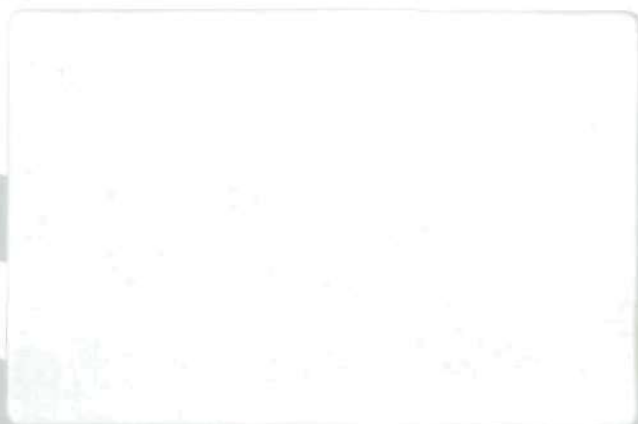




Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling RIZA



RIZA

In dit werkdocument wordt de visie van de auteur(s) weergegeven, niet die van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

The views expressed in this document are the authors or authors' own, not those of the Department of Transport, Public Works and Watermanagement.



Grondwatermodelstudie

IJsselmeergebied

Een toepassing van variabele lekelementen in het
Nationaal Grondwatermodel

Werkdocument 2000.181x

november 2000

Auteurs:

K. van Vliet
W. J. de Lange

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 3

1 Inleiding 4

2 Methode 5

2.1 Reden verfijnd modelleren met variabele-lekelementen (VARELs) 5

2.2 Inleiding NAGROM 5

2.3 Wat is precies een VAREL? 5

2.4 Modelleerproces IJsselmeemodel 6

2.4.1 Uitvoer van het IJsselmeemodel 8

2.5 Schematisatie IJsselmeemodel 8

2.5.1 Deelgebied 1: Zuidelijke Randmeren 9

2.5.2 Deelgebied 2: Noord-Holland 11

2.5.3 Deelgebied 3: Friesland en de Noordoostpolder 12

3 Resultaten 14

3.1 Huidige situatie 14

3.1.1 Kalibratie 15

3.2 Effecten van veranderingen in waterpeil 15

3.3 Hoeveelheid kwel en infiltratie 16

4 Conclusie 18

4.1 Aanbevelingen 18

Referentie 19

Bijlage

Bijlage 1 Figuren.....	20
Bijlage 2 Invoerbestanden MLAEM 21	
Bijlage 3 Legenda WINBOS 22	
Bijlage 4 Legenda RDIJ 24	

1 Inleiding

In opdracht van Waterhuishouding in het Natte Hart BeslisOndersteunend Systeem (WINBOS) en Rijksdirectie IJsselmeergebied (RDIJ) is een deel van Nationaal Grondwatermodel (NAGROM) verfijnd. Het doel is om de hoeveelheid kwel en infiltratie te berekenen bij een verhoging en verlaging van het peil in de randmeren en het IJsselmeer. WINBOS maakte gebruik van de resultaten op het *land* in de oeverzones en de RDIJ op het *water* in de randmeren.

Het verfijnen van NAGROM is gebeurd met nieuwe analytische elementen, de z.g. Variabele lekelementen (VARELS). De VARELS komen in de plaats van de constante-lekelementen (ARELS) om de lek en infiltratie meer nauwkeurig te modelleren. Dit wordt in Hoofdstuk 2 nader uitgelegd.

De resultaten van NAGROM leveren de onderrandvoorwaarde aan MOZART (Model van de Onverzadigde zone) door middel van het koppelingsmodel MONA. Met aansluitende modellen wordt vervolgens de berekening uitgevoerd van effecten op grondwater als gevolg van bodemdaling en klimaatsverandering in het IJsselmeergebied (Haasnoot, 2000).

Hoofdstuk 2 geeft een beknopte beschrijving van de modelleertechniek met VARELS, de geohydrologische opbouw van het IJsselmeergebied en het IJsselmeermodel. In Hoofdstuk 3 staan de resultaten van de fluxen en stijghoogtes bij peilverhoging en peilverlaging. Tot slot in Hoofdstuk 4 de conclusies. De figuren met resultaten staan in de Bijlage 1.

In het verleden hebben Steef van Balen (WMO Zwolle) (Knol, W.C., 1998), André Blonk (Tauw b.v.) en Mark Emke (IWACO, 1998) een bijdrage aan dit project geleverd.

2 Methode

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd waarom NAGROM verfijnd wordt met daarbij een inleiding in NAGROM. Vervolgens wordt uitgelegd wat VARELS precies zijn, en als laatste hoe het IJsselmeermodel is opgebouwd en hoe de geohydrologie is geschematiseerd.

2.1 Reden verfijnd modelleren met variabele-lekelementen (VARELS)

Het doel van het verfijnen van het IJsselmeermodel is om de lek en infiltratie in de oeverzones beter te kunnen kwantificeren. In NAGROM, ingesteld op landelijke beleidsanalyses, is de mate van detail daarvoor niet groot genoeg. Een andere reden voor het opnieuw modelleren van het IJsselmeergebied, is het beschikbaar komen van de grote hoeveelheid data uit de GMN-database (Grondwaterbeheer Midden-Nederland, IWACO, 1994) en de Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied (1991). De ontwikkeling van de variabele-lekelementen (VARELS), die in de plaats komen van de constante-lekelementen (AREa Elements) maakt het mogelijk om de data uit de GMN-database één op één in te voeren in een MLAEM-model. Een ander voordeel van een VAREL is dat er meer zijden dan 4 (zoals de AREL) zijn toegestaan en met name de kustlijn (waarover de grootste fluxen plaatsvinden) veel nauwkeuriger gemodelleerd kan worden.

2.2 Inleiding NAGROM

Het Nationale Grondwatermodel (NAGROM) is een stationair model voor de verzadigde zone en is gebaseerd op de Analytische Elementen Methode (AEM, Strack, 1989). Een analytisch element is een wiskundige oplossing voor stroming in een oneindig uitgestrekt watervoerend pakket. Het maken van een model is het combineren van analytische elementen.

NAGROM bestaat uit negen deelmodellen, die samen heel Nederland beslaan met uitzondering van het zuiden van Limburg. De modellen zijn opgebouwd uit een topsysteem met daaronder watervoerende pakketten gescheiden door semi-doorlatende lagen. De bovenrandvoorwaarde bestaat uit representatieve parameters voor de peilen van de verschillende drainagesystemen, voedingsweerstand en neerslagoverschot, berekend door MOZART en MONA. In een peilbeheerste omgeving kan dit vereenvoudigd worden tot een randvoorwaarde met de weerstand van de deklaag en het polderpeil in ARELS (Area Elements). Voor elementen die open water simuleren, is de voedingsweerstand gelijk aan de weerstand van de bodem en het peil gelijk aan het peil van het open water.

2.3 Wat is precies een VAREL?

Een VAREL is een polygoon waarbinnen de lek (verticale stroming over een scheidende laag) *continu* varieert. Binnen dat polygoon kunnen ook de weerstand en het peil (*continu*) variëren. Dit in tegenstelling tot de AREL (constante-lekelement) waarbinnen *per polygoon* de lek berekend wordt met één vast peil en één vaste voedingsweerstand.

In Figuur 2 is schematisch het principe van een VAREL weergegeven. Figuur 2a is een hypothetisch deelgebied en Figuur 2b is een doorsnede over een randmeer dat overgaat in het achterland, de polder.

Op een VAREL-controlepunt (kortweg VARELS, blauwe sterretjes in Figuur 2) voert de interpolator de berekeningen van de kwel en infiltratie uit waardoor een continue vlak van kwel en infiltratie bepaald wordt. De weerstanden (c^* , c_1 en c_2) en de peilen worden in het model gebracht met datapunten oftewel AquiTards (AT's). Deze datapunten zijn de blauwe en zwarte vierkantjes in MLAEM (Figuur 2). De kwel (q in $[mm\ dag^{-1}]$, zie Figuur 2b) wordt bepaald door het verschil in stijghoogte tussen het eerste watervoerend pakket en het oppervlaktewaterpeil (dh , blauwe vierkantjes, zie Figuur 2b) of de grondwaterstand in het freatische pakket, gedeeld door de weerstand van de scheidende laag ($C_{deklaag}$ of C_1 , zwarte vierkantjes, zie Figuur 2b).

De variatie in de kwelintensiteit wordt bepaald door de spreidingslengte (λ [m]). De spreidingslengte is de wortel uit het product van de doorlatendheid, de dikte van het watervoerend pakket en de weerstand van de scheidende laag erboven. De spreidingslengte bepaalt de afstand waarop de VARELS van elkaar geplaatst moeten worden binnen een polygoon bij het modelleren. De grootste hoeveelheid kwel vindt plaats in de oeverzone met een breedte vergelijkbaar met de spreidingslengte. Binnen een oeverzone met een breedte drie maal de spreidingslengte is de hoeveelheid kwel vrijwel tot nul gereduceerd (zie Figuur 2b).

In het proces van modelleren heeft dit tot gevolg dat wanneer de spreidingslengte heel groot is, een grote afstand tussen de VARELS volstaat en weinig VARELS nodig zijn. Dit is het geval bij kleigronden met een λ die varieert tussen 500 en 10,000m. Wanneer de spreidingslengte heel klein is, bijvoorbeeld van zandige gronden waarvan de λ varieert tussen de 10 en 500m, moeten de VARELS op heel kleine afstand van elkaar geplaatst worden om de variatie in de kwelverdeling binnen de polygoon mogelijk te maken.

2.4 Modelleerproces IJsselmeermiddel

De volgende stappen geven in het kort het proces van ombouwen weer van NAGROM gebaseerd op constante-lekelementen naar een verfijnd model van een randmeer gemodelleerd met variabele-lekelementen:

1. vorming IJsselmeermiddel door vijf NAGROM-deelmodellen aan elkaar te plakken (zie Figuur 3 en 4);
2. aquifer eigenschappen aanpassen om deelmodellen aan elkaar te sluiten, i.e. extra laag inbrengen in model Noord-Nederland;
3. IJsselmeermiddel opdelen in twaalf submodellen met het doel in te zoomen per randmeer of deelgebied (Figuur 5);
4. ARELS vervangen door VARELS of ARELS verfijnen (Figuur 6).
5. toevoegen weerstandsdata en peilen van GMN-database en Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied aan submodellen (Figuur 7);

De basis van het IJsselmeermiddel wordt gevormd door vijf deelmodellen van NAGROM aan elkaar te 'plakken' (-in MLAEM is het mogelijk om polygonen te knippen en plakken-), t.w. Noord-Nederland (NAGROM, 1992), Oost-Nederland (NAGROM, 1993), Holland-Noord (NAGROM, 1994), Veluwe (NAGROM, 1993) en Holland-Zuid (NAGROM, 1994) (zie Figuur 3).

Figuur 4 is het resulterende model van het IJsselmeer met alleen constante-lekelementen.

De modellen worden gekoppeld door de eigenschappen van de watervoerende pakketten en scheidende lagen goed aan te sluiten. De ondergrond van het noordoostelijke deel van Nederland is geschematiseerd met twee watervoerende pakketten, terwijl de rest van Nederland is geschematiseerd met drie watervoerende pakketten. Om het aantal aquifers in alle deelmodellen

gelijk te maken is een tweede scheidende laag met een dummy-weerstand ingebracht in het model van Noord-Nederland.

De volgende stap is de verfijning van het IJsselmeemodel. Allereerst wordt het IJsselmeemodel opgedeeld in twaalf submodellen (Tabel 1, zie Figuur 5), omdat het maximale aantal VARELS (2400) zal worden overschreden.

De grenzen van de submodellen zijn in het zuiden gelijk aan de randmeren. De modelcodes in Tabel 1 zijn de namen van de submodellen die zijn gebruikt in MLAEM (de 'y' staat voor het IJsselmeer, de modellen 1 t.e.m. 9 bestaan niet).

Tabel 1. De submodellen in het IJsselmeergebied, (zie Figuur 5)

model code	gebied
y10	Kampen
y11	Vossemeer en Drontermeer
y12	Veluwemeer
y13	Wolderwijd en Nulderneauw
y14	Nijkerkernauw en Eemmeer
y15	Gooimeer
y16	PEN-eiland
y17	Waterland (a) , Hoorn (b), (c) Enkhuizen
y18	Onderdijk
y19	Makkum (a), Workum (b)
y20	Stavoren (a), Lemmer (b)
y21	Noordoostpolder

De volgende stap is het vervangen van ARELS door VARELS in de oeverzones en randmeren in elk submodel. De vormen van de nieuwe polygonen volgen precies de contouren van heterogeniteiten (i.e. klei- en leemlenzen zoals in het Veluwemeer) zoals ze in de Geohydrologische Atlas van het IJsselmeergebied staan i.t.t de ARELS dat deden. Vervolgens worden in een VAREL-polygoon weerstands-datapunten (ATARD-punten) toegevoegd uit de GMN-database in alledrie de watervoerende pakketten. Daar waar geen data beschikbaar is uit het GMN, wordt data uit MONA gebruikt met als extra bron de Geohydrologische Atlas van het IJsselmeergebied. Deze databases hebben drainageweerstand- en peilbestanden in de vorm van elementen van het TRIWACO-model.

Na de invoer van de polygonen en datapunten, worden VAREL-controlepunten (zie Figuur 2) toegevoegd afhankelijk van de spreidingslengte. De VAREL-controlepunten moeten van boven naar beneden toe doorvertaald worden op dezelfde locatie. De breedte van de verfijning van de oeverzone hangt af van de variatie in weerstand van de scheidende laag (de spreidingslengte) en de stijghoogteverschillen welke de variatie in verticale stroming bepalen. In de meeste delen van het IJsselmeergebied is de breedte van de oeverzone ongeveer 2 km, waarbinnen verfijnd wordt met VARELS. In de gebieden waar de λ zo klein is dat het ondoenlijk is om een afstand λ aan te houden (bijvoorbeeld in het achterland langs de randen van het Veluwemeer en Wolderwijd), wordt een extra zeer smalle polygoon toegevoegd.

Figuur 6 laat zien welke gebieden op welke wijze verfijnd zijn.

De lichtgele gebieden langs de randen van de randmeren en het IJsselmeer zijn verfijnd door ARELS te vervangen door VARELS. De donkergele gebieden (in de Noordoostpolder) zijn verfijnd door de AREL-polygonen kleiner te maken. Dit kan daar omdat de variatie in de lek klein is en stapsgewijs constante-lekelementen daar voldoen. Dus daar is geen variabele weerstandsverdeling per element. Het gebied buiten de oeverzones in het

IJsselmeergebied, bestaat uit constante sterkte ARELS (lichtgrijze gebieden). De witte gebieden zijn in NAGROM, maar niet in het IJsselmeemodel.

2.4.1 Uitvoer van het IJsselmeemodel

De uitvoer van NAGROM voor WINBOS bestaat uit de stijghoogtes per 500 bij 500 m in het eerste watervoerende pakket, die MONA omzet naar een flux van *het eerste aquifer naar het freatische pakket (zie Figuur 1, Kroon, 2000)*. MOZART simuleert de onverzadigde zone door middel van verticale grondwaterstromingen door een kolom (geschematiseerd in eenheden van 500 bij 500 m). Daarna rekent MOZART op basis van deze onderrand-flux een nieuwe gemiddelde grondwateraanvulling uit. Die dient weer als invoer voor NAGROM.

Normaliter worden de resulterende grondwaterstanden in MOZART verkregen na een iteratie-proces, omdat het resultaat van NAGROM een randvoorwaarde is van MOZART. Binnen deze studie was itereren niet mogelijk, omdat de communicatie van MONA naar de *verfijnde* NAGROM-modellen op basis van de nieuwe elementen niet is ontwikkeld.

De effecten zijn benaderd door de verandering in stijghoogte (scenario t.o.v. huidige situatie), berekend met de nieuwe verfijnde modellen op te tellen bij de stijghoogten van huidige situatie, berekend met de oude modellen (zie Haasnoot, 2000).

2.5 Schematisatie IJsselmeemodel

Deze paragraaf geeft een overzicht van de peilen in de huidige situatie in het IJsselmeergebied. Daarnaast is de geohydrologische schematisatie van het IJsselmeemodel uitgewerkt en wordt in figuren weergegeven.

In Bijlage 2 staat een voorbeeld van de structuur van een invoerbestand van een MLAEM-model gebaseerd op VARELS.

De toplaag van de submodellen is gemodelleerd met VARELS van het type RESISTANCE. De toplaag in de naaste omgeving is gemodelleerd met ARELS van het type GIVEN (infiltratiegebieden), RESISTANCE of MULTI-RESISTANCE (weerstand afhankelijk van het peil).

De basisgegevens van de toplaag zijn met (twee) aquitardpunten ingevoerd. Eén daarvan definieert het peil of p^* met FHEAD (blauwe vierkantjes in Figuur 7, Figuur 8), *de ander is de drainage- en voedingsweerstand of c^* en is van het type RRESISTIVITY (zwarte vierkantjes in Figuur 7, Figuur 9)*. Voor uitgebreidere uitleg over de c^* en p^* wordt verwezen naar De Lange, 1997. De tweede scheidende laag wordt gevormd door aquitard-datapunten van het type LRESISTIVITY. De VARELS en ARELS zijn van het type LEAKY (Figuur 10). De derde scheidende laag wordt gevormd door VAREL-elementen van het type LRESISTIVITY en AREL-elementen van het type LEAKAGE in de buitenrand. De elementenconfiguratie komt overeen met de toplaag (Figuur 11).

Overzicht peilen in IJsselmeergebied

De peilen die in de submodellen zijn gebruikt staan in Tabel 2 en Figuur 8. In de toplaag worden de peilen en het neerslagoverschot als ' p^* ' met behulp van aquitard-punten (datapunten) weergegeven. De p^* in oppervlaktewater is hetzelfde als het oppervlaktewaterpeil in de huidige situatie (zie Figuur 8). Het IJsselmeer heeft een gemiddeld peil van -0.3 m NAP, het Gooimeer, Nuldernauw en het Wolderwijd -0.2 m NAP en de overige randmeren hebben een gemiddeld peil van -0.175 m NAP.

Tabel 2. Streefpeilen in het IJsselmeer en de randmeren in m t.o.v. NAP. (Info Waterstanden RDII).

oppervlaktewaterpeil	winter [m]	zomer [m]	gemiddelde [m]
IJsselmeer	-0.40	-0.20	-0.30
Markermeer	-0.40	-0.20	-0.30
Veluwemeer	-0.30	-0.05	-0.175
Drontermeer	-0.30	-0.05	-0.175
Gooimeer	-0.30	-0.10	-0.20
Wolderwijd	-0.30	-0.10	-0.20
Nuldernauw	-0.30	-0.10	-0.20

Op het land is de p^* een optelsom van de drainage-basis en de hoeveelheid infiltratie maal de drainageweerstand (De Lange, 1997). In een peilbeheersd gebied is de p^* het polderpeil. Het Zuidelijke Randmerengebied in de Veluwe en 't Gooi hebben de hoogste peilen van het hele gebied.

Om de beschrijving overzichtelijker te maken is het IJsselmeergebied verdeeld in drie deelgebieden:

- Zuidelijke randmeren* met vijf submodellen: Vossemeer/Drontermeer, het Veluwemeer, de Wolderwijd/Nuldernauw, Nijkerkernauw/Eemmeer en het Gooimeer;
- Westkant van het IJsselmeer* met drie submodellen: het PEN-eiland, Waterland/Hoorn/Enkhuizen en Onderdijk;
- Oostkant van het IJsselmeer* met vier submodellen: Makkum/Workum, Stavoren/Lemmer, de Noordoostpolder en Kampen.

Per deelgebied zal worden ingegaan op de schematisatie van het model wat betreft de eigenschappen van het watervoerend pakket, inhomogeniteiten, en de weerstand van de scheidende lagen.

2.5.1 Deelgebied 1: Zuidelijke Randmeren

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de geohydrologische schematisatie van de ondergrond van het deelgebied Zuidelijke Randmeren. De reden dat deze submodellen samen worden beschreven is dat allen door IWACO (IWACO, 1998) zijn verfijnd met als invoer de GMN-database. Het doel van de verfijning is om de modellen geschikt te maken voor het berekenen van de variatie van de flux over de *bodem* van het randmeer en op het *land* in de oeverzone.

Begrenzing modelgebied

Tot het deelgebied Zuidelijke Randmeren behoren de submodellen y11, y12, y13, y14 en y15 (zie Tabel 1, Figuur 5) ten zuiden van de Flevopolder. De begrenzing van de verfijning van het modelgebied is afhankelijk van de λ op de grens van randmeer en land. De omgeving wordt bedekt door Area Elementen.

Geohydrologische opbouw

Het model is gebaseerd op het model van de NAGROM Supra-regio Veluwe (RIZA, TNO, 1993) en heeft dezelfde geohydrologische opbouw.

Wanneer een scheidende laag niet voorkomt wordt in het model een kleine weerstand van enkele dagen toegekend.

In het hele gebied is de deklaag aanwezig behalve aan de zuidrand van het Veluwemeer, Wolderwijd en het Gooimeer, waar het eerste watervoerend pakket aan de oppervlakte ligt en de stuwwallen beginnen. Ten noorden van het Gooimeer zit basisveen in de deklaag.

Schematisatie van de modellagen

In deze paragraaf worden de geohydrologische parameters behandeld.

De standaardwaarden van de parameters van de modellagen in de Zuidelijke Randmeren gebied zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Standaardwaarden voor watervoerende lagen (RIZA, TNO, 1993)

Modellaag	dikte [m]	basis [m -NAP]	kD [$\text{m}^2 \text{dag}^{-1}$]
1	10	20	150
2	50	75	600
3	100	180	2000

Toplaag

Figuur 7 (7a, 7b, 7c, 7d) geeft de elementenverdeling per submodel. De geometrie van de ARELs is overgenomen van NAGROM en is gekozen op basis van topografie en geohydrologische verschijnselen.

De gegevens zijn afkomstig van de GMN-database (IWACO, 1998).

De variatie in lek is heel groot in de Zuidelijke Randmeren. Aan de zuidrand langs de rand van het Wolderwijd en Nulder nauw is een zeer scherpe overgang van een gebied met stuwwallen met een zeer kleine λ naar poldergebied met een grote λ .

De stuwwal 't Gooi is gemodelleerd met een GIVEN AREL (Figuur 9, het gele vierkant ter plaatse van 't Gooi) omdat de c^* (peil en voedingsweerstand) extreem hoog is en daarom bijna gelijk is aan infiltratie. De weerstand van de toplaag varieert van zeer laag (1 dag tot 100 dagen) in het Veluwemeer en het Wolderwijd tot redelijke groot in het noorden van het Gooimeer en het Eemmeer.

Modellaag 1

De doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket is standaard $150 \text{ m}^2 \text{dag}^{-1}$. Dit is een goede benadering in de niet-gestuwde gebieden (RIZA, TNO, 1993). Rondom de submodellen van het Wolderwijd en het Nulder nauw is de doorlatendheid $400 \text{ m}^2 \text{dag}^{-1}$. Ten zuiden van het Veluwemeer onder de stuwwallen van de Veluwe is de doorlatendheid $450 \text{ m}^2 \text{dag}^{-1}$.

Tweede scheidende laag

De elementenconfiguratie komt overeen met de toplaag. De VAREL-controlepunten in de toplaag zijn in alle scheidende lagen neergelegd om de lek te kunnen doorvertalen. De weerstandswaarde (c_s) bedraagt 1 bij het ontbreken van de scheidende laag, in NAGROM was dit 3 dagen. Door interpolatie van de weerstandsdatapunten kan de weerstand heel laag worden, bijvoorbeeld de weerstand wordt dan kleiner dan 1 in het Veluwemeer en het Drontermeer. Onder het Gooimeer ontbreekt de tweede scheidende laag en heeft een weerstand van 1 dag. De maximale weerstand is 80,000 dagen bij het Nulder nauw en het Wolderwijd (zie Figuur 10).

Modellaag 2

De standaard doorlatendheid van het tweede watervoerend pakket is $600 \text{ m}^2 \text{dag}^{-1}$. Inhomogeniteiten komen voor in de stuwwallen van de Veluwe ten zuiden van het Veluwemeer.

Derde scheidende laag

De laagste weerstanden komen voor in de kop van Wolderwijd, het Veluwemeer (afgezien van een lokale leemlens). Onder het Drontermeer ontbreekt de scheidende laag en heeft om die reden een weerstand van 1 dag. Onder het Wolderwijd en het Nulder nauw zit een grote leemlens en heeft daarom de grootste weerstanden tot maximaal 130,000 dagen (zie Figuur 11).

Modellaag 3

De doorlatendheid van het derde watervoerend pakket is standaard gedefinieerd met een waarde van $2000 \text{ m}^2 \text{dag}^{-1}$.

Onder het Drontermeer tot en met het Gooimeer in het westen is de doorlatendheid $6000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. Halverwege de Flevopolder, onder het Gooimeer en onder het IJsselmeer is de doorlatendheid $10,000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. Ten westen van het Gooimeer is de doorlatendheid van de derde laag weer $6000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. Ten zuiden van de randmeren is de doorlatendheid $4000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$.

2.5.2 Deelgebied 2: Noord-Holland

Deze paragraaf geeft een beschrijving van de geohydrologische schematisatie van de ondergrond van het westelijke deel van het IJsselmeergebied, Noord-Holland. De grondwatermodellen van Noord-Holland zijn verfijnd op basis van de Geohydrologische Atlas van het IJsselmeergebied met het doel de kwel- en infiltratie op het land te berekenen.

Begrenzing modelgebied

Tot het deelgebied Noord-Holland behoren de submodellen y16 (PEN-eiland), y17 (Waterland (a), Hoorn (b), (c) Enkhuizen) en y18 (Onderdijk) (zie Tabel 1, Figuur 5). Het submodel y17 is in drieën opgedeeld om de aandacht te vestigen op de kuststrook in de drie regio's.

De Wieringermeerpolder ontbreekt in deze modellering.

Geohydrologische opbouw

Het deelgebied Noord-Holland wordt gemodelleerd in drie submodellen. Ze zijn gebaseerd op het model van NAGROM Supra-regio Holland-Noord (1994). In het hele oostelijke deel van het IJsselmeergebied is een deklaag met basisveen aanwezig met een hoge weerstand doorsneden door zandige Holocene getijdegeulen met een lagere weerstand.

Schematisatie van de modellen

De standaardwaarden voor de doorlatendheid en de dikte van de watervoerende pakketten zijn hetzelfde als voor het deelgebied Zuidelijke Randmeren in Tabel 3.

Toplaag

Figuur 7 geeft de elementenverdeling van de verschillende submodellen (Figuur 7e, 7f, en 7g). Figuur 8 en 9 laten zien hoe de peilen en de weerstanden van de toplaag van de modellen gedefinieerd is. Het achterland bestaat uit diepe polders met een peil variërend van -0.5 m NAP bij Amsterdam tot ca. -3 m NAP bij Hoorn. De weerstand van de toplaag of deklaag is $15,000$ dagen onder het Markermeer en het IJsselmeer. Dichtbij de kust van Hoorn en Marken wordt de weerstand 5000 dagen. Op het land is de weerstand ongeveer 3000 dagen. Onder Onderdijk in het noorden is de weerstand $28,000$ dagen onder het water met een geul met een weerstand van 9000 dagen die voor de kust ligt. Op het land is de weerstand 6000 tot $10,000$ dagen.

Modellaag 1

Het eerste watervoerend pakket heeft standaard een doorlatendheid van $150 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. Afwijkende kD-waarden komen voor in de vorm van inhomogeniteiten. Onder het IJmeer en het Markermeer, in submodel Y16 en y17(a), is de doorlatendheid $400 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. Ten westen van Amsterdam is de doorlatendheid $700 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$, vanwege in de ondergrond aanwezige glaciale geulen (zie RIZA, TNO, 1994).

Tweede scheidende laag

De tweede scheidende laag ontbreekt onder het Gooimeer in het zuiden van het deelgebied en loopt op naar 5000 dagen onder het IJmeer. Op het land naar het (noord)westen ten N van Amsterdam is de weerstand zeer hoog omdat er keileem voorkomt, nl. $200,000$ dagen. Boven Marken neemt de

weerstand weer af tot 1300 dagen in het westen op het land bij Hoorn. In het noorden van het Markermeer is de weerstand lager van 10 tot 250 dagen. Onder Onderdijk is de weerstand ca. 2000 dagen. (zie Figuur 10)

Modellaag 2

Het tweede watervoerend pakket heeft standaard een doorlatendheid van $600 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. De inhomogeniteiten die in (RIZA, TNO, 1994) erin zijn gebracht, zijn eruit gehaald.

Derde scheidende laag

De derde scheidende laag is onder het IJmeer en het Markermeer een laag met een weerstand van 1 dag die oploopt tot 2500 dagen naar het noordwesten. Waar de weerstand 1 dag is, zijn de tweede en derde modellaag één watervoerend pakket. Onder Hoorn, Enkhuizen en Onderdijk is de weerstand van de derde scheidende laag 500 dagen. (zie Figuur 11)

Modellaag 3

Het tweede watervoerend pakket is standaard gedefinieerd met een waarde van $2000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. In submodel Y16 onder het IJmeer is de doorlatendheid $6000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. In de rest van het IJsselmeergebied, ten noorden van het Goomeer is de doorlatendheid $10,000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$.

2.5.3 Deelgebied 3: Friesland en de Noordoostpolder

In deze paragraaf wordt de geohydrologische schematisatie van de ondergrond beschreven van het oostelijke deel van het IJsselmeergebied dat het kustgebied tussen de Afsluitdijk en het Ketelmeer behelst in de Provincies Friesland en Overijssel. De submodellen zijn verfijnd op basis van de Geohydrologische Atlas om kwel en infiltratie te bepalen op het land.

Begrenzing modelgebied

Tot het deelgebied Friesland en de Noordoostpolder behoren de volgende submodellen van noord naar zuid: y19a en y19b, de submodellen van respectievelijk Makkum en Workum, y20a en y20b van respectievelijk Stavoren en Lemmer, y21 van de Noordoostpolder en Y10 van Kampen (zie Tabel 1, Figuur 5).

Geohydrologische opbouw

Het model van deelgebied Friesland en de Noordoostpolder is gebaseerd op de Supra-regio Noord-Nederland (RIZA, TNO, 1992). De verfijnde submodellen zijn gemodelleerd met drie lagen in plaats van twee lagen, wat andere aquifereigenschappen tot gevolg heeft dat in NAGROM is gebruikt. De extra laag is ingebracht om het aan te sluiten met de rest van het IJsselmeergebied en heeft een weerstand van 1 dag.

Schematisatie van de modellagen

De standaardwaarden voor de doorlatendheid en de dikte van de watervoerende pakketten zijn hetzelfde als voor het deelgebied Zuidelijke Randmeren in Tabel 3.

Toplaag

De toplaag is gemodelleerd met VAREL-elementen in de submodellen y19, y20 en y10. De elementenconfiguratie is weergegeven in respectievelijk Figuur 7h, 7i en 7k. Het submodel y21 (Noordoostpolder) is als enige verfijnd door AREL-elementen kleiner te maken (zie oranje vlakken in Figuur 5, Figuur 7j). Dit submodel is gemaakt zonder VARELS en de weerstand heeft een constante sterkte per polygoon. (Alleen van dit submodel zijn de ARELS als invoer te zien in Figuur 8 en Figuur 9. In de randen van de andere modellen welke ook met

ARELS zijn gemodelleerd, was dit een te grote moeite om ook weer te geven in de betreffende figuren).

Het gebied in submodel y20 tussen Stavoren en Lemmer waar de eerste scheidende laag dagzoomt en de deklaag afwezig is (z.g. potklei, zie geologische beschrijving in RIZA, TNO, 1992), is gemodelleerd met behulp van lijnelementen met een zeer hoge weerstand van 100,000,000 dagen. Het gebied is blanco in Figuur 8 omdat dit figuur alleen de VARELS weergeeft. Op de bodem van het eerste watervoerend pakket is met VARELS van het type RESISTANCE in combinatie met lijnelementen een vaste weerstand van 250 dagen gedefinieerd.

De invoer van de peilen is weergegeven in Figuur 8. Het peil van het IJsselmeer is -0.3 m NAP. Het peil in het noorden bij Workum is -0,2 m NAP. In de Noordoostpolder is het peil het diepst van -3.5 m NAP bij Schokland tot -6 m NAP iets verder de polder in. De weerstand van de topklaag (c*) is weergegeven in Figuur 9. De weerstand van potklei zit niet in de figuur. De weerstand is 100 dagen onder het IJsselmeer ter hoogte van Workum en Makkum en 1 dag bij Stavoren, waar de deklaag afwezig is en het eerste watervoerend pakket aan de oppervlakte is.

Op het land is bij Makkum en Workum de deklaag wel aanwezig met een weerstand van 1500 dagen in het noorden tot 500 dagen in het zuiden. In de Noordoostpolder is de weerstand 500 in het noorden tot 5000 dagen in het zuiden. Op Schokland is de deklaag afwezig en is de eerste scheidende laag aan het oppervlakte met vlakbij daarnaast een zuigput, wat een lage weerstand heeft.

Modellaag 1

Het eerste watervoerend pakket heeft standaard een doorlatendheid van $150 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$. Ter plaatse van de dagzoming van de zeer slechtdoorlatende potklei in de submodellen van Stavoren y21(a) en Lemmer y21(b) is een inhomogeniteit met een doorlatendheid van $25 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$.

Tweede scheidende laag

De tweede scheidende laag heeft een weerstand van 200 tot 300 dagen onder het IJsselmeer ter hoogte van Makkum/Workum, doorsneden met geulen die een grotere weerstand hebben van 1500 tot 3000 dagen (zie Figuur 10). Ten zuiden van Stavoren/Lemmer is de weerstand 100 dagen, dat afloopt naar een weerstand van 1 of 20 dagen ten zuidwesten en zuidoosten van de Noordoostpolder. Op het land is de weerstand gemiddeld 250 tot 500 dagen dat oploopt naar een weerstand van 1500 dagen in het oosten.

Modellaag 2

Het tweede watervoerend pakket heeft een doorlatendheid van $600 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$.

Derde scheidende laag

De weerstand van de derde scheidende laag is 10 dagen in het hele gebied ten noorden van het Ketelmeer. Ten zuiden is de weerstand 1 dag. Deze fungeert als schijn-scheidende laag, zodat de tweede en derde laag samen één laag vormen. (zie Figuur 11)

Modellaag 3

De doorlatendheid van het derde watervoerend pakket is $10,000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$, vanwege een inhomogeniteit die het hele westelijke deel van het IJsselmeergebied beslaat. Ten oosten van Workum/Makkum is een inhomogeniteit met een doorlatendheid van $1,000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$.

In het oosten van de Noordoostpolder en het Ketelmeer is een inhomogeniteit met een doorlatendheid van $6,000 \text{ m}^2 \text{ dag}^{-1}$.

3 Resultaten

Per submodel zijn de stijghoogtes en fluxen van het eerste watervoerend pakket berekend met de data gepresenteerd in Hoofdstuk 2. Vervolgens zijn met het *IJsselmeemodel* twee scenario's doorgerekend, waarbij per scenario het oppervlaktewaterpeil (zie Tabel 1) wordt veranderd van het IJsselmeer en de randmeren (zie Haasnoot, 2000).

In dit hoofdstuk komen de volgende onderwerpen aan bod:

1. de stijghoogtes en fluxen van de huidige situatie op het land en water;
2. de veranderingen in stijghoogtes en fluxen op het land bij verhoging van het huidige gemiddelde waterpeil tot +0.4 m NAP (in opdracht van WINBOS);
3. de veranderingen in stijghoogtes en fluxen op het land bij verlaging van het huidige gemiddelde waterpeil tot -0.6 m NAP (in opdracht van WINBOS);
4. berekening hoeveelheid kwel en infiltratie over de waterbodem van het deelgebied Zuidelijke Randmeren (in opdracht van RDIJ).

3.1 Huidige situatie

Figuur 12 geeft de gemodelleerde stijghoogten in het eerste watervoerend pakket. De stijghoogtes van het tweede en derde watervoerend pakket staan in respectievelijk Figuur 13 en Figuur 14. In deze figuren zijn de begrenzingen van de submodellen van de randmeren te zien. De submodellen blijken goed aan te sluiten in de resultaten van de stijghoogten van de watervoerend pakketten. Behalve in de overgang van het Gooimeer naar het IJmeer en het Nijkerkernauw zit een sprong in de stijghoogtes in het eerste en tweede watervoerend pakket. In het derde watervoerend pakket sluiten de stijghoogtes in het Ketelmeer niet goed aan op die van het Drontermeer.

Figuur 15 geeft de fluxen van de huidige situatie, dat is de hoeveelheid grondwater die stroomt van het eerste watervoerend pakket naar de toplaag. In de geel-roodgekleurde gebieden met positieve getallen treedt kwel op, dus opwaartse stroming. In de blauwgekleurde gebieden met negatieve getallen vindt infiltratie plaats.

De grootste kwel (10 tot 100 mm dag⁻¹) treedt op in de Flevopolder ten noorden van het Veluwemeer en het Wolderwijd en op de waterbodem aan de zuidrand van het Veluwemeer en het Wolderwijd waar stroming vanaf de Veluwe komt.

Minder kwel (1 tot 10 mm dag⁻¹) treedt op in het Gooimeer en in de Flevopolder ten noorden van het Gooimeer en Drontermeer en aan de noordrand van de Noordoostpolder. De grootste infiltratie treedt op in het Veluwemeer. Dit komt door de lage weerstand van de deklaag en het relatieve hoge oppervlaktewaterpeil.

De Noordoostpolder heeft door het gebruik van ARELs een constante flux-waarde per element en laat daardoor een hoekig patroon zien in de verdeling van de kwel en infiltratie. Met VARELs is het patroon veel grilliger zoals in het Zuidelijke Randmerengebied te zien is. Een kanttekening bij de fluxen is deze; op sommige plekken is een blauwgekleurde plek midden in een roodgekleurd gebied, bijvoorbeeld binnen een kilometer ten zuiden van het Veluwemeer. Het is in dit geval niet een kwelplek midden in een gebied met infiltratie, maar een fout in het model als gevolg van de gebruikte interpolatiemethode en inherent aan het gebruik met VARELs. Het treedt op wanneer de gradiënt van de kwel zo groot is (hierbij is dat aan de noordelijke waterkant van de Veluwe), dat de

interpolator van de stijghoogte-isohypsen 'doorschiet' op een andere plek (ten zuiden van het Veluwemeer) en plaatselijk verkeerde getallen produceert. Andere locaties die gevoelig zijn voor dit probleem zijn de Wolderwijd vanwege de grote lens van keileem, het zuidelijke deel van het Gooimeer en het Drontermeer. De ARELs zijn in dit opzicht robuuster in gebruik doordat de elementen een vaste sterkte hebben en zonder interpolator werken binnen de elementen. In de toekomst zal met zogenaamde "lijn-lekelementen" dit worden verbeterd.

3.1.1 Kalibratie

In Figuur 16 zijn de NAGROM-isohypsen (i.e. rode lijnen van gelijke stijghoogte) vergeleken met de GMN-isohypsen (zwarte lijnen) voor het Zuidelijke Randmerengebied. De beide isohypsen komen globaal overeen. In het noorden van het Gooimeer zit een afwijking, waarbij de NAGROM-isohypsen een kleinere gradiënt tonen dan de GMN-isohypsen. De stijghoogte-isohypsen in het GMN model zijn minder betrouwbaar in de grijze zone langs de randen vanwege een grovere schematisatie. Alhoewel een gedegen kalibratie zeer nuttig is, is dit niet gedaan. NAGROM is in het verleden al gekalibreerd en er wordt van uitgegaan dat de aanpassingen verbeteringen zijn en geen verslechtering zal opleveren.

3.2 Effecten van veranderingen in waterpeil

Figuur 17 en Figuur 18 geven de verandering in stijghoogte van het eerste watervoerende pakket weer voor respectievelijk peilverlaging naar -0.6 m NAP en peilverhoging naar +0.4 m NAP. Dit is de verandering ten opzichte van de stijghoogten gemodelleerd in de huidige situatie (Figuur 12).

Figuur 19 en Figuur 20 geven de veranderingen in kwel- en infiltratie weer voor respectievelijk peilverlaging naar -0.6 m NAP en peilverhoging naar +0.4 m NAP. Dit is de verandering ten opzichte van de fluxen gemodelleerd in de huidige situatie (Figuur 15).

De fluxen zijn veranderingen in kwel en infiltratie van het eerste watervoerende pakket naar het freatische pakket. Een negatief getal van de flux bij peilverlaging geeft een afname in kwel aan, een positief fluxgetal is een infiltratietoename. Bij peilverhoging geven de positieve waarden van de flux een toename van de kwel aan, en negatieve waarden afname van infiltratie. Om de berekende veranderingen in flux beter te interpreteren is in aangegeven waar de huidige kwel- en infiltratiegebieden voorkomen (positief is kwel en negatief is infiltratie).

Het verhogen van het peil veroorzaakt een groter stijghoogteverschil tussen de randmeren en het achterland, welke een toename van de kwel veroorzaakt. Een verlaging van het peil heeft het tegenovergestelde effect. De effecten zijn echter gering daar waar een grote stromingsweerstand is en dus ook daar waar de spreidingslengte groot is. Dit is het geval in polders ten westen van het IJsselmeer, vanwege de grote weerstand van de deklaag en in gebieden waar de weerstand van de eerste scheidende laag groot is, zoals bij het Wolderwijd en het Nuldernew. Alleen in de gebieden met zandige stuwwallen, i.e. de Utrechtse heuvelrug bij het Gooimeer en de Veluwe bij het Veluwemeer zijn de effecten van peilverhoging of -verlaging duidelijk. Aan de noordzijde van het Veluwemeer zijn de fluxverschillen groter, doordat de deklaag dunner is en de eerste scheidende laag ontbreekt.

Door verlaging van het peil naar -0.6 m NAP vermindert de kwel in het omliggende gebied. Deze verandering is kleiner dan berekend in het scenario

waarbij het peil wordt verhoogd, doordat de relatieve verandering van het peilverschil ten opzichte van de huidige situatie kleiner is.
(zie Haasnoot, 2000)

3.3 Hoeveelheid kwel en infiltratie

In opdracht van het Rijksdirectie IJsselmeergebied is aan RIZA gevraagd om berekeningen van kwel- en infiltratiefluxen uit te voeren voor het Gooimeer apart, en het Nijkerkernauw en het Eemmeer samen.

Dit is een vervolg op het onderzoek gedaan in opdracht van het RIZA in 1998 (IWACO, 1998) waarbij de kwel en infiltratie is berekend voor het Drontermeer, Veluwemeer, Wolderwijd en het Nuldernauw. Uit dit onderzoek bleek dat de hoeveelheid kwel- en infiltratie goed te beschrijven zijn als functie van het oppervlaktewaterpeil op het randmeer binnen de voorkomende variatie van de peilen.

Alleen de oppervlaktewaterpeilen worden gevarieerd. Er wordt verondersteld dat invloed van neerslag en verdamping op de variatie van de kwel en infiltratie verwaarloosbaar is.

Rijksdirectie IJsselmeergebied heeft uit de gemiddelde en extreme oppervlaktewaterpeilen van het Gooimeer en het Eemmeer/Nijkerkernauw van de afgelopen 20 jaar drie peilen gekozen, waarbij de fluxen worden uitgerekend, t.w. 0.4 -m NAP, 0.2 -m NAP en 0 m NAP.

Voor het interval waartussen de peilen variëren is de kwel en infiltratie bepaald. Hiermee zijn voor elk randmeer twee relaties opgesteld, waarmee de hoeveelheid kwel en infiltratie direct bepaald kunnen worden uit het oppervlaktewaterpeil op het randmeer.

Voor de berekening van de kwel en infiltratie van het Gooimeer is het model van het Gooimeer aan de oostkant uitgebreid omdat de begrenzing aanpassing behoefde. In Figuur 21 en Figuur 22 worden de resultaten getoond voor respectievelijk het Gooimeer en het Eemmeer/Nijkerkernauw. In Tabel 4 staat de totale hoeveelheid kwel en infiltratie berekend voor de drie oppervlaktewaterpeilen per randmeer.

De relaties voor zowel de kwel als infiltratie zijn lineair in het Gooimeer en het Eemmeer/Nijkerkernauw binnen het doorgerekende bereik. De relaties zijn bepaald met lineaire trendanalyse in EXCEL.

Dit betekent dat tussen de peilen 0.4 -m NAP en 0 m NAP de fluxen kunnen worden beschreven met de formule (zie Tabel 5):

$$Q = a_0 + a_1 \cdot p$$

met Q flux [m^3/dag]
 a_0, a_1 parameters per randmeer voor kwel of infiltratie
 p oppervlaktewaterpeil van het randmeer [m NAP]

De kwelrelatie in het Nijkerkernauw is minder betrouwbaar omdat de hoeveelheid kwel heel klein is (gelijk aan of kleiner dan 0.01 %) in vergelijking tot de totale hoeveelheid infiltratie in het meer.

Tabel 4. Berekende kwel- en infiltratiefluxen voor het Gooimeer en het Eemmeer/Nijkerkernauw bij drie oppervlaktewaterpeilen

opp.waterpeil	Gooimeer		Eemmeer/Nijkerkernauw	
p [m NAP]	kwel [$\text{m}^3 \text{ dag}^{-1}$]	infiltratie [$\text{m}^3 \text{ dag}^{-1}$]	kwel [$\text{m}^3 \text{ dag}^{-1}$]	infiltratie [$\text{m}^3 \text{ dag}^{-1}$]
0	1.927	33.089	-	20.211
-0.20	2.600	29.672	5	18.398
-0.40	3.383	26.363	22	16.594

Tabel 5. Parameters Q-p relatie voor de randmeren met $Q = a_0 + a_1 \cdot p$

Randmeer	kwel a_0	kwel a_1	r^2	infiltratie a_0	infiltratie a_1	r^2
Gooimeer	-1909	3640	0.998	33071	16815	0.999
Eemmeer/ Nijkerkernauw	-2	-55	0.910	20210	9043	1

4 Conclusie

De grootste kwel en infiltratie treedt op in de Zuidelijke randmerengebied bij de Veluwe en 't Gooi in de overgang naar de polder via de randmeer.

Deze modelstudie van het IJsselmeergebied heeft veel kennis opgeleverd omtrent het modelleren van gebieden met grote variaties in kwelintensiteit. Vooral de Zuidelijke randmeren en de potklei tussen Lemmer en Stavoren zijn complex vanwege het naast elkaar voorkomen van weerstandsbiedende leemlenzen en zeer doorlatende stuwwallen.

De vraag naar nauwkeurige waarden van kwelintensiteit stimuleert om de studies voort te zetten.

De studie heeft voortgebracht dat de data volledig up-to-date in het model aanwezig is. De weerstandsverdeling in de ondergrond is nu met de grootste mogelijk detail in het model.

Met dit model is het mogelijk om scenario's te berekenen waarbij invloed van peilveranderingen op de grondwaterstanden bestudeerd kunnen worden. Het is niet mogelijk om makkelijk de spreidingslengte te variëren in de ondergrond, d.w.z. de data invoer is niet flexibel.

4.1 Aanbevelingen

Afhankelijk van toekomstige ontwikkelingen in de wijze waarop lek gemodelleerd wordt, zal ook het midden van het IJsselmeer met de Oostvaardersplassen toegevoegd moeten worden aan het IJsselmeemodel.

Om de calibratie geheel te laten verlopen via een iteratieproces met MOZART is het noodzakelijk deze goed op elkaar te laten aansluiten.

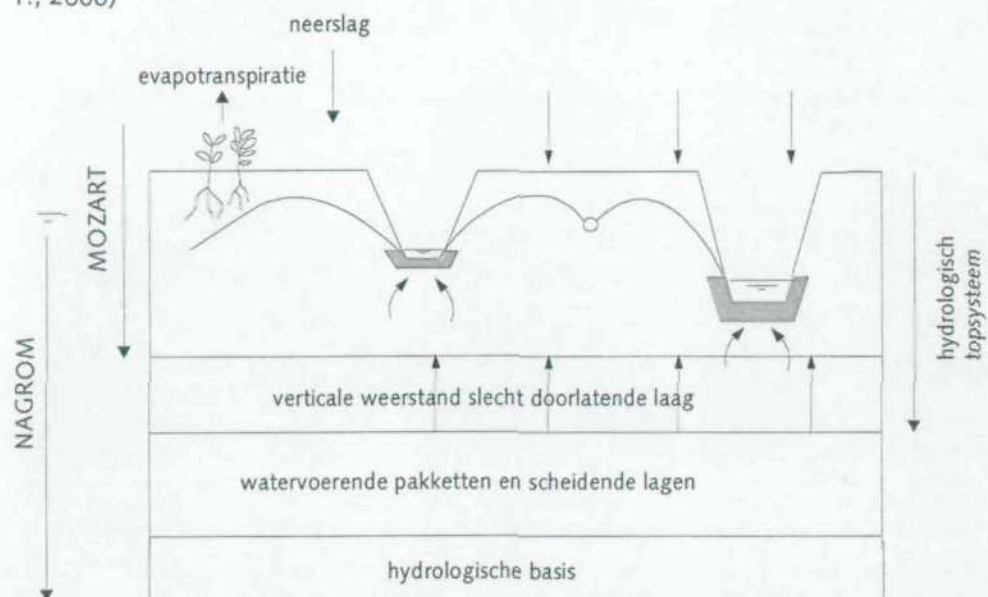
De VAREL-elementen blijken in de praktijk een moeilijk instrument om kwel en infiltratie met een zeker gemak (lees: geautomatiseerd) en nauwkeurig te modelleren. Er zijn ontwikkelingen gaande om een ander type element te gebruiken welke in eerste instantie succesvol zijn.

Referentie

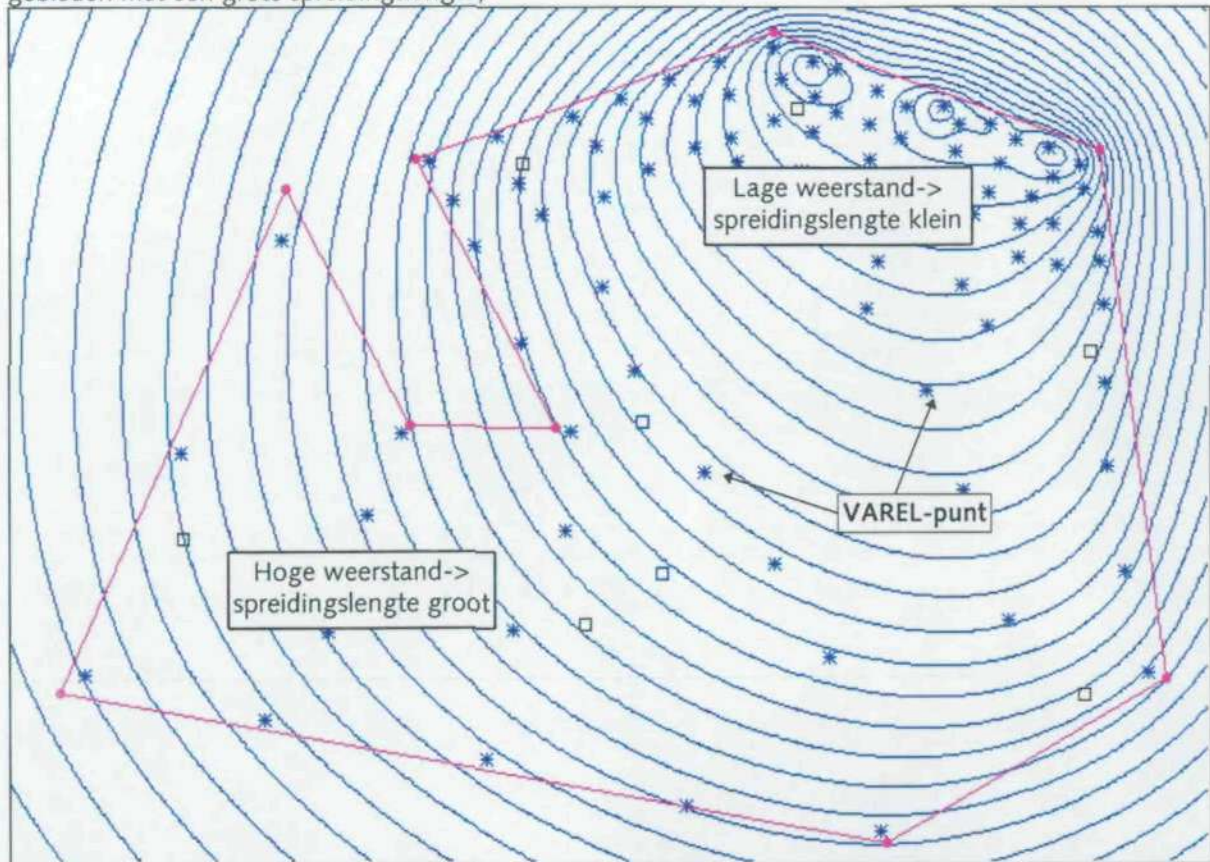
- Haasnoot, M. en Vliet, K. van, (2000). Effecten peilverandering IJsselmeer en klimaatverandering op de grondwatersituatie van het IJsselmeergebied, RIZA werkdocument 2000.033x.
- IWACO, (1998). Rapportage kwelonderzoek Veluwerandmeren, BOVAR rapport nr. 98.12.
- IWACO, (1994). Grondwaterbeheer Midden-Nederland, Modelling watersystemen.
- Knol, W.C., en Runhaar, J., (1998),. Mogelijke peilveranderingen op het IJsselmeer op binnendijkse natuur, SC-DLO rapport 646.
- Kroon, T., Werkman, W., (2000). MONA, Koppelingsconcept MOZART-NAGROM. Beschrijving en gebruikershandleiding van de modellentrein
- Lange, W.J. de, Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of drainage-weerstand in de randvoorwaarde van een grondwatermodel. Deel 1: De basis voor het modelconcept (1997). Stromingen, jaargang 3, no.2;
- RGD, TNO, RIZA, RDIJ, Provincie Flevoland, 1991. Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied
- RIZA, TNO (1994). NAGROM Supra-regio Holland-Noord
- RIZA, TNO (1994). NAGROM Supra-regio Holland-Zuid
- RIZA, TNO, (1993). NAGROM Supra-regio Veluwe
- RIZA, TNO, (1993). NAGROM Supra-regio Oost-Nederland
- RIZA, TNO, (1992). NAGROM Supra-regio Noord-Nederland
- Strack O.D.L. (1989). Groundwater mechanics. Prentice Hall. New Jersey. USA.

1. Weergave van het hydrologisch topsysteem en de plaats van NAGROM en MOZART (Kroon, T., 2000)
2. a. Hypothetisch deelgebied in het IJsselmeer met een grote dichtheid aan VAREL-controlepunten in gebieden met een kleine spreidingslengte en weinig VAREL-controlepunten in gebieden met een grote spreidingslengte;
b. Hypothetische doorsnede van de overgang van een randmeer naar het achterland.
1. Het IJsselmeemodel (gele rechthoek) gevormd uit vijf NAGROM-deelmodellen met ARELS zonder verfijningen;
2. Het IJsselmeemodel gemodelleerd met AREL-elementen voor de verfijning
3. De twaalf verfijnde submodellen in het IJsselmeergebied
4. De zones in NAGROM die aangepast zijn in het IJsselmeemodel, hetzij door met ARELS te verfijnen of door het gebruik van VARELS
5. Elementenverdeling MLAEM
 - a. Y11 Drontermeer
 - b. Y12 Veluwemeer
 - c. Y134 Wolderwijd en Nulder nauw
 - d. Y15 Gooimeer
 - e. Y16 PEN-eiland
 - f. Y17 Waterland (a), Hoorn (b), Enkhuizen (c)
 - g. Y18 Onderdijk
 - h. Y19 Makkum (a), Workum (b)
 - i. Y20 Stavoren (a), Lemmer (b)
 - j. Y21 Noordoostpolder
 - k. Y10 Kampen
8. Peilen huidige situatie (p*)
9. Weerstand van de toplaag (c*)
10. Weerstand van de eerste scheidende laag (c1)
11. Weerstand van de tweede scheidende laag (c2)
12. Stijghoogtes van 1^e WVP huidige situatie
13. Stijghoogtes van het 2^e WVP huidige situatie
14. Stijghoogtes van het 3^e WVP huidige situatie
15. Kwel en infiltratie huidige situatie
16. NAGROM-isohypsen vergeleken met GMN- isohypsen van 1^e WVP in Zuidelijke randmerengebied
17. Verandering stijghoogte bij een peil -0.6m NAP
18. Verandering stijghoogte bij een peil +0.4 m NAP
19. Verandering flux bij peil -0.6 m NAP
20. Verandering flux bij peil +0.4m NAP
21. Relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en de kwel- en wegzijgingsflux voor het Gooimeer
22. Relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en de kwel- en wegzijgingsflux voor het Eemmeer/Nijkerkernauw

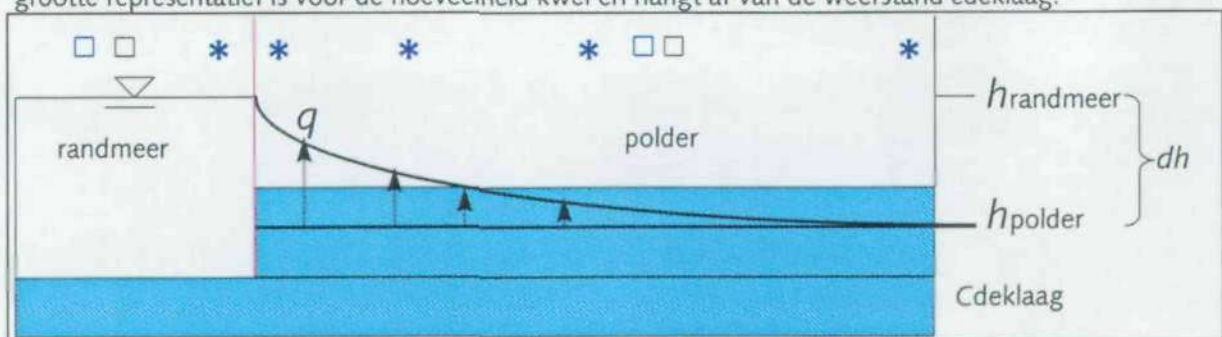
Figuur 1 Weergave van het hydrologisch topsysteem en de plaats van NAGROM en MOZART (Kroon, T., 2000)



Figuur 2a Hypothetisch deelgebied in het IJsselmeer met een grote dichtheid aan VAREL-controlepunten in gebieden met een kleine spreidingslengte en weinig VAREL-controlepunten in gebieden met een grote spreidingslengte;



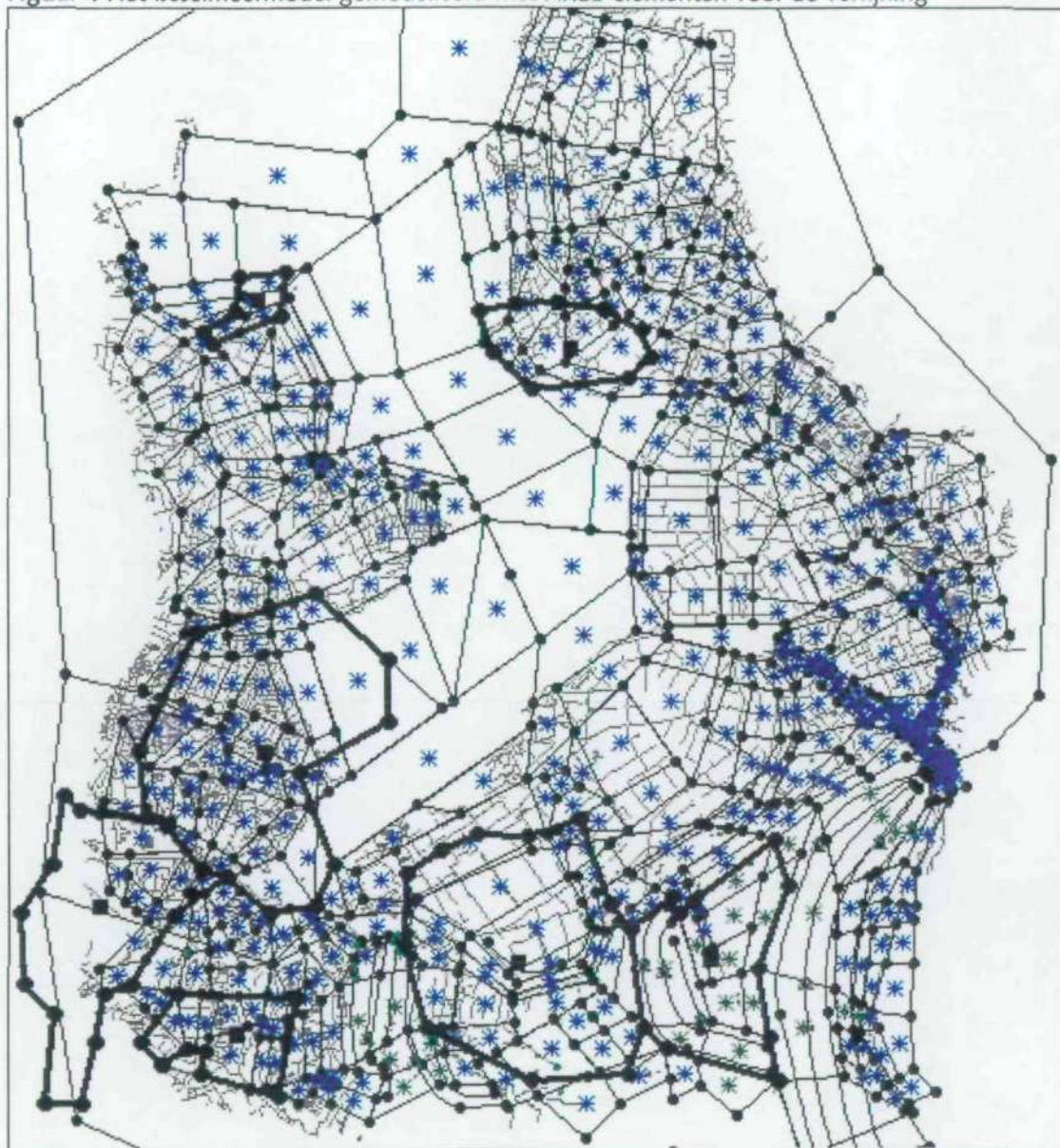
Figuur 2b Hypothetische doorsnede van de overgang van een randmeer naar het achterland. De blauwe sterretjes stellen de VAREL-controlepunten voor, in de blauwe vierkantjes is het peil gedefinieerd (waarbij het peil in het randmeer hoger is dan het polderpeil), en in de zwarte vierkantjes zijn de voedingsweerstandens gedefinieerd. De opwaartse kwel is met pijlen geschematiseerd, waarbij de grootte representatief is voor de hoeveelheid kwel en hangt af van de weerstand cdeklaag.



Figuur 3 Het IJsselmeermodel (gele rechthoek) gevormd uit vijf NAGROM-deelmodellen met ARELS zonder verfijningen



Figuur 4 Het IJsselmeermodel gemodelleerd met AREL-elementen voor de verfijning

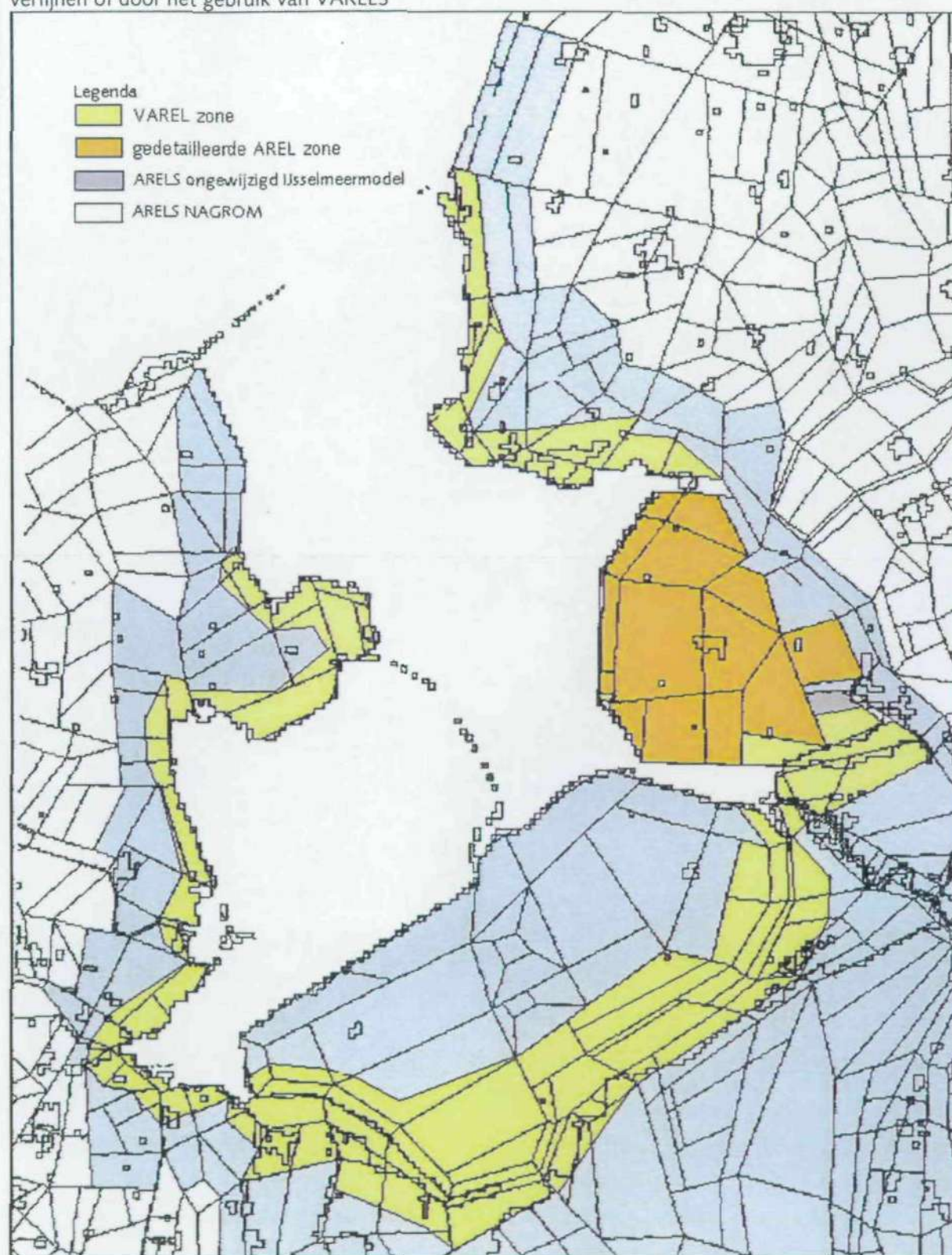


The map shows the Wadden Sea region in the Netherlands, with various provinces and islands labeled. The study area is highlighted in pink in the top right corner. The map is divided into several numbered regions (y13 to y21) outlined in orange. The regions are labeled as follows:

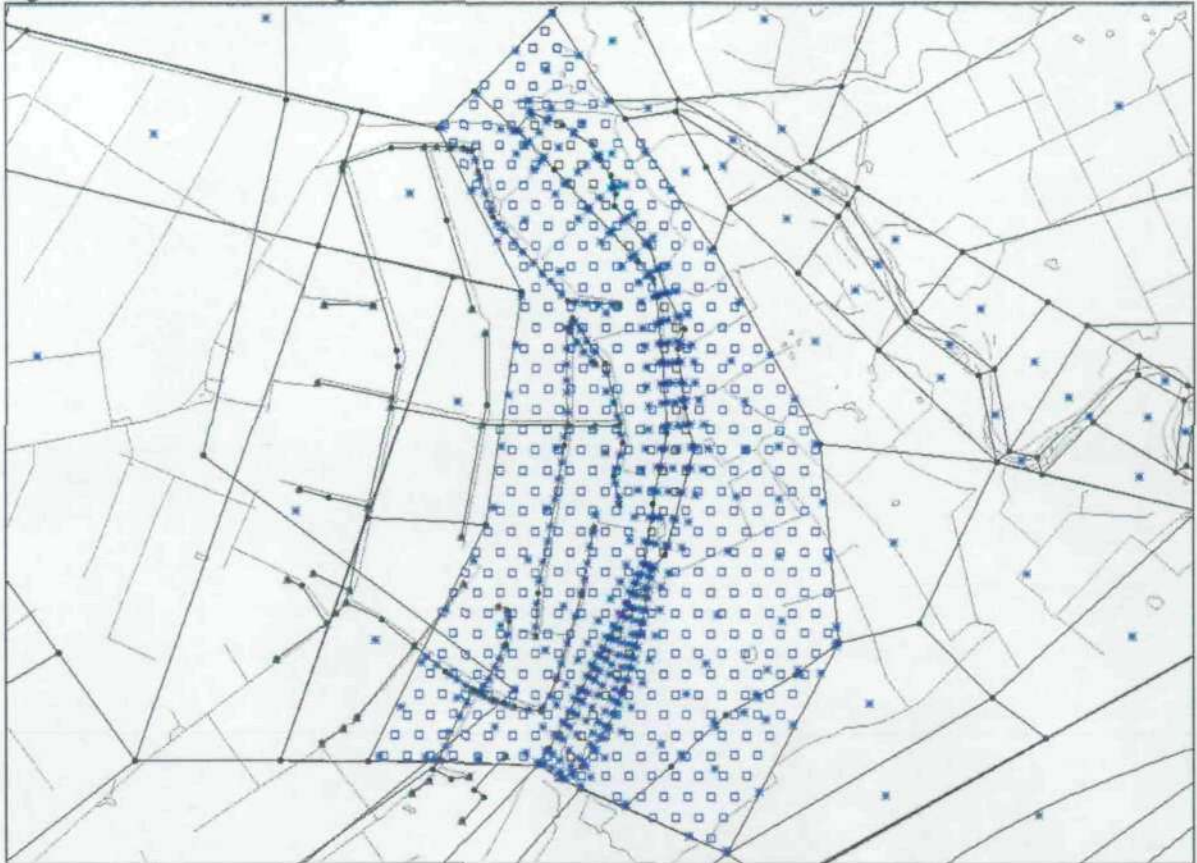
- y13
- y14
- y15
- y16
- y17a
- y17b
- y17c
- y18
- y19a
- y19b
- y20a
- y20b
- y21
- y10
- y11
- y12

The map also includes labels for provinces: Friesland, Noord-Holland, Flevoland, and Gelderland. Islands labeled include Texel, Vlieland, and Schiermonnikoog. The Wadden Sea is labeled 'WADDENZEE'.

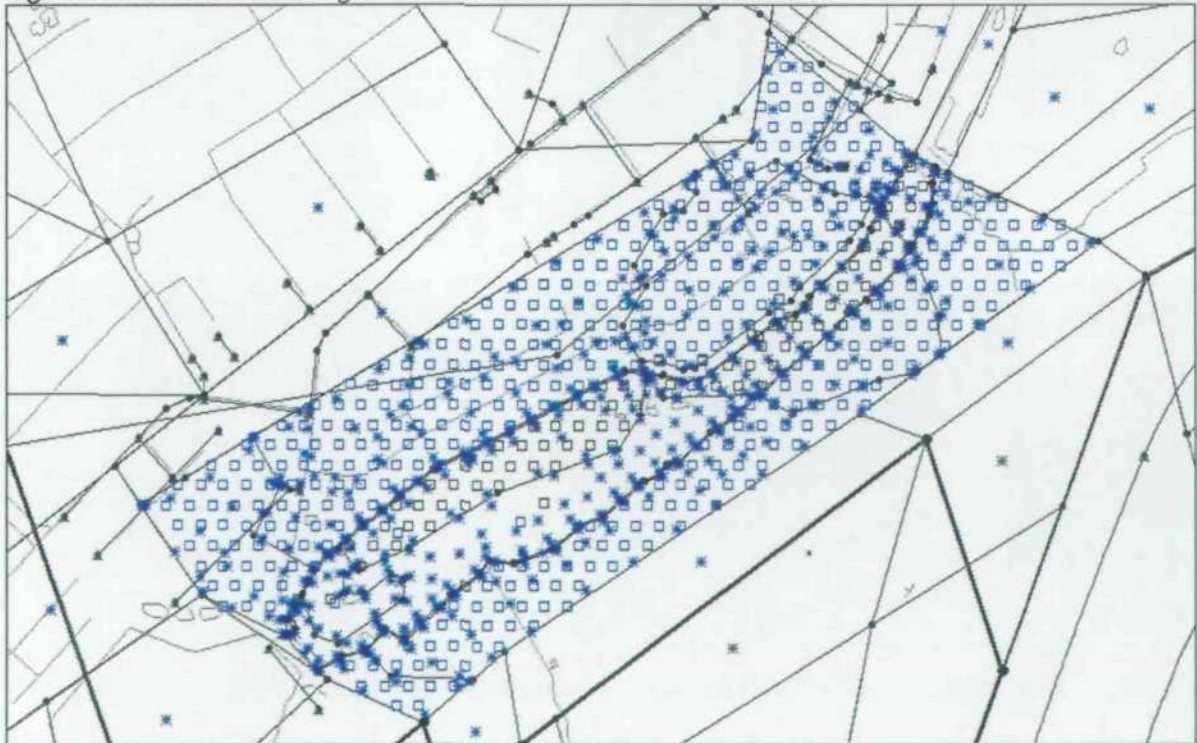
Figuur 6 De zones in NAGROM die aangepast zijn in het IJsselmeermodel, hetzij door ARELs te verfijnen of door het gebruik van VARELS



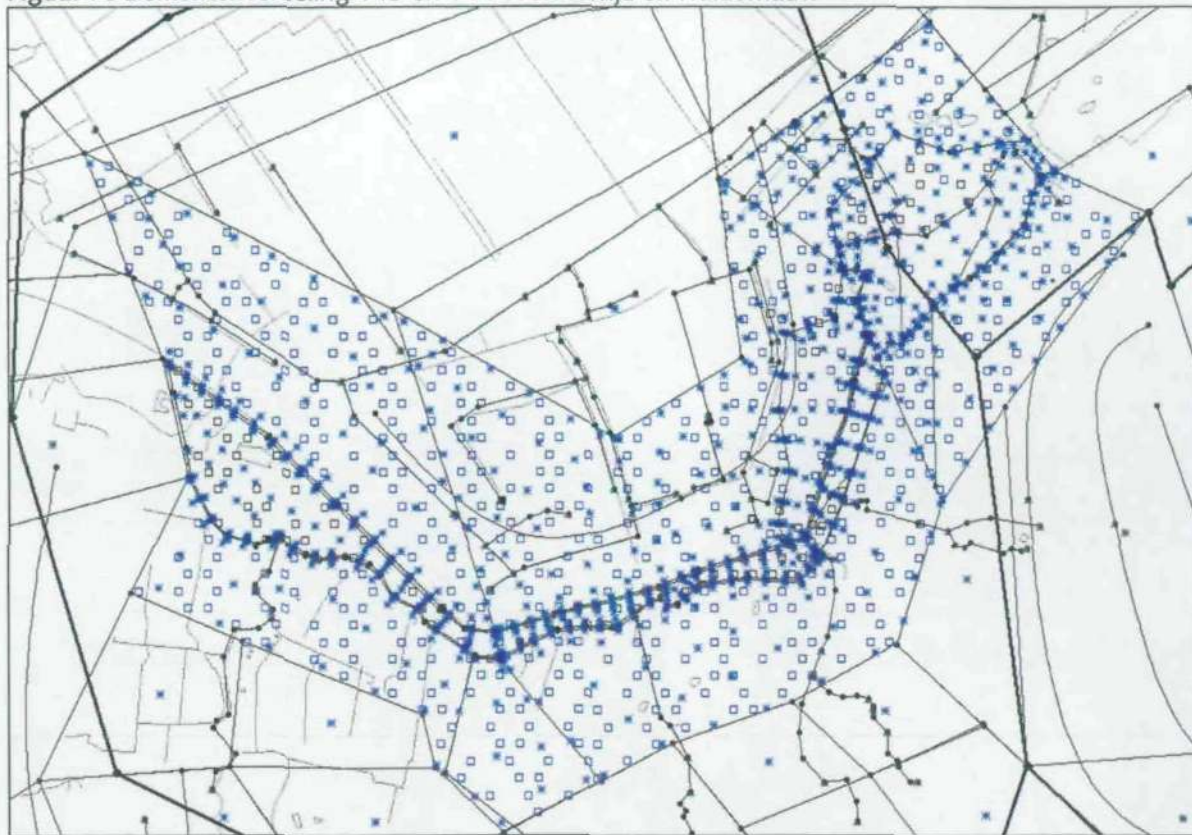
Figuur 7a Elementenverdeling Y11 Drontermeer



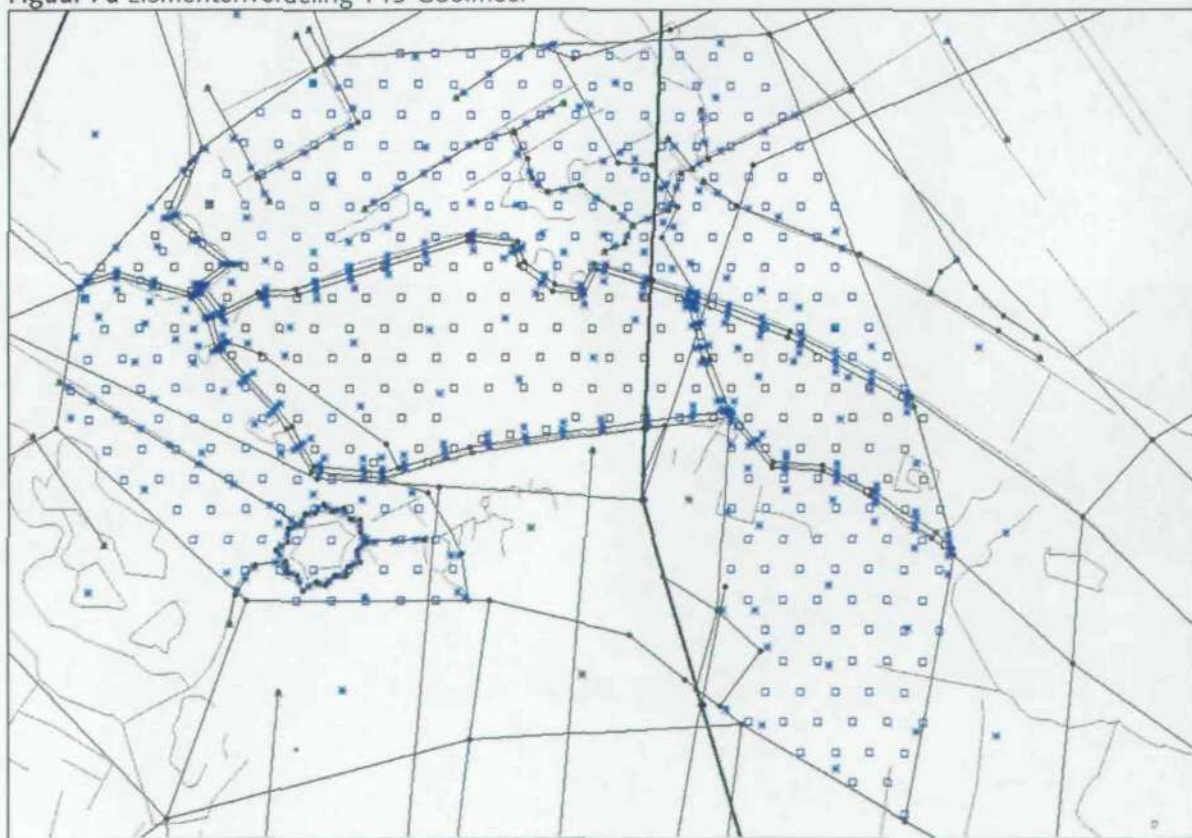
Figuur 7b Elementenverdeling Y12 Veluwemeer



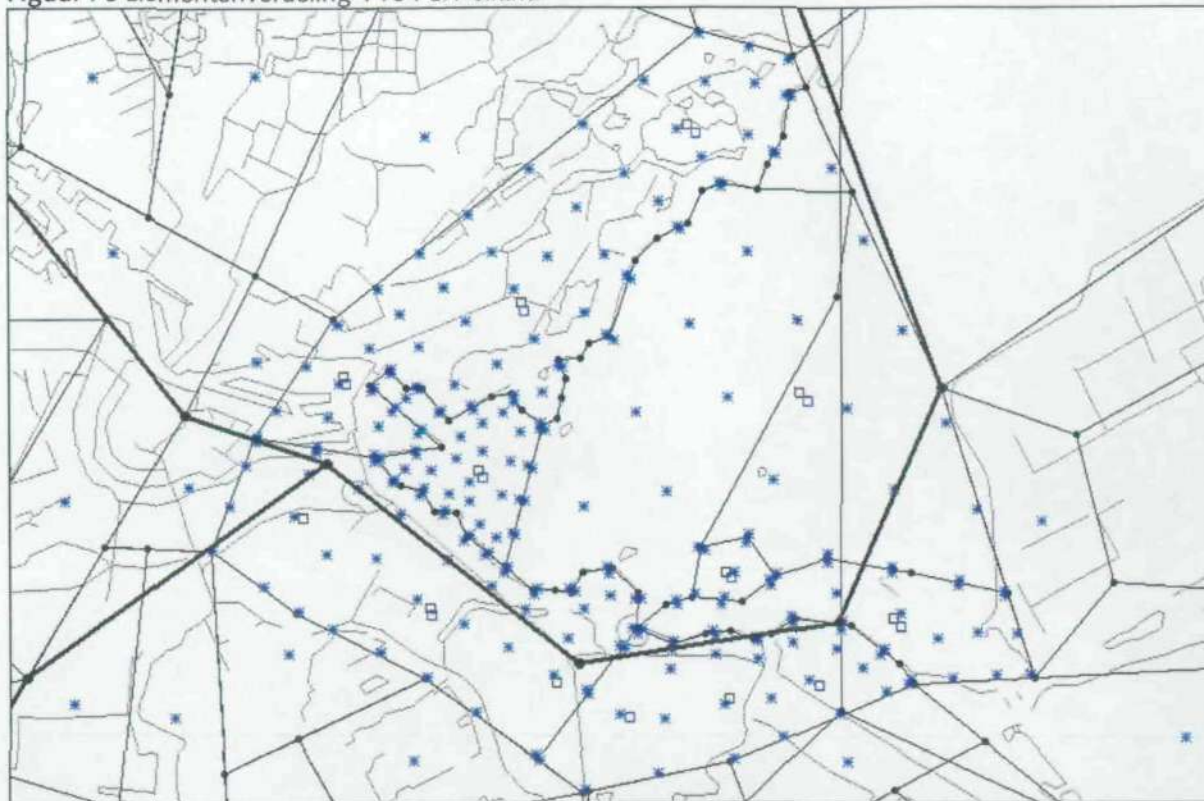
Figuur 7c Elementenverdeling Y13 en Y14 Wolderwijd en Nuldernauw



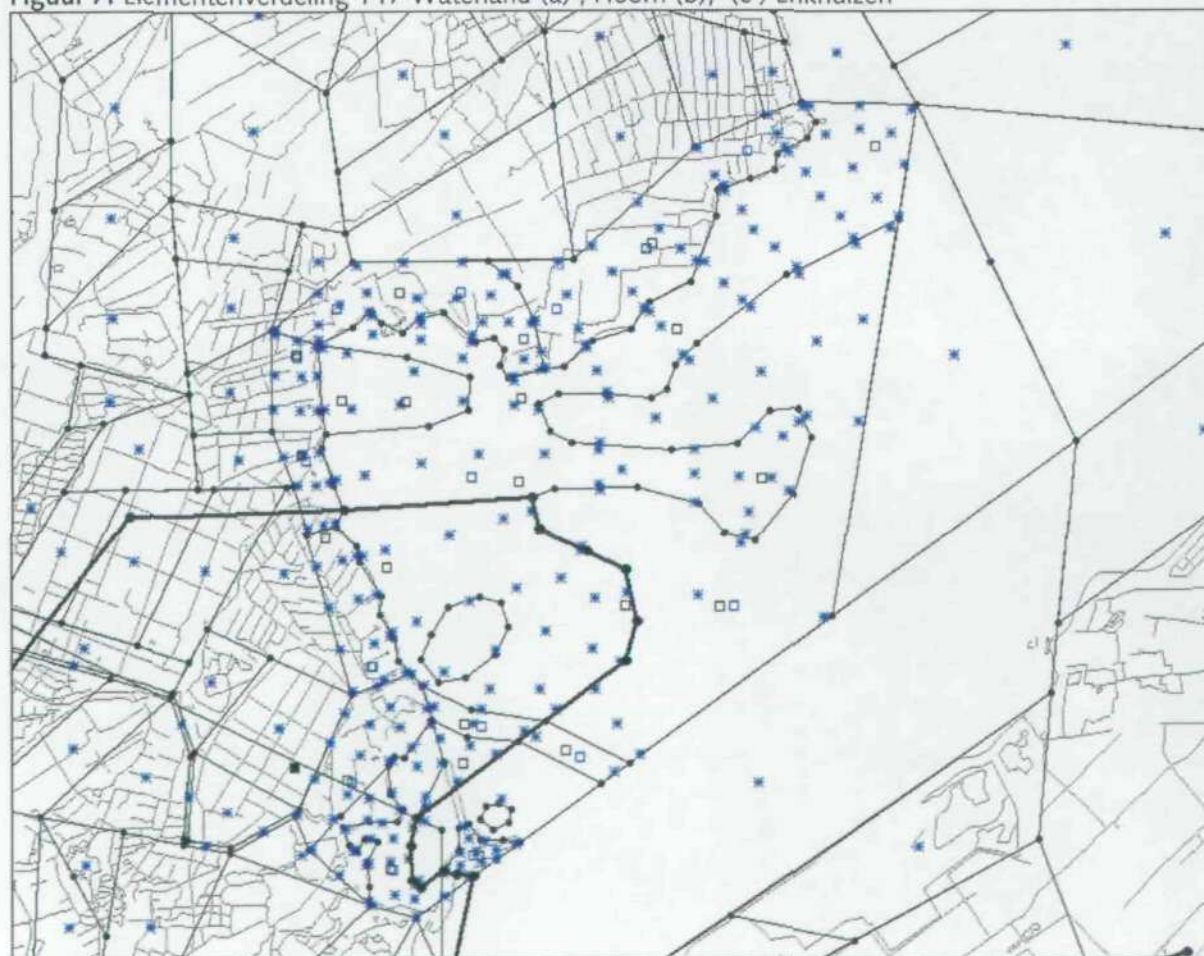
Figuur 7d Elementenverdeling Y15 Gooimeer



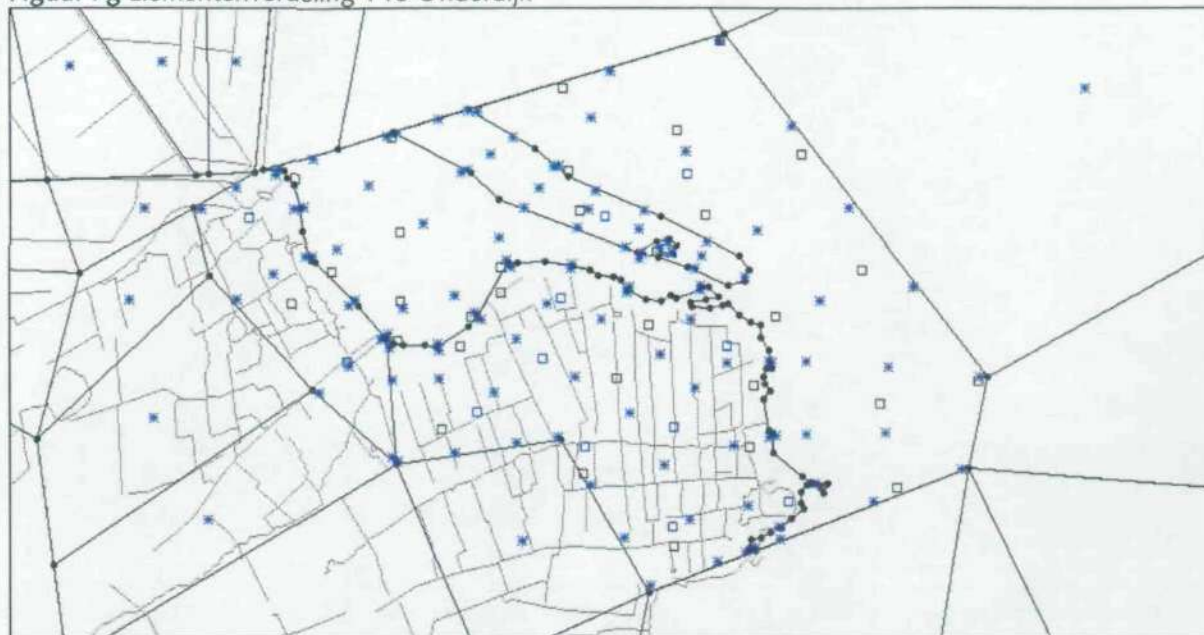
Figuur 7e Elementenverdeling Y16 PEN-eiland



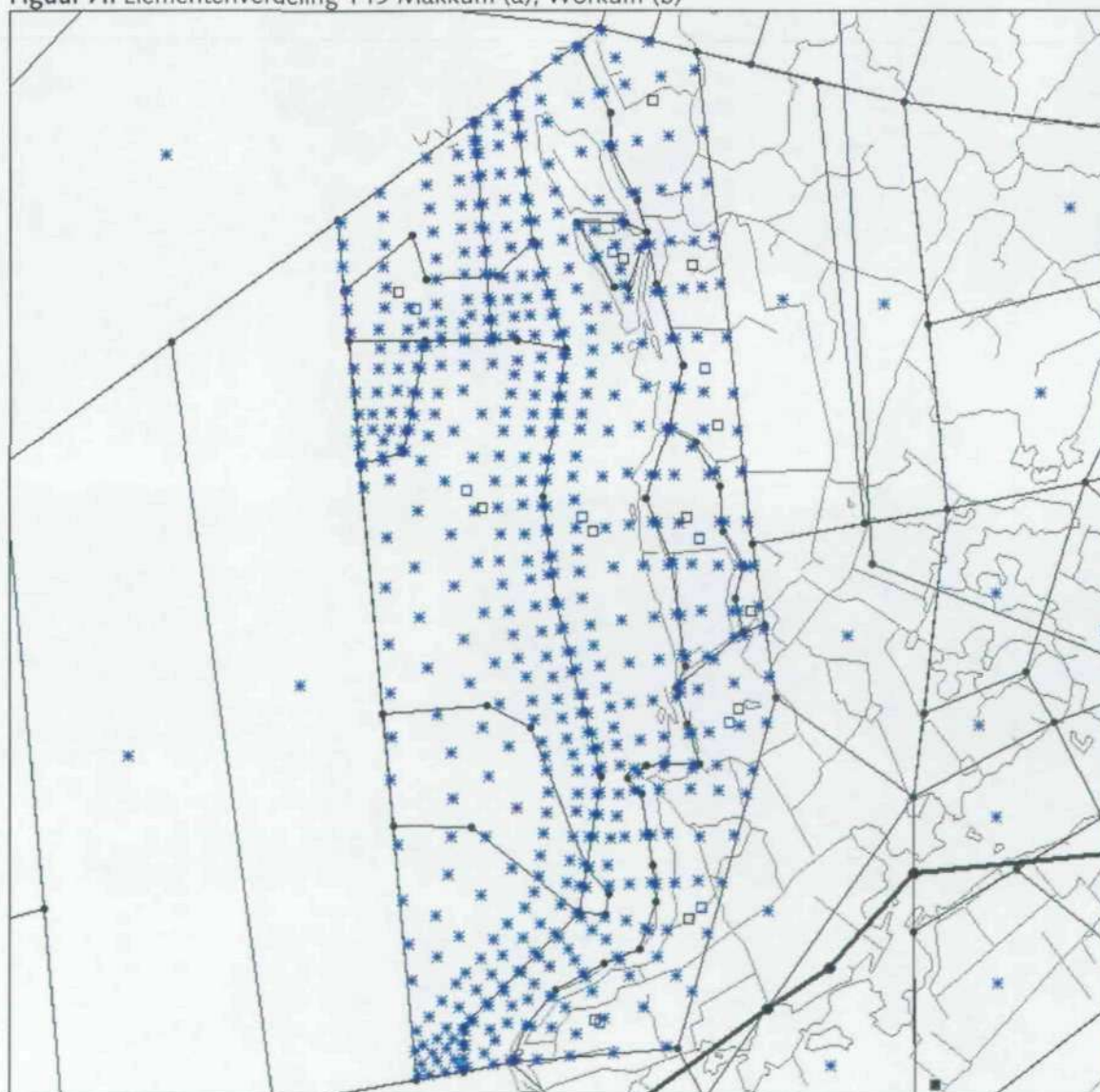
Figuur 7f Elementenverdeling Y17 Waterland (a) , Hoorn (b) , (c) Enkhuizen



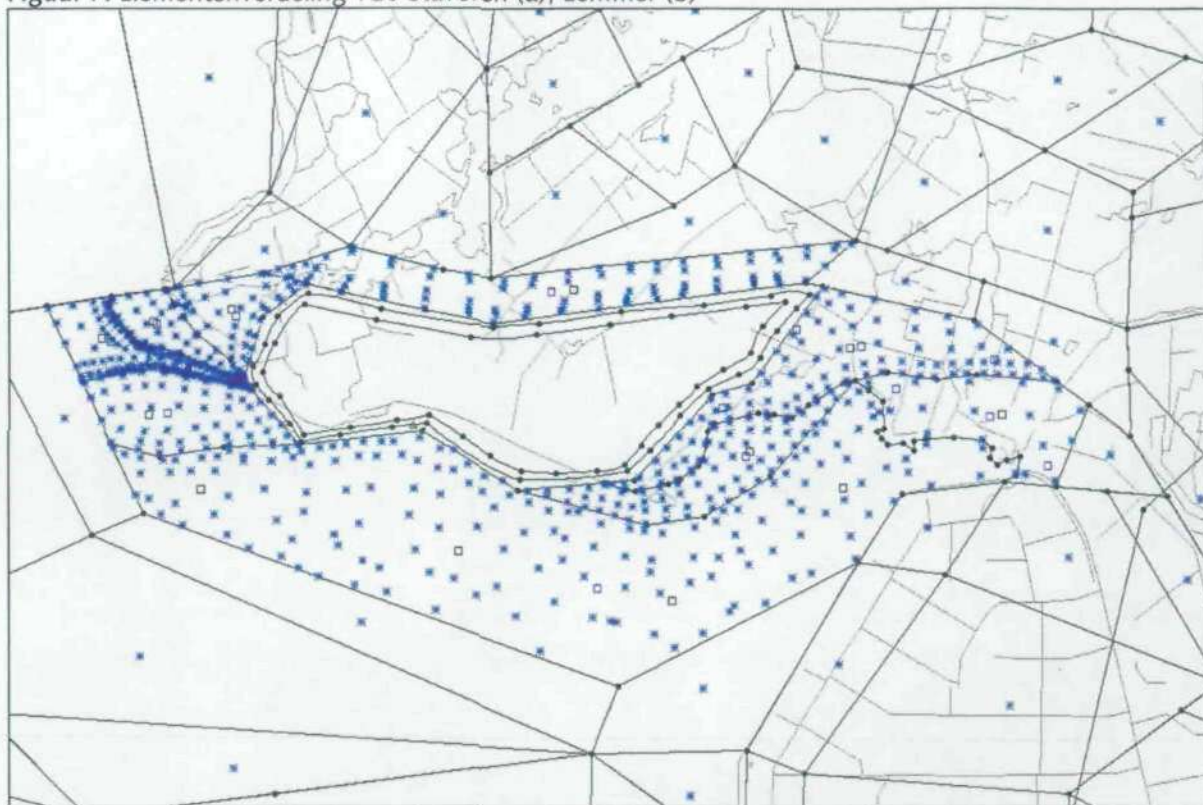
Figuur 7g Elementenverdeling Y18 Onderdijk



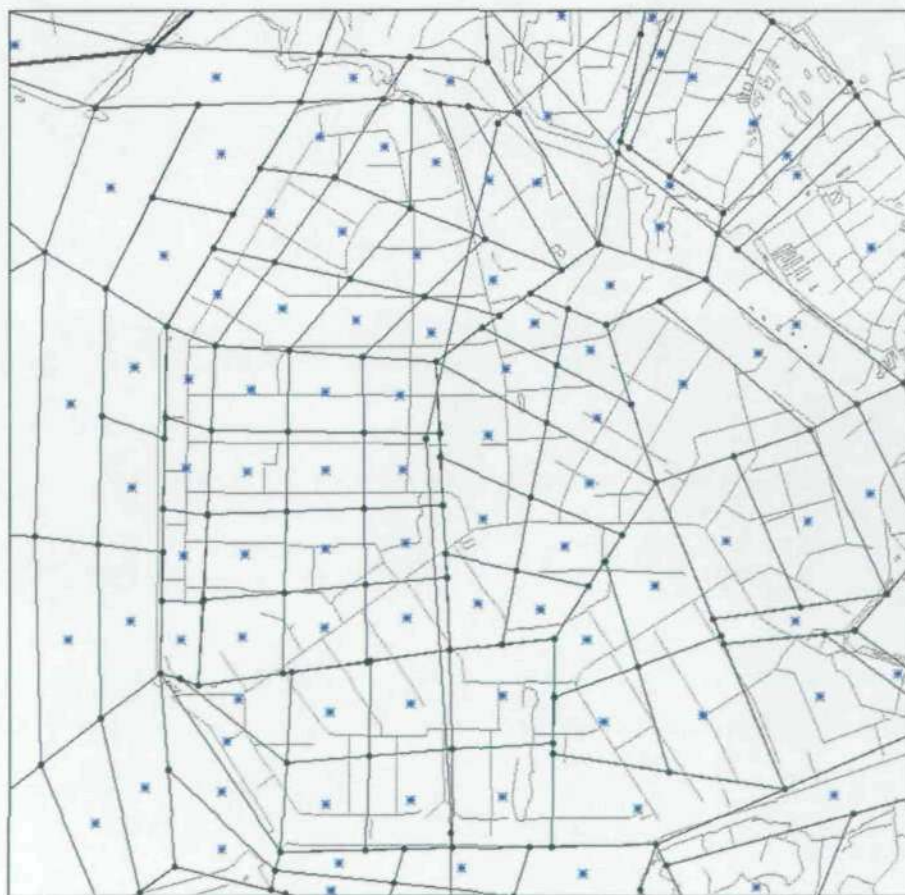
Figuur 7h Elementenverdeling Y19 Makkum (a), Workum (b)



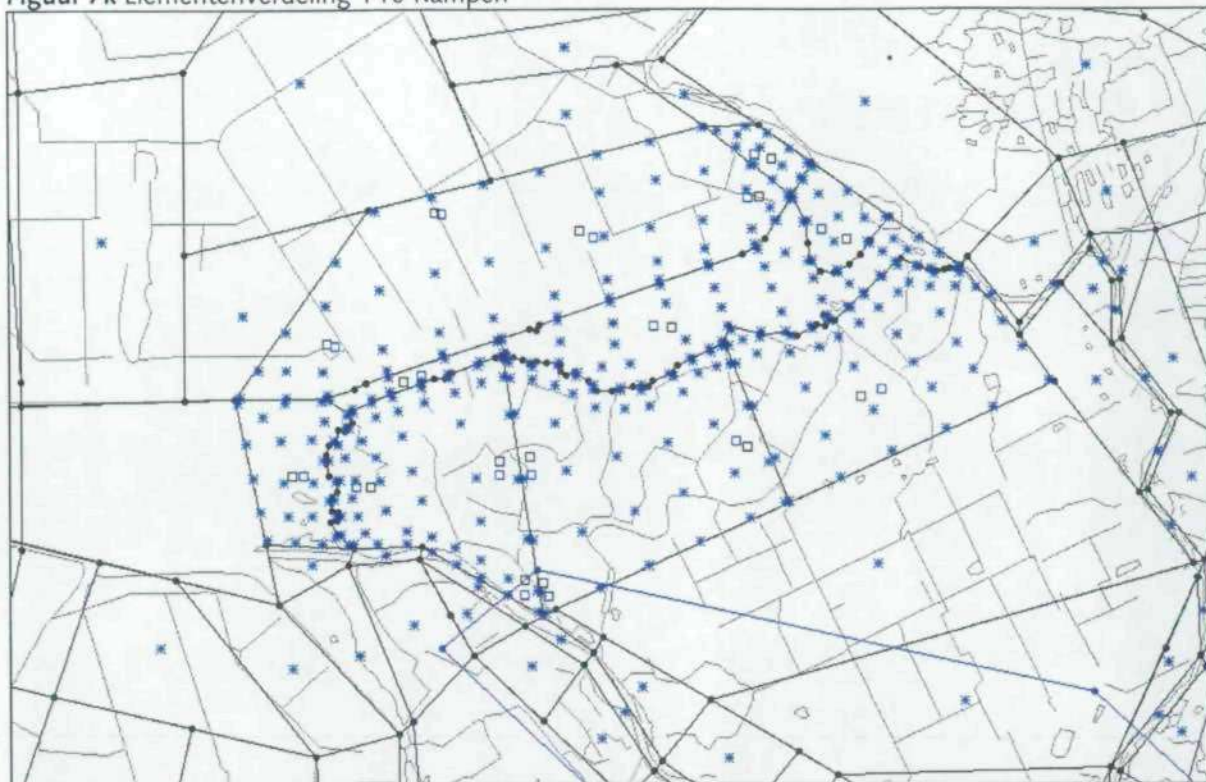
Figuur 7i Elementenverdeling Y20 Stavoren (a), Lemmer (b)



Figuur 7j Elementenverdeling Y21 Noordoostpolder



Figuur 7k Elementenverdeling Y10 Kampen



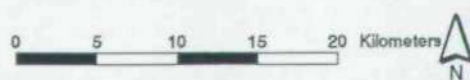


Figuur 8 Peilen huidige situatie (p*)

— Isohyphen dh = 1m

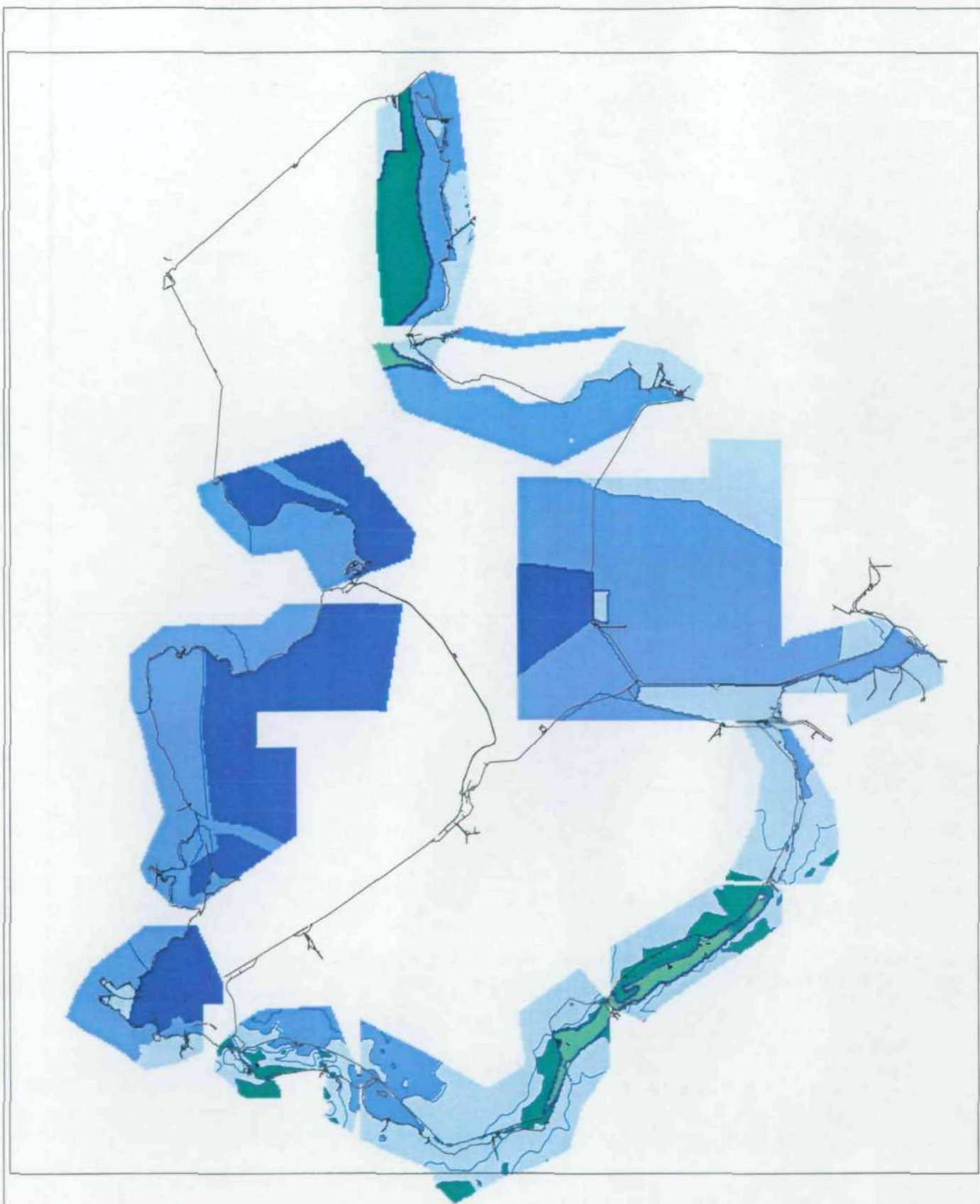
- -6 - -4 m NAP
- -4 - -0.4 m NAP
- -0.3 m NAP
- -0.2 m NAP
- -0.175 m NAP
- -0.1 - 0.1 m NAP
- 0.1 - 1 m NAP
- 1 - 4 m NAP
- 4 - 8 m NAP
- geen data

Auteur : Kyrian van Vliet
Afdeling : WSG
Datum : 22 november 2000
Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling RIZA



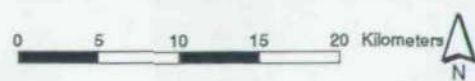


Figuur 9 Weerstand van de top laag (c*)

— lijnen van gelijke weerstand (logaritmische schaalverdeling)

- 0-1 d
- 1-10 d
- 10-100 d
- 100-1,000 d
- 1,000-10,000 d
- 10,000-31,820 d
- ARELs of buiten model

Auteur : Kyril van Vliet
 Afdeling : WSG
 Datum : 18 oktober 2000
 Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
 Afvalwaterbehandeling RIZA



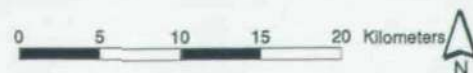


Figuur 10 Weerstand eerste scheidende laag (c1)

— lijnen van gelijke weerstand (logaritmische schaalverdeling)

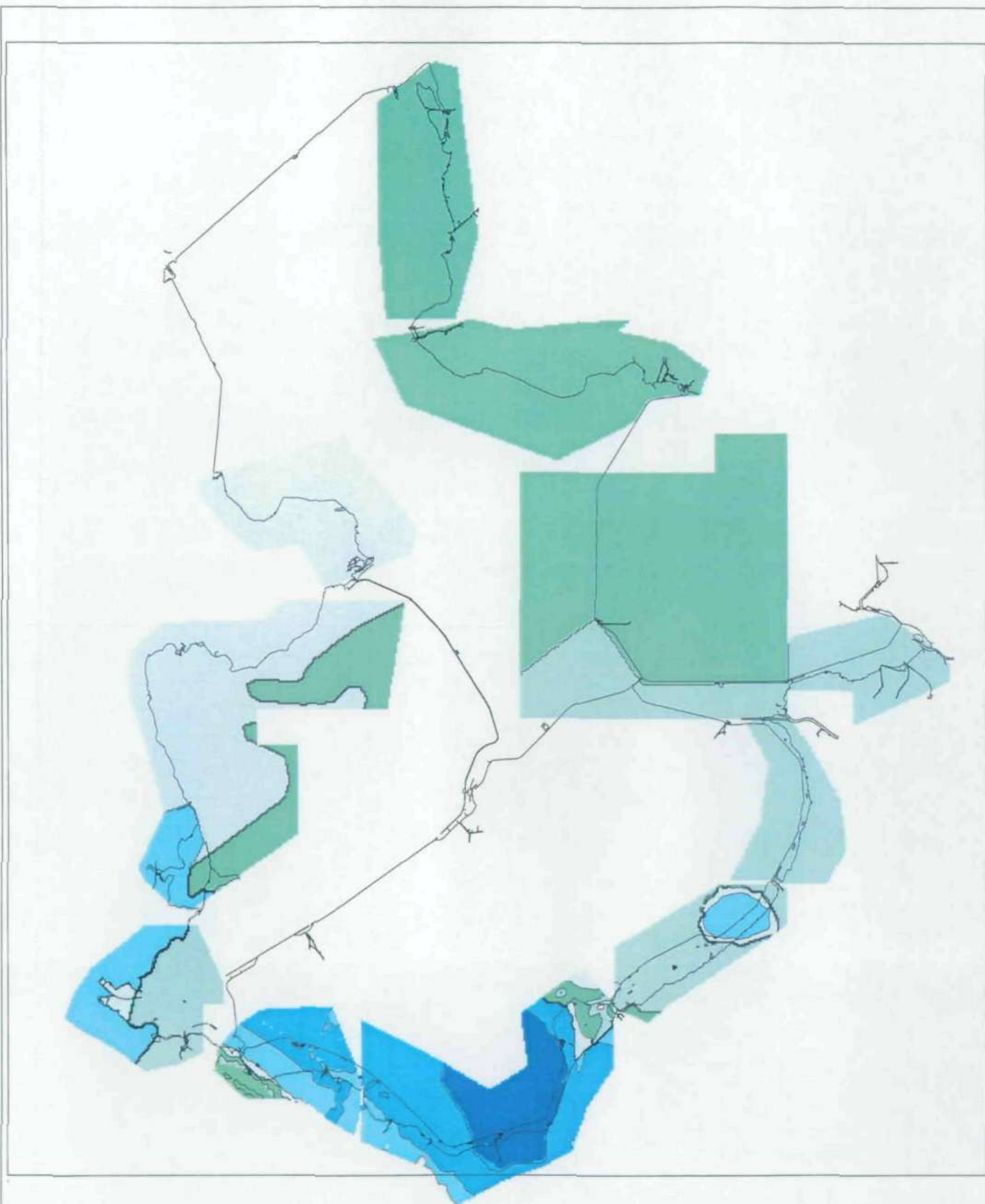
- 0-1 d
- 1-10 d
- 10-100 d
- 100-1,000 d
- 1,000-10,000 d
- 10,000-100,000 d
- ARELs of buiten model

Auteur : Kyrian van Vliet
 Afdeling : WSG
 Datum : 18 oktober 2000
 Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
 Afvalwaterbehandeling RIZA



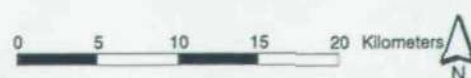


Figuur 11 Weerstand tweede scheidende laag (c2)

— lijnen van gelijke weerstand (logaritmische schaalverdeling)

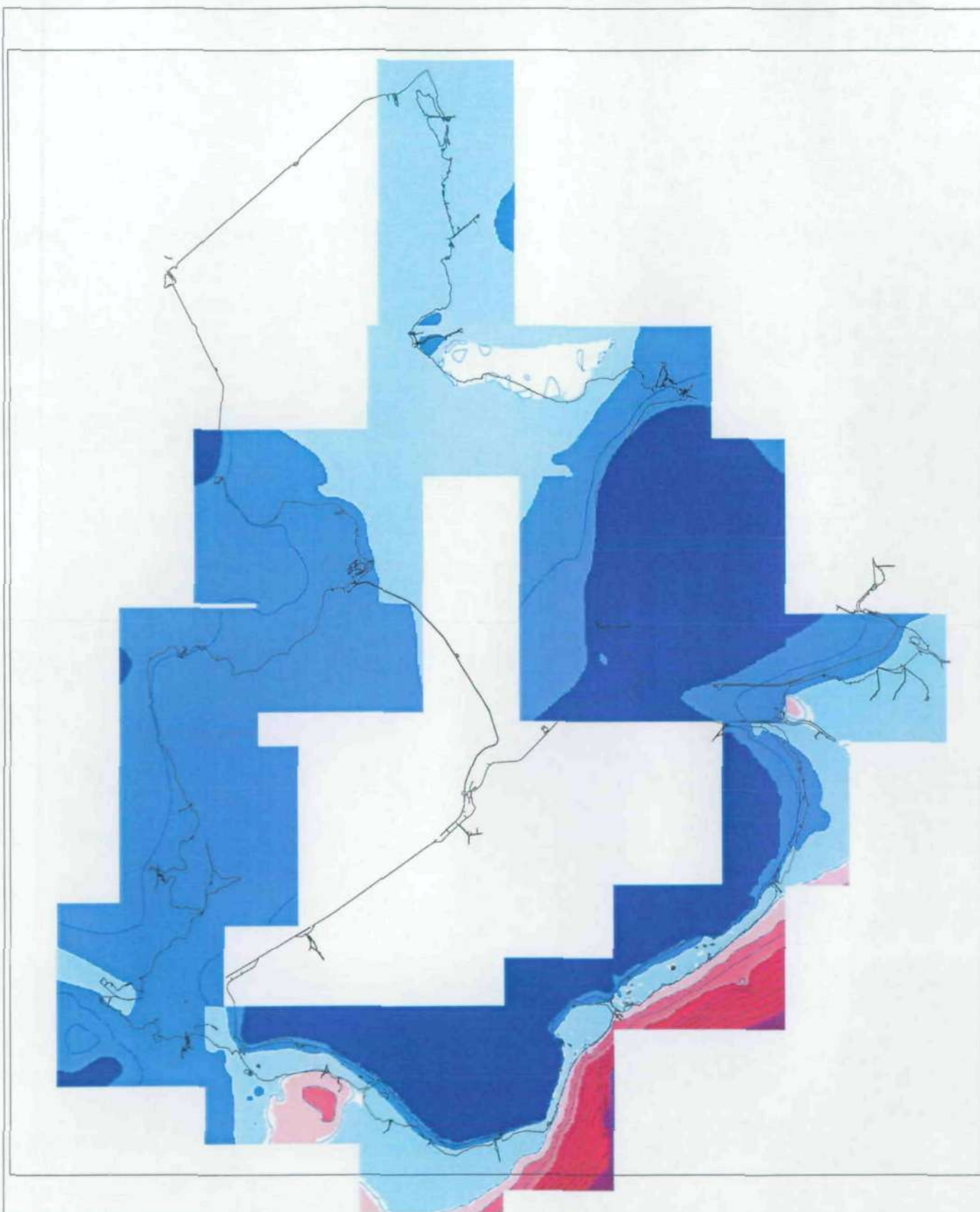
- 0-1 d
- 1-10 d
- 10-100 d
- 100-1,000 d
- 1,000-10,000 d
- 10,000-100,000 d
- 100,000 - 199,526 d

Auteur : Kyrian van Vliet
 Afdeling : WSG
 Datum : 18 oktober 2000
 Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
 Afvalwaterbehandeling RIZA



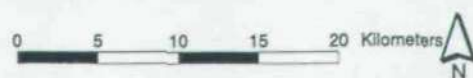


Figuur 12 Stijghoogtes 1e WVP huidige situatie

— isohypsen dh = 1m

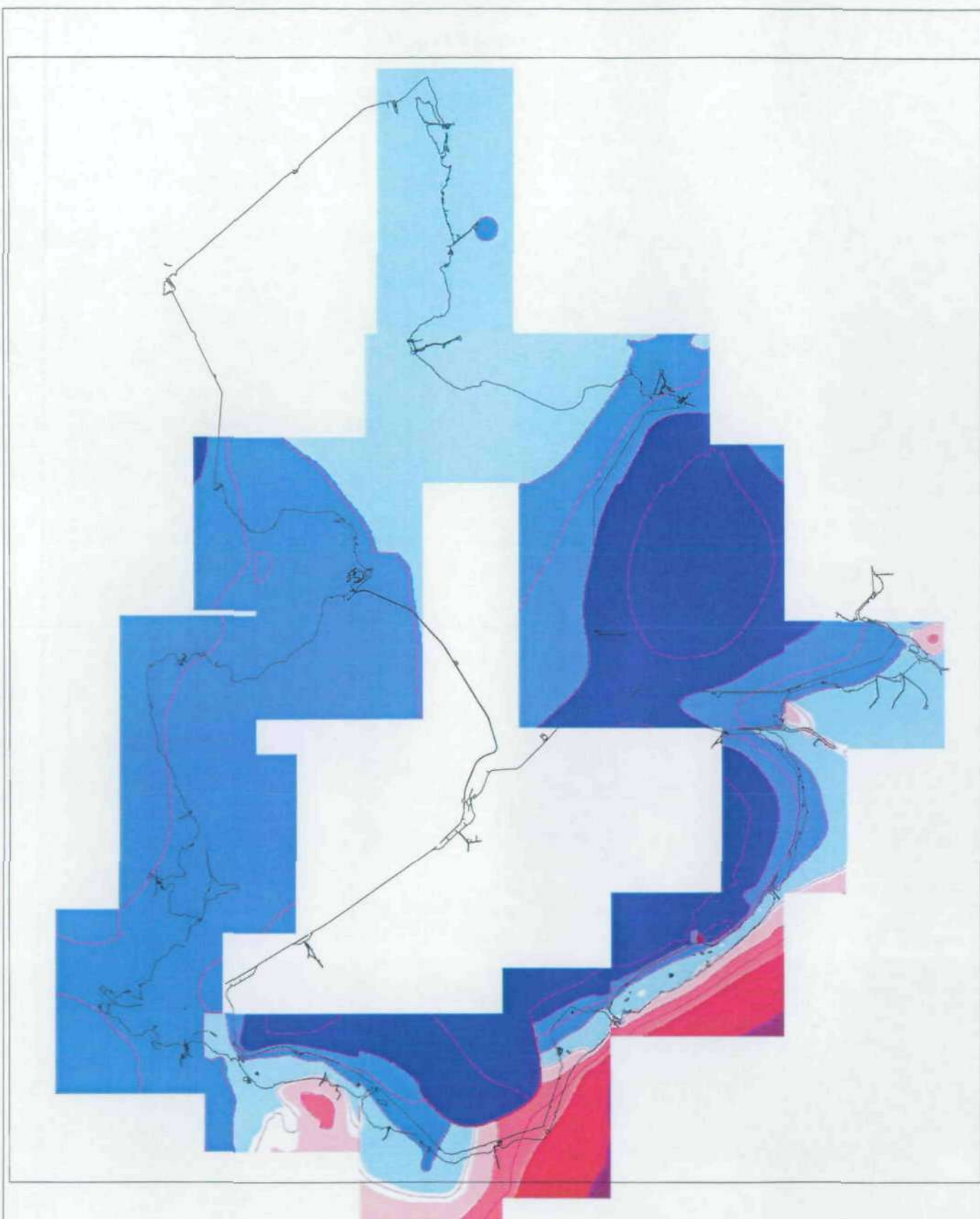
- -5.3 - -3 m
- -3 - -1 m
- -1 - -0.1 m
- -0.1 - 0.1 m
- 0.1 - 1 m
- 1 - 3 m
- 3 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 18.4 m
- buiten model

Auteur : Kyrian van Vliet
Afdeling : RiZA-WSG
Datum : 18 oktober 2000
Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Avalwaterbehandeling RiZA





Figuur 13 Stijghoogtes 2e WVP huidige situatie

— isohypsen $dh = 1m$

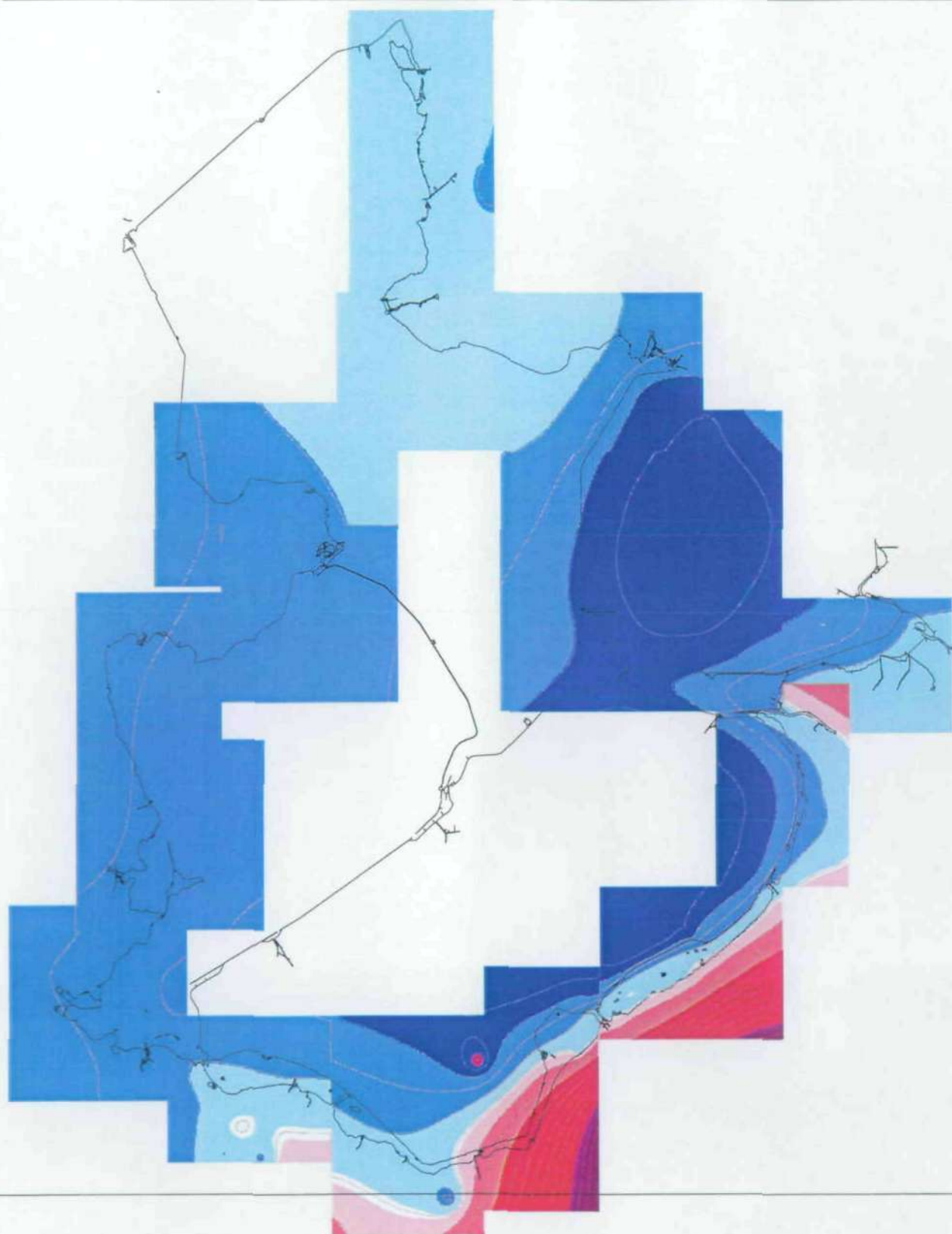
- -12.5 - -5
- -5 - -3 m
- -3 - -1 m
- -1 - -0.1 m
- -0.1 - 0.1 m
- 0.1 - 1 m
- 1 - 3 m
- 3 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 17.5 m
- buiten model

Auteur : Kyrian van Vliet
Afdeling : WSG
Datum : 19 oktober 2000
Referentie : WINBOS Grondwater

0 5 10 15 20 Kilometers

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling RIZA





Figuur 14 Stijghoogtes 3e WVP huidige situatie

Isohypsen dh = 1 m

- 8.2 - -5 m
- 5 - -3 m
- 3 - -1 m
- 1 - -0.1 m
- 0.1 - 0.1 m
- 0.1 - 1 m
- 1 - 3 m
- 3 - 5 m
- 5 - 10 m
- 10 - 13.6 m

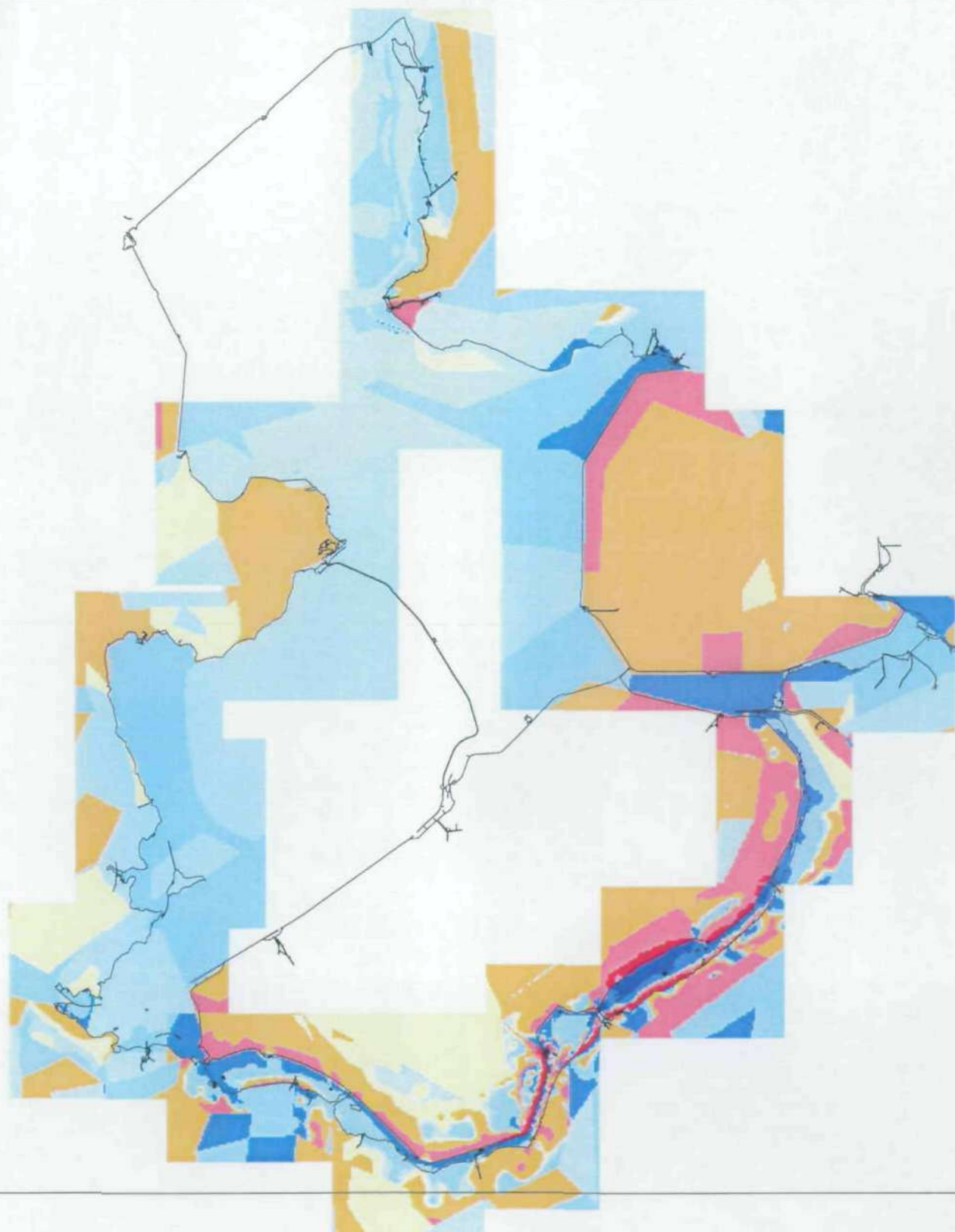
Auteur : Kyril van Vliet
Afdeling : WSG
Datum : 19 oktober 2000
Referentie : WINBOS Grondwater

0 5 10 15 20 Kilometers

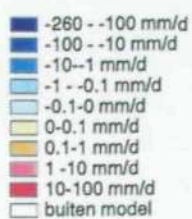


Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling RIZA





Figuur 15 Kwel en infiltratie huidige situatie



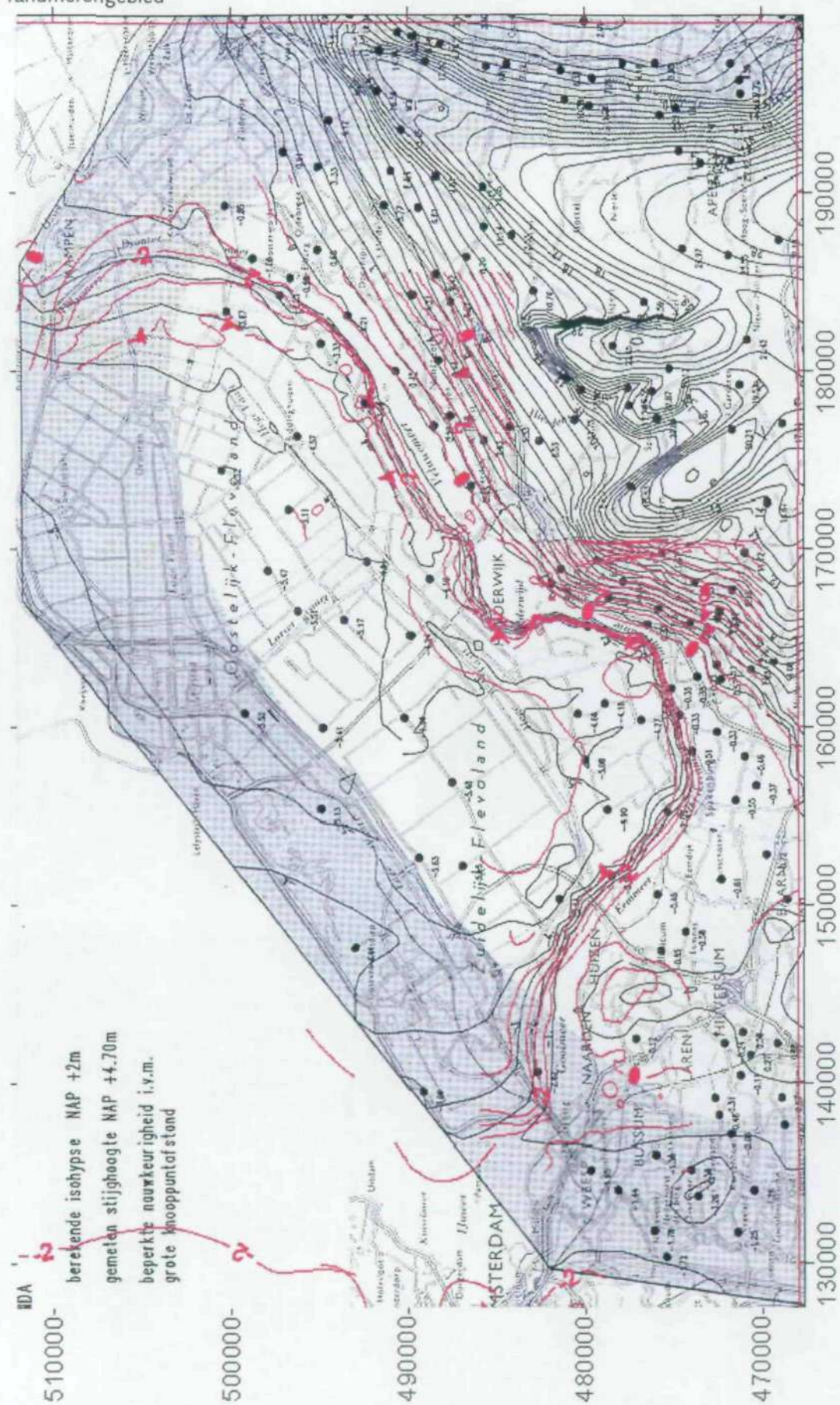
Auteur : Kyrian van Vliet
 Afdeling : WSG
 Datum : 23 oktober 2000
 Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
 Afvalwaterbehandeling RIZA

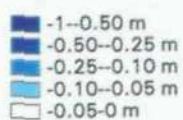


Figuur 16 NAGROM-isohypsen vergeleken met GMN- isohypsen van 1^e WVP in Zuidelijke randmerengebied





Figuur 17 Verandering stijghoogte bij peil -0.6 mNAP



Auteur : Kyrian van Vliet
Afdeling : WSG
Datum : 23 november 2000
Referentie : WINBOS Grondwater

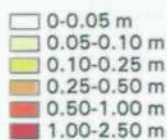


Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling RIZA

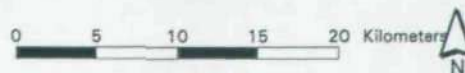




Figuur 18 Verandering stijghoogte bij peil +0.4 mNAP

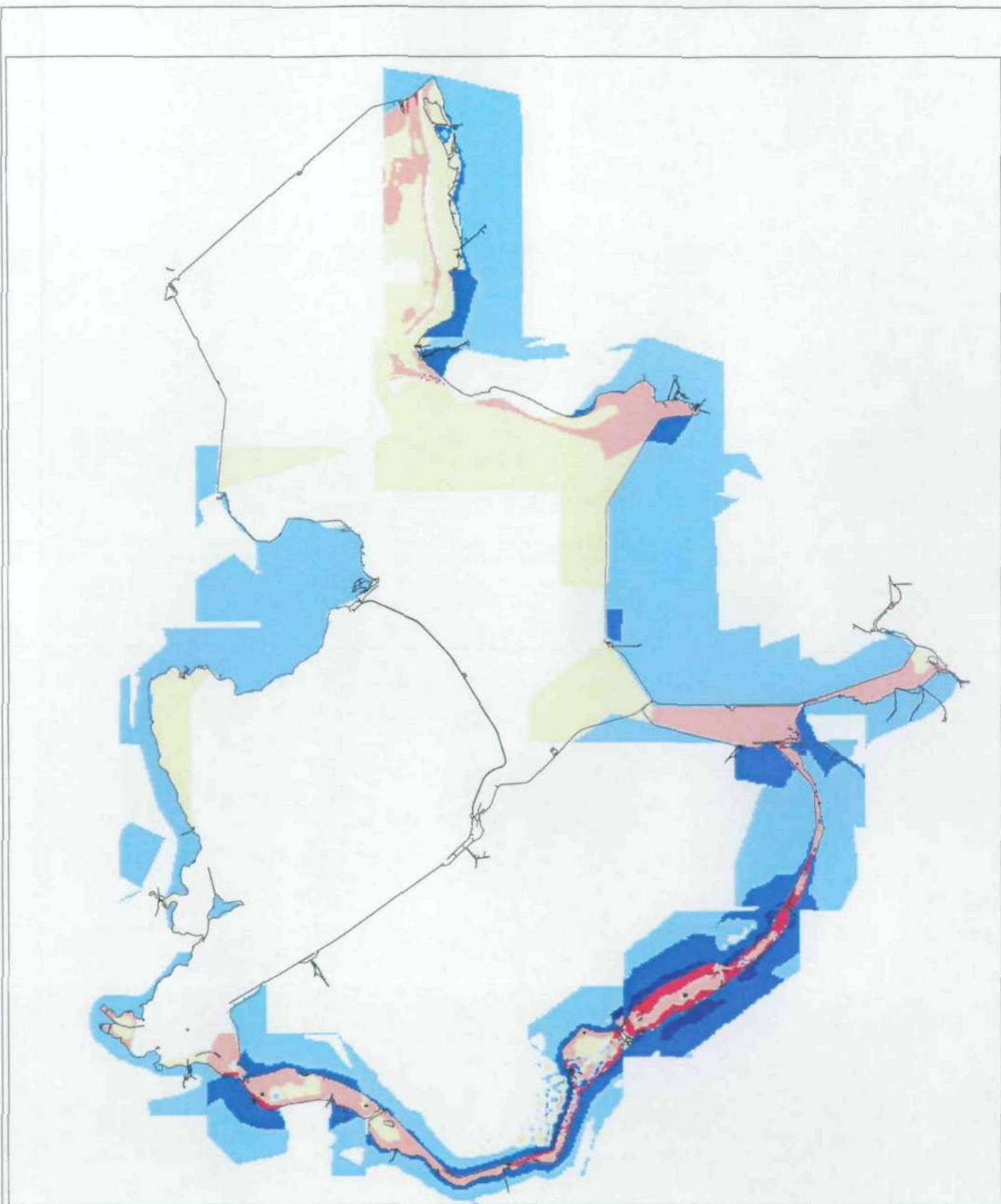


Auteur : Kyrian van Vliet
 Afdeling : WSG
 Datum : 23 november 2000
 Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
 Afvalwaterbehandeling RIZA

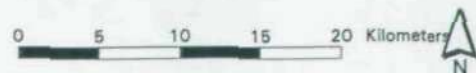




Figuur 19 Verandering flux bij peil -0.6 mNAP

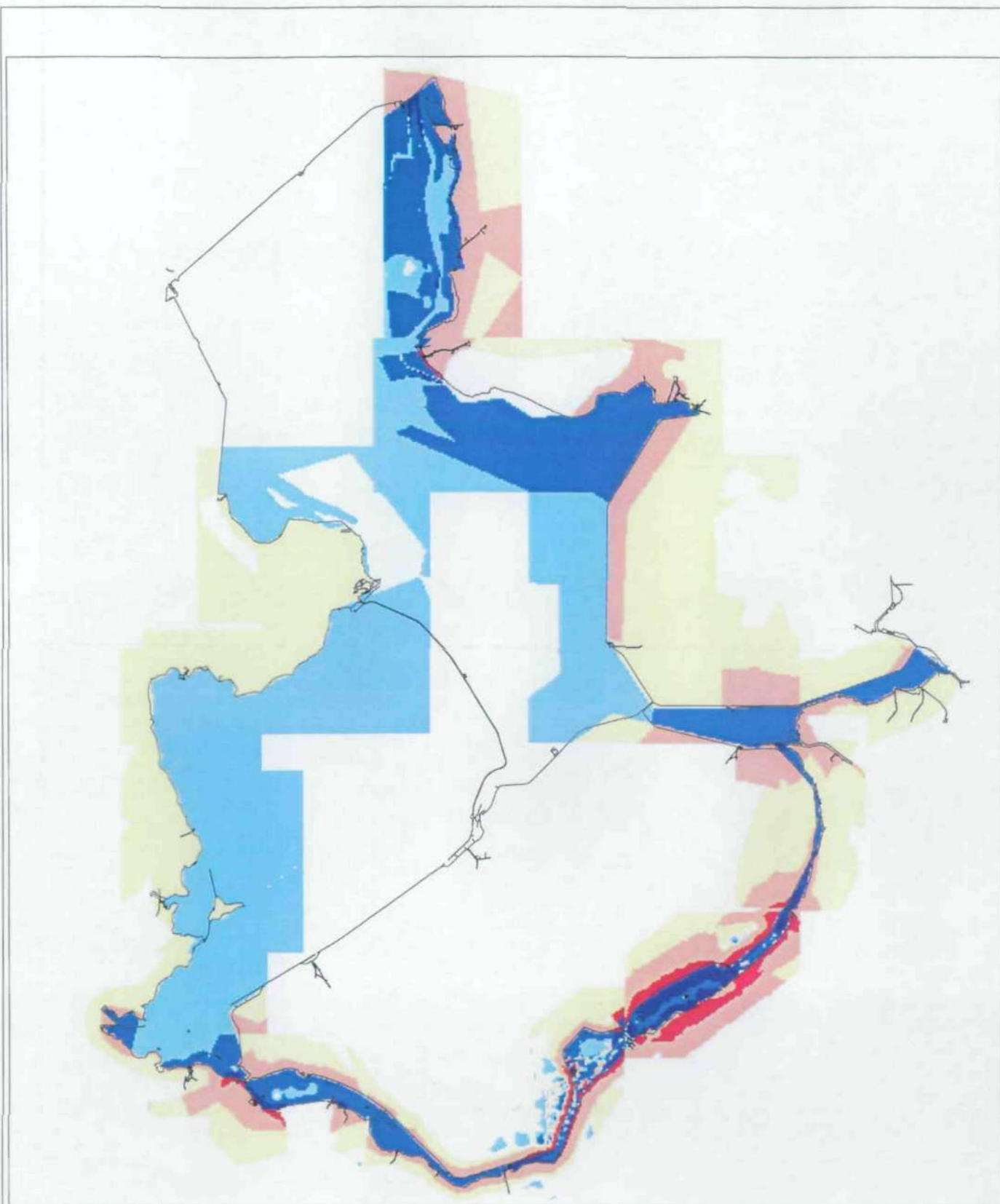


Auteur : Kyrian van Vliet
 Afdeling : WSG
 Datum : 23 november 2000
 Referentie : WINBOS Grondwater



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
 Afvalwaterbehandeling RIZA

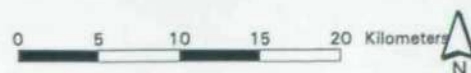




Figuur 20 Verandering flux bij peil +0.4 m NAP

- -5.00 mm/dag
- -5.00--1.00 mm/dag
- -1.00--0.10 mm/dag
- -0.10--0.01 mm/dag
- -0.01-0.01 mm/dag
- 0.05-10.10 mm/dag
- 0.1-1.00 mm/dag
- 1.00-5.00 mm/dag
- 5.00 mm/dag
- geen data

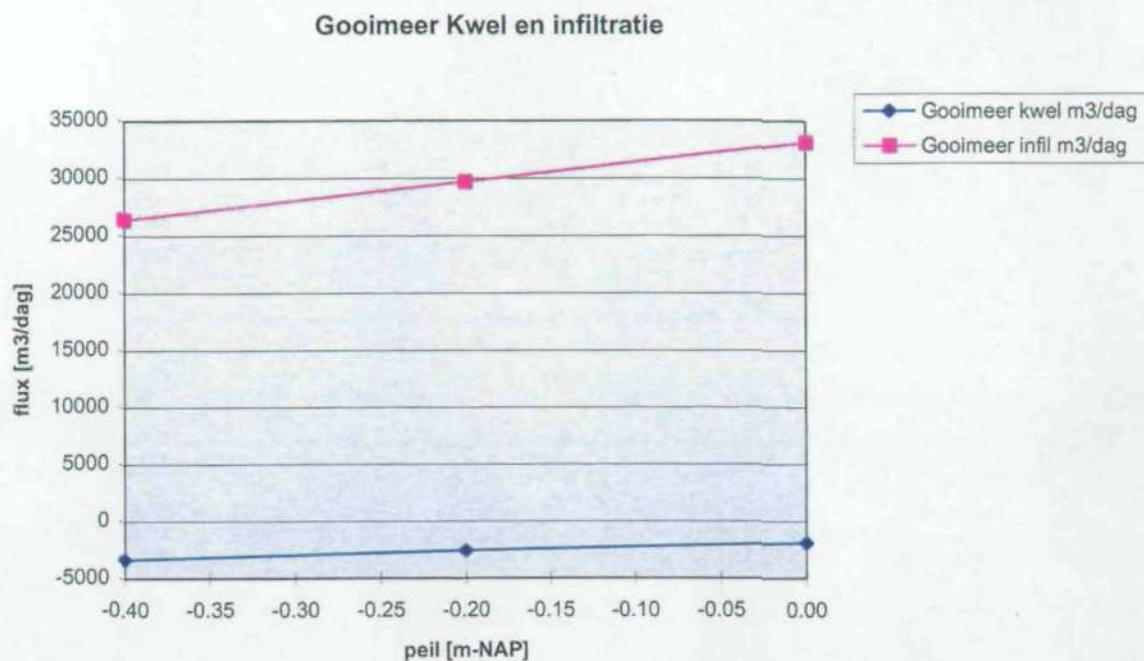
Auteur : Kyrian van Vliet
Afdeling : WSG
Datum : 23 november 2000
Referentie : WINBOS Grondwater



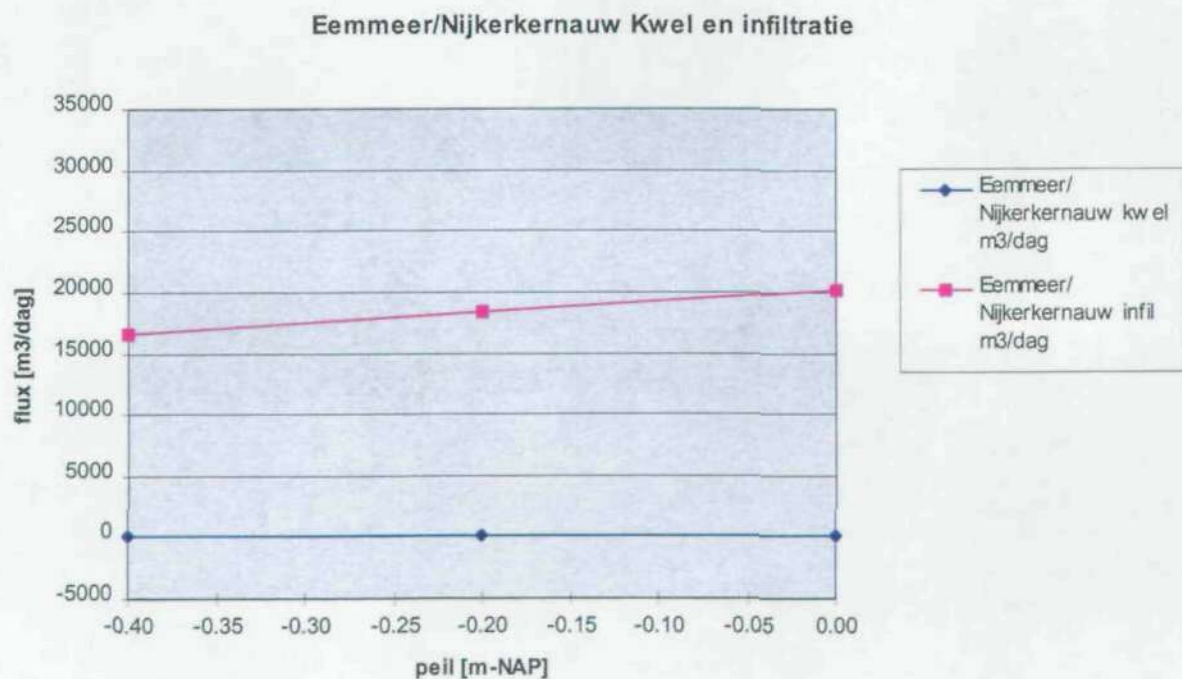
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en
Afvalwaterbehandeling RIZA



Figuur 21 Relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en de kwel- en wegzijgingsflux voor het Gooimeer



Figuur 22 Relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en de kwel- en wegzijgingsflux voor het Eemmeer/Nijkerkernauw



In deze bijlage staat een beschrijving van het invoerbestand van een model met VARELS.

Allereerst wordt de schermgrootte gedefinieerd, met daaronder de eigenschappen van het aquifer (dikte, doorlatendheid, basis en porositeit) en het referentiepunt van de laag.

Per polygoon worden vervolgens aquitard-datapunten gedefinieerd, waarbij de RRESTIVITY de weerstand van toplaag voorstelt en LRESISTIVITY de weerstand in de lek-laag. FHEAD definieert het peil of de stijghoogte in de toplaag. Daarna worden met het commando VAREL de VAREL-controlepunten neergelegd. De RESISTANCE-VAREL-controlepunten in de toplaag berekenen de weerstand van de toplaag. In lek-lagen worden LEAKY-VAREL-controlepunten neergelegd. ARELS hebben geen aquitard-datapunten en in plaats daarvan wordt de weerstand (RESISTANCE) of lekweerstand (LEAKAGE) gedefinieerd per element met een constant peil en weerstand. Ook wordt er gebruik gemaakt van ARELS met constante infiltratie met het commando GIVEN, welke gelijk is aan de grondwateraanvulling.

Voor een uitgebreide beschrijving van de invoerbestanden en werkwijze wordt verwezen naar de NAGROM-deelrapporten of de MLAEM-handleiding (te downloaden op www.tauw.nl/samwerk/NAGROM.htm).

Bijlage 3 Legenda WINBOS

ARC-INFO/ ARCVIEW

stijghoogten 1° WVP huidige situatie

/projws/winbos/nagrom/referentie/ijs_phi_ref

verandering stijghoogten peil -06m

/projws/winbos/nagrom/peil-06/ijs_dhip06

verandering stijghoogten peil +04m

/projws/winbos/nagrom/peil+04/ ijs_dhip04

flux van 1° WVP naar topsysteem

flux huidige situatie

/projws/winbos/nagrom/peil-06/ijs_qref

verandering flux peil -06m

/projws/winbos/nagrom/peil-06/dqp06

verandering flux peil +04m

/projws/winbos/nagrom/peil+04/ijs_dqp04

arcview project

/projws/winbos/nagrom/grondwaterijsselmeer.apr

views stijghoogten

/projws/winbos/nagrom/referentie/ijs_phi_ref

/projws/winbos/nagrom/peil-06/ijs_adhip06

/projws/winbos/nagrom/peil+04/ijs_adhip04

/projws/winbos/nagrom/wvp2/ijsh2

/projws/winbos/nagrom/wvp3/ijsh3

views fluxen

/projws/winbos/nagrom/referentie/aijs_qref

/projws/winbos/nagrom/peil-06/ijs_adqp06

/projws/winbos/nagrom/peil+04/ijs_adqp04

views invoer

/projws/winbos/nagrom/pster/ijs_pster

/projws/winbos/nagrom/cster/logijs_cster

/projws/winbos/nagrom/c1/logijs_c1

/projws/winbos/nagrom/c2/logijs_c2

legenda

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-refphi.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-arefq.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-refh2.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-refh3.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-cster.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-c1.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-c2.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-pster.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-adphi.avl

/projws/winbos/nagrom/legend/legend-adq.avl

MLAEM

Elke submodel is een onderdeel van het basismodel IJsselmeer Y__ala_a03
Voor elk deelgebied is een submodel opgesteld, waarvan de naam start met y10 t/m y20 (zie tabel 6). De rest van de naam is als volgt opgebouwd:

y20_ala_a100 (inputbestanden)

y20_ala_s100 (oplossingsbestanden)

y20_alah.g100 (gridbestanden van stijghoogte)

Het laatste cijfer in de extensie geeft aan welk scenario bedoeld wordt.

0 = nulscenario

1 = scenario 1, peil IJsselmeer -0.6 m NAP

2 = scenario 2, peil IJsselmeer +0.4 m NAP

De gridbestanden zijn van elkaar afgetrokken om de veranderingen in stijghoogten of kwel tussen het nulscenario en de overige scenario's zichtbaar te maken.

De resulterende grids zijn met behulp van het commando AWRITE in MLAEM weggeschreven, waarvan de naam bestaat uit 8 posities, bijv. gooh_d51

De posities 1, 2, 3, zijn gereserveerd voor de codes kam t/m lem (zie tabel 6), positie 4 bevat een h (stijghoogte WVP 1) of een l (lek), positie 5 altijd een _, en de posities 6 t/m 8 bevatten de codes d11 t/m d52, waarbij de laatste positie 1 het verschil tussen scenario 1 en het nulscenario 0, en 2 het verschil tussen scenario 2 en het nulscenario 0. De eennalaatste posities geeft de versie aan van het bestand.

Deze bestanden vormen invoer voor Arcinfo en kunnen met aml's omgezet worden in (ascii-)gridkaarten met behulp van het bestand 'delta-q.aml' of 'asciigridmaker.aml'.

Tabel 6. Bestanden van submodellen in MLAEM

Model	afkorting	Invoerbestanden	Oplossingsbestanden
y10	kam	y10_ala_a30	y10_ala_s30
y11	dro	y11_ala_a50	y11_ala_s50
y12	vel	y12_ala_a80	y12_ala_s80
y13	wol	y134ala_a110	y134ala_s110
y14	nul	y134ala_a110	y134ala_s110
y15	goo	y15_ala_a80	y15_ala_s80
y16	pen	y16_ala_a30	y16_ala_s30
y17a	wat	y17aala_a30	y17aala_s30
y17b	hoo	y17bala_a30	y17bala_s30
y17c	enk	y17cala_a30	y17cala_s30
y18	ond	y18_ala_a30	y18_ala_s30
y19a	mak	y19aala_a30	y19aala_s30
y19b	wor	y19bala_a30	y19bala_s30
y20a	sta	y20aala_a100	y20aala_s100
y20b	lem	y20a_ala_a100	y20a_ala_s100
y21	nop	y21_ala_a10	y21_ala_s10

Basisbestanden Eemmeer/Nijkerkernauw komen uit Winbos project:

y134ala_.s110 (oplossing huidige situatie)

y134ala_.a110 (invoerbestand huidige situatie)

Deze invoerbestanden zijn bewerkt door atardpunten te verplaatsen (staat in Lab boek van UofM) en polygonen zijn opgedeeld.

Basisbestanden Gooimeer uit Winbos project:

y15_ala_.s80 (oplossing huidige situatie)

y15_ala_.a80 (invoerbestand huidige situatie)

verbeterd: polygonen aan de zuidrand van het Gooimeer: ATARD weerstanden verschoven

Werkwijze project:

1. in MLAEM 3 scenario;s

a. peil is op $p = -0.4$ mNAP y15_ala_.sp1 y14_ala_.sp1 (oplossingen)

b. peil is op $p = -0.2$ mNAP y15_ala_.sp2 y14_ala_.sp2

c. peil is op $p = 0$ mNAP y15_ala_.sp3 y14_ala_.sp3

(als voorbeeld Gooimeer met een peil van -0.4 mNAP genomen (y15/p1)):

2. grids van de leakage gemaakt in mlaem met grid 1000 om hoge resolutie te krijgen-> y15_alal.gp1

3. grids uitvoeren naar arc/info-format (in mlaem: read,grid,awrite,grid, naam)->y15_ascil.gp1

4. grids ftp-en naar arc/info naar directory: /home/vliet/gooi-eem

5. de mlaem grids in ascii converteren naar grids met 'asciigrid'-> y15lekp1

6. nieuwe polygonen gemaakt van de gebieden met de positieve kwel in de meren, deze in tekst-bestand zetten op speciale manier (zie bestand y15poly_p1.txt, of met speciale programmaatje van andre), ftp-en naar arc/info,

7. in arc polys maken van deze coördinaten van de positieve lek door,

a. arc

b. generate <new>-> y15polyp1

c. input <txtfile> (y15poly_p1.txt)

d. polys

e. quit

f. arc

g. clean <new>

8. met ascigrid grid maken van poly van polygonen: y15polyp1-g

9. in grid:

a. setwindow y15lekp1

b. setcell y15lekp1

c. y15sumlekp1 = zonalsum(y15polyp1-g, y15lekp1)

d. om cijfers boven de nul te krijgen: inty15sumlekp1 = int(y15sumlekp1* 1000)

e. in arcview bekijken ; de 'value' in de legenda is de hoeveelheid kwel.