

28/6/2013

BACHELOR
EINDOPRACHT

ONDERZOEK NAAR DE GRONDWATERPROCESSEN IN HET 3Di MODEL.



Nelen & Schuurmans



UNIVERSITEIT TWENTE.

Van 22 april 2013 t/m 28 juni 2013 |

Benno Fakkert

Student Bachelor Civiele Techniek

S1013602

Voorwoord

Geachte examencommissie,

Voor u ligt het verslag van mijn onderzoek naar de effecten van de schematisatie van de grondwaterprocessen in het 3Di model. Dit onderzoek is tot stand gekomen vanwege de Bachelor Eindopdracht voor het afronden van mijn Bachelor Civiele Techniek.

Mijn onderzoek heb ik uitgevoerd bij het bedrijf Nelen & Schuurmans te Utrecht.

Graag wil ik Nelen & Schuurmans bedanken voor de mogelijkheid om mijn onderzoek te doen. Daarnaast wil ik graag mijn begeleiders bedanken voor de begeleiding bij het onderzoek.

Namens de Universiteit Twente:

Dhr. dr. Ir. W. Kranenburg

Namens Nelen & Schuurmans:

Dhr. ir. J. Verbree

Dhr. ir. W. van Esse

En de overige collega's

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
Hoofdstuk 1: Inleiding	6
Hoofdstuk 2: Werking van het 3Di model	8
Hoofdstuk 3: Theorie van de grondwaterprocessen.	10
Verdamping	10
Infiltratie	12
Verandering van bodemvochtgehalte	13
Percolatie	13
Capillaire opstijging	13
Grondwaterstandsverandering	14
Horizontale grondwaterstroming	15
Hoofdstuk 4: Opzet van de grondwaterprocessen	16
Hoofdstuk 5: Tests	20
Verdamping	21
Infiltratie	24
Bodemvochtgehalte	26
Percolatie	30
Grondwaterstandverandering	32
Grondwaterstroming	33
Hoofdstuk 6: Algemene bevindingen	36
Hoofdstuk 7: Conclusie	37
Hoofdstuk 8: Aanbevelingen voor verder onderzoek	38
Referentielijst	39
Bijlagen	i
Infiltratie	i
Bodemvochtgehalte	ii
Percolatie	vi
Grondwaterstroming	vii
UNSA_SIM	xi
ROOT_SIM	xii

Samenvatting

Het huidige probleem in het 3Di model is dat er alleen overstromingsmodellen gemaakt kunnen worden. Deze modellen zijn gebaseerd op een waterstroom die geen interactie heeft met de bodem. Om de interactie met de bodem te kunnen modelleren is de grondwatermodule ontwikkeld. Met deze module is het ook mogelijk om de modellen uit te breiden, bijvoorbeeld modellen over droogteproblematiek. Het huidige probleem op dit moment, is dat nog niet duidelijk is wat de effecten zijn van de schematisatie van de grondwatermodule.

De grondwaterprocessen bestaan voornamelijk uit processen die verticale uitwisseling van water tot gevolg hebben. Alleen het proces grondwaterstroming zorgt voor een horizontale uitwisseling van het grondwater. De effecten van de schematisatie van deze processen zijn op dit moment nog te afwijkend met de werkelijke situatie. De grondwatermodule kan dus nog niet geïmplementeerd worden. Dit komt voornamelijk vanwege een verkeerde schematisatie in de berekening van het bodemvochtgehalte. Dit houdt in dat er met een veel kleinere onverzadigde zone wordt gerekend dan dat werkelijk aanwezig is. Ook is de schematisatie van de grondwaterstroming nog niet juist. Op dit moment komt de snelheid en het debiet van de grondwaterstroming alleen kwalitatief overeen met de werkelijkheid. Als er een groter verhang is tussen 2 rekencellen, dan wordt de snelheid groter en het debiet ook. Kwalitatief komen de waardes voor de snelheid en het debiet echter niet overeen met de berekende waardes.

Tot op heden zorgen de effecten ervoor dat er te weinig mogelijkheden zijn voor het toepassen van de grondwatermodule.

Hoofdstuk 1: Inleiding

Het onderwerp van dit onderzoek betreft de effecten van de aannames in de schematisatie van het grondwatermodel. Dit grondwatermodel maakt gebruik van de 3Di rekenmethode van Nelen & Schuurmans. De 3Di rekenmethode is een methode om met meer informatie te rekenen dan bestaande modellen, zonder daarbij rekensnelheid te verliezen. Meer uitgebreide informatie over de 3Di rekenmethode volgt in hoofdstuk 2.

Het huidige model kan al overstromingen modelleren die geen interactie hebben met de bodem. Hierbij is sprake van grote hoeveelheden water in korte periodes. Het belang van de implementatie van grondwaterprocessen is ook langere periodes met een aanzienlijk kleinere hoeveelheid water te kunnen modelleren. Voorbeelden hiervan zijn voornamelijk te zoeken in droogtestudies of een vermindering van de bovengrondse waterstromen doordat een gedeelte van het water in de grond terecht kan. Als de grondwaterprocessen gemodelleerd kunnen worden in het 3Di model dan is het mogelijk voor het 3Di consortium om een nieuwe en een bredere groep klanten te kunnen bedienen.

Het huidige probleem bij Nelen & Schuurmans is dat het niet zeker is wat de effecten zijn van de schematisatie van de grondwatermodule in het bestaande 3Di model. Als gevolg kunnen de grondwaterprocessen nog niet geïmplementeerd worden. De opzet voor de werking van de grondwaterprocessen is bedacht door Nelen & Schuurmans en is verwerkt tot een modelcode door Deltares. Het is echter niet duidelijk in welke mate de modelcode overeenkomt met de opzet van Nelen & Schuurmans. Daarnaast is niet duidelijk of er bugs in de code zitten.

Het onderzoeksdoel is om de effecten van de schematisatie van de grondwaterprocessen in kaart te brengen. Met de onderzoeksresultaten kan in kaart worden gebracht of de grondwatermodule gereed is voor implementatie.

De onderzoeksvraag luidt:

Wat zijn de effecten van de aannames in de schematisatie van de grondwaterprocessen in het 3Di model.

Met de volgende deelvragen:

Welke grondwater processen zijn er?

Hoe zien de grondwaterprocessen er uit?

Wat is de opzet voor de schematisatie van de grondwaterprocessen?

Welke aannames zitten er in de schematisatie?

De methode is als volgt:

Per proces wordt onderzocht hoe de grondwaterprocessen gemodelleerd zijn in de modelcode, deze informatie kan worden meegenomen in het onderzoek van de processen die hier op volgen.

Het onderzoek is afgebakend tot uniforme waardes binnen een rekencel. Er worden 1 of 2 rekencellen gebruikt bij het onderzoek. De uitleg over deze rekencellen volgt in hoofdstuk 2.

Er is enkel gekeken naar de grondwaterprocessen en niet naar de interactie met de omgeving. Er wordt bijvoorbeeld niet gekeken naar de interactie met kanalen. Er is bewust geen onderzoek gedaan naar Neerslag of interceptie, omdat dit geen grondwaterprocessen zijn.

Gezien capillaire opstijging maar een kleine kwalitatieve bijdrage levert is er wegens tijdgebrek voor gekozen dit niet kwantitatief te onderzoeken. Dit vanwege het feit dat de al bekende fouten een veel grotere invloed hebben op de uitkomst dan de kleine bijdrage van de capillaire opstijging. Ter vergelijking is capillaire opstijging in orde grootte een factor 1000 kleiner dan de geteste infiltratie.

Opzet van het rapport

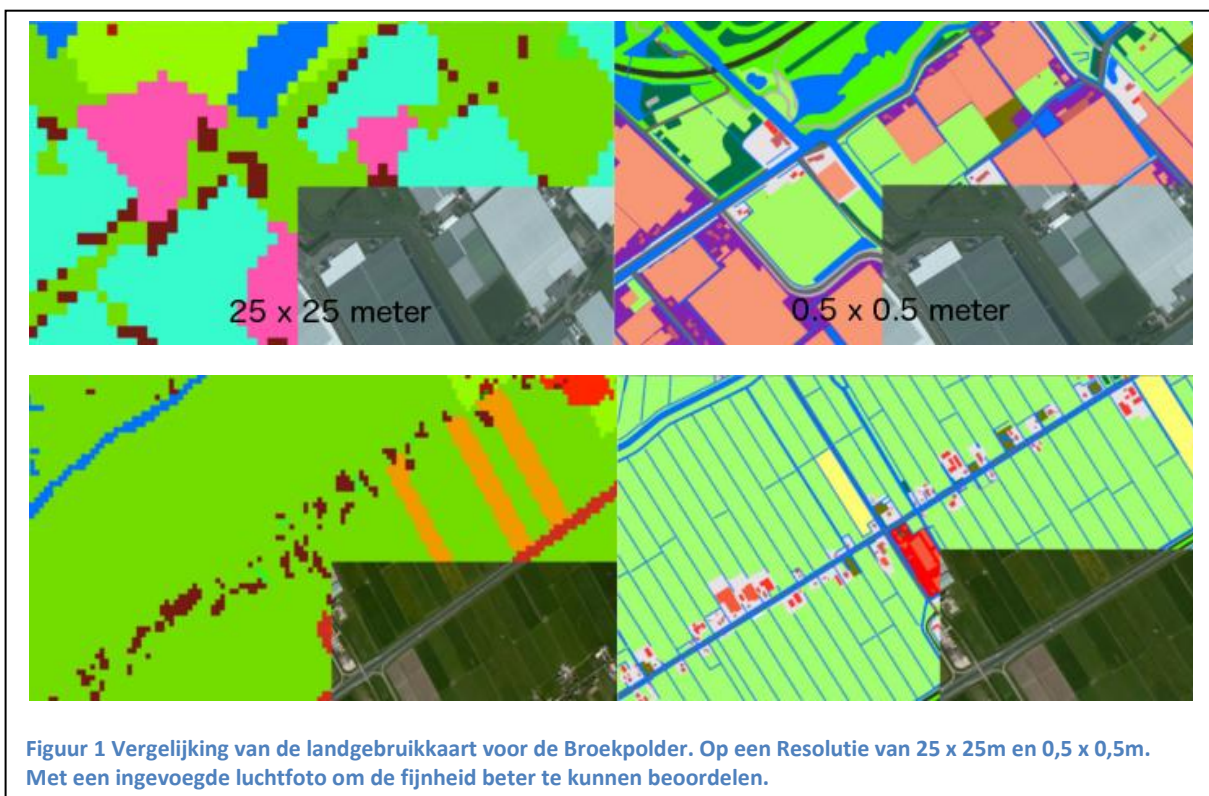
In het tweede hoofdstuk zal beschreven worden hoe het 3Di model rekent. In het 3^e hoofdstuk wordt de theorie van de grondwaterprocessen uitgelegd, waarna de schematisatie hiervan in het model beschreven wordt in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de uitgevoerde tests beschreven. Ook worden de bevindingen per test weergegeven en wordt er een terugkoppeling gemaakt met de opzet van de schematisatie. In hoofdstuk 6 staan de algemene bevindingen. Hierna wordt een algemene conclusie gegeven in hoofdstuk 7. Vervolgens wordt uitgezet welke toepassingen er mogelijk zijn. Tot slot worden aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan in hoofdstuk 8.

Hoofdstuk 2:

Werking van het 3Di model

Huidige overstromingsmodellen rekenen met minder gegevens dan het 3Di model. Berekeningen kosten ongeveer een middag aan rekenwerk van de computer. Het 3Di model is uniek omdat met meer gegevens nog sneller gerekend kan worden dan deze bestaande modellen. Het voordeel hiervan is dat berekeningen nauwkeuriger zijn. Gecombineerd met de snelheid kan real-time en interactief met de klant aan tafel gerekend worden, daar waar met bestaande modellen de wensen van de klant pas na een middag doorgerekend kunnen worden. Het bestaande model wordt gebruikt om bovengrondse stromingen te berekenen, ook wel de “overlandflow”.

3Di is een rekenmethode dat ontwikkeld is om te voldoen aan de behoefte van veel informatie en detailniveau. Het 3Di model kan veel ruimtelijke informatie meenemen in zijn berekeningen en geeft hierdoor een gedetailleerd beeld. Met het model kan een detailniveau van 0.5m bij 0.5 meter bereikt worden, daar waar huidige modellen een detailniveau van 25m bij 25m hebben. Dit is te zien in Figuur 1 waar voor 2 gebieden een vergelijking is gemaakt tussen de detailniveaus. Door een slimme rekenmethode gaat er geen rekensnelheid verloren als gevolg van het detailniveau. Deze methode houdt in dat rekenkracht toegepast wordt daar waar dit nodig is. Dit vertaalt zich in grote rekencellen op gebieden waar weinig variatie is in ruimtelijke informatie en kleine rekencellen op gebieden waar veel variatie is.



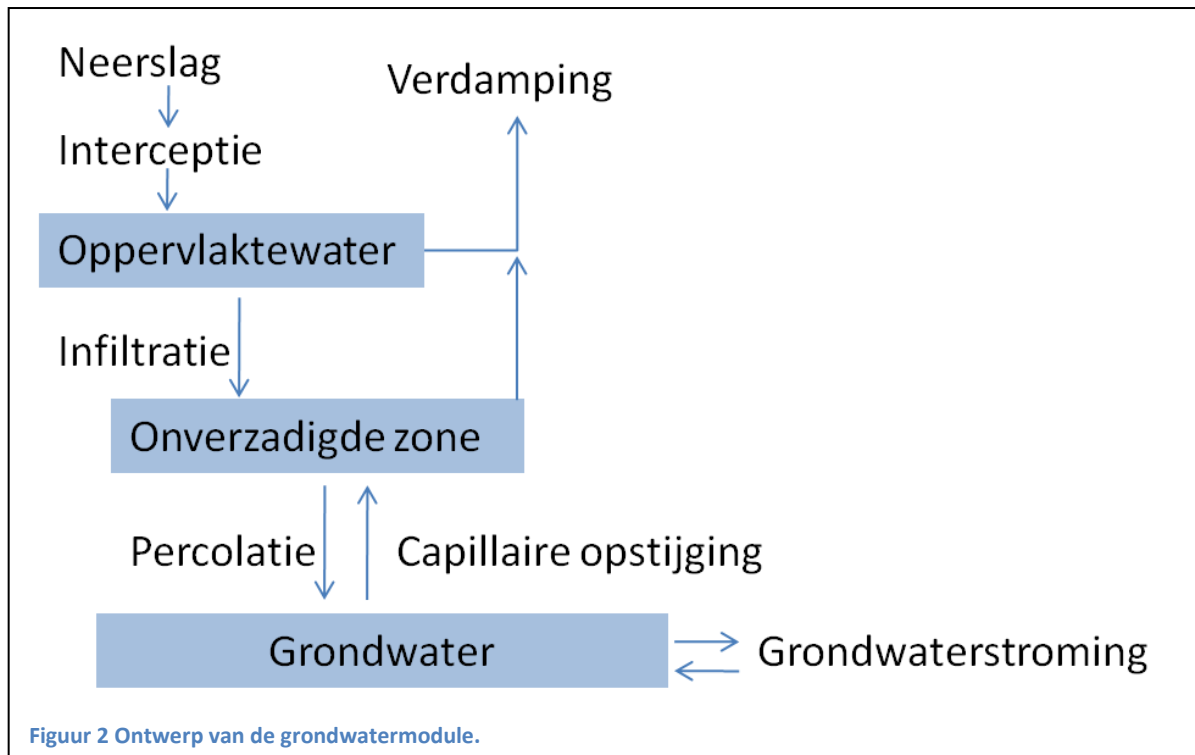
De basis van variatie voor de verdeling van de rekencelgrootte is vrij te kiezen. Voor afstromingsberekeningen boven maaiveld is het logisch om als basis te kiezen voor de variatie in hoogteligging, ook wel de “Bathymetry”. Voor grondwaterberekeningen valt de denken aan variatie in infiltratiecapaciteit, gewastype of grondsoort.

In de rekencellen bevinden zich meerdere informatiepunten, hoe groter de rekencel, hoe meer informatiepunten zich hierin bevinden. Ondanks dat er berekeningen worden uitgevoerd op rekencel niveau, worden de gegevens van de informatiepunten niet vergeten. De berekende waterstand bij afstromingsberekeningen over maaiveld bijvoorbeeld, wordt na de rekenstap weer teruggelegd op de hoogtekaart, waardoor per informatiepunt een waterdiepte getoond kan worden.

De schematisaties van het grondwatermodel zijn gebaseerd op de CAPSIM methode. Deze methode wordt ook gebruikt in het bestaande SOBEK model.

Hoofdstuk 3:

Theorie van de grondwaterprocessen.



In dit hoofdstuk zal de beschrijving van de grondwaterprocessen worden gegeven. Het ontwerp van de grondwatermodule is weergegeven in Figuur 2, hierin is te zien dat er voornamelijk verticale grondwaterprocessen zijn. Deze verticale processen spelen zich af binnen één reken kern. Het horizontale grondwaterproces “Grondwaterstroming” zorgt voor de interactie tussen twee rekencellen.

Er is onderzoek gedaan naar de volgende processen:

- Verdamping
- Infiltratie
- Verandering van bodemvochtgehalte
- Percolatie
- Grondwaterstandsverandering
- Horizontale grondwaterstroming

Hieronder volgt de uitleg van de processen en de verwerking hiervan in 3Di.

Verdamping

Verdamping is het proces waarin oppervlakte- of grondwater verdwijnt naar de lucht in de atmosfeer. Verdamping wordt beïnvloed door meerdere factoren. Deze factoren zijn:

Referentie verdampingswaarde, open water factor, gewastype en het bodemvochtgehalte.

Verdamping is het proces dat ten op zichte van de andere processen de meeste rekenstappen nodig heeft. Dit omdat meer factoren worden meegenomen voordat de werkelijke verdamping berekend is.

Er kan op 2 manieren verdamping plaatsvinden, namelijk: Verdamping van oppervlaktewater en verdamping van water uit de onverzadigde zone in de bodem. Beide waardes worden berekend op een andere manier. Verdamping van oppervlakte water rekent met een open water verdampingsfactor en verdamping vanuit de onverzadigde rekent met het bodemvochtgehalte en het gewastype, ook wel "Croptype". Verdamping van grondwater is dus niet het verdwijnen van grondwater maar een afname van het bodemvochtgehalte. Dit bodemvochtgehalte kan vervolgens eventueel weer aangevuld worden.

Als basis voor beide manieren wordt een referentie verdampingswaarde "Eref" uit een tabel gehaald. Deze tabel bevat per dag voor een bepaald jaar referentie verdampingsgegevens.

"In Nederland wordt voor Eref gebruik gemaakt van de formule van Makkink. Terwijl internationaal de formule van Penman-Monteith wordt gebruikt. Dit is geen probleem beide zijn Eref en wijken vooral op dagen met veel verdamping iets van elkaar af (Penman Monteith iets meer). Dit wordt door de Penman-supporters als argument gebruikt om Makkink af te schrijven. Maar het verschil in verdamping op die warme dagen komt echter gedempt door, als gevolg van een tekort aan bodemvocht." (Memo onverzadigd 3Di.pdf, Olivier Hoes)

Voor oppervlaktewater wordt de Eref vermenigvuldigt met de open water factor, die ook uit een tabel gehaald wordt met gegevens per dag voor een jaar lang. Hier komt dan de potentiële verdamping "Epot" uit. Voor verdamping van de onverzadigde zone wordt gerekend met het bodemvochtgehalte en de croptype. Aan de hand van de croptype wordt uit een tabel een factor gehaald die vermenigvuldigd wordt met de Eref om zo tot de potentiële verdamping "Epot" te komen. Aan de hand van het bodemvochtgehalte wordt een reductiewaarde "alpha" bepaald. Deze alpha heeft een waarde tussen 0 (volledige reductie) en 1 (geen reductie) en wordt vermenigvuldigd met Epot om zo tot de actuele verdamping te komen.

De waarde die alpha krijgt is afhankelijk van een bepaalde boven en ondergrens van het bodemvochtgehalte. Om dit te begrijpen worden eerst de begrippen "Wilting Point" en "Equilibrium" uitgelegd.

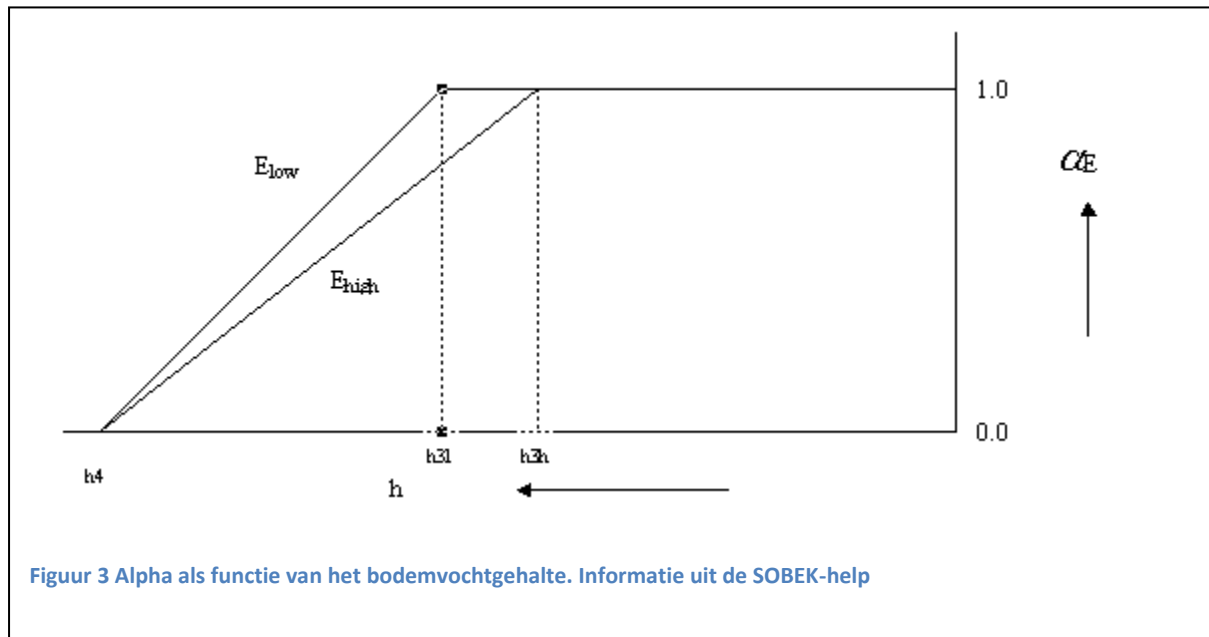
Als het bodemvochtgehalte op Wilting Point is dan is de bodem zo droog, dat er verwelking van planten ontstaat. Dit punt is de waarde van het bodemvochtgehalte waarbij geen verdamping plaatsvindt en waarvoor alpha de waarde 0 krijgt.

Het Equilibrium is de evengewichtswaarde van het bodemvochtgehalte waarvoor de aanwezige hoeveelheid vocht tegen de zwaartekracht in kan worden vastgehouden in de onverzadigde zone, al het overtollige water zal niet vastgehouden kunnen worden en zal doorsijpelen naar het grondwater.

De Waarde 1 voor alpha is een bepaalde fractie van het Equilibrium bodemvochtgehalte. Deze fractie is weer afhankelijk van de waarde van de potentiële verdamping, de grondsoort en het gewastype. De bovengrens van het bodemvochtgehalte waarvoor alpha de waarde 1 krijgt, wordt in het model meegenomen als h3 welke afhankelijk van de potentiële verdamping, de waarde "h3l" of "h3h" of een waarde hiertussen krijgt. De ondergrens

waarvoor alpha de waarde 0 krijgt wordt in het model meegenomen als h4. Als het bodemvochtgehalte zich tussen h4 en h3 bevindt dan wordt lineair geïnterpoleerd voor alpha. Overigens krijgt alpha altijd de waarde 1 als er verdamping van oppervlaktewater plaatsvindt.

De waarde voor h3 of h4 zegt wat over het werkelijk aanwezige bodemvochtgehalte. De waarde voor h3 of h4 is namelijk het equilibrium bodemvochtgehalte gedeeld door het werkelijke bodemvochtgehalte. Als h4 de waarde 0,5 heeft, dan houdt dit in dat het Wilting Point 50% van het equilibrium bodemvochtgehalte is. De relatie tussen alpha en het bodemvochtgehalte is weergegeven in Figuur 3



Achtereenvolgens wordt de actuele verdamping dus als volgt bepaald:

$E_{pot} = E_{ref} \cdot \text{Cropfactor} / \text{Open water factor}$.

$E_{act} = E_{pot} \cdot \text{Alpha}$

Verdamping kan in het model aan en uitgezet worden. Dit om eventueel rekenkracht te besparen als de verdampingswaarde geen significante bijdrage levert. Dit heeft bij het testen als voordeel dat processen beter geïsoleerd kunnen worden.

Infiltratie

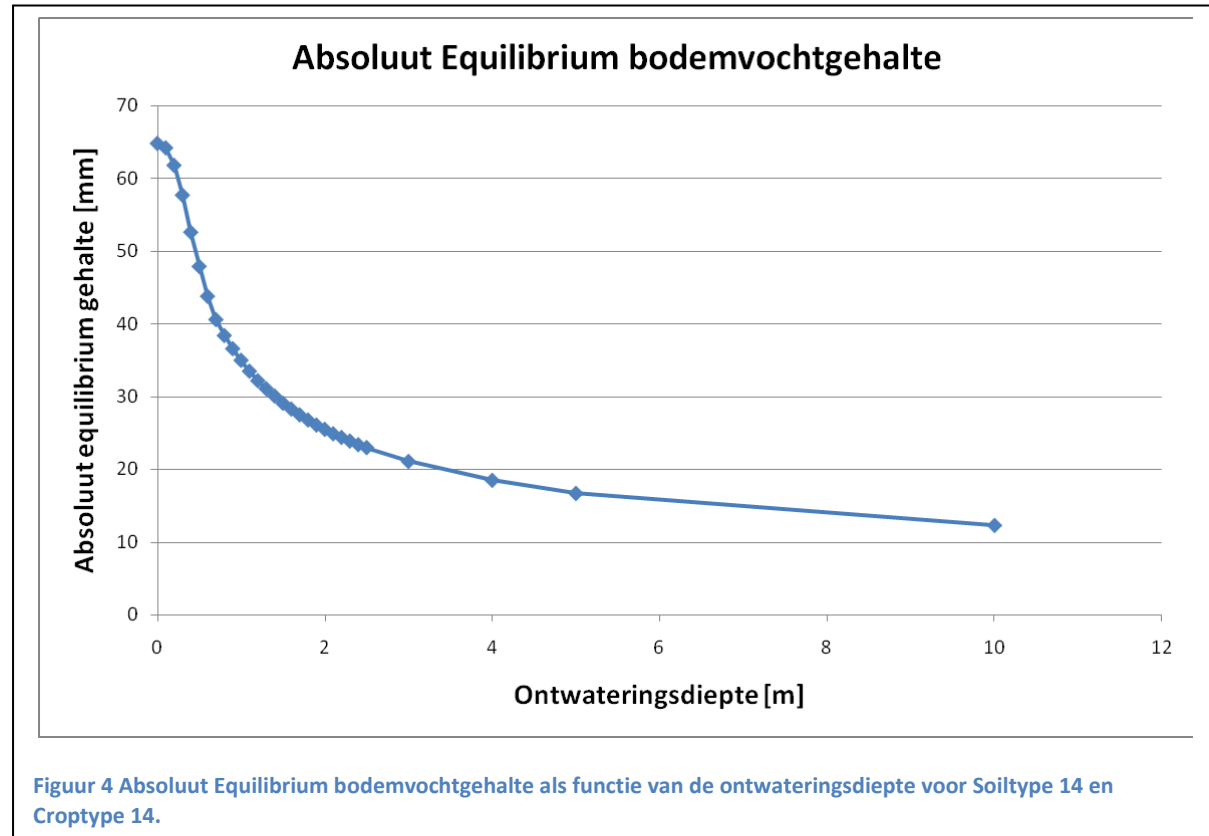
Infiltratie is het proces waarin water van het oppervlaktewater naar de onverzadigde zone in de bodem stroomt. Dit proces is afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid oppervlaktewater, de maximale infiltratiecapaciteit en het grondwaterniveau.

De beschikbare hoeveelheid oppervlakte water wordt berekend door de verdamping van oppervlaktewater af te trekken van de aanwezige hoeveelheid oppervlaktewater.

Er kan een maximale infiltratiecapaciteit worden opgegeven, als in een tijdstap de maximale infiltratie niet behaald wordt dan kan dus het volledige beschikbare volume op maaiveld de grond in infiltreren. Hier moet wel genoeg ruimte voor aanwezig zijn in de grond. Deze ruimte wordt bepaald door het grondwaterniveau. Als het grondwaterniveau op maaiveld staat, dan kan er geen water infiltreren. Als door de infiltratie het grondwaterniveau op maaiveld komt te liggen dan komt de infiltratie geremd voor.

Verandering van bodemvochtgehalte

De verandering van het bodemvochtgehalte is een proces waarin het vochtgehalte van de onverzadigde zone verandert. Dit proces is het gevolg van de infiltratie, verdamping, percolatie en capillaire opstijging. Het bodemvochtgehalte streeft naar het eerder genoemde equilibrium gehalte door de toevoeging van water. Dit water kan toegevoegd worden via infiltratie en capillaire opstijging. Als er meer vocht aanwezig is dan het



evenwichtsgehalte, dan sijpelt dit door naar het grondwater. Het equilibrium bodemvochtgehalte is afhankelijk van de ontwateringsdiepte (afstand van maaiveld tot grondwater), dit is te zien in Figuur 4.

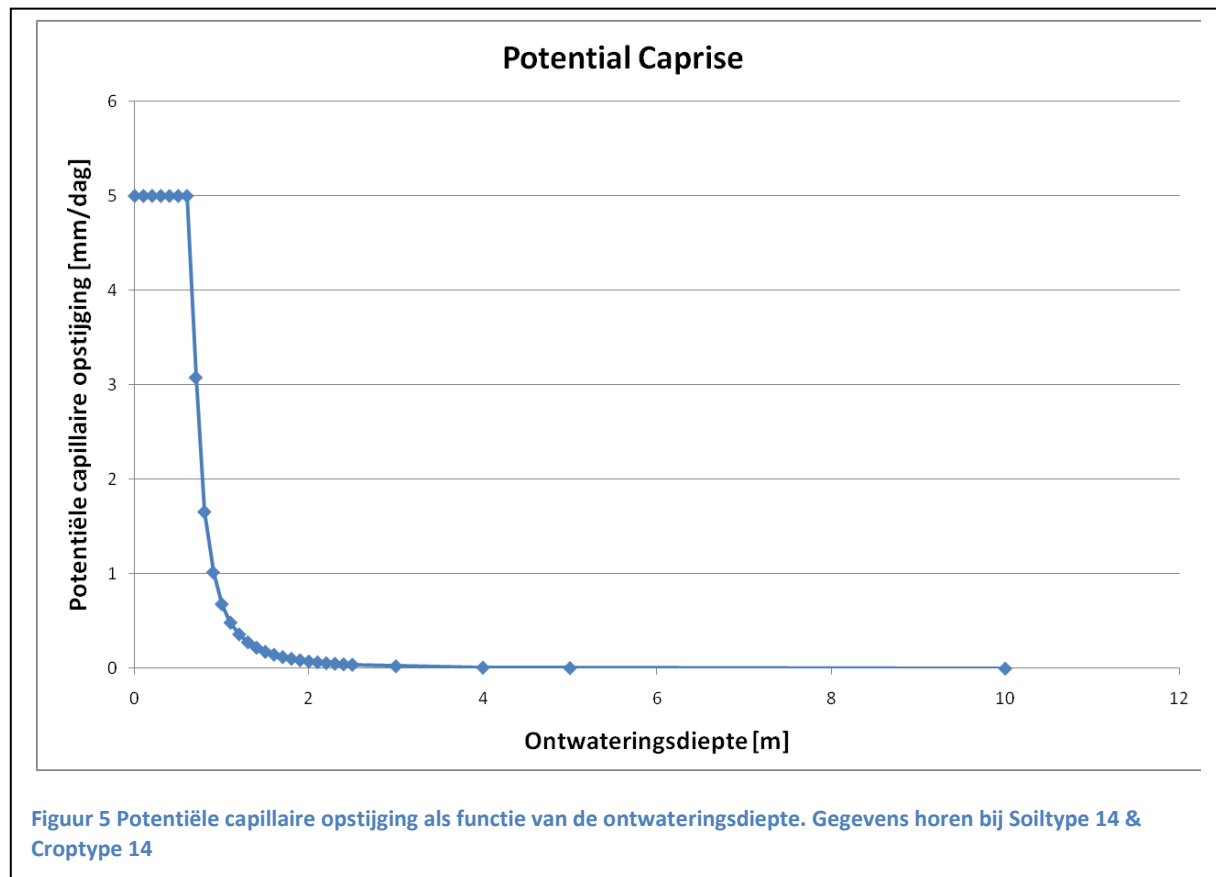
Percolatie

Percolatie is het proces waarin water van de onverzadigde zone doorsijpelt naar het grondwater. Dit proces is afhankelijk van het bodemvochtgehalte. Percolatie treedt alleen op als het bodemvochtgehalte boven het equilibrium gehalte uitkomt. Het overschot in de onverzadigde zone wordt gepercoleerd naar het grondwater.

Capillaire opstijging

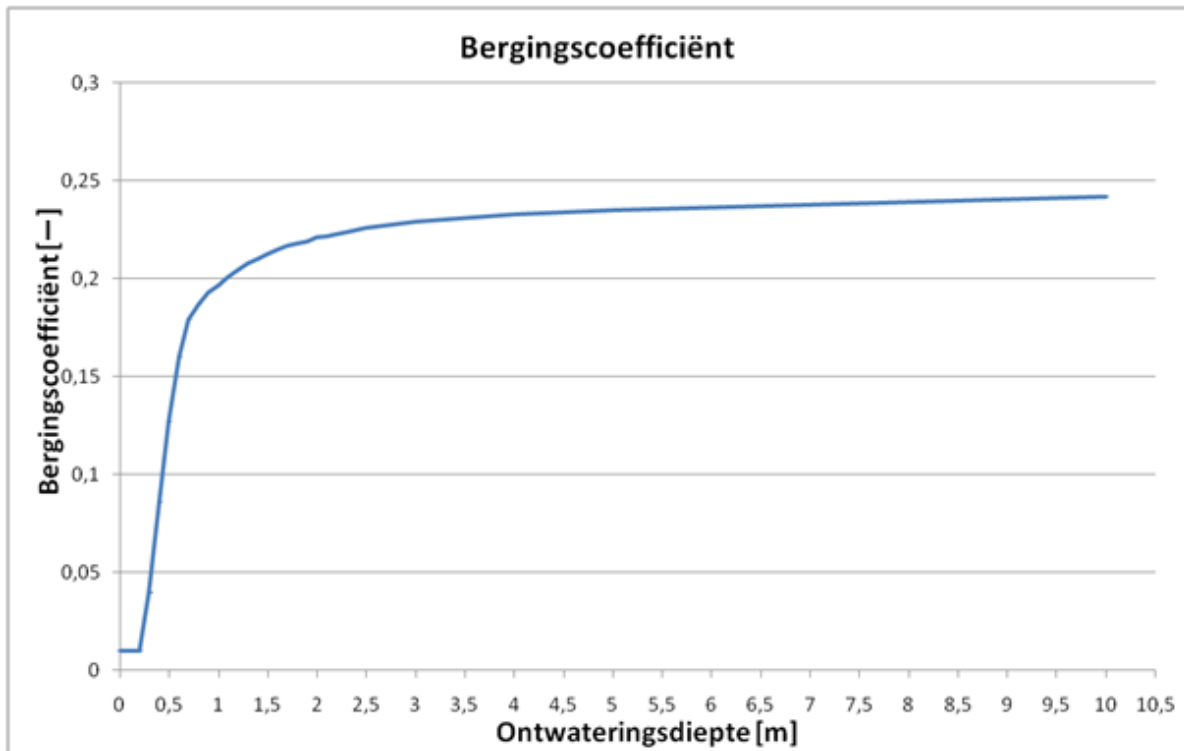
Capillaire opstijging is het proces waarin water zich verplaatst vanuit het grondwater naar de onverzadigde zone. Dit is dus het omgekeerde van percolatie. Poriën en openingen tussen de bodemdeeltjes zuigen het water omhoog. Bij fijnere grondsoorten zijn de openingen tussen de bodemdeeltjes erg klein en kan het water hoger stijgen dan bij grovere grondsoorten (Ecopedia). Capillaire opstijging treedt op als het bodemvochtgehalte zich onder de eerder genoemde h_3 grens bevindt, en komt geremd voor tussen h_3 en h_4 . De

waarde van de capillaire opstijging is afhankelijk van de grondsoort, het gewastype en de ontwateringsdiepte. Dit is te zien in Figuur 5



Grondwaterstandsverandering

Grondwaterstandsverandering is het proces waarin de grondwaterstand verandert. Dit proces is het gevolg van de processen percolatie, capillaire opstijging en grondwaterstroming. De verandering van het grondwaterniveau is afhankelijk van de bergingscoëfficiënt. Het grondwaterniveau verandert omdat water naar het grondwater stroomt door percolatie of grondwaterstroming, of omdat er water verdwijnt door capillaire opstijging, waardoor water terecht komt in de onverzadigde zone, of door grondwaterstroming. Voor de grondwaterstandsverandering moet de hoeveelheid water die in- of uitstroomt gedeeld worden door een bergingscoëfficiënt. Deze bergingscoëfficiënt is afhankelijk van de ontwateringsdiepte, grondsoort en het gewastype. De relatie tussen de ontwateringsdiepte en de bergingscoëfficiënt is weergegeven in Figuur 6. In de figuur is te zien dat bij een geringe ontwateringsdiepte een lage bergingscoëfficiënt hoort. Dit houdt in dat in dat geval de grondwaterstandsverandering groter is dan bij een grotere ontwateringsdiepte.



Figuur 6 Bergingscoëfficiënt als functie van de ontwateringsdiepte voor Soiltype 14 & Croptype 14

Horizontale grondwaterstroming

Horizontale grondwaterstroming is het proces waarbij water zich verplaatst van een hogere grondwaterstand naar een lagere grondwaterstand. De snelheid van de grondwaterstroming is af te leiden uit de wet van Darcy:

$$Q = -k * A * i$$

Met de volgende parameters:

Q= Debiet [m^3/s]

k= Doorlatendheidscoëfficiënt [m/s]

A= Doorstroomoppervlakte [m^2]

i= Verhang [-]

De doorlatendheidscoëfficiënt is een parameter die op dit moment een uniforme waarde voor het hele model. Deze waarde is nu vrij te kiezen. Het verhang is afhankelijk van de grondwaterstandverschillen in aanliggende rekencellen.

Als het doorstroomoppervlak wordt weggelaten in de formule dan is de snelheid te berekenen. Zoals te zien is, is deze snelheid afhankelijk van het verhang en de doorlatendheidscoëfficiënt. Aan de hand van het te berekenen debiet is de grondwaterstandsverandering te bepalen met gebruik van de eerder genoemde Bergingscoëfficiënt.

Hoofdstuk 4:

Opzet van de grondwaterprocessen

In dit hoofdstuk wordt de opzet van Nelen & Schuurmans voor de implementatie van de grondwatermodule weergegeven.

Om deze schematisatie beter te begrijpen wordt eerst een list of symbols gegeven.

In deze list of symbols worden alleen de dimensies gegeven van de parameters, omdat eenheden van parameters in het model vaak omgeschreven worden naar een grotere of kleinere eenheid.

P	=	neerslag. [l/t]
E_{pot}	=	potentiële verdamping. [l/t]
E_{ref}	=	Referentie verdamping. [l/t]
F_{crop}	=	Gewasfactor. [-]
$h3$	=	Bovengrens voor waarde van het bodemvochtgehalte waarvoor α de waarde 1 krijgt. [-]
$h3l$	=	Waarde voor $h3$ als de potentiële verdamping minder dan 1mm/dag is. [-]
$h3h$	=	Waarde voor $h3$ als de potentiële verdamping meer dan 5mm/dag is. [-]
$h4$	=	Ondergrens voor waarde van het bodemvochtgehalte waarvoor α de waarde 0 krijgt. [-]
α	=	Reductiewaarde voor verdamping uit onverzadigde zone, waarde tussen 0 en 1, respectievelijk volledige reductie en geen reductie. [-]
E_{act}	=	Actuele verdampingswaarde. [l/t]
h	=	Dikte van oppervlaktewaterschijf. [l]
Δt	=	Grootte van de tijdstap. [t]
$h_{interceptie,max}$	=	Maximale interceptielaag. [l]
$q_{inf,max}$	=	Maximale infiltratiecapaciteit. [l/t]
q_{inf}	=	Infiltratie. [l/t]
V	=	Werkelijk bodemvochtgehalte. [l]
V_{eq}	=	Evenwicht bodemvochtgehalte. [l]
d	=	Ontwateringsdiepte. [l]
q_{cap}	=	Capillaire opstijging. [l]
$q_{percolatie}$	=	Percolatie. [l]
V_{h3}	=	Fractie van evenwicht bodemvochtgehalte. [-]
q_{gw}	=	Hoeveelheid water waarmee grondwaterstandverandering berekend wordt. [l]
μ	=	Bergingscoëfficiënt. [-]
h_{gw}	=	Grondwaterstand. [l]

P =neerslag

$$E_{pot} = E_{ref} * F_{crop}$$

als $E_{pot} < 1 \text{ mm/dag}$

dan $h3 = h3l$

als $E_{pot} > 5 \text{ mm/dag}$

dan $h3 = h3h$

als $1 \text{ mm/dag} \leq E_{\text{pot}} \leq 5 \text{ mm/dag}$
dan lineair interpoleren

als $0.0 < \frac{V}{V_{eq}} < h_4 \rightarrow \alpha = 0$ Te droge wortelzone, actuele verdamping is nul
als $h_4 < \frac{V}{V_{eq}} < h_3 \rightarrow 0 < \alpha < 1$ Lineair interpoleren, reductie van de verdamping
als $\frac{V}{V_{eq}} > h_3 \rightarrow \alpha = 1$ Natte wortelzone, potentiële is actuele verdamping.

$$E_{act} = \alpha * E_{pot}$$

Samenvoegen neerslag en verdamping

$$PE = P - E_{act}$$

Uitwerking interceptie

als $h + \Delta t * PE < h_{interceptie, max}$
dan

$$als h + \Delta t * PE < 0$$

$$dan h = 0$$

$$anders h = h + \Delta t * PE$$

anders

$$als h + \Delta t * PE > h_{interceptie, max} + \Delta t * q_{inf, max}$$

$$dan h = h + \Delta t * (PE - q_{inf, max})$$

$$anders h = h_{interceptie, max}$$

Uitwerking infiltratie

$$als q_{inf, max} = 0$$

$$dan q_{inf} = 0$$

anders

$$als h + \Delta t * PE < h_{interceptie, max}$$

$$dan q_{inf} = PE + h/\Delta t$$

$$anders q_{inf} = 0$$

anders

$$als h + \Delta t * PE > h_{interceptie, max} + \Delta t * q_{inf, max}$$

$$dan q_{inf} = q_{inf, max}$$

$$anders q_{inf} = PE - (h_{interceptie, max} - h)/\Delta t$$

Bodemvochtgehalte

De waarde voor het equilibrium bodemvochtgehalte wordt uit de tabel gehaald die ook gebruikt is voor de eerder genoemde Figuur 4. Als er geïnterpoleerd moet worden tussen 2 waarden uit de tabel dan ziet dit er als volgt uit

$$V_{eq} = V_{eq, low} + (V_{eq, up} - V_{eq, low}) * \frac{d - d_{low}}{d_{up} - d_{low}}$$

Waarin:

$V_{eq, low}$ = de tabelwaarde behorende bij de eerste kleinere ontwateringsdiepte uit de tabel.

$V_{eq, up}$ = de tabelwaarde behorende bij eerste grotere ontwateringsdiepte uit de tabel.

d = ontwateringsdiepte in de cel op dat moment

d_{low} = de tabelwaarde behorende bij de eerste kleinere ontwateringsdiepte uit de tabel.

d_{up} = de tabelwaarde behorende bij eerste grotere ontwateringsdiepte uit de tabel.

Ditzelfde geldt voor het bepalen van de potentiële capillaire opstijging

$$q_{cap} = q_{cap,low} + (q_{cap,up} - q_{cap,low}) * \frac{d-d_{low}}{d_{up}-d_{low}}$$

Als gevolg van infiltratie, percolatie en capillaire opstijging kan het bodemvochtgehalte veranderen. Dit wordt op de volgende manier meegenomen

$$als V = q_{inf} * \Delta t > V_{eq}$$

$$dan q_{percolatie} = q_{inf} - (V_{eq} - V) / \Delta t$$

$$V = V_{eq}$$

anders

$$als V + q_{inf} * \Delta t < V_{h3}$$

$$dan V = V + q_{inf} * \Delta t + q_{cap} * \Delta t$$

$$anders V = V + q_{inf} * \Delta t + q_{cap} * \frac{V_{eq} - (V + q_{inf} * \Delta t)}{V_{eq} - V_{h3}} * \Delta t$$

Grondwaterstandverandering

De laatste stap voor de verticale grondwaterprocessen is het berekenen van de grondwaterstandverandering. Deze berekening is gebaseerd op de flux die gebaseerd is op de percolatie of de capillaire opstijging.

$$q_{gw} = q_{percolatie}$$

Bij percolatie

$$q_{gw} = -q_{cap}$$

Capillaire opstijging als bodemvochtgehalte minder is dan h_3

$$q_{gw} = -q_{cap} * \frac{V_{eq} - (V + q_{inf} * \Delta t)}{V_{eq} - V_{h3}}$$

Geremde capillaire opstijging bij bodemvochtgehalte tussen h_3 en equilibrium.

Nu de flux bekend is kan de werkelijke grondwaterstandverandering met behulp van de bergingscoëfficiënt (μ) berekend worden. Eerst moet echter de bergingscoëfficiënt bepaald worden op eenzelfde manier als V_{eq} en q_{cap} .

$$\mu = \mu_{low} + (\mu_{up} - \mu_{low}) * \frac{d-d_{low}}{d_{up}-d_{low}}$$

Nu kan de nieuwe grondwaterstand berekend worden

$$h_{gw} = h_{gw} + \frac{q_{gw} * \Delta t}{\mu}$$

Als laatste wordt de nieuwe ontwateringsdiepte berekend

$$d = \text{maaiveldhoogte} - h_{gw}$$

Horizontale grondwaterstroming

De horizontale grondwaterstroming wordt berekend aan de hand van de Wet van Darcy. De parameters die hierin worden meegenomen zijn de doorlatendheidscoëfficiënt, het verhang en het doorstroomoppervlak.

Het doorstroomoppervlak (A) wordt berekend aan de hand van het gemiddelde van de grondwaterschijfdikte van beide rekencellen.

$$A = \Delta y * \left(\frac{h_{gw;i,j} + h_{gw;i,j+1}}{2} - \frac{b_{i,j} + b_{i,j+1}}{2} \right)$$

Waarin:

$\Delta y =$	Breedte van de rekencel waar het water doorheen stroomt.
$h_{gw;i,j} =$	Grondwaterstand in de cel waarvandaan gerekend wordt.
$h_{gw;i,j+1} =$	Grondwaterstand in de aanliggende cel
$b_{i,j} =$	Onderkant van de grondwaterkolom in de cel waarvandaan gerekend wordt.
$b_{i,j+1} =$	Onderkant van de grondwaterkolom in aanliggende cel

Het verhang wordt als volgt berekend.

$$i = \frac{h_{gw;i,j} - h_{gw;i,j+1}}{\Delta x}$$

Waarin Δx de lengte van de rekencel is.

Nu wordt de flux van de horizontale grondwaterstroming naar de aanliggende cel berekend.

$$q_{hgw;i,j+1} = -k * i * A$$

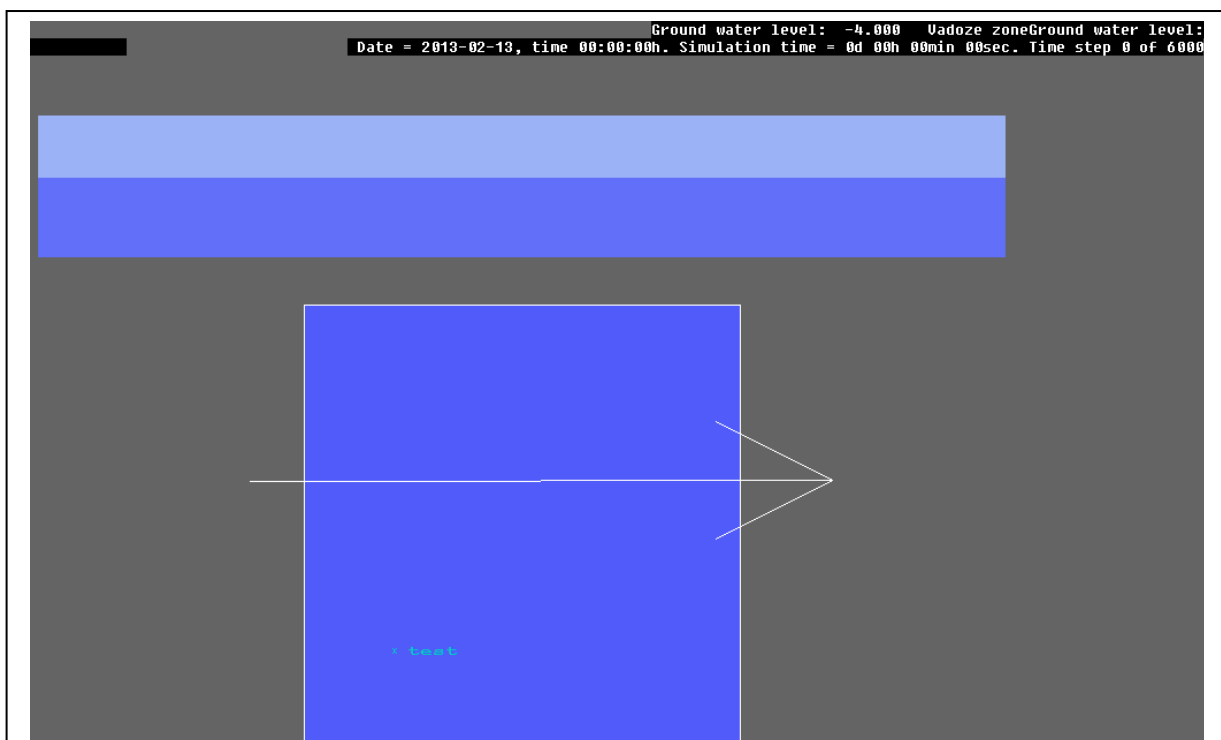
Waarin $q_{hgw;i,j+1}$ de flux naar de aanliggende cel is.

Hoofdstuk 5:

Tests

Om de implementatie van de opzet voor de grondwaterprocessen te testen zijn de tests uitgevoerd die in dit hoofdstuk worden beschreven. Voor goede tests is een sterke vereenvoudiging benodigd, dit omdat zo de grondwaterprocessen individueel getest kunnen worden.

Voor het testen van de processen zijn 2 cases aangemaakt. De case in Figuur 7 is gebruikt voor het testen van de processen: Verdamping, infiltratie, bodemvochtgehalteverandering, percolatie en grondwaterstandstijging. De case bestaat uit 1 rekencel met een oppervlakte van $24 \times 24 = 576 \text{ m}^2$. Er zijn 576 informatiepunten aanwezig met elk een oppervlakte van $1 \times 1 = 1 \text{ m}^2$. Per test kan de case worden aangepast met informatie over infiltratiecapaciteit, grondwaterstand, oppervlaktewaterniveau etc. In het onderzoek is telkens eerst gekeken naar de kwalitatieve werking van alle processen. Bij infiltratie wordt bijvoorbeeld gekeken of het oppervlaktewaterniveau daalt en het grondwaterniveau stijgt. Vervolgens wordt gekeken of dit kwantitatief overeenkomt met de waarden uit de tabellen en de ingegeven waarden.



Figuur 7 Overzicht van de testopzet van de eerste case die gebruikt is, bovenaan is een dwarsdoorsnede weergegeven. In dit specifieke geval is er geen oppervlaktewater. Het donkerblauwe in de doorsnede is het grondwater en het lichtblauwe is de onverzadigde zone.

Verdamping

Verdamping van oppervlaktewater

Opzet

Tijdstappen van 60 seconden

In Totaal 6000 tijdstappen

Maaiveld ligt op 0m NAP

Geen infiltratie door maximale infiltratiecapaciteit van 0mm/dag

Initieel oppervlaktewaterniveau van 1m.

Startdatum 9 februari, dit omdat de tijdreeks dan open water factoren bevat die gelijk zijn aan 1 en die niet gelijk zijn aan 1.

Verwachting

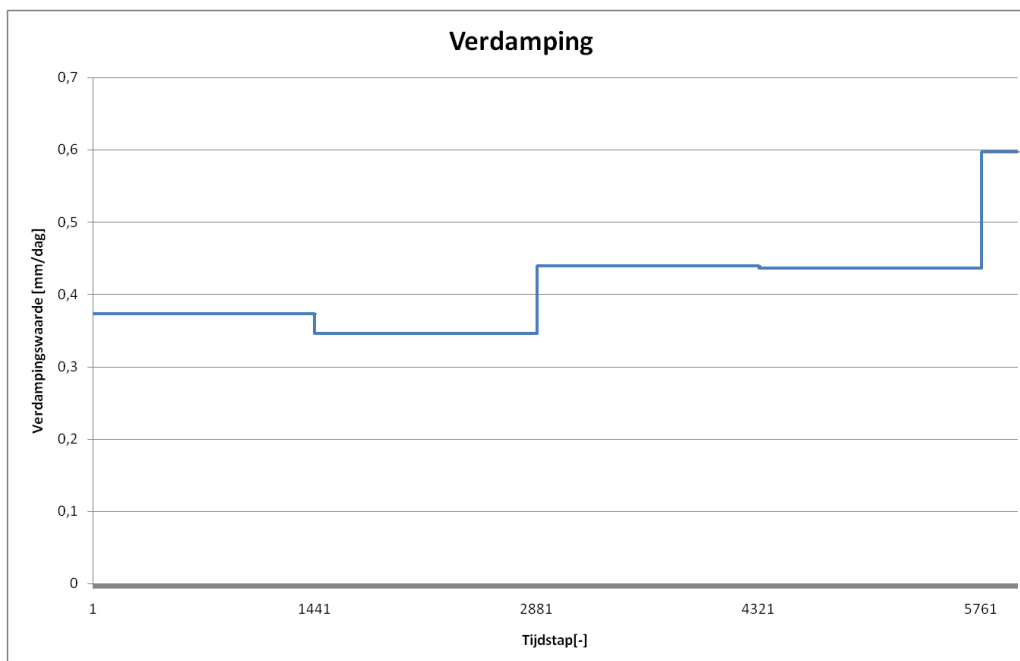
De verwachting is dat het water verdampt met een snelheid gelijk aan de referentie verdamping vermenigvuldigt met de open water factor. Deze referentie verdamping en open water factor verschillen per dag, daarom wordt verwacht dat de snelheid van de verdamping per dag verschilt. De verwachte waardes voor de verdamping Eact zijn weergegeven in Tabel 2.

Maand	Dag	Eref	Crop_OW	Eact	
	2	9	0,467	0,8	0,3736
	2	10	0,433	0,8	0,3464
	2	11	0,44	1	0,44
	2	12	0,437	1	0,437
	2	13	0,597	1	0,597

Tabel 1 verwachte verdampingwaardes

Bevindingen

- De verdamping werkt zoals verwacht, in Figuur 8 zijn de waardes van de verdamping gegeven. Elke dag bestaat uit $86400/40=1440$ tijdstappen. Dit is in de figuur te zien doordat de verdamping elke 1440 tijdstappen veranderd van waarde. De verdampingswaarde is berekend door per tijdstap de oppervlaktewaterdaling in meters te bekijken. Omdat nu de tijd en de daling bekend is, kan de verdamping berekend worden.



Figuur 8 Verloop van de verdamping, gebaseerd op oppervlaktewaterverandering.

Tijdstappen van een dag

De volgende test is uitgevoerd om te kijken hoe het model reageert als tijdstappen van precies een dag worden genomen.

Opzet

Tijdstappen van een dag

Initieel oppervlaktewaterniveau 4m

Start datum op 9 maart

Verwachting

Verwacht wordt dat het oppervlaktewaterniveau elke dag daalt met de waarde die overeenkomt met de waardes uit de tabellen.

Bevindingen

- Verdamping met tijdstappen van een dag slaat waardes uit de tabellen over. Dit is te zien in Tabel 3.

waterlevel	station	verdamping	verdamping					
time		1 mm/dag	mm/dag		Eref	CROP_OW	mm	dd
1		4 werkelijk	verwachte					
2	3,999032	0,9684	0,9684 klopt met begin tijdstap		0,807	1,2	3	9
3	3,997944	1,0881	1,1676 klopt niet, komt overeen met volgende tijdstap		0,973	1,2	3	10
4	3,996855	1,0881	1,0881 klopt met begin tijdstap		0,837	1,3	3	11
5	3,995663	1,1921	1,3 klopt niet, komt overeen met volgende tijdstap		1	1,3	3	12
6	3,994471	1,1921	1,1921 klopt met begin tijdstap		0,917	1,3	3	13
7	3,993314	1,157	1,2701 klopt niet, komt overeen met volgende tijdstap		0,977	1,3	3	14
8	3,992157	1,157	1,157 klopt met begin tijdstap		0,89	1,3	3	15
9	3,990935	1,222	1,274 klopt niet, komt overeen met volgende tijdstap		0,98	1,3	3	16
10	3,989713	1,222	1,222 klopt met begin tijdstap		0,94	1,3	3	17
11	3,988539	1,1739	1,287		0,99	1,3	3	18

Tabel 2 Tabel met verwachte waardes voor de verdamping en de modeluitkomst.

Verdamping vanuit de onverzadigde zone

De verdamping van de onverzadigde zone kan niet onderzocht worden. Dit omdat tijdens het testen bleek dat de verdamping helemaal niet meer werkt. De verdamping van het oppervlaktewater kon getest worden met een oudere versie van het model omdat hier verdamping nog wel werkte. Verdamping vanuit de onverzadigde zone kan echter niet met deze versie getest worden. Dit komt omdat de verdamping vanuit de onverzadigde zone afhankelijk is van de grondsoort en het gewastype. In de oude versie werd een verkeerde grondsoort en gewastype gealloceerd uit de tabellen. Aangezien verdamping van oppervlaktewater niet afhankelijk is van de grondsoort en het gewastype kon dit wel getest worden.

Conclusie

De verdamping van oppervlaktewater werkt zoals verwacht in de oude versie van het model, zolang er geen tijdstappen van een dag worden genomen. Aangezien op dit moment de tijdstappen van de grondwaterprocessen nog gelijk zijn aan de gewenste kleine tijdstappen van de overland flow, levert dit geen problemen op. Over de verdamping vanuit de onverzadigde zone kunnen geen uitspraken worden gedaan. Dit omdat in de laatste versie van het model de verdamping niet werkt.

Infiltratie

Voor het testen van de infiltratie is gekeken naar de daling van het oppervlaktewaterniveau en of deze daling leidt tot een stijging van het grondwaterniveau.

Opzet

Er is een test gemaakt met een maximale infiltratiecapaciteit van 240 mm/dag . Er is een tijdreeks gekozen waarin het grondwater tegen maaiveld komt te staan. Dit is gedaan om te kijken of de infiltratie stopt op dit moment, omdat er geen water meer geborgen kan worden in de bodem.

Verwachting

Verwacht wordt dat het oppervlaktewater infiltreert met een debiet gelijk aan de maximale infiltratiecapaciteit. Op het moment dat het grondwater tegen maaiveld komt te staan dan stopt de infiltratie en de daling van het oppervlaktewaterniveau. Als er minder water op maaiveld staat dat zou kunnen infiltreren dan komt de infiltratiewaarde overeen met de hoeveelheid water die op maaiveld stond.

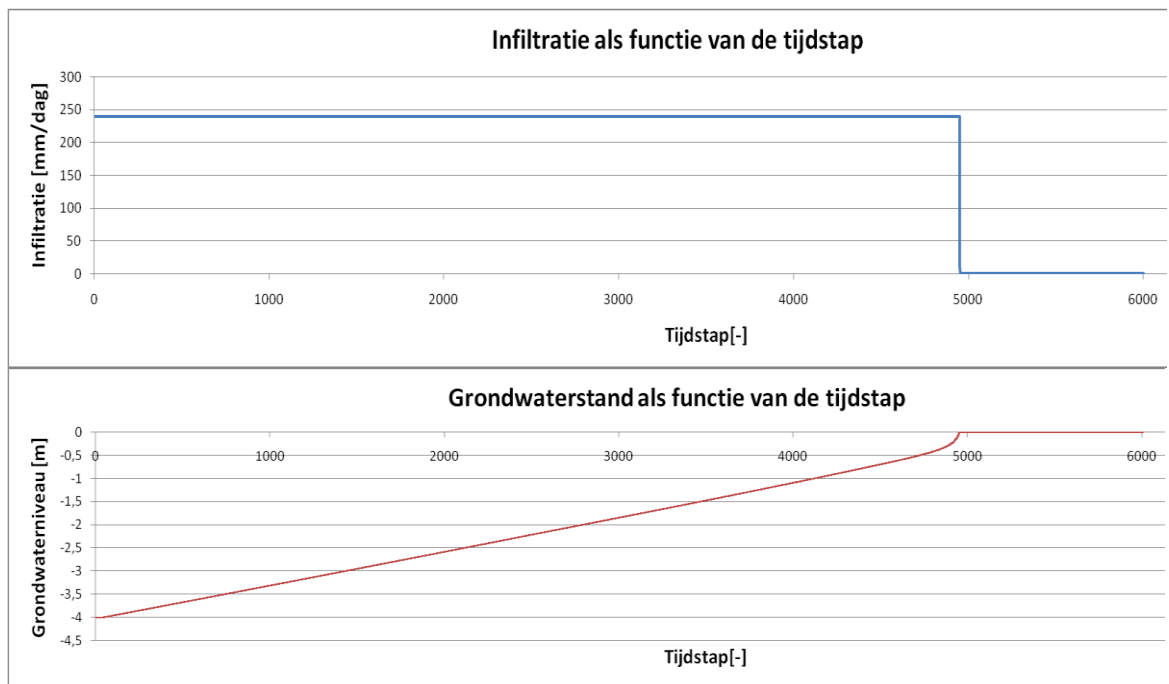
Bevindingen

- De ingestelde maximale infiltratiecapaciteit wordt gehandhaafd. De oppervlaktewaterdaling komt overeen met de geïnfiltreerde hoeveelheid.
- Infiltratie stopt op het moment dat grondwater tegen maaiveld staat.
- Op het moment dat grondwater tegen maaiveld komt te staan, dan infiltreert het overschot niet en blijft dit op maaiveld staan.
- In de tijdstap dat grondwater tegen maaiveld komt te staan infiltreert de hoeveelheid water die nog geborgen kan worden.

Dit is getest aan de hand van de infiltratie die wordt weggeschreven in de uitvoer en aan de hand van de daling van het oppervlaktewater. De bevindingen zijn ook uit te lezen in Figuur 9

Conclusie

Infiltratie werkt zoals verwacht zowel doordat infiltratie stopt op het moment dat het grondwater tegen maaiveld staat als in de hoeveelheid water die infiltreert.



Figuur 9 Grondwaterstand en infiltratie als functie van de tijdstap.

Bodemvochtgehalte

Als eerste wordt getest hoe het bodemvochtgehalte reageert op infiltratie als een equilibrium bodemvochtgehalte wordt ingesteld. Vervolgens wordt gekeken of de waardes overeenkomen met de tabelwaarden.

Startwaarde voor Equilibrium

Opzet

Soiltype 14 en Croptype 14
Bodemvochtgehalte op equilibrium
Initiële ontwateringsdiepte van -4m
Bodemvochtgehalte op equilibrium
Oppervlaktewaterdikte van 4m
Infiltratie staat aan

Verwachting

Verwacht wordt dat het bodemvochtgehalte niet stijgt, omdat deze op equilibrium staat. Verwacht wordt dat het grondwater wel stijgt omdat geen vocht meer kan worden vastgehouden in de onverzadigde zone.

Bevindingen

Het bodemvochtgehalte stijgt wel als er water infiltreert en het grondwater stijgt niet, dit is te zien in Figuur 10. Dit komt niet overeen met de verwachting. Er moet dus meer onderzoek gedaan worden. Het onderzoek wat volgt is hierna beschreven.

Verder onderzoek

Het bodemvochtgehalte "Wvol" in de uitvoer is dimensieloos. Met dit gegeven kan een massabalans opgesteld worden voor de stijging van Wvol en de daling van het oppervlaktewater welke wel een dimensie heeft. Er blijft in de massabalans nog 1 onbekende over en dat is de referentie lengte die gebruikt wordt voor Wvol. Deze referentie lengte is de dikte van de onverzadigde zone waarmee gerekend wordt. Verwacht wordt dat deze waarde 4m is. Dit is namelijk de ontwateringsdiepte. Uit de berekening van de referentie lengte komt $(4-3,994167)/(0,121639-0,0925)=0,2\text{m}$ (zie Figuur 10 voor de genomen waardes). Deze 0,2m is de dikte van de wortel zone en niet van de verwachte onverzadigde zone. Zie Bijlage ROOT_SIM voor de dikte van de wortelzone.

Nu kan ook bepaald worden vanaf welke absolute waarde van het bodemvochtgehalte het grondwater gaat stijgen. Dit komt neer op $\text{Wvol} \times \text{referentie lengte} \times 1000 \rightarrow 0,122 \times 0,2 \times 1000 = 24,4\text{mm}$. Dit komt in de tabel uit Bijlage UNSA_SIM overeen met een ontwateringsdiepte van 2,2m.

De startwaarde van Wvol komt overeen met een absoluut bodemvochtgehalte van $0,0925 \times 0,2 \times 1000 = 18,5\text{mm}$. Dit komt wel overeen met een ontwateringsdiepte van 4m.

waterlevel		Infiltratie	wvol	[-]	[mm]	sg	[m]	percolation	m^3/s	mm/dag
Eenheid	[m]	[mm/dag]								
time			time		absoluut	time		time		
1	4		1	0,0925	18,5	1	-4	1	0	
2	3,99983333	240	2	0,093333	18,66654	2	-4	2	0	0
3	3,99966667	240	3	0,094165	18,83308	3	-4	3	0	0
4	3,9995	240	4	0,094998	18,99962	4	-4	4	0	0
5	3,99933333	240	5	0,095831	19,16615	5	-4	5	0	0
6	3,99916667	240	6	0,096663	19,33268	6	-4	6	0	0
7	3,999	240	7	0,097496	19,49921	7	-4	7	0	0
8	3,99883333	240	8	0,098329	19,66574	8	-4	8	0	0
9	3,99866667	240	9	0,099161	19,83227	9	-4	9	0	0
10	3,9985	240	10	0,099994	19,9988	10	-4	10	0	0
11	3,99833333	240	11	0,100827	20,16532	11	-4	11	0	0
12	3,99816667	240	12	0,101659	20,33184	12	-4	12	0	0
13	3,998	240	13	0,102492	20,49836	13	-4	13	0	0
14	3,99783333	240	14	0,103324	20,66488	14	-4	14	0	0
15	3,99766667	240	15	0,104157	20,8314	15	-4	15	0	0
16	3,9975	240	16	0,10499	20,99791	16	-4	16	0	0
17	3,99733333	240	17	0,105822	21,16443	17	-4	17	0	0
18	3,99716667	240	18	0,106655	21,33094	18	-4	18	0	0
19	3,997	240	19	0,107487	21,49744	19	-4	19	0	0
20	3,99683333	240	20	0,10832	21,66395	20	-4	20	0	0
21	3,99666667	240	21	0,109152	21,83046	21	-4	21	0	0
22	3,9965	240	22	0,109985	21,99696	22	-4	22	0	0
23	3,99633333	240	23	0,110817	22,16346	23	-4	23	0	0
24	3,99616667	240	24	0,11165	22,32996	24	-4	24	0	0
25	3,996	240	25	0,112482	22,49646	25	-4	25	0	0
26	3,99583333	240	26	0,113315	22,66296	26	-4	26	0	0
27	3,99566667	240	27	0,114147	22,82945	27	-4	27	0	0
28	3,9955	240	28	0,11498	22,99594	28	-4	28	0	0
29	3,99533333	240	29	0,115812	23,16243	29	-4	29	0	0
30	3,99516667	240	30	0,116645	23,32892	30	-4	30	0	0
31	3,995	240	31	0,117477	23,49541	31	-4	31	0	0
32	3,99483333	240	32	0,118309	23,66189	32	-4	32	0	0
33	3,99466667	240	33	0,119142	23,82838	33	-4	33	0	0
34	3,9945	240	34	0,119974	23,99486	34	-4	34	0	0
35	3,99433333	240	35	0,120807	24,16134	35	-4	35	0	0
36	3,99416667	240	36	0,121639	24,32782	36	-4	36	0	0
37	3,994	240	37	0,122	24,4	37	-3,9995953	37	0,000905	135,7986
38	3,99383333	240	38	0,122	24,4	38	-3,9988807	38	0,001598	239,7337
39	3,99366667	240	39	0,122	24,4	39	-3,9981662	39	0,001598	239,7337

Figuur 10 Reactie van Wvol op infiltratie bij equilibrium. voor Soiltype 14 en Croptype 14

Startwaarde voor Wilting Point

Nu bekend is dat de referentielengte voor de onverzadigde zone de dikte van de wortelzone is, en dat de initiële waarde van het bodemvochtgehalte overeenkomt met de juiste ontwateringsdiepte, kan getest worden of de waarde voor Wilting Point klopt.

Opzet

Bodemvochtgehalte op Wilting Point

Soiltype 14 en Croptype 14

Ontwateringsdiepte van 4m.

Verwachting

Verwacht wordt dat de waarde van het bodemvochtgehalte de fractie h_4 van het equilibrium is.

Bevindingen

- De startwaarde van het equilibrium voor Wilting Point komt overeen met de waarde van het Equilibrium bij een ontwateringsdiepte van 10m. Dit is te zien in Bijlage Bodemvochtgehalte
- Dit geldt ook voor andere Soil- en Croptype combinaties. Dit is te zien in dezelfde bijlage.

Bodemvochtgehalte bij een ontwateringsdiepte minder dan de wortelzone

Het bodemvochtgehalte Wvol is weergegeven in de eenheid meter vocht per meter grond. Dit is echter beperkt tot de dikte van de wortelzone. Wat interessant is om te weten is hoe Wvol reageert als het grondwater een ontwateringsdiepte heeft minder dan de dikte van de wortelzone.

Opzet

Soiltype 14 & Croptype 14

Infiltratie 240 mm/dag

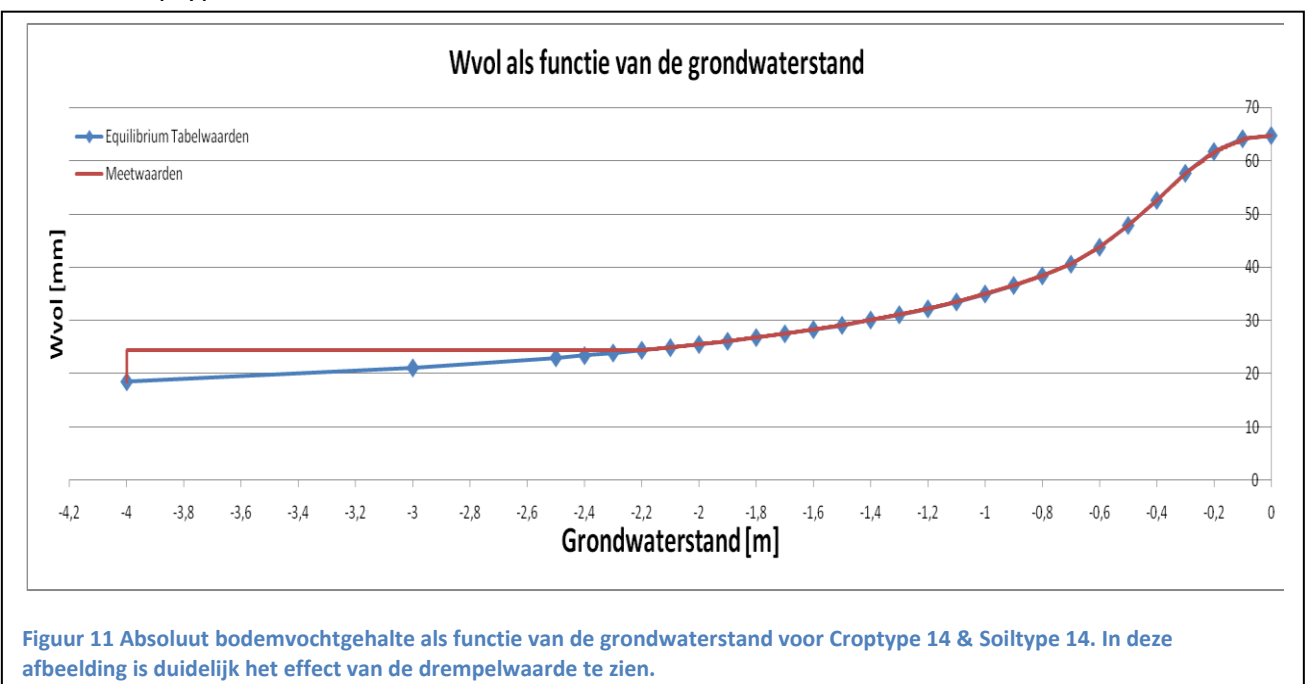
Voldoende water op maaiveld om er voor te zorgen dat het grondwater van -4m kan stijgen tot maaiveld.

Verwachting

Verwacht wordt dat het absolute bodemvochtgehalte blijft stijgen. Dit is tegenstrijdig met de werkelijkheid maar conform met de tabelwaarden in het UNSA.SIM bestand, welke te zien is in Bijlage UNSA_SIM

Bevindingen

Het absolute bodemvochtgehalte blijft stijgen, dit is te zien in Figuur 11 waar Wvol niet daalt naar de waarde 0 vanaf 0,2m onder maaiveld. Deze 0,2m is de wortelzonedikte voor Soil- en Croptype combinatie 14&14



Conclusie

Er wordt gerekend met een onverzadigde zone ter dikte van de wortelzone, dit is echter niet juist. Nu wordt het gebied onder de wortelzone tot aan het grondwater niet gebruikt in de berekening. In werkelijkheid is de onverzadigde zone namelijk de grondkolom boven het grondwater. De schematisatie van de onverzadigde zone klopt dus niet en heeft modeluitkomsten tot gevolg die niet overeenkomen met de werkelijkheid.

Zodra er een grotere ontwateringsdiepte is dan 2 meter plus de dikte van de wortelzone, dan streeft het bodemvochtgehalte naar de waarde van het equilibrium behorende bij deze

drempelwaarde. Dit is niet juist en zorgt voor een vertraging in de grondwaterstijging en een verkeerd bodemvochtgehalte. Totdat een ontwateringsdiepte is bereikt die minder diep is dan deze drempelwaarde wordt gerekend met een verkeerde waarde voor het bodemvochtgehalte, dit is te zien in Figuur 11.. Ook dit levert modeluitkomsten op die niet overeenkomen met de werkelijkheid.

Percolatie

Voor het onderzoek naar percolatie, moet rekening gehouden worden met de aannames in de schematisatie van het bodemvochtgehalte. Deze aannames zijn gevonden bij de tests van het bodemvochtgehalte. Percolatie treedt op als het bodemvochtgehalte de evenwichtswaarde overstijgt.

Opzet

In het onderzoek naar percolatie staat er voldoende water op maaiveld dat infiltreert met 240 mm/dag. Deze infiltratie levert het water dat kan percoleren. Verdamping staat uit zodat het oppervlaktewater alleen kan dalen ten gevolge van infiltratie.

Soiltype 14 & Croptype 14.

Verwachting

Verwacht wordt dat percolatie optreedt als er een bodemvochtgehalte in de grond aanwezig is dat hoger is dan het equilibriumgehalte. Deze percolatie komt overeen met de infiltratie minus de absolute stijging van het bodemvochtgehalte.

Bevindingen

- Percolatie komt niet overeen met de infiltratiewaarde minus de absolute stijging van het bodemvochtgehalte, dit is te zien in Figuur 13. De afwijking is in de orde grootte van de capillaire opstijging.
- Percolatie treedt pas op als het equilibrium bereikt is van 24,4mm dit is te zien in Figuur 10. Deze waarde hoort bij een ontwateringsdiepte van 2,2m en is het gevolg van de drempelwaarde die onterecht verwerkt is in de grondwatermodule.
- Er treedt een oscillerend effect op zodra het grondwater in de buurt van het maaiveld komt te staan. Dit is te zien in Figuur 12.
- Percolatie neemt af naarmate de grondwaterstand stijgt.

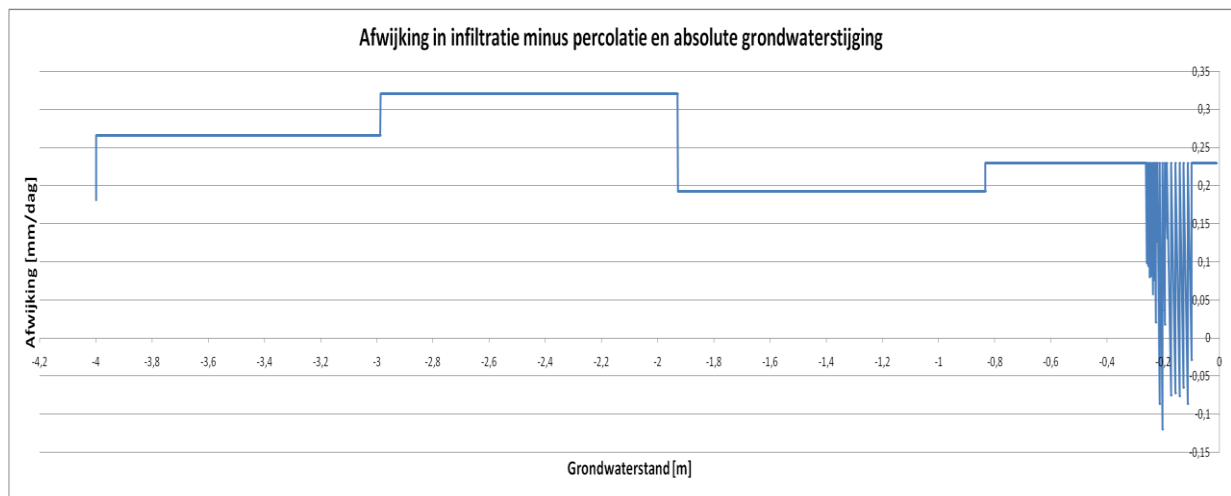
Conclusie

Percolatie werkt niet geheel zoals verwacht. De enige processen die zich afspelen zijn infiltratie, percolatie en bodemvochtgehalteverandering. De hoeveelheid percolatie samen met het water dat gebruikt wordt voor de verandering van het bodemvochtgehalte moet dus gelijk zijn aan de waarde van de infiltratie, omdat er geen andere processen zijn die zorgen voor een verplaatsing van water. De afwijking in de waterbalans is echter maar 0,1 %. Dit zou kunnen komen door de rekenonzekerheid van de computer doordat met veel getallen achter de komma wordt gerekend. Met een zekerheid van 99,9% kan dit deel van de grondwatermodule gebruikt worden. In Figuur 12 is duidelijk te zien dat de percolatie inderdaad afneemt naarmate het bodemvochtgehalte stijgt, wat te zien is in Figuur 11.

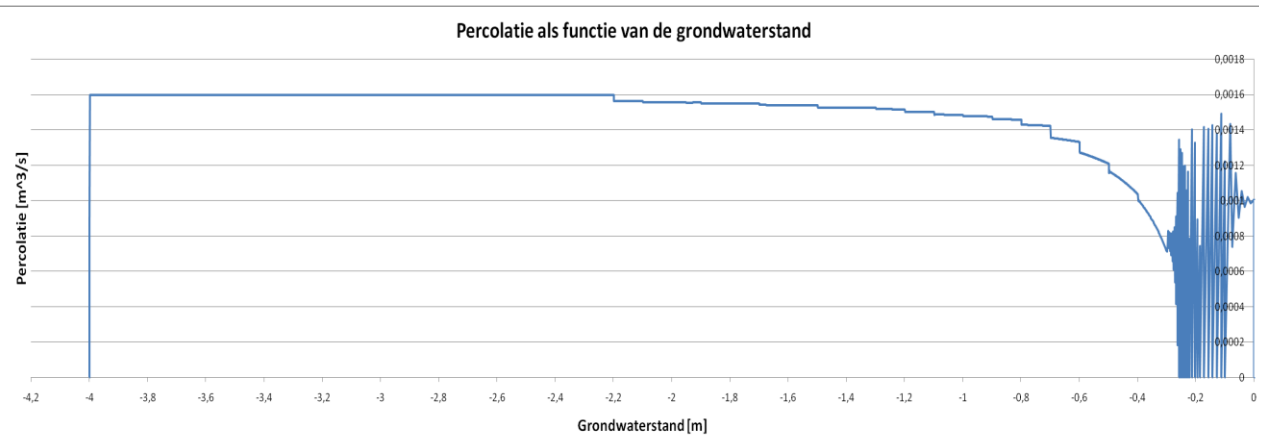
Ten gevolge van het bodemvochtgehalteprobleem, dat streeft naar een equilibrium waarde behorende bij de drempelwaarde, treedt percolatie vertraagd op zodra het model aangezet wordt. Dit duurt net zo lang tot de drempelwaarde bereikt is. Het effect hiervan is dus afhankelijk van de ontwateringsdiepte. Het model kan dus geen nauwkeurige uitkomsten bieden zodra de ontwateringsdiepte dieper is dan de drempelwaarde.

Het oscillerende percolatie effect dat optreedt bij een geringe ontwateringsdiepte is niet te verklaren. Dit effect leidt niet tot een oscillerende waarde van het bodemvochtgehalte of de grondwaterstand en heeft dus geen gevolgen voor de bruikbaarheid van het model. In de

bijlage Percolatie is te zien dat het bodemvochtgehalte niet sterk meer veranderd ten opzichte van het grondwaterniveau. Dit leidt tot een toename van de percolatie bij een gelijkblijvende infiltratie. Dit verklaart echter niet het oscillerende gedrag.



Figuur 13 Afwijking in de waterbalans voor Soiltype 14 en Croptype 14



Figuur 12 Percolatie als functie van de ontwateringsdiepte. voor Soiltype 14 en Croptype 14

Grondwaterstandverandering

Ten gevolge van de waterstromen door percolatie, capillaire opstijging of grondwaterstroming verandert het grondwaterniveau. Deze verandering is door de porositeit van de bodem altijd groter dan het volume van de waterstroom. In dit onderzoek is gekeken naar de grondwaterstandverandering ten gevolge van de percolatie welke weer door de infiltratie bepaald wordt.

Opzet

Water dat infiltreert leidt meteen tot grondwaterstandstijging. Hiervoor is het nodig dat er geen water gebruikt wordt voor een toename van het bodemvochtgehalte. Er wordt gebruik gemaakt van de drempelwaarde die in de grondwatermodule zit. Deze drempelwaarde zorgt ervoor dat het bodemvochtgehalte een gelijke waarde heeft voor onwateringsdieptes dieper dan de drempelwaarde.

Soiltype 14 en Croptype 14

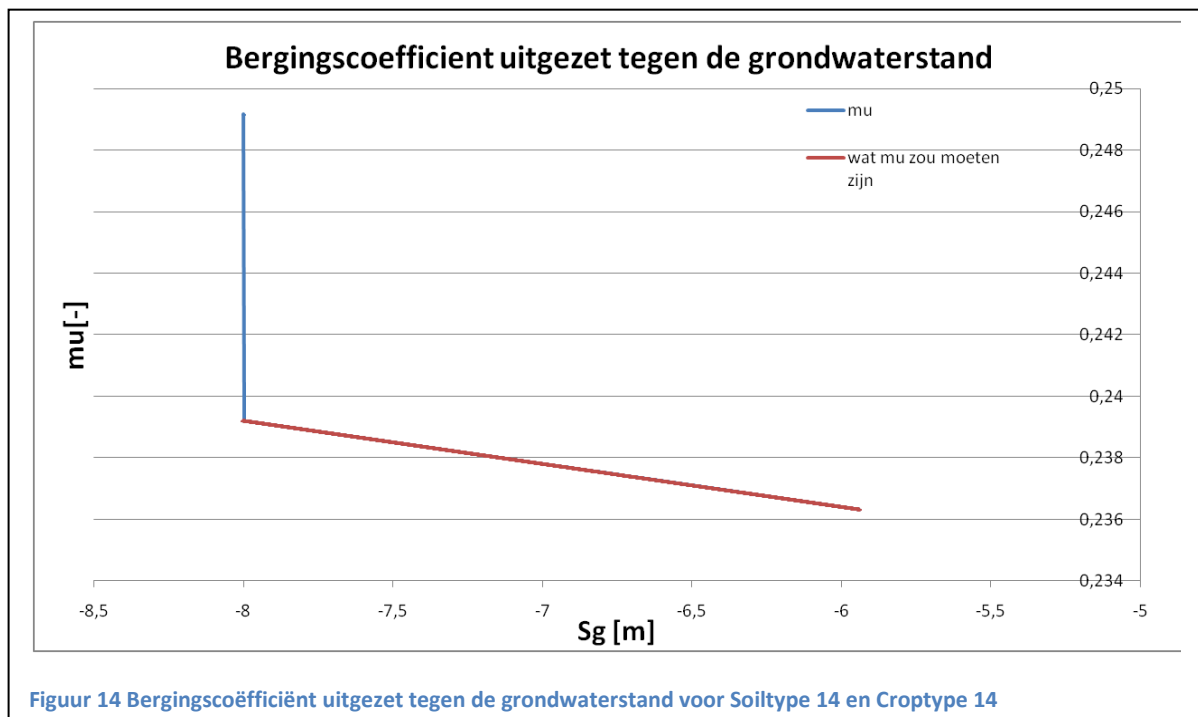
Infiltratie van 240 mm/dag

Verwachting

Verwacht wordt dat de infiltratiewaarde gedeeld door de grondwaterstijging overeen komt met de bergingscoëfficiënt uit de tabel in Bijlage UNSA_SIM.

Bevindingen

De waarde van de bergingscoëfficiënt komt overeen met tabelwaarden. Dit is te zien in Figuur 14 waar de verwachte bergingscoëfficiënt samenvalt met de gemeten bergingscoëfficiënt.

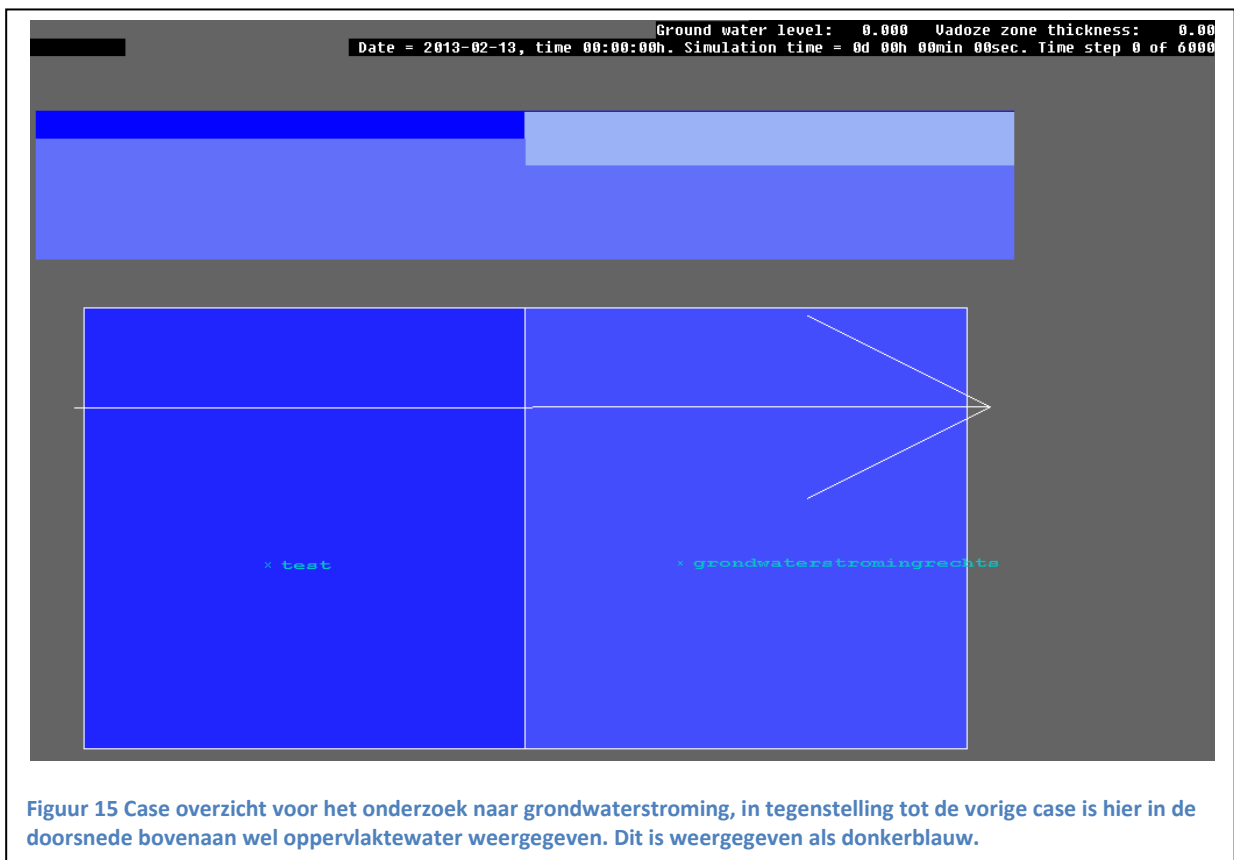


Conclusie

De grondwaterstandsverandering werkt zoals verwacht.

Grondwaterstroming

in Figuur 15 is de case weergegeven die gebruikt is voor het testen van de grondwaterstroming.



Voor het testen van de grondwaterstroming is gekeken of de stroomsnelheid overeenkomt met de verwachte waarde op basis van het verhang en de doorlatendheid.

Opzet

- Soil & Croptype 14 & 14
- Overall Bathymetry van 0m
- Links een initiele grondwaterstand van 0m en rechts van -2m
- Permeabiliteit: $1,0 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Moisture content op Equilibrium
- Links een grondwaterstand van 0m onder maaiveld. En rechts een grondwaterstand van 2m onder maaiveld
- Bodem grondwaterreservoir op -4m.
- 2 rekencellen van elk 12x12m

Voor het onderzoek naar de grondwaterstroming is getest of de stroomsnelheid in de uitvoer van het 3Di model klopt. Er is zowel kwalitatief als kwantitatief gekeken naar de modelresultaten. Er is geen vergelijking gemaakt met het debiet. Dit omdat deze waarde niet wordt weggeschreven in de uitvoer. Wel is het debiet berekend aan de hand van de grondwaterstandverandering.

Er is gebruik gemaakt van de wet van Darcy. Deze is als volgt:

$$Q = -k * A * i$$

Q= Debiet [m³/s]

k= Doorlatendheidscoëfficiënt [m/s]

A= Doorstroomoppervlakte [m²]

i= Verhang [-]

Uit de wet van Darcy volgt een stroomsnelheid van $v = -k * i$

$$\Rightarrow -1 \cdot 10^{-5} \cdot (-2/12) = 1,6666667 \cdot 10^{-6} \text{ voor de situatie die in de opzet is beschreven}$$

In de uitvoer van 3Di staat echter een waarde van $5 \cdot 10^{-5}$. Dit is een factor 30 groter.

Aan de hand van het berekende debiet en het doorstroomoppervlak is ook een snelheid berekend. Deze snelheid is $2,08333 \cdot 10^{-6}$ m/s en is een factor 24 kleiner dan de snelheid in de uitvoer.

Om te onderzoeken waar dit verschil vandaan komt wordt het verhang, het doorstroomoppervlak en de bodem van de grondwaterkolom aangepast om te zien wat voor invloed dit heeft op de uitvoer. De uitkomsten van deze testen zijn te vinden in Bijlage Grondwaterstroming

Bevindingen

- De stroomsnelheid en het verhang nemen af in de tijd.
- Zodra het grondwater zakt of stijgt treedt er respectievelijk percolatie en capillaire opstijging op. Dit komt omdat er bij een andere ontwateringsdiepte een andere evenwichtsbodemvochtgehalte hoort. Zodra het grondwater zakt neemt het evenwichtsbodemvochtgehalte af. Het overtollige water in de onverzadigde zone zal percoleren naar het grondwater. Voor capillaire opstijging geldt het omgekeerde. Voor de tests is echter gekeken naar de allereerste tijdstap. Aangezien er expliciet gerekend wordt met grondwater zal er dan nog geen water percoleren.
- Als de bodem van de grondwaterkolom op een lager niveau wordt gezet en de initiële grondwaterstanden blijven gelijk, dan verandert er niks aan de waarde van de stroomsnelheid in de uitvoer van het grondwater. Dit betekent dat de waarde voor de snelheid in de uitvoer niet afhankelijk is van het doorstroomoppervlak. Wat overeenkomt met $v = -k * i$
- Het debiet verandert wel als de bodem van de grondwaterkolom op een ander niveau wordt gezet. Dit komt doordat het doorstroomoppervlak groter wordt en de snelheid hetzelfde blijft. Dit komt kwalitatief overeen met de werkelijkheid. Kwantitatief is geen vast verband te vinden tussen de toename van het doorstroomoppervlak en de stroomsnelheid. Dit is te zien in Bijlage Grondwaterstroming
- Stroomsnelheid is niet afhankelijk van de bergingscoëfficiënt. Als de bodem van de grondwaterkolom en de initiële grondwaterstand met een zelfde afstand daalt in beide rekencellen, dan verandert de bergingscoëfficiënt aangezien er een andere ontwateringsdiepte is. Het debiet verandert echter niet. Ook verandert de waarde van de stroomsnelheid in de uitvoer niet.

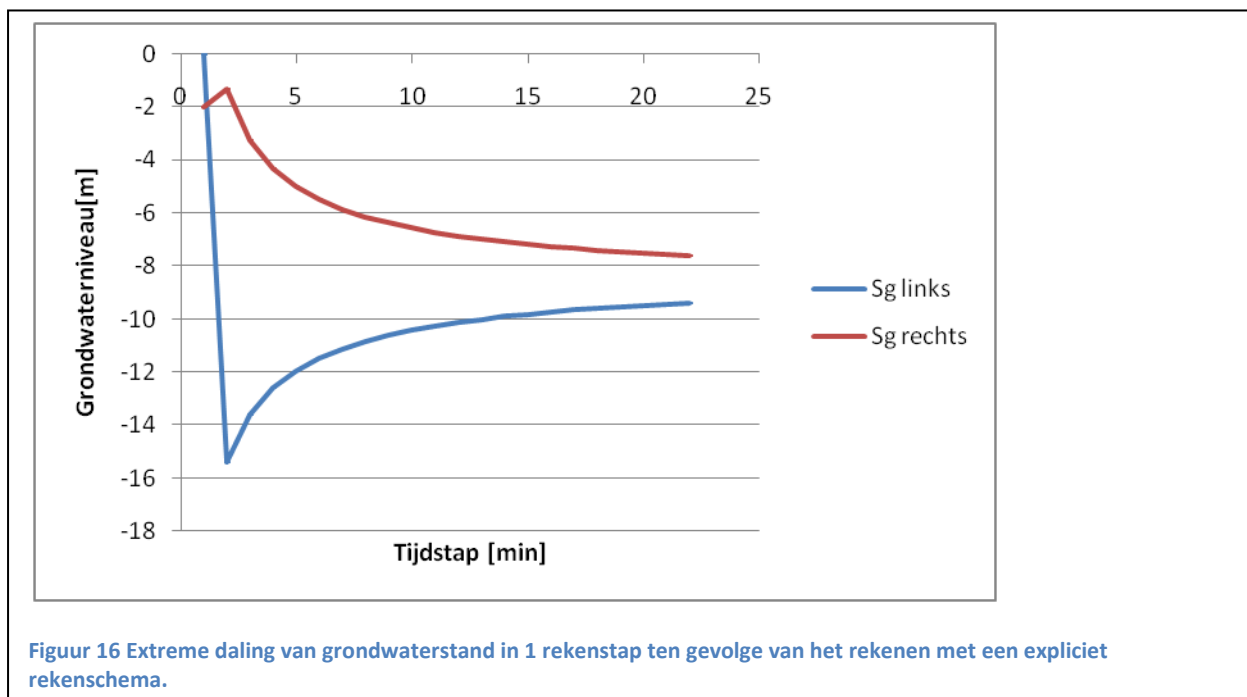
- Er van uitgaande dat het doorstroomoppervlak goed wordt berekend. En het debiet ook. Dan kan geconcludeerd worden dat er geen vast direct verband tussen het debiet en de stroomsnelheid in de uitvoer gevonden kan worden.
- Als in het model de permeabiliteit op 0 wordt gezet, dan stroomt in deze richting ook geen grondwater. Als de permeabiliteit echter uitgecommentarieerd wordt, dan vind er nog wel grondwaterstroming plaats.

conclusie

De waarde van de grondwaterstroming komt niet overeen met de berekende snelheid. Dit levert verkeerde modeluitkomsten op. Er zit een factor 30 verschil tussen de berekende snelheid op basis van het verhang en de doorlatendheid en de snelheid in de uitvoer. Als gekeken wordt naar de snelheid die berekend wordt aan de hand van het debiet en het doorstroomoppervlak dan zit hier ook een factor verschil tussen. Deze factor betreft geen vaste waarde. Grondwaterstroming werkt dus op dit moment niet zoals verwacht op basis van de opzet van de grondwatermodule.

Aanvulling op de grondwaterstandverandering:

In de Bijlage Grondwaterstroming is te zien dat een hoge permeabiliteit zorgt voor een grote verandering aan volume water in de grond. Gecombineerd met een lage bergingscoëfficiënt bij een geringe ontwateringsdiepte zorgt dit voor een enorme grondwaterstanddaling. Dit is niet in overeenstemming met de werkelijkheid maar een gevolg van het expliciet rekenen. Dit is te zien in Figuur 16



Hoofdstuk 6:

Algemene bevindingen

De beperkte rekenprecisie van een computer gecombineerd met het feit dat er vaak gerekend wordt met kleine toenames in waarden, levert bij het rekenen met veel cijfers achter de komma mogelijk een kleine afwijking in getallen op. Dit is te zien in de besproken afwijking bij de percolatie van 0,1%.

Expliciet rekenen zorgt voor modeluitkomsten die overeenkomen met de tabelwaarden. Echter is dit niet conform de werkelijkheid. Om preciezer te kunnen rekenen en de werkelijkheid beter te benaderen is het aan te raden in een rekenstap te kijken welke tabelwaarden allemaal worden doorlopen. Zo is de bergingscoëfficiënt vlak onder maaiveld erg klein wat voor een grote daling in de grondwaterstand zorgt bij een kleine waterstroom. Als deze waterstroom echter groter is, dan wordt in 1 rekenstap maar met 1 bergingscoëfficiënt gerekend. Dit kan er voor zorgen dat de grondwaterstand in deze rekenstap enkele meters lager komt te liggen. Terwijl in de tabellen vanaf enkele tientallen centimeters onder maaiveld al met een grotere bergingscoëfficiënt gerekend wordt. Geadviseerd wordt om naar een impliciet rekenschema over te gaan om de werkelijkheid nog beter te benaderen. De modellen voor de overlandflow zijn namelijk ook gebaseerd op een impliciet rekenschema.

Hoofdstuk 7:

Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de aannames in de schematisatie van het 3Di model te grote afwijkingen hebben met de realiteit. Dit komt voornamelijk door de schematisatie van het bodemvochtgehalte waarin uit wordt gegaan van een onverzadigde zone ter dikte van de wortelzone. In de realiteit zal de onverzadigde zone de afstand tot aan het grondwater betreffen, doordat nu met een veel kleinere onverzadigde zone wordt gerekend stijgt reageert het grondwaterniveau veel sneller op een infiltratie. De drempelwaarde voor het bodemvochtgehalte resulteert in een verlate grondwaterstijging als het initiële grondwater zich onder deze drempelwaarde bevindt.

De verkeerde uitkomsten van het bodemvochtgehalte hebben tot gevolg dat er verkeerde input geleverd wordt voor processen die deze waarde gebruiken in de berekening. Dit is het geval bij infiltratie, percolatie, verdamping uit de onverzadigde zone en de capillaire opstijging. Dit resulteert in een verkeerde waarde van de grondwaterstand waardoor als gevolg een verkeerde input wordt gegeven voor de grondwaterstroming.

Er zijn enkele onduidelijkheden wat betreft de volgende processen. Ten eerste is het onduidelijk welke snelheidsberekening wordt toegepast in grondwaterstroming. Ten tweede komt de snelheid niet overeen met de berekende waarde en zit er een factor 30 verschil in. Ten derde is onbekend of de fluxwaarde van de grondwaterstroming juist is. Duidelijk is dat er geen vast verband aanwezig tussen de flux en de snelheid gecombineerd met het doorstroomoppervlak. Tot slot laat percolatie een oscillerend effect zien bij een geringe ontwateringsdiepte. Wat wel bekend is, is dat de grondwaterstandverandering geen oscillerend effect heeft.

Het gebruik van een expliciete rekenmethode heeft tot gevolg dat er standaard een afwijking ontstaat als de waarde waarmee gerekend wordt tijdens de berekening veranderd. Dit levert grote afwijkingen als er grote tijdstappen worden genomen. Het toekomstbeeld is dat er voor grondwaterstroming grote tijdstappen kunnen worden gekozen. Dit is dus niet mogelijk als er een expliciet rekenschema gebruikt wordt.

Toepassingen

Het grondwatermodel levert alleen realistische resultaten als er geen verandering van bodemvochtgehalte plaats hoeft te vinden. Dit is eigenlijk bijna niet mogelijk, in de volgende voorbeelden kan het model al wel gebruikt worden omdat de verandering van het bodemvochtgehalte geen invloed heeft op de processen.

Vermindering van oppervlaktewater ten gevolge van infiltratie. Dit is echter alleen mogelijk als de grondwaterstand ruim onder maaiveld staat. Als het grondwater vlak onder maaiveld ligt, dan kan dit te snel stijgen omdat de berekeningen van het bodemvochtgehalte verkeerde aannames bevatten. Als het grondwater dan vervolgens tegen maaiveld aanstaat dan stopt de infiltratie.

Waterstanddaling ten gevolge van verdamping van grote wateroppervlaktes zoals meren met een volledig verzadigde bodem waarin geen infiltratie plaats kan vinden.

Hoofdstuk 8:

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Voordat verder onderzoek wordt gedaan naar grondwater is het van belang te achterhalen hoe de gegevens van de absolute equilibrium bodemvochtgehaltes tot stand zijn gekomen. Als de tabellen zijn aangemaakt op basis van de dikte van de wortelzone, dan kan niet zomaar de referentielengte voor het berekenen van W_{vol} veranderd worden in de ontwateringsdiepte.

Gebruik van een expliciete rekenmethode heeft tot gevolg dat er grote afwijkingen ontstaan als er grote tijdstappen worden genomen. Dit omdat alleen rekenwaardes worden bepaald aan het begin van de tijdstap. Als in deze tijdstap de waarde veranderd resulteert dit in een afwijking. Des te groter de tijdstap, des te groter is de afwijking. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar gebruik van een impliciete rekenmethode.

Er is nu enkel onderzoek gedaan naar uniforme waardes binnen een rekencel. Dit zal in de werkelijkheid bijna niet voorkomen. Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar niet-uniforme waardes binnen één rekencel.

Er is alleen onderzoek gedaan naar grondwaterstroming naar één aangrenzende rekencel. Verder onderzoek kan gedaan worden naar grotere processen. Hierbij valt te denken aan grondwaterstroming in meerdere richtingen of het gedrag van grondwaterstroming onderzoeken in een model met veel meer rekencellen. Of de grondwaterstroming tussen rekencellen die verschillen van grootte.

Voordat grondwater gebruikt kan worden in modellen is het verstandig eerst verder onderzoek te doen naar de interactie van grondwater met de omgeving. Hierbij valt te denken aan stijging van water in een kanaal ten gevolge van grondwater.

Tot slot is het aan te bevelen onderzoek te doen naar infiltratie in combinatie met interceptie. Dit kan uitgebreid worden met een watertoevoer ten gevolge van een regenbui.

Referentielijst

Afbeelding voorkant.

<http://www.komplotserver.nl/aanbouw/acacia/media/.bedrijvengids/image34.jpg>

Detail niveau vergelijking

<http://www.3di.nu/3d-modellen/>

Uitleg totstandkoming Eref

Memo onverzadigd 3di.pdf, Nelen & Schuurmans, auteur: Olivier Hoes, 12 December 2011

Grondwaterstoming

Memo expliciete grondwaterformules.pdf, Nelen & Schuurmans, auteur: Olivier Hoes, 26 oktober 2011

Uitleg Wilting Point

<http://botanydictionary.org/permanent-wilting-point.html>

Uitleg Equilibrium

<http://botanydictionary.org/field-capacity.html>

Uitleg Capillaire opstijging

http://ecopedia.be/fiche/Capillaire_opstijging

Afbeelding bepalen alpha als functie van bodemvochtgehalte

Sobek help

Bijlagen

Infiltratie

Bewijs dat niet meer water infiltreert dan in de grond geborgen kan worden.

Grondwaterstand [m]	Waterlevel [m]	
-0,008257621	3,176166667	Tijdstap waarin grondwater tegen maaiveld komt te staan.
0	3,17608409	Tijdstap waarin grondwater tegen maaiveld staat.
mu behorende bij deze grondwaterstand		
0,01		
grondwaterniveau stijging		
0,008257621		
Volume dat bij deze stijging hoort		
8,25762E-05		
verschil in waterlevel [m]		
8,25762E-05		

Figuur 17 weergave van hoeveelheid volume gebruikt voor grondwaterstijging en daling van waterlevel.

Bodemvochtgehalte

Tijdens het opstellen van het MatLab model was het nodig te kijken welke waarde het bodemvochtgehalte heeft bij wilting point.

Uit de SOBEK help blijkt dat de volgende waarde gehanteerd zou moeten worden

“Water uptake by roots is zero at soil water pressure h_4 which is assumed to be the wilting point”

Deze waarde voor h_4 geeft de verhouding aan tussen het werkelijk bodemvochtgehalte en het bodemvochtgehalte op equilibrium $h_4 = \frac{V}{V_{eq}}$. De waarde voor h_4 kan gevonden worden in kolom 8 van het ROOT_SIM.INP bestand.

ROOT_SIM.INP

14 14 0.20 1.000 1.000 0.385 0.261 0.115

Hieronder staat het format voor dit bestand.

column 1 = soil type

column 2 = crop type

column 3 = root zone thickness (m)

column 4 = relative root zone storage for h_1

column 5 = relative root zone storage for h_2

column 6 = relative root zone storage for h_3

column 7 = relative root zone storage for h_3h

column 8 = relative root zone storage for h_4

Voor soiltype 14 en croptype 14 is deze h_4 **0.115**. Uit dit bestand kan ook de dikte van de wortelzone gevonden worden. Deze is **0,20m** voor soiltype 14 en croptype 14.

De waarde voor V_{eq} in mm kan gevonden worden in kolom 4 in het UNSA_SIM.INP bestand.

Hier is meteen te zien dat deze waarde voor het equilibrium afhankelijk is van de ontwateringsdiepte. De ontwateringsdiepte is te vinden in kolom 3.

UNSA_SIM.INP

14 20 4.00 18.5 0.011 0.233

14 20 5.00 16.7 0.006 0.235

14 20 10.00 12.3 0.000 0.242

Hieronder staat het format van dit bestand

column 1 = soil type

column 2 = rootzone thickness (cm)

column 3 = groundwater level (meter below surface)

column 4 = root zone soil moisture storage in equilibrium conditions (mm)

column 5 = potential capillary rise (mm/day)

column 6 = storage coefficient (m/m)

Er moet rekening gehouden worden met het feit dat deze waarde voor V_{eq} absoluut is.

In de uitvoer van het model wordt het bodemvochtgehalte “Wvol” echter relatief gegeven.

Om de vergelijking te kunnen maken met de uitvoer moet deze V_{eq} vermenigvuldigd worden met een referentie afstand. Uit eerder onderzoek is gebleken dat deze referentie afstand de dikte van de wortel zone (RZT) is.

Voor het voorbeeld wordt de waarde van het bodemvocht berekend voor een ontwateringsdiepte van 5m. Uit het UNSA_SIM.INP bestand volgt dan een waarde van **16.7mm**. Het relatieve equilibrium bodemvochtgehalte is dus:

$$\frac{V_{eq}}{RZT} = \frac{16.7/1000}{0.2} = 0.0835$$

Dit getal is terug te vinden in de onderstaande tests bij het Equilibrium onder “Basis test situatie”. Er zit echter wel een onverklaarbare afwijking in van $7.1 \cdot 10^{-9}$.

Voor het bodemvochtgehalte op Wilting Point zou deze waarde van 0.0835 dus vermenigvuldigd moeten worden met de eerder gevonden 0.115. Dit zou een bodemvochtgehalte van $0.0835 \cdot 0.115 = 0.0096025$ moeten geven. Dit staat niet in de uitvoer, vandaar dat de volgende tests zijn uitgevoerd.

Opzet

Allemaal dezelfde tijdstappen.

Variatie in:

- Versie van de executable.
- Initiele grondwaterstand.
- Andere combinatie van Soiltype en Croptype.

Er is gekeken naar de startwaarde voor Wvol en het moment dat de percolatie begint. Dit omdat bij Wilting Point de grond droger is waardoor deze meer gevuld moet worden.

De drempel van 2m + Rootzone thickness voor Wvol zit nog steeds in het model. Vandaar dat bij equilibrium en een ontwateringsdiepte groter dan deze drempel niet meteen percolatie te zien is. Dit komt omdat eerst gestreefd wordt naar het equilibrium bodemvochtgehalte behorende bij deze drempelwaarde diepte.

Test met oudere versie van de executable

Equilibrium 0.1.1.349:350M via subgrid

Wvol startte op 0.066800005734 Percolatie startte op tijdstip 45

Wilting point via subgrid 0.1.1.349:350M

Wvol start op 0,049200002104 percolatie startte op tijdstip 72

Destijds in het rekenhart gevonden dat er een verkeerde waarde voor de grondsoort en het gewastype gealloceerd wordt in de oude versie van de executable. Vandaar dat deze test niet relevant is. Maar om te laten zien dat hieraan gedacht is, is deze toch meegenomen.

Basis test situatie

Equilibrium 0.1.1.462M via mdv Soiltype 14 & Croptype 14, RZT=0.2m iGWS=-5m

Wvol startte op 0.083500007167(Dit komt overeen met MatLab), percolatie startte op tijdstap 47

Wilting Point 0.1.1.462M via mdv Soiltype 14 & Croptype 14, RZT=0.2m iGWS=-5m

Wvol start op 0.061500002630(Dit komt niet overeen met de 0.0096025 van MatLab), percolatie start op tijdstap 74

Er zit een verschil tussen de Wvol's van $0.061500002630/0.083400007167=0.7365269144$

Andere Soiltype en Croptype. Soiltype 13 & Croptype 12

Equilibrium 0.1.1.462M via mdv Soiltype 13 & Croptype 12, RZT=0,6m iGWS=-5m

Wvol startte op 0.086166666200 (Dit komt overeen met MatLab), Percolatie startte op tijdstip 131

Wilting point 0.1.1.462M via mdv Soiltype 13 & Croptype 12, RZT=0,6m iGWS=-5m

Wvol startte op 0.063166668018(Dit komt niet overeen met de 0.0068072 van MatLab) Percolatie startte op tijdstap 214.

Er zit een verschil tussen de Wvol's van $0.063166668018/0.086166666200=0.7330754549$

Initiële grondwaterstand op -4m bij Soiltype 14 & Croptype 14

Equilibrium 0.1.1.462M via mdv Soiltype 14 & Croptype 14, RZT=0,2m iGWS=-4m

Wvol begint op 0.092500001192 (Dit komt overeen met de 0.0925 van MatLab)Percolatie begint op tijdstap 37

Wilting point 0.1.1.462M via mdv, Soiltype 14 & Croptype 14, RZT=0,2m iGWS=-4m

Wvol begint op 0.061500002630(Dit komt niet overeen met de 0.010638 MatLab), Percolatie begint op tijdstap 74

Initiële grondwaterstand op -10m bij Soiltype 14 & Croptype 14

Equilibrium 0.1.1.462M via mdv Soiltype 14 & Croptype 14, RZT=0.2m iGWS=-10m

Wvol begint op 0.061500002630 (Dit komt overeen met MatLab), Percolatie begint op tijdstap 74

Wilting point 0.1.1.462M via mdv Soiltype 14 & Croptype 14, RZT=0.2m iGWS=-10m

Wvol begint op 0.061500002630 (Dit komt niet overeen met de 0.0070725 van MatLab), Percolatie begint op tijdstap 74

Initiële grondwaterstand op -10m bij Soiltype 13 & Croptype 12

Equilibrium 0.1.1.462M via mdu Soiltype 13 & Croptype 12, RZT=0,6m iGWS=-10m

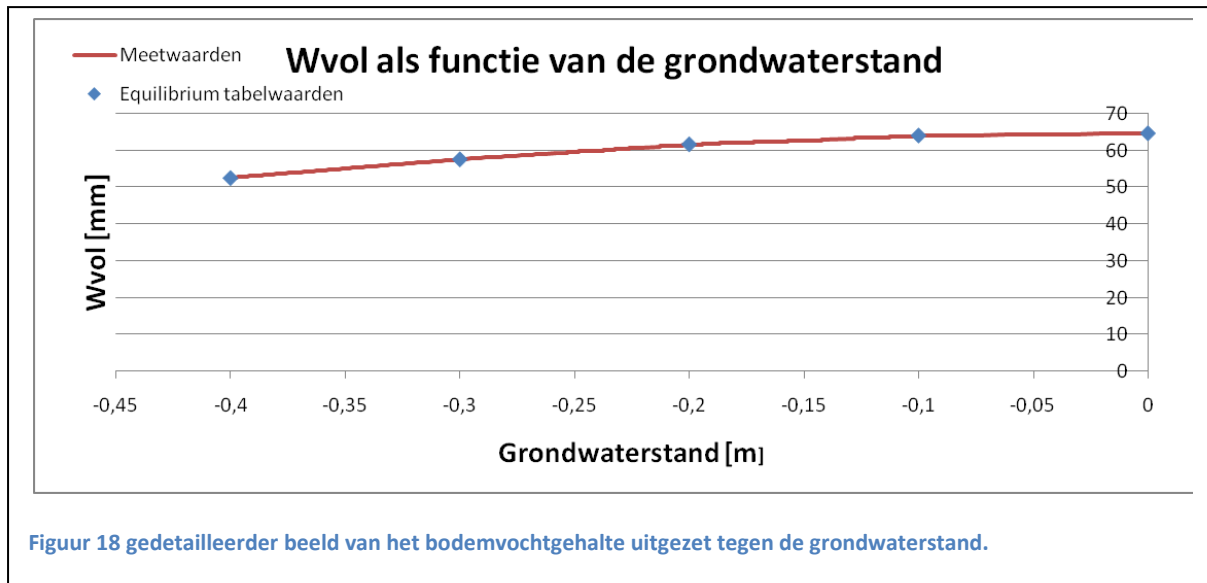
Wvol begint op 0.063166668018 (Dit komt overeen met de 0.063167 van MatLab), Percolatie begint op tijdstap 214.

Wilting point 0.1.1.462M via mdu Soiltype 13 & Croptype 12, RZT=0,6m iGWS=-10m

Wvol begint op 0.063166668018 (Dit komt niet overeen met de 0.0049902 van MatLab), Percolatie begint op tijdstap 214.

Het bodemvochtgehalte in equilibrium bij een ontwateringsdiepte van 10 m komt dus telkens overeen met de uitkomsten van het bodemvochtgehalte bij Wilting Point. De uitkomsten van Wvol voor wilting point variëren niet bij veranderende ontwateringsdiepte. Voor een andere combinatie van Soiltype en Croptype geldt dit ook.

Percolatie



Grondwaterstroming

Initiële grondwaterstand links -1 en rechts -2.

Bodem van grondwaterkolom in beide cellen -4.

Als gekeken wordt naar de grondwaterstandstijging in de rechter rekencel, dan stijgt deze (-1,999943438914- -2,0=5,6561089*10⁻⁵m. Aangezien de bergingscoëfficiënt 0,221 is bij een ontwateringsdiepte van 2m, komt het debiet uit op (5,6561089*10⁻⁵*0,221*12*12)/60=3*10⁻⁵ m³/s. Het uitgaande debiet van de linker rekencel en het ingaande debiet van de rechter rekencel komen overeen, dit houdt dus in dat er geen water verloren gaat of bijkomt en dat het debiet gebruikt kan worden voor het berekenen van de snelheid.

Aan de hand van $Q = v * A$ kan met het debiet en het doorstroomoppervlak de stroomsnelheid berekend worden.

Het doorstroomoppervlak is het gemiddelde van de hoogte van de 2 grondwaterkolommen waartussen het water stroomt, vermenigvuldigd met de rekencelbreedte.

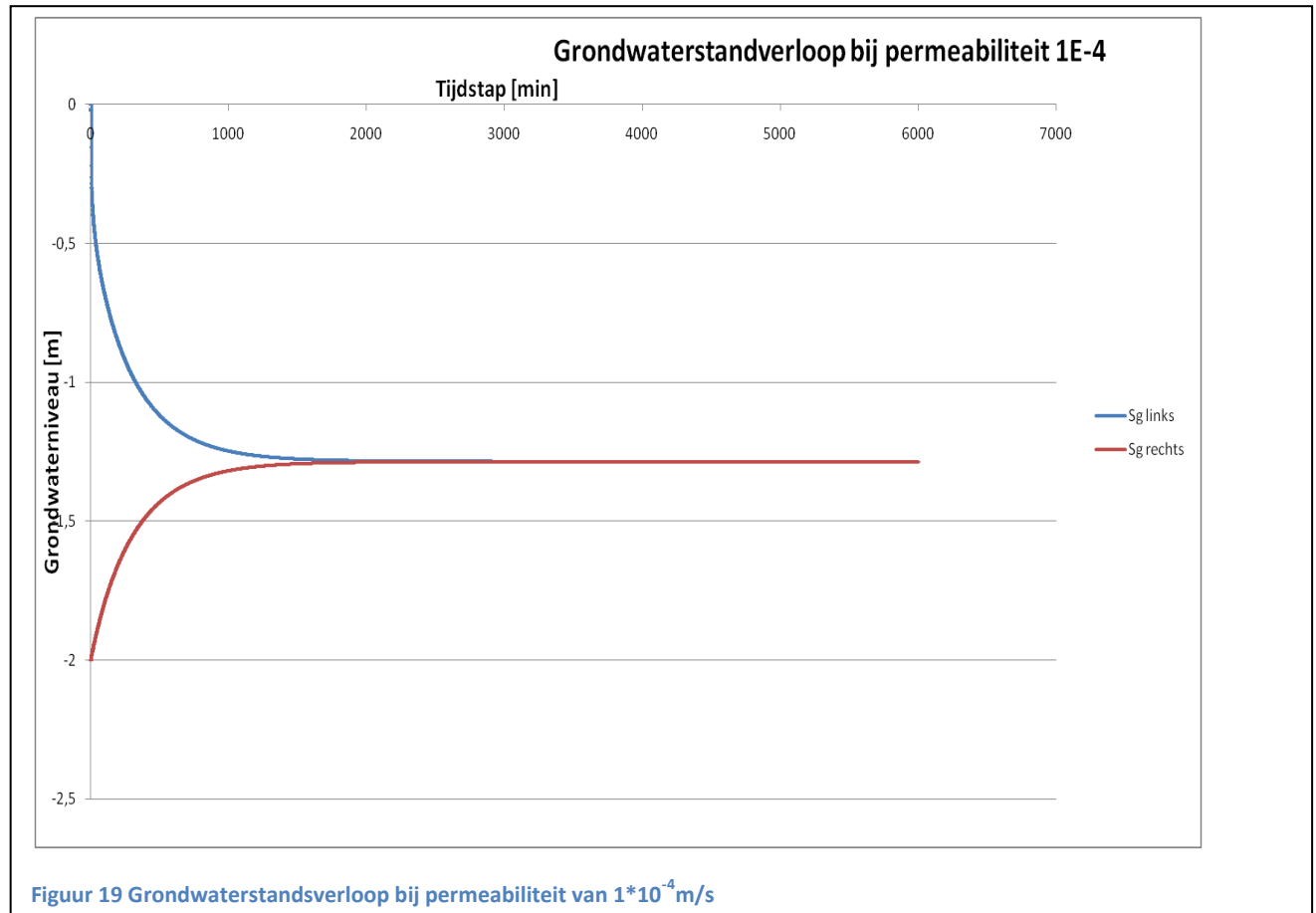
Initiële grondwaterstanden linker en rechter rekencel	Links -1m Rechts -2m	Links 0m Rechts -1m	Links 0m Rechts -2m
Bodem van grondwaterreservoir	Links -4m Rechts -4m	Links -4m Rechts -4m	Links -4m Rechts -4m
Snelheid uit model	2,5*10⁻⁵ m/s	2,5*10⁻⁵ m/s	5*10⁻⁵ m/s
Permeabiliteit	1*10 ⁻⁵ m/s	1*10 ⁻⁵ m/s	1*10 ⁻⁵ m/s
Verhang i	(-1/12)	(-1/12)	(-2/12)
Snelheid op basis van $v = -k * i$	8,33333*10⁻⁷ m/s	8,33333*10⁻⁷ m/s	1,66667*10⁻⁶ m/s
Factor verschil met waarde uit model	30	30	30
Grondwaterstands daling	0,0000634517787m	0,0016666667 04m	0,003333333408m
Debiet op basis van grondwaterstands - stijging/-daling, bergingscoëfficiënt, oppervlakte en tijdstap	(0,0000634517787* 0,197*144)/60= 3*10 ⁻⁵ m ³ /s	(0,0016666667 04*0,010*144) /60= 4*10 ⁻⁵ m ³ /s	(0,003333333408 *0,010*144)/60= 8*10 ⁻⁵ m ³ /s
Doorstroom-oppervlakte	((-1+-2)/2)-((-4+-4)/2)*12=30 m ²	((0+-1)/2)-((-4+-4)/2)*12=42 m ²	((0+-2)/2)-((-4+-4)/2)*12=36 m ²
Snelheid op basis van $v = Q/A$	1*10⁻⁶ m/s	9,5238*10⁻⁷ m/s	2,22222*10⁻⁶ m/s
Factor verschil met waarde uit model	25	26,25	22,5

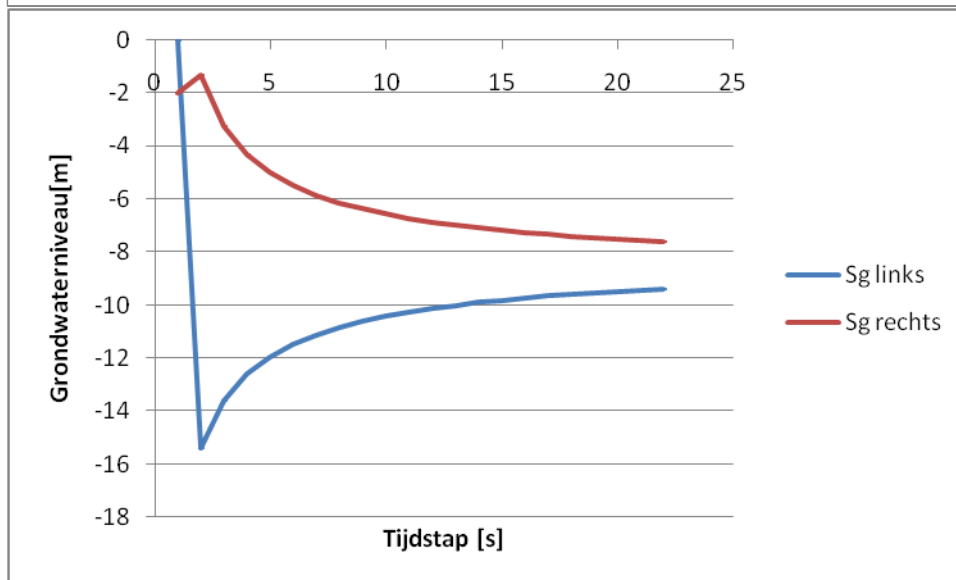
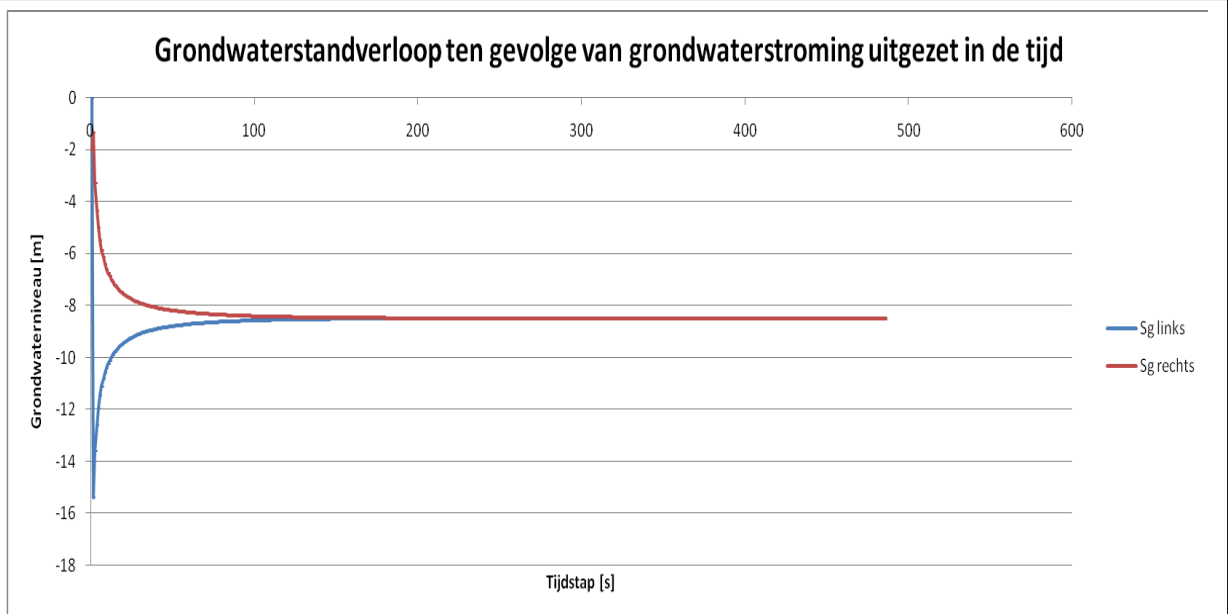
Initiele grondwaterstanden linker en rechter rekencel	Links -1m Rechts -2m	Links 0m Rechts -1m	Links 0m Rechts -2m
Bodem van grondwaterreservoir	Links -5m Rechts -5m	Links -5m Rechts -5m	Links -5m Rechts -5m
Snelheid uit model	$2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Permeabiliteit	$1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$	$1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
Verhang i	$(-1/12)$	$(-1/12)$	$(-2/12)$
Snelheid op basis van $v = -k \cdot i$	$8,33333 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	$8,33333 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	$1,66667 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Factor verschil met waarde uit model	30	30	30
Grondwaterstands daling	0,0000846023 70m	0,0020833333 80m	0,004166666760m
Debiet op basis van grondwaterstands - stijging/-daling, bergingscoefficient, oppervlakte en tijdstap	$(0,0000846023 \cdot 70 \cdot 0,197 \cdot 144) / 60 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$(0,0020833333 \cdot 80 \cdot 0,010 \cdot 144) / 60 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	$(0,004166666760 \cdot 0,010 \cdot 144) / 60 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
Doorstroom-oppervlakte	$((-1+2)/2) - ((-5+5)/2) \cdot 12 = 42 \text{ m}^2$	$((0+1)/2) - ((-5+5)/2) \cdot 12 = 54 \text{ m}^2$	$((0+2)/2) - ((-5+5)/2) \cdot 12 = 48 \text{ m}^2$
Snelheid op basis van $v = Q/A$	$9,52381 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	$9,25926 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$	$2,08333 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
Factor verschil met waarde uit model	26,25	27	24

Grondwaterstandsverloop

In Figuur 19 is een normaal grondwaterstandsverloop te zien bij een permeabiliteit die overeenkomt met een realistische waarde in de orde grootte van 10m/dag.

In Figuur 20 is te zien wat het effect is van het expliciete rekenschema waarin een grotere waterstroom met een kleine bergingscoëfficiënt zorgt voor een enorme daling van de grondwaterstand in de eerste tijdstap.





Figuur 20 Verloop van de grondwaterstand bij een permeabiliteit van $1 \cdot 10^{-2}$ m/s

UNSA_SIM

De opzet van dit bestand is:

column 1 = soil type

column 2 = rootzone thickness (cm)

column 3 = groundwater level (meter below surface)

column 4 = root zone soil moisture storage in equilibrium conditions (mm)

column 5 = potential capillary rise (mm/day)

column 6 = storage coefficient (m/m)

14	20	0	64,8	5	0,01
14	20	0,1	64,2	5	0,01
14	20	0,2	61,8	5	0,01
14	20	0,3	57,7	5	0,04
14	20	0,4	52,6	5	0,086
14	20	0,5	47,9	5	0,127
14	20	0,6	43,8	5	0,16
14	20	0,7	40,6	3,079	0,179
14	20	0,8	38,4	1,658	0,187
14	20	0,9	36,6	1,018	0,193
14	20	1	35	0,682	0,197
14	20	1,1	33,5	0,486	0,201
14	20	1,2	32,2	0,362	0,205
14	20	1,3	31,1	0,279	0,208
14	20	1,4	30,1	0,221	0,21
14	20	1,5	29,1	0,178	0,213
14	20	1,6	28,3	0,147	0,215
14	20	1,7	27,5	0,122	0,217
14	20	1,8	26,8	0,104	0,218
14	20	1,9	26,1	0,089	0,219
14	20	2	25,5	0,076	0,221
14	20	2,1	24,9	0,067	0,222
14	20	2,2	24,4	0,058	0,223
14	20	2,3	23,9	0,052	0,224
14	20	2,4	23,4	0,046	0,225
14	20	2,5	23	0,041	0,226
14	20	3	21,1	0,025	0,229
14	20	4	18,5	0,011	0,233
14	20	5	16,7	0,006	0,235
14	20	10	12,3	0	0,242
14	30	0	91,2	5	0,01
14	30	0,1	90,6	5	0,01
14	30	0,2	88,2	5	0,01
14	30	0,3	83,1	5	0,01
14	30	0,4	75	5	0,04
14	30	0,5	65,6	5	0,086
14	30	0,6	57,6	5	0,127
14	30	0,7	51,1	5	0,16
14	30	0,8	46,9	3,079	0,179
14	30	0,9	44,2	1,658	0,187
14	30	1	42,1	1,018	0,193
14	30	1,1	40,2	0,682	0,197
14	30	1,2	38,5	0,486	0,201
14	30	1,3	37	0,362	0,205
14	30	1,4	35,7	0,279	0,208
14	30	1,5	34,5	0,221	0,21
14	30	1,6	33,4	0,178	0,213
14	30	1,7	32,4	0,147	0,215
14	30	1,8	31,5	0,122	0,217
14	30	1,9	30,7	0,104	0,218
14	30	2	29,9	0,089	0,219
14	30	2,1	29,2	0,076	0,221
14	30	2,2	28,6	0,067	0,222
14	30	2,3	27,9	0,058	0,223
14	30	2,4	27,4	0,052	0,224
14	30	2,5	26,9	0,046	0,225
14	30	3	24,7	0,027	0,228
14	30	4	21,6	0,012	0,233
14	30	5	19,6	0,006	0,235
14	30	10	14,5	0	0,242

Figuur 21 Gedeelte van het UNSA_SIM bestand.

ROOT_SIM

De opzet van dit bestand is:

column 1 = soil type

column 2 = crop type

column 3 = root zone thickness (m)

column 4 = relative root zone storage for h1

column 5 = relative root zone storage for h2

column 6 = relative root zone storage for h3l

column 7 = relative root zone storage for h3h

column 8 = relative root zone storage for h4

11	1	0,4	1	1	0,542	0,392	0,181
11	2	0,6	1	1	0,537	0,433	0,181
11	3	0,6	1	1	0,542	0,433	0,148
11	4	0,6	1	1	0,542	0,433	0,148
11	5	0,6	1	1	0,462	0,376	0,148
11	6	0,6	1	1	0,462	0,376	0,148
11	7	0,5	1	1	0,462	0,376	0,148
11	8	0,5	1	1	0,537	0,433	0,181
11	9	0,6	1	1	0,542	0,392	0,181
11	10	0,5	1	1	0,542	0,392	0,181
11	11	0,6	1	1	0,542	0,392	0,181
11	12	0,6	1	1	0,542	0,392	0,181
11	13	0,5	1	1	0,542	0,392	0,181
11	14	0,2	1	1	0,542	0,392	0,181
11	15	0,4	1	1	0,542	0,462	0,21
11	16	0,6	1	1	0,542	0,462	0,243
12	1	0,4	1	1	0,373	0,247	0,107
12	2	0,9	1	1	0,369	0,278	0,107
12	3	0,7	1	1	0,373	0,278	0,089
12	4	0,9	1	1	0,373	0,278	0,089
12	5	0,9	1	1	0,302	0,234	0,089
12	6	0,7	1	1	0,302	0,234	0,089
12	7	0,5	1	1	0,302	0,234	0,089
12	8	0,5	1	1	0,369	0,278	0,107
12	9	0,9	1	1	0,373	0,247	0,107
12	10	0,5	1	1	0,373	0,247	0,107
12	11	0,9	1	1	0,373	0,247	0,107
12	12	0,9	1	1	0,373	0,247	0,107
12	13	0,5	1	1	0,373	0,247	0,107
12	14	0,2	1	1	0,373	0,247	0,107
12	15	0,4	1	1	0,373	0,302	0,121
12	16	0,6	1	1	0,373	0,302	0,141
13	1	0,4	1	1	0,542	0,392	0,181
13	2	0,6	1	1	0,174	0,117	0,079
13	3	0,6	1	1	0,177	0,117	0,079
13	4	0,6	1	1	0,177	0,117	0,079
13	5	0,6	1	1	0,129	0,098	0,079
13	6	0,6	1	1	0,129	0,098	0,079
13	7	0,5	1	1	0,129	0,098	0,079
13	8	0,5	1	1	0,174	0,117	0,079
13	9	0,6	1	1	0,177	0,102	0,079
13	10	0,5	1	1	0,177	0,102	0,079
13	11	0,6	1	1	0,177	0,102	0,079
13	12	0,6	1	1	0,177	0,102	0,079
13	13	0,5	1	1	0,177	0,102	0,079
13	14	0,2	1	1	0,542	0,392	0,181
13	15	0,4	1	1	0,542	0,462	0,21
13	16	0,6	1	1	0,177	0,129	0,079
14	1	0,25	1	1	0,385	0,261	0,115
14	2	0,25	1	1	0,381	0,293	0,115
14	3	0,25	1	1	0,385	0,293	0,094
14	4	0,25	1	1	0,385	0,293	0,094
14	5	0,25	1	1	0,317	0,25	0,094
14	6	0,25	1	1	0,317	0,25	0,094
14	7	0,25	1	1	0,317	0,25	0,094
14	8	0,25	1	1	0,381	0,293	0,115
14	9	0,25	1	1	0,385	0,261	0,115
14	10	0,25	1	1	0,385	0,261	0,115
14	11	0,25	1	1	0,385	0,261	0,115
14	12	0,25	1	1	0,385	0,261	0,115
14	13	0,25	1	1	0,385	0,261	0,115
14	14	0,2	1	1	0,385	0,261	0,115
14	15	0,25	1	1	0,385	0,317	0,133
14	16	0,25	1	1	0,385	0,317	0,155

Figuur 22 Gedeelte van het ROOT_SIM bestand.