, maar hebben rond 28 cm diepte een omslagpunt alvorens sneller te dalen tot lagere drukhoogtes. Figuur 10 laat zien dat de minimale capillaire opstijging van code B5 weinig verschilt met die van de referentie (referentie is code B3-O2). Hetgeen inhoudt dat in dit geval het effect van grofzand code B5 weinig afwijkt van die van code B3.



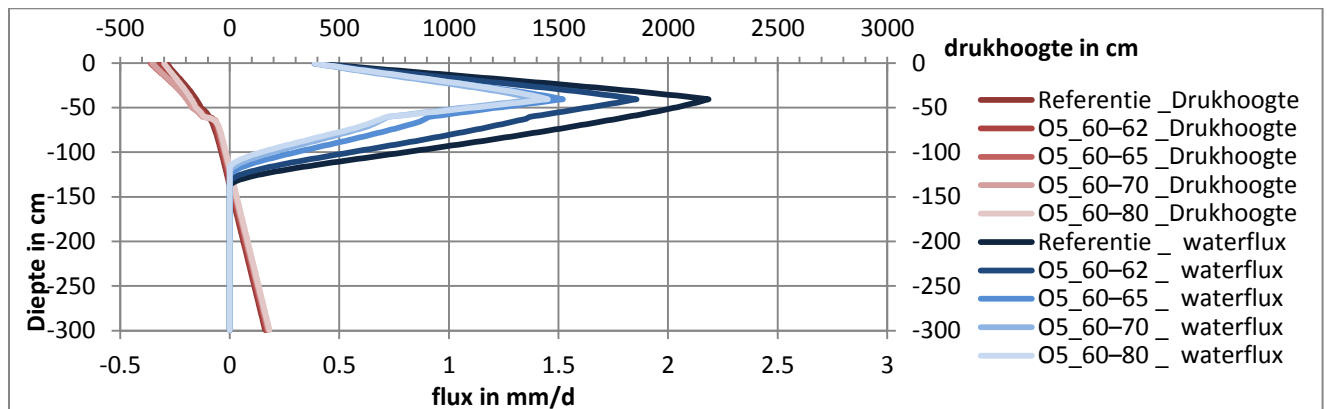
Figuur 11 Drukhoogte en capillaire opstijging op 'natte dag' 28-06-03 voor runs grofzand (Staringreeks O5) beginnend 20cm-mv.

In figuur 11 is te zien dat bodemevaporatie invloed heeft tot dieper in het profiel als de ondergrond grofzand (GZ) bevat. Dit is voornamelijk zichtbaar vanaf grofzand van 5cm dikte. De invloed van de bodemverdamping is te zien aan toename van flux (van ongeveer 10cm tot mv.) en afname van drukhoogte. Dit wordt veroorzaakt door de evaporatie en is niet te zien in de run zonder grofzand of in de run met grofzand tussen 20-22cm. Verklaring: zonder GZ of kleine lagen GZ heeft een hogere flux. Dit is hoog genoeg om de bovenste lagen profiel niet te laten verdrogen. Is de capillaire opstijging lager, dan verdroogt de bovenste laag (eerste cm) en neemt het gebied van bodemverdamping toe (tot dieper onder mv). Wat verder opvalt is dat de capillaire opstijging voor runs met zand van 5cm dikte of meer bijna gelijk is in de wortelzone (0-40 cm-mv). Verklaring: de capillaire opstijging is lager bij grotere grofzanddikte, wortels verdrogen zo sneller. Dit resulteert in lagere opname van water door de wortels waardoor de capillaire opstijging eerder begint af te nemen en zo overlap krijgt met hogere flux.



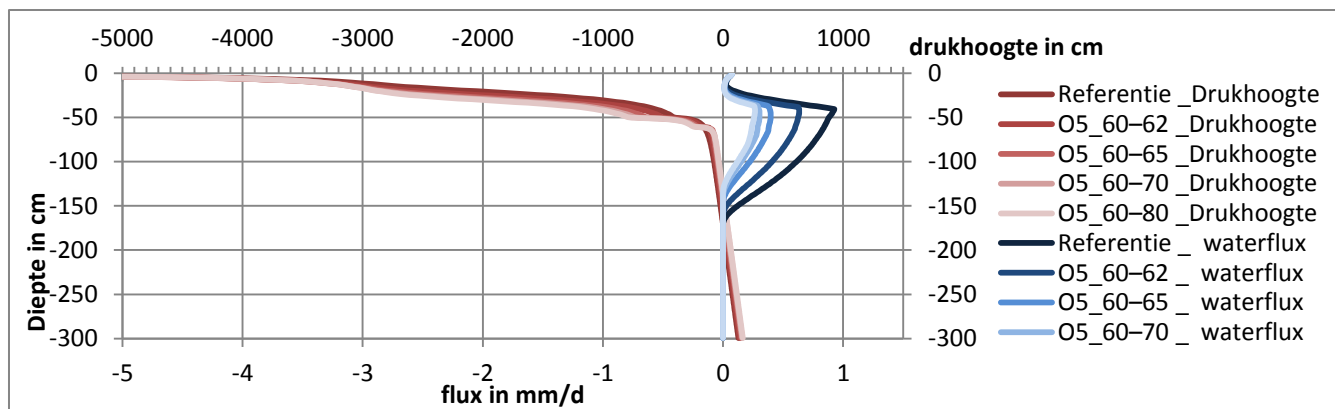
Figuur 12 Drukhoogte en capillaire opstijging op de droogste dag (27-08-03) voor runs grofzand (Staringreeks O5) beginnend 20cm-mv.

In figuur 12 is te zien dat de capillaire opstijging in de wortelzone samenkomt tot een min of meer gelijke flux in de wortelzone. Hoe dunner de grofzand laag hoe lager in het profiel deze 'samensmelting'. Figuur 12 vertoont hetzelfde patroon als figuur 11. De invloed van bodemverdamping neemt toe bij kritische grens overschrijding: is de capillaire opstijging te laag dan droogt het bovenste deel van het profiel uit. In figuur 11 was dit alleen bij grofzand van 5cm of meer. Op de droogste dag (zie figuur 12) is de bodemverdamping sterker dan de capillaire opstijging voor alle runs. De capillaire opstijging is voor alle runs te laag om bodemverdamping van voldoende water te voorzien en zal het dalen tot "maximum diepte bodemverdamping". De maximale capillaire opstijging van run met grofzand (O5) op diepte 20-40 is 0.13 mm/d. Er is een lagere capillaire opstijging bij dikkere lagen grofzand. Het verschil is klein in de wortelzone en groot tussen GWS en wortelzone.



Figuur 13 Drukhoogte en capillaire opstijging op 'natte dag' 28-06-03 voor runs grofzand (Staringreeks O5) beginnend 60cm-mv.

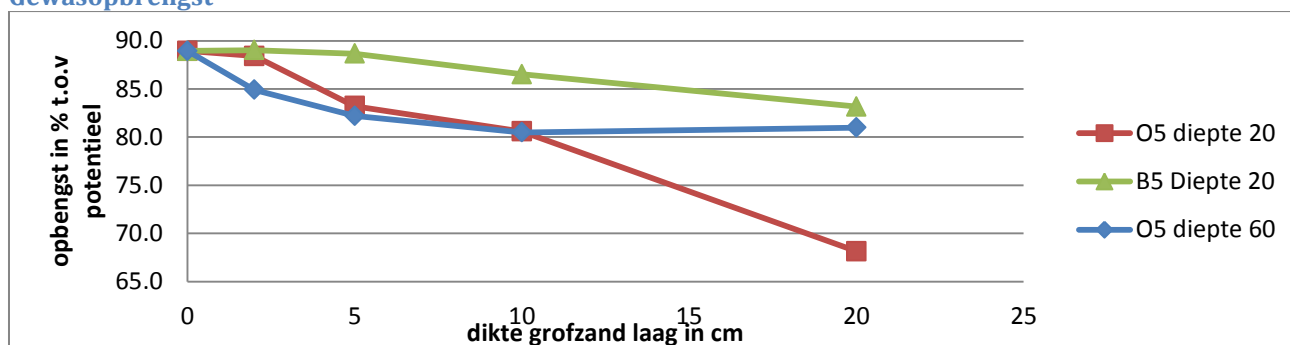
In figuur 13 de capillaire opstijging voor 'natte dag' (28-06-03). Wat opvalt is dat de drukhoogte weinig verschilt. Tevens is te zien dat er weinig verschil is in capillaire opstijging rond 50cm-mv tussen 5, 10 of 20 cm grofzand in het profiel. Dit laat zien dat grofzand met code O5 van 5cm of dikker op 60 cm aanvangsdiepte een verstrend effect heeft waar de dikte weinig invloed op heeft. Dit trad ook op bij 20 cm begindiepte.



Figuur 14 Drukhoogte en capillaire opstijging op de droogste dag (27-08-03) voor runs grofzand (Staringreeks O5) beginnend 60cm-mv.

In figuur 14 de drukhoogte en capillaire opstijging op de droogste dag (27-08-2003). Te zien is dat de capillaire opstijging tussen 35 en 25 cm-mv redelijk gelijk verloopt ongeacht de grofzanddikte. De wortels en bodemverdamping nemen hier de gehele capillaire opstijging op. Bij lagere capillaire opstijging is dit dieper in het profiel. De capillaire opstijging van 40 tot 100cm verschilt veel, met maximum capillaire opstijging van referentierun 0.93 mm/d en maximum van run GZ_O5_60-80 0.27mm. Grofzand van code O5 in het profiel van 60–80cm diepte zorgt dus voor één derde van de capillaire opstijging van run zonder grofzand (=referentierun).

Gewasopbrengst

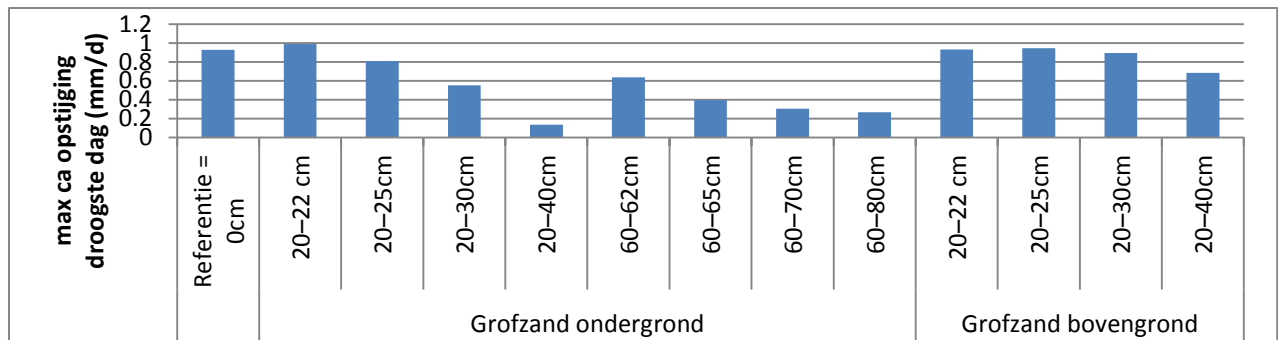


Figuur 15 Gras opbrengst t.o.v. potentieel (y as) per dikte zandlaag (x as) van GZ code (Staringreeks) en aanvangsdiepte (serie in cm)

In figuur 15 is te zien dat grofzand met aanvangsdiepte 20 cm voor een afname in opbrengst zorgt naarmate de lagen dikker worden. Tevens laat het zien dat dit extremer is voor berekening met grofzand code O5 dan voor B5. Opvallend is dat de opbrengst een kleine stijging laat zien als grofzand (O5) begindiepte 60 cm-mv van 10 cm naar 20 cm grofzand gaat. De verklaring hiervoor is te vinden in afname van natschade. Dit is een minimaal verschil, maar zorgt voor minder natschade bij dikkere laag grofzand en zo voor een hogere opbrengst.

Maximale capillaire opstijging

Om de invloed van tussenlagen op de capillaire opstijging van meerdere runs te vergelijken is de maximum capillaire opstijging in het profiel op de droogste dag vergeleken. Deze maximum capillaire opstijging op de droogste dag zegt iets over minimaal vocht leverend vermogen van de bodem (voor het droge jaar 2003).



Figuur 16 Maximale capillaire opstijging van de droogste dag (27-08-03) voor runs met grofzand (Staringreeks)

In figuur 16 hetzelfde patroon als opbrengst (zie figuur 15). Het vat de invloed van grofzand op de capillaire opstijging samen. Op de x as de grofzanddiktes en eigenschappen van de bodem, dit is ondergrond (O5) of bovengrond (B5), op de y as de maximale capillaire opstijging van de droogste dag 27-08-2003. Te zien is dat grofzand met code B5 een hogere capillaire opstijging behoudt. Deze is minimaal kleiner dan referentierun. Voor grofzand met code O5 is het effect groter. Te zien is dat O5 op 20 cm beginnend een hogere maximale capillaire opstijging heeft, vergeleken met O5 op 60cm begindiepte. Wat opvalt is dat grofzand ondergrond tussen 20 en een hogere maximale capillaire opstijging heeft als de referentie. Het verschil is minimaal. Verklaring is: grofzand verlaagt de flux. Zo is er meer water in het systeem en is er in de droogste periode meer water. De maximale capillaire opstijging is het laagst bij grofzand code O5 tussen 20–40cm.

Conclusie

Grofzand in het profiel zorgt voor een verlaging in capillaire opstijging en zo ook in opbrengst. Tevens vermindert het de natschade, hetgeen niet opweegt tegen de toenemende droogschade. Uitzondering hierop is grofzand laag O5. Wanneer deze van 10 naar 20 cm dik gaat (aanvangsdiepte 60 cm) is er een toename van opbrengst bij toename grofzand laag. Dit is echter minimaal. Grofzand O5 zorgt voor lagere fluxen en lagere opbrengst dan code B5. Dit is logische gezien bodemeigenschappen. Begindiepte 20 cm heeft meer invloed op opbrengst dan begindiepte 60cm: de opbrengst bij grofzand tussen 20–40 cm-mv is het laagst. De invloed van grofzand is groot en kan tot 32% nat- en droogteschade geven i.p.v. 11.1% (is nat- en droogteschade zonder zandlagen). Dit is een toename van (nat en) droogschade van 288% veroorzaakt door 20 cm grofzand. De maximale capillaire opstijging neemt sterk af als bij grofzandlagen de buffer werking is doorbroken. Met bufferwerking wordt de invloed van GWS en capillaire opstijging op elkaar bedoeld. Hoge GWS levert sterkere capillaire opstijging op (minder afstand leidt tot hogere capillaire opstijging). Hoge capillaire opstijging levert lagere GWS op hetgeen voor langere afstand zorgt; lange afstand verlaagd de capillaire opstijging, sterke capillaire werking van de bodem verhoogt het. Zo is er een middeling van effecten.

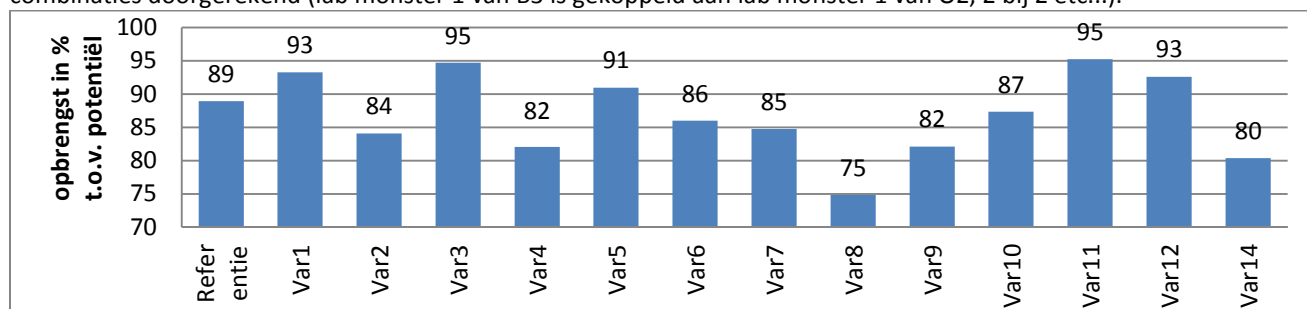
Grofzand (code O5) op 20–40 cm heeft een capillaire opstijging op de droogste dag van maximaal 0.13 mm/d; grofzandcode O5 op diepte 60–80 levert maximale capillaire opstijging van 0.27 mm/d op; B5 heeft hogere maximale capillaire opstijging op de droogste dag. Dit is voor B5 op 20–40 cm diepte 0.68 mm/d. De laagste fluxen op 27-08-2003 worden veroorzaakt door grofzand code O5 tussen 20–40cm (zie bijlage tabel X.1). De maximale capillaire opstijging op de droogste dag uitgedrukt relatief aan referentie run is bij grofzand code O5 tussen 20–40cm 86% lager dan referentie, dit is voor O5 tussen 60–80cm 71% lager en voor B5 tussen 20–40cm 26% lager. Dit laat zien dat de ligging van de laag grote invloed heeft. Zie bijlage X voor de toelichting van de percentages.

3.2. Variabiliteit binnen standaard bodemfysische relaties

Met standaard bodemfysische relaties wordt de Staringreeks bedoeld. De Staringreeks, zie bijlage I voor begrip en bijlage V voor de tabel en een uitgebreide beschrijving, is gebaseerd op in het lab geanalyseerde veldmonsters. Om te kijken of deze veldmonsters veel of weinig variëren worden ze doorgerekend. De veldmonsters zijn in het lab geanalyseerd en vertaald naar M-VG parameters. De naam van de runs bevat 'Var' van variabiliteit. Dit wordt vergeleken met de uiteindelijke Staringcode (zie tabel V.1). Deze uiteindelijke Staringcode is opgesteld na regressie van de lab data en is zo een middeling. Deze paragraaf kan gezien worden als controle of deze regressie de ruwe data wel goed beschrijft. Er wordt zo gekeken wat het verschil is binnen de lab monsters. Dit geeft inzicht in hoe het verschil in het veld beschreven wordt door de generalisatie (regressie). Voorbeeld: groot verschil Staringreeks betekent veel variatie in het veld.

Lab monsters van B3-O2

De Staringcodes B3 en O2 zijn gebaseerd op 14 lab monsters. Hieronder wordt de variatie binnen deze 14 combinaties doorgerekend (lab monster 1 van B3 is gekoppeld aan lab monster 1 van O2, 2 bij 2 etc...).

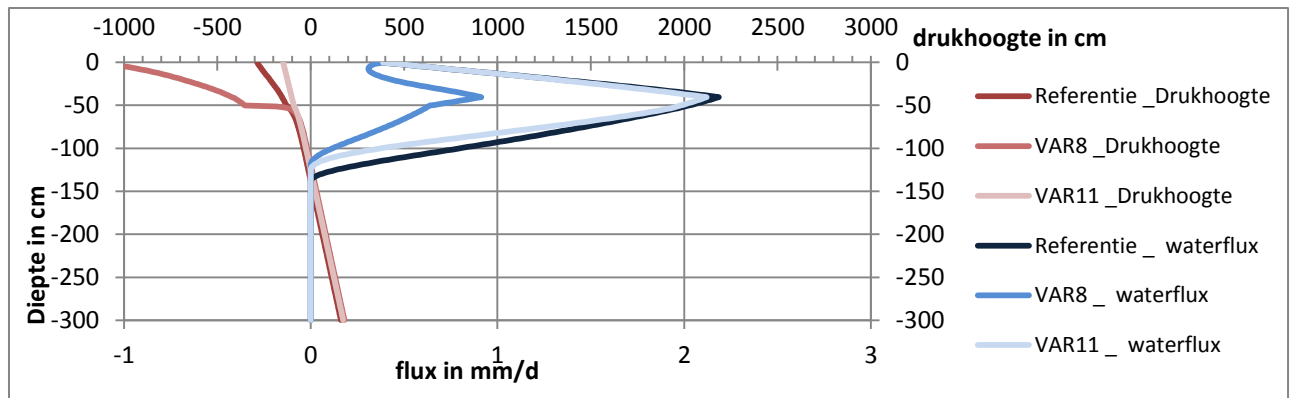


Figuur 17 Variatie Staringreeks, monster B3 op O2, uitgedrukt in % droog en natschade 2003 t.o.v. referentie

In figuur 17 op de y as de productie van het jaar 2003 (met naar beneden minder en naar boven meer opbrengst). Op de x as de 14 lab monsters waarop Staringreeks (zie tabel V.1) gebaseerd is. Dit betekent voor Var8 dat bij het rekenen met dit lab monster en bijbehorende bodem fysische eigenschappen de opbrengst 75% is van het potentiële voor het jaar 2003. Dit komt neer op 25% i.p.v. referentie 11.1% reductie door nat of droogschade. Referentie is de regressie van de 14 monsters van Staringcode B3 en O2. In figuur 17 is te zien dat er veel variatie is tussen de lab monsters. Gemiddeld wijken de monsters 40% af als er minder reductie is t.o.v. de referentie, en 57% als er meer reductie is dan de referentie. De gemiddelde afwijking is 50%. Dit betekent dat bij keuze voor ruwe monsters de opbrengst reductie met 50% schommelt. Bij de referentierun is de opbrengst reductie (het % verschil tussen potentieel en actueel) 11%; bij var 1,3,5,11 en 12 is dit gemiddeld rond de 5%. Bij Var 2,4,6,7,8,9,10 en 14 is dit gemiddeld rond de 16%.

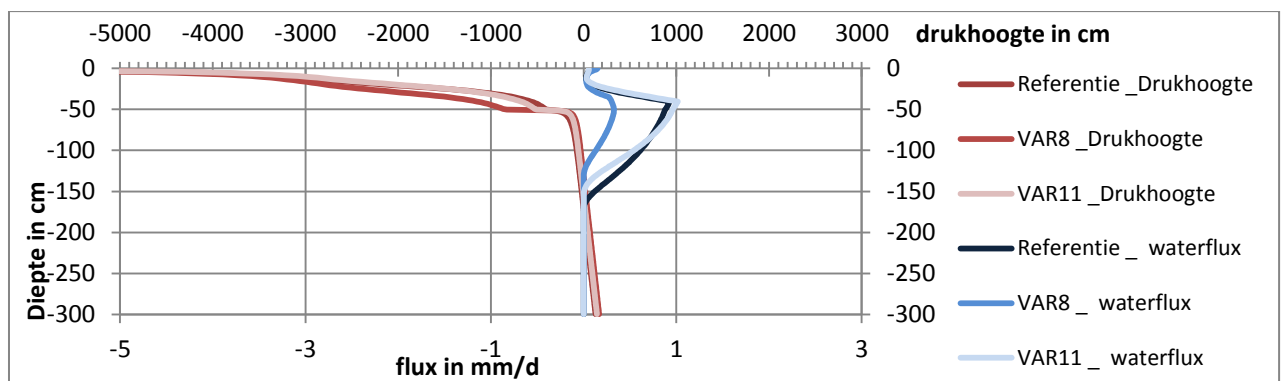
De run met gegevens van monster 13 stopt halverwege omdat de GWS buiten het bodemprofiel raakt (<3m-mv). Dit laat zien dat de variatie binnen de parameters groot genoeg is om voor de ene situatie de grond zo in te schatten dat de GWS een redelijke fitting heeft (referentierun) en voor de andere lab monster de GWS tot < 3 m uitzakt. Om toch enig inzicht te geven in de afwijking van monster 13 is deze doorgerekend met 5 m als profiel. Dit gaf 87% opbrengst voor 2003 t.o.v. potentieel. Dit is opvallend gezien de GWS top 3 m onder mv komt. Verklaring hiervoor: de capillaire opstijging is hoog. Deze is zelfs in de droogste periode nog 1.17mm op 40cm diepte, vandaar dat de stress beperkt is maar de GWS meer dan 100 cm lager is. Monsters 13 wordt uit conclusies gelaten omdat het een dieper profiel heeft en zo op 2 vlakken anders is dan andere runs.

In figuur 18 de uitwerking van de hoogste (VAR11) en laagste (VAR8) % opbrengst binnen de lab monsters vergeleken met referentie.



Figuur 18 Drukhoogte en capillaire opstijging profiel 'natte dag' (28-06-03) bij variatie Staringreeks code B3 op O2 (monster 8 en 11)

In figuur 18 is te zien dat VAR8 afwijkt, de capillaire opstijging is ongeveer 2 keer lager dan die van referentie en VAR11. Opvallend is dat VAR 11 in capillaire opstijging nauwelijks afwijkt. Er is enkel verschil in drukhoogte: deze is voor VAR11 een stuk lager dan referentie.

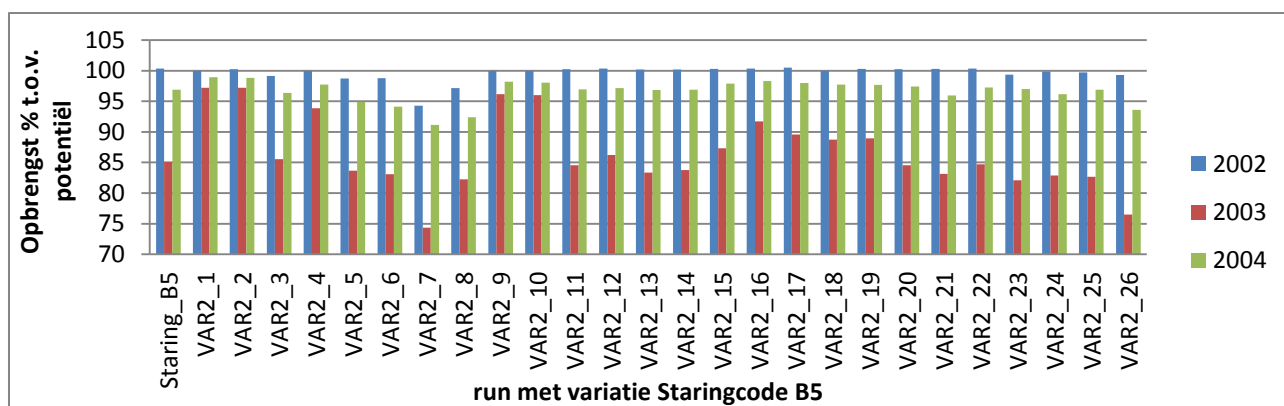


Figuur 19 Drukhoogte en capillaire opstijging profiel op de droogste dag (27-08-03) bij variatie Staringreeks code B3 op O2 (monster 8 en 11)

In figuur 19 is te zien dat er op de droogste dag minder variatie in drukhoogte tussen de monsters zichtbaar is. Het kleine verschil in capillaire opstijging tussen de referentierun en de run VAR 11 wordt verklaard door verschil in grondwaterstand en de invloed ervan op capillaire opstijging. VAR 11 heeft een (minimaal maar) lagere capillaire opstijging en zo uiteindelijk een hogere GWS op de droogste dag, wat voor een hogere capillaire opstijging zorgt op deze droge dag. Er is in op droogste dag dan ook een hogere capillaire opstijging bij VAR 11. Conclusie figuren 18-19: op een natte zomerdag is er een groter verschil in drukhoogte waarneembaar tussen de monsters. Het verschil in droogteschade tussen het monster met drogere bodemfysische eigenschappen (VAR 8) en nattere (VAR 11) uit zich in eerder optreden van droogteschade, dit valt op te maken uit het feit dat in figuur 18 de run VAR8 drukhoogtes onder de 300cm weergeeft (en voor VAR 11 en referentie niet). Bij het bekijken van de variatie in de ruwe Staring monsters bleek er groot verschil tussen de monsters. Er is of een oogst reductie rond de 5%, of rond de 16%. De uiteindelijke Staringcode is een middeling hiervan (met 11% reductie in opbrengst). De variatie is groot.

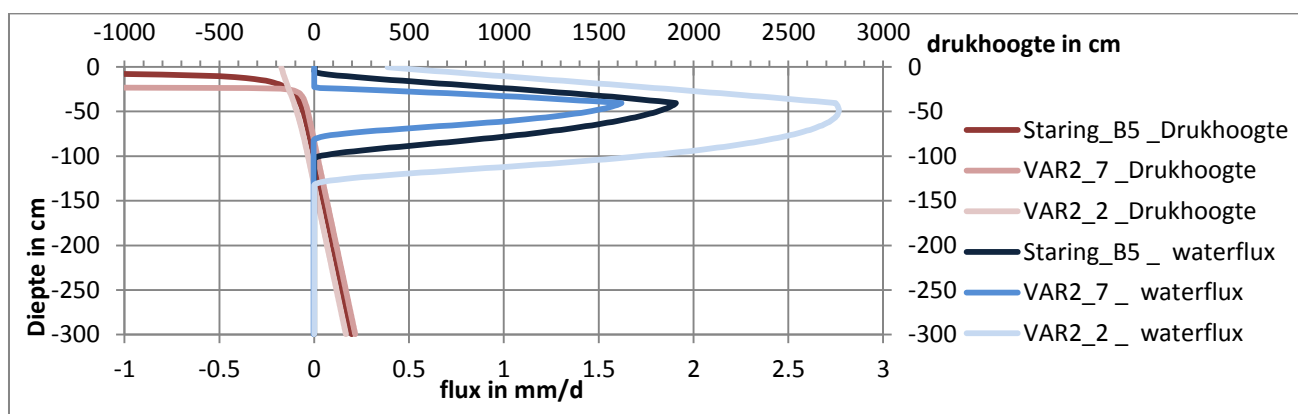
Lab monsters van B5

Hieronder wordt het gehele profiel als Staringcode B5 ingevuld. Dit is gedaan om te kijken naar de variatie binnen B5 code, hetgeen los staat van onderzoek naar B5 als grofzandgrond. Er zijn 26 lab monsters waarop de uiteindelijke B5 code is gebaseerd. Deze hebben Var2 in de naam, staand voor 2^e variatie vergelijking van lab monsters van de Staringreeks. Met daarachter het nummer van het lab monster. De run met naam Staring_B5 is de regressie van de 26 monsters (en daarmee de uiteindelijke Staringcode, zie tabel V.1 code B5).



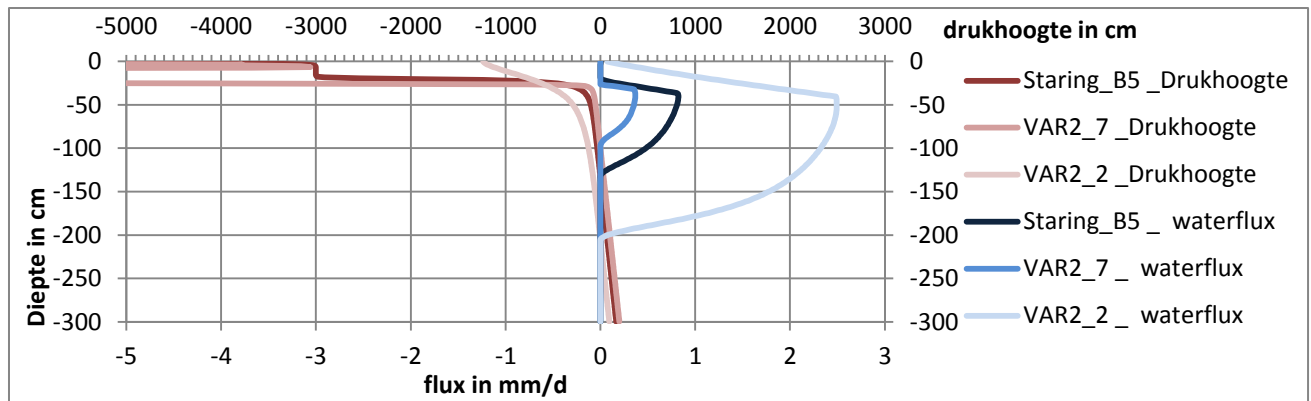
Figuur 20 Opbrengst reductie 2002, 2003 en 2004 bij profiel B5 voor de variatie in Staringreeks

In figuur 20 is te zien dat er voor 2003 tussen de 97% en 74% opbrengst was t.o.v. potentieel, dit geheel afhankelijk van keuze lab monster. Dit verschil is groot. Dit verschil is in mindere mate te zien in de jaren 2002 en 2004. Hieronder in figuur 21 staan de drukhoogte en capillaire opstijging van 2 runs en hun referentie uitgewerkt. Dit zijn de run met de laagste opbrengst (VAR2_7) en hoogste opbrengst (VAR2_2) voor 2003 (zie figuur 20). De referentie van deze twee runs is Staring code B5 omdat het om variabiliteit binnen deze code gaat, vergelijking dient dan ook met de uiteindelijke regressie van de lab monsters van deze code te gaan (hetgeen Staring B5 is).



Figuur 21 Drukhoogte en capillaire opstijging profiel op 'natte dag'28-06-03 bij variatie Staringreeks code B5 (monster 2 en 7)

In figuur 21 is te zien dat de capillaire opstijging van de run met lab monster 2 (VAR2_2_waterflux) de hoogste flux weergeeft en de flux van 7 de laagste is, het verschil op 45 cm is; 1.55 mm/d (monster 7) 2.11 mm/d (referentie) en 2.76 mm/d (monster 2).



Figuur 22 Drukhoogte en capillaire opstijging profiel op de droogste dag (27-08-03) bij variatie Staringreeks code B5 (monster 2 en 7)

In figuur 22 is wederom zichtbaar dat monster 2 de hoogste capillaire opstijging heeft, dit is (op 45 cm) 2.492 mm/d, vervolgd door Staring_B5 met 0.908 mm/d en monster 7 met 0.363 mm/d capillaire opstijging. Wat verder opvalt is de extreme druktoename tussen 24 en 26 cm -mv voor monster 7. Bij bekijken van de tabel van de drukhoogtes van dit monster (niet in dit rapport opgenomen) komt een opmerkelijk patroon naar voren: de drukhoogte neemt toe en af bij verschillende diepte, en gaat uiteindelijk naar maximale drukhoogte in de eerste cm van -221100cm. Deze extreme waarde wordt veroorzaakt door bodemverdamping. De af en toename is te wijten aan verschillen in bodemeigenschappen welke zorgen voor andere drukhoogte (is hoogte maar ook grondafhankelijk). De variatie binnen lab monsters B5 heeft wél veel verschil in de droogste dag in tegenstelling tot variatie van lab monsters B3-O2.

Conclusie:

Monsters gebruikt voor de Staringreeks grofzand (B5) varieerden van 9% minder tot 14% meer waterstress dan uiteindelijke Staringreeks, wat leidt tot 3 tot 25% minder opbrengst t.o.v. potentieel. Voor de berekening met Staringcode humus podzolgronden (B3-O2) was de variatie 6% minder tot 14% meer waterstress (nat én droogschade), wat leidt tot 5% tot 25% minder opbrengst t.o.v. potentieel.

Variatie binnen monsters B3-O2:

De variatie is groot genoeg om voor de ene situatie de grond zo in te schatten dat de GWS een redelijke fitting heeft (referentierun) en voor de andere lab monster de GWS tot < 3 m uitzakt. Minder opbrengst kwam door lagere drukhoogte en niet door lagere capillaire opstijging (capillaire opstijging verschilt minimaal t.o.v. referentie). De variatie die zichtbaar was op representatieve natte zomerdag (28-06-03) is verdwenen op de droogste dag (27-08-03). Verschil in waterstress was toe te schrijven aan eerdere aanvang van stressperiode, niet de intensiteit. Opvallend was de extreem hoge capillaire opstijging van run met gegevens van lab monster 13 (VAR13): deze opstijging was hoger dan referentierun terwijl de GWS 1 m lager lag. Dit betekent dat dit monster één m profiel kon overbruggen en alsnog een hogere capillaire opstijging heeft in de droogste periode. De lage GWS was te wijten aan de hoge capillaire opstijging. Op een natte zomerdag is er verschil waarneembaar tussen de monsters, op de droogste dag is dit minimaal. Het verschil in droogschade uit zich in eerder optreden van droogschade, niet zozeer het verschil in droogste periode.

Variatie binnen monsters B5:

De variatie binnen lab monsters van code B5 gaf een hogere stress intensiteit op de droogste dag (dit in tegenstelling tot B3-O2). De variatie in opbrengst berekening is van 97 tot 74% opbrengst t.o.v. potentieel, dit geheel afhankelijk van keuze lab monster. Dit verschil is groot (of 3 of 26 % nat- en droogteschade binnen één grondsoort). Bij de variatie binnen lab monsters B5 kwam opbrengst toe- én afname t.o.v. Staringcode B5 door zowel capillaire opstijging als drukhoogte. Voor monsters B5 is het verschil in droogschade (meer of minder) zowel te zien in natte zomerdag als op de droogste dag.

3.3. Analytische en tabellarische beschrijving van Θ -h en K-h relaties

Deze deelvraag is er om te kijken of er verschil is tussen M-VG tabel of functie invoer. Het is een model code verificatie. In eerste instantie werd geprobeerd om met veldgegevens van referentie studie Ruurlo te werken. Deze gegevens zijn echter buiten vochtgehalte (pF proef) geheel gebaseerd op Staringreeks. Wat bedoeld was als test naar het invoeren van veldgegevens wordt nu een test naar de werking van het model, hetgeen nuttig is voor toekomstig gebruik. Dit is dus een test puur op modelmatige werking van SWAP en niet op verschillen in bodemfysische eigenschappen. Dit is gedaan door een tabel aan te leveren met Θ -h en K-h relaties. Alvorens dit te vergelijken met analytische functie van M-VG (zoals beschreven in formule II.3 t/m II.6). De gekozen tabelwaarde, en zo het detail van de intervalgrote, zijn van grote invloed op de uitkomst, hetgeen de resultaten enkel globaal interpreteerbaar maakt. Een voorbeeld van een van de tabellen in tabel V.2, hetgeen de tabel is zoals deze is opgesteld voor de run M-VGtab1. Hieronder in tabel 5 runs met verschillende tabelinstellingen en de bevindingen. De titels en detail van de ingevoerde tabellen (zoals tabel V.2) zijn ondergeschikt gezien het om globale indruk van werking van de tabel en ordegrate van verschil gaat.

Tabel 5 Opbrengsten als % t.o.v. potentieel bij verschillende tabellen en de functie (referentie) voor de jaren 2002–2004

Jaar	Referentie	M-VGtab1	M-VGtab2	M-VGtab3	M-VGtab4	M-VGtab5
2002	99.37	99.34	99.34	99.61	99.37	99.341
2003	88.95	98.66	89.35	89.67	88.95	89.420
2004	99.58	99.62	99.60	99.61	99.58	99.601
Aantal tabelwaarde	∞	34	50	638	703	101

Uit tabel 5 is op te maken dat er verschil is tussen tabel en functie. De referentierun is de run met functie als invoer, dit valt te zien als tabel met oneindig (∞) klein detail van interval. De overige runs zijn met verschillen in aantal tabelwaarde: 34, 50, 638, 703, 101. In de run M-VGtab1 zijn de Θ en K bij 34 drukhoogtes beschreven en in run M-VGtab2 op 50 punten etc. Dit zorgt ervoor dat het verschil t.o.v. referentie van 10% naar 1% gaat. In de run M-VGtab3 is het aantal tabelwaarde uitgebreid maar is de eerste cm niet meegenomen. Dit om het belang van de eerste cm te bekijken. Het effect is dat de afwijking t.o.v. de referentie groter wordt. Na invulling van 703 tabelwaarden (en eerste cm in detail) is het resultaat van tabel gelijk aan die van de functie (zie run M-VGtab4). Hieruit wordt geconcludeerd dat de eerste cm beschrijven belangrijk is. Vervolgens is er een test gedaan met 101 tabelwaarde om te kijken of een goed verspreide tabel hetzelfde resultaat gaf als M-VGtab4. Dit was niet het geval, run M-VGtab5 gaf toch afwijking in opbrengst.

Tabel 6 Stapgrote M-VG tabel voor identieke fitting functie

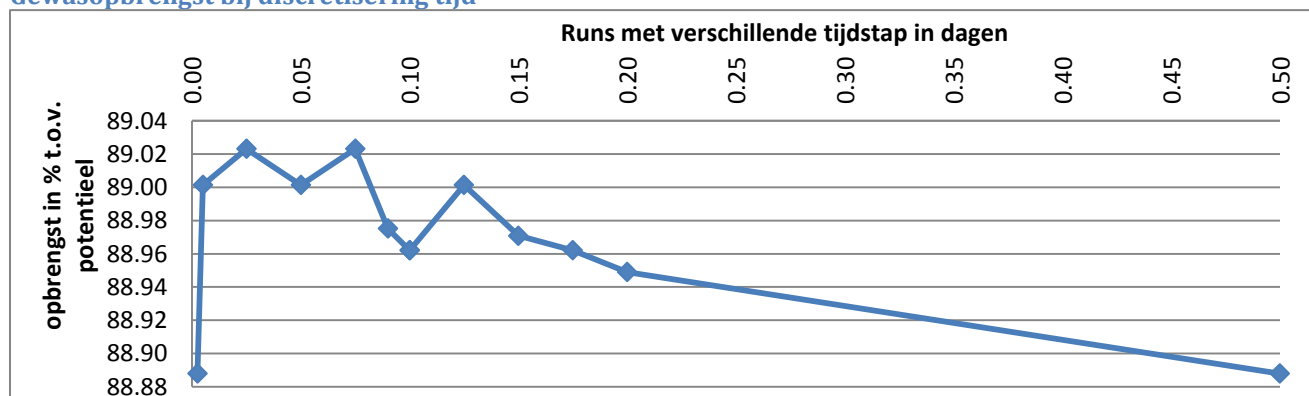
Stapgrootte	Tussen de waarden H (cm)	Aantal	
0.1	0 – 1	11	In tabel 6 is te zien dat het benodigde detail van de tabel (behalve 5 en 50) logaritmisch oploopt. Belangrijk bij tabel is dat stappen niet te groot zijn (interpolatie gaat mis, er is verschil in opbrengst berekening) en niet te klein (model werkt niet als er geen verandering in tabelwaarde leesbaar is). De interpolatie methode van de tabeloptie werkt volgens regressie model Hermite (Giles, 2010).
1	1 – 500	499	
5	500 – 1000	100	
50	1000 – 4000	60	
1000	4000 – 10000	6	
10000	10000 – 100000	9	
100000	100000 – 1000000	9	
1000000	1000000 – 10000000	9 +	
		703	

Er is verschil tussen tabel en functie afhankelijk van detail van de tabel maar vooral welke delen van de tabel in detail beschreven worden. Globaal is < 3000 belangrijk om in detail te beschrijven en zijn er honderden tabelwaardes nodig om dezelfde fitting te krijgen als functie. Dit betekent dat veldgegevens niet zomaar als tabel beschreven kunnen worden zonder dat de regressie ertussen met voldoende detail beschreven is. De huidige regressie Hermite (Giles, 2010), zoals deze in SWAP tabel optie zit, voorspelt niet zoals die van de M-VG functie (zie formule VII.3 t/m VII.6). De waarden uit het veld dienen dus als functie opgesteld te worden (door gebruik te maken van splines). Deze kunnen als tabel ingeladen worden.

3.4. Rekentijdstapgrootte

Hiervoor is de maximale rekestijdstap verandert binnen de reikwijdte (Engelse 'range'), dit is van 0.01–0.5 dagen. Hieronder de verschillen die het veroorzaakte, uitgedrukt in verschil tussen actuele en potentiële opbrengst voor het jaar 2003.

Gewasopbrengst bij discretisering tijd



Figuur 23 Discretisering tijdstap en reductie opbrengst in % t.o.v. potentieel, referentie is met ($x = 0.2$ d).

In figuur 23 op de y as de opbrengst in 2003 als percentage t.o.v. de potentiële opbrengst, op de x as de veranderde parameter; de maximale rekestijdstap in dagen. De referentierun is de run met een tijdstap van 0.2 (d). Te zien is dat er weinig invloed is van tijdstappen op de opbrengst: de maximale invloed is 0.14%, afhankelijk van keuze van rekestijdstapgrootte. Wel is er een minimale afname in opbrengst als de maximale tijdstap in dagen van minimum (0.01) naar maximum (0.5) gaat. Wat opvalt is de daling en stijging bij de kleinste rekenstappen, zie figuur 23; 0.00 tot 0.15dagen (x-as). Verwacht werd dat het verschil tussen tijdstappen afzwakt en overgaat naar equilibrium naarmate de tijdstap kleiner is. De oscillatie wordt verklaard door; SWAP kiest tijdstappen zelf, bij de keuze voor kleine maximale tijdstap wordt rekenkundig gekozen voor verschillende maxima. Dit zorgt voor verschillende capillaire opstijgingen bij rekenstapgrootte. Als de marge te klein is levert dit verschillende waardes op. Verklaring voor de stijging bij gebruik van rekenstap van 0.01: de grootste tijdstap van de parameter 'minimum tijdstap' (dit wordt in dit onderzoek niet veranderd) is gelijk aan de kleinste tijdstap van het maximum (is verandert). Er is zo geen speling voor het model om, daar waar nodig, de rekestijdstap groter te maken. Het is dan ook logisch dat het model andere waarde geeft als het alleen in kleinste tijdstap kan variëren. Deze waarde kan dan ook uit de analyse genomen worden omdat SWAP hierbij geen marge geeft.

Binnen SWAP wordt de tijdstapgrootte iteratief aangepakt: dit wordt verkleind totdat aan een kwaliteitscriterium wordt voldaan waarna de verkleining stopt. De combinatie daarvan geeft deze fluctuerende resultaten. Het geeft een kijk in de onzekerheid in SWAP opbrengsten (< 1%).

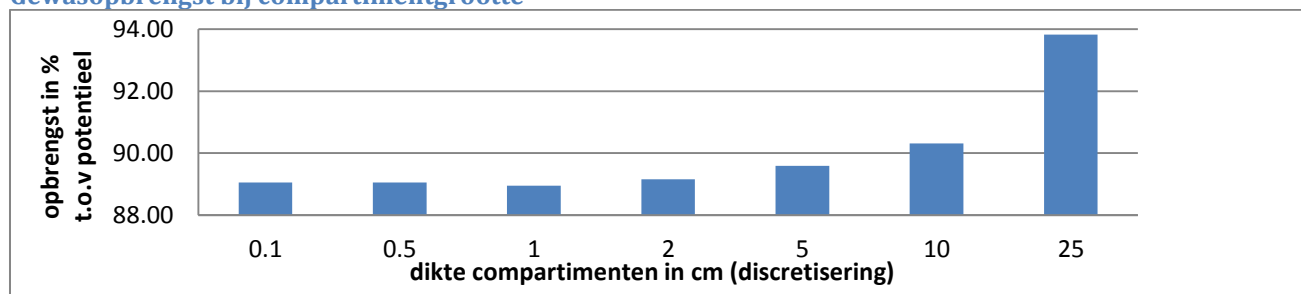
Conclusie

Tijdstap heeft nauwelijks invloed: 0.14% verschil in reductie tussen grootste en kleinste rekestijdstapgrootte. De onzekerheid op gebied van tijdstap kan voor 0.14% speling geven in opbrengst, dit door verschil in capillaire opstijging en zo meer of minder nat en droogschade. Dit kan eraan liggen dat alleen de maximale tijdstap verandert is. De minimale tijdstap wordt door het model, daar waar nodig, zelf aangepast. De tendens van tijdstap is: bij grotere tijdstap is er minder opbrengst. Dit komt door verlaging in capillaire opstijging bij grote tijdstap. Het verschil is minimaal, uitgedrukt als verschil t.o.v. referentie is er 0.3% toename in maximale capillaire opstijging (in het profiel) op de droogste dag.

3.5. Dichtheid rekengrid

In deze paragraaf de uitwerking van deelvraag 5: Wat is de invloed van verschillende dichtheid van verticale rekengrid in het model? Om dit te bekijken wordt met verschillende rekengrid dichtheden gerekend, de dichtheid wordt bepaald door het instellen van het aantal compartimenten. Waarbij grotere compartimentgrootte een lagere dichtheid betekend en kleinere compartimentgrootte een hogere dichtheid. De instellingen zijn identiek aan de referentierun op de compartimentdikte na. Hieronder de gewasopbrengst bij verschillende compartimentdikte (dit is de dichtheid van rekengrid uitgedrukt in dikte van de laag).

Gewasopbrengst bij compartimentgrootte

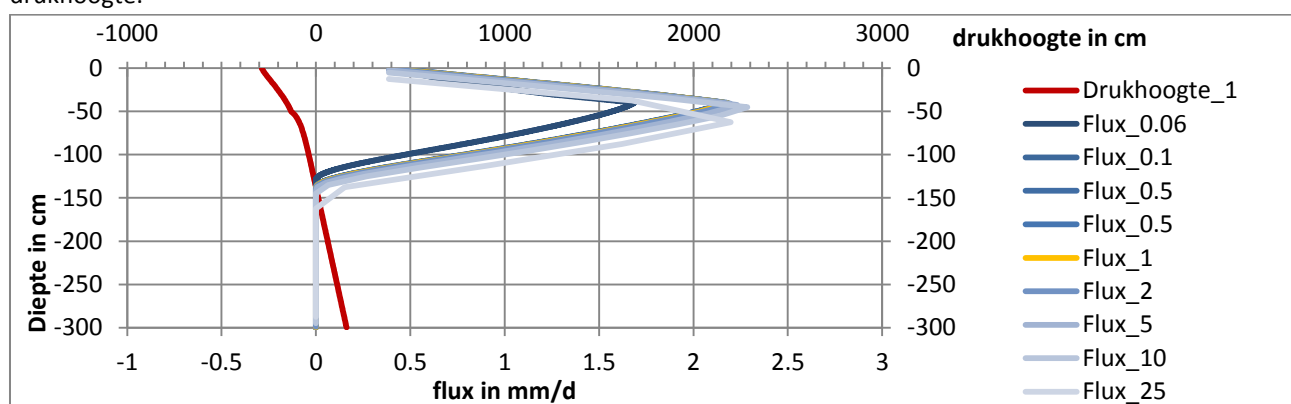


Figuur 24 Opbrengst in % t.o.v. potentieel bij compartimentdikte

In figuur 24 staat op de y as de reductie t.o.v. potentieel en op de x as de runs met verschillende compartimentdikte. Te zien is dat hoe groter de compartimenten hoe hoger de berekende opbrengst. De figuur geeft weer dat discretisering van invloed is: het kan tussen 89% en 93.8% opbrengst weergeven, afhankelijk van instelling van dichtheid van rekengrid (en daarbij horende compartimentgrootte). De capillaire werking wordt met grotere compartimenten hoger geschat en lager geschat bij kleine compartimenten. Uit figuur 24 komt naar voren dat bij compartimentgrootte van 0.1 tot 1 cm dik er een minimaal verschil is in opbrengst. Bij gebruik van compartimentgrootte van 10cm voorspelt het model resultaten die in de ordegrte van het CARE project zitten, namelijk <10% droogteschade voor 2003. De compartimentgrootte is echter geen modelparameter om bijv. mee te kalibreren. Een voorbeeld: de resultaten van dit onderzoek zouden aangepast kunnen worden naar de waarde van het CARE project d.m.v. variatie in dichtheid van rekengrid. Een vorm van standaardisering kan een oplossing zijn om de geringe, maar aanwezige, variatie tussen onderzoeken weg te nemen. De meerwaarde van compartimentgrootte instellen is dat het nauwkeuriger de onderliggende Richards vergelijking oplost. Bij keuze van standaard laagdikte van 1cm per laag, kan een standaard opgezet worden. Na het kalibreren van het model met deze of anders gekozen standaard is er geen speling meer. In §3.5.2 worden capillaire opstijging en drukhoogte geanalyseerd.

Waterflux bij verschillende compartimentgrootte

In deze paragraaf wordt gekeken of verschil in opbrengst komt door overschatting van capillaire opstijging of drukhoogte.

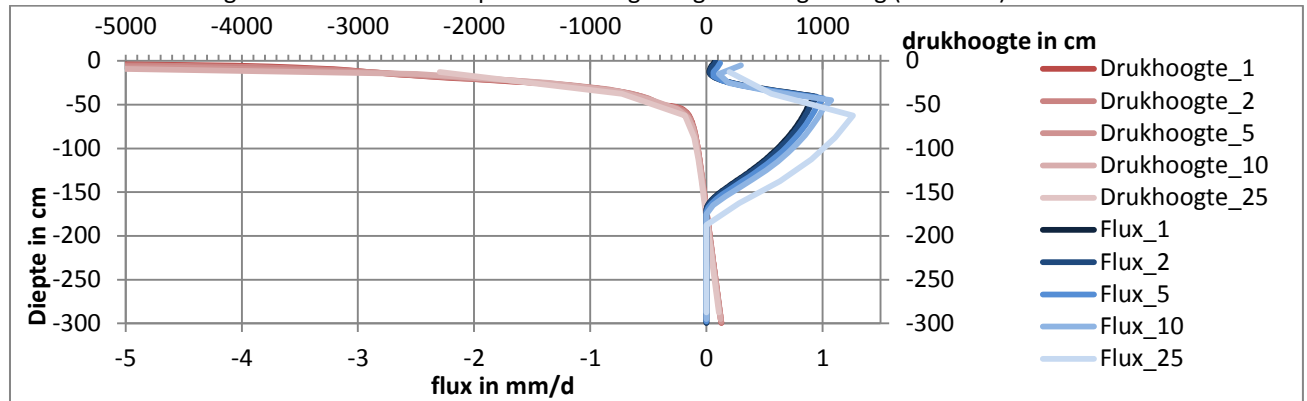


Figuur 25 Drukhoogte en capillaire opstijging op 'natte dag' 28-06-03 bij compartimentgrootte

In figuur 25 staat de drukhoogte van referentie run (drukhoogte 1) en de flux per run. De getallen achter de serie staan voor de compartiment dikte. Zo is er bij run flux_1 de gerekend met compartiment dikte instelling

van 1cm (dit is de instelling zoals bij referentie run). De drukhoogte is enkel voor de run met 1 cm als compartimentdikte geplot (rode lijn), dit omdat de andere runs dezelfde drukhoogte hebben als de referentie. Het effect van discretisering zit in de capillaire opstijging. Te zien is dat compartimentvergroting hogere capillaire opstijging oplevert. Met de hoogste capillaire opstijging bij compartimentdikte van 25cm. Wat verder opvalt is dat bij compartiment dikte van 25 de wortels tot dieper invloed hebben (al vanaf 60 cm onttrekken ze vocht en neemt de capillaire opstijging af), hetgeen laat zien dat berekening met te grote rekengrid (= lage dichtheid van rekengrid) voor onrealistische (diepe) wortelopname zorgt. De wortels zijn tot 40 cm ontwikkeld maar vanwege de ligging van de rekengrid nemen ze op tot 60cm (zie serie flux_25 in bovenstaande figuur 25).

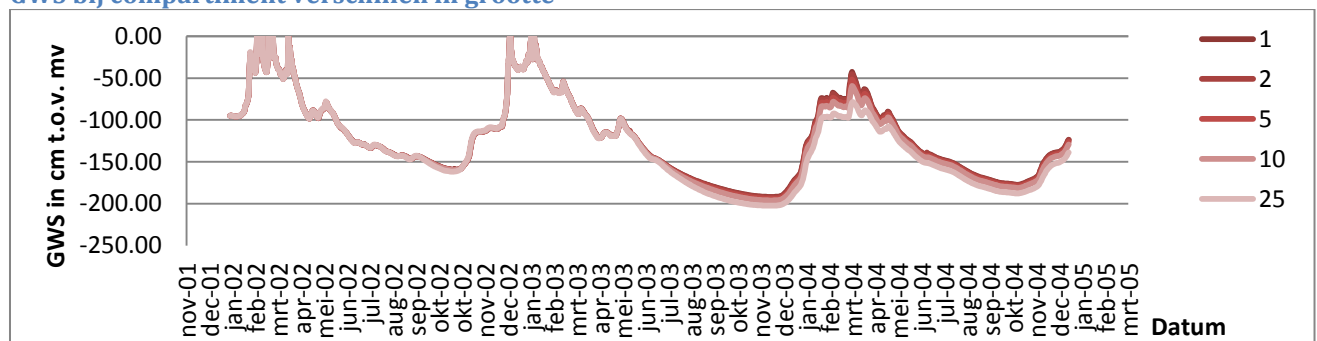
Hieronder dezelfde grafiek alleen voor compartiment vergroting en droogste dag (27-08-03).



Figuur 26 Drukhoogte en capillaire opstijging in profiel op de droogste dag (27-08-03) bij compartimentgrootte

In figuur 26 de drukhoogte en flux bij runs met verschillende compartimentgrootte. De getallen achter de serie staan voor de compartiment dikte in cm. Te zien is dat compartimentvergroting voor hogere capillaire opstijging zorgt; hoe lichter de lijn hoe verder de flux naar rechts verschuift. Het grootste verschil is waarneembaar als compartimenten 25cm dik zijn, hierbij start de capillaire opstijging lager in het profiel. Er is een lagere grondwaterstand voor run met 25cm compartimentdikte. Voor de overige runs is de GWS min of meer gelijk. Wat verder opvalt is dat bij de run met compartiment dikte 25cm (Flux_25) de wortels tot dieper in het profiel invloed hebben, tot >50cm i.p.v. 40cm -mv. Dit komt doordat de 2^e laag (van 25–50cm-mv) voor een deel wortels bevat en voor een ander deel niet. Omdat dit één laag is wordt er in de gehele laag vocht opgenomen. Dit is niet realistisch; vooral in de wortelzone dienen de lagen van voldoende detail te zijn om deze verschillen te voorkomen.

GWS bij compartiment verschillen in grootte



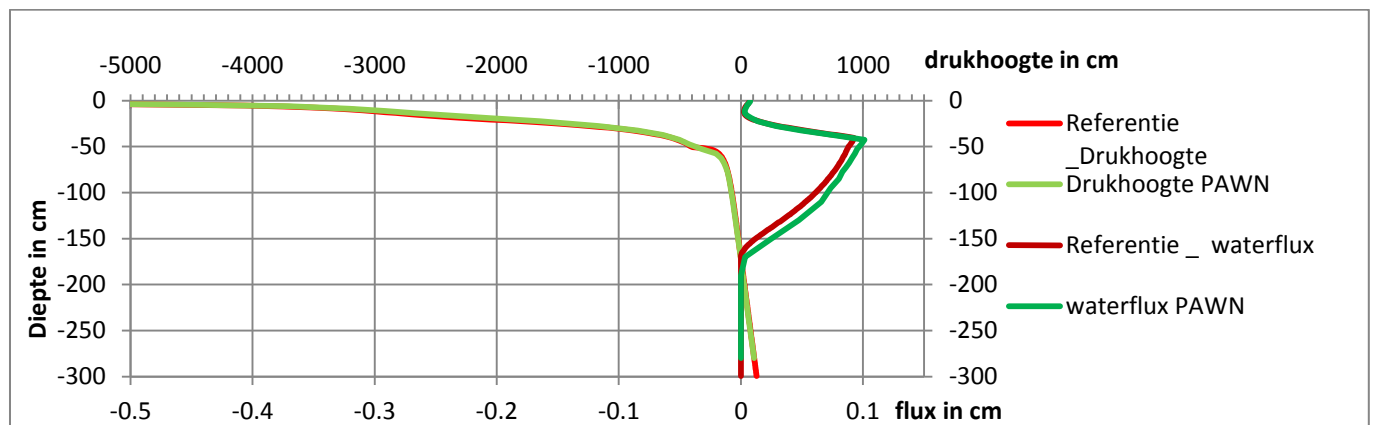
Figuur 27 Grondwaterstand (GWS) bij verschillende compartimentdikte (serie in cm)

In figuur 27 de GWS bij verschillende compartimentdikte (serie in cm), op de y-as de GWS in cm en op de x-as de datum. Te zien is dat de GWS daalt bij vergroten van de ruimtestap (zie juni 2003 tot december 2004 lichte lijnen zijn lager). Verklaring hiervoor is; er is een hogere capillaire opstijging bij compartiment vergroting, dit zorgt voor een lichte daling van de GWS. Opvallend is dat dit pas optreed in zomer 2003 en duurt tot eind 2004. In het jaar 2002 is er nauwelijks verschil waar te nemen. Verklaring hiervoor is: 2002 is neerslag gedomineerd en heeft zo een lagere invloed van capillaire opstijging en zo minder daling van GWS bij overschatting van de

capillaire opstijging. In 2003 is de invloed van de capillaire opstijging hoger en is het verschil door compartimenten zichtbaar. Deze daling van de GWS in 2003 heeft tot eind 2004 invloed en wellicht verder, de ordegrte van invloed is rond de 10cm. Dit is gebaseerd op verschil tussen referentie (1cm) en run met compartimentgrootte van 25cm.

PAWN

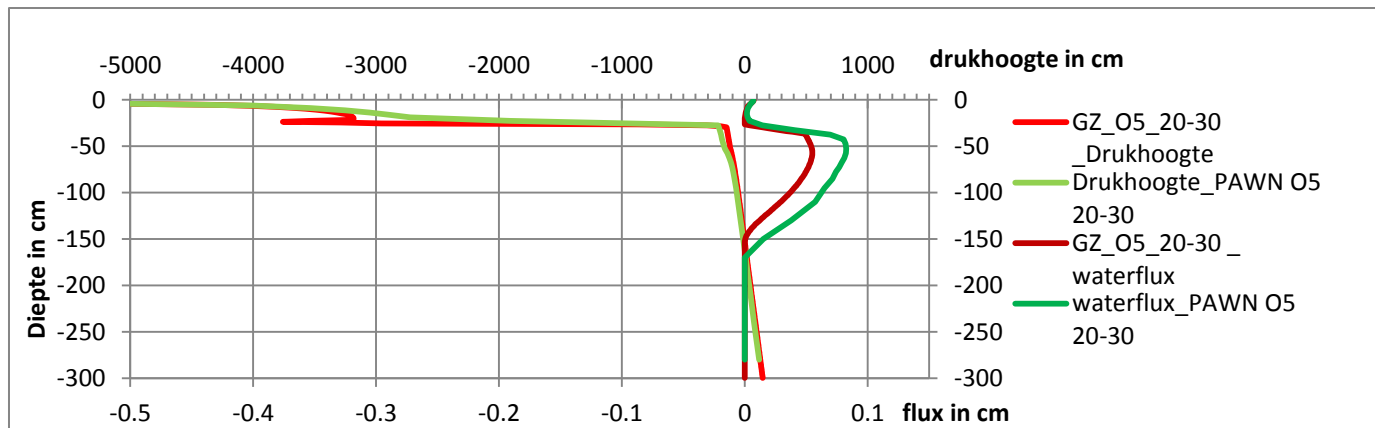
In deze paragraaf wordt de referentierun (met 300 compartimenten van 1cm dik) vergeleken met de compartimentenindeling zoals deze is gebruikt in PAWN studie (zie bijlage I begrippen voor toelichting PAWN). Dit houdt in dat 300 lagen van 1 cm vergeleken worden met 34 lagen met oplopende dikte (zie tabel IX.1 voor tabel PAWN dichtheid rekengrid). PAWN indeling en andere indelingen met oplopende dikte worden in praktijk veel toegepast. Deze indeling vergelijking wordt twee maal overgedaan gedaan met grofzand in het profiel (zie figuur 29 & 30). De vergeleken runs in §3.5.4 verschillen enkel in dichtheid rekengrid, in de figuren 28, 29 en 30 zijn de rode lijnen berekend met 300 lagen en de groene lijnen met PAWN indeling.



Figuur 28 Drukhoogte en capillaire opstijging in profiel op de droogste dag (27-08-03) bij PAWN indeling

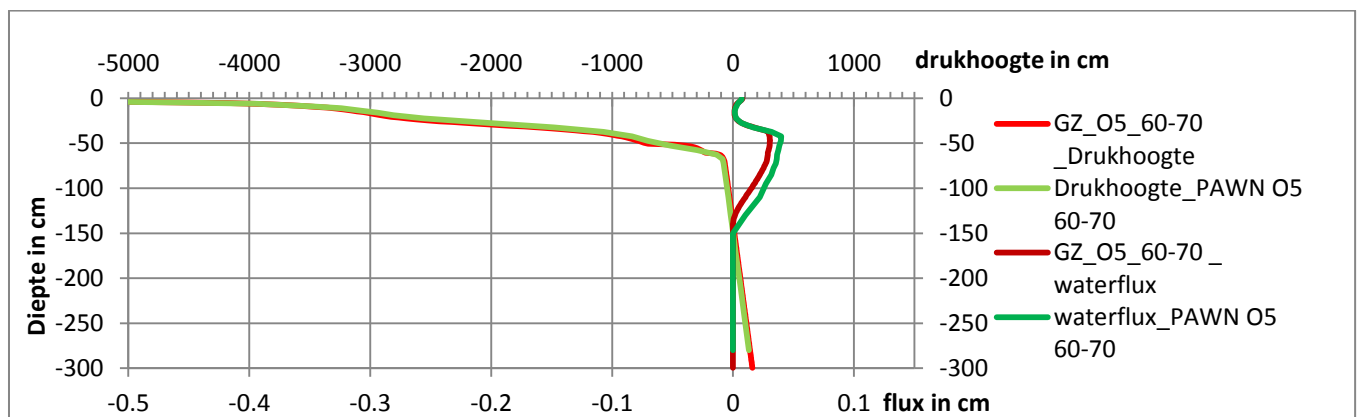
In bovenstaande figuur 28 de drukhoogte en flux van de referentierun en run met PAWN indeling. Het verschil tussen de twee runs is klein. De PAWN indeling bevat een gedetailleerde rekengrid voor de bovenkant profiel en minder detail voor onderkant van profiel. De beperkte afwijking t.o.v. referentie run laat zien dat onderkant van het profiel beschreven in detail of grove lage weinig invloed heeft. De opbrengst berekening bij de run met PAWN indeling is 89.9, dit is 1% toename t.o.v. referentie (bij berekening, op het oog verschilt dit niet). De maximale waterflux van de 2 runs in figuur 28 verschilt 9%, dit verschil is rond 50cm-mv (zie bijlage X verdere uitwerking van deze maximale waarde). Dit betekent dat op de droogste dag bij de PAWN indeling er 9% hogere water toevoer is voor de plant t.o.v. bij berekening met 300 lagen van 1cm.

Hieronder PAWN indeling (zie tabel IX.1) gecombineerd met grofzand in het profiel. Dit wordt vergeleken met een zelfde run maar met een indeling van 300 lagen van 1 cm. Het is dus een vergelijking van verschillende dichtheden van het rekengrid: PAWN of 300 lagen van 1cm. Grofzand heeft eigenschappen van O5 (zie tabel V.1) en bevindt zich tussen 20–30 cm (figuur 29) en 60–70 cm (figuur 30). De series van de grafieken zijn 300 lagen (rood) of PAWN indeling (groen).



Figuur 29 Drukhoogte en capillaire opstijging in profiel op de droogste dag (27-08-03) bij PAWN indeling

In bovenstaande figuur 29 de drukhoogte en fluxen van runs met grofzand tussen 20–30 cm. Verschil tussen rood en groen zit in dichtheid van rekengrid. Rood heeft 300 lagen van 1 cm (standaard indeling) en groen is berekend met PAWN indeling (zie tabel IV.1). Er is een groot verschil waar te nemen, vooral in de flux. Wat verder opvalt is de knik in drukhoogte bij berekening met indeling 300 lagen (zie lichtere rode lijn in figuur 29, diepte 25 cm). Deze knik is niet terug te vinden bij PAWN indeling (licht groene lijn). De opbrengst bij de run PAWN is 84.3% t.o.v. potentieel. Dit is 4.6% hoger dan dezelfde run alleen dan met 300 lagen als dichtheid rekengrid. Dit komt neer op een relatieve toename in opbrengst van 4.6% bij een berekening met PAWN indeling. In absolute aantallen is dit 3.7% hogere opbrengst berekening.



Figuur 30 Drukhoogte en capillaire opstijging in profiel op de droogste dag (27-08-03) bij PAWN indeling

In bovenstaande figuur 30 de drukhoogte en fluxen van run met grofzand tussen 60–70 cm. Met serie in het rood berekend met 300 lagen van 1 cm (standaard indeling) en groen is met PAWN indeling (zie tabel IV.1). Het verschil tussen de runs is kleiner. Het verschil zit in de ordegrrootte van referentie vergeleken met PAWN indeling (zie figuur 28, vergeleken met figuur 30). Er is een relatieve toename in productie van 3.6% t.o.v. run met 300 lagen van 1cm.

Conclusie

Conclusie; compartiment verkleinen heeft nauwelijks invloed, 300 lagen is al tamelijk klein, de verandering is daarom nihil. Compartimentdikte vergroten heeft echter wel invloed en levert verlaging van GWS op en verhoging van capillaire opstijging. De ordegrrootte van verschil in capillaire opstijging is tussen 0.08 mm/d (verschil tussen 1cm en 5cm compartimentdikte) en 0.3 mm/d (verschil 1cm en 25cm compartimentdikte). Verschil in opbrengst door nat of droogschade kan, bij verschillend gebruikt in SWAP, dus enkele procenten zijn. In praktijk wordt gebruik gemaakt van oplopende profiel dikte (oplopend naar beneden), dit is om met tientallen lagen toch 'voldoende' compartimenten te hebben. Bovenstaand hoofdstuk laat zien dat compartimenten in de ordegrrootte van één cm tot enkele cm voldoende detail is. Bij berekening van

compartimentdikte van 25 cm is het verschil in opbrengst en maximale capillaire opstijging op de droogste dag het grootst. Dit laatste is 36% hoger dan de maximale capillaire opstijging van de referentierun (zie bijlage X).

Bij het bekijken van overige resultaten (niet in dit verslag opgenomen) kwam naar voren dat de natte jaren (2002 & 2004) weinig verschil laten zien. Tevens is uit de data opgemerkt dat kleinere compartimenten zorgen voor hogere droogschade en grotere compartimenten zorgen voor lagere droogschade. Naast compartimentvergroting is ook gerekend met compartimentverkleining tot het minimum, in dit geval 0.06cm, gezien 5000 het maximum is (300 cm / 5000 lagen is 0.06 als compartimentdikte). Berekening met kleinste rekengrid leverde een verlaging in opbrengst op van 5% t.o.v. referentie (referentie is de met dikte 1cm). Er is dus een opbrengst van 83% t.o.v. potentieel. Het verkleinen van compartimenten gaat naar een equilibrium maar schommelt bij de kleinste waarde (5000 lagen). Dit is het model limiet vandaar de schommeling. De invloed van dichtheid rekengrid vertoont de verwachte vorm: stabilisatie naarmate compartimenten kleiner worden.

PAWN

Bij berekening met PAWN indeling is de capillaire opstijging hoger dan bij berekening met indeling van 300 lagen van 1cm. Opvallend is dat het verschil tussen 300 lagen en PAWN indeling het groots is als er gerekend wordt met grofzand in het profiel tussen 20–30 cm. Dezelfde laag op 60–70cm heeft echter een lager effect op opbrengst en capillaire opstijging. Het effect van PAWN indeling (grovere indeling) heeft positief effect op de capillaire opstijging. Dit sluit aan bij conclusies van vergroten van compartiment. Rekenen met de PAWN indeling zorgt voor een hogere capillaire opstijging, met als effect daarvan een lagere grondwaterstand.

Het verschil in de berekende in capillaire opstijging tussen PAWN en 300 lagen van 1 cm is, uitgedrukt in opbrengst 2003 (actueel t.o.v. potentieel), met verschil PAWN berekening uitgedrukt t.o.v. 300 lagen. Dit met de formule: $\text{opbrengst \%} = \frac{\text{'run PAWN'} - \text{'run 300'}}{\text{'run 300'}} * 100$.

Dit leverde invloed in de ordegrootte van 9% hogere capillaire opstijging op de droogste dag. Met grofzand in het profiel is dit 50% als het zich bevindt in de bovenlaag (20–30cm) en 30% als het zich in diepere grond bevindt.

Referentie run heeft 1% toename in berekende opbrengst bij berekening met PAWN, met grofzand in de bovenste laag van het profiel is dit 4.6%, en grofzand dieper gelegen is dit verschil 3.6%. De maximale capillaire opstijging bij berekening met PAWN indeling is 9% hoger dan de referentie run (zie bijlage X)

4. Conclusies & aanbevelingen

4.1. Conclusies

Hoofdvraag: Wat zijn de effecten van bodemfysische parameterisering en numerieke discretisering op capillaire opstijging in het model SWAP?

Hieronder de conclusies en beantwoorde deelvragen alvorens een antwoord te geven op de hoofdvraag.

1. Wat is het effect van bodemkundige schematisatie op de capillaire opstijging?

Profielopbouw met grofzand in het profiel heeft een grote invloed op capillaire opstijging en daarmee op gewasopbrengst. Met grofzand (van Staringreeks code O5 zie tabel V.1) in het profiel tussen 20–40 cm is de opbrengst het laagst met 16 ton droogstof per ha. Dit is 188 % meer droogschade dan bij de referentierun (zonder grofzand in het profiel). De invloed van grofzand op capillaire opstijging is groot.

Uitgedrukt in percentage t.o.v. maximum capillaire opstijging van de referentierun is de capillaire opstijging op de droogste dag: bij grofzand met bovengrond eigenschappen (B5) op diepte 20–40cm geeft de run een afname in de capillaire opstijging van 26%. Grofzand met ondergrond eigenschappen (O5) op diepte 20–40 cm diepte leverde een afname van 86%, op diepte 60–80 cm diepte levert 71% van de capillaire opstijging op t.o.v. referentie (referentie is de run zonder grofzand in het profiel), zie tabel X.1 voor getallen en berekeningen.

Een laag van 20 cm grofzand in de bodem-schematisatie levert een 7 keer lagere capillaire opstijging op (uitgedrukt relatief aan de referentie is dit 86% afname). Het rekenen zonder tussenlagen kan van grote invloed zijn op capillaire opstijging. Grofzand in de bovengrond heeft een grotere invloed op capillaire opstijging en opbrengst dan in ondergrond. Dit laat zien dat de ligging van de laag heeft grote invloed evenals het type grofzand.

2. Wat is het effect van de variatie van individuele Staring bodemonsters op capillaire opstijging?

Er is veel variatie binnen de Staringreeks. Dit wordt duidelijk als de monsters van code B3 bovenop O2 in SWAP worden ingevoerd. Dit levert een gemiddelde afwijking van 50% nat- en droogteschade, dit t.o.v. referentierun. Referentie is de uiteindelijke Staringcode (zie tabel V.1 code B3 en O2). Dit betekent dat bij gebruik van de 14 lab monsters de ene helft een opbrengst voorspelt van 50% meer en de andere helft 50% minder. Dit is een gemiddelde: er zijn 2 monsters die nauwelijks afwijking geven. De reductie, door nat- en droogteschade, bij referentierun is 11%. Bij keuze van lab monsters kan er tussen 5.5% en 17% reductie, door nat- en droogteschade, berekend worden voor 2003. Dit maximale verschil in % reductie tussen de monsters komt neer op 5 ton gras (droogstof) per ha, dit is (maximaal) ongeveer 2.5 ton meer en 2.5 ton minder dan de referentie afhankelijk van de keuze van monsters. Er is tevens variatie binnen code B5: de uiteindelijke Staringcode voorspelt voor ongeveer $\frac{1}{3}$ van de monsters de opbrengst met groot verschil (+60% meer of minder); voor de andere codes is het verschil kleiner, maar wel aanwezig.

De maximale capillaire opstijging (van het profiel van 3 m) op de droogste dag is voor B3-O2 tussen de 0.328 mm/d en 1.02 mm/d terwijl referentie op 0.93 mm/d zit. Dit is 65% lagere en 10% hogere capillaire opstijging tussen de monsters van code B3-O2 (zie bijlage X), maximale afwijking tussen de monsters van B3-O2 is dus 75%. Voor Staringreeks code B5 loopt de maximale capillaire opstijging op de droogste dag van 0.37 mm/d tot 2.49 mm per dag, dit vergeleken met maximale capillaire opstijging van 0.823mm/d voor uiteindelijke Staringcode B5. Dit is 55% lagere en 203% hogere capillaire opstijging tussen de monsters van code B5 (zie bijlage X), maximale afwijking tussen de monsters van B5 is 258% .

De Staringreeks is gebaseerd op extreme (hoge en lage) waarden. De middeling levert zodoende vastigheid voor regionale toepassing, maar zegt weinig over de variëteit die voorkomt in het veld. De variatie zit in capillaire opstijging (onderschatting t.o.v. uiteindelijke Staringcode), dit levert meer nat- en droogteschade op, maar ook lagere drukhoogtes bij gelijke capillaire opstijging (er is zo dus minder droogtestress). Het effect is groot, met als meest extreem verschil een factor 7 verschil tussen capillaire opstijging.

3. Wat is de invloed van de invoermethode voor de Mualem Van Genuchten functie, vergeleken met θ -h & θ -K tabellen?

Bij gebruik van veld data dienen de data vertaald te worden naar voldoende K en θ bij drukhoogtes (de θ -h en K-h relaties). Bij gebruik van 34 tabelwaarden (logaritmische spreiding) berekent het model 10% meer opbrengst voor 2003, staand voor droogschade van 10%, de maximale capillaire opstijging op de droogste is tot wel 118% hoger dan de referentie. Bij invulling van meer tabelwaarde wordt het verschil tussen functie en tabel kleiner. Om van veld data naar voldoende tabelwaarde te komen (dus van bijv. 10 veldmetingen naar 703 tabelwaarde) kan gebruik gemaakt worden van Splines. De grote hoeveelheid waarden in tabeloptie zijn nodig om op voldoende detail te beschrijven zodat de tabel niet afwijkt van functie (zie tabel 6). Hierbij dient opgepast te worden dat er per waarde een verandering in K en θ in de tabel staat. Is er geen verandering tussen drukhoogte 10.000 en 10.010 in de K en θ , dan kan het model hier niet mee rekenen. Tevens kunnen er geen zelfde drukhoogte lager in het profiel dan bovenliggende laag opgegeven worden. De tabel dient opgesteld te zijn als monotone functie (eenduidig verband).

4. Wat is de invloed van verschillende rekentijdstappen op capillaire opstijging in het model SWAP?

Tijdstappen hebben nauwelijks invloed. Er is 0.14% verschil in opbrengst tussen grootste en kleinste tijdstapgrootte. De onzekerheid wat betreft tijdstappen (0.14% speling in opbrengst) wordt veroorzaakt door hogere en lagere capillaire werking. De trend is dat bij een grotere tijdstap een lagere opbrengst berekend wordt door verlaging van de capillaire opstijging. Op de droogste dag is er een maximaal verschil in de maximale capillaire opstijging van 0.3%, dit is bij rekenen met maximale tijdstap van 0.125 dagen.

Binnen SWAP wordt de tijdstapgrootte iteratief aangepakt: dit wordt verkleind totdat aan een kwaliteitscriterium wordt voldaan waarna de verkleining stopt. De combinatie daarvan geeft de kleine fluctuatie in de resultaten. Het geeft een inkijkje in de onzekerheid in SWAP op gebied van tijdstappen en opbrengsten (< 1%).

5. Wat is de invloed van dichtheid rekengrid in het model ?

Verkleinen van rekengrid heeft nauwelijks invloed. Dit komt omdat een hoeveelheid van 300 lagen (aantal lagen referentierun) tamelijk klein is. Bij vergroten van rekengrid is er echter een groot verschil waarneembaar. Met de rekengrid (compartimentdikte) neemt capillaire opstijging toe, wat voor een hogere opbrengst zorgt. De ordergrootte van verschil in capillaire opstijging is tussen 0.08mm (verschil tussen 1cm en 5cm compartimentdikte) en 0.3 mm/d (verschil 1cm en 25cm compartimentdikte). Wanneer er van de kleinste compartimentdikte (0.1cm) naar de grootste compartimentdikte (25cm) wordt gegaan resulteert dit in 5% meer opbrengst. Op de droogste dag is er een maximaal verschil in de maximale capillaire opstijging van 36%, dit is bij rekenen met 12 compartiment van 25cm dikte. Voor de PAWN indeling is de maximale capillaire opstijging op de droogste dag 9% hoger dan de referentie run.

Ruimte stappen hebben direct invloed op capillaire werking en daarmee ook op de GWS. Het verschil is groot, waarbij bij kleine compartimenten er een lagere capillaire opstijging en bij grotere compartimenten er een hogere capillaire opstijging optreedt. Dit kan voor enkele procenten verschil in opbrengst zorgen: de invloed is groot. De invloed op capillaire opstijging op de droogste dag is tot 35%.

Hoofdvraag

Wat zijn de effecten van bodemfysische parameterisering en numerieke discretisering op capillaire opstijging in het model SWAP?

Er is verschil in capillaire werking bij bodem schematisatie, tabellarische beschrijving van bodemfysische relaties i.p.v. functie, variatie binnen Staringreeks en bij invoer van verschillende compartimentdikte. Maar nauwelijks bij het verkleinen van de maximale tijdstap. Uitgedrukt in procentueel verschil t.o.v. referentie is gevoeligheid op de capillaire opstijging op de droogste dag (zie bijlage X getallen en toelichting): Bij grofzand in het profiel is er tot 85% minder capillaire opstijging dan de referentie (dit op de droogste dag). Variatie binnen de Staring monsters humus podzolgronden heeft invloed van 65% lagere tot 10% hogere capillaire opstijging dan de referentierun. Variatie binnen de Staring monsters grofzand heeft als maximale invloed 55% lagere tot 200% hogere capillaire opstijging dan de referentierun. Het effect van invoer van Mualem van Genuchten tabel of functie heeft, in deze studie, invloed in orde grote 120% hogere capillaire

opstijging, hetgeen zeer snel afneemt als het detail van de tabel toeneemt. Tijdstappen hebben nauwelijks effect, dit is nog geen procent op de opbrengst en de capillaire opstijging. Dichtheid rekengrid kan tot een 35% hogere capillaire opstijging leiden bij het vergroten van compartimentdikte tot dikte van 25cm.

De bekeken onzekerheden uitgedrukt als procentueel verschil (t.o.v. referentie) in capillaire opstijging op de droogste dag zijn op volgorde (klein naar groot): rekentijdstapgrootte (<1%), dichtheid rekengrid (35%), grofzand lagen in het profiel (85%), tabellarische beschrijving Θ -h en K-h relaties (120%) en variabiliteit standaard bodemfysische relaties (Staring monsters) (250%). Het effect is echter klein bij juiste keuze rekentijdstapgrootte en bij invoer van de juiste tabelwaarde. Bij compartimentgrootte kan er grote afwijking zijn als er met verschillende dichtheid van rekengrid gewerkt wordt. De mate van effect is het grootst bij bodem generalisatie, dit voor zowel 'in generalisatie vergeten lagen' (getest bij deelvraag tussenlagen) in het profiel als voor verschil tussen de onderliggende data van de bodemgeneralisatie.

4.2. Aanbevelingen

Aanbeveling discretisering: kalibreer het model met vaste compartimentdikte. Zet dit vast tenzij er een gegronde reden is voor aanpassing en zorg voor controle bij aanpassing. Dit zorgt voor zekerheid dat waar het model ook gebruikt wordt er geen verschillen op dit gebied is. Tevens zorgt het ervoor dat aanpassing van ruimte stappen niet als 'kalibratie tool' gebruikt kan worden.

Aanbeveling tabel of functie voor M-VG parameter invoer: gebruik voldoende detail van de tabel om afwijking te voorkomen, bij berekening met drukhoogtes zoals in tabel 6 is beschreven is het verschil onder de 0.01%. Er dient wel gekeken te worden of elke waarde uniek is (Θ en K moeten bij elke h verschillen), anders stopt het model met rekenen.

In eerste instantie was het de bedoeling dat de bodemfysische eigenschappen van grofzand afgeleid werden van bodemkaarten schaal 1 op 50.000. Er was een selectie gemaakt van kaartbladen in oost Nederland (studie gebied). Dit zijn bodemkaartbladen 33, 34, 40 en 41. Deze kaarten bevatten boorgatprofielen per kaarteenheden. De bodemcode is opgesteld volgens textuur terminologie van De Bakker en Schelling (1989). In deze bodemkaartbladen staan de bodemcodes uitgewerkt in aanhangsel 2. Het beschrijft o.a.;

- | | |
|--|----------------------------|
| - GWT (grondwatertrap) | - Dikte laag |
| - Horizont beschrijving (beschrijven bodemvormende processen, symbolen volgens De Bakker en Schelling 1966 blz. 62–64). | - % Humus |
| | - % Lutum |
| | - % Leem |
| | - % Gewicht minerale delen |

In eerste instantie leek het mogelijk om deze gegevens naar SWAP te vertalen. Er werd gekeken naar rekenprogramma Staringreeks.exe (zie <http://www.alterra.wur.nl/NL/Producten/Digitale+gegevensbestanden/> Staringreeks versie 1.2). Dit rekenprogramma heeft per laag de volgende gegevens nodig om Θ -h en K-h te berekenen: Percentage organische stof, lutum percentage (deeltjes < 2 μ m), leem percentage (deeltjes < 50 μ m) en mediaan Zandfractie (μ m), ook wel M50 genoemd (deeltjes tussen 50–2000 μ m). Met deze gegevens worden de parameters voor de Mualem Van Genuchten formule berekend (zie formule II.3 t/m II.6). In dit rekenprogramma kunnen geen fracties groter dan 210 μ m ingevuld worden. De pedotransferfuncties zijn hiervoor nog niet geschikt. Zo bleek het programma niet te functioneren voor een organische stofgehalte van 0% en lutum van 8% of meer en grofzandfractie boven 210 μ m. Zodat de aanpak verandert is, er is gekozen voor het overnemen van bodemfysische relaties van de voor Ruurlo toegewezen Staringcode (B3-O2). Er is een nieuw programma in de maak, genaamd Dragon (Knotters *et al.*, 2011). Dit is mogelijk wel geschikt is voor handmatige vertaling van bodemkaart data naar M-VG parameters. Het programma was nog niet operationeel tijdens dit onderzoek. Het is interessant om alsnog de bodemfysische eigenschappen af te leiden van bodemkaartbladen met behulp van Dragon.

De invloed van grofzand lagen is groot. Wat in deze studie niet mogelijk was, is het doorrekenen van werkelijke velden waarvan de profielen bekend zijn, het liefst met lab monsters i.p.v. aannames/ bodem generalisatie. Interessant zou zijn om te kijken of de ordegrrootte van invloed ook overeenkomt met de werkelijkheid. Het belang van inzicht in capillaire nalevering is groot, toch blijft het grotendeels bij aannames en formules die gebaseerd zijn op vocht karakteristieken en doorlaatvermogen. Deze zijn niet ondersteund door experimenten met data van capillaire nalevering, door het installeren van lysimeters in combinatie met 'soil moisture sensors'

kunnen de aannames ondersteund worden met data. Het is een kostbare investering maar met belangrijke bijdrage aan de wetenschap.

Op gebied van modeluitvoer en verwerking zou het handig zijn om keuze mogelijkheden te standaardiseren en als optie te leveren. Dit kan bijv. door via programma's als R analyses uit te voeren. Hierbij kan gedacht worden aan grafiek van drukhoogte en capillaire opstijging van een aantal dagen of van de laatste dag voor een periode zonder neerslag. Hieruit kan de 'minimale capillaire opstijging' van een jaar of periode beschreven worden. De manier om tot droogste periodes te komen zou standaard gesteld kunnen worden in SWAP, met toevoeging van een parameter onder welk vochtgehalte er gekeken moet worden naar: minimale flux in periode waar geen of nauwelijks neerslag viel én de flux daalt en stijgt niet of nauwelijks. Zet hier bijv. minimum van 0.01 cm fluxverlaging t.o.v. dag ervoor, fluxverlaging is 0.0022 over dagen 580–600. Selecteer bijvoorbeeld de dag voor een bui na een droge periode. Dan kunnen deze laagste capillaire opstijgingen vergeleken worden en kan gekeken worden naar de invloed hiervan op de opbrengst en zo op variatie tussen jaren.

Een suggestie op gebied van onderrand-randvoorwaarde. Het is interessant om de exercitie in deze studie uitgebreid over te doen en te kijken naar meetpunten. Om tot een verbeterde onderrand-randvoorwaarde te komen. Door bijvoorbeeld de optie exponentiële functie uit te breiden met invloed van diepere aquifer (met cosinus of tabel met waarde en weerstand) en tevens de uitbreiding dat de functie zowel positief als negatief kan zijn.

In deze studie is oogst als modelmatige uitkomst genomen met slechts een dun lijntje naar de werkelijkheid. Het model beslaat zout, nat en droogschade en management factor. Dit laatste is redelijk grof op te geven en heeft een grote invloed (zoals in de referentie run naar voren kwam). Verdere opsplitsing van de factor in bijvoorbeeld 'slecht jaar door ziekte en ongedierte e.a.' en een aparte factor nutriënten (in veel gevallen is de nutriënten applicatie bekend of goed te schatten via wetgeving). Zo kan wellicht in de toekomst de koppeling met nutriënten stroming in SWAP-WOFOST gemaakt worden.

5. Discussie onderzoeksresultaten en methode

Allereerst worden de resultaten en methoden van dit onderzoek ter discussie gesteld. Hierop volgen, om aan te geven wat er speelt in het werkveld, knelpunten en onzekerheden die besproken zijn tijdens meetings.

5.1. Discussie resultaten en methode

Staringreeks

De waarde van de ruwe lab monsters van de Staring serie zijn op nummer aan elkaar gekoppeld, het kan zijn dat deze monsters niet bij elkaar horen en voor extreme combinaties zorgen (zie §3.2). Tevens lijkt het erop dat de Staringreeks onvoldoende opsplitsing heeft in klasse (18 boven en 18 ondergrond). Dit op basis van grote verschillen in resultaten van dit onderzoek binnen twee van deze klasse. De 'vernieuwde Staringreeks' (Priapus database van BIS-Nederland zie Knotters *et al.*, 2011) werkt met 67 bodem textuurklasse, tevens is bij deze kwaliteitsverbetering (Stolte *et al.*, 2007) gebruik gemaakt van een groter aantal monsters. De nieuwe database was nog niet toegankelijk tijdens deze studie.

Analyse capillaire opstijging

De manier van analyseren van de capillaire opstijging is gebaseerd op drukhoogteverschil in SWAP: is er potentiaalverschil dan stroomt het water. Er bestaat ook een methode om de capillaire opstijging te benaderen vanuit de waterbalans, hetgeen in dit onderzoek niet is toegepast. Het zou interessant zijn om deze verschillen in kaart te brengen en zien of deze manier van analyseren de werkelijkheid goed nabootst. De keuze voor analyseren van drukhoogte is genomen omdat dit ingaat op de werking van capillaire opstijging in het model, hetgeen het doel van dit onderzoek is. Tevens geeft het directer inzicht in de processen, hetgeen vooral bij deelonderzoeken discretisatie van belang is. De analyse van capillaire opstijging vanuit de waterbalans is een indirecte methode en kijkt naar de evapotranspiratie en de hoeveel water die hiervoor geleverd moet zijn (het stelt capillaire opstijging aan hand van verdamping). Dit was niet primair het doel van de studie. Desondanks is het een gebrek dat de methodes niet vergeleken zijn. Het zorgt voor gebrek aan vergelijkmateriaal wat betreft capillaire opstijging. Discussie bij de indirecte methode is het gebrek aan inzicht in type flux: is het capillaire opstijging of hangwater? Bij berekende drukverschil is hangwater meegenomen in berekeningen en is de capillaire opstijging inzichtelijker.

Bij analyse van maximale capillaire opstijging op de droogste dag dient opgemerkt te worden dat deze niet altijd de trend van overige capillaire opstijging volgt. Dit kan komen omdat de GWS, door hogere capillaire opstijging, lager is en zo de capillaire opstijging op de droogste dag door langere afstand tot GWS lager is. Of andersom: door lage capillaire opstijging is de GWS hoog, dit levert een 'hogere' capillaire opstijging op (door korte afstand tot GWS) die op de droogste dag gelijk kan zijn aan die van de 'hogere' capillaire opstijging, zo geven 2 verschillende capillaire krachten op de droogste dag gelijke waarde. Deze bufferwerking is bekeken maar de mate van effect ervan is in de vergelijking van mate van invloed (bijlage X) niet meegenomen, in de meeste gevallen is dit zeer minimaal. De maximale capillaire opstijging geeft een goed inzicht in en overzicht van de periode waarin de capillaire opstijging er het meest toe doet. Maar het blijft een moment opname.

Grondwaterstanden

De exercitie om tot een realistische grondwaterstand en onderrand-flux te komen (zie bijlage VII) is gericht op deze studie. Het is interessant om dit uit te breiden naar de bredere discussie over grondwater. Het model SWAP kan een bijdrage leveren aan inzicht in deze zaken. Hetgeen in deze studie niet is gedaan.

Tevens is de gemeten GWS niet precies nagebootst. Er ontbreekt dus informatie hetgeen voor andere opbrengsten kan zorgen. Wat verder opvalt bij grondwaterstanden is de droogteschade. Deze is in sommige gevallen bij (zeer) lage GWS niet of nauwelijks aanwezig. Dit kwam naar voren bij bekijken van droogteschade in 2003 en 2004. Bij vergelijkbaar lage grondwaterstanden trad er in 2003 aanzienlijke stress op, in 2004 was dit minimaal. Het verschil was in de orde van enkele procenten lagere opbrengst (op jaarbasis). Verklaring hiervoor ligt vooral op gebied van klimaat. Het is op basis van deze studie echter lastig aan te geven of hangwater, stralingsintensiteit, temperatuur of andere de meest sturende factor is.

Rekentijdstapgrote

Op gebied van tijdstap is alleen het maximum veranderd. Minimale tijdstap heeft invloed, maar is ongemoeid gelaten omdat verkleinen voor meer precisie zorgt en dus in theorie nauwkeurigere resultaten. Dit is niet gecontroleerd.

5.2. Werkveld discussie

Gebruik van Makkink of Penman-Monteith methode

KNMI werkt sinds 1987 met Makkink formule. Men is op deze methode overgestapt omdat de berekening van verdamping hiervoor op te veel verschillende manieren plaatsvond. Een uniforme aanpak was wenselijk (Feddes *et al.*, 1987). Deze Makkink formule gebruikt 2 parameters voor het berekenen van verdamping (globale straling en temperatuur). Wereldwijd wordt gebruikt gemaakt van de Penman-Monteith methode (Allen *et al.*, 1998). Hiervoor zijn meerdere parameters nodig. In het werkveld is discussie en kritiek op beide methodes. Makkink zou onvoldoende processen meenemen voor een accurate berekening van verdamping. Bij gebruik van Penman-Monteith is de kritiek dat er teveel aannames zijn in de parametrisatie, vooral op het gebied van klimaatzone.

Schuurmans *et al.*, (2010) is een recent verslag van een studie die Makkink met Penman-Monteith vergelijkt. Hier een korte samenvatting: voor elk meetstation van het KNMI waar nu Makkink referentieverdamping wordt gebruikt kan ook de Penman-Monteith referentieverdamping geschat worden. De keuze van KNMI voor Makkink is genomen in 1983 omdat Penman-Monteith data op verschillende manieren werd bepaald. Tevens woedt er de discussie of de geparameteriseerde Penman-Monteith methode betrouwbaarder is dan Makkink.

Inzicht in capillaire nalevering

In deze studie is de capillaire opstijging in een droge periode weergegeven voor verschillende runs (met o.a. grofzand, compartimentdikte etc.). Er is echter een groot gebrek aan inzicht in deze capillaire opstijging, mede omdat met de huidige techniek dit niet te meten is: het dient afgeleid te worden. Een goede afleiding van capillaire opstijging is mogelijk als er een experiment komt met o.a. lysimeter en 'soil moisture sensors'. Dit kan de inzichten vergroten in het proces van capillaire nalevering. Er is nog veel te winnen op dit gebied.

Referenties

Artikelen:

- Aarts, H.F.M., C.H.G. Daatselaar en G. Holshof, 2008. *Bemesting, meststofbenutting en opbrengst van productiegasland en snijmaïs op melkveebedrijven*. Plant research international B.V., Wageningen.
- Allen, S.G., Pereira, L.S. Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration*. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 300pp.
- Bakker, H. de en J. Schelling, 1989. *Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus*. Tweede, gewijzigde druk. Wageningen, Pudoc.
- Bakker, H. de en J. Schelling, 1966. *Systeem van de bodemclassificatie voor Nederland*. Pudoc. Wageningen.
- Bessembinder, J., Leffelaar, P., Dhindwal, A., Ponsioen, T., 2005. *Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity*. Agricultural Water Management 73 (2), 113–130.
- Feddes, R.A., 1987. *Crop factors in relation to Making reference crop evapotranspiration*. In 'Evaporation and weather'. TNO Committee on Hydrological Research, Proceedings and information no 39, p.33-46.
- Giles, D.E., 2010. *Hermite Regression Analysis of Multi-Modal Count Data*. Department of Economics, University of Victoria. Victoria, Canada.
- Hendriks M.R., 2010. *Introduction to Physical Hydrology*. Oxford University Press. Faculty of Geosciences, Utrecht University, The Netherlands. ISBN 978-0-19-929684-2.
- Jansen, E.J., 1991. *Nitrate leaching from non-grazed grassland on a sandy soil: experimental data for testing of simulation models*. A Dutch contribution to the EC project "Nitrate in soils". Report 26. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil, and Water Research (at present part of Alterra), Wageningen.
- Jensen, M.E., R.D. Burman and R.G. Allen, 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE manuals and reports on engineering practice 70, ASCE, New York. 332 pp.
- Knotters, M., Brus, D. J., Verzandvoort, S. J. E., & Heinen, M. (2011). *Aanvullende bodemfysische gegevens voor BIS-Nederland*. Alterra-report 2245, 35 p, Alterra, Research Institute, Wageningen, The Netherlands.
- Krajenbrink, G. J. W. (2007). *Landschapsherstel in het stroomgebied van Baakse Beek - Veengoot*. Waterschap Rijn en IJssel.
- 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, 2011 – Elsevier. Volume 144, Issue 1
- Kroes, J.G., J.C. van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks en C.M.J. Jacobs, 2008. *SWAP version 3.2. Theory description and user manual*. Alterra-report 1649, 262 pp, Alterra, Research Institute, Wageningen, The Netherlands.
- Makink, G.F., 1957. *Testing the Penman formule by means of lysimeters*. J. Int. Water Eng., 11:277-288.
- Monteith, J.L., 1965. Evaporation and the Environment. In: G.E. Fogg (ed.), *The state and movement of water in living organisms*. Cambridge University Press, p. 205-234.
- Monteith, J.L., 1981. Evaporation and surface temperature. Quarterly J. Royal Soc., 107, 1-27.
- Schuurman, J.M., P. Droogers, 2010. *Penman-Monteith Referentieverdamping: inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie*. STOWA rapport 2010-37. Amersfoort.
- Silgram, M., Schoumans, O.F. (Eds.), 2004. *Modelling approaches: Model parameterisation, calibration and performance assessment methods in the EUROHARP project*. EUROHARP report 8-2004, NIVA report SNO 4740-2003, ISBN: 82-577-4491-3, Oslo, Norway, 18 pp.
- Stolte, J., J.G. Wesseling en S. Verzandvoort, 2007. *Kwaliteitsdocumentatie voor de verkrijging van Status A voor de gegevens van de Staringreeks zoals opgenomen in het gegevensbestand Priapus*. Versie 1. Wageningen, Alterra-rapport 1522.
- Tetens, O., 1930. *Über einige meteorologische Begriffe*. Z. Geophys. 6: 297-309.
- Van Dam, J.C., Huygen, J., Wesseling, J.G., Feddes, R.A., Kabat, P., van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P., van Diepen, C.A., 1997. *Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the soil–water–atmosphere–plant environment*. Report 71. Subdep. Water Resources, Wageningen University. Technical document 45. Alterra Green World Research, Wageningen, The Netherlands
- Van der Gaast, J.W.J., H. Th. L. Massop, H.R.J. Vroon en I. G. Staritsky, 2006. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra Rapport 1339. blz.111.

- Van Genuchten, M.Th., 1980. *A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892-898.
- Van Ittersum, M.K., P.A. Leffelaar, H. van Keulen, M.J. Kropff, L. Bastiaans and J. Goudriaan, 2003. *On approaches and applications of the Wageningen crop models*. Europ. J. Agronomy 18, 201-234.
- Verloop, K., J. Oenema en L. Šebek, 2007. *Mineralen goed geregeld*. Rapport 40. Plant research Internationaal nr. 153.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra, Research instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 153. 86 blz. 3 fig.; 10tab.; ref.

Overige referenties

Boeken

Bodemkaart van Nederland: schaal 1:50.000. Wageningen : Stichting voor Bodemkartering. **Toelichting bij kaartblad 33, 34, 40 en 41.**

Internet

- NHI 2008 <http://nhi.nu/documenten.html> deelrapport bodem
- KNMI.nl

Interne publicatie (Alterra)

Oostindie, K., R.F.A. Hendriks. *Bepaling van de parameters van een grondwaterstand afhankelijke afvoerrelatie bij een gegeven grondwatertrap*. Wageningen, Alterra, Research instituut voor de Groene Ruimte.

Figuren (titelpagina van links naar rechts)

Gras en bodem linker plaatje

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Gesteente>

Grondwater en capillaire werking (midden)

<http://www.milieusondering.nl/toepassingen/creosoot.asp>

Laboratorium capillaire meting (rechts)

<http://plustwophysics.com/physics-practical-measurement-of-diameter-of-capillary-tube-using-travelling-microscope/>

Bijlages

Bijlage I Begrippen

Bodemfysische relaties

Onder bodemfysische relaties worden waterretentiekenarakteristiek en doorlatendheidskarakteristiek bedoeld (bekend als θ -h en K-h relaties). Een van de meest gebruikte manier om deze relaties te beschrijven is de Mualem Van Genuchten (M-VG) relatie (zie formule II.3 tot en met II.6). Met deze θ -h & K-h relaties lost SWAP de Richards vergelijking (zie formule II.2) op. Voor heel Nederland zijn deze bodemfysische relaties bepaald, deze generalisatie van bodemeigenschappen is de Staringreeks.

Staringreeks

De Staringreeks is een opzoektabel voor een serie bodems. De reeks bevat gemiddelde bodemfysische karakteristieken van 36 belangrijke textuurklassen (textuurklasse zijn gebaseerd op % zand, silt en klei). Ze is speciaal opgezet voor regionale en landelijke toepassing. Op basis van 832 monsters zijn 36 bouwstenen geproduceerd. Hiervan zijn er 18 voor de bovengrond (B1 t/m B18), lopend van 0 tot 50 cm-mv (mv = maaiveld) en 18 (O1 t/m O18) voor de ondergrond (dieper dan 50 cm -mv). Zie tabel V.1 voor volledig overzicht Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001). Bij de Staringreeks is ook een continue vertaalfunctie (pedotransferfunctie) opgesteld. Hiermee kan aan de hand van textuur, gehalte organisch stof, dichtheid en kenmerken (boven- of ondergrond) voorspellingen gedaan worden van de vormparameters in de analytische Mualem-Van Genuchten-vergelijkingen, die de bodemfysische karakteristieken beschrijven. Een implementatie hiervan is beschikbaar als Staringreeks.exe versie 1.2 te downloaden van www.alterra.nl. Dit programma is een continue vertaalfunctie en kan worden gebruikt om met behulp van laboratoriumdata Mualem van Genuchten parameters op te stellen. Nadeel van dit vertaalprogramma is dat het niet functioneert voor organische stofgehalte van 0% en lutum van 8% of meer (zie discussie).

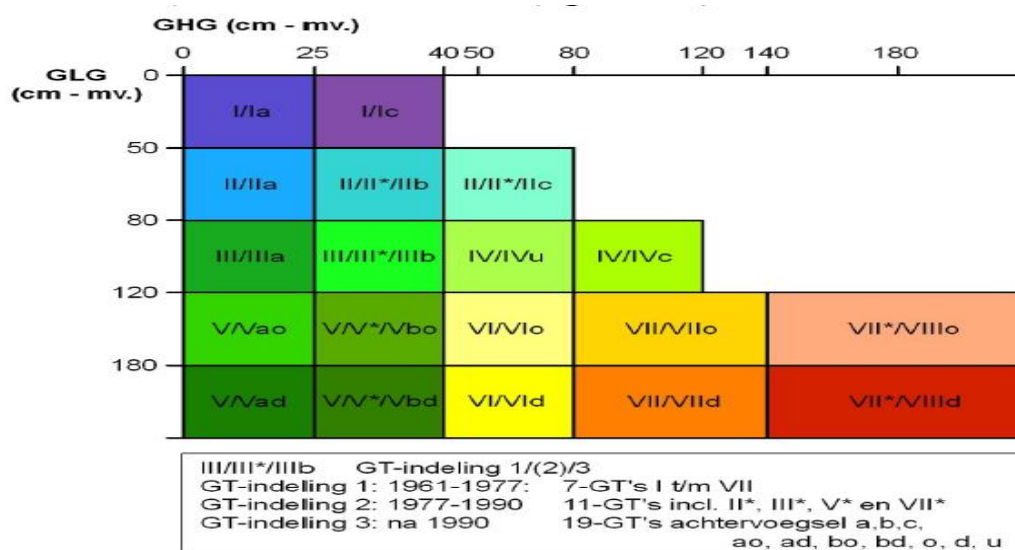
Grondwater

Grondwater is dynamisch. Om een idee te krijgen van de dynamiek wordt de grondwaterstand (GWS) doorgaans beschreven d.m.v. grondwater karakteristieken. Hieronder volgen de meest gebruikte.

GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand, langjarig gemiddelde van 3 hoogste jaarwaarden.

GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, langjarig gemiddelde van 3 laagste jaarwaarden.

GWT: Grondwatertrap, classificatie van grondwaterstand gebaseerd op GHG en GLG. Zie figuur I.1 voor classificatie. In het studie gebied is het westen globaal gezien natter met GWT III en in het oosten over het algemeen droger met GWT V.



Figuur I.1 Grondwatertrappen (van der Gaast *et al.*, 2006)

Soorten flux

Flux is de algemene term voor beweging van water (in bijvoorbeeld lengtemaat mm per tijdseenheid dag), de flux is aangegeven als negatief naar beneden en positief naar boven om onderscheid te kunnen maken in richting (dus neerslag is negatief: neerwaartse stroming). Capillaire opstijging is naar boven gerichte stroming van grondwater naar wortels (en is dus positief weergegeven: naar boven). Eenheid van capillaire opstijging is in mm/d. Onderrandflux is wat het model in of uitgaat aan de onderrand van het model. De onderrandflux omvat zowel kwel (positief = in), als wegzijging (negatief = uit). Onderrandflux is dus een verzamelnaam voor kwel en wegzijging en is in de tabel uitgedrukt als jaar som (= kwel-wegzijging). In deze studie is de onderrand ingesteld op 3m beneden maaiveld.

Kwel is de flux die aan de onderrand het model binnenstroomt, het is 'modelmatige kwel' hetgeen betekend dat het door het model gesimuleerde kwel is en niet de fysische verschijning in een (meet) locatie. Het is daarom ook wenselijk dat kwel niet optreed of laag is, dit omdat het studie gebied gekarakteriseerd wordt door wegzijging (negatieve onderrandflux). Net als 'modelmatige' kwel is er dus strikt gezien ook een 'modelmatige wegzijging', dit is de in werkelijkheid optredende wegzijging plus een deel van de modelmatige kwel die uit het model stroomt, ter versimpeling is dit weggelaten.

Bodemkundige schematisatie

De bodem kan op verschillende manieren geschematiseerd worden: in deze studie bevat de bodem 2 Staringreeks 2 lagen en worden tussenlagen in het profiel gebouwd. Dit zijn ingrepen in bodemkundige schematisatie (hoe het profiel geschematiseerd is).

Actueel en Potentieel

Potentieel is wat er in theorie aan opbrengst mogelijk is, oftewel opbrengst bij maximale verdamping. Actueel is in deze studie potentieel min nat- en droogteschade, dit omdat nutriënten en andere factoren in het model uitstaan of niet meegenomen wordt.

PAWN

Ten behoeve van land dekkende bodemfysische kaart is door Wösten et al. (1988) een vertaling gemaakt van de bodemkaart van Nederland naar bodemfysische karakteristieken. Deze studie werd uitgevoerd ten behoeve van PAWN studie (Policy Analysis for the Water management of the Netherlands) en wordt daarom ook wel PAWN-indeling genoemd. Deze kaart heeft een schaal van 1 : 250.000 en vat de Nederlandse bodem samen in 21 bodemfysische eenheden (23 als water en stedelijk gebied meegeteld worden). Deze werden toegekend aan cellen van 250 bij 250 meter, die later geografisch werden gegeneraliseerd tot cellen van 5000 bij 5000 meter op basis van de meest voorkomende bodemfysische eenheid (Knotter et al., 2011). De data van deze generalisatiestudie wordt nog steeds veel toegepast (NHI.nl, deelrapport bodem), in het rapport wordt met PAWN gerefereerd naar deze bodemdataset.

Bijlage II Modelling (on) verzadigde zone in SWAP

Model

Een systeem is een gelimiteerde beschrijving van de realiteit en bestaat uit onderling gerelateerde elementen. Een model is een vereenvoudigde representatie van een systeem. Zo is een model opgebouwd uit een of meerdere onderliggende formules of rekenmethodes (in dit onderzoek sub-modellen genoemd). In dit hoofdstuk staat de toelichting op het hoofdmodel SWAP (en de onderliggende modellen (Van Genuchten, Penman-Monteith) en de in deze studie gekoppelde modellen aan SWAP (WOFOST).

SWAP (Soil Water Atmosphere Plant)

SWAP is een model om waterhuishouding in de ondiepe ondergrond te modelleren. Het heeft meerdere functies en kan bijvoorbeeld gebruikt worden voor de berekening van vochtbeschikbaarheid voor landbouwgewassen, stoffen balans maar ook warmtestroming en irrigatie. Het model simuleert transport van water, opgeloste stoffen en warmte in de ondergrond, dit in interactie met vegetatie en ontwikkeling hiervan. Het is een één-dimensionaal model dat van boven het planten dak tot het ondiepe grondwater werkt. Het is één-dimensionaal omdat de transport processen in deze zone gedomineerd worden door verticale stromingen. In dit onderzoek wordt gewerkt met SWAP versie 3.2.36, te downloaden van <http://www.swap.alterra.nl/>. In SWAP kunnen verschillende sub-modellen geactiveerd worden o.a. WOFOST, Mualem-Van Genuchten, Makkink en Penman-Monteith. Hieronder de in dit onderzoek geselecteerde sub-modellen en de theorie.

Onverzadigde zone stroming Richards vergelijking

De waterstroom in SWAP is berekend met de Richards vergelijking (De Richards vergelijking is Darcy-Buckingham plus de continuïteitsvergelijking: stroming plus balans):

Darcy-Buckingham (Hendriks, 2010):

Formule II.1
$$Q = -K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right)$$

Richards vergelijking (Kroes et al., 2008)

Formule II.2
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right]}{\partial z} - S_a(h) - S_d(h) - S_m(h)$$

Met daarin:

$K(h)$ = hydraulische geleidingsvermogen in cm d^{-1}

h = bodem water drukhoogte in cm

z = verticaal coördinaat (positief naar boven) in cm

θ = volumetrisch watergehalte in $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

t = tijd per dag d^{-1}

$S_a(h)$ = bodem water extractie snelheid door planten wortels in $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3} \text{d}^{-1}$

$S_d(h)$ = extractie bij drainage debiet in de verzadigde zone d^{-1}

$S_m(h)$ = uitwisselingssnelheid met macro poriën d^{-1}

De extractie drainage en macro poriën (S_d & S_m) staan wegens gebrek aan gegevens uit. Er is dus geen drainage en versnelde infiltratie naar grondwater (GW).

Bodemfysische relaties

SWAP lost de Richards vergelijking op met bekende relaties tussen θ , h en K (Kroes *et al.*, 2008). Er zijn verschillende methodes (modellen) om deze bodemfysische parameters te berekenen. De meest gebruikte is de Mualem-Van Genuchten formule (Van Genuchten, 1980). De Mualem-Van Genuchten (M-VG) formule beschrijft de waterretentie en doorlatendheidskarakteristiek van de bodem. Deze relaties laten zien hoe de onverzadigde zone reageert op toevoer of onttrekking van water. In het onderzoek zal gekeken worden hoe deze Mualem-Van Genuchten formule functioneert en of er verschillen zijn tussen parameter en tabel invoer. Hieronder de formules om de θ - h en K - h relaties te berekenen zoals gebruikt door M-VG.

Van Genuchten model

Van Genuchten model (1980) berekent met analytische functie het vochtgehalte θ bij h is als volgt:

Formule II.3
$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) (1 + |\alpha h|^n)^{-m}$$

Hierbij wordt de empirische vormparameter m aangenomen als:

Formule II.4
$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

Dit met de volgende parameters:

θ_r = residu vochtgehalte in $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

θ_s = vochtgehalte bij verzadiging, in $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$

K_s = verzadigde doorlatendheid cm d^{-1}

α, m, n = empirische vorm factoren, met α in cm^{-1} , m en n dimensieloos - .

Mualem Van Genuchten

K (cm d^{-1}) als functie van θ wordt berekend met Mualem-Van Genuchten formule:

Formule II.5
$$K = K_s * S_e^\lambda \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2$$

λ = vormingsparameter (-) afhankelijk van ∂K en ∂h ,

Met daarin relatieve verzadiging (S_e) (-) berekend met:

Formule II.6
$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Met de boven beschreven formules wordt het vochtgehalte θ bij drukhoogte (h) en hydraulische geleidbaarheid (K) bij drukhoogte (h), kort aangeduid als θ - h en K - h relatie, berekend. S_e is Vochtgehalte en loopt van 0 tot 1 (*100 is % vochtgehalte) (bron: Van Genuchten, 1980).

Verschillende θ - h en K - h relaties

Met de Mualem-Van Genuchten formule wordt vochtgehalte θ bij drukhoogte (h) berekend. Voorbeeld hiervan is de Staringreeks (uitleg zie §3.2.2), daarvoor zijn bij drukhoogte (h) van -1 tot -16000 cm het vochtgehalte (θ) en de doorlatendheid (K) bepaald.

Bijlage III Verdamping met Penman-Monteith

Er zijn verschillende methodes om evapotranspiratie te berekenen. Uit een studie van Jensen et al. (1990) naar de werking van verschillende evapotranspiratie formules wordt de Penman-Monteith methode als meest accurate beschreven. In Nederland woedt echter de discussie over de kwaliteit van de aannames horend bij de Penman-Monteith methode versus de Makkink methode (Makkink., 1957). Het KNMI gebruikt Makkink als standaard, voor alle KNMI stations kan tevens Penman-Monteith berekend worden. Voor deze studie is van belang met welke methode SWAP in combinatie met WOFOST werkt. SWAP werkt met de Penman-Monteith methode, de afweging is gemaakt o.a. vanwege onzekerheden die komen kijken bij gebruik van Makkink formule en gewasfactoren. Hieronder staat de formule die gebruikt wordt om de verdamping te berekenen. In SWAP kan dus met beide formules gewerkt worden, maar voor de gedetailleerde versie van WOFOST wordt gewerkt met Penman-Monteith:

Voor een afgesloten bladerdek met weinig bodemverdamping kan de Penman-Monteith formule geschreven worden als (Monteith, 1965, 1981):

Formule III.1
$$ET_p = \frac{\frac{\Delta_v}{\lambda_w} (R_n - G) + \frac{p_1 \rho_{air} C_{air} e_{sat} - e_a}{\lambda_w r_{air}}}{\Delta_v + \gamma_{air} \left(1 + \frac{r_{crop}}{r_{air}} \right)} \quad (\text{mm. d}^{-1})$$

Met ET_p de potentiële transpiratie snelheid van het bladerdak in mm d^{-1} , Δ_v de helling van verzadigingsdampdrukcurve in $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$, λ_w is de specifieke verdampingswarmte van water in J/kg^{-1} , R_n is de netto radiatieflux aan de top van de plant in $\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$, G is de bodemwarmte flux in $\text{J m}^{-2} \text{d}^{-1}$, p_1 is de vertaaleenheid van seconden in een dag ($=86400 \text{ s d}^{-1}$), ρ_{air} is de luchtdruk (kg m^{-3}), C_{air} is de warmte capaciteit van de luchtvochtigheid ($\text{J kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$), e_{sat} is de saturatie dampspanning (kPa), e_a is de actuele dampspanning (kPa), γ_{air} is de Psychrometerconstante ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), r_{crop} is de gewas resistentie (s m^{-1}) en r_{air} is de luchtweerstand (s m^{-1}). Deze formule wordt opgelost met; luchtvochtigheid, windsnelheid, minimum / maximum temperatuur en netto radiatie (berekend uit globale radiatie, dit gebeurt automatisch in SWAP).

Bijlage IV Modelling gewasproductie (WOFOST)

Model

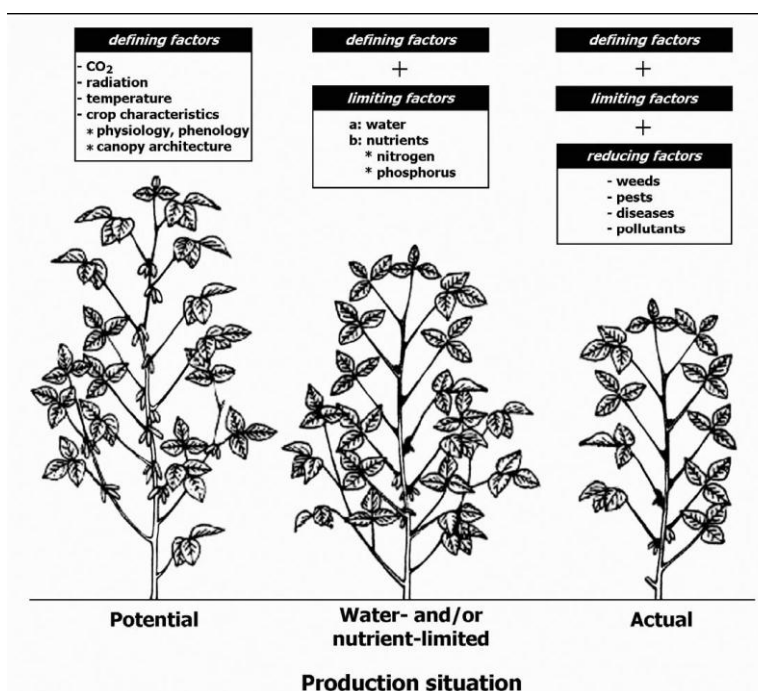
Een systeem is een gelimiteerde beschrijving van de realiteit en bestaat uit onderling gerelateerde elementen. Een model is een vereenvoudigde representatie van een systeem. Zo is een model opgebouwd uit een of meerdere onderliggende formules of rekenmethodes. In dit hoofdstuk staat de toelichting op het hoofdmodel SWAP en de onderliggende modellen (Van Genuchten, Penman-Monteith) en de in deze studie gekoppelde modellen aan SWAP (WOFOST).

WOFOST (World Food Studies)

WOFOST is een simulatie model om de groei en productie van annueel gewas te kwantificeren. Het beschrijft de gewasgroei op basis van fotosynthese, respiratie en hoe dit beïnvloed wordt door de omgeving (in deze studie de beschikbaarheid van water in de onverzadigde zone). WOFOST is een tool om dynamische vochtbeschikbaarheid om te zetten in grasproductie, dit door te corrigeren naar droogte stress. WOFOST is, net als alle modellen, een versimpeling van de werkelijkheid. Zo neemt het aan dat management praktijken optimaal zijn en rekt het puur met ecologische factoren. Er zit een management factor in (zie §4.2). WOFOST is in de jaren negentig aan SWAP gekoppeld (Van Dam *et al.*, 1997) en wordt voor veel verschillende doeleinden gebruikt. Voorbeelden hiervan zijn onderzoek naar waterproductiviteit (Bessembinder *et al.*, 2005) en grasproductie (Kroes *et al.*, 2011). Waterproductiviteit is de oogst van een bepaald gewas in kilo's gedeeld door het waterverbruik dat hiervoor nodig was.

Gewasgroei

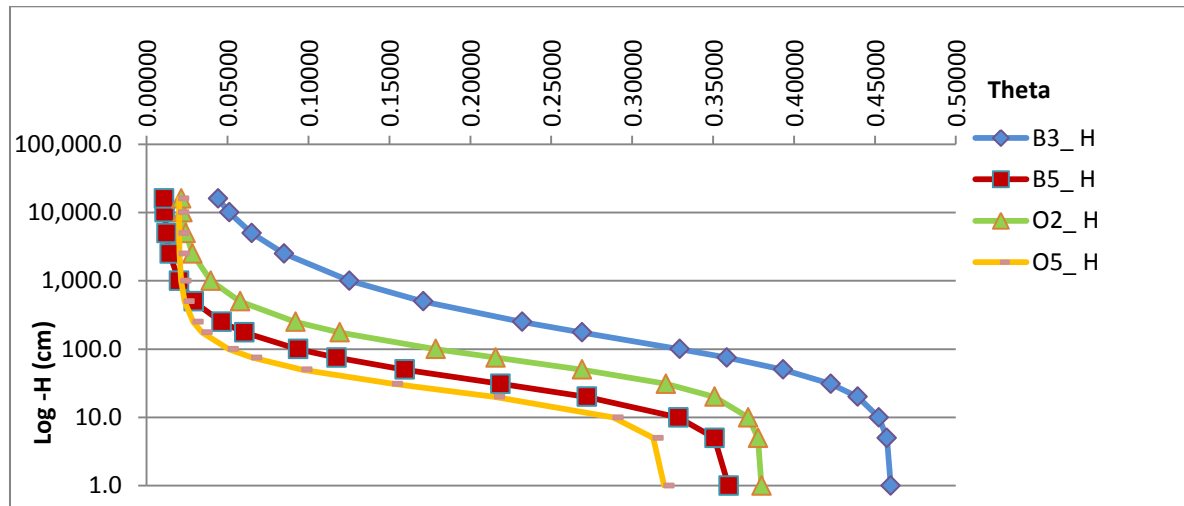
In SWAP kan er gekozen worden uit 3 gewasgroei-modules: 1) eenvoudig, 2) WOFOST of 3) WOFOST met gedetailleerde module voor (her) -groei gras. In deze studie wordt gewerkt met WOFOST-gras, omdat de eenvoudige module het gewas ziet als randvoorwaarde en niet als interactief proces. WOFOST (2) is beter geschikt voor overige gewassen. Omdat met gras gewerkt wordt valt de keuze voor de gewasmodule WOFOST-gras (module 3). In SWAP-WOFOST worden drie groepen groei factoren beschreven (zie onderstaand figuur IV.1). Deze groeidefiniërfactoren ("defining factors") bepalen potentiële productie bij fysische omgeving en plantsoort. WOFOST module bevat fenologische ontwikkeling (jaarlijks terugkerende natuurverschijnselen zoals bladvorming, bloei etc.), interceptie van globale straling, CO₂ assimilatie (opname), biomassa accumulatie (vermeerdering) van de bladeren, stam, opslag in organen, wortels, bladval en wortel uitbreiding.



Figuur IV.1 Hiërarchie van groeidefiniërfactoren (Van Ittersum *et al.*, 2003)

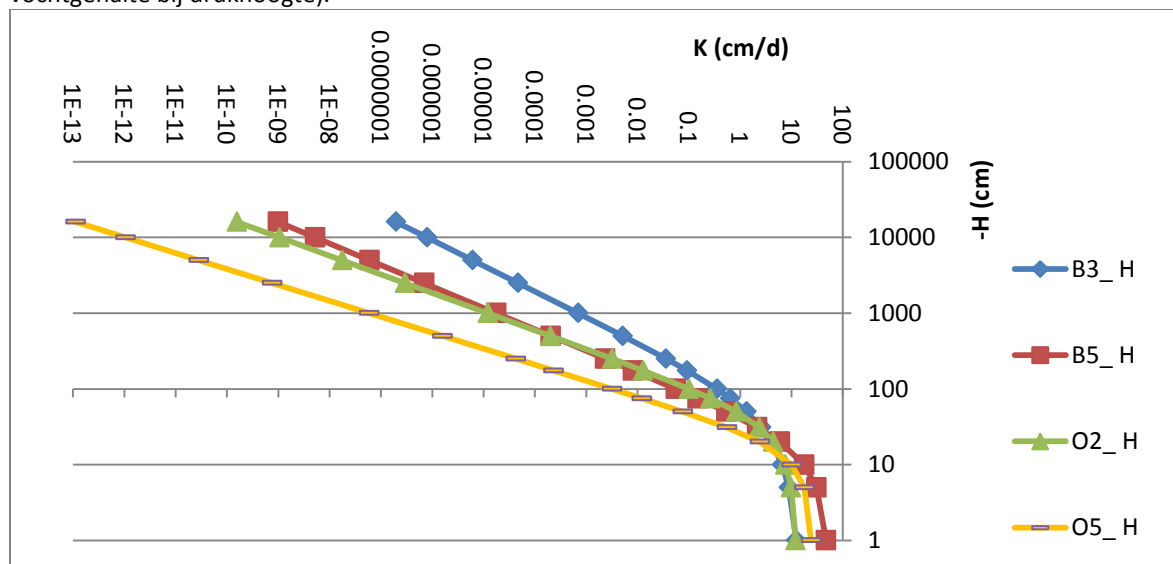
Bijlage V Staringreeks

De Staringreeks is een bodemgeneralisatie die bodemfysische eigenschappen (ook bekend als Θ -h en K-h relatie) per textuurklasse beschrijft. Het is gebaseerd op een middeling van monsters. Met deze bodemfysische relaties kan de Richards vergelijking opgelost worden, hieronder in 2 grafieken de in deze studie gebruikte Staring codes vervolgt door de gehele Staringreeks (tabel V.1). Achteraan de bijlage een voorbeeld van een tabel (tabel V.2) zoals deze geleverd kan worden aan SWAP, doorgaans worden de waarde van tabel V.1 ingeladen (deze waarde zijn nodig voor de Mualem Van Genuchten formules, zie formule II.3 t/m II.6).



Figuur V.1

In bovenstaande figuur V.1 het vochtgehalte (Θ) bij $\log$ van min drukhoogte (y -as) dit voor Staringcodes B3, B5, O2 en O5. H staat voor drukhoogte. Te zien is dat B3 de hoogste Θ heeft bij drukhoogte (hoger vochtgehalte bij drukhoogte).



Figuur V.2

In bovenstaande figuur V.2 op de x as de doorlatendheid (cm/d) uitgezet tegen $-\log$ van drukhoogte (y -as) dit voor series van gebruikte Staringcodes B3, B5, O2 en O5 (zie tabel V.1). H staat voor drukhoogte. Te zien is dat de doorlatendheid het hoogst is voor B3 tot ongeveer drukhoogte 30cm. Bij lage drukhoogte heeft grofzand ondergrond (code B5) de hoogste doorlatendheid.

Tabel V.1 Staringreeks

Bovengronden	Staringcode	Θ_r (cm ³ cm ³)	Θ_s (cm ³ cm ³)	K_s (cm d ⁻¹)	α (cm ⁻¹)	λ (-)	n (-)
Zand	B1	0.02	0.43	23.41	0.0234	0	1.8010
	B2	0.02	0.42	12.52	0.0276	-1.06	1.4910
	B3	0.02	0.46	15.42	0.0144	-0.215	1.5340
	B4	0.02	0.46	29.22	0.0156	0	1.4060
	B5	0.01	0.36	52.91	0.0452	-0.359	1.9330
	B6	0.010	0.380	100.690	0.0222	-1.747	1.238
Leem	B7	0	0.4	14.07	0.0194	-0.802	1.2500
	B8	0.01	0.43	2.36	0.0099	-2.244	1.2880
	B9	0	0.43	1.54	0.0065	-2.161	1.3250
Klei	B10	0.01	0.43	0.7	0.0064	-3.884	1.2100
	B11	0.01	0.59	4.53	0.0195	-5.901	1.1090
	B12	0.01	0.54	5.37	0.0239	-5.681	1.0940
Slib	B13	0.01	0.42	12.98	0.0084	-1.497	1.4410
	B14	0.01	0.42	0.8	0.0051	0	1.3050
Veen	B15	0.01	0.53	81.28	0.0242	-1.476	1.28
	B16	0.01	0.8	6.79	0.0176	-2.259	1.293
	B17	0	0.72	4.46	0.018	-0.35	1.14
	B18	0	0.77	6.67	0.0197	-1.845	1.154
Ondergronden		Θ_r (cm ³ cm ³)	Θ_s (cm ³ cm ³)	K_s (cm d ⁻¹)	α (cm ⁻¹)	λ (-)	n (-)
Zand	O1	0.01	0.36	15.22	0.0224	0	2.2860
	O2	0.02	0.38	12.68	0.0213	0.168	1.9510
	O3	0.01	0.34	10.87	0.017	0	1.7170
	O4	0.01	0.35	9.86	0.0155	0	1.5250
	O5	0.01	0.32	25	0.0521	0	2.3740
	O6	0.01	0.33	33.92	0.0162	-1.333	1.3110
	O7	0.01	0.51	39.1	0.0123	-2.023	1.1520
Leem	O8	0	0.47	9.08	0.0136	-0.803	1.3420
	O9	0	0.46	2.23	0.0094	-1.382	1.4000
	O10	0.01	0.48	2.12	0.0097	-1.879	1.2570
Klei	O11	0	0.42	13.79	0.0191	-1.384	1.1520
	O12	0.01	0.56	1.02	0.0095	-4.295	1.1580
	O13	0.01	0.57	4.37	0.0194	-5.955	1.0890
Slib	O14	0.01	0.38	1.51	0.003	-0.292	1.7280
	O15	0.01	0.41	3.7	0.0071	0.912	1.2980
Veen	O16	0	0.89	1.07	0.0103	-1.411	1.376
	O17	0.01	0.86	2.93	0.0123	-1.592	1.276
	O18	0.01	0.57	43.45	0.0138	-1.204	1.323

Bron: Wösten *et al.*, 2001

Bovenstaande tabel staan de Staringreeks de Staringcodes, dit is een middeling van data van veldmonsters, zo is code B3 een middeling van 14 lab monsters. O2 is opgebouwd uit data van 14 lab monsters en B5 uit 26 lab monsters. De Staringreeks is gebaseerd op totaal 832 lab monsters.

Tabel V.2. Θ -h en K-h tabel van run M-VGtab1

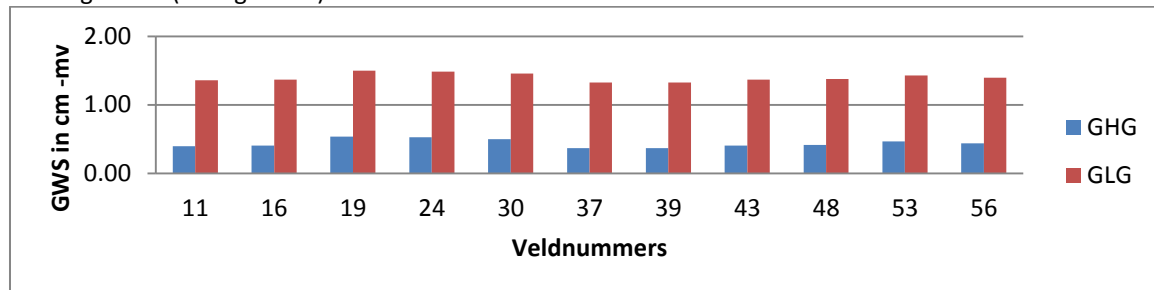
headtab	thetatab	conductab
-10000000.00	0.020774	1.09E-15
-1000000.00	0.022648	9.8E-13
-100000.00	0.029055	8.8E-10
-10000.00	0.050961	7.89E-07
-1000.00	0.125289	0.000694
-100.00	0.329415	0.352669
-90.00	0.340351	0.443004
-80.00	0.352173	0.565528
-70.00	0.364933	0.735236
-60.00	0.378644	0.975941
-50.00	0.393254	1.326744
-40.00	0.408581	1.854586
-30.00	0.424214	2.680893
-20.00	0.43934	4.048248
-10.00	0.452424	6.556269
-9.00	0.453523	6.925607
-8.00	0.454568	7.329699
-7.00	0.455554	7.774966
-6.00	0.456476	8.270121
-5.00	0.457326	8.827552
-4.00	0.458095	9.466026
-3.00	0.458771	10.2167
-2.00	0.459338	11.13938
-1.00	0.459771	12.3854
-0.90	0.459805	12.54249
-0.80	0.459837	12.7091
-0.70	0.459867	12.887
-0.60	0.459895	13.07864
-0.50	0.459921	13.28753
-0.40	0.459944	13.51898
-0.30	0.459964	13.78191
-0.20	0.459981	14.09349
-0.10	0.459993	14.49742
0.00	0.46	15.42

Hier een voorbeeld van een Θ -h en K-h relatie in de vorm van een tabel (zoals deze gebruikt is voor de run tabellarische beschrijving M-VGtab1). De tabel is zoals deze in swap is ingeladen, headtab staat voor drukhoogte (H in cm), thetatab is het vochtgehalte (Θ als fractie), conductab is de doorlatendheid (K in cm d^{-1}). De Θ en K zijn berekend met de Mualem Van Genuchten formules (zie formule II.3 t/m II.6).

Bijlage VI Cosinus & grondwaterstand (Ruurlo experiment)

Grondwatertrap (GWT) Ruurlo

De GWT van Ruurlo is berekend door het gemiddelde van 3 hoogste waarde per jaar te nemen, normaliter worden hiervoor minimaal 8 hydrologische jaren gebruikt. Gezien er van de referentie studie Ruurlo enkel 5 jaar beschikbaar was is de GWT berekend met tekortkoming van 3 jaar, dit brengt een onzekerheid met zich mee over kwaliteit GHG en GLG. Van de 11 velden met data zijn er 8 met GWT Vlo en 3 Vbo, deze vallen onder de droge GWT (zie Figuur I.1).



Figuur VI.1 GHG en GLG per veld van Ruurlo referentie studie

In figuur VI.1 is te zien dat er weinig verschil zit in GHG en GLG tussen de verschillende velden. Vandaar dat voor Ruurlo veld 11 als gemiddelde gezien wordt. Verdere uitwerkingen zijn van veld 11.

Cosinusfunctie

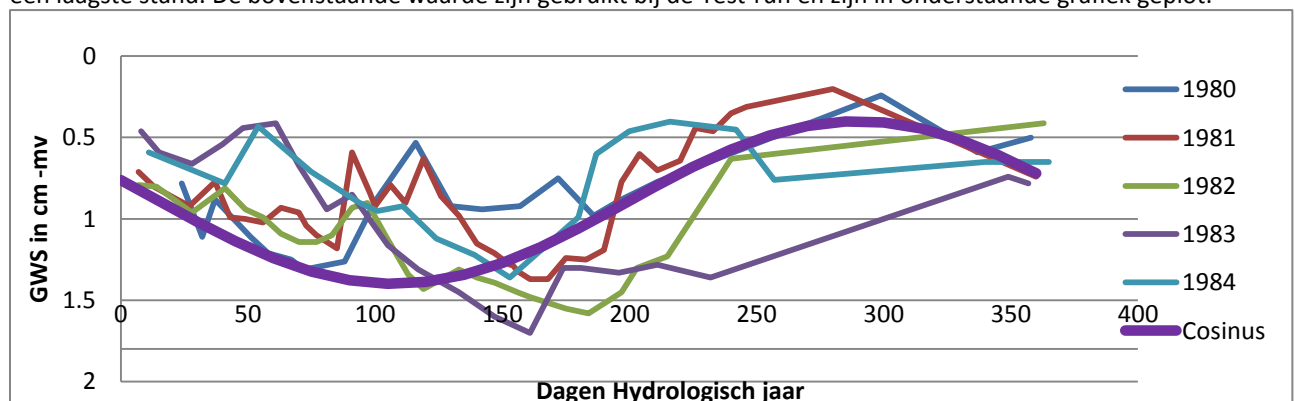
Een cosinusfunctie vormt een curve, de GWS laat zich redelijk beschrijven als curve (met hoge stand in de winter en lage stand in de zomer). Om deze curve te maken zijn 4 waardes nodig: gemiddelde waarde, amplitude (reikwijdte van de golf), de dag dat het minimum optreedt en aantal dagen dat de curve er over doet om een volledige golf af te leggen. De formule bij de cosinus curve is (Kroes *et al.*, 2008):

$$\text{Formule VI.1 } \varnothing_{a\text{quif}} = \varnothing_{a\text{quif},m} + \varnothing_{a\text{quif},a} \cos\left(\frac{2\pi}{\varnothing_{a\text{quif},p}} (t - t_{\text{max}})\right)$$

Tabel VI.1 Parameters voor cosinus curve gebruikt in test run.

Tmax	Tijd waar GWS maximum is	290
$\varnothing_{a\text{quif } a}$	Amplitude is golflengte (reikwijdte)	0.5
$\varnothing_{a\text{quif } p}$	Aantal keren van voorkomen van cosinus in jaar	365
$\varnothing_{a\text{quif } m}$	Gemiddelde van de cosinus	0.9

Om tot een fitting van cosinus te komen voor veld 11 in Ruurlo is de $(\text{GHG} + \text{GLG} / 2)$ als gemiddelde genomen met een amplitude van GHG min gemiddelde. Dit leverde de volgende waarde op: amplitude ($\varnothing_{a\text{quif } a}$) is 0.5 m en Gemiddelde ($\varnothing_{a\text{quif } m}$) 0.9 m. Om een cosinus curve te maken is verder nodig: de dag waarbij GWS maximaal is (Tmax) en om de hoeveel tijd de cosinus terugkeert ($\varnothing_{a\text{quif } p}$). In deze studie zijn deze waarden 290 en 365. Dit betekent dat op dag 290 van het hydrologische jaar (= 16 januari) het grondwaterstand het hoogst is. $\varnothing_{a\text{quif } p}$ is 365 betekend dat cosinus één golf maakt om de 365 dagen staand voor één hoogste en één laagste stand. De bovenstaande waarde zijn gebruikt bij de Test-run en zijn in onderstaande grafiek geplott.

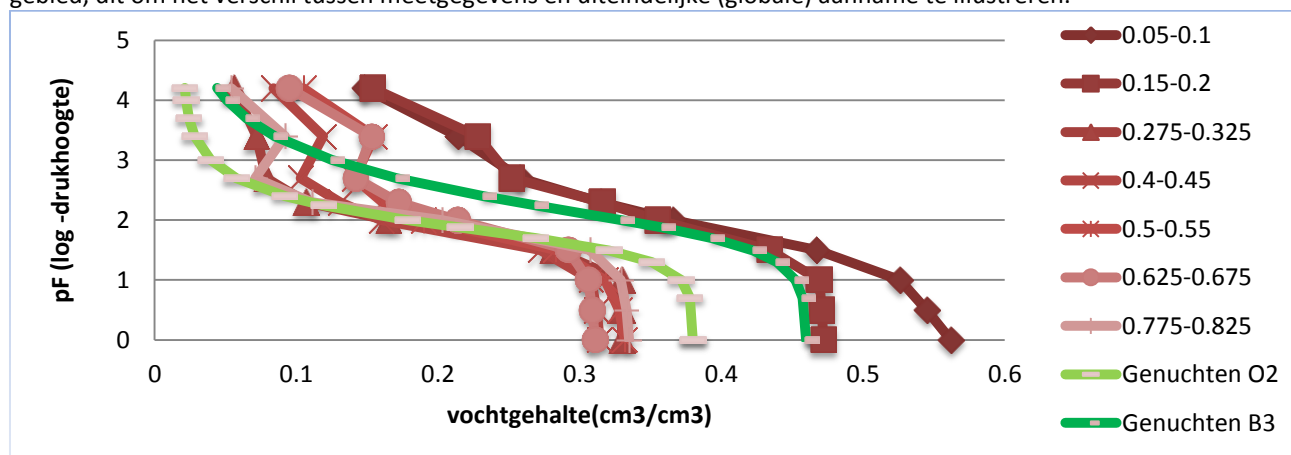


Figuur VI.2 Gemeten GWS per jaar en Cosinus fitting voor Test-run, dagen t.o.v. hydrologisch jaar.

In bovenstaande figuur GWS t.o.v. hydrologische jaar (start 1 april), te zien is dat de GWS in Ruurlo veel verschilt per jaar. De fitting van cosinus is gebaseerd op globale GWT, er is te zien dat de cosinus eerder een lage GWS heeft dan de metingen, dit komt omdat 16 januari (dag 290) als dag met hoogste GWS is gekozen. Laagste GWS is op dag 105 (15 juli) de hoogste op dag 290 (16 januari).

Vochtbeschikbaarheid

In onderstaande figuur de pF curve, gemeten in Ruurlo, en de benoemde van Genuchten parameters voor dit gebied, dit om het verschil tussen meetgegevens en uiteindelijke (globale) aanname te illustreren.



Figuur VI.3 Vochtgehalte bij drukhoogte per diepte veld 11 versus Staringreeks B3 en O2.

In bovenstaande figuur de pF curves van monsters gemeten in Ruurlo, in het rood, de titel is diepte van monstername in cm-mv, in het groen de benoemde Genuchten parameters bij invoer van Staringreeks code B3 en O2. B3 loopt van 0–50 cm en O2 >50cm-mv. Te zien is dat de standaard bodem karakteristiek Staringreeks afwijkt van de gemeten lapmonsters van voor veldje 11. Ondanks de niet exacte fitting beschrijft de M-VGO2 (lichtgroen) de diepere bodems (O van ondergrond, beschrijft 0.5-0.55 en dieper) en M-VGB3 (donkergroen) de bovenste laag (0-20, klopt redelijk voor bovenste laag maar niet voor 20-50cm-mv).

Bijlage VII Onderrand-randvoorwaarde en kalibratie grondwaterstand

In deze paragraaf worden aanpassingen gedaan aan de test run om tot een dynamische grondwaterstand (GWS) te komen die zich 'vrij' kan gedragen. Hiermee wordt bedoeld dat de GWS kan uitzakken in droge periode of door sterke capillaire werking van de grond (de GWS is in een iteratief proces met o.a. vochtonttrekking door de wortels en niet vastgezet). Hieronder een overzicht van mogelijke onderrand-randvoorwaarde in SWAP. De opties die voor deze studie van belang zijn worden in deze paragraaf uitgewerkt.

- Onderrand-randvoorwaarde 1: grondwaterstand als input (gemeten)
- Onderrand-randvoorwaarde 2: gebruik van regionale onderrandflux
- Onderrand-randvoorwaarde 3: onderrandflux van hydraulische druk van diepere aquifer
- Onderrand-randvoorwaarde 4: onderrandflux is een functie van grondwaterstand
- Onderrand-randvoorwaarde 5: gebruikt van de drukhoogte van onderliggende compartiment
- Onderrand-randvoorwaarde 6: onderrandflux is 0
- Onderrand-randvoorwaarde 7: vrije drainage van het bodemprofiel
- Onderrand-randvoorwaarde 8: vrije uitstroom

Het doel van het onderzoek is het bekijken van de gevoeligheid van verschillende factoren in SWAP. Hiervoor is een realistische en accurate GWS nodig. Gekeken wordt naar: a) het verband tussen de gesimuleerde GWS in vergelijking met de gemeten GWS; b) is de onderrandflux realistisch en c) kan de GWS fluctueren afhankelijk van omstandigheden (o.a. klimaat en verschillende bodemsamenstelling). Hierbij is het primaire doel een realistische onderrandflux te simuleren, met vooral lage kwel omdat dit niet voorkomt in het studie gebied (figuur 2).

Van de bovengenoemde opties valt 2 af omdat regionale onderrandflux gegevens ontbreken, bovendien zijn deze te generalistisch. Deze functie is beter geschikt voor regionale of landelijke schaal en in gebieden waar ook kwel optreedt. Opties 5 t/m 8 zijn onderrand-randvoorwaarden voor situaties waarbij zonder grondwaterstand gerekend wordt. Deze vallen af omdat ze geen goede beschrijving geven van capillaire opstijging (afhankelijk van GWS) en van vocht in de bodem. Hieronder worden de opties voor onderrand-randvoorwaarde 1, 3, 4 en combinaties hiervan uitgewerkt.

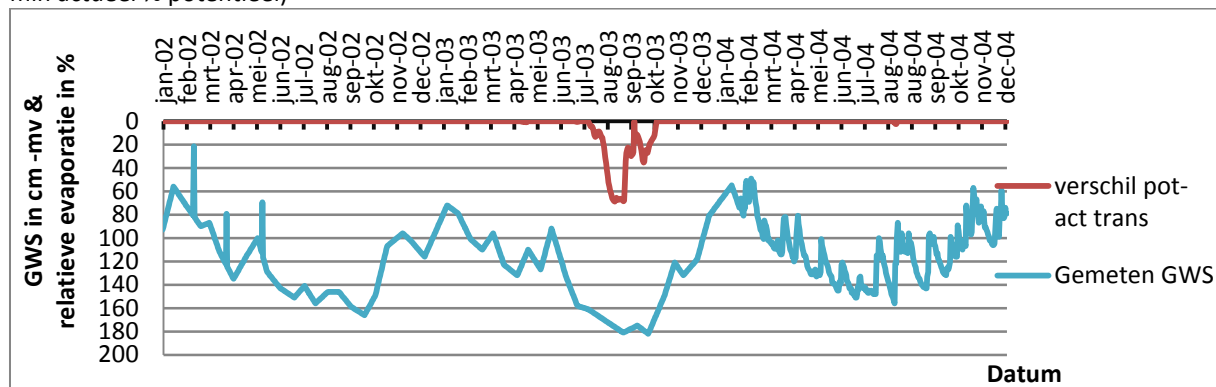
Onderrand-randvoorwaarde 1 Gemeten GWS

De data voor gemeten grondwaterstanden komen van Dinoloket.nl, een site met o.a. peilgegevens over heel Nederland. De GWS wordt tweewekelijks gemeten. Hieronder de RD coördinaten (x,y), locatie code en hoogte t.o.v. NAP van de peilbuis in de buurt het veld van referentiestudie Ruurlo (enkele honderden meters ervandaan).

LOCATIE Code	X-COORDINAAT	Y-COORDINAAT	MAAIVELD NAP (cm)
B41A0096	228840	449710	1766

In figuur VII.1 de gemeten grondwaterstand. Te zien is dat deze fluctueert van +- 50 tot 180 cm-mv. Wat opvalt is het aantal metingen. In 2002 en 2003 wordt er 2 keer per maand gemeten; in 2004 zijn er gegevens per dag, dit komt omdat er vanaf 2004 met een logger dagelijks waarden opgesteld worden.

Als de gemeten GWS in SWAP wordt ingeladen komt er de volgende verdampingsreductie uit (dit is potentieel min actueel % potentieel)



Figuur VII.1 Gemeten GWS in cm-mv startend in jan-02 = 01-01-2002, bron: Dinoloket.nl en verschil potentiële en actuele transpiratie bij berekening met run gemeten GWS

In bovenstaande figuur VII.1 op de y-as de GWS in cm-mv en de relatieve evaporatie, als deze 20 is betekend het dat er 20% minder evaporatie plaatsvindt (dit is afname actueel uitgedrukt als percentage van het potentieel). Te zien is dat de stress die optreedt een groot oppervlakte heeft: tussen juli 2003 en september 2003 is er een constante afname in evaporatie variërend van enkele procenten tot 60%. Wat verder opvalt is dat bij de run met gemeten GWS als input er geen natschade optreedt. Dit valt op te maken uit het feit dat er in de natte periode (dec–maart: hoge GWS) er geen verschil is in evaporatie tussen potentieel en actueel. Verklaring is dat de onderrandflux zo aangepast wordt dat GWS niet te hoog kan worden, hetgeen wel optreedt bij exponentiële Q-h relatie.

De meetwaarden van de GWS (zoals in figuur VII.1) zijn in tabelvorm ingeladen in SWAP (onderrand-randvoorwaarde 1). Deze tabeloptie is ook gebruikt voor de Ruurlo referentie studie (alleen voor de jaren 1980–1984) (Kroes et al, 2011).

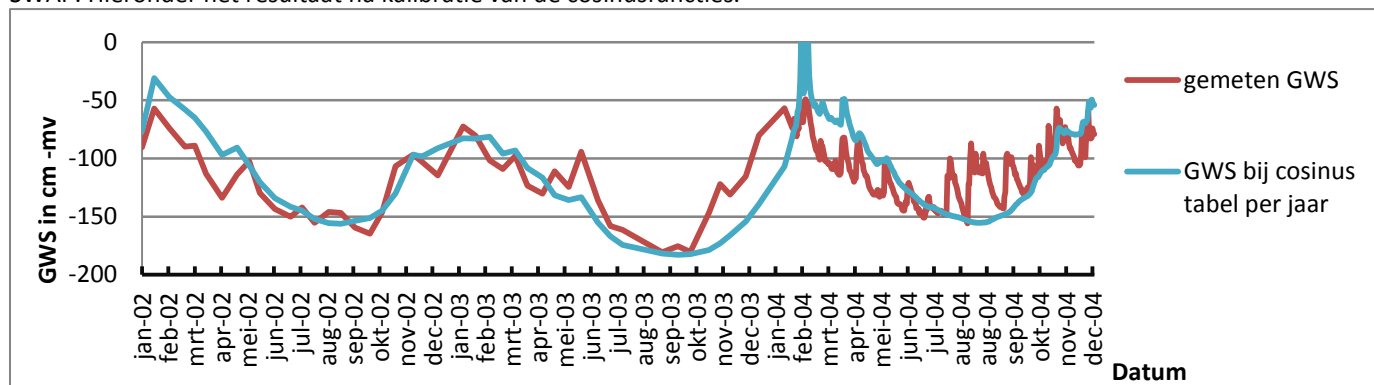
Tabel VII.1 Fluxen (in mm) per jaar voor onderandvoorwaarde 1, positief is opwaards

Jaar	cum bodem evaporatie	cum plant transpiratie	Neerslag	Onderrandflux	
				wegzijging	kwel
	mm	mm	mm	mm	mm
2002	94	561	- 929	-556	389
2003	103	579	- 655	-637	728
2004	117	578	- 890	-837	730

In tabel VII.1 is te zien dat de fluxen extreme waarden bevatten (kwel is 389,728,730 mm). Dit komt omdat met invoer van gemeten GWS in SWAP de onderrandflux (is wat er in en uit swap gaat: kwel en wegzijging) zo wordt aanpast dat de gesimuleerde GWS overeenkomt met ingevoerde gemeten GWS. Dit wordt per dag bekeken, er zit geen vertraging in. Het voordeel is dat de capillaire werking gebaseerd is op een realistische GWS.

Onderrand-randvoorwaarde 1; Tabel van cosinus functies

Er wordt gekeken of met verschillende cosinus functies (één curve per jaar) de GWS realistisch weergegeven kan worden. Dit door een cosinus op te stellen voor de 3 jaren apart en dit als GWS tabel aan te leveren aan SWAP. Hieronder het resultaat na kalibratie van de cosinusfuncties.



Figuur VII.2 Gemeten grondwaterstand en cosinus tabel (opgesteld per jaar)

In figuur VII.2 de gemeten GWS en de GWS bij invoer van een tabel met waarde van cosinus curve (zie formule VI.1) opgesteld per jaar. Te zien is dat de variatie tussen de jaren redelijk beschreven wordt: er is gemiddeld een kleine afwijking tussen gemeten (rode lijn) en gesimuleerde (blauwe lijn). Dit komt omdat ze opgesteld zijn per jaar en dusdanig gekalibreerd zijn dat de curve de gemeten GWS goed beschrijft. De piek van de gesimuleerde GWS in februari 2004 komt door extreme neerslag in combinatie met een hoge schatting van de GWS (van de opgestelde cosinus) hetgeen voor een betere fit zorgt voor de rest van 2004.

Van de methodes waarbij de gemeten GWS en de gesimuleerde GWS (verschillend per onderrand-randvoorwaarde) worden vergeleken is de ME (gemiddelde error) en de RMSE (accuraatheid) berekend om de benadering van de GWS van de simulatie te vergelijken met gemeten GWS, ME zegt iets over neiging van data (bias), < 0 is overschatting en > 0 is onderschatting; RMSE geeft de accuraatheid weer (hoe lager, hoe accurater). ME en RMSE komen uit het EuroHarp protocol (Silgram *et al.*, 2004). Hieronder een samenvatting van gebruikte formules

Analyse resultaten Euro Harp

Gebruikte methode om fitting te vergelijken is overgenomen uit EuroHarp protocol (Silgram *et al.*, 2004) validatie protocol. Hierin is n het aantal observaties en voorspellingen (uit model). Observaties zijn genoteerd als O_i en voorspellingen met P_i .

Root Mean Squared Error (RMSE). De RMSE (cm) geeft de accuraatheid weer en is beschreven door :

$$\text{Formule VII.1} \quad \text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}$$

De actieradius (gebied) van RMSE gaat van 0 tot ∞ . Hoe lager de waarde hoe accurater.

Mean Error (ME)

ME (cm) is er voor de meting van systematische fout of 'bias'. Beschreven als:

$$\text{Formule VII.2} \quad \text{ME} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)$$

Met ME < 0 is overschatting en ME > 0 is onderschatting, met 0 als optimum (= geen systematische error)

ME en RMSE zijn berekend voor de gehele periode (van 2002 tot 2004).

Vervolg Onderrand-randvoorwaarde 1; Tabel van cosinus functies

De gesimuleerde GWS bij invoer van een tabel met 3 cosinus functies levert een ME van -3cm en een RSME van 25.7cm op. De onderrandflux is -125mm (2002), 300mm (2003) en 177mm (2004) hetgeen voor 2003 en 2004 onrealistisch is: er is namelijk een hoge kwel (positieve onderrandflux betekend hoge kwel). Te zien is dat bij invoer van een tabel van 3 cosinus functies de gemeten GWS goed gesimuleerd is (blauwe lijn figuur VII.2). De ME is -3cm, wat een overschatting aangeeft van de gesimuleerde t.o.v. gemeten GWS. De RMSE is met 23.7cm relatief laag (t.o.v. andere methodes).

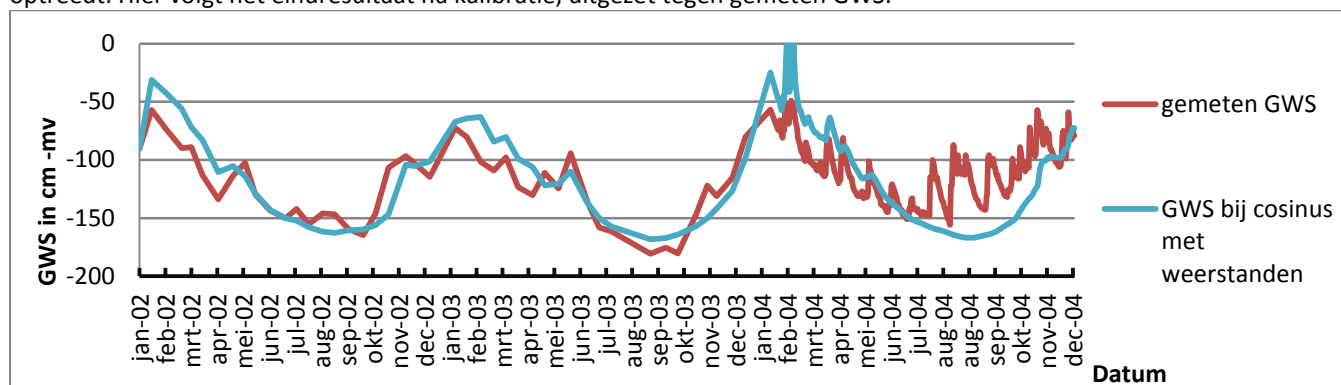
Tabel VII.2 Fluxen per jaar voor onderrand-randvoorwaarde 1 : tabel cosinus (opgesteld per jaar)

Jaar	cum bodem evaporatie	cum plant transpiratie	Neerslag	Onderrandflux	
				wegzijing	kwel
	cm	cm	cm	Cm	cm
2002	10.0	55.5	-92.9	-27.8	15.3
2003	9.7	53.9	-65.5	-33.5	30.0
2004	11.4	56.9	-89.0	-20.7	17.6

In tabel VII.2 is te zien dat kwel wederom hoog is. Wel is dit nog maar de helft vergeleken met onderrand-randvoorwaarde 1, gemeten GWS. Dit komt omdat de cosinus, beschreven per jaar, weinig schommelt en zo minder extreme opvolging heeft van hoge kwel en wegzijging.

Onderrand-randvoorwaarde 3; Cosinus met weerstanden

Deze optie is gebruikt in Test-run, maar bleek hoge kwel hoeveelheden op te leveren omdat de onderrandflux zó wordt aangepast (door SWAP) dat de beschreven cosinus wordt gevormd. Dit gebeurt met een vertraging door de weerstand factor C in cm/d, staand voor de weerstand tussen de 1^e aquifer en het grondwater. Met lage C waarde is er lage weerstand en wordt de cosinus zonder vertraging gevormd. Bij hoge C waarde, staand voor hoge weerstand, is er afwijking van de cosinus door vertraging van de laag. In de Test-run stond de C waarde op 10, hetgeen zeer lage weerstand is, vandaar dat de GWS ook bijna identiek verliep aan de opgegeven cosinus. In deze paragraaf wordt een cosinus functie ingevoerd en is geëxperimenteerd met gemiddelde GWS, weerstand factor C, amplitude van grondwaterstand en de dag dat de maximum GWS optreedt. Hier volgt het eindresultaat na kalibratie, uitgezet tegen gemeten GWS.



Figuur VII.3 Gemeten grondwaterstand en grondwaterstand bij functie cosinus met weerstanden

In figuur VII.3 staat de gemeten GWS en de GWS bij functie beschreven volgens formule VI.1. Met gemiddelde GWS (ϕ_{aquit} m) = 120cm -mv, amplitude van de GWS (ϕ_{aquit} a) = 40cm en de tijd dat maximum optreedt (T_{max}) is na 40 dagen (zie bijlage VI voor toelichting van cosinus en de parameters). Buiten deze formule is een weerstand van de diepere laag nodig. Deze weerstand (C) is gekalibreerd op 110 cm/d. Dit leverde een ME van 7.7 en RMSE van 29.6cm.

In figuur VII.3 is te zien dat de gemeten GWS goed gesimuleerd wordt door cosinus functie met weerstand. Nadeel van deze optie is dat het weinig variatie over jaren geeft (met name voor GLG). Ook is het moeilijk om de GWS te kalibreren (cosinus versus gemeten) voornamelijk in de droge periode. Na het optreden van de GLG dient de GWS te stijgen maar door de te lage weerstand spoelt de neerslag tot diepere aquifer. Bij een te hoge

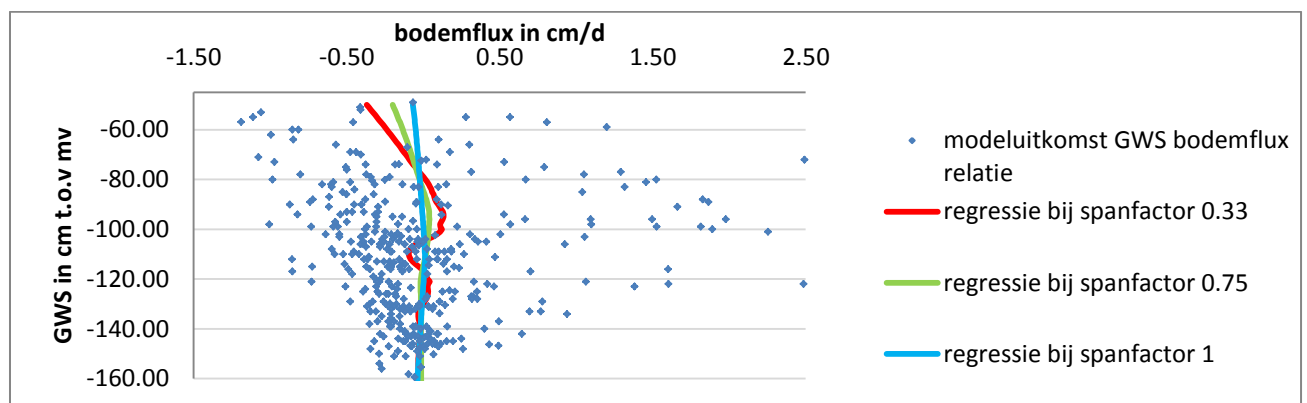
weerstand infiltreert het water onvoldoende en is er een te hoge GWS over nattere periode, tevens treedt er kwel op (in 2002,2003 en 2004: 99, 310 en 123 mm). Het is dus een kwestie van balans vinden in weerstand zodat GWS niet te hoog geschat wordt en niet te laag, in deze situatie is deze balans bij een weerstand van 110cm/d.

Onderrand-randvoorwaarde 4: onderrandflux als functie van de grondwaterstand

Met onderrandflux als functie van de grondwaterstand wordt bedoeld dat afhankelijk van de GWS er een bepaalde onderrandflux (kwel óf wegzijging) optreedt. Binnen deze onderrand-randvoorwaarde 4 zijn in SWAP twee opties. Optie a) beschrijft de grondwaterstand-onderrandfluxrelatie in vorm van een tabel; optie b) beschrijft de grondwaterstand-onderrandfluxrelatie d.m.v. een exponentiële functie. Hieronder volgen eerst twee manieren om een tabel te beschrijven: tabel inverse modellering & alternatieve tabel, gevolgd door een exponentiële functie van de onderrandflux grondwaterstand relatie:

Onderrand-randvoorwaarde 4; Tabel op basis van inverse modellering

Inverse modellering betekent dat het model niet gebruikt wordt om de werkelijkheid na te bootsen, maar dat de werkelijkheid in het model gestopt wordt en dat uit de uitkomst relaties worden onttrokken (in dit geval relatie GWS en bijbehorende onderrandflux). Deze relaties zijn opgesteld met onderrand-randvoorwaarde 1 in combinatie met 4, hetgeen inhoudt dat de gemeten grondwaterstand is gebruikt als input voor SWAP, dit kan met onderrand-randvoorwaarde 1. Van deze run is de modeluitvoer, hetgeen de grondwaterstand en de bijbehorende onderrandflux is (per dag). Deze gegevens zijn gebruikt om een grondwaterstand-onderrandfluxrelatie op te stellen. Deze relatie is opgesteld door uit de modeluitkomst een verband te halen, hetgeen is gedaan door gebruik te maken van regressie tool LOESS (werking en toelichting op <http://peltiertech.com/WordPress/loess-utility-for-excel/>). LOESS tool is in de vorm van een Excel-macro toegepast en creëert een lokale niet lineaire regressie lijn door puntenwolken van data, hieronder de uitwerking van de regressie. De gegevens zoals deze uit de LOESS regressie komt is gebruikt als nieuwe input voor SWAP. Dit in de vorm van een tabel in onderrand-randvoorwaarde 4.



Figuur VII.4 Grondwaterstand en onderrandflux, relatie d.m.v. LOESS curve

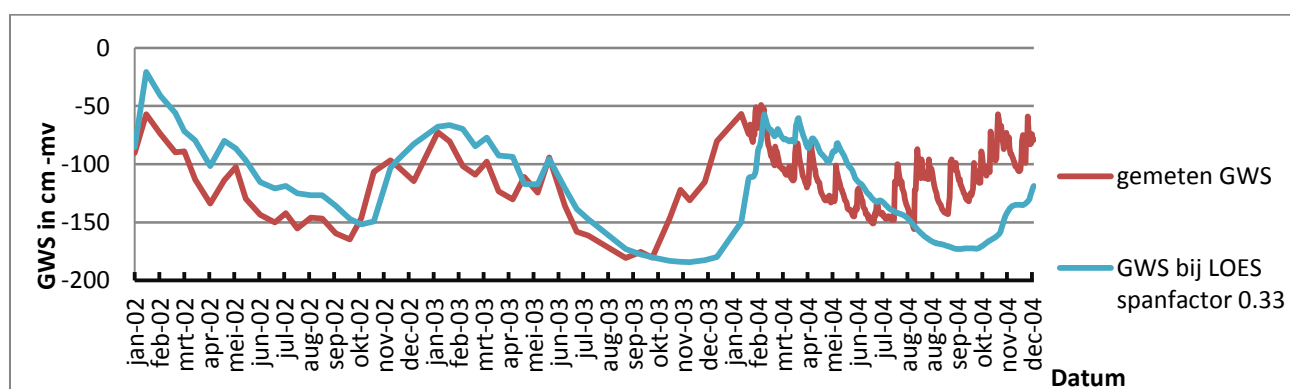
In figuur VII.4 op de y-as de GWS in cm t.o.v. mv en op de x-as de onderrandflux in cm/d (met positief kwel en negatief wegzijging). De series zijn als volgt: modeluitkomst (GWS onderrandflux relatie) bij invoer van gemeten GWS, weergegeven met blauwe stippen. De overige lijnen zijn regressielijnen om de stippenwolk te beschrijven, dit met verschil in spanfactor. Spanfactor geeft aan hoeveel data rondom het voorspelpunt gebruikt wordt voor het vormen van de regressielijn. In het geval van spanfactor van 0.33 (rode lijn) is 33% van de data om het voorspelpunt gebruikt voor het opstellen van de regressielijn. Het voorspelpunt is een opgegeven stapgrootte, in dit geval de GWS per cm. Hieronder een voorbeeld van grondwaterstand-onderrandfluxrelatie (tabel VII.3).

Tabel VII.3 Voorbeeld van een GWS onderrandflux tabel

HTAB (in cm)	QTAB (in cm)
-50.0	-0.0668
-51.0	-0.06492
-52.0	-0.06307
-53.0	-0.06125
-54.0	-0.05946

In bovenstaande tabel VII.3 is HTAB is de grondwaterstand en is QTAB de onderrandflux die hoort bij deze grondwaterstand. Een voorbeeld: bij GWS van -50cm is er 0.0668 cm wegzijging (negatief is naar beneden), 51 cm heeft 0.06495 cm wegzijging etc.

In figuur VII.4 is te zien dat de regressie lijnen de GWS relatie niet goed beschrijven, dit komt omdat de modeluitkomst te extreem zijn. Een voorbeeld in de figuur (VII.4) zijn de blauwe stippen die in meerdere gevallen boven de 2cm/d uitkomt (positief staat voor kwel) hetgeen het tienvoudige is van 'gemiddelde dagelijkse neerslag van rond de 0.2cm. Zelf met een spanfactor (geeft aan hoeveel data rondom het voorspelpunt gebruikt wordt voor het vormen van de regressielijn) van 1, staand voor bekijken van alle onderrandfluxen op vb. 60-61 cm. Desondanks heeft de regressie geen goede fitting. Tevens is er een kromming in de regressie wat suggereert dat bij de ene GWS er een positieve onderrandflux is (en dus kwel, vb. 90cm-mv) en vlak hieronder een negatieve onderrandflux (staand voor wegzijging, vb. 100cm-mv) dit is niet betrouwbaar. Hoe hoger de span factor hoe minder speling er in de regressie zit. Desondanks komt de lijn niet overeen met de puntenwolk van data. Bij het invoeren van een tabel in SWAP opgesteld bij de regressie lijn met een spanfactor van 0.33 kwam het volgende uit SWAP.



Figuur VII.5 Gemeten grondwaterstand en GWS bij functie invoer van tabel LOESS curve factor 0.33.

In figuur VII.5 staan de gemeten GWS (rood) en gesimuleerd GWS (blauw). De gesimuleerde GWS heeft als invoer een grondwaterstand-onderrandfluxrelatie opgesteld met LOES regressie spanfactor 0.33 (zie figuur VII.4 puntenwolk voor deze relatie). Figuur VII.5 laat zien dat de gesimuleerde GWS de gemeten GWS niet goed benadert. Dit geldt vooral voor de herfst van 2003 (september tot januari). Het kan eraan liggen dat in realiteit, aan het begin van de zomer, de onderrandflux bij een GWS van 160cm -mv negatief is en in de herfst positief, wederom bij dezelfde 160cm-mv. Deze niet eenduidige relatie (ene keer positief andere keer negatief) kan met deze relatie niet beschreven (relatie kan alleen eenduidig beschreven worden).

Deze onderrand-randvoorwaarde (optie 4, in vorm van tabel), gebaseerd op fluxen zoals SWAP ze uitvoerde om gemeten GWS verkrijgen, geeft geen goede fitting. Wel is er met 115, 192 en 63 mm voor resp. 2002, 2003 en 2004 een lagere kwel dan de Test-run (zie tabel 1 in §2.4). Een nadeel van de optie is dat de relatie tussen GWS en onderrandflux wisselt tussen positief en negatief, dit is te zien in figuur VII.4: er zit schommeling in de regressie, hetgeen goed waarneembaar is in de rode lijn.

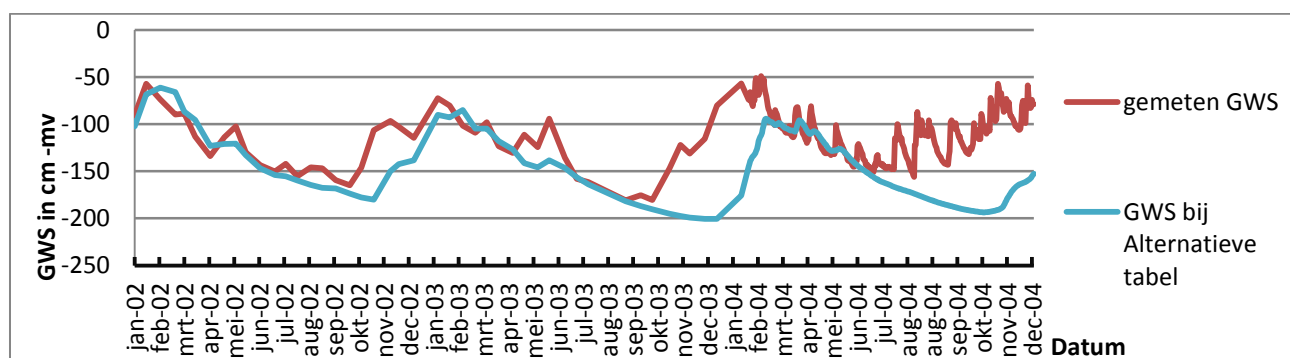
Onderrand-randvoorwaarde 4; Alternatieve tabel

Hier wordt een alternatieve tabel opgesteld en handmatig de GWS-onderrandfluxrelatie beschreven. De alternatieve tabel wordt opgesteld om te kijken of de gemeten GWS zich goed laat beschrijven door een tabel

die vrij ingericht kan worden, het is een manier om zonder gebonden te zijn aan data of vorm van de relatie te kijken hoe de gemeten GWS zich laat beschrijven. Hieronder in tabel VII.4 het resultaat van de alternatieve tabel na kalibratie, deze tabel is ingeladen in SWAP.

Tabel VII.4 Alternatieve tabel GWS-onderrandfluxrelatie

GWS t.o.v. mv	onderrandflux
-40	-0.5
-50	-0.35
-60	-0.3
-90	-0.15
-110	-0.01
-120	-0.01
-130	-0.01
-155	0



Figuur VII.6 Gemeten en gesimuleerde grondwaterstand bij alternatieve tabel

In figuur VII.6 de gemeten GWS en de grondwaterstand bij invoeren van tabel VII.4 als onderrand- randvoorwaarden. Dit leverde een slechte fitting van gesimuleerde t.o.v. gemeten, namelijk een ME van 39.0 cm en een RMSE van 53.6cm. Het voordeel van alternatieve tabel is dat er geen kwel optreedt, onderrandflux is <0. Zie tabel VII.4 voor de ingeladen tabelwaarde, te zien is dat er enkel een wegzijgingsrelatie is beschreven (bij alle GWS is de onderrandflux negatief). Bij het benaderen van de gemeten GWS blijft eind zomer 2003 zie figuur VII.6 zich moeilijk benaderen, hier stijgt de GWS onvoldoende. Dit is tevens te zien in juli-oktober 2004: de droge zomer periode zet te lang door.

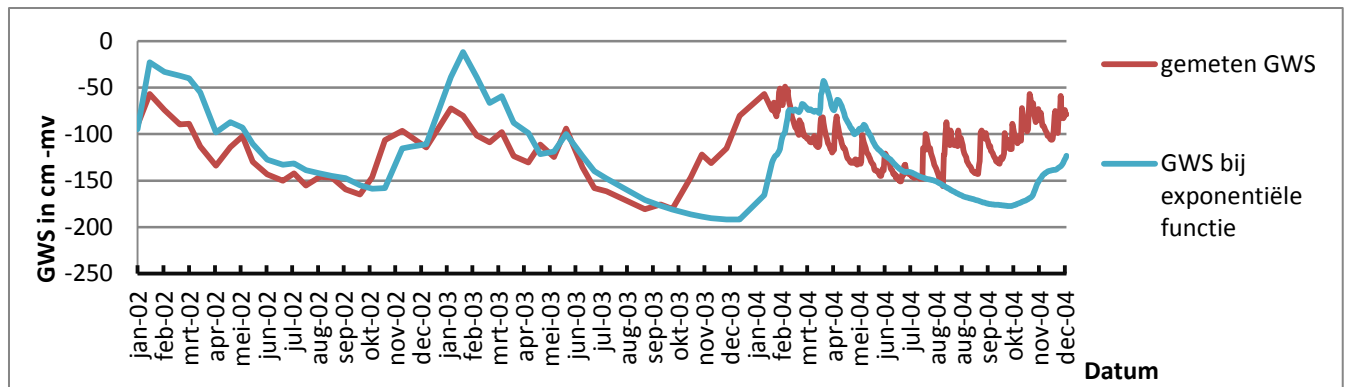
Onderrand-randvoorwaarde 4; Functie

In deze optie wordt de onderrandflux beschreven door 2 parameters, zie onderstaande formule VII.3:

$$\text{Formule VII.3} \quad q_{bot} = a_{bot} \exp(b_{qbot} | \phi_{avg})$$

Met a_{bot} (cm d⁻¹) en b_{qbot} (cm⁻¹) de empirische coëfficiënten (afgekort als A en B), q_{bot} is de onderrandflux (negatief naar beneden) en ϕ_{avg} de gemiddelde grondwaterstand (in cm).

Deze A en B empirische coëfficiënten zijn bepaald bij een gegeven grondwaterstand en bodemtype, die beschikbaar waren als interne publicatie van Alterra van K. Oostindie en R.F.A. Hendriks (jaartal ontbreekt). Hierin zijn deze factoren o.a. voor bodemsoort (Hn) en verschillende GWS opgesteld. Met behulp van deze waarden is een kalibratie uitgevoerd om de gemeten en gesimuleerde GWS zo goed mogelijk te laten verlopen. Hieronder de gekalibreerde exponentiële functie. Tijdens de kalibratie is gekeken naar overeenkomst van de gesimuleerde en gemeten GWS, wederom is dit door de RMSE en ME te analyseren.



Figuur VII.7 Gemeten grondwaterstand en gekalibreerde exponentiële onderrandflux

De blauwe lijn van figuur VII.7 is opgezet met een a_{bot} van $-1.5 \text{ (cm d}^{-1}\text{)}$ en b_{qbot} van $-0.1 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ (zie formule VII.3), de A is het startgetal en de B beschrijft de helling van de grondwaterstand-onderrandflux relatie. Resultaat bij het invoeren van deze relatie in SWAP levert t.o.v. van gemeten grondwaterstand een ME van 15.7cm en een RMSE van 44.5cm. Deze waarden zijn hoger dan bijvoorbeeld tabel cosinus functie of gemeten GWS. Het voordeel van deze optie is dat er geen kwel optreedt. Tevens zijn deze verhoudingen tussen GWS en onderrandflux te extrapoleren naar andere gebieden.

Er is een controle uitgevoerd om te kijken of de relatie tussen GWS en onderrandflux van figuur VII.4 (blauwe stippen) wel een goede fitting had met gemeten GWS indien deze beschreven werd als exponentiële functie (en eigenhandig door het gros van de meetpunten is getrokken). Dit leverde een GWS van gemiddeld 50 cm onder de gemeten GWS en is daarmee een zeer slechte fitting (dit was bij A = -3.0 en B is -0.022, zie formule 8).

Hypothese onderrand-randvoorwaarde;

Globaal zijn er twee onderrand-randvoorwaarde patronen: 1) de onderrandflux is extreem, zowel kwel als wegzijging, maar de droge zomer eindigt zoals de gemeten GWS. 2) Er is een realistische onderrandflux maar GWS daalt te lang. Dit laatste geeft aan dat het systeem met onvoldoende detail beschreven wordt. Hier volgen zeven mogelijke oorzaken voor afwijking gemeten en gesimuleerde GWS en hoge fluxen:

1. Er zijn onbeschreven fluxen. Voorbeelden hiervan zijn: drainagewater van een sloot, beregening/irrigatie of water in de buurt beïnvloeden het peil positief. Vooral de periode eind 2003 en de schommelingen in 2004 zijn onverklaard. Drainage is in deze studie uitgezet i.v.m. het ontbreken van gegevens. Aannames hierover zijn ongegrond.
2. Capaciteit van de grond (boven de GWS) om water op te vangen (hangwater) is te hoog ingeschat en vangt water op dat anders naar het grondwater zou stromen.
3. Macro poriën werking is, bij gebrek aan gegevens, uitgeschakeld: door macro poriën infiltreert meer neerslag tot grondwater wat de GWS doet stijgen.
4. mogelijk is de poriegrootte overschat. Zo blijft er per oppervlakte grond meer water in de grond en zal zodoende de GWS minder snel stijgen.
5. De neerslagdata zijn verkregen van het KNMI station Deelen. Het kan zijn dat er verschil is in lokale neerslag en weersomstandigheden.
6. Mogelijk zit er afwijking in de gemeten GWS. Dit kan komen doordat de peil-buis zich elders bevindt of er is een afwijkende situatie / fout in meetwaarde. Tevens is er de aanname dat GWS exact verloopt zoals gemeten is. Er is geen speling voor de tijden tussen de meetpunten. Aan de metingen van 2004 is te zien dat dit veel schommelt, hetgeen voor 2002 en 2003 niet terug te vinden is.
7. SWAP modelleert de processen die GWS bepalen onvoldoende.

Een combinatie van de bovengenoemde factoren zorgt voor een afwijking van de GWS. Hieronder volgen de voor en nadelen van uitgewerkte opties. Vervolgens wordt de keuze toegelicht.

Opsomming onderrand-randvoorwaarde

Grondwaterstand als input (onderrand-randvoorwaarde 1)

Dit levert de gemeten GWS op maar is lastig te gebruiken voor klimaatstudies of extrapolatie naar andere gebieden (tenzij er GWS bij klimaat scenario's opgesteld zijn; bijv. door het gebruik van een grondwater model). Dit omdat de GWS wordt opgelegd en niet als proces werkt. Bij gebruik in andere gebieden of jaren is er dus de aanname dat deze complex gevormde GWS op andere locatie/tijd zich (identiek) herhaalt. Aangezien elk jaar anders is en de omstandigheden per gebied grote verschillen vertonen kan het beter zijn om grip te krijgen op het systeem dat GWS beïnvloed of zelfs de bodemeigenschappen te kalibreren op GWS.

Tabel met cosinus functies

Een voordeel is dat er per jaar een functie opgesteld kan worden en deze methode daarmee beter geschikt is voor gebruikt voor klimaatstudies/ extrapolatie naar andere gebieden. De fit met GWS is redelijk. Een nadeel is dat er nog steeds kwel optreedt (de helft van de kwel die optreedt bij het opleggen van de gemeten GWS maar de kwel is aanwezig en nog steeds hoog).

De cosinus en de gemeten GWS als onderrand-randvoorwaarde geven hoge kwel hoeveelheden en worden daarom niet gekozen, dan blijft optie 4 over ((onderrandflux als functie van GWS). Hiervoor zijn 3 mogelijkheden uitgewerkt, tabel LOESS curve, tabel op eigen inzicht en functie beschrijving.

LOESS curve

Bij het opstellen van een relatie voor fluxen gebaseerd op uitvoer van SWAP (werkend met gemeten GWS ; onderrand-randvoorwaarde 1) kwam geen goede fit, bij deze run trad 'slechts' 60 –200 mm kwel op. Deze relatie is echter opgesteld op basis van extreme fluxen, tevens loopt de curve van negatief (wegzijing) naar positief (kwel) en weer naar negatief afhankelijk van GWS. Dit zorgt voor onvoorspelbare gedrag van GWS, al helemaal als dit gebruikt wordt in andere gebieden. Er is geen grip op de fluxen vandaar dat deze optie afvalt.

Alternatieve tabel

Het voordeel van deze tabel is de mogelijkheid tot goede kalibratie. Nadeel is dat dit zich lastig laat beschrijven, dit is te wijten aan dominantie van neerslag op de onderrandflux; de ene situatie moet bij lage GWS (bijv. 160cm-mv) wegzijing optreden dit als er neerslag valt, de andere situatie moet er bij dezelfde GWS (bijv. 160cm-mv) kwel optreden. Het is niet mogelijk om beide op te geven in de tabel.

Exponentiële functie

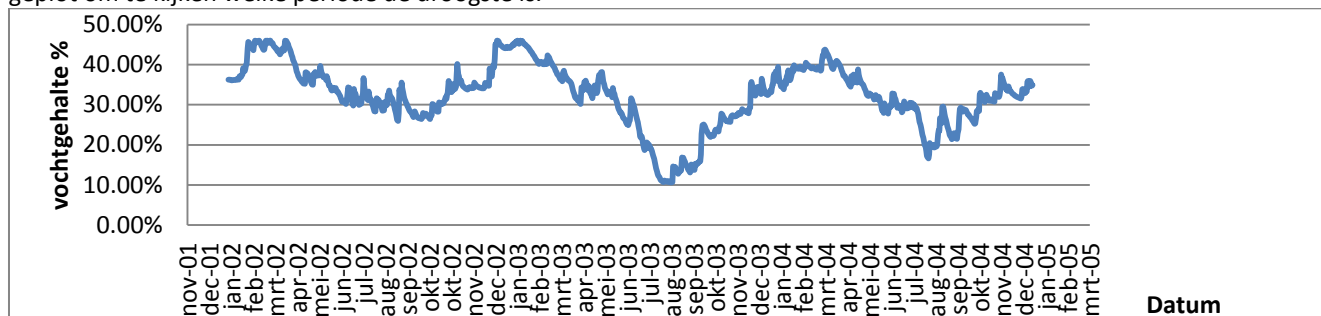
Voordeel is dat het opgesteld kan worden voor elke grondsoort en GWT (zie Oostindie et al). Nadeel is dat enkel positief of negatief beschreven kan worden, doorgaans is er of kwel of wegzijing hetgeen dit nadeel minimaliseert.

Conclusie onderrand-randvoorwaarde

Elke functie heeft zijn voor en nadelen, de beste fitting is met 3 cosinussen apart per jaar opgesteld. Als er een min of meer realistische fluxen vereist zijn, hetgeen in deze studie (zandgronden zonder kwel), dan blijven de opties tabel op eigen inzicht en exponentiële functie over. De keuze valt op exponentiële relatie omdat tabel op eigen inzicht is opgesteld om deze peilgegevens en GWS te beschrijven. Tevens is tabel op eigen inzicht geen vloeiende lijn en mist het dekking heeft voor hogere GWS. De keuze valt dus op exponentiële functie, deze methode is vloeiend en heeft het voor elke hoogte een eigen waarde, het kan zijn dat bij verschillende ondergronden de tabel op eigen inzicht kleine verschillen weergeeft, hetgeen niet wenselijk is. Het is lastig om GWS te fitten omdat weerstanden, bergend vermogen, capillaire werking en plaatselijke fluxen meespelen maar niet gedetailleerd beschreven (Staringreeks is globaal). Met veldmonsters en goede bodemfysische gegevens zou kalibratie en vergelijking van bovengenoemde onderrand-randvoorwaarde verbeterd worden. Het is namelijk mogelijk om in SWAP extra fluxen op te geven (of een slootpeil en drainage weerstand), deze opties bieden mogelijkheden om met meer detail te kijken naar GWS in SWAP. Zonder deze lokale fluxen is het lastig gemeten GWS na te bootsen, vandaar dat het verschil in GWS dat overblijft geaccepteerd wordt.

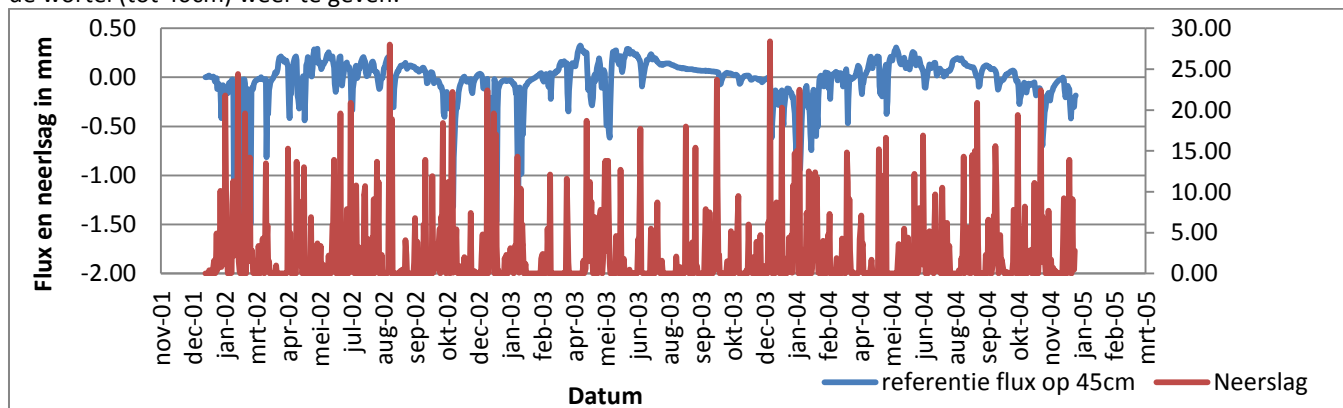
Bijlage VIII Selectie analyse periode

In deze bijlage wordt toegelicht waarom de dagen 27-08-2003 tot 28-06-2003 gekozen zijn voor analyse van onder andere capillaire opstijging. Hiervoor is het vochtgehalte in de wortelzone (0-45cm) over de gehele periode geplot om te kijken welke periode de droogste is.



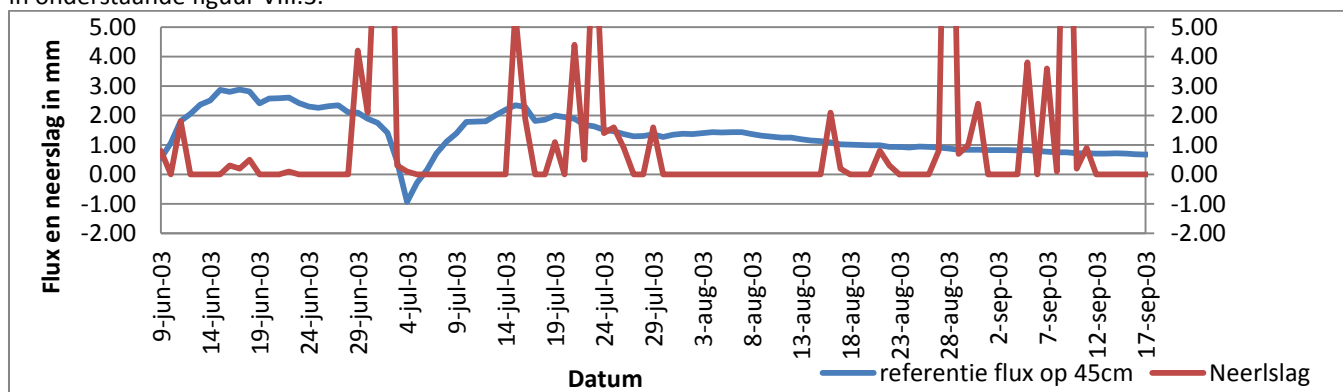
Figuur VIII.1 Vochtgehalte in de wortelzone van referentie-run

Te zien is dat de droge zomer in juni 2003 inzet en dat de ergste droogte stopt halverwege september. Vandaar dat de flux (opwaarts is capillaire opstijging) in deze periode wordt weergegeven. Dit gebeurt op 45cm omdat dit 5cm van wortels is en zo goed weergeeft wat de levering naar de wortels is, zonder direct de opname van de wortel (tot 40cm) weer te geven.



Figuur VIII.2 Neerslag in mm en flux (mm) op 45cm diepte over de periode 2002–2004

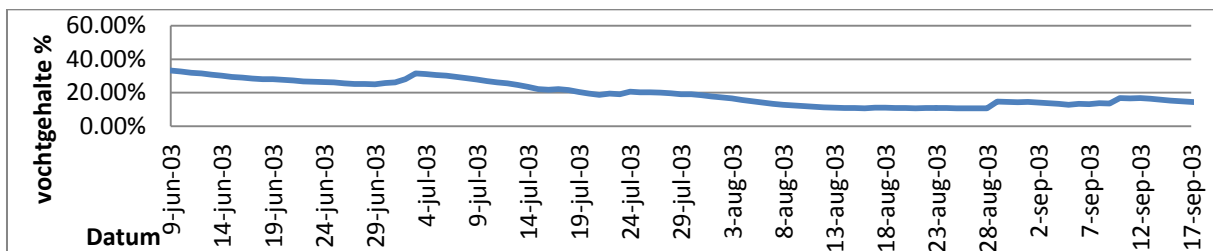
In figuur VIII.2 is te zien dat de periode juni 2003 tot september overwegend een positieve (opwaartse) flux heeft, dit staat voor capillaire opstijging in deze droge periode, vandaar dat op deze periode wordt ingezoomd in onderstaande figuur VIII.3.



Figuur VIII.3 Neerslag in mm en flux (mm) op 45cm diepte over de droogste periode (dag 525 tot 625; 09-06-03 t/m 17-09-03)

In bovenstaande figuur VIII.3 is te zien dat er na dag 29-06-03 een daling van de flux plaatsvindt. Dit is de laatste neerwaartse flux: de neerslag is daarna onvoldoende om het profiel van voldoende vocht te voorzien en zo een neerwaartse flux te bewerkstelligen. Uit bovenstaande figuur VIII.3 is op te maken dat de flux afneemt na een bui en dat er de periode 2 momenten zijn zonder neerslag. Dit is tussen 19-06 en 29-06 2003 en 29-07

t/m 27-08 2003, de 2 mm neerslag rond 13 augustus 2003 wordt verwaarloost omdat het geen invloed heeft op drukhoogte of capillaire opstijging. De capillaire opstijging neemt geleidelijk af en is 'stabiel' voor dagen 28-06-03 en 27-08-03 vandaar dat deze dagen gekozen worden om flux en drukhoogte te vergelijken. Tevens is dag 27-08-03 de dag met het laagste vochtgehalte, hierna stijgt het langzaam (zie onderstaande figuur VIII.4 oplopende knik rond 28-aug-03). Deze dag wordt aangeduid met 'de droogste dag'. De representatieve relatief natte beginzomerdag (28-06-03) wordt aangeduid als 'natte dag' omdat het een relatief vochtig profiel heeft, deze dag dient ter vergelijking met de droogste dag. Overeenkomst tussen deze natte dag en droogste dag is dat ze beide aan het einde van een periode met zeer lage of geen neerslag zitten. Zo is de capillaire opstijging van beide dagen 'stabiel' (. Van deze dagen wordt de capillaire opstijging bekeken. Bij het samenvatten van een run wordt ook gebruik gemaakt van maximale capillaire opstijging van deze dag. Hiermee wordt bekeken wat het maximaal vocht aanleverend vermogen van de run is (onder omstandigheden gecreëerd in deze studie), in de meeste gevallen is de flux maximaal rond 45 cm diepte.



Figuur VIII.4 Vochtgehalte over de tijd van referentierun, ingezoomd op zomer 2003.

In bovenstaande figuur VIII.4 is te zien dat op 28-06-03 er een redelijk stabiel vochtgehalte is, de dag is stabiel te noemen omdat er geen neerslag is gevallen die capillaire opstijging verstoort en het vochtgehalte is min of meer representatief voor begin van de zomer. Verder is te zien dat op 27-08-03 het vochtgehalte zijn laagste punt heeft na een periode van weinig verandering. Het vochtgehalte op deze dagen (28-06-03, 27-08-03) is relatief stabiel. De reden om 2 dagen te kiezen is om de capillaire opstijging te bekijken op een zomerdag zonder verdroging en op de droogste dag van de periode (27-08-03). Vandaar dat 28 juni 2003 en dag 27-08-2003 worden gebruikt voor opstellen van drukhoogte en capillaire opstijging in het profiel. Op dag 28-06-03 is de zomer begonnen maar treed er nog geen stress op en heeft het enige tijd niet geregend, vochtvoorziening is dus capillair gestuurd.

De reden om over het gehele profiel te plotten en maar voor 1 dag is omdat de drukhoogte van meerdere dagen enkel iets zegt over een deel van het profiel (of de grafiek staat vol met drukhoogtes en wordt lastig te interpreteren/vergelijken), tevens is er niet uit op te maken hoe de GWS is of wat de capillaire opstijging is. Door van de runs de maximum capillaire opstijging op de droogste te bekijken komt er grip op het minimum vocht leverend vermogen van de bodem (mogelijke correctie van deze capillaire opstijging voor nog drogere periodes wordt niet meegenomen). Door dit uit te drukken als percentage t.o.v. referentierun (run zonder grofzand) kan de invloed van grofzand op capillaire opstijging weergegeven worden.

Er zijn veel manieren om grip te krijgen op capillaire opstijging. Allereerst door de capillaire opstijging en het vochtgehalte in het profiel te bekijken om de droogste periode te bepalen. Nat- en droogteschade hangt echter niet alleen van vochtgehalte af maar van drukhoogte en vocht. Een goede manier van analyseren van droogte schade is door eerst in kaart te brengen wanneer het optreedt (dus meerdaagse / meerdere jaren tegenover elkaar zetten). Vervolgens een selectie te maken van 'stabiel vochtige dag' (met capillaire opstijging enigszins stabiel over aantal dagen en geen invloed neerslag) en droogste dag (wederom zonder neerslag), van deze 2 dagen kan een grafiek gemaakt worden met capillaire opstijging en drukhoogte over het gehele profiel zoals in figuur 5 en 6. Dit geeft informatie over GWS (daar waar drukhoogte = 0), capillaire opstijging door de lagen en drukhoogte over het profiel.

Bijlage IX PAWN ruimtestappen, een overzicht tabel

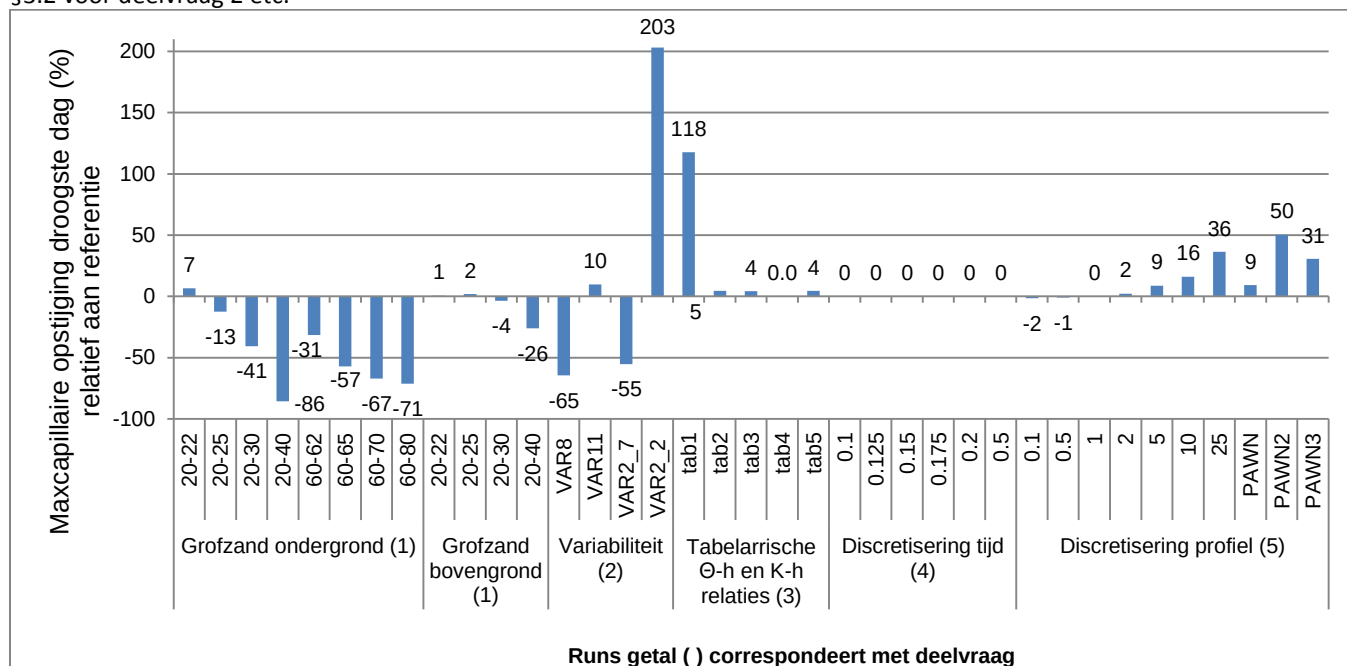
Tabel IX.1 PAWN ruimtestappen

Diepte in cm	Dikte in cm	Aantal
0–5	1	5
5–20	2.5	6
20–80	5	12
80–100	10	2
100–220	20	6
220–300	40	2

Dikte is de ruimtestap / dichtheid van de rekengrid.

Bijlage X Maximale capillaire opstijging op 27-08-2003 en berekeningen

In deze bijlage X de maximale capillaire opstijging op de droogste dag, dit geeft een indruk van het minimaal vocht leverend vermogen van de bodem (bodem naar plant) op de droogste dag uit dit onderzoek (27-08-03). In onderstaande grafiek staan de capillaire opstijgingen per deelvraag naast elkaar. Dit relatief aan referentie. Met waarde in %, negatief betekend een afname in capillaire opstijging en positief een toename. Op de x-as de deelvraag in enkele woorden met erachter het nummer van de deelvraag, zie paragraaf 3.1 voor deelvraag 1, §3.2 voor deelvraag 2 etc.



Figuur X.1 Maximale capillaire opstijging op de droogste dag (27-08-03) van de runs, uitgedrukt als percentage t.o.v. referentie

In bovenstaande figuur X.1 de maximale capillaire opstijging in het profiel op de droogste dag van de periode (27-08-03), dit uitgedrukt relatief aan de referentie. De twee runs met 'Var2_' in de naam zijn berekend met bodemfysische eigenschappen van onderliggende monsters van Staringreekscode B5, vandaar dat voor deze twee runs de referentie ook de maximale capillaire opstijging van de droogste dag van de bodemgeneralisatie Staringcode B5 (zie tabel V.1) is, dit is 0.823mm/d. De * en ** achter PAWN staan voor grofzand in het profiel, * betekend grofzand met eigenschappen O5 (zie tabel V.1) tussen 30–40cm, ** staat voor grofzand O5 tussen 60–70cm diep, deze twee PAWN runs zijn uitgedrukt relatief aan de runs met gelijke grofzand laag, dit om enkel het verschil tussen indeling in kaart te brengen (zie tabel X.1). De getallen tussen haakjes staan voor de deelvragen.

De percentages geven de mate van invloed aan per deelvraag, in het geval van variabiliteit (2) wordt gekeken naar som van absolute waarde van de percentages. Dit omdat het ene monster voor verhoging en het andere

voor verlaging zorgt, deze reikwijdte wordt opgeteld omdat de onzekerheid tweezijdig is. De overige deelvragen geven een eenzijdige relatie of worden verklaard door andere effecten (verklaring in de paragraaf van de deelvraag in Hst3).

Samengevat is de invloed van Grofzand (deelvraag 1) 86%, variabiliteit bodemfysische gegevens (deelvraag 2): voor variabiliteit binnen Staringmonsters B3-O2 is dit 75% en voor B5 is dit 258%. Deelvraag 3 heeft 118% verschil in capillaire opstijging, hetgeen een extreem is en komt door invulling van een laag aantal tabelwaarde, het is zo dus een gecreëerd groot verschil, de invloed van deze deelvraag hangt puur af van invoer en is laag zolang er een goede spreiding is in de tabel. Deelvraag 4 heeft <1% invloed. Deelvraag 5 heeft tot 36% invloed, het onderdeel met * en ** wordt uit de analyse weggelaten omdat grofzand hier invloed heeft en zo het verschil domineert. Op volgorde (klein naar groot) is de invloed van factoren op capillaire opstijging dus: rekentijdstapgrootte (<1%), dichtheid rekengrid (35%), grofzand lagen in het profiel (85%), tabellarische beschrijving Θ -h en K-h relaties (120%) en variabiliteit standaard bodemfysische relaties (Staring monsters) (250%).

In tabel X.1 de getallen van figuur X.1 in een tabel, met eronder de toelichting op de berekeningen.

Tabel X.1 Maximale capillaire opstijging op 27-08-2003 voor flux geanalyseerde runs

Run naam	Grafiek Run naam	Max capillaire opstijging in mm	% afwijking t.o.v. referentie
Referentie	Referentie	0.927	-
DiscP_0.1	0.1	0.912	-2
DiscP_0.5	0.5	0.918	-1
DiscP_1	1	0.927	0
DiscP_2	2	0.948	2
DiscP_5	5	1.007	9
DiscP_10	10	1.075	16
DiscP_25	25	1.263	36
PAWN	PAWN	1.012	9
PAWN_O5_20-30	PAWN2	0.827	50*
PAWN_O5_60-70	PAWN3	0.398	31**
VAR8	VAR8	0.328	-65
VAR11	VAR11	1.016	10
VAR2_7	VAR2_7	0.368	-55***
VAR2_2	VAR2_2	2.493	203***
GZ_O5_20-22	20-22	0.989	7
GZ_O5_20-25	20-25	0.811	-13
GZ_O5_20-30	20-30	0.550*	-41
GZ_O5_20-40	20-40	0.133	-86
GZ_O5_60-62	60-62	0.635	-31
GZ_O5_60-65	60-65	0.397	-57
GZ_O5_60-70	60-70	0.305**	-67
GZ_O5_60-80	60-80	0.267	-71
GZ_B5_20-22	20-22	0.933	1
GZ_B5_20-25	20-25	0.944	2
GZ_B5_20-30	20-30	0.893	-4
GZ_B5_20-40	20-40	0.684	-26
MVG-Tab1	tab1	2.017	118
MVG-Tab2	tab2	0.969	5
MVG-Tab3	tab3	0.966	4
MVG-Tab4	tab4	0.927	0
MVG-Tab5	tab5	0.968	4
Disct_0.125	0.125	0.930	0
Disct_0.15	0.15	0.928	0
Disct_0.175	0.175	0.929	0
Referentie	0.2	0.927	0
Disct_0.5	0.5	0.928	0
Staringcode_B5	B5	0.8226***	-

In tabel X.1 de maximale flux (van het profiel 0-300 cm) op de droogste dag (27-08-03), dit voor flux geanalyseerde runs. Afwijking t.o.v. referentie is berekend met: $(\text{run} / \text{referentie} * 100) - 100$. Een voorbeeld: afwijking van DiscP_25 t.o.v. referentie: $1.263/0.9268*100-100 = 36\%$, staand voor 36% hogere capillaire opstijging op de droogste dag van de periode t.o.v. referentie. PAWN2, PAWN3, VAR2_7 en VAR2_2 hebben een afwijkende referentie, deze zijn aangegeven met een [*]. Symbool [*] correspondeert met [*], ** met ** en *** met ***.