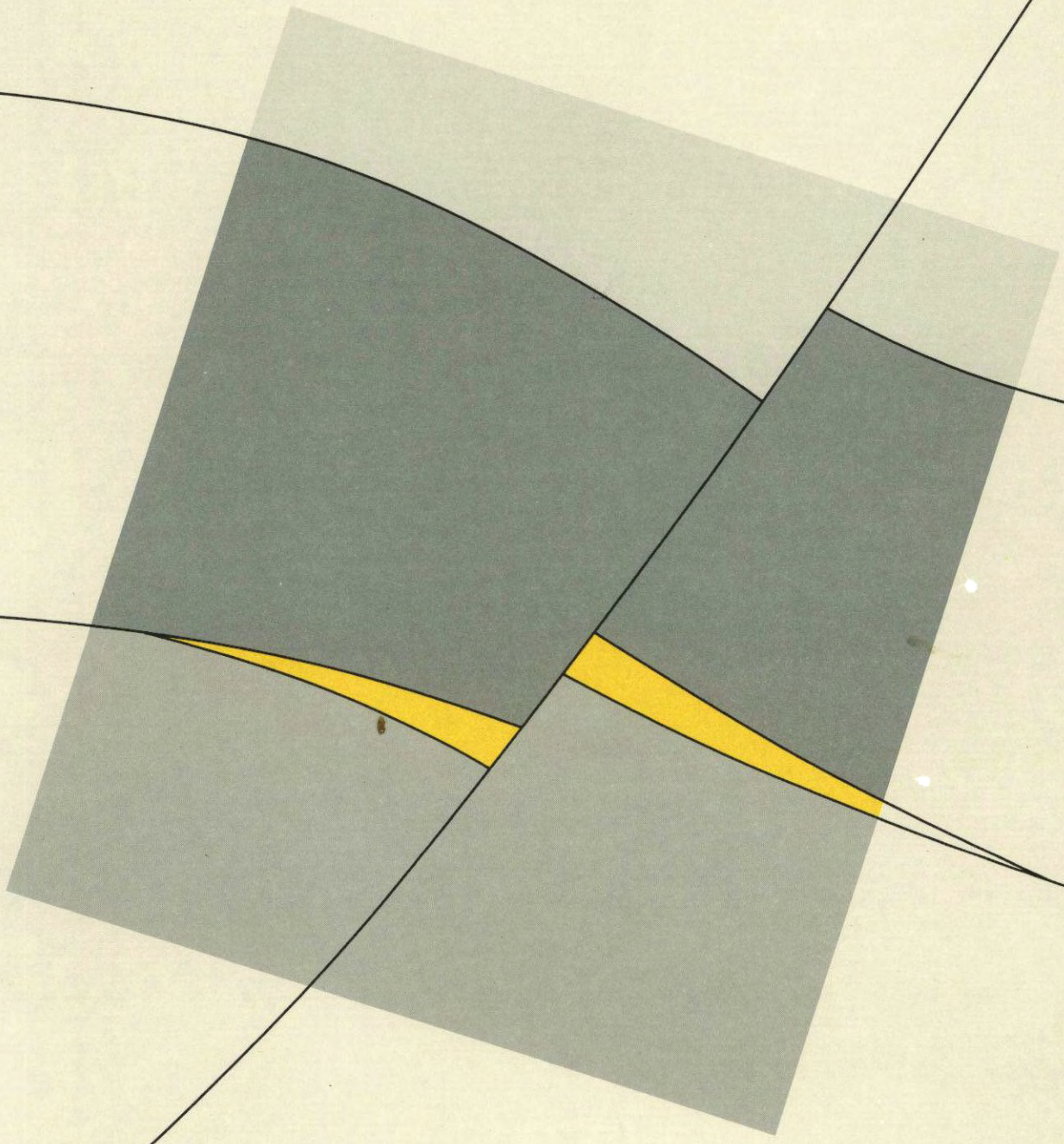
Instituut voor Grondwater en
Geo-Energie TNO (IGG)

Hydrologische Systeemanalyse Noordwest Overijssel



Instituut voor Grondwater en
Geo-Energie TNO (IGG)

Venekoterweg 42
Postbus 195
8430 AD Oosterwolde

Fax 05160 - 1 47 25
Telefoon 05160 - 1 68 00

TNO-Milieu en Energie

HM31169, 94-17B

TNO-rapport

OS 94-17 B februari 1994

Hydrologische Systeemanalyse Noordwest Overijssel

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeksopdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Auteur:
Drs. J.H. Hoogendoorn
Ir. R.W. Vernes

Opdrachtgever:
Provincie Overijssel

TNO GRONDWATER EN GEO-ENERGIE
Postbus 195
8430 AD Oosterwolde
Telefoon: 05160 - 16800

2 0 JUNI 1995

ISN 907085*

Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Milieu en Energie stelt zich ten doel om, gebaseerd op de noodzaak van een duurzame ontwikkeling van de maatschappij, door middel van onderzoek en advisering bij te dragen aan een goed milieubeheer, een verantwoord energiegebruik en een doelmatig beheer en gebruik van de ondergrondse natuurlijke hulpbronnen.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

INHOUDSOPGAVE

	LIJST VAN FIGUREN	6
	LIJST VAN TABELLEN	8
	LIJST VAN BIJLAGEN	8
1.	INLEIDING	9
1.1	Kader en doelstelling	9
1.2	Opzet en uitwerking van het onderzoek	11
2.	KARAKTERISERING VAN HET ONDERZOEKGEBIED	15
2.1	Geologie en geomorfologie	15
2.2	Geohydrologische opbouw	19
2.3	Waterhuishouding	21
3.	METHODIEK	24
3.1	Algemene lijn	24
3.2	Calibratie procedure	25
3.2.1	Karakterisering van de calibratie procedure	25
3.2.2	Reductie van onbekenden	27
3.2.3	Gevoeligheidsanalyse	29
3.2.4	Inperken van ranges met behulp van de Monte Carlo techniek	31
3.2.5	Analyse van geselecteerde parameterranges	33
3.2.6	Evaluatie	33
3.3	Vertaling van hydrologische effecten naar effecten voor de diverse deelbelangen	35
3.3.1	Risicobepaling ten aanzien van de drinkwatervoorziening	35
3.3.2	Bepaling verandering in produktiviteit van landbouwgewassen	36
3.4	Koppeling MODFLOW-ABOPOL	39
4.	MODELSCHEMATISATIE EN MODELSAMENSTELLING	41
4.1	Omvang van het modelgebied en randvoorwaarden	41
4.2	Gebiedsdiscretisatie en geohydrologische schematisatie	41
4.3	Permeabiliteitsveld	43
4.3.1	Modelconcept	43
4.3.2	Basisgegevens en implementatie	43
4.3.3	Classificatie van parameters	45
4.4	Bergingscoëfficiënten	47
4.4.1	Modelconcept	47

4.4.2 Basisgegevens en implementatie 47
4.4.3 Classificatie van bergingscoëfficiënten 47
4.5 Relatie grondwater-oppervlaktewater 48
4.5.1 Modelconcept 48
4.5.2 Basisgegevens en implementatie 49
4.5.3 Classificatie van het oppervlaktewaterstelsel 53
4.6 Grondwaterwinningen 55
4.6.1 Modelconcept 55
4.6.2 Basisgegevens en implementatie 57
4.6.3 Classificatie van de grondwaterwinningen 59
4.7 Grondwateraanvulling 59
4.7.1 Modelconcept 59
4.7.2 Basisgegevens en implementatie 61
4.7.3 Classificatie van aan de grondwateraanvulling ten grondslag liggende gegevens 63
4.8 Maaiveldhoogte 64
4.9 Laagtypen 65

5. MODELCALIBRATIE 66
5.1 Calibratie meetpunten 66
5.2 Calibratie van het stationaire model 66
5.2.1 Opzet van de stationaire calibratie 66
5.2.2 Gevoeligheidsanalyse en Monte Carlo cycli 71
5.3 Calibratie van het niet-stationaire model 83
5.3.1 Opzet van het niet-stationaire model 83
5.3.2 Calibratie van niet-stationaire parameters 85
5.3.3 Calibratie op fluxen 87

6. ANALYSE VAN HET (GEO)HYDROLOGISCHE SYSTEEM 91
6.1 Uitgevoerde berekeningen, dataverwerking en presentatie-vormen 91
6.2 Grondwaterstanden en stijghoogten 95
6.3 Wegzijging en kwel 99
6.4 Uitwisseling grondwater-oppervlaktewater 103
6.5 Neerslag en verdamping 103
6.6 Beschrijving van de grondwatersystemen 104
6.7 Chemische samenstelling van het grondwater 109
6.8 Effecten van ingrepen op het hydrologisch systeem 117
6.9 Vertaling van hydrologische effecten naar maatschappelijk relevante grootheden 123

7.	SCENARIOBEREKENINGEN	129
7.1	Sectorvariant 0	129
7.2	Sectorvariant 1	129
7.3	Sectorvariant 2	133
7.4	Sectorvariant 3	133
7.5	Sectorvariant 4	133
7.6	Sectorvariant 5	134
7.7	Sectorvariant 6	135
7.8	Sectorvariant 7	135
8.	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	137
9.	LITERATUUR	142

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: ligging van het onderzoekgebied.
Figuur 2: van basisgegevens naar advies.
Figuur 3: schematisch geohydrologisch profiel van het onderzoekgebied en modelschematisatie.
Figuur 4: uitbreiding van het landijs tijden fase D van het Saalien.
Figuur 5: verloop van de maaiveldhoogte binnen het onderzoekgebied.
Figuur 6: verbreiding en dikte van de binnen REGIS onderscheiden slecht doorlatende lagen.
Figuur 7: diepteligging van de top van de binnen REGIS onderscheiden slecht doorlatende lagen en de hypothetische extensie van het bovenvlak daar waar de lagen afwezig zijn.
Figuur 8: schematische weergave van een Monte Carlo cyclus.
Figuur 9: typering van range differentiaties.
Figuur 10: ligging van de polygonen voor het oppervlaktewatermodel.
Figuur 11: discretisatie van het onderzoekgebied.
Figuur 12: schaalproblematiek met betrekking tot de omvang van de modelgridcellen.
Figuur 13: pointersettings voor de k-waarden, c-waarden en bergingscoëfficiënt.
Figuur 14: pointersettings voor het oppervlaktewaterstelsel en resulterende peilen in de waterlopen na initialisatie van het oppervlaktewaterstelsel.
Figuur 15: lokatie van grondwateronttrekkingen.
Figuur 16: ruimtelijke variatie van de neerslag en pointersettings voor de grondwateraanvulling.
Figuur 17: ruimtelijke weergave van de gevoeligheid van enkele modelparameters (volgens initiële ranges).
Figuur 18: ruimtelijke weergave van de gevoeligheid van enkele modelparameters (volgens bijgestelde ranges).
Figuur 19: verlaging van de model c-waarde als gevolg van het schaaleffect.
Figuur 20: resulterende transmissiviteit van de modellagen na calibratie.
Figuur 21: resulterende c-waarde van de slecht doorlatende niveaus na calibratie.
Figuur 22: schema van tijdstappen voor de niet-stationaire berekeningen.
Figuur 23: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem I:

stijghoogten.
Figuur 24: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem II: flowtermen.
Figuur 25: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem III: stromingspatronen; a: verblijftijden van het grondwater.
Figuur 26: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem III: stromingspatronen; b: actueel stromingspatroon volgens het potentiaalveld in respectievelijk de voor- en najaarssituatie.
Figuur 27: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem III: stromingspatronen; c: grondwatersystemenkaart.
Figuur 28: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; a: chloride.
Figuur 29: weergave van de complexe zoet/zout verdeling op enkele locaties.
Figuur 30: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; b: sulfaat.
Figuur 31: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; c: calcium.
Figuur 32: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; d: magnesium.
Figuur 33: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; e: nitraat.
Figuur 34: effecten van winningen op het geohydrologisch systeem I: verlagingspatronen.
Figuur 35: effecten van winningen op het geohydrologisch systeem II: verandering wegzijging/kwel.
Figuur 36a: effecten van winningen op het geohydrologisch systeem III: verandering opbrengstdepressie voor de landbouw.
Figuur 36b: effecten van winningen op het geohydrologisch systeem IV: intrekgebieden.
Figuur 37: overzicht van ingrepen per sectorvariant.

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: debieten van grondwateronttrekkingen.
Tabel 2: invulling van parameterranges en overzicht van geselecteerde waarden.
Tabel 3: selectie van 10 beste parametersets van de eerste Monte Carlo cyclus.
Tabel 4: selectie van 10 beste parametersets van de tweede Monte Carlo cyclus.
Tabel 5: overzicht van geselecteerde waarden voor de niet-stationaire parameters.
Tabel 6: overzicht van berekeningen en resultaten van de calibratie op fluxen.
Tabel 7: specificatie van opgepompt grondwater naar herkomst en verblijftijd.

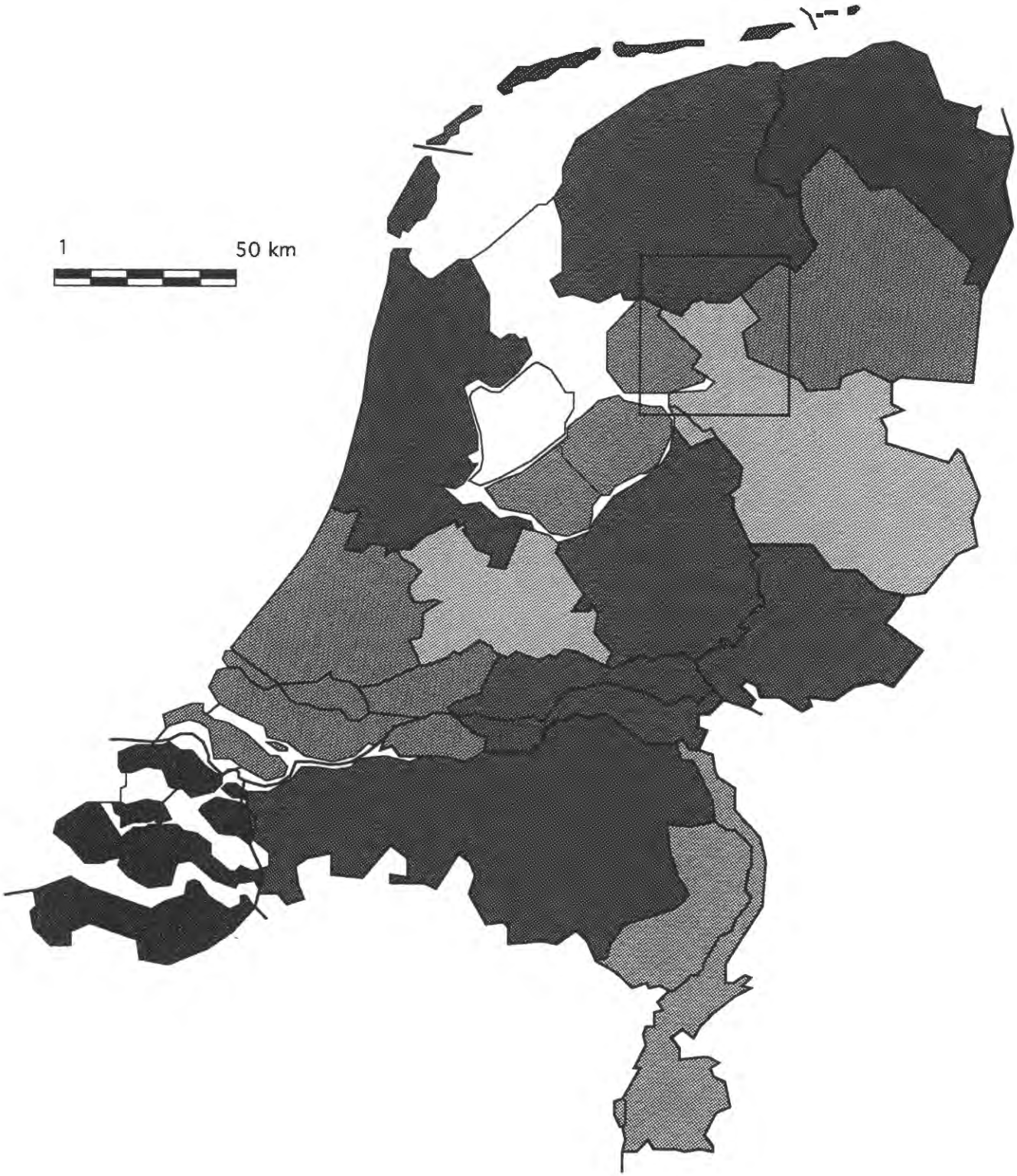
LIJST VAN BIJLAGEN

Bijlage 1: differentiatie van de initiële en bijgestelde ranges.
Bijlage 2: ruimtelijke weergave van het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten.
Bijlage 3: naamgeving van files.

1. INLEIDING

1.1 Kader en doelstelling

De natuurgebieden de Weerribben en de Wieden staan wegens hun bijzondere waarde voor de natuur reeds lang in de belangstelling. Door verschillende partijen is in het verleden reeds vanuit verschillende gezichtspunten binnen het gebied onderzoek verricht. Genoemd kunnen worden een uitgebreid onderzoek naar de relatie tussen het voorkomen van verschillende vegetatietypen en de hydrologie (van Wirdum, 1991) en een aantal onderzoeken op het gebied van de waterbeheersing (De overgangsproblematiek in Noordwest Overijssel - Oriënterend onderzoek met detailstudie waterbeheer, Oranjewoud, 1986; Vooronderzoek haalbaarheidsonderzoek vaarverbinding Blokzijl-Lemmer, Grontmij, 1990). Met name wat betreft de laatst genoemde onderzoeken ontbrak het aan een beeld van en inzicht in de regionale (geo)hydrologie om de onderzoeksresultaten adequaat te kunnen plaatsen.
Binnen het gebied bestaan verder knelpunten ten aanzien van de landbouw, natuur, recreatie en de winning van grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Daarnaast wordt de Provincie Overijssel geconfronteerd met tal van Rijksnota's (Derde nota waterhuishouding, VINEX en het Nationaal natuur beleidsplan (NBP)), waaraan de Provincie een beleidsmatige invulling moet geven.
In het licht van voornoemde punten heeft de Provincie Overijssel de coördinatiegroep Integraal Waterbeheer Noordwest Overijssel opgericht. In deze groep hebben zitting vertegenwoordigers van de Provincies Overijssel, Friesland, Drente en Flevoland, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij (LNV), Rijkswaterstaat, Waterschap Vollenhove, Zuiveringschap West Overijssel, Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO). Rijksinstituut voor Integraal waterbeheer en Zuivering Afvalwater (RIZA), Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO (IGG-TNO), LB&P/Heidemij Advies, Waterloopkundig Laboratorium en het Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM). De algemene doelstelling van de coördinatiegroep is: streven naar een integratie en afstemming van alle bij het waterbeheer behorende belangen en functies in Noordwest Overijssel. Om dit te bereiken zijn verschillende deelonderzoeken geformuleerd en grotendeels reeds uitgevoerd. Dit betreft ondermeer de vervaardiging van een oppervlaktewatermodel voor de simulatie van waterbewegingen binnen het kerngebied (Waterloopkundig Laboratorium, 1990) en een inventarisatie



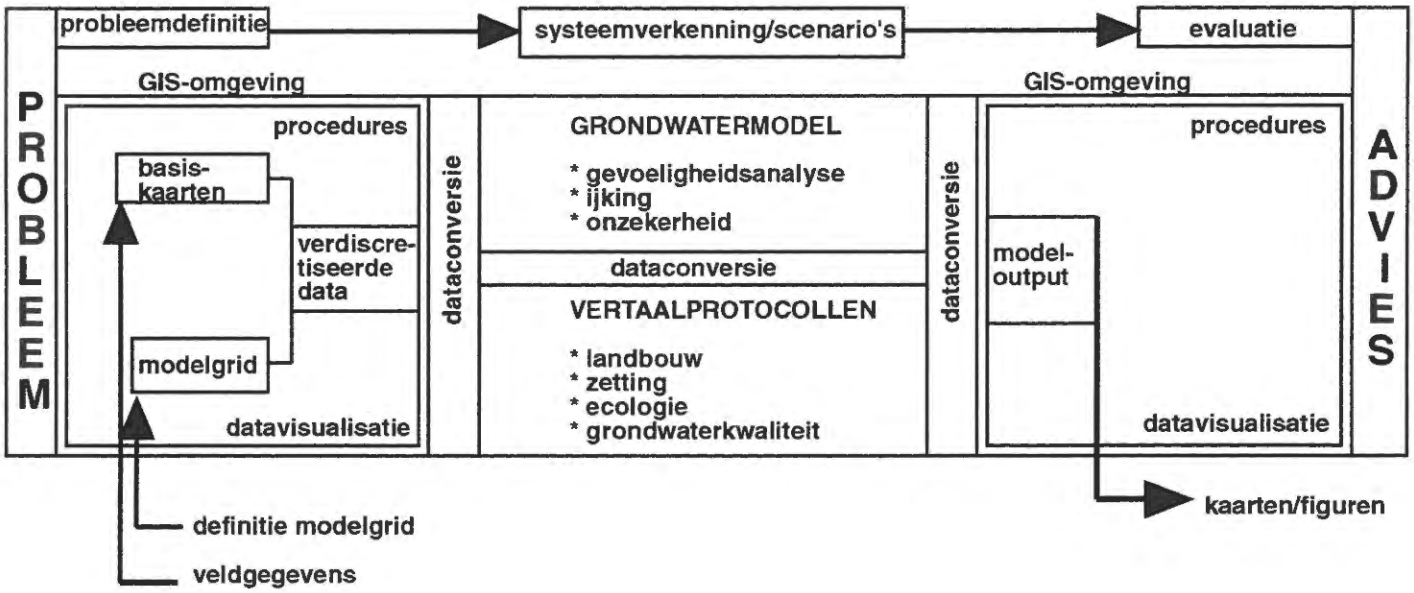
Figuur 1: ligging van het onderzoekgebied.

van ecologische waarden (Kleijberg en Klooker, 1993). Het in dit rapport gepresenteerde onderzoek richt zich op een regionale analyse van de werking van het grondwatersysteem en vormt daarmee één van de deelonderzoeken. De ligging van het onderzoekgebied is weergegeven in figuur 1.

De doelstelling van het onderhavige onderzoek is meer specifiek een kwantificering van effecten op grondwaterstanden, -stijghoogten en -stromingspatronen als gevolg van ingrepen c.q. invloeden in/op het grondwaterregime, welke door een aantal van de betrokken belanghebbende worden gepleegd c.q. veroorzaakt. Deze kennis dient als basis voor de uiteindelijke inschatting van de (eventuele) effecten van hier voornoemde ingrepen op bebouwing, landbouw, natuurwaarden en de kwaliteit van het grondwater. Het onderzoek levert hiermee een bijdrage aan de verzameling van 'dosis-effect' relaties, die de basis vormen voor het afwegingsproces van belangen. Daarnaast dient het onderzoek de karakteristieken van het geohydrologisch systeem bloot te leggen ten behoeve van een adequate beeldvorming omtrent de werking ervan bij betrokkenen. Dit is noodzakelijk ter ondersteuning dan wel weerlegging van bepaalde (soms vooringenomen) ideeën. Met name dit laatste kan het bedenken van onzinnige scenario's en/of het bestaan van onterechte hoog gespannen verwachtingen ten aanzien van bepaalde deelbelangen voorkomen en daarmee de maatschappij voor verkeerde investeringen behoeden.

1.2 Opzet en uitwerking van het onderzoek

De analyse van het grondwatersysteem en ingrepen daarin heeft plaatsgevonden door middel van numerieke computersimulatie van grondwaterstijghoogten en -standen. De uitkomst van het grondwatermodel levert tussenresultaten voor de uiteindelijke vertaling van de ingrepen in het geohydrologisch regime naar de maatschappelijk relevante belangen, maar directe resultaten voor de beschrijving van het geohydrologisch systeem (hoofdstuk 6). De combinatie LB&P/Heidemij Advies hebben een ecohydrologische systeemanalyse uitgevoerd en een ecohydrologisch 'voorspellingsmodel' gemaakt. Dit voorspellingsmodel doet uitspraken over de potenties van vegetaties op basis van wijzigingen in fysische c.q. waterhuishoudkundige randvoorwaarden (Kleijberg en Klooker, 1993).
De afweging van de uiteindelijke effecten voor de deelbelangen is een politieke zaak. Het Waterloopkundig Laboratorium heeft de beleidsontwikkeling ondersteund door effecten van ingrepen te vertalen naar grootheden van de evaluatiecriteria.

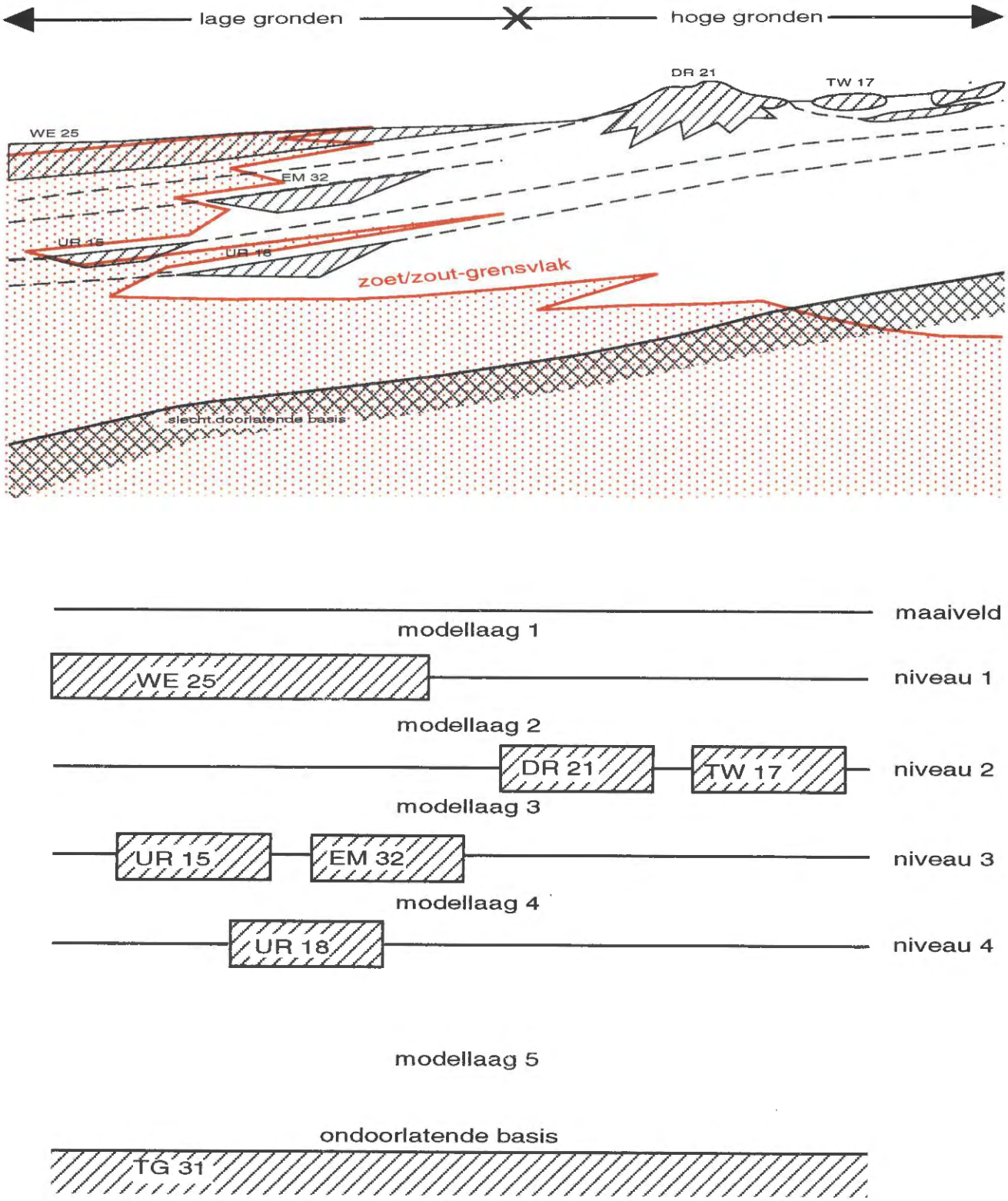


Figuur 2: van basisgegevens naar advies.

Door de coördinatiegroep zijn zeven sectorvarianten bedacht. Een omschrijving van deze varianten in opgenomen in hoofdstuk 7. De rekenresultaten, welke zijn weergegeven in een honderdtal figuren, zijn gebundeld in een aantal 'resultatenmappen' en verder niet gepubliceerd (Hoogendoorn, 1993). Op basis van de resultaten van de sectorvarianten zijn een drietal geïntegreerde rekenvarianten samengesteld. De resultaten hiervan zijn apart gerapporteerd (Hoogendoorn, 1993). De samenstelling en de evaluatie van deze rekenvarianten zijn tevens afgestemd op het project 'Gebiedsgerichtbeleid Noordwest Overijssel'.

De gehele dataverwerking, modellering en presentatie van rekenresultaten heeft plaatsgevonden binnen de omgeving van een Geografisch Informatiesysteem (GIS). In feite omvat het totaal aan onderzoeken de complete omwerking van basisgegevens tot aan een uiteindelijk advies (figuur 2). Daarnaast is gebruik gemaakt van de Monte Carlo techniek, waarmee tevens een zekere geleide calibratie van het grondwatermodel heeft plaatsgevonden. In hoofdstuk 3 zijn de verschillende methoden met betrekking tot de effectbepaling en modelcalibratie meer uitgebreid beschreven. Hoofdstuk 4 omvat een beschrijving van de modelconceptualisatie, de herkomst van de basisgegevens en de implementatie ervan. De model calibratie wordt verder toegelicht in hoofdstuk 5.
De in deze alinea omschreven werkwijze is voor een belangrijk deel ontwikkeld binnen het kader van het onderzoek 'Optimalisatie waterbeheer Wierden/Wierdense Veld' (Hoogendoorn & te Stroet, 1993), dat min of meer als pilot-studie heeft gediend voor de gehanteerde methode in het onderhavige onderzoek. Beide rapporten vertonen dan ook een grote gelijkenis.

De opzet van het onderzoek is tamelijk fundamenteel. Dat wil zeggen dat de opdrachtgever er voor gekozen heeft een professionele lijn van dataverwerking te volgen waarbij tevens aandacht is besteed aan conservatie van kennis, die gedurende het onderzoek wordt gegenereerd, ten behoeve van latere onderzoekingen. Dit laatste heeft ondermeer toe geleid dat de uitgebreide gegevensverzameling die noodzakelijk is voor de samenstelling van een grondwatermodel is vastgelegd binnen REGIS (REgionaal Geohydrologisch Informatiesysteem) (van Bracht, 1992). REGIS zal binnen afzienbare termijn een nationale gegevensbank gaan vormen, waarin het hele spectrum aan geohydrologische gegevens en aanverwante gegevens omtrent het oppervlaktewaterstelsel is opgenomen.



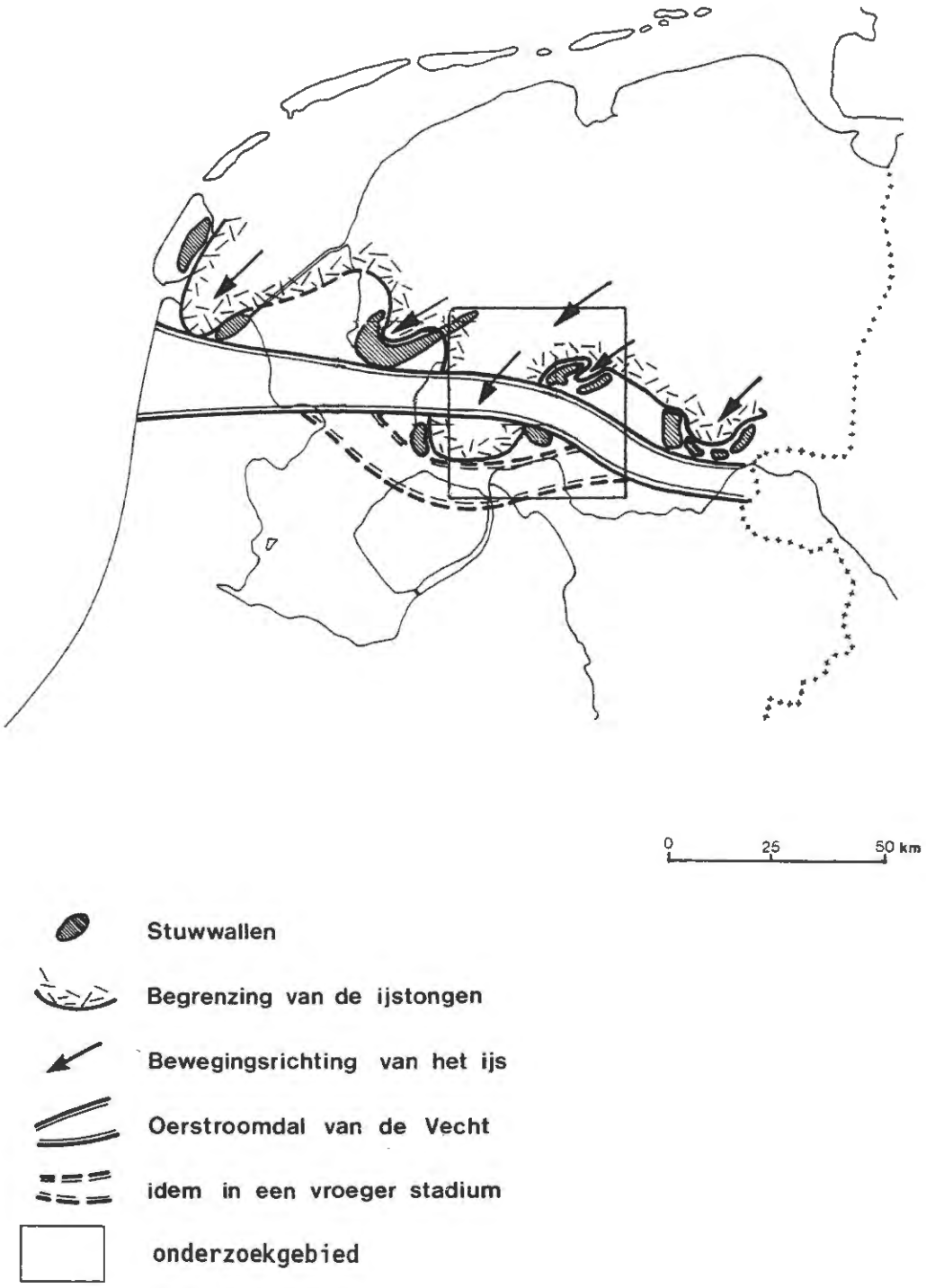
Figuur 3: schematisch geohydrologisch profiel van het onderzoekgebied en modelschematisatie (toelichting: zie paragraaf 2.2).

2. KARAKTERISERING VAN HET ONDERZOEKGEBIED

De geologie en geohydrologische opbouw zijn uitgebreid beschreven in de Geologische Kaart, de Grondwaterkaart van Nederland (DGV/IGG-TNO) en de Geohydrologische Atlas van het IJsselmeergebied. In de grondwaterkaart van Nederland is tevens een omschrijving van de waterhuishoudkundige toestand opgenomen. Meer informatie omtrent de waterhuishouding is te vinden op de Waterstaatskaarten.
In het kader van REGIS is de geohydrologische opbouw binnen het modelgebied en een omliggende zone opnieuw geïnventariseerd en geherinterpreteerd. De beschrijving hiervan, inclusief een karakterisering van de onderscheiden geohydrologische lagen, is vastgelegd in document 'Verantwoording opbouw bestanden voor de Provincie Overijssel' (in bewerking).
Voor een gedegen achtergrondinformatie omtrent de geologie, geomorfologie, geohydrologische opbouw en de waterhuishouding wordt verwezen naar de hier voornoemde literatuur; dit hoofdstuk omvat slechts een korte samenvatting van de voor het onderzoek relevante punten. Een overzicht van de geohydrologische opbouw van het gebied in relatie tot de geologische formaties is weergegeven in figuur 3.

2.1 Geologie en geomorfologie

De voor het onderzoek relevante deel van de geologische geschiedenis wordt gekenmerkt door het dalende Noordzeebekken sinds het begin van het Tertiair en de IJstijden, afgewisseld met relatief warme tijden (interglacialen), gedurende het Pleistoceen.
Het dalende bekken is voortdurend opgevuld met sedimenten. Aanvankelijk betrof dit een mariene sedimentatie (Formatie van Maassluis). In de loop van het begin van het Pleistoceen ging de mariene sedimentatie echter geleidelijk over in een sedimentatie die overheerst werd door rivieren van eerst een zuidelijke herkomst (Formatie van Tegelen) en later een oostelijke herkomst (Formaties van Harderwijk en Enschede). Weer later, vermoedelijk als gevolg van tektonische bewegingen in het achterland, werd het riviermateriaal aangevoerd vanuit zuidelijke richting (riviersysteem van de Rijn) (Formatie van Urk).
Inmiddels is de geologische geschiedenis in de periode van de IJstijden beland (achtereenvolgens het Elsterien, Saalien en Weichselien). Het gebied staat dan een aantal malen onder invloed van glaciale of periglaciale omstandigheden. Het Saalien heeft belangrijke sporen in het gebied achtergelaten.

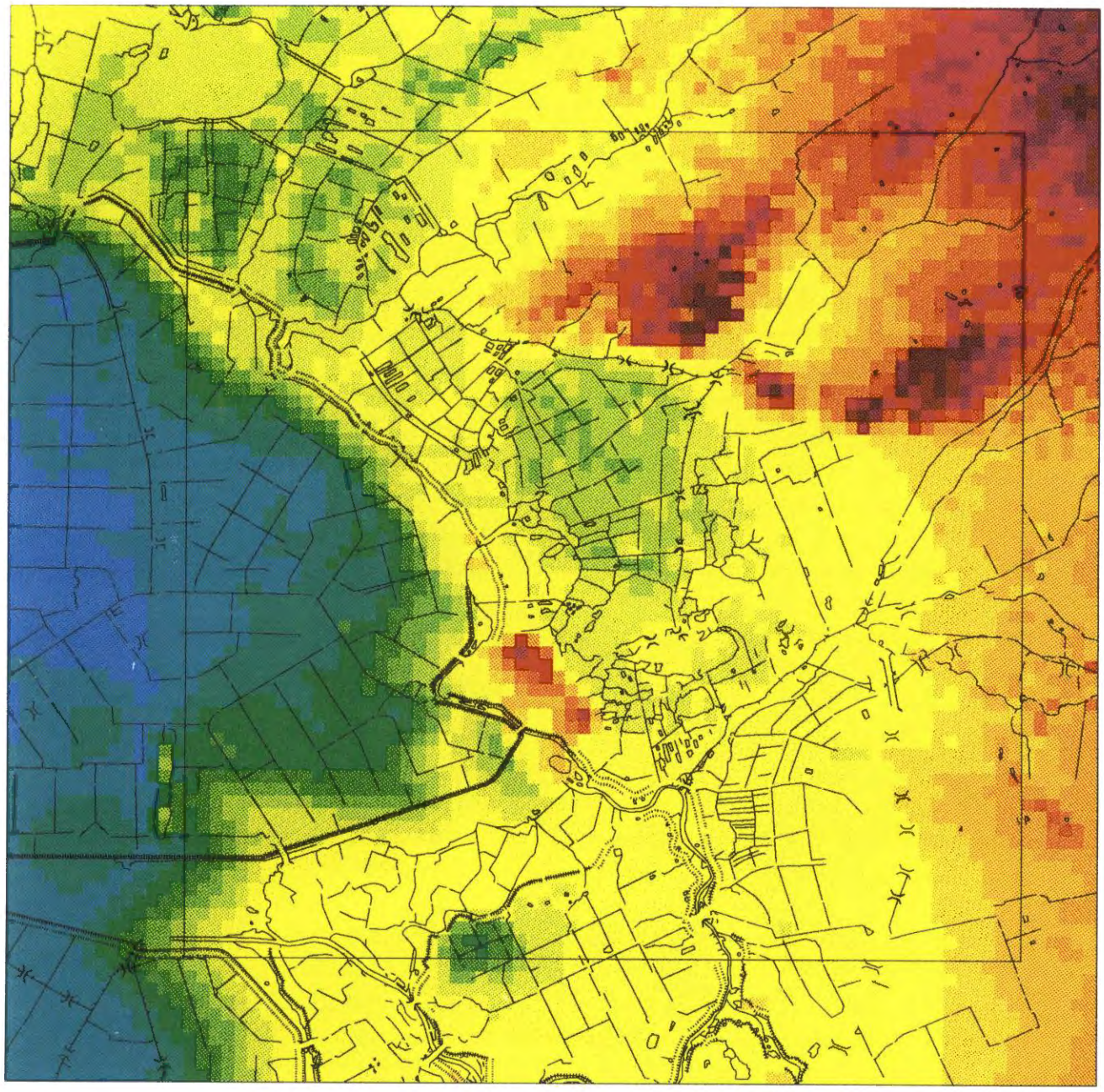


Figuur 4: uitbreiding van het landijs tijden fase D van het Saalien.

(Ter Wee 1962)

Het landijs reikte in die periode tot globaal de lijn Gaasterland - Coevorden en liet aldaar grondmorene (keileem) achter (Formatie van Drente), die op diverse plaatsen tijdens de laatste fase van het Saalien werd gestuwd (figuur 4). Tijdens deze laatste fase ontstaat ook het smeltwaterdal van de Vecht.
In de relatief warme periode tussen het Saalien en het Weichselien herstelt de aanvoer van riviermateriaal door het Rijnsysteem zich weer, welke plaats vindt via het Vechtdal (Formatie van Kreftenheye). In het westelijk deel van het gebied rukt, onder invloed van het afsmeltende ijs, de zee op. In dit kustsysteem komen mariene zanden en kleien tot afzetting en vormen zich tevens terrestische afzettingen (klei en veen) (Eem Formatie).
Tijdens het Weichselien bereikt het landijs het onderhavige gebied niet. Onder invloed van wind en water werden de toenmalige aan de dag liggende sedimenten omgewerkt, waarbij dekzanden en beekleem werden gevormd (Formatie van Twente). Aan het einde van het Weichselien stijgt de zeespiegel wederom en vindt eerste veenvorming plaats, gevolgd door afzetting van mariene zanden en kleien (Holoceen, Westland Formatie). De oprukkende zee vormt het gebied nog tot in de Middeleeuwen, waarbij door golfafslag uiteindelijk de Zuiderzee is ontstaan.

De geomorfologie van het gebied is nauw gerelateerd aan de geologische ontwikkeling. Het oostelijk deel van het gebied wordt gevormd door het Drents Plateau. Globaal heeft dit plateau de vorm van een op zijn kop liggende schotel, waarvan het hoogste deel zich bevindt nabij Emmen en een hoogte heeft van circa 25 m.NAP. In dit schotelvormig plateau zijn een aantal radiaal lopende beekdalen gelegen, waardoor het Drents Plateau uiteindelijk een min of meer zeesterachtige vorm heeft.
Westwaarts gaat het Drents Plateau over in het Holocene veenlandschap en in het poldergebied van de Noordoostpolder. Het laagste deel van het onderzoekgebied is gelegen nabij Emmeloord en heeft een maaiveldhoogte van circa -4 m.NAP (figuur 5). De Weerribben en De Wieden zijn gesitueerd in het veengebied tussen het Drents Plateau en de Noordoostpolder. De maaiveldhoogte aldaar varieert tussen -0,8 en 0 m.NAP.
De hoogste delen van het gebied worden gevormd door gestuwde keileemheuvels uit de Saale ijstijd. Het hoogste punt vormt de Woldberg met een hoogte van circa 25 m.NAP (zeer lokaal). Ook de gestuwde keileemrug ten zuid oosten van Vollenhove ligt relatief hoog ten opzichte van de directe omgeving (9 m.NAP versus -0,5 m.NAP).



binnenkader: gebied waarvoor de modelresultaten gepresenteerd zijn

5 km

maaiveldhoogte (m.NAP)

< -5.5	-3.0 - -2.5
-5.5 - -5.0	-2.5 - -2.0
-5.0 - -4.5	-2.0 - -1.5
-4.5 - -4.0	-1.5 - -1.0
-4.0 - -3.5	-1.0 - -0.5
-3.5 - -3.0	-0.5 - 0.0

beneden NAP: interval 0,5 m

0 - 1	6 - 7
1 - 2	7 - 8
2 - 3	8 - 9
3 - 4	9 - 10
4 - 5	10 - 11
5 - 6	> 11

boven NAP: interval 1,0 m

Figuur 5: verloop van de maaiveldhoogte binnen het onderzoekgebied.

2.2 Geohydrologische opbouw

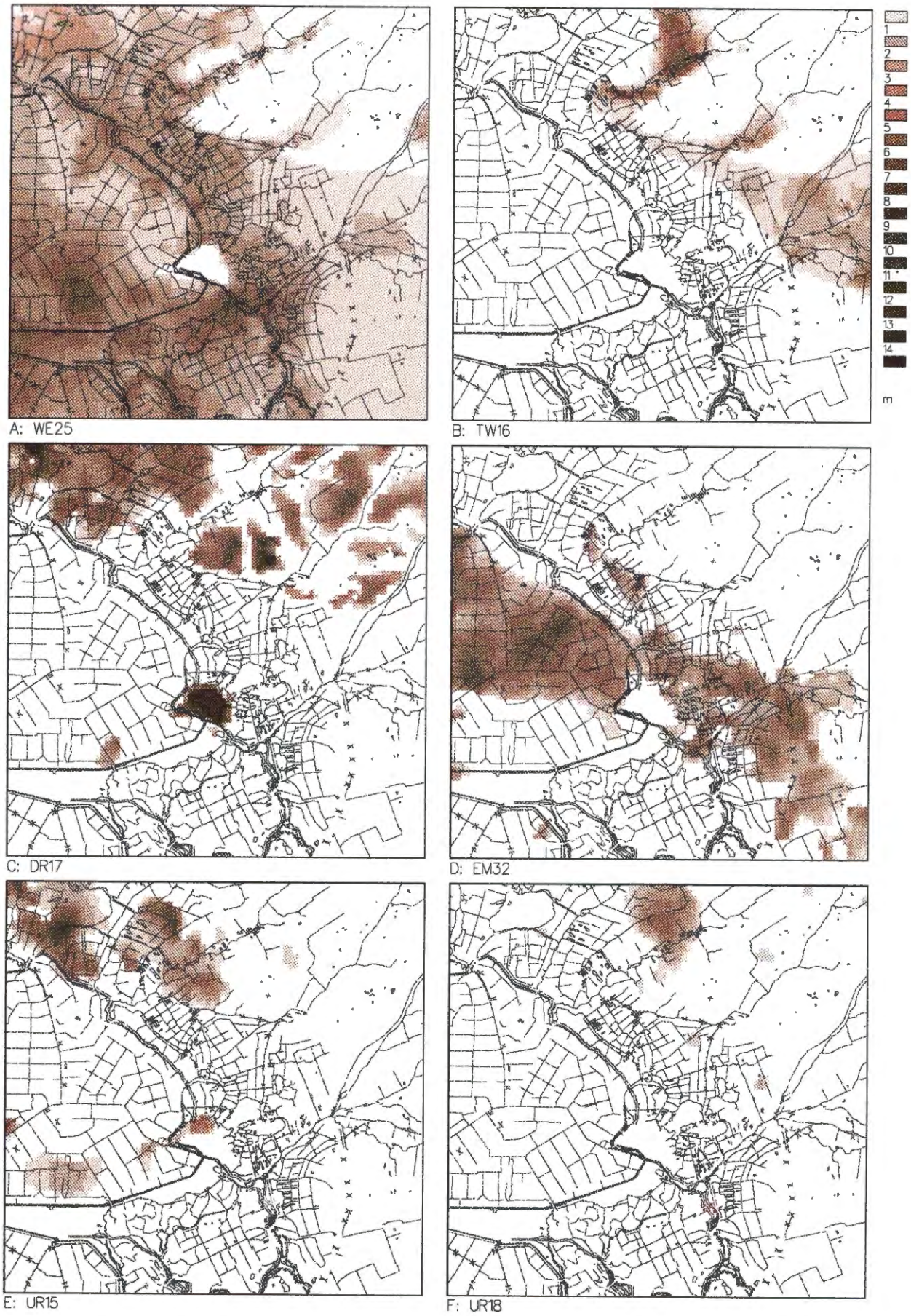
De geohydrologische opbouw van het gebied is gerelateerd aan het voorkomen van kleilagen binnen het in de voorgaande paragraaf omschreven sedimentpakket. De kleilagen vormen een barrière voor de grondwaterstroming (slecht doorlatende lagen), terwijl de zanden ertussen het grondwater goed doorlaten (watervoerende pakketten).

Binnen REGIS zijn de slecht doorlatende lagen (gidslagen) gecodeerd volgens de naam van de geologische formatie waartoe de betreffende laag behoort en het kaartbladnummer (volgens de kaartbladindeling van de Topografische Dienst) van het gebied waar de laag het duidelijkst aanwezig is. De REGIS-codering niet direct stratigrafisch, maar is er wel aan gerelateerd. Een onderscheid tussen een stratigrafische en een geohydrologische codering is noodzakelijk omdat voor een stratigrafische indeling het tijdsaspect de classificerende factor is, terwijl dit voor de geohydrologische indeling het contrast in doorlatendheid van de ondergrond voor water is. Kleilagen die binnen een verschillende tijdsperiode zijn afgezet (verschillende stratigrafische eenheden), maar duidelijk één kleilaag vormen, vormen één geohydrologische eenheid.

Voor het onderzoekgebied zijn binnen REGIS de volgende slecht doorlatende niveaus onderscheiden (figuur3, 6 en 7):
- WE25: hiertoe behoren de klei en veenafzettingen van de Westland Formatie,
- TW17: wordt gevormd door beekleem in de Formatie van Twente,
- DR21: komt overeen met de keileem in de Formatie van Drente,
- EM32: de klei/veen afzettingen in de Eem Formatie,
- UR15: kleilagen in de bovenkant van de Formatie van Urk,
- UR18: kleilagen in de onderkant van de Formatie van Urk (komt in het onderzoekgebied nauwelijks voor).

De slecht doorlatende basis van het geohydrologisch systeem wordt gevormd door de bovenkant van een complex van kleilagen in de Formatie van Tegelen (niveau TG31).

REGIS omvat naast informatie over de verbreiding en dikte van de lagen ook informatie over de diepteligging van de lagen. Daar waar de slecht doorlatende laag van een bepaald niveau afwezig is, is de hypothetische extensie van de diepteligging (van de top) vastgelegd. Op deze wijze zijn alle onderscheiden niveaus binnen het gehele gebied gedefinieerd,



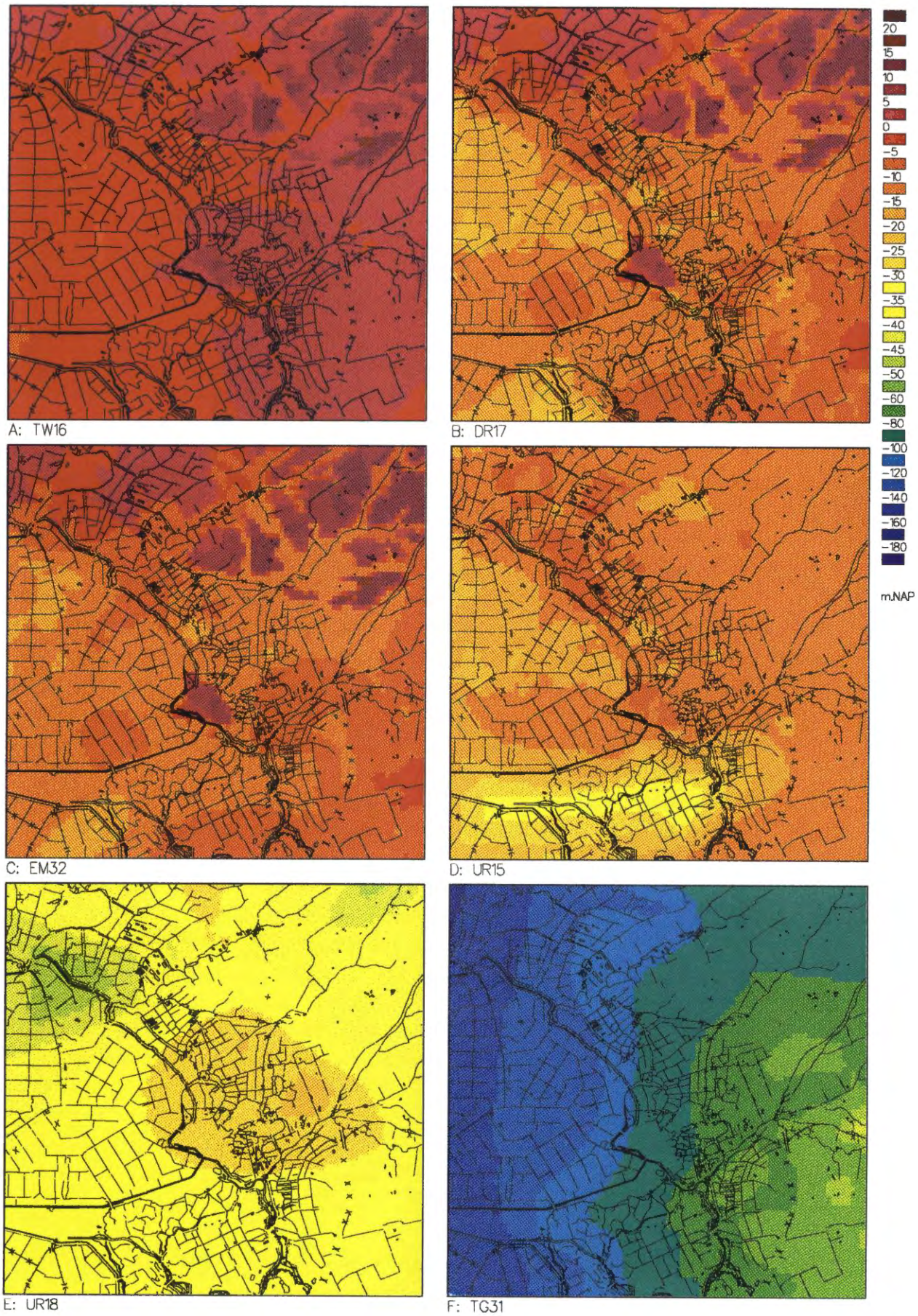
Figuur 6: verbreiding en dikte van de binnen REGIS onderscheiden slecht doorlatende lagen.

hetgeen de samenstelling van het grondwatermodel vereenvoudigd (paragraaf 4.2).

2.3 Waterhuishouding

De waterhuishouding binnen het onderzoekgebied is in belangrijke mate beïnvloed door ingrepen van de mens. De grootste ingrepen betreffen de aanleg van de Noordoostpolder en de aanleg van polders in het Holocene veengebied (zoals ondermeer de Polders Wetering, Geldringe, Halfweg en Giethoorn). De ontwatering van de hoge gronden heeft ingrijpende wijzigingen ondergaan door verdichting van het drainagestelsel (begreppeling, aanleg van sloten en drains), kanalisatie van beken en peilbeheersing.
De hogere gronden vormen een vrij afwaterend gebied, met plaatselijk voorzieningen voor wateraanvoer. Binnen het lager gelegen deel van het onderzoekgebied is het waterpeil voor het merendeel beheerst. De Noordoostpolder, ogenschijnlijk een poldergebied, vormt hierop een complexe uitzondering. In deze polder komen, voornamelijk langs de rand met het oude land, gebieden voor die droogte gevoelig zijn. Deze gebieden worden derhalve van water voorzien door middel van een ingewikkeld stelsel van hoofdinfiltratie-aanvoersloten, perceelsloten en infiltratiedrains. Per perceel kan de aanvoer worden gereguleerd door middel van stuwputten. De aanvoer van water vindt voornamelijk in de zomer plaats. Buiten de zomerperiode is deze randzone binnen de Noordoostpolder eerder te beschouwen als een vrij afwaterend gebied, met een afwatering richting de diepere delen van de polder.
Met betrekking tot de waterhuishouding binnen de Noordoostpolder kan onderscheid gemaakt worden tussen vaarten en tochten enerzijds en perceelsloten en drains anderzijds. Alleen de vaarten en tochten hebben een beheerst peil. De perceelsloten monden veelal niet direct uit in de vaarten en tochten (deze hebben doorgaans een hogere bodemhoogte) en hebben derhalve niet het polderpeil. De uitlaat van de drains is minimaal 20 cm boven het peil in de perceelsloten gesitueerd. Feitelijk wordt de Noordoostpolder dus voor het merendeel gekenmerkt door een vrije afwatering, met een peilbeheerste basis die bestaat uit de vaarten en tochten.

Binnen het onderzoekgebied komen twee belangrijke boezemgebieden voor. Dit betreft de Friese boezem, waarvan het peil constant op circa -0,6 m.NAP wordt gehouden, en de boezem van het waterschap Vollenhove. Het streefpeil van de laatst genoemde boezem is zomers -0,7 m.NAP en 's



Figuur 7: diepteligging van de top van de binnen REGIS onderscheiden slecht doorlatende lagen en de hypothetische extensie van het bovenvlak daar waar de lagen afwezig zijn.

winters op -0,8 m.NAP. Dit peilbesluit wordt echter veelal niet gehaald, waardoor het peil van de Vollenhovense boezem in de praktijk doorgaans varieert rond -0,75 m.NAP. De Weerribben en De Wieden zijn binnen deze boezem gelegen en hebben derhalve het boezempeil.

3. METHODIEK

3.1 Algemene lijn

De werking van het geohydrologische systeem is gesimuleerd met de numerieke modelcode MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988). MODFLOW is gebaseerd op het rekenschema van eindige differenties, waarmee stijghoogten in gediscretiseerde delen van de ondergrond worden berekend. Hiertoe wordt het beschouwde onderzoekgebied opgedeeld in vierkante c.q. rechthoekige elementen (gridcellen). Aan iedere cel wordt vervolgens een discrete waarde voor de geohydrologische parameters toegekend, die, evenals de berekende grootheden, representatief geacht worden voor de cel. Deze representatieve waarden zijn op te vatten als gemiddelde van de betreffende grootheden voor het volume dat een cel omspant. De resolutie van het grondwatermodel wordt derhalve bepaald door de mate van discretisatie.

De calibratie van het grondwatermodel is gesystematiseerd door gebruikmaking van de zogenaamde Monte Carlo techniek en daaraan voorafgaand een gevoeligheidsanalyse. Aangezien deze methodiek nog niet alom bekend is en bovendien implicaties heeft voor de modelschematisatie (hoofdstuk 4), is in paragraaf 3.2 een beknopte beschrijving van de werkwijze en geassocieerde begrippen gepresenteerd. Een meer uitgebreide uiteenzetting van de methode is, met diverse voorbeelden, opgenomen in het rapport over de modelstudie Wierden (Hoogendoorn & te Stroet, 1994).

Als eerste is een stationair model samengesteld en geijkt. Vervolgens is het model niet-stationair gemaakt door het van de benodigde dynamische parameters te voorzien. Deze parameters zijn apart gecalibreerd. Voor de simulatie van de dynamische grondwateraanvulling is gebruik gemaakt van een zeer vereenvoudigd model van de onverzadigde zone (paragraaf 4.6.1).

Stromingspatronen en verblijftijden zijn gebruikt voor de identificatie van de (geo)hydrologische systemen in het algemeen en van de intrekgebieden van grondwateronttrekkingen in het bijzonder. De analyse van intrekgebieden dient als basis voor de vertaling van hydrologische grootheden naar effecten voor de te (verwachten) kwaliteit van het opgepompte grondwater (paragraaf 3.3.1).
De grondwaterstromingspatronen zijn berekend met het programma MODPATH. Het programma MODPATH genereert zowel stromingspatronen als verblijftij-

den van waterdeeltjes langs deze stroombanen op basis van door MODFLOW berekende debieten tussen de cellen.

Voor de vertaling van grondwaterstandsveranderingen naar effecten voor de landbouw is het programma BODEP (Landinrichtingsdienst, 1992) gebruikt. Dit programma is gebaseerd op de zogenaamde HELP-tabellen, waarin de relatie tussen de vochthuishouding in de bodem en de produktiviteit van bepaalde landbouwgewassen is vastgelegd. De gevolgde werkwijze is beschreven in paragraaf 3.3.2.

Zoals reeds in de inleiding vermeld, heeft de vertaling van hydrologische effecten naar potenties voor de ecologische waarden plaatsgevonden door LB&P. Voor een beschrijving wordt verwezen naar het desbetreffende rapport (KLeijberg en Klooker, 1993).

Ter verbetering van de schatting van het door de Vollenhovense boezem en aanliggende polders uitgeslagen water ten behoeve van het model ABOPOL, zijn de door MODFLOW berekende uitwisselingsdebieten tussen grond- en oppervlaktewater als invoergegeven voor ABOPOL gebruikt (paragraaf 3.4).

De voor- en nabewerking van data is gerealiseerd binnen de omgeving van een Geografisch Informatie Systeem (GIS), waarvoor het programmapakket ARC/INFO (ESRI Inc. USA, 1992) is gebruikt. De koppeling van GIS en modellen biedt aanzienlijke voordelen met betrekking tot de verdiscretisering van ruimtelijke gegevens tot modelinvoer en ten aanzien van de visualisatie van zowel invoer gegevens als berekende grootheden.

3.2 Calibratie procedure

3.2.1 Karakterisering van de calibratie procedure

Bij de calibratie van een model wordt men geconfronteerd met een identificatie probleem, dat zowel praktisch als fundamenteel van aard is. De praktische kant heeft betrekking op de relatieve gevoeligheid van de modeluitkomsten voor de verschillende modelparameters. De fundamentele kant betreft dat de modelvergelijkingen (veel) meer onbekenden bevatten dan er informatie (uit stijghoogtewaarnemingen) beschikbaar is.

Dit laatste betekent dat er meerdere parametersets[1] bestaan waarmee de gemeten stijghoogten gesimuleerd kunnen worden, hetgeen in feite impliceert dat er geen unieke calibratie mogelijk is.
Bij de calibratie speelt verder een rol dat bepaalde parameters in meer of mindere mate met elkaar gecorreleerd kunnen zijn, waardoor keuzes voor parameterwaarden niet meer onafhankelijk van elkaar gemaakt kunnen worden.

Het identificatieprobleem wordt veelal omzeild door de omvang van de parameterset bij het calibreren te reduceren, waardoor het aantal onbekenden afneemt. Inherent hieraan is dat de overige modelparameters impliciet als vaststaand worden beschouwd, hetgeen lang niet altijd gerechtvaardigd is.
Na een dergelijke verdergaande schematisatie probeert men doorgaans door middel van 'trial and error' het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten te minimaliseren ('curve fitting'). Het probleem hierbij is echter dat een minimaal verschil op zichzelf nog niets zegt over de juistheid van de oplossing, omdat een minimaal verschil (zelfs een verschil van nul) via verschillende schematisaties en keuzen kan worden bereikt. Bovendien ontbreekt het bij de 'trial and error' methode veelal aan sturing en kunnen keuzen tamelijk subjectief zijn. Objectiever is de veranderingen in modelinvoer random te kiezen uit alle bestaande mogelijkheden (de parameterruimte). Dit principe vormt de basis voor de zogenoemde 'Monte Carlo' simulatie. Het accent van de calibratie komt hierdoor minder op curve fitting te liggen. De calibratie krijgt meer het karakter van een toetsing van de berekeningen aan meetgegevens, op basis waarvan de modelinvoer al of niet kan worden bijgesteld. Het verkleinen van het verschil tussen de berekende en de gemeten stijghoogten vormt hierbij geen doel op zich.

In het licht van het voorgaande is de calibratie als volgt gestructureerd (mede gebaseerd op Olsthoorn, 1989; Jakeman et al., 1990 en La Venue en Pickens, 1992):

1 - reductie van zoveel mogelijk onbekende door (zie paragraaf 3.2.2):
  - een gedeelte van de parameters, voor zover mogelijk, als vast-

[1] een parameterset is hier gedefinieerd als de verzameling van modelparameters die men als minder goed bekend beschouwd en waarvoor men door middel van calibratie een (optimale) waarde tracht te vinden.

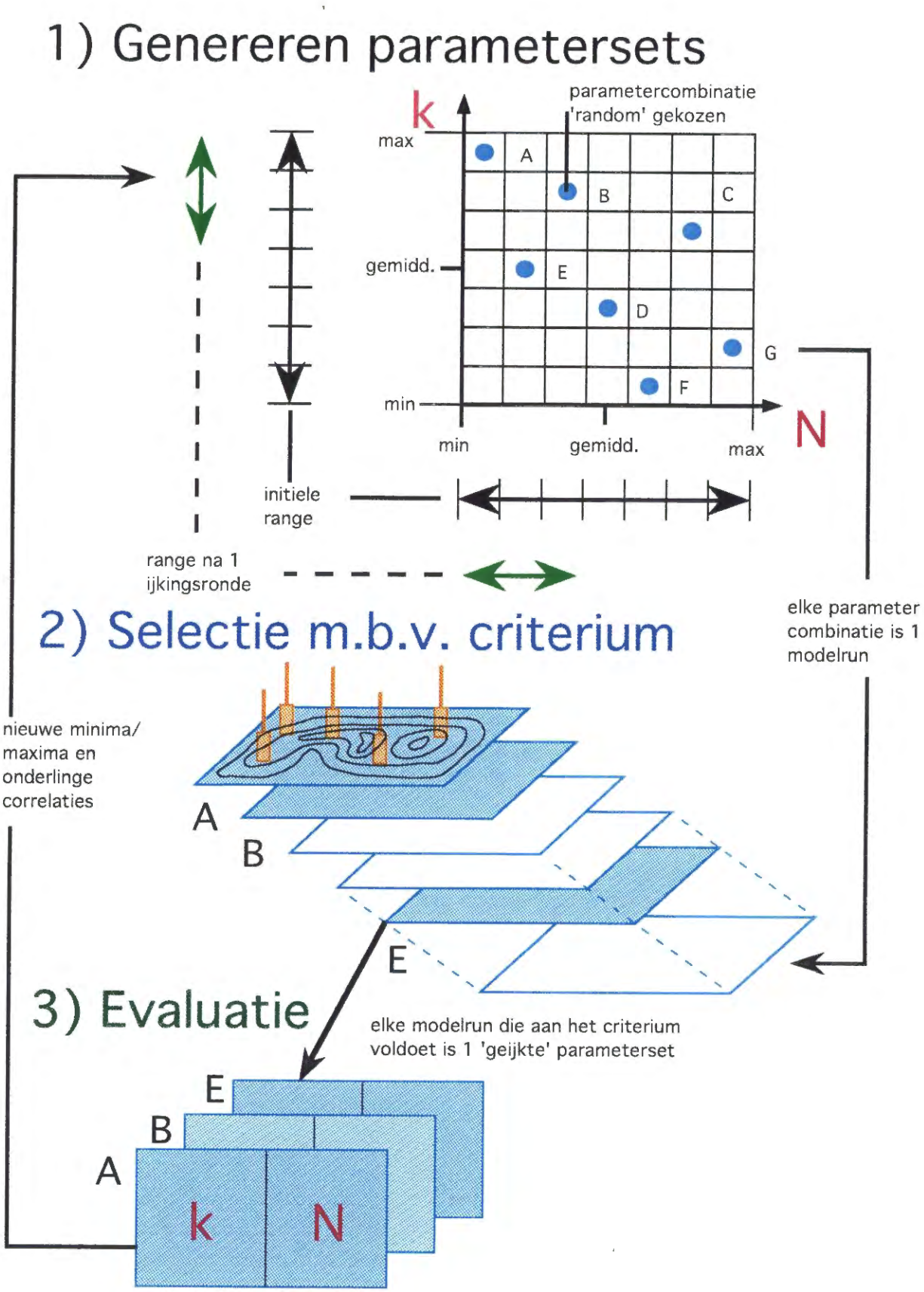
staand te veronderstellen,
- de resterende, niet goed bekende parameters te groeperen en zonodig in te delen in bepaalde zones, waaraan op basis van kennis en ervaring een range (gekarakteriseerd door een minimale waarde en maximale waarde) wordt toegekend,
- het elimineren van niet goed bekende parameters die geen of weinig invloed hebben op het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten (zie paragraaf 3.2.3).

2 - zo mogelijk inperking van de ranges van de niet bekende parameters door uit de Monte Carlo simulatie de parametersets te selecteren die voldoen aan een nader vast te stellen calibratie criterium. Uitgangspunt hierbij is dat vanwege het identificatieprobleem meerdere parametersets geaccepteerd kunnen worden (figuur 8 en paragraaf 3.2.4).

3 - analyse van de gekozen parametersets om inzicht te krijgen in de ruimtelijke variabiliteit in de onnauwkeurigheid van de modelberekeningen en de onderliggende factoren (paragraaf 3.2.5).

3.2.2 Reductie van onbekenden

Ter reductie van het aantal te calibreren parameters wordt ten eerste meer expliciet onderscheid gemaakt tussen zogenoemde 'harde' en 'zachte' parameters. De harde parameters worden als goed bekend en daardoor min of meer als vaststaand beschouwd. Zachte parameters kenmerken zich door de onzekerheid die eraan verbonden is. Doordat de waarde van de parameters niet goed is vast te stellen, wordt er, zoals in de voorgaande paragraaf reeds aangestipt, een zekere bandbreedte aan toegekend. Harde parameters beschrijven veelal geometrische deelruimten; de zachte parameters hebben doorgaans betrekking op de eigenschappen van die deelruimten. Onder geometrische deelruimten wordt de geohydrologische schematisatie (vorm en ligging van kleilagen, watervoerende pakket e.d.), lokatie en debiet van grondwateronttrekkingsputten en de ligging van de waterlopen verstaan. Zachte parameters zijn bijvoorbeeld de k- c.q. c-waarden, de grondwateraanvulling (in eerste instantie), peilen in de waterlopen en de conductiviteit van de waterlopen (waarin verwerkt de intreeweerstand en het natte contact oppervlak van de waterlopen). Indien er voor bepaalde deelgeometrieën redenen zijn om aan te nemen dat de eraan gerelateerde zachte parameter daarbinnen tussen verschillende maxima en minima kan variëren, dan wordt de deelgeometrie verder opgedeeld in zones, waarbij aan elke zone wordt een aparte range wordt



Figuur 8: schematische weergave van een Monte Carlo cyclus.

toegekend.
De koppeling tussen de deelgeometrieën/zones en de geassocieerde parameter(range) komt in het model tot stand via zogenoemde pointers. Deze pointers kunnen gezien worden als labels die aangeven welk deel van de ruimte correspondeert met welke parameter(range).

De gevoeligheidsanalyse en de Monte Carlo techniek zijn op elkaar afgestemd en vertonen kwa bewerking een grote mate van overeenkomst. De gevoeligheidsanalyse en een Monte Carlo cyclus zijn beide gebaseerd op het feit dat uit de range van elke zachte parameter één waarde getrokken wordt (tezamen een parameterset vormend), waarmee een simulatie met het grondwatermodel wordt uitgevoerd. Dit proces wordt herhaald, telkens met een andere waarde uit de ranges van zachte parameters. De wijze waarop een set met parameterwaarden uit de verschillende ranges wordt samengesteld, bepaalt of er sprake is van een gevoeligheidsanalyse dan wel een Monte Carlo cyclus.

3.2.3 Gevoeligheidsanalyse

Bij een gevoeligheidsanalyse wordt de simulatie met de gemiddelde waarde uit elke zachte parameterrange als referentie simulatie gebruikt. Vervolgens wordt voor elke parameter een simulatie met de maximale waarde uit de range en een simulatie met de minimale waarde uit de range gedraaid. Per simulatie verandert er slechts één parameter; de overige parameters behouden hun gemiddelde waarde. Een gevoeligheidsanalyse omvat derhalve 2*Z+1 simulaties, waarbij Z gelijk is aan het aantal zachte parameters.
Bij de evaluatie van een gevoeligheidsanalyse wordt voor elke parameter een 'sterkte' berekend. Deze sterkte kan gezien worden als een gevoeligheidsmaat voor de parameters voor de modeluitkomsten. De sterkte van de parameters wordt als volgt bepaald:
Voor elke parameter p wordt berekend:

$$Delta(p) = (Sum_{cell..n}[(h_{min}-h_{ref})]+Sum_{cell..n}[(h_{max}-h_{ref})])/2,$$

waarbij:

h_{min} = berekende stijghoogte voor de simulatie met de minimale waarde voor de betreffende parameter,

h_{max} = berekende stijghoogte voor de simulatie met de maximale waarde voor de betreffende parameter,

h_{ref} = berekende stijghoogte voor de referentie simulatie.

Vervolgens is:

Delta_tot = $Sum_{p=1..z}$\{Delta(p)\}, waarbij:
z = aantal zachte parameters.

Sterkte(p) = (Delta(p)/Delta_tot)*100

De sterkte wordt vervolgens genormeerd op de meest gevoeligste (sterkste) parameter, waarvoor de sterkte op 100 gesteld wordt.

Middels de sterkte wordt een indruk verkregen van de totale relatieve gevoeligheid van elke parameter. De gevoeligheidsanalyse genereert daarnaast in totaal (2*Z+1)*L patronen die weergeven hoe deze totale gevoeligheid over het modeldomein is verdeeld, waarbij L gelijk is aan het aantal modellagen. Binnen ARC/INFO is een procedure ontworpen om deze patronen zowel op het scherm als via een plotter te visualiseren (zie bijvoorbeeld figuur 17 en 18). Aan de hand van deze figuren kan gezien worden op welke wijze het aanbrengen van een verandering in de waarde van een parameter ruimtelijk uitwerkt.

In de bovenstaande rekenwijze worden de verschillen in berekende stijghoogten bij het aanbrengen van een verandering in de waarde van een parameter geëvalueerd voor elke cel. De sterkte die hiermee berekend wordt, kan beschouwd worden als een theoretische sterkte, die geldt voor het gehele modelvolume. Naast deze theoretische sterkte wordt ook een sterkte, gerelateerd aan het (calibratie)meetnet berekend. Dit geschiedt door de hierboven gepresenteerde berekening uit te voeren voor de lokatie van elke waarnemingsput en voor de cel waarin elke waarnemingsfilter zich bevindt. Bij een oneindig dicht waarnemingsnet zal de theoretische sterkte van elke parameter gelijk zijn aan de sterkte gerelateerd aan het (calibratie)meetnet. Parameters met een zeer lage sterkte op het (calibratie)meetnet zijn in principe niet of nauwelijks te calibreren en kunnen voor verdere bewerking geëlimineerd worden. De waarde van deze parameters hebben geen of een verwaarloosbare invloed op het calibratie criterium. Dit houdt in dat de initieel vastgesteld range gehandhaafd blijft.

Voor wat het gevisualiseerde gedeelte betreft, is de gevoeligheidsanalyse zowel operationeel ten aanzien van berekende stijghoogten als ten aanzien berekende fluxen. Uiteraard kunnen de gevoeligheden ten

aanzien van stijghoogte en fluxen van elkaar verschillen. Calibratie op fluxen heeft echter alleen zin indien voldoende afvoer- en/of wegzijgings/kwel-gegevens op de schaal van het model beschikbaar zijn (hetzelfde geldt natuurlijk ook ten aanzien van de stijghoogte).

3.2.4 Inperken van ranges m.b.v. de Monte Carlo techniek

Bij een Monte Carlo simulatie vindt de samenstelling van parametersets, in tegenstelling tot de gevoeligheidsanalyse, juist op een zo willekeurig mogelijke manier plaats. De willekeurige samenstelling van de parametersets geschiedt met de Latin Hypercube methode (Stein, 1987). Deze methode representeert met een kleiner aantal trekkingen de vrije parameterruimte waaruit getrokken moet worden beter dan andere gangbare methoden, zoals multivariate sampling. Met elke getrokken parameterset wordt een modelsimulatie uitgevoerd.

Bij de evaluatie van een Monte Carlo cyclus worden voor elke parameter twee verzamelingen onderscheiden, te weten (figuur 9):
- de verzameling van oorspronkelijk getrokken waarden,
- de deelverzameling van waarden van simulaties met het kleinste calibratie criterium (= het gemiddelde absolute verschil tussen berekende waarden en gemeten waarden).

Wat betreft het kleinste calibratie criterium kan men bijvoorbeeld kiezen voor de 10% simulaties met het kleinste calibratie criterium (10% beste simulaties) of de simulaties waarvan het calibratie criterium kleiner is dan een bepaalde waarde.

De deelverzameling van geselecteerde waarden wordt vergeleken met de verzameling van oorspronkelijke waarden. Hierbij kunnen zich drie type situaties voordoen:
- de deelverzameling vertoont een piek ten opzichte van de oorspronkelijke verzameling (figuur 9a): in dit geval kan de range ingeperkt worden. Waarden buiten de piek geven blijkbaar minder vaak een oplossing met een laag calibratie criterium,
- de deelverzameling vertoont geen of nauwelijks differentiatie ten opzichte van de oorspronkelijke verzameling (figuur 9b): dit betekent dat, binnen de gestelde range, het model niet of nauwelijks gevoelig is voor de betreffende parameter. De waarde van de parameter beïnvloed het calibratie criterium niet. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij zwakke parameters,

```
klasseinterval   verdeling              verdeling
                 oorspronkelijke        selectie
                 trekking               beste runs

        5 -  7   ***************
        7 -  9   ***************        *
        9 - 11   ***************        ***
       11 - 13   ***************        ***
       13 - 15   ***************        ******
       15 - 17   ***************        ************
       17 - 19   ***************        **************
       19 - 21   ***************        *******
       21 - 23   ***************        **
       23 - 25   ***************        *
```

a: range met duidelijke differentiatie

```
klasseinterval   verdeling              verdeling
                 oorspronkelijke        selectie
                 trekking               beste runs

        5 -  7   ***************        *****
        7 -  9   ***************        *******
        9 - 11   ***************        ***
       11 - 13   ***************        ******
       13 - 15   ***************        ****
       15 - 17   ***************        *****
       17 - 19   ***************        ****
       19 - 21   ***************        *****
       21 - 23   ***************        ****
       23 - 25   ***************        ******
```

b: range zonder differentiatie

```
klasseinterval   verdeling              verdeling
                 oorspronkelijke        selectie
                 trekking               beste runs

        5 -  7   ***************
        7 -  9   ***************
        9 - 11   ***************        *
       11 - 13   ***************        **
       13 - 15   ***************        **
       15 - 17   ***************        ***
       17 - 19   ***************        ****
       19 - 21   ***************        *******
       21 - 23   ***************        *************
       23 - 25   ***************        *****************
```

c: waarde loopt uit de range

Figuur 9: typering van range differentiaties.

- de deelverzameling 'loopt uit de range' (figuur 9c): de geselecteerde waarden bevinden zich aan de kant van de hoge dan wel de lage waarden van de range. Dit betekent dat de range verkeerd gekozen is en bijgesteld moet worden.

De procedure trekken, het uitvoeren van een modelsimulatie met elke getrokken parameterset en de evaluatie van range differentiaties wordt een Monte Carlo cyclus genoemd. Bij de onderhavige modelstudie bestond een cyclus doorgaans uit 1000 modelsimulaties.

3.2.5 Analyse van geselecteerde parameterranges

De diverse Monte Carlo cycli resulteren in de acceptatie van meerdere parametersets, die aan een bepaalde eis ten aan zien van het calibratie criterium voldoen. Deze parametersets geven alle een goede oplossing voor de toestand van het grondwater bij de gegeven condities. Door voor elke cel de verschillende berekende stijghoogten te middelen en de standaarddeviatie ervan te berekenen, wordt een indruk van de onzekerheid (als gevolg van de onzekerheid in modelparameters) in de berekende stijghoogten verkregen.

Aan de hand van een rekenkundige vergelijking tussen de deel- en de oorspronkelijke verzameling is het tevens mogelijk inzicht te krijgen in de mate waarin bepaalde parameters van het model aan elkaar zijn gecorreleerd.

3.2.6 Evaluatie

Met de implementatie van de systematische gevoeligheidsanalyse en de Monte Carlo techniek is een belangrijke stap voorwaarts in de mode calibratie gezet. Indien meerdere parametersets worden geaccepteerd, kan de keuze voor één bepaalde parameterset achterwege blijven. Het werken met meerdere parametersets kost echter met name bij niet-stationaire berekeningen aanzienlijk meer rekentijd en bovendien ontstaat dan de vraag op welke wijze met de onzekerheid in de modeluitkomsten in de praktijk moet worden omgegaan. Wordt naar één parameterset toegewerkt, dan heeft de werkwijze in ieder geval het voordeel dat het een geleid keuzeproces wordt en gaandeweg een inzicht ontstaat omtrent de meer en minder relevante parameters. Hierbij moet de modelbouwer overigens waken voor een zeker cynisme ten aanzien van de keuze van parameters, want de

keuzevrijheid blijkt binnen soms vrij brede ranges tamelijk groot te zijn. Wat dat betreft lost ook de Monte Carlo techniek het fundamentele gebrek aan gegevens niet op en blijft de model calibratie behept met een ruim aantal vrijheidsgraden.

Doordat de systematische gevoeligheidsanalyse en de Monte Carlo techniek zichtbaar maken welke parameters voor het model relevant zijn en waar deze binnen het modelgebied uitwerken, kan deze methode ook gebruikt worden om de verzameling van aanvullende gegevens te sturen en gerichte lokaties voor het plaatsen van nieuwe waarnemingsputten op te sporen.

Ten aanzien van het opdelen van de ondergrondse ruimte in deelruimten, waaraan verschillende ranges worden gekoppeld, bestaan zekere beperkingen. Indien te veel deelgebieden onderscheiden worden, wordt de invloed van elk deelgebied afzonderlijk dermate gering dat met betrekking tot de gevoeligheid van de verschillende parameters niet veel meer dan ruis overblijft. De ultieme opdeling bestaat uit een opdeling tot op het niveau van de individuele cellen, hetgeen het oorspronkelijke model zelf is. De mate van clustering bepaalt derhalve tevens het succes van de methode.
Daarnaast beïnvloedt de onderlinge bandbreedte de uitkomsten. Indien één van de ranges zeer ruim gekozen is, vermindert deze de relatieve gevoeligheid van de andere ranges en komt zelf automatisch de meest gevoelige parameter. Het afstemmen van de ranges kan dus tevens een proces van wikken en wegen inhouden.

Bij de systematische gevoeligheidsanalyse, zoals die bij het onderhavige onderzoek is uitgevoerd, worden de parameters onafhankelijk van elkaar gevarieerd. Bij dit simpele schema wordt geen rekening gehouden met het effect van eventuele correlaties tussen de parameters. Meer gecompliceerde wisselschema's, zoals bijvoorbeeld factorselectie, bestaan wel, maar zijn tot op heden nog niet geoperationaliseerd.

Een nadeel van de bij dit onderzoek gehanteerde werkwijze is dat weliswaar de parameters voor de verschillende deelruimten variëren, maar dat de geometrie van de deelruimten zelf vastligt. Momenteel wordt eraan gewerkt om deze fixatie op te heffen door bijvoorbeeld op stochastische basis verbreidingspatronen van kleilagen te genereren (Weersink, 1993). Hierbij wordt dan, net als bij de parameterwaarden, voor elke simulatie een mogelijke oplossing voor de geometrie van de lagen gegenereerd.

Gezien de simpele herhaling van berekeningen, wat in zijn totaliteit veel rekentijd vergt, is de Monte Carlo techniek in feite een tamelijk 'botte' methode om greep te krijgen op de bandbreedte van de verschillende parameterranges. Meer geavanceerde methoden, waarbij dezelfde informatie met één, zij het wat meer intensieve berekening wordt verkregen zijn in ontwikkeling (te Stroet, 1992). Deze methoden bieden weliswaar een tegemoetkoming ten aanzien van een (aanzienlijke) reductie in de rekentijd, maar niet wat betreft de inperking van het keuzeproces van vrijheidsgraden.

3.3 Vertaling van hydrologische effecten naar effecten voor de diverse deelbelangen

3.3.1 Risicobepaling ten aanzien van de drinkwatervoorziening

De basis voor de risicobepaling van het opgepompte grondwater (in de onderhavige studie voor drinkwatergebruik) vormt een volumetrische classificatie van het onttrokken water naar herkomst en verblijftijd.
Wat betreft de herkomst wordt onderscheid gemaakt tussen oppervlaktewater dan wel neerslagwater enerzijds en de mate van risico voor emissie van verontreinigen naar het grondwater binnen het intrekgebied anderzijds.

De volumetrische classificatie van het onttrokken grondwater vindt als volgt plaats. Zoals inherent aan een eindige differentie-model bevindt een onttrekking zich in één of meerdere cellen, met zes zijvlakken. Vanaf elk zijvlak van de cel wordt een groot aantal stroomlijnen door middel van backtracing naar het maaiveld vervolgd en de reistijd langs de stroombaan bepaald. De stroomlijnverdeling over de zijvlakken is regelmatig, dat wil zeggen dat elke stroomlijn een evenredig deel van het zijvlak representeert. Vervolgens wordt het volume dat door elk zijvlak gaat uit de uitvoer van MODFLOW gelezen. Aan elke stroomlijn wordt op deze wijze een representatief volume toegekend, dat gelijk is aan het volume dat door het betreffende zijvlak stroomt gedeeld door het aantal stroomlijnen dat vanaf dit zijvlak start. Indien de volumestroom over een zijvlak vanuit de cel naar buiten gericht is, worden de stroomlijnen die aan dit vlak gerelateerd zijn geëlimineerd. Het totaal uitstromende volume vanuit de cel waarbinnen de onttrekking plaatsvindt, wordt naar rato van de volumestroom door andere zijvlakken afgetrokken.

Binnen ARC/INFO wordt bepaald in welk risico-gebied de eindpunten van de stroombanen gesitueerd zijn. Daarnaast wordt bepaald welk deel van het aan elke stroomlijn geassocieerde volume afkomstig is uit geïnfiltreerd oppervlaktewater en welk gedeelte uit geïnfiltreerde neerslag (complementair). Dit vindt plaats door van de gridcel, waar de teruggetraceerde stroomlijn aan het maaiveld komt, het volume water dat afkomstig is van respectievelijk het oppervlaktewater en het neerslagwater uit de uitvoer van MODFLOW af te lezen. De neerslag die op het oppervlaktewater valt wordt naar rato van het volume neerslagwater afgetrokken. Dit laatste geschiedt door per cel de (totale) fractie open water te bepalen. Het logische gevolg hiervan is dat de bijdrage van neerslagwater in de cellen die volledig oppervlaktewater representeren (meren e.d.) gelijk is aan nul.

Aldus verkrijgt elke eindpunt van de teruggetraceerde stroomlijnen de volgende karakteristieken:
- het volume dat de stroomlijn bijdraagt aan de winning,
- het deel van dit volume dat afkomstig is uit oppervlaktewater dan wel uit de neerslag,
- in welke gebiedsklasse (met betrekking tot risico) de betreffende stroomlijn begint (of eindigt, indien de terugwaartse wijze van berekening in beschouwing wordt genomen),
- de reistijd vanaf het maaiveld tot aan de winningslokatie.

Door deze grootheden voor de verschillende stroomlijnen te sommeren, wordt tenslotte een tabel verkregen met per risicoklasse en per tijdsklasse de procentuele bijdrage aan de winning. Deze tabel is verder opgesplitst in het deel dat betrekking heeft op geïnfiltreerd oppervlaktewater en het deel dat betrekking heeft op geïnfiltreerde neerslag.

De hiervoor beschreven classificatie van het onttrokken grondwater is gebaseerd op stationaire berekeningen.

3.3.2 Bepaling verandering in produktiviteit van landbouwgewassen

De opbrengst/depressie berekeningen voor de produktie van landbouwgewassen zijn, zoals reeds eerder vermeld, uitgevoerd met het programma BODEP van de Landinrichtingsdienst. Bij deze berekeningen worden twee situaties onderscheiden, namelijk de uitgangssituatie en de plansituatie. Voor beide situaties wordt de opbrengstdepressie berekend ten opzichte van de omstandigheden met ideale vochtcondities. Er wordt zowel een

opbrengstdepressie berekend als gevolg van wateroverlast (voorjaar) als een opbrengstdepressie als gevolg van vochttekort (zomer).
Het verschil tussen deze grootheden levert de verandering in de opbrengst/depressie als gevolg van de ingreep die ten grondslag ligt aan het verschil in vochthuishouding tussen de uitgangssituatie en de plansituatie.

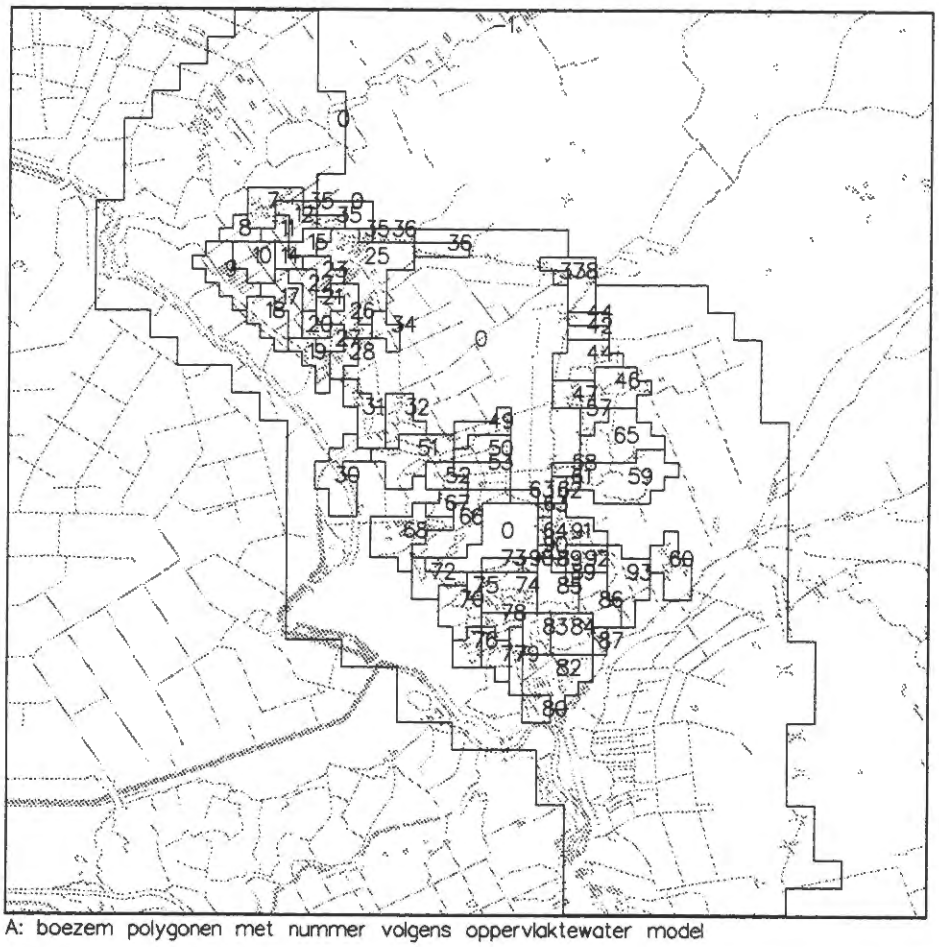
Voor zowel de uitgangssituatie als de plansituatie zijn de volgende gegevens benodigd:
- de gemiddelde hoogste grondwaterstand t.o.v. maaiveld (GHG),
- de gemiddelde laagste grondwaterstand t.o.v. maaiveld (GLG),
- bodemtype,
- landgebruik (gras, landbouw).

Met de berekeningen van het grondwatermodel is de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld in principe uit te rekenen. Wegens de celgrootte en de onnauwkeurigheden in het grondwatermodel heeft deze berekende grondwaterstand echter maar een zeer beperkte betekenis. Verschilberekeningen kennen echter een hogere mate van nauwkeurigheid. Daarom is er voor gekozen voor de uitgangssituatie de huidige grondwatertrappen te gebruiken, zoals die door de Provincie Overijssel recentelijk zijn vastgelegd. De GHG en GLG zijn uit de grondwatertrappen afgeleid, waarbij de volgende toekenning is aangehouden (pers.comm. Landinrichtingsdienst):

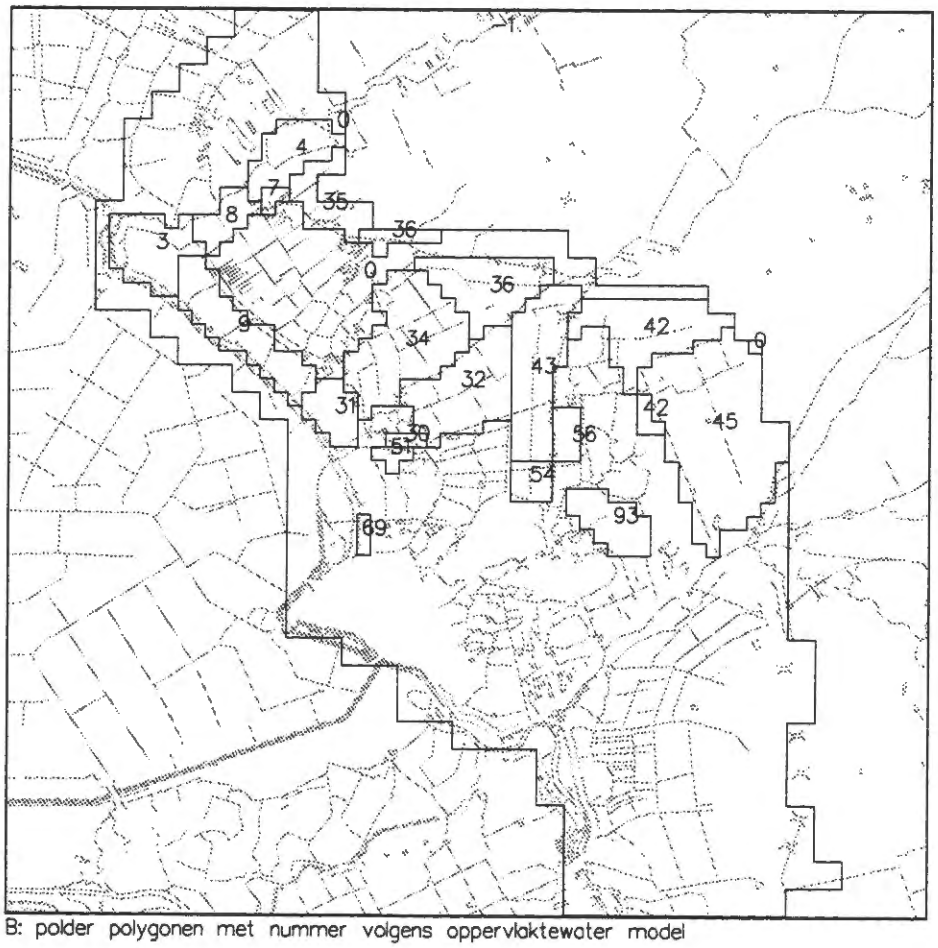
Gt	GHG	GLG	Gt	GHG	GLG	Gt	GHG	GLG
I	5	40	III*	35	115	VI	60	175
II	15	65	IV	50	110	VII	100	220
II*	30	75	V	30	140	VII*	115	230
III	20	105	V*	40	150	VIII	150	250

GHG en GLG in cm-mv.

Voor de effectbepaling is met het grondwatermodel zowel de uitgangssituatie als de plansituatie niet-stationair doorgerekend. De GHG voor de plansituatie wordt nu verkregen door het berekende verschil in stijghoogte in modellaag 1 tussen de uitgangssituatie en de plansituatie af te trekken van de GHG van de uitgangssituatie. Hiervoor wordt het tijdsmoment gebruikt waarop de hoogste grondwaterstand voor 1990 is



A: boezem polygonen met nummer volgens oppervlaktewater model



B: polder polygonen met nummer volgens oppervlaktewater model

Figuur 10: ligging van de polygonen voor het oppervlatewatermodel.

berekend (decade 7). De GLG voor de plansituatie wordt op analoge wijze verkregen, met dit verschil dat voor de bepaling de stijghoogteverschillen het tijdsmoment waarop min of meer de laagste grondwaterstanden voor 1990 zijn berekend (decade 27, zie ook paragraaf 6.1) wordt genomen.

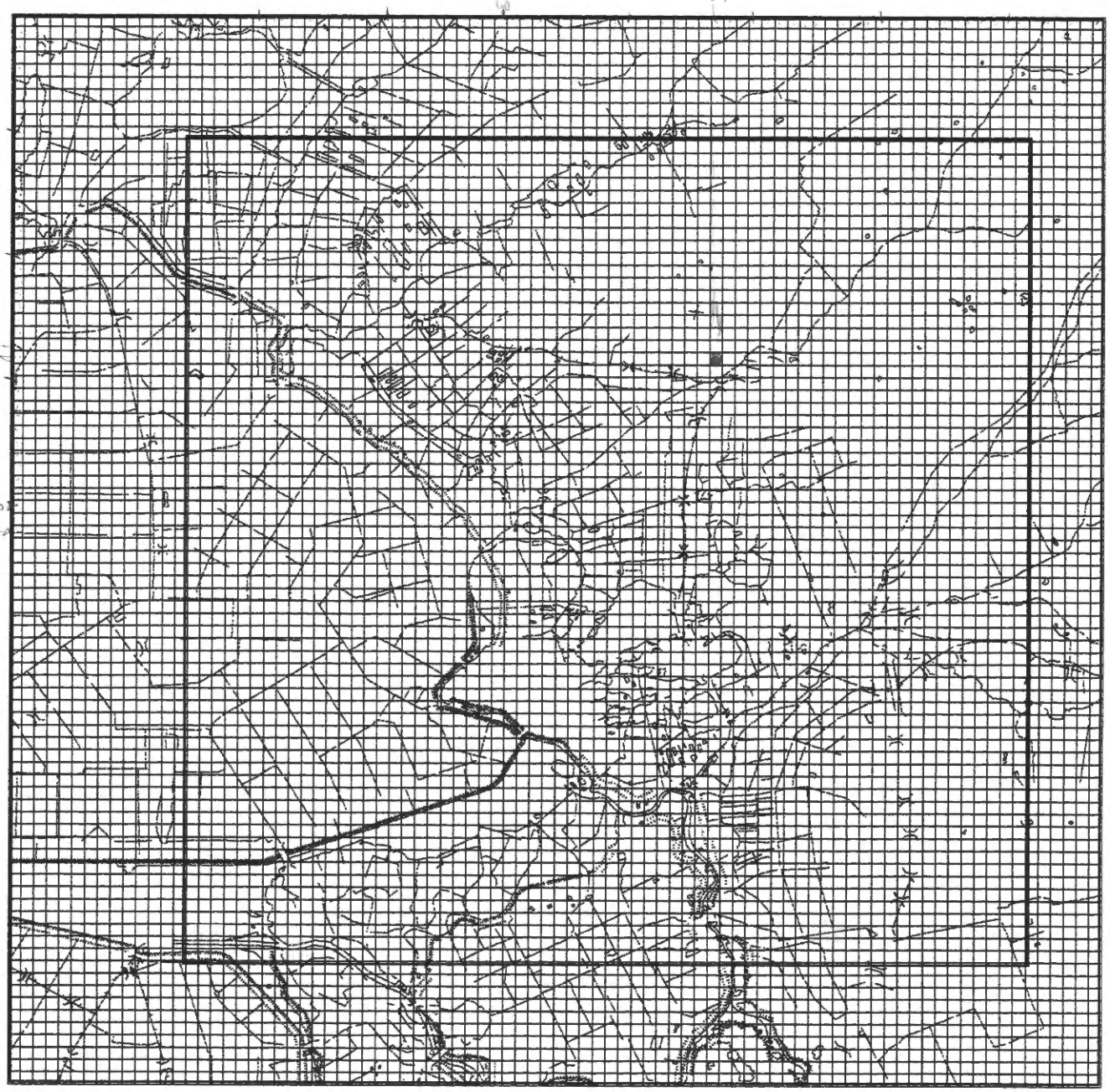
Het bodemtype is afgeleid van de (digitale) bodemkaart, schaal 1:50.000, van de Stiboka.

De berekeningen zijn slechts indicatief van aard en alleen uitgevoerd voor graslandsituaties (landgebruik 100% gras).

Bodemtypen, grondwatertrappen en de gridcellen van het grondwatermodel beschrijven alle verschillende gebieden. Voor de berekening van de opbrengst/depressies is een intersectie gemaakt van al deze gebieden, waardoor gebieden ontstaan met een bepaald bodemtype, een bepaalde grondwatertrap en een bepaalde berekende stijghoogteverandering. De totale opbrengst/depressie wordt verkregen door de opbrengst/depressie voor deze deelgebieden te sommeren.

3.4 Koppeling MODFLOW-ABOPOL

Het programma ABOPOL van het Waterloopkundig Laboratorium berekent de beweging van watermassa's binnen de Vollenhovense boezem. Dit model bevat een invoerterm voor water dat door de aanliggende polders op de boezem wordt uitgeslagen. De hoeveelheid water die door een polder wordt uitgeslagen is de som van het water dat door kwel wordt aangevoerd dan wel door wegzijging verdwijnt en de nuttige neerslag. Deze somterm is uit de MODFLOW berekeningen af te leiden. Dit is gedaan door de flowterm, die de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater beschrijft (en door de bouw van het model tevens de neerslagterm in zich herbergt), voor de verschillende polder- en boezemgebieden (beschreven door polygonen) te sommeren. De onderscheiden accumulatiegebieden zijn weergegeven in figuur 10. Deze somtermen zijn via een ASCII file naar het model ABOPOL doorgesluisd.



binnenkader: gebied waarvoor de modelresultaten gepresenteerd zijn

5 km

Figuur 11: discretisatie van het onderzoekgebied.

4. MODELSCHEMATISATIE EN MODELSAMENSTELLING

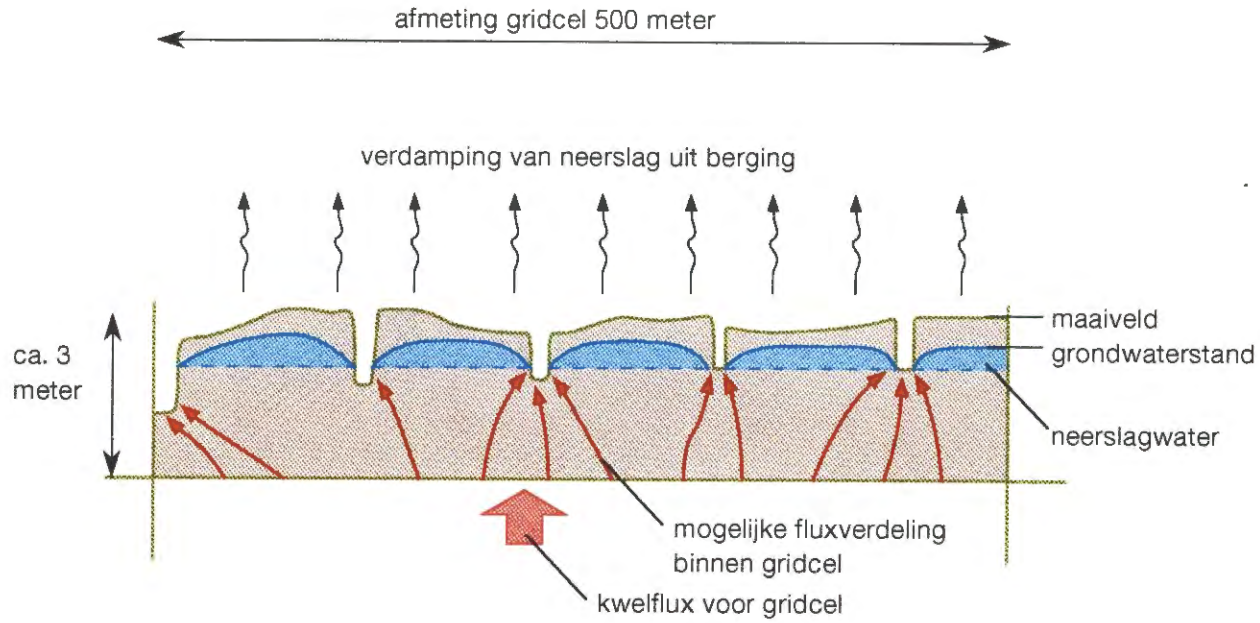
4.1 Omvang van het modelgebied en randvoorwaarden

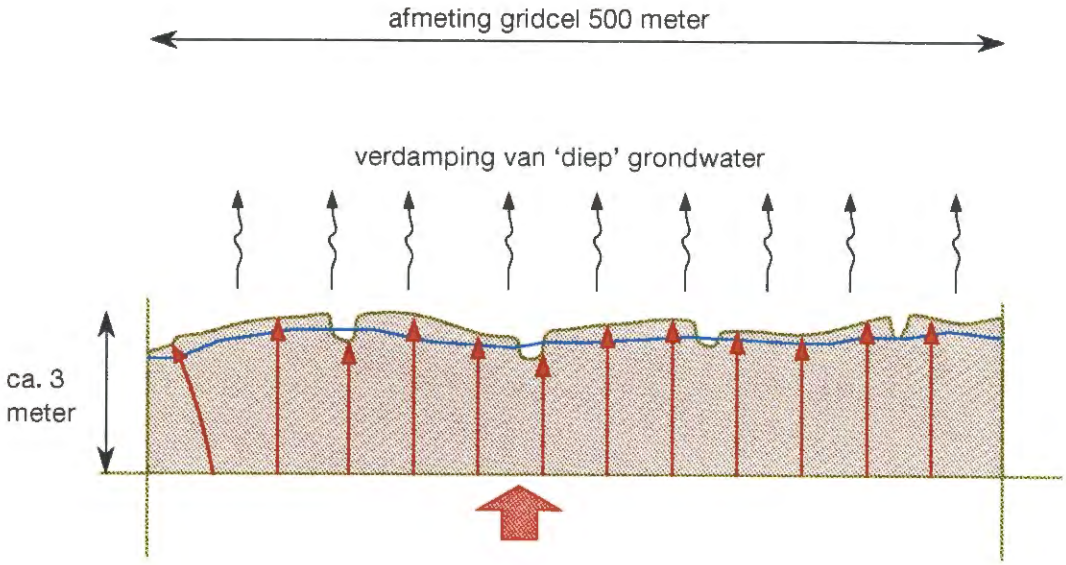
Met het model moeten zowel stationaire als niet-stationaire berekeningen worden uitgevoerd. Aangezien het bewerkelijk is om bij niet-stationaire berekeningen de randvoorwaarden voor de verschillende rekenperioden telkens opnieuw vast te stellen, is het modelgebied dusdanig groot gekozen dat de invloed van de vaste randvoorwaarden binnen het gebied van interesse verwaarloosbaar geacht kan worden. De hoekpunten van het modelgebied hebben de coördinaten (X, Y, in km volgens Rijksdriehoeksmeting): 175,548 (linker bovenhoek), 218,548 (rechte bovenhoek), 175,505 (linker onderhoek) en 218,505 (rechter onderhoek) (figuur 1). De omvang van het modelgebied bedraagt derhalve 43 x 43 = 1.849 km^2.
Bij de figuren die betrekking hebben op het gehele modelgebied zijn overigens consequent de cellen op de modelrand buiten beschouwing gelaten. De omvang van het werkelijk beschouwde modelgebied bedraagt derhalve 42.5 x 42.5 = 1.806 km^2.

De randvoorwaarden zijn afgeleid van een isohypsenkaart, gebaseerd op gegevens uit het On Line Grondwater Archief (OLGA) van IGG-TNO (zie ook paragraaf 5.1). De randvoorwaarden zijn voor alle modellagen gelijk genomen.

4.2 Gebiedsdiscretisatie en geohydrologische schematisatie

Het model heeft lateraal een constante resolutie van 500 x 500 meter (figuur 11). Deze resolutie is, zeker ten aanzien van ecologische effectbepaling, tamelijk grofmazig. Het model heeft daardoor een regionaal tot sub-regionaal karakter. Verschijnselen die een oppervlak beslaan dat kleiner is dan de celgrootte kunnen met dit model niet zichtbaar gemaakt worden (zie bijvoorbeeld figuur 12).
De geohydrologische opbouw is geschematiseerd tot 5 modellagen, gescheiden door 4 slecht doorlatende niveaus (figuur 3). Aldus omvat het model 86 x 86 x 5 = 36.980 roostercellen. De niveaus zijn gedefinieerd door de volgende slecht doorlatende lagen:
- niveau 1: klei en veen van de Westland Formatie,
- niveau 2: klei en beekleem van de Formatie van Twente en keileem van de Formatie van Drente,





Figuur 12: schaalproblematiek met betrekking tot de omvang van de model-gridcellen.

- niveau 3: klei van de Eem Formatie en klei in de bovenkant van de Formatie van Urk,
- niveau 4: klei in de onderkant van de Formatie van Urk.

Deze indeling is onder meer mogelijk doordat de klei/beekleem uit de Formatie van Twente en de keileem van de Formatie van Drente elkaar nauwelijks overlappen en bovendien op vergelijkbare diepte voorkomen. Hetzelfde geldt voor de klei van de Eem Formatie en de klei in de bovenkant van de Formatie van Urk.
Het onderscheiden van niveau 4 lijkt enigszins overdreven, gezien de beperkte en onzekere verbreiding van kleien in de onderkant van de Formatie van Urk. Dit niveau is om model technische redenen aangebracht omdat dit een onderverdeling geeft van het diepe watervoerend pakket, hetgeen van gunstige invloed is op de kwaliteit van de stroombaanberekeningen ten behoeve van de hydrologische systeemanalyse (paragraaf 6.1 en 6.6) en de identificatie van intrekgebieden van pompstations (paragraaf 6.8).

4.3 Permeabiliteitsveld

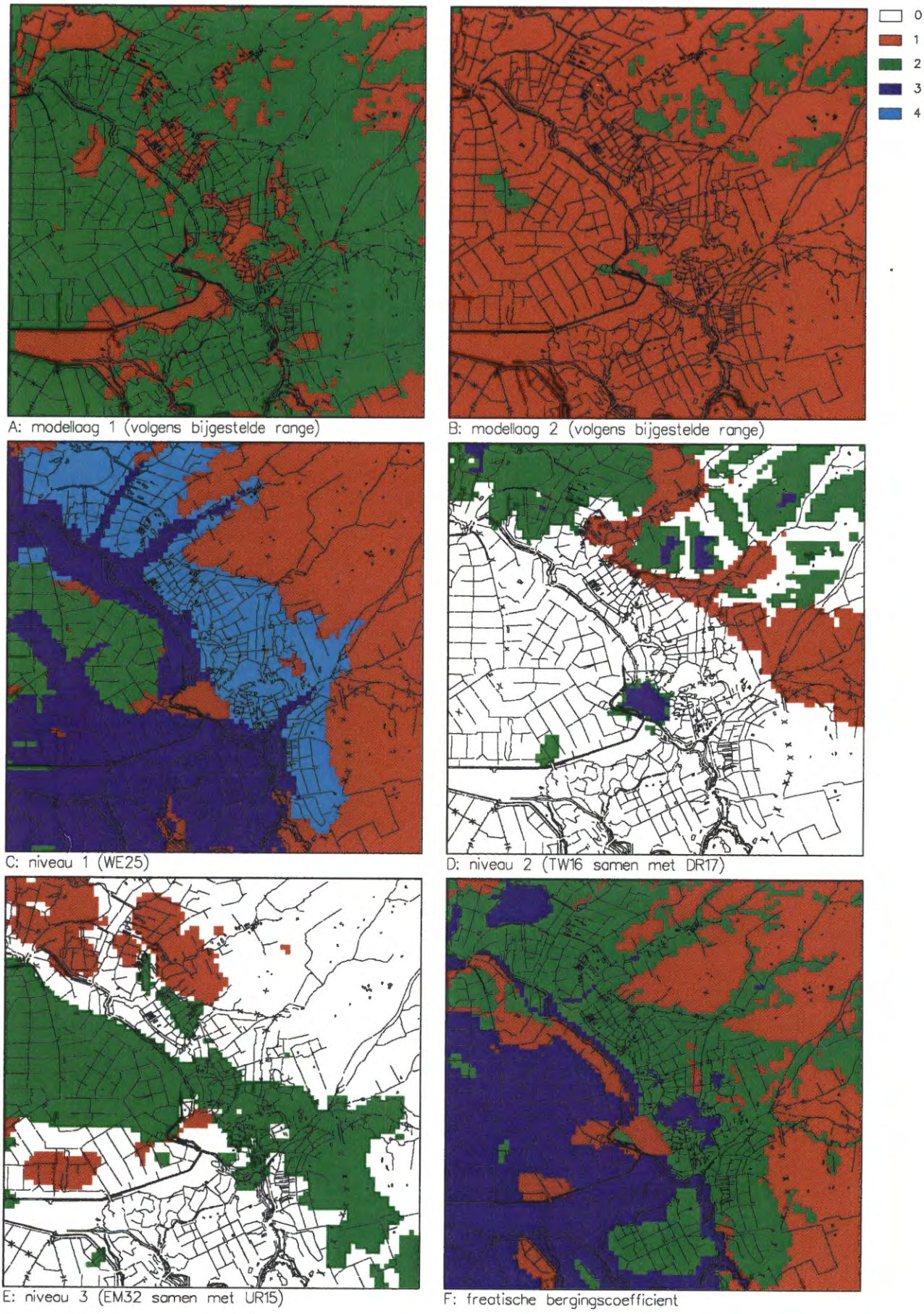
4.3.1 Modelconcept

Door aan elke cel een waarde voor de doorlatendheid toe te kennen ontstaat het zogenaamde kwasie drie-dimensionale doorlatendheidsmodel (permeabiliteitsveld). Bij de modelsamenstelling zijn de geometrie van de lagen en de geohydrologische constanten als verticale en horizontale doorlatendheid apart onderscheiden. De doorlatendheid van de lagen c.q. de weerstand tegen verticale stroming wordt dan verkregen door:

Transmissiviteit = $k_h * D$,
c-waarde = D / k_v of $c_s * D$, waarin:
k_h = doorlatendheid voor horizontale stroming (m/d),
k_v = doorlatendheid voor verticale stroming (m/d),
c_s = specifieke weerstand (d/m),
D = dikte van de laag (m).

4.3.2 Basisgegevens en implementatie

De dikte van de lagen is afgeleid van de gegevens uit REGIS (1993). Modellaag 1 heeft slechts een zeer geringe dikte en representeert min of meer de doorlatendheid van de 'bouwvoor'.



Figuur 13: pointersettings voor de k-waarden, c-waarden en bergingscoëfficiënt.

4.3.3 Classificatie van parameters

Voor een aantal modellagen c.q. niveaus werd het zinvol geacht een onderverdeling aan te brengen met betrekking tot de k- c.q. c-waarden. Aan deze deelgebieden kunnen bij de gevoeligheidsanalyse en de Monte Carlo calibratie aparte ranges worden toegekend. De volgende pointers (klassen) zijn onderscheiden (figuur 13):

Modellaag 1 (toplaag): in eerste instantie is de k-waarde van deze laag is gerelateerd aan de bodemsamenstelling (vergelijk figuur 13f):
1 = overwegend zandgronden,
2 = overwegend veengronden,
3 = overwegend kleigronden.
De bovengenoemde onderverdeling is afgeleid van de bodemkaart van de Stiboka, schaal 1 : 250.000.

Modellagen 2 en 3: in eerste instantie is er voor deze lagen geen onderscheid in k-waarden gemaakt.

Tijdens de calibratie zijn de pointersettings voor modellaag 1 aangepast en is voor modellaag 2 een pointersetting ingevoerd. Voor beide modellagen is in de loop van de calibratie een onderscheid tussen 'natte' en 'droge' cellen ingevoerd. De achtergrond hiervan is beschreven in paragraaf 5.2.2; de resulterende pointersettings voor modellaag 1 en 2 zijn (alvast) weergegeven in respectievelijk figuur 13a en 13b.

Modellagen 4 en 5: voor deze lagen is met betrekking tot de k-waarde geen ruimtelijk onderscheid gemaakt. Aangenomen is verder dat de k-waarden voor modellaag 4 en 5 identiek zijn.

Voor de transmissiviteit van de modellagen is de pointerwaarde altijd groter dan 0 (nul). Voor de slecht doorlatende niveaus wordt ook een pointerwaarde van 0 onderscheiden. De waarde 0 wordt toegekend aan gebieden waar geen slecht doorlatende lagen binnen de niveaus (niveau 1 uitgezonderd) voorkomen. De c-waarde voor deze gebieden is vast op 1 dag gezet.

Slecht doorlatend niveau 1 (figuur 13c): de specifieke c-waarde van dit niveau is gerelateerd aan de opbouw van de Westland Formatie:
1 = 'topsysteem' (geen slecht doorlatende lagen van de Westland For-

matie aanwezig,
2 = overwegend kleien en zanden in de Westland Formatie,
3 = overwegend kleien, zanden en venen in de Westland Formatie,
4 = overwegend veen in de Westland Formatie.
De bovengenoemde onderverdeling is gebaseerd op de geologische kaart van de Rijks Geologische Dienst (RGD), schaal 1 : 600.000.
Daar waar er geen slecht doorlatende lagen binnen niveau 1 aanwezig, zijn is niet zonder meer een vaste, lage waarde voor de c-waarde aangenomen (zoals bij de andere niveaus wel het geval is). De c-waarde van het 'topsysteem' is afzonderlijk gevarieerd, nadat bij de modelstudie Wierden is gebleken dat de ondergrond in de verticaal om een zekere weerstand vraagt. De aard van deze weerstand is nog niet geheel begrepen, maar vermoedelijk betreft het een uiting van de anisotropie in de ondergrond. Naar een meer uitvoerige discussie hieromtrent wordt naar het hiervoor vermelde onderzoek verwezen.

Slecht doorlatend niveau 2 (figuur 13d): de specifieke weerstand van dit niveau is gerelateerd aan de formatie waarin de klei voorkomt:
0 = geen slecht doorlatende laag aanwezig,
1 = klei/beekleem van de Formatie van Twente,
2 = keileem in de Formatie van Drente.
Daar waar zowel Twente- als Drenteklei aanwezig is, is de pointerwaarde op 2 gezet.

Slecht doorlatend niveau 3 (figuur 13e): de specifieke weerstand van dit niveau is, evenals bij niveau 2, gerelateerd aan de formatie waarin de klei voorkomt:
0 = geen slecht doorlatende laag aanwezig,
1 = klei in de bovenkant van de Formatie van Urk,
2 = klei in de Eem Formatie.
Daar waar zowel Urk- als Eemklei aanwezig is, is de pointerwaarde op 2 gezet.

Slecht doorlatend niveau 4: dit niveau kent slechts 1 reële pointerwaarde:
0 = geen slecht doorlatende laag aanwezig,
1 = klei in de onderkant van de Formatie van Urk (zie verbreiding in figuur 6f).

4.4 Bergingscoëfficiënten

4.4.1 Modelconcept

De bergingscoëfficiënten van de verschillende watervoerende pakketten zijn alleen benodigd voor de niet-stationaire berekeningen. Als uitvloeisel van de keuze van de laagtypen (paragraaf 4.8), hoeft voor de eerste modellaag alleen een freatische bergingscoëfficiënt en voor de opvolgende modellagen alleen een bergingscoëfficiënt voor spanningswater ingevoerd te worden.

4.4.2 Basisgegevens en implementatie

Bij het modelonderzoek Wierden is gebleken dat de modeluitkomsten weinig gevoelig zijn voor de bergingscoëfficiënt van spanningswater. Aangenomen is dat dit ook voor het onderhavige model geldt. Voor de bergingscoëfficiënt is voor alle modellagen, uitgezonderd laag 1, een vaste waarde van 10^{-4} aangehouden.

De freatische bergingscoëfficiënt (voor modellaag 1) is ontleend aan gegevens uit de literatuur (met name Cultuurtechnisch Vademecum). Het gedrag van het freatische grondwater is slechts globaal in model te brengen, gezien de schaal van de gridcellen. De dynamiek in de grondwaterstand is voor een belangrijk deel gerelateerd aan lokale fenomenen. Een belangrijk verschijnsel is dat de freatische bergingscoëfficiënt afhankelijk is van de diepte van de grondwaterstand. MODFLOW biedt geen mogelijkheid deze terugkoppeling te incorporeren.

4.4.3 Classificatie van bergingscoëfficiënten

De freatische bergingscoëfficiënt is gerelateerd aan het bodemtype. Hierbij is het volgende onderscheid gemaakt (figuur 13f):

1 = overwegend zandgronden,
2 = overwegend veengronden,
3 = overwegend kleigronden.

4.5 Relatie grondwater-oppervlaktewater

4.5.1 Modelconcept

Het oppervlaktewaterstelsel bepaalt in een nat gebied als Noordwest Overijssel in belangrijke mate de potentiaal in het ondiepe grondwater en vormt daarmee een belangrijke randvoorwaarde voor de geometrie en extensie van grondwatersystemen. Algemeen vormt het oppervlaktewaterstelsel de drainagebasis van een gebied, terwijl de mate van uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater een belangrijke invloed heeft op het effect dat het onttrekken van grondwater op de omgeving heeft. De grote impact van het oppervlaktewater op het grondwater is er aanleiding toe geweest de nodige inspanning te verrichten voor het verzamelen van de benodigde gegevens met betrekking tot het oppervlaktewaterstelsel.

De relatie tussen het grondwater en het oppervlaktewaterstelsel wordt in MODFLOW vastgelegd door voor elke cel en daarbinnen voor elke waterloop een peil, een bodemhoogte en een conductiviteit te specificeren. Hierbij geldt dan de volgende relatie:

indien $h_1 > hbod$: $Q = cond * (h_p - h_1)$,
indien $h_1 \leq hbod$: $Q = cond * (h_p - hbod)$, waarbij:

Q = uitwisselingsdebiet tussen grond- en oppervlaktewater (m^3/d),
h_1 = stijghoogte in modellaag 1 (m.NAP),
h_p = peil in de betreffende waterloop (m.NAP),
hbod = bodemhoogte van de betreffende waterloop (m.NAP),
cond = conductiviteit van de betreffende waterloop binnen de cel (m^2/d), waarvoor geldt:

cond = l * w / c_en, waarbij:

l = lengte van de waterloop binnen de cel (m),
w = natte doorsnede (m),
c_en = intree/bodem weerstand van de waterloop (d).

Doorgaans heeft c_en een hogere waarde voor infiltrerende waterlopen (waterlopen waarvoor geldt dat $h_1 < hbod$). Merk op dat indien $h_p = hbod$ een waterloop wel kan draineren, maar niet kan infiltreren.

4.5.2 Basisgegevens en implementatie

Bij de verwerking van de gegevens met betrekking tot het oppervlaktewaterstelsel is getracht zo veel mogelijk de gegevens van individuele waterlopen te verkrijgen. Dit is doorgaans mogelijk voor de waterlopen die in beheer zijn bij Rijk, Provincie en Waterschappen. Deze waterlopen zijn binnen ARC/INFO gebracht in de vorm van lijnsegmenten en (minimaal) de volgende attributen:
- gemiddeld zomerpeil (m.NAP),
- gemiddeld winterpeil (m.NAP),
- gemiddelde bodemhoogte (m.NAP),
- gemiddelde natte omtrek (m),
- een indicator of het betreffende segment al of niet op (vast) peil gehouden kan worden door middel van wateraanvoer,
- intree/bodemweerstand (d) (meestal geen gegevens over bekend).

De lengten van de afzonderlijke waterlopen binnen de cellen worden binnen ARC/INFO automatisch verkregen na een intersectie van de waterlopenkaart met de gridcellenkaart.
Van lang niet alle waterlopen is een peil en/of bodemhoogte bekend. In dat geval worden peil en bodemhoogte gerelateerd aan de maaiveldhoogte door een bepaalde diepte voor de bodemhoogte ten opzichte van maaiveld en een bepaalde waterdiepte aan te nemen.
De maaiveldhoogte is voor elke cel afgeleid van een maaiveldhoogte kaart (paragraaf 2.1, figuur 5).
Infiltratie van water vanuit het oppervlaktewater naar het grondwater wordt alleen toegestaan indien de betreffende waterlopen van water kunnen worden voorzien. Is deze garantie niet aanwezig, dan wordt infiltratie vanuit de waterlopen onmogelijk gemaakt door de bodemhoogte gelijk te stellen aan het waterpeil (zie ook hierboven).

Van het meer gedetailleerde waterlopenstelsel, dat niet onder het beheer van openbaar lichaam valt, is het vrijwel ondoenlijk de benodigde gegevens te verkrijgen. Het detail ontwateringsstelsel is derhalve vastgelegd middels polygonen, waarbij de geometrie van het waterlopenstelsel is gelumpd tot een fractie open water binnen de polygoon. Deze polygonen hebben (minimaal) de volgende attributen:
- gemiddeld zomerpeil (m.NAP),
- gemiddeld winterpeil (m.NAP),
- fractie open water binnen de betreffende polygoon (= oppervlak aan open water binnen de polygoon gedeeld door het totale oppervlak van de

polygoon, meestal ruw te schatten aan de hand van kaarten) (dimensieloos),
- een indicator of het waterstelsel binnen de betreffende polygoon al of niet op (vast) peil gehouden kan worden door middel van wateraanvoer,
- intree/bodemweerstand (d) (meestal geen gegevens over bekend).

De bodemhoogte voor de waterlopen binnen de polygonen wordt doorgaans afgeleid uit het peil door een bepaalde waterdiepte aan te nemen.
De (totale) conductiviteit van waterlopen binnen de polygonen wordt binnen de cellen bepaald door:

$cond = ov_{pol} * fropp / c_en$, waarin:

ov_{pol} = oppervlak van de polygoon binnen de betreffende cel (m^2),
fropp = fractie oppervlaktewater binnen de polygoon (-).

Merk op dat meren en open water eveneens door middel van polygonen worden vastgelegd. Voor dergelijke polygonen geldt dat de fractie open water gelijk is aan 1.
Ten aanzien van de relatering van het waterpeil aan de maaiveldhoogte indien het peil niet bekend is, en ten aanzien van de mogelijkheid tot al of geen watertoevoer geldt bij polygonen hetzelfde als voor lijnsegmenten.

Het is (nog) niet mogelijk de relevante gegevens uit een uniforme bron te betrekken. Voor de inventarisatie van het waterlopenstelsel zijn derhalve verschillende instanties en diverse soorten kaarten geraadpleegd. Uiteraard heeft het accent van de gegevensverzameling gelegen op het gebied van interesse. Van de omringende gebieden, die de effecten van de vaste zijranden van het model moeten opvangen, is de gegevensbehoefte minder stringent.

De gegevens voor het Overijsselse deel van het modelgebied zijn geïnventariseerd door de Provincie Overijssel; voor het overige deel van het modelgebied is deze uitgevoerd door IGG-TNO. Hiaten en tegenstrijdigheden in de gegevens zijn, veelal in overleg met de Provincie, aangevuld en/of aangepast. De gegevens zijn voor een belangrijk deel afkomstig van de waterschappen. Bijzonderheden met betrekking tot de gegevensverzameling zijn in de navolgende per waterschap of deelgebied beschreven.

Waterschap Vollenhove:
De inventarisatie van gegevens binnen dit waterschap is uitgevoerd door de Provincie Overijssel, met uitzondering van de Buitenpolder achter Kuinre en de Blokzijler Buitenlanden. De gegevens omtrent deze polders zijn door IGG-TNO geïnventariseerd. Het oppervlaktewaterstelsel is zowel vastgelegd in de vorm van lijnsegmenten als in de vorm van polygonen.
De fractie open water van de polygonen is bepaald aan de hand van gegevens, afkomstig van het oppervlaktewatermodel ABOPOL van het bewuste gebied (Waterloopkundig Laboratorium, 1990). In dit model is voor elke polygoon het oppervlaktewater onderverdeeld in een aantal categorieën die betrekking hebben op meren, belangrijke waterlopen en dergelijke. Om dubbeltelling te voorkomen is het oppervlak open water dat beschreven is door lijnsegmenten en meren hiervan afgetrokken. Op een aantal plaatsen, onder andere de Weerribben, had dit tot gevolg dat er geen oppervlaktewater resteerde, hetgeen als zeer onwaarschijnlijk beschouwd moest worden. Voor deze gebieden is een fractie open water van 0,002 aangenomen.

Waterschap IJsseldelta:
Het oppervlaktewater van dit waterschap is voor het merendeel vastgelegd in de vorm van polygonen. Alleen de Buiten Reve, die een afwijkend peil heeft ten opzichte van het omliggende poldergebied, is als lijnsegment vastgelegd.

Waterschap Benoorden de Dedemsvaart:
Het oppervlaktewaterstelsel van dit waterschap is voor het overgrote deel vastgelegd in de vorm van lijnsegmenten. Alleen in het gebied van de Olde Maten en het staatsbos Staphorst zijn aanvullend enkele polygonen ingevoerd.

Waterschap de Noorder Vechtdijken:
Het oppervlaktewaterstelsel van dit waterschap is volledig in de vorm van lijnsegmenten vastgelegd.

Waterschap Bezuiden de Vecht:
Het oppervlaktewaterstelsel van dit waterschap is geheel in de vorm van polygonen vastgelegd. De begrenzing van peilbeheerste gebieden en peilgegevens zijn ontleend aan de Waterstaatskaart, kaartblad 21 Oost.

Waterschap Noordoostpolder:
De vaarten, de watervoerende tochten en de hoofdinfiltratie aanvoersloten (zie ook paragraaf 2.3) zijn als lijnsegmenten vastgelegd. Van de vaarten en de tochten zijn veelal het peil en de ontwerpafmetingen bekend.
Van de infiltratie aanvoersloten is wel het ontwerpprofiel bekend maar is, vanwege de grote peilvariaties gedurende het jaar, moeilijk een representatief peil vast te stellen. Het peil van deze waterlopen is derhalve gerelateerd aan de maaiveldhoogte, waarbij op basis van literatuurgegevens een zomerpeil van 0,70 m-mv is aangehouden (Natte structuurschets Waterschap Noordoostpolder, 1989). Voor de hoofdinfiltratie sloten die in de winter watervoerend zijn, is aangenomen dat de waterdiepte in de winter de helft is van die in de zomer; voor de hoofdinfiltratie sloten die in de winter droog staan is het winterpeil gelijk gesteld aan de bodemhoogte.
De perceelsloten en de drains zijn vastgelegd in de vorm van polygonen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de infiltratiegebieden, gebieden met een drooglegging van 1 meter en gebieden met een drooglegging van gemiddeld 1,40 meter. De begrenzing van deze gebieden is gebaseerd op literatuurgegevens (Natte structuurschets Waterschap Noordoostpolder, 1989). Voor de polygonen is het peil bepaald op basis van de draindiepte en het peil in de perceelsloten.

Hoogheemraadschap De Fleverwaard:
De vaarten en tochten van dit waterschap zijn vastgelegd in de vorm van lijnsegmenten. De ontwerpafmetingen zijn ontleend aan het Waterschap, de peilen zijn afgeleid van de Waterstaatskaart, schaal 1 : 50.000.
De ontwatering op perceelniveau is vastgelegd in de vorm van polygonen. Aangezien peilgegevens omtrent deze waterlopen door het Waterschap niet geleverd konden worden, zijn deze peilen ontleend aan de Waterstaatskaart.

Waterschap de Stellingwerven:
De gebieden met beheerst peil zijn vastgelegd in de vorm van polygonen. De polderpeilen zijn voor een deel vastgelegd in de legger. Voor de Polder Lemsterhop, Polder Oosterzee, De Kampen, Veenpolder van Echten en de Groote Veenpolder Weststellingwerf zijn de peilgegevens verstrekt door het waterschap, aangevuld met gegevens van de Landinrichtingsdienst. Binnen de voornoemde gebieden komen relatief hoog gelegen deelgebieden voor die tot een zeker peil mogen afwateren op de lagere

eenheden. Voor deze gebieden is dit minimum peil aangehouden.
De waterlopen van de legger zijn als lijnsegmenten vastgelegd. Het peil van deze waterlopen is maar voor een deel bekend; het peil van de overige waterlopen is aan de hand van de maaiveldshoogte ter plaatse bepaald. De natte omtrek van deze waterlopen is geschat op 4 meter voor waterlopen in de poldergebieden en op 2 meter voor de waterlopen gelegen in het vrij afwaterend gebied.

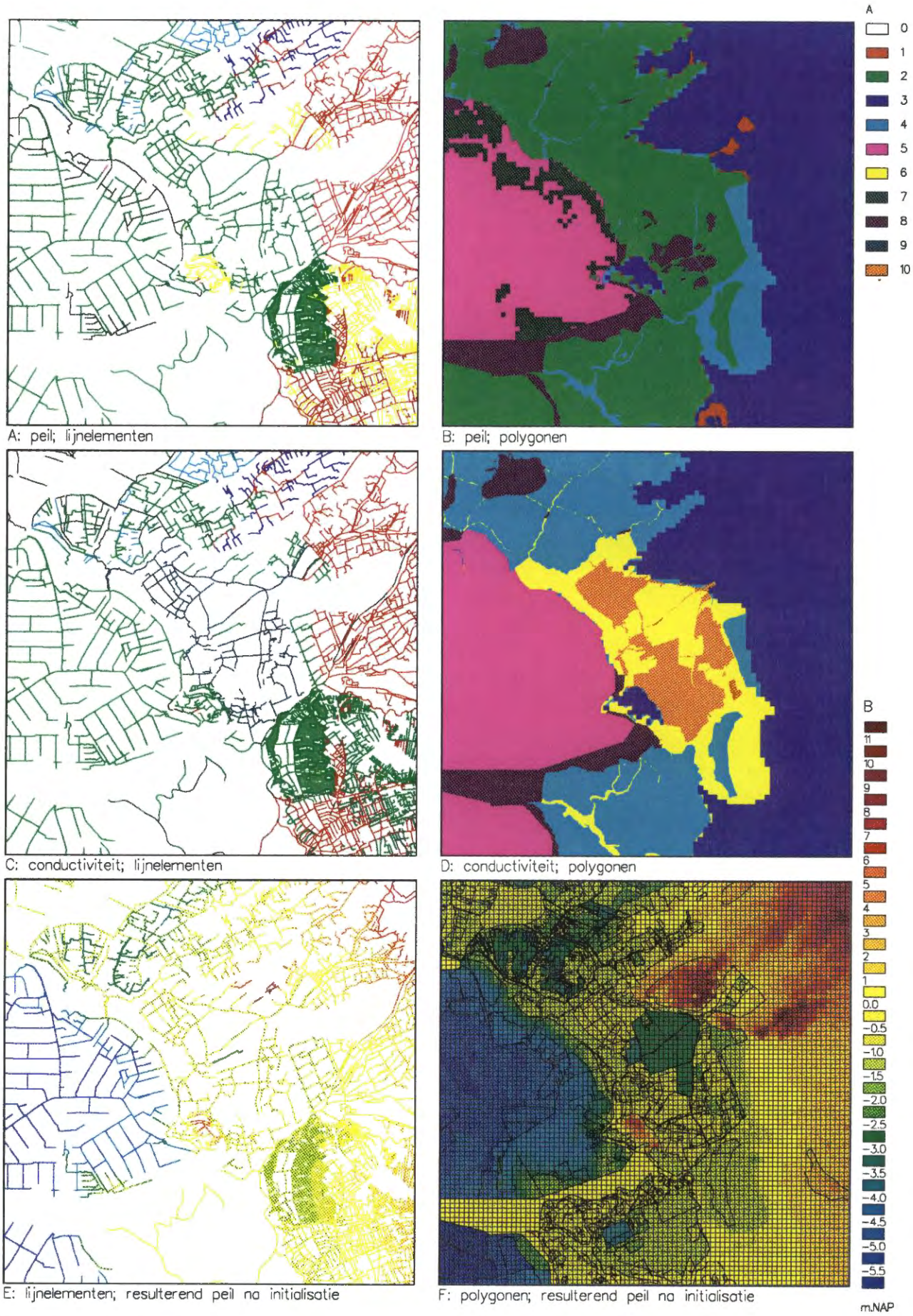
Friesland:
De polders van het resterende deel van Friesland binnen het modelgebied zijn vastgelegd in de vorm van polygonen. De gegevens hiervan zijn ontleend aan de Waterstaatskaart, schaal 1 : 50.000. De Friese boezem is vastgelegd in de vorm van lijnsegmenten en gebaseerd op een kaart van de Friese boezem, uitgegeven door de Provincie Friesland.

Drenthe:
De gegevens omtrent het oppervlaktewaterstelsel in deze provincie zijn afkomstig van de Provincie Drenthe. De waterlopen die in beheer zijn van de waterschappen zijn vastgelegd in de vorm van lijnsegmenten. De gegevens hiervoor zijn ontleend door de waterschapsenquête die door de Provincie Drenthe in het kader van het waterhuishoudingsplan is gehouden. Informatie omtrent de detailontwatering is ontleend aan een grondwatermodel van de Provincie (Werkboek Waterhuishoudingsplan, 1992). De fractie open water is uit dit model afgeleid.

De basiskaarten met de waterlopen en de polygonen, die het drainage stelsel met een hoge dichtheid beschrijven, worden verdiscretiseerd volgens het gridnet van het model. Tijdens dit proces worden zo nodig onbekende waarden geschat en ingevuld en worden, voor zover niet bekend, peilen van waterlopen op celniveau afgeleid van de maaiveldhoogte (initialisatie). De calibratie vormt een toets in hoeverre de initiële waarden redelijk zijn. Bij de berekening van de conductiviteit wordt voor de intreeweerstand van alle waterlopen een initiële waarde van 1 dag aangenomen.

4.5.3 Classificatie van het oppervlaktewaterstelsel

Ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse en Monte Carlo calibratie is het oppervlaktewaterstelsel geclassificeerd. Aan elke klasse kan een aparte range worden toegekend.



Legenda A voor de figuren A, B, C en D
Legenda B voor de figuren E en F

Figuur 14: pointersettings voor het oppervlaktewaterstelsel en resulterende peilen in de waterlopen na initialisatie van het oppervlaktewaterstelsel.

De classificatie is gebaseerd op de mate van onzekerheid die aan de verschillende categorieën waterlopen mogelijk kan worden toegekend, dan wel de mogelijkheid die gewenst is om gebieden afzonderlijk te laten variëren. De volgende classificatie is aangebracht (figuur 14):

Met betrekking tot het peil:
1 = peil bekend; hoge gronden,
2 = peil bekend; lage gronden,
3 = peil gerelateerd aan maaiveldhoogte; hoge gronden,
4 = peil gerelateerd aan maaiveldhoogte; lage gronden,
5 = peil gerelateerd aan maaiveld hoogte; Noordoostpolder,
6 = peil gerelateerd aan bodemhoogte,
7 = infiltratiegebieden Noordoostpolder,
8 = meren/open water.

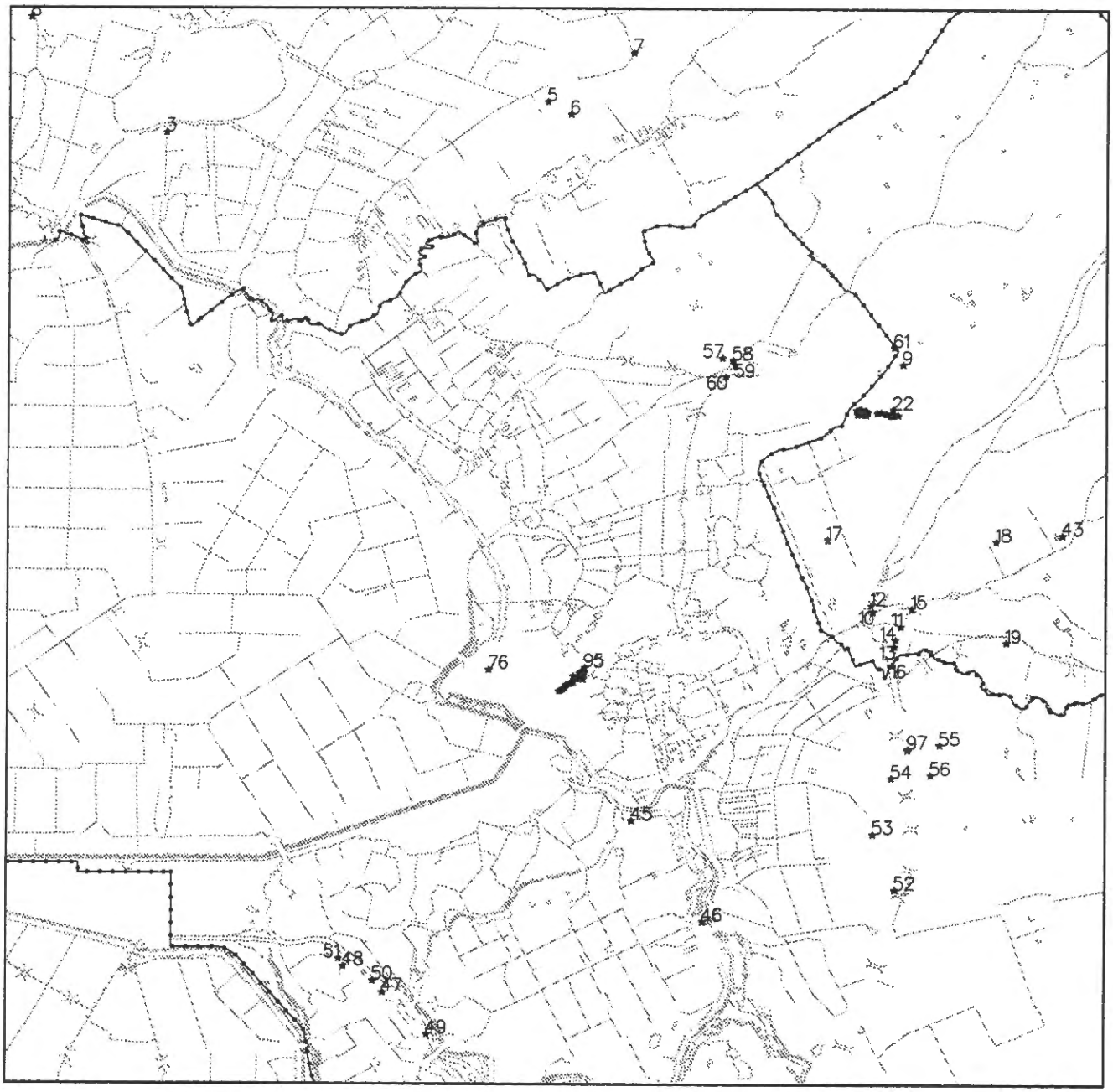
Met betrekking tot de conductiviteit:
1 = geometrie bekend; hoge gronden,
2 = geometrie bekend; lage gronden,
3 = geometrie onbekend; hoge gronden,
4 = geometrie onbekend; lage gronden,
5 = geometrie onbekend; Noordoostpolder,
6 = geometrie onbekend; Waterschap Vollenhove,
7 = infiltrerende kanalen en dergelijke,
8 = meren/open water,
9 = waterlopen in de boezem van het Waterschap Vollenhove (lijnsegmenten),
10 = waterlopen in de boezem van het Waterschap Vollenhove (polygonen).
Een waterloop is als infiltrerend gedefinieerd indien het peil minder dan 25 beneden het omringende maaiveld ligt.

Met betrekking tot de waterdiepte (en daarvan afgeleid de bodemhoogte):
1 = infiltrerende waterlopen,
2 = infiltratiegebieden Noordoostpolder,
3 = overige waterlopen.

4.6 Grondwaterwinningen

4.6.1 Modelconcept

Onttrekking dan wel injectie van grondwater wordt in het model geïncor-



provinciegrens

Figuur 15: lokatie van grondwateronttrekkingen (debieten: zie tabel 1).

poreerd door het onttrekkings- dan wel injectiedebiet aan één bepaalde cel toe te kennen of over meerdere cellen te verdelen (afhankelijk van de geometrie van de winlokatie en winmiddelen). Voor de cellen waarin een onttrekking/injectie plaatsvindt moet worden gespecificeerd: de celcoördinaat in de X-richting, de celcoördinaat in de Y-richting, de modellaag waarin/uit de onttrekking/injectie plaatsvindt en het onttrekkings/injectie debiet (m^3/d).

4.6.2 Basisgegevens en implementatie

Binnen het modelgebied wordt op diverse plaatsen grondwater onttrokken voor de drink- en industriewatervoorziening (figuur 15 en tabel 1). Daarnaast vinden op diverse lokatie tijdelijke onttrekking plaats ten behoeve van bemaling van bouwputten of sanering van bodems. Voor zover bekend komt injectie van grondwater binnen het modelgebied alleen voor in combinatie met grondwaterwinning. Daar waar injectie van grondwater plaatsvindt, is het injectie debiet dan ook verdisconteerd met het winningsdebiet.

Bij de Provincies zijn alle geregistreerde winningen ten behoeve van de industrie- en drinkwatervoorziening voor de periode 1980 tot 1990 geïnventariseerd. De tijdelijke onttrekkingen zijn in het model buiten beschouwing gelaten, evenals, wegens een gebrek aan adequate gegevens, de onttrekkingen ten behoeve van beregening. De gegevens omtrent de drinkwaterwinningen in het Overijsselse deel van het modelgebied zijn direct afkomstig van de WMO.

De ligging van de winningen zijn in ARC/INFO ingebracht in de vorm van puntlokaties, met (minimaal) de volgende attributen:
- onttrekkingsdebiet (m^3/j),
- aantal putten op de winlokatie,
- (gemiddelde) diepte van de filters (m-mv).

De winningen ten behoeve van de drinkwatervoorziening vindt doorgaans plaats vanuit meerdere putten, verspreid over een relatief groot oppervlak. Voor deze winningen zijn de lokaties van de afzonderlijke putten in de kaart opgenomen. Als benadering is hierbij het totale windebiet evenredig over de putten verdeeld.
Ten behoeve van de niet-stationaire berekeningen zijn van de grotere winningen (alle ten behoeve van de drinkwatervoorziening) tevens de maanddebieten opgevraagd en verwerkt.

Provincie Overijssel

Nummer in figuur 15	Naam en plaats onttrekker	debiet (10^6 m^3/jr)	
		1985-1989	1990
45	Rinos Siebert B.V., Genemuiden	.054	0.520
46	Vecolac Hasselt, Hasselt	0	0
47	Wika Abbatoir B.V., Kampen	.021	0
48	Vetsmelterij J. Waterlander B.V., Kampen	.193	0.215
49	Van Heel's Gecondenseerde Melkmij., Kampen	.082	0.006
50	Erica beton B.V., Kampen	.007	0.012
51	R.W.Z.I., Kampen	.109	0.114
52	Z.F. "De Vlijt", Rouveen	.053	0
53	C.Z. "Rouveen", Rouveen	.167	0.159
54	C.Z. "De Nijverheid", Staphorst	.063	0.053
55	C.Z."Ons Belang", Staphorst	.322	0.273
56	Bos Diepvries B.V., Staphorst	.015	0.016
57	Coop. Noord Nederland Bedr. Tuk, Steenwijk	1.014	0.981
58	Dijka Steenwijk B.V., Steenwijk	.168	0.008
59	B.V. Concrelit, Steenwijk	.003	0
60	R.W.Z.I., Steenwijk	.030	0.043
61	D.G.W.T., Steenwijk	.015	0.013
76	Coberco Zuivel, Vollenhove	.552	0.582
95	pompstation "St Jansklooster", St Jansklooster	5.100	5.500
97	pompstation "Staphorst", Staphorst	.580	0.650

Provincie Drenthe

Nummer in figuur 15	Naam en plaats onttrekker	debiet ($10m^6$ m^3/j)	
		1985-1989	1990
9	Johannus Post Kazerne, Steenwijkerwold	.100	.101
10	Vrieshuis Beijer B.V., Meppel	.124	.239
11	Gist Brocades, Meppel	.022	.013
12	T. Murris en Zn., Meppel	.104	.100
13	Cristian Salvesen B.V., Meppel	.348	.314
14	Coberco NCZ Kaas, Meppel	.079	.068
15	bronbemaling tunnel Tweeloo, Meppel	.059	1.900
16	bronbemaling tunnel Lankhorst, Meppel	.317	0
17	C.Z. "De Venen", Nijeveen	.189	.212
18	United Protein Works, Ruinerwold	.074	.111
19	werken aan Hoogeveense Vaart, De Wijk	.226	0
22	pompstation "Havelte/Havelterberg", Havelterberg	5.800	6.200
43	pompstation "Ruinerwold", Ruinerwold	1.170	1.160

Provincie Friesland

Nummer in figuur 15	Naam en plaats onttreker	debiet (10^6 m^3/j)	
		1985-1989	1990
3	C.Z. NOVAC, Oosterzee	.770	.789
5	Frico Koelhuis, Wolvega	.614	.514
6	C.Z. "De Takomst", Wolvega	1.180	.757
7	pompstation "Oldeholtpade", Oldeholtpade	5.950	6.350
8	pompstation "Spannenburg", Spannenburg	13.700	14.950

Tabel 1: debieten van onttrekkingen.

De celcoördinaten voor de winputten worden binnen ARC/INFO afgeleid door een identificatie van de puttenkaart met de kaart met gridcellen. De modellaag waaruit onttrokken wordt, is bepaald door de diepte van de filters te vergelijken met de diepteligging van de grensvlakken die de modellagen omspannen. Ook dit vindt automatisch plaats binnen ARC/INFO.

4.6.3 Classificatie van de grondwaterwinningen

Zowel de lokaties als de debieten van de winningen zijn als goed bekend beschouwd en behoeven derhalve niet geclassificeerd te worden.

4.7 Grondwateraanvulling

4.7.1 Modelconcept

De grondwateraanvulling vormt de resultante van de neerslag en de evapotranspiratie. Aangezien geen directe gegevens omtrent de grondwateraanvulling voorhanden zijn, is de grondwateraanvulling afgeleid uit neerslag- en verdampingsgegevens van het KNMI. Voor de niet-stationaire versie van het model komt hier in feite het gedrag van de onverzadigde zone nog bij.

MODFLOW biedt (nog) geen faciliteiten voor modellering van de onverzadigde zone. Om de belangrijkste kenmerken van gedrag van de onverzadigde zone enigszins te kunnen nabootsen, is een zeer vereenvoudigd modelletje van de onverzadigde zone toegevoegd. De onverzadigde zone wordt hierbij voorgesteld als een bakje waarin de nuttige neerslag valt dan wel van waaruit de verdamping plaatsvindt (negatieve nuttige neerslag). De nuttige neerslag wordt als volgt bepaald:

$R_{gem} = P_{gem}$ - gwfactor * E_o, waarbij:

R_{gem} = de nuttige neerslag die aan het bakje ten goede komt (indien positief), dan wel de verdamping die uit het bakje plaatsvindt (indien negatief) (m/d),
P_{gem} = de gemeten neerslag (m/d),
E_o = de potentiële gewasverdamping (m/d),
gwfactor = de gewasfactor, afhankelijk van de vegetatiesoort.

Het bakje wordt gekenmerkt door twee parameters, namelijk:

- de bergingscapaciteit van het bakje (m): deze vormt een maat voor de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone. Deze bergingscapaciteit geeft het model de mogelijkheid het neerslagoverschot, afhankelijk van de vochtigheidstoestand van de bodem, vertraagt door te geven aan de verzadigde zone. De mate van vertraging neemt toe bij een grotere bergingscapaciteit van het bakje.
- een 'stripwaarde' (m/d): dit is een waarde voor de maximale neerslag die op het bakje wordt toegelaten. Indien de neerslag groter is dan deze stripwaarde wordt de neerslaghoeveelheid gelijk gesteld aan de stripwaarde. De stripwaarde is afhankelijk van de maximale infiltratiecapaciteit van de bodem.

Bij een positief neerslagoverschot kunnen zich de volgende situaties voordoen:

1) het bakje is niet vol: in dit geval wordt het neerslagoverschot toegekend aan het bakje. Hierbij kunnen twee situaties voorkomen:
   1) het neerslagoverschot kan geheel geborgen worden in het bakje. In dit geval wordt de hoeveelheid neerslag opgeteld bij het in het bakje geborgen waterdiepte,
   2) het neerslagoverschot vult het bakje tot aan of over de bergingscapaciteit van het bakje. In dit geval wordt het overschot in het bakje doorgelaten. Dit overschot is gelijk aan de oorspronkelijke waterdiepte in het bakje + het neerslag overschot - de bergingscapaciteit van het bakje.
2) het bakje is vol: in dit geval wordt het neerslagoverschot geheel doorgelaten.

Bij een negatief neerslagoverschot (verdamping) doen zich vergelijkbare situatie als hiervoor beschreven voor:

1) het bakje is niet leeg: in dit geval wordt de verdamping onttrokken uit het bakje, waarbij zich twee situatie kunnen voordoen:
   1) de verdamping kan geheel uit het bakje worden geput. In dit geval wordt de hoeveelheid verdamping afgetrokken van de in het bakje geborgen waterdiepte,
   2) de verdamping put het bakje geheel leeg. In dit geval wordt het tekort aan water (in eerste instantie) uit de verzadigde zone onttrokken. Deze te onttrekken hoeveelheid is gelijk aan de oorspronkelijke waterdiepte van het bakje - de hoeveelheid verdamping.
2) het bakje is leeg: in dit geval wordt de verdamping (in eerste instantie) geheel aan de verzadigde zone onttrokken.

Het wateroverschot dat uit het bakje komt vormt direct de grondwateraanvulling voor de verzadigde zone. Bij verdamping, wanneer het watertekort in het bakje vanuit de verzadigde zone moet worden aangevuld, is de situatie gecompliceerder. In het model is namelijk gebruik gemaakt van de mogelijkheid die MODFLOW biedt ten aanzien van de terugkoppeling van de verdamping met de grondwaterstandsdiepte. Hierbij worden twee dieptes onderscheiden, te weten een 'surface level' (m.NAP) (surflev) en een extinctie diepte (m-surflev) (extd). De volgende relaties worden dan tijdens de berekeningen verwerkt:

Indien: $h_1 \geq$ surflev, dan: $V_{model} = V_{bakje}$,

Indien: surflev > h_1 > extd,
dan: $V_{model} = (h_1 - \text{surflev} + \text{extd}) / \text{extd} * V_{bakje}$,

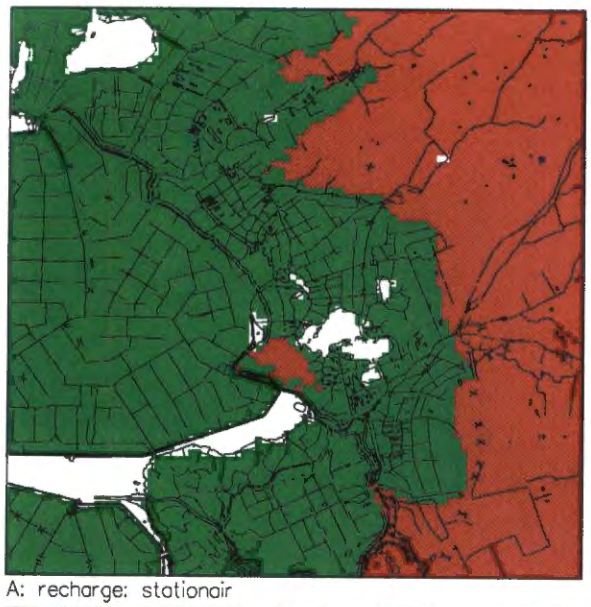
Indien: $h_1 \leq$ extd, dan: $V_{model} = 0$.

In bovenstaande is verder:
h_1 = stijghoogte in modellaag 1 (m.NAP),
V_{model} = verdamping vanuit de verzadigde zone (in MODFLOW) (m/d),
V_{bakje} = hoeveelheid water die het bakje vraagt voor verdamping (m/d).

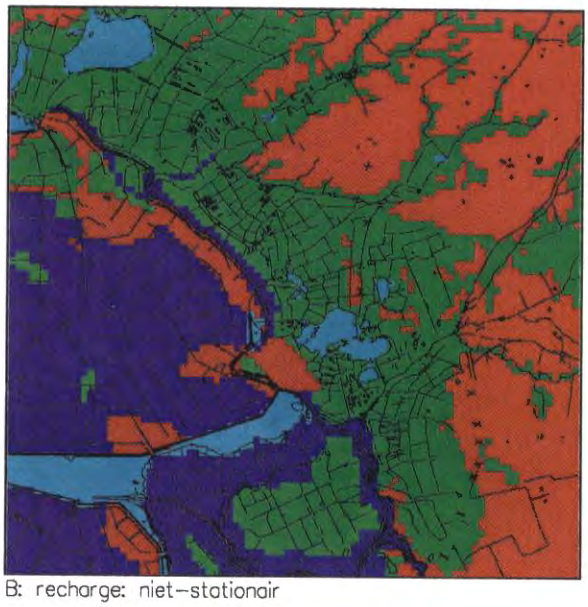
4.7.2 Basisgegevens en implementatie

De neerslag- en verdampingsgegevens zijn afkomstig van het KNMI. Voor het stationaire model zijn de gegevens van diverse weerstations verzameld en in kaart gebracht. De ruimtelijke variatie is alleen voor de neerslag verwerkt (figuur 16). Voor de (actuele) verdamping is een constante waarde aangenomen.

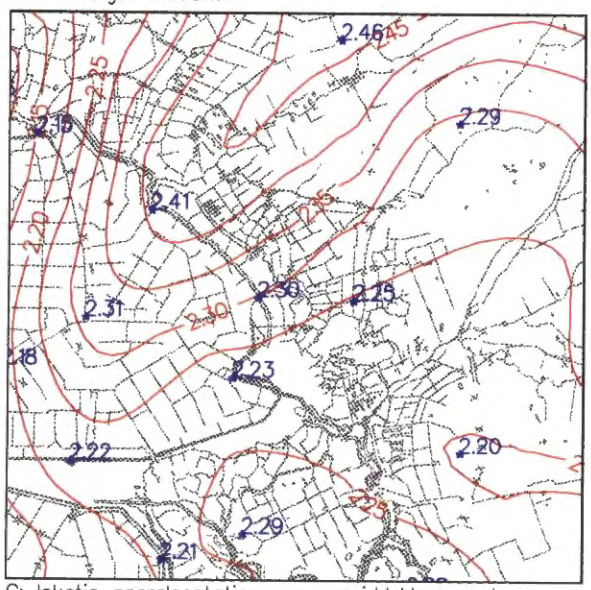
Uit de voorgaande paragraaf volgt dat ter bepaling van de dynamische grondwateraanvulling de volgende gegevens verzameld moeten worden:
- neerslag,
- (potentiële) verdamping,
- gewasfactor,
- bergingscapaciteit van de onverzadigde zone,
- stripwaarde (waarde waarvoor de infiltratiecapaciteit van de bodem wordt overschreden en surface runoff optreedt),
- surface level (grondwaterstandsdiepte waarboven maximale verdamping



A: recharge: stationair

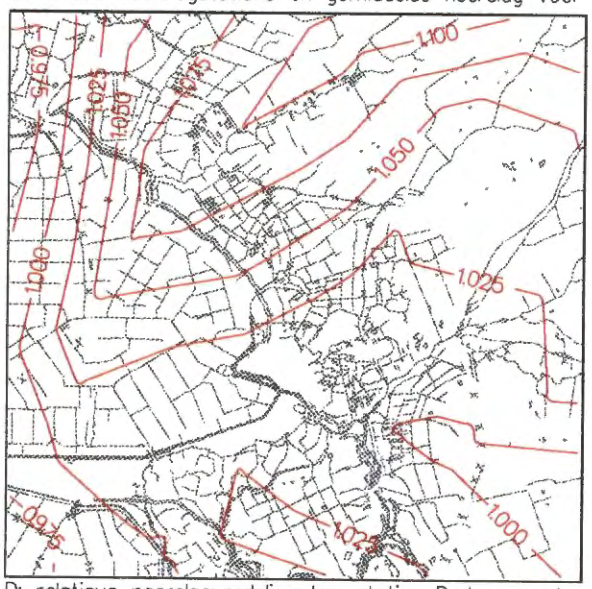


B: recharge: niet-stationair



Rode lijnen: lijnen van gelijke neerslag met neerslagwaarde in mm/dag

C: lokatie neerslagstations en gemiddelde neerslag voor de periode 1985-1989



Rode lijnen: lijnen van gelijke relatieve neerslag (quotient)

D: relatieve neerslagverdeling tov station Dedemsvaart

Figuur 16: ruimtelijke variatie van de neerslag en pointersettings voor de grondwateraanvulling.

vanuit de onverzadigde zone optreedt),
- extinctie diepte (grondwaterstandsdiepte waar beneden geen verdamping vanuit de verzadigde zone meer optreedt).

Voor de niet-stationaire berekeningen is voor het verloop van de neerslag en verdamping in de tijd gebruik gemaakt van de neerslag- en verdampingsreeksen van het station Dedemsvaart. De ruimtelijk verdeling van de neerslag is geïmplementeerd door deze te normeren op het weerstation Dedemsvaart. De potentiële verdamping is voor het gehele gebied gelijk gesteld aan die gemeten op het weerstation Dedemsvaart. Aldus is de tijdsafhankelijkheid van de grondwateraanvulling bij de niet-stationaire berekeningen beperkt tot de gegevens van slechts één weerstation.

Er is geen speciale inspanning verricht voor het verkrijgen van gegevens omtrent de gewasfactoren en stripwaarden. Hiervoor zijn algemeen geldende waarde voor aangehouden die, voor zover nodig, tijdens de calibratie zijn bijgesteld (paragraaf 5.3).

De bergingscapaciteit van de bodem, de stripwaarde, de gewasfactor, het surface level en de extinctie diepte zijn globaal gerelateerd aan het bodemtype (zie volgende paragraaf).

4.7.3 Classificatie van aan de grondwateraanvulling ten grondslag liggende gegevens

In eerste instantie is voor de stationaire berekeningen slechts onderscheid gemaakt tussen de (netto) neerslag die valt op het hogere en het lagere deel van het onderzoekgebied (figuur 16a). De in de vorige paragraaf aangehaalde ruimtelijke variatie (figuur 16c) is pas in een later stadium ingevoerd (zie ook paragraaf 5.3).

Bij de niet-stationaire berekeningen is, zoals besproken in de vorige paragraaf, een continue verlopende ruimtelijke variatie aangebracht voor de neerslag en verdamping. De bergingscapaciteit van de bodem, de stripwaarde, de gewasfactor, het surface level en de extinctie diepte zijn identiek geclassificeerd en wel als volgt (figuur 16b):
1 = overwegend zandgrond,
2 = overwegend veengrond,
3 = overwegend kleigrond,
4 = meren/open water.

Opgemerkt kan hierbij worden dat een classificatie op basis van grondsoorten voor de gewasfactor minder zinvol is dan een classificatie op gewastype. Het onderscheid tussen zand, veen en klei is voor de gewasfactor ook verder niet gebruikt. Met betrekking tot de gewasfactor is deze classificatie alleen gebruikt om onderscheid te kunnen maken tussen land en open water (zie ook paragraaf 5.3). De stripwaarde is geclassificeerd op basis van de hoge en lage gronden binnen het modelgebied (figuur 16a).

4.8 Maaiveldhoogte

Voor de onderhavige modelstudie is de maaiveldshoogte een belangrijk gegeven. De maaiveldhoogte is in de eerste plaats belangrijk voor het schatten van peilen van waterlopen, indien deze niet bekend zijn bij de beherende instanties (paragraaf 4.4). Daarnaast vormt de maaiveldhoogte de bovenbegrenzing van het permeabiliteitsveld (paragraaf 4.2).

De maaiveldhoogte is afgeleid van de topografische kaart, schaal 1 : 25.000. De hoogtecijfers die op deze kaarten vermeld staan, zijn gedigitaliseerd en in de vorm van een ARC/INFO kaartbestand vastgelegd. Een uitzondering hierop vormen de kaartbladen 20F, 20G en 20H, waarop geen hoogtecijfers zijn weergegeven. Voor het betreffende gebied is gebruik gemaakt van de topografische kaart, schaal 1 : 50.000, kaartblad 20-Oost. Opgemerkt kan tevens nog worden dat de hoogtecijfer dichtheid op kaartblad 21C om onduidelijke redenen zeer gering is.

De topografische kaart, schaal 1 : 25.000, bevat circa 3 hoogtecijfers per km^2; de 1 : 50.000 kaart circa 1 hoogtecijfer per km^2. De dichtheid van de hoogtecijfers op de 1 : 10.000 kaarten is aanzienlijk hoger (circa $100/km^2$), maar werd gezien het budget van de studie te kostbaar geacht.

De hoogtecijfers zijn niet altijd representatief voor de werkelijke maaiveldhoogte, aangezien deze soms de hoogte van dijken of wegen weergeven. Deze hoogtecijfers zijn niet in de digitale maaiveldhoogte kaart opgenomen.
De opname van de topografische kaarten dateert voor het modelgebied uit de jaren 1981 tot 1983.

4.9 Laagtypen

MODFLOW kan verschillen laagtypen met betrekking tot de mate van verzadiging van de modellagen simuleren. In principe is de bovenste modellaag unconfined (freatisch) en kan, gezien de diepteligging, de tweede modellaag afwisselend confined (spanningswater) en unconfined van karakter zijn. Het nadeel van het definiëren van lagen als unconfined is dat de cellen droog kunnen vallen. MODFLOW kan het droogvallen van cellen in eerste instantie wel hanteren, maar dit kan leiden/leidt tot de volgende problemen:

- het droogvallen van cellen heeft een destabiliserende invloed op het model, hetgeen convergentie problemen tot gevolg kan hebben,
- eenmaal drooggevallen cellen blijven bij een niet-stationaire berekening droog. Latere versies van MODFLOW (die beschikbaar kwamen tijdens de loop van het onderzoek) voorzien in de mogelijkheid van het weer nat maken van eerder drooggevallen cellen, indien de omstandigheden zich daarvoor in de tijd toe lenen, maar de implementatie hiervan is nog niet goed uitgetest.

Om voornoemde redenen zijn alle lagen gemodelleerd als confined. Dit betekent overigens niet dat het gedrag van het freatische grondwater niet gesimuleerd zou kunnen worden. Het gedrag van het freatische grondwater wordt met name bepaald door het feit dat het bovenste grondwater een relatief hoge bergingscoëfficiënt heeft (en uiteraard door processen in de onverzadigde zone). De definitie van confined houdt met name in dat de transmissiviteit van de modellagen constant wordt gehouden (onafhankelijk van de stijghoogte) en derhalve de cellen niet droog kunnen vallen. Wel is getracht het effect van droogvallende cellen te compenseren. Hierop zal in paragraaf 5.2.2 nader ingegaan worden.

5. MODELCALIBRATIE

5.1 Calibratie meetpunten

De gegevens van waarnemingsputten waarop de calibratie van het model heeft plaatsgevonden, zijn afkomstig uit het On Line Grondwater Archief van IGG-TNO. Er is een globale controle van de data uitgevoerd door de tijd-stijghoogtelijnen van de waarnemingsfilters voor de periode 1985 t/m 1990 visueel te inspecteren. Voor de selectie van waarnemingsfilters gelden voor het stationaire en niet stationaire model verschillende criteria (zie respectievelijk de paragrafen 5.2.1 en 5.3.1). Voor beide type berekeningen gelden echter de volgende criteria:

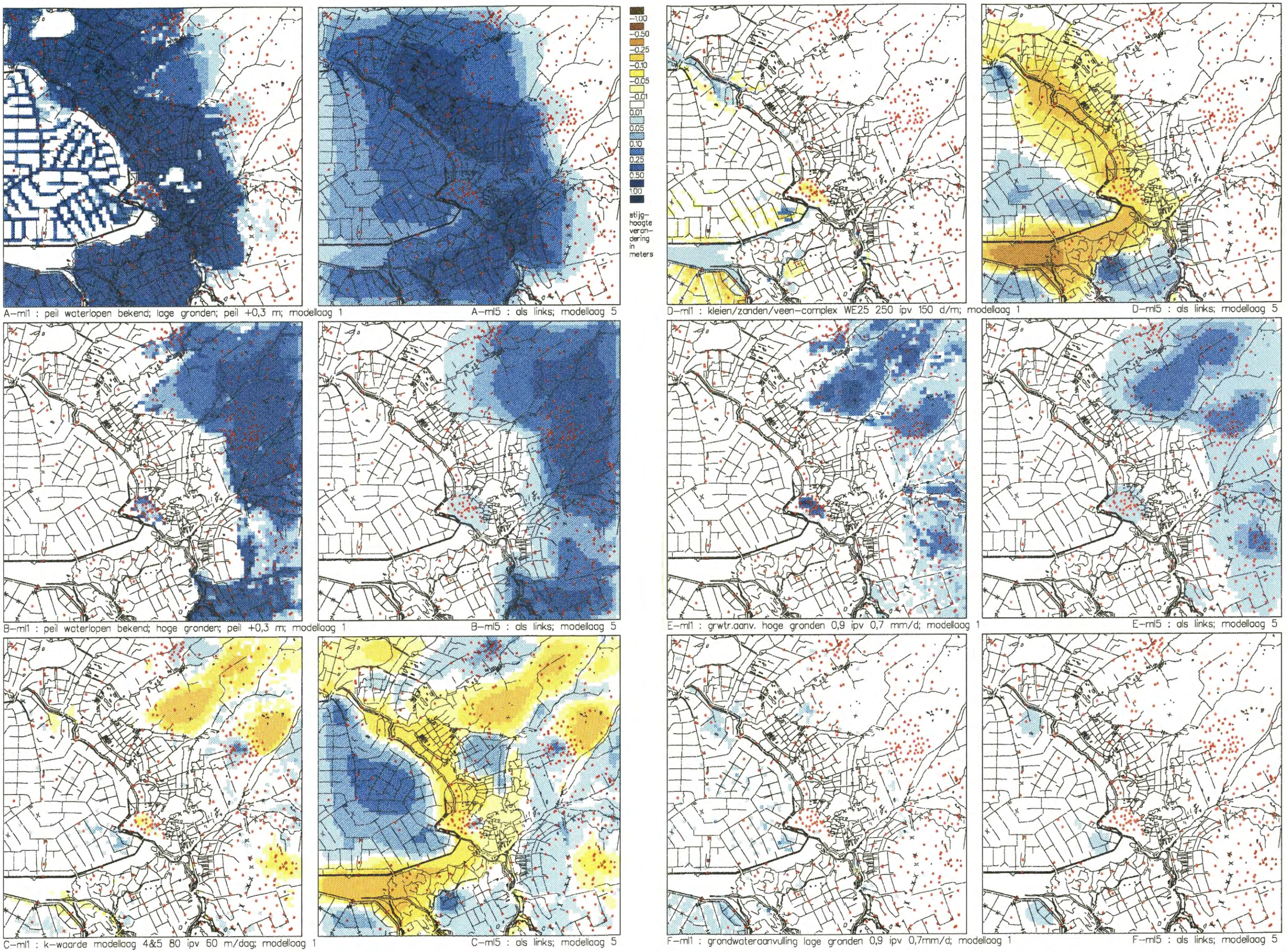
- omdat de verlagingskegel van een grondwateronttrekking binnen de cel waarbinnen de onttrekking plaats vindt vanwege de resolutie van het model niet goed gesimuleerd wordt, zijn de waarnemingsputten die in de cellen van winputten voorkomen geëlimineerd,
- indien twee of meer filters op een bepaalde lokatie binnen eenzelfde modellaag vallen, is het filter met de meeste waarnemingen geselecteerd,
- putten die binnen de randcellen gelokaliseerd zijn, zijn vanwege de vaste stijghoogte op de modelranden geëlimineerd,
- filters beneden de slecht doorlatende basis van het model zijn geëlimineerd.

De geselecteerde waarnemingsputten zijn vanuit OLGA naar ARC/INFO overgebracht. Evenals bij de winputten het geval is (paragraaf 4.5), worden ook voor de waarnemingsputten de celcoördinaten binnen ARC/INFO afgeleid door een identificatie van de puttenkaart met de kaart met gridcellen. De modellaag waarin de waarnemingsfilters zijn gelokaliseerd is, analoog aan de methodiek bij de winputten, bepaald door de diepte van de filters te vergelijken met de diepteligging van de grensvlakken die de modellagen omspannen.

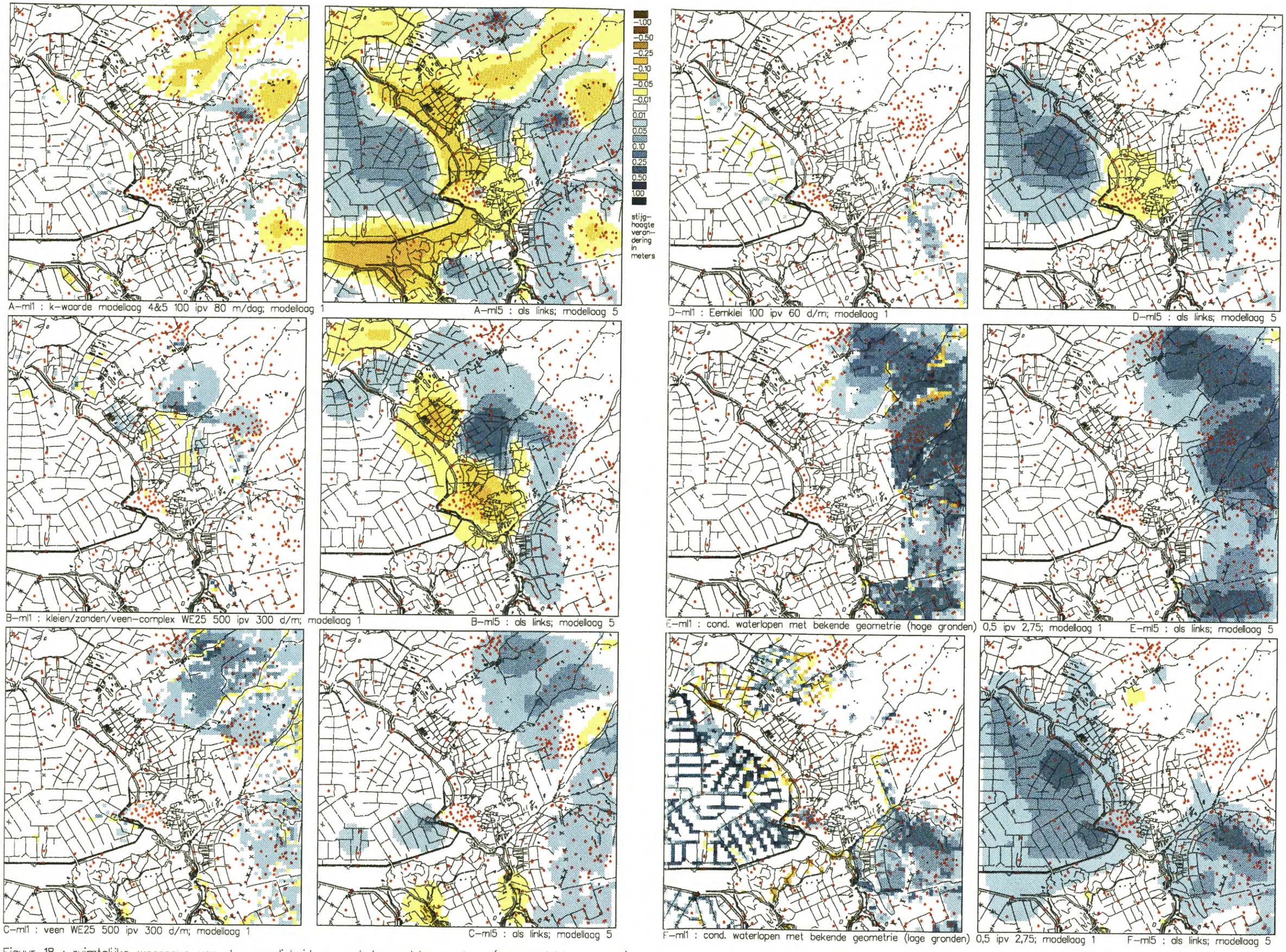
5.2 Calibratie van het stationaire model

5.2.1 Opzet van de stationaire calibratie

De calibratie van het stationaire model is gebaseerd op de gemiddelde waarde van waargenomen stijghoogten over de periode 1985 tot en met 1989.



Figuur 17 : ruimtelijke weergave van de gevoeligheid van enkele modelparameters (volgens initiele ranges)



Figuur 18 : ruimtelijke weergave van de gevoeligheid van enkele modelparameters (volgens initiele ranges)

Voor het berekenen van deze gemiddelde waarden gelden ten aanzien van de waarnemingsfilters ten behoeve van de stationaire calibratie de volgende aanvullende (naast die vermeld in paragraaf 5.1) eisen:
- de meetfrequentie van de put moet minimaal 1 maal per kwartaal zijn,
- voor elk van de vier afzonderlijk kwartalen mogen voor de 5-jaars periode '85/'89 niet meer dan twee waarnemingen missen.

Aldus wordt het gemiddelde berekend op basis van waarnemingen die redelijk gespreid zijn over de tijd, met een minimaal aantal van 12 waarnemingen.
In totaal resteert een aantal van 417 waarnemingsfilters waarop de stationaire calibratie is gebaseerd (zie bijvoorbeeld figuur 17 en 18 en bijlage 2).

Het stationaire model is verder samengesteld zoals omschreven in het hoofdstuk 'modelschematisatie en modelsamenstelling' (hoofdstuk 4).

5.2.2 Gevoeligheidsanalyse en Monte Carlo cycli

De initiële ranges die zijn toegekend aan de verschillende parameterklassen (pointers) zijn weergegeven in tabel 2. De ruimtelijke weergave van de gevoeligheid van enkele belangrijke parameters in opgenomen in figuur 17. De ranges zijn gebaseerd op waarden, verkregen uit de literatuur en ervaringsfeiten. Uit de aan deze ranges gerelateerde gevoeligheidsanalyse komt duidelijk naar voren dat het grondwatersysteem oppervlaktewater gebonden is. De meest sterke parameters zijn de peilen in de hoofd- en waterschapswaterlopen, terwijl de gevoeligheid voor de grondwateraanvulling hiermee in vergelijking zeer laag is.
Dit laatste geldt met name voor de lage gronden. In deze regio speelt de fluctuatie in grondwaterstanden, die is gekoppeld aan de dynamiek van de grondwateraanvulling, zich vrijwel geheel af op een schaal die valt binnen de resolutie van de modelgridcellen. Merk overigens op dat voor de peilen van de waterlopen op de hoge gronden de aan het meetnet gerelateerde gevoeligheid aanzienlijk hoger dan de theoretische gevoeligheid. Blijkbaar is het calibratie meetnet op de hoge gronden relatief meer vertegenwoordigd dan op de lage gronden. Ook het feit dat de aan het meetnet gerelateerde gevoeligheid voor de grondwateraanvulling op de hoge gronden hoger is dan de theoretische wijst in deze richting.
Het is een geruststellend gegeven dat de gevoeligste parameters van het model betrekking hebben op ingemeten peilen. Deze zijn immers redelijk bekend.

Omschrijving	Pointer-waarde	Initiële range		Bijgestelde range		Geselec-teerde waarde
		range	sterkte th/mm	range	sterkte th/mm	
'topsysteem' (Westland afwezig)	1	5 - 50	8/ 11	25 - 100	26/ 46	50 d/m
Westland: kleien/zanden	2	50 - 250	4/ 1	50 - 250	20/ 12	150 d/m
Westland: kleien/zanden/veen	3	50 - 250	31/ 19	100 - 500	100/ 98	300 d/m
Westland: veen	4	50 - 250	10/ 9	100 - 500	45/ 82	200 d/m
Twente beekleem/klei	1	40 - 200	3/ 8	50 - 250	10/ 38	100 d/m
Drente klei	2	40 - 200	9/ 17	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t
Drente klei (dikte < 7,5 meter)	2	n.v.t.	n.v.t.	50 - 250	23/ 46	200 d/m
Drente klei (dikte > 7,5 meter)	3	n.v.t.	n.v.t.	500 - 5000	14/ 34	1000 d/m
Eem klei	2	150 - 600	12/ 12	20 - 100	24/ 34	40 d/m
klei in bovenkant Formatie van Urk	1	150 - 600	4/ 5	20 - 100	5/ 8	40 d/m
klei in onderkant Formatie van Urk	1	150 - 600	1/ 3	200 - 1000	1/ 11	500 d/m
k-waarde modellaag 1; overwegend zandgronden	1	5 - 25	0/ 1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
k-waarde modellaag 1; overwegend veengronden	2	5 - 25	0/ 0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
k-waarde modellaag 1; overwegend kleigronden	3	5 - 25	0/ 0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
k-waarde modellaag 1; 'natte' cellen	1	n.v.t.	n.v.t.	1 - 10	0/ 1	5 m/d
k-waarde modellaag 1; 'droge' cellen	2	n.v.t.	n.v.t.	vast	n.v.t.	1 m/d
k-waarde modellaag 2&3	1	5 - 25	6/ 7	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
k-waarde modellaag 2; 'natte' cellen	1	n.v.t.	n.v.t.	5 - 25	4/ 9	20 m/d
k-waarde modellaag 2; 'droge' cellen	0	n.v.t.	n.v.t.	vast	n.v.t.	1 m/d
k-waarde modellaag 3	1	n.v.t.	n.v.t.	5 - 25	6/ 9	20 m/d
k-waarde modellaag 4&5	1	40 - 80	31/ 34	60 - 100	65/100	80 m/d
grondwateraanvulling	1	n.v.t.	n.v.t.	vast	n.v.t.	0,8 mm/d
grondwateraanvulling; hoge gronden	1	0,5 - 0,9	17/ 35	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
grondwateraanvulling; lage gronden	2	0,5 - 0,9	2/ 2	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
peil w.l.: peil bekend; hoge gronden	1	-0,3 - 0,3	52/100	vast	n.v.t.	+0,00 m
peil w.l.: peil bekend; lage gronden	2	-0,3 - 0,3	100/ 98	vast	n.v.t.	+0,00 m
peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; hoge gronden	3	-0,5 - 0,5	2/ 4	-0,5 - 0,5	8/ 19	-0,30 m
peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; lage gronden	4	-0,5 - 0,5	3/ 4	-0,5 - 0,5	7/ 15	+0,00 m
peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; NOP	5	-0,5 - 0,5	30/ 13	-0,5 - 0,5	84/ 60	-0,10 m
peil w.l.: peil gerel. aan bodemhoogte	6	-0,4 - 0,4	9/ 17	-0,4 - 0,4	22/ 66	+0,00 m
peil w.l.: infiltratiegebieden NOP	7	-0,5 - 0,5	14/ 11	-0,5 - 0,5	38/ 42	-0,20 m
peil w.l.: meren/open water	8	-0,3 - 0,3	12/ 9	vast	n.v.t.	+0,00 m
cond w.l.: geometrie bekend; hoge gronden	1	0,5 - 5,0	18/ 29	0,5 - 5,0	41/ 98	*1,00
cond w.l.: geometrie bekend; lage gronden	2	0,5 - 5,0	14/ 14	0,5 - 5,0	32/ 43	*1,00
cond w.l.: geometrie onbekend; hoge gronden	3	0,5 - 5,0	2/ 5	0,5 - 5,0	8/ 28	*1,00
cond w.l.: geometrie onbekend; lage gronden	4	0,5 - 5,0	9/ 8	0,5 - 5,0	19/ 29	*1,00
cond w.l.: geometrie onbekend; NOP	5	0,5 - 5,0	8/ 4	0,5 - 5,0	19/ 12	*3,00
cond w.l.: geometrie onbekend; WS-Vollenhove	6	0,5 - 5,0	8/ 9	0,5 - 5,0	25/ 38	*1,00
cond w.l.: infiltrerende kanalen e.d.	7	0,1 - 1,0	8/ 10	0,1 - 1,0	14/ 24	*0,10
cond w.l.: meren/open water	8	0,01 - 0,1	7/ 4	0,01 - 0,1	15/ 13	*0,04
cond w.l.: boezemwater; lijnelementen	9	n.v.t.	n.v.t.	0,05 - 0,5	9/ 15	*0,10
cond w.l.: boezemwater; polygonen	10	n.v.t.	n.v.t.	0,1 - 1,0	7/ 10	*0,80
hbod w.l.: infiltrerende waterlopen	1	0,5 - 1,5	1/ 2	0,5 - 1,5	3/ 6	*1,00
hbod w.l.: infiltratiegebieden NOP	2	0,5 - 1,5	1/ 0	0,5 - 1,5	2/ 2	*1,00
hbod w.l.: overig	3	0,5 - 1,5	2/ 2	0,5 - 1,5	6/ 9	*1,00

Tabel 2: invulling van parameterranges en overzicht van geselecteerde waarden.

Aan de andere kant geeft dit echter weer dat de calibratie in zekere zin meer een controle op de juistheid van de gegeven oppervlaktewaterpeilen vormt, dan een calibratie van het grondwatersysteem.

Na de peilen in de waterlopen wordt de gevoeligheid van het model voor een belangrijk deel bepaald door de transmissiviteit van het diepe watervoerend pakket en het afdekkend klei/veen pakket. Kortweg kan geconcludeerd worden dat, zoals te verwachten is in een poldergebied, het systeem wordt gekarakteriseerd door de peilen in het open water en de spreidingslengte.
Gezien de zeer geringe gevoeligheid van het model voor de transmissiviteit van de eerste drie modellagen is, afgezien van een zekere differentiatie in de verticaal ten behoeve van stroombaan berekeningen, het gebied ook goed te beschrijven als één watervoerende laag met een afdekkend pakket.

De initiële ranges zijn verder geanalyseerd met behulp van een Monte Carlo cyclus van 1000 simulaties. De oorspronkelijke trekking is hierbij vergeleken met de 50 runs met het kleinste ijkcriterium (het gewogen, gemiddelde verschil tussen de berekende en de gemeten stijghoogten). De rangedifferentiatie is weergegeven in bijlage 1.
Hieruit kan het volgende geconcludeerd worden:
- de ranges van de peilen van de hoofd- en waterschapswaterlopen differentiëren, zoals te verwachten was op grond van de resultaten van de gevoeligheidsanalyse, zeer sterk. De gemeten stijghoogten reflecteren de peilen redelijk goed. De tendens lijkt aanwezig dat de werkelijke peilen 10 à 20 cm hoger zijn dan opgegeven.
- een k-waarde kleiner dan 60 m/dag voor het diepe watervoerend pakket is vrijwel uitgesloten; de range voor de k-waarde is verder te krap gekozen: de k-waarde loopt namelijk aan de hoge zijde uit de range.
- ook de ranges voor de c-waarden van respectievelijk het 'topsysteem', het veenpakket in de Westland Formatie en de Drente-klei lijken te laag ingeschat, aangezien deze c-waarden aan de hoge zijde uit de ranges lopen.
- de c-waarde voor de Eemklei lijkt de hoog ingeschat, aangezien de c-waarde aan de lage zijde uit de range loopt.
- de peilen van de waterlopen in de infiltratiegebieden van de Noordoostpolder zijn lager dan aanvankelijk ingeschat.
- de overige dan de hier voornoemde ranges vertonen weinig tot geen differentiatie.

Tabel 3: selectie van 10 beste parametersets van de eerste Monte Carlo cyclus.

Omschrijving	Pointerwaarde	FOUT (in meters)									
		0.321	0.322	0.323	0.324	0.324	0.325	0.325	0.326	0.327	0.329
'topsysteem' (Westland afwezig)	1	44.06	46.94	11.26	30.47	44.15	42.08	38.79	45.18	15.76	36.77
Westland: kleien/zanden	2	61.00	158.20	200.00	243.20	173.00	156.40	215.80	214.60	246.20	169.40
Westland: kleien/zanden/veen	3	235.80	248.00	192.40	236.80	196.40	115.80	175.00	199.00	238.20	198.40
Westland: veen	4	89.20	94.20	160.60	57.00	202.60	54.40	162.80	116.40	197.20	54.80
Twente beekleem/klei	1	127.04	195.04	137.28	143.52	81.28	194.24	126.88	94.56	77.76	68.64
Drente klei	2	125.92	188.48	166.40	169.76	145.92	177.28	183.52	113.92	173.12	190.40
Eem klei	2	347.55	252.15	160.35	296.25	360.15	156.75	314.25	193.65	265.20	544.65
klei in bovenkant Formatie van Urk	1	361.50	574.80	523.95	521.25	411.00	169.80	222.90	505.05	455.55	519.45
klei in onderkant Formatie van Urk	1	424.05	519.90	525.30	405.15	357.90	350.70	578.85	280.95	344.85	414.60
k-waarde modellaag 1; overwegend zandgronden	1	7.40	24.58	12.12	15.44	8.76	7.22	16.30	23.04	13.20	19.38
k-waarde modellaag 1; overwegend veengronden	2	23.74	9.92	22.28	13.50	22.06	7.46	11.04	13.00	14.94	22.40
k-waarde modellaag 1; overwegend kleigronden	3	12.44	24.88	11.86	20.46	19.06	10.38	10.80	5.50	11.92	11.52
k-waarde modellaag 2&3	1	19.78	16.92	15.02	15.28	24.36	23.56	19.74	22.56	16.44	13.60
k-waarde modellaag 4&5	1	76.20	80.00	68.68	74.48	72.52	71.36	75.52	78.24	65.28	76.00
grondwateraanvulling; hoge gronden	1	0.81	0.71	0.74	0.79	0.85	0.68	0.81	0.78	0.75	0.83
grondwateraanvulling; lage gronden	2	0.70	0.82	0.65	0.55	0.58	0.84	0.71	0.82	0.59	0.60
peil w.l: peil bekend; hoge gronden	1	0.06	0.19	0.06	0.03	0.18	0.01	0.03	0.05	0.06	0.21
peil w.l: peil bekend; lage gronden	2	0.06	0.09	0.08	-0.04	0.14	0.01	0.06	-0.09	-0.09	0.07
peil w.l: peil gerel. aan m.v.; hoge gronden	3	-0.20	0.00	0.04	0.27	-0.44	-0.44	-0.16	0.49	-0.18	-0.31
peil w.l: peil gerel. aan m.v.; lage gronden	4	-0.44	0.11	0.49	0.24	0.45	0.23	-0.31	-0.05	0.50	0.40
peil w.l: peil gerel. aan m.v.; NOP	5	-0.29	-0.15	-0.49	-0.17	-0.38	-0.10	0.43	-0.48	-0.01	-0.35
peil w.l: peil gerel. aan bodemhoogte	6	-0.14	-0.24	0.39	-0.12	-0.14	0.13	0.36	0.39	0.12	-0.17
peil w.l: infiltratiegebieden NOP	7	0.12	-0.35	0.21	0.28	0.23	-0.40	-0.25	0.18	-0.24	0.01
peil w.l: meren/open water	8	-0.15	0.14	-0.20	0.14	-0.03	0.01	0.05	-0.21	0.27	0.17
cond. w.l.: geometerie bekend; hoge gronden	1	4.10	1.89	4.51	1.53	4.09	1.67	1.44	2.62	3.49	2.49
cond. w.l.: geometerie bekend; lage gronden	2	4.75	2.77	2.92	1.19	4.04	3.10	2.44	4.59	4.88	3.39
cond. w.l.: geometerie onbekend; hoge gronden	3	1.89	2.50	2.95	3.68	2.57	4.97	0.97	4.68	2.35	2.23
cond. w.l.: geometerie onbekend; lage gronden	4	4.93	2.59	2.80	1.31	4.45	4.67	3.78	1.53	2.25	3.93
cond. w.l.: geometerie onbekend; NOP	5	1.95	1.30	0.71	1.86	3.99	2.43	1.94	2.54	3.79	2.61
cond. w.l.: geometerie onbekend; WS-Vollenhove	6	3.79	4.03	0.91	4.96	3.88	2.50	2.97	1.95	1.00	2.86
cond. w.l.: infiltrerende kanalen e.d.	7	0.76	0.94	0.64	0.19	0.64	0.50	0.19	0.79	0.65	0.61
cond. w.l.: meren/open water	8	0.01	0.05	0.04	0.07	0.10	0.10	0.10	0.01	0.08	0.03
hbod w.l.: infiltrerende waterlopen	1	1.48	0.99	1.36	0.72	0.50	1.33	1.27	0.72	1.34	0.55
hbod w.l.: infiltratiegebieden NOP	2	1.07	1.31	1.11	0.82	1.00	1.23	0.73	0.60	1.39	1.24
hbod w.l.: overig	3	1.48	1.49	0.77	1.11	1.36	0.78	0.58	0.90	0.61	0.73

De 10 parametersets met het kleinste ijkcriterium zijn weergegeven in tabel 3. Het ijkcriterium van deze sets is nagenoeg gelijk en varieert slechts van 32,1 tot 32,9 cm. Het is geen sinecure, gezien de spreiding in de diverse parameter waarden, een set te selecteren voor het uitvoeren van de feitelijke modelberekeningen ten behoeve van de beschrijving van het geohydrologisch systeem en de evaluatie van de sector- en inrichtingsvarianten. Zoals beschreven in paragraaf 3.2 bestaat er in feite ook geen unieke oplossing en rest slechts de acceptatie van meerdere parametersets. Van dit laatste is echter om praktische en financiële redenen afgezien, hetgeen impliceert dat er op een of andere wijze een zover mogelijk te onderbouwen keuze voor de te hanteren parameterset gemaakt moet worden. De vraagstelling met betrekking tot de te kiezen parameters kan in dit licht ook anders geformuleerd worden en luiden: zijn er redenen de initiële schattingen bij te stellen en zo ja, in hoeverre? Dit proces zal hierna verder beschreven worden.

Om de gevoeligheid van de diverse parameters op te voeren, kan overwogen worden een keuze te maken voor de meest gevoelige parameters en deze in opvolgende Monte Carlo cycli op een vaste waarde te zetten. Dit proces herbergt echter het gevaar in zich dat de waarden van nog variërende parameters een verkeerde richting uitgedreven worden. Dit risico bestaat met name voor gecorreleerde parameters, waarbij een kleine, verkeerde keuze voor de ene parameter een tot een (mogelijk) grotere verkeerde keuze van de andere parameter leidt. De mate waarin de ene fout de andere versterkt dan wel verzwakt hang samen met de correlatiestructuur in de parameterset. Wat dit betreft kan deze methode om naar een eindoplossing te komen vergeleken worden het afschieten van een raket in de parameterruimte. Een kleine, onjuiste koerscorrectie kan fataal zijn voor de afloop van de tocht. Ondanks dit gevaar is er toch voor gekozen een aantal parameters vast te zetten en wel met de volgende overwegingen. De hangpunten van het geohydrologisch systeem worden in het poldergebied gevormd door de peilen in de waterlopen en op de hoge gronden eveneens door de peilen in de open waterlopen en de grondwateraanvulling; niet voor niets vormen deze grootheden doorgaans de meest gevoelige parameters van een model. Door deze hangpunten vast te houden wordt de gevoeligheid voor de overige parameters aanzienlijk opgevoerd, hetgeen een verdere sturing kan geven aan de selectie van parameterwaarden. Daarnaast wordt met het vastzetten van de grondwateraanvulling en de peilen in de hoofdwaterlopen enigszins tegemoet gekomen aan het feit dat in een lineair systeem het effect van ingrepen in het geohydrolo-

gisch systeem op de stijghoogte onafhankelijk is van de grondwateraanvulling en het peil in permanent watervoerende waterlopen met een vast peil. Door deze constant te houden verschuift de gevoeligheid van het model naar ingreep relevante parameters.

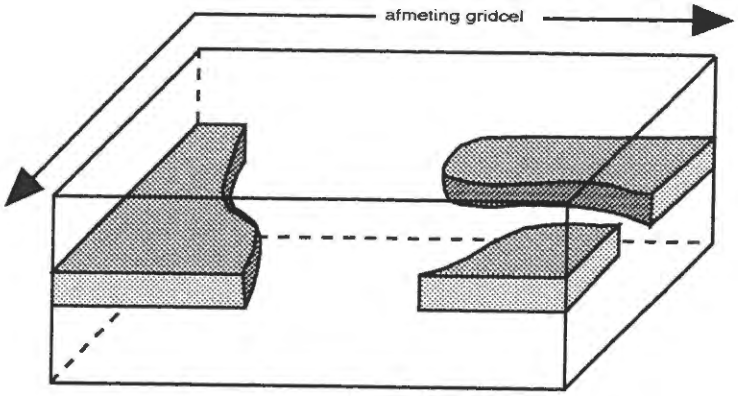
Wat betreft de peilen in de hoofd- en waterschapswaterlopen is er, gezien de resultaten van eerste Monte Carlo cyclus, weinig reden sterk te twijfelen aan de ingemeten peilen van deze waterlopen. Ondanks het feit dat de opgegeven peilen mogelijk iets aan de lage kant zijn, is ervoor gekozen de opgegeven peilen aan te houden volgens opgave. De variatie van de peilen in de overige waterlopen is, gezien de onzekerheid die verbonden is met de aan maaiveld gerelateerde peilen, gehandhaafd.
De keuze voor een waarde van de grondwateraanvulling is minder geprononceerd. Hoewel de range voor de grondwateraanvulling niet duidelijk differentieert, lijkt een waarde van rond de 0,8 mm/dag reëel. Deze waarde komt overeen met de waarde, gevonden voor het modelgebied Wierden, waar de grondwateraanvulling wel de primaire drijvende kracht voor het grondwatersysteem vormt. Deze waarde volgt ook min of meer uit de neerslag- en verdampingsgegevens van het KNMI voor de betreffende ijkperiode. De ruimtelijke variatie in de grondwateraanvulling is ingebracht door een contourkaart te maken van neerslag, gebaseerd op alle binnen het modelgebied aanwezige neerslagstations (figuur 16c), en dit patroon vervolgens zodanig te normaliseren dat de gemiddelde waarde voor de grondwateraanvulling voor het gehele modelgebied 0,8 mm/dag bedraagt (figuur 16c).

Met een vaste waarde voor de peilen in de hoofd- en waterschapswaterlopen en een vaste waarde voor de grondwateraanvulling is opnieuw een gevoeligheidsanalyse en een Monte Carlo cyclus uitgevoerd. Hierbij zijn de eerder besproken, uit evenwicht gepositioneerde ranges bijgesteld en hebben nog de volgende aanvullende wijzigingen plaatsgevonden:
- gebleken is dat daar waar dikke delen in de Drente-klei voorkomen het model te lage grondwaterstanden in de erboven gepositioneerde modellagen berekent. Op grond hiervan is aan de dikkere delen van de Drente-klei een hogere specifieke c-waarde toegekend. Overigens is het voor de Drente-klei gebruikelijk een meer dan proportionele dikte-c-waarde relatie aan te houden.
- bij een nadere analyse bleek dat in een groot aantal cellen in de eerste en tweede modellaag in feite droog staan. Een belangrijke

implicatie hiervan is dat aldaar geen laterale afstroming binnen deze modellagen mag plaatsvinden. Deze 'droge' cellen hebben een vaste k-waarde van 1 m/dag gekregen.
- met betrekking tot de conductiviteit van het boezemwater in het waterschap Vollenhove is een onderscheid aangebracht tussen de hoofdvaarten en het diffuse oppervlaktewaterstelsel daartussen.

Het resultaat van de nieuwe gevoeligheidsanalyse en de erop volgende Monte Carlo cyclus (van wederom 1000 simulaties) is weergegeven in tabel 2 en 4, figuur 18 en bijlage 1. Als meest gevoelige parameters komen nu naar voren de weerstand van het klei/veen/zand complex van de Westland Formatie, de transmissiviteit van het diepe watervoerend pakket, de waterlopen met een aan maaiveld gerelateerd peil in de Noordoostpolder en de conductiviteit van de hoofdwaterlopen.
Uit de range differentiatie blijkt dat een k-waarde van 80 m/dag voor het diepe watervoerend pakket een goede keuze moet zijn. De waarde van 300 d/m voor het klei/zand/veen complex van de Westland Formatie is enigszins terug te vinden in de rangedifferentiatie, maar is tevens gebaseerd op een deskundigen oordeel van bij het onderzoek betrokken personen.
De specifieke c-waarde voor de Eemklei is uiteindelijk bepaald op 40 d/m. Deze waarde is aanmerkelijk lager dan aanvankelijk ingeschat. Het is niet uitgesloten dat hier een schaaleffect aan de orde is en dat de klei zelf een veel hogere c-waarde heeft. De Eemklei is namelijk nogal versneden en heeft een onregelmatige verbreiding, waardoor de kans op gaten in de klei binnen het oppervlak van de gridcellen reëel is. Aangezien de weerstand tegen verticale stroming parallel geschakeld is, is een beperkte lokale afwezigheid van de klei al snel voldoende om de equivalente weerstand binnen een gridcel scherp te verlagen (figuur 19).

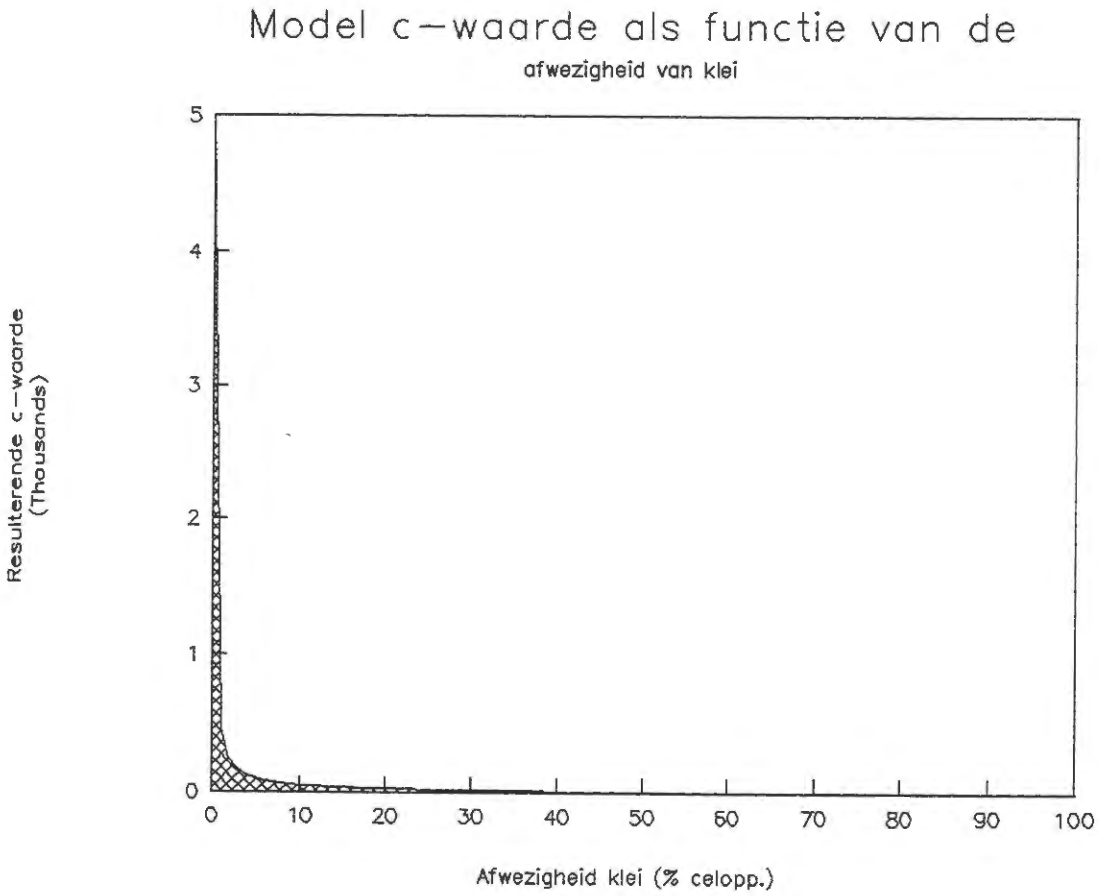
Uiteindelijk is ook voor de overige parameters een waarde geselecteerd, welke in de laatste kolom van tabel 2 zijn weergegeven. De geselecteerde waarde lijken niet altijd een direct gevolg van de range differentiaties van de tweede Monte Carlo cyclus (bijlage 1). Dit komt doordat de uiteindelijke keuzen tevens zijn ingegeven door cycli waarvan de resultaten niet zijn gepresenteerd. Onder andere is ook geëxperimenteerd met het vastzetten van de k-waarde van het diepe watervoerend pakket. Soms is de keuze tamelijk arbitrair omdat de resultaten van verschillende cycli elkaar tegen kunnen spreken (het zwabberen van de ijkraket door een slechte besturing).



Resulterende c-waarde van klei-niveau binnen cel = $1/(a/c_{klei} + b/c_{zand})$, waarbij:

c_{klei} = c-waarde van de klei (hoog)
c_{zand} = weerstand tegen verticale stroming voor zand (laag)
a = fractie van het celoppervlak dat in beslag genomen wordt door klei
b = fractie van het celoppervlak waar de klei afwezig is
(N.B.: a + b = 100%)

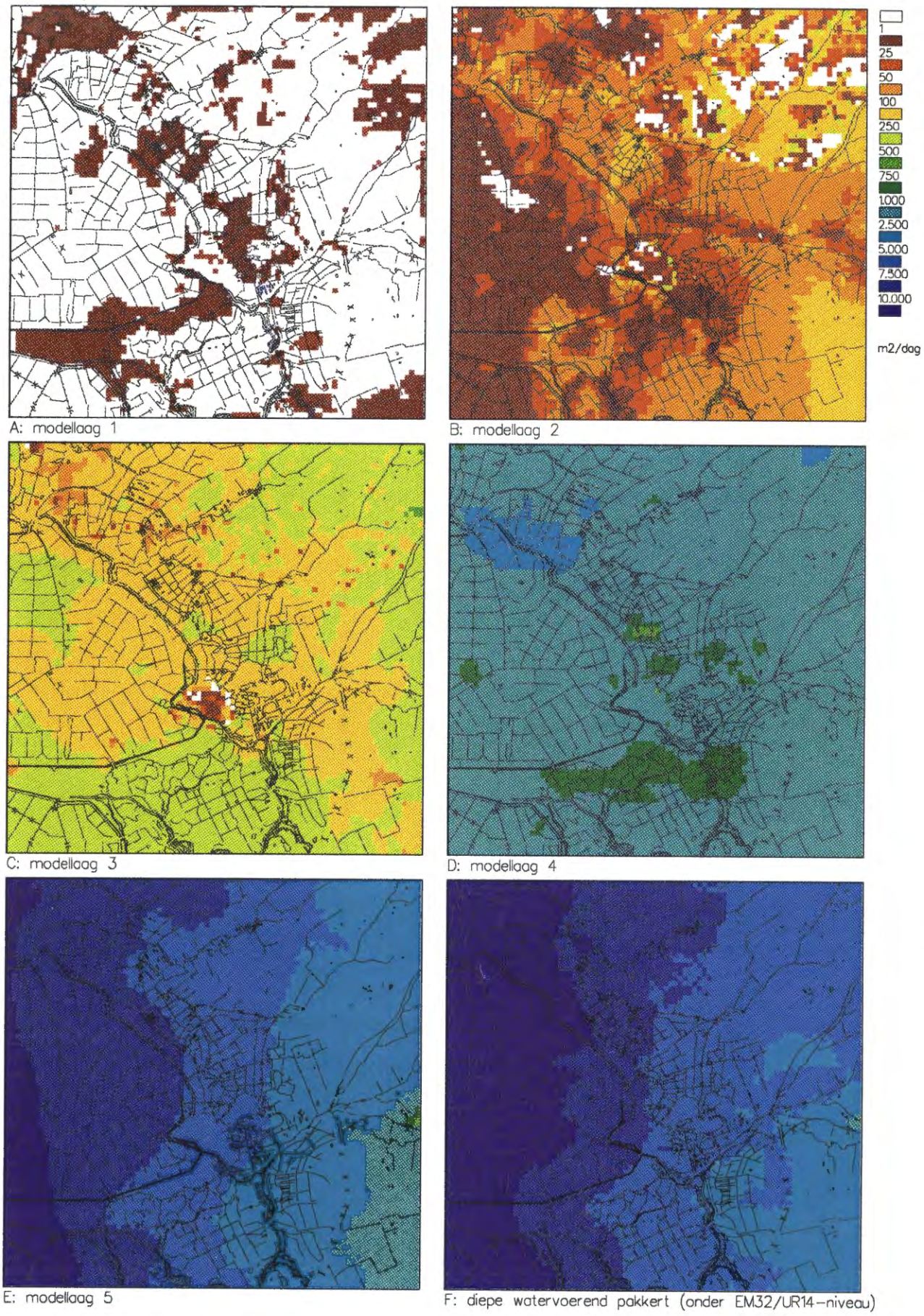
In onderstaande figuur is:
c_{klei} = 5000 dagen c_{zand} = 5 dagen



Figuur 19: verlaging van de model c-waarde als gevolg van het schaaleffect.

Tabel 4: selectie van 10 beste parametersets van de tweede Monte Carlo cyclus.

Omschrijving	Pointerwaarde	FOUT (in meters)									
		0.246	0.256	0.257	0.257	0.257	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258
'topsysteem' (Westland afwezig)	1	88.38	58.00	52.37	98.05	65.80	95.28	62.28	59.20	27.10	85.38
Westland: kleien/zanden	2	134.60	180.80	173.60	144.60	240.60	87.80	127.60	222.80	242.40	217.40
Westland: kleien/zanden/veen	3	394.00	379.60	281.20	316.00	453.60	351.20	298.80	458.80	240.40	380.80
Westland: veen	4	197.60	128.40	115.60	130.80	158.80	123.60	155.20	165.20	194.80	228.80
Twente beekleem/klei	1	123.00	97.40	68.60	192.60	80.00	210.20	50.60	230.00	203.40	56.40
Drente klei (dikte < 7,5 meter)	2	232.20	221.20	244.80	81.20	239.80	227.00	240.00	220.60	165.20	184.40
Drente klei (dikte > 7,5 meter)	3	873.50	4527.50	3825.50	1584.49	743.00	3348.50	729.50	2776.99	954.50	2250.50
Eem klei	2	26.08	54.48	68.16	52.72	68.08	84.16	36.64	66.96	72.80	26.96
klei in bovenkant Formatie van Urk	1	55.84	70.40	68.96	64.24	83.76	31.76	64.88	52.00	36.32	32.96
klei in onderkant Formatie van Urk	1	889.60	232.00	478.40	419.20	828.80	626.40	796.80	684.80	349.60	531.20
k-waarde modellaag 1; 'natte' cellen	1	4.93	9.14	6.19	2.42	9.60	8.53	3.76	6.20	6.37	3.45
k-waarde modellaag 2: 'natte' cellen	1	8.30	16.80	18.84	24.76	14.06	19.34	11.98	24.60	19.18	9.06
k-waarde modellaag 3	1	17.22	15.62	14.74	24.70	20.38	19.64	20.00	13.26	10.80	9.66
k-waarde modellaag 4&5	1	91.52	88.28	95.08	81.96	79.04	93.28	63.72	75.08	86.48	81.72
peil w.l: peil gerel. aan m.v.; hoge gronden	3	-0.49	-0.04	-0.14	0.47	0.49	-0.48	0.33	0.24	0.22	0.22
peil w.l: peil gerel. aan m.v.; lage gronden	4	0.50	-0.01	0.17	0.20	0.02	-0.05	0.45	0.01	-0.07	0.28
peil w.l: peil gerel. aan m.v.; NOP	5	0.11	-0.02	0.43	-0.29	0.49	0.05	-0.39	-0.12	-0.32	0.37
peil w.l: peil gerel. aan bodemhoogte	6	0.17	0.31	0.36	-0.28	-0.02	-0.10	0.34	0.36	0.22	0.16
peil w.l: infiltratiegebieden NOP	7	0.11	0.23	-0.41	0.14	0.48	-0.17	0.11	-0.20	-0.09	-0.20
cond. w.l.: geometerie bekend; hoge gronden	1	3.04	2.18	2.35	1.46	1.25	1.49	2.10	2.45	3.11	1.76
cond. w.l.: geometerie bekend; lage gronden	2	1.67	3.98	1.57	0.83	3.12	3.10	3.39	3.97	0.83	1.39
cond. w.l.: geometerie onbekend; hoge gronden	3	1.17	4.25	2.91	3.67	2.38	1.68	1.75	4.18	1.66	1.71
cond. w.l.: geometerie onbekend; lage gronden	4	0.67	0.90	1.78	1.87	2.27	2.99	4.19	1.08	1.00	0.84
cond. w.l.: geometerie onbekend; NOP	5	0.90	2.03	4.18	2.41	1.87	0.91	2.88	1.04	2.43	2.42
cond. w.l.: geometerie onbekend; WS-Vollenhove	6	0.55	3.21	0.69	0.51	1.57	1.92	0.76	0.73	1.51	4.39
cond. w.l.: infiltrerende kanalen e.d.	7	0.20	0.38	0.46	0.16	0.09	0.47	0.20	0.47	0.11	0.29
cond. w.l.: meren/open water	8	0.06	0.10	0.10	0.03	0.06	0.07	0.04	0.08	0.08	0.05
cond. w.l.: boezemwater; lijnelementen	9	0.24	0.34	0.37	0.09	0.32	0.26	0.42	0.21	0.48	0.36
cond. w.l.: boezemwater; polygonen	10	0.98	0.95	0.90	0.25	0.70	0.60	0.94	0.33	0.46	0.55
hbod w.l.: infiltrerende waterlopen	1	1.04	0.70	1.28	0.71	1.21	1.16	1.20	1.37	1.08	0.88
hbod w.l.: infiltratiegebieden NOP	2	1.49	0.84	0.63	1.23	1.30	0.54	1.34	1.01	0.71	0.79
hbod w.l.: overig	3	0.54	0.74	1.12	0.56	1.14	1.40	0.64	0.59	1.30	0.87



Figuur 20: resulterende transmissiviteit van de modellagen na calibratie.

Hierbij kan echter bedacht worden dat het met name voor de (ten aanzien van het calibratie meetnet) minder gevoelige parameters (de 'grijze' parameters) feitelijk niet zoveel uitmaakt welke waarde uiteindelijke gekozen wordt.

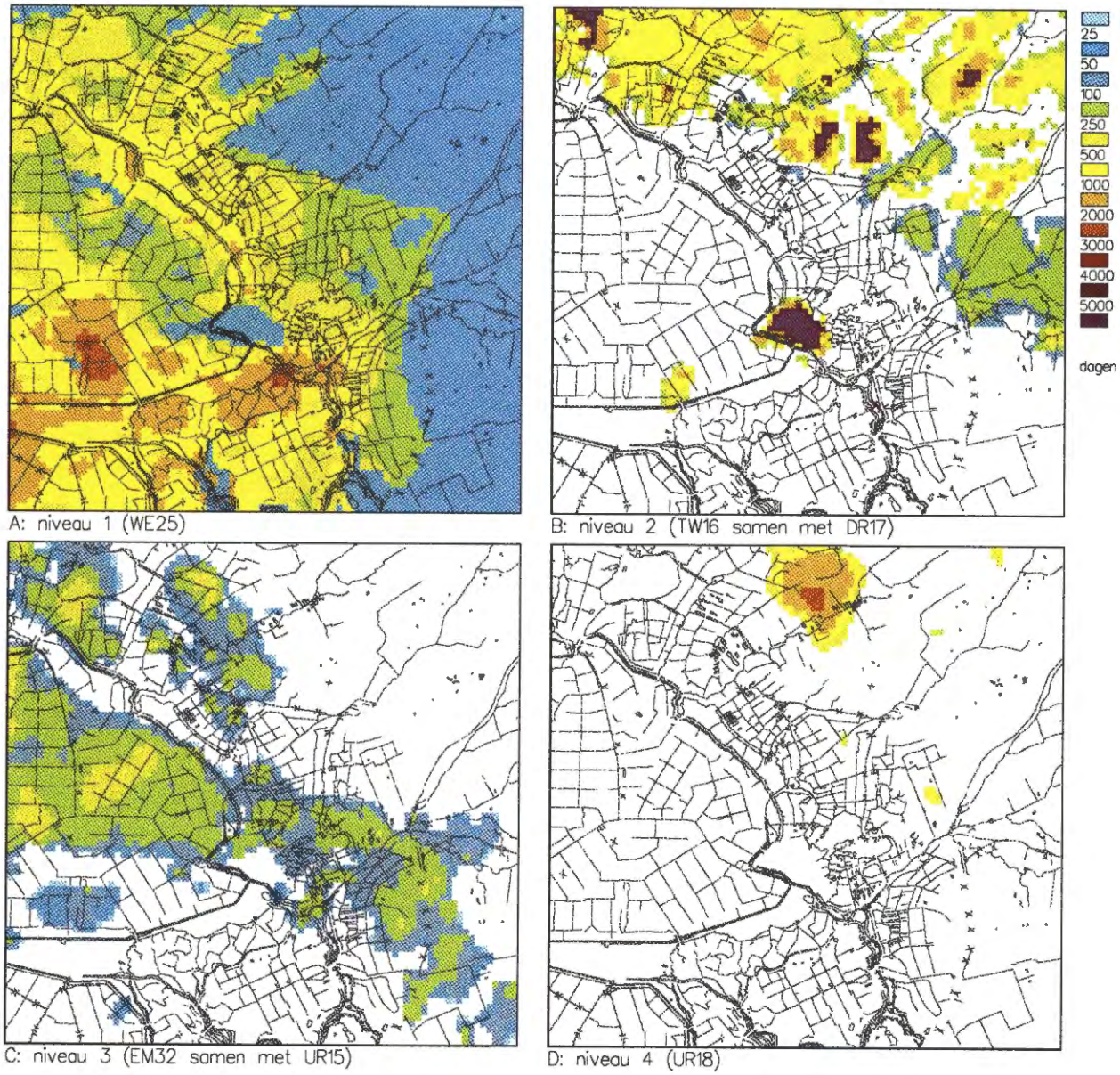
In de conductiviteit zit zowel de natte doorsnede als de intreeweerstand verwerkt. Voor de waterlopen waarvan de geometrie niet goed bekend is, is het moeilijk te bepalen of een wijziging in de waarde voor de conductiviteit moet worden toegeschreven een andere intreeweerstand of een andere geometrie of dichtheid van de waterlopen. Voor de waterlopen waarvan de geometrie wel redelijk bekend is, geldt deze beperking minder. In dit verband kunnen de volgende (gekozen) intreeweerstanden genoemd worden:
- over het algemeen: 1 dag,
- infiltrerende kanalen: 10 dagen,
- meren/open water: 25 dagen.

Merk overigens op dat de bandbreedte voor de conductiviteit overwegend tamelijk groot is.

Wellicht dat de bandbreedte van de parameters verder ingeperkt kan worden, en de keuze van de parameters meer expliciet gemaakt kunnen worden, indien er een verificatie wordt toegepast. Dit heeft echter alleen zin indien perioden met elkaar vergeleken kunnen worden waarin de stress op het grondwaterlichaam sterk verschilt.
Hiervoor zouden dan perioden met een sterk verschillend regime ten aanzien van bijvoorbeeld de oppervlaktewaterbeheersing, de grondwateraanvulling en/of onttrekking van grondwater geanalyseerd moeten worden. Deze aanzienlijke hoeveelheid meerwerk is verder achterwege gelaten.

De met de geselecteerde parameterwaarden verkregen ruimtelijke variatie in de transmissiviteit van de modellagen en de slecht doorlatende niveaus is weergeven in respectievelijk figuur 20 en 21.

Het verschil tussen de berekende en de gemeten stijghoogten is voor de geselecteerde parameterset en voor de verschillende watervoerende pakketten opgenomen in bijlage 2. Het gemiddelde absolute verschil tussen de berekende en de gemeten stijghoogten bedraagt circa 25 cm. Opgesplitst naar de watervoerende pakketten is dit verschil:
1^{e} watervoerend pakket: 31 cm,
2^{e} watervoerend pakket: 19 cm,



Figuur 21: resulterende c-waarde van de slecht doorlatende niveaus na calibratie.

3e watervoerend pakket: 19 cm.
Zoals te verwachten is de fout voor de diepere watervoerende pakketten geringer. Dit is voornamelijk het gevolg van een meer trendmatig verloop van de diepe stijghoogte. Deze is met de discretisatie van het model beter te beschrijven is dan de ruimtelijke veel meer variabele ondiepe grondwaterstand.

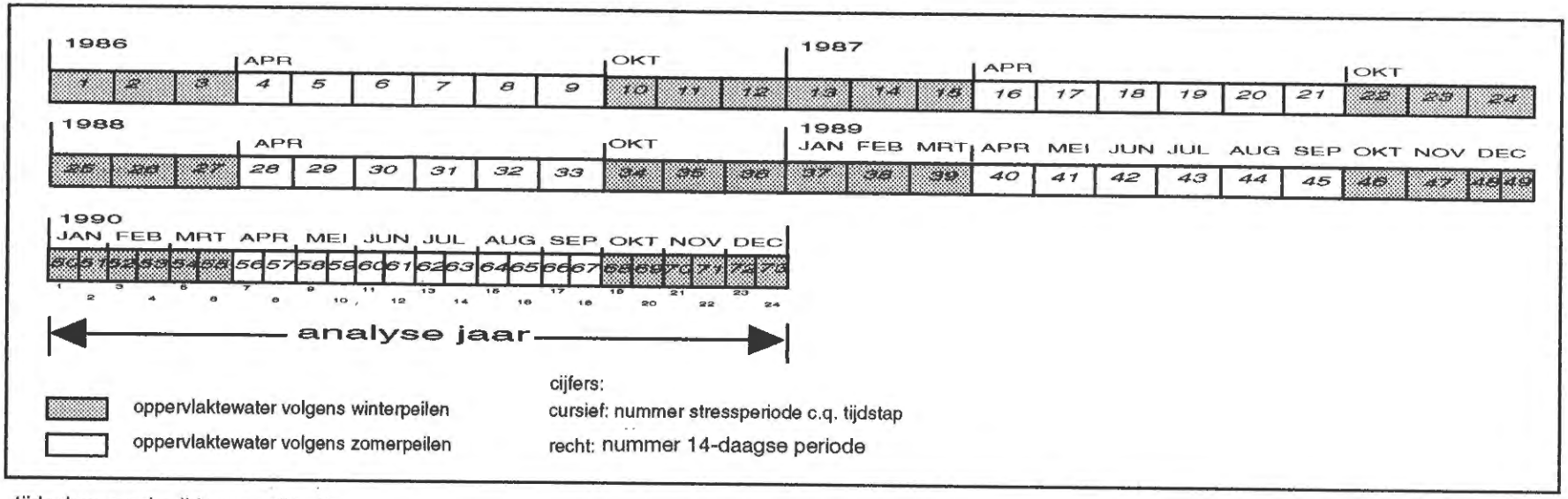
5.3 Calibratie van het niet-stationaire model

5.3.1 Opzet van het niet-stationaire model

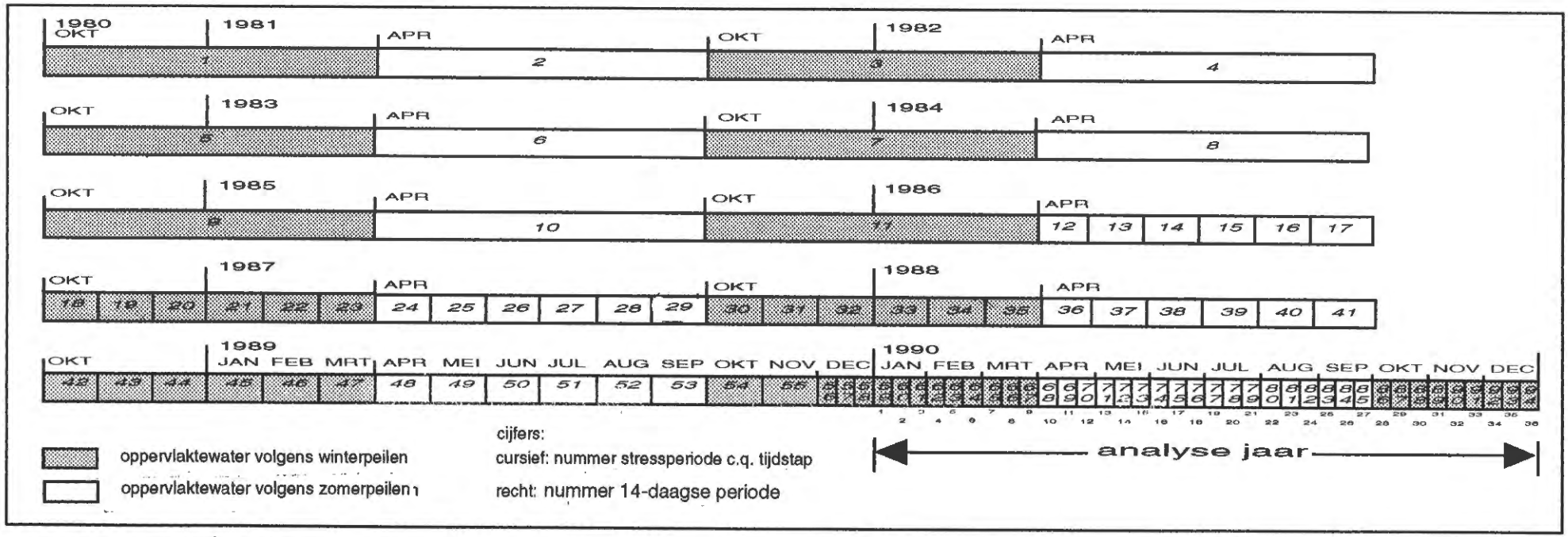
Het niet-stationaire model is afgeleid van het geijkte stationaire model. Dit houdt in dat de met het stationaire model geijkte parameters in het niet-stationaire model zijn overgenomen en verder als vaststaand zijn beschouwd (enkele uitzonderingen daargelaten, zie paragraaf 5.3.2). De niet-stationaire calibratie heeft zich geconcentreerd op het verkrijgen van een reële waarde voor de parameters die ten grondslag liggen aan de dynamische grondwateraanvulling en de freatische bergingscoëfficiënt (de bergingscoëfficiënt van modellaag 1). Zoals vermeld in paragraaf 4.3.2 is voor de bergingscoëfficiënt voor de diepere modellagen (2 t/m 5) een constante waarde van 10^{-4} aangehouden.

Het model is geijkt op het jaar 1990. Voor dit jaar zijn 24 stressperioden onderscheiden, bestaande uit elk 1 tijdstap. Aldus vallen de tijdstappen over het jaar samen met de stressperioden van het model. De stressperioden zijn afgestemd op het tijdstip van waarneming van grondwaterstanden die voor 14-daagse meetreeksen wordt aangehouden en lopen derhalve telkens van de 14e tot en met de 28e van de maand en van de 29e tot en met de 13e van de opvolgende maand. Voor elke stressperiode is de grondwateraanvulling dan wel verdamping berekend op de in paragraaf 4.6.1 omschreven wijze. Met betrekking tot de peilen in de waterlopen is een zomer- en een winterperiode onderscheiden. De winterperiode (met winterpeilen) loopt van 29 september t/m 28 maart en de zomerperiode (met zomerpeilen) van 29 maart t/m 28 september.

Als startwaarde voor de stijghoogteberekeningen zijn de berekenden stijghoogten van het stationaire model genomen. Aangezien deze gemiddelde stijghoogten niet de standen van een bepaalde tijdstap representeren en vanwege het feit dat door de traagheid van het systeem de invloed van de in principe foute beginvoorwaarden niet direct is verdwenen, is



tijdschema gebruikt voor calibratie



tijdschema gebruikt voor varianten

Figuur 22: schema van tijdstappen voor de niet-stationaire berekeningen.

voorafgaande aan het jaar 1990 een inrekenperiode ingevoerd. De inrekenperiode had in eerste instantie een lengte van 4 jaar (figuur 22). Tot en met de 11e maand van het vierde jaar zijn stressperioden van een maand gehanteerd. Vanaf de laatste maand van dit jaar zijn, conform het jaar 1990, stressperioden van 14 dagen aangehouden. Later is de inrekenperiode verlengd tot bijna 10 jaar (zie paragraaf 5.3.3).

Wat betreft de selectie van waarnemingsfilters ten behoeve van de niet-stationaire calibratie geldt als aanvullend criterium (op die genoemd in paragraaf 5.1) dat de waarnemingen moeten zijn verricht op of rond de data die voor 14-daagse waarnemingen gelden. Er is geen restrictie ten aanzien van het aantal waarnemingen in 1990, aangezien elke waarneming er in principe één is, zolang deze maar op of rond de vereiste data is verricht.

5.3.2 Calibratie van niet-stationaire parameters

Wegens de benodigde rekentijd en diskruimte is bij de onderhavige studie afgezien van een gevoeligheidsanalyse en Monte Carlo calibratie van de niet-stationaire parameters. Wel zijn op systematische manier parameters gevarieerd en gecombineerd. Uit de uitgevoerde berekeningen komt naar voren dat de berging van de bodem voor de lage gronden tendeert naar een lage waarde en voor de hoge gronden naar een hoge waarde. Dit reflecteert het feit dat de reactietijd van de grondwaterstand in het laaggelegen gebied zeer snel is en op de hoge gronden relatief hoog is (de reactietijd van het grondwater neemt kwadratisch toe met de afstand tussen de waterlopen). Met de waarden die zijn behandeld tijdens de niet-stationaire calibratie vertoonde het ijkcriterium weinig variatie. Heel vaag kan geconcludeerd worden dat voor de bergingscoëfficiënt voor de zand-, klei- en veengronden achtereenvolgens de waarden 0,15, 0,10 en 0,20 reëel zijn. Deze bevinding stemt redelijk overeen met de fysische werkelijkheid. De voor de niet-stationaire parameters gekozen waarden zijn samengevat in de tabel 5.
Hierbij kunnen de volgende opmerkingen geplaatst worden. De niveaus die de terugkoppeling met de verdamping regelen (sur en exd) zijn voor meren en open water op een hoge waarde gezet, zodat de verdamping aldaar altijd de maximale waarde heeft. Om dezelfde reden is voor de gewasfactor voor meren en open water een waarde van 1,0 aangehouden. Het model is nauwelijks gevoelig voor de stripwaarde. Deze waarden zijn om redenen die in de volgende paragraaf zullen worden besproken voor het gehele

Runno	Omschrijving wijziging	Uitw. opp./gr.water (10^6 m^3/j)		
		polders	boezem	netto
1	uitgangsrun	74	-31	43
2	weerstand veen WE25 200 ipv 100 d/m	63	-17	46
3	weerstand veen WE25 400 ipv 100 d/m	52	-3,3	49
4	weerstand klei/zand/veen WE25 250 ipv 500 d/m	60	-15	45
5	als 2 en 4 en afstrippen van neerslag geëlimineerd	77	-2,5	75
6	als 5, voor boezem: pwin=-0,80, pzom=-0,70 m.NAP	77	-2,7	74
Vanaf run 6 is standaard het afstrippen van de neerslag geëlimineerd en is pwin=-0,80, pzom=-0,70 m.NAP voor de boezem en is de weerstand van WE25 gehandhaafd op 250 m/dag. Van run 6 t/m run 17 is de halvering van de conductiviteit van de boezem gehandhaafd.				
7	conductiviteit voor boezem gehalveerd	89	-16	73
8	als 2 en 7	78	-2,2	76
9	als 8 en peil van polders (met peil < -0,8 m.NAP) binnen WS Vollenhove 10 cm naar beneden	81	-4	77
10	als 9, nu ook peil de boezem 10 cm naar beneden	79	-1,1	78
11	als 8 en neerslag 10% verhoogd	83	3	86
Aanpassing in programmatuur voor verwerking van neerslag en verdampingsgegevens (ontkoppeling pointers)				
12	als 11	87	8	95
13	ruimtelijke variërende neerslag (genorm. op Dedemsvaart)	82	1,4	82
Vanaf run 14 is de ruimtelijk variërende neerslag (genormeerd op Dedemsvaart) standaard				
14	stripwaarde voor zandgronden = 2,5 mm/d	78	-1,8	76
15	gewasfactor 0,75 ipv 0,80	85	5,3	90
16	neerslag 5 % verhoogd	87	6,8	94
17	weerstand klei/zand/veen WE25 300 ipv 500 dagen en weerstand dikke deel keileem (> 7,5 m) 1.000 ipv 10.000 d/m	81	1,7	83
18	conductiviteit boezem weer op oorspronkelijke waarde	81	1,5	83
19	conductiviteit boezem (uitgezonderd de hoofdwateren) met factor 0,8 aangepast	80	3,4	83
20	verdamping op meren op maximale waarde	80	-1,2	79
Vanaf run 20 is verdamping op meren maximaal standaard				
21	extinctie diepte 2,0 ipv 1,0 meter	76	-2,5	74
22	run met de geselcteerde parameterset	77	-3	74
23	als 22, na aanbrengen van laatste correcties in invoergegevens (heeft met name betrekking op hernieuwde bewerking neerslagreeks)	81	0,5	82

Tabel 6: overzicht van berekeningen en resultaten van de calibratie op fluxen.

gebied op de hoge waarde van 100 mm/d gezet.

Omschrijving	pointerwaarde	Geselecteerde waarde					
		fbc	gwf	bb	sw	sur	exd
zandgronden	1	0,15	0,80	100	100	0,30	1,70
kleigronden	2	0,10	0,80	10	100	0,30	2,00
veengronden	3	0,20	0,80	10	100	0,30	2,00
meren/open water	4	1,00	1,00	0	100	10,00	10,00

fbc = freatische bergingscoëfficiënt (-)
gwf = gewasfactor (-)
bb = berging bodem (mm)
sw = stripwaarde (mm/d)
sur = grondwaterstandsdiepte waarboven maximale verdamping optreedt (m-mv)
exd = extinctie diepte (m-voornoemd niveau)

Tabel 5: overzicht van geselecteerde waarden voor de niet-stationaire parameters.

Voor de geselecteerde parameterset bedraagt het gemiddelde absolute verschil tussen de berekende en de gemeten tijd-stijghoogte lijnen circa 28 cm. Opgesplitst naar de watervoerende pakketten is dit verschil:
1e watervoerend pakket: 35 cm,
2e watervoerend pakket: 21 cm,
3e watervoerend pakket: 23 cm.

5.3.3 Calibratie op fluxen

Omdat de met het model berekende uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater wordt doorgegeven aan het model ABOPOL, is het van belang inzicht te hebben in hoeverre de door het model uitgerekende uitwisseling de werkelijkheid benadert. Hiervoor zijn de flowtermen van/naar het polder en boezemwater geanalyseerd bij variërende parameterwaarde. Een overzicht van de uitgevoerde berekeningen is weergegeven in tabel 6. De rekenserie is enigszins verstoord doordat tijdens de calibratie nog een aantal kleine correcties in het model zijn aangebracht en de software op een aantal punten is gewijzigd. Deze discontinuïteiten zijn in de tabel aangegeven.

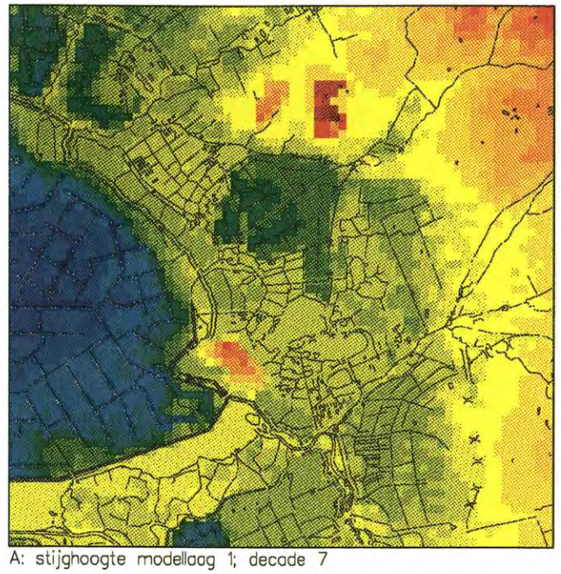
Het oppervlaktewater model rekent met decadecijfers. Ten behoeve hiervan is het tijdstappen schema voor het grondwatermodel aangepast (figuur 22). Tegelijkertijd is het tijdstappenschema aangepast voor de scenarioberekeningen (paragraaf 7). Om te voorkomen dat voor elk nieuw scenario telkens opnieuw de stationaire beginvoorwaarde moeten worden aangepast,

zijn de beginvoorwaarden van het oorspronkelijke (situatie 1990) model gehandhaafd. Ter compensatie is de inrekenperiode verlengd tot 9½ jaar. Hierbij zijn voor de eerste 5½ jaar stressperioden van een half jaar (zomer- en winter halfjaar) gehanteerd, vervolgens tot en met de elfde maand van het achtste jaar stressperioden van een maand en met ingang van december '89 decaden (figuur 22).

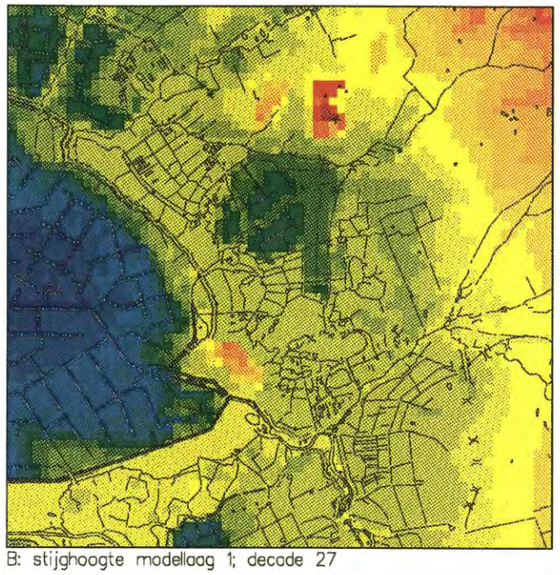
In tegenstelling tot de berekende stijghoogten blijkt dat de uitwisseling tussen grond- en polder- en boezemwater zeer gevoelig is voor de neerslag. Bij sommatie van de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater in de polders en in de boezem valt het effect van een variatie in de overige parameters hierbij vrijwel in het niet. De gevoeligheid voor de neerslag op zich is vanzelfsprekend wanneer in aanmerking genomen wordt dat deze direct de diverse volumestromen beïnvloed.
Indien de weerstand voor de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater op enige manier veranderd wordt, dan blijkt dat de uitwisselingsdebieten voor de polders en de boezem antagonistisch werken. Wat het ene compartiment door een weerstandsverandering wint of verliest, moet het andere compartiment weer opgeven. De variatie in de weerstand heeft wel een duidelijk effect op de uitwisselingsterm tussen grond- en oppervlaktewater binnen de compartimenten afzonderlijk.

Hoewel het afstrippen van neerslagwater, middels een manipulatie van de stripwaarde, voor de hoge gronden soms een verbeterd resultaat ten aanzien van de berekende stijghoogten oplevert (het simuleert de surface runoff voor neerslagintensieve perioden), levert de hantering van de stripwaarde ten aanzien van de aan polder- en boezemwater gerelateerde volumestromen een onderwaardering op. De reden hiervan is dat het afgestripte water uit de waterbalans van het model verdwijnt. Omdat het onderhavige model met betrekking tot de stijghoogte nauwelijks gevoelig is voor de stripwaarde, is deze voor het gehele gebied kwa werking uitgeschakeld.

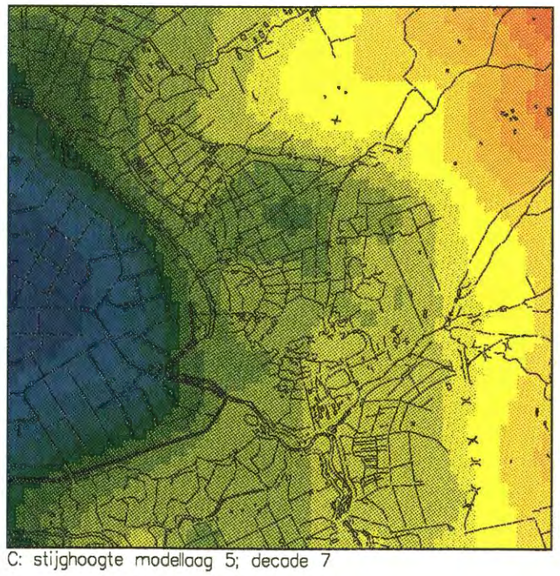
Met de uiteindelijk gekozen parameterset voor de niet-stationaire berekening wordt volgens het model vanuit de polder en de boezem voor het jaar 1990 circa 82 miljoen m^3 water uitgeslagen. Dit stemt redelijk overeen met de bevindingen met het oppervlaktewatermodel (Provincie Overijssel, in bewerking).



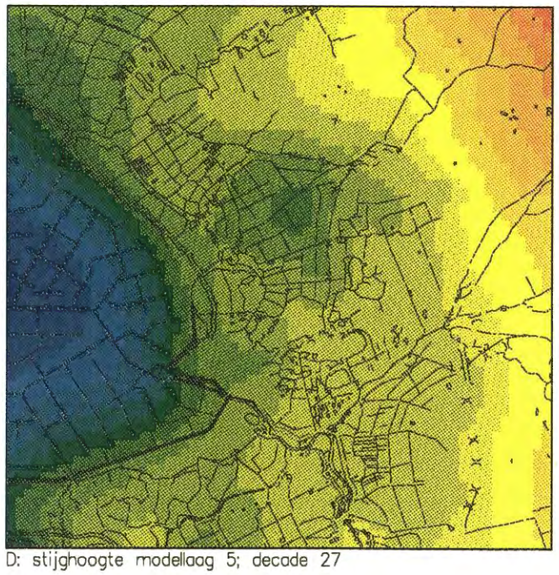
A: stijghoogte modellaag 1; decade 7



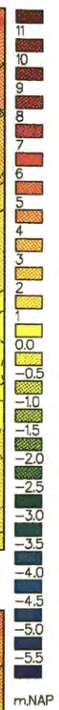
B: stijghoogte modellaag 1; decade 27

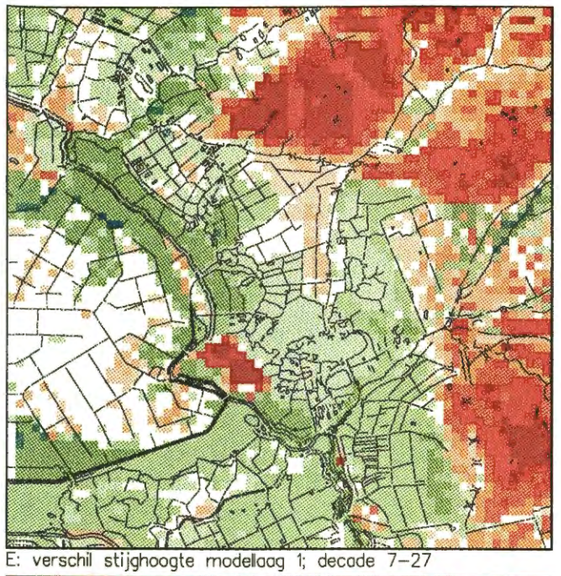


C: stijghoogte modellaag 5; decade 7

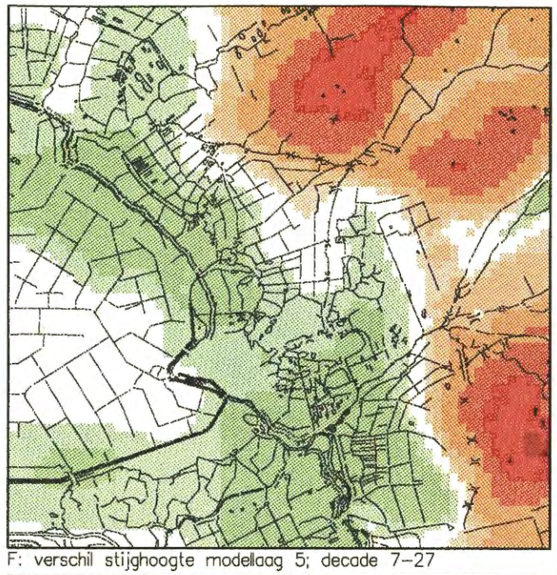


D: stijghoogte modellaag 5; decade 27

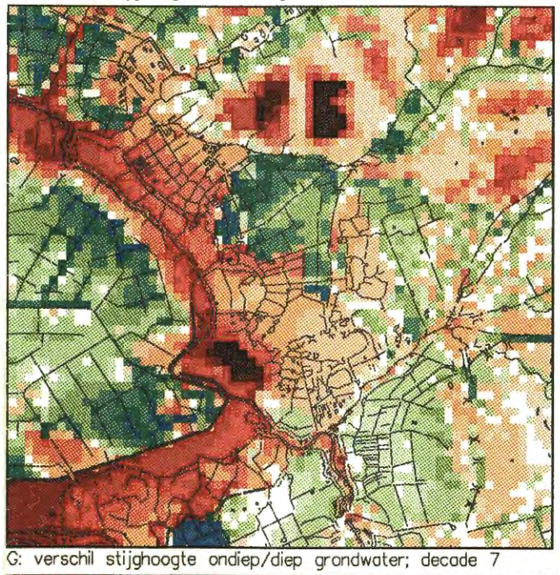




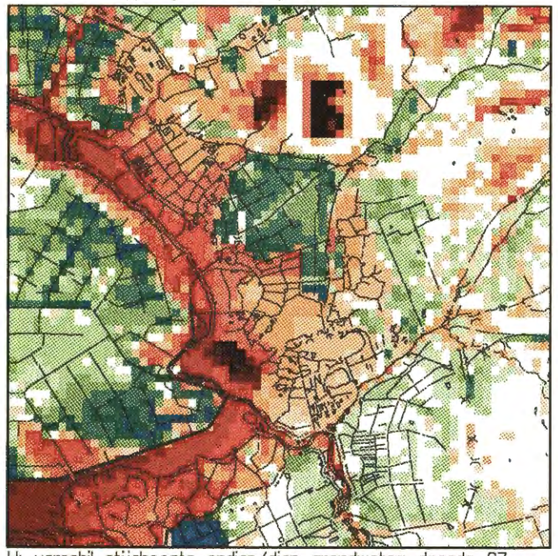
E: verschil stijghoogte modellaag 1; decade 7–27



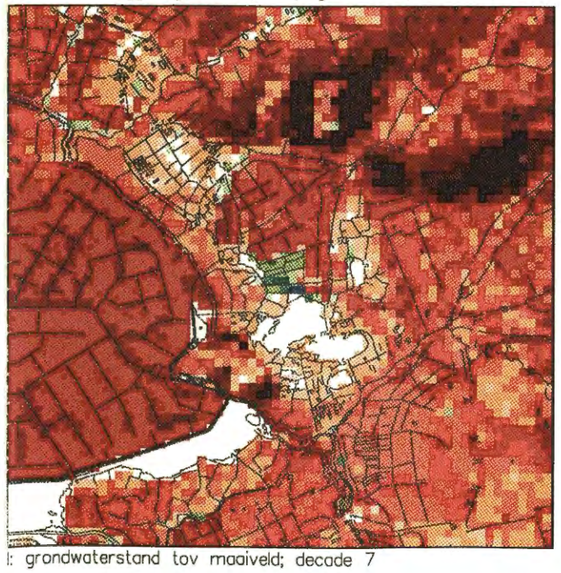
F: verschil stijghoogte modellaag 5; decade 7–27



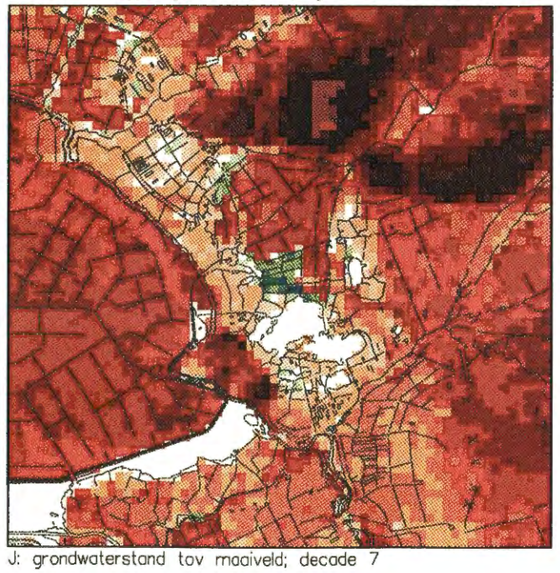
G: verschil stijghoogte ondiep/diep grondwater; decade 7



H: verschil stijghoogte ondiep/diep grondwater; decade 27



I: grondwaterstand tov maaiveld; decade 7



J: grondwaterstand tov maaiveld; decade 7

Figuur 23 : weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem I : stijghoogten

6. ANALYSE VAN HET (GEO)HYDROLOGISCHE SYSTEEM

6.1 Uitgevoerde berekeningen, dataverwerking en presentatievormen

Voor de beschrijving van het geohydrologisch systeem is de niet-stationaire berekening voor het jaar 1990 als uitgangspunt genomen. De toestand van het systeem en de dynamiek daarin is zichtbaar gemaakt middels een aantal figuren (23 t/m 33), die in de navolgende paragrafen zullen worden besproken.
Voor de meeste fenomenen zijn de figuren gemaakt voor twee tijdsmomenten: namelijk aan het einde van het natte en aan het einde van het droge seizoen. Voor het einde van het natte seizoen is decade 7 (begin maart) aangehouden. Dit is globaal het moment waarop de hoogste grondwaterstanden bereikt worden en de over all bergingsterm in de waterbalans van het gebied omslaat van een positieve (grondwateraanvulling) naar een negatieve (verdamping) waarde. Voor het einde van het droge seizoen is decade 27 (eind september) aangehouden. Volgens het model worden de laagste grondwaterstanden iets later bereikt. Echter, de wisseling van zomer naar winterpeilen in het oppervlaktewaterstelsel vindt plaats in decade 28, terwijl het wenselijk is de zomersituatie met de zomerpeilen nog actueel in beschouwing te nemen.
Voor een analyse van de flowtermen in het droge seizoen is het bereiken van de laagste grondwaterstand op zich minder relevant. Hiervoor is een periode met een hoge verdamping meer karakteristiek. Met betrekking tot de flowtermen is voor een representatie voor het droge seizoen dan ook tevens decade 22 (begin augustus; zomersituatie) geselecteerd.

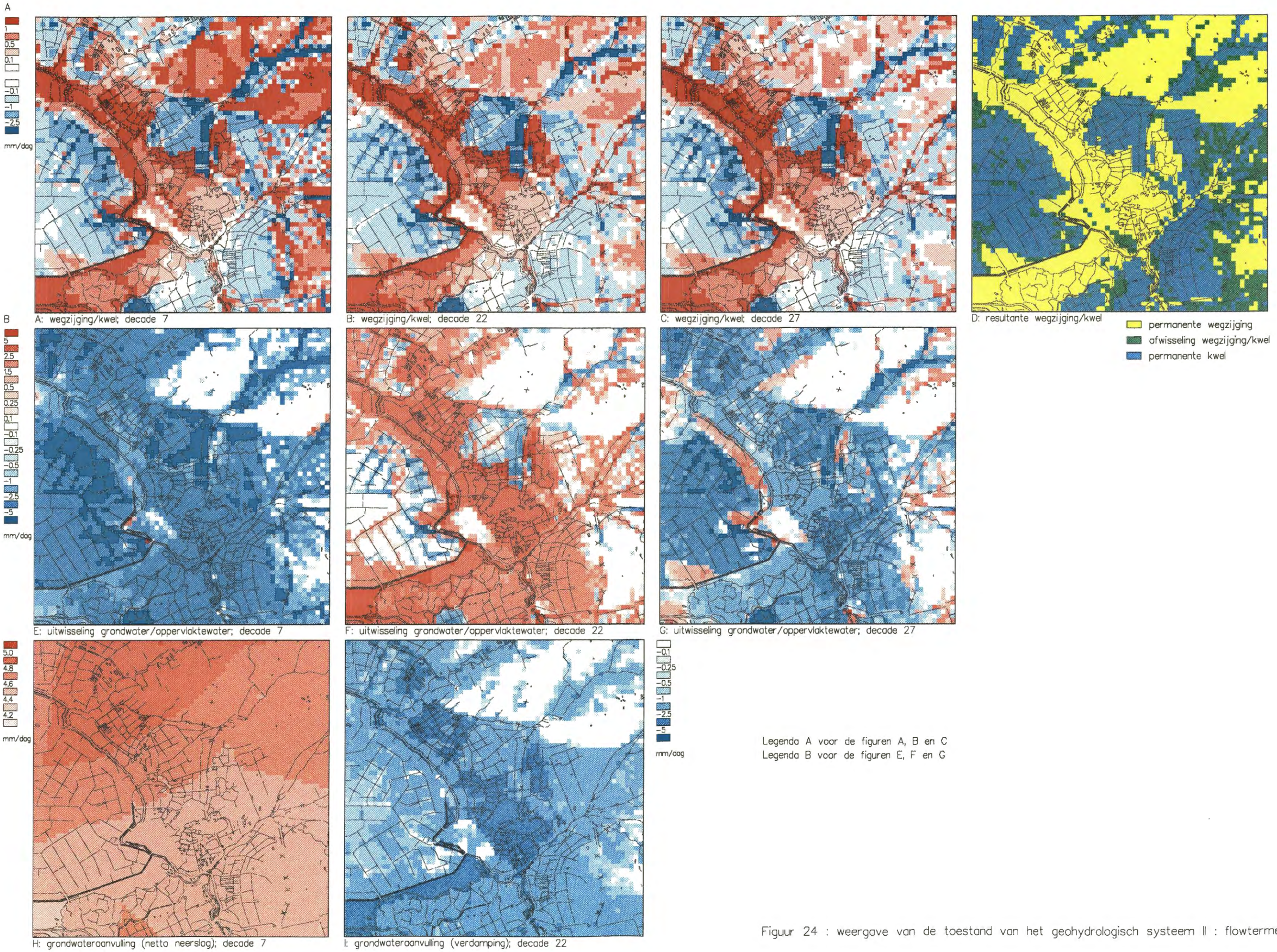
Het is mogelijk een plot te maken van de verblijftijd van het water langs de stroombanen. Aangezien dit wegens overschrijving van stroomlijnen tot enigszins verwarrende figuren leidt, is er voor gekozen de verblijftijd van de waterdeeltjes aan/vanaf het maaiveld weer te geven. In figuur 25a is de verblijftijd van het grondwater tussen infiltratie- en kwelpunt weergegeven. In deze figuur zijn tevens de (actuele, momentane) stroombanen opgenomen die starten vanuit de cellen waarin infiltratie optreedt (forward tracing). Al deze stroomlijnen hebben hun begin én eindpunt binnen het modelgebied. De stroombanen die hun beginpunt buiten het modelgebied hebben komen niet in het patroon van deze figuur voor. Figuur 25b geeft de ouderdom van het (boven de schaal van de gridcellen bestaande) kwelwater weer. Aan dit figuur zijn de

(actuele, momentane) stroombanen toegevoegd die hun eindpunt hebben in de cellen waar kwel optreedt (backward tracing). Onder deze stroombanen zijn er ook die hun beginpunt buiten het modelgebied hebben. Dit betreft met name stroombanen die in de kernen van de kwelgebieden eindigen. De voornoemde figuren zijn gebaseerd op het stationaire model.
In figuur 26 zijn het (actuele, momentane) stromingspatronen voor het einde van het natte (decade 7) en het einde van het droge seizoen (decade 27) opgenomen. De patronen zijn samengesteld uit zowel stroomlijnen, verkregen via forward tracing, als stroomlijnen, verkregen via backward tracing.

Een classificatie van stroomlijnen levert uiteindelijk de grondwatersystemenkaart (figuur 27). Het uitgangspunt voor de hydrologische systeemanalyse vormt het concept van Tóth (1963), Engelen (1984) en Engelen en Jones (1986), waarbij wordt uitgegaan van samenhangende, ruimtelijke eenheden (grondwatersystemen) waarbinnen de grondwaterstroming van wegzijgings- naar kwelgebied plaatsvindt. De grondwatersystemen kunnen naast elkaar, maar ook boven elkaar in de ondergrond voorkomen. De grondwatersystemenkaart is gebaseerd op zowel een analyse van zowel het stromingspatroon van het stationaire model als op een analyse van de stromingspatronen van het niet-stationaire model.

Voor de weergave van het chloride- ,sulfaat-, calcium-, magnesium- en nitraatgehalte in het grondwater (figuren 28 t/m 33) zijn vijf diepte intervallen onderscheiden. Dit zijn de delen van de ondergrond die zich bevinden:
- boven het EM32-niveau (ondiepe grondwater),
- tussen het EM32- en het UR15-niveau (diep grondwater),
- tussen het UR15- en UR18-niveau (diep grondwater),
- tussen het UR18- en TG31-niveau (diep grondwater),
- onder het TG31-niveau (zeer diepe grondwater).

Indien op een lokatie binnen een bepaald diepte interval in de verticaal en/of in de tijd meerdere waarnemingen voorkomen, is de gemiddelde waarde van deze waarnemingen weergegeven.
Tevens is in figuur 28 een compilatie van de verdeling van zoet en zoutgrondwater opgenomen (van Doorn & Speelman, 1984). Figuur 29 geeft, gebaseerd op geo-elektrische metingen, voor enkele lokaties binnen het onderzoekgebied de markante afwisseling tussen zoet en zout grondwater in de diepte weer (Senden, 1980).



Figuur 24 : weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem II : flowtermen

6.2 Grondwaterstanden en stijghoogten

Figuur 23 geeft de toestand van het geohydrologisch systeem ten aanzien van de berekende stijghoogten en bepaalde verschilwaarden daarin weer.

In figuur 23a en b is de berekende stijghoogte voor modellaag 1 weergegeven. Deze representeert min of meer de freatische grondwaterstand. Gezien de afmeting van de gridcellen van het model (500 x 500 m) is deze stand echter niet meer dan tot nauwelijks indicatief. De werkelijke freatische grondwaterstand wordt immers bepaald door fenomenen op lokale schaal, zoals variaties in maaiveldhoogte en dergelijke.
Wel is in dit figuur duidelijk de diepe ligging van de Polders Gelderingen, Wetering-Oost, Halfweg, Giethoorn en met name de Noordoostpolder, zichtbaar. Ook de freatische grondwaterstand in de polder van Nijeveen is relatief laag ten opzichte van die in de omgeving.
Ten noorden van Havelte komen relatief hoge freatische grondwaterstanden voor. Deze gebieden corresponderen met het voorkomen van keileem met een aanzienlijke dikte (> 7,5 meter), dat in het model een hoge c-waarde heeft meegekregen. Het werkelijk patroon van de c-waarde van de keileem, en daarmee het verloop van de freatische grondwaterstand, zal subtieler zijn, met meer geleidelijke overgangen. De freatische grondwaterstand vormt een nauwe afspiegeling van de subregionale tot bovenlokale verloop van de maaiveldhoogte.
De figuren 23c en d geven de berekende stijghoogte in modellaag 5 weer. Deze stijghoogte representeert het verloop van de stijghoogte in het diepe watervoerend pakket, van waaruit ook het meeste grondwater gewonnen wordt.
Dit patroon vormt min of meer een gladde weergave van het patroon van de grondwaterstand in modellaag 1. Alleen de echt diepe polders, die dermate sterk zijn dat deze een sturende werking op de diepe stijghoogte hebben, zijn in het patroon van de diepe stijghoogte nog zichtbaar. Dit zijn de Noordoostpolder en het complex van de Polders Gelderingen, Wetering-Oost, Halfweg en Giethoorn.

Figuur 23e toont het verschil in grondwaterstand in modellaag 1 tussen decade 7 ('voorjaarsstand') en decade 27 ('najaarsstand'). Hierin is duidelijk waarneembaar dat de standen op de hogere gronden in de loop van de zomer zakken, terwijl die in het lager gelegen deel van het onderzoekgebied gedurende de zomer juist stijgen of nauwelijks veranderen. De grondwaterstand in de lager gelegen gebieden is, zeker op de

schaal van het model, nauw gerelateerd aan het peil in het oppervlaktewater. Voor een groot deel van het lager gelegen gebied geldt dat de peilen zomers worden opgezet, waardoor de grondwaterstanden in de loop van de zomer mee omhoog gaan.
In figuur 23f is het zelfde verschil in grondwaterstand weergegeven, maar dan voor het diepe grondwater (modellaag 5). Ook hiervoor geldt weer dat de patronen van het diepe grondwater een gladder verloop hebben dan die van het ondiepe grondwater. In het diepe grondwater lijkt met betrekking tot het verschil in voor- en najaarsstand een zekere zonatie aanwezig te zijn met lagere grondwaterstanden in het najaar op het Drents Plateau, hogere grondwaterstanden in het najaar in een noordwest-zuidoost verlopende band en een zeer geringe variatie in een zone langs het Drents Plateau en de kern van de Noordoostpolder.

In figuren 23g is het verschil tussen de ondiepe grondwaterstand (modellaag 1) en de diepe grondwaterstand (modellaag 5) voor de voorjaarssituatie (decade 7) gepresenteerd; figuur 23h geeft hetzelfde weer, maar dan voor de najaarssituatie (decade 27). Het verschil tussen beide figuren is niet spectaculair. De verschillen in stijghoogte in de gebieden waar een dikke laag keileem (> 7,5 meter) voorkomt, kan volgens het model oplopen tot meer dan 5 meter (ondiep hoger dan diep). In de diepe delen van de polders lopen de verschillen tussen het diepe en het ondiepe grondwater plaatselijk op tot circa 1 meter (diep hoger dan ondiep). Het verschil in stijghoogte tussen het ondiepe en het diepe grondwater varieert in de Weerribben volgens het model tussen circa 0,2 meter (oostelijk) en circa 0,8 meter westelijk. Hierbij is de gradiënt naar beneden gericht, hetgeen wegzijging impliceert (zie ook figuren 24a, b en c en paragraaf 6.3).

De figuren 23i en j geven de grondwaterstandsdiepte ten opzichte van maaiveld voor respectievelijk de voor- (decade 7) en najaarssituatie (decade 27) weer. Voor deze figuren geldt nog sterker dan de figuren 23a en b dat deze slechts een beperkte indicatieve waarde hebben. Op een aantal plaatsen staat volgens het model de grondwaterstand boven het maaiveld. Dit betreft waarschijnlijk cellen waarvan de grondwaterstand in modellaag 1 sterk gekoppeld is aan een waterloop met een peil boven het maaiveld in de naaste omgeving (bijvoorbeeld boezemwater).

6.3 Wegzijging en kwel

De wegzijgings/kwel debieten zijn voor de overzichtelijkheid geclassificeerd tot een beperkt aantal klassen, namelijk een zwakke, middelmatige dan wel sterke wegzijging of kwel.
Daar waar de wegzijging de waarde van circa 1 mm/dag overschrijdt, is vermoedelijk (tevens) sprake van infiltratie van water vanuit het oppervlaktewater. De waarde van 1 mm/dag kan, voor wat langere periodegemiddelden, gezien worden als een maximale waarde voor wegzijging die geheel aan de neerslag toegeschreven kan worden. Een lage wegzijging wijst er op dat een deel van het geïnfiltreerde water door lokale drainage middelen wordt afgevoerd.
Doorgaans is de omvang van kwelgebieden geringer dan dat van wegzijgingsgebieden. Daarom lopen kwelintensiteiten over het algemeen hoger op dan wegzijgingsintensiteiten (tenzij er een zeer sterke infiltratie vanuit het oppervlaktewater voorkomt). De klasse-indeling met betrekking tot kwelintensiteit is dan ook verschillend van die van wegzijgingsintensiteit. Gebieden met een lichte kwel zijn kwetsbaar voor ingrepen in de waterhuishouding, aangezien bij verlaging van de diepe grondwaterstand een (netto) kwel tot neutrale situatie al snel kan omslaan in een (netto) wegzijgingssituatie.

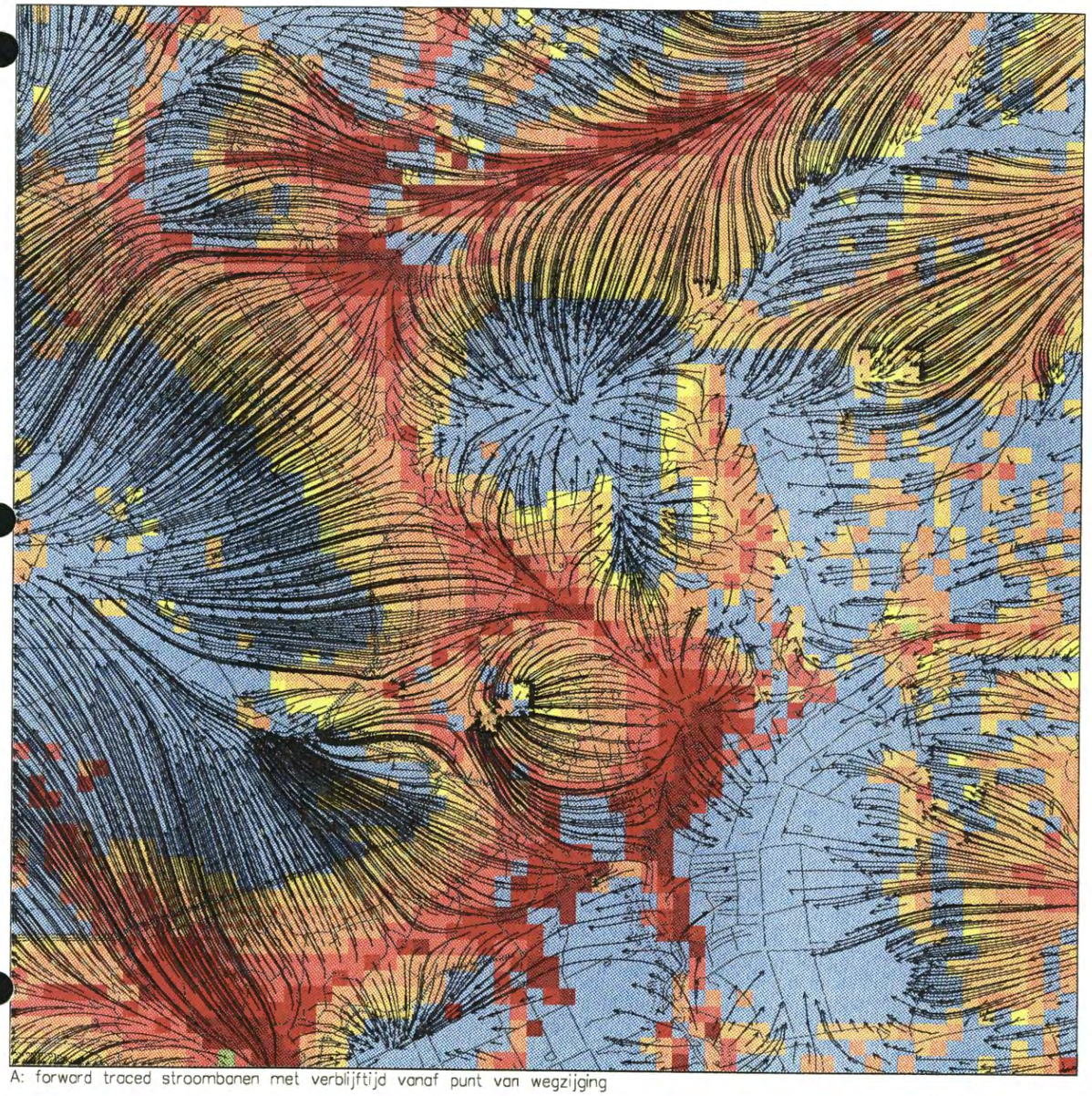
De wegzijging/kwel (flux door modelniveau 1) is voor de voor- (decade 7), de zomer- (decade 22) en de najaarssituatie (decade 27) weergegeven in respectievelijk figuur 24a, -b en -c. Op basis van deze figuren is figuur 24d samengesteld, dat de gebieden weergeeft waarbinnen achtereenvolgens permanente wegzijging, permanente kwel dan wel een afwisseling tussen wegzijging en kwel optreedt. Uit de figuren blijkt dat de ligging en omvang van de wegzijgings- en kwelgebieden in het lage deel van het gebied nauwelijks veranderen. In het hogere deel van het onderzoekgebied vindt op veel plaatsen in de loop van het hydrologisch jaar een afwisseling tussen wegzijging en kwel plaats.
Uiteraard zijn op de hoge gronden de wegzijgingsintensiteiten aan het einde van het droge seizoen lager dan aan het einde van het natte seizoen. De wegzijgingsintensiteit in het lager gelegen deel van het onderzoekgebied lijkt minder tijdsafhankelijk te zijn. Dit heeft te maken met het feit dat het hydrologisch systeem daar meer door het oppervlaktewater gestuurd wordt dan door de neerslag, zoals op de hoger gelegen gronden. De permanente aanvoer van water en de blijkbaar geringe peilverschillen tussen zomer en winter ten opzichte van het verschil in

stijghoogte tussen het ondiepe en het diepe grondwater buffert blijkbaar de wegzijgingsintensiteit.
De kwelintensiteit lijkt eveneens vrij constant te zijn in de tijd. De mate van stabiliteit van de kwel zal gerelateerd zijn aan de omvang van het grondwatersysteem waarvan het kwelgebied deel uitmaakt. Grote systemen hebben immers een hogere buffercapaciteit dan kleine, meer lokale grondwatersystemen. De tamelijk constante kwelflux manifesteert zich met name in de diepe polders en de beekdalen van betekenis op het Drents Plateau.

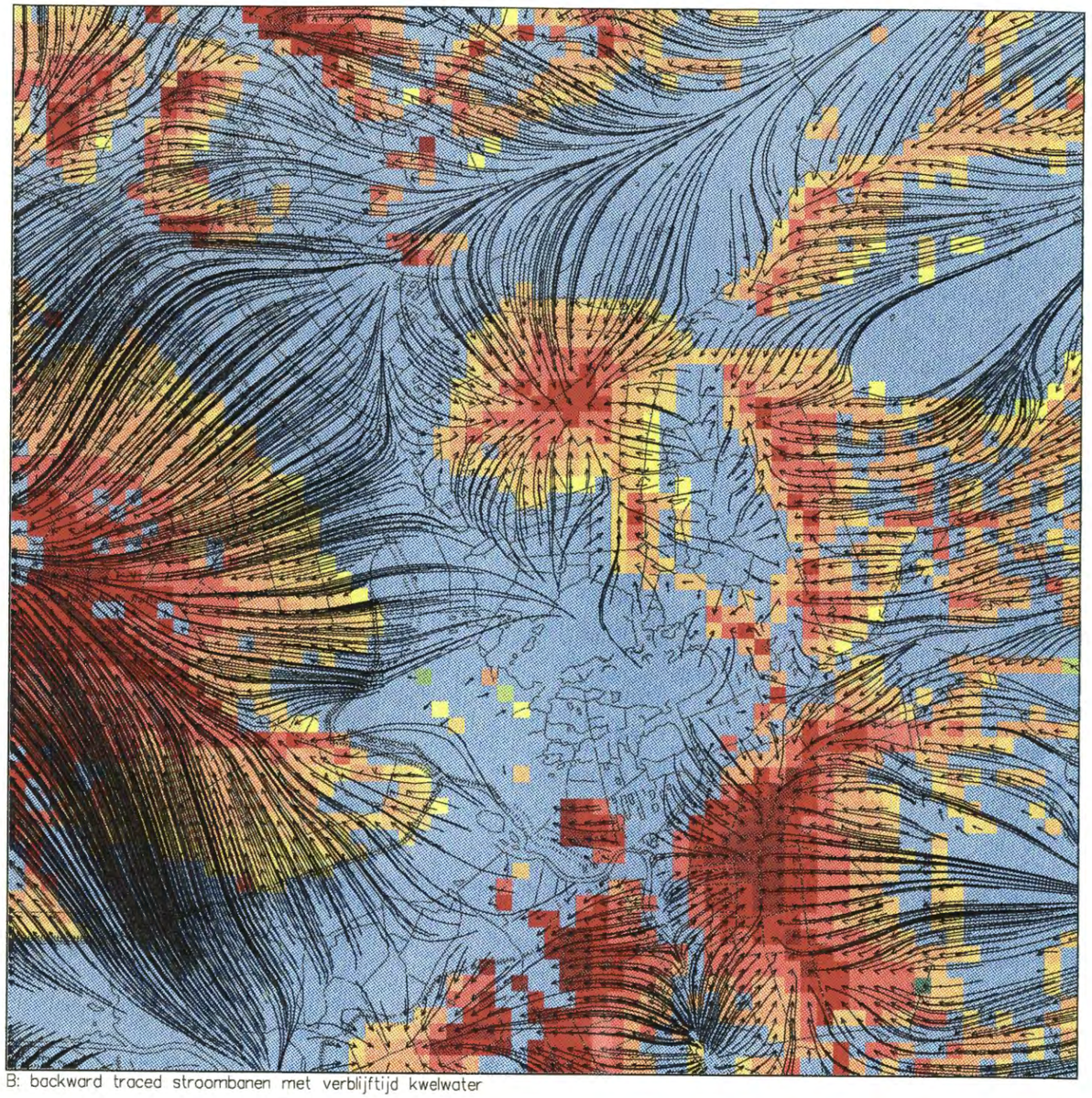
De situatie rond de Weerribben is vergelijkbaar met situaties die elders in en rond natuurgebieden rondom het Drents Plateau voorkomen (zie onder andere Hoogendoorn, 1989). Evenals bijvoorbeeld bij het Zuidlaardermeer is de peilverlaging binnen de Weerribben sterk achtergebleven bij de peilverlagingen die in de loop der tijd in de omringende gebieden zijn toegepast. Met als gevolg dat de Weerribben van een oorspronkelijk hydrologisch neutraal (dat wil zeggen geen wegzijging, noch of nauwelijks kwel) of zwak kwelgebied zijn veranderd in een wegzijgingsgebied. De Rottige Meenthe en De Wieden zijn hetzelfde lot beschoren. Volgens de modelberekeningen bedraagt de wegzijging in het oostelijk deel van de Weerribben enkele tienden mm/jaar, oplopend tot meer dan 1 mm/jaar in het westelijk deel.
Tussen de Weerribben en het aangrenzende hoger gelegen achterland bevindt zich nog een zone waarbinnen toestroming vanuit het diepere grondwater plaatsvindt.

In tegenstelling tot de voornoemde gebieden is dankzij de relatief hoger gelegen aangrenzende gebieden het hydrologisch neutrale tot zwakke kwel karakter in het gebied van de Olde Maten tot op heden bewaard gebleven. Kwelfluxen bedragen zowel in het voorjaar als het najaar enkele tienden mm/jaar. Voor zover er sprake is van een bovenlokale kwelcomponent vindt deze in het westelijk deel haar oorsprong in het Zwarte Water en in het oostelijk deel in het aangrenzende, relatief hoog gelegen gebied ten oosten van Staphorst. De kwelfluxen langs de randen van deze hoogte zijn iets hoger (oplopend tot 1 mm/jaar) dan in de aangrenzende laagte.

Volgens de modelberekeningen treedt er binnen het gehele gebied van de Weerribben (netto) wegzijging op. In het noord-oostelijke deel van de Weerribben bestaat er echter ondanks deze wegzijging nog een netto afvoercomponent naar het oppervlaktewater.



A: forward traced stroombanen met verblijftijd vanaf punt van wegzijging

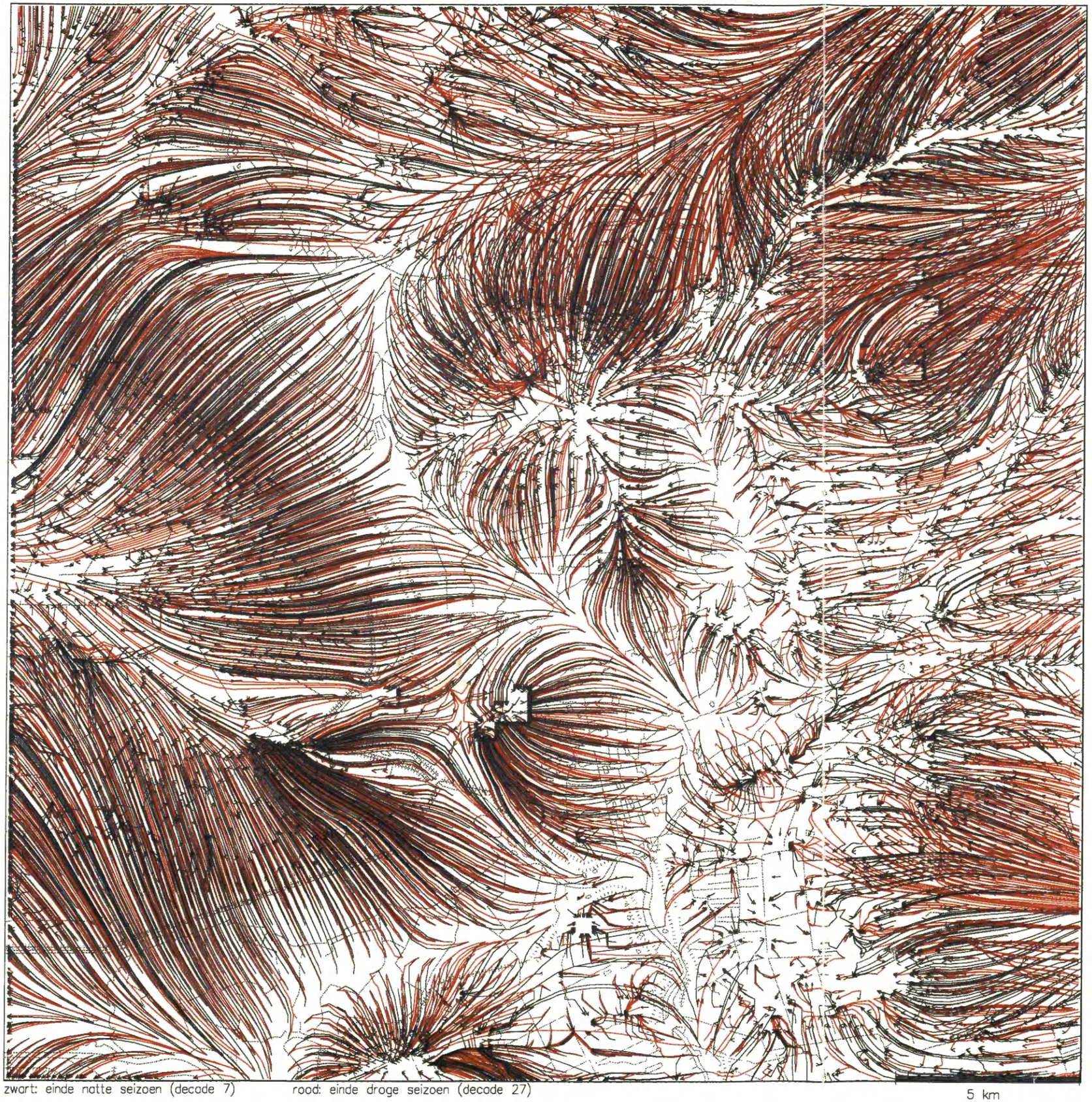


B: backward traced stroombanen met verblijftijd kwelwater

verbijftijd (jaren)

- wegzijgings- c.q. kwelgebied
- < 1
- 1 – 2.5
- 2.5 – 5
- 5 – 10
- 10 – 25
- 25 – 50
- 50 – 100
- 100 – 250
- 250 – 500
- 500 – 1000
- > 1000

Figuur 25 : weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem III : stromingspatronen



Figuur 26 : weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem III : stromingspatronen; b : actueel stromingspatroon volgens het potentiaalveld in repectievelijk de voor- en najaarssituatie

Dit betekent dat zich aldaar kleinschalige stromingspatronen met een lokale kwelcomponent kunnen ontwikkelen.

6.4 Uitwisseling grondwater-oppervlaktewater

De uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater is voor de voor- (decade 7) en najaarssituatie (decade 22) weergeven in de figuren 24e t/m g.
In het natte seizoen treedt er vrijwel nergens infiltratie vanuit het oppervlaktewater op. Dit in tegenstelling tot de droge periode decade 22 (half augustus), wanneer er een hoge afvoer van water middels verdamping plaatsvindt (vergelijk figuur 21h). Onder dergelijke omstandigheden is er alleen in de uitgesproken kwelgebieden nog sprake van afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater. De vrij uitgestrekte infiltratie van oppervlaktewater houdt relatief kort aan. Eind september (decade 27), wanneer de er al weer een (ruim) neerslagoverschot bestaat, vervult het merendeel van het oppervlaktewater al weer een drainerende functie. Met name op de noord-oostelijke rand van de Noordoostpolder en enkele relatief hoog gelegen gebieden in de Noordoostpolder vindt dan nog over vrij aaneengesloten gebieden infiltratie vanuit het oppervlaktewater op. Ditzelfde lijkt enigszins te gelden voor de randen van de hogere delen van het Drents Plateau.

Volgens de modelberekeningen treedt er binnen het gehele gebied van de Weerribben (netto) wegzijging op. Ondanks deze wegzijging bestaat er in de Weerribben gedurende het merendeel jaar nog een netto afvoercomponent naar het oppervlaktewater. De plaatselijk afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater betekent dat zich daar kleinschalige stromingspatronen met een lokale kwelcomponent kunnen ontwikkelen.

6.5 Neerslag en verdamping

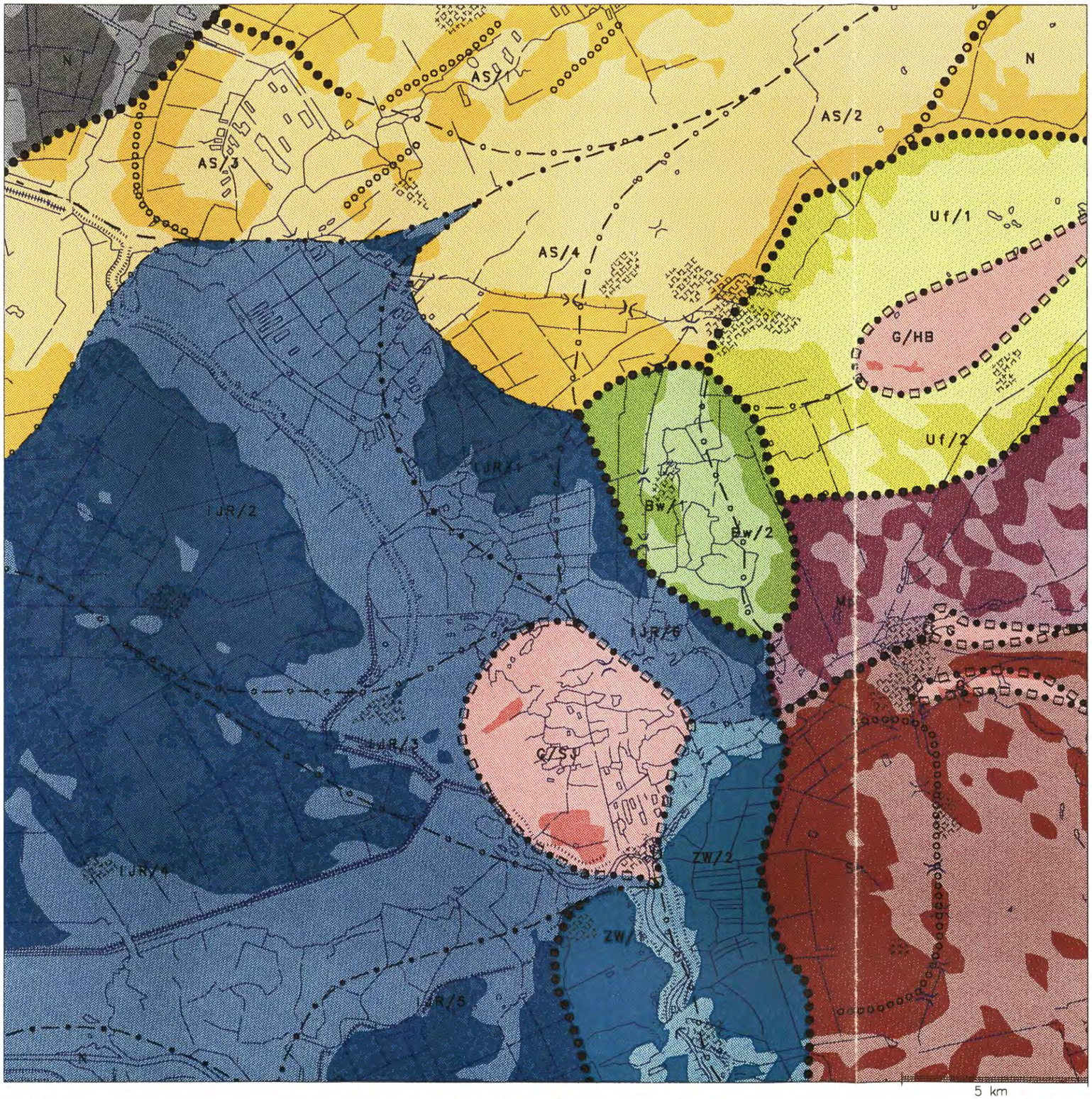
De grondwateraanvulling voor de voor- (decade 7) en zomersituatie (decade 22) zijn weergegeven in figuur 24h en 24i. Voor decade 7 is het neerslagoverschot nog positief. De ruimtelijke differentiatie die in de neerslag is aangebracht is in figuur 24h zichtbaar.

Voor decade 22 is de grondwateraanvulling negatief (verdamping). Het patroon van de verdamping is tamelijk onregelmatig, hetgeen een afspiegeling vormt van het feit dat de mate van onttrekking van grondwater

vanuit de verzadigde zone voor verdamping gerelateerd is aan de grondwaterstandsdiepte ten opzichte van maaiveld (paragraaf 6.2, figuur 23i en j). Daar waar diepe grondwaterstanden voorkomen (met name op de hoge gronden) is de verdamping vanuit de verzadigde zone gereduceerd tot 0. Alleen in de natte gebieden met een ondiepe grondwaterstand kan de verdamping op de maximale waarde voor de betreffende decade (rond 2,7 mm/d) gehandhaafd blijven.

6.6 Beschrijving van de grondwatersystemen

Met betrekking tot het gepresenteerde materiaal van het grondwaterstromingspatroon zijn een aantal kanttekeningen relevant. Ten eerste moet benadrukt worden dat de in de figuren 25 en 26 weergegeven stroomlijnen niet direct de stroombanen representeren waarlangs een grondwaterdeeltje zich daadwerkelijk beweegt. De stroomlijnen zijn in feite niets anders dan de raakkrommen die behoren bij de momentane snelheidsvectoren die actueel zijn voor de voornoemde tijdsmomenten. Een stroombaan ontstaat pas na integratie van de beweging van een waterdeeltje volgens de opeenvolgende, momentane snelheidsvelden over de tijd. Wel is het aan de hand van de actuele stroomlijnpatronen mogelijk een ruimtelijke compartimentering binnen het grondwaterlichaam vast te stellen, zoals die is vastgelegd in de grondwatersystemenkaart.
Wat betreft het kwelwater moet bedacht worden dat de ouderdom betrekking heeft op het (sub)regionale kwelwater, overeenkomstig de schaal (of beter: de resolutie) van het model. De ouderdom van lokaal gesuperponeerde (voor het model onzichtbare) grondwatersystemen binnen de kwelgebieden zal aanzienlijk geringer zijn. Verder moet gerealiseerd worden dat de verblijftijden gelden voor de patronen zoals die nu bestaan, onder de huidige randvoorwaarden. Juist in het onderhavige gebied, waarin het recente verleden aanzienlijke ingrepen in de waterhuishouding zijn gepleegd in de vorm van polderwerken, zijn de randvoorwaarden voor de vorming van grondwatersystemen aan sterke veranderingen onderhevig geweest. Het verband tussen het grondwater met een hoge leeftijd en het herkomstgebied zal daardoor wellicht anders zijn dan gesuggereerd in de gepresenteerde stromingspatronen. Een niet-stationaire, historisch reconstructie van het stromingspatroon is noodzakelijk om het werkelijk verband tussen het oudere grondwater, het herkomstgebied en de ondergrondse afgelegde weg te onderzoeken. Bij de nu heersende randvoorwaarden kan de verblijftijd van het grondwater oplopen tot meer dan 1000 jr. Dit water treedt met name in de kernen van de kwelgebieden aan de dag.



permanente, primaire systeemgrens

permanente uitgang hogere orde systeem

permanente systeemgrens:
wintersituatie primair,
zomersituatie hogere orde

dynamische systeemgrens:
wintersituatie uitgang hogere orde systeem,
zomersituatie afwezig

systeemgrens grondwaterwinning

hoofdwaterscheiding

waterscheiding

hogere orde waterscheiding

bebouwde kom

licht gekleurde gedeelte systemen: wegzijgingsgedeelte
donker gekleurde gedeelte systemen: gebieden met permanente kwel c.q afvoer

Systeemnamen:

AS = systeem van Appelscha tot Steenwijkerwold
- 1 = tak van de Lindevallei
- 2 = tak van de Eesveensche Wetering
- 3 = tak van de Grote Noordoost Polder
- 4 = tak van de Polder Gelderingen

IJR = Oostelijke IJsselmeerring systeem
- 1 = tak van de Polder Wetering
- 2 = tak van noord oostelijke Noord Oost Polder
- 3 = tak van het Voorster bos
- 4 = tak van de zuidelijk Noord Oost Polder
- 5 = tak van de Polder Mastenbroek
- 6 = tak van de Polder Giethoorn

ZW = systeem van het Zwarte Water
- 1 = tak van de Polder Mastenbroek
- 2 = tak van de Olde Maten

Bw = systeem van De Bovenwieden
- 1 = tak van de Polder Giethoorn
- 2 = tak van De Klosse

Uf = systeem van Uffelte
- 1 = tak van de Steenwijker Aa
- 2 = tak van Veendijk

Mp = systeem van Meppel

Sh = systeem van Staphorst

G = grondwaterwinningssystemen:
- G-SK = systeem van de winning Sint Jansklooster
- G-HB = systeem van de winning Havelter Berg

N = niet nader geidentificeerde systemen

Figuur 27 : weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem III stromingspatronen; c : grondwatersystemenkaart

Uit figuur 26 valt af te leiden de extensie van de (sub)regionale grondwatersystemen en de richting van de stroombanen onder de huidige condities vrij constant is in de tijd (hiermee wordt bedoeld: weinig seizoensafhankelijk). Dit is het gevolg van het feit dat de hoogten en laagten van het (sub)regionale peillandschap een vrij constante ligging hebben (vergelijk bijvoorbeeld de stijghoogtepatronen). In het noordoostelijk gelegen zandgebied is de ligging en superpositie van stromingssystemen in zekere mate tijdsafhankelijk, terwijl voor het hele zandgebied een zekere variatie in de stromingsrichting van het grondwater in de tijd is waar te nemen. Een sterke wisseling van stromingspatronen zal zich met name in het ondiepe grondwater voordoen.

Een korte karakterisering van het (sub)regionale grondwaterstromingspatroon en de daarin onderscheiden systemen is hierna weergegeven (figuur 27). Hierbij zij opgemerkt dat de grondwatersystemen zijn vernoemd naar wegzijgingsgebieden; de takken van deze systemen zijn vernoemd naar de kwelgebieden. Alleen de systemen van de hoogste schaal binnen het gemodelleerde deel van de ondergrond zijn benoemd.

Wat betreft de hoofd(grond)waterscheidingen in het gebied komen twee duidelijke hoofdlijnen naar voren. Een daarvan loopt rond het (voormalig) IJsselmeer. De andere loopt over een langgerekte rug die een onderdeel vormt van het Drents Plateau. De laatst genoemde waterscheiding heeft duidelijk een 'oorspronkelijk' karakter in die zin dat deze lijn de as vormt van een grondwatersysteem dat gerelateerd is aan de reeds lang bestaande geomorfologische kenmerken van het Drents Plateau. Het systeem omvat de rug die loopt van Appelscha tot aan Steenwijkerwold en is om deze reden het systeem 'van Appelscha tot Steenwijkerwold' genoemd. Ondanks de grote ruimtelijk omvang van dit systeem is deze duidelijk gecompartimenteerd, hetgeen wil zeggen dat er takken zijn met een verschillende uitgang voor het grondwater. Het betreft ondermeer de tak van de Lindevallei', de tak van de 'Eesveensche Wetering', de tak van de 'Polder Gelderingen' en de tak van de 'Noordoostpolder. De eerst genoemde takken hebben hun uitgang in (delen van) de beekdalen van het Drents Plateau, de laatst genoemden hebben hun uitgang in een van de polders die het Drents Plateau omringen.

De (grond)waterscheiding die rond het (voormalige) IJsselmeer loopt heeft een duidelijke antropogeen karakter. Deze merkwaardige waterscheiding is hier ontstaan doordat de oude kuststrook relatief hoog in het

landschap is komen te liggen. Deels is dit het gevolg van het feit dat de (voormalige) kuststrook tot relatief recente tijden door sedimentatie is opgehoogd en tevens tot op heden minder is ingeklonken. Veel belangrijker is echter dat de mens hier in de loop der geschiedenis de hydrologie van het gebied drastisch heeft gewijzigd in de vorm van diverse droogleggingen. Deze hebben zowel landinwaarts (b.v. de polders ten westen van Giethoorn, de polders bij Munnekeburen, polder Mastenbroek) als buitendijks (Noordoostpolder) plaatsgevonden. Het is niet uitgesloten dat een dergelijke waterscheiding een groot deel van het IJsselmeer omzoomd (uitgezonderd bij de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug), een reden om dit systeem het 'Oostelijke IJsselmeerringsysteem' te noemen. Ook dit systeem kent weer verschillende takken, elk met een min of meer karakteristieke uitgang voor het grondwater. Genoemd kunnen worden: de tak van 'de polder Wetering', de tak van 'de noordoostelijke Noordoostpolder', de tak van 'de zuidelijke Noordoostpolder', de tak van 'het Voorster bos', de tak van 'de polder Mastenbroek' en de tak van 'de polder Giethoorn'.

Ten zuid-westen van Ossenzijl snijden de waterscheidingen van het systeem van Appelscha tot Steenwijkerwold en van het IJsselmeerring systeem elkaar. Ten zuiden van dit snijpunt vormt de waterscheiding van het IJsselmeerring systeem een harde scheiding, hetgeen wil zeggen dat deze waterscheiding reikt tot aan de basis van het gemodelleerde deel van de ondergrond. Ten noorden van het snijpunt is deze waterscheiding van een hogere orde; het systeem van Appelscha tot Steenwijkerwold gaat hier onder het IJsselmeerring systeem door. Binnen de takken ten noorden van de waterscheiding van het systeem van Appelscha tot Steenwijkerwold zijn duidelijk een aantal subsystemen aanwezig. Een daarvan is een subsysteem dat de uitgang heeft in de Grote Veenpolder.

Naast de voornoemde grondwatersystemen zijn nog een aantal systemen te onderscheiden.
Evenals het systeem van Appelscha tot Steenwijkerwold is het systeem van 'Uffelte' geassocieerd met de geomorfologie van het Drents Plateau. Dit systeem omvat, althans binnen het gekarteerde gebied, twee takken, namelijk de tak van 'de Steenwijker Aa' en de tak van 'Veendijk'.

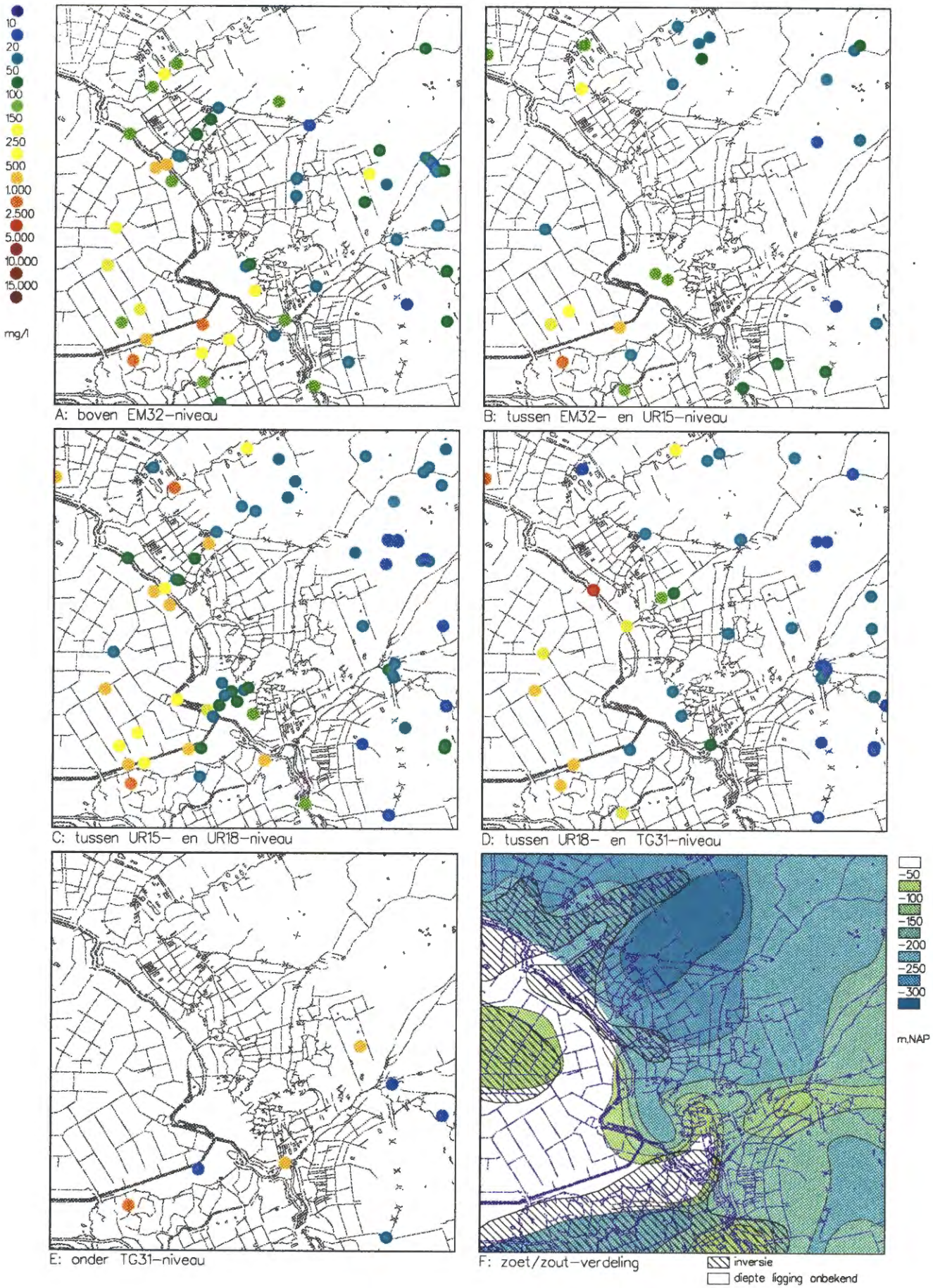
Het gebied rond Meppel vormt met betrekking tot het grondwater wel een min of meer afgesloten geheel, maar daarbinnen is geen duidelijke stroomrichting aan te geven. De grondwaterstroming binnen dit gebied

concentreert zich hoofdzakelijk binnen zeer kleinschalige systemen die met het gehanteerde modelgrid niet door het model waargenomen kunnen worden.
Ten zuiden van het systeem van 'Meppel' bevindt zich het systeem van 'Staphorst'.
Tussen Steenwijk en Meppel bevindt zich het systeem van 'De Bovenwieden'. Dit systeem heeft een vrij asymmetrisch patroon, met een relatief uitgestrekte westelijke helft, de tak van 'de Polder Giethoorn' en een compacte oostelijke helft, de tak van 'De Klosse'.
In het zuiden van het gebied bevindt zich tenslotte nog een markant systeem, namelijk het systeem van 'het Zwarte water'. Door het relatief hoge peil van het Zwarte Water en de relatief hoog gelegen aangrenzende oeverlanden, vormt deze rivier zelf de waterscheiding van dit systeem. Binnen dit systeem kunnen twee takken onderscheiden worden, namelijk de tak van 'de Polder Mastenbroek' en de tak van 'de Olde Maten'.

Binnen het onderzoekgebied komen twee grondwaterwinningen voor die een duidelijk waarneembaar patroon binnen het grondwaterstromingspatroon vormen. Dit zijn de winning nabij Sint Jansklooster en de winning nabij Havelte. Ten westen van Sint Jansklooster is de waterscheiding van het Oostelijke IJsselmeerringsysteem door grondwaterwinning in westwaartse richting verplaatst.
De verder over het gebied verspreid voorkomende grondwaterwinningen hebben een geringer onttrekkingsdebiet en zijn met het onderhavige model niet of nauwelijks in het stromingspatroon zichtbaar.
Merk overigens op dat de stromingspatronen, veroorzaakt door grondwaterwinningen, sterke gelijkenis vertonen met die veroorzaakt door diepe polders en dat bovendien het 'intrekgebied' van bijvoorbeeld de polders ten westen van Giethoorn aanzienlijk groter is dan het intrekgebied van de grondwaterwinningen. Hieruit, en uit de 'verlagingspatronen' van polders, kan geconcludeerd worden dat een polder van enige omvang kwa ingreep een groter effect heeft op het grondwater regime dan een grote grondwaterwinning.

6.7 Chemische samenstelling van het grondwater

Er bestaat een groot verschil in de chemische samenstelling van het grondwater in het westelijk en oostelijk deel van het onderzoekgebied.
In het westelijk deel heeft het grondwater een zout karakter (chloridegehalte > 150 mg/l), in het oostelijk deel domineert zoet grondwater-

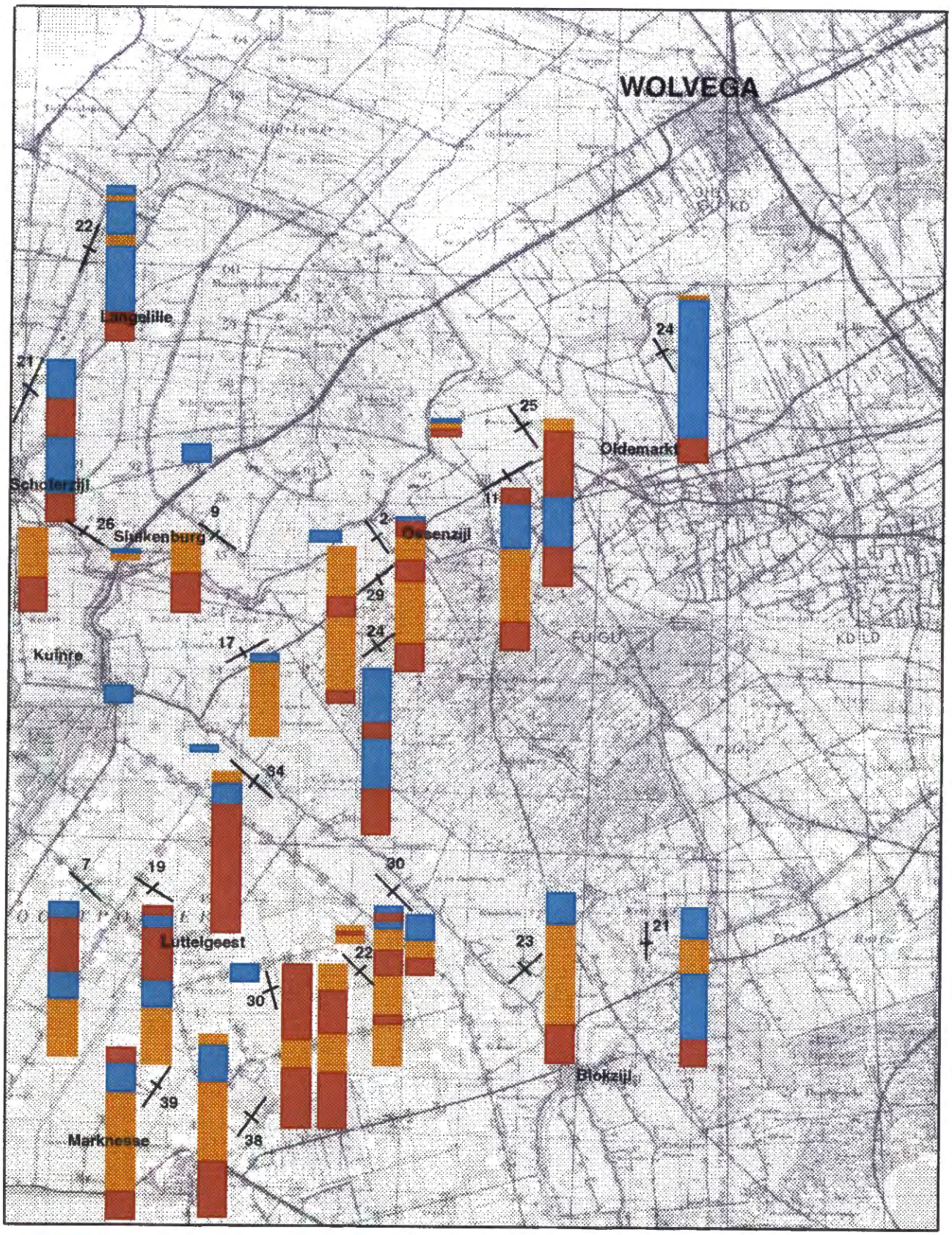


Figuur 28: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; a: chloride.

(chloridegehalte < 150 mg/l) (figuur 28f). De diepte van het zoet/zout-grensvlak varieert van nabij maaiveld in de Noordoostpolder tot meer dan 300 m-mv ten noorden van de Weerribben.

Als gevolg van de zich voortdurend wijzigende randvoorwaarden, eerst de Holocene transgressies, later de aanleg van diepe polders, is er, met name in het gebied van de voormalige Zuiderzee en de voormalige kuststrook, een complexe verdeling van zoet- en zout grondwater ontstaan. Grote delen van de van oorsprong met zoet water gevulde sedimenten zijn verzilt, maar verzoeten nu weer door een toename van infiltratie van zoet water. Door Gieske (1991) is voor het Zuiderzeegebied een paleoreconstructie gemaakt van de zoet/zout verdeling in de ondergrond en daarmee geassocieerd enkele aspecten van de chemie van het grondwater.
De mate van indringing van zeewater wordt ondermeer bepaald door de waterdoorlatendheidsverdeling van de ondergrond en de tijdsduur van overstroming. Daarnaast is het mogelijk dat zouten uit zeewater via diffusie het grondwater indringen (Volker, 1961). Doordat de verzilting met name van bovenaf plaatsvond, wordt op veel plaatsen in de voormalige kustzone zout water boven zoet water aangetroffen en/of is zoet water plaatselijk zelfs volledig ingesloten door zout water (inversie). Figuur 29 geeft voor een deel van het gebied de complexe verdeling van zout- en zout grondwater weer.
Volledig verzilt zijn de aquifers in het westelijk deel van het onderzoekgebied niet. Het chloridegehalte van het grondwater bereikt doorgaans waarden die de 2.500 mg/l niet overschrijden, hetgeen een factor 5 à 10 lager is dan het chloridegehalte van zeewater (19.000 mg/l). Het ten opzichte van zeewater relatief lage chloridegehalte is mede het gevolg van het feit dat de voormalige Zuiderzee zelf al een mengsel was van zeewater en rivierwater.

Naast fysische menging van zoet en zout grondwater treedt bij verzilting dan wel verzoeting ionwisseling met het sediment en/of organisch materiaal op. Verdringing van zoet door zout water gaat doorgaans gepaard met een relatieve afname van het natrium en magnesiumgehalte ten opzichte van het chloridegehalte en een relatieve toename van het calciumgehalte, terwijl een verdringing van zout door zoet water doorgaans gepaard gaat met een relatieve toename van het natriumgehalte ten opzichte van het chloridegehalte en een relatieve afname van het calciumgehalte. Hieraan parallel kunnen allerlei oplossings/precipitatie reacties, zoals bijvoorbeeld het oplossen/neerslaan van kalk, verlopen.



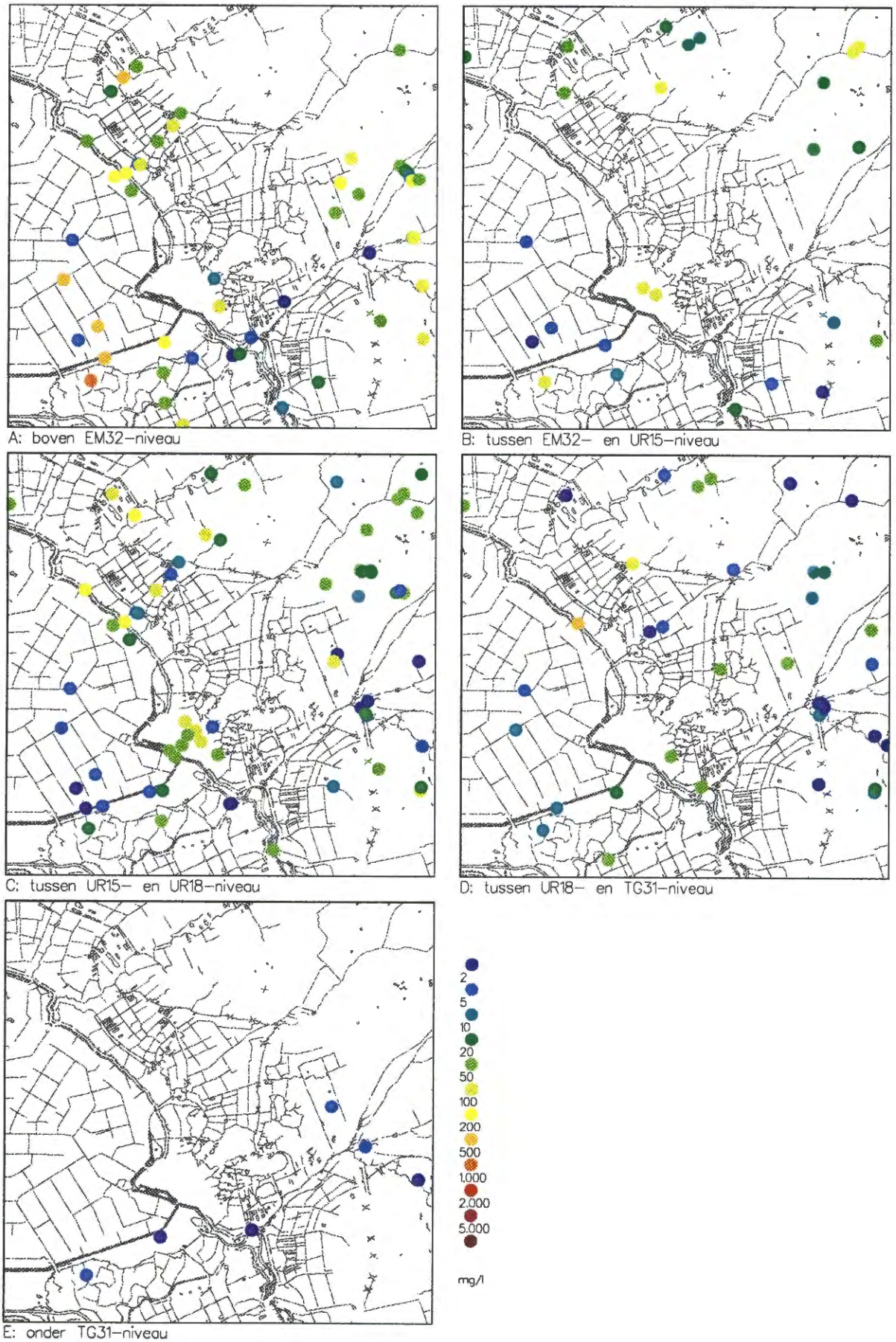
Figuur 29: weergave van de complexe zoet/zout verdeling op enkele lokaties.

Een uitgebreide beschrijving van de ionwisselingsprocessen en vervolgreacties de kunnen optreden is gegevens door Appelo et al. (1990), Beekman (1991) en Griffioen (1992).

Op veel plaatsen in de ondergrond verliest het ingedrongen zeewater sulfaat als gevolg van sulfaatreductie. Waar en wanneer dat precies optreedt is niet bekend. In het onderhavige gebied heeft dit blijkbaar ook plaatsgevonden, getuige de vaak lage sulfaatgehalten in het zoute deel van het gebied (figuur 30).

De chemische samenstelling van het infiltratiewater en de mate van evapotranspiratie bepalen de beginsamenstelling van het grondwater. In het westelijk deel van het gebied betrof het infiltratiewater, zoals hiervoor aangegeven, voor een niet onbelangrijk deel uit zeewater.
Onder terristische omstandigheden bestaat het infiltratiewater doorgaans uit regenwater en, afhankelijk van de verschillen tussen de grondwaterstand en het peil in de waterlopen, oppervlaktewater. In het lage deel van het oude land zal lateraal de samenstelling van het infiltratiewater sterk wisselen: van een oppervlaktewatersamenstelling daar waar infiltrerende waterlopen voorkomen, tot neerslagwater in de tussenliggende percelen. De doordringingsdiepte van het neerslagwater zal hierbij bepaald worden door de wegzijgings/kwel condities: neerslaglensvorming in kwelgebieden tot wegzijging van neerslag in wegzijgingsgebieden. Het zal duidelijk zijn dat in het laag gelegen deel van het onderzoekgebied, met een complexe historie aangaande de zoet/zout verdeling en de sterke huidige variatie in de samenstelling van het infiltratie water, de chemische samenstelling van het grondwater zich niet laat vastleggen door enkele incidentele waarnemingen.

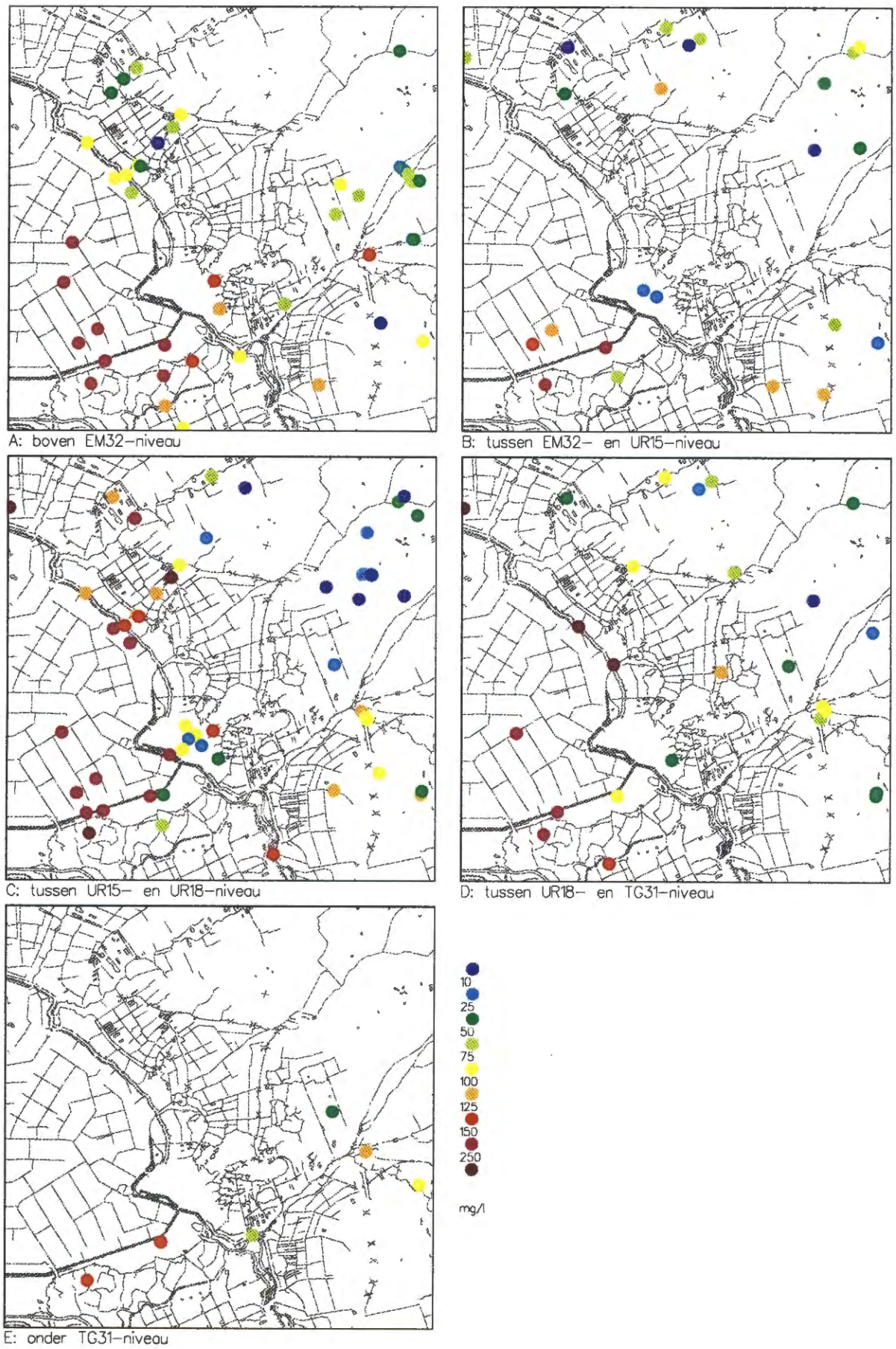
Op de hoger gelegen zandgronden domineert de infiltratie van regenwater. Al bij passage door de bodem ondergaat het infiltratiewater de eerste veranderingen. De CO_2-spanning in de bodem is enige tientallen malen hoger dan die van de atmosfeer, waardoor het net geïnfiltreerde grondwater een pH van 5 à 6 heeft. Wanneer er naast deze natuurlijke verzuring tevens sprake is van zure depositie, kan de pH dalen tot ver beneden de 5.
Calciumcarbonaat (kalk) neutraliseert zuur. Dit gebeurt zodra het grondwater kalk passeert. In kalkarme sedimenten en in (permanente) wegzijgingsgebieden, waar de kalk soms al tot grote diepte uitgeloogd is, behoudt het grondwater veelal het zure karakter tot ver in de



Figuur 30: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; b: sulfaat.

afstromingsrichting. Op de zandgronden van het Drents Plateau worden lage calciumgehalten (< 10 mg/l) nog tot een diepte van circa -40 m.NAP aangetroffen (figuur 31). Sinds de dertiger jaren wordt op landbouwgronden de pH van het bodemwater echter gereguleerd door kalktoevoeging, terwijl ook vele meststoffen een zekere hoeveelheid kalk bevatten. In dergelijke gebieden zal het calciumgehalte direct in de bodem al aanzienlijk stijgen.
Uiteindelijk wordt het infiltratiewater kwelwater. De pH en het calciumgehalte van het kwelwater zal voor een belangrijk deel bepaald worden door de mate waarin het grondwater in de bodem en ondergrond in contact is geweest met kalk. Hierbij zal algemeen gelden dat naarmate het water een langere ondergrondse weg heeft afgelegd, de kans dat dit water kalk heeft gepasseerd hoger is.
Het chloridegehalte van net geïnfiltreerd grondwater bedraagt na evapotranspiratie doorgaans niet meer dan 20 mg/l. Door het conservatieve chemische gedrag van chloride blijft dit gehalte in de afstromingsrichting vrijwel constant. De chloridebelasting van het grondwater is de afgelopen eeuw toegenomen als gevolg van een toename van depositie en bemesting. Voor zover uit de schaarse gegevens valt af te leiden zijn, zowel het calcium- als het chloridegehalte van het ondiepe grondwater in de Drentse zandgronden verhoogd.

Naast een stijging van de zuurgraad van het grondwater door de reactie met kalk, zorgt de afbraak van organisch materiaal voor een daling van de redoxpotentiaal. Hierbij worden verschillende oxydatie-reductie stadia doorlopen, waarbij diverse redoxreacties optreden in een min of meer vaste volgorde. De meest voorkomende oxydatoren in het grondwater zijn, in volgorde van hun werkzaamheid, zuurstof, mangaanoxyde, nitraat, ijzer(III)hydroxyde, sulfaat en (zuurstofhoudende) koolstofverbindingen. In sedimenten die rijk zijn aan organisch materiaal (zoals bijvoorbeeld veen) volgen de verschillende reductiestadia elkaar over korte afstand (meters) op. In sedimenten waarin weinig oxydeerbaar organisch materiaal aanwezig is, kan de redoxpotentiaal echter relatief hoog blijven tot ver in de afstromingsrichting. Niet altijd is de overgang van het ene naar het andere reductie stadium even duidelijk en voorspelbaar. Bacteriën vormen hierin een belangrijke factor. Nitraat verdwijnt (onder ongestoorde condities) relatief snel en ogenschijnlijk abrupt uit het grondwater, waarbij vrijwel synchroon het water door reductie van ijzerverbindingen (voornamelijk (hydr)oxyden) ijzerhoudend wordt. De reductie van sulfaat, die onder daarvoor gunstige condities opvolgend



Figuur 31: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; c: calcium.

plaatsvindt, verloopt veel geleidelijker en vindt ook lang niet altijd waarneembaar plaats.
Binnen het studiegebied zijn alleen in het ondiepe grondwater nitraatgehalten van betekenis aangetroffen. Op grotere diepten wordt ook vrijwel geen sulfaat meer aangetroffen.

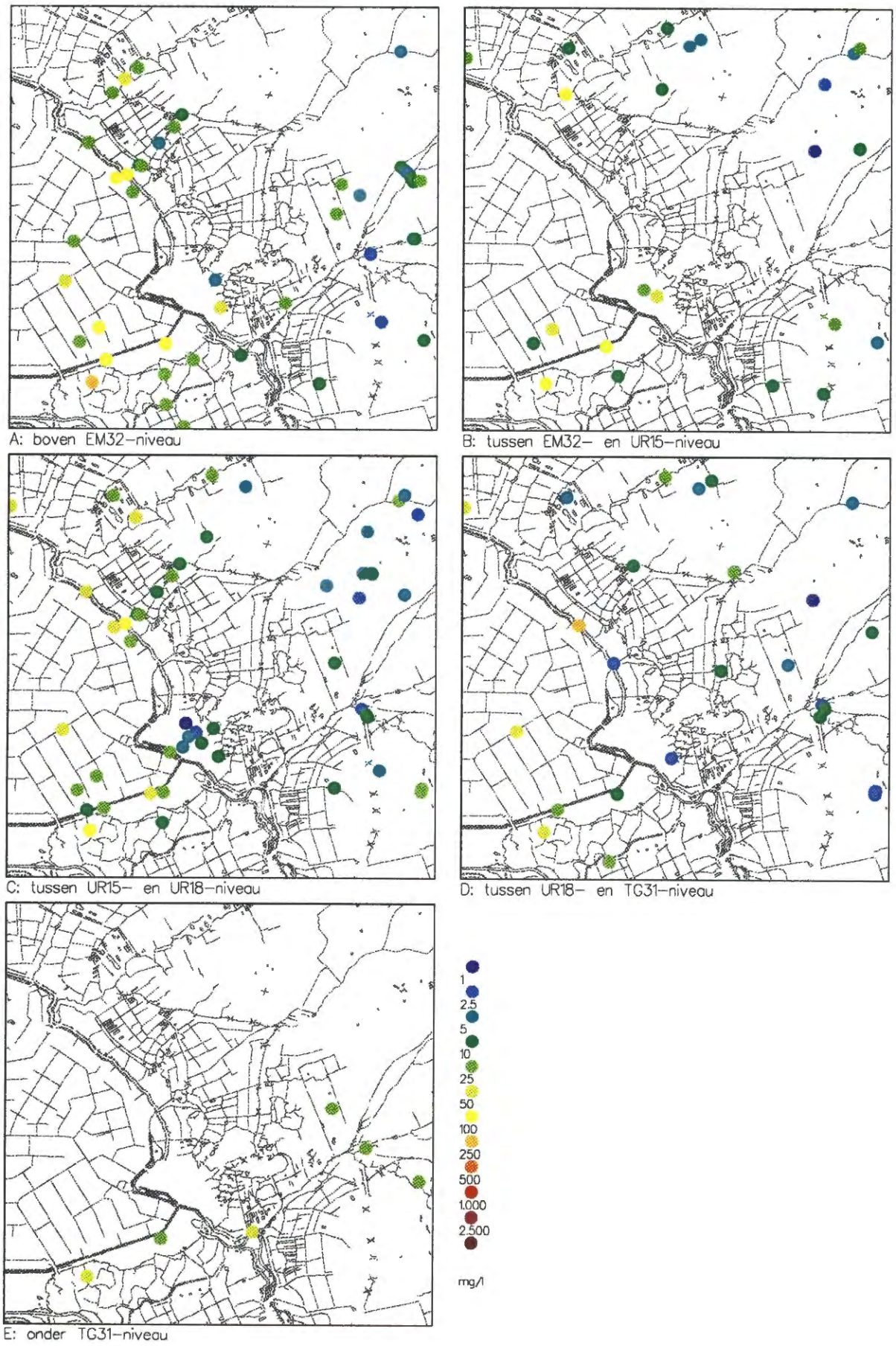
De hiervoor beschreven processen vinden overigens ook plaats indien het infiltratiewater oppervlaktewater betreft.

6.8 Effecten van ingrepen op het hydrologisch systeem

De mens heeft op verschillende manieren in het geohydrologisch systeem ingegrepen. De belangrijkste zijn wel de aanleg van diepe polders en de winning van grondwater ten behoeve van drinkwater en industrie. De analyse van de ingrepen beperkt zich vooralsnog, traditiegetrouw, tot het effect van de grondwaterwinningen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Een analyse van het effect van de aanleg van de Noordoostpolder en de polders Gelderingen, Wetering-Oost, Halfweg en Giethoorn zou wellicht even interessant zijn, maar is om praktische en budgettaire redenen achterwege gebleven. De reden van deze asymmetrische belangstelling voor ingrepen in het geohydrologisch systeem is mogelijk dat manipulatie met pompstations als gemakkelijker wordt ervaren dan manipulaties met de verdeling tussen land en water. Overigens worden bij de sectorvarianten (hoofdstuk 7) het effect van ingrepen in de waterhuishouding wel doelbewust nagestreefd en geëvalueerd.

Een ingreep in het geohydrologisch regime uit zich op drie duidelijk waarneembare wijzen, namelijk:
- een verandering in de grondwaterstand,
- een verandering in het wegzijgings/kwel patroon,
- de vorming van een grondwatersysteem waarvan de putten de uitgang van het systeem vormen.

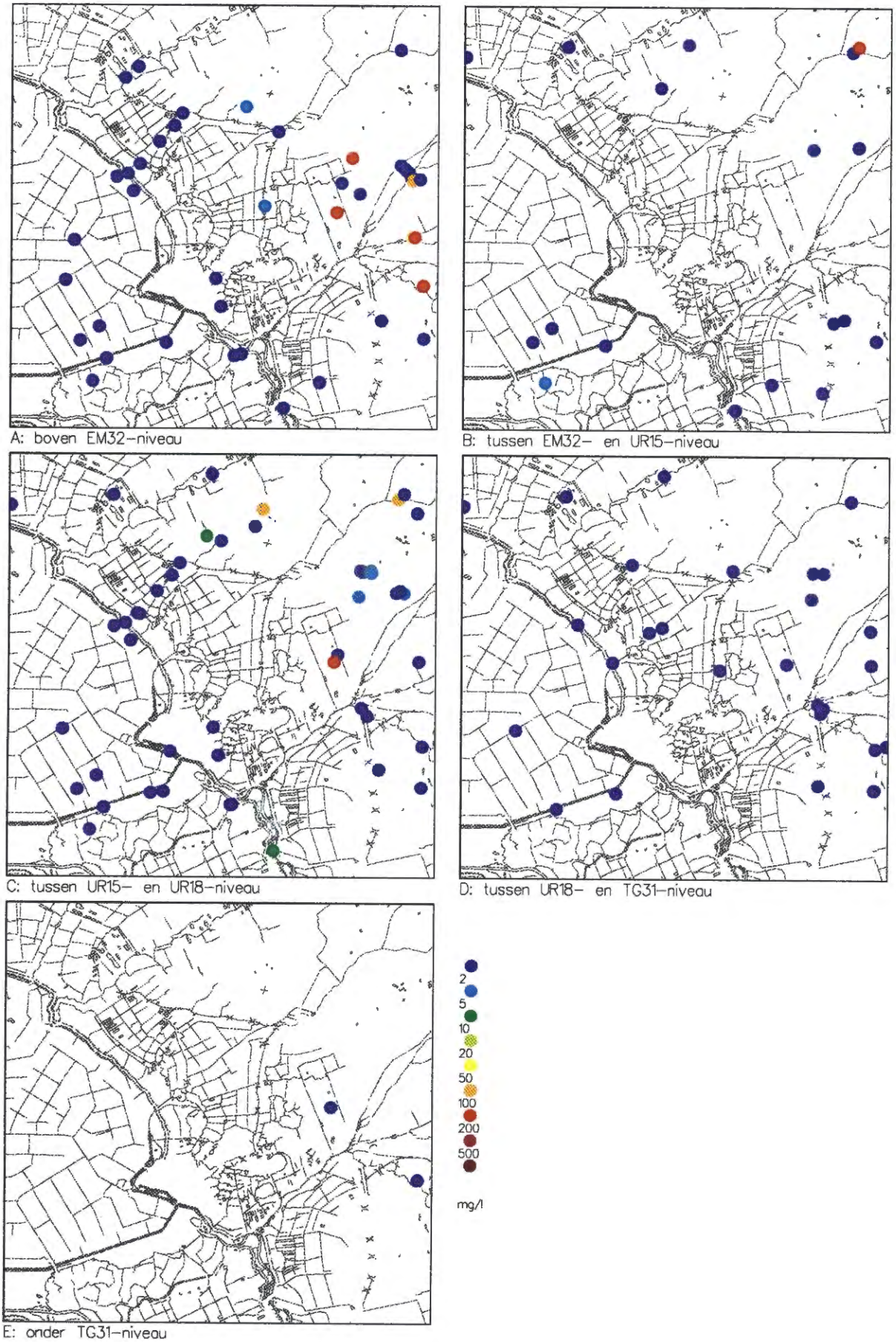
Het verlagingspatroon van de winningen Sint Jansklooster, Havelte/Havelterberg en Staphorst zijn voor het ondiepe (modellaag 1) en diepe grondwater (modellaag 5) en voor de voor- (decade 7) en najaarssituatie (decade 27) weergeven in de figuren 34a t/m 34d. De verlagingskegels die in het diepe grondwater door de winningen worden veroorzaakt hebben voor de pompstations Sint Jansklooster en Havelte/Havelterberg een doorsnee van circa 8 kilometer. Het verlagingspatroon van het pompstation



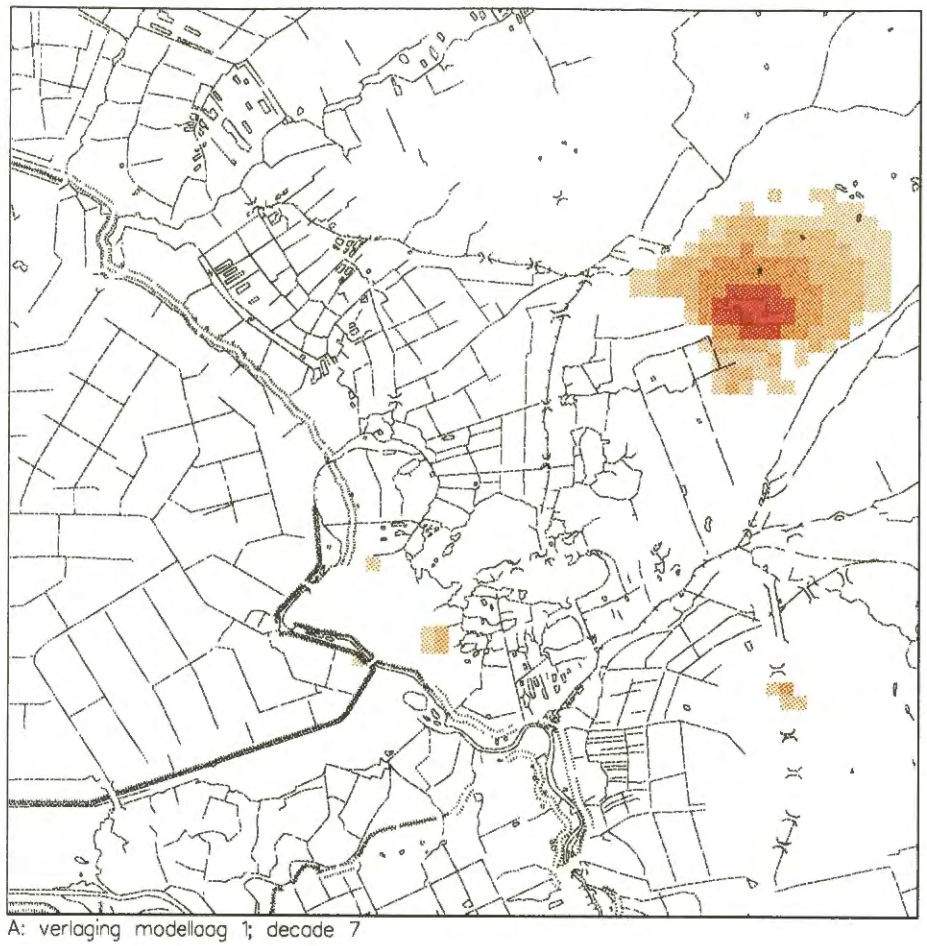
Figuur 32: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; d: magnesium.

Staphorst is op de schaal van de studie niet erg manifest. In het ondiepe grondwater is het verlagingspatroon van pompstation Sint Jansklooster nauwelijks meer terug te vinden. Dit is het gevolg van de natte condities die in het gebied rond Sint Jansklooster heersen. Deze conclusie geldt overigens weer voor de schaal van het model. Niet uitgesloten is dat in de percelen tussen de waterlopen wel een substantiële verlaging in het ondiepe grondwater aanwezig is. De verlaging van de winning Havelte/Havelterberg is op de hogere gronden ook in het ondiepe grondwater duidelijk aanwezig. In het nattere, aanliggende poldergebied is de verlaging, evenals bij het pompstation Sint Jansklooster, in het ondiepe grondwater aanzienlijk geringer als in het diepe grondwater.
Het verlagingspatroon van winning Sint Jansklooster is nauwelijks seizoensafhankelijk, zoals de figuren 34c en d laten zien. Dit reflecteert het feit dat het gebied zowel zomers als 's winters van een dicht oppervlaktewaterstelsel is voorzien. Het verlagingspatroon van de winning Havelte/Havelterberg heeft aan het einde van het droge seizoen een iets grotere omvang, hetgeen aan de drogere condities ter plaatse kan worden toegeschreven.

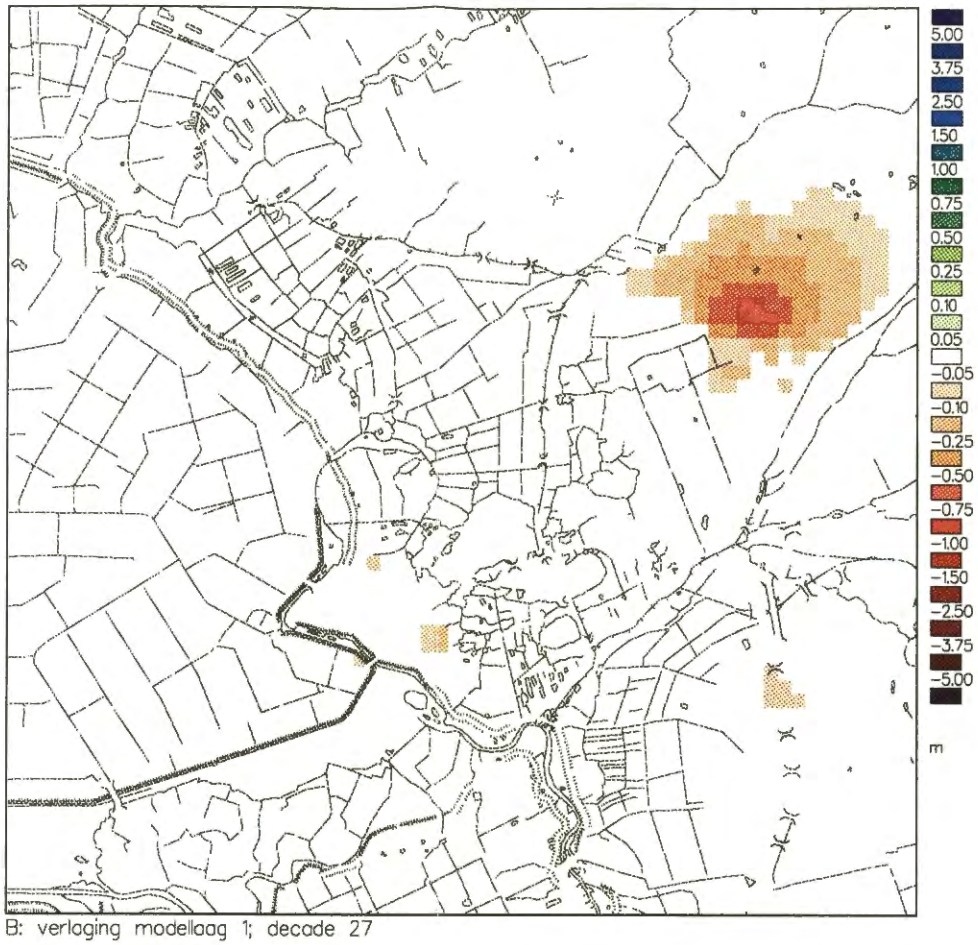
De verandering in wegzijging/kwel ten gevolge van de beschouwde pompstations is weergeven in figuur 35a (voorjaarssituatie) en 35b (najaarssituatie). Een onttrekking leidt altijd, afhankelijk van de omstandigheden, tot een toename van de wegzijging vanuit het oppervlaktewaterstelsel (indien aanwezig) en/of een reductie van de evapotranspiratie (indien de grondwaterstand zich voldoende dicht nabij de wortelzone bevindt) dan wel tot een afname van de kwel c.q. afvoer van het grondwater naar het oppervlaktewaterstelsel. Daar waar oorspronkelijk kwel aanwezig is kan dit leiden tot een reductie van de kwel of een omslag van kwel naar wegzijging. Daar waar oorspronkelijk wegzijging plaatsvond, vindt eenduidig een toename van de wegzijging plaats. De drie hier voornoemde situaties zijn voor decade 7 en 27 weergegeven in de figuren 35c en d.
De herkomst van het onttrokken water kan zijn neerslag dan wel oppervlaktewater (en uiteraard een mengvorm daarvan). In geval de herkomst neerslagwater is, houdt de winning in feite een onderschepping van water in dat anders door drainage in het oppervlaktewater terechtgekomen zou zijn. De winning uit zich dan in een verminderde afvoer naar het oppervlaktewater. De betrokken waterlopen kunnen overigens op grote afstand van de winning bevinden.



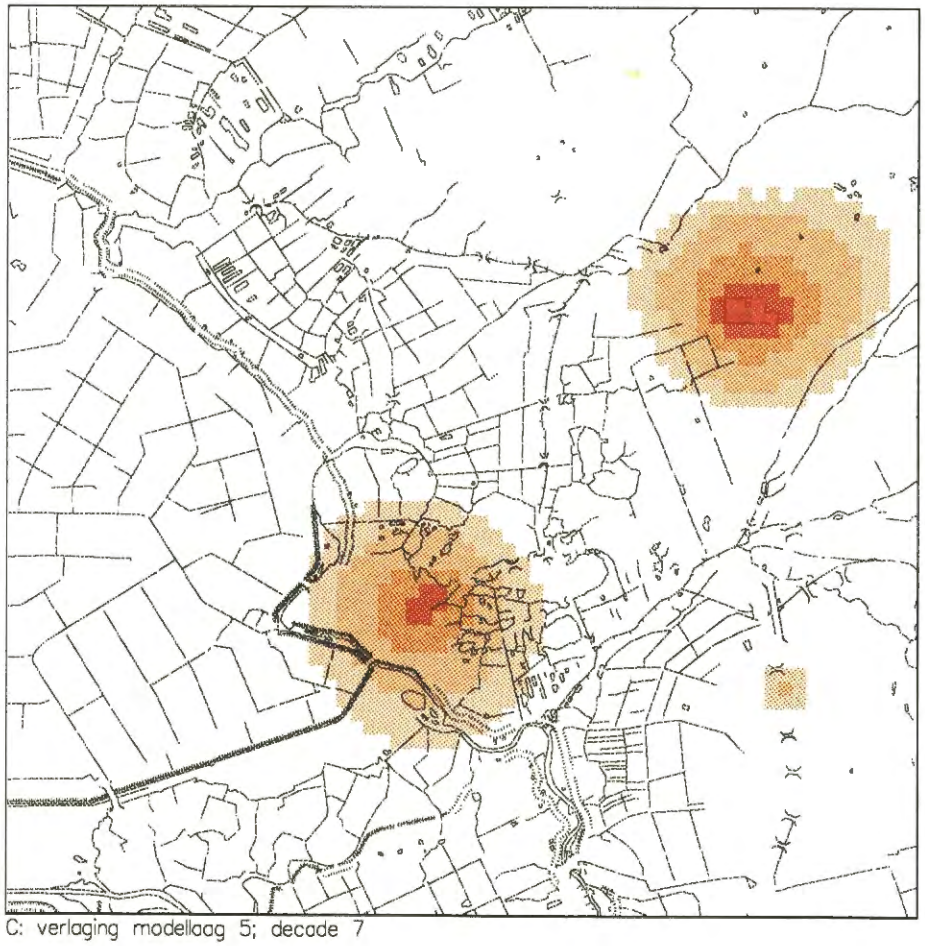
Figuur 33: weergave van de toestand van het geohydrologisch systeem IV: chemische samenstelling; e: nitraat.



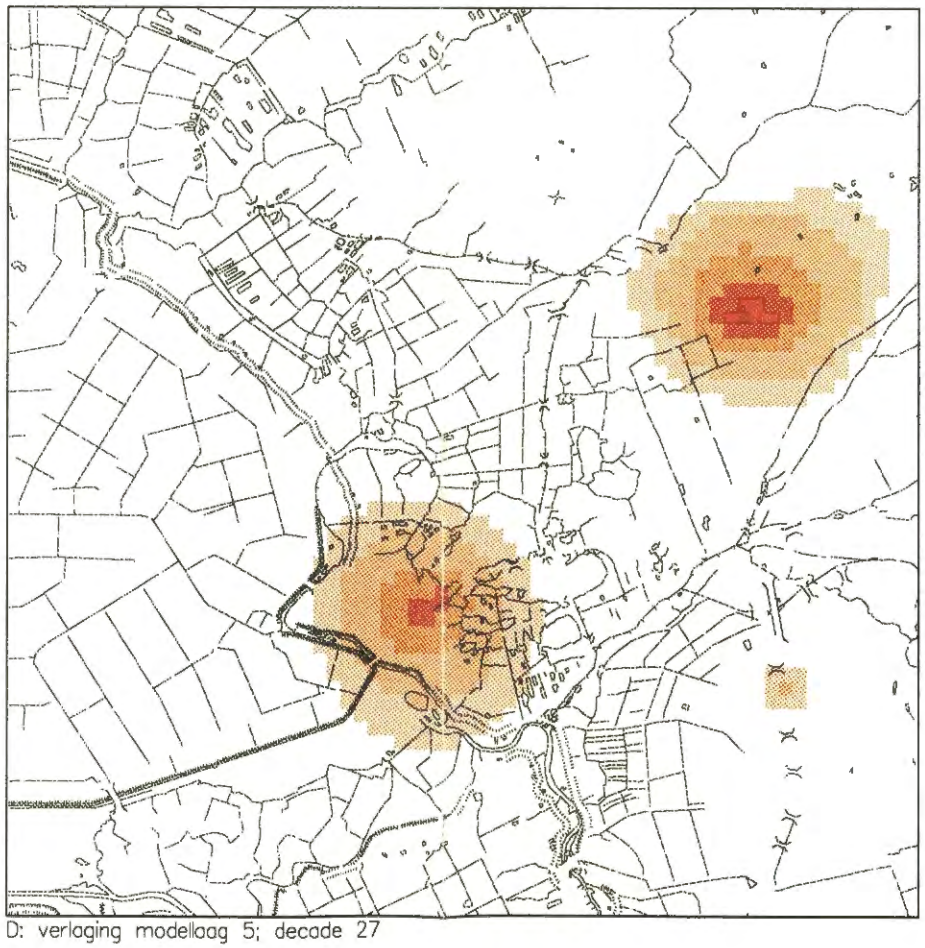
A: verlaging modellaag 1; decade 7



B: verlaging modellaag 1; decade 27



C: verlaging modellaag 5; decade 7



D: verlaging modellaag 5; decade 27

Figuur 34 : effecten van winningen op het geohydrologisch systeem I : verlagingspatronen

Het pompstation Havelte/Havelterberg heeft met name een afvoerreductie van de neerslag naar de omliggende laagten tot gevolg (de beekdalen van de Oude Vaart en de Steenwijker Aa en de polder ten noor-oosten van Nijeveen). Het gewonnen water van het pompstation Sint Jansklooster zal voor een belangrijk deel tevens afkomstig zijn van geïnfiltreerd oppervlaktewater (zie ook volgende paragraaf).

De verandering in de geometrie van de grondwatersystemen is niet direct aangegeven. Wel zijn de grondwatersystemen die worden gevormd door de winningen Sint Jansklooster en Havelte/Havelterberg duidelijk zichtbaar in het stromingspatroon (figuur 27). Hierbij kan tot slot nog opgemerkt worden dat de omvang en geometrie van het intrekgebied van de winning, het verlagingsgebied en het gebied waarin de wegzijging/kwel beïnvloed wordt, niet noodzakelijkerwijs hoeven samen te vallen (dit is eerder uitzondering dan regel).

6.9 Vertaling van hydrologische effecten naar maatschappelijk relevante grootheden

Zoals reeds in de inleiding vermeld is het voor de beleidsvorming ten aanzien van de waterhuishouding in het gebied van belang de hydrologische effecten te vertalen naar effecten met een maatschappelijk belang. De effectbepaling naar de landbouw en de kwaliteit van opgepompt grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening is door IGG-TNO geschied. De gehanteerde methodiek is omschreven in paragraaf 3.3.
De vertaling naar ecologische effecten heeft plaatsgevonden door LB&P. De aggregatie van de verschillende effecten en de evaluatie daarvan tot een beleidsafweging is verricht door het Waterloopkundig Laboratorium (WL) te Delft. De uitkomsten van de modelberekeningen zijn hiertoe verzonden naar de voornoemde partners en aldaar verder verwerkt.

De opbrengstdepressie voor gras ten gevolge van de winningen Sint Jansklooster, Havelte/Havelterberg en Staphorst is weergegeven in figuur 36a. De verandering in opbrengstdepressie is voor het stations Sint Jansklooster zeer gering, overeenkomstig de slechts geringe verlagingen die in het freatische grondwater optreden (figuur 34a). De verandering in de opbrengst/depressie is voor de winning Staphorst met het onderhavige model niet zichtbaar.
Het effect voor de winning Havelte/Havelterberg strekt zich over een relatief groot gebied uit, maar is kwa intensiteit gering.

Pompstation Sint Jansklooster

Tabel: totale voeding

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	2.	6.	0.	0.	8.
50.0	0.	0.	9.	5.	0.	0.	14.
100.0	0.	0.	9.	13.	0.	0.	22.
250.0	0.	0.	15.	12.	3.	0.	30.
500.0	0.	0.	7.	6.	1.	0.	14.
1000.0	1.	0.	5.	3.	0.	0.	9.
>1000.0	1.	0.	0.	2.	0.	0.	3.
TOTKLAS	2.	0.	47.	47.	5.	0.	100.

Voeding opgesplitst naar herkomst:

Tabel: voeding uit neerslag

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	1.	3.	0.	0.	3.
50.0	0.	0.	4.	4.	0.	0.	7.
100.0	0.	0.	6.	13.	0.	0.	19.
250.0	0.	0.	13.	12.	2.	0.	27.
500.0	0.	0.	7.	6.	1.	0.	14.
1000.0	1.	0.	5.	3.	0.	0.	9.
>1000.0	1.	0.	0.	2.	0.	0.	3.
TOTKLAS	2.	0.	36.	41.	4.	0.	83.

Tabel: voeding uit oppervlaktewater

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	1.	3.	0.	0.	5.
50.0	0.	0.	5.	1.	0.	0.	6.
100.0	0.	0.	3.	0.	0.	0.	3.
250.0	0.	0.	2.	0.	1.	0.	3.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	0.	0.	11.	5.	1.	0.	17.

Tabel gebaseerd op 2700 stroomlijnen.
Totaal volume vanaf maaiveld = .51E+07 m3/j
Totaal volume niet afkomstig van maaiveld = .00E+00 m3/j
Totaal verwerkt volume = .51E+07 m3/j

Pompstation Havelte/Havelterberg

Tabel: totale voeding

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	4.	1.	0.	1.	0.	0.	6.
50.0	13.	0.	0.	16.	0.	0.	29.
100.0	9.	0.	0.	20.	0.	0.	29.
250.0	3.	0.	0.	19.	0.	7.	28.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	29.	1.	0.	56.	0.	8.	93.

Voeding opgesplitst naar herkomst:

Tabel: voeding uit neerslag

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	4.	1.	0.	1.	0.	0.	6.
50.0	13.	0.	0.	16.	0.	0.	29.
100.0	9.	0.	0.	20.	0.	0.	29.
250.0	3.	0.	0.	18.	0.	6.	27.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	29.	1.	0.	55.	0.	6.	91.

Tabel: voeding uit oppervlaktewater

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
100.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
250.0	0.	0.	0.	0.	0.	1.	1.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	0.	0.	0.	0.	0.	1.	2.

Tabel gebaseerd op 2890 stroomlijnen.
Totaal volume vanaf maaiveld = .53E+07 m3/j
Totaal volume niet afkomstig van maaiveld = .42E+06 m3/j
Totaal verwerkt volume = .57E+07 m3/j

Pompstation Staphorst

Tabel: totale voeding

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50.0	8.	0.	0.	0.	0.	0.	8.
100.0	5.	1.	0.	33.	0.	0.	39.
250.0	0.	0.	0.	35.	0.	15.	50.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	13.	1.	0.	68.	0.	15.	96.

Voeding opgesplitst naar herkomst:

Tabel: voeding uit neerslag

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50.0	8.	0.	0.	0.	0.	0.	8.
100.0	5.	1.	0.	33.	0.	0.	39.
250.0	0.	0.	0.	35.	0.	15.	50.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	13.	1.	0.	68.	0.	15.	96.

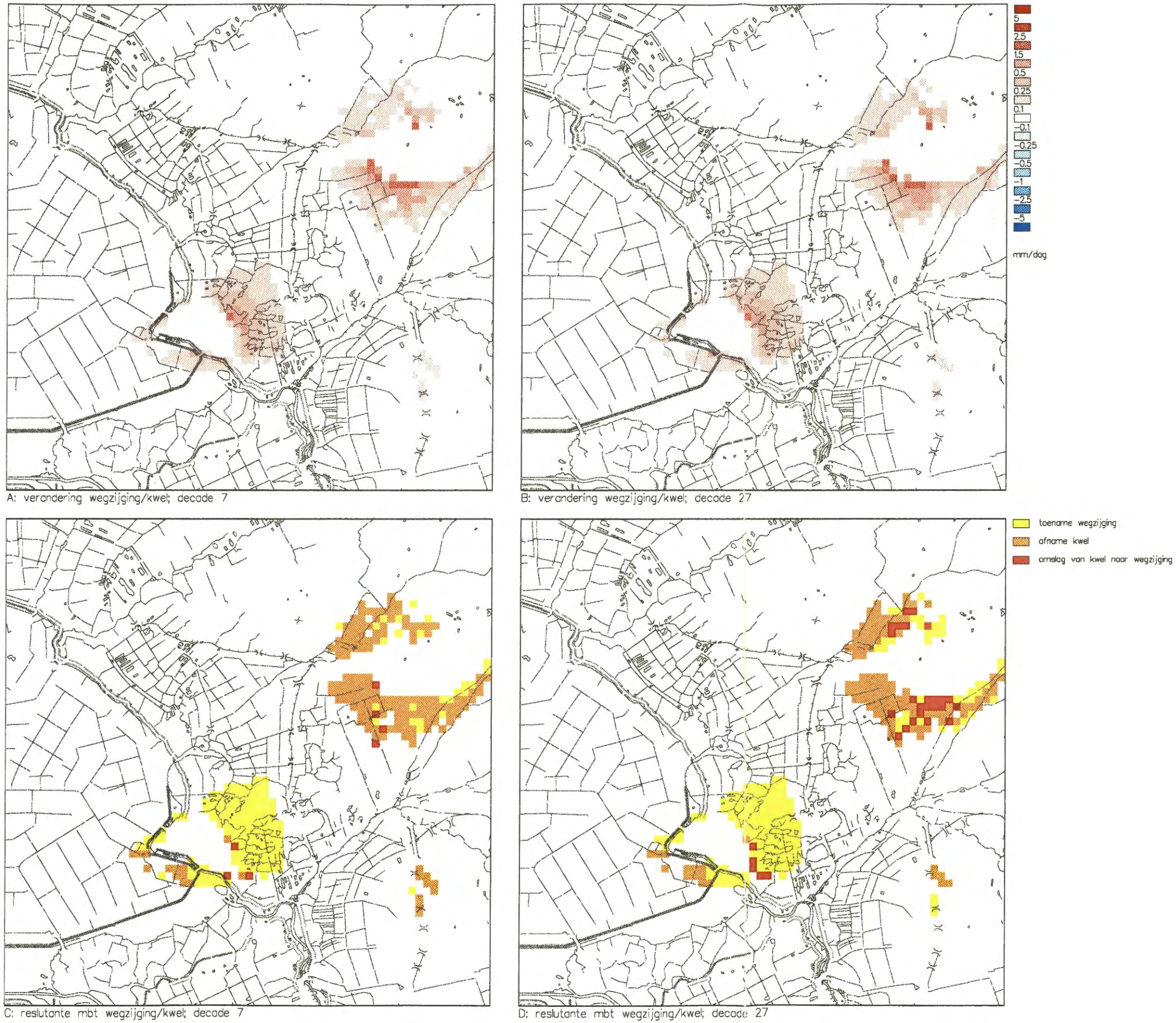
Tabel: voeding uit oppervlaktewater

Tijd/Klasse	1	2	3	4	5	6	TOTTIJD
10.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
25.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
100.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
250.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
500.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
>1000.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTKLAS	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

Tabel gebaseerd op 625 stroomlijnen.
Totaal volume vanaf maaiveld = .56E+06 m3/j
Totaal volume niet afkomstig van maaiveld = .21E+05 m3/j
Totaal verwerkt volume = .58E+06 m3/j

Tijd in jaren; invulling tabel in procenten.
Naam klasse-codes:
1 = zeer groot risico; 2 = groot risico; 3 = beperkt risico; 4 = zeer gering risico; 5 = waterwinning onmogelijk; 6 = buiten in kaart gebracht gebied

Tabel 7: specificatie van het opgepompt grondwater naar herkomst en verblijftijd.



A: verandering wegzijging/kwel; decade 7

B: verandering wegzijging/kwel; decade 27

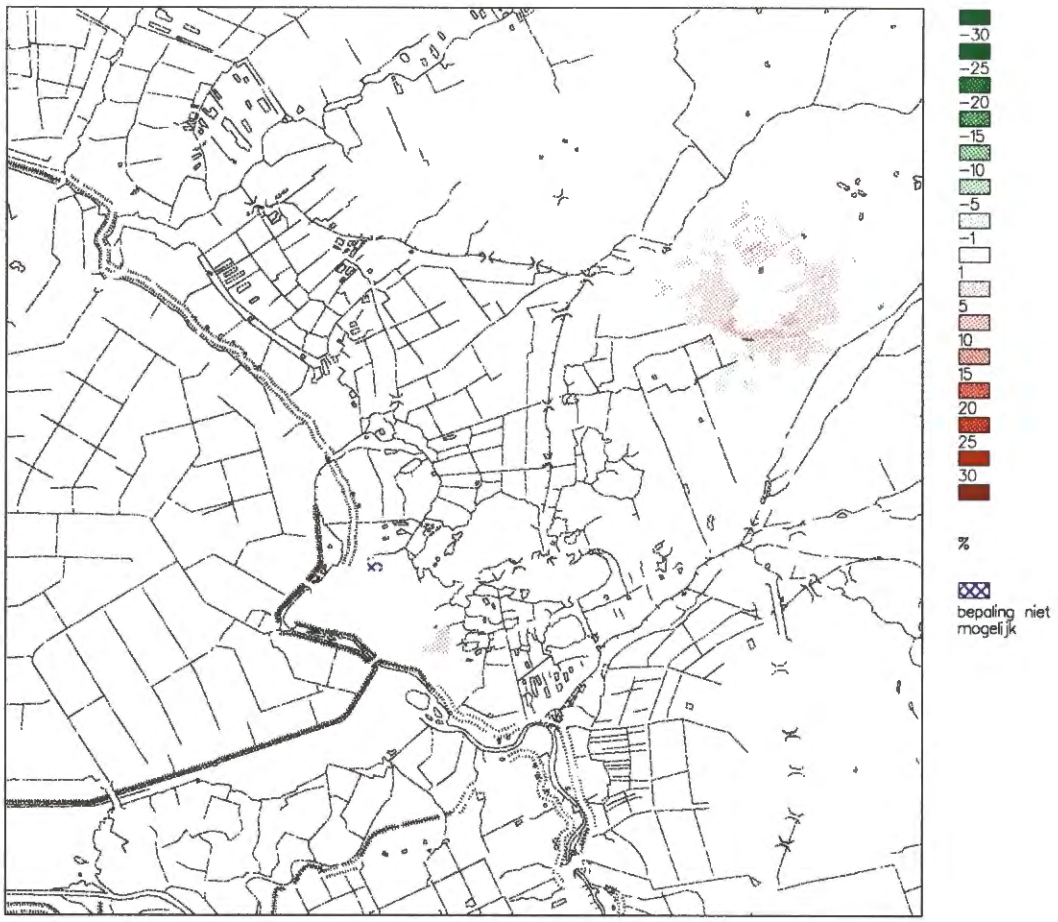
C: reslutante mbt wegzijging/kwel; decade 7

D: reslutante mbt wegzijging/kwel; decade 27

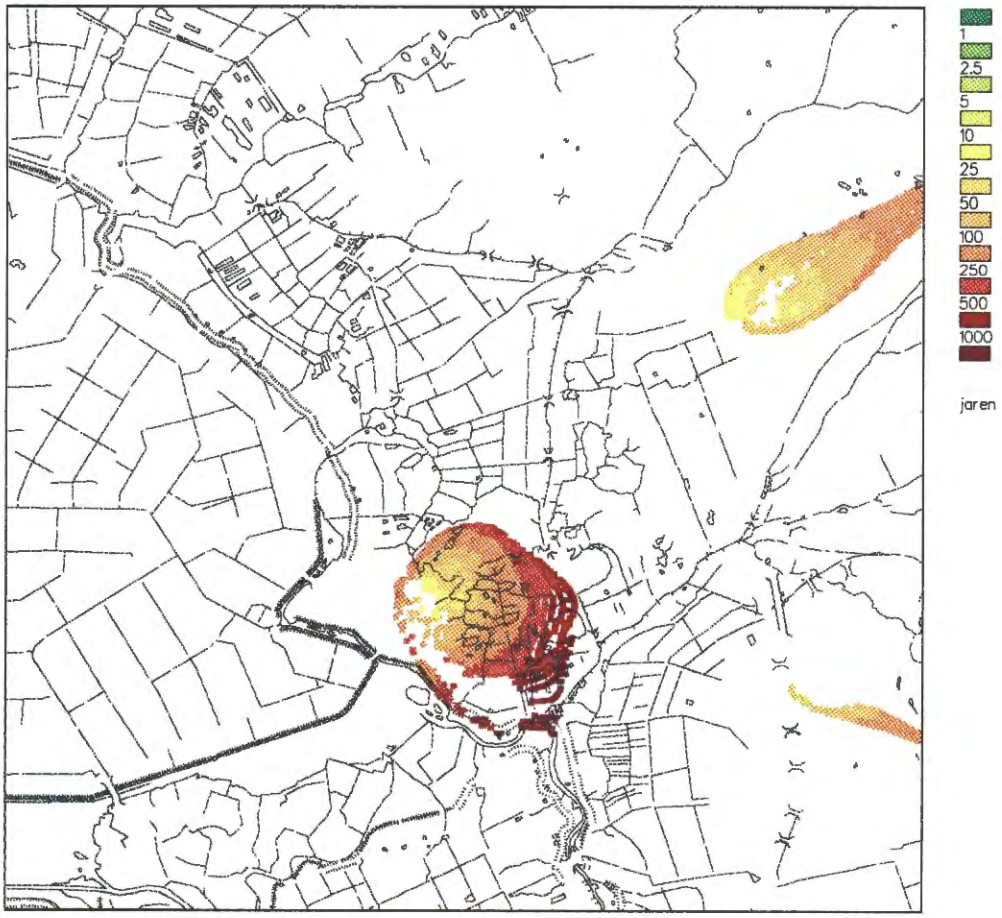
Figuur 35 : effecten van winningen op het geohydrologisch systeem II : verandering wegzijging/kwel

De intensiteit van de opbrengstdepressie is vermoedelijk veel te laag doordat in de opname van de grondwatertrappen vermoedelijk het effect van de winning is verdisconteerd. Voor een meer correcte berekening zouden de grondwatertrappen ter plaatse eerst gereconstrueerd moeten worden voor de situatie van voor de winning. Deze reconstructie heeft verder niet plaatsgevonden.
Naast een toename in de opbrengstdepressie zijn er rond de winning Havelte/Havelterberg ook gebieden waar een afname in de opbrengstdepressie optreedt. Dit zijn gebieden die van oorsprong een opbrengstdepressie ten gevolge van wateroverlast hebben, welke is verminderd door van de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van de winning.

De classificatie van het gewonnen grondwater naar verblijftijd en herkomst is, ten behoeve van de risico inschatting voor de te verwachten kwaliteit van het onttrokken grondwater, weergegeven in tabel 7.
Het bij Sint Jansklooster opgepompte grondwater bestaat voor circa 53% uit geïnfiltreerd regenwater en voor circa 47% uit geïnfiltreerd oppervlaktewater. Het merendeel van dit water is afkomstig uit gebieden met weinig of geen risico voor de kwaliteit van het drinkwater. Ongeveer 10% van het water komt uit gebieden die een zoutbelasting voor het opgepompte water kunnen betekenen. Ongeveer de helft van het opgepompte grondwater heeft een ouderdom van meer dan 100 jaar.
De oorsprong van het opgepompte water bij het pompstation Havelte/Havelterberg is vrijwel geheel gerelateerd aan de neerslag. Ongeveer 30% van het water is afkomstig uit gebieden waaraan een zeer groot risico met betrekking tot de kwaliteit van het drinkwater is toegekend. In vergelijk met Sint Jansklooster is het opgepompte water betrekkelijk jong; slechts circa 30% van het water heeft een ouderdom van meer dan 100 jaar.
Ook het bij Staphorst opgepompte water wordt gekenmerkt door neerslagwater. Ruim 10% van deze winning is afkomstig uit gebieden met een hoog risico met betrekking tot de kwaliteit van het drinkwater. Het water heeft een vrij compacte leeftijdsopbouw. Bijna 90% van het opgepompte water heeft een ouderdom van tussen de 50 en 250 jaar.
De in tabel 7 vermeldde gegevens zijn door het WL voor elk pompstation afzonderlijk verder doorvertaald naar een risicoscore voor de te verwachten kwaliteit van het opgepompte water. Voor nadere conclusies hieromtrent wordt derhalve naar de betreffende rapportage verwezen.



Figuur 36a: effecten van winningen op het geohydrologisch systeem III: verandering opbrenstdepressie voor de landbouw.



Figuur 36b: effecten van winningen op het geohydrologisch systeem IV: intrekgebieden.

7. SCENARIOBEREKENINGEN

Zoals aangegeven in de inleiding zijn de resultaten van de sectorvarianten niet in het onderhavige rapport opgenomen. Wel volgt hierna een korte omschrijving van de doorgerekende sectorvarianten.

7.1 Sectorvariant 0

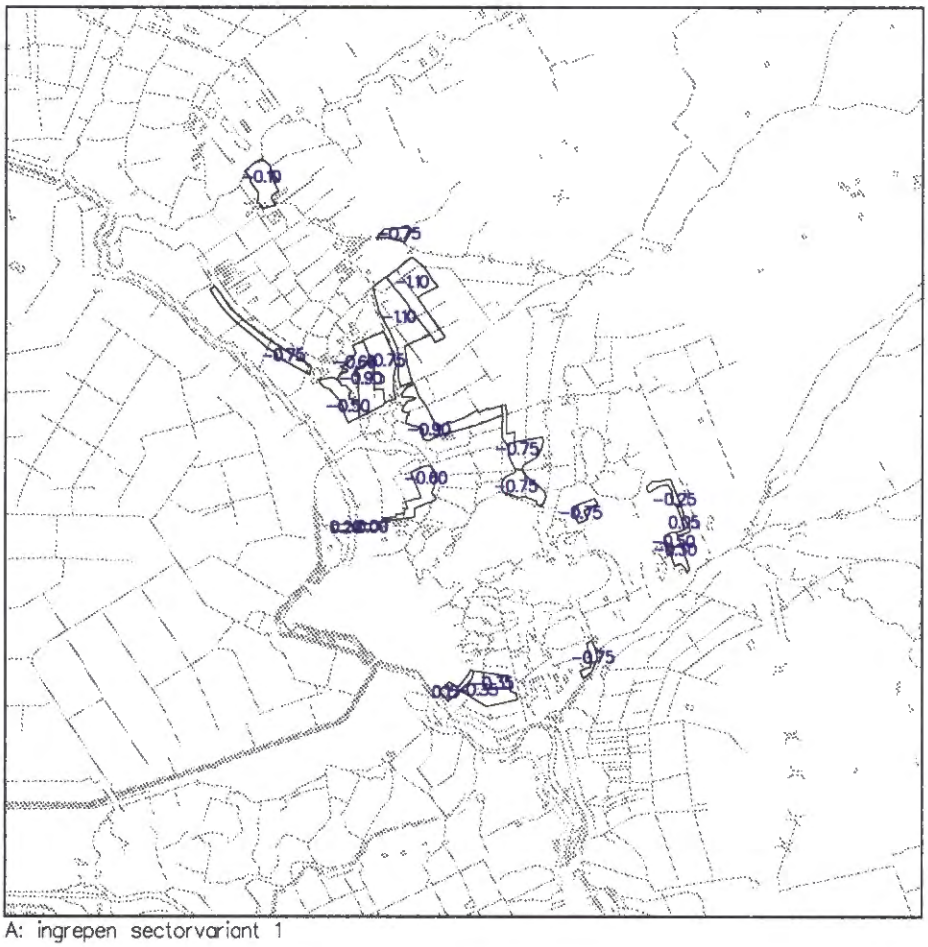
Deze komt overeen met de situatie voor het jaar 1990, met dit verschil dat de winningen van de WMO op vergunningshoeveelheid zijn gebracht. Deze vergunningsdebieten zijn:
- Havelte/Havelterberg: 6,3 Mm^3/jaar,
- Sint Jansklooster: 7,0 Mm^3/jaar,
- Staphorst: 0,5 Mm^3/jaar.

Alle overige bestaande winningen in het gebied zijn ongewijzigd gehandhaafd.

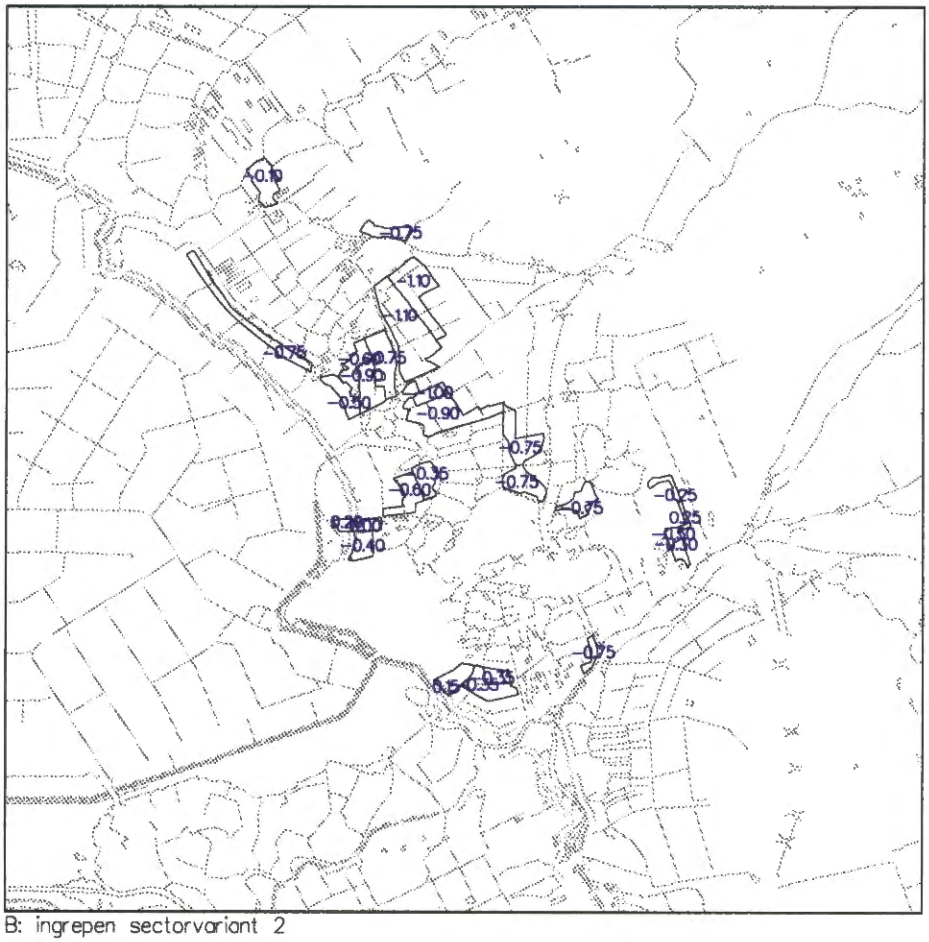
7.2 Sectorvariant 1

Oppervlaktewater:
Voor een aantal gebieden is een nieuw peil opgelegd (figuur 37a); hierbij is het winterpeil gelijk genomen aan het zomerpeil. Er wordt vanuit gegaan dat de betreffende gebieden van water kunnen worden voorzien (handhaving voorgeschreven peil mogelijk). Voor de diepte van de waterlopen is 1 meter aangenomen. De peilveranderingen zijn alleen doorgevoerd in de poldergebieden (polygonen) en niet in de hoofd/boezem waterlopen (lijnelementen).
Indien in een gridcel het nieuwe peil boven het maaiveld komt staan, dan wordt voor de betreffende gridcel de conductiviteit aangepast aan het vergrote wateroppervlak. Dit is gedaan door de fractie open water voor de betreffende cellen op de waarde 1,00 te zetten. Voor de intree(bodem)weerstand van het open water is een waarde van 10 dagen aangenomen. De diepte van het water wordt gelijk gesteld aan het nieuwe peil minus de maaiveldhoogte.

Grondwaterwinningen:
Als sectorvariant 0.

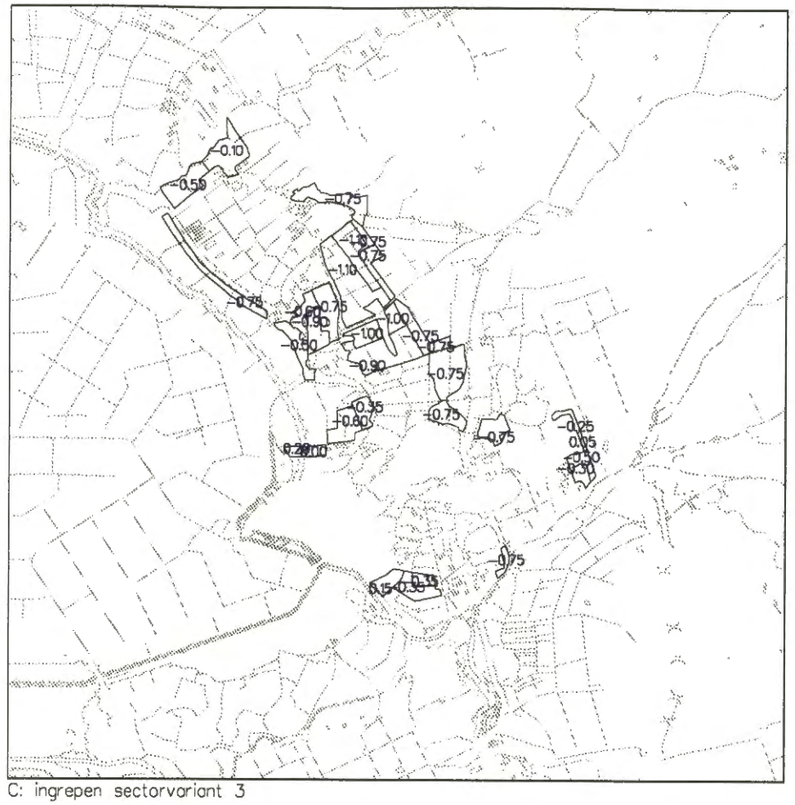


A: ingrepen sectorvariant 1

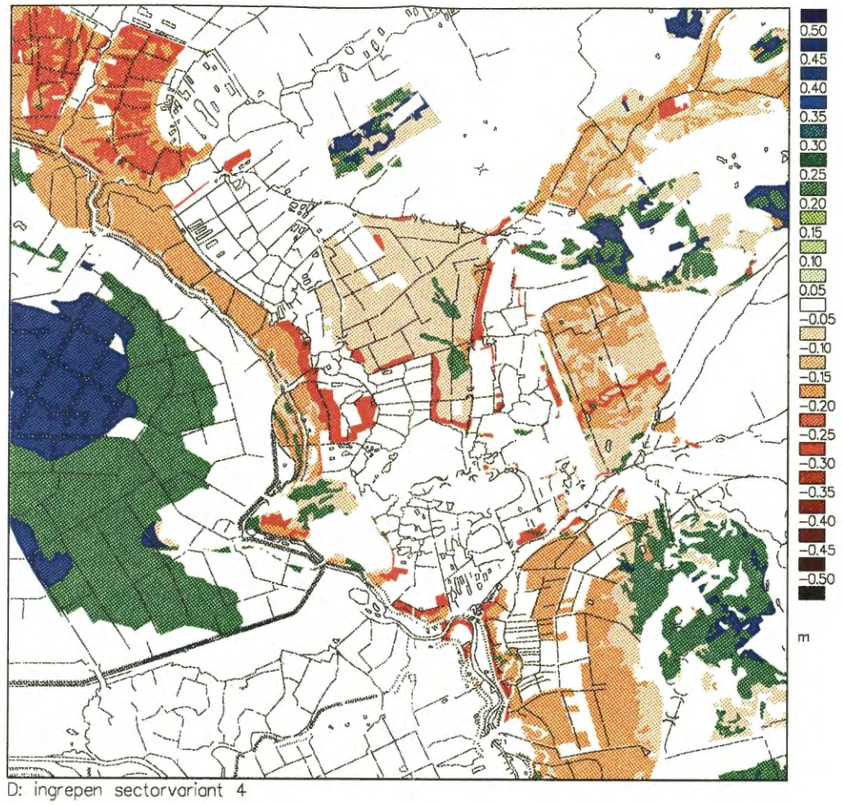


B: ingrepen sectorvariant 2

Figuur 37: overzicht van ingrepen per sectorvariant.



C: ingrepen sectorvariant 3



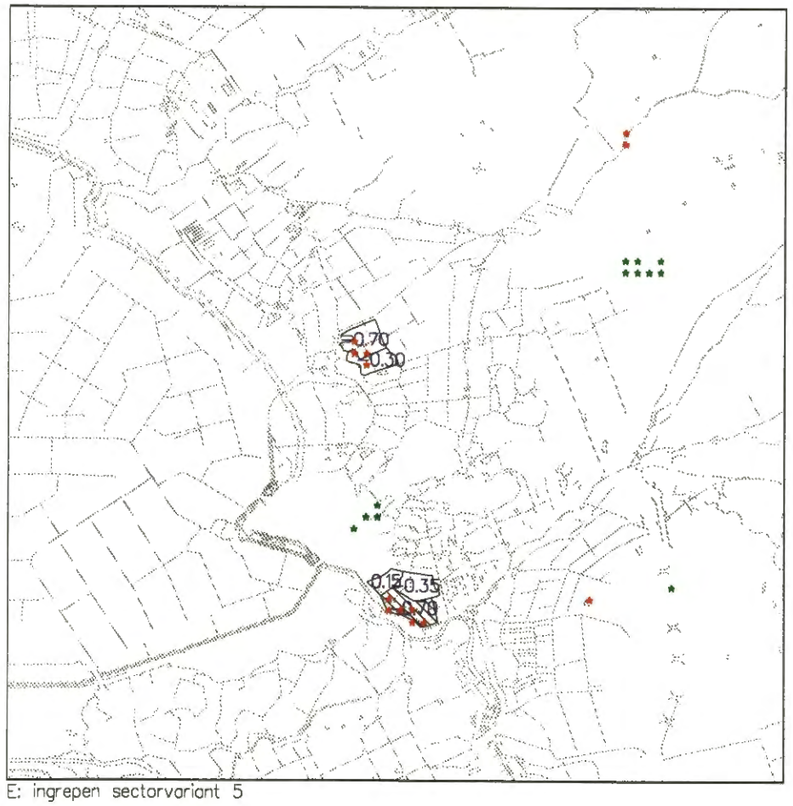
D: ingrepen sectorvariant 4

aan te brengen wijziging in grondwatertrap

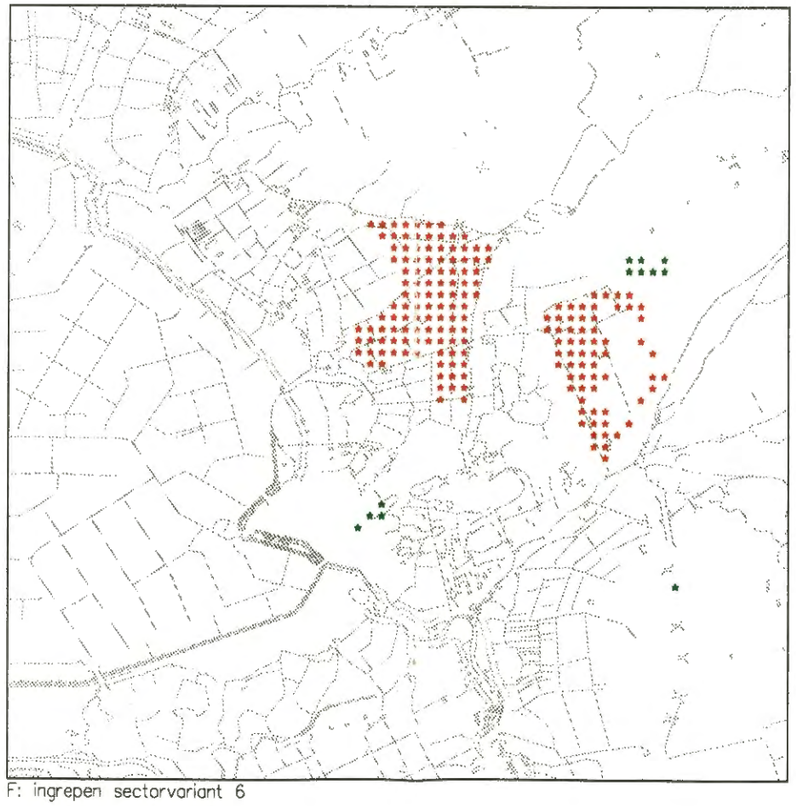
- onttrekking (uit cel) verwijderd
- onttrekking (aan cel) toegevoegd

verwijdering van de deklaag

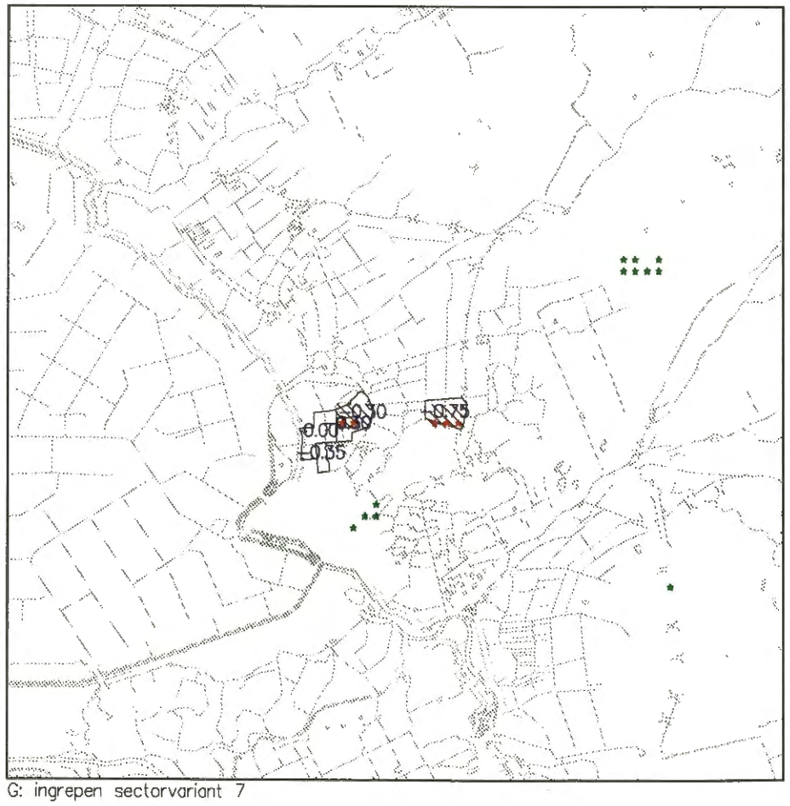
-0.80 nieuw op te leggen peil



E: ingrepen sectorvariant 5



F: ingrepen sectorvariant 6



G: ingrepen sectorvariant 7

Figuur 37 : overzicht van ingrepen per sectorvariant (vervolg)

7.3 Sectorvariant 2

Oppervlaktewater:
Als sectorvariant 1; voor de nieuw opgelegde peilen: zie figuur 37b.

Grondwaterwinningen:
Als sectorvariant 0.

7.4 Sectorvariant 3

Oppervlaktewater:
Als sectorvariant 1, voor de nieuw opgelegde peilen: zie figuur 37c.

Grondwaterwinningen:
Als sectorvariant 0.

7.5 Sectorvariant 4

Oppervlaktewater:
Binnen diverse gebieden is het peil ten behoeve van de landbouw aangepast door bij het bestaande peil een vaste waarde op te tellen (positief dan wel negatief) (figuur 37d). Deze constante waarde is zowel bij het winter- als bij het zomerpeil opgeteld, waardoor het verschil in winter- en zomerpeil blijft gehandhaafd. In tegenstelling tot de sectorvarianten 1 t/m 3 zijn er geen veranderingen aangebracht in het feit of de betreffende gebieden al of niet van water kunnen worden voorzien (sommige peilveranderingsgebieden liggen op hoge gronden; bij aanname van permanente wateraanvoer vindt er een enorme infiltratie vanuit de waterlopen plaats, met onwaarschijnlijk grote veranderingen in de grondwaterstand). Er is aangenomen dat er geen veranderingen in de waterdiepte plaatsvinden. De peilveranderingen zijn alleen doorgevoerd in de poldergebieden (polygonen) en niet in de hoofd/boezem waterlopen (lijnelementen) (zie hiervoor de betreffende coverages).
In tegenstelling tot de sectorvarianten 1 t/m 3 heeft geen aanpassing plaatsgevonden in geval het nieuwe peil boven het maaiveld komt te staan.

Grondwaterwinningen:
Als sectorvariant 0.

7.6 Sectorvariant 5

Oppervlaktewater:
Als sectorvariant 1; voor de nieuw opgelegde peilen: zie figuur 37e.
Verder is op de lokatie Oosterslag/Veerslootlanden de zandwinplas ingevoerd op de plaats waar de putten voor de betreffende lokatie zijn geprojecteerd. De plas heeft een oppervlak van 10 hectare en er wordt vanuit gegaan dat de put van water kan worden voorzien (handhaving voorgeschreven peil mogelijk). Het winterpeil van de sloten in de omgeving van de is -0.95 m.NAP; het zomerpeil -1,15 m.NAP. Aan de plas is een gelijk winter- en zomerpeil toegekend van -0.95 m.NAP. De diepte van de plas is op 20 meter gesteld. Voor de bodemweerstand van de plas is een waarde van 10 dagen aangehouden.
Rondom de winning Barsbeker Binnenpolder is de conductiviteit gecorrigeerd voor het feit dat er over 2/3 van het oppervlak van dit gebied poelen worden aangelegd. Dit is gedaan door de fractie open water voor de betreffende cellen op de waarde 0,67 te zetten. Voor de intree(bodem)weerstand van het open water is een waarde van 10 dagen aangenomen.

Grondwaterwinningen:
De winningen Havelte/Havelterberg, Sint Jansklooster en Staphorst zijn verwijderd. Hiervoor in de plaats zijn vier nieuwe winningen ingevoerd (figuur 37e). De winningsdebieten zijn:
- Barsbeker Binnenpolder: 35 Mm^3/jaar; aantal putten/cellen: 6,
- Halfweg: 20 Mm^3/jaar; aantal putten/cellen: 4,
- Oosterslag/Veerslootlanden: 7 Mm^3/jaar; aantal putten/cellen: 1,
- Vledder Aa: 7 Mm^3/jaar, waarvan 4 Mm^3/jaar voor de winterperiode (oktober t/m maart) en 3 Mm^3/jaar voor de zomerperiode (april t/m september); aantal putten/cellen: 2.
  Totaal: 69 Mm^3/jaar.

Alle onttrekkingen zijn gesitueerd in modellaag 3, dat wil zeggen boven het niveau van de Eemklei.

Ondergrond:
Ten noord-oosten van de winning Barsbeker Binnenpolder wordt de deklaag afgegraven. Dit is in model gebracht door voor de betreffende gridcellen de weerstand van de deklaag (dit is modellaag 1) te vervangen door een uniforme waarde van 200 dagen.

7.7 Sectorvariant 6

Oppervlaktewater:
Als sectorvariant 0 (geen wijzigingen).

Grondwaterwinningen:
De winningen Havelte/Havelterberg, Sint Jansklooster en Staphorst zijn verwijderd. Hiervoor in de plaats zijn vier nieuwe winningen ingevoerd, die de kwel van respectievelijk de polders Gelderingen, Halfweg, Giethoorn en Kolderveen afvangen. De putten zijn verspreid over de polders verdeeld, dat wil zeggen dat in elke gridcel die zich in de polders bevindt een put is geplaatst (figuur 37f). Het debiet van elke put is gelijk aan de minimale kwel die in de betreffende gridcel in het jaar 1990 voor sectorvariant 0 voorkomt. In het geval dat er in een gridcel geen kwel (infiltratie) voorkomt (komt met name voor in de polder Kolderveen), is er geen put in geplaatst. Aldus worden de volgende winningen verkregen:
- Polder Gelderingen: 5,3 Mm^3/jaar; aantal cellen/putten: 30,
- Polder Halfweg: 4,8 Mm^3/jaar; aantel cellen/putten: 36,
- Polder Giethoorn: 9,3 Mm^3/jaar; aantal cellen/putten: 45,
- Polder Kolderveen: 3,3 Mm^3/jaar; aantal cellen/putten: 63.

Totaal: 22,7 Mm^3/jaar.

Alle putten zijn geplaatst in modellaag 4, dat wil zeggen onder het niveau van de Eemklei, in het bovenste gedeelte van het diepe watervoerend pakket.

7.8 Sectorvariant 7

Oppervlaktewater:
De peilen in en rond de polder Leeuwterveld zijn aangepast (peilen: westelijk: 0,00 m.NAP; oostelijk: peil -0,30 m.NAP; zuidelijk: peil -0,35 m.NAP; opgave volgens WMO) (figuur 37g).

Grondwaterwinningen:
De winningen Havelte/Havelterberg, Sint Jansklooster en Staphorst zijn verwijderd. Hiervoor in de plaats zijn twee nieuwe winningen ingevoerd (figuur 37g). Het winningsdebiet is:
- Leeuwterveld: 30 Mm^3/jaar; aantal putten/cellen: 2,
- Beulakerwijde: 20 Mm^3/jaar; aantal putten/cellen: 3.

De onttrekking is gesitueerd in modellaag 3, dat wil zeggen boven het

niveau van de Eemklei.

Ondergrond:
Rondom de geplande pompstations is de deklaag verwijderd (bij elk pompstation 6 cellen = 150 ha). De weerstand van de eerste modellaag is voor de betreffende cellen op 50 dagen gezet.

8. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Aan de hand van een numeriek, gecalibreerd grondwatermodel is voor het gebied Noordwest Overijssel een beschrijving van het geohydrologisch systeem gegeven. Met het model zijn tussenresultaten voor effectbepaling van ingrepen in het geohydrologisch systeem aangeleverd. De tussenresultaten betreffen stijghoogteveranderingen als gevolg van de ingrepen als functie van de tijd, de wegzijging/kwel als functie van de tijd, de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater voor het Vollenhovense polder- en boezemgebied als functie van de tijd, intrekgebieden van grondwaterwinningen, met een volumetrische classificatie van het grondwater naar herkomst en verblijftijd, en veranderingen in de produktiviteit van landbouwgewassen als gevolg van de ingrepen. De tijd heeft betrekking op het jaar 1990, onderverdeeld in 36 tijdstappen (decaden).
Ten behoeve van de verdere effectbepaling heeft data overdracht naar de betrokken partijen plaatsgevonden. De conventie in de naamgeving van files en variabelen is opgenomen in bijlage 3.
De slotconclusies aangaande de herinrichting van het gebied kunnen pas getrokken worden na verdere verwerking en afweging van de gegevens en vallen derhalve buiten het kader van dit rapport. Voor de slotconclusies wordt verwezen naar het eindrapport (Provincie Overijssel, in bewerking).

De calibratie van het grondwatermodel is geschiedt aan de hand van een systematische gevoeligheidsanalyse en een geleide keuze naar één parameterset met behulp van de Monte Carlo techniek. Geconcludeerd kan hierbij worden dat deze aanpak de calibratie structureert en keuzen meer objectief en expliciet maakt, waarmee het calibratie proces aan objectiviteit en beheersbaarheid wint. Dit is vooral van belang voor het berekenen van scenario's, zoals in het onderhavige onderzoek het geval is.

Het grondwatermodel is het meest gevoelig voor de peilen in het oppervlaktewater, hetgeen impliceert dat de stijghoogte in belangrijke mate wordt opgelegd door de peilen in de waterlopen. Met name met betrekking tot de berekende stijghoogten voor het ondiepe grondwater in het lage deel van het onderzoekgebied geldt dat het model nauwelijks informatie toevoegt aan hetgeen uit de bekende peilen is af te leiden. Voor een verbetering van de simulatie de freatische grondwaterstand is

een hogere resolutie en hogere gegevensdichtheid (beide op elkaar afgestemd) van het model noodzakelijk en/of koppeling met modellen die het grondwater binnen de afmeting van een gridcel nader kunnen detailleren. De vraag kan hierbij overigens gesteld worden of dergelijke berekeningen nog wel direct op de werkelijkheid geënt moeten zijn en niet beter toegepast kunnen worden op meer geabstraheerde, representatieve situaties.
Het model is verder het meest gevoelig voor de transmissiviteit van het diepe watervoerend pakket en de weerstand van het topsysteem. Kortweg kan geconcludeerd worden dat het grondwatersysteem in het poldergebied (zoals bekend) gekarakteriseerd is door de peilen in het open water en de spreidingslengte. In het poldergebied manifesteren verlagingen als gevolg van grondwateronttrekkingen zich wel in het diepe watervoerend pakket, maar op de schaal van het model niet of nauwelijks in het ondiepe grondwater.

De hoeveelheid water die door de Vollenhovense boezem en aanliggende polders wordt uitgeslagen is zeer gevoelig voor de neerslagterm van het model. De stroming naar/vanuit het oppervlaktewater vertoont voor de polder en boezemgebied afzonderlijk weliswaar een zekere gevoeligheid voor bepaalde parameters, maar de som van het uitgeslagen water wordt nagenoeg geheel bepaald door de neerslag- en de verdampingsterm.

Het grondwatermodel is, naast berekening van stijghoogten, gebruikt voor de generatie van wegzijgings/kwel- en stromingspatronen. Met betrekking tot deze aspecten levert het model een zekere toegevoegde waarde aan de bestaande kennis.
Zowel de temporele variatie in wegzijgings/kwel-intensiteit als het wegzijgings/kwel-patroon is vrij constant, hetgeen samenhangt met het feit dat het grondwatersysteem in belangrijke mate oppervlaktewater gestuurd is.
De Weerribben en De Wieden zijn gesitueerd in een permanent wegzijgingsgebied en worden derhalve niet gevoed met diep (doorgaans basisch) grondwater. Wel is het zo dat het neerslagoverschot de wegzijging overtreft, zodat aanvoer van oppervlaktewater, door het nemen van conserveringsmaatregelen, in principe tot een minimum beperkt kan worden (zolang dit tenminste overeenstemt met de kwaliteitseisen van het oppervlaktewater met betrekking tot onder andere zuurgraad en calciumgehalte).
Een simulatie van het stromingsregime onder historische randvoorwaarden zal moeten uitwijzen in hoeverre in vroeger tijden toevoer van diep

grondwater in de Weerribben en De Wieden een rol heeft gespeeld. Waarschijnlijk is de rol van diep grondwater in deze gebieden echter altijd al beperkt geweest en kenmerken deze gebieden zich eerder door een afwezigheid van wegzijging dan door de aanwezigheid van kwel (vergelijk Hoogendoorn, 1989). De intensieve kwel zal vroeger met name aan de voet van het Drents Plateau zijn opgetreden, daar waar zich de 'knik' in het grondwaterstandsverloop (de overgang van een relatief grote gradiënt in het Drents Plateau naar vrijwel vlak in de aangrenzende laaglanden) heeft bevonden. De intensieve kwel zal hierdoor voornamelijk beperkt zijn gebleven tot een relatief smalle randzone rondom het Drents Plateau. Het transport van het kalkrijke, basische (kwel)water naar/onder de trilvenen en kraggen zal hierbij, evenals nu het geval is, hebben plaatsgevonden via het oppervlaktewater. Van oorsprong zal alleen de evapotranspiratie ervoor hebben gezorgd dat water vanuit het open water onder de trilvenen werd getrokken. Naarmate de aanleg van de grote polders vorderde, zal ook de wegzijging hiertoe in toenemende mate hebben bijgedragen. Het probleem van de toegenomen wegzijging is echter niet zozeer het wegvallen van de kwel die, zoals reeds hiervoor uiteengezet, van oorsprong waarschijnlijk al nihil dan wel zeer gering is geweest, maar de aanvoer van gebiedsvreemd water, welke benodigd is om het verlies door wegzijging te compenseren. Zolang hiervoor schoon (dat wil zeggen vrijwel stikstof- en fosfaatvrij) rivierwater aangewend kan worden, dat in samenstelling veel gelijkenis vertoont met kalkrijk, basisch kwelwater, behoeft deze compensatie in principe geen probleem te vormen. Helaas voldoet het rivierwater dat wordt ingelaten niet (meer) aan deze kwaliteitseisen. Geconcludeerd kan derhalve worden dat de Weerribben en de Wieden eerder geconfronteerd zijn met een oppervlaktewaterkwaliteitsprobleem dan met een grondwater- c.q. wegzijgingsprobleem.

De grondwaterwinningen veroorzaken een afname in de kwel dan wel een toename van de wegzijging. Op slechts een beperkt aantal plaatsen is de afname van de kwel dermate kritisch dat de oorspronkelijk aanwezige kwel omslaat in wegzijging.

De grondwatersystemen zijn op het Drents Plateau nauw gerelateerd aan de geomorfologie en het ermee geassocieerde bekenstelsel. Infiltratie vindt in de hoger gelegen ruggen plaats. Vanaf de waterscheiding stroomt het grondwater, deels volgens de gradiënt van het Drents Plateau, in de richting van de beken.

Rond het IJsselmeer kan het 'IJsselmeerringsysteem' onderscheiden worden. Dit systeem is vrijwel volledig gegenereerd door de aanleg van polders en heeft derhalve een kunstmatige oorsprong. Voor het merendeel van het gebied reikt de waterscheiding van dit systeem tot aan de basis van het gemodelleerde deel van de ondergrond. Alleen in het noordoosten duikt een grondwatersysteem vanuit het Drents Plateau onder het IJsselmeerringsysteem door.
Grondwatersystemen die gegenereerd worden door grondwaterwinningen onderscheiden zich kwa uitwerking nauwelijks van die van polders. In dit opzicht is een meer evenwichtige beoordeling van de effecten ten gevolge van grondwaterwinningen enerzijds en polders anderzijds aan te bevelen.

Vanuit de Weerribben en de Wieden stroomt het grondwater af naar de omliggende lager gelegen polders. Hierbij is niet alleen de Noordoostpolder van invloed, maar ook de aanliggende polders op het oude vaste land. Zo een randmeer al in staat zou zijn een voldoende hydrologische scheiding tussen het oude vaste land en de Noordoostpolder te creëren, dan nog zal de afstroming vanuit de Weerribben en de Wieden erdoor slechts in beperkte mate afnemen.

Door de sterk wisselende temporele randvoorwaarden voor stroming is de werkelijk ondergrondse afgelegde weg van water in het voormalige kustgebied zeer gecompliceerd. Daarnaast is het lage deel van het gebied diverse malen geconfronteerd geweest met indringing van zout water in de ondergrond middels verschillende mechanismen (diffusie, dichtheidsstroming en dergelijke). De chemische samenstelling van het grondwater in dit gebied is dan ook complex, sterk variabel en heeft een lage ruimtelijke correlatie.
De stroming vanuit de ruggen van het Drents Plateau is meer eenduidig, met een min of meer normale ontwikkeling van de chemische samenstelling van het grondwater van een overwegend zuur, mineraalarm type met een relatief hoge redoxpotentiaal naar een overwegend basisch, calciumbicarbonaat, ijzerhoudend type met een relatief lage redoxpotentiaal.
Het opgepompte water voor de drinkwatervoorziening is op drie plaatsen in het gebied (St. Jansklooster, Havelte/Havelterberg, Staphorst) geëvalueerd op basis van herkomst en ouderdom. Bij Sint Jansklooster is het opgepompte grondwater voor ruim 50% afkomstig uit het oppervlaktewater; het opgepompte water bij Havelte/Havelterberg is van oorsprong vrijwel geheel regenwater. Dit laatste geldt ook voor het opgepompte water nabij Staphorst. Het opgepompte water bij Havelte/havelterberg is

betrekkelijk jong, slechte 30% van het opgepompte grondwater is ouder dan 100 jaar, tegenover ongeveer de helft op het pompstation Sint Jansklooster. Bijna 90% van het opgepompte water bij Staphorst heeft een ouderdom tussen de 50 en 250 jaar. Het percentage grondwater dat een zeker risico loopt met betrekking tot de ontwikkeling van de waterkwaliteit bedraagt voor de pompstations Sint Jansklooster, Havelte/Havelterberg en Staphorst achtereenvolgens circa 10, 30 en 10%. Bij de werkelijke risicobepaling moet hierbij echter ook de leeftijd van het grondwater in beschouwing genomen worden.

Afsluitend kan geconcludeerd worden dat het geohydrologisch regime in en rond de Weerribben en de Wieden indirect voor een belangrijk deel is gevormd door mensenhanden. De veranderingen die de mens er heeft aangebracht zijn grotendeels irreversibel. Het lijkt derhalve, mede in het belang ten aanzien van de potenties voor natuurontwikkeling, aan te bevelen een gebied te creëren waarin kunstmatige, menselijke ingrepen niet geschuwd worden. De historie is geweest, laat de ontwikkeling zich op de toekomst richten.

9. LITERATUUR

Appelo, C.A.J., A. Willemsen, H.E. Beekman and J. Griffioen (1990),
Geochemical calculations and observations on salt water intrusions,
II: validation of a geochemical model with laboratory experiments,
Journal of Hydrology (120), pp. 225-250.

ARC/INFO: programmapakket voor opslag en bewerking van ruimtelijke gegevens,
Environmental System Research Institute (ESRI) Inc., Redlands, CA USA.

Beekman, H.E. (1991),
Ion chromatography of fresh and salt water intrusion.
Ph.D-thesis, Free University, Amsterdam, 198 pp.

BODEP: Berekening Opbrengst DEPressies; een programma pakket voor berekening van de invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige produktie,
beheerder van het pakket: J.M.M. Bouwmans,
Landinrichtingsdienst Utrecht.

Bodemkaart van Nederland,
Eilander, D.A. en W.Heijink (1990), kaartbladen 20 West (gedeeltelijk), 20 Oost en 21 West, ISBN 90-327-0234-3;
Staring Centrum, Wageningen.

Bracht, M.J. van (1992),
REGIS: Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem,
rapportno.: PN 92-001,
Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Coördinatiegroep Integraal Waterbeheer Noordwest Overijssel (1993),
Eindrapport systeemanalyse en beleidsontwikkeling Noordwest Overijssel,
Provincie Overijssel.

Cultuurtechnisch Vademecum (1988),
Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum,
uitgave: Cultuurtechnische vereniging, Utrecht,
ISBN: 90-9002366-6.

Doorn, Th.H.M. van, H. Speelman (1984),
Geologische en hydrologische inventarisatie van Tertiaire en Onderkwartaire afzettingen in noord Nederland t.b.v. ondergrondse opslag en winning van warm water,
rapportno.: 84KAROREX,
Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Engelen, G.B. (1984),
Hydrological System Analyses: a regional case study,
rapportno.: OS 84-20,
Dienst Grondwaterverkenning (thans Instituut voor Grondwater en Geo-Energie) TNO.

Engelen, G.B. and G.P. Jones (1986),
Developments in the analyses of Groundwater Flow Systems,
ISBN 0-947571-01-9,
IAHS publication No. 163.

Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied,
uitgave Rijkswaterstaat, DBW/RIZA, Lelystad, 1991,
ISBN: 903690451X.

Geologische kaart van Nederland,
Wee, M.W. ter (1966), kaartblad 10 Oost;
Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Geo-elektrisch onderzoek,
Senden, W. (1980), Stavoren/Steenwijk, kaartbladen 15 West, 15 Oost en 16 West, rapportno. GF-124;
Dienst Grondwaterverkenning (thans Instituut voor Grondwater en Geo-Energie) TNO.

Gieske, J.M.J. (1991),
De oorsprong van het brakke grondwater in het IJsselmeergebied: diffusie, dispersie of dichtheidstroming?,
H_2O (24) 1991, nr. 7, pp. 188-193.

Griffioen, J. (1992),
Cation-exchange and carbonate chemistry in aquifers following groundwater flow,
Ph.D-thesis, Free University, Amsterdam, 196 pp.

Grontmij, afdeling Bodem en Water (1990),
Vooronderzoek haalbaarheidsonderzoek vaarverbinding Blokzijl-Lemmer,
Bijlagenrapport geohydrologisch onderzoek.

Grondwaterkaart van Nederland,
Uil, H. en E. de Heer (1984), Stavoren/Steenwijk, kaartbladen 15B, 15D, 15 Oost en 16 West, rapportno.: GWK 34;
Uil, H. (1980), Lelystad/Zwolle, kaartbladen 20 Oost en 21 West, rapportno.: GWK 27;
Dienst Grondwaterverkenning (thans Instituut voor Grondwater en Geo-Energie) TNO.

Heidemij Adviesbureau,
Natte structuurschets Waterschap Noordoostpolder,
rapportnummer 634/33023/R003, september 1989.

Hoogendoorn, J.H. (1989),
Geohydrologische evaluatie ten behoeve van ecologische effectbepaling in het gebied Gorecht,
rapportno.: OS 89-66-B,
Dienst Grondwaterverkenning (thans Instituut voor Grondwater en Geo-Energie) TNO.

Hoogendoorn, J.H. en C.B.M. te Stroet (1994),
Optimalisatie waterbeheer Wierden/Wierdense Veld - technisch rapport,
rapportno.: OS 94-14,
Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Hoogendoorn, J.H. (1993),
Hydrologische systeemanalyse Noordwest Overijssel:
Uitwerking sectorvarianten 0 t/m 7,
Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Hoogendoorn, J.H. (1993),
Hydrologische systeemanalyse Noordwest Overijssel:
Nota rekenvarianten: uitwerking rekenvarianten 1 t/m 3,
Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Jakeman, A.J., F. Ghassemi and C.R. Dietrich (1990),
Calibration and reliability of an aquifer system model using generalized sensivity analyses,
In: K. Kovar, editor: ModelCare90: Calibration and reliability in Groundwater Modelling, pp. 43-51,
The Hague, 5-9 September 1990,
IAHS-publ. 195.

Kleijberg, R.J.M. en J. Klooker (1993),
Ecohydrologische systeemanalyse Noordwest Overijssel,
LB&P/Heidemij Advies.

LaVenue, M.A. and J.F. Pickens (in press),
Application of a coupled Adjoint-Sensitivity and Kriging Approach to Calibrate a Ground-Water Flow Model,
Water Resour. Res., to be published.

McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh (1988),
A modular three-dimensional finite-difference ground-water model,
U.S. Geological Survey, Book 6.

Olsthoorn, T.N. (1989),
Grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van de Duitse bruinkoolwinning in de Roerdalslenk. Kwantitatieve analyse van de verschillen tussen de Duitse en de Nederlandse modelstudie,
Technical Report 728610001, RIVM.

Oranjewoud (1986),
De overgangsproblematiek in Noordwest Overijssel; Oriënterend onderzoek met detailstudie waterbeheer,
Projectnummer 08197.

Provincie Drenthe (1992),
Werkboek Waterhuishoudingsplan,
Deel I: onderzoek en methodiek.

Provincie Friesland,
kaart van de Friesche boezem, schaal 1:100.000.

REGIS
(in bewerking) (1993), Verantwoording opbouw bestanden voor de Provincie Overijssel,
Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Stein, M. (1987),
Large Sample Properties of Simulations Using Latin Hypercube Sampling,
Technometrics, 29 (2), pp. 143-151.

Stroet, C.B.M. te (1993),
Kwantificering van onnauwkeurigheid in grondwaterstromingsmodellering,
In: Proceskennis en statistiek in bodem en grondwater,
Commissie voor Hydrologische Onderzoek (CHO) TNO, rapporten en nota's no. 30.

Tóth, J. (1963),
A theoretical analyses of groundwater flow in small drainage basins,
Journal of Geophisical Research, Vol. 68, no. 16.

Volker, A. (1961),
Source of brackish groundwater in the Dutch coastal area in relation to geomorphological evolution,
Geologie en Mijnbouw, vol. 60, pp. 363-368.

Waterloopkundig Laboratorium (1990),
Waterbeheersmodel voor Noordwest Overijssel,
rapport nr. T385.

Wee, M.W. ter (1962),
The Saalien Glaciation in the Netherlands,
Mededeling van de Geologische Stichting Nieuwe Serie, nr. 15, pp. 57-76.

Weersing, R.J.R. (1993),
Inrichting van een numeriek laboratorium voor grondwaterstandsanalyse: geostatistische generatie van bodemparameters en systeemruis, rapportno.: in bewerking, Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Wirdum, G. van (1991),
Vegetation and hydrology of floating rich-fens, Academisch proefschrift, Universiteit van Amsterdam, ISBN 90-5291-045-6.

BIJLAGEN

Bijlage 1. Differentiatie van de initiële en bijgestelde ranges

Initiële range

```
k1-pointer1: k-waarde modellaag 1; overwegend zandgronden
       5.0200        7.0180 100****************        5%     5*****
       7.0180        9.0160 100****************        8%     8********
       9.0160       11.0140 100****************        2%     2**
      11.0140       13.0120 100****************        7%     7*******
      13.0120       15.0100 100****************        4%     4****
      15.0100       17.0079 100****************        4%     4****
      17.0079       19.0059 100****************        4%     4****
      19.0059       21.0039 100****************        4%     4****
      21.0039       23.0019 100****************        4%     4****
      23.0019       24.9999 100****************        7%     7*******

k1-pointer2: k-waarde modellaag1; overwegend veengronden
       5.0200        7.0180 100****************        5%     5*****
       7.0180        9.0160 100****************        4%     4****
       9.0160       11.0140 100****************        4%     4****
      11.0140       13.0120 100****************        5%     5*****
      13.0120       15.0100 100****************        8%     8********
      15.0100       17.0079 100****************        3%     3***
      17.0079       19.0059 100****************        6%     6******
      19.0059       21.0039 100****************        2%     2**
      21.0039       23.0019 100****************        7%     7*******
      23.0019       24.9999 100****************        6%     6******

k1-poniter3: k-waarde modellaag 1; overwegend kleigronden
       5.0200        7.0180 100****************        3%     3**
       7.0180        9.0160 100****************        5%     5***
       9.0160       11.0140 100****************        3%     3**
      11.0140       13.0120 100****************        9%     9******
      13.0120       15.0100 100****************        5%     5***
      15.0100       17.0080 100****************        3%     3**
      17.0080       19.0060 100****************        6%     6****
      19.0060       21.0040 100****************       11%    11********
      21.0040       23.0020 100****************        1%     1*
      23.0020       25.0000 100****************        4%     4***

k2&3-pointer1: k-waarde modellaag 2&3
       5.0200        7.0180 100****************        1%     1*
       7.0180        9.0160 100****************        3%     3***
       9.0160       11.0140 100****************        4%     4****
      11.0140       13.0120 100****************        5%     5*****
      13.0120       15.0100 100****************        6%     6******
      15.0100       17.0080 100****************        6%     6******
      17.0080       19.0060 100****************        5%     5*****
      19.0060       21.0040 100****************        7%     7********
      21.0040       23.0020 100****************        7%     7********
      23.0020       25.0000 100****************        6%     6******
```

Bijgestelde range

```
k1-pointerp1: k-waarde modellaag 1; 'natte' cellen
       1.0090        1.9081 100****************        2%     2**
       1.9081        2.8072 100****************        4%     4***
       2.8072        3.7063 100****************        5%     5****
       3.7063        4.6054 100****************        3%     3**
       4.6054        5.5045 100****************        4%     4***
       5.5045        6.4036 100****************        6%     6*****
       6.4036        7.3027 100****************       10%    10********
       7.3027        8.2018 100****************        4%     4***
       8.2018        9.1009 100****************        8%     8******
       9.1009       10.0000 100****************        4%     4***
```

Initiële range

```
k4&5-pointer1: k-waarde modellaag 4&5
      40.0400      44.0360 100****************      1%    1*
      44.0360      48.0320 100****************      0%    0
      48.0320      52.0280 100****************      3%    3**
      52.0280      56.0240 100****************      3%    3**
      56.0240      60.0200 100****************      1%    1*
      60.0200      64.0159 100****************      5%    5***
      64.0159      68.0119 100****************      7%    7****
      68.0119      72.0079 100****************      8%    8*****
      72.0079      76.0039 100****************      9%    9*****
      76.0039      79.9999 100****************     13%   13********

c01-pointer1: 'topsysteem'
       5.0450       9.5405 100****************      3%    3***
       9.5405      14.0360 100****************      1%    1*
      14.0360      18.5315 100****************      2%    2**
      18.5315      23.0270 100****************      4%    4***
      23.0270      27.5225 100****************      7%    7******
      27.5225      32.0179 100****************      6%    6*****
      32.0179      36.5134 100****************      3%    3***
      36.5134      41.0089 100****************      6%    6*****
      41.0089      45.5044 100****************      9%    9********
      45.5044      49.9999 100****************      9%    9********

c01-pointer2: Westland: kleien/zanden
      50.1999      70.1799 100****************      6%    6*****
      70.1799      90.1599 100****************      3%    3***
      90.1599     110.1399 100****************      2%    2**
     110.1399     130.1199 100****************      7%    7******
     130.1199     150.0999 100****************      5%    5****
     150.0999     170.0800 100****************      9%    9********
     170.0800     190.0600 100****************      2%    2**
     190.0600     210.0400 100****************      4%    4***
     210.0400     230.0200 100****************      7%    7******
     230.0200     250.0000 100****************      5%    5****
```

Bijgestelde range

```
k2-pointerp1: k-waarde modellaag 2; 'natte' cellen
       5.0200       7.0180 100****************      4%    4***
       7.0180       9.0160 100****************      5%    5****
       9.0160      11.0140 100****************      6%    6*****
      11.0140      13.0120 100****************      4%    4***
      13.0120      15.0100 100****************      4%    4***
      15.0100      17.0080 100****************      3%    3**
      17.0080      19.0060 100****************      6%    6*****
      19.0060      21.0040 100****************      3%    3**
      21.0040      23.0020 100****************      5%    5****
      23.0020      25.0000 100****************     10%   10********

k3-pointerp1: k-waarde modellaag 3
       5.0200       7.0180 100****************      3%    3***
       7.0180       9.0160 100****************      1%    1*
       9.0160      11.0140 100****************      5%    5*****
      11.0140      13.0120 100****************      5%    5*****
      13.0120      15.0100 100****************      6%    6******
      15.0100      17.0080 100****************      8%    8********
      17.0080      19.0060 100****************      7%    7*******
      19.0060      21.0040 100****************      7%    7*******
      21.0040      23.0020 100****************      3%    3***
      23.0020      25.0000 100****************      5%    5*****

k4&5-pointerp1: k-waarde modellaag 4&5
      60.0399      64.0359 100****************      2%    2*
      64.0359      68.0319 100****************      1%    1*
      68.0319      72.0279 100****************
      72.0279      76.0239 100****************      3%    3**
      76.0239      80.0200 100****************      5%    5***
      80.0200      84.0160 100****************     13%   13********
      84.0160      88.0120 100****************      8%    8*****
      88.0120      92.0080 100****************      6%    6***
      92.0080      96.0040 100****************      7%    7****
      96.0040     100.0000 100****************      5%    5***

c01-pointerp1: 'topsysteem'
      25.0750      32.5675 100****************      2%    2*
      32.5675      40.0600 100****************      5%    5***
      40.0600      47.5525 100****************      2%    2*
      47.5525      55.0450 100****************      6%    6****
      55.0450      62.5375 100****************      4%    4***
      62.5375      70.0300 100****************      5%    5***
      70.0300      77.5225 100****************      4%    4***
      77.5225      85.0150 100****************      2%    2*
      85.0150      92.5075 100****************     12%   12********
      92.5075     100.0000 100****************      8%    8*****

c01-pointerp2: Westland: kleien/zanden
      50.1999      70.1799 100****************      5%    5*****
      70.1799      90.1599 100****************      5%    5*****
      90.1599     110.1399 100****************      4%    4****
     110.1399     130.1199 100****************      4%    4****
     130.1199     150.0999 100****************      6%    6******
     150.0999     170.0800 100****************      5%    5*****
     170.0800     190.0600 100****************      7%    7********
     190.0600     210.0400 100****************      4%    4****
     210.0400     230.0200 100****************      6%    6******
     230.0200     250.0000 100****************      4%    4****
```

Initiële range

c01-pointer3: Westland: kleien/zanden/veen

50.2000	70.1800	100**********	1%	1*
70.1800	90.1600	100**********		
90.1600	110.1400	100**********	1%	1*
110.1400	130.1200	100**********	3%	3**
130.1200	150.1000	100**********	3%	3**
150.1000	170.0800	100**********	8%	8*****
170.0800	190.0600	100**********	7%	7****
190.0600	210.0400	100**********	9%	9*****
210.0400	230.0200	100**********	5%	5***
230.0200	250.0000	100**********	13%	13********

c01-pointer4: Westland: veen

50.2000	70.1799	100**********	6%	6********
70.1799	90.1599	100**********	6%	6********
90.1599	110.1398	100**********	5%	5******
110.1398	130.1198	100**********	6%	6********
130.1198	150.0997	100**********	4%	4*****
150.0997	170.0797	100**********	6%	6********
170.0797	190.0596	100**********	2%	2***
190.0596	210.0396	100**********	4%	4*****
210.0396	230.0195	100**********	6%	6********
230.0195	249.9995	100**********	5%	5******

c02-pointer1: Twente beekleem/klei

40.1600	56.1440	100**********	3%	3***
56.1440	72.1280	100**********	2%	2**
72.1280	88.1120	100**********	6%	6******
88.1120	104.0960	100**********	5%	5*****
104.0960	120.0800	100**********	5%	5*****
120.0800	136.0640	100**********	8%	8********
136.0640	152.0480	100**********	7%	7*******
152.0480	168.0320	100**********	3%	3***
168.0320	184.0160	100**********	6%	6******
184.0160	200.0000	100**********	5%	5*****

c02-pointer2: Drente klei

40.1600	56.1440	100**********	0%	0
56.1440	72.1280	100**********	0%	0
72.1280	88.1120	100**********	2%	2*
88.1120	104.0960	100**********	3%	3**
104.0960	120.0800	100**********	3%	3**
120.0800	136.0640	100**********	7%	7****
136.0640	152.0480	100**********	4%	4***
152.0480	168.0320	100**********	8%	8*****
168.0320	184.0160	100**********	11%	11*******
184.0160	200.0000	100**********	12%	12********

Bijgestelde range

c01-pointerp3: Westland: kleien/zanden/veen

100.4000	140.3600	100**********		
140.3600	180.3200	100**********	5%	5****
180.3200	220.2800	100**********	3%	3***
220.2800	260.2400	100**********	7%	7******
260.2400	300.2000	100**********	9%	9********
300.2000	340.1600	100**********	5%	5****
340.1600	380.1200	100**********	4%	4***
380.1200	420.0800	100**********	5%	5****
420.0800	460.0400	100**********	9%	9********
460.0400	500.0000	99**********	3%	3***

c01-pointerp4: Westland: veen

100.3977	140.3578	100**********	11%	11********
140.3578	180.3179	100**********	10%	10*******
180.3179	220.2780	100**********	10%	10*******
220.2780	260.2381	100**********	7%	7*****
260.2381	300.1982	100**********	5%	5***
300.1982	340.1584	100**********	2%	2*
340.1584	380.1185	100**********	3%	3**
380.1185	420.0786	100**********	2%	2*
420.0786	460.0387	100**********		
460.0387	499.9988	100**********		

c02-pointerp1: Twente beekleem/klei

50.2000	70.1800	100**********	5%	5*****
70.1800	90.1600	100**********	5%	5*****
90.1600	110.1400	100**********	6%	6******
110.1400	130.1200	100**********	6%	6******
130.1200	150.1000	100**********	7%	7********
150.1000	170.0800	100**********	3%	3***
170.0800	190.0600	100**********	3%	3***
190.0600	210.0400	100**********	6%	6******
210.0400	230.0200	100**********	5%	5*****
230.0200	250.0000	99**********	4%	4****

c02-pointerp2: Drente klei (dikte < 7,5 meter)

50.1994	70.1795	100**********	2%	2**
70.1795	90.1595	100**********	2%	2**
90.1595	110.1396	100**********	4%	4***
110.1396	130.1196	100**********	2%	2**
130.1196	150.0997	100**********	3%	3**
150.0997	170.0798	100**********	6%	6*****
170.0798	190.0598	100**********	6%	6*****
190.0598	210.0399	100**********	5%	5****
210.0399	230.0199	100**********	10%	10********
230.0199	250.0000	99**********	10%	10********

Initiële range

```
c03-pointer1: klei in bovenkant Formatie van Urk
     150.4485      195.4036 100****************      4%    4****
     195.4036      240.3587 100****************      5%    5*****
     240.3587      285.3138 100****************      4%    4****
     285.3138      330.2689 100****************      4%    4****
     330.2689      375.2239 100****************      7%    7********
     375.2239      420.1790 100****************      5%    5*****
     420.1790      465.1342 100****************      5%    5*****
     465.1342      510.0892 100****************      5%    5*****
     510.0892      555.0443 100****************      6%    6******
     555.0443      599.9994 100****************      5%    5*****

c03-pointer2: Eem klei
     150.4500      195.4050 100****************     11%   11********
     195.4050      240.3600 100****************      6%    6****
     240.3600      285.3150 100****************      9%    9******
     285.3150      330.2700 100****************      5%    5***
     330.2700      375.2250 100****************      2%    2*
     375.2250      420.1800 100****************      4%    4***
     420.1800      465.1350 100****************      5%    5***
     465.1350      510.0900 100****************      2%    2*
     510.0900      555.0450 100****************      3%    3**
     555.0450      600.0000 100****************      3%    3**

c04-pointer1: klei in onderkant Formatie van Urk
     150.4500      195.4050 100****************      2%    2**
     195.4050      240.3600 100****************      5%    5*****
     240.3600      285.3149 100****************      6%    6******
     285.3149      330.2699 100****************      7%    7********
     330.2699      375.2249 100****************      6%    6******
     375.2249      420.1799 100****************      4%    4****
     420.1799      465.1348 100****************      6%    6******
     465.1348      510.0898 100****************      7%    7********
     510.0898      555.0448 100****************      4%    4****
     555.0448      599.9998 100****************      3%    3***

rch-pointer1: grondwateraanvulling; hoge gronden
       0.5004        0.5404 100****************      2%    2**
       0.5404        0.5803 100****************      1%    1*
       0.5803        0.6203 100****************      3%    3***
       0.6203        0.6602 100****************      4%    4***
       0.6602        0.7002 100****************      5%    5****
       0.7002        0.7402 100****************      7%    7******
       0.7402        0.7801 100****************      7%    7******
       0.7801        0.8201 100****************      8%    8*******
       0.8201        0.8600 100****************      9%    9********
       0.8600        0.9000 100****************      4%    4***
```

Bijgestelde range

```
c02-pointerp3: Drente klei (dikte > 7,5 meter)
     504.4921      954.0425 100****************     11%   11********
     954.0425     1403.5929 100****************     10%   10*******
    1403.5929     1853.1432 100****************      6%    6****
    1853.1432     2302.6936 100****************      9%    9******
    2302.6936     2752.2441 100****************      2%    2*
    2752.2441     3201.7944 100****************      5%    5***
    3201.7944     3651.3450 100****************      3%    3**
    3651.3450     4100.8950 100****************      1%    1*
    4100.8950     4550.4453 100****************      2%    2*
    4550.4453     4999.9961  99****************      1%    1*

c03-pointerp1: klei in bovenkant Formatie van Urk
      20.0800       28.0720 100****************      5%    5*****
      28.0720       36.0640 100****************      7%    7********
      36.0640       44.0560 100****************      4%    4****
      44.0560       52.0480 100****************      4%    4****
      52.0480       60.0400 100****************      6%    6******
      60.0400       68.0320 100****************      6%    6******
      68.0320       76.0240 100****************      5%    5*****
      76.0240       84.0160 100****************      6%    6******
      84.0160       92.0080 100****************      5%    5*****
      92.0080      100.0000  99****************      2%    2**

c03-pointerp2: Eem klei
      20.0800       28.0720 100****************     10%   10********
      28.0720       36.0640 100****************      4%    4***
      36.0640       44.0560 100****************      5%    5****
      44.0560       52.0480 100****************      3%    3**
      52.0480       60.0400 100****************      6%    6*****
      60.0400       68.0320 100****************      5%    5****
      68.0320       76.0240 100****************      9%    9*******
      76.0240       84.0160 100****************
      84.0160       92.0080 100****************      2%    2**
      92.0080      100.0000  99****************      6%    6*****

c04-pointerp1: klei in onderkant Formatie van Urk
     200.8000      280.7200 100****************      3%    3***
     280.7200      360.6400 100****************      4%    4***
     360.6400      440.5600 100****************      8%    8*******
     440.5600      520.4800 100****************      9%    9********
     520.4800      600.4000 100****************      4%    4***
     600.4000      680.3200 100****************      7%    7******
     680.3200      760.2400 100****************      3%    3***
     760.2400      840.1600 100****************      4%    4***
     840.1600      920.0800 100****************      6%    6*****
     920.0800      999.9999  99****************      2%    2**
```

Initiële range

rch-pointer2: grondwateraanvulling; lage gronden

0.5004	0.5404	100**********	5%	5*****
0.5404	0.5803	100**********	7%	7********
0.5803	0.6203	100**********	7%	7********
0.6203	0.6602	100**********	6%	6******
0.6602	0.7002	100**********	7%	7********
0.7002	0.7402	100**********	4%	4****
0.7402	0.7801	100**********	2%	2**
0.7801	0.8201	100**********	4%	4****
0.8201	0.8600	100**********	5%	5*****
0.8600	0.9000	100**********	3%	3***

rivp-pointer1: peil w.l.; peil bekend; hoge gronden

-0.2994	-0.2395	100**********	0%	0
-0.2395	-0.1795	100**********	0%	0
-0.1795	-0.1196	100**********	2%	2*
-0.1196	-0.0596	100**********	2%	2*
-0.0596	0.0003	100**********	6%	6***
0.0003	0.0602	100**********	10%	10*****
0.0602	0.1202	100**********	8%	8****
0.1202	0.1801	100**********	14%	14********
0.1801	0.2401	100**********	7%	7****
0.2401	0.3000	100**********	1%	1*

rivp-pointer2: peil w.l.: peil bekend; lage gronden

-0.2994	-0.2395	100**********	0%	0
-0.2395	-0.1795	100**********	0%	0
-0.1795	-0.1196	100**********	1%	1*
-0.1196	-0.0596	100**********	6%	6***
-0.0596	0.0003	100**********	8%	8****
0.0003	0.0602	100**********	10%	10*****
0.0602	0.1202	100**********	15%	15********
0.1202	0.1801	100**********	6%	6***
0.1801	0.2401	100**********	3%	3**
0.2401	0.3000	100**********	1%	1*

rivp-pointer3: peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; hoge gronden

-0.4990	-0.3991	100**********	7%	7*****
-0.3991	-0.2992	100**********	2%	2**
-0.2992	-0.1993	100**********	5%	5****
-0.1993	-0.0994	100**********	5%	5****
-0.0994	0.0005	100**********	5%	5****
0.0005	0.1004	100**********	10%	10********
0.1004	0.2003	100**********	6%	6*****
0.2003	0.3002	100**********	3%	3**
0.3002	0.4001	100**********	4%	4***
0.4001	0.5000	100**********	3%	3**

rivp-pointer4: peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; lage gronden

-0.4990	-0.3991	100**********	4%	4***
-0.3991	-0.2992	100**********	6%	6*****
-0.2992	-0.1993	100**********	3%	3**
-0.1993	-0.0994	100**********	4%	4***
-0.0994	0.0005	100**********	6%	6*****
0.0005	0.1004	100**********	3%	3**
0.1004	0.2003	100**********	5%	5****
0.2003	0.3002	100**********	5%	5****
0.3002	0.4001	100**********	4%	4***
0.4001	0.5000	100**********	10%	10********

Bijgestelde range

rivp-pointerp3: peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; hoge gronden

-0.4990	-0.3991	100**********	3%	3***
-0.3991	-0.2992	100**********	4%	4****
-0.2992	-0.1993	100**********	5%	5*****
-0.1993	-0.0994	100**********	6%	6******
-0.0994	0.0005	100**********	6%	6******
0.0005	0.1004	100**********	2%	2**
0.1004	0.2003	100**********	7%	7********
0.2003	0.3002	100**********	7%	7********
0.3002	0.4001	100**********	4%	4****
0.4001	0.5000	100**********	6%	6******

rivp-pointerp4: peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; lage gronden

-0.4990	-0.3991	100**********	2%	2**
-0.3991	-0.2992	100**********	2%	2**
-0.2992	-0.1993	100**********	5%	5*****
-0.1993	-0.0994	100**********	3%	3***
-0.0994	0.0005	100**********	6%	6******
0.0005	0.1004	100**********	6%	6******
0.1004	0.2003	100**********	8%	8********
0.2003	0.3002	100**********	7%	7*******
0.3002	0.4001	100**********	4%	4****
0.4001	0.5000	100**********	7%	7*******

Initiële range

```
rivp-pointer5: peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; NOP
      -0.4990      -0.3991 100****************      7%    7*****
      -0.3991      -0.2992 100****************     11%   11********
      -0.2992      -0.1993 100****************      7%    7*****
      -0.1993      -0.0994 100****************      6%    6****
      -0.0994       0.0005 100****************      8%    8*****
       0.0005       0.1004 100****************      4%    4***
       0.1004       0.2003 100****************      2%    2*
       0.2003       0.3002 100****************      1%    1*
       0.3002       0.4001 100****************      2%    2*
       0.4001       0.5000 100****************      2%    2*

rivp-pointer6: peil w.l.: peil gerel. aan bodemhoogte
      -0.3992      -0.3193 100****************      3%    3***
      -0.3193      -0.2394 100****************      7%    7*******
      -0.2394      -0.1594 100****************      8%    8********
      -0.1594      -0.0795 100****************      7%    7*******
      -0.0795       0.0004 100****************      4%    4****
       0.0004       0.0803 100****************      3%    3***
       0.0803       0.1602 100****************      5%    5*****
       0.1602       0.2402 100****************      5%    5*****
       0.2402       0.3201 100****************      1%    1*
       0.3201       0.4000 100****************      7%    7*******

rivp-pointer7: peil w.l.: infiltratiegebieden NOP
      -0.4990      -0.3991 100****************      8%    8********
      -0.3991      -0.2992 100****************      4%    4****
      -0.2992      -0.1993 100****************      5%    5*****
      -0.1993      -0.0994 100****************      2%    2**
      -0.0994       0.0005 100****************      7%    7*******
       0.0005       0.1004 100****************      5%    5*****
       0.1004       0.2003 100****************      7%    7*******
       0.2003       0.3002 100****************      7%    7*******
       0.3002       0.4001 100****************      2%    2**
       0.4001       0.5000 100****************      3%    3***

rivp-pointer8: peil w.l.: meren/open water
      -0.2994      -0.2395 100****************      7%    7********
      -0.2395      -0.1795 100****************      6%    6******
      -0.1795      -0.1196 100****************      6%    6******
      -0.1196      -0.0596 100****************      4%    4****
      -0.0596       0.0003 100****************      7%    7********
       0.0003       0.0602 100****************      5%    5*****
       0.0602       0.1202 100****************      3%    3***
       0.1202       0.1801 100****************      7%    7********
       0.1801       0.2401 100****************      1%    1*
       0.2401       0.3000 100****************      4%    4****

rivc-pointer1: cond w.l.: geometrie bekend; hoge gronden
       0.5045       0.9540 100****************     10%   10********
       0.9540       1.4036 100****************      2%    2**
       1.4036       1.8531 100****************      8%    8******
       1.8531       2.3027 100****************      6%    6*****
       2.3027       2.7522 100****************      4%    4***
       2.7522       3.2018 100****************      2%    2**
       3.2018       3.6514 100****************      5%    5****
       3.6514       4.1009 100****************      4%    4***
       4.1009       4.5504 100****************      4%    4***
       4.5504       5.0000 100****************      5%    5****
```

Bijgestelde range

```
rivp-pointerp5: peil w.l.: peil gerel. aan m.v.; NOP
      -0.4990      -0.3991 100****************      4%    4***
      -0.3991      -0.2992 100****************      4%    4***
      -0.2992      -0.1993 100****************      6%    6*****
      -0.1993      -0.0994 100****************      6%    6*****
      -0.0994       0.0005 100****************      6%    6*****
       0.0005       0.1004 100****************     10%   10********
       0.1004       0.2003 100****************      5%    5****
       0.2003       0.3002 100****************      2%    2**
       0.3002       0.4001 100****************      2%    2**
       0.4001       0.5000 100****************      5%    5****

rivp-pointerp6: peil w.l.: peil gerel. aan bodemhoogte
      -0.3992      -0.3193 100****************
      -0.3193      -0.2394 100****************      2%    2*
      -0.2394      -0.1594 100****************      2%    2*
      -0.1594      -0.0795 100****************      4%    4**
      -0.0795       0.0004 100****************      2%    2*
       0.0004       0.0803 100****************     13%   13********
       0.0803       0.1602 100****************      2%    2*
       0.1602       0.2402 100****************     13%   13********
       0.2402       0.3201 100****************      5%    5***
       0.3201       0.4000  99****************      7%    7****

rivp-pointerp7: peil w.l.; infiltratiegebieden NOP
      -0.4990      -0.3991 100****************      3%    3***
      -0.3991      -0.2992 100****************      2%    2**
      -0.2992      -0.1993 100****************      7%    7******
      -0.1993      -0.0994 100****************      3%    3***
      -0.0994       0.0005 100****************      6%    6*****
       0.0005       0.1004 100****************      3%    3***
       0.1004       0.2003 100****************      7%    7******
       0.2003       0.3002 100****************      9%    9********
       0.3002       0.4001 100****************      6%    6*****
       0.4001       0.5000 100****************      4%    4***

rivc-pointerp1: cond w.l.: geometrie bekend; hoge gronden
       0.5045       0.9540 100****************      3%    3**
       0.9540       1.4036 100****************      4%    4***
       1.4036       1.8531 100****************      6%    6****
       1.8531       2.3027 100****************     12%   12********
       2.3027       2.7522 100****************      6%    6****
       2.7522       3.2018 100****************      6%    6****
       3.2018       3.6514 100****************      4%    4***
       3.6514       4.1009 100****************      4%    4***
       4.1009       4.5504 100****************      2%    2*
       4.5504       5.0000 100****************      3%    3**
```

Initiële range

```
rivc-pointer2: cond w.l.: geometrie bekend; lage gronden
      0.5045      0.9540 100****************      2%    2**
      0.9540      1.4036 100****************      5%    5*****
      1.4036      1.8531 100****************      8%    8********
      1.8531      2.3027 100****************      4%    4****
      2.3027      2.7522 100****************      5%    5*****
      2.7522      3.2018 100****************      6%    6******
      3.2018      3.6514 100****************      7%    7*******
      3.6514      4.1009 100****************      5%    5*****
      4.1009      4.5504 100****************      2%    2**
      4.5504      5.0000 100****************      6%    6******

rivc-pointer3: cond w.l.: geometrie onbekend; hoge gronden
      0.5045      0.9540 100****************      4%    4***
      0.9540      1.4036 100****************      5%    5****
      1.4036      1.8531 100****************      6%    6*****
      1.8531      2.3027 100****************      5%    5****
      2.3027      2.7522 100****************      9%    9********
      2.7522      3.2018 100****************      5%    5****
      3.2018      3.6514 100****************      3%    3***
      3.6514      4.1009 100****************      3%    3***
      4.1009      4.5504 100****************      2%    2**
      4.5504      5.0000 100****************      8%    8*******

rivc-pointer4: cond w.l.: geometrie onbekend; lage gronden
      0.5045      0.9540 100****************      5%    5*****
      0.9540      1.4036 100****************      4%    4****
      1.4036      1.8531 100****************      8%    8********
      1.8531      2.3027 100****************      4%    4****
      2.3027      2.7522 100****************      4%    4****
      2.7522      3.2018 100****************      4%    4****
      3.2018      3.6514 100****************      2%    2**
      3.6514      4.1009 100****************      7%    7*******
      4.1009      4.5504 100****************      6%    6******
      4.5504      5.0000 100****************      6%    6******

rivc-pointer5: cond w.l.: geometrie onbekend; NOP
      0.5045      0.9540 100****************      4%    4****
      0.9540      1.4036 100****************      5%    5*****
      1.4036      1.8531 100****************      3%    3***
      1.8531      2.3027 100****************      6%    6******
      2.3027      2.7522 100****************      8%    8********
      2.7522      3.2018 100****************      4%    4****
      3.2018      3.6514 100****************      5%    5*****
      3.6514      4.1009 100****************      6%    6******
      4.1009      4.5504 100****************      3%    3***
      4.5504      5.0000 100****************      6%    6******

rivc-pointer6: cond w.l.: geometrie onbekend; WS-Vollenhove
      0.5045      0.9540 100****************      5%    5*****
      0.9540      1.4036 100****************      3%    3***
      1.4036      1.8531 100****************      5%    5*****
      1.8531      2.3027 100****************      6%    6******
      2.3027      2.7522 100****************      6%    6******
      2.7522      3.2018 100****************      7%    7********
      3.2018      3.6514 100****************      4%    4****
      3.6514      4.1009 100****************      7%    7********
      4.1009      4.5504 100****************      2%    2**
      4.5504      5.0000 100****************      4%    4****
```

Bijgestelde range

```
rivc-pointerp2: cond w.l.: geometrie bekend; lage gronden
      0.5045      0.9540 100****************      5%    5****
      0.9540      1.4036 100****************      9%    9********
      1.4036      1.8531 100****************      7%    7******
      1.8531      2.3027 100****************      3%    3***
      2.3027      2.7522 100****************      3%    3***
      2.7522      3.2018 100****************      6%    6*****
      3.2018      3.6514 100****************      4%    4***
      3.6514      4.1009 100****************      4%    4***
      4.1009      4.5504 100****************      4%    4***
      4.5504      5.0000 100****************      5%    5****

rivc-pointerp3: cond w.l.: geometrie onbekend; hoge gronden
      0.5045      0.9540 100****************      3%    3**
      0.9540      1.4036 100****************      4%    4***
      1.4036      1.8531 100****************     11%   11********
      1.8531      2.3027 100****************      8%    8*****
      2.3027      2.7522 100****************      4%    4***
      2.7522      3.2018 100****************      4%    4***
      3.2018      3.6514 100****************      2%    2*
      3.6514      4.1009 100****************      5%    5***
      4.1009      4.5504 100****************      5%    5***
      4.5504      5.0000 100****************      4%    4***

rivc-pointerp4: cond w.l.: geometrie onbekend; lage gronden
      0.5045      0.9540 100****************      6%    6******
      0.9540      1.4036 100****************      5%    5*****
      1.4036      1.8531 100****************      6%    6******
      1.8531      2.3027 100****************      5%    5*****
      2.3027      2.7522 100****************      3%    3***
      2.7522      3.2018 100****************      8%    8********
      3.2018      3.6514 100****************      2%    2**
      3.6514      4.1009 100****************      3%    3***
      4.1009      4.5504 100****************      5%    5*****
      4.5504      5.0000 100****************      7%    7*******

rivc-pointerp5: cond w.l.: geometrie onbekend; NOP
      0.5045      0.9540 100****************      5%    5*****
      0.9540      1.4036 100****************      5%    5*****
      1.4036      1.8531 100****************      5%    5*****
      1.8531      2.3027 100****************      6%    6******
      2.3027      2.7522 100****************      6%    6******
      2.7522      3.2018 100****************      6%    6******
      3.2018      3.6514 100****************      6%    6******
      3.6514      4.1009 100****************      2%    2**
      4.1009      4.5504 100****************      7%    7********
      4.5504      5.0000 100****************      2%    2**

rivc-pointerp6: cond w.l.: geometrie onbekend; WS-Vollenhove
      0.5045      0.9540 100****************     16%   16********
      0.9540      1.4036 100****************      4%    4**
      1.4036      1.8531 100****************      6%    6***
      1.8531      2.3027 100****************      6%    6***
      2.3027      2.7522 100****************      8%    8****
      2.7522      3.2018 100****************      2%    2*
      3.2018      3.6514 100****************      3%    3*
      3.6514      4.1009 100****************      2%    2*
      4.1009      4.5504 100****************
      4.5504      5.0000 100****************      2%    2*
```

Initiële range

```
rivc-pointer7: cond w.l.: infiltrerende kanalen e.d.
      0.1009      0.1908 100****************     6%    6*****
      0.1908      0.2807 100****************     6%    6*****
      0.2807      0.3706 100****************     1%    1*
      0.3706      0.4605 100****************     6%    6*****
      0.4605      0.5505 100****************     6%    6*****
      0.5505      0.6404 100****************     4%    4***
      0.6404      0.7303 100****************    10%    10********
      0.7303      0.8202 100****************     3%    3**
      0.8202      0.9101 100****************     5%    5****
      0.9101      1.0000 100****************     3%    3**

rivc-pointer8: cond w.l.: meren/open water
      0.0101      0.0191 100****************    10%    10********
      0.0191      0.0281 100****************     3%    3**
      0.0281      0.0371 100****************     6%    6*****
      0.0371      0.0461 100****************    10%    10********
      0.0461      0.0551 100****************     4%    4***
      0.0551      0.0640 100****************     2%    2**
      0.0640      0.0730 100****************     2%    2**
      0.0730      0.0820 100****************     6%    6*****
      0.0820      0.0910 100****************     2%    2**
      0.0910      0.1000  99****************     5%    5****

rivd-pointer1: hbod w.l.: infiltrerende waterlopen
      0.5010      0.6009 100****************     7%    7******
      0.6009      0.7008 100****************     2%    2**
      0.7008      0.8007 100****************     9%    9********
      0.8007      0.9006 100****************     3%    3***
      0.9006      1.0005 100****************     4%    4***
      1.0005      1.1004 100****************     4%    4***
      1.1004      1.2003 100****************     1%    1*
      1.2003      1.3002 100****************     5%    5****
      1.3002      1.4001 100****************     6%    6*****
      1.4001      1.5000 100****************     8%    8*******
```

Bijgestelde range

```
rivc-pointerp7: cond w.l.: infiltrerende kanalen e.d.
      0.0504      0.0954 100****************     5%    5*****
      0.0954      0.1403 100****************     2%    2**
      0.1403      0.1853 100****************     8%    8********
      0.1853      0.2302 100****************     4%    4****
      0.2302      0.2752 100****************     5%    5*****
      0.2752      0.3202 100****************     5%    5*****
      0.3202      0.3651 100****************     6%    6******
      0.3651      0.4101 100****************     5%    5*****
      0.4101      0.4550 100****************     2%    2**
      0.4550      0.5000  99****************     8%    8********

rivc-pointerp8: cond w.l.: meren/open water
      0.0101      0.0191 100****************     5%    5****
      0.0191      0.0281 100****************     3%    3**
      0.0281      0.0371 100****************     7%    7*****
      0.0371      0.0461 100****************     1%    1*
      0.0461      0.0551 100****************     4%    4***
      0.0551      0.0640 100****************     8%    8******
      0.0640      0.0730 100****************     2%    2**
      0.0730      0.0820 100****************    10%    10********
      0.0820      0.0910 100****************     4%    4***
      0.0910      0.1000  99****************     6%    6*****

rivc-pointerp9: cond w.l.: boezemwater; lijnelementen
      0.0504      0.0954 100****************     3%    3**
      0.0954      0.1403 100****************     7%    7*****
      0.1403      0.1853 100****************     7%    7*****
      0.1853      0.2302 100****************     5%    5****
      0.2302      0.2752 100****************     5%    5****
      0.2752      0.3202 100****************
      0.3202      0.3651 100****************    10%    10********
      0.3651      0.4101 100****************     5%    5****
      0.4101      0.4550 100****************     6%    6*****
      0.4550      0.5000  99****************     2%    2**

rivc-pointerp10: cond w.l.: boezemwater; polygonen
      0.1009      0.1908 100****************
      0.1908      0.2807 100****************     3%    3**
      0.2807      0.3706 100****************     4%    4***
      0.3706      0.4605 100****************    11%    11********
      0.4605      0.5505 100****************     3%    3**
      0.5505      0.6404 100****************     3%    3**
      0.6404      0.7303 100****************     5%    5***
      0.7303      0.8202 100****************     7%    7*****
      0.8202      0.9101 100****************     6%    6****
      0.9101      1.0000 100****************     7%    7*****

rivd-pointerp1: hbod w.l.: infiltrerende waterlopen
      0.5010      0.6009 100****************     4%    4***
      0.6009      0.7008 100****************     5%    5****
      0.7008      0.8007 100****************     2%    2**
      0.8007      0.9006 100****************     7%    7*****
      0.9006      1.0005 100****************     4%    4***
      1.0005      1.1004 100****************     4%    4***
      1.1004      1.2003 100****************     7%    7*****
      1.2003      1.3002 100****************    10%    10********
      1.3002      1.4001 100****************     5%    5****
      1.4001      1.5000 100****************     2%    2**
```

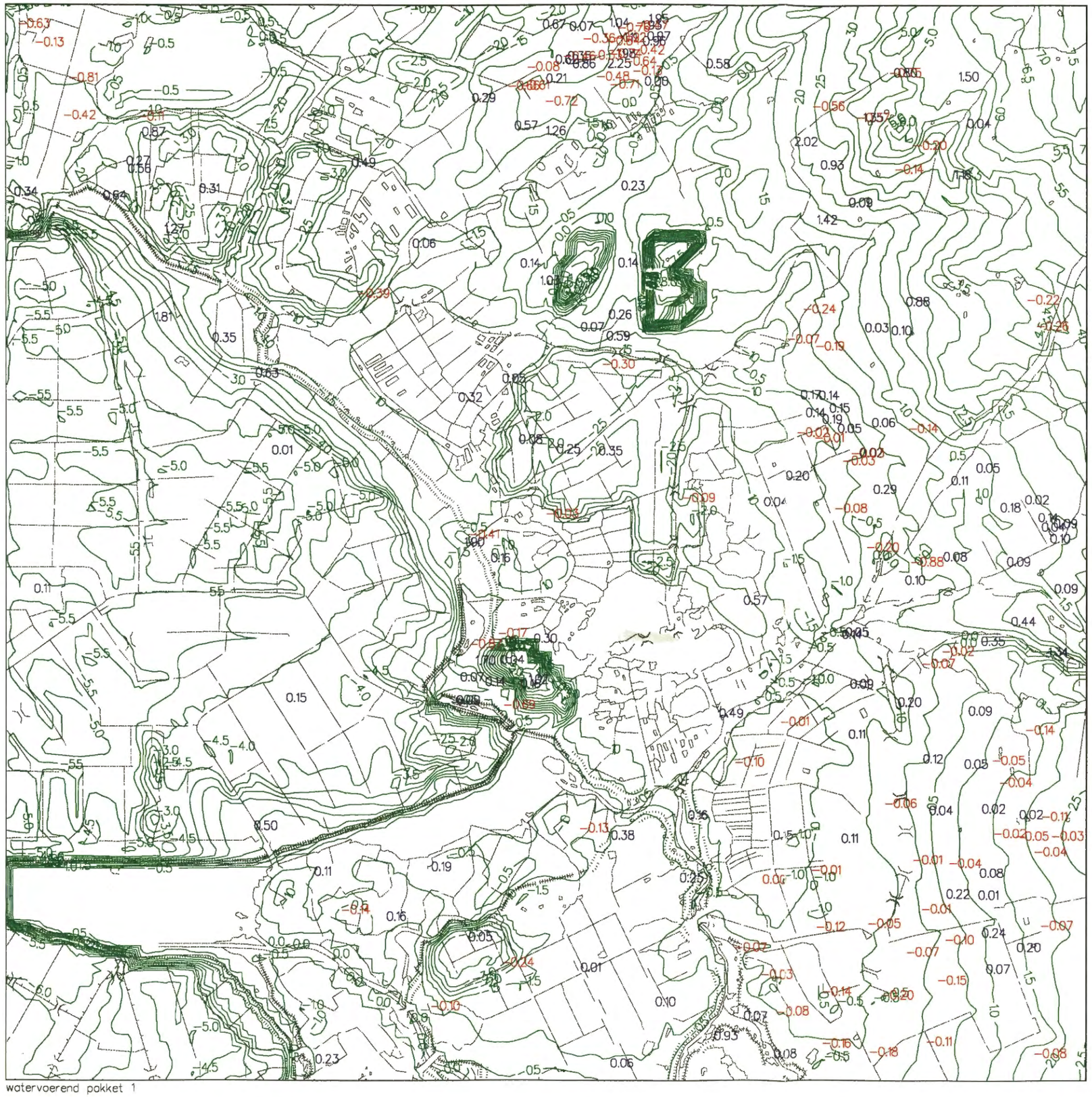
Initiële range

```
rivd-pointer2: hbod w.l.: infiltratiegebieden NOP
      0.5010      0.6009 100****************      4%    4****
      0.6009      0.7008 100****************      8%    8********
      0.7008      0.8007 100****************      7%    7*******
      0.8007      0.9006 100****************      6%    6******
      0.9006      1.0005 100****************      3%    3***
      1.0005      1.1004 100****************      3%    3***
      1.1004      1.2003 100****************      3%    3***
      1.2003      1.3002 100****************      7%    7*******
      1.3002      1.4001 100****************      3%    3***
      1.4001      1.5000 100****************      6%    6******

rivd-pointer3: hbod w.l.: overig
      0.5010      0.6009 100****************      5%    5*****
      0.6009      0.7008 100****************      5%    5*****
      0.7008      0.8007 100****************      7%    7********
      0.8007      0.9006 100****************      5%    5*****
      0.9006      1.0005 100****************      2%    2**
      1.0005      1.1004 100****************      3%    3***
      1.1004      1.2003 100****************      6%    6******
      1.2003      1.3002 100****************      3%    3***
      1.3002      1.4001 100****************      7%    7********
      1.4001      1.5000 100****************      7%    7********
```

Bijgestelde range

```
rivd-pointerp2: hbod w.l.: infiltratiegebieden NOP
      0.5010      0.6009 100****************      6%    6******
      0.6009      0.7008 100****************      6%    6******
      0.7008      0.8007 100****************      7%    7********
      0.8007      0.9006 100****************      4%    4****
      0.9006      1.0005 100****************      7%    7********
      1.0005      1.1004 100****************      2%    2**
      1.1004      1.2003 100****************      6%    6******
      1.2003      1.3002 100****************      3%    3***
      1.3002      1.4001 100****************      3%    3***
      1.4001      1.5000 100****************      5%    5*****

rivd-pointerp3: hbod w.l.: overig
      0.5010      0.6009 100****************     10%   10********
      0.6009      0.7008 100****************      5%    5****
      0.7008      0.8007 100****************      4%    4***
      0.8007      0.9006 100****************      4%    4***
      0.9006      1.0005 100****************      6%    6*****
      1.0005      1.1004 100****************      4%    4***
      1.1004      1.2003 100****************      5%    5****
      1.2003      1.3002 100****************      2%    2**
      1.3002      1.4001 100****************      7%    7*****
      1.4001      1.5000 100****************      3%    3**
```

Bijlage 2. Ruimtelijke weergave van het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten



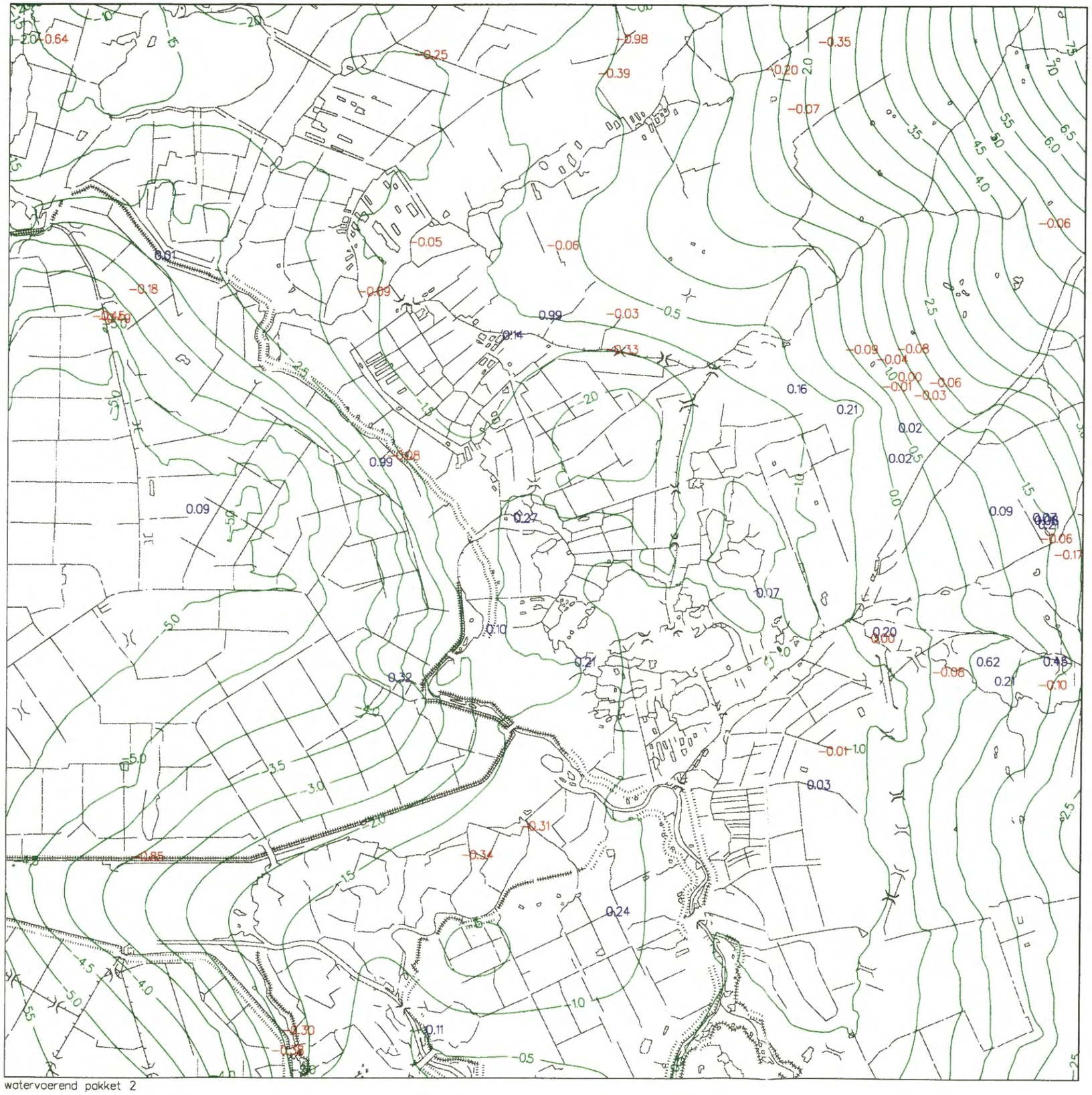
watervoerend pakket 1

Getallen: verschil tussen berekende en gemeten stijghoogte

rood: gemeten stijghoogte lager dan berekend

blauw: gemeten stijghoogte hoger dan berekend

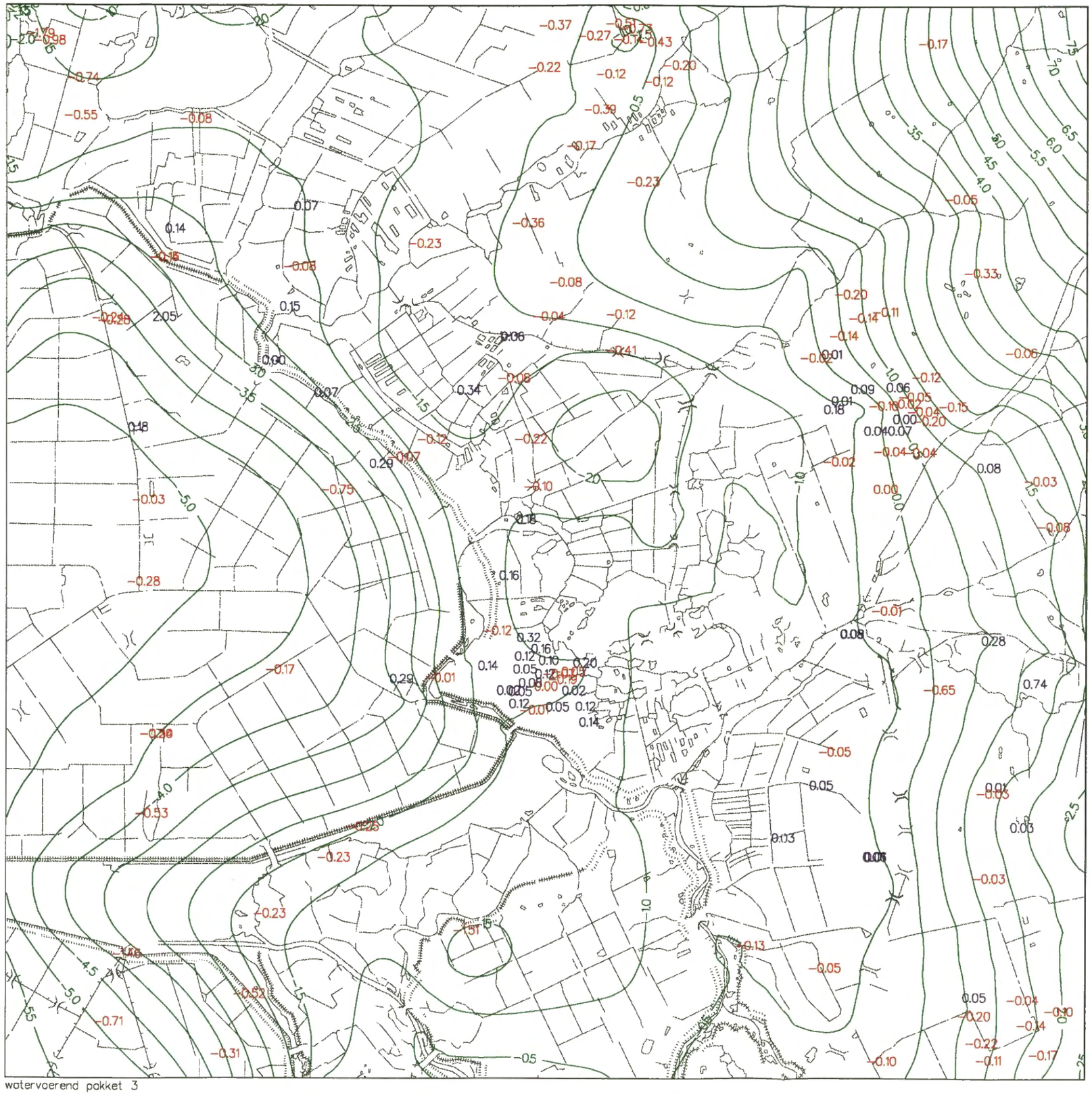
groen: contourpotroon van de berekende stijghoogte, met stijghoogte in m.NAP



watervoerend pakket 2

Getallen: verschil tussen berekende en gemeten stijghoogte
rood: gemeten stijghoogte lager dan berekend
blauw: gemeten stijghoogte hoger dan berekend

groen: contourpotroon van de berekende stijghoogte, met stijghoogte in m.NAP



Getallen: verschil tussen berekende en gemeten stijghoogte
rood: gemeten stijghoogte lager dan berekend
blauw: gemeten stijghoogte hoger dan berekend

groen: contourpotroon van de berekende stijghoogte, met stijghoogte in m.NAP

watervoerend pakket 3

Bijlage 3. Naamgeving van files

Bij de naamgeving van de bij de grondwatermodellering betrokken files gelden de volgende conventies:

De extensies duiden op de inhoud van de file:

.bod: (tekst)file met de totale opbrengst/depressie voor de landbouw,

.boz: file met uitwisselingsdebieten tussen grondwater en oppervlaktewater per boezemdeelgebied, per decade,

.bzc: file met uitwisselingsdebieten tussen grondwater en oppervlaktewater per boezemdeelgebied, per gridcel, per decade,

.bzo: overzichtsfile met cumulatieve uitwisselingsdebieten tussen grondwater en oppervlaktewater voor alle boezemdeelgebieden, per decade,

.fvl: file met verticale flow tussen modellaag 1 en 2 (wegzijging/-kwel), per decade, per gridcel (voor LB&P en RIZA),

.hml: file met grondwaterstandsgegevens (m-mv) van modellaag 1, per decade, per gridcel (voor LB&P),

.hnl: file met grondwaterstandsgegevens (m.NAP) van modellaag 1, per decade, per gridcel (voor RIZA),

.pol: file met uitwisselingsdebieten tussen grondwater en oppervlaktewater per polder, per decade,

.plc: file met uitwisselingsdebieten tussen grondwater en oppervlaktewater per polder, per gridcel, per decade,

.plo: overzichtsfile met cumulatieve uitwisselingsdebieten tussen grondwater en oppervlaktewater voor alle polders, per decade,

.ris: (tekst)file met de klassificatie van het onttrokken grondwater van een grondwaterwinningen naar verblijftijd en bodemgebruiksrisico klasse,

De root van de filename is als volgt opgebouwd:

- eerste twee of drie letters: type berekening:
  - sv = stationaire run,
  - nsv = niet-stationaire run,
- cijfer erachter: runnummer; de runs betreffen:
  - 0 = situatie 1990,
  - 1 = sectorvariant 1,
  - 2 = sectorvariant 2,
  - 3 = sectorvariant 3,
  - 4 = sectorvariant 4,
  - 5 = sectorvariant 5,
  - 6 = sectorvariant 6,
  - 7 = sectorvariant 0,
  - 8 = situatie 1990, zonder winningen (alle winningen uit),
  - 9 = sectorvariant 0, zonder winningen Havelte/Havelterberg, Sint Jansklooster en Staphorst,
  - 10 = sectorvariant 5, zonder winningen Barsbeker Binnenpolder, Halfweg, Oosterslag/Veerslootlanden en Vledder Aa.
  - 11 = sectorvariant 7,
  - 12 = sectorvariant 7, zonder winning Leeuwterveld en Beulakker weide,
  - 13 = als 11, echter met de oorspronkelijke kleilaag op pompstations.
- bij de .ris file volgt na het runnummer nog een drie-letterige code die de winningslokatie indentificeert. Deze codes zijn:
  SJK = winning Sint Jansklooster,
  HAV = winning Havelte/Havelterberg,
  STA = winning Staphorst,

BBB = winning Barsbeker Binnenpolder,
HAL = winning Halfweg,
OVL = winning Oosterslag/Veerslootlanden,
VLA = winning Vledder Aa,
P32 = winning Polder Halfweg,
P36 = winning Polder Gelderingen,
P43 = winning Polder Giethoorn,
P45 = winning Polder Kolderveen,
LEE = winning Leeuwter Veld,
BEU = Beulakker weide.

- bij de .bod file volgt na het runnummer één letter die refereert aan de wijze waarop de plansituatie in beschouwing genomen is. De letter t verwijst naar de situatie waarbij het totaal aan ingrepen in beschouwing is genomen. De letter w verwijst naar de situatie die alleen betrekking heeft op het effect van grondwaterwinningen.

De inhoud en de formattering van de files is als volgt:

.bod-file: dit betreft een tekstfile die uitgeprint kan worden.

.boz-file: formattering records (2I10,6F10.0).
De inhoud van elk record is als volgt:
- veld 1 (format I10): decadenummer,
- veld 2 (format I10): knooppuntnummer,
- veld 3 (format F10.0): flux van grondwater naar boezemwater (m^3/dag, per definitie positief),
- veld 4 (format F10.0): flux van boezemwater naar grondwater, (m^3/-dag, per definitie negatief),
- veld 5 (format F10.0): somterm van veld 3 en 4 (= netto uitwisseling tussen grondwater en boezemwater voor het betreffende knooppunt),
- veld 6 (format F10.0): hoeveelheid water die afkomstig is van 'diep' grondwater (m^3/dag, per definitie positief (zie toelichting hierna),
- veld 7 (format F10.0): hoeveelheid water dat wegzijgt naar het 'diepere' grondwater (m^3/dag, per definitie negatief),
- veld 8 (format F10.0): somterm van veld 6 en 7 (= netto uitwisseling met het 'diepere' grondwater voor het betreffende knooppuntnummer),

Toelichting: de horizontale doorlatendheid van de eerste modellaag is dermate laag genomen, dat het accent van de waterbalans van de eerste modellaag op de verticale stromingstermen ligt. De waterbalans van de eerste modellaag ziet er als volgt uit:
GWA + OPP + STOR = VFLOW, waarbij:
GWA = grondwateraanvulling (negatief = evapotranspiratie),
OPP = uitwisseling tussen grondwater en oppervlaktewater,
STOR = bergingsterm,
VFLOW = verticale stroming tussen eerste en tweede modellaag (= uitwisseling met 'diep' grondwater).
In eerste instantie komt de gedachte op dat de term VFLOW direct aan de uitwisseling tussen grondwater/oppervlaktewater gerelateerd kan worden, maar dit is echter niet zo, zoals uit de waterbalans van de eerste modellaag blijkt. De bergingsterm zit er namelijk nog tussen. Bij de uitwisselingterm tussen grondwater en oppervlaktewater moet bedacht worden dat ook de bijdrage van de lokale grondwateraanvulling er in is opgenomen.

.bzc-file: formattering records (4I10,2f10.0).
De inhoud van elk record is als volgt:
- veld 1 (format I10): decadenummer,
- veld 2 (format I10): knooppuntnummer,
- veld 3 (format I10): X-gridcelcoördinaat,
- veld 4 (format I10): Y-gridcelcoördinaat,
- veld 5 (format F10.0): flux van grondwater naar boezemwater (m^3/dag, per
definitie positief),
- veld 6 (format F10.0): flux van boezemwater naar grondwater, (m^3/-dag, per definitie negatief),
(zie ook toelichting bij .boz-file).

.bzo-file: dit betreft een tekstfile die uitgeprint kan worden.

.fv1-file: formattering records (I6,36F7.2).
De inhoud van elk record is als volgt:
- veld 1 (format I6): nummer gridcel,
- velden 2 t/m 37 (format F7.2): verticale stroming tussen modellaag 1 en 2 (= wegzijging/kwel) (mm/dag) voor de decaden 1 t/m 36.

.hm1-file: formattering records (I6,36F7.2).
De inhoud van elk record is als volgt:
- veld 1 (format I6): nummer gridcel,
- velden 2 t/m 37 (format F7.2): grondwaterstand (m-mv) in modellaag 1 voor de decaden 1 t/m 36.

.hn1-file: formattering records (I6,36F7.2).
De inhoud van elk record is als volgt:
- veld 1 (format I6): nummer gridcel,
- velden 2 t/m 37 (format F7.2): grondwaterstand (m.NAP) in modellaag 1 voor de decaden 1 t/m 36.

.pol_file: formattering records (2I10,6F10.0).
De inhoud van de records is zoals beschreven bij de .boz-file, met dit verschil dat de volumina nu betrekking hebben op de poldergebieden.

.plc_file: formattering records (4I10,2F10.0).
De inhoud van de records is zoals beschreven bij de .bzc-file, met dit verschil dat de volumina nu betrekking hebben op de poldergebieden.

.plo_file:
De inhoud van de records is zoals beschreven bij de .bzo-file, met dit verschil dat de volumina nu betrekking hebben op de poldergebieden.

.ris-file: dit betreft een tekstfile die uitgeprint kan worden.

Een gedeelte van de uitvoer is reeds opgenomen in ARC/INFO-coverages. Het betreft de volgende coverages:

Coverages met (een selectie uit de) berekende stijghoogten en flowtermen voor elk gridpunt voor een bepaald tijds/stress moment.
De naam van deze coverages is telkens GRID[identcode]. De indentificatie code als volgt is opgebouwd: V_T_S, waarbij:
V = runnummer,
T = tijdstap,
S = stressperiode.
Voorbeeld: de coverage GRID3_1_65 bevat de berekende grootheden van run 3, voor tijdstap 1, stressperiode 65.
Deze coverages hebben de volgende attributen:
- KI_[identcode] = kwel/infiltratie (is somterm de van de flowtermen door het bovenvlak van het model) (mm/dag),
- RIV_[identcode] = uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater (mm/dag),
- RCH_[identcode] = recharge (mm/dag),
- EVT_[identcode] = verdamping (mm/dag),
- FV1_[identcode] = verticale stroming tussen modellaag 1 en modellaag 2 (wegzijging/kwel) (mm/dag),
- MV = maaiveldhoogte (m.NAP),
- HMV_[identcode] = grondwaterstand modellaag 1 (m.mv),
- H1_[identcode] = stijghoogte in modellaag 1 (ondiep grondwater) (m.NAP),
- H5_[identcode] = stijghoogte in modellaag 5 (diep grondwater) (m.NAP),
- HX_[identcode] = verschil in stijghoogte tussen modellaag 5 en modellaag 1 (m).

Coverages met de berekende opbrengst/depressie voor de landbouw.
De naam van deze coverages is telkens BODEPNSV[identcode]. De identificatie code is als volgt is opgebouwd: A-B, waabij:
A = runnummer plansituatie,
B = runnummer uitgangssituatie.
Voorbeeld: de covegare BODEPNSV3-7 bevat op opbrengst/depressies voor run 3, met als uitgangssituatie run 7.
Deze coverages hebben de volgende attributen:
- VGRSWA_[identcode] = opbrengst/depressie ten gevolde van verminderingvermeerdering wateroverlast voor grasland (%),
- VGRSVO_[identcode] = opbrengst/depressie ten gevolge van verminderingvermeerdering vochttekort voor grasland (%),
- VGRSTO_[identcode] = som van VRGSWA en VGRSTO (%).

N.B.: een positief percentage betekent een verslechtering; een negatief percentage betekent een verbetering.

Coverages met berekende beginpunten van stroombanen die naar een grondwateronttrekking gaan.
De naam van deze coverages is telkens [root]RIS_[wincode], waarbij:
- root = de root van de filenaam (zie pagina 1),
- wincode = code van de grondwaterwinning (zie pagina 1).

Voorbeeld: de coverage SV5RIS_VLA bevat de beginpunten van stroombanen die naar de geplande winning Vledder Aa gaan.
Deze coverages hebben de volgende attributen:
- TIJD = de verblijftijd van het waterdeeltje langs de stroombaan

(jaar),
- FLOW = het volume dat de stroombaan representeert (m^3/dag); de flow is negatief indien het beginpunt niet aan het maaiveld is gelegen,
- FROPP = het percentage van het hiervoor vermeldde volume dat afkomstig is uit oppervlaktewater,
- ZGLOBAL = hoogte van het beginpunt van de stroombaan (m.NAP),
- CXS = X-gridcelcoördinaat van het beginpunt,
- CYS = Y-gridcelcoördinaat van het beginpunt,
- CZS = Z-gridcelcoördinaat van het beginpunt,
- ZIJDE = zijde van de cel (put) waarop de stroombaan terecht komt, (1 = west; 2 = oost; 3 = zuid; 4 = noord; 5 = onder; 6 = boven).
- RISICO = bodemrisico klasse voor het betreffende beginpunt.

De coverage GRIDNSV_EFF bevat de verschilitems (effecten). De codering van deze items is als volgt:
[naam]_A-B, waarbij:
A = runnummer van de actuele situatie,
B = runnummer van de referentie situatie.
De volgende variabelenamen worden gehanteerd:
- HN1 = stijghoogteverschil voor modellaag 1 aan het einde van het natte seizoen (decade 7),
- HD1 = stijghoogteverschil voor modellaag 1 aan het einde van het droge seizoen (decade 27),
- HN5 = stijghoogteverschil voor modellaag 5 aan het einde van het natte seizoen (decade 7),
- HD5 = stijghoogteverschil voor modellaag 5 aan het einde van het droge seizoen (decade 27),
- VN1 = verlaging voor modellaag 1 aan het einde van het natte seizoen (decade 7),
- VD1 = verlaging voor modellaag 1 aan het einde van het droge seizoen (decade 27),
- VN5 = verlaging voor modellaag 5 aan het einde van het natte seizoen (decade 7),
- VD5 = verlaging voor modellaag 5 aan het einde van het droge seizoen (decade 27),

(N.B.: in wezen is een verlaging hetzelfde als een stijghoogteverschil tussen twee situaties; de items HN en HD refereren echter telkens naar het totaal effect van ingrepen, terwijl de items VN en VD specifiek op de verlaging t.g.v. grondwaterwinningen betrekking hebben. Dit onderscheid in naamgeving is overigens alleen m.b.t. de stijghoogte gemaakt).
- WKN = verandering wegzijging/kwel (= verticale flow tussen modellaag 1 en 2) aan het einde van het natte seizoen (decade 7),
- WKD = verandering wegzijging/kwel (= verticale flow tussen modellaag 1 en 2) aan het einde van het droge seizoen (decade 27),

Naast de effect-items bevat de coverage GRIDNSV_EFF tevens de items die het verschil tussen de stijghoogte aan het einde van het natte seizoen (decade 7) en de stijghoogte aan het einde van het droge seizoen (decade 27) bevatten. De naamgeving van deze items is als volgt:
VND[laagnummer]_[runnummer].