

# STROMINGEN

Special



Vakblad van de Nederlandse Hydrologische Vereniging

**STROMINGEN** is het vakblad voor hydrologen. Er wordt ruimte geboden aan wetenschappelijke artikelen, reacties, discussiebijdragen, congresverslagen, boekbesprekingen, vuistregels en poëzie. **STROMINGEN** is een uitgave van de Nederlandse Hydrologische Vereniging (NHV).

### **Lidmaatschap en abonnementen**

### **Adreswijzigingen**

### **Losse nummers**

### **Redactie**

M. Vissers  
J.R. von Asmuth (website)  
H. Hakvoort  
D. Libbrecht (Belgisch correspondent)  
J. Heijkers (redactie-coördinator)  
V. Post  
F. Smits  
R. Versteeg (eindredactie)

### **Redactieadres STROMINGEN**

Joost Heijkers  
Postbus 550 3990 GJ Houten  
E-mail: [stromingen.redactie@gmail.com](mailto:stromingen.redactie@gmail.com)

### **Auteursinstructies**

Richtlijnen voor auteurs zijn te vinden op de website van de NHV, [www.nhv.nu](http://www.nhv.nu).

### **Auteursrechten**

Geheel of gedeeltelijk overnemen van artikelen – met bronvermelding – is alleen toegestaan na toestemming van de redactie.

© 2008 Nederlandse Hydrologische Vereniging • [www.nhv.nu](http://www.nhv.nu).



ISSN 1382-6069

Als één van mijn studenten-bijbaantjes heb ik bij mijn oom Ruud in de bakkerij geholpen met het bezorgen van de bestellingen. Dit gebeurde met een oud, maar karakteristiek Frans bestelautootje, voorzien van een benzine-motortje, en met name bij koud weer gaf dat veel last van startproblemen. Zeker tijdens de drukke periode in december probeerden we haar zo dicht mogelijk bij de bakkerij te parkeren. Niet alleen om het laden te vergemakkelijken, maar ook omdat de knechten dan, na het aanduwen in de nachtelijke vrieskou, weer vlug naar binnen konden om op te warmen bij de ovens.

Op een gegeven moment ging het echt niet meer en kwam er een nieuwe, hippe bestelbus. Met pijn in ons hart namen we afscheid van het eigenwijze Franse dametje. Hoewel verlost van startproblemen, merkten we al gauw dat de nieuwe bestelbus eigenlijk te groot was voor de smalle straatjes in Edam. Het vestingstadje bleek opeens ooit gedimensioneerd op bootjes uit de polder, voetgangers, handkarren en af en toe een paard en wagen. In bochten waar ik vroeger moeiteloos doorheen reed, moest ik nu soms meerdere keren heen en weer steken. De vooruitgang had een onvoorziene bijwerking...

Ook in ons vakgebied is er innovatie. Er wordt hard gewerkt aan een Nationaal Hydrologisch Instrumentarium en in deze speciale uitgave van Stromingen vindt u de laatste stand van zaken. Voor een internationale dimensie wordt ook het Vlaams Grondwatermodel beschreven. Op 22 januari 2009 organiseert de NHV een discussiemiddag waar we met elkaar het Instrumentarium gaan bespreken. Vragen en opmerkingen van collega's die er met een frisse blik naar kijken, maken het uiteindelijke resultaat ongetwijfeld beter. Gelieve deze *special* als uw huiswerk voor deze middag te beschouwen.

En onze Franse freule? Jaren later ontvingen we van een Nederlands echtpaar, ik dacht ergens uit het Groene Hart, een foto. Op rondreis in Jordanië hadden ze haar in de buurt van Petra ontmoet, nog met het adres erop van de bakkerij in Edam. Ze was daar ongetwijfeld in haar element, want om koude-startproblemen te voorkomen, hoeft je in de woestijn alleen maar te wachten op zonsopkomst...

FS

*Het bestuur en de redactie wensen u fijne feestdagen en een gelukkig nieuwjaar met veel hydrologische inspiratie !*



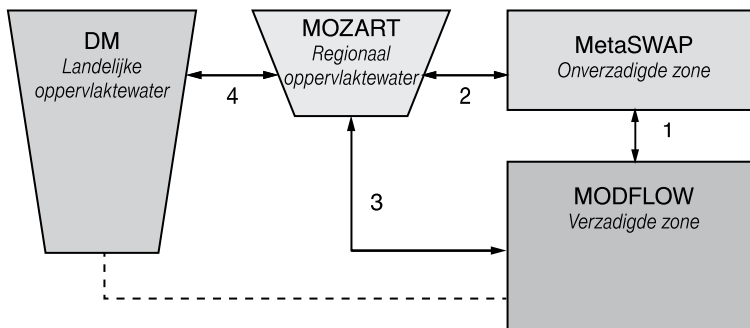
Een jaar geleden verscheen in *Stromingen* een artikel met de titel “Op weg naar één Nationaal Hydrologisch Instrumentarium”. Ondertussen is deze weg bewandeld: er is één Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, met de koosnaam het NHI. Je kunt misschien discussiëren of De Nederlander wel of niet bestaat; het NHI bestaat zeker wel!

Natuurlijk is het NHI niet binnen één jaar geheel volwassen geworden. Het instrumentarium heeft nog wat kinderziektes en toont soms nog wat kinderachtig gedrag. Toch kan het NHI al – met de juiste zorg en aandacht – hydrologische ondersteuning bieden aan strategische vragen op landelijke schaal. Het NHI zal in de komende jaren verder groeien ten behoeve van optimale ondersteuning op landelijk (en zoveel mogelijk regionaal) niveau en helemaal volwassen worden. In september jl. is echter de eerste ontwikkelfase van het NHI afgesloten.

Voordat wij de resultaten van de NHI-fase 1 kort gaan uitleggen is het wellicht goed om nog even kort de geschiedenis toe te lichten. Het initiatief om een gezamenlijk landelijk hydrologisch instrumentarium te ontwikkelen is in 2005 begonnen. Dit nieuwe instrumentarium, het NHI, moest de oude landelijke instrumentaria LGM-SWAP (van MNP) en NAGROM-MOZART (van RWS-RIZA) vervangen en sloot aan bij modelontwikkeling door TNO, Alterra en WL|Delft Hydraulics voor de regionale markt. Het NHI is opgezet als een meerjarig project en wordt door (inmiddels) Alterra, Deltares, PBL, RWS-Waterdienst en STOWA gefinancierd en uitgevoerd. Het project heeft zijn bestuur, zijn begeleidingsgroep en een groeiend aantal partners (waaronder voornamelijk ingenieursbureaus en regionale waterbeheerders).

In de eerste ontwikkelfase zijn bestaande landelijke instrumentaria naar het nieuwe instrumentarium gemigreerd. Op dit moment bestaat het NHI uit de volgende gekoppelde modelcodes:

1. MODFLOW (verzadigde zone)
2. MetaSWAP (onverzadigde zone)
3. MOZART (regionaal oppervlaktewater)
4. Distributiemodel (DM, landelijk oppervlaktewater)





Het ondergronddeel van het NHI bevat vier watervoerende pakketten en heeft een modelgrid met een celgrootte van 250 bij 250 meter. De modelcombinatie MODFLOW/MetaSWAP rekent met tijdstappen van 1 dag. De vraag en aanbod van het landelijk oppervlaktewater wordt met de modelcombinatie MOZART/DM vooralsnog in tijdstappen van 10 dagen berekend.

De eerste projectfase bestond uit modelbouw, dat wil zeggen conceptualisatie, schematisatie, parametrisatie en de randvoorwaardenbepaling van het model. In het najaar van 2008 is tevens een globale modelanalyse uitgevoerd om de plausibiliteit van het nog ongecalibreerde instrumentarium te checken. Het blijkt, tot onze vreugde, dat het model geloofwaardig genoeg is om door te gaan met calibratie, validatie en uiteraard gebruik (simulatie) van het instrumentarium. De resultaten van de NHI ontwikkeling tot nu toe (inclusief data- en modelbestanden en rapportages) zijn via het NHI portaal ([www.nhi.nu](http://www.nhi.nu)) beschikbaar gemaakt. Daarmee wil het NHI- projectteam duidelijk maken dat:

- een geïntegreerd landelijk instrumentarium echt is ontwikkeld,
- de NHI ontwikkeling transparant en open is voor iedereen en
- de commentaren en suggesties van buiten het projectteam zeer welkom zijn.

Het verder ontsluiten van de aan het NHI gerelateerde data en informatie is één van de belangrijkste geplande NHI-activiteiten voor de komende tijd. Model parametrisatie, waarbij expertkennis een cruciale rol speelt, wordt zoveel mogelijk code onafhankelijk beschikbaar gesteld. Met bronbestanden, zoals REGIS, de Bodemkaart, het AHN en het Top10-vectorbestand worden systematische koppelingen onderhouden, zodat regelmatig efficiënte updates van de modelbestanden worden gewaarborgd. Uiteraard moet hierbij ook de feedback naar de bronbestanden goed worden georganiseerd. De NHI-modelinvoer en de berekeningsresultaten worden systematisch opgeslagen op een NHI-server, conform nationaal- en internationaal afgesproken standaarden. Als resultaat van al deze activiteiten wordt verder gewerkt aan een hydrologische bibliotheek van geactualiseerde bestanden, die on-line beschikbaar worden gesteld. In de NHI-bibliotheek blijft transparantie het sleutelwoord; alle code- en toepassingsafhankelijke transformaties dienen reproduceerbaar te zijn.

Door transparantie wil het NHI-projectteam bijdragen aan een toekomstig efficiënt gebruik van de best beschikbare basisinformatie en kennis van het hydrologische systeem in Nederland. Deze kennis en informatie kan uiteraard niet alleen door het NHI beschikbaar worden gesteld, participatie van o.a. regionale waterbeheerders is hierbij onmisbaar.

Met regionale waterbeheerders is inmiddels een proces begonnen waarin nauw zal worden samengewerkt aan het ontsluiten van data en het op- en neerschalen van basisinformatie, modeldata en resultaten. Voor regionale waterbeheerders kan het NHI randvoorwaarden leveren aan regionale modellen. Dit kunnen zij- en onderrandvoorwaarden zijn voor grondwater in de actuele hydrologische situatie, maar ook bijvoorbeeld randvoorwaarden m.b.t. beschikbaar rijkswater in een bepaald klimaatscenario. Daarnaast is er voor de regionale waterbeheerders in het NHI state of the art kennis beschikbaar over bijvoorbeeld gewassen, bodem, waterlopen en de ondergrond. Andersom kunnen

de regionale waterbeheerders het NHI verbeteren door eigen gegevens en inzichten aan het NHI beschikbaar te stellen, zodat regionale kennis wordt ontsloten in landelijke analyses. Bij het uitwisselen van informatie en het op- en neerschalen van informatie, dient rekening te worden gehouden met regelmatige update van zowel data als modellen. Bijvoorbeeld door af te spreken dat aan het begin van elk hydrologisch jaar een modelversie wordt afgeleid op basis van de beschikbare informatie van het afgelopen jaar.

Concreet zijn in het najaar van 2008 regionale pilots gestart waarin de invoer en/of de uitkomsten van het NHI worden vergeleken met enkele regionale modellen. Hier werken we samen met collega's van Waterleidingbedrijf Brabantwater en de volgende waterschappen: Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland en Waterschap Peel en Maasvallei. In 2009 wordt het NHI-gebruikersoverleg opgericht en alle lezers van Stromingen zijn van harte welkom om mee te doen aan toekomstige ontwikkeling en toepassing van het instrumentarium.

Verdere voorziene ontwikkeling van het NHI zijn verbetering van de verziltingsmodellering, inspelen op de wensen van landelijke waterkwaliteitsmodellen en het verfijnen van de oppervlaktewatermodellering. Naar verwachting zal het landelijke oppervlaktewater over een jaar met behulp van landelijke SOBEK-deelmodellen worden gemodelleerd, in plaats van het met het Distributiemodel.

Op verschillende manieren wordt structureel gewerkt aan verdere verbetering, regionalisatie en verfijning van het NHI. Een nauwkeurig NHI is de voorwaarde voor betrouwbare simulaties van waterkwaliteitssituaties, verdroging, verzilting, klimaatvariëaties en allerlei andere processen waarin het instrumentarium direct of indirect ingezet gaat worden.

In deze speciale editie van Stromingen wordt nader ingegaan op de verschillende onderdelen van het NHI. Eerst wordt de modellering van het grondwatersysteem besproken (artikel 2) en vervolgens de schematisatie van het oppervlaktewaterstelsel (3). In artikel 4 wordt dieper ingegaan op de concepten van de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater, door middel van freatische lekweerstanden. Artikel 5 tenslotte gaat nader in op de conceptualisatie en parameterisatie van landgebruik, bodem, beregening en buisdrainage in het NHI.

Veel leesplezier toegewenst in deze speciale editie van Stromingen.

Namens het projectteam NHI,

*Neno Kukuric, november 2008*



---

# Berekening van verzadigde grondwaterstroming met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium

Bart Goes en Jarno Verkaik<sup>1</sup>

---

## 1 Inleiding

Een belangrijk doel van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is het beantwoorden van landelijke beleidsvragen (zie het artikel 'NHI? NHI!', elders te vinden in deze uitgave van Stromingen). Voor de ontwikkeling van het model is een gefaseerde aanpak gekozen, waarbij in eerste instantie zoveel mogelijk aansluiting is gezocht bij de tot nu toe gebruikte landsdekkende grondwatermodellen. Deze modellen zijn LGM (Landelijk Grondwater Model van Planbureau voor de Leefomgeving) en NAGROM (Nationaal GRondwater Model van Rijkswaterstaat Water Dienst). Voor de vergelijkbaarheid met deze modellen is er in eerste instantie voor gekozen om de ondergrond te verdelen in vier modellagen.

In de periode van april 2006 tot en mei 2007 (NHI Fase 1) lag de nadruk op de onderlinge afstemming tussen de participerende kennisinstituten en de technische realisatie van de koppeling tussen drie verschillende modelleercodes: MODFLOW (de verzadigde grondwaterstroming), MetaSWAP (de onverzadigde zone) en MOZART/DM (de oppervlaktewater verdeling). Voor meer informatie over MetaSWAP en MOZART/DM, zie respectievelijk de artikelen 'Conceptualisatie en parameterisatie van landgebruik, bodem, berekening en buisdrainage in het NHI' en 'Oppervlaktewater in het NHI', elders in deze uitgave van Stromingen. De wensen voor: het inbrengen van nieuwe data (o.a. REGIS II.0), reproduceerbaarheid van de modelinvoer en aansluiting bij de werkwijzen voor regionale modellen, heeft geresulteerd in de start van NHI Fase 1+. Van juni 2007 tot oktober 2008 is er hard gewerkt om het NHI model vanaf de basis op te bouwen met de best beschikbare data van de participerende kennisinstituten.

In dit artikel wordt beschreven hoe het verzadigde grondwatermodel is opgebouwd en hoe de ondergrond is geschematiseerd en geparametriseerd. Dit artikel is gebaseerd op de NHI rapportage, welke te downloaden is vanaf de webpagina [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu).

---

<sup>1</sup> Bart Goes en Jarno Verkaik zijn werkzaam bij Deltares, Bodem en Grondwatersystemen. Correspondentie: [jarno.verkaik@deltares.nl](mailto:jarno.verkaik@deltares.nl)

## 2 Basiselementen MODFLOW

### 2.1 Inleiding

De verzadigde grondwatervergelijking wordt binnen het NHI model opgelost met de eindige volume<sup>2</sup> modelcode MODFLOW. MODFLOW (MODular groundwater FLOW) is een publiekdomein code en bestaat uit een verzameling packages (modules) die door de USGS zijn en worden ontwikkeld ([http://water.usgs.gov/software/lists/ground\\_water](http://water.usgs.gov/software/lists/ground_water)). Met deze packages kunnen bijvoorbeeld de ontwateringsmiddelen worden gemodelleerd. Ruim twintig jaar biedt MODFLOW de modelleur een flexibel platform waar functionaliteiten naar eigen behoeften aan kunnen worden toegevoegd of aangepast. Dit is een belangrijke reden waarom MODFLOW wereldwijd veel wordt gebruikt.

In paragraaf 2.2 zullen kort de basiskenmerken van het MODFLOW model besproken worden, gevolgd door de beschrijving van enkele gebruikte packages in paragraaf 2.3.

### 2.2 Basiskenmerken MODFLOW

- Het NHI model berekent verzadigde grondwaterstroming voor Nederland, met uitzondering van de Waddeneilanden en Zuid-Limburg (Figuur 1). Het grondwatermodel bestaat uit vier quasi-3D modellagen (Figuur 2) een deklaag, welke zowel watervoorrend als scheidend is;
- drie watervoerende pakketten (WVP) of aquifers, met uitsluitend horizontale grondwaterstroming;
- twee slecht doorlatende lagen (SDL) of aquitards, welke de watervoerende lagen scheiden, met uitsluitend verticale grondwaterstroming;
- een ondoorlatende hydrogeologische basis.

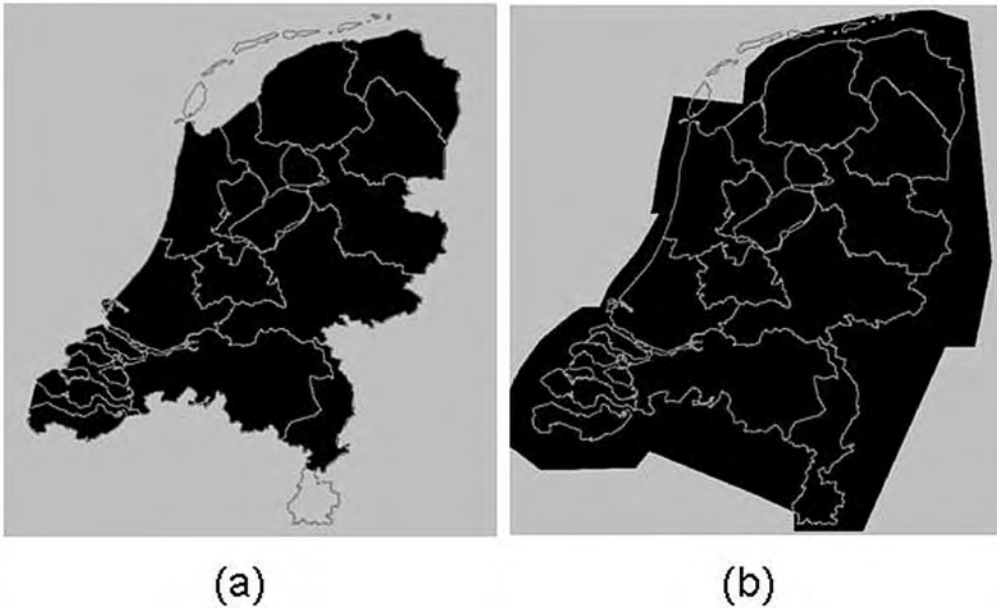
Er is bewust voor vier modellagen gekozen door de NHI projectgroep om a) de vergelijking met de parameters van de voorloper van het NHI mogelijk te maken en b) door de beperkte rekencapaciteit.

De laagindeling is grotendeels gebaseerd op een vereenvoudiging van REGIS II.0 (Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem). In MODFLOW is de ruimtelijke variatie in de diktes van de watervoerende pakketten verdisconteerd in het doorlaatvermogen en de diktes van de scheidende lagen in de weerstand tussen de watervoerende pakketten. In Hoofdstuk 3 wordt uitvoerig ingegaan op de gevolgde werkwijze voor het maken van de ondergrond invoer voor MODFLOW.

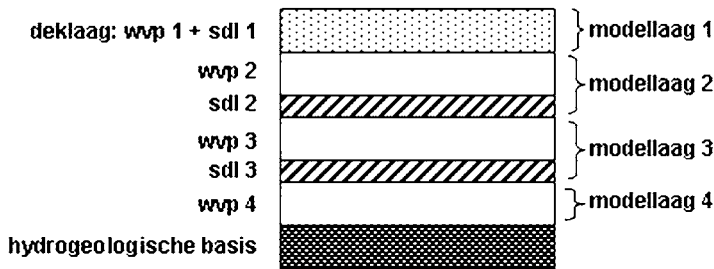
Elke modellaag kent 1200 kolommen en 1300 rijen van rekencellen met elk een afmeting van 250 bij 250 m. Van de cellen die buiten het rekengebied liggen wordt geen stijghoogte berekend, dit zijn inactieve cellen. In de freatische laag zijn alle cellen binnen de landsgrenzen actief (Figuur 2a) en de diepere modellagen kennen ook buiten Nederland actieve cellen (Figuur 2b). In Rijksdriehoek coördinaten bestrijkt het NHI model de X-coördinaten 0 tot 300 km en Y-coördinaten 300 tot 625 km.

---

<sup>2</sup> In de literatuur wordt MODFLOW ten onrechte een eindige differentie methode genoemd. Feitelijk wordt niet de differentiaal- maar de integraalvorm van de grondwatervergelijking opgelost. Het resulterende eindige volume schema verschilt in eigenschappen qua nauwkeurigheid en flexibiliteit.



**figuur 1:** Actieve (zwart) en inactieve rekencellen (lichtgrijs) van het NHI model. De overgang actief-inactief is de modelrand. (a): modellaag 1 met een dichte rand; (b): modellagen 2 t/m 4 met als rand een vaste stijghoogte.



**figuur 2:** Verticale modelschematisatie binnen MODFLOW (SDL: slecht doorlatende laag; WVP: watervoerend pakket).

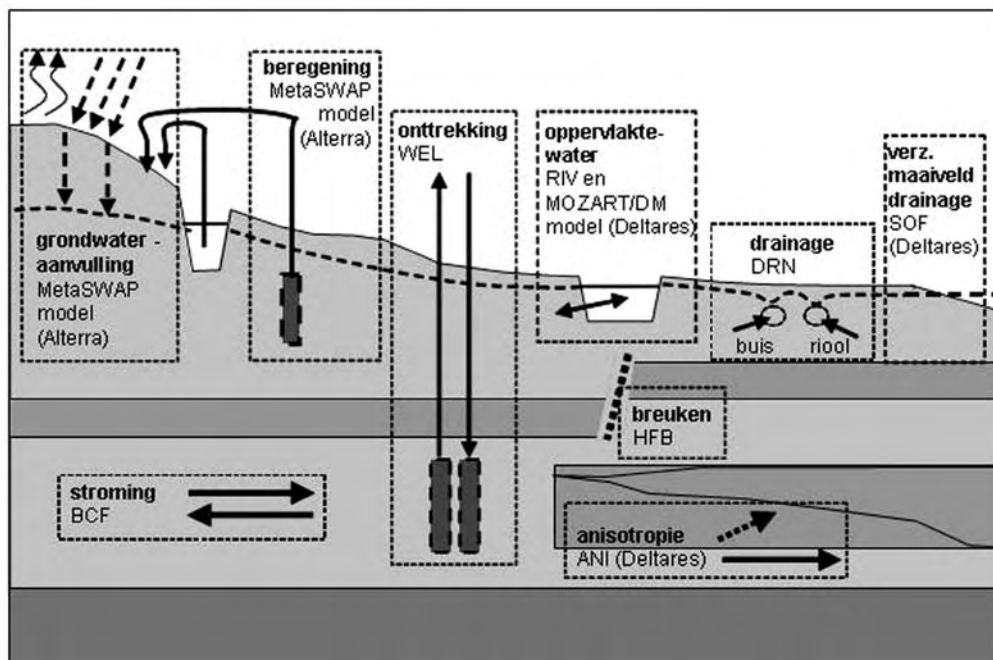
De randvoorwaarden voor de modelgrenzen (overgang actief-inactief) zijn verschillend per modellaag:

- *Modellaag 1:* er is aangenomen dat stroming (het doorlaatvermogen) over de landsgrens te verwaarlozen valt (een dichte ‘Neumann’ rand).
- *Modellaag 2-4:* vaste stijghoogte rand (‘Dirichlet’ rand). Hiervoor zijn berekende stationaire stijghoogten uit het NAGROM model gebruikt. Verder is voor de actieve cellen in het buitenland en het kustgebied informatie uit het NAGROM model gebruikt om Nederland van randvoorwaarden te voorzien.

### 2.3 Beschrijving MODFLOW packages

Figuur 3 toont schematisch welke MODFLOW packages zijn gebruikt en de koppeling met MetaSWAP en MOZART/DM. De packages RIV (oppervlaktewater), DRN (voornamelijk buisdrainage) en SOF (verzadigde maaiveld drainage) worden gebruikt om 'Cauchy' randvoorwaarden (stijghoogte afhankelijke fluxen) aan het model op te leggen. Hiermee kan de interactie tussen de drainagemiddelen en/of de oppervlaktewateren in het topsysteem en het grondwater eronder worden gemodelleerd. De WEL package wordt gebruikt om put onttrekkingen en infiltraties te modelleren ('Neumann' rand, constante flux).

Hieronder worden enkele packages kort toegelicht. Een uitgebreide beschrijving is terug te vinden in de desbetreffende NHI deelrapporten.



figuur 3: MODFLOW packages en gekoppelde modellen binnen het NHI. (Tussen haakjes staat de naam van het kennisinstituut vermeld als de software is aangepast of nieuw is ontwikkeld. Dit figuur is grotendeels ontleend aan de MIPWA rapportage.

**Oppervlaktewaterlopen (RIV package)** Er wordt een onderscheid gemaakt tussen vier typen waterlopen: hoofd (H), primair (P), secundair (S) en tertiair (T). De hoofdwaterlopen zijn de Rijkswateren en grote boezems, zoals deze in het Distributie Model (DM) gekozen zijn. De indeling primair/secundair/tertiair is gemaakt op basis van de breedte van de waterloop in de TOP10vector kaart van Rijkswaterstaat voor peilbeheerst Nederland, en op basis van afvoercriteria voor vrij afwaterend Nederland (Tabel 1). Voor meer informatie zie het NHI deelrapport 'Kenmerken Regionaal Oppervlaktewater'.

**tabel 1:** Indeling van waterlopen in drie klassen, met uitzondering van de hoofdwaterlopen H.

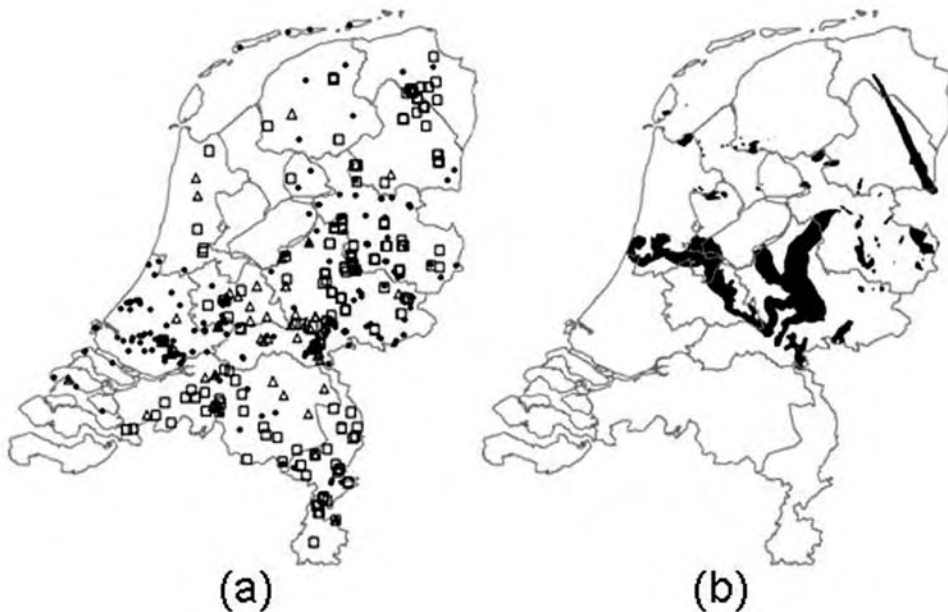
	<b>Laag Nederland (TOPI0vector breedte)</b>	<b>Hoog Nederland (Afvoercriterium)</b>
Primair	> 3m	> 100 liter/sec
Secundair	< 3m; uitgezonderd Tertiair	25-100 liter/sec
Tertiair	Greppels, droogvallende sloten	< 25 liter/sec

In de RIV package worden zowel de zomer- en winterpeilen van de waterlopen, de freatische lekweerstanden tussen de waterloop en de onderliggende modellaag, als de diepten van de waterbodem ingevoerd. Voor de peilen en bodemdieptes is de MOZART/DM parameterisatie als basis genomen. Dit is aangevuld met de aanwezige data binnen de kennisinstituten. Om de freatische lekweerstanden te bepalen is de formule van ‘De Lange’ toegepast. Zie hiervoor het artikel ‘Bepaling van de freatische lekweerstanden voor het NHI’ elders in deze uitgave van Stromingen.

**Buisdrainage (DRN package)** Hiermee wordt voornamelijk buisdrainage op landbouwpercelen gemodelleerd. De model invoer bestaat uit drainageweerstanden en drainagediepten. Op basis van studies voor regionale modellen (Noord Nederland; Snepvangers en Berendrecht, 2007; Limburg; Vermeulen et al, 2007; en Rivierenland en Rijn en IJssel; Linden, van der et al., 2008) is de landelijke parameterisatie voor de buisdrainage uitgevoerd. Hierna zijn de bestanden opgeschaald van 25 naar 250 m. Meer achtergrondinformatie is terug te vinden in het NHI deelrapport ‘Buisdrainage’.

**Maaiveld drainage (SOF package)** Met deze package wordt op een eenvoudig wijze drainage aan het maaiveld gesimuleerd wanneer de gemodelleerde grondwaterstand boven het maaiveld uitstijgt. Ten opzichte van het maaiveld wordt een drainageniveau en een kleine drainageweerstand opgegeven. De werking van deze package is hetzelfde als die van de DRN package. De gebruikte hoogte van het maaiveld binnen het NHI is verkregen door het AHN 5x5m landsdekkend te ‘filteren’ en het resultaat vervolgens op te schalen naar 25m en 250m. Meer achtergrondinformatie is terug te vinden in het NHI deelrapport ‘Maaiveld’.

**Onttrekkingen en infiltraties (WEL package)** Als basisbestand is het RIZA bestand met grondwateronttrekkingen genomen dat gebaseerd is op het Provinciaal Grondwaterregister. Voor een flink aantal drinkwaterwinningen is gedetailleerde, regionale, informatie uit andere studies gebruikt om het bestand voor het NHI te verbeteren. De lokale aanpassingen hebben betrekking op pompstations van: Waterbedrijf Groningen, Waterleiding Maatschappij Drenthe, Vitens (Friesland, Overijssel, Gelderland), Waterleiding Maatschappij Limburg en Brabant Water. Voor de modellering zijn onttrekkingen voor het jaar 2000 gekozen. Debieten van minder van 50.000 m<sup>3</sup>/jaar zijn niet meegenomen. Op basis van de filterdiepten en het lagenmodel voor de ondergrond (zie Hoofdstuk 3) zijn de onttrekkingen toegekend aan de MODFLOW modellen. Een overzicht van de onttrekkingen staat in Figuur 4 (links). Meer achtergrondinformatie is terug te vinden in het NHI deelrapport ‘Onttrekkingen’.



**figuur 4:** (a): Grondwateronttrekkingen : modellaag 2,  $\Delta$  : modellaag 3; o : modellaag 4.  
 (b): locaties anisotropie. Aan modellaag 1 zijn geen onttrekkingen toegekend.

**Horizontale anisotropie (ANI package)** Deze package modelleert de horizontale anisotropie in gebieden waar de hydraulische geleidbaarheid van de ondergrond voor verzadigde grondwaterstroming in verschillende richtingen niet even groot is. De invoer bestaat uit de richting en de sterkte van anisotropie, respectievelijk de anisotropiehoek en anisotropiefactor genoemd. De promotieonderzoeken van Gehrels (1999) en Bakker (2004) zijn gebruikt voor het schatten van de anisotropie van gestuwde afzettingen. De invoer wordt binnen MODFLOW gebruikt volgens een methode die is beschreven in Vermeulen (2006). Anisotropie is toegepast voor modellagen 2 t/m 4. Figuur 4 (rechts) laat de gebieden zien waar anisotropie is gemodelleerd, zoals de Veluwe, de stuwwal van Nijmegen en het Montferland. Meer achtergrondinformatie is terug te vinden in het NHI deeloprapport 'Ondergrond'.

**Breuken (HFB package)** Breuken zijn op dit moment zeer beperkt meegenomen in het NHI model, omdat hierover weinig kwantitatieve informatie beschikbaar is. De Peelrandbreuk is de enige breuk die als water ondoorlatend is gemodelleerd. Het effect van de overige breuken op de grondwaterstroming wordt impliciet in het model meegenomen in de vorm van een sprong in doorlatendheden over de breukranden.

In het volgende hoofdstuk wordt het maken van ondergrond invoer voor MODFLOW (BCF package) uitgebreid beschreven.

## 3 Schematisatie en parameterisatie van de ondergrond

### 3.1 Van brongegevens ondergrond naar MODFLOW invoer

De drie slecht doorlatende lagen, zie Figuur 2, krijgen een verticale weerstand toegekend (c-waarde in dagen). De vier watervoerende pakketten krijgen een horizontale transmissiviteit toegekend (kD-waarde in  $\text{m}^2/\text{dag}$  met D de dikte).

REGIS II.0 is een digitale regionale hydrogeologische kartering van de ondergrond van een groot deel van Nederland<sup>3</sup> (Vernes en Van Doorn, 2005). REGIS II.0 is een belangrijke bron voor het bepalen van de parameterwaarden van de modellen. Binnen REGIS II.0 worden 106 hydrogeologische eenheden onderscheiden. Deze eenheden bestaan uit zand, klei, veen of hebben een complexe samenstelling van zand, klei en veen. De weerstandbiedende hydrogeologische eenheden uit REGIS (klei, veen en sommige complexe lagen) vormen de kapstok van de ondergrondindeling voor NHI, omdat deze de ligging van de slecht doorlatende modellen bepalen. Echter omdat REGIS II.0 niet landsdekkend is en de opbouw van het Holoceen binnen REGIS II.0 niet is gedifferentieerd, is REGIS II.0 uitgebreid en aangepast voor toepassing in het NHI. Deze uitbreidingen en aanpassingen betreffen:

inpassen lagenmodel en parameters Noord-Groningen op basis van een grondwatermodel voor Noord Nederland (Snepvangers en Berendrecht, 2007);

- inpassen lagenmodel en parameters Limburg op basis van een vroegere levering van REGIS II.1 (Vernes, in voorbereiding);
- inpassen van STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel), de landsdekkende parameterisatie van het topsysteem (Massop et.al., in voorbereiding);
- inpassen holocene detailkartering REGIS Zeeland (Vernes en Menkovic, in voorbereiding);
- inpassen van de parameterisatie van de holocene deklaag (Maljers en Vernes, in voorbereiding);
- onderscheid maken voor gestuwde afzettingen tussen kleiige gestuwde afzettingen (Oost-Twente) en zandige gestuwde afzettingen (de rest van Nederland).

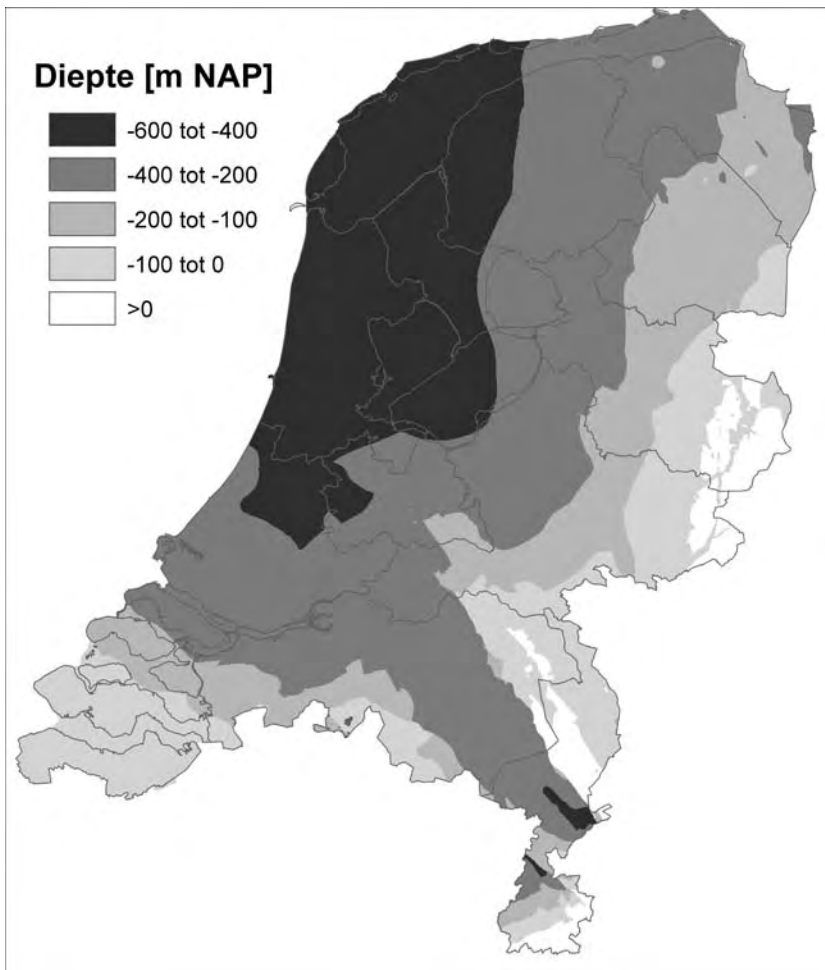
De werkwijze om MODFLOW invoerbestanden te creëren uit de hierboven opgesomde informatie is zoveel mogelijk geautomatiseerd door middel van een aantal gedocumenteerde GIS en FORTRAN programma's. Door deze werkwijze zijn gegenereerde invoerbestanden reproduceerbaar. Dit heeft twee belangrijke voordelen: a) aanpassingen kunnen relatief snel worden doorgevoerd, b) de herkomst van de informatie is eenvoudig achterhaalbaar. Hieronder wordt een aantal hoofdlijnen van de gevolgde werkwijze voor het genereren van de ondergrond modelinvoer gepresenteerd. Een gedetailleerde beschrijving van de werkwijze staat in het NHI deelrapport 'ondergrond'. Het maken van het ondergrondmodel bestaat uit twee hoofdonderdelen: het maken van het lagenmodel (boven- en onderkanten) en de parameterisatie (c en kD).

---

3 Het Fries-Groningse Waddengebied, het noordelijke deel van het vaste land van Noord-Groningen en Limburg vallen buiten het karteergebied van REGIS II.0, REGIS II.1 dat in oktober 2008 is opgeleverd is wel landsdekkend.

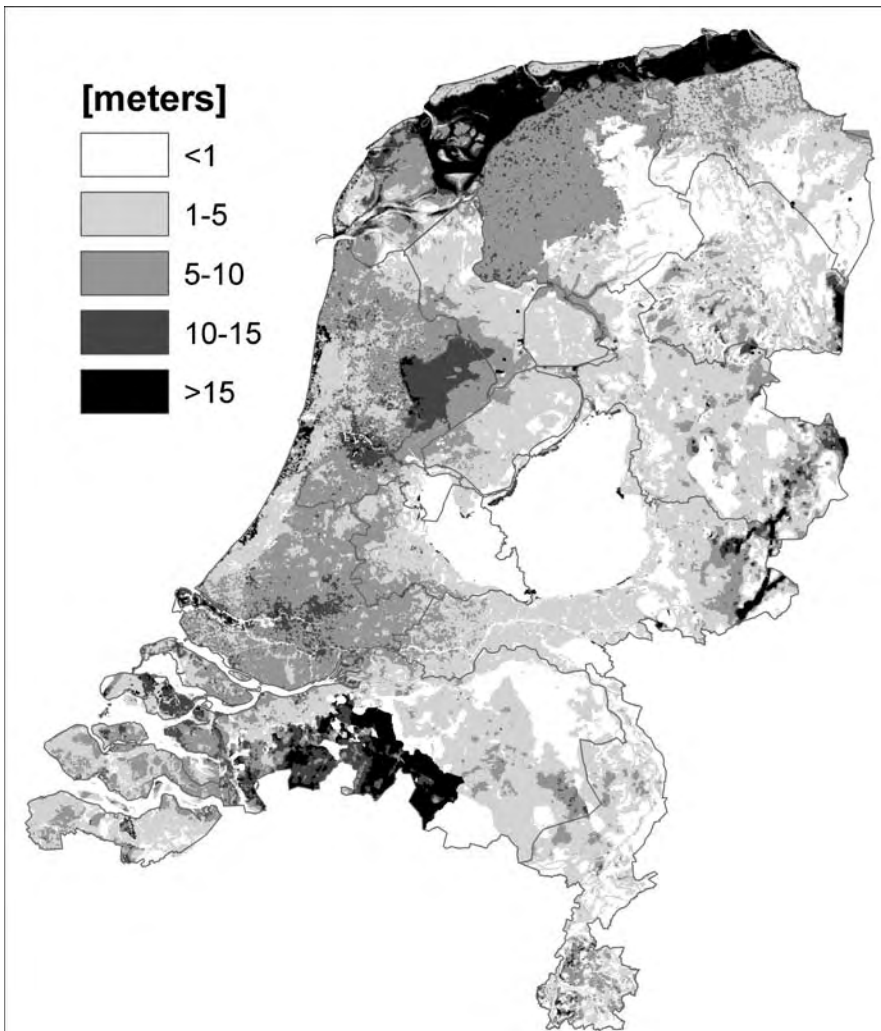
### 3.2 Lagenmodel

De hydrogeologische basis is een gekozen ondergrens van het grondwatersysteem. Deze ondergrens bestaat voor het Nederlandse systeem meestal uit zeer slecht doorlatende kleien. In het NHI model wordt verondersteld dat door de basis geen water stroomt en dat deze basis daarmee het grondwatersysteem hard afsluit. Binnen NHI Fase 1+ is er voor gekozen om de basis vrij diep te leggen (maximaal -580 m NAP). Vooral in West Nederland, zoals te zien is op de kaart in Figuur 5 ligt de basis dieper dan in regionale of lokale detailstudies gebruikelijk is. Deze keuze is gemaakt omdat ondiepere slecht doorlatende kleien, welke in regionale modellen wel gebruikt worden als hydrogeologische basis, vanuit een landelijk oogpunt niet een doorlopende basis vormen. Op willekeurige locaties zouden er dan sprongen in de basis komen. De basis bestaat vooral uit de bovenkanten van de mariene afzettingen van Breda, het Tertiair (Twente), en de kleien van Rupel ('Boomse' klei) en Tongeren (Zeeuws Vlaanderen).



figuur 5: Diepte hydrogeologische basis (meters NAP).



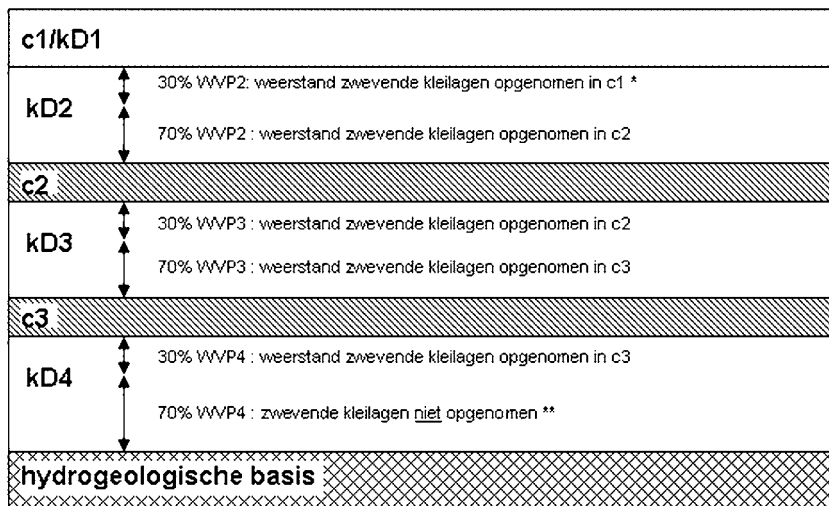


**figuur 6:** Dikte deklaag (meters).

Ruwweg kan de onderkant van de deklaag worden gedefinieerd als de onderkant van de eerste significante kleilaag in de ondiepe (ongeveer de eerste 30 m) ondergrond. Als er geen significante kleilaag aanwezig is binnen dit dieptebereik, zoals op de Veluwe, dan krijgt de deklaag een dikte van 0 m. In holocene gebieden kent het gebruik van REGIS beperkingen voor het vaststellen van de onderkant van de deklaag. Met uitzondering van de Provincie Zeeland wordt in REGIS namelijk geen nader onderscheid gemaakt tussen zand-, klei- en veenlagen binnen het Holocene. De onderkant van het Holocene is daardoor geen lithologisch, maar een geologisch (tijd) grensvlak. Dit geologische grensvlak valt daardoor lang niet overal samen met de onderkant van een slecht doorlatende laag, zodat niet overal de onderkant van de deklaag correct kan worden vastgesteld. Voornamelijk op plekken waar diepe holocene geulen voorkomen, zoals in het westelijk deel van Noord-Holland, is de onderkant van het Holocene zandig. Dit

zand hoort hydrologisch bij het eerste watervoerende pakket en niet bij de deklaag. In Zeeland is daarom gebruik gemaakt van de detailkartering voor het Holoceen (Vernes en Menkovic, in voorbereiding). In de rest van de holocene gebieden waarvoor STONE een deklaag heeft gekarteerd (Massop et al., in voorbereiding) is de onderkant van deze deklaag overgenomen, en dus niet die uit REGIS. De STONE kartering is gebaseerd op boringen uit DINO (<http://dinoloket.nitg.tno.nl>). Binnen STONE is veel aandacht besteed aan het correct vaststellen van de onderkant van de deklaag als zijnde de onderkant van de ondiepste significante klei- of veenlaag. In STONE is dus wel rekening gehouden met zandbanen in de onderkant van het Holoceen. De dikte van de deklaag staat in Figuur 6.

Onder de deklaag zijn in REGIS ruim 50 kleilagen aanwezig, die in het NHI grotendeels zijn ingedeeld in twee slecht doorlatende lagen (SDL2 en SDL3). Dit is dus een grove schematisatie (Figuur 7). Op basis van een groot aantal landelijke en lokale profielen zijn kleilagen toegekend aan slecht doorlatende modellagen. In bijlage 2 van het NHI 'Ondergrond' deelrapport is de gebruikte indeling per REGIS kleilaag terug te vinden. In gebieden waar relatief veel REGIS kleilagen voorkomen is een beperkt deel van de kleilagen niet ingedeeld in een slecht doorlatende laag. Deze kleilagen, binnen NHI 'zwevende' kleilagen genoemd, vallen daardoor binnen een watervoerend pakket. Bij de toekenning van de weerstanden wordt (zie hieronder) hier apart rekening mee gehouden. De meeste complexe REGIS lagen, die bestaan uit een niet nader gekarteerde afwisseling van zand en klei, zijn qua diepteligging ingedeeld bij de watervoerend pakketten. Op locaties waar geen REGIS kleilaag in een slecht doorlatende modellaag zit is, door middel van extrapolatie, een zogenaamd hypothetisch grensvlak gemaakt. Op deze locaties zijn de boven- en onderkanten van de slecht doorlatende modellaag gelijk aan elkaar, waardoor de slecht doorlatende laag geen dikte heeft. Dit hypothetische grensvlak dient dan als modelmatige scheiding tussen de watervoerende pakketten.



\*: voor NAGROM/STONE en Zeeland deklaag is verondersteld dat de zwevende kleilagen al in de deklaag zitten

\*\* : vallen weg in geohydrologische basis

figuur 7: Profiel schematisatie van klei- en zandlagen in het NHI lagenmodel.

### 3.3 Parameterisatie

De kD- en c-waarden worden als volgt afgeleid:

$$\begin{aligned} \text{Watervoerende Pakketten:} & \quad kD = k_{h(\text{horizontaal})} * \text{Dikte} \\ \text{Slecht Doorlatende Lagen:} & \quad c = \text{Dikte} / k_{v(\text{vertikaal})} \end{aligned}$$

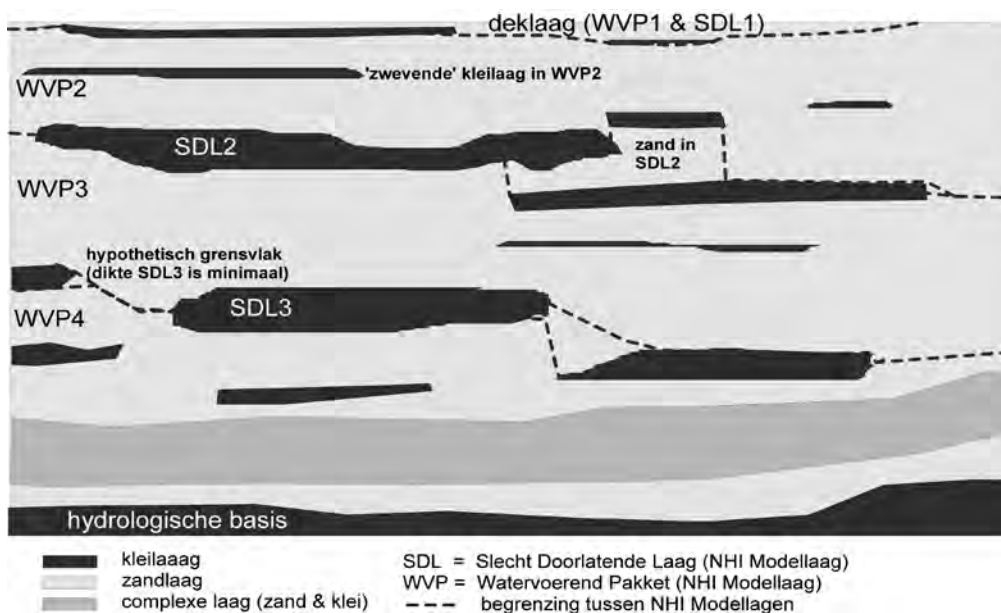
De dikten van de modellagen komen uit het lagenmodel. Een uitzondering hierop vormt de dikte van watervoerende lagen die niet volledig verzadigd zijn, bijvoorbeeld onder de Veluwe. Voor deze lagen is de waterverzadigde dikte bepaald als het verschil tussen de hoogst mogelijke grondwaterstand en de onderkant van de modellaag. De doorlatendheden in horizontale en verticale richting (respectievelijk  $k_h$  en  $k_v$  in m/dag) zijn vastgesteld op basis van REGIS. REGIS heeft voor iedere hydrogeologische eenheid een digitale  $k_h$  - kaart (voor zand en complexe eenheden) en/of een  $k_v$  - kaart (voor klei, veen en complexe eenheden). Voor het grootste deel van het Holoceen zijn de parameters van het STONE model gebruikt. Op basis van deze k-waarden en de dikte van een hydrogeologische eenheid binnen de betreffende modellaag wordt een gewogen  $k_h$  of  $k_v$  bepaald voor deze modellaag.

Bijvoorbeeld, als een watervoerende modellaag voor 25% is opgebouwd uit zanden van de eenheid Boxtel en voor 75% uit zanden van de eenheid Eem, dan wordt de gewogen gemiddelde k-waarde:

$$K_h = 0,25 * k_h \text{ Boxtel zand} + 0,75 * k_h \text{ Eem zand}$$

Hoewel de hierboven (Figuur 7) geïntroduceerde ‘zwevende’ kleilagen betreffende hun diepteligging niet binnen een slecht doorlatende modellaag liggen, kunnen deze kleilagen wel degelijk weerstand bieden aan grondwaterstroming. In Figuur 8 is aangegeven op welke manier de weerstanden van REGIS kleilagen doortellen in de weerstand van nabijgelegen slecht doorlatende lagen. De weerstand van de zogenaamde ‘zwevende’ kleilagen wordt, afhankelijk van hun diepte, opgeteld bij de weerstand van de slecht doorlatende modellaag die boven of onder de kleilaag ligt. Er is gekozen voor een 30-70% verdeling om de weerstanden beter te laten aansluiten bij filterstellingen. Wanneer meetfilters of onttrekkingsfilters worden geplaatst, dan wordt dit vaak net onder een scheidende laag, relatief hoog in een watervoerend pakket, gedaan. Wanneer de misschien meer voor de hand liggende verdeling van 50-50% wordt gebruikt, komt relatief te veel weerstand modelmatig boven de filter. In het NHI ondergrondrapport staat beschreven hoe de complexe REGIS lagen (een niet nader gekarteerde afwisseling van klei, zand en veen) zijn behandeld bij de parameterisatie.

In een zone van 5 km rond het modelleergebied zijn de parameterwaarden (c en kD) geëxtrapoleerd op basis van de parameterwaarde in de dichtst bij gelegen modelcel binnen het modelleergebied. In de rest van het buitenland is een vaste waarde genomen. Hier zijn echter twee uitzonderingen op: De Roerdalslenk en Het Kempens Plateau in België.



**figuur 8:** Overzicht van gebruikte NHI laaggrenzen voor het indelen van weerstanden van 'zwevende' kleilagen in Slecht Doorlatende lagen.

### 3.4 Resultaat parameterisatie

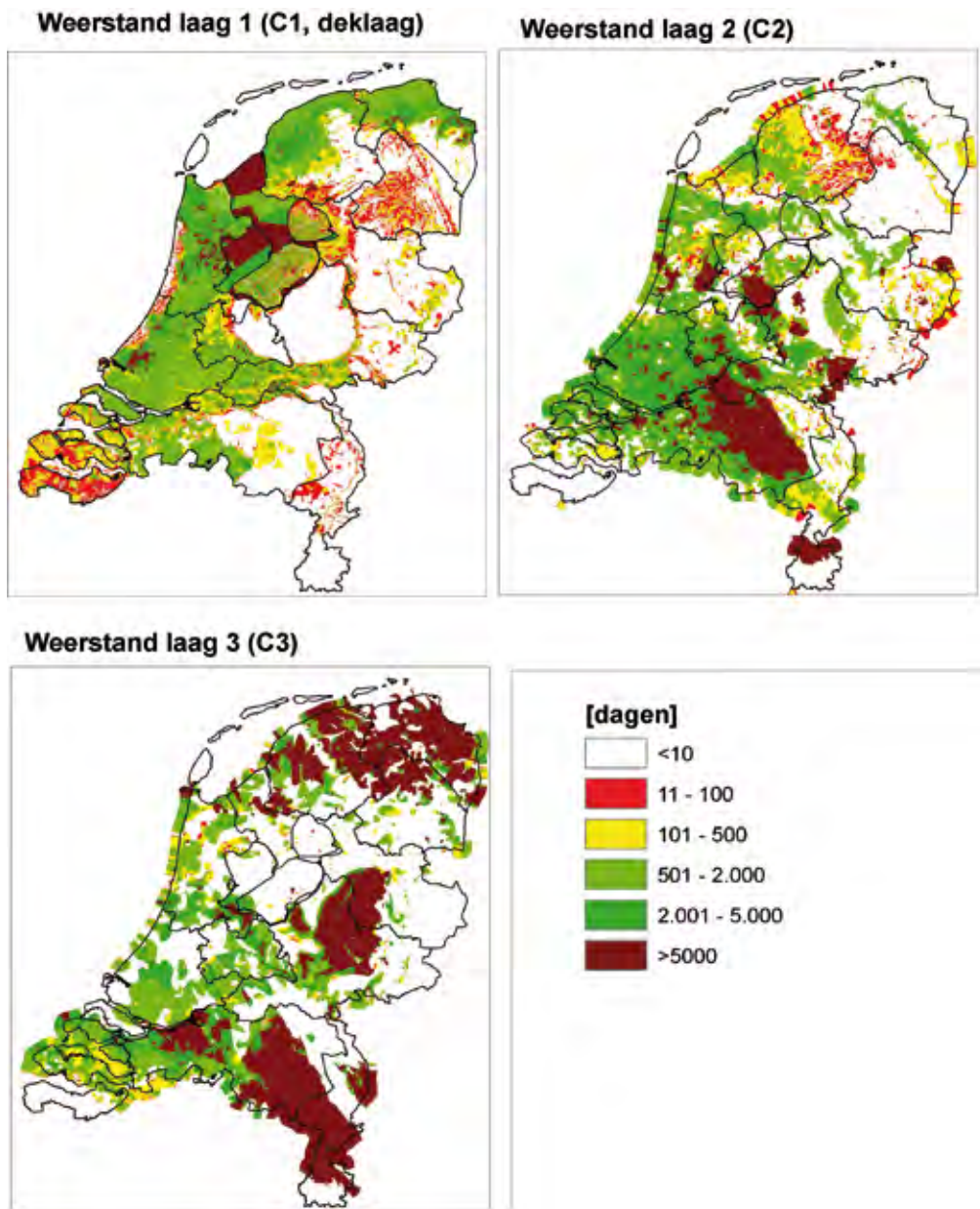
De parameterwaarden ( $c$  en  $kD$ ) van de vier modellagen zijn gepresenteerd in Figuur 9 en Figuur 10. Een aantal markante fenomenen die gerelateerd zijn aan de geologie zijn duidelijk zichtbaar in de figuren:

- de deklaag heeft vooral een hoge weerstand in gebieden waar holocene afzettingen aanwezig zijn (kustgebied, rivierengebied), Drenthe (keileem) en zuidwest Brabant waar een relatief diepe kleilaag (Waalre klei) de onderkant van de deklaag vormt;
- de keileem in Noord Nederland duikt weg naar het westen (Friesland), om deze reden zit de keileem in Friesland in laag 2 ( $c_2$ ) en in Drenthe in laag 1 ( $c_1$ );
- de hoge weerstanden in Noord Nederland ( $c_3$ ) vinden vooral hun oorsprong in de potklei (Peelo klei);
- de diepe centrale slenk in Limburg wordt gekenmerkt door hoge  $c$  ( $c_2$  en  $c_3$ ) en  $kD$  waarden ( $kD_2$  en  $kD_3$ ) en een scherpe overgang op de locaties van de breuken (Noord-Limburg en Noordoost-Brabant).

Regio's en dieptes waar de  $kD$  en  $c$ -waarden verbeterd kunnen worden, zijn:

- De diepere lagen ( $kD_3$ ,  $c_3$  en  $kD_4$ ) in het grensgebied tussen Zuid-Holland en Noord-Brabant wegens het doorwerken van de REGIS karteergrenzen.
- De Roerdalslenk kent relatief veel klei- en zandlagen. Belangrijke watervoerende pakketten kunnen hier, wegens het beperkte aantal NHI modellagen, niet van elkaar onderscheiden worden.
- De hoge  $kD_4$  in en rondom het IJsselmeergebied door het samenvoegen van hydrologisch gescheiden zandpakketten. De zandpakketten zijn samengevoegd wegens het beperkte aantal NHI modellagen in combinatie met de diepe hydrogeologische basis.

- De opbolling van de grondwaterstand onder de Veluwe wordt niet optimaal gemodelleerd vanwege het niet meenemen van de weerstand van de complexe lagen in de parameterisatie. Dit is gerelateerd aan het beperkte aantal NHI modellen.
- De grensgebieden, omdat er geen hydrogeologische informatie uit het buitenland is gebruikt en er dus (nog) niet een op hydrogeologische kennis gebaseerde MODFLOW modellering heeft plaats gevonden.

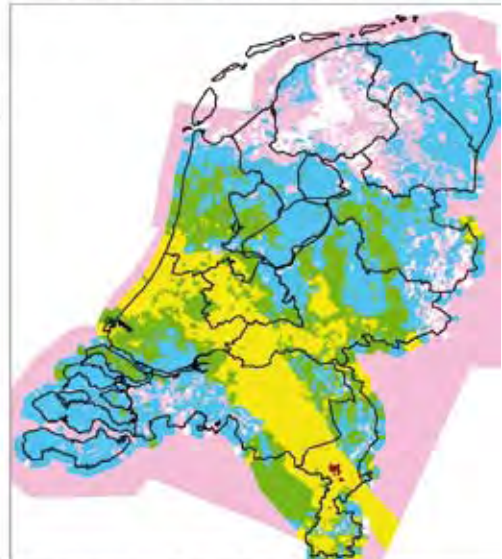


figuur 9: Weerstanden van de ondergrond van het NHI lagenmodel.

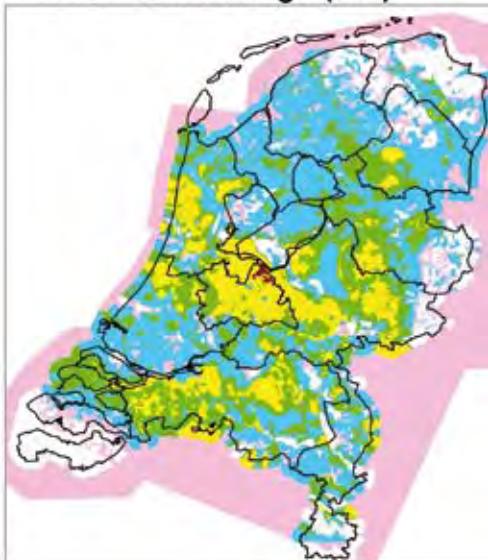
Transmissiviteit laag 1 (kD1, deklaag)



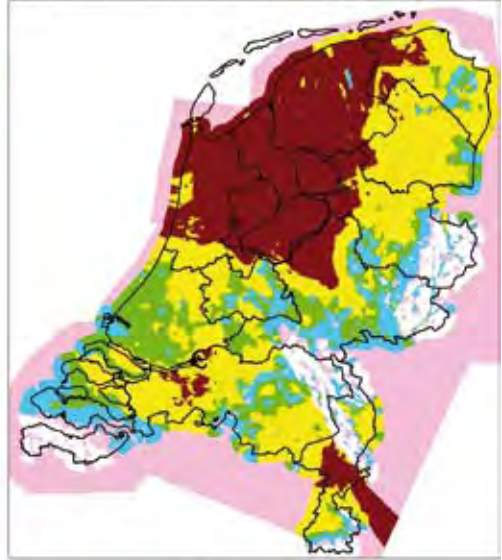
Transmissiviteit laag 2 (kD2)



Transmissiviteit laag 3 (kD3)



Transmissiviteit laag 4 (kD4)



figuur 10: Transmissiviteiten van de ondergrond van het NHI lagenmodel.

## 4 Conclusies en vooruitblik

### 4.1 Conclusies

Wat is de huidige status van het NHI grondwatermodel? In dit artikel is beschreven dat er veel en de best beschikbare data zijn gebruikt om het model vanaf de basis op te bouwen. Hierbij heeft de nadruk gelegen op consensus, consistentie, reproduceerbaarheid en documentatie van het model. Het resultaat is dat er een basismodel ligt, waarover overeenstemming bestaat tussen de participerende partijen binnen het NHI over de gevolgde werkwijzen en gebruikte basisbestanden. Dit basismodel vormt een startpunt voor het doorrekenen van landelijke scenario's en voor verdere ontwikkeling.

### 4.2 Concrete aanbevelingen voor korte termijn

De volgende concrete aanbevelingen worden gedaan om het NHI model uit te breiden en te verbeteren:

- De ondergrond dient op de nieuwe REGIS (II.1) te worden gebaseerd. Dit wordt aanbevolen omdat er ten op zichte van REGIS II.0 een aantal belangrijke verbeteringen zijn doorgevoerd, bijvoorbeeld de te lage parameterwaarden van diepere zandlagen en kartering van Noord-Groningen en Limburg.
- Het huidige NHI model kent beperkingen in de representatie van de diepere lagen in de ondergrond. Vergroting van het aantal modellagen lijkt hiervoor de logische oplossingsrichting. Hierbij moet echter wel rekening worden gehouden met de beschikbare rekencapaciteit.
- De modellering van breuken verdient duidelijk verbetering. Op basis van grondwatermetingen (isohypsenkaarten) zou de mate van water doorlatendheid geschat kunnen worden en vertaald kunnen worden naar relevante modelparameters.
- Het is aan te bevelen het gebruikte basisbestand van grondwateronttrekkingen te verbeteren. Onvolkomenheden, zoals verkeerde putlocaties en filterdiepten, dienen gecorrigeerd te worden. Het bestand zou moeten worden aangevuld met meer regionale kennis, zoals industriële grondwateronttrekkingen die niet zijn meegenomen. Tevens is het aan te bevelen tijdsafhankelijke grondwateronttrekkingen in de modellering mee te nemen.
- Voor het buitenland is een grove schatting gemaakt van de parameters van de ondergrond. Het is aan te bevelen om de MODFLOW schematisatie van de ondergrond voor de grensgebieden (België, Duitsland en Noordzee) ook te baseren op hydrogeologische informatie. Hierbij moet zoveel mogelijk gebruik worden gemaakt van kennis uit buitenlandse en grensoverschrijdende grondwatermodellen.
- De deklaagkartering en parameterisering kunnen consistentier door deze landsdekkend uit te voeren op basis van een reproduceerbare analyse van de DINO boringen.
- Het inpassen van chloride effecten (zoet-zout) op het grond- en oppervlaktewater.

### 4.3 Discussie

Hoe goed is het NHI grondwatermodel nu eigenlijk? Het moet duidelijk zijn dat het model nog niet automatisch gekalibreerd is en de resultaten nog niet uitvoerig vergeleken zijn met metingen. Echter, ondanks deze beperkingen is het model kwalitatief en kwantitatief 'plausibel' bevonden door de NHI projectgroep. Plausibel houdt in dit geval

in dat de experts van de projectgroep hebben geconcludeerd dat de in- en uitvoer van het model: a) landelijk de verwachte hydrologische patronen laten zien (kwalitatief), en b) qua ordegrootte aansluiten bij de verwachting (kwantitatief).

Is het NHI grondwatermodel klaar? Nee, maar er is wel een werkbaar basismodel! Dit model zal zich de komende periode moeten gaan bewijzen voor landsdekkende toepassingen, zoals de droogtestudie. Met de resultaten van deze toepassingen en de hierboven beschreven korte termijn acties zal het model worden verbeterd. Hiervoor is een aantal iteratie slagen nodig voordat er gekalibreerd en gevalideerd wordt. Het uitwisselen van kennis tussen regionale modellen en het NHI zal hierin een prominente rol spelen. De concrete invulling van bovenstaande activiteiten moet nog nader worden uitgewerkt. Dit zal nog genoeg stof voor discussie geven!

## Referenties

- Bakker, M.A.J. (2004)** *The internal structure of Pleistocene push moraines: A multidisciplinary approach with emphasis on ground-penetrating radar. Ph.D. thesis, Queen Mary, University of London, TNO Built Environment and Geosciences, Geological Survey of the Netherlands.*
- Gehrels, J.C. (1999)** *Groundwater level fluctuations: Separation of natural from anthropogenic influences and determination of groundwater recharge in the Veluwe area, the Netherlands. PhD thesis Vrije Universiteit.*
- Harbaugh, A.W., E.R. Banta, M.C. Hill en M.G. McDonald (2000)** *MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process; U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92.*
- Linden, W. van der, e.a., (2008)** *AMIGO Actueel Model Instrument Gelderland Oost. Deltares/TNO rapport, 2008-U-R0749/A*
- Linden, W. van der, e.a., (2008)** *Grondwatermodellering Rivierenland. Deltares/TNO rapport, 2008-U-R0827/A.*
- Maljers, D. en R.W. Vernes (in voorbereiding).** *Weerstand van de holocene deklaag. Deltares.*
- Massop, H.Th.L., I. Peereboom, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors, P.J.T. van Bakel en J. Hoogewoud (in voorbereiding),** *Relatie grondwater- oppervlaktewater – Landsdekkende parametrisatie van het topsysteem. Alterra rapport 1398. Alterra, Wageningen, 58 pagina's + bijlagen.*
- Snepvangers, J. en W. Berendrecht (2007)** *MIPWA, Methodiekontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer. Utrecht, TNO-rapport 2007-U-R0972/A.*
- Vermeulen, P., W. van der Linden, A. Veldhuizen, H. Massop, H. Vermulst en W. Swierstra (2007)** *IBRAHYM, Grondwater Modelinstrumentarium Limburg. Utrecht, TNO-rapport 2007-U-R0193/B.*
- Vermeulen, P. (2006)** *Model-Reduced Inverse Modeling. Proefschrift, TU Delft.*
- Vernes, R.W. (in voorbereiding).** *REGIS Limburg, Uitbreiding van de dataset REGIS II voor de provincie Limburg. Utrecht, Deltares/TNO Geological Survey of the Netherlands.*



**Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn (2005)** *Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO rapport NITG 05-038-B. TNO, Utrecht, 69 pagina's + bijlagen.*

**Vernes, R.W. en A. Menkovic (in voorbereiding)** *REGIS Zeeland, Deelrapport B: Hydrogeologische opbouw en hydraulische eigenschappen van Holocene afzettingen. Utrecht, Deltares/TNO Geological Survey of the Netherlands.*



---

# Oppervlaktewater in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium

Joost Delsman en Geert Prinsen<sup>1</sup>

---

## Inleiding

Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, het NHI, is niet alleen een grondwatermodel, maar kent daarnaast een belangrijke oppervlaktewatercomponent. Met de oppervlaktewatercomponent kan de dynamische uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater worden berekend. Het stelt het NHI in staat vragen te beantwoorden rond waterverdeling (oppervlaktewatertekorten), stofstromen (verblijftijden) en ecologie (systeemvreemd water).

Oppervlaktewater wordt in het NHI momenteel gemodelleerd met de modellen MOZART (Model voor de Onverzadigde Zone voor landelijke Analyses en Regionale Toepassingen), voor het regionale oppervlaktewater, en het DistributieModel, afgekort DM, voor het hoofdwatersysteem. De modellen zijn iteratief gekoppeld met MODFLOW–MetaSWAP. De rekentijdstep van MOZART en DM is één decade, in tegenstelling tot de rekentijdstep van MODFLOW–MetaSWAP van één dag. De relatief grote tijdstep komt mede voort uit het modelconcept van DM, dat ervan uitgaat dat water zich in één tijdstep in het gehele hoofdwatersysteem kan verplaatsen.

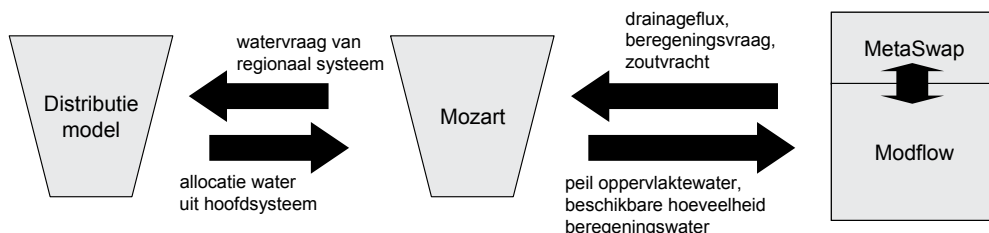
Dit artikel beschrijft de modelconcepten waarmee het gedrag van het oppervlaktewater is beschreven. Daarnaast beschrijft het artikel de totstandkoming van de landsdekende schematisatie van de beide modellen. Het artikel probeert aan te geven welke vragen met het instrumentarium kunnen worden beantwoord, welke informatie met het NHI beschikbaar komt voor gebruikers en wat momenteel de ideeën zijn over toekomstige ontwikkelingen.

## MOZART: modellering van het regionale oppervlaktewater

MOZART heeft een geschiedenis als model voor beschrijving van de onverzadigde zone en de regionale waterverdeling binnen het Droogteinstrumentarium van RWS-RIZA. Van het oorspronkelijke model (Bos et al, 1997) is alleen het regionale waterverdelingsmodel behouden in het NHI. De rol van onverzadigde zone model is overgenomen door MetaSWAP. MOZART is in het NHI gekoppeld aan MODFLOW–MetaSWAP, die het grondwater en de onverzadigde zone simuleren, en met het DM, dat de waterverdeling in het hoofdsysteem berekent (zie figuur 1).

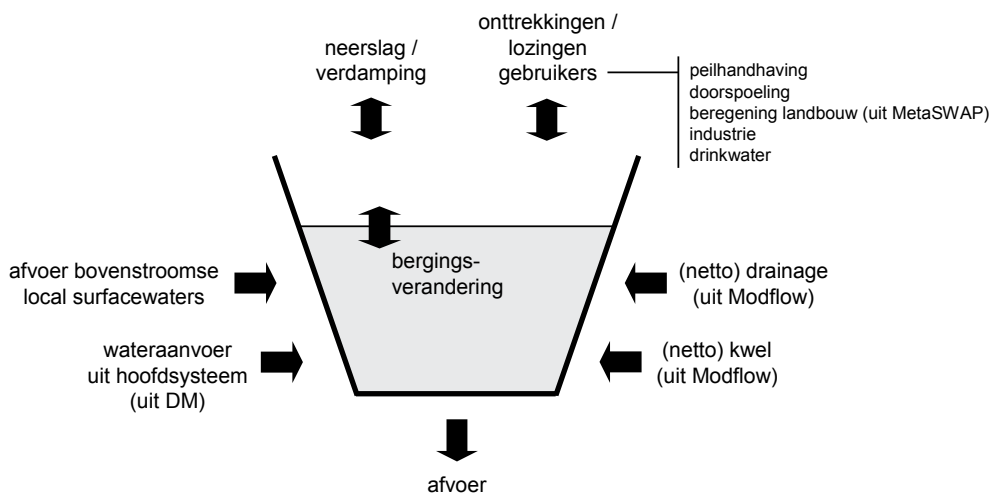
---

<sup>1</sup> Joost Delsman en Geert Prinsen zijn werkzaam bij Deltares



figuur 1: Het NHI, interactie MODFLOW-MetaSWAP / MOZART / DM

De waterverdelingsmodule van MOZART heeft tot doel de verdeling van water in het regionale watersysteem van Nederland te modelleren. MOZART modelleert de afvoer en aanvoer van water en de verdeling van het water over de verschillende gebruikers van het water. Het regionale oppervlaktewater is in MOZART verdeeld in bijna 9000 eenheden die gemiddeld ongeveer 300 ha groot zijn. Deze eenheden worden ‘local surface waters’ genoemd. Meerdere local surface waters vormen samen een ‘district’. In totaal zijn er ongeveer 140 districten. Per local surface water berekent MOZART elke tijdstap een waterbalans. De termen van de waterbalans zijn weergegeven in figuur 2. Naast de waterbalans houdt MOZART ook een chloridebalans bij en een balans van systeemvreemd water.



figuur 2: MOZART, termen van de waterbalans van een ‘local surface water’

MOZART kent twee typen local surface waters: peilbeheerst en vrij afwaterend. Deze worden in de berekening verschillend behandeld.

Peilbeheerste local surface waters worden gekenmerkt door een streefpeil. Wanneer het streefpeil niet kan worden gehandhaafd, kan de waterstand beneden peil zakken. Wateroverschotten kunnen volgens het modelconcept altijd volledig worden geloosd. Daarnaast is wateraanvoer in peilbeheerste local surface waters mogelijk. Met deze wa-

teraanvoer wordt aan watervragen voldaan volgens een prioriteitsstelling. Peilbeheerste local surface waters zijn vooral te vinden in het holocene deel van Nederland.

Vrij afwaterende local surface waters representeren het oppervlaktewater in hellend Nederland. Deze local surface waters worden gekenmerkt door afvoerafhankelijke waterstandsvariatie. Met een toenemende afvoer neemt ook de waterstand toe. Wateraanvoer is niet altijd mogelijk. Vrij afwaterende local surface waters kennen geen streefpeil of peilopzet.

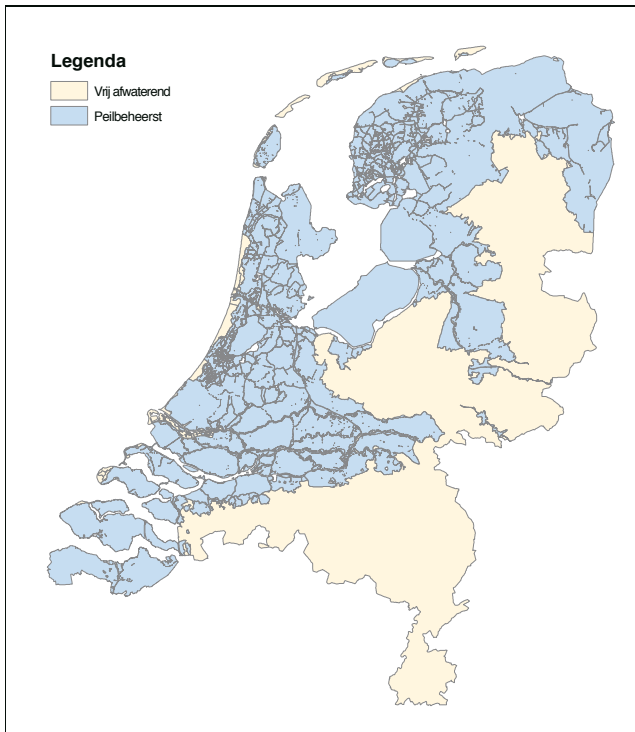
In MOZART wordt het lokaal gevoerde waterbeheer gerepresenteerd door gebruikers. Er worden vijf gebruikers onderscheiden: peilbeheer, doorspoeling, beregening landbouw, industrie en drinkwater. De volgorde waarop deze gebruikers van water worden voorzien, wordt beïnvloed door een op te geven prioriteitsstelling. Heeft volgens de regionale verdringingsreeks bijvoorbeeld peilbeheer voor de stabiliteit van waterkeringen prioriteit boven beregening van landbouwgewassen, dan krijgt de gebruiker peilbeheer in MOZART eerst het beschikbare water. Als er vervolgens te weinig water beschikbaar is, krijgt de gebruiker beregening niet al het gewenste water, alsof er een beregeningsverbod van kracht is. Een eventuele korting op beschikbaar beregeningswater wordt teruggekoppeld aan MetaSWAP, dat hierop de gegeven beregeningsgift aanpast.

De berekende bergingsverandering vertaalt zich in een veranderde oppervlaktewaterstand in het local surface water. Of beter, in het peilgebied binnen het local surface water. Want in tegenstelling tot de voor een local surface water in zijn geheel opgestelde waterbalans, wordt de resulterende waterstandsverandering ruimtelijk fijner verdeeld. In het holocene deel van Nederland worden de waterstandsveranderingen per peilvak opgegeven, in het pleistocene deel van Nederland zijn gebieden onderscheiden waar de waterstand verwacht wordt significant te verschillen; denk hierbij vooral aan stuwen. De veranderde oppervlaktewaterstand wordt teruggekoppeld aan MODFLOW–MetaSWAP en beïnvloedt vervolgens de grootte van de drainage- of infiltratieflux.

Door het opstellen van een waterbalans van het regionale oppervlaktewater berekent MOZART de totale watervraag, of het wateroverschot van het regionale systeem. De koppeling met het DM beantwoordt de vraag of het gevraagde water beschikbaar is in het hoofdsysteem. Als dit het geval is, én wateraanvoer is fysiek mogelijk, kan aan alle watervragen worden voldaan. Zo niet, dan worden de verschillende gebruikers volgens de geldende prioriteitsstelling gekort.

### **Parameterisatie van het regionale oppervlaktewater**

In 2006 is gestart met een herziening van de schematisatie van het regionale oppervlaktewater in het model MOZART. De schematisatie is enkele malen ruimtelijk verfijnd en veranderingen in het lokale waterbeheer zijn in de schematisatie verwerkt. De verschillen tussen de twee typen local surface waters maakten een verschillende opzet van de herziening van de schematisatie noodzakelijk.



**figuur 3:** Indeling van Nederland in peilbeheerste en vrij afwaterende local surface waters

De gegevens die voor peilbeheerste local surface waters in MOZART moeten worden ingevoerd, zijn gebiedsdekkend beschikbaar bij de waterschappen. Het gaat dan om begrenzingen van peilvakken, gehanteerde zomer- en winterstreefpeilen, de afstromingsrichting, en informatie over het gevoerde waterbeheer. Bij dit laatste gaat het om informatie als: wanneer wordt het peil opgezet tot het zomerstreefpeil; vindt er flexibel peilbeheer plaats; wordt het watersysteem doorgespoeld voor een goede waterkwaliteit?

De schematisatie van het regionale oppervlaktewater in peilbeheerst Nederland is in 2006 herzien (HKV, 2006). De benodigde gegevens zijn in een iteratief proces met de betrokken waterschappen verzameld. Naast het vaststellen van een nieuwe schematisatie van het regionale oppervlaktewater was een neven doel van het project de bekendheid met en het vertrouwen in de uitkomsten van het model MOZART bij de waterschappen te versterken. In een vervolgtraject is de schematisatie nader tegen het licht gehouden (HKV, 2007).

Basis voor de indeling in local surface waters was de peilvakkenkaart van de betrokken waterschappen. De peilvakken zijn op basis van gelijke 'hydrologische' kenmerken, waaronder bodemtype, overheersend landgebruik en drooglegging, geaggregeerd tot local surface waters. Het oppervlaktewaterpeil is in MOZART op peilvakniveau opgelegd. De betrokken waterschappen hebben deze indeling waar nodig aangepast. Het volumeverloop onder streefpeil is gebaseerd op de waterlopen in de Topografische kaart

1:10.000 (Top10vector, Topografische dienst Kadaster). De gegevens over peilopzet, aan-afvoerrichting tussen local surface waters, doorspoelhoeveelheden en de gehanteerde prioriteitsstelling zijn allen geactualiseerd en opgenomen in de schematisatie van het NHI.

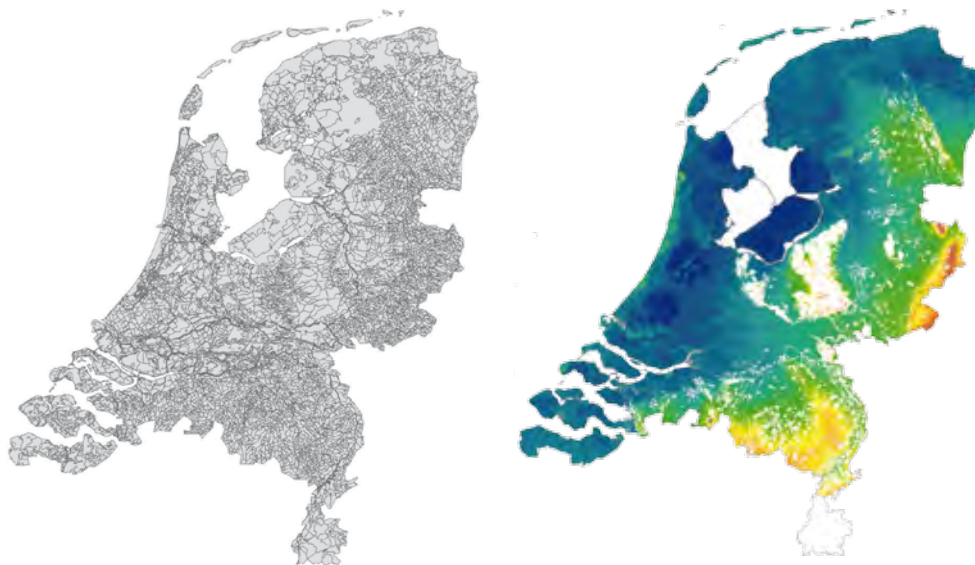
In hellende gebieden varieert de oppervlaktewaterstand meer met de afvoer dan in laag Nederland. Deze gebieden worden in MOZART geschematiseerd als vrij afwaterende local surface waters. Voor de vrij afwaterende local surface waters is het nodig de relatie op te geven tussen de afvoer in een waterloop en de bijbehorende waterstand. Dergelijke gegevens zijn niet algemeen en consistent beschikbaar bij waterschappen. Ook bleek het niet mogelijk om gebiedsdekkende gegevens over de dimensies van waterlopen en stuwen te achterhalen. Er is daarom besloten deze gegevens af te leiden op basis van landsdekkende bestanden.

In de eerste stap is een afstromingspatroon en een afvoerpatroon gecreëerd. Het afstromingspatroon is afgeleid door op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en de ligging van de waterlopen uit de topografische kaart een hydrologisch correct terreinmodel te maken (Burgerhart en Peereboom, 2003). Het afstromingspatroon is vervolgens bepaald met behulp van een druppelanalyse, waarbij van elke gridcel wordt vastgelegd in welke richting het water afstroomt, uitgaande van de terreinligging. Hierbij is rekening gehouden met kunstmatige aanpassingen aan de natuurlijke afstroming. Door deze kaart te combineren met de specifieke afvoer volgens Van der Gaast e.a. (2006), is een kaart geconstrueerd van de maatgevende afvoer per waterloop. Met deze procedure ontstaat een hiërarchisch patroon van waterlopen. De waterlopen zijn op basis van de maatgevende afvoer ingedeeld in primaire ( $> 100$  l/s), secundaire ( $> 25$  l/s) en tertiaire waterlopen (overig).

In een tweede stap is op basis van deze geconstrueerde maatgevende afvoer een inschatting gemaakt van de geometrische kenmerken van de waterlopen en de aanwezige stuwen. Hierbij is aangenomen dat het landelijke gebied is gedimensioneerd volgens de ontwerpregels uit het Cultuurtechnisch Vademecum (Werkgroep herziening CTV, 1988). Met behulp van landsdekkend beschikbare gegevens over het landgebruik, de bodemopbouw en de ontwerpregels is de dimensionering gesimuleerd. Vervolgens is op basis van het afvoerpatroon en de ligging van waterlopen en stuwen een indeling gemaakt in local surface waters en 'peilgebieden'.

Tot slot zijn waterstand-afvoer relaties afgeleid voor de local surface waters en de peilgebieden. Deze relaties zijn afgeleid op basis van een stationair hydraulisch model. Invoer hiervoor waren het afstromingspatroon, de geometrische kenmerken van waterlopen en stuwen en de indeling in local surface waters en peilgebieden (Delsman, 2006; Delsman e.a., 2008). Met deze werkwijze is van heel hellend Nederland een consistente indeling in local surface waters beschikbaar gekomen, compleet met consistent afstromingspatroon en afgeleide waterstand-afvoer relaties.

Figuur 4 geeft de indeling van Nederland in ongeveer 9000 local surface waters en de typische oppervlaktewaterpeilen per MODFLOW-MetaSWAP gridcel (diep blauw voor diepe polders). De witte cellen zijn of niet in MODFLOW-MetaSWAP doorgerekend (zoals Zuid-Limburg) of cellen zonder oppervlaktewater.



**figuur 4:** Indeling van Nederland in 9000 local surface waters, en typische oppervlaktewaterpeilen in de Modflow-MetaSwap gridcellen

### **Distributiemodel: modellering van het hoofdsysteem**

Het DM is al vele jaren in gebruik bij de analyses voor de Nota's Waterhuishouding. De eerste versie is eind jaren zeventig ontwikkeld door Rand-Corporation (Wegner, 1981) voor de eerste studie 'Policy Analysis for Water Management of the Netherlands' (PAWN). In dat model waren de schematisatie en beheersregels nog 'hard' geprogrammeerd. In de tweede helft van de jaren tachtig is door WL|Delft Hydraulics en RIZA een flexibeler model gemaakt waarin schematisatie en beheer in de invoer is gespecificeerd (Prinsen e.a., 1989). Dit model is tot en met de Droogtestudie 2003 zonder ingrijpende wijzigingen gebruikt. Na de Droogtestudie 2003 is het model door RIZA aangepast (Terveer, 2005). Bij de oprichting van Deltares is verder beheer en onderhoud van het model overgedragen aan Deltares.

Het DM is een waterbalansmodel. In een netwerk van knopen en takken wordt de waterverdeling bepaald zodanig dat de watervragen zo goed mogelijk worden voorzien conform het in de invoer opgegeven beheer, en binnen de fysische beperkingen zoals capaciteiten en beschikbaar volume. Het DM is een reservoirmodel, waarbij aangenomen wordt dat het water binnen één tijdstap (één decade) het hele netwerk kan doorlopen, en dat het water volledig gestuurd kan worden volgens de opgegeven verdeelregels en prioriteiten. Merk op dat in de realiteit het water van Lobith er orde vijf dagen over doet om de Noordzee te bereiken. Door het uitgangspunt dat water in één tijdstap het hele netwerk kan doorlopen is het dus niet verantwoord om berekeningen met het DM toe te passen met een tijdstap van een dag.

Het DM is een centraal model in de Droogtestudies (Rijkswaterstaat-RIZA, 2003, en Deltares, 2008). De combinatie MOZART-DM is gebruikt om effecten van maatregelen



op landelijke schaal te kunnen berekenen. Nabewerking van resultaten gebeurt met diverse effectmodellen zoals Agricom en Demnat. Deze effectmodellen zullen ook op de NHI-versie van MOZART en DM worden aangesloten.



**figuur 5:** Schematische weergave van het netwerk van knopen en takken van het DM

Het netwerk van het DM is opgebouwd uit takken en knopen (zie figuur 5). Knopen representeren volumes water, maar ook locaties waar waterlopen samen komen, locaties waar aan water gerelateerde activiteiten plaatsvinden (lozing, onttrekking) en randen van het systeem (Noordzee, Waddenzee). In het DM worden de berekeningen per knoop uitgevoerd.

Water stroomt van de ene naar de andere knoop via een tak. De tak representeert een eventueel voor de uitwisseling tussen twee knopen geldende beperking. Voorbeelden zijn de capaciteit van een pomp, een maximaal verval of de eventueel peilafhankelijke capaciteit van een waterloop. Verder kan bij een tak een gewenst debiet worden opgegeven met bijbehorende prioriteit; een typische toepassing is een gewenst koelwaterdebiet langs elektriciteitscentrales.

Voor het aanvoeren van water en het afvoeren van overtollig water kunnen regels worden opgegeven per knoop: de zogenaamde verdeelsleutels. Deze sleutels geven aan via welke routes water aangevoerd, dan wel geloosd moet worden. Er kunnen verschillende typen beslisregels worden gespecificeerd. Bijvoorbeeld vaste of variabele verhouding

in de tijd, afhankelijk van de waterstand in de knoop, of afhankelijk van een debiet of zoutconcentratie op een andere lokatie in het netwerk.

Lozingen op en onttrekkingen aan het DM vinden plaats op de knopen. De districten in MOZART zijn daarom gekoppeld aan de knopen. De districten representeren een verzameling van polders, vrij afwaterende en/of gestuwde gebieden. Districten zijn opgebouwd uit de local surface waters, die weer zijn onderverdeeld in peilgebieden. MOZART berekent de watervragen per district en per prioriteit voor verschillende gebruikers binnen het district. Zo wordt de districtsvraag onderscheiden in watervragen voor peilbeheer, beregening, drink- en industriewatervoorziening en doorspoeling.

Met behulp van uitwisselingsrelaties worden de relaties gelegd tussen de districten in MOZART en de knopen in het netwerk van het DM. Hiermee wordt aangegeven op welke plekken het district water kan inlaten of lozen, en met welke fractie en capaciteit. De voor het district berekende lozing of onttrekking wordt zo met behulp van deze verdeelsleutels verdeeld over één of meerdere knopen van het netwerk van het DM.

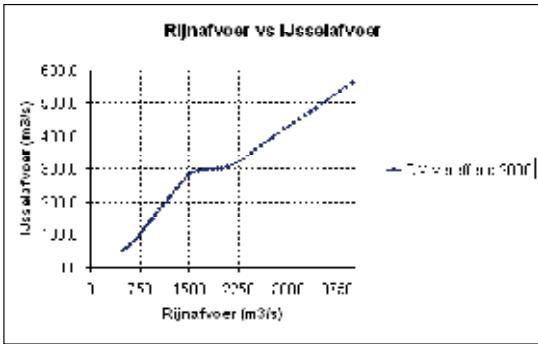
### **Parameterisatie van het landelijk oppervlaktewater**

Het waterbeheer in het landelijk oppervlaktewater wordt bij de simulatie in het DM vooral bepaald door de verdeelsleutels: via welke takken en volgens welke regels loost een knoop een overschot of wordt getracht water aan te voeren. Verder is van belang hoe de MOZART districten zijn gekoppeld aan het DM netwerk, inclusief de bijbehorende verdeelsleutels en capaciteiten. Deze gegevens zijn voor de Droogtestudie 2003 bijgewerkt (HKV, 2001-2002).

De modellering van beheer via de verdeelsleutels in het DM wordt aan de hand van een aantal voorbeelden toegelicht. Als eerste voorbeeld de waterverdeling in het bovenrivierengebied. In de praktijk wordt de waterverdeling bepaald door het beheer van de stuw bij Driel en de hydrodynamische wetten. In het DM is dit geïmplementeerd door een debietafhankelijke verdeelsleutel, waarbij de afvoer op een op te geven lokatie gebruikt wordt. Voor het bovenrivierengebied wordt de waterverdeling bij zowel de Pannerdense Kop als de IJsselkop opgegeven als functie van de Rijnafvoer bij Lobith met een tabel. Hierbij is voor de knoop IJsselkop voor verschillende Rijnafvoeren de fractie Nederrijnafvoer en de fractie IJsselafvoer opgegeven. Dit maakt het op eenvoudige wijze mogelijk een ander beheer te simuleren, namelijk door de tabel aan te passen. Uiteraard moeten de fracties wel consistent worden opgegeven, en in dit specifieke geval passen binnen de sturingsmogelijkheden van de stuw bij Driel.

In veel gevallen wordt in het DM gebruik gemaakt van een vaste set verdeelsleutels: de knoop in het DM ter hoogte van Dieren zal altijd 100% van het water lozen op de benedenstroomse tak (IJssel richting de knoop bij Zutphen, waar het Twentekanaal aansluit).

Ook is het mogelijk om verdeelsleutel te laten afhangen van het moment in het jaar. Bijvoorbeeld voor de Linge, nabij de kruising met het Amsterdam-Rijnkanaal, is opgegeven dat in de zomermaanden een groter aandeel van de eventueel benodigde wateraanvoer uit het Amsterdam-Rijnkanaal moet worden gehaald dan in vergelijking met de overige maanden.



**figuur 6:** Voorbeeld van een afvoerafhankelijke verdeling: IJsselafoer als functie van de afvoer bij Lobith

Een andere optie is de verdeelsleutels afhankelijk van een afvoer. Voor de Friese Boezem zijn de lozingsverdeelsleutels afhankelijk van het te lozen debiet. Voor een afvoer tot 60 m<sup>3</sup>/s wordt 70% via Lauwersmeer en 30% via Harlingen geloosd. Bij een hogere afvoer wordt de verdeling over het Lauwersmeer en Harlingen aangepast, en wordt het extra te lozen debiet via Lemmer op het IJsselmeer geloosd.

Ook sturing op waterkwaliteit is mogelijk. Zo kan voor bijvoorbeeld de boezem van Rijnland bij lage Rijnafvoeren en hoge zoutconcentraties door zoutindringing bij Gouda, de inlaat op de Hollandse IJssel bij Gouda stopgezet worden. Water wordt dan via alternatieve aanvoerroutes, waaronder Leidse Rijn en Oude Rijn, vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek, en eventueel ook via de Tolhuissluisroute aangevoerd. In de droge zomer van 2003 is de Tolhuissluisroute in de praktijk gebruikt: water is vanuit het IJmeer via Amsterdam, de Amstel en de Tolhuissluis naar Rijnland aangevoerd. In het DM is voor de knoop Rijnland opgegeven dat in normale omstandigheden 100% via de Hollandse IJssel bij Gouda moet worden ingelaten, maar dat bij overschrijding van een norm van 250 mg/l chloride er overgeschakeld moet worden op de alternatieve aanvoerroutes.

Om in het DM op waterkwaliteit te sturen kan gebruik worden gemaakt van de in het DM berekende zoutconcentraties, maar ook van de optie om op geselecteerde locaties zoutconcentraties afkomstig uit SOBEK berekeningen, bijvoorbeeld het Noordelijk DeltaBekken model, over te nemen.

Meer informatie over DM modelconcepten en parameterisatie is te vinden in het NHI deelrapport 6. (Prinsen, 2008).

## Discussie

Het zal wellicht verbazen dat tot dusver in dit artikel de modelcodes 'SOBEK' of 'DU-FLOW' nauwelijks genoemd zijn. Daarmee kunnen toch gedetailleerdere modellen worden gemaakt om het oppervlaktewater te modelleren? En bij de waterschappen zijn toch al de nodige modellen voorhanden? Inderdaad zijn deze modellen veel gedetailleerder, en rekenen ze de stroming in het oppervlaktewater netjes hydrodynamisch door. Om een aantal redenen zijn deze modellen echter niet gebruikt in het NHI.

Ten eerste is een belangrijk doel voor de oppervlaktewatermodellen in het NHI het simuleren van de waterverdeling in droge perioden, en het bepalen welke gebruikers waar en wanneer gekort worden. Die waterverdelingsfunctionaliteit is gebaseerd op prioriteiten van verschillende watergebruikers, bijvoorbeeld volgens de verdringsreeks. Hydrodynamische modellen als SOBEK en DUFLOW zijn daar niet in eerste instantie voor ontworpen. Daarnaast lag in deze fase van het NHI de focus met name op het grondwater. Het doel was om tot één algemeen geaccepteerd landelijk grondwatermodel en –schematisatie te komen, waar alle kennisinstituten en landelijke overheden achter staan. Daarom is in deze fase van het NHI voor de schematisatie van het oppervlaktewater gekozen voor de tot op heden gebruikte modellen MOZART en DM. Met de herziening van de schematisatie van MOZART is wel een belangrijke stap gezet naar meer detaillering in de berekening van het regionale oppervlaktewater. Daarnaast is veel informatie over het regionale oppervlaktewater landsdekkend beschikbaar gekomen.

In een volgende fase zal het oppervlaktewater in het NHI in meer detail worden uitgewerkt, zodat ook het oppervlaktewater in vergelijkbare mate van detail zal worden doorerekend als de onverzadigde zone en het grondwater. Aandachtspunten voor het oppervlaktewater zijn de mogelijkheden voor koppeling van de hydrodynamische modellen van verschillende waterbeheerders, onderlinge consistentie van die modellen, rekentijd, en waterverdelingsfunctionaliteit. In pilots met regionale waterbeheerders zal worden onderzocht hoe het beste met deze materie kan worden omgegaan. Het streven is om op termijn het DM te vervangen door SOBEK modellen. Ontwikkelingen in deze richting, zoals het beschikbaar maken van waterverdelings-functionaliteit gekoppeld aan SOBEK modellen, zijn reeds gaande (Prinsen et al., 2007). Momenteel wordt gewerkt aan de koppeling van SOBEK modellen met elkaar en met de WaterVerdelingsComponent via de door Gregersen et al. (2005) beschreven OpenMI opzet.

De MOZART-DM schematisatie is opgebouwd uit data die voor het overgrote deel afkomstig is van de waterbeheerders. Uitdaging in het hele proces van totstandkoming van de schematisatie was een zo goed mogelijk bij de best beschikbare gegevens aansluitende, maar landelijk consistente schematisatie op te leveren. Een goed model staat of valt met de kwaliteit van de invoergegevens. Met de realisatie van de oppervlaktewater-schematisatie van het NHI is een eerste stap gezet in de richting van landelijk beschikbare, consistente gegevens over het oppervlaktewater. Een continu proces waarbij de eigenaren van de data, de waterbeheerders, verantwoordelijk blijven voor de verversing van de gegevens verdient duidelijk de voorkeur. Ook dit aspect zal in de nabije toekomst in het NHI worden opgepakt in samenspraak met de regionale waterbeheerders.

### **Samenvatting en conclusies**

Oppervlaktewater wordt in het NHI gemodelleerd met de modellen MOZART, voor het regionale oppervlaktewater, en het DM voor het hoofdwatersysteem. De focus ligt in deze modellen vooral op waterverdeling: hoe moet het water in droge perioden verdeeld worden over de verschillende gebruiksfuncties? De modellen zijn onderling gekoppeld, de uitwisseling met grondwater verloopt via de modellen MODFLOW/MetaSWAP.

De schematisatie van het regionale oppervlaktewater is voor het NHI herzien. De schematisatie bestaat uit een consistente indeling in local surface waters, peilgebieden

en informatie over streefpeilen, afvoerrelaties en het lokale waterbeheer. De schematisatie en de tussenproducten komen breed beschikbaar in de hydrologische bibliotheek. Gezamenlijke uitwerking met waterbeheerders in de regio moet uitwijzen hoe in de toekomst wordt omgegaan met de modellering van het regionale oppervlaktewater in het NHI. Duidelijk is wel dat uitwisseling van gegevens over het regionale oppervlaktewater een speerpunt is in de verdere ontwikkeling van het NHI.

Waterverdeling in het hoofdwatersysteem wordt gemodelleerd met het DM. De schematisatie heeft sinds de Droogtestudie slechts enkele aanpassingen gekend. De ontwikkelingen om in de toekomst SOBEK modellen van het oppervlaktewatersysteem in NHI te gebruiken, in plaats van het DM, zijn inmiddels gestart.

Wij bedanken de reviewers voor hun waardevolle commentaar.

## Referenties

- Bos, H., R. van Ek, J. Hoogeveen, A. Kors, W. de Lange, H. Vermulst, G. Arnold en T. Kroon (1997)** *Water onder land, tussen regen en plant – Ofwel: landelijke modellen voor verdrogingsbestrijding; RIZA rapport 97.062, Lelystad.*
- Burgerhart, N. en I. Peereboom (2003)** *SOW – GIS methode voor de schematisatie van oppervlaktewater; RIZA werkdocument 2003.168X, Lelystad.*
- Delsman, J.R. (2006)** *Verbeterde schematisering van het oppervlaktewater in MOZART in hellend Nederland; Stromingen, vol 12, pag 5-14.*
- Delsman, J.R., M. Mulder en A. de Wit (2008)** *NHI Deelrapport 4 – Regionaal Oppervlaktewater; Deltares, Utrecht.*
- Deltares (2008)** *Omgaan met droogteschade – Kosteneffectiviteit van grootschalige maatregelen tegen droogteschade als gevolg van G+ en W+ klimaatscenario's; Deltares rapport T2499, Delft.*
- Gregersen, J.B., P.J.A. Gijsbers en S.J.P. Westen (2007)** *OpenMI: Open modelling interface; Journal of Hydroinformatics, Vol 9, No 3, pag 175-191.*
- HKV (2001-2002)** *Actualisering Distributiemodel; HKV rapporten PR401.10–PR401.50, Lelystad.*
- HKV (2006)** *Herziening schematisatie oppervlaktewater MOZART in peilbeheerst Nederland; HKV rapport PR1091, Lelystad.*
- HKV (2007)** *Beoordeling oppervlaktewaterschematisatie MOZART peilbeheerst Nederland; HKV rapport PR1091.20, Lelystad.*
- Prinsen, G.F., R. Terveer en J. Duker (1989)** *Documentatie Distributiemodel, DBW/RIZA en WL|Delft Hydraulics, 90.021/T504, Lelystad/Delft.*
- Prinsen, G.F., S. Hummel en N. Praagman (2007)** *Waterverdelingsmodule WVC in PAWN; WL|Delft Hydraulics en Sepra, Delft.*
- Prinsen, G.F. (2008)** *NHI Deelrapport 6 – Landelijk Oppervlaktewater; Deltares, Delft.*
- Rijkswaterstaat/RIZA (2003)** *Droogtestudie Nederland – Technisch Spoor: Eindrapport fase 1, Verkenning; 110605/Br3/34/000006/001, Lelystad.*
- Terveer, R. (2005)** *Gebruikershandleiding NwSim; Rijkswaterstaat/RIZA, Lelystad.*

- Van der Gaast, J.W.J., H.Th.L. Massop, H.R.J.Vroon, I.G.Staritsky (2006)** *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken; Alterra rapport 1339, Wageningen.*
- Wegner, L.H. (1981)** *Policy Analysis of Water Management for the Netherlands - Vol. XI - Water Distribution Model; Rand Corporation.*
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum (1988)** *Cultuurtechnisch Vademecum; Cultuurtechnische vereniging, Utrecht.*

---

# Bepaling van freatische lekweerstand in het NHI fase 1+

A.J.J. Vergroesen<sup>1</sup>, W.J. de Lange<sup>1</sup>, A.A. Veldhuizen<sup>2</sup>

P.J.T. van Bakel<sup>2</sup> en M.J.H. Pastoors<sup>3</sup>

---

## Samenvatting

Dit artikel beschrijft een methode om op basis van GIS-bestanden de drainage relaties tussen het grondwater en de aanwezige oppervlaktewaterstelsels te berekenen voor vierkante elementen (bijvoorbeeld MODFLOW cellen). De methode, die in NHI-Fase 1 is gehanteerd, is in Fase 1+ verbeterd. Dit artikel geeft ook aan dat de methode in NHI-fase1+ op onderdelen nog onvoldoende is. Dat zal verbeterd worden in fase 2 van het NHI-project. In de hier beschreven methode worden lijnvormige drainage stelsels omgezet naar representatieve parameters per vierkant. Het deel van het grondwater systeem waarin deze drainagestelsels werken, wordt in modelleer termen vaak het topsysteem genoemd. Wij richten ons hierbij op de omrekening van de effecten van de drie belangrijkste drainagestelsels (primaire, secundaire en tertiaire). In Figuur 1 is de werkwijze schematisch weergegeven.

Figuur 1 geeft verdelingen van de verschillende parameters weer, te weten de horizontale en verticale doorlatendheden ( $k_h$ ,  $k_v$ ), de dikte van het topsysteem ( $H_0$ ), de weerstand van het topsysteem ( $c_1$ ) en de eigenschappen van de waterlopen (slootdichtheid, bodemontrek, bodemweerstand). Op basis van deze verdelingen worden per cel de parameters afgeleid voor de relatie tussen grondwaterstand en afvoer per vierkant (cel). Bij meervoudige drainagestelsels zijn dat niet-lineaire relaties. De in NHI gebruikte relaties zijn gebaseerd op de theorie voor de freatische lekweerstand, de zogeheten consensus methode (Van Bakel et al, 2002).

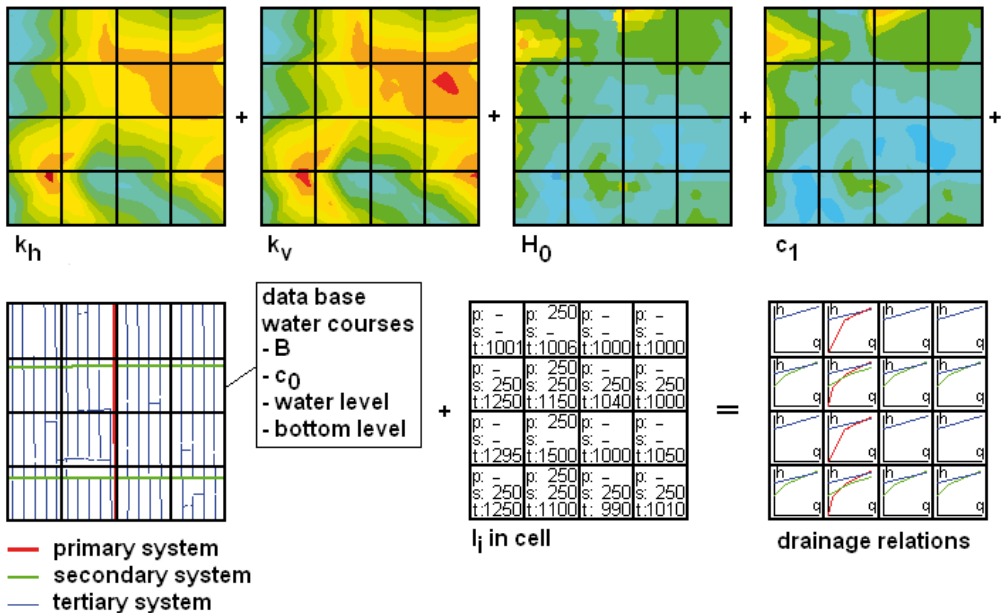
Dit artikel gaat dus in op de wijze van bepaling van de parameters voor de interactie tussen oppervlakte water en grondwater in de praktijk van het NHI. We plaatsen kanttekeningen bij de ontwikkelde methode en geven aan wat in fase 2 te verwachten is.

---

1 Deltares. Correspondentie: [toine.vergroesen@deltares.nl](mailto:toine.vergroesen@deltares.nl)

2 Alterra

3 Planbureau voor de Leefomgeving



figuur 1: Schematisch overzicht van de generieke methode.

## Inleiding

In NHI fase 1+, die in 2008 is afgerond, zijn verbeteringen ingevoerd ten opzichte van de in voorgaande fase gehanteerde methode. De parameterisering van de relatie voor samenwerkende stelsels bevat nu een terugkoppeling op het moment dat wordt geschakeld naar meer of minder werkende drainage systemen..Hierop komen we later in dit verhaal terug.

In NHI wordt per cel gewerkt met de zogeheten weerstand-peil relatie (RIV package), waarin de effecten van de individuele sloten, beken etc., worden uitgesmeerd over het gehele cel-oppervlak. In plaats van de gebruikelijke MODFLOW benadering waarin de interactie van alle lijnvormige oppervlakte wateren met het grondwater worden vertaald als “RIVER” op de cel knoop, berekent de NHI methode de ruimtelijk samenhangende interactie. Voor verdere uitleg hiervan verwijzen wij naar de artikelen in Stromingen hierover in de literatuurlijst. De samenhangende interactie wordt uiteindelijk uitgedrukt in een weerstand-peil relatie op de cel knoop, waarbij de weerstand de Freatische Lekweerstand is genoemd. (Wellicht ten overvloede herhalen we nogmaals dat deze niet gelijk is aan de drainage weerstand zoals die in veld situaties wordt bepaald). Dus, in plaats van de omrekening volgens de MODFLOW methode – die puur oppervlakte evenredig is – vult NHI de Freatische Lekweerstand in per cel geldend over het gehele oppervlak van de cel.

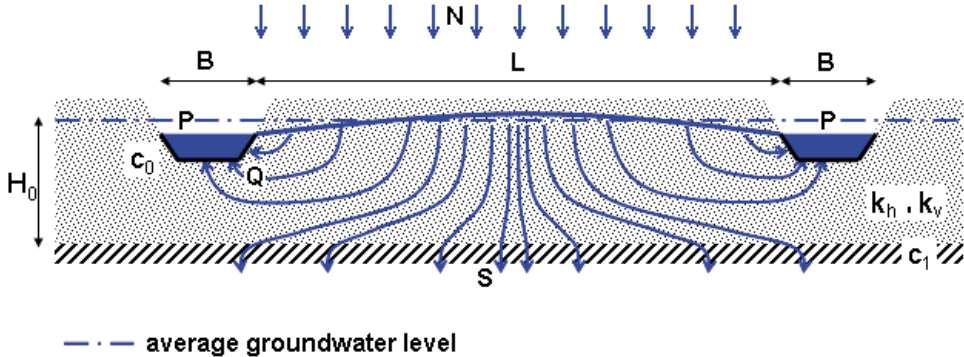
Binnen het NHI worden maximaal vijf drainagestelsels (ontwateringsniveau's) onderscheiden. Twee van deze vijf stelsels (buisdrainage en maaivelddrainage) worden afzonderlijk in het model opgenomen. In onderstaande beschrijving van de gehanteerde



formules zijn daarom alleen die gevallen onderscheiden met één, twee of drie drainage stelsels. Natuurlijk bedoelen we hier met drainage stelsels, de sloten, greppels, beken, kanalen vaarten en alle andere systemen die nabij maaiveld voor aan- en/of afvoer van grondwater (kunnen) zorgen.

## BEREKENING VAN DE FREATISCHE LEKWEERSTAND

Bij de bepaling van de freatische lekweerstand is uitgegaan van de formule van De Lange (1997a,b,c). Daarbij wordt de formule voor het gebied tussen de sloten gehanteerd, aangevuld met een correctie voor het traject onder de slootbodem.



figuur 2: Drainage van grondwater naar een enkelvoudig drainagestelsel

De formules van De Lange (zie Groenendijk et al, 2002) luiden:

$$c_{f-lek} = \frac{c_L^* \cdot \left( c_0 + c_1 + \frac{H_0}{k_v} \right) \cdot (B_{cor} + L_{tot})}{B_{cor} \cdot c_L^* + L_{tot} \cdot \left( c_1 + \frac{H_0}{k_v} \right)} + \frac{L_{tot}}{\pi \sqrt{k_{0,x} \cdot k_v}} \cdot \ln \left( \frac{4H_0}{\pi B_{cor}} \right) - \left( c_1 + \frac{H_0}{k_v} \right) \quad (1)$$

Waarin:

$$c_L^* = \left( c_0 + c_1 + \frac{H_0}{k_v} \right) \cdot F_L + \left( c_0 \cdot \frac{L_{tot}}{B_{cor}} \right) \cdot F_B \quad (2)$$

En:

$$F_L = \frac{L_{tot}}{2\lambda_L} \cdot \operatorname{ctnh} \left( \frac{L_{tot}}{2\lambda_L} \right) \quad (3) \quad \text{met} \quad \lambda_L = \sqrt{\left( c_1 + \frac{H_0}{k_v} \right) \cdot k_{0,x} \cdot H_0} \quad (4)$$

$$F_B = \frac{B_{cor}}{2\lambda_B} \cdot \operatorname{ctnh} \left( \frac{B_{cor}}{2\lambda_B} \right) \quad (5) \quad \text{met:} \quad \lambda_B = \sqrt{\frac{k_{0,x} \cdot H_0 \cdot \left( c_1 + \frac{H_0}{k_v} \right) \cdot c_0}{c_1 + \frac{H_0}{k_v} + c_0}} \quad (6)$$

Hierin<sup>1</sup> is:

- $c_{f,lek}$  freatische lekweerstand van het drainagestelsel [d]
- $c_L^*$  voedingsweerstand voor het landoppervlak deel van de doorsnede [d]
- $c_0$  weerstand van de slootbodembodem [d]
- $c_1$  weerstand van de scheidende laag (onder het topsysteem) [d]
- $H_0$  representatieve dikte van het watervoerend pakket in het topsysteem [m]
- $k_v$  verticale doorlatendheid van het watervoerend pakket in het topsysteem [m/d]
- $k_{0,x}$  horizontale doorlatendheid van het watervoerend pakket in het topsysteem [m/d]
- $L_{tot}$  representatieve slootafstand [m] (afstand tussen de slootkanten)
- $B_{cor}$  breedte van de sloten [m] (gecorrigeerd bij extreem kleine waarden)
- $\lambda_L$  spreidingslengte behorend bij  $0 \leq x \leq L/2$  [m]
- $\lambda_B$  spreidingslengte behorend bij  $-B_{cor}/2 \leq x \leq 0$  [m]

De tweede term in de rechterzijde is een toevoeging voor de radiale weerstand naar voorbeeld van Ernst (1961). De freatische lekweerstand is gelijk aan de voedingsweerstand minus de verticale weerstand (de laatste term in (1)).

Het achterliggend concept omvat dat percolerend neerslagwater, dat de bovenzijde de grondwaterspiegel bereikt, kan afstromen naar een drainagestelsel of kan infiltreren naar het onderliggende watervoerend pakket. Water dat naar het drainagestelsel stroomt, moet de freatische lekweerstand overwinnen. Water dat naar het onderliggende pakket stroomt, moet de weerstand tegen verticale stroming in de toplaag overwinnen.

Uit de nadere analyse van de formule binnen NHI fase 1+ zijn enige interessante conclusies gekomen, die hieronder zijn weergegeven.

De freatische lekweerstand blijkt in het geval van een holocene deklaag nagenoeg ongevoelig voor de verticale weerstand onder de drainerende laag ( $c_1$ ), en voor de dikte van de drainerende laag ( $H_0$ ). Deze laatste wordt pas relevant als de drainerende laag dunner dan 2 meter wordt. Ook in een pleistoceen zandgebied blijkt de freatische lekweerstand nagenoeg ongevoelig voor de verticale weerstand onder de drainerende laag ( $c_1$ ), en slechts licht gevoelig voor de dikte van de drainerende laag ( $H_0$ ).

De volgende kanttekening is te maken ten aanzien van de bodemweerstand van de sloot. Bij drainerende sloten, die regelmatig geschoond worden is een waarde van 1 dag of minder niet ondenkbaar. Naarmate er meer bagger op de slootbodembodem ligt, zal de bodemweerstand toenemen. Bij continu infiltrerende sloten zal de bodemweerstand na verloop van tijd kunnen oplopen door fysische en / of chemische dichtslibbing van de slootbodembodem. Ook in zandgebieden dient daar rekening mee worden gehouden. In die situatie leidt een hogere bodemweerstand voor een verder identiek stelsel automatisch tot een hogere weerstand tegen infiltratie, dan tegen drainage. Hoewel deze kennis reeds lang bestaat, is dit om redenen van eenvoud en schaal van werken nog niet in NHI 1+ en haar voorgangers geïmplementeerd.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de doorlatendheid van de deklaag (dominant in holocene gebieden) en de bodemweerstand van de sloot (dominant in pleistocene

gebieden) de belangrijkste onbekenden zijn bij de bepaling van de freatische lekweerstand. De slootafstand en de slootbreedte zijn op zich sterk bepalend voor de waarde van de freatische lekweerstand, maar deze zijn veel beter vast te stellen. De weerstand van de scheidende laag onder het topsysteem is – zoals te verwachten was – nauwelijks of niet van invloed op de grootte van de freatische lekweerstand.

### Bepaling parameters in de freatische lekweerstand

Voor het afleiden van de parameters om de freatische lekweerstand te berekenen, zoals  $H_0$ ,  $k_v$  en  $k_{0,x}$ , is gebruik gemaakt van beschikbare kaarten, zoals hydrotype-kaart, kD-kaart en diktekaart (Massop et al, in prep.). De diktekaart van de deklaag is voor een aantal gebieden aangepast. Voor het lage deel van Nederland is in de kleigebieden de dikte van de relevante toplaag beperkt tot 2 m en voor veengebieden tot 1 m. Verder is een minimale dikte gehanteerd van 1 m. Voor hoog Nederland is alleen voor West-Brabant (Kedichem-Tegelen profiel) een maximale dikte van 5 m gehanteerd, voor de overige gebieden is de dikte overgenomen. Om een  $k_v$ -waarde toe te kennen is per hydrotype een keuze gemaakt in klei, veen, grof zand (stuwwallen) en fijn zand (overig Pleistoceen en Duinen). Aan deze vlakken is op basis van een k-waarde tabel een  $k_v$ -waarde toegekend. De c-waarde is niet aangepast.

De bepaling van de slootbreedte is gebaseerd op twee bronnen. Als basis is Massop et al (2007) gebruikt, waarin voor de combinatie hydrotype en top-10 vectorklasse een inschatting is gemaakt van de slootdimensies. Voor de hoofdwaterlopen in het vrij afwaterende deel van Nederland zijn deze gegevens vervangen door de waterlooppdimensies die zijn bepaald ten behoeve van MOZART. De intreeweerstanden zijn overgenomen uit Alterra-rapport 1339 (Van der Gaast et al, 2006). Hierin is een kennistabel opgesteld met een relatie tussen de intreeweerstand en de bodemfysische eenheid.

Omdat sloten in Nederland in het algemeen niet parallel en op gelijke afstand lopen zal de representatieve slootafstand binnen een willekeurig vierkant oppervlak (cel van 250 x 250 m) niet direct kunnen worden bepaald. Voor willekeurig gelegen sloten bestaat een eenvoudige rekenregel om de representatieve slootafstand geschikt te maken voor gebruik in de berekening van de freatische lekweerstand (De Lange, 1996):

$$L = A/\Sigma l_i \quad (7)$$

Waarin:

- L Representatieve slootafstand [m]
- A Beschouwde oppervlakte [m<sup>2</sup>]
- $\Sigma l_i$  Sommatie van lengtes van individuele sloten [m]

Voor de bepaling van de slootafstand voor cellen van 250 bij 250 meter is binnen NHI fase 1+ gekeken of die mag worden berekend enkel op basis van de slootdichtheid binnen de cel. Hiervoor zijn drie gevallen onderscheiden:

1. Slootafstand is kleiner dan celbreedte ( $\Sigma l_i > \sqrt{A}$ );
2. Slootafstand is groter en slootlengte is groter of gelijk aan celbreedte ( $\Sigma l_i \geq \sqrt{A}$ );
3. Slootafstand is groter en slootlengte is kleiner dan celbreedte ( $\Sigma l_i < \sqrt{A}$ ).

Binnen fase 1+ is dit nader geanalyseerd op basis van de analyse in De Lange (1991), dat wil zeggen hoe in deze drie gevallen de slootafstand moet worden bepaald. Behoudens in enkele gevallen kan worden volstaan met het berekenen van de slootafstand op basis van de gegevens binnen de cel zelf. In NHI-project fase 2 zullen we de uitzonderingsgevallen nader gaan beschouwen op hun voorkomen in de praktijk. In die situaties waar relevant andere representatieve slootafstanden moeten worden gehanteerd zal dan ook bekeken worden hoe dit in NHI kan worden geïmplementeerd.

### **Freatische lekweerstand voor meevoudige systemen**

In nader onderzoek in NHI fase 1+ hebben we vastgesteld dat bij het bijschakelen van een tweede drainage systeem, er een terugkoppeling mechanisme in de waarde van de Freatische Lekweerstand optreedt, die in sommige gevallen zeer relevant kan zijn. In de bepaling van deze terugkoppeling hanteren we de volgende uitgangspunten, die ten dele op praktische uitvoerbaarheid zijn gebaseerd:

- de freatische lekweerstand is onafhankelijk van de drainageniveaus en van de intensiteit van de grondwateraanvulling;
- de freatische lekweerstand van de afzonderlijke drainagestelsels verhouden zich omgekeerd evenredig met de intrekgebieden van deze drainagestelsels;
- er wordt bij secundaire en tertiaire stelsels geen rekening mee gehouden dat deze stelsels al beginnen te draineren voordat de gemiddelde grondwaterstand het drainageniveau van deze stelsels bereikt.

In het geval twee drainage stelsels werkzaam zijn in het model, worden voor de bepaling van de totale Freatische Lekweerstand de volgende stappen doorlopen:

1. Bepaal voor beide stelsels afzonderlijk de freatische lekweerstand met de formules 1 t/m 4. Ga er daarbij steeds vanuit dat het andere stelsel niet aanwezig is. Deze weerstanden noemen we  $W_{solo\_p}$  voor het primaire stelsel en  $W_{solo\_s}$  voor het secundaire stelsel.
2. Bepaal op basis van de freatische lekweerstand die gevonden zijn bij stap 1 de intrekgebieden van beide stelsels. Voorlopig nog volgens:

$$I_p = \frac{W_{solo\_s}}{W_{solo\_p} + W_{solo\_s}} \cdot I_{tot} \quad (8)$$

$$I_s = \frac{W_{solo\_p}}{W_{solo\_p} + W_{solo\_s}} \cdot I_{tot} \quad (9)$$

3. Bepaal de representatieve slootafstand van het samenwerkende stelsel ( $L_{tot}$ ). Dit is de gemiddelde afstand tussen de slootranden, in de veronderstelling dat alle sloten parallel en even ver uit elkaar liggen.
4. Bepaal voor  $L_{tot}$  de freatische lekweerstand van het primaire stelsel met de formules 1 t/m 6. Hanteer daarbij voor alle sloten de parameters van de primaire sloten. Deze weerstand noemen we  $W_{tot\_p}$ .

5. Bepaal voor  $L_{tot}$  de freatische lekweerstand van het secundaire stelsel met de formules 1 t/m 6. Hanteer daarbij voor alle sloten de parameters van de secundaire sloten. Deze weerstand noemen we  $W_{tot\_S}$ .
6. Bepaal voor het samenwerkende drainagestelsel de freatische lekweerstanden van het primaire deel en van het secundaire deel. De freatische lekweerstand van het totale stelsel volgt daar weer uit:
- 7.

$$W_P = \frac{I_P \cdot W_{tot\_P} + I_S \cdot W_{tot\_S}}{I_P} \quad (10)$$

$$W_S = \frac{I_P \cdot W_{tot\_P} + I_S \cdot W_{tot\_S}}{I_S} \quad (11)$$

$$W = \frac{1}{\frac{1}{W_P} + \frac{1}{W_S}} \quad (12)$$

In bovenstaande formules (8 t/m 12) is:

$W_{solo\_P}$	freatische lekweerstand [d] als alleen het primaire slotenstelsel aanwezig is
$W_{solo\_S}$	freatische lekweerstand [d] als alleen het secundaire slotenstelsel aanwezig is
$I_{tot}$	totale intrekgebied (de celbreedte) [m]
$I_P$	intrekgebied van het primaire deel van het slotenstelsel [m], rekening houdend met de aanwezigheid van het secundaire stelsel
$I_S$	intrekgebied van het secundaire deel van het slotenstelsel [m], rekening houdend met de aanwezigheid van het primaire stelsel
$W_{tot\_P}$	freatische lekweerstand [d] als alle sloten van het slotenstelsel primaire sloten zouden zijn
$W_{tot\_S}$	freatische lekweerstand [d] als alle sloten van het slotenstelsel secundaire sloten zouden zijn
$W_P$	freatische lekweerstand van het primaire deel van het slotenstelsel [d]
$W_S$	freatische lekweerstand van het secundaire deel van het slotenstelsel [d]
$W$	freatische lekweerstand van het totale slotenstelsel [d]

Als er drie drainage stelsels werkzaam zijn wordt een vergelijkbare werkwijze gevolgd als voor de hierboven beschreven bijschakeling van het secundaire stelsel. Daarbij wordt de werking van de primaire en secundaire slotenstelsels gecombineerd tot een enkel slotenstelsel. Vervolgens wordt het tertiaire slotenstelsel bijgeschakeld. De complete formules zijn te vinden in het NHI rapport over de bepaling van de freatische lekweerstanden (De Lange et al, 2008).

### Implementatie in modflow

Binnen het NHI wordt gewerkt met het grondwaterpakket MODFLOW, waarbij gebruik wordt gemaakt van vierkante cellen van 250 x 250 m. Voor de uitwisseling tussen grondwater en oppervlaktewater wordt gebruik gemaakt van 3 MODFLOW packages:

- RIV: river package voor afvoer en aanvoer via waterlopen;
- DRN: drainage package voor afvoer via (buis)drainage;
- SOF: saturated overland flow package voor afvoer over maaiveld.

De drainagestelsels die we hier beschrijven met een freatische lekweerstand en een peil beperken zich tot de waterlopen en maken dus gebruik van de RIV package. De Freatische Lekweerstand geldt over de complete MODFLOW cel. Daarom wordt de in MODFLOW gehanteerde conductance bepaald met de formule:

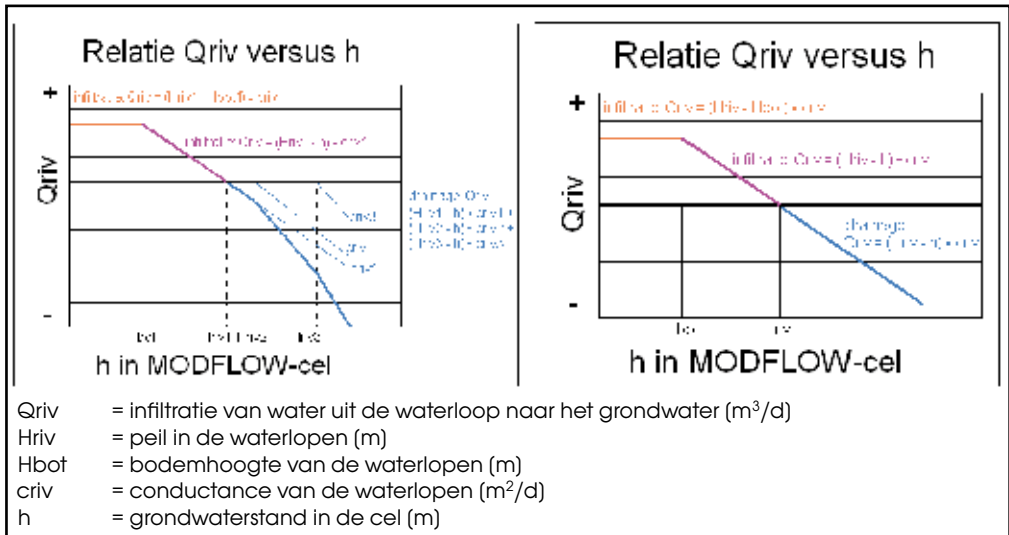
$$c_{riv} = A / c_{f-lek} \tag{13}$$

Waarin:

A Oppervlak van de cel [m<sup>2</sup>]

c<sub>f-lek</sub> Freatische lekweerstand [d]

Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van de Q<sub>riv</sub>-h-relatie van het MODFLOW river package. Het linkerdeel van deze figuur laat dit zien voor een enkelvoudig stelsel, het rechterdeel voor een meervoudig stelsel. Wanneer bij een enkelvoudig stelsel de gemiddelde grondwaterstand h hoger is dan het peil in de watergang, draineert deze watergang, en zal er afvoer plaatsvinden. Wanneer de grondwaterstand lager is dan het peil in de watergang zal de watergang infiltreren en zal er (uitgaande van gelijk blijvend oppervlaktewaterpeil) wateraanvoer plaatsvinden. Wanneer de grondwaterstand lager wordt dan de bodemhoogte van de watergang wordt in MODFLOW de infiltratieflex constant verondersteld.



**figuur 3:** Schematische weergave van de relatie tussen de flux van / naar drainagestelsels (Q<sub>riv</sub>) en de grondwaterstand (h) in een MODFLOW-cel

Bij meerdere drainagestelsels werkt het wat gecompliceerder. Ieder stelsel (primair, secundair en tertiair) heeft zijn eigen freatische lekweerstand. Zodoende ontstaat er een

meervoudige relatie in een cel. Figuur 3 (rechterdeel) geeft daarvan een voorbeeld voor drie drainagesstelsels. De primaire waterloop in deze cel kan infiltreren en draineren. De secundaire en tertiaire waterlopen kunnen alleen draineren als de grondwaterstand respectievelijk boven Hriv2 dan wel Hriv3 komt. Er is in het model geen wateraanvoer naar deze watergangen mogelijk, en dus is er ook geen infiltratie uit deze watergangen mogelijk. De Q-h-relatie van het totale stelsel is weergegeven door de dikke lijn, de Q-h-relaties van de afzonderlijke stelsels door de dunne lijnen. daarbij is uitgegaan van onafhankelijk werkende stelsels.

De werkelijkheid is gecompliceerder, omdat de stelsels elkaar beïnvloeden. Zodra een stelsel bijschakelt, gaan de tot dat niveau al werkende stelsel relatief minder water leveren. Ook het bijgeschakelde stelsel levert minder dan het zou doen als de andere stelsels afwezig waren. In fase 1+ is hier in zoverre rekening mee gehouden dat in de Q-h-relatie van het secundaire stelsel de samenwerking van dit stelsel met het primaire stelsel is verwerkt. Op dezelfde manier is in de Q-h-relatie van het tertiaire stelsel is de samenwerking van dit stelsel met het primaire en het secundaire stelsel verwerkt. Dat levert één geknikte Q-h-relatie op voor de drie gezamenlijke stelsels.

Nadeel van deze keuze is dat bij werking van meerdere stelsels het hoogste stelsel (het primaire stelsel) in het model relatief te weinig, en het laagste stelsel (het secundaire dan wel het tertiaire stelsel) relatief te veel water zal aantrekken. Hoe dit voor de secundaire stelsels uitpakt als het tertiaire stelsel in werking treedt, is op voorhand niet eenduidig te stellen. Dat hangt af van de onderlinge verhouding tussen de drie stelsels. Een principe oplossing voor dit probleem is al uitgewerkt. In fase 2 zal deze oplossing worden getoetst en in het NHI worden geïmplementeerd.

## Referenties

- Ernst, L.F., (1961)** *Grondwaterstromingen in de verzadigde stroming en hun berekening bij de aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen, Verslag Landbouwkundig onderzoek, 67.15, Pudoc, Wageningen*
- De Lange, W.J., (1996)** *Groundwater modelling of large domains with analytic elements, proefschrift, Delft University of Technology.*
- De Lange, W.J., (1997)a** *Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of freatische lekweerstand in de randvoorwaarde van een grondwater model, deel 1: De basis van het modelconcept, in: Stromingen 3(2)*
- De Lange, W.J., (1997)b** *Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of freatische lekweerstand in de randvoorwaarde van een grondwater model, deel 2: Het gebruik van de randvoorwaarde, in: Stromingen 3(3)*
- De Lange, W.J., (1997)c** *Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of freatische lekweerstand in de randvoorwaarde van een grondwater model, deel 3: De parametrisering van de randvoorwaarde, in: Stromingen 3(4)*
- De Lange, W.J., (1998)** *On the errors involved with the parametrization of the MODFLOW river and drainage packages, in MODFLOW'98 Volume I, ed. J. Poeter, Z. Zheng and M.Hill, 249-256*

- De Lange, W.J., (1999)** *A Cauchy boundary condition for the lumped interaction between an arbitrary number of surface waters and a regional aquifer, Journal of Hydrology* 226 250-261
- De Lange, W.J., (2001)** *Wanneer geldt 'slootafstand = elementbreedte' in de berekening van de topsysteemweerstand voor grondwatermodellering? Stromingen* 7-3. p. 13-16.
- De Lange, W.J., A.J.J. Vergroesen, J. Snepvangers, R.M. Pastoors, P.J.T. van Bakel, H.Th.L Massop, (2008)** *NHI rapport no5: Bepaling van de Freatische Lekweertsanden, Deltares rapport, Utrecht.*
- Groenendijk, P, W.J. de Lange en K. Kovar, (2002)** *Modelconcepten voor de interactie tussen verzadigd grondwater en oppervlaktewater. Stromingen* 8-2. p. 11.28.
- Harbaugh, A.W., E.R. Banta, M.C. Hill en M.G. McDonald, (2000)** *MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model – User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process; U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92, 121 pag.*
- Massop H.Th.L, J.W.J. van der Gaast & A.G.M. Hermans, (2007)** *Kenmerken van het ontwateringsstelsel in Nederland; Wageningen. Alterra-rapport 1397.*
- Massop H.Th.L, I.Peereboom, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors, P.J.T. van Bakel, J. Hoogewoud en T.Kroon, in prep. Relatie grondwater – oppervlaktewater. Landsdekkende parametrisatie van het topsysteem. Alterra-rapport 1398.**
- Van Bakel, P.J.T., W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en P. Groenendijk, (2002)** *De parametrisatie van de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater voor landelijke en regionale grondwatermodellering. Stromingen* 8-2. p.5-9.
- Van der Gaast, J.W.J., H.Th.L. Massop, H.R.J. Vroon & I.G. Staritsky, (2006)** *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Wageningen, Alterra-rapport 1339.*
- Vermulst J.A.P.H. en W.J. De lange, (1999)** *An analytical approach for coupling models for unsaturated and saturated groundwater at different scales, Journal of Hydrology, 226 243-250*

1 De in dit artikel gebruikte formules zijn beschikbaar in een EXCEL spreadsheet bij de eerste auteur



---

# Conceptualisatie en parameterisatie van landgebruik, bodem, beregening en buisdrainage in het NHI

A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, T. Kroon, F. de Vries en H.Th.L. Massop<sup>1</sup>

---

## Inleiding

De hydrologie van Nederland wordt mede bepaald door de relatie tussen het grondwatersysteem en de atmosfeer. Daarbij is een rol weggelegd voor de bodem, de vegetatie en de gebruiker. Bij de modellering van de hydrologie van de bodem en het landgebruik in het NHI is voortgebouwd op de hydrologie voor STONE 2.3 (Van Bakel et al, 2008a). Bij STONE is Nederland landsdekkend gemodelleerd met behulp van een beperkt aantal (6405) plots. Een plot is een unieke combinatie van gewasypen, en geclassificeerde hydrologische eigenschappen en randvoorwaarden en bodemchemische eigenschappen.. Elke plot bestaat uit een aantal gridcellen van 250 bij 250 m; deze hoeven niet aangrenzend te zijn. Bij het bouwen van het NHI is deze plotbenadering verlaten. Dit betekent dat voor elke gridcel van 250 bij 250 m een model moet worden gebouwd van het gewas-onverzadigde zone deelsysteem. Daarbij is gebruik gemaakt van de modelcode metaSWAP (Van Walsum and Groenendijk, 2008), de onverzadigde zone module van SIMGRO (Van Walsum et al, 2006, 2008a, 2008b).

Voor de modellering met metaSWAP moeten per gridcel de volgende gegevens bekend zijn:

- het landgebruik en daaraan gekoppeld de verdampingskenmerken;
- de bodemfysische eenheid en daaraan gekoppeld de lagenopbouw in Staringreeksbouwstenen en per bouwsteen de bijbehorende bodemfysische eigenschappen (retentie- en doorlatendheidskarakteristieken);
- de bewortelingsdiepte, bepaald per combinatie van landgebruik en bodemfysische eenheid;
- is de gridcel wel of niet beregenbaar, hetzij uit oppervlaktewater hetzij uit grondwater;
- indien beregenbaar, wat zijn de beregeningscriteria: bij welke mate van uitdroging van de wortelzone wordt met beregenen gestart, welke bruto hoeveelheid wordt per keer toegediend en wat is de kortste lengte van de periode tussen 2 beregeningsgiften;
- is er wel of geen buisdrainage aanwezig.

In dit artikel zal zowel de conceptualisatie als de bijbehorende parameterisatie en de daarvoor gebruikte bestanden in meer detail worden beschreven.

---

<sup>1</sup> A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F. de Vries en H.Th.L. Massop zijn werkzaam bij Alterra, T. Kroon werkt bij Rijkswaterstaat Waterdienst. Correspondentie: ab.veldhuizen@wur.nl

## Landgebruik en bijbehorende verdampingseigenschappen

Verdamping vormt, samen met de neerslag, de bovenrandvoorwaarde voor alle hydrologische modellen en dus ook voor het NHI. Het is daarom van groot belang de grootte en dynamiek ervan goed in model te brengen. Er zijn diverse methoden beschikbaar om de verdamping te bepalen, met gebruikmaking van meteorologische gegevens die op routinebasis worden verzameld en voor gebruik beschikbaar zijn. Het NHI maakt gebruik van metaSWAP om de verdamping te bepalen.

Allereerst wordt voor elke gridcel één vorm van landgebruik gedefinieerd dat vervolgens gedurende de gehele simulatieperiode blijft gehandhaafd (dus geen vruchtwisseling). Daarbij is gebruik gemaakt van het LGN5-bestand (Hazeu, 2005), aangevuld met de topografische kaart om boomteelt als klasse toe te voegen en de natuurkaart van het RIVM om onderscheid te kunnen maken tussen licht naaldbos en donker naaldbos (Veldhuizen, 2008). De basisgridbestanden zijn opgeschaald van 25x25 naar 250x250 meter, waarbij in principe het landgebruik met het grootste areaal binnen het opgeschaalde grid is gekozen. Omdat deze procedure leidt tot overschatting van landgebruiken met het grootste areaal is een correctie doorgevoerd om per gemeente op gemiddeld correcte arealen uit te komen. Stedelijk gebied (LGN5-codes 18,19,26) is verondersteld voor 40% verhard te zijn, hoofdwegen en spoorwegen (code 25) voor 80%. De cellen van het opgeschaalde grid met het grootste areaal verhard zijn op code 18 (stedelijk) gezet, zodanig dat het totale areaal stedelijk in m<sup>2</sup> overeenkomt met het LGN5-grid.

**tabel 1:** Landgebruikstypen en gidsgewassen en areaalverdeling in het NHI

NHI-code	NHI-beschrijving	Gidsgewas	Oppervlakte (ha)	Oppervlakte (%)
1	Gras	Gras	1629606	46.6
2	Maïs	Maïs	244163	7.0
3	Aardappelen	Akkerbouw	174500	5.0
4	Suikerbieten	Akkerbouw	103088	2.9
5	Granen	Akkerbouw	207125	5.9
6	Overige landbouw	Akkerbouw	159275	4.6
7	Boomteelt	Loofbos	18881	0.5
8	Glastuinbouw	Gglastuinbouw	14994	0.4
9	Boomgaard	Loofbos	28613	0.8
10	Bollen	Akkerbouw	22744	0.7
11	Loofbos	Loofbos	173981	5.0
12	licht naaldbos	Licht naaldbos	157944	4.5
13	natte natuur	Natte natuur	39575	1.1
14	Droge natuur	Droge natuur	124888	3.6
15	Kale grond	Kale grond	6094	0.2
16	Zoet water	Water	123031	3.5
17	Zout water	Water	9750	0.3
18	Stedelijk	Verhard gebied	236844	6.8
19	Donker naaldbos	Donker naaldbos	19969	0.6
Totaal			3495063	100.0

Vervolgens is aan elk vorm van landgebruik een gidsgewas toegekend waarvan de verdampingseigenschappen zijn verzameld ten behoeve van gewasbasisbestanden (Van

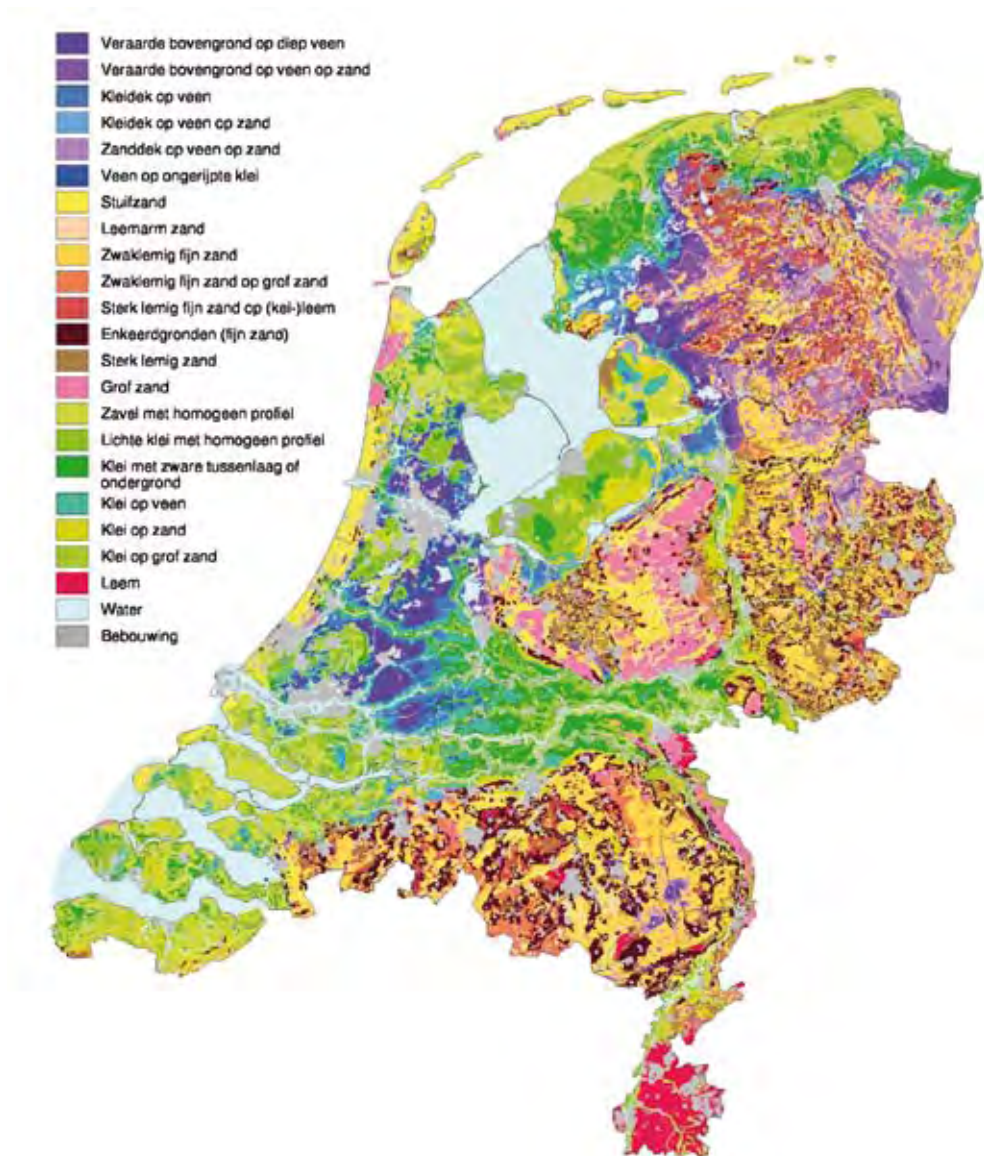
Bakel et al., 2008b). De gegevens worden gebruikt om de tijdsverlopen van de bodembe-  
dekking gedurende het kalenderjaar af te leiden voor gebruik in de metaSWAP-modellen.  
Deze zijn overgenomen uit de STONE-database, waarbij onderscheid is gemaakt is  
grasland, maïs, akkerbouw, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos en aangevuld  
met glastuinbouw, droge natuur, natte natuur, kale grond, verhard gebied en oppervlak-  
tewater. In Tabel 1 is de lijst met landgebruiksvormen en gidsgewassen weergegeven,  
tevens is de verdeling van het landgebruik in ha en procenten opgenomen in de tabel.  
In Figuur 1 is een kaartje met het landgebruik opgenomen.



figuur 1: Landgebruik

## Bodemfysische eigenschappen

De fysische eigenschappen van de bodem bepalen voor een belangrijk deel de dynamiek van het grondwatersysteem. Denk hierbij aan de bergingscoëfficiënt, capillaire opstijging en de relatie tussen vochtspanning in de wortelzone en voor de vegetatie beschikbare berging.



figuur 2: Bodemfysische kaart volgens de schematisatie van Wösten (1988)

**tabel 2:** Overzicht van eenheden op basis van bodemopbouw

<b>Code bodem-opbouw</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Opmerkingen</b>	<b>Opeenvolgende bouwstenen Staringreeks</b>
1	Veraarde bovengrond op diep veen		B18, O17
2	Veraarde bovengrond op veen op zand	Combinatie van veengronden en moerige gronden met zandondergrond. Associaties van moerige gronden en zandgronden vertaald naar zandgronden	B16, O17, O2
3	Kleidek op veen		B11, O17
4	Kleidek op veen op zand	Combinatie van veengronden en moerige gronden met kleidek en zandondergrond. Associaties van moerige gronden en zandgronden vertaald naar klei op zand (19)	B11, O17, O2
5	Zanddek op veen op zand	Combinatie van veengronden en moerige gronden met zanddek en zandondergrond. Associaties moerig en zand vertaald naar zand.	B2, O16, O2
6	Veen op ongerijpte klei	Combinatie van veengronden en moerige gronden met een kleiondergrond. Bij deze gronden kan het veen zowel als toplaag (Wo, Vk) en als tussenlaag (kVk, pVk) voorkomen. Associaties van moerige gronden met kleigronden zijn vertaald naar een kleigrond.	B18, O12
7	Stuifzand	Tot deze groep behoren de landduinen en de kustduinen, inclusief de stranden enz. Deze gronden hebben een laag leemgehalte en de humeuze bouwvoor ontbreekt veelal (Zd. en Zn..A)	O1
8	Leemarm zand	Hier gaat het vooral om de jonge dekzandruggen en om de uitgestoven laagtes temidden van landduinen. Deze gronden hebben wel een toplaag (Hd21, Y21 en Zn21)	B1, O1
9	Zwaklemig fijn zand	Met name de zwaklemige zandgronden (Hn21, pZn21, pZg21, enz.)	B2, O2
10	Zwaklemig fijn zand op grof zand	Zandgronden met grind of grof zand in de ondergrond. In de bovenlaag vooral zwak lemig, soms ook lemiger.	B2, O2, O5
11	Sterk lemig fijn zand op (kei-)leem	Zandgronden met keileem en of lössleem in de ondergrond (.x. .t). In de bovenlaag vooral sterk lemig zand, soms ook minder lemig.	B3, O2, O6
12	Enkeerdgronden (fijn zand)	Enkeerdgronden, gronden met een dikke eerdlaag (> 50 cm), zowel lemig als zwak lemig en leemarm. Gronden met een matig dikke eerdlaag (cHn, cY,) ingedeeld op basis van leemgehalte.	B2, O2
13	Sterk lemig zand	Lemige zandgronden	B3, O3, O2
14	Grof zand	Alle grofzandige gronden	B1, O5
15	Zavel met homogeen profiel		B8, O9
16	Lichte klei met homogeen profiel		B10, O10
17	Klei met zware tussenlaag of ondergrond		B12, O13
18	Klei op veen	Begindiepte veenondergrond 40 – 120 cm-mv.	B12, O13, O17
19	Klei op zand	Begindiepte zandondergrond 25 – 80 cm-mv.	B8, O10, O2
20	Klei op grof zand	Begindiepte grofzandige ondergrond 25 – 120cm-mv.	B8, O10, O5
21	Leem	Alle leemgronden, inclusief keileemgronden (KX en KT)	O15

Voor landsdekkende en regionale studies wordt veelal gebruik gemaakt van de reeds ruim 20 jaar bestaande PAWN-schematisering (zie Figuur 2), waarbij op basis van de eenheden van de Bodemkaart 1 : 250.000 (samenvoegingen van eenheden van de Bodemkaart 1 : 50.000) 21 bodemfysische eenheden zijn gedefinieerd en per eenheid de lagenopbouw in zogenoemde Staringreeksbouwstenen (Wösten et al., 2001). Deze werkwijze is wel erg grofmazig en daarom is besloten in het kader van NHI een meer gedetailleerde schematisering te maken zowel qua aantal eenheden (ruim 300) als qua lagenopbouw, op basis van de eenheden van de Bodemkaart 1 : 50.000. Daarbij zijn wel de bekende Staringreeksboven- en ondergrondbouwstenen gehandhaafd. Deze actie is ook uitgevoerd (De Vries et al, 2008) maar implementatie in NHI stuitte (vooralsnog) op rekentechnische geheugenproblemen. Voorlopig wordt daarom gebruik gemaakt van de oude bodemfysische schematisatie van Wösten (1988).

### **Bewortelingsdiepte**

De dikte van de wortelzone is om twee redenen van grote invloed op de berekening van de verdamping:

- de beschikbaarheid van bodemvocht voor de verdamping is recht evenredig is met de dikte van de wortelzone;
- de dikte van de wortelzone is van invloed op de capillaire opstijging vanaf de grondwaterstand: hoe dikker de wortelzone hoe kleiner de afstand, hoe gemakkelijker de opstijging.

De wortelzone is de grondlaag waarin zich het overgrote deel van de plantenwortels bevindt. De bewortelbare diepte, dit is de diepte waarin plantenwortels kunnen doordringen, is niet gelijk voor alle bodems. Deze diepte hangt af van beperkende factoren voor wortelgroei (Ten Cate et al., 1995) :

- pH of zuurgraad; bij pH (KCl)-waarden beneden 3,5 à 4 is vrijwel geen beworteling meer mogelijk.
- Aëratie of beluchting; aëratie speelt voornamelijk een rol bij veengronden, moerige gronden en sommige zavel- en kleigronden. Bij luchtgehalten van minder dan 10 à 15% wordt de beworteling sterk beperkt.
- Indringingsweerstand; dit is de voornaamste beperkende factor bij zand- en brikgronden. De kritische grens voor het bewortelen ligt bij een indringingsweerstand van 2,5 à 3 MPa.

De eigenschappen van de bodem bepalen dus in sterke mate de bewortelingsmogelijkheden. Er is niet gedifferentieerd naar grondwatertrappen. Of het bewortelbare traject ook echt benut wordt door de begroeiing is afhankelijk van de groei-eigenschappen van het gewas.

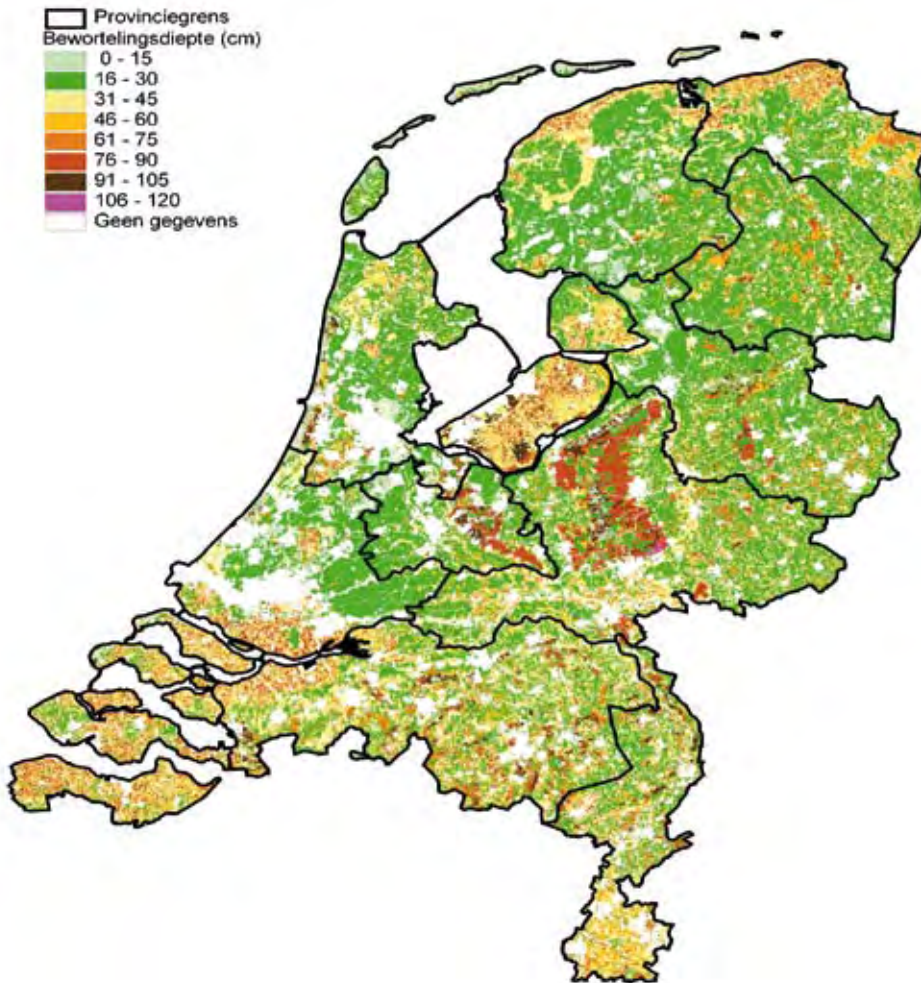
De gegeven bewortelingsdiepte geldt voor een volgroeid gewas. De werkelijke bewortelingsdiepte is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van het gewas. Bij akkerbouw en tuinbouwgewassen neemt de beworteling in werkelijkheid gedurende het groeiseizoen toe totdat de maximale waarde is bereikt.

Bij het vaststellen van de bewortelingsdiepte is de volgende informatie gebruikt:

- tabellen met richtlijnen en normen voor bewortelingsmogelijkheden in de Handleiding voor karteringen (Ten Cate et al., 1995);
- overzichtstabel met gemiddelde diktes van de effectieve wortelzone voor verschillende HELP-eenheden (Werkgroep HELP, 1987);
- geschatte bewortelingsdieptes bij ca. 300.000 boringen uit het Bodemkundig InformatieSysteem (BIS) van Alterra.

Er is enige standaardisatie aangebracht, gras (blijvend grasland) heeft de minst diepe beworteling, gevolgd door groente, bollen en aardappelen. De wortels van maïs, granen en suikerbieten gaan dieper evenals die van fruitbomen. Bos heeft tot slot de diepste beworteling.

De geschatte bewortelingsdieptes zijn gemiddelde waarden voor de eenheden van de bodemkaart. Door lokale omstandigheden kunnen er afwijkingen zijn.



figuur 3: Bewortelingsdiepte (cm)

## Berekening

In het NHI wordt de dynamiek van de waterhuishouding van de wortelzone, gesimuleerd met metaSWAP, bepaald door:

- de dagwaarden van de netto neerslag (bruto neerslag minus interceptieverdamping minus oppervlakte-afvoer), en
- de actuele verdamping (som van actuele bodemverdamping en actuele gewasverdamping).

Indien berekening mogelijk is wordt bij onderschrijden van een bepaalde drukhoogte een beregeningsgift gesimuleerd. Deze beregeningsgift wordt als neerslag voor de specifieke dag als bovenrandvoorwaarde ingevoerd. De gift is afkomstig uit grondwater en/of oppervlaktewater. Het is dus noodzakelijk te definiëren:

- waar berekening mogelijk is;
- de herkomst van het beregeningswater;
- wanneer berekening mogelijk is (tijd in het jaar);
- welke de criteria zijn voor wel niet beregenen indien berekening mogelijk is;
- wat de grootte is van de beregeningsgift.

## Locatie en herkomst van berekening

Het LEI heeft in opdracht van het RIZA het maximaal beregende oppervlak per gemeente onderzocht. Hiervoor heeft het LEI van een aantal jaren waarover de data beschikbaar is, de grootst beregende oppervlakte per gemeente genomen. De som van de oppervlakten per gemeente kan groter zijn dan van de afzonderlijke jaren. Daarnaast heeft het LEI een verdeling in berekening gemaakt naar gewas.

De gegevens van het LEI geven alleen het maximaal areaal berekening per gemeente en de verdeling van de berekening over de gewassen per LEI-district. De gegevens zeggen niet waar er wordt beregend. Voor de verdeling van het beregende areaal over de gridcellen (250x250 meter) is een fortran-programma geschreven.

De toekenning van de berekening aan de plots gebeurt op basis van preferenties. De preferenties zijn gebaseerd op gewas, kwelklasse en bodemtype. De volgorde van gewassen is: bollen, aardappels, boomgaard, overige gewassen (inclusief graan), bieten, maïs en gras. De berekende hoeveelheid kwel wordt met behulp van een reclassificatietabel ingedeeld in deze zes klassen: berekening is waarschijnlijker bij wegzijging dan bij kwel. Tenslotte is de volgorde in bodemtypes: zand, klei, leem, veen.

De diverse preferenties zijn gecombineerd en uiteindelijk toegekend aan 250 m-gridcellen, op zodanige wijze dat de balansen van de beregende arealen per LEI-gebied, per gemeente en per type gewas zoveel mogelijk kloppend worden gemaakt.

De plots met de kleinste slootdichtheid (primair plus secundair) worden beregend uit grondwater. De overige plots worden beregend uit oppervlaktewater.

Het resultaat van de toekenning van berekening is weergegeven in Figuur 4. Potentieel kan er ongeveer 513.000 ha worden beregend, dit is ongeveer 20 % van het areaal landbouwgrond, waarvan 52% uit grondwater en 48% uit oppervlaktewater. Dit areaal is een overschatting van 30.000 ha van het officiële door LEI geregistreerde areaal, wat



voor een belangrijk deel wordt veroorzaakt door het additioneel toekennen van berekening aan glastuinbouw, boomteelt en bloembollen.

### **Definiëring beregeningsseizoen**

Het beregeningsseizoen is de aaneengesloten periode in het jaar dat er behoefte kan zijn aan additionele watervoorziening via beregening. In modeltermen betekent dit dat in deze periode op basis van criteria wordt beslist of er wordt beregend.

Voor Nederlandse klimatologische omstandigheden is een beregeningsseizoen dat begint op 1 april en eindigt op 1 oktober een veel gebruikte keuze en is ook voor het NHI van toepassing.

### **Beregeningscriteria en grootte beregeningsgift**

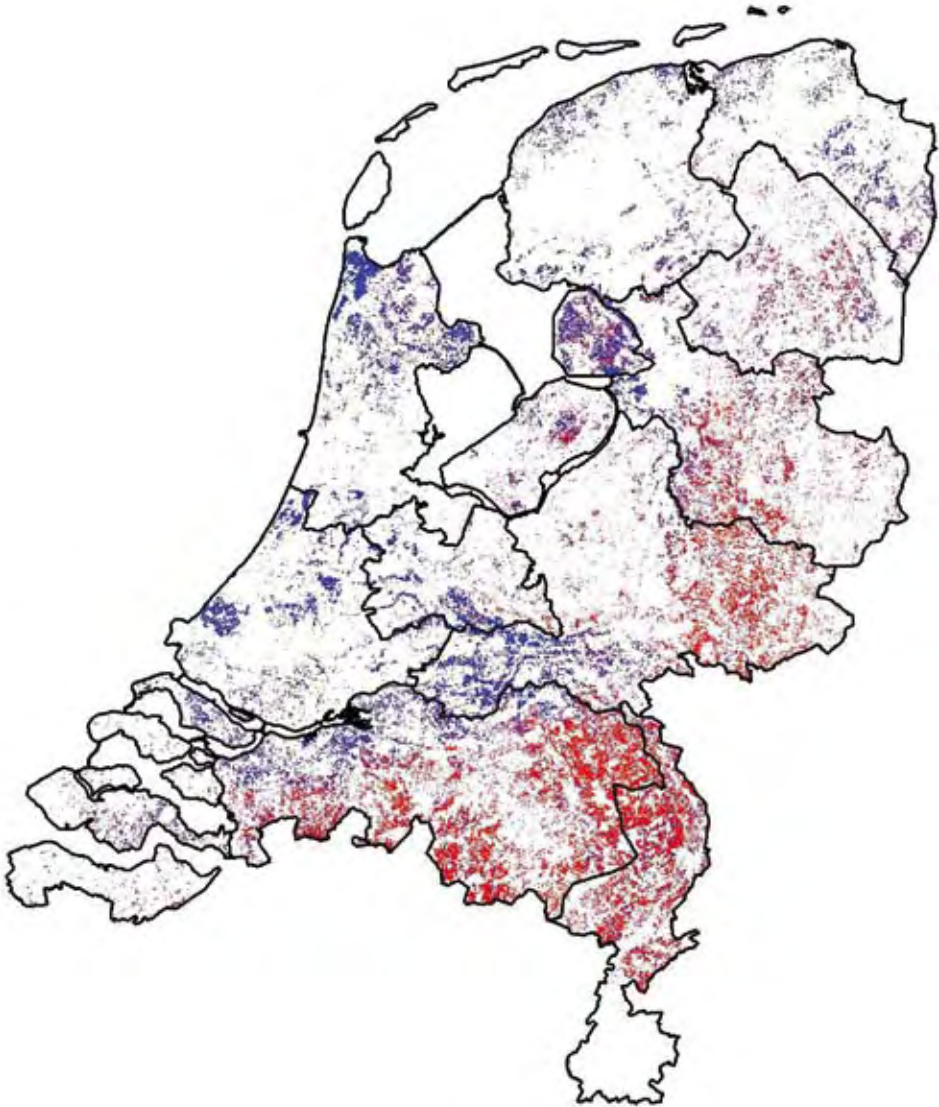
Voor metaSWAP zijn de volgende criteria gebruikt:

- kritieke drukhoogtes voor grasland, snijmaïs en overige landbouwgewassen, resp. -316, -500 en -200 cm (pF 2.5, 2.7, 2.3);
- de maximale beregeningsgift is 25 mm en het minimale beregeningsinterval is 7 dagen;
- beregening stopt als actuele drukhoogte in de wortelzone -100 cm is (ofwel pF 2.0 = veldcapaciteit).

Voor beregening geldt dat de praktijk behoorlijk kan afwijken van het model. De belangrijkste reden is dat beregening moet worden ingepast in de bedrijfsvoering, maar ook persoonlijke voorkeuren spelen een rol. Door projecten als “beregening op maat” wordt het gat tussen model en praktijk overigens wel steeds kleiner.

Discrepancie tussen model en praktijk komt ook voort uit actuele ontwikkelingen, zoals:

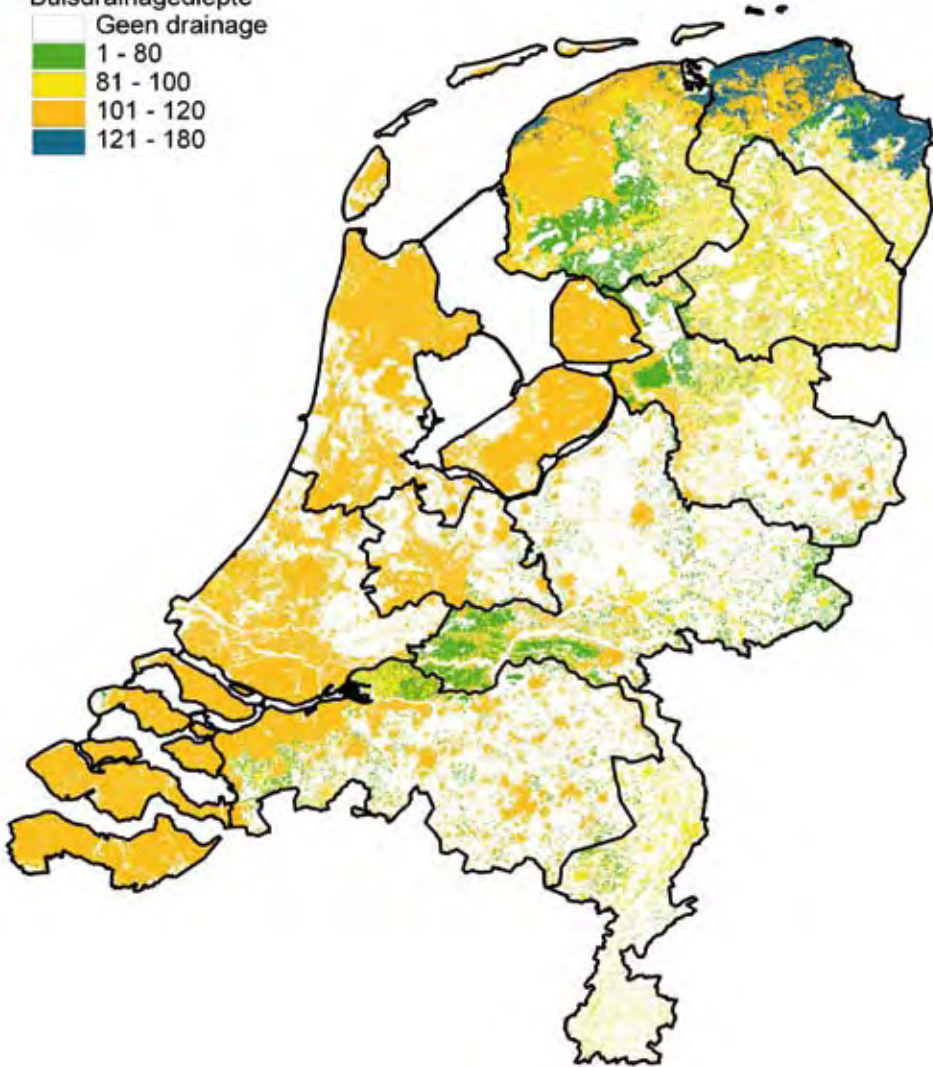
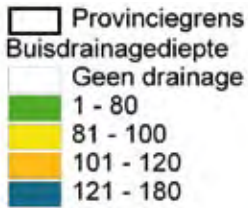
- het optreden van bruinrot (waardoor beregening van aardappels met oppervlaktewater steeds minder mogelijk is);
- de (sterke) verhoging van brandstofprijzen (waardoor beregening van laagsalderende gewassen als grasland minder aantrekkelijk wordt);
- de mestwetgeving (waardoor er een straf staat/stand op nutriëntenverliezen en de noodzaak tot beregening na mestinjectie groter is);
- beregeningsverboden (het beleid ten aanzien van beregening uit grondwater varieert per provincie/waterschap en is voortdurend aan veranderingen onderhevig);
- de praktijk van toestaan van beregening uit oppervlaktewater (het beleid ten aanzien van dit onderwerp is als gevolg van o.a. de Droogtestudie aan verandering onderhevig).



**figuur 4:** Potentiële beregeningslocaties vanuit grondwater (rood) en oppervlaktewater (blauw)

### **Aanwezigheid van buisdrainage**

In Nederland is bijna 1 miljoen ha landbouwgrond voorzien van buisdrainage. Buisdrainage heeft een groot effect op vooral de grondwaterstanden in de winter en het is dus van groot belang voor elk landsdekkend of regionaal hydrologisch model te specificeren waar buisdrainage aanwezig is. In grote delen van Nederland is deze kennis echter maar beperkt aanwezig. In het kader van Hydrologie voor STONE zijn landsdekkende kaarten gemaakt die ten behoeve van NHI zijn geactualiseerd (Massop en Van Bakel, 2008). Figuur 5 geeft een beeld van de aanwezigheid van buisdrainage.



**figuur 5:** Aanwezigheid en diepteligging(cm -mv) van buisdrainage.

De drainafstand en draindiepte kunnen regionaal behoorlijk verschillen. In NHI wordt gebruik gemaakt van een geregionaliseerde experttabel, die een voortzetting is van de STONE-experttabel.

Om de hydrologie voor STONE te definiëren is aanvankelijk gebruik gemaakt van een eenvoudige kennistabel (Massop et al., 2000). De draindiepte is daarbij afhankelijk gesteld van de bodem en de drainageweerstand en volgt min of meer uit het drainage-criterium (7 mm/d afvoer bij een opbolling gelijk aan het verschil tussen draindiepte en vereiste ontwateringsdiepte bij die 7 mm/d).

Voor de waterschappen in Noord-Brabant is vervolgens een provinciedekkende kaart gemaakt (Massop, 2001). Daarbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van gegevens over de daadwerkelijke ligging van gedraineerde percelen.

Voor de Verdrogingstudie is een landelijke kaart gemaakt met het voorkomen van buisdrainage (Massop, 2002). Hiervoor is een aantal proefgebieden geïnventariseerd waarvoor de buisdrainage gebiedsdekkend bekend was. Voor deze gebieden zijn vervolgens relaties gelegd tussen aanwezigheid van buisdrainage en karteerbare kenmerken zoals landgebruik, bodem en grondwatertrap.

De gevonden relaties zijn gebruikt om een landsdekkende kaart met buisdrainage te maken. Deze kaart is voorgelegd aan de waterschappen. De inbreng van de waterschappen heeft vervolgens tot een aantal aanpassingen geleid. De resulterende kaart is gebruikt in de Verdrogingstudie en ook in de hydrologie STONE ter vervanging van de kennistabel.

De landelijke buisdrainagekaart is sinds 2002 voor delen van Nederland verder verbeterd door:

- toevoeging van buisdrainage in gebieden met intensief grondgebruik;
- gebruik in (deels lopende) projecten gericht op een kleiner schaalniveau;
- toevoeging van beschikbare drainagekaarten.

De beschikbare buisdrainagekaart uit 2002 had alleen betrekking op landbouwgrond, terwijl ook infrastructuur en bepaalde intensieve vormen van grondgebruik zijn gedraineerd. Naast deze areaaluitbreiding zijn de kaarten opnieuw voorgelegd aan de betrokken waterschappen, veelal door middel van workshops. De informatie uit de workshops is in de landsdekkende buisdrainagekaart verwerkt. Voor Noord-Nederland is bovendien aanvullende informatie verkregen via een enquête van enkele draineerbedrijven (Boerefijn en De Graaf, 2006). Ook deze informatie is in de kaarten verwerkt.

De buisdrainagekaart is een statistische kaart, d.w.z. dat voor grotere gebieden het areaal buisdrainage ongeveer klopt, maar dat de exacte ligging van de drainage veelal niet bekend is. In recent uitgevoerde projecten in Noord-Nederland (Snepvangers en Berendrecht, 2007) en Limburg (Vermeulen et al., 2007) alsook bij in uitvoering zijnde projecten voor waterschappen Rivierenland (Van der Linden et al., 2008) en Rijn en IJssel (Van der Linden et al., 2008) is de buisdrainagekaart verbeterd en uitgebreid.

Of er gedraineerd is binnen de stedelijke omgeving is vooral afhankelijk van de hoogteligging c.q. de grondwatertrap (Gt). Echter voor oude woonwijken is de Gt niet gekarteerd. Deze zijn wel vaak op hogere delen gesitueerd, terwijl de meer recente uitbreidingen vaak in de nattere delen liggen. Door ophoging met zand, peilverlaging of buisdrainage zal aan vereiste dooleggging worden voldaan. Een ander probleem is dat mogelijk de hoogteligging van het maaiveld onvoldoende bekend is. Voor deze studie is aangenomen dat alle stedelijke gebieden gedraineerd zijn. Als echter de hoogteligging dusdanig hoog is dat buisdrainage overbodig is, dan zal de buisdrainage in het grondwatermodel ook niet werken.

Voor de bepaling van de ligging van stedelijk gebied en infrastructuur is de LGN5-kaart gebruikt.

Voor een aantal intensieve vormen van landgebruik (buiten het stedelijk gebied) is aangenomen dat deze voor 100% zijn gedraineerd. Deze landgebruikvormen zijn gepresenteerd in Tabel 3. Deze gedraineerde gebieden zijn mogelijk niet, of slechts gedeeltelijk meegenomen in de drainagekaart voor het landbouwgebied.

**tabel 3:** Additionele gedraineerde vormen van landgebruik

Landgebruik	Gebruikte kaart
Vliegvelden	Top10-vector
Boomgaarden	Top10-vector
Begraafplaatsen	Top10-vector
Boomkwekerij	Top10-vector
Fruittkwekerijen	Top10-vector
Golfterreinen en sportvelden	Separate kaart

De meeste van de in Tabel 3 genoemde landgebruikvormen zijn te selecteren binnen de Top10-vectorkaart. Voor golfterreinen en sportvelden zijn echter aparte kaarten gebruikt, aangezien deze niet voorkomen op de Top10-vector-kaart. De begrenzing van de vliegvelden is ingeschat aan de hand van de topografische kaart; vervolgens zijn de percelen binnen deze begrenzing geselecteerd.

### Drainageweerstand

Om aan de vereiste ontwateringdiepte te kunnen voldoen bij een bepaalde afvoerintensiteit dient de drainageweerstand niet te hoog te zijn. Hiermee is rekening gehouden bij de toekenning van de drainageweerstand. Veelal is een drainageweerstand van 70 dagen toegepast. Bij diepere aanleg van buisdrainage hoort een grotere drainafstand en daarmee een grotere drainageweerstand. Een grotere drainageweerstand komt vooral voor in de noordelijke kleigebieden. In Tabel 4 zijn voor enkele draindiepten de gehanteerde weerstanden in Noord-Nederland weergegeven. Omgekeerd geldt eveneens dat bij zeer ondiep draineren de drainageweerstand lager wordt dan 70 dagen.

**tabel 4:** Drainageweerstand bij toenemende draindiepte behorend bij een drainageintensiteit van 7 mm/d

Draindiepte (cm-mv)	Maximale opbolling (cm)	Drainageweerstand (d)
140	90	130
150	100	140
170	120	170

De draindiepten uit Tabel 5 zijn aangehouden:

**tabel 5:** Draindiepte

<b>Landgebruik</b>	<b>Draindiepten</b>
Grasland op zand	80 cm
Bouwland op zand	100 cm
Bouwland op klei *	110 cm
Overige landbouw	120 cm
Stedelijk en infrastructuur	120 cm
Begraafplaatsen	170 cm

\* m.u.v. de Droogmakerijen en de Wieringermeer: 120 cm- mv.

De kleigebieden in de Droogmakerijen zijn gedraineerd op 120 cm, met uitzondering van de IJsselmeerpolders. Voor de IJsselmeerpolders is, in afwijking van de hydrologie voor STONE, een diepte aangehouden van 110 cm -mv. De motivatie voor de keuze is dat de drains oorspronkelijk zijn aangelegd op een diepte van 120 cm -mv, maar dat de uiteindelijke diepte na inklinking 100 cm -mv zal bedragen. Daarom is een tussenliggende waarde van 110 cm -mv aangehouden (Schultz, 1992).

Uit een enquête bij draineerbedrijven in Noord-Nederland bleek dat in een aantal kleigebieden dieper is gedraineerd dan volgens het Cultuurtechnisch Vademecum is aangegeven. Deze informatie is gebruikt voor de kaart van Noord-Nederland. Zo komen in het gebied ten zuiden van de Dollard draindiepten van 150 cm -mv voor; in de kop van Groningen en een beperkt deel van Friesland zelfs tot 170 cm -mv. Verder zijn de kleigebieden in Groningen en Friesland veelal tot 110 cm -mv gedraineerd. Het zandgebied van Drenthe, Friesland en Groningen is veelal gedraineerd op 90 cm -mv. Het gebied van Blija Buitendijks in Friesland is niet gedraineerd. Het veengebied in Friesland is veelal gedraineerd op 80 cm -mv.

Elders in Nederland kunnen ook gebieden voorkomen waar dieper is gedraineerd dan 120 cm -mv, echter nadere informatie hierover ontbreekt.

## **Voorgenomen verbeteringen in fase 2**

De bovenbeschreven functionaliteit is in fase 1 van het NHI-project doorgevoerd.

De belangrijkste verbeterpunten voor fase 2 zijn: verbetering van de SWAP-basisbestanden voor diverse gidsgewassen en omzetting daarvan naar parameters voor meta-SWAP; implementatie van de 300 bodemfysische eenheden en bijbehorende bodemfysische eigenschappen en bewortelingsdieptes; actualisatie van het beregeningsbestand. Door veranderingen in landgebruik, landbouwprijzen, energieprijzen maar ook verschijnselen als bruinrot is de omvang van berekening aan voortdurende veranderingen onderhevig; actualisatie van het buisdrainagebestand door het inbouwen van lokale kennis.

## Referenties

- Akker, J.J.H. van den (2005)** *MaaiVELddaling en verdwijnende veengronden*; In Rienks, W.A. en A.L. Gerritsen, 2005, *Veenweide 25x belicht, Een bloemlezing van het onderzoek van Wageningen*; WUR, Wageningen.
- Bakel P.J.T. van, H. Th. M. Massop, J. van der Gaast en J. te Beest (2003)** *Ontwatering in beeld; H<sub>2</sub>O, 6-2003, 13- 15.*
- Bakel P.J.T. van et al. (2007)**; *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1, Beschrijving reparatie-acties, analysesresultaten en beoordeling plausibiliteit*; WOT-werkdocument 81, Wageningen.
- Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors en T. Kroon (2008a)** *Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3, Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets*; WOT-rapport 57, Wageningen.
- Bakel, P.J.T. van, J.G. Kroes en F. de Vries (2008b)** *Gewassenmerken, NHI-fase 1+ Deelrapport 12; Deltares, Utrecht.*
- Boerefijn M. en C. de Graaf (2006)** *Inventarisatie buisdrainage in het MIPWA projectgebied; TAUW, Utrecht.*
- Elsevier bedrijfsinformatie en Vereniging voor Landinrichting (2000)** *Cultuurtechnisch Vademecum, Handboek voor inrichting en beheer van het landelijk gebied*; Krips, Meppel.
- Hazeu, G.W. (2005)** *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN5), Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik; Alterra-rapport 1213, Wageningen.*
- Hoogeveen, M.W., K.H.M. van Bommel en G. Cotteleer (2003)** *Berekening in land- en tuinbouw; Rapport voor de Droogtestudie Nederland; LEI-rapport 3.03.03, Den Haag.*
- Kooistra K. (1989)** *Drainage en ander wijzen van ontwatering, Praktijkreeks Veehouderij; Misset, Doetinchem.*
- Kroes et al. (2001)** *Actualisatie van de Hydrologie voor STONE 2.0; Alterra-rapport 298, Wageningen.*
- Kekem, A.J. van, T. Hoogland & J.B.F. van der Horst (2005)** *Uitspoelingsgevoelige gronden op de kaart: Werkwijze en resultaten; Alterra-rapport 1080, Wageningen.*
- Linden van der et al. (2008)** *GGOR Instrumentarium Rijn en IJssel; Deltares, Utrecht.*
- Linden van der et al. (2008)** *Grondwatermodellering Rivierenland. Deltares, Utrecht.*
- Massop H.Th.L., T. Kroon, P.J.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen (2000)** *Hydrologie voor Stone, Schematisatie en parametrisatie; Alterra-rapport 038, Reeks Milieuplanbureau 9, Wageningen.*
- Massop H. Th. L. (2001)** *Drainagekaart Noord-Brabant. Toekenning van buisdrainage gebaseerd op statistische kenmerken uit veldonderzoek in een beperkt aantal proefgebieden, aangevuld met gebiedsdekkende inventarisaties en expert kennis; Alterra, Wageningen.*
- Massop, H.Th.L. (2002)** *Landelijke karakterisering buisdrainage; Alterra, Wageningen.*
- Massop, H.Th.L. en P.J.T. van Bakel (2008)** *Buisdrainage; NHI fase 1+ Deelrapport 8; Deltares, Utrecht.*
- RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck, D. Klopstra, R. Versteeg, T. Kroon (2005)** *Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland; RIZA-rapport 2005.016, Lelystad.*
- Schultz E. (1992)** *Waterbeheersing van de Nederlandse droogmakerijen in Nederland, Van Zee tot Land 58; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad.*
- Snepvangers J. en W. Berendrecht (2007)** *MIPWA, Methodiekontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer; TNO-rapport 2007-U-R0972/A, Utrecht.*

- Veldhuizen, A.A. (2008)** *Landgebruik, NHI-fase 1+ Deelrapport 9; Deltares, Utrecht.*
- Veldhuizen, A.A. en P.J.T. van Bakel (2008)** *Berekening, NHI-fase 1+ Deelrapport 10; Deltares, Utrecht.*
- Vermeulen P., W. van der Linden, A. Veldhuizen, H. Massop, H. Vermulst en W. Swierstra (2007)** IBRAHYM, Grondwater Modelinstrumentarium Limburg; TNO-rapport 2007-U-R0193/B, Utrecht.
- Vries, F. de (1999)** *Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken; Staring Centrum Rapport 654, Wageningen.*
- Vries, F. de De Vries, F., W.J.M. de Groot, T. Hoogland en J. Denneboom (2003)** *De Bodem van Nederland digitaal, Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie; Alterra-rapport 811, Wageningen.*
- Vries, F. de (2008)** *Bodemfysische eigenschappen, NHI fase 1+ Deelrapport 11; Deltares, Utrecht.*
- Vries, F. de, P.J. Kuikman en C.M.A. Hendriks (2008)** *De veengronden in Hoog-Nederland verdwijnen; Tijdschrift Bodem, jaargang 18, nr 1 Februari 2008.*
- Vries, F. de, R.F.A. Hendriks, R.H. Kemmers en R. Wolleswinkel (2008)** *Het veen verdwijnt uit Drenthe, Omvang, oorzaken en gevolgen; Alterra-rapport 1661, Wageningen.*
- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner and M.F.R. Smit (2006)** *SIMGRO 6.0.3 Theory and model implementation; Alterra-report 913.1, Wageningen.*
- Walsum, P.E.V. van and P. Groenendijk (2008)** *Quasi Steady-state Simulation of the Unsaturated Zone in Groundwater Modeling of Lowland Regions; Vadose Zone Journal 7-2: 769-781.*
- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen en W.J.M. Heijkers (2008)** *SIMGRO6: we maken de balans op; Deel 1; Stromingen 14-3.*
- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen en W.J.M. Heijkers (2008)** *SIMGRO6: we maken de balans op; Deel 2; Stromingen 14-3.*
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst (1988)** *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1 : 250 000, ten behoeve van de Pawn-studie; Stiboka-rapport 2055, Wageningen.*
- 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; Alterra-rapport 153, Wageningen.*



---

# Het Vlaams Grondwatermodel: een gebiedsdekkend modelinstrumentarium voor Vlaanderen, toepasbaar van regionale tot lokale schaal

Johan Lermytte en Paul Thomas<sup>1</sup>

---

## Inleiding

De afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) is verantwoordelijk voor het beheer van het grondwater in Vlaanderen. Naast een uitgebreide monitoring van de verschillende grondwaterlichamen, wordt voor het kwantitatief beheer van de grondwatervoorraden ook gebruikt gemaakt van een uitgebreid modelinstrumentarium.

Dit instrumentarium heeft de naam Vlaams Grondwatermodel of VGM gekregen, en gebruikt als rekenkern de grondwatermodelcode MODFLOW. Het VGM is niet één grondwatermodel maar het is een modelleromgeving. Deze omgeving bevat zowel alle mogelijke basisgegevens om op een vlotte manier op verschillende schalen grondwatermodellen te kunnen ontwikkelen, als de eigenlijke modellen en de modelresultaten.

## Opbouw van het Vlaams grondwatermodel

Het concept van het Vlaams grondwatermodel werd in 2000 opgesteld (Meyus e.a., 2000) en omvatte een stappenplan waarbij er steeds vanuit gegaan werd dat de basisgegevens nodig voor het opstellen van een grondwatermodel gebiedsdekkend zouden worden verzameld (figuur 1). Daarenboven zou de inventarisatie van de gegevens zich niet beperken tot Vlaanderen maar moesten ook over de grenzen van het Vlaams Gewest de basisgegevens verzameld worden.

Onder leiding van de Vrije Universiteit Brussel (VUB) werd in samenspraak met de academische wereld en de administraties een nieuwe hydrostratigrafische indeling uitgewerkt die de basis zou vormen voor het VGM. Deze indeling leidde tot de Hydrostratigrafische Codering van de Ondergrond in Vlaanderen, of kortweg HCOV (Meyus e.a., 2000). De ondergrond werd onderverdeeld in aquifers en aquitards die werden ingedeeld in hoofdeenheden, subeenheden en basiseenheden (<http://dov.vlaanderen.be/dovweb/html/3hcov.html>). De HCOV vormde later de basis voor het indelen van de ondergrond in grondwaterlichamen (VMM, 2004).

De verschillende HCOV-eenheden zijn vervolgens in kaart gebracht (Meyus e.a., 2005). Naast voorkomingskaarten van de lagen zijn ook kaarten gemaakt met de diepte van de basis en de dikte van de lagen. Deze kaarten werden digitaal als rasters opgeslaan met

---

<sup>1</sup> Johan Lermytte en Paul Thomas werken bij de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), afdeling Operationeel Waterbeheer, Koning Albert-II laan 20, bus 16, 1000 Brussel  
Telefoon: 0032 (0)2/553.21.32, Fax: 0032 (0)2/553.21.05, E-mail: [j.lermytte@vmm.be](mailto:j.lermytte@vmm.be)

een celgrootte van 100 meter. De kaartenset (HCOV-atlas) vormt een consistent driedimensionaal geheel en laat toe om overal in Vlaanderen de hydrogeologische opbouw te bepalen. Een eerste revisie van de kaartenset gebeurde in 2007 (Vancampenhaut e.a., 2007)



**figuur 1:** Concept van het VGM (naar Meyus e.a., 2000a)

Een lokaal axiaal-symmetrisch model is ontwikkeld dat op de HCOV-atlas is geënt en dus in het volledige VGM-gebied kan worden toegepast (Lebbe e.a.,2004). Het axiaal-symmetrisch model gaat ervan uit dat de hydrogeologische opbouw in de invloedstraal van een winning overal dezelfde is. Hierdoor kan de 3D opbouw van de ondergrond vereenvoudigd worden tot een verticaal 2D modelgrid dat als het ware groteerd wordt rond de pompput en zo een 3D weergave vormt van de ondergrond. Dit model is in staat om de verlagingen te berekenen ten gevolge van een winning of een aantal geclusterde winningsputten. Het volstaat om de positie van de put (x, y), de filterstelling en het opgepompte debiet in te voeren. Op basis van deze gegevens in combinatie met de HCOV-atlas worden de verschillende invoerbestanden automatisch aangemaakt en wordt het model doorgerekend. Een reeks verlagingscurves als functie van de afstand tot de pompput en de tijd worden hiermee berekend. Dit model wordt bijvoorbeeld gebruikt bij de advisering voor grondwaterwinningen die in de buurt van grondwaterafhankelijke habitatgebieden gelegen zijn. Voor het kustgebied werd een densiteitafhankelijk axiaal symmetrisch model opgesteld waarmee de verlaging van de stijghoogtes rond een pompput en de opstijging van het verziltingvlak onder een winningsput kan berekend worden (Lebbe e.a.,2006).

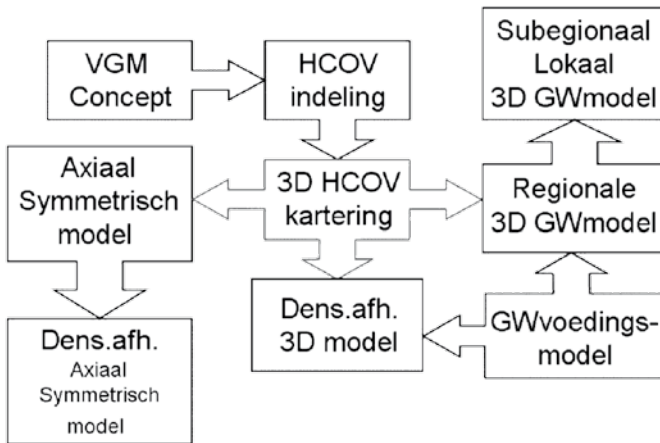
Een grondwatervoedingsmodel (WETSPASS) werd op het volledige VGM-gebied toegepast. Het gebruikte model laat toe om de jaargemiddelde voeding (voor de zomer en de winterperiode) te berekenen op basis van o.a. de klimatologische gegevens, het landgebruik, de bodemtextuur, de helling en de diepte van de grondwaterstand (Meyus e.a.,2004). Het model werd berekend op een raster met een celresolutie van 50 m.

Vanaf 2003 zijn een aantal regionale grondwatermodellen gemaakt om de werking van de verschillende grondwatersystemen beter te begrijpen. Deze regionale modellen zijn evenwichtsmodellen, die moeten toelaten om de langetermijneffecten van beleidsbeslissingen te evalueren. Voor het Sokkelsysteem werd een transiënt model, met een tijdstap van 1 jaar, opgemaakt.

Ten behoeve van de visievorming rond landinrichtingsprojecten, waterwingebieden, grondwaterafhankelijke natuurgebieden, gewestplanwijzigingen en dergelijke kan het noodzakelijk zijn grondwatermodellen op een meer gedetailleerd niveau te ontwikkelen dan hoger vernoemde regionale modellen. Deze subregionale modellen worden ad hoc ontwikkeld op basis van de verschillende gebiedsdekkende basisgegevens en de resultaten van de regionale modellen.

Daarnaast is een instrument ontwikkeld waarmee overal in het Vlaamse kustgebied op automatische wijze een 3D dichtheidsafhankelijk model (MOCDENS3D) opgesteld wordt (Lebbe e.a., 2006).

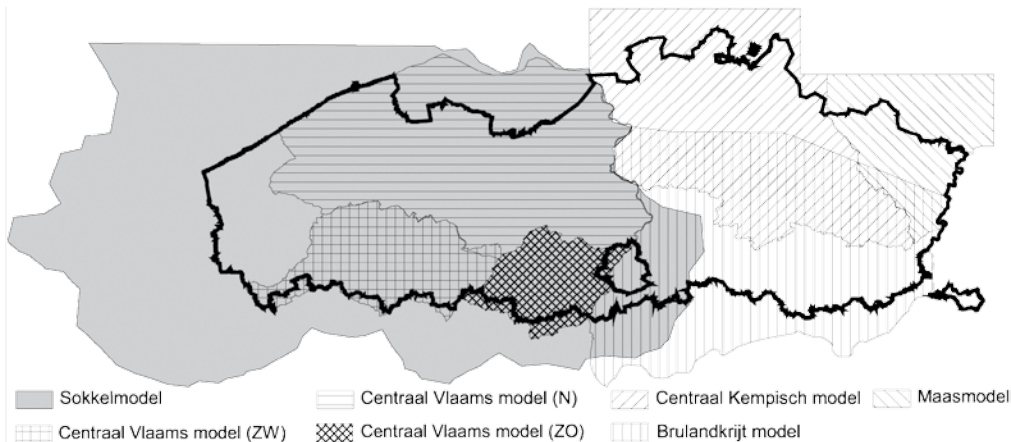
Het VGM bestaat dus niet enkel uit een aantal regionale modellen die de grondwaterstroming op regionale schaal beschrijven, maar wordt gevormd door een aantal verweven datasets en modeltoepassingen (figuur 2). Bij het ontwikkelen van deze toepassingen is er steeds voor gezorgd dat het gebiedsdekkend kan toegepast worden



**figuur 2:** Relatie tussen de verschillende modellen binnen de VGM architectuur en de HCOV-atlas

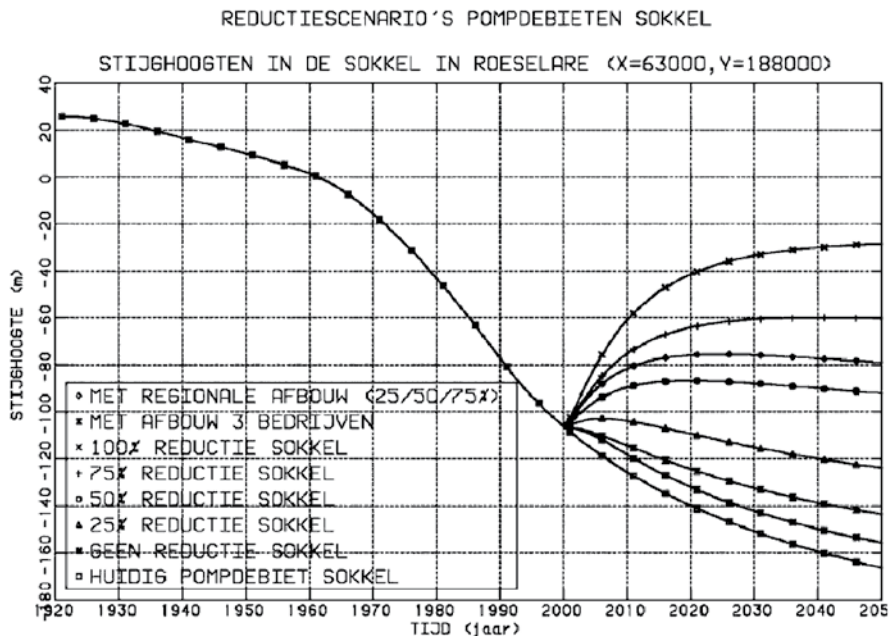
### Enkele voorbeelden van regionale en lokale modellen binnen het VGM

In Vlaanderen bestond tot voor kort geen gebiedsdekkende grondwatermodel. Het opstellen van een dergelijke grondwatermodel was dan ook één van de belangrijkste doelstellingen van het VGM. Om een voldoende resolutie te hebben is ervoor gekozen om niet één gebiedsdekkend grondwatermodel te ontwikkelen, maar om per grondwatersysteem één of meerdere modellen te ontwikkelen (figuur 3). Enkel voor het Kust- en Poldersysteem is geen regionaal model ontwikkeld. Het Sokkelmodel werd voltooid in 2003 (Van Camp, 2003).



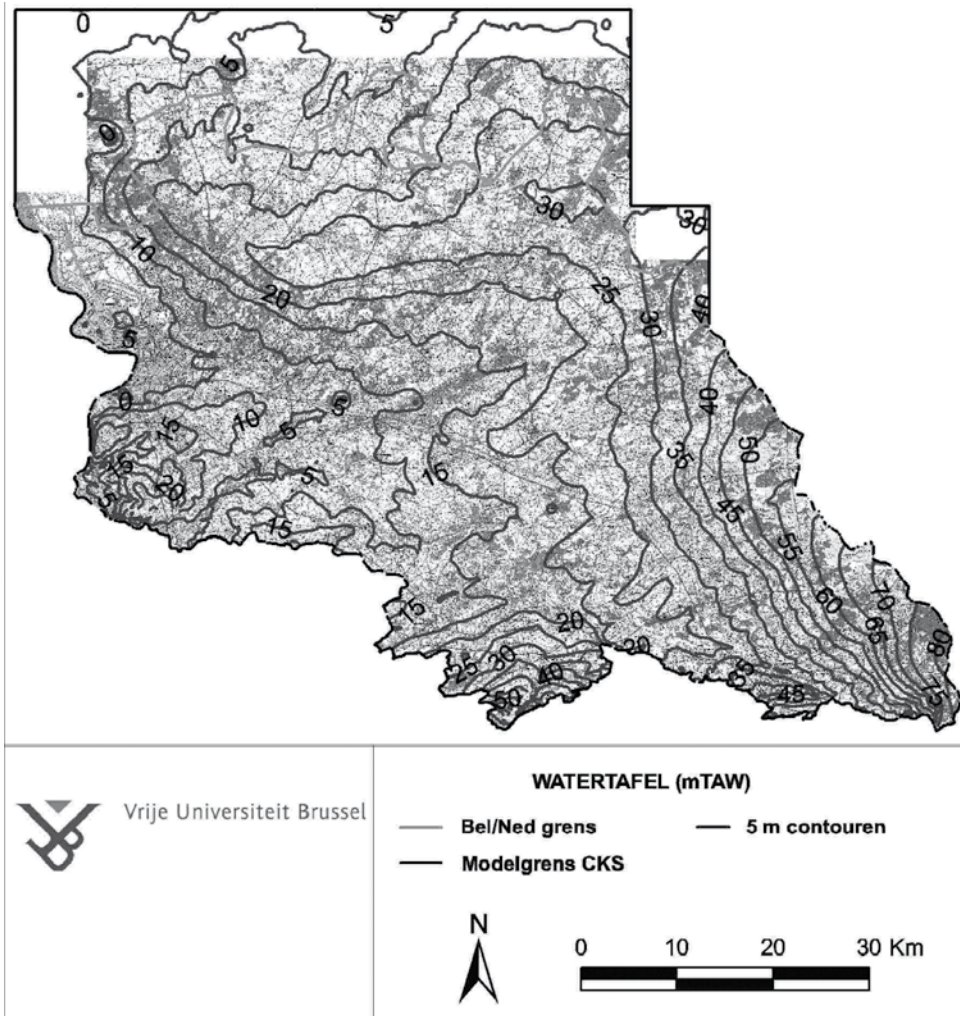
figuur 3: Ligging van de verschillende regionale modellen

Het Sokkelmodel is een tijdsafhankelijk model waarmee de evolutie van de peilveranderingen ten gevolge van de toegenomen winningen kan worden gemodelleerd. De Sokkel en de Landeniaan aquifer zijn twee overgeëxploiteerde lagen, gelegen onder een dikke tertiaire kleilaag. Aan de hand van het Sokkelmodel zijn verschillende scenario's doorgerekend, waaruit bleek dat de winningen met 75 % moeten worden afgebouwd om op een termijn van enkele decennia tot een aanvaardbaar stabiel peil in de Sokkel en het Landeniaan te komen.



figuur 4: Evolutie van de gemodelleerde stijghoogtes in de Sokkel in Roeselare. Vanaf het jaar 2000 worden verschillende scenario's met elkaar vergeleken. De reductie van 75% vertoont op lange termijn geen dalende trend

De overige regionale modellen zijn stationaire modellen die de toestand in 2000 of 2005 voorstellen (De Smedt, 2007 en Haecon 2007). Ook met deze modellen zijn al een aantal scenario's doorgerekend (figuur 5). Op termijn is het ook de bedoeling om deze modellen tijdsafhankelijk te maken.



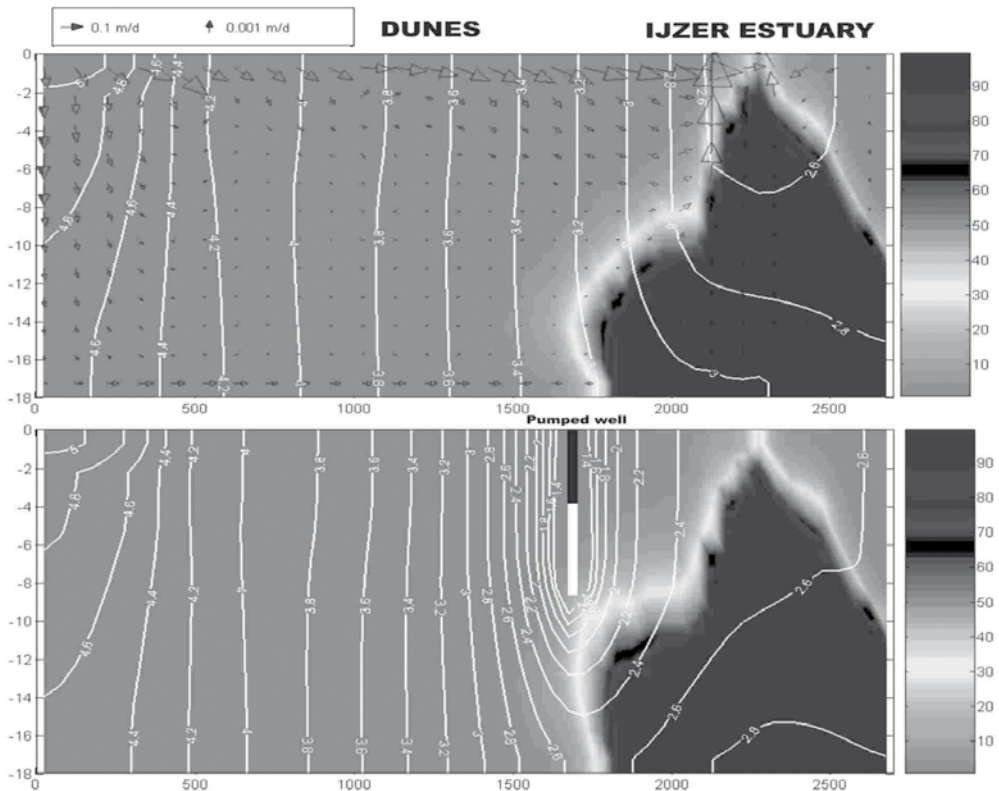
**figuur 5:** Hoogte van de watertafel (m-TAW) berekend aan de hand van het Centraal Kempisch Model. Toestand met gewonnen debieten van het jaar 2000 (De Smedt,2007).

Naast deze regionale modellen zijn al een aantal subregionale/lokale modellen ontwikkeld ten behoeve van ecohydrologische studies. Het gaat om modellen van de Dommel, de Kleine Nete, en de regio Balen. De modelresultaten worden o.a. gebruikt als input voor het ecohydrologische voorspellingsmodel NICHE Vlaanderen (Callebaut e.a., 2007 en VMM, 2008).

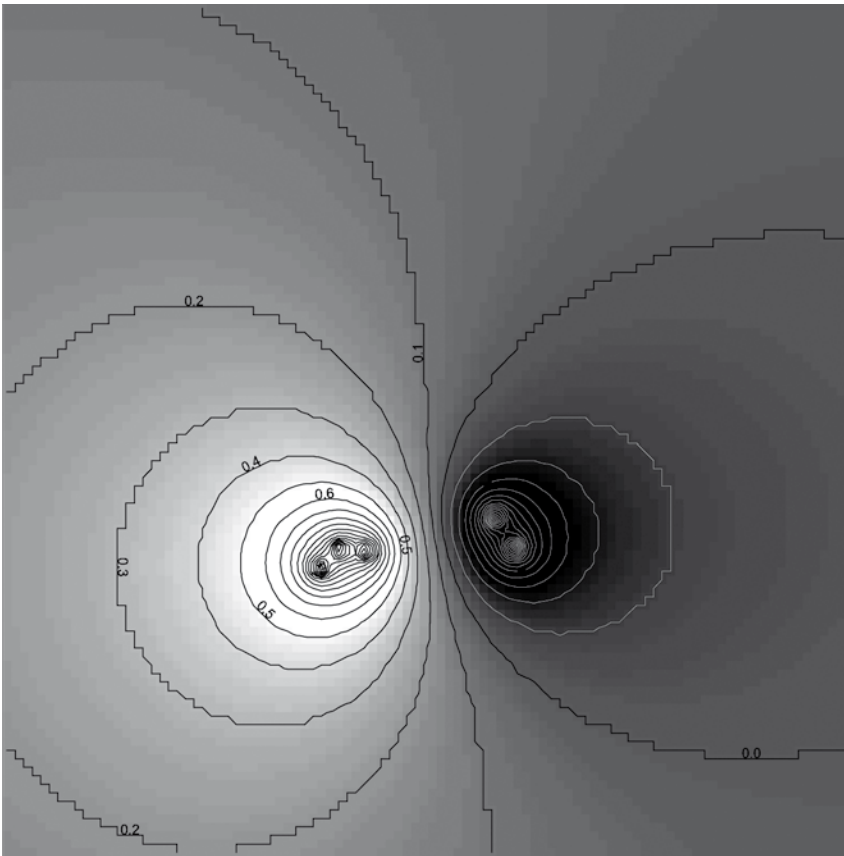
In de toekomst zullen steeds meer lokale modellen ontwikkeld worden, onder andere in het kader van het operationeel maken van het schadefonds. Hiervoor moet de impact

van winningen op de grondwaterstand kunnen doorvertaald worden naar verlies van landbouwopbrengsten of andere types schade. Een instrument zal worden ontwikkeld dat op automatische wijze uit de verschillende basisgegevens de modelinvoerbestanden opstelt voor een gebied naar keuze, zodat het opstellen van een grondwatermodel op een snelle manier kan gebeuren.

Voor het berekenen van de impact van winningen of drainages in het Kust- en poldersysteem, dat gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van brak en zout grondwater, beschikt de afdeling Operationeel Waterbeheer al over een dergelijk instrument (Lebbe e.a., 2006). Figuur 6 toont in een verticale doorsnede de resultaten van dit model toegepast op een gebied aan het IJzerestuarium, waarin naast de rivier een droogzuiging voor een bouwput werd aangelegd. Een driedimensionaal MOCDENS3D model werd op automatische wijze opgesteld op basis van de verschillende gebiedsdekkende datasets. De figuur toont een verticale doorsnede door het model ter hoogte van de bemaling, evenwijdig aan de kust en loodrecht op de rivier (Lebbe e.a., 2008). Het bovenste deel van de figuur toont de zoet-zout waterverdeling en de stijghoogtes voor de bemaling startte. Het onderste deel toont de situatie op het einde van de bemaling.



**figuur 6:** Invloed van een bemaling gelegen langs het IJzerestuarium op de zoetwaterstijghoogtes (witte lijnen, in mTAW) en de zoutwaterconcentratie (grijs tinten), berekend met het dichtheitsafhankelijk grondwatermodel. Verticale doorsnede parallel met de kust. X-as is de afstand, y-as is de diepte (Lebbe e.a., 2008).



**figuur 7:** Berekende verandering van de stijghoogte ten gevolge van een koude-warmteopslag in het Ledo-Paniseliaan te Eeklo. Uit drie pompputten wordt  $100\text{m}^3/\text{d}$  per put gepompt (links in de figuur), in twee injectieputten wordt per put  $125\text{m}^3/\text{d}$  terug in de laag gepompt (rechts in de figuur). De grijs tinten komen overeen met verhogingen (donkere tinten) of verlagingen (bleke tinten) van de stijghoogte in het Ledo-Paniseliaan na twee jaar in gebruik name van de installatie. Isohypsen zijn om de 10 cm getekend (zwarte isohypsen zijn dalingen, witte zijn verhogingen)

Ook voor het berekenen van de verlaging ten gevolge van een winning kan op automatische wijze een lokaal axiaal-symmetrisch model opgebouwd worden. Het axiaal-symmetrisch model gaat ervan uit dat de gelaagdheid van de ondergrond in de invloedstraal van een winning overal dezelfde is. Hierdoor kan de 3D opbouw van de ondergrond vereenvoudigd worden tot een verticaal 2D modelgrid dat als het ware geroteerd wordt rond de pompput en zo een 3D weergave vormt van de ondergrond. Naast de verlagingen in de aangepompte laag kunnen ook de verlagingen in boven- of onderliggende lagen of aan de watertafel berekend worden. De output van het model bestaat uit een aantal tijdsverlagings- en afstandsverlagingscurves of een kaart met de berekende verlaging op een bepaald tijdstip in een te kiezen modellaag. Via superpositie kan de verlaging (en/of verhoging) van de grondwaterstand of stijghoogte berekend worden voor elke willekeurige configuratie van winningsputten (en/of injectieputten). Het model wordt

geïllustreerd aan de hand van een fictief voorbeeld waarbij in Eeklo in de provincie Oost-Vlaanderen een koude-warmteopslag wordt gepland. Van het opgepompte water wordt echter een deel gebruikt voor het sanitair van een school. Het water wordt gewonnen en terug geïnjecteerd in het Ledo-Paniseliaan. Het grondwater wordt uit drie pompputten opgepompt (elke put 100 m<sup>3</sup>/d) en wordt in twee putten terug in dezelfde laag geïnjecteerd (elke put 125 m<sup>3</sup>/d). Netto wordt 50 m<sup>3</sup>/d van het opgepompte water niet terug in de laag gebracht en verbruikt. In figuur 7 wordt de verlaging (en de stijging) van de stijghoogte in het Ledo-Paniseliaan berekend ten gevolge van de koude-warmteopslag.

## Besluit

Het Vlaams Grondwatermodel bestaat uit een groot aantal gebiedsdekkende basisgegevens die nodig zijn om op verschillende schalen grondwatermodellen te kunnen bouwen. Een aantal regionale modellen zijn al ontwikkeld en hebben een beleidsondersteunende rol. Meer gedetailleerde modellen worden aan de hand van de basisgegevens en resultaten bekomen uit de regionale modellen opgesteld in het kader van operationeel beheer zoals hermeanderingsprojecten. De impact van een waterwinning op de stijghoogtes of de watertafel kunnen op quasi-automatische manier berekend worden met een axiaal-symmetrisch model of indien van toepassing met een 3D dichtheidsafhankelijk model. Met het Vlaams Grondwatermodel beschikt de afdeling Operationeel Waterbeheer van de Vlaamse Milieumaatschappij over een instrument dat toelaat om op zowel de algemene beleidsvragen als de vragen rond concrete situaties op het terrein antwoorden te formuleren.

## Referenties

- Callebaut, J., E. De Bie, W. Huybrechts en P. De Becker, (2007)** *Niche-Vlaanderen, beheersmodel actief peilbeheer, SVW, 1-7.*
- De Smedt, F., J. Severyns en G. Adem, (2007)** *Ontwikkeling van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwatermodel in GMS/Modflow, Perceel 2: Het Maasmodel, Deelopdracht 3: Beschrijving modelresultaten referentietoestand 2000 en scenario's; Onderzoeksopdracht voor de VMM, afdeling Operationeel Waterbeheer.*
- De Smedt, F., B. Verbeiren, en G. Adem, (2007)** *Ontwikkeling van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwatermodel in GMS/Modflow, Perceel 3: Het Centraal Kempisch model, Deelopdracht 3: Beschrijving modelresultaten referentietoestand 2000 en scenario's; Onderzoeksopdracht voor de VMM, afdeling Operationeel Waterbeheer.*
- Haeccon (2007)** *Ontwikkeling van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwatermodel in GMS/Modflow, Perceel 2: Het Brulandkrijtmodel, Deelopdracht 3: Beschrijving modelresultaten referentietoestand 2000 en scenario's; Onderzoeksopdracht voor de VMM, afdeling Operationeel Waterbeheer.*
- Lebbe, L. en A. Vandenbohede, (2004)** *Ontwikkeling van een lokaal axi-symmetrisch model op basis van de HCOV kartering ter ondersteuning van de adviesverlening voor grondwaterwinningen; Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Operationeel Waterbeheer.*



- Lebbe, L., A. Vandenbohede en P. Waeyaert, (2006)** *Verfijning van de HCOV-indeling van het Kust- en Poldersysteem en de toepassing ervan in een lokaal axi-symmetrisch model en in een 3D model voor de simulatie van de dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming ter ondersteuning van de adviesverlening voor grondwaterwinningen in de verzilte freatische aquifer; Onderzoeksopdracht voor de VMM, afdeling Operationeel Waterbeheer.*
- Lebbe L., J. Lermytte, D. Vandeveld, A. Vandenbohede., D. D'hont en P. Thomas, (2008)** *Salt Water Intrusion Modeling in the Flemish Coastal Plain Based on a Hydrogeological Database; in Proceedings of the 20th Salt Water Intrusion Meeting, Naples, Florida, USA.*
- Meyus, Y., O. Batelaan en F. De Smedt, (2000)** *Concept Vlaams Grondwater Model (VGM), Technisch concept van het VGM, Deelrapport 1: Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen (HCOV); Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water.*
- Meyus, Y., T. Van Daele, O. Batelaan en F. De Smedt, (2000)** *Concept Vlaams Grondwater Model (VGM), Eindrapport; Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water.*
- Meyus, Y., D. Adyns, S.T. Woldeamlak, O. Batelaan en F. De Smedt, (2004)** *Opbouw van een Vlaams grondwatervoedingsmodel, eindrapport; Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water.*
- Meyus, Y., J. Cools, D. Adyns, S.Y. Zeleke, S.T. Woldeamlak, O. Batelaan en F. De Smedt, (2005)** *Hydrogeologische detailstudie van de ondergrond in Vlaanderen; Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water.*
- Vancampenhout, P., M. De Ceukelaire, M. Duser en P.Y. Declercq, (2007)** *Aanpassen van de hydrogeologische kartering van de Ondergrond in Vlaanderen (HCOV); Onderzoeksopdracht voor de VMM, afdeling Operationeel Waterbeheer.*
- Van Camp, M. en K. Walraevens, (2003)** *Grondwatermodel van de diepe watervoerende lagen, simulatie van een aantal scenario's; Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water.*
- VMM (2008)** *Rivierherstel van de Kleine Nete tussen Herentals en Kasterlee. Eco-hydrologische studie. Juni 2008.*



# Inhoud

<b>Huiswerk</b>	<b>1</b>
<b>NHI? NHI!</b>	<b>3</b>
<b>Berekening van verzadigde grondwaterstroming met het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium</b>	<b>7</b>
Bart Goes en Jarno Verkaik	
<b>Oppervlaktewater in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium</b>	<b>23</b>
Joost Delsman en Geert Prinsen	
<b>Bepaling van freatische lekweerstand in het NHI fase 1+</b>	<b>35</b>
A.J.J. Vergroesen, W.J. de Lange, A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel en M.J.H. Pastoors	
<b>Conceptualisatie en parameterisatie van landgebruik, bodem, beregening en buisdrainage in het NHI</b>	<b>45</b>
A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, T. Kroon, F. de Vries en H.Th.L. Massop	
<b>Het Vlaams Grondwatermodel: een gebiedsdekkend modelinstrumentarium voor Vlaanderen, toepasbaar van regionale tot lokale schaal</b>	<b>61</b>
Johan Lermytte en Paul Thomas	

# STROMINGEN

Vakblad van de Nederlandse Hydrologische Vereniging

