



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling

# Regionale standplaats- modellering voor terrestrische vegetatie

RIZA rapport 2002.035



Dit rapport is te bestellen à € 11 per stuk bij Cabri Mailservice, Postbus 431, 8200 AK Lelystad,  
Tel. 0320-285333, Fax. 0320-285311, E-mail riza@cabri.nl

Betaling na levering; een acceptgiro wordt bijgevoegd.

Het rapport is gratis voor dienstonderdelen van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

This publication can be ordered at € 11 per copy through Cabri Mailservice, PO Box 431,  
8200 AK Lelystad, The Netherlands, Tel. +31 320 285333, Fax, +31 320 285311, E-mail riza@cabri.nl  
Payment on delivery.



# Regionale standplaats- modellering voor terrestrische vegetatie

**Naar een generieke methode voor het neerschalen van  
hydrologische modeluitkomsten ten behoeve van  
ecohydrologische toepassingen**

**RIZA rapport 2002.035**

**ISBN 9036954630**

**Auteurs: J.C. Hoogewoud & R. van Ek**

**RIZA**

**Lelystad, juli 2002**

---

## Voorwoord

---

Dit rapport is een resultaat van het project "Regionale Standplaatsmodellering" (PPS 610003917) dat is uitgevoerd in het kader van WONS (Werkstructuur Onderzoek en Ondersteuning Natte Sector) van Rijkswaterstaat. Binnen het onderdeel waterbeheren van het WONS-programma wordt een aantal thema's onderscheiden. Een van die thema's luidt *grondwater & gebiedsgericht beleid* en richt zich op een gewenste waterhuishouding in het landelijk gebied met oog op alle bestemmingen. De projecten die worden verricht binnen dit thema zijn bedoeld ter ondersteuning van de regionale waterbeheerder bij o.a. de aanpak van verdroging en de uitwerking van GGOR (het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime). Tevens moet dit project gezien worden als een concrete bijdrage aan het te ontwikkelen ecologisch model NVEG (Nationaal model voor de VEGetatie). De bedoeling is dat NVEG zowel nationaal als regionaal inzetbaar is, onder andere in relatie tot GGOR.

Het onderzoek is begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit dr. J.P.M. Witte (WUR), dr. C. Maas (Kiwa), dr. A. van Hinsbergen (RIVM), dr. P.A. Finke (Alterra) en drs. J.R. von Asmuth (TUD).

Intern is het onderzoek uitgevoerd in nauwe samenwerking met W.J. de Lange, T. Kroon, W. Werkman en I. Peereboom.





<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>7</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 Achtergrond	11
1.2 Doel van het onderzoek	12
1.3 Begeleidingsgroep	12
1.4 Voorgenomen werkwijze	12
1.5 Leeswijzer	13
<b>2 Het studiegebied: de Drentse A</b>	<b>15</b>
2.1 Inleiding	15
2.2 Algemene beschrijving	15
2.3 Beschrijving geohydrologische ondergrond	16
2.4 Beschrijving vegetatie	17
<b>3 Het begrip standplaats in de ecohydrologie</b>	<b>21</b>
3.1 Inleiding	21
3.2 De standplaats	21
3.3 Hydrologische aspecten van de standplaats	23
<b>4 Algemene beschrijving hydrologisch instrumentarium</b>	<b>25</b>
4.1 Inleiding	25
4.2 Beschrijving NAGROM	25
4.3 Beschrijving MOZART	26
4.4 Beschrijving MONA	27
<b>5 Neerschalen: eerste benadering voor grondwaterstanden</b>	<b>33</b>
5.1 Inleiding	33
5.2 Neerschalen met regressierelaties	33
5.3 Neerschalen met lineaire interpolatie (TIN)	38
5.4 Neerschalen met het drainageniveau	39
5.5 Analyse van het drainageniveau in het huidig hydrologisch model	41
5.6 Conclusie	43
<b>6 Aanpassingen aan het hydrologisch instrumentarium</b>	<b>45</b>
6.1 Inleiding	45
6.2 Het drainageniveau	45
6.3 De weerstand	50
6.4 De NAGROM schematisatie	51
6.5 De maaiveldhoogte	52
6.6 Resultaten aanpassing	53
6.7 Conclusies	54

<b>7</b>	<b>Neerschalen: het vervolg</b>	<b>57</b>
7.1	Inleiding	57
7.2	Neerschalen van de verticale flux	57
7.3	Neerschalen van freatische grondwaterstanden op basis van NAGROM stijghoogten	58
7.4	Nadere analyse van de hydrologische modellen	61
7.5	Onderscheid tussen "lokale" en "regionale" kwelstromen	64
7.6	Neerschalen van kwel naar het topsysteem	66
7.7	Conclusies	71
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>77</b>
	<b>Bijlage 1 Vegetatiekaart van Drenthe</b>	<b>81</b>
	<b>Bijlage 2 Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)</b>	<b>83</b>
	<b>Bijlage 3 Weerstand van het topsysteem</b>	<b>87</b>
	<b>Bijlage 4 Drainage dieptes en ligging drainagesystemen</b>	<b>101</b>
	<b>Bijlage 5 Berekende grondwaterstanden en stijghoogte</b>	<b>107</b>
	<b>Bijlage 6 Fluxen naar het topsysteem</b>	<b>119</b>
	<b>Bijlage 7 Verschil tussen gemeten en berekende stuwpeilen</b>	<b>123</b>

# Samenvatting

---

Voor het berekenen van de freatische grondwaterstand wordt bij het RIZA gebruik gemaakt van de hydrologische modellen NAGROM en MOZART. Deze modellen zijn inzetbaar voor zowel landelijke als regionale beleidsanalytische studies. MOZART, het hydrologisch model voor de onverzadigde zone hanteert een ruimtelijke resolutie van 250x250 meter gridcellen. Hoewel deze ruimtelijke resolutie voor een landelijk model als gedetailleerd mag worden beschouwd, is de resolutie te grof voor ecohydrologische toepassingen. Binnen een MOZART rekeneenheid (plot van 250x250 m) is, afhankelijk van het maaiveldverloop en de aanwezigheid van drainagesystemen, nog een grote ruimtelijk variatie mogelijk in grondwaterstanden. Het negeren van deze ruimtelijke heterogeniteit leidt tot een foutieve voorspelling van ecologisch relevante standplaatsen die ook bij een landelijke studie niet verwaarloosbaar zal zijn.

Dit rapport doet verslag van een methode om de grondwaterstand en kwelflux gemodelleerd door de hydrologische modellen NAGROM-MONA-MOZART ruimtelijk te kunnen neerschalen van 250 m naar 25 m gridcellen. De methode moet worden gezien als een optimalisatieslag op het bestaande landelijke instrumentarium. Uitgangspunt is dat het een generieke methode betreft waarbij alleen gebruik wordt gemaakt van geografische bestanden die landsdekkend beschikbaar zijn of komen. De methode is een onderdeel van het te ontwikkelen model NVEG (Nationaal VEGetiatiemodel).

Het ontwikkelen van een neerschalingmethode heeft twee belangrijke voordelen:

1. het hydrologisch modelleninstrumentarium wordt geschikt voor ecologische toepassingen, en
2. het hydrologisch instrumentarium wordt beter toetsbaar aan puntgegevens en veldwaarnemingen. Hierdoor wordt het inzicht vergroot in de betrouwbaarheid van het instrumentarium.

Het eerste punt is uiterst relevant in relatie tot de GGOR systematiek waarin voor natuur hydrologische randvoorwaarden moeten kunnen worden gemodelleerd. Hierbij wordt zoveel mogelijk aansluiting nagestreefd op het onderzoek wat wordt uitgevoerd in het kader van Waternood<sup>1</sup> (DLG, 1998). Voordeel is dat hiermee dubbel werk zoveel mogelijk wordt vermeden. Daarnaast is de neerschalingmethode een nadere invulling van de wens om te komen tot *meer samenhang* in het modelinstrumentarium doordat nu een brug is gelegd tussen beleidsanalytische modellen en de modellen en methoden voor het operationeel waterbeheer.

Ten aanzien van het tweede punt is het relevant te melden dat de methode al direct heeft geleid tot een belangrijke aanpassing/verbetering van het hydrologisch modelleninstrumentarium.

Voor het neerschalen van freatische grondwaterstanden zijn twee benaderingen gevolgd. De eerste methode is die van lineaire interpolatie (TIN) van de grondwaterstand per 250 meter gridcel van MOZART. Via deze methode worden de patronen in de grondwaterstand duidelijk zichtbaar die

---

<sup>1</sup> [www.stowa.nl/waternood](http://www.stowa.nl/waternood)



---

voorheen op met 250 m grid niet te zien waren. Deze patronen lijken overeen te stemmen met het patroon in natte en droge vegetaties. Deze methode is zeer eenvoudig maar kent een aantal beperkingen. Zo wordt er geen rekening gehouden met de ligging van de drainagemiddelen. Hierdoor wordt geen opbolling tussen de drainagemiddelen berekend tijdens de neerschaling. In een aantal gevallen (met name rond de primaire drainagemiddelen) ligt de neergeschaalde grondwaterstand boven maaiveld. Deze wordt dan afgekapt op maaiveldhoogte. Daarnaast is de grondwaterstand van MOZART geen lineair gemiddelde van een cel maar een gemiddelde gewogen naar de drainageweerstand.

Een tweede methode maakt gebruik van de stijghoogte, flux en verticale weerstand per 25 meter. Met behulp van Darcy wordt vervolgens de freatische grondwaterstand berekend. Deze methode heeft als meerwaarde dat de methode rekening houdt met de ligging van de drainagemiddelen. Er wordt een nette opbolling berekend tussen de drainagemiddelen. Deze methode is echter minder simpel, en levert af en toe nog steeds grondwaterstanden boven maaiveld, welke vervolgens op maaiveldhoogte worden afgekapt. Tevens loopt de grondwaterstand niet continue op plekken waar de neergeschaalde flux niet continue verloopt.

De kwelflux is neergeschaald door gebruik te maken van een zelfde werkwijze als in MONA met als verschil dat de verschillende invoer is neergeschaald naar 25 meter. Voor een aantal kaartlagen kon daarbij gebruik worden gemaakt van gedetailleerde basisinformatie (bijv. drainageweerstand, maaiveld). Voor andere kaartlagen kon dit niet en zijn invoergegevens op 250 m niveau "gesmoothed" naar 25 m met behulp van een GIS interpolator. De resultaten van de neerschaling zijn positief. De drainagemiddelen zijn duidelijk te herkennen in de neergeschaalde flux. De extremen in de neergeschaalde fluxen zijn groter dan voor de neerschaling, en het fluxverloop is continue. Wel zijn er nog enkele punten die aandacht verdienen. De fluxverdeling is niet altijd continu door de grove NAGROM elementen. Verder kan de wijze waarop de fluxen gecorrigeerd worden bij een verschil in de gesommeerde MOZART flux per NAGROM element iets worden verbeterd.

Voor het modelleren van ecohydrologisch relevante kwel dient, in verband met de waterkwaliteit, ook aangegeven te worden om wat voor type kwel het gaat. Als eerste indicatie voor de waterkwaliteit is het zinvol na te gaan wat de herkomst van het kwelwater is (diep, ondiep). In het rapport is een suggestie gedaan voor een methode, zonder deze volledig uit te werken. Daarnaast is het voor de vegetatie erg relevant of deze kwel ook de wortelzone kan bereiken. *Ook dit onderdeel is niet volledig uitgewerkt, maar er zijn wel vuistregels ontwikkeld waarmee kwel in de wortelzone min of meer uitgesloten kan worden, zodat er een potentieel gebied met kwel in de wortelzone overblijft.*

---

# 1 Inleiding

---

## 1.1 Achtergrond

Voor het bepalen van kansrijke locaties voor natuurontwikkeling, het vaststellen van GGOR (het Gewenst Grond- en Oppervlakte Regime), en voor een betere bepaling van de ecologische effecten van ingrepen in de waterhuishouding is het nodig te beschikken over een instrument waarmee op regionale schaal de verschillende vegetatie-bepalende standplaatsfactoren kunnen worden gesimuleerd. Momenteel bestaat er al een aantal modellen c.q. methoden waarmee vlakdekkend grootschalige standplaatskaarten kunnen worden gemaakt. Als voorbeelden kunnen genoemd worden: SMART2 (binnendijks; Kros et al., 1995), SITEPRED (binnendijks; Ek et al., 1998a), NICHE (binnendijks; Meuleman et al., 1996), NATLES (binnendijks; Runhaar et al., 2000), EMOE (Haringvliet, Hollandsdiep, Biesbosch; Rijt & Duijnste, 1997) en ECOMIJ (IJsselmeer; Tosserams et al., 1998).

In relatie tot GGOR zijn met name modellen die zich richten op de binnendijkse natuur relevant. Belangrijke stimulans voor de ontwikkeling van methodieken om de GGOR te kunnen bepalen is het Waternood programma van de STOWA. Bij de rijksoverheid is de behoefte ontstaan om met hun beleidsanalytisch instrumentarium aan te kunnen sluiten op de GGOR methodieken zodat er meer samenhang ontstaat tussen het nationale beleid (o.a. via beleidsanalytische studies) en het operationeel waterbeheer.

Een probleem van de meeste thans beschikbare instrumenten is dat ze niet goed in staat zijn de - voor vegetatie relevante - standplaatsfactoren voldoende betrouwbaar en/of met een voldoende ruimtelijk detail te voorspellen. Dit geldt met name voor de natte en vochtige ecosystemen waar een groot aandeel aan zeldzame bedreigde plantensoorten voorkomt. Kern van dit probleem wordt gevormd door de wijze waarop de hydrologie wordt ingebracht in het standplaatsmodel. Over het algemeen leveren bestaande hydrologische modellen in absolute zin te onbetrouwbare uitkomsten om bruikbaar te kunnen zijn voor ecologische toepassingen. Daarnaast zijn de uitkomsten meestal te globaal doordat ze betrekking hebben op -voor de vegetatie- te grote ruimtelijke eenheden. Bovengenoemde problemen zijn uiteindelijk sterk bepalend voor de uitkomsten van een standplaatsmodel.

Om in landelijke beleidsanalytische studies de freatische grondwaterstand te berekenen wordt bij het RIZA vooral gebruik gemaakt van de hydrologische modellen NAGROM en MOZART. Gestreefd wordt naar een ruimtelijke resolutie van 250x250 meter gridcellen. Hoewel deze ruimtelijke resolutie voor een landelijk model weliswaar als zeer gedetailleerd mag worden beschouwd, is voor de vegetatie deze resolutie nog te globaal. Binnen een MOZART rekeneenheid (plot van 250x250 m) is nog een grote ruimtelijk variatie mogelijk in grondwaterstanden. Deze ruimtelijke variatie zal in een belangrijke mate samenhangen met het verloop van het maaiveld. Sinds 1997 wordt er gewerkt aan een sterk verbeterde hoogtekkaart van Nederland, het AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland). Niet alleen is de informatie van het AHN betrouwbaarder dan de oude digitale hoogtekkaart. Ze bevat ook veel meer



---

waarnemingen (gemiddeld 1 meetpunt per 16 m<sup>2</sup>). Dit bestand, in combinatie met andere ruimtelijke informatie en de toegenomen reken- en opslagcapaciteit van computers biedt goede perspectieven voor het verbeteren van de bestaande hydrologische schematisatie.

### 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is:

*Ontwikkeling en toetsing van een landelijk toepasbare neerschalingmethode die bruikbaar is voor het modelleren van vegetatie bepalende standplaatsfactoren.*

De focus ligt in eerste instantie bij het neerschalen van hydrologische modeluitkomsten zoals grondwaterstanden en kwelfluxen. Het is uitdrukkelijk niet de bedoeling een landelijk lokaal model te ontwikkelen. De methode moet worden gezien als een optimalisatieslag op het bestaande landelijke instrumentarium. Uitgangspunt is dan ook dat er alleen gebruik mag worden gemaakt van geografische bestanden die landelijke dekking hebben (zogenaamde generieke bestanden).

Van het onderzoek wordt niet alleen verwacht dat het een methode oplevert waardoor de uitkomsten van hydrologische modellen beter inzetbaar zullen worden voor ecohydrologische studies. Ook wordt verwacht dat dit onderzoek inzichten kan opleveren die aanleiding geven tot verbetering van de landelijke hydrologische modellen zelf, aangezien de resultaten met de neerschalingmethode meer concreet en daarmee beter toetsbaar worden (m.a.w. betere koppeling met lokale meetgegevens).

### 1.3 Begeleidingsgroep

Voor de duur van het onderzoek was een begeleidingsgroep samengesteld, bestaande uit een kleine groep deskundigen op hydrologische en ecohydrologisch gebied. Het doel van de commissie was:

- kritisch reageren op onze plannen voor onderzoek, bevorderen van discussie en eventueel sturing geven.
- relevante informatie aandragen en uitwisselen
- voorkomen van dubbel werk

### 1.4 Voorgenomen werkwijze

Tijdens de methode-ontwikkeling hebben we ons in gericht op een studiegebied van beperkte omvang. Dit gebied moest in ecohydrologisch opzicht waardevol te zijn, in het (recente) verleden goed onderzocht zijn zodat toetsing mogelijk is, en de benodigde invoer diende bij aanvang van de studie voor dit gebied beschikbaar te zijn. Zo is bijvoorbeeld het AHN nog in opbouw en zal pas op termijn landsdekkend beschikbaar komen.

Bij het ontwikkelen van een nieuwe methode is een stapsgewijze aanpak gevolgd. Eerst is gekeken naar bestaande methoden alvorens nieuwe methodieken zijn onderzocht. Bij de ontwikkeling van een nieuwe methode is er van "grof naar fijn" gewerkt. Hierdoor moet inzichtelijk blijven wat het effect is van de verschillende verfijningsslagen op het uiteindelijke resultaat.

---

Naast het eerder genoemde punt dat de methode gebaseerd moet zijn op generieke bestanden worden nog de volgende algemene randvoorwaarden en uitgangspunten gehanteerd:

- De methode dient zo eenvoudig (inzichtelijk) mogelijk gehouden te worden. Voor ingewikkelde statistiek en interpolatie technieken wordt een "nee, tenzij" beleid aangehouden.
- Bij het neerschalen wordt een ruimtelijke resolutie beoogd van 25x25 m. Deze resolutie wordt ook gehanteerd binnen Waternood.
- De bestaande uitvoer van de hydrologische modellen vormt in eerste instantie de basis (invoer) voor het neerschalen. Met andere woorden, bij opschaling van de neergeschaalde resultaten naar 250x250 m moeten men in principe weer uitkomen op wat oorspronkelijk was ingevoerd. Mocht blijken dat de uitvoer van de hydrologische modellen te grove fouten bevat voor neerschaling, dan heeft uitgebreide toetsing van de neerschalingresultaten geen zin. Indien die situatie zich voordoet, zal eerst het hydrologisch model verbeterd moeten worden.
- Bij toetsing zal er kritisch worden gekeken naar de verschillende mogelijkheden en eventuele fouten in in- en uitvoer.

Indien de methodiek uiteindelijk adequate resultaten oplevert voor het neerschalen van de hydrologische aspecten van de standplaats (vochttoestand), kan worden gekeken naar mogelijke benaderingen c.q. vertaalslagen richting de overige standplaatsfactoren: voedselrijkdom, zuurgraad en saliniteit.

### **1.5 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 en 3 wordt een korte introductie gegeven van het studiegebied en het vakgebied ecohydrologie. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 het hydrologische modelinstrumentarium beschreven welke bij het RIZA wordt gebruikt voor landelijke toepassingen. In hoofdstuk 5 is er gekeken naar bestaande neerschalingmethoden en worden er ook eigen methoden uitgetoetst. Aan het eind van dit hoofdstuk wordt aangegeven dat de kwaliteit van het hydrologische modelinstrumentarium ontoereikend blijkt te zijn voor het ontwikkelen van een zinvolle neerschalingmethode. Vandaar dat eerst in hoofdstuk 6 gewerkt is aan het zo veel mogelijk opheffen van de bestaande problemen in het hydrologisch model. Vervolgens is in hoofdstuk 7 verder gewerkt aan de ontwikkeling van een neerschalingmethode. Het rapport sluit af met hoofdstuk 8: conclusies en aanbevelingen. In de bijlage zijn verschillende kaarten van het gehele studiegebied te vinden die de basisinformatie ten aanzien van invoer en uitvoergegevens laten zien, en worden de resultaten getoond van een eerste toetsing.



---

# 2 Het studiegebied: de Drentse A

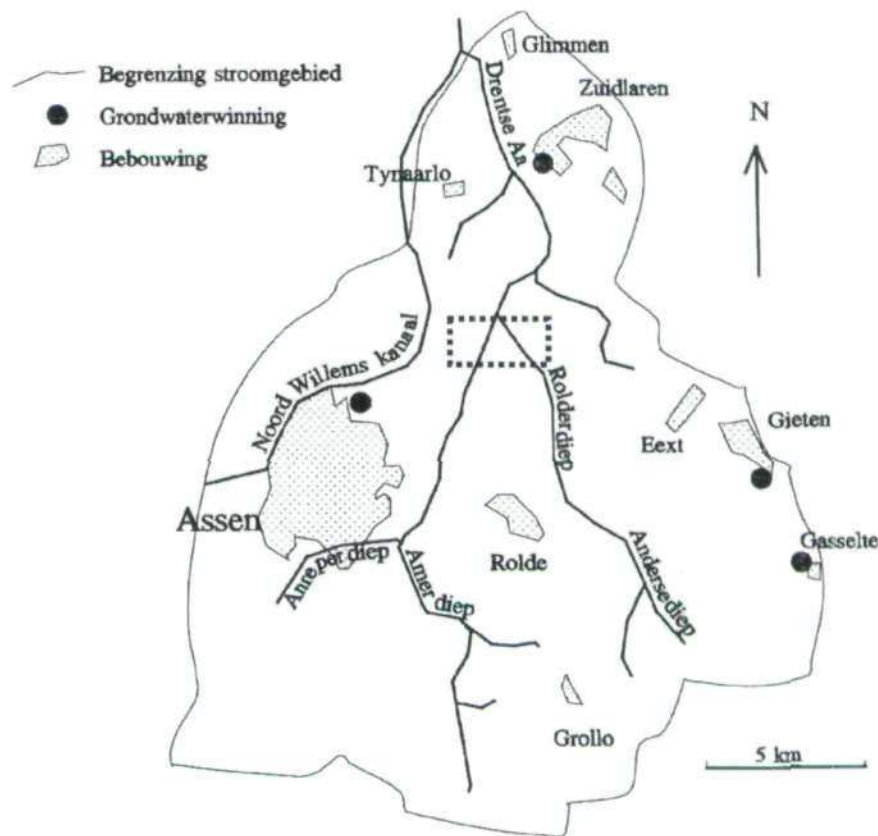
## 2.1 Inleiding

Voorgesteld wordt om het stroomdal de Drentse A te kiezen als proefgebied. Voordeel is dat in het kader van eerder onderzoek (Kemmers, 1995; Schipper & Streefkerk, 1993; Everts & De Vries, 1991) er al relatief veel bekend is over de ecohydrologie in het gebied, waardoor het gebied zich goed leent voor methode-ontwikkeling en toetsing. Tevens bevat dit proefgebied veel hoge natuurwaarden gerelateerd aan natte -en vochtige ecosystemen, waardoor speciale aandacht aan dit gebied gerechtvaardigd is.

## 2.2 Algemene beschrijving

Het proefgebied beslaat het stroomgebied van de Drentse Aa en is ruim 32.000 ha groot (figuur 2.1).

**Figuur 2.1**  
Begrenzing van het studiegebied (cf. GREINS project). De gestippelde box geeft het deelgebied aan weergegeven in paragraaf 5.2



Het is gelegen aan de Noordoost rand van het Drents Plateau. In het noorden wordt het stroomgebied begrensd door de uitmonding van de Drentse Aa in het Noord-Willemskanaal, bij Glimmen, in het zuiden en oosten (de Hondsrug) door de waterscheiding op de hoge gronden en in het westen door de waterscheiding op het relatief hoog gelegen, meer centrale deel van het plateau.

---

Het bekenstelsel in het stroomgebied de Drentse A bestaat uit een aantal beken die op het Drents Plateau ontspringen en die in noordelijke richting afstromen. Het infiltratiegebied wordt voornamelijk gevormd door de bossen op hoger gelegen zandgronden. Deze zandgronden, die een hoogte van meer dan 20 m + NAP kunnen bereiken bestaan uit dekzanden op keileemresten. De laag gelegen brede beekdalen (0 - 10 + NAP), die de hoofdafwatering van het plateau vormen, bestaan uit veen, beekleem en leemhoudend fijn zand.

### **2.3 Beschrijving geohydrologische ondergrond**

In deze paragraaf wordt slechts kort de geologische ondergrond besproken. In o.a. Everts en de Vries (1991), Schippers en Streefkerk (1993) en NAGROM deelrapport 2 wordt dieper op de geohydrologie ingegaan. Voor de onderstaande geohydrologische beschrijving is vooral gebruik gemaakt van het NAGROM deelrapport 2, aangevuld met Schippers en Streefkerk (1993).

#### *Deklaag*

De deklaag bestaat uit de beekleem en veenafzettingen van de Formatie van Singraven en de dekzanden en beekzanden van de Formatie van Twente. In de centrale gedeelten van de stroomgeulen in de beekdalen bereiken de beekafzettingen een dikte van 1 tot 3 meter. De bijbehorende weerstand bedraagt enkele honderden dagen. De dekzanden zijn afgezet in lagen van 1 tot 2 meter en worden als het freatische pakket beschouwd.

#### *Eerste scheidende laag*

Deze laag wordt gevormd door de keileemlagen van de Formatie van Drenthe. De dikte van de keileem verschilt sterk per plaats. Meestal is de dikte 2 tot 5 meter. De weerstand van de keileemafzettingen bedraagt 50 tot 500 dagen.

#### *Eerste watervoerende pakket*

Het eerste watervoerende pakket bestaat uit grove en fijne zandafzettingen van de Formatie van Peelo. Het pakket heeft een dikte tussen de 5 en 30 meter. De kD waarde ligt tussen de 50 en 200 m<sup>2</sup>/d.

#### *Tweede scheidende laag*

Deze laag is opgebouwd uit de potklei van de Formatie van Peelo. De dikte varieert van ca. 20 tot 200 meter. De weerstand van zo'n laag wordt geschat op vele tienduizenden dagen. De potklei komt niet aaneengesloten voor in het studie gebied.

#### *Tweede watervoerende pakket*

Dit goeddoorlatende pakket bestaat uit de Formaties van Scheemda, Harderwijk, Enschede en Urk. Deze afzettingen zijn opgebouwd uit fijne en grove rivierzanden met lokaal een dunne kleilaag. De dikte van het watervoerende pakket bedraagt ongeveer 100 meter. Het doorlaatvermogen ligt tussen de 1000 en 4000 m<sup>2</sup> per dag.

#### *Basis*

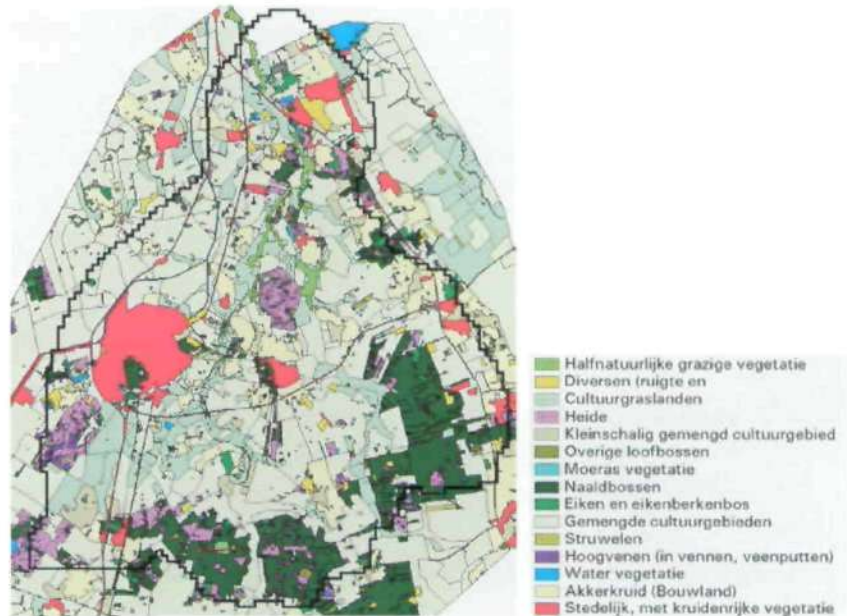
De ondoorlatende basis wordt gevormd door de Formatie van Breda. Dit pakket bestaat uit mariene groengrijze kalkhoudende kleien en bevindt zich op een diepte van ca. 150 meter.

## 2.4 Beschrijving vegetatie

Het Drentse A gebied is binnen Nederland een uniek gebied. Er komen veel zeldzame plantensoorten voor, de beken meanderen en er liggen veel natuurgebieden. Vanwege de bijzondere vegetatie in het gebied is er in het verleden veel veldonderzoek verricht in de Drentse Aa, waardoor er relatief veel informatie ligt. Met name de beekdalen hebben veel aandacht gehad, alwaar vele (kleine) trilvenen en zeldzame orchideeën en zeggevegetaties voorkomen. In deze paragraaf zal de huidige vegetatie van de Drentse A kort beschreven worden aan de hand van de vegetatie kaart van de provincie Drenthe (1992). Deze kaart is te zien in figuur 2.1 (grotere kaart is te vinden in bijlage 1).

**Figuur 2.1**

Een vegetatiekaart van Drenthe (bron: Provincie Drenthe).



Het gebied wordt gekenmerkt door heuvelruggen en beekdalen. Op de hoge gronden bevinden zich vooral bossen, heide, hoogvenen, gemengde cultuurgebieden en stedelijke gebieden. De beekdalen worden gekenmerkt door cultuurgraslanden en half natuurlijke grazige vegetaties. De verschillende vegetatie typen zoals gebruikt door de provincie worden hieronder beschreven.

### *Bossen*

In de loofbossen van Drenthe zijn eiken en berken de kenmerkende bomen. Bossen waar de Berk overheerst liggen vaak op hoogveen of heide. Een deel van het Eiken-berkenbos is aangeplant. De ondergroei is hier in het algemeen soorten arm. Er zijn ook meer ontwikkelde Eiken-berkenbossen met ondergroei van o.a. diverse varensoorten, Rode -en blauwe bosbes en Gladde witbol. In de beekdalen komt ook Elzenbroekbos voor met in de ondergroei bijvoorbeeld verschillende zegge soorten.



**Figuur 2.2**

Eikenbos aan de (op deze locatie erg steile) oever van de Drentse Aa



Van de naaldbomen in Drenthe komt Grove den veel voor. Daarnaast zijn ook Japanse larix en Douglas spar aangeplant voor de houtproductie. In deze bossen is vaak weinig tot geen ondergroei aanwezig. Op stuifzanden komt de Grove den voor met in de ondergroei verschillende heide soorten. Deze bossen zijn de meeste natuurlijke naaldbossen in Drenthe.

#### *Hoogveen*

Veenmossen zijn een belangrijk bestanddeel van de vegetatie. Daarnaast komen er ook andere soorten voor als Lavendelhei (zie figuur 2.3), Kleine veenbes, Venpluis en Ronde zonnedauw. De beste ontwikkelde hoogveenvegetatie komt voor op oude resten hoogveen en langs vennen en veenputten. Op verdroogde stukken hoogveen komt vaak heide en Pijpestrootje voor. Veenpluis kan zich hierin als hoogveensoort vaak nog lang handhaven, maar de meeste veenmossen zijn dan al verdwenen.

#### *Heide*

De kenmerkende soorten zijn Gewone dophei (zie figuur 2.3), Struikhei, Pijpestrootje, Bochtige smele en Kraaihei. Zowel vochtige als droge heide komen voor en ook de stuifzanden vallen onder de heide vegetatie. De vochtige heide bevat naast Dopheide ook soorten als Blauwe zegge en Kleine zonnedauw. Veel vochtige dopheide velden zijn door verdroging overgegaan in dichte vegetatie gedomineerd door Pijpestrootje. Struikhei domineert de droge heide vegetatie. Daarnaast komen er ook soorten voor als Liggend walstro en Bochtige smele.

**Figuur 2.3**

Foto's gemaakt op het Balloërveld  
Links: Lavendelhei (middenvoor) met op de achtergrond Pijpestrootje en op de voorgrond enkele mossen. Rechts: Dopheide in bloei



#### *Cultuurgraslanden*

Dit betreft gebieden die vochtig zijn en al lange tijd in gebruik zijn als grasland. Ze zijn gelegen in de beekdalen, op laagveenontginningen en op oude, vochtige heide-ontginningen. De gebieden worden verder gekenmerkt door relatief veel halfnatuurlijke elementen als sloten, houtwallen en oude beeklopen. In de graslanden neemt Engels raaigras de meeste ruimte in. In de

halfnatuurlijke elementen is meer variatie aan soorten en komen soorten voor als Moerasspirea, Zegge-soorten, Gewone dotter en Zomprus.

#### *Bouwland*

De vegetatie bestaat hier tegenwoordig vooral uit het zaaigoed van de boer. Aan de randen van de percelen komen nog wel 'natuurlijke' vegetaties voor met soorten als Vergeet-mij-nietje, Akkermunt en Akkerviooltje.

#### *Kleinschalige, gemengde cultuurgebieden*

In deze gebieden wisselen kleine percelen gras- en bouwland elkaar af. Er zijn veel kavelscheidingen waar zich een min of meer natuurlijke vegetatie ontwikkelt. In de droge gebieden komt vaak heischrale vegetatie voor en in de natte gebieden moerasvegetatie met soorten als Liesgras en Rietgras.

**Figuur 2.4**

Voorbeeld van kleinschaligheid van het landschap in de Drentse Aa. Aan de perceelranden bevindt zich een bomenrij en niet



#### *Halfnatuurlijke grazige vegetatie*

Hier wordt onder verstaan een soortenrijke vegetatie met veel grassen, die voorkomt op graslanden, voormalige akkers en heidegronden waar sprake is van extensieve landbouw of natuurbeheer. Vaak maken ze deel uit van natuurgebieden en zijn ze zeer vochtig. Ze komt voor in de benedenlopen van de beken van het studiegebied. In de voedselrijke graslanden domineren soorten van het dotterverbond als Gewone dotterbloem, Echte koekoeksbloem en Grote ratelaar. In minder voedselrijke situaties komen soms zeldzame soorten voor als Vlozegge, Draadzegge en Ronde zegge. In droge schrale gebieden kunnen heide soorten voorkomen, evenals het Grasklokje en Wilde thijm.

**Figuur 2.5**

Links de Drentse Aa met aan weerszijde halfnatuurlijke grazige vegetaties. Rechts een Gewone dotterbloem omgeven door mossen en Blauwe zegge. Verder zijn op de foto duidelijk roestvlekken te zien, die duiden op de aanwezigheid van ijzerrijke kwel.



#### *Struwelen*

Deze vegetatie wordt gekenmerkt door struiken. De kruidlaag is variabel. Er zijn verschillende struiksoorten als Jeneverbes die vaak heide in de ondergroei hebben. Gagelstruik met Pijpestrootje, heide en veenmossen. Bremstruweel komt vaak voor op een droge schrale bodem en wilgenstruweel op de natte matig voedselrijke plekken.

---

### *Moeras*

Dit type komt voor op overgangen van water naar land, in laagveenontginningen en langs plassen en petgaten. Afhankelijk van het moeras komen er veel grote zegge-soorten voor, Riet, Rietgras Hennegras, Waterdrieblad of veenmossen.

.....

#### **Figuur 2.6**

Oude sloot die aan het verlanden is. De sloot is duidelijk herkenbaar aan de bruine roestvlekken en de lage vegetatie dichtheid. De sloot wordt omgeven Holpijp (vaak aangemerkt indicator voor sterke kwel).



### *Diversen*

Hieronder vallen gebieden die afwijken door hun functie als: vuilstort, recreatieterreinen, droge zandwinning, etc. Er komen vaak pioniersoorten voor als Waterpeper, Greppelrus en Tandzaadsoorten. Ook soorten die duiden op voedselrijkdom en verstoring komen hier voor, te weten Brandnetel, Akkerdistel, Kweek en Braam.

### *Watervegetatie*

De watervegetatie is vaak weinig ontwikkeld en er is weinig van bekend aangezien er lang niet overal gekarteerd is.



# 3 Het begrip standplaats in de ecohydrologie

## 3.1 Inleiding

De term 'ecohydrologie' wordt door verschillende partijen verschillend gedefinieerd. Internationaal wordt het begrip vaak zeer breed getrokken<sup>2</sup>. Alle raakvlakken tussen de hydrologie en ecologie worden daar in principe onder de term ecohydrologie geplaatst, ook als het gaat om "drylands".

In dit rapport verwijzen we naar Pedrolí (1992) die 'ecohydrologie' omschrijft als: *het interdisciplinaire onderzoeksgebied dat gericht is op het toepassen van hydrologische kennis in de landschapsecologie*. Naast ecohydrologie is ook de term 'hydro-ecologie' in omloop. Het gaat hier vrijwel om hetzelfde zij het dat er een grotere focus is op de ecologie. Het verschil in terminologie is veelal te verklaren door de afkomst van de onderzoeker. Ecologen zijn geneigd zich hydro-ecologen te noemen, terwijl hydrologen zich eerder eco-hydrologen noemen. Een dergelijk onderscheid wordt overigens niet gemaakt onder biochemici, waarbij toch ook sprake is van een vertegenwoordiging vanuit verschillende vakgebieden (biologie en chemie). In dit rapport wordt verder alleen nog de term ecohydrologie gehanteerd.

## 3.2 De standplaats

Hoewel ecohydrologie breed is gedefinieerd richt het vakgebied zich in de praktijk vaak op de relatie tussen terrestrische vegetatie en grondwater. Centraal binnen de ecohydrologie staat het begrip 'standplaats'. De standplaats kan worden omschreven als een min of meer ruimtelijk homogene eenheid waar een plant of plantengemeenschap voorkomt dan wel potentieel kan voorkomen. De meeste plantensoorten zijn gebonden (lees: aangepast) aan bepaalde standplaatsomstandigheden. Zo kunnen bijvoorbeeld sommige plantensoorten alleen voorkomen onder zeer natte condities, terwijl andere plantensoorten het juist goed uithouden onder droge condities.

Allerlei processen op heel verschillende schaal beïnvloeden de standplaats (groeiplaats) van een soort. Om hierin enige orde te scheppen wordt in de landschapsecologie onderscheid gemaakt in een viertal schaalniveaus van standplaatsfactoren (zie ook figuur 3.1). Er wordt een onderscheid gemaakt in:

- sequentiële factoren;
- positionele factoren;
- conditionele factoren, en
- operationele factoren.

De invloed van het verleden op de standplaats wordt samengevat onder de noemer **sequentiële factoren**. Zo kan de voorgeschiedenis in bemesting, beheer of de waterhuishouding van invloed zijn op de standplaats. Deze invloed kan

---

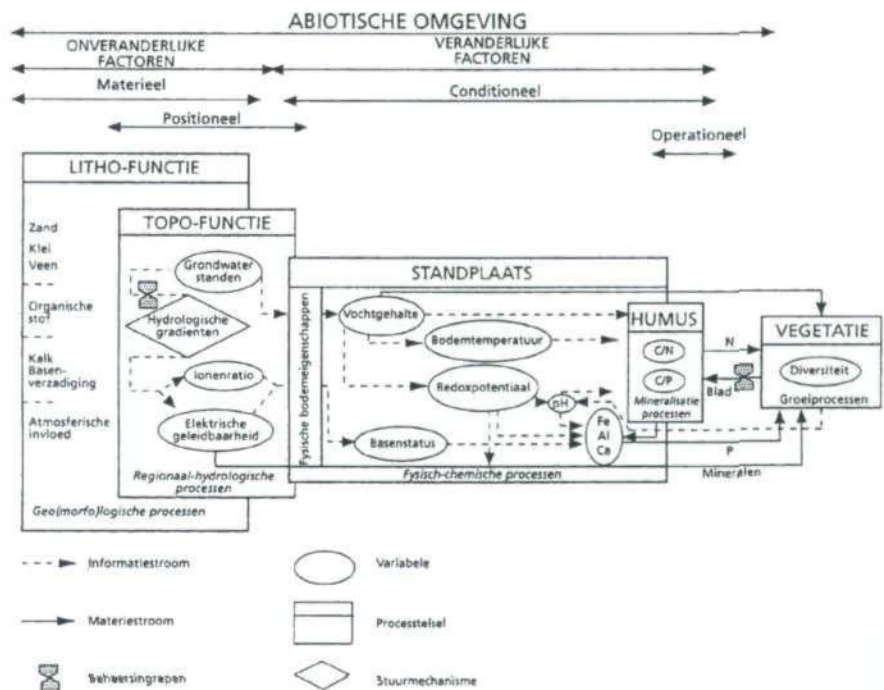
<sup>2</sup> Bijvoorbeeld (Dunbar & Acreman, 2001) "*Ecohydrology is the linkage of knowledge from hydrological, hydraulic, geomorphological and biological/ecological sciences to predict the response of freshwater biota and ecosystems to variations of abiotic factors over a range of spatial and temporal scales.*"

soms nog enige tientallen jaren doorwerken zonder dat daarvoor in het heden directe duidelijke aanwijsbare factoren aanwezig zijn.

De factoren die vanuit de omgeving op de standplaats inwerken worden **positionele factoren** genoemd, omdat ze samenhangen met de positie van de standplaats in het landschap. Kemmers (1993) maakt daarbij onderscheid in de litho- en topofunctie. De lithofunctie wordt bepaald door de aard en kenmerken van het moeder'gesteente'. Hoofdeenheden binnen Nederland zijn de geaggregeerde bodemtypen zand, klei en veen. Het reliëf bepaalt de topofunctie en is de belangrijkste factor achter de grondwaterstroming (infiltratie en kwel). De topografie is daarmee van grote invloed op de (regionale) hydrologische processen zoals grondwaterstroming en chemische uitwisselingsprocessen (o.a. met het 'gesteente').

**Figuur 3.1**

Sturende factoren voor de standplaats opgesplitst naar positioneel, conditioneel en operationeel (Kemmers, 1993)



**Conditionele (ofwel indirecte) standplaatsfactoren** zijn kenmerken van bodem en grondwater die conditionerend werken op de operationele standplaatsfactoren. Zo wordt de vochtvoorziening voor een plant bepaald door het vochthoudend vermogen van de ondergrond en de capillaire opstijging, welke weer afhangen van de conditionerende factoren grondwaterstand, textuur en organisch stof gehalte. Vervelend aspect van conditionerende factoren is dat ze op regionale schaal een verschillende uitwerking kunnen hebben op operationele factoren, waardoor de indicatieve betekenis van conditionele standplaatsfactoren niet eenduidig is. Zo kan de zuurgraad en basenrijkdom in de ene regio vooral veroorzaakt worden door basenrijke kwel in een verder kalkarm moedermateriaal, terwijl in de andere regio vergelijkbare condities kunnen worden bereikt (zelfs in natte infiltratiegebieden) door een hoge kalkrijkdom in het moedermateriaal. Prettig aspect van conditionele standplaatsfactoren is dat ze - in vergelijking met operationele standplaatsfactoren - vaak beter meetbaar zijn in het veld.

**Operationele (ofwel directe) standplaatsfactoren** zijn factoren die direct van invloed zijn op de plantengroei. Voorbeelden van operationele



standplaatsfactoren zijn vochttoestand, voedselrijkdom, zuurgraad en saliniteit. De schaal waarop de operationele standplaatsfactoren spelen is die van de plant en zijn directe omgeving: het doorwortelde deel van de bodem en de lucht waar de plant staat. Aangenomen wordt dat operationele standplaatsfactoren een minder sterke regionale afhankelijkheid vertonen. Vandaar dat het voorkomen van plantensoorten in relatie tot milieufactoren veelal worden gelegd op het niveau van de operationele standplaatsfactoren. Voor het begrijpen van het ecohydrologisch systeem is het vaak van belang, doch niet eenvoudig, om de causale relaties te kennen tussen de conditionele en operationele standplaatsfactoren. Dit betekent in veel gevallen dat het nodig is een lokale ecohydrologische systeemanalyse uit te voeren, alvorens men bijvoorbeeld over gaat tot herstelwerkzaamheden.

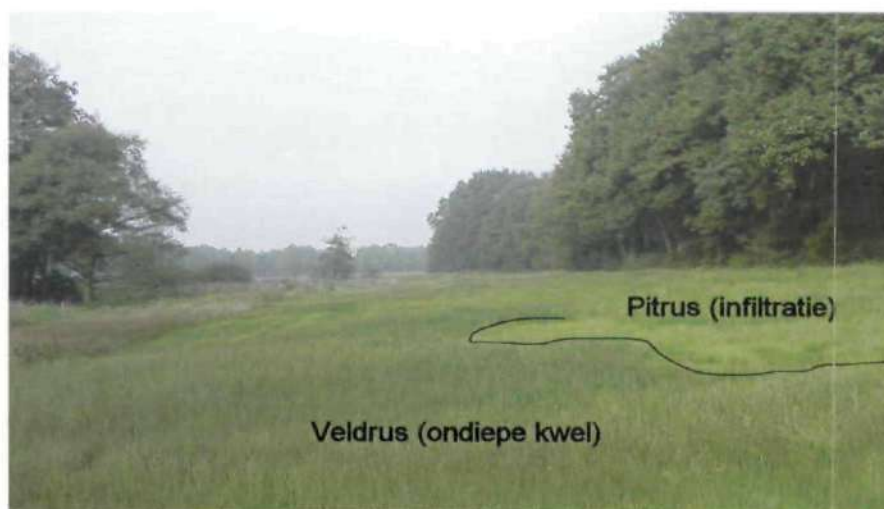
Naast abiotische factoren zoals bodem en hydrologie kan ook de vegetatie zelf van invloed zijn op standplaatscondities. Dit kan door de mate van en de aard van de bladval (litter), maar ook door beschaduwing van de ondergrond. Er wordt aangenomen dat de abiotische factoren onder natuurlijke omstandigheden van grotere invloed zijn dan de biotische factoren.

### 3.3 Hydrologische aspecten van de standplaats

In dit rapport gaat de meeste aandacht uit naar de hydrologische aspecten van de standplaats. Wij gaan er daarbij vanuit dat voor grondwaterafhankelijke ecosystemen de waterhuishouding een zeer sturende factor is voor de verschillende standplaatsfactoren. Zo vormt het water voor deze ecosystemen een belangrijk medium voor de aan- en afvoer van stoffen (het water is als het ware het bloed van het ecosysteem). Verder is ook het grondwaterstandsregime zeer bepalend voor de bio-geochemische reacties die kunnen optreden. Een hoge grondwaterstand bijvoorbeeld leidt tot een lage zuurstofbeschikbaarheid in het bodemprofiel, waardoor de mate van oxidatie processen afneemt ten gunste van reductie (beïnvloeding redoxpotentiaal). Ook de herkomst van het water (grondwater, regenwater, zeewater) is van grote invloed op de waterkwaliteit en daarmee op de overige standplaatsfactoren zoals voedselrijkdom, zuurgraad en saliniteit. Voor grondwaterafhankelijke ecosystemen zien wij daarom een adequate modellering van de hydrologische aspecten van de standplaats als een eerste vereiste om te kunnen komen tot een kansrijke benadering voor de modellering van het ecohydrologisch systeem.

**Figuur 3.1**

Verschillende standplaatscondities op de aanpalende velden langs een beek (Anlooer diepje) in het stroomgebied de Drentse A. Links komt Veldrus voor hetgeen duidt op ondiepe kwel. Rechts komt veel Pitrus en veenmos voor, wat duidt op infiltratie. Diepe kwel komt hoofdzakelijk direct in de beek uit.







## 4 Algemene beschrijving hydrologisch instrumentarium

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden in het kort de computermodellen besproken die door het RIZA worden gebruikt voor de modellering van de waterhuishouding in het landelijk gebied. Het gaat hierbij om het geohydrologisch model NAGROM en het model voor de onverzadigde zone, MOZART (Bos et al., 1997). Beide modellen worden meestal aan elkaar gekoppeld doorgerekend aangezien ze samen een hydrologisch systeem beschrijven (topsysteem gekoppeld aan de diepe ondergrond). De koppeling van beide modellen vindt plaats met behulp van de koppelingsmodule MONA (Vermulst & De Lange, 1999).

### 4.2 Beschrijving NAGROM

Het NAtionaal GRondwater Model NAGROM, is een stationair geohydrologisch model waarmee de verzadigde grondwaterstroming op landelijke schaal drie dimensionaal kan worden gesimuleerd (De Lange, 1991). In het model NAGROM wordt de grondwaterstroming door het hydrologisch topsysteem en door de watervoerende pakketten tot aan de ondoorlatende basis beschreven.

Het model NAGROM is gebaseerd op de Analytische Elementen Methode (AEM) (Strack, 1989). Bij deze methode worden de meest bepalende onderdelen van het hydrologische systeem beschreven door analytische vergelijkingen. De belangrijke hydrologische gegevens (zoals beken, onttrekkingen, peilgebieden, infiltratiegebieden, breuken, watervoerende pakketten, afsluitende lagen, etc.) worden afzonderlijk beschreven door een analytische oplossing, en worden een analytisch element genoemd (figuur 4.1). Op basis van het superpositiebeginsel kunnen deze analytische elementen gecombineerd worden tot een geohydrologisch model.

**Figuur 4.1**

Schematische weergave van een NAGROM elementennetwerk (in dit geval het oppervlakte "mesh"). Links de landelijke schematisatie en rechts de verfijnde regionale schematisatie. Een oppervlakte-element is normaliter een onregelmatige vierhoek. Lijnelementen en puntelementen komen echter ook voor.



---

Per analytisch element moet een aantal voor het element karakteristieke waarden opgegeven worden. Voor watervoerende pakketten zijn dit doorlaatvermogens, voor afsluitende lagen en breuken weerstanden. Voor onttrekkingen moet de hoeveelheid onttrokken water opgegeven worden. Peilgebieden en beken worden geschematiseerd als een oppervlakte-element met een peil en een weerstand. Voor infiltratiegebieden wordt per oppervlakte-element het neerslagoverschot opgegeven. De wijze waarop grootschalige gebieden gemodelleerd kunnen worden met behulp van de analytische elementen methode is beschreven door De Lange (1996).

NAGROM is operationeel voor heel Nederland met uitzondering van de Waddeneilanden en Zuid-Limburg. Het model bestaat uit verschillende deelmodellen die met elkaar gecombineerd worden. De basismodellen worden per model beschreven in een deelrapport van de NAGROM documentatie (De Lange en Van der Meij, 1993-1996). Om regionaal te modelleren is de modelschematisatie van het basismodel verfijnd (Stoppelenburg et al., in voorb. 2002).

### **4.3 Beschrijving MOZART**

Het model MOZART (Model voor de Onverzadigde Zone voor landelijke Analyses en Regionale Toepassingen) is een hydrologisch model voor de onverzadigde zone (RIZA & WL, 1996). Met MOZART kan verticale stroming door het onverzadigde deel van de bodem worden berekend, alsmede de interactie tussen het freatische deel van de verzadigde zone en het oppervlaktewater (drainage of infiltratie).

Voor de berekening van het watertransport kan gekozen worden uit twee berekeningswijzen, een niet-stationaire, numerieke oplossingsmethode, en een quasi-niet-stationaire oplossingsmethode waarbij uitgegaan wordt van vooraf gedefinieerde relaties tussen de grondwaterstand, het vochttekort in de bodem, de capillaire opstijging en de vochtspanning. Bij de toepassing van MOZART voor het stroomgebied de Drentse A is gebruik gemaakt van het quasi-niet-stationaire oplossingsschema, dat op decade basis de stationaire vochttoestand van de onverzadigde zone berekent. Bij gebruik van dit rekenschema wordt op iteratieve wijze gezocht naar een combinatie van capillaire opstijging of verlies in de wortelzone, vochttekorten in de wortelzone en ondergrond, grondwaterstand en vochtspanning op het grensvlak wortelzone-ondergrond, die representatief is voor de stationaire toestand. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van tabellen die voor verschillende bodemtypes relaties weergeven tussen capillaire opstijging, vochttekorten, grondwaterstand en vochtspanning op het grensvlak wortelzone-ondergrond. Deze tabellen zijn afgeleid met het numeriek, niet-stationaire rekenschema van MOZART.

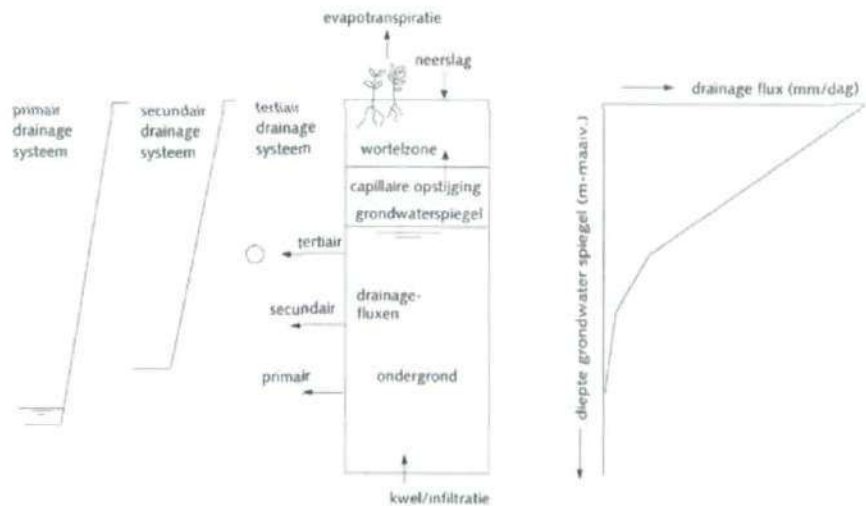
In figuur 4.2 wordt de modellering van de onverzadigde zone met MOZART schematisch weergegeven. De onverzadigde zone wordt in het horizontale vlak geschematiseerd in plots. Een plot is gedefinieerd als een verticale bodemkolom bestaande uit een wortelzone en een ondergrond, met gegeven waarden voor bodemfysische eigenschappen, gewastype, drainagetoestand en meteorologie en is uniek voor deze combinatie van eigenschappen. Tussen de wortelzone en de ondergrond treedt in tijden van neerslagoverschot verlies in de wortelzone op en in geval van een verdampingsoverschot capillaire opstijging. De vochtgehalten van wortelzone en ondergrond worden uitgedrukt in de vorm van tekorten, in feite de hoeveelheden water die nodig zijn om de wortelzone respectievelijk de ondergrond op verzadiging te brengen. In het model wordt



aangenomen dat er in het horizontale vlak geen stroming plaats vindt tussen de plots onderling. Wel is er sprake van uitwisseling tussen de plots en het oppervlaktewater. De interactie tussen de plots onderling wordt gemodelleerd met het grondwatermodel NAGROM.

De bovenrandvoorwaarde van het model wordt gevormd door de neerslag, de evapotranspiratie en de oppervlakkige afvoer. De neerslag en verdamping worden ingevoerd per decade. De potentiële gewasverdamping wordt vervolgens bepaald door de door het KNMI aangeleverde waarden te vermenigvuldigen met gewasfactoren, de actuele verdamping wordt door het model berekend op basis van de vochttoestand. Oppervlakkige afvoer treedt op als door intensieve neerslag de bergingscapaciteit van de bodem wordt overschreden en ook de berging op het maaiveld compleet gevuld is. De onderrandvoorwaarde van het model bestaat uit een kwel- of wegzijgingsflux, in feite de flux tussen het freatische pakket en het onderliggende watervoerende pakket.

**Figuur 4.2**  
Schematische weergave MOZART-plot



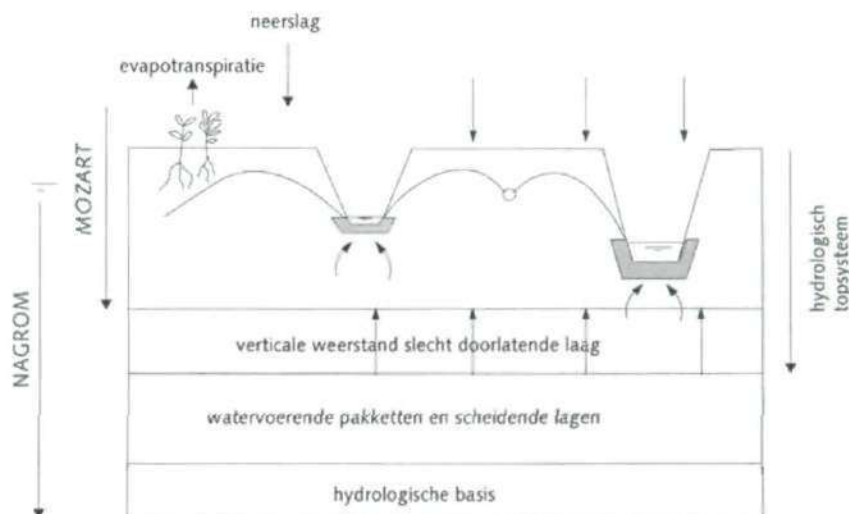
De interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater is afhankelijk van het verschil in peil tussen de freatische grondwaterstand en de ontwateringsmiddelen, en van de weerstand tussen het grondwater en de ontwateringsmiddelen. Het verband tussen de drainageflux en de grondwaterstand wordt beschreven door zogenaamde 'geknikte basisdrainagefuncties' (figuur 4.2). In deze basisdrainagefuncties is het snijpunt met de y-as gelijk aan het peil in de primaire ontwateringsmiddelen; de knikken in de functie worden bepaald door de ontwateringsdiepten van de secundaire en tertiaire drainagemiddelen. De hellingen van de lijnstukken worden bepaald door de weerstanden van de verschillende meewerkende drainagesystemen.

#### 4.4 Beschrijving MONA

MONA is de koppeling tussen het hydrologische model voor de onverzadigde zone MOZART en het hydrologische model voor de verzadigde zone NAGROM. MOZART beschrijft de onverzadigde zone en de interactie tussen het freatische pakket en het oppervlaktewater. Deze interactie wordt ook meegenomen in NAGROM zodat er sprake is van een overlap tussen beide modellen (zie figuur 4.3).

**Figuur 4.3**

Weergave van het hydrologisch topsysteem en de plaats van NAGROM en MOZART



De werkelijke berekeningen vinden plaats binnen MOZART en NAGROM. MONA moet gezien worden als de koppeling tussen deze twee modellen, door bewerking en "kant en klaar maken" van de invoergegevens.

#### 4.4.1 De koppeling in MONA

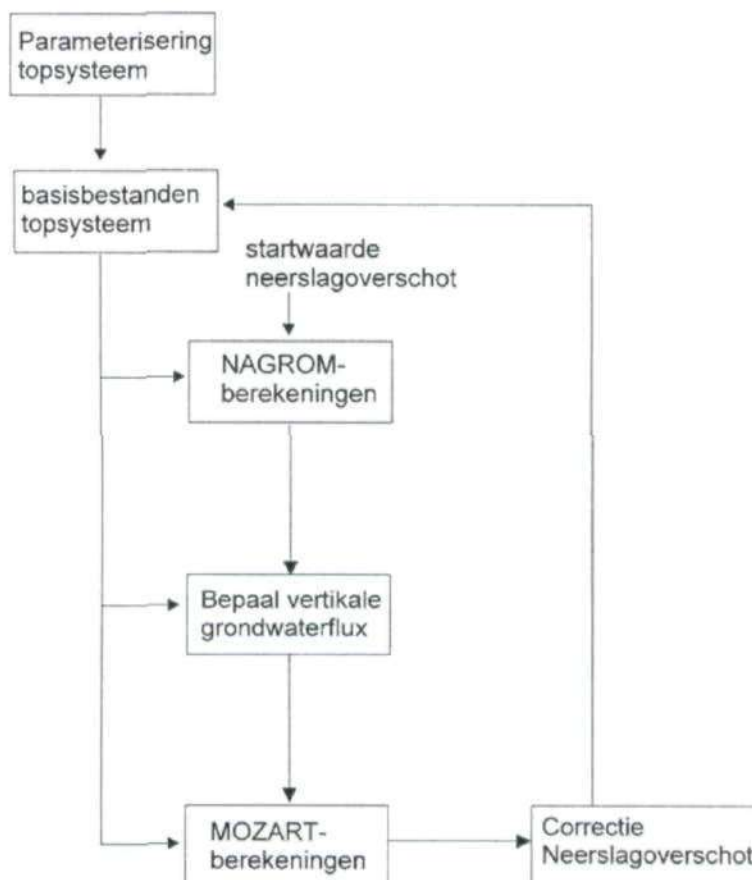
Om het gehele hydrologische systeem goed te beschrijven moet er een koppeling tussen het onverzadigde systeem (in MOZART) en het verzadigde systeem (in NAGROM) zijn. Daarbij moet de interactie tussen het freatische grondwater en het oppervlaktewater in beide modellen op dezelfde geohydrologische parameters gebaseerd zijn en moet de invoer voor beide modellen op een consistente wijze worden bepaald. Dit wordt gerealiseerd door MONA.

MONA is zowel een koppelingsconcept als een koppelingsinstrument. Het koppelingsinstrument MONA bestaat uit een set van AML's (Arc-INFO Macro Language) en Fortran programma's waarmee uit bestaande geografische informatie hydrologische variabelen afgeleid worden die in de modelschematisatie van beide modellen worden opgenomen; de zogenaamde parametrisering van het topsysteem. De modellen MOZART en NAGROM zijn van elkaars berekeningsresultaten afhankelijk. NAGROM berekent een grondwaterflux door de scheidende laag tussen het hydrologische topsysteem en het eerste watervoerende pakket, welke dient als onderrandvoorwaarde voor MOZART. MOZART berekent de grondwateraanvulling die dient als bovenrandvoorwaarde voor NAGROM. Hierdoor is een terugkoppeling tussen de modellen noodzakelijk. De modellen zijn pas volledig gekoppeld als de door MOZART berekende grondwateraanvulling gelijk is aan de waarde die in NAGROM gebruikt wordt. In dat geval zijn de waterbalansen in beide modellen gelijk. Om dit te kunnen bewerkstelligen bestaat iedere modelberekening uit meerdere berekeningsordes (meestal twee).

Figuur 4.4 geeft het koppelingsmechanisme schematisch weer.

**Figuur 4.4**

Schematische weergave  
koppelingsmechanisme MONA



Eerst wordt een zo goed mogelijk ingeschatte startwaarde opgegeven voor de grondwateraanvulling in NAGROM. Deze ingeschatte waarde kan bijvoorbeeld ontleend zijn aan eerdere modelstudies. Vervolgens wordt met NAGROM een eerste orde berekening uitgevoerd en de grondwaterflux voor MOZART bepaald. Met deze onderrandvoorwaarde wordt in MOZART een eerste orde berekening uitgevoerd, waarmee nieuwe waarden voor het neerslagoverschot bepaald worden. Deze nieuwe waarden voor het neerslagoverschot dienen als waarden voor de grondwateraanvulling voor de tweede orde berekening met NAGROM. Na de tweede orde berekening met NAGROM wordt een tweede orde berekening met MOZART uitgevoerd. In de praktijk blijkt, onder meer uit berekeningen voor de Water Systeem Verkenningen (RIZA, 1996), dat na een tweede orde of derde orde berekening de twee modellen voldoende op elkaar zijn afgestemd.

Een probleem voor het koppelingsconcept is dat in feite een semi-stationair model (MOZART) moet worden gekoppeld aan een stationair model (NAGROM). Er is voor gekozen het koppelingsconcept te baseren op een koppeling van kwel- en wegzijgingsfluxen. Daarbij is er met name op gelet dat er sprake is van een sluitende waterbalans tussen NAGROM en MOZART. Voordeel van een koppeling op basis van fluxen is dat het voor beide modellen om een - in temporeel opzicht - redelijk constante waarde gaat. Dit komt doordat de stijghoogte en het freatisch vlak vaak een vergelijkbare seizoensvariabiliteit vertonen en daarmee de temporele variabiliteit in de kwel/wegzijgingsflux voor een deel opheffen.



Een koppelingsconcept gebaseerd op de stijghoogte zou met het huidige, stationaire NAGROM een onrealistische constante freatische grondwaterstand opleggen aan MOZART.

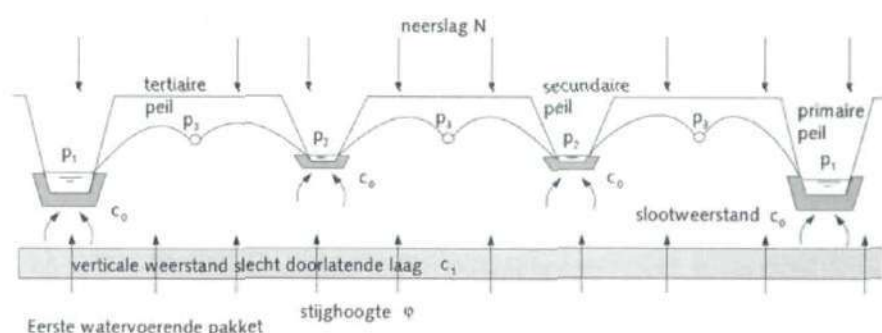
#### 4.4.2 Het modelconcept van het topsysteem

In deze paragraaf wordt de theoretische achtergrond besproken van de modellering van het topsysteem (De Lange, 1999). De parametrisering van deze formules, d.w.z. de wijze waarop diverse basisbestanden worden hier verder niet uitgelegd.

In figuur 4.5 is de toplaag van het hydrologische systeem weergegeven. Deze toplaag wordt zowel in NAGROM als in MOZART gemodelleerd. Belangrijke parameters voor het topsysteem zijn voor NAGROM  $c^*$  en  $P^*$ , voor MOZART zijn dit  $P$  en  $c_{\text{drain}}$ . Deze zullen hieronder aan de orde komen.

**Figuur 4.5**

Hydrologisch topsysteem gemodelleerd door zowel NAGROM als MONA



De onderrandvoorwaarde van MOZART wordt gevormd door de grondwaterflux van het eerste watervoerende pakket door een eventueel aanwezige scheidende laag naar het freatische topsysteem. Deze grondwaterflux wordt als volgt berekend (De Lange, 1996):

$$s = (\varphi - p) / c^* - (c_{\text{drain}} / c^*) N \quad (4.1)$$

met:

- $c^*$  = voedingsweerstand (d)
- $s$  = kwel- of infiltratieflux (m/d) ; (positief = kwel, negatief = infiltratie)
- $\varphi$  = stijghoogte in het eerste regionale watervoerende pakket (m t.o.v. NAP)
- $p$  = ontwateringspeil of drainagebasis (m t.o.v. NAP)
- $c_{\text{drain}}$  = drainageweerstand (d)
- $N$  = neerslagoverschot (m/d)

De stijghoogte ( $\varphi$ ) wordt stationair berekend door NAGROM en is per cel een representatieve waarde voor het hele jaar. Het peil  $P$  wordt in MONA bepaald en heeft een representatieve waarde gemiddeld over het hele jaar. Ook de weerstanden  $c^*$  en  $c_{\text{drain}}$  worden in MONA bepaald, en worden hieronder toegelicht:

De voedingsweerstand ( $c^*$ ), die als invoer dient voor NAGROM, is de weerstand die ondervonden wordt door het diepe grondwater bij de stroming van het eerste watervoerende pakket naar de ontwateringsmiddelen. Voor de berekening van de voedingsweerstand wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van meetbare, en in het veld identificeerbare variabelen zoals: de verticale en horizontale doorlatendheid van de bodem, slootafstanden, dimensies van de

waterlopen, dikte van de doorstroomde laag, en de aanwezigheid van storende lagen in de bodem. De voedingsweerstand is als volgt gedefinieerd:

$$c^* = [c_0 \cdot \frac{L}{P_w} \cdot F_b + (c_1' + c_0) \cdot F_l] \cdot E \quad (4.2)$$

met:

- $c^*$  = voedingsweerstand tussen watervoerend pakket en afwateringssysteem (d)
- $c_0$  = intreeweerstand sloot (d)
- $L$  = slootafstand (m)
- $P_w$  = natte omtrek sloot (m)
- $c_1'$  =  $c_1 + D/k_v$  = totale verticale weerstand doorstroomde laag (d)
- $c_1$  = verticale weerstand binnen de deklaag (d)
- $D$  = gemiddelde dikte verzadigde deel van de deklaag (m)
- $k_v$  = verticale verzadigde doorlatendheid (m/d)
- $F_l$  =  $(L/2\lambda) \times \text{ctnh}(L/2\lambda)$  (-)
- $F_b$  =  $(/2\lambda) \times \text{ctnh}(L/2\lambda)$  (-)
- $\lambda$  =  $\sqrt{(k_h D c_1')}$  = spreidingslengte (m)
- $k_h$  = horizontale verzadigde doorlatendheid (m/d)
- $\text{ctnh}$  = cotangenshyperbolicus (-)
- $E$  = factor voor de mate van de aanwezigheid van waterlopen in en rond de modeleenheid, die een functie is van de afstand tot de waterloop, de slootafstand en de spreidingslengte ( $\lambda$ ) (-) (Zie De Lange, 1999.)

De uitkomsten van vergelijking (2) zijn vergelijkbaar met de voedingsweerstand in de theorie van Bruggeman (1972). Globaal komt de vergelijking er op neer dat in gebieden met kleine slootafstanden (polders in veen- en kleigebieden), de term ' $(L/2\lambda) \times \text{ctnh}(L/2\lambda)$ ' tot 1 nadert. In deze gebieden is de verticale weerstand  $c_1'$  door de slecht doorlatende bodem vaak erg groot ten opzichte van de intreeweerstand  $c_0$ , zodat de voedingsweerstand bepaald wordt door verticale weerstand. Bij gebieden met grote slootafstanden op een goed doorlatende bodem (hogere zandgronden), nadert de term ' $\text{ctnh}(L/2\lambda)$ ' tot 1. In deze gebieden wordt de voedingsweerstand voornamelijk bepaald door weerstand tussen de ontwateringsmiddelen.

De drainageweerstand ( $c_{\text{dran}}$ ), die als invoer dient voor MOZART, is de weerstand die het freatische grondwater ondervindt om tot afstroming in de ontwateringsmiddelen te komen. Deze weerstand is gelijk aan het verschil tussen de voedingsweerstand en de verticale weerstand van de deklaag:

$$c_{\text{dran}} = c^* - c_1' \quad (4.3)$$

met:

- $c_{\text{dran}}$  = drainageweerstand (d)
- $c^*$  = voedingsweerstand (d)
- $c_1'$  = totale verticale weerstand van de doorstroomde laag (d)

De bovenrand van NAGROM wordt gevormd door de voedingsweerstand, peilen van de ontwateringsstelsels, en het met MOZART berekende neerslagoverschot, op een wijze die vergelijkbaar is met de algemene manier van modelleren van peilbeheerste gebieden. Er wordt namelijk een peil (het gemodificeerd peil  $p^*$ ) en een weerstand (de voedingsweerstand  $c^*$ ) opgegeven. Om dit mogelijk te maken terwijl het topsysteem toch beschreven wordt volgens vergelijking (1), is vergelijking (1) herschreven tot vergelijking (4):

$$s = (\varphi - p^*) / c^* \quad (4.4)$$

---

met:

- $s$  = grondwaterflux van het eerste watervoerende pakket naar het freatisch topsysteem (m/d) ; positief = kwel, negatief = infiltratie
- $\phi$  = stijghoogte in het eerste regionale watervoerende pakket (m t.o.v. NAP)
- $c^*$  = voedingsweerstand (d)
- $p^*$  = gemodificeerd peil (in meters) volgens vergelijking (5):

Uit vergelijking (1) en (4) volgt dan:

$$p^* = p + c_{dran} \cdot N \quad (4.5)$$

De theorie achter deze benadering is uitgebreid beschreven in De Lange (1996 en 1999).



## 5 Neerschalen: eerste benadering voor grondwaterstanden

---

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een eerste benadering beschreven van hoe hydrologische uitkomsten wat betreft grondwaterstand vertaald kunnen worden naar een ecologisch gezien ruimtelijk relevante schaal.

De hydrologische modellen NAGROM, MONA en MOZART, genereren uitkomsten op verschillende schaal. De uitkomsten van NAGROM zijn continue ten aanzien van de stijghoogten. Verder geeft het model een gemiddelde flux per oppervlakte-element. MOZART genereert grondwaterstanden op een grid van 250 bij 250 meter. In de volgende paragrafen zijn verschillende mogelijkheden onderzocht om uitkomsten van 250 bij 250 meter neer te schalen naar 25 bij 25 meter. De methode met de beste resultaten is vervolgens verder uitgewerkt. In paragraaf 5.2 is een methode van Alterra beschreven, in de daaropvolgende paragrafen worden eigen methodes uitgewerkt.

In paragraaf 1.4 zijn algemene randvoorwaarden en uitgangspunten genoemd voor de methode-ontwikkeling. Voor het neerschalen van grondwaterstanden gelden nog twee aanvullende randvoorwaarden / uitgangspunten:

- De neerschaling van grondwaterstanden moet een logisch beeld geven. Overgangen van bijvoorbeeld droog naar nat zouden min of meer continu moeten zijn. Er moeten geen scherpe randen gecreëerd worden waar deze niet verwacht worden.
- De neerschaling moet fysisch geen onzin opleveren. Grondwater moet bijvoorbeeld niet van laag naar hoog gaan stromen.
- De neerschalingmethode richt zich in eerste instantie op een zo goed mogelijke simulatie van de uitgangssituatie. Dat is in dit geval het jaar 1985, en dan met name de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand. Voor deze periode is het regionaal hydrologisch model gecalibreerd (Stoppelenburg et al., in prep.).

### 5.2 Neerschalen met regressierelaties

#### 5.2.1 Inleiding

Eind 1999 heeft Alterra (Finke et al., 1999) in opdracht van het RIVM vier neerschalingmethoden voor grondwaterstanden onderzocht. Hierbij is uitgegaan van informatie over grondwaterstanden op bijvoorbeeld cellen van 250 x 250 meter. Met behulp een 25 m grid met maaiveldgegevens (AHN) en verschillende regressierelaties is de grondwaterstand t.o.v. maaiveld neergeschaald. De aannames die gebruikt zijn voor het neerschalen lijken echter veel op elkaar. Hoofd aanname is dat het AHN en de GVG positief zijn gecorreleerd binnen een 250 m cel. Dat wil zeggen, een relatief hoog maaiveld heeft een diepe grondwaterstand (t.o.v. mv) en een relatief laag maaiveld een ondiepe grondwaterstand (t.o.v. mv).

In de RIVM-ALTERRA notitie worden de verschillende methoden geëvalueerd. Op basis van deze evaluatie en de bij dit onderzoek gekozen randvoorwaarden

is besloten om 2 methodes nader te bekijken. In de volgende paragrafen zullen deze twee methoden worden uitgelicht en zal er een voorzichtige conclusie worden getrokken.

### 5.2.2 Methode 1

Met deze methode wordt per cel een inschatting gemaakt van de mogelijke variatie in grondwaterstand, bijvoorbeeld 0.20 - 0.60 m - mv. Deze variatie wordt dan met behulp van het AHN over de desbetreffende cel verdeeld. Hierbij wordt uitgegaan van een relatie tussen AHN en de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. Bij hoge AHN wordt een diepe grondwaterstand verondersteld en bij een lage AHN een ondiepe grondwaterstand. De variatie in grondwaterstand wordt vervolgens zo verdeeld, dat het gemiddelde over de 250 m gridcel hetzelfde blijft.

#### Kader 5.1

Samenvatting van methode 1 zoals door Alterra opgesteld voor het RIVM.

#### *Gegevensbehoefte:*

- *Per 250 m gridcel moet de gemiddelde GVG en de bandbreedte bekend zijn.*

#### *Aannames en mogelijke beperkingen:*

- *De GVG is positief gecorreleerd met de maaiveldhoogte (hoger maaiveld = diepere GVG).*
- *Per 250 m gridcel is (bijvoorbeeld via de Gt) het bereik van de GVG eveneens bekend: [GVG<sub>min</sub>; GVG<sub>max</sub>]; de verdeling is homogeen.*
- *Per 250 m gridcel wordt GVG<sub>min</sub> en GVG<sub>max</sub> berekend als het gewogen gemiddelde van de GVG<sub>min</sub> en GVG<sub>max</sub> van de dominante en subdominante Gt.*
- *Per 250 m gridcel zijn de maaiveldhoogten normaal verdeeld met gemiddelde  $\mu$  en standaardafwijking  $\sigma$ . We berekenen  $NAP_{min}$  uit  $\mu - 2\sigma$  en  $NAP_{max}$  uit  $\mu + 2\sigma$ .*

*Een mogelijke beperking is dat bij deze methode de volledige GVG-bandbreedte wordt geprojecteerd op het AHN. Als de maaiveldhoogtevariatie binnen de 250 m gridcel niet veel groter of zelfs kleiner is dan de GVG-bandbreedte (10-tallen cm) dan kan dit leiden tot onrealistisch hoge variabiliteit in GVG binnen de 250 m gridcel ("overprojectie").*

#### *Algoritme:*

*Per pixel  $i$  (25x25) berekenen we de GVG uit de maaiveldhoogte NAP volgens:*

$$GVG_i = GVG_{min} + \left( \frac{NAP_i - NAP_{min}}{NAP_{max} - NAP_{min}} \right) (GVG_{max} - GVG_{min}) \quad (5.1)$$

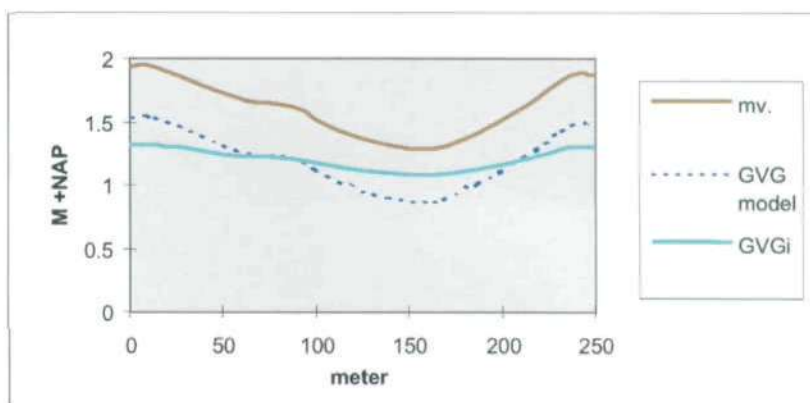
*Deze methode reproduceert de gemiddelde GVG uit de gemiddelde maaiveldhoogte.*

De methode is voor dit onderzoek getest op een dwarsdoorsnede van een 250 m gridcel. In de onderstaande figuren staan resultaten voor verschillende situaties.

**Figuur 5.1**

Neerschaling van grondwaterstand binnen een 250 meter cel met behulp van methode 1

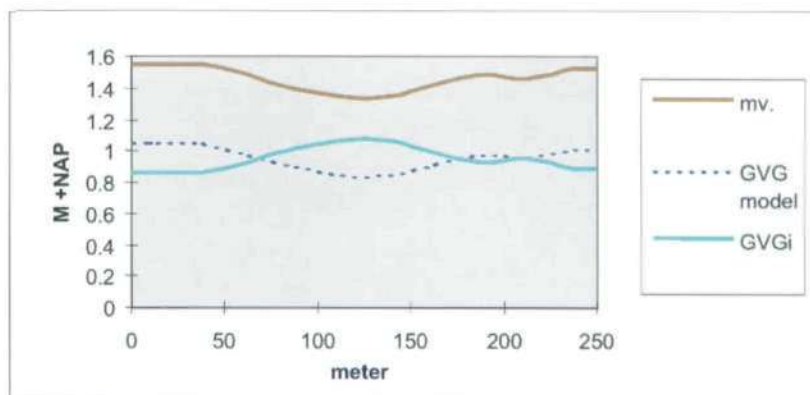
Waarbij:  $\Delta \text{GVG} < \Delta \text{mv}$   
 $\Delta \text{GVG}$  0.4 meter  
 $\Delta \text{Mv}$  0.65 meter



**Figuur 5.2**

Neerschaling van grondwaterstand binnen een 250 meter cel met behulp van methode 1

Waarbij:  $\Delta \text{GVG} > \Delta \text{mv}$   
 $\Delta \text{GVG}$  0.6 meter  
 $\Delta \text{Mv}$  0.2 meter



In figuur 5.1 ziet de neerschaling binnen de 250 m gridcel er logisch uit. Het grondwater stroomt naar het laagste punt binnen de cel. In figuur 5.2 zien de uitkomsten er niet meer logisch uit. Het grondwater stroom hier juist weg van het laagste punt. De verschillen in GVG zijn groter dan de verschillen in het maaiveld. Dit zorgt voor de in kader 5.1 genoemde overprojectie.

### 5.2.3 Methode 2

Deze methode geeft de mogelijkheid om aan te geven in hoeverre de grondwaterstand het maaiveld volgt. Aan de hand van een regressierelatie kan de mate van demping worden opgegeven (kader 5.2). De twee uitersten (zie ook figuur 5.3) zijn:

- er is geen demping, de grondwaterstand volgt precies het maaiveld.
  - er is totale demping, de grondwaterstand volgt het maaiveld helemaal niet.
- En dan zijn er natuurlijk tussenstadia mogelijk waarin de grondwaterstand het maaiveld gedempt volgt (figuur 5.4).

#### Kader 5.2

Samenvatting van methode 2 zoals door Alterra opgesteld voor het RIVM.

#### Gegevensbehoefte:

- AHN, eventueel daaruit afgeleide variabele (relatieve maaiveldhoogte) en GVG per 250 m gridcel.
- Een regressierelatie die GVG per cel 25x25 meter voorspelt uit AHN of daaraan gerelateerde variabele.
- Een indeling in gebieden waarvoor een bepaalde regressierelatie geldt.

#### Aannames en mogelijke beperkingen:

Regressierelatie is geldig voor gebied waarvoor wordt neergeschaald. Het kan nodig zijn per deelgebied (beekdal, plateau, vlakte, geohydrologisch stratum) een aparte relatie te gebruiken. Voor andere gebieden moet opnieuw een gebiedsindeling met de bijbehorende regressierelaties worden bepaald.



Algoritme:

Per 25 m gridcel wordt de gvg voorspeld met de vergelijking

$$gvg_i = b_0 + b_1 y_i \quad (5.2)$$

waarin  $y_i$  de waarde is van een aan AHN-gerelateerde variabele

(maaiveldhoogte, relatieve maaiveldhoogte bij een bepaalde zoekstraat)

Ook geldt dat de gemiddelde gvg (GVG) per 250 gridcel bekend is, en gelijk is aan de gemiddelde gvg over alle 25 m gridcellen:

$$GVG = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n gvg_i \quad (5.3)$$

Nu de afleiding van de vergelijking die voor het neerschalen kan worden gebruikt:

Uit combinatie van (5.2) en (5.3) volgt:

$$GVG = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_1 y_i \quad (5.4), \text{ ook te schrijven als:}$$

$$b_0 = GVG - \frac{b_1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5.5)$$

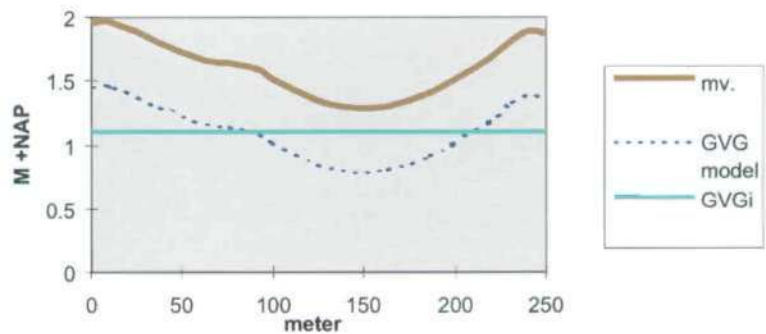
Invullen van (5.5) in (5.2) levert de berekeningswijze van de neergeschaalde gvg per pixel  $i$ :

$$gvg_i = GVG - \left( \frac{b_1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right) + b_1 y_i \quad (5.6)$$

In vergelijking (5.6) wordt het deel tussen ( ) dus per 250x250 pixel in één keer uitgerekend, is de GVG bekend en wordt de variabiliteit van  $y$  gebruikt om neer te schalen.

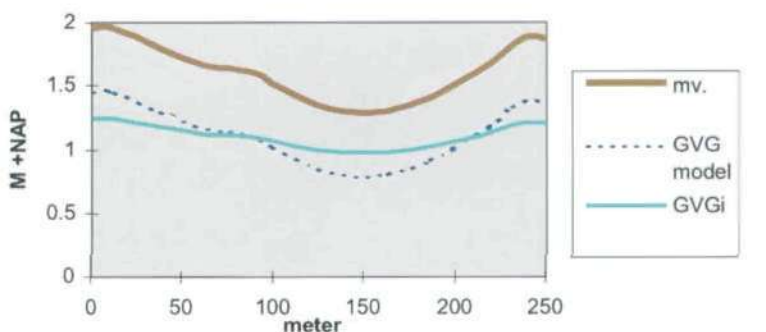
**Figuur 5.3**

In deze figuur worden de uitersten waartussen de grondwaterstand zich kan bewegen weergegeven na neerschaling met methode 2. De onderbroken lijn geeft aan dat de gvg constant is als de grondwaterstand het maaiveld precies volgt. (dit is gelijk aan de modeluitkomst). De licht blauwe lijn geeft aan dat de grondwaterstand constant is als deze het maaiveld helemaal niet volgt.



**Figuur 5.4**

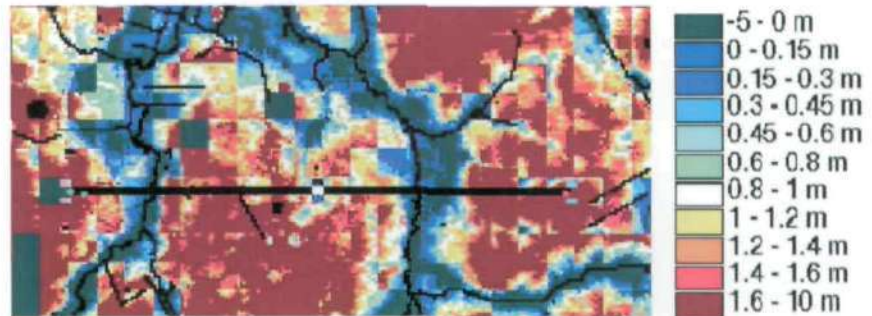
Met behulp van Methode 2 kan de grondwaterstand het maaiveld gedempt volgen



Zoals uit de grafieken blijkt zal de grondwaterstand binnen een cel altijd een min of meer logisch verloop hebben. Wel is er een goede inschatting van de mate van demping vereist. Een ander punt is de rand van de cel. De grondwaterstand sluit vaak niet aan op die van de buurcel. In figuur 5.5 is dit ook te zien.

**Figuur 5.5**

Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand t.o.v. maaiveld, berekend met regressierelatie methode 2 voor een deelgebied in de Drentse A. De natte en droge plekken in het gebied zijn duidelijk te herkennen, maar de overgangen gaan schoksgewijs, en het oorspronkelijke grid is duidelijk terug te zien.



#### 5.2.4 Conclusies

Met de Alterra methode voor het neerschalen van de grondwaterstand kan binnen een MOZART cel een mooie grondwaterstandverdeling worden gemaakt. In hoeverre deze verdeling ook voldoet aan de fysisch eigenschappen van grondwater is echter de vraag. Het maaiveld is alleen sturend voor het grondwater bij waterstanden vlak aan maaiveld. In dat geval kan er namelijk sprake zijn van oppervlakkige drainage, of extra verdamping (door capillaire opstijging). Bekend is echter dat met name ook ligging en diepte van de drainagemiddelen een sterke invloed hebben op het grondwaterstandsverloop. Deze drainagemiddelen liggen - in het sterk vergraven Nederland - wat maaiveld betreft lang niet altijd op de laagste plekken.

Om voor verschillende gebieden, zoals hoge zandgrond, beekdalen, etc de juiste regressierelaties vast te stellen is aanvullend onderzoek nodig (zie kader 5.2). Hiervoor is onder andere een nieuwe indeling van Nederland naar deelgebieden nodig. Uitgangspunt bij het onderzoek beschreven in dit rapport is echter om zoveel mogelijk voort te bouwen op reeds bestaande informatie.

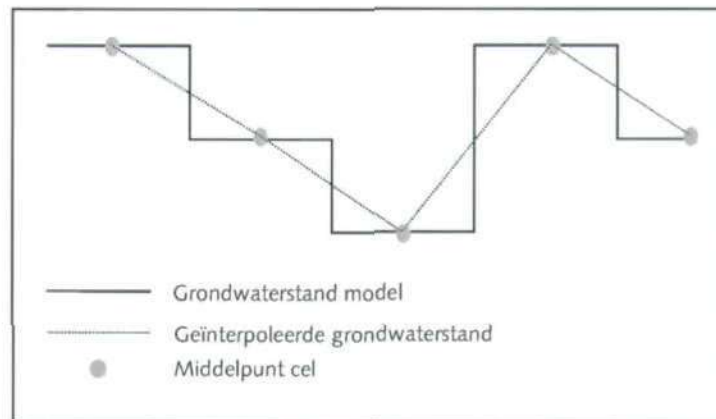
Aan de randen van de cel zal de grondwaterstand vaak niet aansluiten waardoor sprongen ontstaan. Dit geeft niet alleen een onrustig beeld, maar ook een moeilijk te interpreteren beeld (artefact) van het grondwaterstandsverloop. Door slimme deelgebieden te kiezen, en op randen te "smoothen" kan dit probleem wellicht verholpen worden. Alterra heeft inmiddels een techniek ontwikkeld waarmee het probleem van de celranden verholpen wordt. Deze wordt toegepast bij het actualiseren van de Gt-kaart.

### 5.3 Neerschalen met lineaire interpolatie (TIN)

In deze methode worden de hydrologische uitkomsten geschaald met behulp van ruimtelijke lineaire interpolatie. In principe zijn de uitkomsten van de hydrologische modellen al vlakdekkend, alleen zijn de uitkomsten per 250 m gridcel overal gelijk. Door de uitkomst in het middelpunt van de cel als representatief te stellen, en vervolgens tussen deze verschillende punten te interpoleren, kan de grondwaterstand (t.o.v. NAP) binnen een cel worden verdeeld (figuur 5.6). In paragraaf 5.2 is de grondwaterstand t.o.v. maaiveld neergeschaald, in deze methode wordt de grondwaterstand t.o.v. NAP neergeschaald. De aanname hierbij is dat de buurcellen iets zeggen over grondwaterverdeling binnen een cel. Deze methode is eenvoudig te realiseren via de TIN module in Arc/Info (ESRI, 1992).

**Figuur 5.6**

Lineaire interpolatie van grondwaterstanden per 250 meter grid.

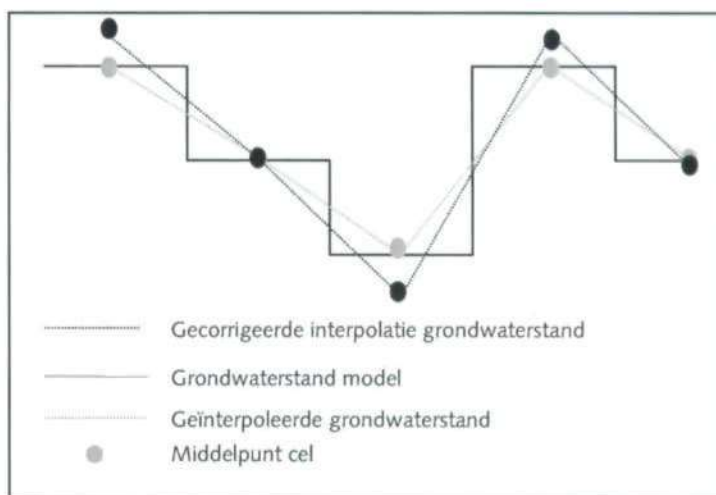


Op deze manier wordt de grondwaterstand wat afgevlakt. In een 'dal' van de grondwaterstand ligt de geïnterpoleerde grondwaterstand boven de grondwaterstand van het model (figuur 5.6). Bij een opschaling van de geïnterpoleerde grondwaterstand zullen de dalen wat hogere waarden krijgen dan de grondwaterstand zoals die berekend is door het grondwatermodel. Voor 'pieken' in de grondwaterstand geldt eenzelfde redenering. Hiervoor kan echter eenvoudig gecorrigeerd worden. Voor die cellen waar een afwijking geconstateerd wordt, (tussen de oorspronkelijk hydrologische waarden per cel en de gemiddelden van de geïnterpoleerde grondwaterstanden per cel) krijgt het middelpunt een hogere, dan wel lager waarde (figuur 5.7). Door deze procedure een aantal maal (2x bleek al voldoende) te herhalen worden de afwijkingen verwaarloosbaar klein. De correctie bleek bijna altijd tussen de 0 en 30 cm te liggen.



**Figuur 5.7**

Een gecorrigeerde interpolatie, waarbij het gemiddelde van de geïnterpoleerde grondwaterstand per cel gelijk is aan de oorspronkelijke modeluitkomst.



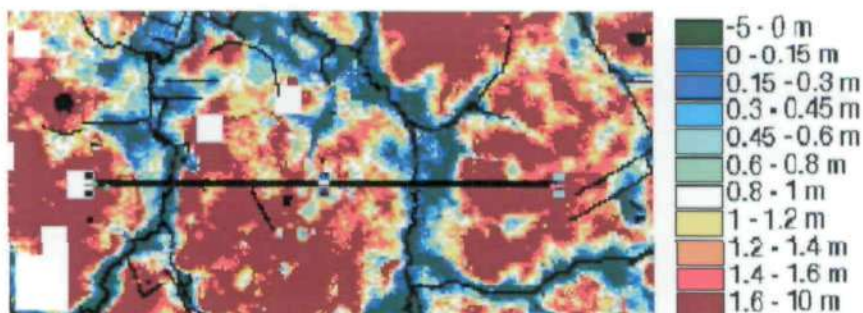
Zowel binnen een cel als buiten een cel wordt de grondwaterstand nu relatief continu verdeeld. Fysisch gezien zou de grondwaterstand tussen twee drainagemiddelen een zekere opbolling moeten vertonen. De opbolling tussen twee primaire drainagemiddelen op 'grote' afstand van elkaar wordt nu benaderd door de lineaire interpolatie. Tussen drainagemiddelen die dicht bij elkaar liggen wordt geen opbolling berekend.

### Conclusie

In figuur 5.8 is voor een deelgebied van de Drentse A deze methode uitgevoerd. Uit het plaatje blijkt al dat de overgangen van nat naar droog

**Figuur 5.8**

Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand t.o.v. maaiveld berekend met lineaire interpolatie tussen middelpunten van cellen. De natte en droge plekken in het veld zijn duidelijk te herkennen en de overgangen verlopen vloeiend (de witte plekken zijn cellen waar geen grondwaterstand berekend is door het model)



gradueel verlopen en dat de natte plekken op logische plaatsen liggen, namelijk rondom de drainagemiddelen. Ook is te zien dat deze natte plekken vaak erg breed zijn. Voordeel van deze methode is dat hij zeer eenvoudig is. Nadeel van deze methode is dat de pieken en dalen in de grondwaterstand altijd in het middelpunt van een cel worden geprojecteerd. Verder lijkt het erop dat de grondwaterstand in de dalen nu vaak te hoog is gemodelleerd. De grondwaterstand komt vaak meer dan 50 cm boven maaiveld uit in grote delen van de dalen. Dit komt niet overeen met de werkelijke situatie in het veld.

## 5.4 Neerschalen met het drainageniveau

### 5.4.1 Inleiding

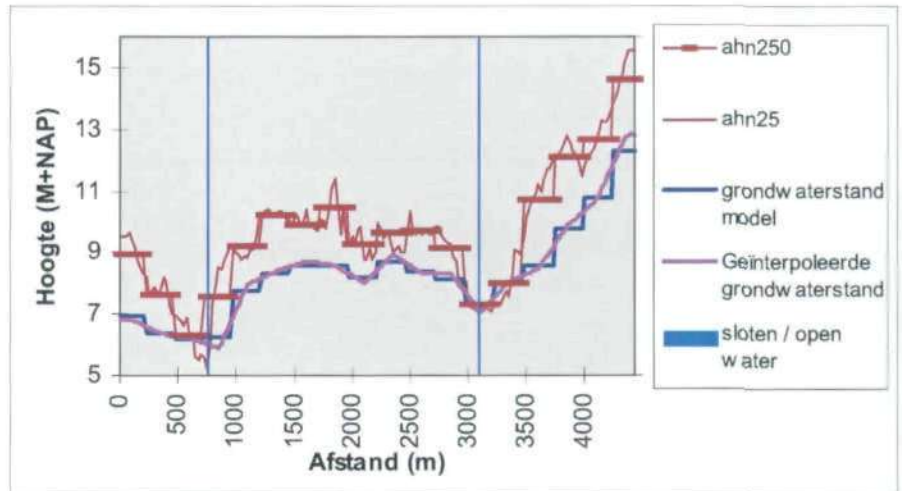
In deze nadere uitwerking van de methode uit paragraaf 5.3 is eerst onderzocht hoe de interpolatie zo veranderd kan worden dat de grondwaterstand niet altijd in het middelpunt van de cel wordt opgehangen. Van deze mogelijkheid zou dan alleen gebruik gemaakt worden indien er een

duidelijke aanleiding is om aan te nemen dat er een beter punt is dan het middelpunt.

De pieken in de grondwaterstand komen meestal voor op plekken waar het grondwater ver onder maaiveld ligt. In ecohydrologisch opzicht maakt het dan weinig uit of de grondwaterstand op 2 of op 1.8 meter beneden maaiveld ligt. De "natte" dalen en beekdalflanken zijn ecohydrologisch gezien veel interessanter. De grondwaterstand ligt hier dicht aan het maaiveld en heeft daardoor meer invloed op de vegetatie. Het is daarom belangrijk dat in een dal de grondwaterstand juist wordt gesimuleerd door ook de drainagemiddelen goed mee te nemen.

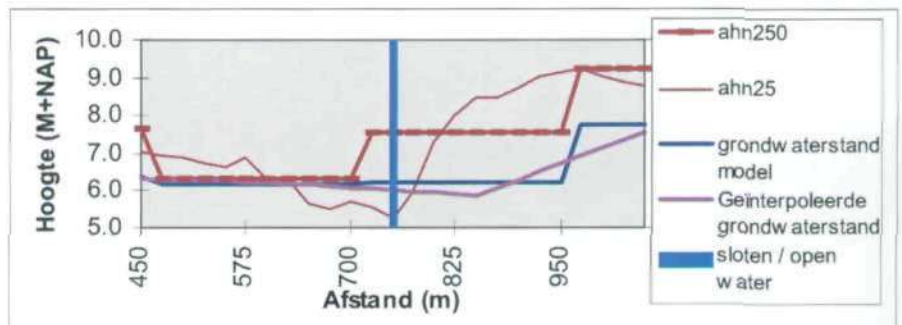
**Figuur 5.9**

Dwarsprofiel van een deelgebied in Drentse a. In de figuur staat het maaiveld (AHN) weergegeven zoals geschematiseerd op 250 m en 25 m niveau. Op vergelijkbare wijze is de grondwaterstand weergegeven zoals berekend door het hydrologisch model en de neergeschaalde waarde cf. par. 5.3



**Figuur 5.10**

Uitsnede van het bovenstaande dwarsprofiel (de linker sloot). Hier is duidelijk te zien dat het laagste punt van de geïnterpoleerde grondwaterstand niet overeenkomt met de plek van de beek.

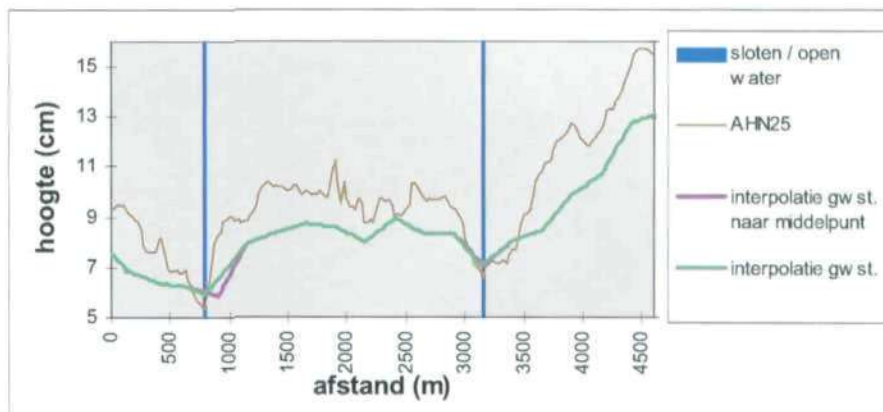


Gezien het beeld in figuur 5.9 en 5.10 (het laagste punt van de geïnterpoleerde grondwaterstand niet overeenkomt met de ligging van de beek) is de neerschaling in de omgeving van drainagemiddelen aangepast. Als er in een cel een primair drainagesysteem aanwezig is wordt niet het middelpunt van die cel gebruikt bij de interpolatie, maar de ligging van het drainagesysteem. Door deze aanpassing komt de laagste grondwaterstand ter plekke van het drainagesysteem te liggen. In figuur 5.11 worden de resultaten van deze aanpassing weergegeven.



**Figuur 5.11**

Dwarsprofiel als in figuur 5.9. De paarse lijn geeft het eerder bepaalde grondwaterstandsverloop aan. De groene lijn geeft de nieuwe geïnterpoleerde grondwaterstand aan, rekening houdend met de ligging van de drainagemiddelen



Ondanks de aanpassing door de drainagemiddelen te gebruiken bij de interpolatie van de grondwaterstand blijft de grondwaterstand in de dalen ver boven maaiveld uitsteken. Het blijkt moeilijk met de huidige modelresultaten een grondwaterstand te interpoleren die netjes onder maaiveld blijft. Als we terug gaan naar de oorspronkelijke modelresultaten op 250 m gridbasis dan blijkt dat de gebieden die in de simulatie onder water komen te staan vaak een van de volgende kenmerken hebben:

1. *Het hydrologisch model geeft een ondiepe grondwaterstand 0-30 cm -mv.*  
Als het model voor een 250 m gridcel aangeeft dat de grondwaterstand zo ondiep is kom je bij een neerschaling al snel uit op een situatie waarbij op sommige plekken de grondwaterstand boven maaiveld uit komt. Zeker als de variatie in het maaiveld meer dan 30 cm is.
2. *Het maaiveld varieert sterk binnen een cel.*  
Bij een, binnen een cel, sterk variërend maaiveld kan het moeilijk zijn (m.b.v. interpolatie) een realistische grondwaterstand te generen. Er kan dan een duidelijk kwelzone in het dal liggen, waarbij grondwater uittreedt.
3. *De cel bevat sloten (drainagemiddelen).*  
Op zich is het logisch dat het rond de drainagemiddelen nat is. Waarom wordt er anders gedraineerd? Diezelfde drainagemiddelen zijn echter aangelegd om het land droog te houden en water af te voeren. Vaak wordt het drainageniveau 1 meter beneden maaiveld gelegd. In die zin is het vreemd dat het zo nat is rondom de drainagemiddelen.

Concluderend, de punten 1 en 2 zijn conform de verwachtingen. Punt 3 daarentegen lijkt minder logisch. Daarom is nader onderzocht hoe drainage in het hydrologische model is ingebracht.

### 5.5 Analyse van het drainageniveau in het huidige hydrologisch model

In de hydrologie (en dus ook de modellen) is drainage vaak een zeer belangrijk gegeven. De grondwaterstand wordt hier min of meer aan opgehangen. Belangrijke parameters die hiermee samenhangen zijn:

- het drainageniveau ofwel de ontwateringsdiepte: op welke hoogte (t.o.v. NAP) ligt het drainagesysteem
- de drainageweerstand: hoe makkelijk stroomt het water naar de drainage-middelen toe.

Eerst is onderzocht hoe het drainageniveau is bepaald en gebruikt in het hydrologisch model. Vervolgens is bekeken hoe het drainageniveau zich verhoudt tot het maaiveld afgeleid uit het AHN. Daarna zou de aandacht zich kunnen richten op de schematisatie van de drainageweerstand.



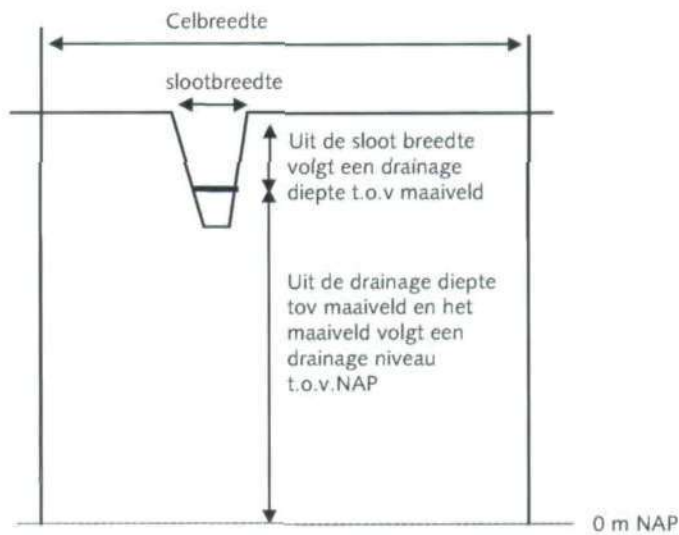
### Drainageniveau

Ten behoeve van de modellering zijn aannames gemaakt voor wat betreft het drainageniveau (Stoppelenburg et al, in prep). De belangrijkste worden hier vermeld.

Op basis van de breedte van een sloot en het gebied waar deze in ligt (bijv. heuvel landschap, veenweide gebied) wordt de ontwateringsdiepte van de sloot ingeschat (Massop et al., 2000). Hieruit volgt dus een drainageniveau ten opzichte van maaiveld. Dit drainageniveau wordt per cel berekend en ligt (logischerwijs) altijd onder maaiveld. Vervolgens wordt het drainageniveau ten opzichte van maaiveld vertaald naar een drainageniveau ten opzichte van NAP (figuur 5.12) door het drainageniveau ten opzichte van maaiveld af te trekken van de maaiveldshoogte uitgedrukt ten opzichte van NAP. Aangezien het gaat om gridcellen van 250 meter is gekozen om bij het maaiveld uitgedrukt ten opzichte van NAP het gemiddelde van de cel te gebruiken.

**Figuur 5.12**

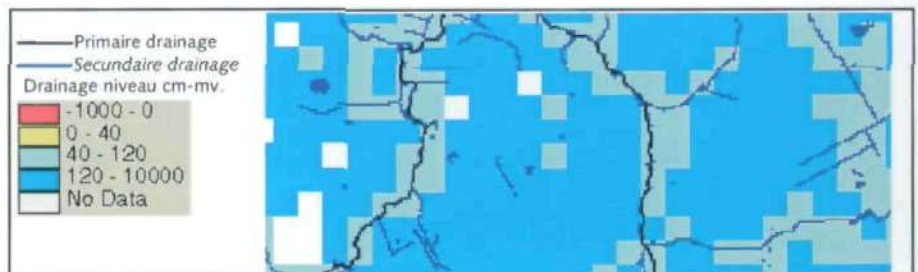
Schematische weergave van de bepaling van het drainageniveau in de hydrologische modellen.



De resultaten van deze exercitie voor het Drentse A gebied staan weergegeven in figuur 5.13. Er is duidelijk te zien dat het drainageniveau per cel zich beneden het gemiddelde maaiveld van een cel bevindt

**Figuur 5.13**

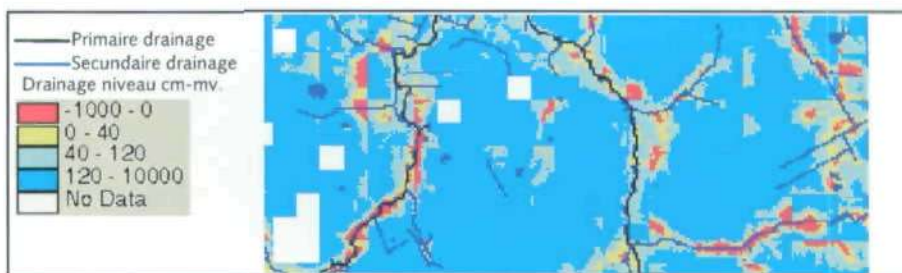
Drainageniveau van het primaire systeem berekend per 250 m cel voor een deelgebied van de Drentse A.



Zoals gesteld, kunnen deze drainageniveaus worden omgerekend naar hoogtes t.o.v. NAP. Door deze NAP hoogten af te trekken van de maaiveldgegevens per 25 meter cel (AHN25) wordt een nieuw neergeschaald drainageniveau berekend (figuur 5.14).

**Figuur 5.14**

Drainageniveau van het primaire systeem, berekend per 25 meter cel.



Uit de figuur komt duidelijk naar voren dat het neergeschaalde drainageniveau regelmatig boven maaiveld uit komt. Als het drainageniveau in het hydrologische model al boven het feitelijke maaiveld wordt geschematiseerd, dan zal ook de neergeschaalde grondwaterstand boven het maaiveld uit komen.

Het te hoog geschematiseerde drainageniveau moet worden gezien als een artefact en dient te worden gecorrigeerd. Indien dit niet gebeurt is het met de huidige neerschalingmethode niet mogelijk om reële grondwaterstanden rondom de drainagemiddelen te berekenen.

### Conclusie

De te hoge grondwaterstanden in de beekdalen worden deels veroorzaakt door een te grove schematisering van het drainageniveau in het hydrologische model. Deze schematisering zal moeten worden aangepast voordat er ooit een goed resultaat kan worden behaald met de hier gebruikte neerschalingmethode.

### 5.6 Conclusie

Er zijn verschillende methodes onderzocht om de grondwaterstand neer te schalen. Eerst is onderzocht of de grondwaterstand t.o.v. maaiveld neergeschaald kon worden met regressie relaties. Deze methode achten we onvoldoende bruikbaar. Vervolgens is de grondwaterstand t.o.v. maaiveld neergeschaald met behulp van lineaire interpolatie. Uit de analyse blijkt dat deze methode nog niet optimaal is, maar beter bruikbaar dan de neerschaling met regressie relaties. Uit deze neerschaling komt ook naar voren dat de beekdalen erg nat zijn. Veel natter dan de situatie in het veld. Nader onderzoek heeft uitgewezen dat deze natte situatie veroorzaakt wordt door een te grof (en systematisch te hoog) geschematiseerd drainageniveau. In het volgende hoofdstuk wordt daarom verder ingegaan op het drainageniveau, en de schematisering van het hydrologische instrumentarium in het algemeen.





## 6 Aanpassingen aan het hydrologisch instrumentarium

### 6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe het hydrologisch modelinstrumentarium aangepast dient te worden om zinvol verder te kunnen gaan met de methode-ontwikkeling voor neerschaling. Vervolgens zal het hydrologisch modelinstrumentarium NAGROM-MONA-MOZART opnieuw doorgerekend moeten worden met de nieuwe schematisatie zodat een nieuwe basis (invoer) kan worden aangeleverd voor de neerschalingmethode. Omwille van de efficiëntie is gelijk gekeken naar de schaal van andere modelinvoer. Dit om de hydrologische modellen optimaal te kunnen parameteriseren, of om later te gebruiken bij het neerschalen van de hydrologische uitkomsten.

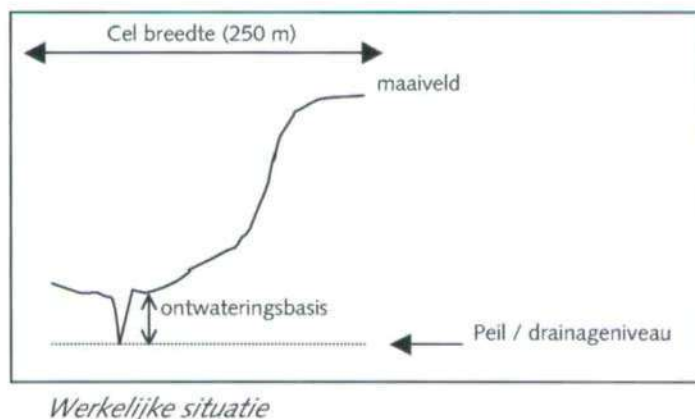
### 6.2 Het drainageniveau

#### 6.2.1 Oude methode

Zoals eerder gemeld is drainage een zeer belangrijke parameter in de hydrologische modellering. In het kader van de ontwikkeling van het STONE model zijn drainageniveau's voor verschillende type hydrotypen en Gt-klassen vastgesteld (Massop et al., 2000). Deze regels zijn gemaakt ten behoeve van landelijke modellering. De afgeleide ontwateringsdiepten gelden voor de directe omgeving van de sloot. Deze informatie is vervolgens gebruikt in de MONA module. In MONA zijn drainageniveau's per 250 m gridcel berekend door per gridcel uit te gaan van een gemiddeld maaiveld en een gemiddeld drainageniveau (afgeleid uit de hydrotypen en de aanwezigheid van waterlopen). De combinatie van beide gegevens leidt tot een drainageniveau ten opzichte van maaiveld uitgesplitst naar drainagesetel (primaire, secundaire, tertiaire). Het drainageniveau t.o.v. maaiveld weergegeven in Massop et al. (2000) heeft echter betrekking op het maaiveld nabij het ontwateringsmiddel. Wanneer men niet meer met een gemiddeld maaiveld maar met een 25 m grid uit het AHN werkt leidt dit tot fouten. Dit wordt nog eens geïllustreerd in figuur 6.1 en 6.2.

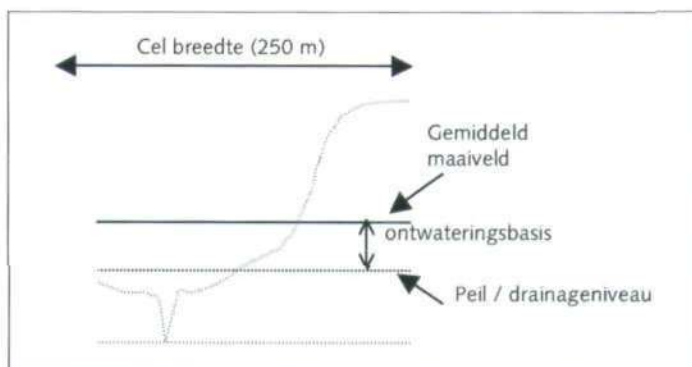
**Figuur 6.1**

Het bepalen van de drainagediepte en het drainage niveau met behulp van het maaiveld



**Figuur 6.2**

Het bepalen van de drainagediepte en het drainage niveau met behulp van het gemiddelde maaiveld. Er is in de figuur duidelijk te zien dat dit problemen kan opleveren



*In MONA geschematiseerde situatie*

Uit het bovenstaande figuur blijkt dat het peil c.q. drainageniveau in de geschematiseerde situatie anders kan komen te liggen dan in de 'werkelijke situatie' wanneer de gegevens worden uitgedrukt t.o.v. NAP. Het verschil ontstaat doordat de maaiveldhoogte rond de drainagemiddelen niet overeenkomt met het gemiddelde maaiveld van een 250 meter cel. De hier beschreven methode voldoet dus niet. Er is daarom onderzoek gedaan naar een betere generieke methode om de peilen c.q. drainageniveau's af te leiden.

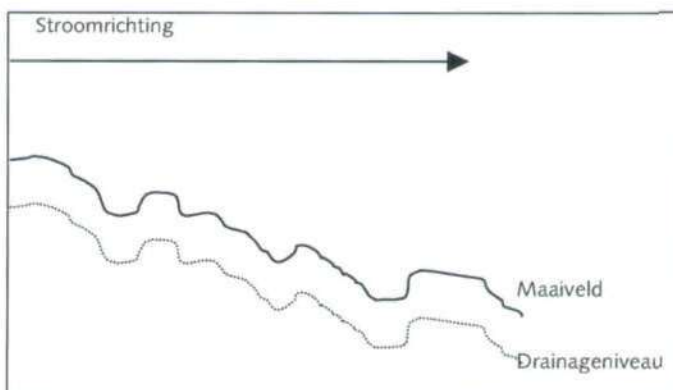
### 6.2.2 Nieuwe methode

De ligging van de ontwateringsmiddelen zijn afgeleid op 25 meter niveau op basis van de topografische kaart 1:10.000. Met andere woorden, per 25 meter cel is bekend of er wel of niet een sloot van redelijke omvang aanwezig is. Met het AHN is ook het maaiveld bekend per 25 m gridcel. Door deze informatie te combineren met de drainageniveau's conform de STONE studie kan een betere benadering worden gegeven van het drainageniveau (t.o.v. NAP) ter hoogte van het ontwateringsmiddel (bekend op 25 m niveau). In dit geval wordt dus niet meer uitgegaan van een gemiddeld maaiveld per 250 m gridcel, maar het maaiveld in de directe omgeving van de sloot (een 25 meter cel).

Het drainageniveau dat nu langs de sloot is berekend ligt altijd onder maaiveld. Kijken we naar het drainageniveau langs de as van de sloot, dan blijkt er iets vreemds te gebeuren. Het water stroomt niet altijd consequent van bovenstrooms naar benedenstrooms (figuur 6.3).

**Figuur 6.3**

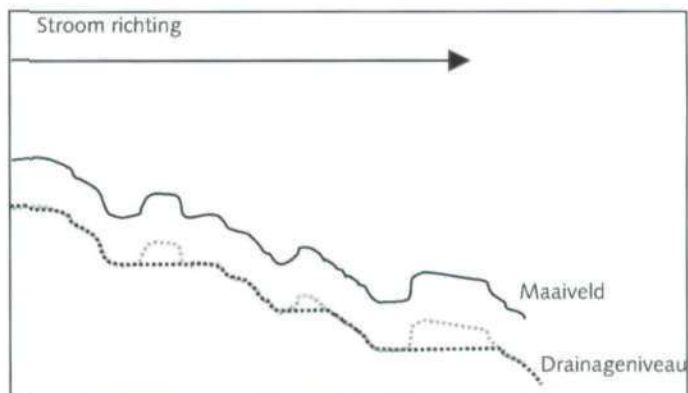
Drainageniveau bij de aanname dat de drainage diepte ten opzichte van het maaiveld een vaste waarde heeft



Er zijn verschillende manieren om het drainageniveau alsnog van boven naar beneden te laten verlopen. Zo kunnen de pieken uit het drainagepeil worden gehaald (figuur 6.4).

**Figuur 6.4**

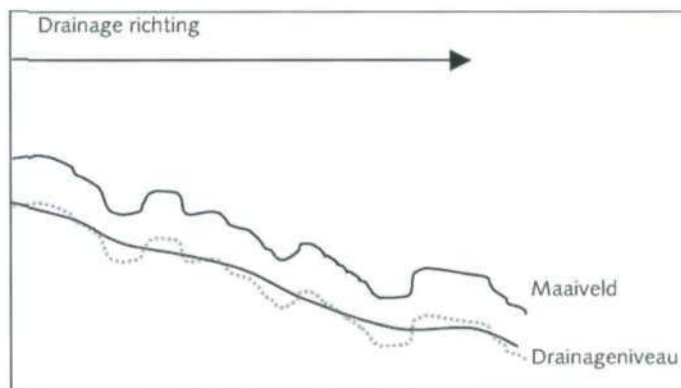
Als voorgaande figuur, maar dan met het verwijderen van de pieken in het drainageniveau, zodat het water in de drainage richting kan wegstromen.



Nadeel van deze bewerking is dat het gemiddelde drainageniveau verlaagd wordt. De drainageniveau's worden nu ook lager en de gemiddelde drainagediepten kloppen niet meer met de oorspronkelijk gebruikte STONE data. Het drainageniveau kan ook "gesmoothed" worden (figuur 6.5). De gemiddelde drainageniveau's blijven nu gelijk aan de gebruikte STONE data. Toch kleven er nog een paar nadelen aan dit gemiddelde drainagepeil. Het is niet zeker dat het peil blijft afnemen in de stroomrichting van de sloot en bij scherpe overgangen (stuwen) is een gemiddeld peil minder bruikbaar. Het gemiddelde peil zou dan boven maaiveld kunnen komen te liggen

**Figuur 6.5**

Drainage niveau door gebruik te maken van smoothen.



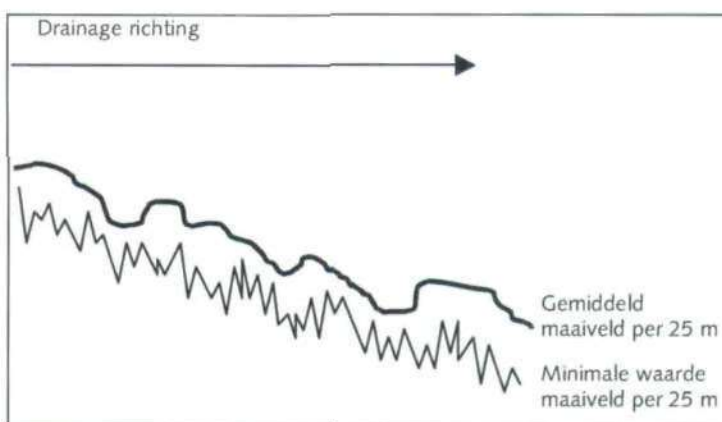
Een geheel andere methode is om het drainageniveau direct af te leiden uit het AHN zonder gebruik te maken van de drainageniveau's uit de STONE-schematisatie. Bij het maken van het AHN zijn immers zeer veel metingen gedaan. Gemiddeld 1 per 16 m<sup>2</sup> met een nauwkeurigheid van plusminus 5 cm voor kale oppervlakken. Sommigen van deze metingen zullen langs de waterlijn van de slootkant gedaan zijn. Of als de sloot droog staat zal soms de bodemhoogte van de sloot zijn gemeten. Dit zijn (bijna altijd) de laagste waarden in de omgeving. Door de laagste waarden in de omgeving van de sloot te selecteren kan mogelijk een beeld worden verkregen van de hoogte van de waterlijn (of slootbodem).

Per 25 meter cel is de minimaal gemeten maaiveldhoogte bekend, ook wel het  $AHN_{min}$  genoemd. Deze minimale hoogte kan per cel sterk variëren (figuur 6.6). Wanneer deze hoogte wordt afgezet tegen de afstand langs de sloot dan ontstaat een puntenwolk van maaiveldhoogten.



**Figuur 6.6**

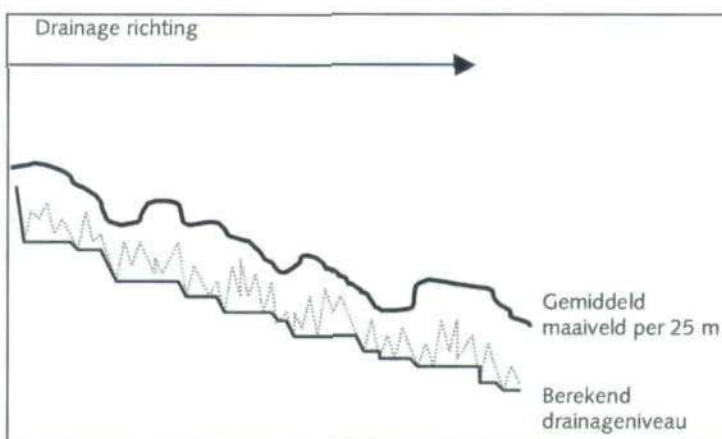
Het gemiddelde maaiveld per 25 meter cel afgezet tegen de laagst gemeten maaiveld waarde in die 25 meter cel.



De laagste waarden langs de sloot geven de meeste informatie over het peil in de sloot. Er vanuit gaande dat het slootpeil in de benedestroomse richting gelijk zal blijven of zakken zal het slootpeil onder deze waarden hebben gelegen. Door in de benedestroomse richting de 'pieken' van het minimale maaiveld weer te verwijderen ontstaat een logisch peilverloop van het water in de sloot (figuur 6.7).

**Figuur 6.7**

Als voorgaande figuur, waarbij de pieken van de laagst gemeten maaiveldpunten ontdaan zijn van hun pieken, zodat het water in de drainagerichting kan wegstromen.

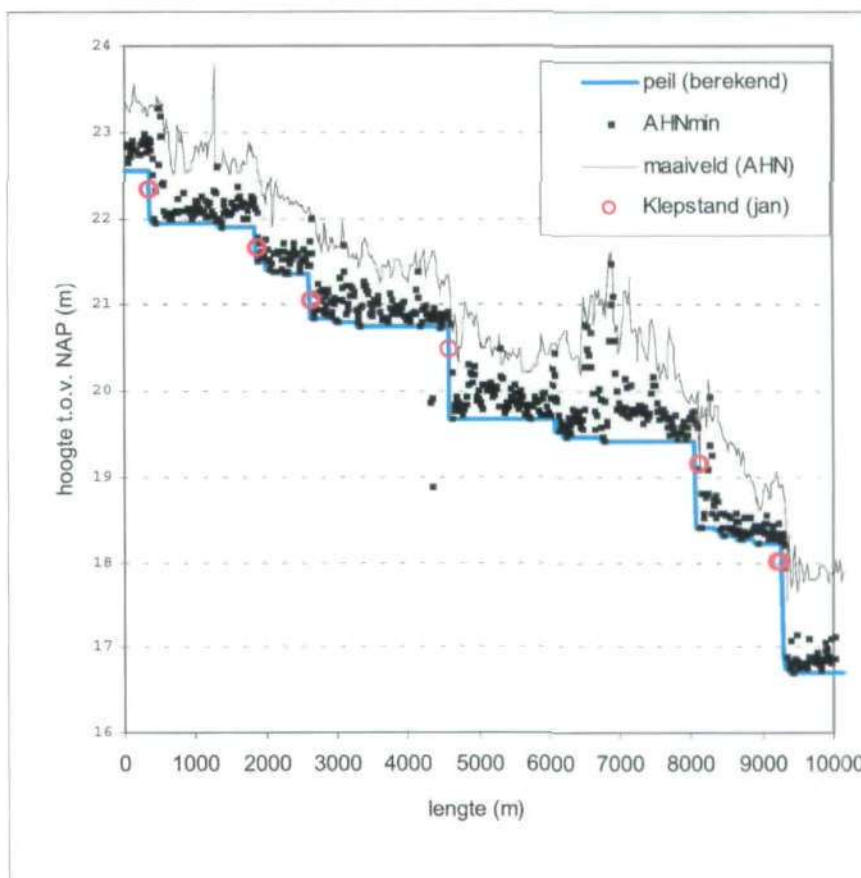


Met behulp van deze methode zijn drainageniveau's afgeleid voor zowel het stroomgebied van de Drentse Aa als de Groote Beerze in Noord-Brabant. Deze berekende peilen zijn vergeleken met gemeten stuwpeilen en streefpeilen uit de Drentse Aa en gemeten stuw-klepstanden in de Beerze. Uit deze vergelijking komt naar voren dat het berekende drainagepeil goed overeenkomt met het gemeten stuwpeil in de Drentse Aa (afwijking in orde grootte van 2 cm). Bij toepassing van de methode in het stroomgebied van de Beerze bleek de afwijking groter (ca. -20 cm). Het, in de Beerze, systematisch lagere waterpeil berekend ter hoogte van de opgegeven klepstand is te verklaren. In de praktijk ligt een klepstand inderdaad, afhankelijk van de afvoer, enkele centimeters tot decimeters lager dan het stuwpeil. Wat in het berekende peil van de Beerze duidelijk naar voren kwam is dat met de gebruikte methode ter plekke van de stuw ook een sprong in het waterpeil (drainageniveau) berekend (figuur 6.8).

Voor de niet natuurlijke watersystemen behoeft deze methode enige aanpassing. Het waterpeil van kanalen en boezems, die vaak boven het maaiveld van de omgeving liggen, kan soms verkeerd berekend worden bij gebruik van het  $AHN_{min}$  omdat de sloot soms boven het landschap uitkomt.

**Figuur 6.8**

Berekende oppervlaktewater peil van de Beerze, met behulp van het  $AHN_{min}$  en de stroomrichting.



Tabel met gemiddelde afwijking van gemeten en berekende waterstanden.

gebied	aantal meetpunten	gemiddeld afwijking tussen berekende en gemeten peilen	standaard afwijking
Groote Beerze	6 stuwklepstanden van januari	+ 0,24 meter	0,07 meter
Drentse Aa	49 winter streefpeilen	+ 0,01 meter	0,22 meter
	43 metingen in week 46	+ 0,02 meter	0,21 meter

Van waterschap de Hunze en Aa zijn ter plekke van stuwen streefpeilen aangeleverd en in week 46 (in 2000) gemeten waterstanden. De ligging van de stuwen is aangeleverd in GIS. Sommige van deze stuwen lagen zo dicht bij elkaar dat met de 25 meter schematisatie van de beken het niet mogelijk was onderscheid te maken in welke beek een stuw precies lag. De metingen bij deze stuwen zijn buiten beschouwing gelaten. Verder bleek dat sommige stuwen net naast de geschematiseerde beken lagen. Daarom is rond de stuwen een buffer aangemaakt met een straal van ca. 50 meter. Binnen deze straal is bepaald wat de minimale verschillen waren tussen de gemeten stuwpeilen en de berekende peilen. De uitkomsten staan vermeld in bovenstaande tabel. De tijd van overvliegen van het AHN en de datum van de meting in week 46 komen waarschijnlijk niet overeen. Uit de analyse van de gegevens blijkt echter dat de gemeten en berekende peilen goed overeenkomen.



---

### 6.2.3 Conclusies

Met behulp van de STONE vuistregels kunnen drainageniveau's worden afgeleid, maar het gebruik van deze informatie in combinatie met het AHN25 (= AHN 25 m grid) leidt tot problemen bij het neerschalen. Dit is ook te verwachten, aangezien de STONE regels bedoeld zijn voor landelijke (grove) berekeningen. Het is niet eenvoudig om met behulp van de STONE vuistregels een consistent verloop van het drainageniveau (peil) te berekenen. Met andere woorden, een drainagepeil dat in de drainagerichting afloopt, een peil dat onder het (lokale) maaiveld blijft, en een peil dat gemiddeld dezelfde drainagediepte aangeeft als de oorspronkelijke STONE-schematisatie.

Vanwege de bovenstaande problemen is een nieuwe methode ontwikkeld om het drainageniveau te berekenen zonder de STONE gegevens. Het met de nieuwe methode berekende drainageniveau komt goed overeen met gemeten klepstanden in de Beerze en gemeten peilen in de Drentse Aa. De methode zorgt voor een logisch verloop in het oppervlaktewaterpeil, in de stroomrichting neemt de oppervlaktewaterstand af en het drainagepeil ligt onder het maaiveld. Voor gebieden met een onnatuurlijk afwateringssysteem met veel boezems en kanalen is de methode niet direct toepasbaar en zal die (deels) aangepast moeten worden.

### 6.3 De weerstand

In deze paragraaf worden de aanpassingen in drainageweerstand en verticale weerstand beschreven.

#### 6.3.1 De drainageweerstand

De drainageweerstand (freatische lek weerstand) is hier gedefinieerd als de weerstand die een waterdruppel ondervindt om vanuit het freatische grondwater naar een drainagemiddel te stromen. Het is een belangrijke parameter om de voedingsweerstand (zie paragraaf 4.4.2) te kunnen berekenen. In werkelijkheid is langs de drainagemiddelen de weerstand klein en naarmate de afstand tot een waterloop toeneemt neemt de weerstand toe. Om de modellen goed te kunnen parameteriseren en fluxen ook op 25 meter schaal te kunnen berekenen is de drainageweerstand op 25 meter afgeleid (zie bijlage 3). Uit deze berekening kwamen drie punten naar voren:

1. De (GIS) methode voor het bepalen van de drainageweerstand (zie hoofdstuk 4) klopt niet helemaal.
2. De berekening zoals die er lag voor de Drentse Aa is niet correct uitgevoerd.
3. De berekening per 250 m gridcel zoals die werd uitgevoerd geeft geen gemiddelde waarde voor die cel.

ad 1. Soms werd op grote afstand van de drainagemiddelen de drainageweerstand plots kleiner. Na een kleine aanpassing van de methode is een vloeiende en logische verlopende drainageweerstand berekend.

ad 2. In de module (AML's) om de drainageweerstand te berekenen bleken verkeerde variabelen te zijn ingevuld.

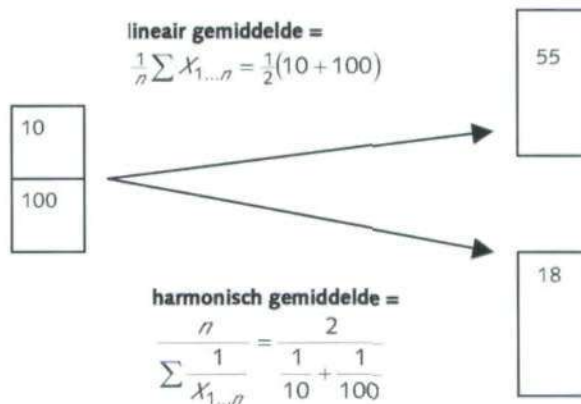
ad 3. De drainageweerstand wordt per 250 m afgeleid. Daarbij gebruikt men de waarde voor drainageweerstand in het middelpunt van die cel als representatieve waarde voor de gehele 250 m gridcel. De weerstand van dit ene punt geeft echter geen gemiddelde weer van de weerstand van de 250 m gridcel. Hydrologisch gezien is niet het lineair gemiddelde, maar het harmonisch gemiddelde van de weerstand van belang. Met de voorgaande methode wordt



(bij benadering) een lineair gemiddelde waarde berekend. Het harmonische gemiddelde is echter altijd kleiner dan het lineair gemiddelde. Vooral in de gebieden met relatief grote verschillen in de weerstand zijn de verschillen tussen harmonische en lineaire middeling groot. De gebieden met grote variatie in drainageweerstand liggen meestal langs de drainagemiddelen. Er zijn daarom per 250 m gridcel nieuwe drainageweerstanden berekend. Voor deze berekening zijn de (onder 1 bepaalde) drainageweerstanden per 25 m cel harmonisch gemiddeld.

**Figuur 6.9**

Verskil tussen lineaire en harmonische middeling bij opschaling



### 6.3.2 De verticale weerstand

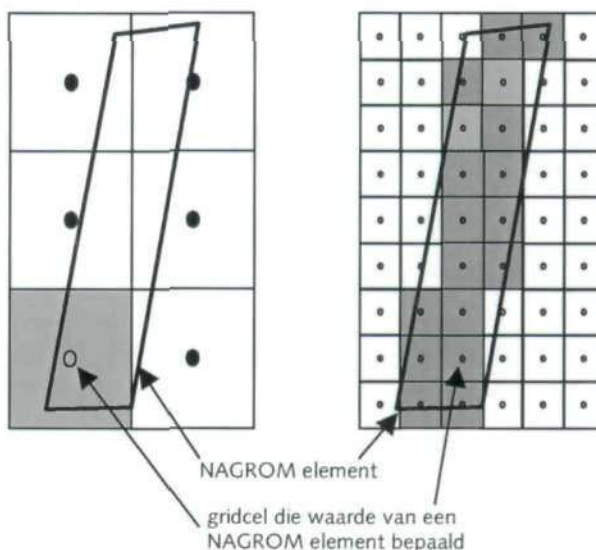
De verticale weerstand is de verticale weerstand tussen het eerste watervoerende pakket en het topsysteem. In de oude schematisatie is deze verticale weerstand tijdens het kalibreren aangepast. De beekdalen waren namelijk te nat, en de hoge gronden te droog. Nu er sprake is van een nieuwe drainagediepte en weerstand is besloten gebruik te maken van de oorspronkelijke waarden van de verticale weerstand.

### 6.4 De NAGROM schematisatie

De NAGROM schematisatie van het stroomgebied Drentse A bevat veel kleine en smalle elementen (zie figuur 4.1). Deze elementen (behalve de beeklopen) waren gevuld met informatie vanuit de 250 m grids. Bij het vullen worden de waarden van het grid aan het middelpunt van de gridcel gehangen. Ligt een middelpunt binnen een NAGROM element, dan wordt deze waarde meegenomen om het element te 'vullen'. Hierdoor ontstaat met name voor elementen die smaller zijn dan de gridgrootte de kans dat er verkeerde, of niet genoeg waarden aan een element gekoppeld worden. Daarbij komt nog dat met name in gebieden waar de NAGROM elementen smal zijn de variatie in drainageweerstand groot is. Voor deze studie is daarom gebruik gemaakt van invoergegevens gebaseerd op een 50 m grid (vanwege rekensnelheid is niet gekozen voor 25 m) zodat de gridcellen kleiner zijn dan de smallere NAGROM elementen.

**Figuur 6.10**

Weergave van hoe smalle NAGROM elementen 'gevuld' worden. Links wordt het NAGROM element gevuld met grote gridcellen, rechts met kleine gridcellen (rechts). Er is duidelijk te zien dat wanneer de gridcellen groot zijn, een element niet representatief gevuld hoeft te worden



## 6.5 De maaiveldhoogte

Het hydrologisch instrumentarium maakt gebruik van informatie over de hoogte van het maaiveld. Maaiveldhoogte wordt gebruikt als bovenkant van de onverzadigde zone, en als omslagpunt voor oppervlakkige afvoer (surface runoff).

De Meetkundige Dienst is leverancier van het Actueel Hoogtebestand van Nederland (AHN), een maaiveldhoogte bestand met een minimale dichtheid van één waarneming per 16 m<sup>2</sup>. Van de puntwaarnemingen is een grid afgeleid van 5 bij 5 meter, het AHN5. Alle maaiveld waarden binnen een 5 meter cel zijn hiervoor gemiddeld. Waar geen betrouwbare maaiveldwaarnemingen aanwezig waren (bijv. door bebouwing) is er geïnterpoleerd.

Het AHN is ook te verkrijgen als AHN25 en AHN250. Deze bestanden zijn afgeleid van het AHN5. In het AHN25 en AHN250 zit geen gemiddelde waarde van het maaiveld. De GIS methode waarmee het AHN5 is opgeschaald naar een AHN25 en AHN250 heet RESAMPLE (een Arc/Info commando in de grid module). In deze methode worden de 4 of 16 meetwaarden die het dichtst bij het middelpunt van de nieuwe cel liggen gebruikt om een waarde voor die nieuwe cel te berekenen. De waarden die verder van het middelpunt af liggen worden dus niet gebruikt. Afhankelijk van het schaalniveau kan dit voor kleine of grote (tientallen cm's) afwijkingen zorgen ten opzichte van het gemiddelde maaiveld. Voor de hydrologische modellen is echter een gemiddeld maaiveld nodig. Voor het stroomgebied Drentse A is daarom een AHN25 en een AHN250 opnieuw afgeleid van het AHN5. Hiervoor is gebruik gemaakt van het Arc/Info commando BLOCKMEAN (geeft wel het gemiddelde van alle waarden binnen een cel).



## 6.6 Resultaten aanpassing

### 6.6.1 Inleiding

Na het aanmaken van de nieuwe modelschematisatie is met het RIZA modelinstrumentarium NAGROM-MONA-MOZART opnieuw gerekend. De meest relevante uitkomsten van deze berekeningen worden hier gepresenteerd. De nieuwe uitkomsten zijn daarbij vergeleken met uitkomsten van de modellering met de 'oude schematisatie'.

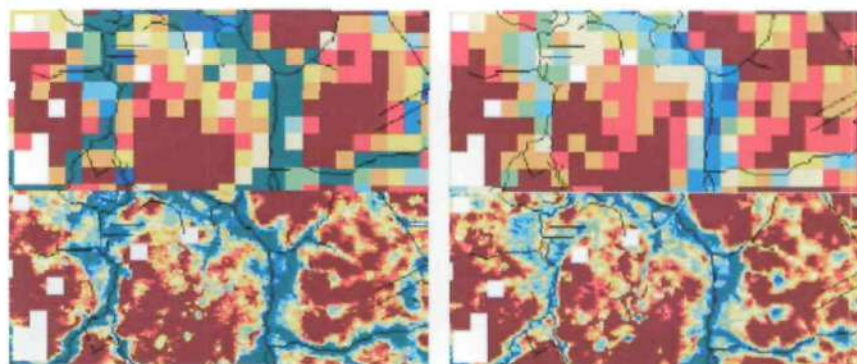
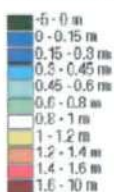
### 6.6.2 Grondwaterstanden

In figuur 6.11 zijn de nieuw berekende grondwaterstanden vergeleken met die van de 'oude schematisatie'. Met de nieuwe schematisatie is de grondwaterstand rond de beken een stuk lager geworden. Dit is logisch te verklaren doordat ook het drainageniveau met de nieuwe schematisatie lager ligt. In de gebieden wat verder van de beken af is het vaak wat natter (of minder droog) geworden. Dit komt omdat zowel de drainageweerstand (zie 6.3.1) als de verticale weerstand (zie 6.3.2) in de nieuwe schematisatie anders zijn dan in de oude.

**Figuur 6.11**

Van links naar rechts de oude en nieuwe grondwaterstanden. Van boven naar beneden de grondwaterstand op 250 m en neergeschaald (TIN) naar 25 meter niveau.

Grondwaterstand [m t.o.v. mv]



De neergeschaalde grondwaterstanden zijn ook vergeleken met door de vegetatie geïndiceerde grondwaterstanden. Hiervoor is gebruik gemaakt van de vegetatiekaart van Drenthe (zie hoofdstuk 2 en bijlage 1). Ter illustratie is figuur 6.12 toegevoegd. Uit deze figuur blijkt dat de grondwaterpatronen die geïndiceerd worden door de vegetatie overeenkomen met de patronen van de neergeschaalde grondwaterstand.

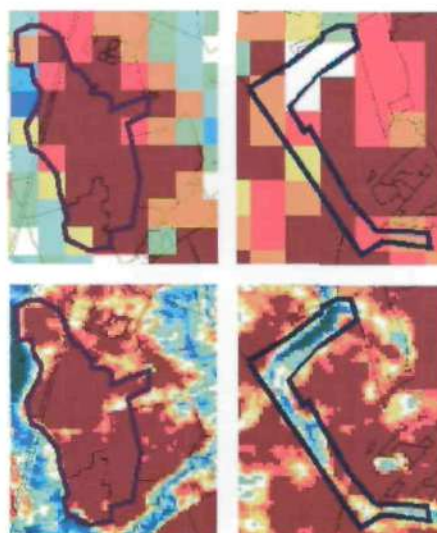
**Figuur 6.12**

In het zwart een vegetatie eenheid. Links een vegetatie met droge standplaatscondities en rechts een vegetatie die een natte grondwaterstand indiceert

Boven : grondwaterstanden (250m)

Onder : neergeschaalde grondwaterstand (25m). In de rechterplaatjes is goed te zien dat in een gebied waar op grove schaal alleen diepe grondwaterstanden berekend worden er na neerschaling ook (zoals door de vegetatie geïndiceerd) ondiepe grondwaterstanden voorkomen.

Legenda als in 6.11.



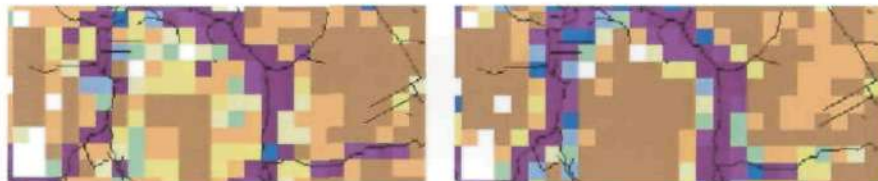
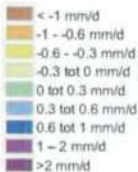


### 6.6.3 Fluxen

In figuur 6.13 staan de fluxen weergegeven zoals berekend met de oude en de nieuwe schematisatie.

**Figuur 6.13**

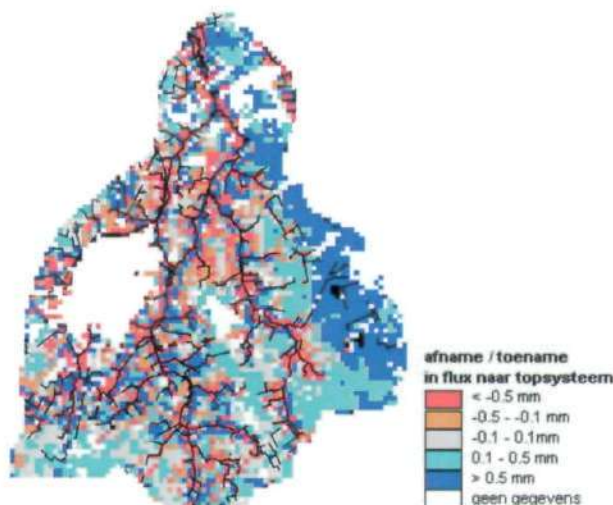
Fluxen van WVP1 naar het topsysteem. Links de 'oude' fluxen en rechts de nieuwe fluxen.



In het algemeen kan gesteld worden dat de kwelintensiteit met de nieuwe schematisatie in de beekdalen vaak iets kleiner is geworden. De flux intensiteit is vaak wat afgenomen en de kwel is meer verdeeld over het beekdal. De extremen zijn minder groot geworden. Op de hogere gronden infiltreert er over het algemeen wat minder water naar het eerste watervoerende pakket. In figuur 6.14 zijn bovenstaande beschreven patronen zichtbaar.

**Figuur 6.14**

Verandering in fluxen van WVP1 naar het topsysteem t.o.v. de flux berekend met de 'oude schematisatie'. (nieuwe flux minus oude flux).



## 6.7 Conclusies

### 6.7.1 Parametrisatie

De manier waarop de hydrologische modellen geparameteriseerd worden is belangrijk. Om de modellen goed te parameteriseren moet je de parameters het liefst afleiden op een kleiner schaalniveau dan het model. Vooral in gebieden met veel variatie (de beekdalen) is dit van belang. Zo blijft een consistente neerschaling van de hydrologische modeluitkomsten mogelijk. Bovendien kan aan parameters afgeleid op een klein schaalniveau makkelijk worden gezien of er onlogische patronen aanwezig zijn.

Om de modellen en de onderliggende parameters goed op elkaar aan te laten sluiten zou je eigenlijk een model willen hebben dat met een variabele schaalinvoer kan rekenen. Hiermee wordt bedoeld dat NAGROM-MONA-MOZART in de beekdalen met een fijnschalige modelschematisatie moet kunnen rekenen, terwijl gelijktijdig voor de hogere gronden - waar hydrologisch gezien minder variatie aanwezig is - er met een grofschalige modelschematisatie wordt gerekend. De variatie in de parameters en hydrologische randvoorwaarden worden dan optimaal meegenomen in het model. De rekencapaciteit wordt op deze manier ook optimaal benut.

---

### **6.7.2 Resultaten**

De grondwaterstand gemodelleerd met de nieuwe schematisatie lijkt een stuk realistischer te zijn geworden. De beekdalen zijn minder nat geworden en de grondwaterstand ligt nu benedenmaaiveld (volgens de verwachting). De uitkomsten lijken in ieder geval goed genoeg om verder te kunnen gaan met de ontwikkeling van een neerschalingmethode. Doordat de grondwaterstanden er nu realistischer uitzien wordt tevens verwacht dat ook de fluxen nu verbeterd zijn. Er is echter bij de grondwatermodellen geen sprake van een zo volledig mogelijk doorgevoerde calibratie. Waar de schematisatie niet verfijnd is zijn gewoon de landelijke gegevens gebruikt. Gezien het doel van dit onderzoek, ontwikkeling van een neerschalingsmethodiek, is aan de calibratie verder geen aandacht meer besteed.





# 7 Neerschalen: het vervolg

## 7.1 Inleiding

Na de noodzakelijke aanpassingen in de hydrologische schematisatie is het weer mogelijk verder te gaan met de ontwikkeling van een neerschalingmethode. Naast het neerschalen van grondwaterstanden wordt er in dit hoofdstuk ook aandacht besteed aan het neerschalen van kwelfluxen. Bij het uitsplitsten van kwelfluxen is gekeken naar een drietal onderdelen:

1. Waar komt het kwelwater voor binnen een 250 m gridcel?
2. Is het mogelijk onderscheid te maken in de herkomst (ondiep, diep) van kwel? Dit is relevant voor de waterkwaliteit.
3. Kan het kwelwater ook de wortelzone bereiken? Dit is van belang wil het kwelwater ook van invloed zijn op de vegetatie.

Gebieden met kwel hebben vaak een vrij constante grondwaterstand. Daarom is eerst gekeken naar de mogelijkheden om de kwelflux neer te schalen binnen een 250 m gridcel.

## 7.2 Neerschalen van de verticale flux

In NAGROM wordt de flux van het diepe grondwater naar het topsysteem berekend. Dit gebeurt binnen NAGROM per element. Het MONA instrumentarium bevat een module (Kroon et al, in prep.) die op basis van o.a. drainageweerstand en stijghoogte deze NAGROM flux per element kan omzetten naar een flux per MOZART plot (250 m gridcel). De module werkt als volgt. Op basis van stijghoogte  $p^*$  en  $c^*$  wordt een flux per MOZART cel berekend (vergelijking 4.4). Vervolgens wordt per NAGROM element bekeken of de totale flux van de cellen overeen komt met die van het NAGROM element. Indien nodig wordt er een correctie uitgevoerd door de verschil flux te verdelen over de 'MOZART cellen'.

De rekenregels voor de bovenstaande MONA module zijn schaalonafhankelijk. Voor deze studie is de module ook gebruikt om fluxen te berekenen op 25 meter niveau. Voorwaarde is dan wel dat ook de invoer op dit schaalniveau (25 m) bekend dan wel berekend is. Wordt er voor bepaalde invoer nog gebruik gemaakt van waarden op 250 meter niveau dan zal dit uiteindelijk ook zichtbaar worden in de uitvoer. Schematisatie op 25 m niveau is mogelijk voor  $C_{\text{drain}}$  (bijlage 3),  $p$  (bijlage 4)<sup>3</sup> en  $\phi$  (bijlage 5). Helaas blijken niet alle invoerparameters op 25 meter niveau te kunnen worden bepaald. De door MOZART berekende *grondwateraanvulling* is alleen op 250 meter niveau bekend. Door de grondwateraanvulling te 'smoothen' (FOCALMEAN in Arc/Info) worden de overgangen van de ene naar de andere gridcel vloeiend. Gemiddeld verandert de grondwateraanvulling niet. Alleen lokaal zal deze wat afwijken van de oorspronkelijk berekende grondwateraanvulling. Voor de waarden van de *verticale weerstand* geldt hetzelfde als voor de grondwateraanvulling. Ook deze moet 'gesmoothed' worden om een redelijk continu verloop te krijgen op 25 meter schaal. De stijghoogte wordt continue in

<sup>3</sup> Voor het primaire en secundaire peil is de methode uit paragraaf 6.2.2. gebruikt. Voor de tertiaire peilen is de ontwateringsdiepte volgens STONE gebruikt in combinatie met een gedetailleerde ligging van de drainagemiddelen.

de ruimte berekend door NAGROM en kan dus per 25 meter cel worden opgevraagd. Met deze bewerkingsschappen is alle invoer voor de MONA module op 25 m niveaugegevens beschikbaar. Vervolgens is opnieuw een verticale flux berekend op 25 m niveau.

**Figuur 7.1**

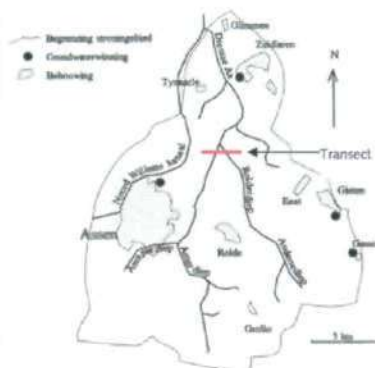
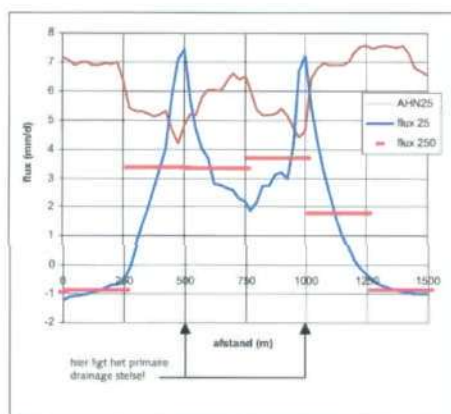
De flux van WVP1 naar het topsysteem links op 250 m niveau en rechts neergeschaald naar 25 m niveau.



Het ruimtelijk patroon van de met deze methode berekende flux ziet er over het algemeen logisch uit. Soms zijn er echter sprongen op grenzen van NAGROM elementen of MOZART gridcellen. Deze sprongen liggen meestal in de infiltratie gebieden. De fluxverdeling verloopt verder redelijk continu en de pieken in de flux liggen ter plekke van de drainagemiddelen. In figuur 7.2 wordt een dwarsdoorsnede gegeven van een transect haaks op twee takken van de Drents Aa

**Figuur 7.2**

Dwarsprofiel en ligging transect, met daarin weergegeven het AHN25, de gemiddelde flux en de berekende verfijnde flux per 25 meter. Het is duidelijk te zien dat de extremen in de neergeschaalde fluxen groter zijn dan in de gemiddelde fluxen.



De neerschaling laat een grote variatie zien in de verticale flux binnen een 250 m gridcel. Tevens laat figuur 7.2 zien dat er een duidelijke relatie is tussen de berekende verticale flux op 25 meter niveau en de ligging van de drainagemiddelen. De ligging van de kwelgebieden (kwelpatronen) zijn na neerschaling wat scherper zichtbaar vergeleken met de kwelkaart op 250 m gridcel basis.

### 7.3 Neerschalen van freatische grondwaterstanden op basis van NAGROM stijghoogten

Na het neerschalen van de verticale flux is verder gekeken hoe de grondwaterstanden kunnen worden neergeschaald. Het doel is hierbij een methode te vinden die rekening houdt met de ligging van het drainagesysteem (zie ook paragraaf 5.4). Bij de in deze paragraaf beschreven methode is gebruik gemaakt van de neergeschaalde verticale fluxen, weerstanden en stijghoogten.

#### 7.3.1 Ruimtelijke variabiliteit

De relatie tussen verticale flux, stijghoogte, freatische grondwaterstand en verticale weerstand wordt weergegeven in de volgende vergelijking van Darcy:

$$s = \frac{\bar{q} - \bar{h}}{C_1} \quad (7.1)$$



met

$\bar{s}$	tijd gemiddelde flux	[m/d]
$\bar{\varphi}$	tijd gemiddelde stijghoogte	[m]
$\bar{h}$	tijd gemiddelde freatische grondwaterstand	[m]
$C_1$	verticale weerstand	[d]

Van deze vergelijking zijn alle parameters bekend op 25 meter niveau, behalve de gemiddelde grondwaterstand. Dit betekent dat de grondwaterstand per 25 meter cel berekend kan worden met vergelijking 7.1. De vergelijking kan worden herschrijven tot:

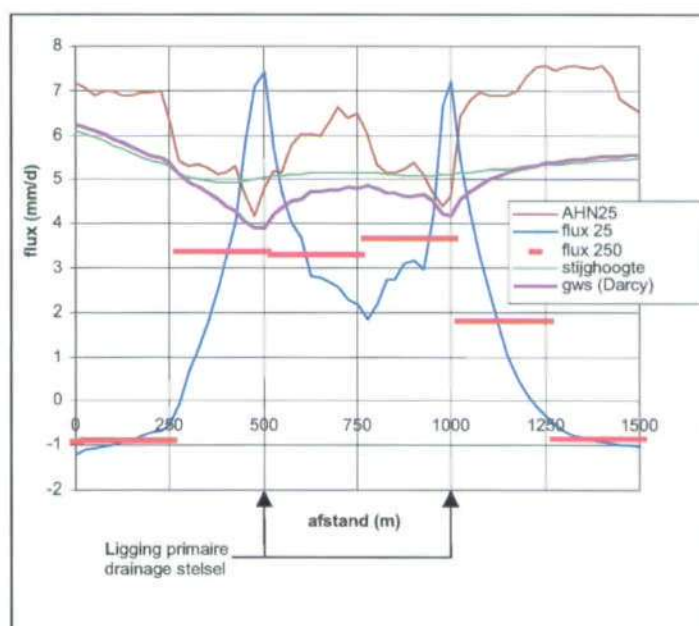
$$\bar{h} = \bar{\varphi} - \bar{s} \cdot C_1 \quad (7.2)$$

Bij het berekenen van de freatische grondwaterstand wordt de inmiddels neergeschaalde flux gebruikt. Bij de neergeschaalde flux wordt rekening gehouden met de ligging van het drainagesysteem. De freatische grondwaterstand is hierdoor nu ook gebaseerd op de ligging van de drainagesysteem. Waar de flux groot is zal de freatische grondwaterstand relatief laag zijn. Verder van de drainagemiddelen af is de flux geringer en zal de grondwaterstand opbollen. De freatische grondwaterstand wordt nu berekend t.o.v. NAP zonder een directe terugkoppeling met de maaiveldshoogte. Om te kijken of de berekende grondwaterstand betrekking heeft op een reële waarde is gecontroleerd of de grondwaterstand niet boven het maaiveld uit komt. In figuur 7.3 is te zien dat dit niet het geval is, maar dit komt wel voor in andere delen van het studiegebied.

Een mooi resultaat van de neerschaling met NAGROM stijghoogten is dat de berekende grondwaterstand op de dwarsdoorsnede een keurige opbolling laat zien. Iets wat ook in werkelijkheid verwacht mag worden. Figuur 7.3 laat de ruimtelijke variatie in de grondwaterstand zien voor het deelgebied (zie bijlage 5 voor het hele gebied). De beekdalen zijn duidelijk te herkennen en de grondwaterstand ligt verder overal onder het maaiveld.

**Figuur 7.3**

Dwarsprofiel, met o.a. de stijghoogte en de flux per 25 meter. Met deze twee parameters en de verticale weerstand ( $C_1$ ) is de freatische grondwaterstand per 25 meter berekend. In de figuur is de opbolling tussen de twee waterlopen goed te zien





### 7.3.2 Temporele variabiliteit

In de voorgaande paragraaf is aangegeven hoe een gemiddelde grondwaterstand kan worden uitgesplitst naar 25 m niveau. We zijn echter ook geïnteresseerd naar een uitsplitsing in de tijd, bijvoorbeeld voor het vaststellen van een GHG, GLG en GVG. Daarvoor wordt de volgende procedure voorgesteld.

MOZART geeft per gridcel van 250 m een grondwaterstand per decade, op basis waarvan een inschatting van de GHG, GLG en GVG per 250 m gridcel gegeven kan worden. In principe wordt de GVG, GHG, en GLG berekend op basis van 8 jaar. Voor het jaar 1985 is geanalyseerd dat de GHG en GLG representatief zijn. In deze studie is de berekening gebaseerd op het jaar 1985. Tevens is het mogelijk om een gemiddelde grondwaterstand per 250 m gridcel te berekenen. Door bijvoorbeeld per 250 m gridcel de gemiddelde grondwaterstand af te trekken van de GHG en GLG kan een verschil in grondwaterstand worden verkregen per 250 m gridcel. Deze verschil grondwaterstanden kunnen vlakdekkend geïnterpoleerd worden naar een 25 m schaal met behulp van lineaire interpolatie (zie methode in hoofdstuk 5). Deze geïnterpoleerde verschil grondwaterstand kan per 25 m gesuperponeerd worden op de met Darcy (zie par. 7.3) berekende gemiddelde grondwaterstand (ook bekend per 25 m). Dit resulteert in een GHG, GLG, GVG per 25 meter cel. Grondwaterstanden die boven maaiveld uit komen moeten op maaiveld worden 'afgekapt'. Er deze situaties wordt namelijk aangenomen dat dit water via oppervlakkige afstroming (surface runoff) terecht zal komen in de drainagemiddelen. Nadeel van deze methode is wel dat in de verschilgrondwaterstanden geen ligging van de drainagemiddelen expliciet is meegenomen.

### 7.3.3 Confrontatie resultaten "NAGROM stijghoogte methode" met MOZART

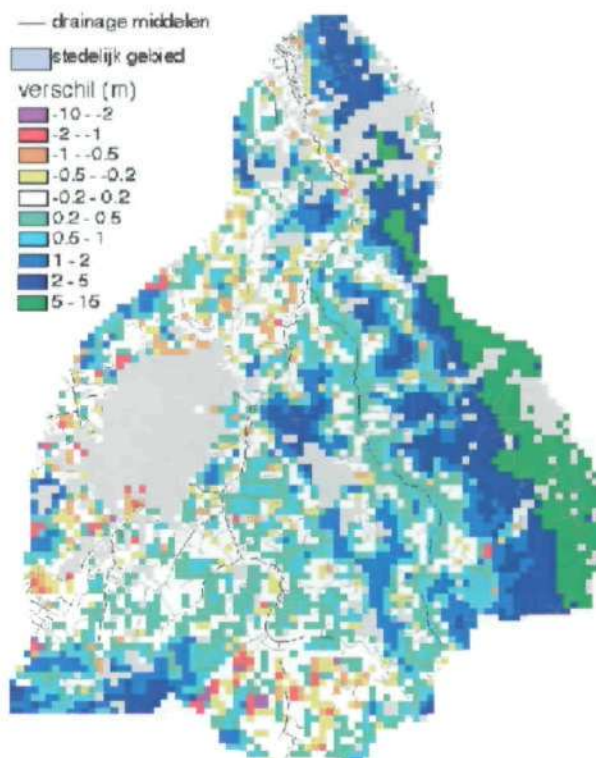
De Darcy methode levert niet zozeer neergeschaalde resultaten van de hydrologische modeluitkomsten op, als wel een nieuw (op 25 m gridcel niveau) berekende grondwaterstand. Dit grondwaterstandsverloop lijkt reëel. De vraag is echter hoe deze getallen zich verhouden met de resultaten van MOZART gebaseerd op de nieuwe schematisatie (hoofdstuk 6). Om hier een vergelijking te kunnen maken zijn de op basis van de Darcy methode berekende grondwaterstanden op 25 m niveau opgeschaald naar een 250 m grid. Dit is gedaan door een lineaire middeling. Vervolgens is de gemiddelde freatische grondwaterstand per 250 meter cel berekend met MOZART en afgetrokken van de opgeschaalde uitkomsten. Het resultaat van deze vergelijking is te zien in figuur 7.4.

Zoals in deze figuur is te zien zijn de afwijkingen groot. Het komt er op neer dat de freatische grondwaterstand van MOZART meestal hoger ligt dan de met NAGROM stijghoogte berekende grondwaterstand. Vooral in de droge gebieden, waar weinig drainage is, kan het verschil erg groot worden.

De invoer voor beide methoden is gelijk. Verwacht was dat de berekende grondwaterstanden dan ook ongeveer overeen zouden moeten komen. De verschillen zijn echter dermate groot dat onderzocht is hoe de verschillen ontstaan. Het lijkt er namelijk op dat er iets niet klopt in het toegepaste koppelingsconcept tussen MOZART en NAGROM.

**Figuur 7.4**

Verskil tussen de grondwaterstand berekend met MOZART en de grondwaterstand berekend met de Darcy methode. Er is duidelijk te zien dat in de drogere (hogere) gebieden de verschillen groot kunnen worden. In de natte, lage, goed gedraineerde, gebieden zijn de verschillen klein.



## 7.4 Nadere analyse van de hydrologische modellen

De verschillen in de hoge gebieden zijn opmerkelijk. De met NAGROM stijghoogte berekende grondwaterstand is hier veel lager (2-8 meter) dan de door MOZART gemodelleerde grondwaterstand. De verticale weerstand varieert in deze gebieden van 200 tot 500 dagen. Bij een flux van 1 mm per dag en gebruik makend van vergelijking 7.2 zou het verschil tussen grondwaterstand en stijghoogte maar 0,20 tot 0,50 m mogen bedragen.

### 7.4.1 NAGROM

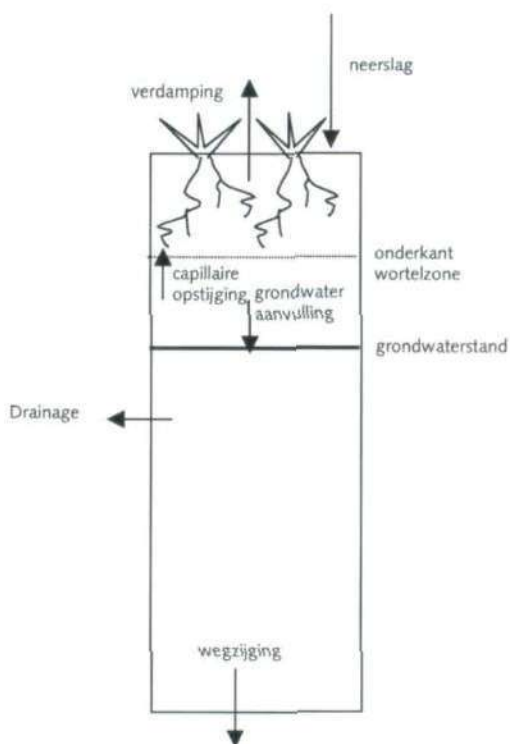
NAGROM berekent zijn stijghoogte onder andere op basis van drainage peil, grondwateraanvulling, weerstand. De grondwateraanvulling zoals die NAGROM in gaat is een resultante van MOZART. De grondwateraanvulling is onderzocht en ziet er (in eerste instantie) plausibel uit. Er wordt een aanvulling berekend van ca. 0.5 tot 1.1 mm/d, overeenkomstig met het gemiddelde neerslagoverschot.

NAGROM berekent de fluxen naar het topsysteem en de stijghoogte. Deze fluxen naar het topsysteem wordt door MOZART weer gebruikt om de grondwaterstand in het topsysteem te berekenen. Voordat MOZART begint met het berekenen van de grondwaterstand wordt een begin grondwaterstand aangenomen. Deze begin grondwaterstand is berekend op basis van de drainagediepte van het tertiaire systeem, waarna er één 'inspeeljaar' gehanteerd is om de grondwaterstand op het juiste niveau te laten komen. In de berekening wordt de waterbalans bijgehouden met posten als neerslag, verdamping en kwel. De bergingsverandering van deze balans komt tot uiting in de grondwaterstand (schematisch weergegeven in figuur 7.5)



**Figuur 7.5**

Schematische weergave van hoe MOZART werkt in de droge gebieden van Nederland. De grondwaterstand zakt uit naar beneden de wortelzone, zodat er een evenwicht ontstaat tussen de grondwateraanvulling en de wegzijging



In de hoge gebieden is de wegzijging min of meer gelijk aan de grondwateraanvulling. De grondwaterstand ligt relatief diep ten opzichte van het maaiveld en er is een hoge drainageweerstand (= weinig drainage). Omdat er nauwelijks drainage plaatsvindt zal de grondwaterstand niet meer veranderen. Dit heeft tot gevolg dat juist in deze gebieden de begin grondwaterstand erg belangrijk is. Als deze vlak onder maaiveld gekozen wordt zakt de grondwaterstand naar beneden. Komt de grondwaterstand onder de wortelzone dan zal die, bij evenwicht van grondwateraanvulling en wegzijging, niet meer veranderen. *In dit geval zal de grondwaterstand blijven 'hangen', onafhankelijk van de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket!* In de koppeling tussen NAGROM en MOZART is immers geen stijghoogte verwerkt.

Na deze bevindingen rijst de vraag of de koppeling NAGROM/MOZART wel op deze manier kan, in met name de hogere gebieden. Uit vergelijking 7.1 blijkt dat voor het beschrijven van de interactie van de freatische grondwaterstand met het diepe grondwater er drie parameters nodig zijn. Namelijk de flux, de stijghoogte en de verticale weerstand. In MOZART worden geen parameters ingevoerd waarin de stijghoogte en de verticale weerstand direct tot uiting komen. *De berekende freatische grondwaterstand hoeft dus niet in evenwicht zijn met het diepe grondwater!* Er zijn 2 verschillende mogelijkheden om dit probleem te ondervangen:

1. De koppeling tussen NAGROM en MOZART wordt zo veranderd dat er aan MOZART voldoende parameters (stijghoogte, flux en weerstand) wordt meegegeven dat de freatische grondwaterstand in evenwicht is met het diepe grondwater.
2. De begin-grondwaterstand van MOZART wordt berekend op basis van NAGROM stijghoogte (zie 7.3). Hierbij wordt verondersteld dat deze begin-grondwaterstand de gemiddelde grondwaterstand is van een MOZART cel gedurende een jaar.



---

In de gedraineerde gebieden (ook vaak de natte gebieden) is het verschil tussen de met beide methodes berekende grondwaterstand vaak klein. Dit kan als volgt worden verklaard. In de gedraineerde gebieden is vaak sprake van kwel en een lage drainageweerstand (en dus veel afwatering naar de drainagemiddelen). De drainagepeilen en weerstanden zijn in zowel MOZART als NAGROM geschematiseerd. In gebieden met kwel is het drainagepeil zeer bepalend voor de freatische grondwaterstand (MOZART) en de stijghoogte (NAGROM). In deze gebieden geldt dat er een redelijk evenwicht is tussen het diepe en ondiepe grondwater.

#### **7.4.2 Synthese**

Al eerder bekend was dat in echte infiltratie gebieden zoals de Veluwe een op flux gebaseerde koppeling tussen een onverzadigde en verzadigde zone model niet geoorloofd is. Uit de gemaakte berekeningen in dit hoofdstuk blijkt dat de koppeling ook misgaat in gebieden die niet als volledig infiltratie gebied gekenmerkt worden.

Het bovenstaande probleem betekent in feite dat we weer moeten terug gaan naar de basis (de hydrologische modellen) willen we uiteindelijk verder kunnen komen met een goede neerschaling. Dit wil echter niet zeggen dat als de modellen nu wel goed gekoppeld zijn alle uitkomsten sterk zullen veranderen. Zo zullen de fluxen van en naar het eerste watervoerend pakket waarschijnlijk weinig veranderen

Hoe de freatische grondwaterstand zal veranderen als MOZART en NAGROM wel op een juiste manier gekoppeld zijn is moeilijk te voorspellen. In de gebieden met veel drainage en kwel zal het drainagepeil de (freatische) grondwaterstand sterk blijven beïnvloeden. De grondwaterstand zal hier waarschijnlijk weinig veranderen. De grootte van de verticale flux en de ligging van kwelgebieden kunnen mogelijk wel gaan veranderen. Een aanpassing in het koppelingsconcept heeft dus mogelijk met name invloed op de ligging van de overgangsgebieden van inzijging naar kwel. In de hoge gebieden zullen de grondwaterstanden waarschijnlijk gaan veranderen, maar dat is minder relevant voor standplaatsmodellering aangezien hier de grondwaterstand veelal ver beneden de wortelzone ligt. Verder zullen de fluxen hier ongeveer gelijk blijven.

Aangezien het aanpassen van het hydrologisch modelinstrumentarium niet het hoofddoel was van de studie zal dit hier niet verder worden opgepakt. In de hierop volgende paragraaf wordt nog wel gekeken naar een mogelijke methode om onderscheid te kunnen maken tussen ondiepe en diepe kwel, en hoe kan worden bepaald of de kwelstroom ook de wortelzone kan bereiken.

## 7.5 Onderscheid tussen "lokale" en "regionale" kwelstromen

Zoals uit paragraaf 7.2 blijkt kan met het modelinstrumentarium een flux tussen het topsysteem en het eerste watervoerend pakket (WVP1) gegenereerd worden per 25 meter cel. In deze paragraaf zal gekeken worden naar de herkomst van de kwel. Het type kwel kan namelijk van grote betekenis zijn voor de waterkwaliteit in een gebied. Welke chemische samenstelling de kwel heeft hangt af van waar het kwelwater vandaan komt, door welke ondergrond het water heeft gestroomd en hoe lang de kwel onderweg is geweest. Er wordt hier een onderscheid gemaakt tussen:

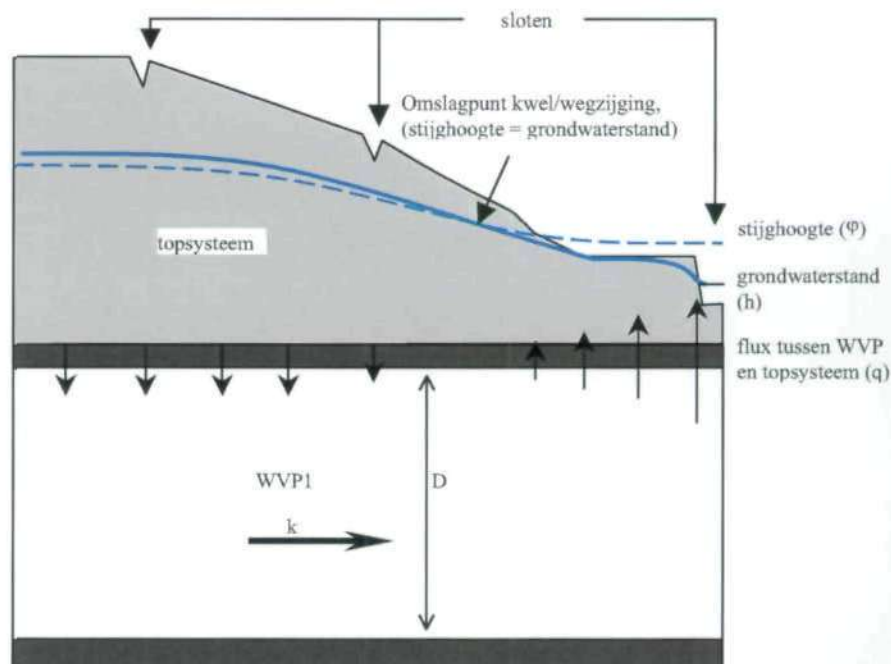
1. lokale ofwel ondiepe kwel: gevoed vanuit de directe omgeving dat nog niet zolang door de bodem heeft gestroomd (maximaal 30 jaar);
2. regionale ofwel diepe kwel: gevoed door inzijsgebieden gelegen in de regio. Dit type kwelwater heeft een doorstroomtijd van meer dan 30 jaar (tot zelfs honderden tot duizenden jaren).

Om deze herkomst van het kwelwater te bepalen zijn verschillende gegevens nodig (en beschikbaar), te weten: de flux ( $q$ , stationair), de stijghoogte ( $\varphi$ , stationair), de doorlatendheid ( $k$ ) en de dikte ( $D$ ) van het WVP1. In figuur 7.6 is deze informatie schematisch weergegeven.

Voor onderstaande methode geldt wel de aannamen dat de ondiepe kwel alleen via het eerste watervoerende pakket stroomt en niet via het tweede watervoerende pakket. Als de scheidende laag tussen WVP1 en WVP2 weinig weerstand heeft en dun is, en  $kD1$  veel kleiner is dan  $kD2$ , moet ook WVP2 in de methode worden betrokken.

**Figuur 7.6**

Schematische weergave van het topsysteem en de fluxen tussen het topsysteem en het watervoerende pakket. Waar de grondwaterstand hoger ligt dan de stijghoogte is de flux naar beneden gericht, in de andere gebieden naar boven.

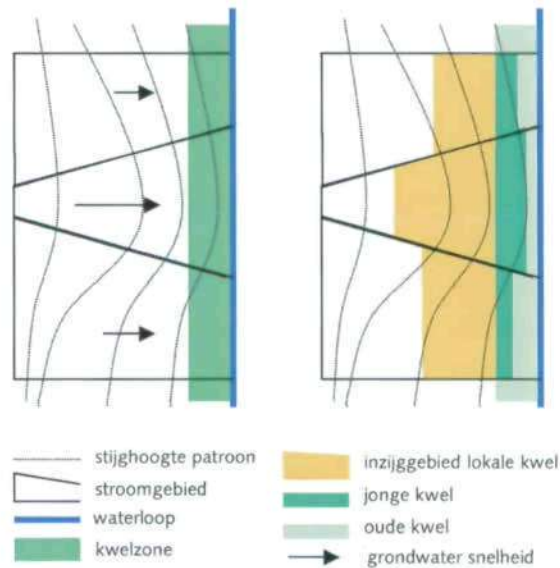


Met behulp van de stijghoogte kan een stromingsrichting in het WVP1 bepaald worden, evenals een waterscheiding en een 'stroomgebied'. Nemen we ook de  $k$ -waarde in beschouwing dan kan ook een stroomsnelheid in het WVP1 berekend worden.

Er is dus aangenomen dat water in het topsysteem verticaal stroomt en dat 'ondiepe' kwel niet via het 2<sup>e</sup> WVP stroomt. Voor de ondiepe kwel geldt dan dat deze binnen het stroomgebied is ingezegen. Er kan nu vanaf het omslagpunt kwel/wegzijging berekend worden tot waar het water (stroomopwaarts) jonger is dan 30 jaar. De hoeveelheid water die in dit gebied inzijgt kwelt op als ondiep/jong grondwater (figuur 7.7 en 7.8).

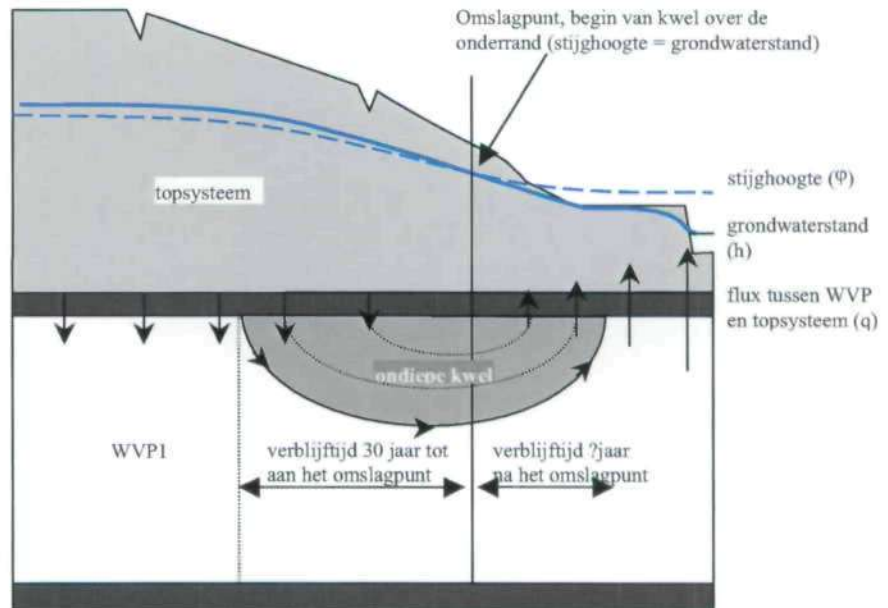
**Figuur 7.7**

Bovenaanzicht van kwelpatroon.  
links: gegevens en kwel uit hydrologisch  
instrumentarium  
rechts: te berekenen kwelpatroon



**Figuur 7.8**

Schematische weergave van een kwel en  
inzijg patroon

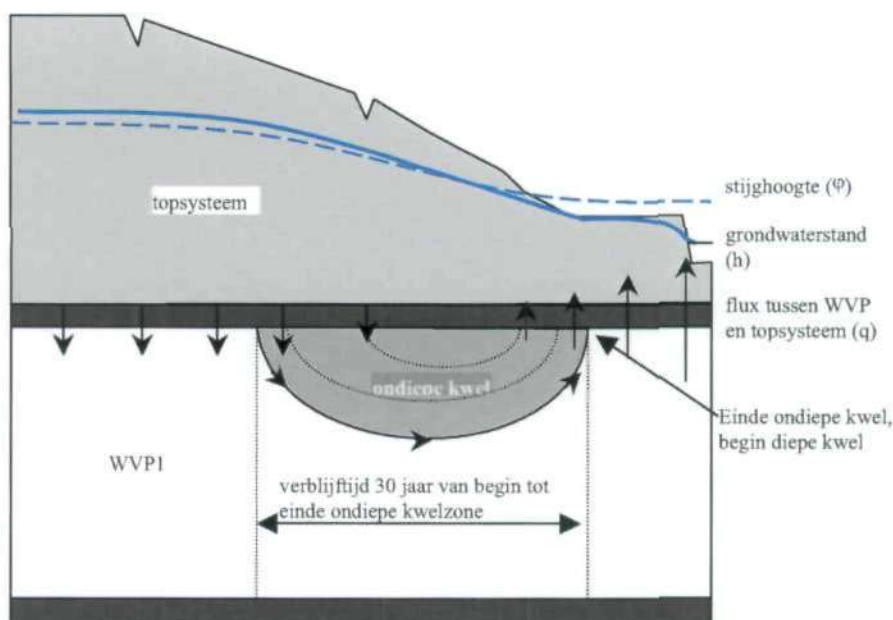


Na het omslagpunt zal het ingezegen water ook nog door WVP1 stromen. Er wordt dus een overschatting van de ondiepe/jonge kwel gemaakt. Deze overschatting kan iteratief worden opgelost door bij de 2<sup>de</sup> schatting 30 jaar terug te gaan vanaf het einde van de ondiepe flux zone in plaats van het omslagpunt.



**Figuur 7.9**

Schematische weergave van het bepalen van de ondiepe kwelzone.



Na deze actie kan een inschatting worden gemaakt waar het oude grondwater vanuit het eerste watervoerende pakket terug stroomt/kwelt naar het topsysteem. Daarnaast kan een indicatie gegeven worden van de herkomst van het water. Of deze kwel ook in de wortelzone van de vegetatie kan komen is na deze actie nog niet bekend. Op de mogelijkheden om daar iets over te zeggen wordt ingegaan in de volgende paragraaf.

## 7.6 Neerschalen van kwel naar het topsysteem

Deze paragraaf richt zich op de mogelijkheden om aan te geven hoe de kwelstromen zich binnen het topsysteem verdelen. Dit is een belangrijk punt aangezien het voor de vegetatie tamelijk relevant is of de kwel in de wortelzone kan komen en dus daadwerkelijk invloed heeft op de standplaatscondities.

### 7.6.1 het topsysteem

In tabel 7.1 zijn de voornaamste parameters gegeven, en de schaal waarop deze bekend zijn, die volgens het hydrologisch model van invloed zijn op de waterbalans van het topsysteem.

**Tabel 7-1**

De schaal waarop verschillende parameters, die van invloed zijn op de waterbalans van het topsysteem, bekend zijn

Parameter	25m schaal	250m schaal
Grondwaterstand	●	●
Maaiveld	●	●
Drainageweerstand	●	●
Drainagepeil	●	●
Drainagevlak	●	●
Fluxen naar het topsysteem	●	●
Grondwateraanvulling		●
Fluxen naar drainagemiddelen		●
Grondwaterstand in de tijd (GHG, GLG)		●
Oppervlakkige afvoer		●
Waterbalans van de wortelzone		●
Bodemopbouw		●

---

Zoals uit bovenstaande tabel blijkt zijn veel parameters op 250 m bekend. Veel van deze parameters kunnen niet zomaar neergeschaald worden naar een lager niveau. Andere parameters zullen op 25 m niveau niet bekend worden (bijvoorbeeld, bodemopbouw relevant i.v.m. lokaal ondoorlatende bodemlagen). Elke mogelijke methode zal daardoor altijd slechts een benadering geven van de hydrologische condities op 25 m niveau. Hieronder worden de parameters uit tabel 7.1 afzonderlijk doorgenomen op hun specifieke mogelijkheden c.q. moeilijkheden voor het verschalen.

### **Grondwaterstand**

De grondwaterstand is bekend op verschillende schaalniveaus. In voorgaande hoofdstukken is hier al uitvoerig op ingegaan. Voor inschatten van de fluxen in de wortelzone (op 25 m) kan er een waterbalansfout ontstaan op het moment dat de grondwaterstand boven maaiveld wordt berekend, en vervolgens op maaiveld wordt afgekapd.

### **De grondwaterstand in de tijd**

In paragraaf 7.3.2 wordt een voorstel gedaan om MOZART te gebruiken om een inschatting te krijgen van de grondwaterstand in de tijd. De verschaling, waarbij verschil waterstanden van 250 m cellen lineair geïnterpoleerd worden, zal soms waterstanden boven maaiveld genereren. Hiervoor moet gecorrigeerd worden door op maaiveld de grondwaterstand af te kappen.

Het nadeel van deze methode is dat de ligging van de drainagemiddelen niet helemaal wordt meegenomen. De op deze manier gegenereerde grondwaterstanden geven waarschijnlijk wel een beter beeld van welke grondwaterstanden er binnen een MOZART cel voorkomen, maar zijn misschien minder bruikbaar om de grondwaterstroming binnen een cel te berekenen.

### **Maaiveld**

Is zowel op 5, 25 en 250 meter schaal niveau aanwezig.

### **Drainageweerstand**

De drainageweerstand is o.a. gebaseerd op de ligging van de drainagemiddelen en eigenschappen van de ondergrond. De ligging van de drainagemiddelen is nauwkeurig bekend. De geologische kaart heeft echter een grovere schaal dan 25 m. Bij gedetailleerd gebruik van de drainageweerstand moet hier rekening mee gehouden worden.

### **Drainagepeil en -vlak**

Het drainagepeil (zie hoofdstuk 6) is redelijk nauwkeurig bekend op 25 m niveau, maar kan lokaal altijd wat afwijken van de werkelijkheid. Drainagepeilen in de tijd zijn niet bekend, maar kunnen wel invloed hebben op de waterbalans in de wortelzone. Het drainagevlak wordt afgeleid van het drainagepeil door lineaire middeling m.b.v. een TIN (zie hoofdstuk 5 voor uitleg TIN). Deze specifieke middeling levert soms ongewenste resultaten, omdat de ruimtelijk verdeling van de punten waartussen geïnterpoleerd wordt niet ideaal is. Opgeschaald naar 250 meter schaal wordt dit effect weggemiddeld, maar bij gebruik op 25 meter schaal zou de interpolatie methode aangepast moeten worden.

### **Fluxen naar het topsysteem**

De fluxen van WVP1 naar het topsysteem zijn op 25 m niveau bekend, maar lokaal niet altijd even nauwkeurig. De verticale weerstand en horizontale weerstand die gebruikt zijn hebben feitelijk een nauwkeurigheid van 250 m.

### Fluxen naar de drainagemiddelen.

In het eerste deel van het hoofdstuk zijn de fluxen van en naar het topsysteem neergeschaald. Hier wordt bekeken wat de fluxen (op 25m schaal) naar de drainagemiddelen zijn. Met behulp van een grondwaterstand, het drainagevlak (= ontwateringsbasis; zie figuur 7.10) en de drainageweerstand kan een flux naar de verschillende drainagesystemen worden berekend op 250 m niveau. Dit kan met behulp van de vergelijking:

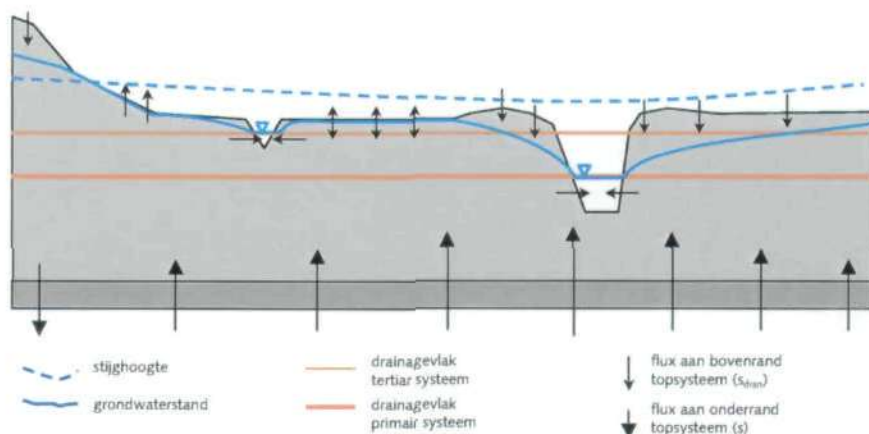
$$s_{dran} = \frac{\bar{h} - \bar{h}_{dran}}{C_{dran}} \quad (7.3)$$

met:

- $\bar{h}_{dran}$  hoogte van het drainagevlak (bruine lijn)
- $\bar{h}$  hoogte freatische grondwaterstand (blauwe lijn)
- $C_{dran}$  drainage weerstand
- $s_{dran}$  flux van topsysteem naar drainagemiddel

**Figuur 7.10**

Schematisering van het drainagevlak.



De gemiddelde grondwaterstand en drainageniveau in vergelijking 7.3 zijn geen lineaire gemiddelden, maar weerstand gewogen gemiddelden. In tabel 7.2 wordt een voorbeeld gegeven van wat er kan gebeuren bij lineaire schaling van  $\bar{h}$  en  $\bar{h}_{dran}$ .

**Tabel 7.2**

Een rekenvoorbeeld met vergelijking 7.3 voor twee schaalniveau's met lineaire schaling van  $\bar{h}$  en  $\bar{h}_{dran}$ .

	schaal 1	schaal 2 (neergeschaald met factor 2)	
$\bar{h}$ (m)	10.5	10	11
$\bar{h}_{dran}$ (m)	9.5	10	9
$C_{dran}$ (d)	18.2	10	100
$s$ op schaal 1 (mm/d)		0	20
$s$ op schaal 2 (mm/d)	55	10	

De grondwaterstand ( $\bar{h}$ ) op schaal 1 is gemiddeld gelijk aan die van schaal 2, evenals het drainagevlak ( $\bar{h}_{dran}$ ). De drainageweerstand van schaal 1 is gemiddeld ook gelijk aan de drainageweerstand ( $C_{dran}$ ) van schaal 2, mits er een harmonisch gemiddelde wordt genomen (zie paragraaf 6.3). Met vergelijking 7.3 kan dan een flux naar de drainagemiddelen worden berekend. Deze flux is voor schaal 1 gemiddeld zodat deze kan worden vergeleken met de flux van schaal 2. De fluxen blijken niet overeen te komen. Dit principe is niet nieuw. Door Vermulst en de Lange (1999) is een soort gelijke situatie beschreven en in MONA toegepast.



Om de MOZART fluxen wel juist te verscalen moeten de gemiddelden van  $h_{dran}$  en  $h$  berekend worden met een naar weerstand gewogen gemiddelde. Hierbij geldt dan: hoe minder drainageweerstand bij een  $h$  hoort, hoe groter de invloed van deze  $h$  op het gemiddelde.

De gemiddelde grondwaterstand wordt dan:

$$\bar{h} = \sum_{i=1} \frac{h_i}{C_{dran\ i}} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1} \frac{1}{C_{dran\ i}}} \quad (7.4)$$

Een zelfde vergelijking is op te stellen voor  $h_{dran}$ .

De verschaling van schaal 2 naar schaal 1 zou dan het volgende resultaat hebben.

**Tabel 7.3**

Een rekenvoorbeeld met vergelijking 7.3 en 7.5 voor twee schaalniveau's met weerstandsgewogen schaling van  $h$  en  $h_{dran}$ .

	schaal 1	schaal 2 (neergeschaald met factor 2)	
$h$ (m)	10.09	10	11
$h_{dran}$ (m)	9.91	10	9
$C_{dran}$ (d)	18.2	10	100
$s$ op schaal 1 (mm/d)		0	20
$s$ op schaal 2 (mm/d)	10	10	

Om op deze manier de grondwaterstand van MOZART op te schalen is betrekkelijk eenvoudig. Tot op heden is deze manier van schalen echter nog niet gebruikt bij het parameteriseren van het topsysteem. Zoals geïllustreerd in tabel 7.3 kan dit verschillen opleveren. Deze verschillen ontstaan vooral in die gebieden met een grote variatie in fluxen. Om de MOZART grondwaterstand neer te schalen met bovenstaande methode is niet eenvoudig.

De grondwaterstand zoals berekend met de "Darcy methode" (zie paragraaf 7.3), op basis van de stijghoogte in WVP1 en de verticale weerstand geeft betere mogelijkheden om de fluxen naar het drainagesysteem te verfijnen. In deze benadering zit de opbolling door de drainageweerstand al verwerkt. Het is echter de vraag (voor een vervolg onderzoek) in hoeverre de gesommeerde flux overeenkomt met de door MOZART berekende flux. Theoretisch zouden de fluxen overeen moeten komen. Met de "Darcy grondwaterstand" kan dan de flux naar de drainagemiddelen per 25 m cel berekend worden.

Het is mogelijk dat de neergeschaalde grondwaterstand boven maaiveld uitkomt. Deze grondwaterstand wordt dan op maaiveld afgekapt. De flux naar de drainage middelen zal dan veranderen, omdat de gemiddelde grondwaterstand is veranderd.

### Oppervlakkige afvoer

MOZART houdt per 250 m gridcel de waterbalans bij van het topsysteem. Onderdeel van deze waterbalans is ook de oppervlakkige afvoer ofwel de surface runoff. Omdat er in MOZART gerekend wordt met een gemiddeld maaiveld, zal surface runoff echter niet vaak voorkomen. Gemiddeld ligt de grondwaterstand bijna altijd wel onder maaiveld en ook al kan lokaal de grondwaterstand wel eens aan maaiveld komen en oppervlakkige afvoer veroorzaken, in het model wordt deze lokale oppervlakkige afvoer niet berekend.

Aannemend dat surface runoff vooral plaatsvindt in de lagere gebieden rijst de vraag of het maaiveld in MOZART niet op een andere manier geschematiseerd zou moeten worden zodat surface runoff beter gemodelleerd kan worden. De lage maaiveldwaarden binnen een MOZART plot zouden wel eens sturender kunnen zijn voor de grondwaterstand dan de gemiddelde maaiveldwaarden.

Verder is surface runoff een, in de tijd, zeer dynamische parameter. Bij hevige regenval kan tijdelijk de infiltratie capaciteit worden overschreden. Dit resulteert in water aan maaiveld en mogelijk ook surface runoff (hellende gebieden). MOZART rekent echter voor landelijke studies normaliter met tijdstappen van een decade. Door de regenval over een decade uit te smeren is de kans klein dat de infiltratie capaciteit overschreden gaat worden. In hellende gebieden en/of in tijden met lange en hevige neerslag is het evenwel mogelijk dat MOZART de surface runoff onderschat.

### Grondwateraanvulling

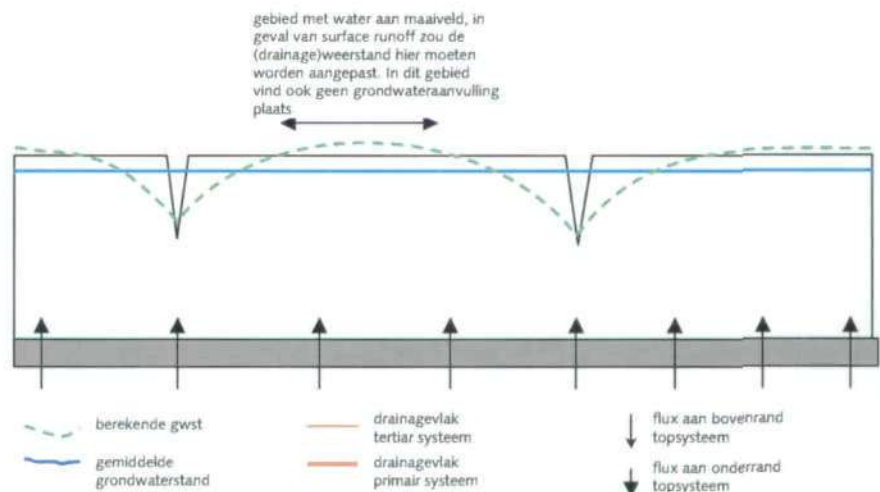
Op 250 meter niveau is de gemiddelde grondwateraanvulling bekend. Voor de variatie binnen een cel zouden wel aannames kunnen worden gemaakt. Deze zou o.a. rekening moeten houden met de berekende grondwaterstand en type vegetatie. Verder blijkt uit de vorige subparagraaf dat de surface runoff waarschijnlijk onderschat wordt, resulterend in een te grote grondwateraanvulling in de natte gebieden.

Toch kan er wel iets gezegd worden over de grondwateraanvulling op 25 m niveau aan de hand van de neergeschaalde grondwaterstand.

- Waar de grondwaterstand het hele jaar door op maaiveld ligt is grondwateraanvulling onwaarschijnlijk (zie figuur 7.10).
- In gebieden waar de grondwaterstand in de winter op maaiveld ligt is de grondwateraanvulling in deze periode gering.
- In gebieden waar de grondwaterstand altijd onder maaiveld ligt zal de grondwateraanvulling het hele jaar kunnen plaatsvinden.

**Figuur 7.10**

Weergave van de gemiddelde grondwaterstand, flux en de neergeschaalde grondwaterstand in een gebied met hoge kweldruk. De neergeschaalde grondwaterstand kan lokaal boven het maaiveld uitkomen.



### Waterbalans van de wortelzone

MOZART houdt een waterbalans van de wortelzone bij. In deze waterbalans is ook de flux van het topsysteem naar de wortelzone terug te vinden. Door de schaal waarop MOZART rekent (250 m) is deze informatie echter niet direct bruikbaar op 25 m niveau. Ook hier geldt dat de ruimtelijke variatie binnen een cel makkelijk weggemiddeld wordt. Daarnaast blijkt uit een eerste analyse in deze paragraaf dat het voor veel balanstermen niet goed mogelijk is om tot 25m neer te schalen. Er zijn daarom vuistregels opgesteld die op kleinere schaal



toepasbaar zijn. Of er 'regionale' kwel in de wortelzone van een 25 m plot zal komen hangt van verschillende factoren af:

1. Er moet regionale kwel voorkomen;
2. Tenminste gedurende een gedeelte van het jaar moet er weinig/geen infiltratie van regenwater/grondwateraanvulling zijn. Dit kan *a)* doordat de verdamping groter is dan de neerslag en *b)* doordat de grondwaterstand aan maaiveld staat, waardoor neerslag als surface runoff uit het systeem verdwijnt.

Wordt aan bovenstaande voorwaarden niet voldaan, dan zal (diepe) kwel in de wortelzone zeer onwaarschijnlijk zijn.

## 7.7 Conclusies

Met enige aanpassingen zijn de binnen MONA aanwezige koppelingsprogramma's te gebruiken om de flux van en naar het topsysteem neer te schalen. De flux naar het topsysteem per NAGROM element wordt omgerekend naar een flux per gridcel. De gesommeerde fluxen van de gridcellen blijven gelijk aan de corresponderende NAGROM elementen. Bij de omrekening wordt gebruik gemaakt van de drainageweerstand op 25 meter niveau. De variatie in de neergeschaalde fluxen is veel groter dan voor de neerschaling.

De methode voor het neerschalen van de freatische grondwaterstand zoals beschreven in hoofdstuk 6 houdt geen rekening met de ligging van de drainerende middelen, tenminste niet op 25 meter niveau. In dit hoofdstuk is een andere methode ("Darcy") gebruikt om freatische grondwaterstanden te berekenen. De grondwaterstand, stijghoogte en flux zijn via de verticale weerstand direct van elkaar af te leiden. Door de neergeschaalde fluxen te gebruiken, de stijghoogte en de verticale weerstand is een grondwaterstand berekend, waarbij rekening wordt gehouden met de ligging van de drainagemiddelen.

Uit de vergelijking van de grondwaterstand uit MOZART en de grondwaterstand gebaseerd op NAGROM stijghoogten blijkt dat met name in de droge gebieden de grondwaterstanden van beide methoden sterk verschillen. Uit een nadere analyse komt naar voren dat het koppelingsconcept tussen de verzadigde en onverzadigde zone aangepast zal moeten worden om te zorgen dat de verschillen klein blijven. Nu is namelijk de situatie dat zowel de grondwaterstand in MOZART als in NAGROM niet geheel correct wordt gemodelleerd waarbij de fouten in de droge gebieden consequenties kunnen hebben voor hoe correct de natte gebieden worden gemodelleerd.

Er is een begin gemaakt met het ontwikkelen van een methode om onderscheid te maken tussen ondiepe en diepe kwel. Als de fluxen (per 25 m) naar het topsysteem zijn berekend, kan met behulp van de methode uit paragraaf 10.3 de herkomst van de ondiepe kwel bepaald worden. Daarna kan dan tevens worden aangegeven welk deel van de flux als "diepe" kwel kan worden aangemerkt. De methode is nog niet in GIS geïmplementeerd.

Het blijkt moeilijk te zijn om met de huidige schaal van de modellen de waterbalans van de wortelzone te bepalen voor de vegetatie. Er is te veel ruimtelijke en temporele variabiliteit in de parameters. Voor een deel zou dit opgelost kunnen worden door anders te schematiseren. Zo kan er gekeken worden naar de manier waarop het maaiveld geschematiseerd wordt (paragraaf 7.6). Ook kan worden overwogen of er een meer flexibele



---

gebiedsschematisatie kan worden gehanteerd in de modellen (lage ruimtelijke resolutie in homogeen gebied). Echter, ook dan blijft de schaal van de modellen nog een probleem. Wel zijn er vuistregels afgeleid waarmee op 25 meter niveau aangegeven kan worden of regionale kwel voor kan komen.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

---

### Algemeen

Het is mogelijk gebleken om de grove hydrologische modelresultaten zo neer te schalen dat er extra informatie ontstaat over de standplaatscondities voor de vegetatie. Zowel modelresultaten over grondwaterstand als over (kwel) fluxen zijn neergeschaald. Daarnaast heeft de studie geresulteerd in een beter inzicht in het hydrologische modelinstrumentarium en tot een concrete verbetering geleid. Hieronder worden de belangrijkste conclusies nader toegelicht.

### Neerschalen van de grondwaterstand

Er zijn verschillende methoden afgeleid waarmee de (freatische) grondwaterstand neergeschaald kan worden. Door het maaiveld per 25m (AHN) over de freatische grondwaterstand heen te leggen wordt een grondwaterstand t.o.v. maaiveld verkregen. Uiteindelijk zijn er twee methoden overgebleven die voldoen aan de randvoorwaarden van (1) fysisch verklaarbaar zijn, en (2) een continu freatisch vlak creëren.

De *eerste methode* is die van lineaire interpolatie van de grondwaterstand per 250 meter van MOZART (zie hoofdstuk 6).

- Door deze methode te gebruiken worden de patronen in de grondwaterstand duidelijk zichtbaar. Deze patronen zijn getoetst en blijken overeen te komen met door vegetatie geïndiceerde grondwaterstandspatronen. In de beekdalen ligt de grondwaterstand vlak onder maaiveld en het wordt duidelijk in welke gebieden de grondwaterstand diep onder maaiveld ligt.
- De methode geeft een indicatie van de mogelijke grondwaterstanden t.o.v. maaiveld binnen een 250 meter cel.

Ondanks de "mooie plaatjes" die met deze methode op 25 meter niveau gemaakt kunnen worden is enig voorbehoud nodig:

- In de methode wordt geen rekening gehouden met de ligging van de drainagemiddelen. Dat wil zeggen: Er wordt geen opbolling tussen de drainagemiddelen berekend tijdens de neerschaling;
- Soms (met name rond de primaire drainage systemen) ligt de neergeschaalde grondwaterstand boven maaiveld (deze wordt dan afgekapt op maaiveld hoogte).
- De grondwaterstand van MOZART is geen lineair gemiddelde van een cel maar een gemiddelde gewogen naar de drainageweerstand.

Bij de *tweede methode* wordt gebruik gemaakt van de stijghoogte, flux en verticale weerstand die per 25 meter bekend zijn uit het model om de grondwaterstand met behulp van Darcy te berekenen.

- De patronen in de grondwaterstand worden duidelijk (als bij lineaire methode)
- De methode houdt rekening met de ligging van de drainagemiddelen, dat wil zeggen: Er wordt een opbolling berekend tussen de drainagemiddelen
- De methode geeft een indicatie van de mogelijke grondwaterstanden t.o.v. maaiveld binnen een 250 meter cel.

---

Echter ook aan deze methode zitten haken en ogen.

- Soms (met name rond de primaire drainage systemen) ligt de neergeschaalde grondwaterstand boven maaiveld (deze wordt dan afgekapt op maaiveld hoogte).
- De grondwaterstand verloopt soms niet continu, omdat de neergeschaalde flux soms niet continu verloopt

### **Parameterisatie**

Voor het bepalen van het drainageniveau is een hele nieuwe methode ontwikkeld. Hierbij wordt het drainageniveau direct van het AHN afgeleid op 25 m niveau en daalt het peil stroomafwaarts. De verschillen tussen gemeten en berekende peilen zijn (gemiddeld) klein, ca 0.02 m voor het studiegebied. Dit kleine schaalniveau is vervolgens opgeschaald naar de gewenste modelschaal. Voor het afleiden van boezem en kanaal peilen is deze methode minder geschikt. Uit de studie komt verschillende keren naar voren dat de manier waarop geparameteriseerd wordt zeer belangrijk is. Niet alleen voor het drainageniveau, maar ook voor bijvoorbeeld de (drainage)weerstand. De belangrijkste punten zijn:

- de schaal waarop parameters afgeleid worden moet kleiner zijn dan het modelement of celgrootte, zodat een cel/element representatief gevuld kan worden met genoeg waarden. Ook in gebieden met veel variatie (als beekdalen) moet op kleine schaal geparameteriseerd worden, zodat de variatie in het model kan worden meegenomen.
- Als parameters op een klein schaalniveau gegenereerd worden, wordt het eenvoudiger om technische onvolkomenheden tijdens de berekening van de parameter op te sporen.
- De manier van opschalen van een parameter, naar een representatieve waarde voor een model element is zeer belangrijk. Lang niet altijd mag er lineair gemiddeld worden. Zo moeten weerstanden vaak harmonisch gemiddeld worden en zouden grondwaterstanden (in sommige gevallen) weerstandsgewogen opgeschaald moeten worden.

Een wat meer algemene aanbeveling is om MOZART met een variabele celgrootte te laten rekenen. In de beekdalen waar veel variatie in flux en weerstanden is kan dan 'gedetailleerd' gerekend gaan worden, terwijl in de gebieden met weinig variatie (de hoge gronden) grover gerekend kan worden. De variatie in de parameters en hydrologische randvoorwaarden worden dan optimaal meegenomen in het model. Met de huidige berekeningswijze is het voorlopig evenwel eenvoudiger om heel MOZART gedetailleerd door te rekenen.

### **Koppelingsconcept tussen MOZART en NAGROM**

De beide methoden om een grondwaterstand naar te schalen zouden (opgeschaald naar 250 meter) dezelfde grondwaterstand moeten genereren. Uit een vergelijk van beide methodes bleek dat de berekende grondwaterstanden in de droge gebieden niet met elkaar overeen komen. Uit een nadere analyse bleek dit verschil te ontstaan omdat het koppelingsconcept tussen de modellen MOZART en NAGROM niet volledig is. In een verbeterd koppelingsconcept zal de NAGROM stijghoogte en de MOZART grondwaterstand beter met elkaar in evenwicht moeten zijn. Dit kan bijvoorbeeld door niet alleen op flux, maar ook op grondwaterstand en weerstand te gaan koppelen.

### **Fluxen naar het topsysteem kwantitatief**

In MONA zit een module om de fluxen naar het topsysteem naar te schalen. In deze studie is deze module toegepast op 25 meter schaal. Hiervoor is het nodig



---

om alle invoergegevens ook op 25 m schaal te hebben. Om te grote sprongen in de flux te voorkomen zijn enkele invoergegevens "gesmoothed". De resultaten van de neerschaling zijn positief:

- De drainagemiddelen zijn duidelijk te herkennen in de neergeschaalde flux. Ter plekke van de drainagemiddelen zijn de fluxen het grootst, verder van de drainagemiddelen af neemt ook de flux af.
- De extremen in de neergeschaalde fluxen zijn groter dan voor de neerschaling.
- Het fluxverloop is continu.

Toch zijn er nog wel enkele punten die aandacht verdienen:

- De fluxverdeling is niet altijd continu. Soms zijn NAGROM elementen nog herkenbaar in de neergeschaalde flux.
- De wijze waarop de fluxen gecorrigeerd worden bij een verschil in de gesommeerde MOZART flux per NAGROM element kan iets verbeterd worden door te corrigeren in die cellen waar relatief weinig weerstand voorkomt en veel flux.

### **Fluxen naar het topsysteem kwalitatief**

Er is onderzocht in hoeverre het modelinstrumentarium geschikt is om onderscheid te maken tussen regionale en lokale kwel. In principe is dit met een GIS mogelijk. In hoofdstuk 7 wordt een eerste aanzet gegeven voor een generieke methode, waarbij per 25 m kan worden aangegeven of de kwel naar het topsysteem een lokale of regionale herkomst heeft. Vanwege de schaal van de modellen en de heterogeniteit van de bodem kan ook deze uitkomst niet als absoluut gezien worden. Wel zijn de uitkomsten indicatief en geven opgeschaald naar 250 meter niveau waardevolle informatie voor mogelijke standplaatscondities.

### **Kwel in de wortelzone**

Er is een eerste analyse uitgevoerd om te kijken of het modelinstrumentarium gebruikt kan worden om op 25 m schaal uitspraken te doen over kwel in de wortelzone. Het blijkt dat de ruimtelijke en temporele variabiliteit te groot is om hierover gefundeerde uitspraken te kunnen doen. Wel zijn er vuistregels ontwikkeld waarmee kwel in de wortelzone min of meer uitgesloten kan worden, zodat er een potentieel gebied met kwel in de wortelzone overblijft. Verder komt uit de analyse enkele suggesties voor verbetering van het instrumentarium naar voren:

- Anders opschalen van het maaiveld, waarbij rekening wordt gehouden dat de relatief lagere maaiveldwaarden binnen een modelcel sturender kunnen zijn voor de hydrologie dan het gemiddelde maaiveld.
- Anders opschalen van het drainagevlak. Bij de opschaling moet weerstandsgewogen opgeschaald worden.



---

## 9 Literatuurlijst

---

- Aggenbach C.J.S. et al, 1998. De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische vegetatietypen van pleistoceen Nederland, KIWA, NOV rapport 3-1, Nieuwegein.
- Blokland, K.A. & R.J.M. Kleijberg, 1997. De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische natuurdoelen; Holoceen Nederland. NOV rapport 3-2, Stowa rapport 97-16, Lelystad.
- Dunbar, M.J. & M.C. Acreman, 2001. Applied hydro-ecological science for the twenty-first century. In: Acreman, M.C. (ed.) 2001. Hydro-ecology: Linking Hydrology and Aquatic Ecology, IHAS Press, Wallingford, 3-10.
- Ek, R. van, I. Peereboom & J. Stam, 1998a. Van oude gronden en de dingen die voorbij gaan; Een studie naar de gevolgen van bodemdaling op de terrestrische natuur in Fryslân. RIZA rapport 98.052, RIZA, Lelystad.
- Ek, R. van, A.J.M. Jansen, M. van der Linden, H. Runhaar, J.P.M. Witte & A.C. Zuidhoff, 1998b. Vergelijking van de modellen DEMNAT en NICHE voor het reservaat Stroothuizen. NOV rapport 3.3. ISBN 9036952220
- ESRI, 1992. Surface modeling with TIN; surface analysis and display, ARC/INFO user's guide 6.0, ESRI inc., Redlands, CA, USA.
- Everts, F.H. & N.P.J. de Vries, 1991. De vegetatieontwikkeling van beekdalsystemen; Een landschapsoecologische studie van enkele Drentse beekdalen. Historische Uitgeverij Groningen, ISBN 906554500 X.
- Finke, P.A., T. Hoogland & F. de Vries, 1999. Definitie en analyse van 4 methoden om gvg neer te schalen, Alterra, concept november 1999.
- Hoogeveen J., 1994. Koppelingsconcept voor de modellen NAGROM - MOZART -DEMNAT-2.; Toepassing voor het peilbeheerst Nederland: Het Gooi en Vechtplassengebied. Landbouwuniversiteit Wageningen & RIZA, RIZA rapport 94.042
- Kemmers, R.H., 1993. Staalkaarten voor een ecologische landevaluatie. Landschap 10(1): 5-22.
- Kemmers, R.H., 1995. Naar een methode voor regionale scenario-studies voor natuurontwikkeling; Het Drentse Aa onderzoek. In: J.F.Th. Schoute, P.A. Finke, F.R. Veeneklaas & H.P. Wolfert (eds.). Scenario studies for the rural environment. Kluwer, Dordrecht.
- Klijn, F., 1988. Ecoseries; Aanzet tot een standplaatstypologie. CML mededelingen 45, RIZA werkdocument nr. 88.084, Leiden.
- Klijn, F., 1997. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification; with examples of ecoregions, ecodistricts and ecoseries of the Netherlands. Thesis Leiden University, (xxviii) + 186pp.



---

Kroon, T., Peereboom I en Werkman, W. MONA, koppelingsconcept MOZART-NAGROM. Beschrijving en gebruikershandleiding van de modellentrein. RIZA, Lelystad 2002 (in prep)

Kros, J., G.J. Reinds, W. de Vries, J.B. Latour & M.J.S. Bollen, 1995. Modelling of soil acidity and nitrogen availability in natural ecosystems in response to changes in acid deposition and hydrology. SC report 95, Wageningen

De Lange en Van der Meij, 1993-1996. Reports on NAGROM. NITG-TNO, Delft / RIZA, Lelystad.

De Lange, W.J., 1996. NAGROM, a groundwater model for national groundwater management and regional and local studies. EWPC 6 (5), 63-67.

Bos, H., R. van Ek, J. Hoogeveen, A. Kors, W. de Lange, H. Vermulst, G. Arnold & T. Kroon, 1997. Water onder land tussen regen en plant, ofwel landelijke modellen voor verdrogingsbestrijding. RIZA rapport 97.062, Lelystad.

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., 1991. A groundwater model for the Netherlands, RIZA nota 90.066, RIZA, Lelystad.

Massop, H.Th.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors & J. Huygen, 2000. Hydrology voor STONE: schetstaisatie en parametrisatie, Alterra rapport 038, Wageningen.

Meuleman, A.F.M., R.A. Kloosterman, W. Koerselman, M. den Besten & A.J.M. Jansen, 1996. NICHE: een nieuw instrument voor hydro-ecologische effectvoorspelling. *H<sub>2</sub>O* 29(5): 137-139.

Pedroli, G.B.M., 1992. Ecohydrologie, state of the art. *Landschap* 9(2): 73-82.

Rijt C. van der & I. Duijnste, 1997. EMOE: Een Ecohydrologisch Model voor Oevervegetatie Estuaria. Versie 3.3 (najaar 1996). Vakgroep Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.

RIZA & WL, 1996. Gebruikershandleiding, Functioneel Detailontwerp en Technisch Detail Ontwerp, Lelystad.

Runhaar, J., C.L.G. Groen, R. van der Meijden & R.A.M. Stevers, 1987. Een nieuwe indeling in ecologische groepen binnen de Nederlandse flora. *Gorteria* 13(1987): 277-359

Runhaar, J. & M. van 't Zelfde, 1996. Vergelijking ecotootypen - natuurdoeltypen. Rijksuniversiteit Leiden Centrum voor Milieukunde, CML rapport 128, Leiden.

Runhaar, J., H.L. Boogaard, S.P.J. van Delft en S. Weghorts, 2000. Natuurgericht Landevaluatiesysteem (NATLES), ALTERRA rapport 704, Wageningen.

---

Schipper, P.C. & J.G. Streefkerk, 1993. Van stroomdal naar droomdal; Integratie van hydrologisch en oecologisch onderzoek ten behoeve van het beheer in de Drentse A, Ministerie LNV, Staatsbosbeheer Rapport 1993-2, Driebergen.

Stoppelenburg, F., G.J. Reinds, H. Kros, T. Kroon & R. van Ek, in prep. Koppeling van het bodemchemisch model SMART2 met het hydrologisch model voor het topsysteem MOZART. Pilotstudie voor het stroomgebied de Drentse A, RIZA werkdocument 2002, Lelystad.

Strack, O.D.L., 1989. Groundwater Mechanics, Prentice Hall, New Jersey, USA.

Tosserams, M., L. Jans & B. van der Pas, 1998. Ecotopenmodel IJsselmeergebied (ECOMIJ 1.0), Opzet en ontwikkeling. Realisatiefase instrumentarium Waterhuishouding In het Natte hart. RIZA werkdocument 98.077x, Lelystad.

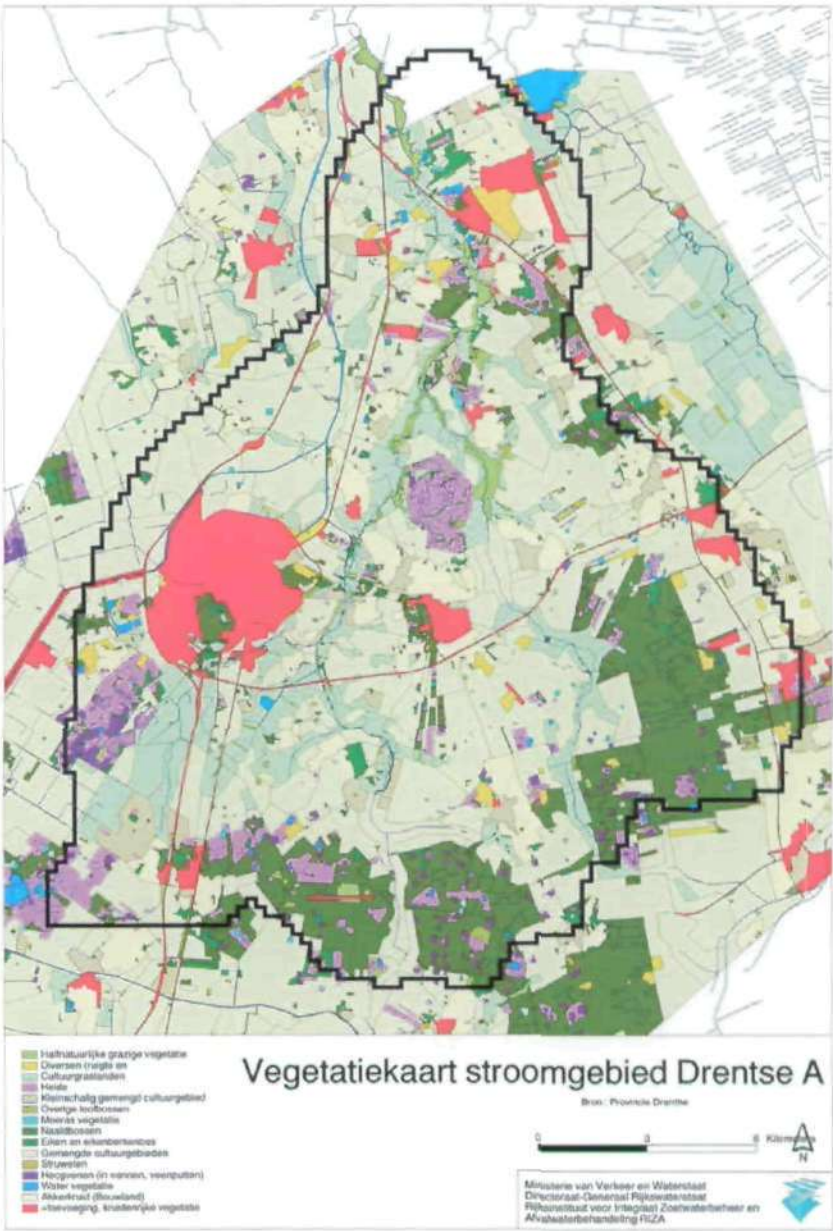
Vermulst, J.A.P.H. & W.J. De Lange, 1999. An analytic-based approach for coupling models for unsaturated and saturated groundwater flow at different scales. *Journal of Hydrology* 226: 262-273

Vermulst, J.A.P.H. en W.J. de Lange, 1999. An analytic-based approach for coupling model for unsaturated and saturated groundwater flow at different scales, *Journal of Hydrology* 226 (1999) 262-273, Elsevier.



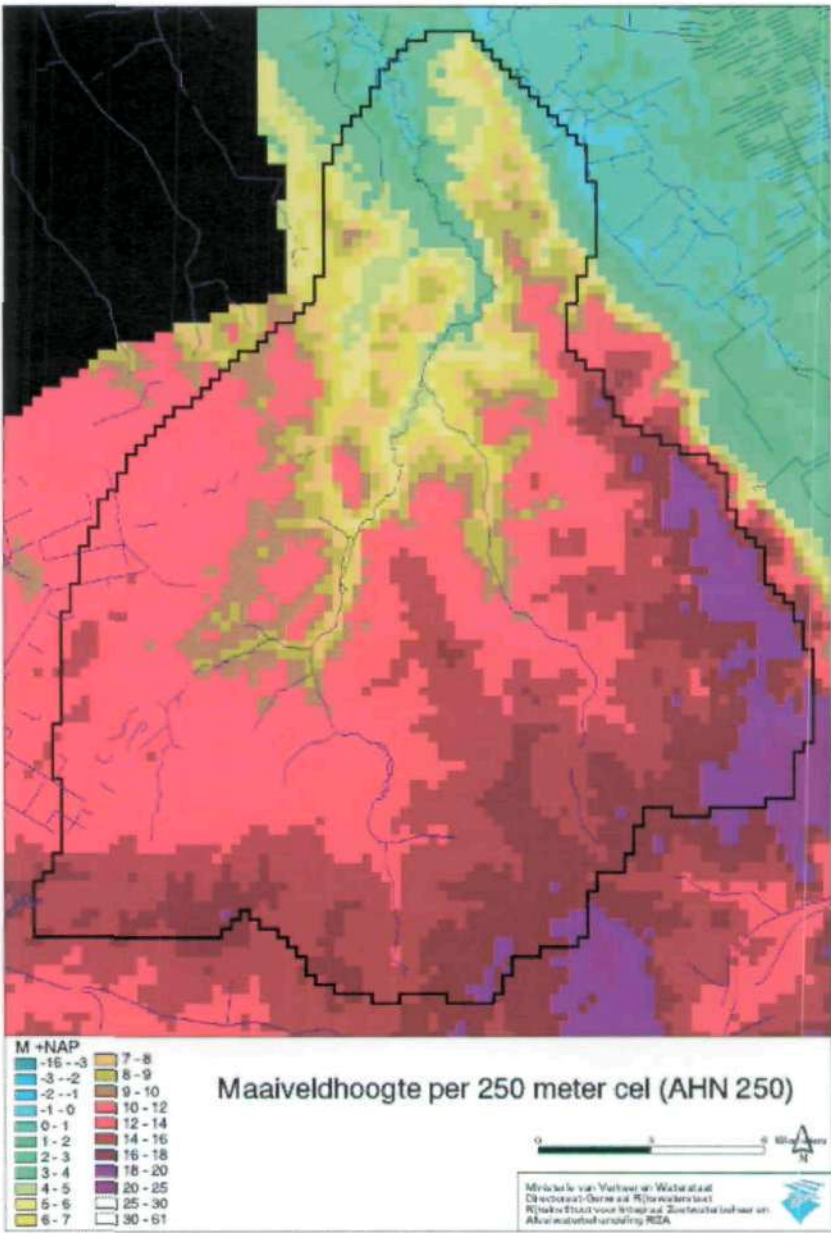


Bijlage 1 Vegetatiekaart van Drenthe



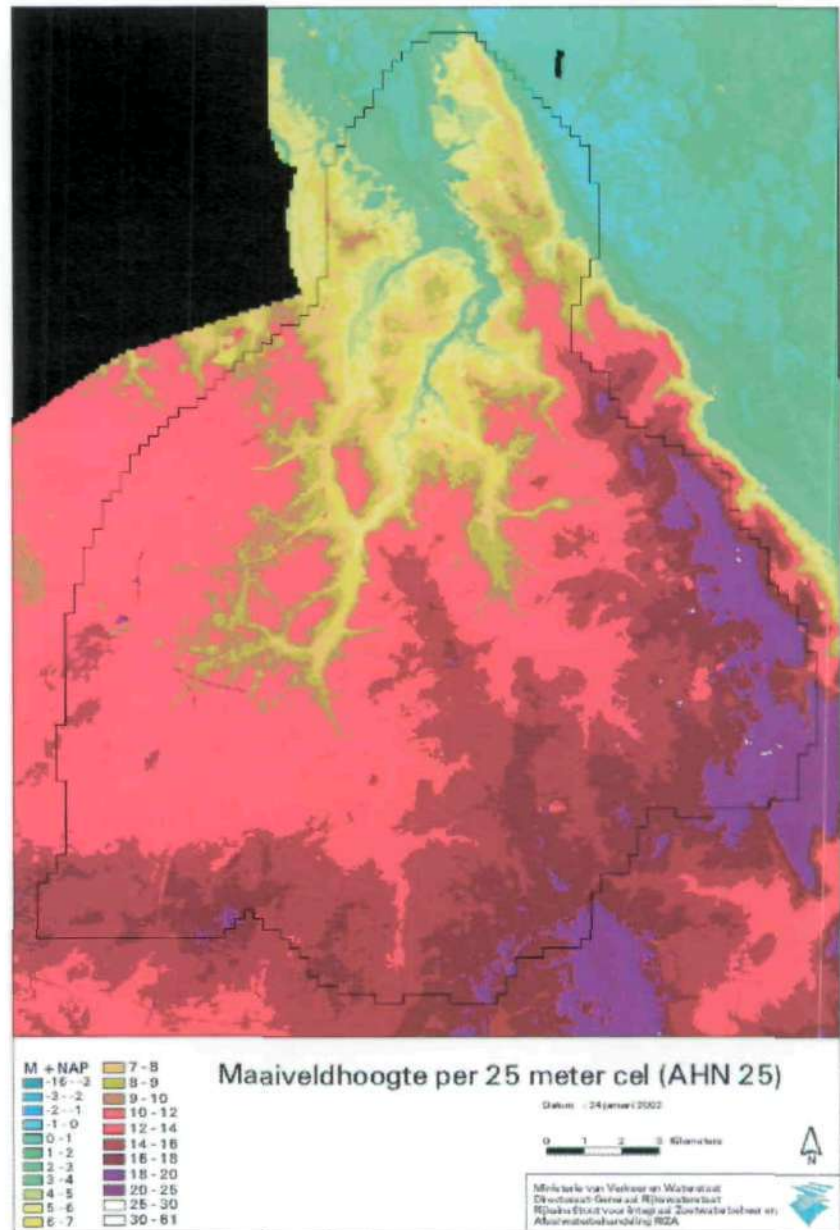


Bijlage 2 Het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)





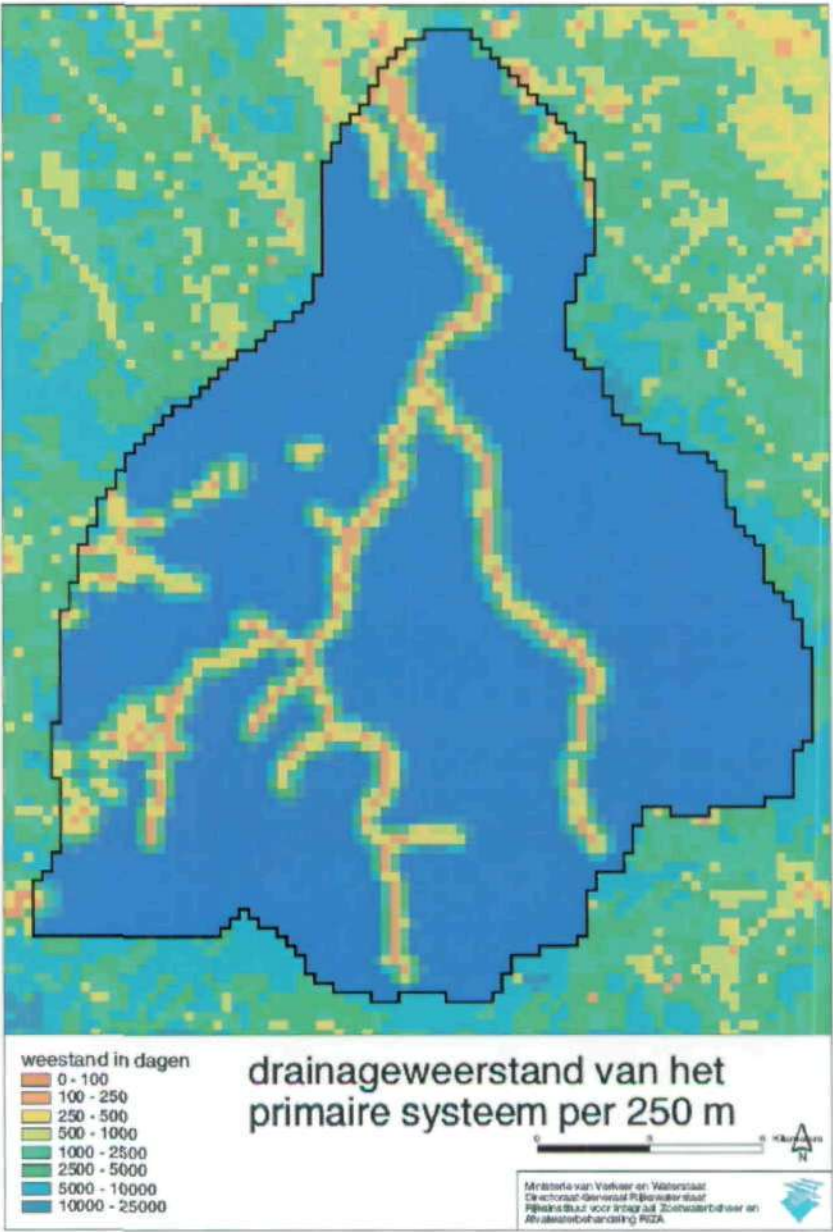




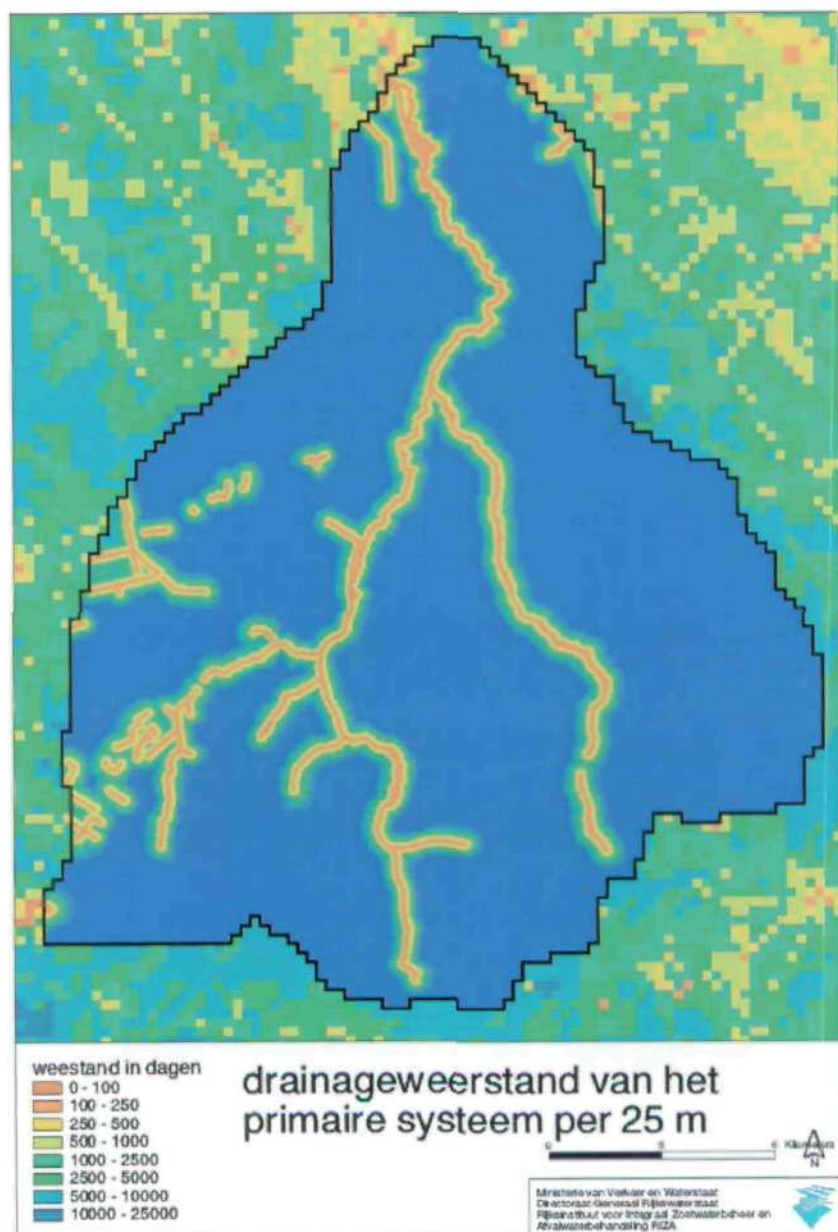




Bijlage 3 Weerstand van het topsysteem

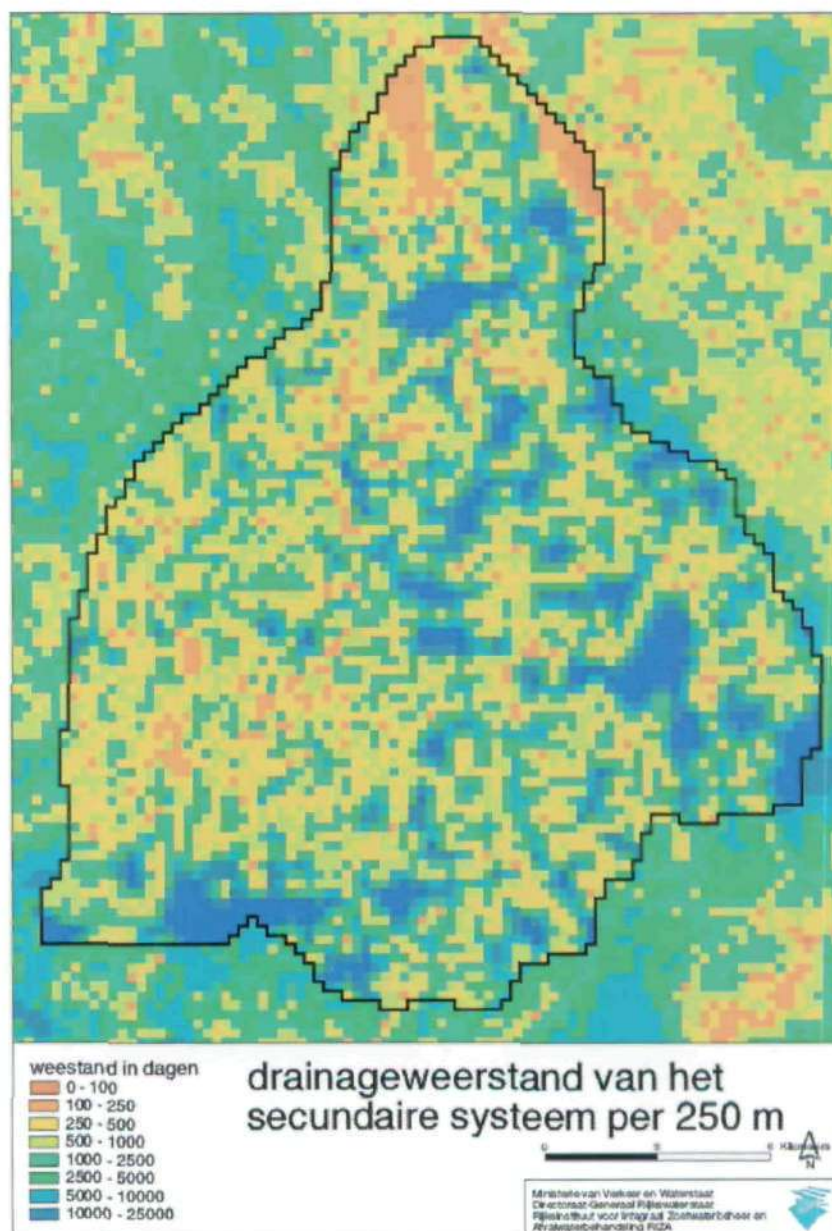






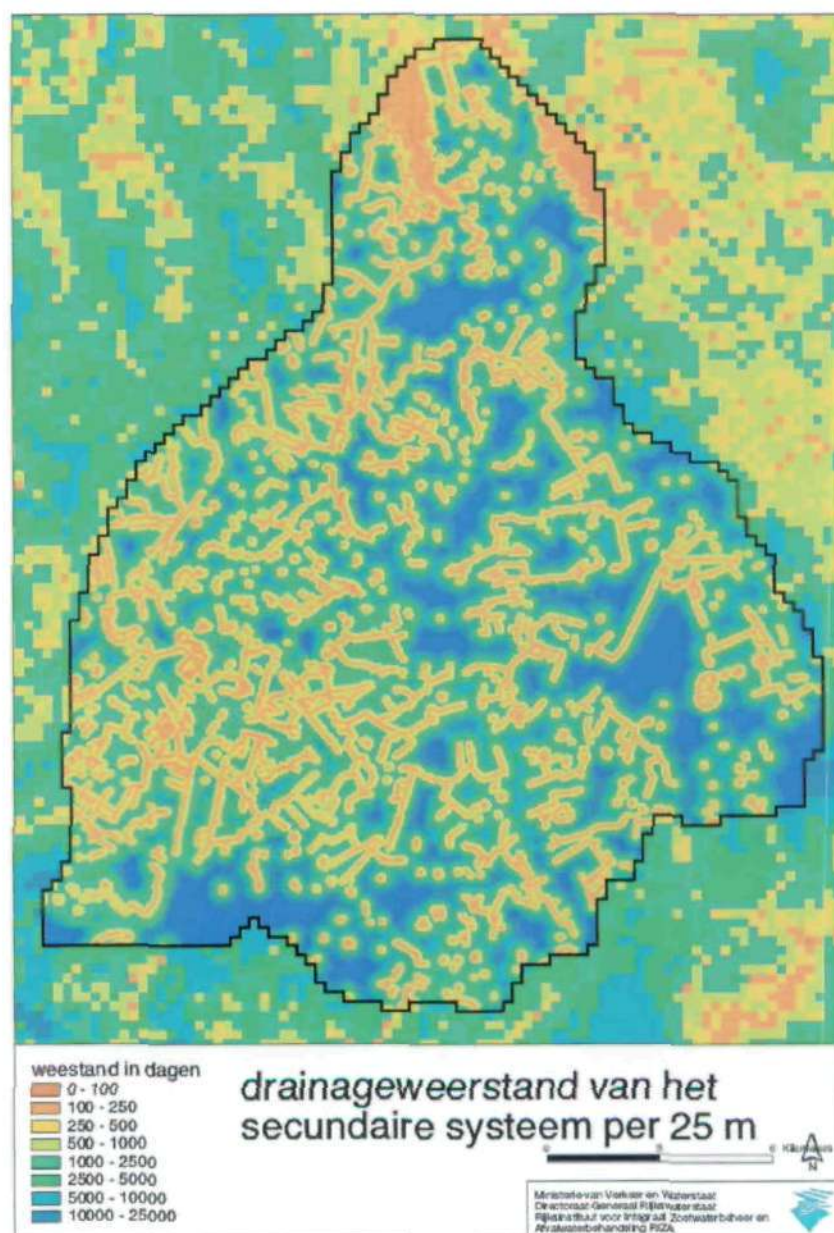




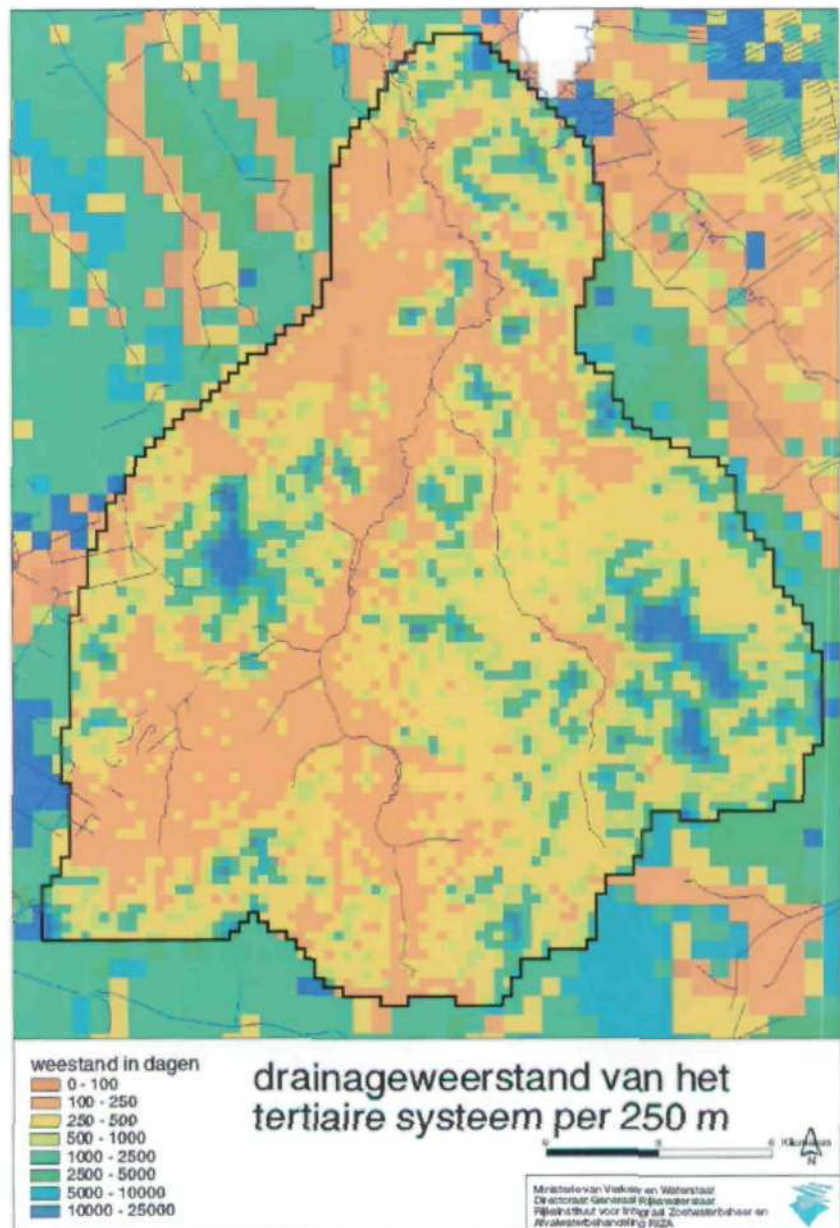






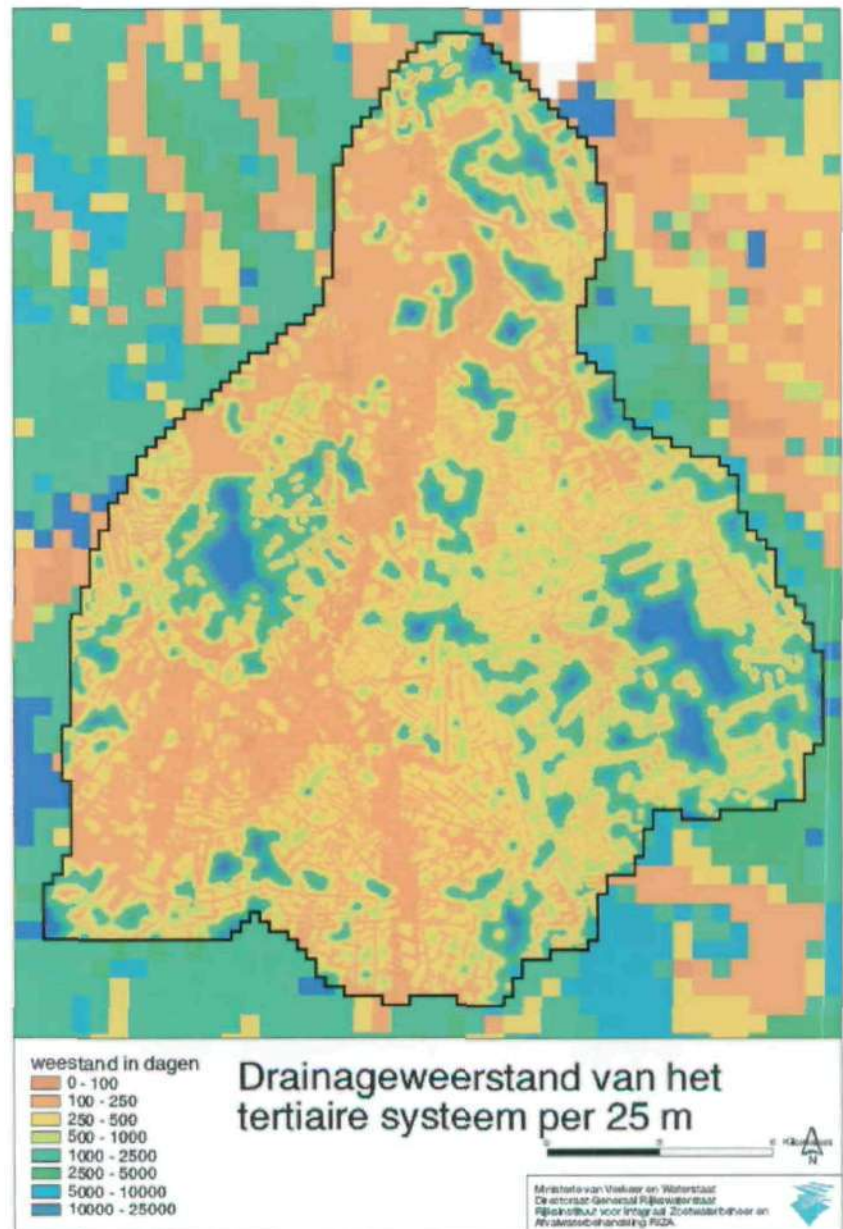






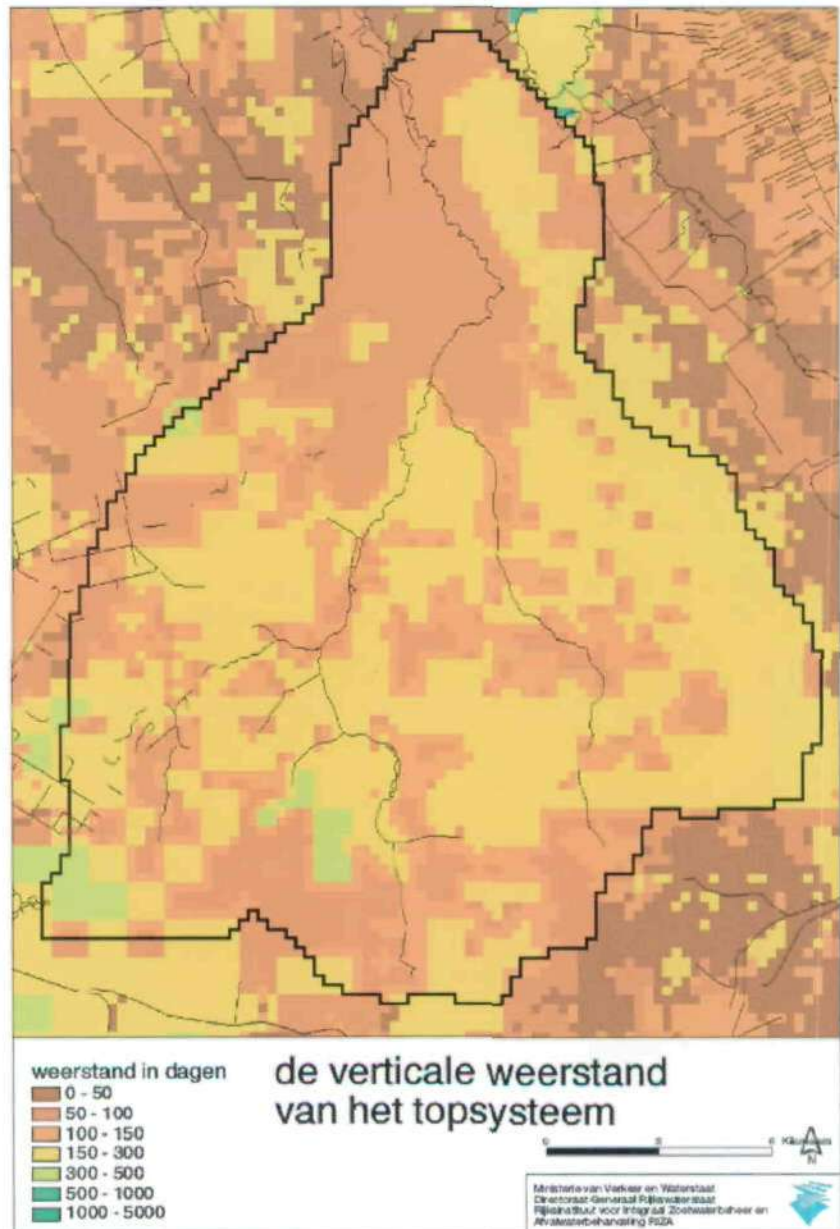






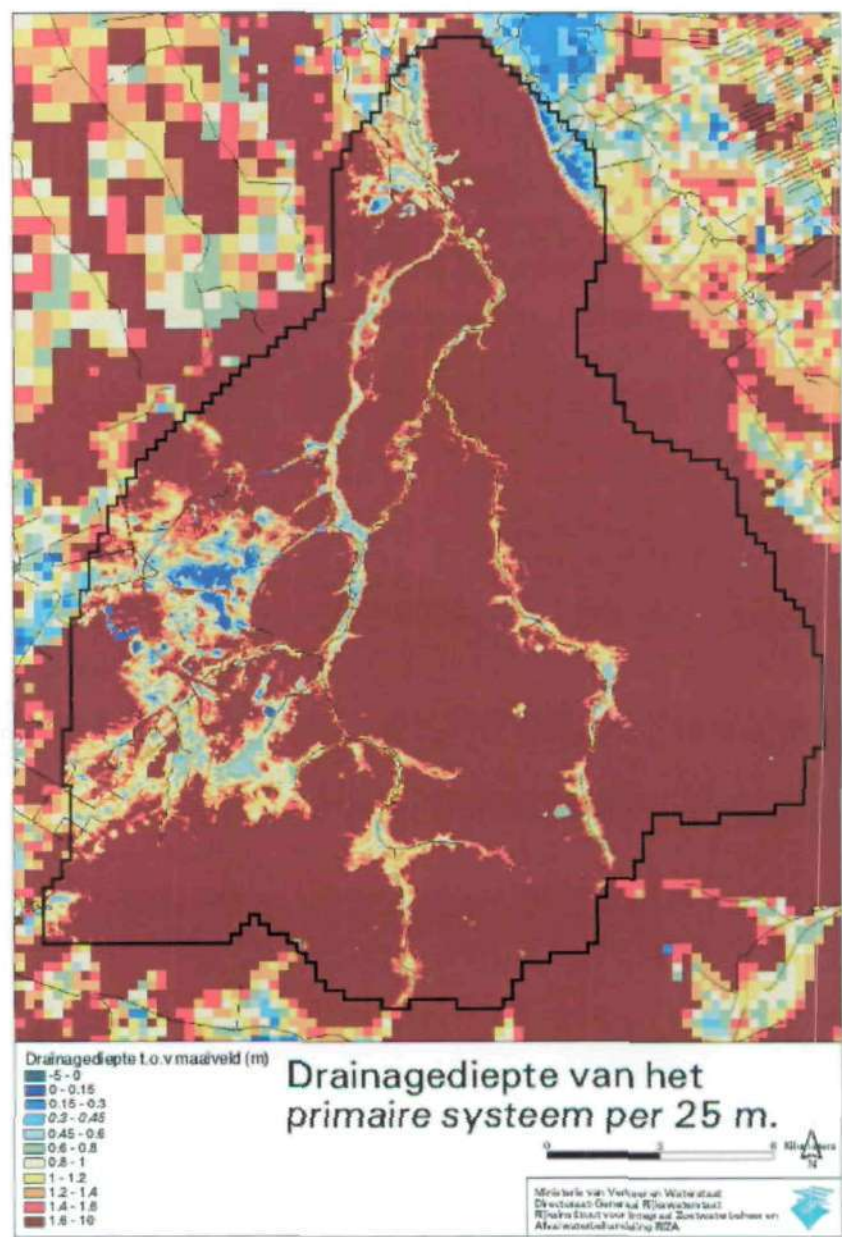






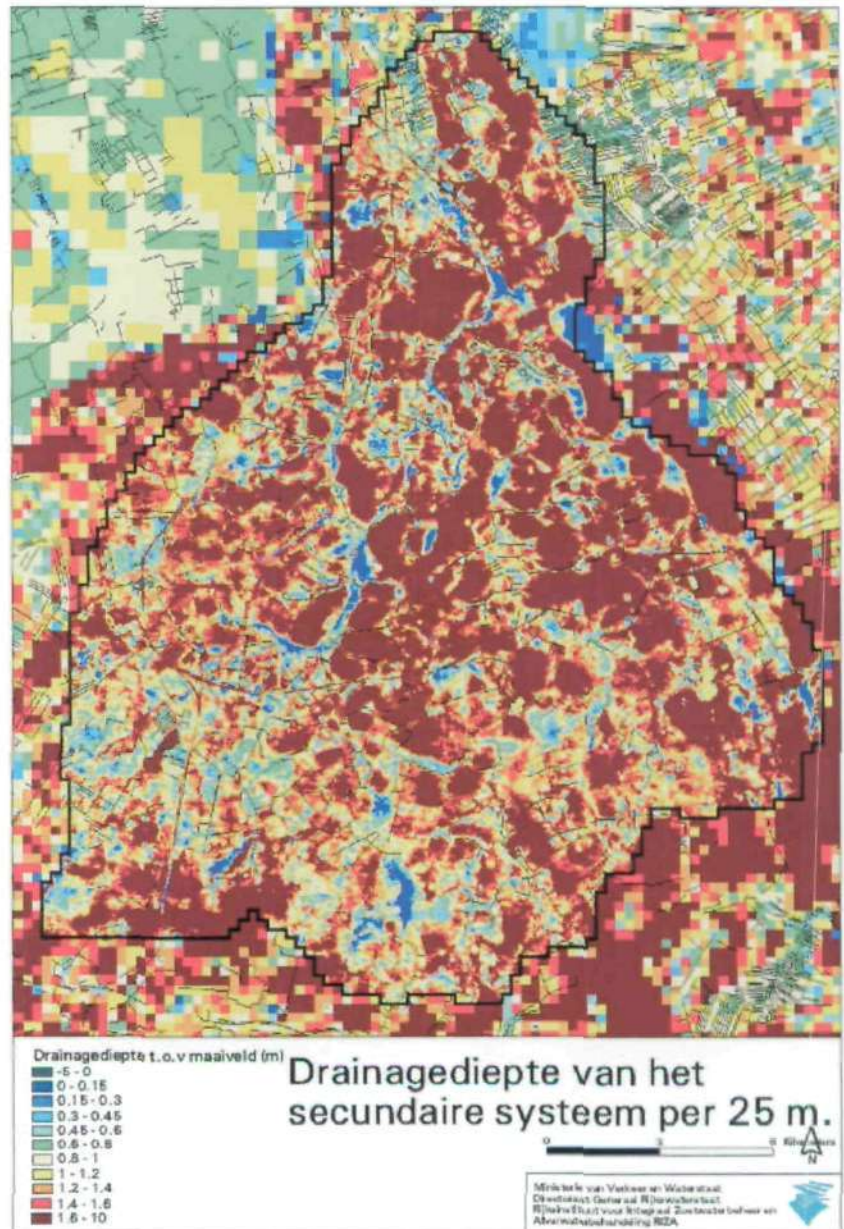


Bijlage 4 Drainage dieptes en ligging drainagesystemen



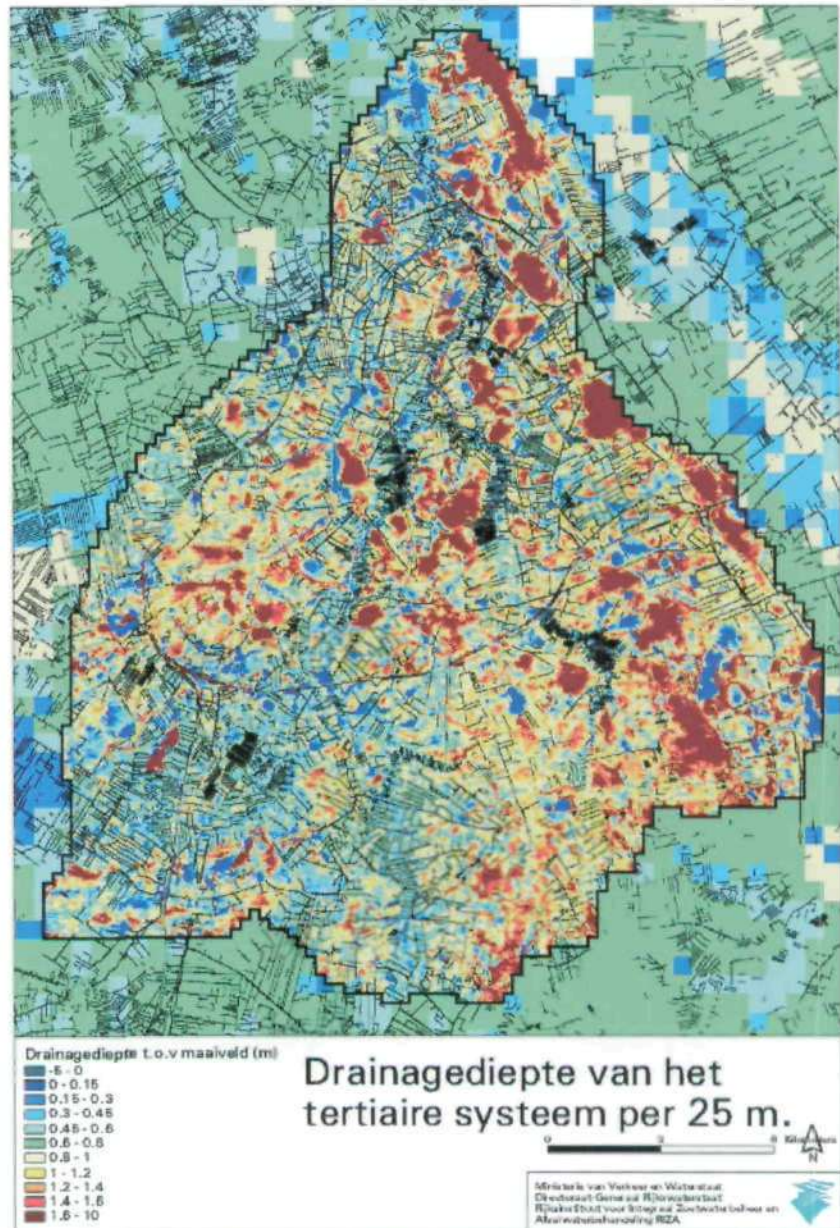






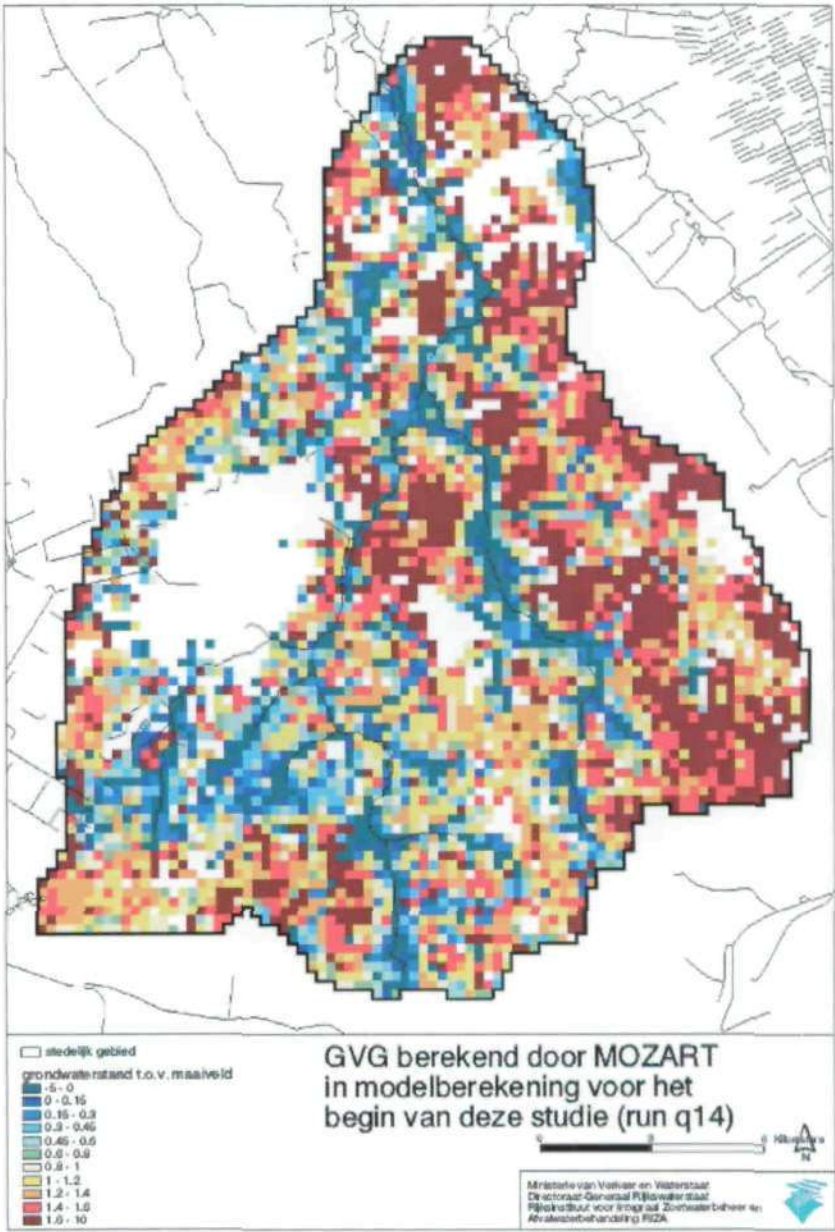






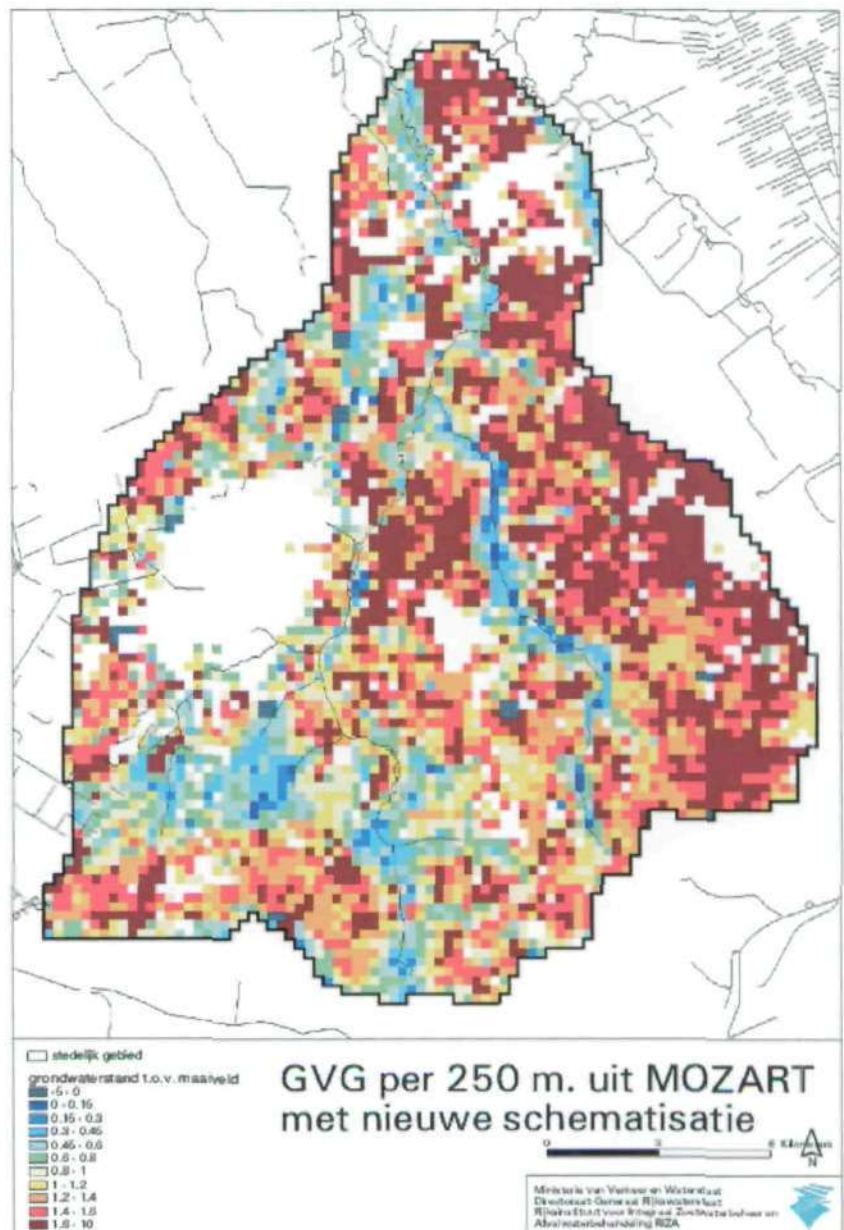


Bijlage 5 Berekende grondwaterstanden en stijghoogte



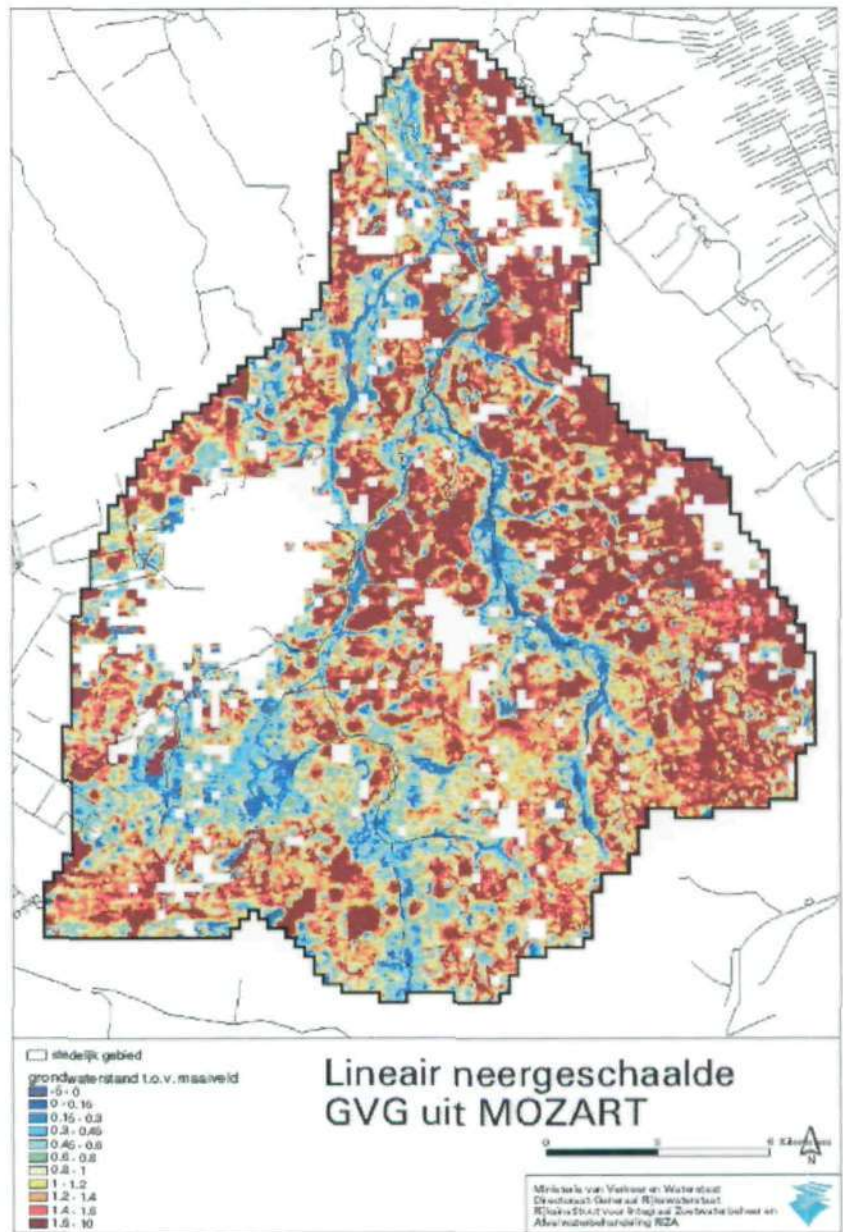




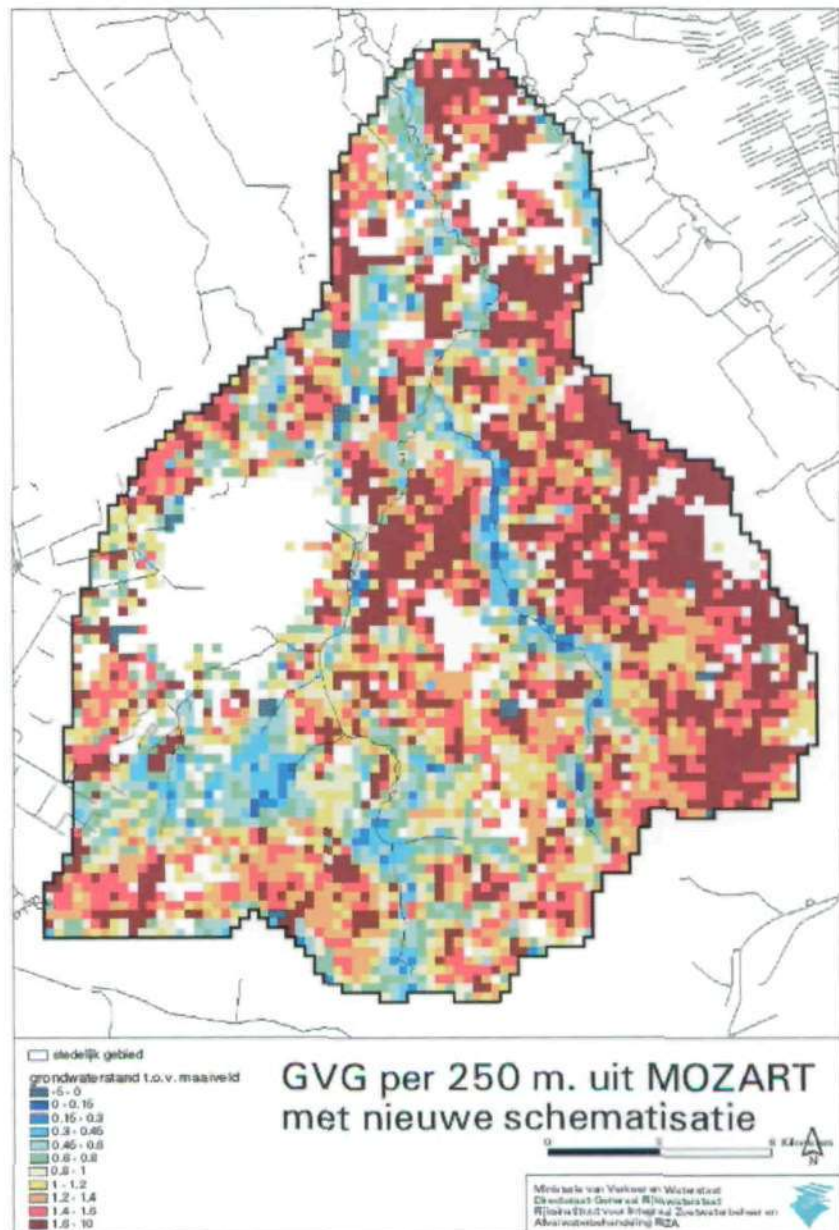






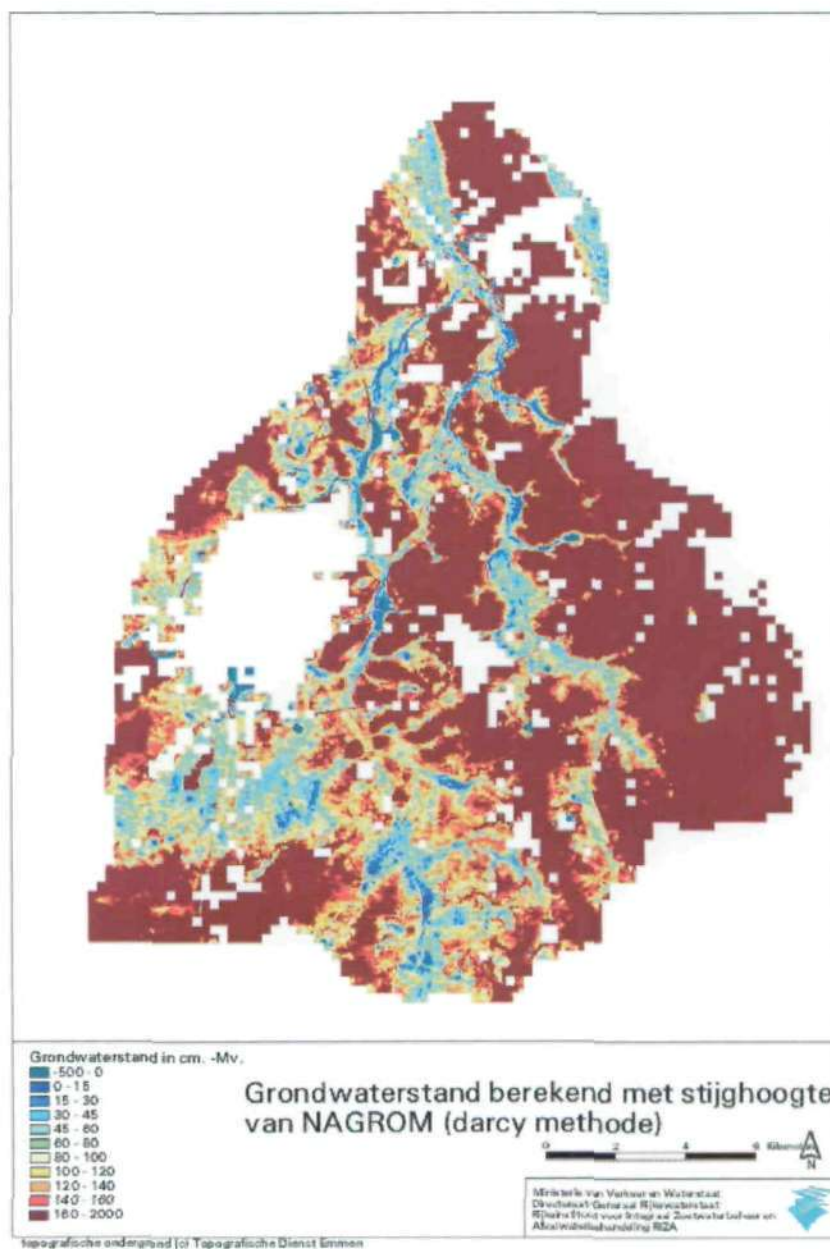






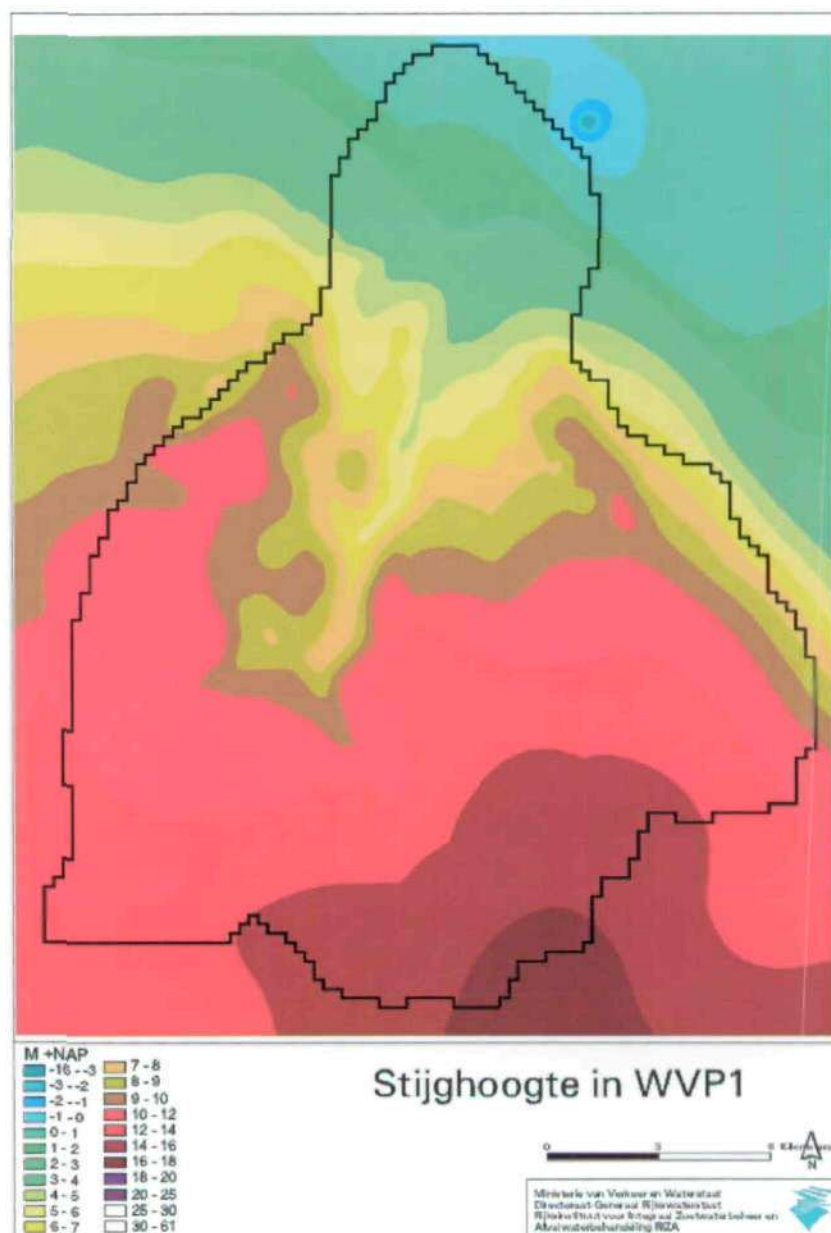






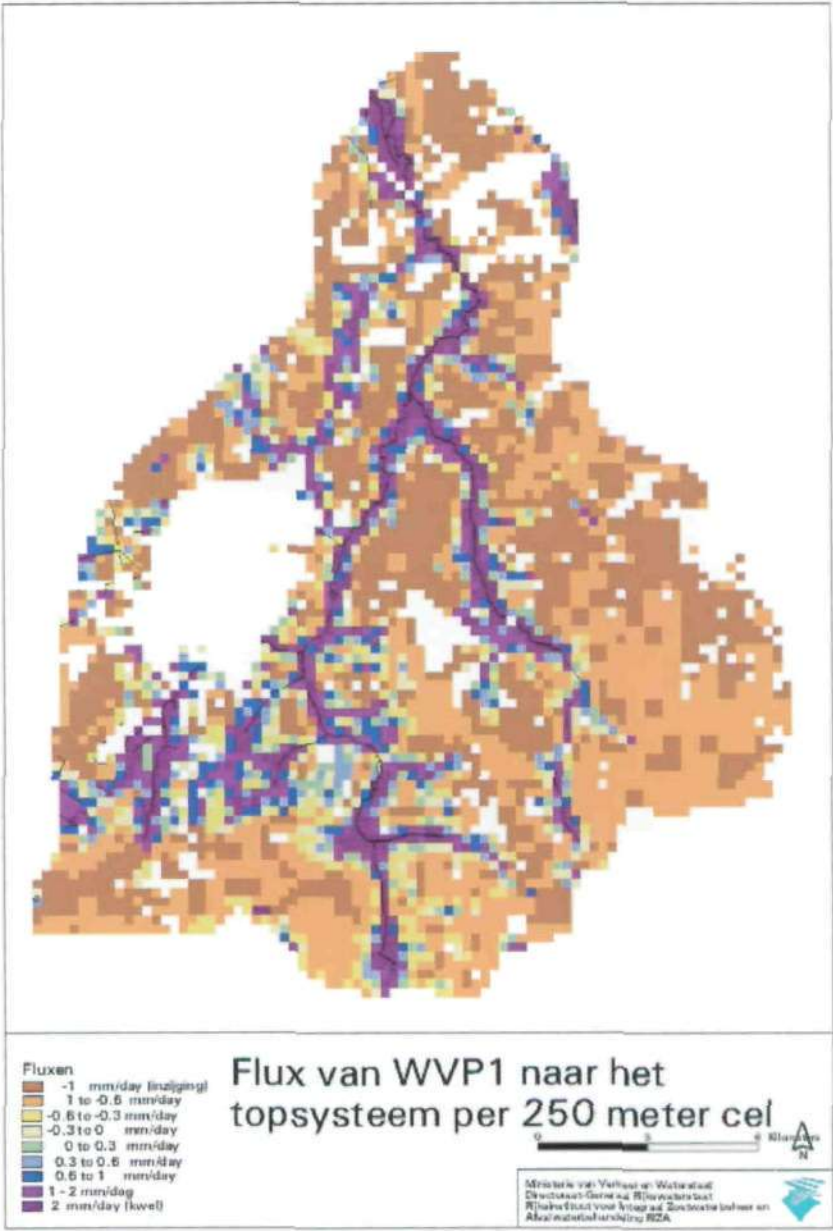






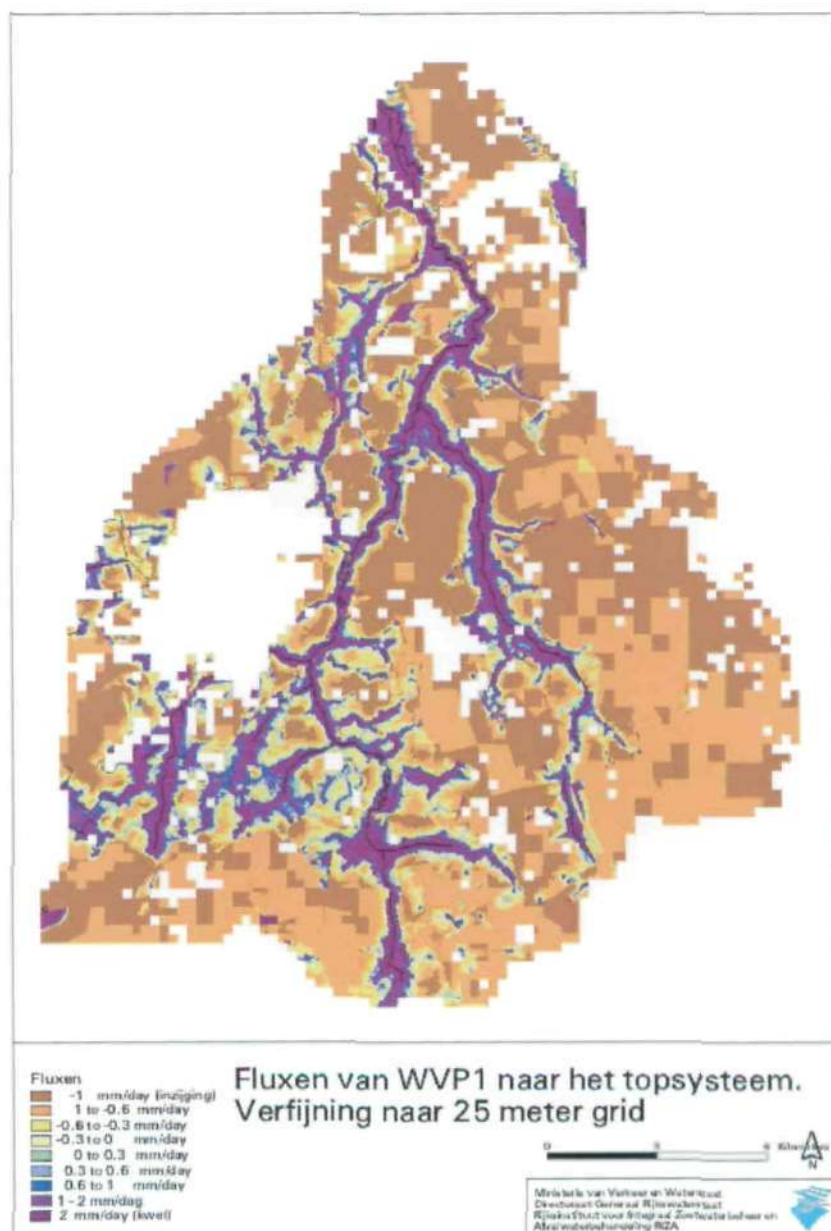


Bijlage 6 Fluxen naar het topsysteem











Bijlage 7 Verschil tussen gemeten en berekende stuwpeilen







