

GEBRUIK VAN GIS BIJ GRONDWATERMODELLERING



COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO
RAPPORTEN EN NOTA'S No. 32

GEbruik VAN GIS BIJ GRONDWATERMODELLERING

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Gebruik

Gebruik van GIS bij grondwatermodellering / [auteurs: F.J.E. van der Bolt .. et al.; J.C. Hooghart red.]- Delft: Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO.-III.- (Rapporten en Nota's / Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO; no. 32)
Verslag Lezingendag, 5 oktober 1993, De Reehorst te Ede. -
Met lit. opg.
ISBN 90-6743-262-8

Trefwoord: hydrologie / grondwater / geografische informatiesystemen.

Copyright

NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST N-
TUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK, 1993

GEBRUIK VAN GIS BIJ GRONDWATERMODELLERING



**Lezingendag, 5 oktober 1993
De Reehorst te Ede**

**COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO
DELFT, 1993**

RAPPORTEN EN NOTA'S No. 32

VOORWOORD

De lezingendag met als thema **GEBRUIK VAN GIS BIJ GRONDWATERMODEL-
LERING** op 5 oktober 1993 is georganiseerd door de Contactgroep Grondwatermodellen en GIS (GRIS) van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (CHO-TNO). De taak van de Contactgroep GRIS is informatie-uitwisseling tussen haar leden over het gebruik van Geografische Informatie Systemen (GIS) in combinatie met grondwatermodellen. Ter afsluiting van haar werkzaamheden is voor een groter publiek deze lezingendag georganiseerd.

Bij het modelleren van kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van grondwater spelen Geografische Informatie Systemen een steeds belangrijker rol. Deze systemen kunnen worden gebruikt voor de opslag, bewerking, analyse en visualisatie van de vele ruimtelijke gegevens die bij grondwatermodellering als invoer nodig zijn en als uitvoer worden gegenereerd. Geografische Informatie Systemen zijn voorts zeer geschikt voor de integratie met aanverwante ruimtelijke gegevens veelal afkomstig van andere disciplines. Een succesvolle koppeling van GIS met grondwatermodellen leidt niet alleen tot de verhoging van de efficiëntie van geohydrologisch onderzoek, maar opent nieuwe mogelijkheden voor de beantwoording van uiteenlopende vragen in de sfeer van onderzoek, beleidsvoorbereidingen en ingenieurspraktijk.

In deze publikatie zijn de inleidingen opgenomen, die op 5 oktober 1993 zijn gehouden.

Door middel van deze publikatie kunnen naast de deelnemers ook anderen kennis nemen van de gepresenteerde lezingen.

Ir. K. Kovar
*voorzitter Contactgroep
GRIS*

Ir. T.N. Olsthoorn
Dagleider

Ing. J.C. Hooghart
*secretaris
Contactgroep GRIS
tevens redacteur*

Delft, oktober 1993

INHOUDSOPGAVE

	Pag.
AUTEURS	i
GEOGRAFISCHE INFORMATIE SYSTEMEN, VAN THEORIE NAAR TOEPASSING	1
H.J. Scholten	
Ruimtelijke Informatica of GIS, wat is het?	1
1 Ruimtelijke Informatiesystemen nader verkend	3
2 De Ruimtelijke Analyse	9
3 De educatieve uitdaging van de ruimtelijke informatica	13
4 De toepassing van Geografische Informatie Systemen	16
5 Conclusie	19
Literatuur	20
HET GIS-PAD BIJ KIWA	23
J.J.G.M. Geerts en J.H. Peters	
Samenvatting	23
1 Projectanalyse	25
2 Wensen en randvoorwaarden	26
3 Marktinventarisatie GIS-gebruikers	27
4 Extern project	28
5 Eerste selectie	29
6 Benchmark	30
7 Keuze	31
8 Implementatie	32
Literatuur	32
SYSTEMATIEK VAN GEBRUIK VAN GIS BIJ HET MODELLEREN	33
M.C.L. Tusveld	
Samenvatting	33
1 Inleiding	33
2 Gebruik van GIS	34
3 Gebruik van GIS bij grondwatermodellering	40
4 Tot slot (meerwaarde GIS)	45
Literatuur	46
OPTIMALISATIE WATERBEHEER IN DE REGIO WIERDEN/HOGE HEXEL	47
J.H. Hoogendoorn	
Samenvatting	47
1 Inleiding	47
2 Technische aspecten van het onderzoek	50
3 Het modelleringsproces	53
4 Het onderzoeksproces	57
5 Conclusies en toekomstperspectief	59
Literatuur	60

OECOHYDROLOGISCH ONDERZOEK LUCHTERDUINEN	61
P.T.W.J. Kamps, T.N. Olsthoorn en W.J. Droesen	
Samenvatting	61
1 Inleiding	61
2 De modellering van het grondwatermodel	62
3 Modelcalibratie	69
4 Gebruik van het model en resultaten	69
5 Gebruik van de resultaten door andere vakdisciplines	71
6 Conclusies	72
Literatuur	74
 CASE STUDY: SIMULATIE VAN HET REGIONAAL-HYDROLOGISCH SYSTEEM IN DE STROOMGEBIEDEN VAN DE BEERZE, REUSEL EN ROSEP	75
F.J.E. van der Bolt	
Samenvatting	75
1 Inleiding	75
2 Beschrijving studiegebied	76
3 Het model	77
4 De koppeling van GIS aan het model	79
5 Resultaten en toetsing	82
6 Conclusies	90
Literatuur	91
 TOEPASSING VAN LANDELIJK GRONDWATER MODEL VOOR MILIEU TOEKOMSTVERKENNINGEN	93
M.J.H. Pastoors, R. Lieste en K. Kovar	
Samenvatting	93
1 Inleiding	94
2 Beschrijving van het LGM	94
3 Case study in het kader van BeleidsPlan Drink- en IndustriewaterVoorziening en bijbehorende Milieu- EffectRapport (BPDIV en MER)	104
4 Case study in het kader van het milieuthema "verdroging" in de MilieuVerkenning-3 (MV-3) en de Evaluatie Nota Water (ENW)	111
5 Discussie	114
Literatuur	116
 OVERZICHT RAPPORTEN EN NOTA'S VAN DE CHO-TNO	121

AUTEURS

F.J.E. van der Bolt	Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO) Postbus 125 6700 AC Wageningen
W.J. Drogen	Gemeentewaterleidingen Amsterdam Vogelenzangseweg 21 2114 BA Vogelenzang
J.J.G.M. Geerts	KIWA N.V. Hoofdafdeling Speurwerk Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein
J.H. Hogendoorn	Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO Postbus 195 8430 AD Oosterwolde
P.T.W.J. Kamps	Gemeentewaterleidingen Amsterdam Vogelenzangseweg 21 2114 BA Vogelenzang
K. Kovar	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne Postbus 1 3720 BA Bilthoven
R. Lieste	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne Postbus 1 3720 BA Bilthoven
T.N. Olsthoorn	Gemeentewaterleidingen Amsterdam Vogelenzangseweg 21 2114 BA Vogelenzang
M.J.H. Pastoors	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne Postbus 1 3720 BA Bilthoven
J.H. Peters	KIWA N.V. Hoofdafdeling Speurwerk Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein

H.J. Scholten

Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit der Economische Wetenschappen en Econo-
metrie
De Boelelaan 1105
1081 HV Amsterdam/

GEODAN BV, bureau voor ontwikkeling en onder-
zoek in ruimtelijke informatie systemen
Jan Luijkenstraat 10
1071 CM Amsterdam

M.C.L. Tusveld

IWACO B.V.
Regionale Vestiging West
Postbus 8520
3009 AM Rotterdam

GEOGRAFISCHE INFORMATIE SYSTEMEN, VAN THEORIE NAAR TOEPASSING

H.J. Scholten

RUIMTELIJKE INFORMATICA OF GIS, WAT IS HET?

Bij een onderwerp als GIS en Hydrologische modellen wordt er van uitgegaan dat de integratie het wezenlijke onderdeel van discussie vormt. Daarom toch enige aarzeling als de vraag er expliciet ligt in te gaan op het GIS en de relatie met de hydrologische modellen slechts zeer zijdelings aan de orde te stellen.

Ruimtelijke Informatica is sinds 1990 een nieuw vakgebied met een eigen leerstoel. Wat moet onder Ruimtelijke Informatica worden verstaan? Deze vraag is betrekkelijk eenvoudig te beantwoorden als we mogen uitgaan van het begrip Informatica. Opleidingen en onderzoek in dit vakgebied vinden immers alweer sinds enkele tientallen jaren op de universiteiten plaats.

Een definitie van Informatica is:

De leer van het verzamelen en de verwerking van de gegevens met behulp van een computer.

Het gaat er nu alleen nog maar om het begrip Ruimtelijk op de juiste plaats in deze definitie onder te brengen. Een eerste definitie van Ruimtelijke Informatica luidt dan ook:

De leer van het verzamelen en de verwerking van Ruimtelijke gegevens met behulp van een computer.

Hieraan kan worden toegevoegd, dat deze leer zich specifiek richt op het tot stand brengen van produkten in de vorm van informatie. Op basis van bewerking en interpretatie van ruimtelijke gegevens ontstaat informatie, die van belang is voor een bepaalde organisatie. Gegeven het feit dat er nu reeds sprake is van gegevens, computers, bewerkingen en een specifieke organisatie ligt het voor de hand deze componenten te bundelen en te spreken over Ruimtelijke Informatie Systemen. Daar het

begrip "ruimte" op verschillende wijzen kan worden geïnterpreteerd worden deze systemen in het algemeen omschreven als *Geografische Informatie Systemen*, oftewel GIS.

Onder een GIS kan dan worden verstaan:

het geheel van handelingen en middelen dat ertoe moet leiden, dat bij het uitvoeren van taken en het nemen van beslissingen met betrekking tot ruimtelijke problemen voorzien wordt in de daarbij gewenste informatie.

Aangezien er sprake is van *ruimtelijke* gegevens zal men bij het verzamelen, het bewerking en het interpreteren van de gegevens ook moeten kunnen beschikken over specifieke middelen die expliciet rekening houden met die *ruimtelijke component*.

De nadruk op de ondersteuning van het menselijk handelen maakt tevens duidelijk dat dergelijke type van informatie systemen een verankering binnen een organisatie behoeven, waarbij het management op het hoogste niveau betrokken dient te zijn bij de ontwikkeling en de implementatie. Immers de doelstelling is het ondersteunen van beslissingen van een organisatie.

De Ruimtelijke Informatica is daarmee een breed vakgebied. Zij heeft immers tot doel te bestuderen op welke wijze ruimtelijke of geografische informatie systemen tot stand gebracht kunnen worden. Specifiek voor het vakgebied is het feit dat er sprake is van ruimtelijke gegevens, die:

- verzameld, beheerd en beschikbaar gesteld;
- bewerkt en geïnterpreteerd; en
- gepresenteerd moeten worden.

Tot haar taakgebied behoort eveneens na te gaan hoe dergelijke ruimtelijke informatie systemen in een organisatie kunnen worden ingezet en welke aspecten bij het gebruik een rol spelen.

De Vrije Universiteit heeft als één van de eerste universiteiten besloten de ruimtelijke informatica als vakgebied te erkennen. Het vakgebied is ondergebracht bij de faculteit van Economische Wetenschappen en Econometrie. Een logische keuze gezien het feit dat toegepaste informatica wetenschappen binnen deze faculteit zijn ondergebracht (Bestuurlijke Informatiekunde), maar dat eveneens een specifieke vakgroep aanwezig is voor economische wetenschappen, waarbij de ruimte centraal staat. Het vakgebied is dan ook gevestigd binnen deze vakgroep Ruimtelijke Economie.

Ik wil mij in dit artikel gaarne richten op een verdere explicitering van hetgeen het vakgebied der Ruimtelijke Informatica te bieden heeft. Daarbij is het van belang in te gaan op het onderwijs en het onderzoek in het kader van de Ruimtelijke Informatica. Daarnaast speelt de maatschappelijke relevantie van het vakgebied, die nadrukkelijk tot uiting komt in de diverse toepassingsterreinen.

1 RUIMTELIJKE INFORMATIESYSTEMEN NADER VERKEND

1.1 Inleiding

In de inleiding is naar voren gekomen dat de Ruimtelijke Informatica zich onderscheidt van de Informatica, doordat alles draait om ruimtelijke gegevens en de daaruit afgeleide ruimtelijke informatie. Om een indruk te krijgen wat onder ruimtelijke gegevens en ruimtelijke informatie moet worden verstaan, wil ik een beroep doen op de geografie. Hoekveld (1971) beschrijft de beschouwingswijze van de geografie als volgt:

" De geograaf ziet de dingen van het aardrijk altijd in hun samenhang met de ruimte waarin ze zich bevinden. Hij doet dat op zodanige wijze dat hij in staat gesteld wordt de regelmatigheden in het geplaats zijn op het aardoppervlak, de ordes die in dat ruimtelijke voorkomen aanwezig zijn, te onderscheiden en te verklaren. ... De geograaf kijkt naar de invloed die de zich ruimtelijk manifesterende verschijnselen op elkaar uitoefenen. ... De verschijnselen moeten elkaar niet alleen zonder meer beïnvloeden, maar ze moeten elkaar zo beïnvloeden, dat dit tot uiting komt in de situering, d.w.z. in het een plaats gaan innemen ten opzichte van elkaar. M.a.w. het waar en waarom daar moet duidelijk worden."

Daarbij is het vervolgens van belang in te gaan op de ruimtelijke kenmerken:

" Het gaat in de geografie om een aantal ruimtelijke kenmerken die hetzij verklaard moeten worden, hetzij bij de verklaring van andere verschijnselen te hulp worden geroepen."

Hoekveld geeft vervolgens aan dat ruimtelijke kenmerken op twee zaken betrekking kunnen hebben:

- een plaats of gebied, m.a.w. een deel van het aardoppervlak. Dit kan niet alleen worden beschreven naar een aantal categorieën, maar evenzo naar ruimtelijke kenmerken als ligging of afstand tot andere plaatsen.
- een bepaald natuurlijk of menselijk verschijnsel dat ruimtelijke kenmerken bezit.

De meest wezenlijke ruimtelijke kenmerken zijn *ligging* en *afstand*. Beide kunnen als absolute of als relatieve grootheden worden opgevat. Op basis van het kenmerk absolute ligging is het kenmerk afstand af te leiden.

Bij het absolute kenmerk ligging moeten we wat langer stil staan. Het is dit kenmerk dat van GIS een belangrijk instrument heeft gemaakt. Over de methode en werkwijze die ten grondslag ligt aan de bepaling van de absolute ligging van objecten zijn reeds zeer lang geleden zeer nauwkeurige afspraken gemaakt, die over de gehele wereld gehanteerd worden. Deze methoden vallen onder het vakgebied van de Geodesie en Cartografie. De stringent gehanteerde werkwijze maakt het ons nu mogelijk gegevens uit diverse bronnen, die betrekking hebben op diverse verschijnselen te integreren op basis van deze

absolute ligging. Immers de absolute ligging verschaft ons een sleutel die het mogelijk maakt allerlei objecten in hun onderlinge ruimtelijke samenhang te plaatsen. Er zijn vervolgens een aantal begrippen aan te duiden die verder invulling geven aan de ruimtelijke informatie. Allereerst is er dan het begrip *ruimtelijke verdeling*, d.w.z. de verdeling van een in een bepaalde mate voorkomend verschijnsel over een bepaalde ruimte. Het kan worden onderscheiden in spreidingsvorm, i.c. de geometrische rangschikking van het verschijnsel, en in dichtheid, i.c. het aantal malen dat het verschijnsel voorkomt.

Bij bestudering van de ruimte kan direct worden geconstateerd dat verschijnselen in de ruimte een bepaalde samenhang vertonen. Dit kan worden omschreven met het begrip *ruimtelijke verbanden*, het min of meer overeenkomen van ruimtelijke verdelingen van verschillende verschijnselen in één gebied. Tenslotte is er het begrip *ruimtelijke interactie*, de wisselwerking zoals deze zich in het over het aardoppervlak verplaatsen van verschijnselen manifesteert (b.v. de stroom forenzen van hun woning naar hun werklocatie).

Daarmee hebben we een antwoord gegeven op de vraag wat onder ruimtelijke gegevens en ruimtelijke informatie moet worden verstaan. Welke gegevens en welke informatie vervolgens moet worden verzameld en verkregen is afhankelijk van het probleemveld. Voor de locatie keuze van een supermarkt gaat het om andere gegevens dan bij de optimalisatie van de aardappelenteelt. Aan de hand van de basisgegevens zal echter op vergelijkbare wijze worden gestreefd naar informatie die het mogelijk maakt om bepaalde keuzes te maken. Daarbij zullen de begrippen ligging, afstand, verdeling, verbanden en interactie een belangrijke rol kunnen spelen.

1.2 Data inwinning, verwerking en presentatie

1.2.1 Data inwinning

De ruimtelijke component van de informatie stelt specifieke eisen aan de wijze waarop informatie kan worden verzameld. In het algemeen kan worden gesteld dat de ruimtelijke gegevens worden ingemeten. Dit meten vindt op verschillende niveaus plaats. De oudste maar nog steeds toegepaste vorm, is de inwinning op de grond middels de landmeting. De doelstelling hiervan is het verkrijgen van een zo hoog mogelijke nauwkeurigheid, in principe wordt exact gemeten waar iets zich bevindt. De toepassing van het landmeten zijn de vastgoed-informatie, waarin is vastgelegd waar eigendomspercelen liggen, en de informatie voor nutsbedrijven, waarin de lokatie van kabels wordt vastgelegd. Een tweede wijze van inwinning geschiedt door middel van luchtfoto's. Sinds in 1928 de eerste proef hiermee werd genomen, is deze methode in Nederland algemeen in gebruik. Afhankelijk van de hoogte waarop wordt gevlogen kunnen deze foto's een bepaalde mate van detail bevatten. De belangrijkste toepassingen zijn enerzijds gericht op het verkrijgen van informatie voor het onderhoud van wegen en rivieren (Rijkswaterstaat), maar de

bekendste produkten zijn de topografische kaarten (Topografische Dienst). Een nieuwe vorm van inwinning die sterk in opkomst is, vindt plaats door middel van satellieten. Enerzijds leveren satellieten ons beelden, anderzijds zijn we door satellieten in staat onze positie te bepalen en kunnen op deze wijze gegevens over de ruimtelijke ligging worden gemeten. Het verkrijgen van ruimtelijke informatie maakt onderdeel uit van de Geodesie en is een aparte tak van wetenschap.

1.2.2 Data verwerking

Bij de dataverwerking gaat het om die verwerkingsaspecten die specifiek betrekking hebben op ruimtelijke informatie. Vanzelfsprekend blijft de mogelijkheid aanwezig om gebruik te maken van allerlei bewerkingsmethoden die algemeen inzetbaar zijn. Zoals aangegeven spelen bij ruimtelijke informatie allereerst de kenmerken ligging en afstand. De basis bewerkingsmethoden richten zich dan ook op de beantwoording van deze vraag. Het moet voor een gebruiker mogelijk worden gemaakt gegevens op te vragen over de ligging. Waar wonen huishoudens met een bepaald inkomen, waar komt een bepaalde vervuiling voor en waar treffen we een bepaald klimaat aan. Een stap verder gaat de combinatie van ligging en afstand. Welke huishoudens wonen binnen een afstand van 500 meter van een station, welke planten staan op een afstand van 100 meter langs een snelweg? Op zich lijken deze vragen betrekkelijk simpel. De beantwoording van dergelijke vragen vraagt echter nadrukkelijk een combinatie van de ruimtelijke component en de alfanumerieke component van de gegevens. Pas sinds de ontwikkeling van de GIS software zijn deze vragen eenvoudig te beantwoorden.

Zoals aangegeven wordt er naar gestreefd nog een stap verder te gaan en te komen tot verklaringen van ruimtelijke kenmerken en deze verklaring te gebruiken bij het nemen van beslissingen. Waarom groeit een gewas op de ene plek beter dan op de andere, waarom gaat het met de ene winkelier beter dan met de andere, in welke richting verspreidt zich een bosbrand en hoe kan deze het best bestreden worden, waarom is de gemiddelde levensverwachting in Oost Europa zo een stuk lager dan in West Europa en welke maatregelen kunnen tot een verbetering van deze levensverwachting leiden?

Het aantal vragen dat gesteld kan worden, waarin telkens de ruimtelijke aspecten nadrukkelijk naar voren komen, is ontelbaar.

Welke bijdrage kan de Ruimtelijke Informatica leveren in de beantwoording? Bescheidenheid is hier zeker op zijn plaats. De ruimtelijke informatica is "slechts" in staat om patronen op het spoor te komen. Misschien moeten we wel heel tevreden zijn met "patronen". Zij vormen immers reeds een basis voor beslis-singen.

De data verwerking wordt in haar meer geavanceerde vorm omschreven met het begrip ruimtelijke analyse. In paragraaf 2 kom ik daar op terug omdat ik van mening ben dat juist op dit punt de wetenschap nog een belangrijke en waardevolle weg te gaan heeft voor verdere uitbreiding en verbetering van GIS.

1.2.3 Data presentatie

De grote aantrekkingskracht van de Ruimtelijke Informatica of het GIS is ongetwijfeld de vorm van haar produkt: de kaart. Wat ligt meer voor de hand dan ruimtelijke informatie door middel van een kaart weer te geven. Het is zelfs de enige juiste wijze, al hoeft het niet altijd een kaart op papier te zijn, maar het ook een kaart op een beeldscherm zijn. Kaarten krijgen daarmee een andere betekenis. Zij kunnen immers continu vervaardigd worden, op basis van actuele informatie, en gericht op de specifieke gebruikers. In een GIS is er eigenlijk sprake van een "onzichtbare" kaart die op elk willekeurig moment te voorschijn kan worden gehaald. Daarmee zal GIS een zeer grote invloed hebben op de traditionele kaartvervaardiging. In de discussies in de afgelopen maanden is duidelijk geworden dat er voor de traditionele kaarten eigenlijk geen plaats meer is (bijv. het opheffen van de Waterstaatskaart, NRC oktober 1991).

Ik denk dat de verdwijning van de traditionele kaart geen ramp behoeft te zijn, mits op tijd door de diverse instituten (b.v. Topografische Dienst en de Meetkundige Dienst) en door de kartografen hierop wordt ingespeeld (Geudeke 1990, Ormeling 1992). Daarmee beschikken onderzoekers en beleidmakers over een haast sprookjesachtig mooi medium om de resultaten van onderzoek en beslissingen te presenteren. De invloed die deze vorm van presentatie op het succes van het eigenlijke werk kan hebben mag niet onderschat worden. Voor de verkoop van produkten is in het algemeen het volledig acceptabel en zelfs noodzakelijk dat deze produkten op een aantrekkelijke wijze worden aangeboden. Veel wetenschappers maar ook de beleidmakers hebben in de afgelopen jaren nagelaten mee te gaan in de moderne mogelijkheden tot presentatie. Er zijn duidelijke eisen geformuleerd over de wijze waarop wetenschappelijk onderzoek dient te worden uitgevoerd, maar men heeft veelal verzuimd deze eisen ook te formuleren waar het de kwaliteit van de presentatie van resultaten betreft.

1.3 Het verschil tussen de diverse Informatie Systemen

Naarmate het verkoopsucces van GIS toenam, bleken opeens steeds meer informatiesystemen met deze term aangeduid te worden. Daarnaast worden er termen gebruikt als vastgoed informatie systemen, AM/FM (automated mapping / facility management), multi-purpose kadaster informatie systeem, geo-data informatie systemen, LIS (landuse information systems) en zijn er nog vele andere termen en definities in omloop (b.v. Clarke 1986, Burrough 1986 en Parker 1988). Om enig zicht te krijgen op de verschillende termen en met name om tussen een aantal belangrijke toepassingen het onderscheid te kunnen begrijpen, wordt in deze paragraaf stil gestaan bij de belangrijkste onderscheidingen.

1.3.1 Computer Aided Design

De term CAD staat voor computer aided design systemen. Het gaat hierbij om de grafische systemen die worden gebruikt door industriële ontwerpers, architecten,

landschapsarchitecten en vormgevers om hun werk te ondersteunen en te presenteren. CAD heeft daarbij de plaats ingenomen van de vroegere tekenafel. De eerste CAD systemen waren louter en alleen een geautomatiseerd tekeninstrument. In de latere pakketten zien we de toevoeging van databases waarin ruimtelijke gegevens kunnen worden opgeslagen en waarin met name ook een groot aantal symbolen in worden beheerd. De CAD systemen beschikken over middelen voor het automatisch tekenen, het manipuleren met deze tekeningen (schaalverandering, plaats verandering, inzoomen, roteren en het aanpassen) en het op professionele wijze presenteren van deze informatie. Het verschil is van belang omdat veel huidige (Auto-) CAD-gebruikers potentiële GIS-gebruikers zijn, zoals gemeenten en nutsbedrijven.

De kartografische software binnen het GIS is in belangrijke mate gebaseerd op hetgeen in de CAD-wereld tot stand werd gebracht. Het GIS heeft telkens getracht deze ontwikkelingen te incorporeren in haar omgeving.

De basisconcepten in de beide werelden verschillen echter sterk. GIS is volledig gebaseerd op het database concept. CAD is gebaseerd op het ontwerpen en het daarbij gebruik maken van symbolen. Zowel de hard- als de software is in de CAD-omgeving op het ontwerp en de presentatie afgestemd.

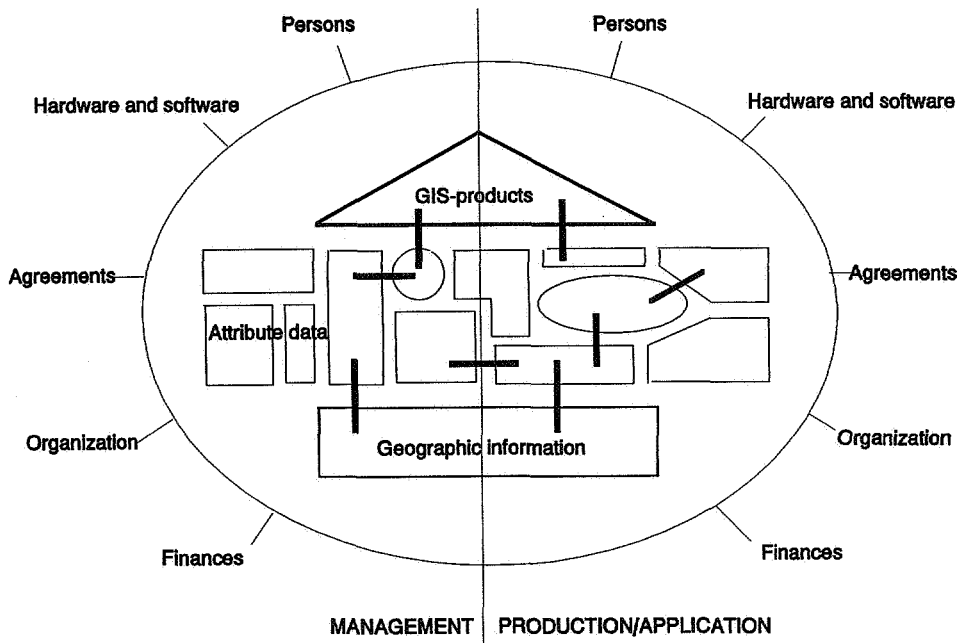
1.3.2 LIS: Land-use Information Systems

We hebben in eerste instantie maar even de engelse term laten staan. De vertaling zou kunnen zijn vastgoed informatie systemen, maar eveneens de systemen in gebruik bij nuts bedrijven (FM, facility management) kunnen hieronder gerangschikt worden. Deze informatie systemen hebben als doel te fungeren als een administratief systeem voor het beheer van geografische gegevens. Aan dit administratief systeem worden veelal allerlei eisen gesteld, die een directe invloed hebben op de wijze waarop de gegevens dienen te worden opgeslagen. Als we het bijvoorbeeld over de vastgoed informatie hebben, dan zijn dit de wettelijk vastgelegde eisen aan de nauwkeurigheid van de informatie. Als het gaat om leidingen, is het van het allergrootste belang dat de lokatie van een kabel exact kan worden vastgesteld. In dit soort informatiesystemen vormt de database, met een ruimtelijke en een alfanumerieke ingang het uitgangspunt. Verder zijn in dit soort systemen instrumenten voorhanden om de gegevens met een hoge graad van nauwkeurigheid in te voeren, te beheren, bij te houden en beschikbaar te stellen. Er worden naar verhouding weinig bewerkingen op de gegevens uitgevoerd.

1.3.3 GIS, Geografische Informatie Systemen

GIS systemen vormen met name een hulpmiddel voor regionaal en stedelijk onderzoek, milieu onderzoek, verkeer- en vervoersonderzoek, onderzoek met betrekking tot de volksgezondheid en de gezondheidszorg en, meer in het algemeen, onderzoek in het kader van het ruimtelijk beleid. GIS systemen kenmerken zich door een zelfde functionaliteit als de LIS. Zij onderscheiden zich echter door de analyse hulpmiddelen

die zijn toegevoegd. Het gaat daarbij om hulpmiddelen op het terrein van: de ruimtelijke statistiek, ruimtelijke modellen m.b.t. verkeer en vervoer, migratie en milieuprocessen, optimalisatie modellen en evaluatie technieken.



Figuur 1 Het GIS-huis

1.4 De automatisering

Zoals reeds is weergegeven, is GIS een geautomatiseerd systeem. Dit betekent dat bij de bestudering van de Ruimtelijke Informatica een belangrijke plaats moet worden ingeruimd voor de aspecten die spelen bij automatisering. Ten onrechte wordt wel verondersteld dat dit betekent dat de hardware en de software daarmee centraal staat. Weliswaar spelen deze beide zaken een belangrijke rol, maar kwesties zoals procedurele afspraken rond de verzameling, het beheer en de distributie van gegevens zijn zeker zo belangrijk. In het algemeen kan worden gesteld, dat op vergelijkbare wijze als bij Informatiesystemen aan de volgende componenten aandacht moet worden geschonken:

- de (ruimtelijke) gegevens;
- de hardware;
- de programmatuur;
- de organisatie;
- de gebruikers;

- de afspraken en procedures; en
- de financiën.

Gegeven het feit dat een GIS ondersteunend is aan een organisatie, zullen de diverse taken en typen gebruikers die een rol spelen binnen een organisatie in het GIS-concept een plaats moeten krijgen (b.v. Dangermond 1990, Scholten en Padding 1990, Van Beurden en Scholten 1990).

2 DE RUIMTELIJKE ANALYSE

2.1. Inleiding

Het zou wat lichtzinnig zijn ons in het GIS-tijdperk te storten zonder achter ons te kijken. Het waren immers de jaren zeventig waarin de hoog gespannen verwachtingen van de kwantitatieve ruimtelijke analyse technieken maar zeer ten dele werden vervuld. Ruimtelijke analyse technieken zijn beperkt in wat ze kunnen bieden. Het is ook van belang aan te geven dat ruimtelijke analyse geen doel op zich is, maar een hulpmiddel om uitgaande van ruimtelijke gegevens tot informatie te komen die het beslissingsproces kunnen ondersteunen. Ruimtelijke analyse is daarmee bij uitstek probleem georiënteerd en is daarmee een onderdeel van wat kan worden omschreven als besluitvorming ondersteunende technieken.

Het heeft weinig zin om alle technieken die onder de noemer ruimtelijke analyse geplaatst kunnen worden op te nemen in een GIS-omgeving. Dat leidt niet tot een beslissing ondersteunende omgeving. Enkele jaren geleden heb ik nog wel eens geopperd dat een link met de belangrijke statistische pakketten een waardevolle aanvulling voor de GIS-omgeving zou zijn (Scholten 1987). Een nadere beschouwing leert echter dat daar de oplossing niet ligt. De statistische pakketten spelen namelijk nauwelijks in op de specifieke eigenschappen van ruimtelijke gegevens en bieden dan ook geen instrumenten voor ruimtelijke analyse. Daarmee komen we tot een belangrijk aspect, dat nader in overweging genomen moet worden, de specifieke eigenschappen van de ruimtelijke gegevens. Ruimtelijke gegevens kenmerken zich door hun beperkte nauwkeurigheid. Grenzen van gebieden zijn of moeilijk te meten of zijn zelfs volstrekt willekeurig vastgelegd. Zij voldoen vaak evenmin aan eisen die door de statistiek worden gesteld voor de toepassing van bepaalde technieken, zoals onafhankelijk van de waarnemingen of het volgen van een bepaalde verdeling. Anderzijds hebben zij een zeer krachtige structuur die kan worden omschreven met het begrip *topologie*. Door de liggingscomponent weten we welke relaties er tussen ruimtelijke objecten bestaan en we kunnen deze eigenschap gebruiken. Het meest bekende voorbeeld is daarbij de netwerkanalyse om bijvoorbeeld de kortste verbinding tussen een aantal objecten te vinden. We zijn echter eveneens in staat dankzij deze topologie naar ruimtelijke verbanden tussen verschijnselen te zoeken.

In een GIS omgeving kunnen de volgende kenmerken als belangrijk worden omschreven bij de bepaling van relevante ruimtelijke analyse technieken:

- technieken moeten expliciet ruimtelijk zijn en dit houdt in dat zij gebruik moeten maken van de specifieke kenmerken die ruimtelijke data onderscheiden van niet-ruimtelijke gegevens;
- technieken moeten in staat zijn om grote databestanden te verwerken (groter dan meer dan 10.000 objecten);
- technieken moeten gericht zijn op die terreinen die worden ervaren als van belang vanuit het probleem-oplossend gericht zijn;
- aandacht dient te worden geschonken aan de wijze waarop wordt omgegaan met de onzekerheid (onnauwkeurigheid, onbetrouwbaarheid) in ruimtelijke gegevens;
- aandacht dient zo mogelijk te worden geschonken aan de verwerking van de temporele dynamiek in de gegevens;
- de technieken moeten een ver gaande vorm van automatisering krijgen door optimaal in te spelen op de huidige technische mogelijkheden en zo de afhankelijkheid van de kennis van de gebruiker te verkleinen;
- technieken dienen met name gericht te zijn op simulatie in plaats van op vooronderstellingen. Daarvoor is het van belang dat optimaal de huidige computerkracht kan worden benut;

Een van de belangrijkste uitgangspunten vormt de keuze voor een exploratieve benadering. Dit heeft alles te maken met het al eerder geformuleerde uitgangspunt dat de ruimtelijke analyse zeer beperkt is in haar mogelijkheden. Het is bijna niet mogelijk, zo niet onmogelijk, met behulp van ruimtelijke analyses te komen tot verklaringen. Om te komen tot patronen moeten we echter verder gaan dan het in kaart brengen van gegevens of het bestuderen van de in kaart gebrachte gegevens. Een kaart is een prachtig medium, maar kan tevens zeer misleidend zijn. Ruimtelijke analyse dient er op gericht te zijn de gegevens zo danig te bewerken dat een mogelijke verkeerde interpretatie van een kaartbeeld wordt geminimaliseerd.

Een voorbeeld van onderzoek naar het voorkomen van ruimtelijke patronen van patiënten die lijden aan kanker, kan dit verduidelijken (Openshaw et al 1988). In dit onderzoek worden vijf sleutelvragen aan de orde gesteld:

- is er sprake van clustervorming ?;
- waar bevinden zich deze clusters ?;
- hoe zeker kan men ervan zijn, dat iedere cluster inderdaad een cluster is ?;
- hoe vaak komen clusters in een bepaalde regio voor, zuiver gebaseerd op het kansbegrip ?;
- welke sociaal-economische en milieu factoren zouden verantwoordelijk kunnen zijn voor deze clusters ?

De eerste vier vragen hebben betrekking op de beschrijving van patronen en daaruit afleidbare gevolgtrekkingen. Er vindt geen poging plaats de geobserveerde patronen te

verklaren, anders dan op basis van het kansbegrip. Wat precies de oorzaak is van de patronen, is een onderwerp voor nader onderzoek. Dit onderzoek dient echter uitgevoerd te worden op een andere, fijnere schaal, met behulp van andere technieken en door epidemiologen of toxicologen. De verklaring zelf is echter geen onderwerp voor GIS of voor de ruimtelijke wetenschappen. De rol van ruimtelijke analyse moet worden beperkt tot vragen waar de beschikbare ruimtelijke gegevens een antwoord op kunnen geven. In sommige gevallen bestaat deze rol uit niet meer dan een eerste fase in een uitgebreide studie. Deze eerste fase hoeft dan tot niet meer te leiden dan tot een aanwijzing van die gebieden waar verder onderzoek noodzakelijk is. Het is een beperkte, maar wel zeer belangrijke rol.

De beperkingen van ruimtelijke analyse verdienen mogelijk nog verdere aandacht. Zoals reeds gemeld, is de betrouwbaarheid van de data een bron van bezorgdheid. Waar staan ruimtelijke gegevens precies voor en wat betekenen ruimtelijke relaties? Het is moeilijk variabelen te vinden, die niet onder de discussie van "ecological fallacy" vallen. Als we kijken naar ruimtelijk epidemiologisch onderzoek, dan is het standaardiseren van de gegevens voor sexe of leeftijd een veel gebruikt hulpmiddel. Dit suggereert dat er een samenhang bestaat tussen sexe of leeftijd met bijvoorbeeld een ziekte. Noch geslacht, noch leeftijd is echter de verklarende variabele; kanker wordt niet veroorzaakt door leeftijd, maar er zijn andere variabelen die sterk samenhangen met de leeftijd van het slachtoffer. In zeer veel ruimtelijk onderzoek zijn de beschikbare variabelen vaak niet meer dan surrogaten of benaderingen voor andere variabelen, die ofwel niet beschikbaar, ofwel niet meetbaar zijn, ofwel nog onbekend zijn.

Dat neemt echter niet weg dat het werken met de beschikbare gegevens tot resultaten kan leiden die buitengewoon belangrijk zijn als een basis voor verder onderzoek. Deze creatieve en hypothese formulerende rol is weliswaar beperkt, maar haar doelstelling is belangrijk genoeg om als onderzoeksdoel te worden erkend.

Het betekent ook dat het gebruiken van geconstateerde patronen voor het nemen van beslissingen een uitstekende basis kan vormen. Het is voor de ruimtelijke wetenschapper weliswaar niet mogelijk te verklaren waarom een huishouden zijn boodschappen in bepaalde winkels doet, de hier uit afgeleide patronen blijken uitstekend te werken bij locatie en allocatie vraagstukken.

Het betekent echter ook dat we realistisch moeten zijn in hetgeen we mogen verwachten van ruimtelijke analyse in een GIS omgeving. Ik wil dat nog eens op een andere wijze verwoorden:

- vermijd vergaande geformaliseerde wetenschappelijke onderzoeksopzetten;
- tracht een exploratieve data analyse methodiek na te streven;
- streef niet teveel naar statistische bewijsvoeringen en pas op voor afgeleide conclusies;
- blijf binnen de grenzen van de ruimtelijke analyse;
- tracht elke techniek te vermijden die hetzij de ruimtelijke component van de gegevens

niet gebruikt dan wel verwijderd.

GIS is een zich razendsnel ontwikkelende technologie. Het is van het allergrootste belang dat deze technologie niet volstaat met data beheer, data integratie en data presentatie. Data exploratie is een terrein waar nog zeer veel te doen valt. Deze vorm van data analyse kan maar ten dele uitgevoerd worden met de technieken die in de laatste 20-30 jaar zijn ontwikkeld. Er zijn vele nuttige instrumenten ontwikkeld, maar er mogen toch ook de nodige vraagtekens geplaatst worden bij zeer veel technieken die pretenderen een belangrijke bijdrage aan de ruimtelijke analyse van gegevens te leveren.

2.2 Ruimtelijke Modellen

Naast het vaststellen van type ruimtelijke analyse technieken die we denken nodig te hebben, is het van belang in te gaan op het begrip model. Met een model trachten we de werkelijkheid te representeren. Ik wil daarbij het begrip ruimtelijk model definiëren als een reeks van analyse technieken die in een bepaalde logische volgorde worden afgehandeld met als uiteindelijke doel toegevoegde waarde uit de gegevens te verkrijgen. Op basis van deze informatie kunnen handelingen worden verricht die van belang zijn bij het oplossen van complexe ruimtelijke problemen. Allereerst kunnen we ingaan op de toegevoegde waarde. Deze kan sterk uiteenlopen, modellen kunnen worden gebruikt voor:

- het creëren van een raamwerk waarbinnen databewerkingen plaatsvinden;
- de synthese en integratie van gegevens;
- de toevoeging van gegevens;
- het voorspellen;
- het nagaan van consequenties; en
- het evalueren en het optimaliseren.

Door middel van een raamwerk kan op systematische wijze met ruimtelijke gegevens worden omgegaan. Een marketing model zou in zijn meest eenvoudige vorm kunnen bestaan uit een model dat voor een bepaalde firma of branche nagaat wat per ruimtelijke eenheid de uitgaven zijn voor een bepaald produkt ten opzichte van de totale uitgaven. Op deze wijze wordt een set met indicatoren aangeleverd die informatie verschaffen over de mate van succes per ruimtelijke eenheid. Databewerkingen kunnen daarbij verschillende vormen aannemen.

Ruimtelijke gegevens zijn vaak onvolledig, gemeten op diverse schaalniveau's en op diverse meetniveau's. De modelomgeving kan gebruikt worden om tot een integratie en synthese van de gegevens te komen. Technieken zijn dan nodig om gegevens bij te schatten, om de verschillende ruimtelijke niveaus te integreren, flexibel te zijn in de wijze van aggregatie en eventueel tot data reductie te komen. Er is een dringende behoefte aan voorspellingen, hoe zullen veranderingen in de toekomst plaatsvinden?

Daarbij is het niet altijd mogelijk om tot voorspellingen te komen, en moet worden volstaan met impact analyse. Wat gebeurt er als...? En tot slot is er dan nog de mogelijkheid tot evaluatie en optimalisatie te komen. Indien we in staat zijn om een duidelijke doelfunctie te definiëren en een set van randvoorwaarden, dan bestaat er de mogelijkheid na te gaan wanneer er sprake is van een optimum. Indien een reeks van variabelen uiteindelijk de keus voor een bepaald ruimtelijk alternatief bepalen, dan kan het toevoegen van gewichten aan de variabelen een belangrijke bijdrage leveren bij het evalueren van de alternatieven.

Bij de toepassing van ruimtelijke analyse technieken is er reeds snel sprake van een modelomgeving. Technieken worden niet geïsoleerd toegepast, maar in een bepaalde relatie. Een relatie die erop gericht is die toegevoegde waarde te leveren, waar de gebruiker behoefte aan heeft. Daar behoort dan ook de grote kracht van GIS te komen liggen. Een omgeving waarin de basisgegevens worden beheerd en geïntegreerd, een set van modellen die ons in staat stellen van gegevens tot informatie te komen en tot slot een zeer krachtige presentatie techniek, waardoor kaarten ontstaan.

3 DE EDUCATIEVE UITDAGING VAN DE RUIMTELIJKE INFORMATICA

Uit diverse bronnen wordt gemeld dat het geven van GIS-onderwijs allesbehalve eenvoudig is, maar dat het aan de andere kant een enorme uitdaging is dit onderwijs op te zetten en te verzorgen (bijv. Unwin 1991). De volgende elementen spelen daarbij een rol:

a GIS is een ondersteunende wetenschap

Dit aspect maakt het mogelijk dat GIS zowel onderwerp is van het onderwijs, als ook in dienst gesteld kan worden van het onderwijs.

b GIS is een interdisciplinaire wetenschap

Zoals is aangegeven integreert GIS concepten en methoden vanuit diverse wetenschapsvelden, zoals geografie, milieu, cartografie, geodesie, regionale economie etc. Allereerst leidt dit tot de vraagstelling welke wetenschapstak GIS zou moeten adopteren. Vervolgens leidt het tot de vraagstelling op welke wijze de diverse concepten aan de orde moeten worden gesteld en hoe ver we daarin moeten gaan.

c GIS als een technologie

Doordat GIS een belangrijke hard- en software component kent, is bij het GIS-onderwijs de afweging noodzakelijk hoe ver gegaan moet worden in de training van de vaardigheden voor het gebruik van apparatuur en programmatuur. Daartegenover staat de noodzakelijke opleiding in de concepten van de ruimtelijke informatica, al dan niet

ontleend aan andere wetenschappen.

d GIS en de vraag

Daar de technologie zeer algemeen ingezet kan worden en er sprake kan zijn van een verschillend type van gebruik, is het moeilijk te definiëren voor welke deskundigheid moet worden opgeleid.

e GIS is een zich snel ontwikkelende technologie

De grote veranderingen die zich binnen de GIS-wereld voordoen, maken het niet eenvoudig op deze ontwikkelingen in te spelen. Immers de software ontwikkelt razend snel, maar daar staat tegenover dat de basisconcepten nog steeds dezelfde zijn. Anderzijds is het moeilijk de ontwikkelingen te volgen vanuit een financieel oogpunt. Zowel de hardware als de software is zeer kostbaar voor aanschaf in het kader van het onderwijs.

f GIS biedt een zeer aantrekkelijke werkomgeving

De vraag naar deskundigen op het terrein van de ruimtelijke informatica is groot, zeker als het gaat om ervaren mensen. Daarmee is het niet eenvoudig om ervaren mensen op de universiteit te krijgen en/of te behouden voor het onderwijs.

g GIS heeft nog maar een beperkt aanbod aan lesmateriaal

Het is nog maar sinds kort dat er lesmateriaal voor GIS op de markt komt. Er zijn nu een beperkt aantal tekstboeken beschikbaar, maar uitgebreide ervaringen en de daarbij behorende aanpassingen moeten nog plaats vinden. Ditzelfde geldt voor de noodzakelijke databases met praktijk oefeningen.

3.2 De invulling van de educatieve uitdaging

Sinds drie jaar proberen we nu invulling te geven aan deze uitdaging. Daarbij proberen we in te spelen op de aspecten die hierboven zijn vermeld. Ik loop de punten dan ook nog eens langs.

ad a en b

Het onderwijs in de Ruimtelijke Informatica is op de VU onderdeel van het onderwijs aan de faculteit van Economische Wetenschappen en Econometrie. Daarbinnen maakt het vak onderdeel uit van de vakgroep Ruimtelijke Economie. Het onderwijspakket in de ruimtelijke economie is afgestemd op wetenschappelijke en maatschappelijke eisen die gesteld mogen worden aan een gekwalificeerd afgestudeerd ruimtelijk econoom. Deze eisen zijn verder uitgewerkt in de studiegidsen. Het onderwijspakket van de vakgroep Ruimtelijke Economie omvat de volgende onderdelen:

- regionale economie;
- verkeer- en vervoerseconomie;

- milieu-economie;
- ruimtelijke informatica en distributie-economie.

Daarmee kan worden voldaan aan het idee dat GIS zowel ingezet kan worden als onderwerp, maar ook als hulpmiddel voor het onderwijs. Tevens komt het aspect van de verschillende disciplines hiermee aan bod. Het betreft hierbij dan met name: verkeer en vervoer, regionale ontwikkeling en milieu. Het is eveneens mogelijk dat studenten uit andere studierichtingen Ruimtelijke Informatica als vak kiezen, waardoor een verdere verbreding kan plaats vinden. Op dit moment maken met name studenten uit de studierichting Bedrijfskunde deze keuze.

ad c en d

Voor het onderwijs is bewust gekozen voor een opleiding in GIS concepten. We streven er naar de studenten allereerst voldoende basisdeskundigheid bij te brengen, onafhankelijk van software en hardware, hoewel er wel degelijk veel op de computer moet worden gewerkt. Op deze wijze zijn zij in staat te beoordelen op welke wijze zij in een bepaalde situatie gebruik kunnen maken van GIS. Het is voor studenten vervolgens mogelijk een verdere opleiding te volgen, waarbij de student vrij is in het kiezen van een meer toegepaste dan wel meer fundamentele richting. Daarbij komt dan eveneens de training in één of meerdere software pakketten aan de orde.

ad e en f

De GIS wereld ontwikkelt zich snel. De software alleen al vermenigvuldigt zich zoals kleine knaagdieren dat doen in tijden van overschot. Het is de kunst om vanuit het wetenschappelijk bedrijf, dat zich toch eigenlijk kenmerkt door financiële schaarste, deze ontwikkelingen niet alleen bij te benen en aan studenten over te dragen. Veel belangrijker is kritisch te evalueren waar de huidige software toe in staat is en concrete aanbevelingen te doen in welke richting aanvulling dan wel bijstelling noodzakelijk is. Hiervoor is fundamenteel onderzoek noodzakelijk. Gezien de expertise binnen de faculteit is reeds gebleken dat juist op het terrein van de ruimtelijke analyse een belangrijke bijdrage te verwachten is. Een tweede mogelijkheid is, gezien de brede toepassingsmogelijkheden om een toepassingsveld te kiezen, dat dermate specifiek is, dat een grote mate van deskundigheid bij de toepassing van GIS er toe leidt, dat de hardware en software leveranciers het nut zien van de uitbouw van deze kennis in hun omgeving. Daarmee is een belangrijk evenwicht gecreëerd. Indien de universiteit inderdaad in staat is op een aantal velden van het GIS in het GIS-gebruik voorop te lopen, dan is daarmee voor het bedrijfsleven ook interessant te participeren in zowel het GIS-onderwijs als het GIS-onderzoek. Daarmee is allereerst het probleem van dure hard- en software voor een deel opgelost. Wat echter veel belangrijker is, is dat daarmee ook vanuit de universiteit gewerkt wordt aan de verdere invulling van de GIS-concepten en uiteindelijk aan de verbetering van GIS-programmatuur. Een dergelijke werkwijze leidt er tevens toe dat het voor onderzoekers aantrekkelijk is aan de universiteit verder te gaan met het GIS. Daarbij wordt de combinatie onderzoek en onderwijs nadrukkelijk nagestreefd.

Voor de VU betekent dit dat gekozen is voor de beide hierboven genoemde opties. Enerzijds wordt er fundamenteel onderzoek verricht naar de mogelijkheden van ruimtelijke analyse instrumenten, waarbij vooralsnog gekozen is voor ruimtelijke interactie modellen en ruimtelijke evaluatie technieken, geplaatst in een besluitvorming ondersteunende omgeving (Grothe en Scholten 1991, Despotakis 1991, Nijkamp en Fischer 1992). Vooralsnog heeft dit er toe geleid, dat het vakgebied van de Ruimtelijke Informatica nadrukkelijk wordt ondersteund vanuit het bedrijfsleven. Dit heeft het mogelijk gemaakt op de Vrije universiteit een GIS-laboratorium in te richten, waarin de modernste momenteel ter beschikking staande middelen staan opgesteld.

4 DE TOEPASSING VAN GEOGRAFISCHE INFORMATIE SYTEMEN

4.1 Inleiding

Hoever zijn we momenteel in Nederland met de toepassing van GIS? Ik wil hier een kort overzicht geven van de huidige situatie. Daartoe bezien we allereerst de levenscyclus van een produkt (Nijkamp 1990), in dit geval GIS. Als we er van uit gaan dat de levenscyclus vijf fasen kent, dan moeten we stellen dat GIS in Europa in de overgang van fase 2 naar fase 3 is beland. Steeds meer organisaties raken doordrongen van de mogelijkheden van GIS. Bovendien gaan ook steeds meer organisaties inmiddels over tot de aanschaf van GIS apparatuur en programmatuur. De problemen die bij een dergelijke fase horen zijn ook duidelijk. Er zijn nog weinig ervaringen, nog weinig volledig functionerende systemen, een gering aanbod aan GIS-deskundigen en een verhoudingsgewijs grote vraag. Kortom er zijn nog veel aanloop problemen. Dit betekent bijna automatisch dat het overzicht aan toepassingen vooral een overzicht van de eerste projecten in dit kader is. Achtereenvolgens komen aan de orde:

- Vastgoed Toepassingen;
- Nutsvoorzieningen;
- Verkeer- en vervoer;
- Agrarische sector;
- Marketing;
- Ruimtelijke Planning; en
- Milieu.

4.2 Vastgoed toepassingen

De vastgoed toepassingen hebben in Nederland een reeds lange historie. Het Kadaster heeft immers de bij wet vastgelegde taak de vastgoedinformatie op te slaan en te beheren. Zij doet dit reeds gedurende lange tijd en in de jaren zeventig is men reeds begonnen met grote investeringen om tot een volledige automatisering van de vastgoedinformatie in Nederland te komen. De verwachtingen over vastgoed toepassingen

in Nederland op gemeentelijk niveau waren hoog gespannen. Samenwerking tussen het bedrijfsleven en de T.U. Delft leidde enige jaren geleden al tot concepten voor GIS toepassingen voor de afzonderlijke gemeenten (Bogaarts 1987). Tot op heden is het aantal gemeenten waar dit concept wordt uitgewerkt gering. De grote doorbraak wordt nog steeds verwacht. Vooralsnog zien we dat vele gemeenten voorzichtig nagaan wat de voordelen van eenvoudige kaartvervaardigings pakketten zijn (Scholten 1988) of worden de activiteiten met CAD-pakketten enigszins uitgebreid.

4.3 Nutsvoorzieningen

Er wordt weinig gepubliceerd over toepassingen van GIS in de nuts wereld (gas, water, elektriciteit, telefoon). Er bestaat echter geen twijfel over het feit dat juist in dit veld zeer grote GIS toepassingen van de grond komen. Deze bedrijven zien de voordelen van een geïntegreerde aanpak van de informatie, maar bovenal zijn deze bedrijven in staat de noodzakelijke gelden vrij te maken voor de opzet van dergelijke systemen. Daarbij blijkt de omzetting van kaarten tot digitale bestanden inderdaad enorme bedragen te vragen. Vaak zijn hier tientallen miljoenen gulden mee gemoeid (zie bijvoorbeeld het DaVinci-project van de PTT). Het is interessant om deze ontwikkeling verder te volgen. Het gaat bij het beheer en de planning binnen deze bedrijfstak beslist niet alleen om de kabels en buizen in de grond. Voor veel bedrijven ligt er een directe relatie met de vastgoed omgeving in het algemeen en met het milieu en de ruimtelijke ordening meer in het bijzonder. (bijvoorbeeld het beheer van de duinen in het kader van de drinkwaterwinning).

4.4 Verkeer en vervoer

Bij het onderwerp verkeer en vervoer zijn vele aspecten van GIS-toepassingen te noemen. We kunnen constateren dat er in Nederland in de afgelopen jaren aanzienlijk is geïnvesteerd in toepassingen op dit terrein. De grootste toepassingen zijn die van de Nederlandse Spoorwegen en van Rijkswaterstaat. Het gaat daarbij om toepassingen die we kunnen plaatsen onder de noemer LIS. Bij de NS is een dienst verantwoordelijk voor het beheer van alle vastgoedinformatie. De NS is immers een van de grootste landeigenaren in Nederland en voor het beheer en de planning van de spoorwegen, stations en daarmee in relatie staande objecten is een ruimtelijk informatie systeem opgezet, dat een grote gelijkenis vertoont met het systeem van het Kadaster. Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer van het rijkswegennet en is voor het onderhoud hiervan begonnen met de toepassing van GIS (Holsmuller en Uiterwijk 1991). Bij Rijkswaterstaat spelen daarnaast vele projecten waar GIS een rol kan gaan spelen. Inmiddels hebben eveneens projecten rond het beheer van de Noordzee en de Waddenzee een GIS inbreng hebben gekregen. Momenteel gaat men eveneens na of het GIS een belangrijk hulpmiddel kan zijn ten behoeve van de kustbescherming in Nederland. Een specifieke toepassing vormen de routeringsproblemen. Hoe wordt de route van een

bezorger optimaal uitgezet? Daarbij moet rekening worden gehouden met het type vervoermiddel, het type weg, de tijd die het laden kost e.d. Voor dit type toepassingen zijn er inmiddels diverse pakketten op de markt, die zeer succesvol blijken te zijn.

4.5 Agrarische sector

Het ministerie van Landbouw en Visserij was een van de eerste GIS-gebruikers in Nederland. In 1987 is het toenmalige STIBOKA, een van de onderzoeksinstituten van het ministerie, begonnen met het beheer van de bodemgegevens in Nederland middels een GIS-omgeving. Inmiddels is ook de Landinrichtings-dienst met de toepassing van GIS begonnen. Het is daarbij de bedoeling dat de toepassing niet alleen centraal zal plaats vinden, maar dat ook de regionale inspecties kunnen beschikken over GIS middelen. De planningstoepassingen in de landbouw op een landelijk schaalniveau tonen mogelijkheden die een rol kunnen spelen bij de discussies rondom de toekomstige rol van de akkerbouw en de veeteelt (Padding en Scholten 1988, Jansen and Rietveld 1990). De toepassingen komen in het bedrijfsleven slechts langzaam van de grond, al zijn er inmiddels de eerste pilotstudies om te komen tot een optimalisering van de aardappelenteelt in Groningen en Drenthe. Daarnaast wordt er een begin gemaakt met zeer grootschalige toepassingen in de glastuinbouw.

4.6 Marketing

Als we de groei van GIS toepassingen elders in Europa bestuderen, dat valt in Engeland de sterke groei in de marketing sector op. Gedacht moet daarbij allereerst worden aan de selecties van de doelgroep waarop men zich wil richten, zowel in sociaal-demografische zin als in ruimtelijke zin. Dit wordt aangegeven als de segmentering van de markt. Deze informatie wordt bijvoorbeeld gebruikt voor "direct marketing" (gerichte verspreiding van brochures). We zien eveneens toepassingen in de sectoren van de winkels, autodealers en banken. De combinatie van verkoopinformatie en marketing informatie maakt het mogelijk verzorgingsgebieden af te bakenen, de economische positie van een winkel te bepalen of, gebruik makend van interactiemodellen te komen tot lokatie of allocatie beslissingen (Nijkamp en Scholten 1990, Grothe en Scholten 1991). Het lijkt geen twijfel dat we in deze sector in het komende jaar reeds een forse groei mogen verwachten.

4.7 Ruimtelijke ordening

Zoals in de inleiding reeds aangegeven heeft de Rijks-planologische Dienst een belangrijke rol gespeeld bij de introductie van GIS systemen in Nederland. Het is dan ook zonder meer interessant om de wijze waarop men bij deze dienst met het beheer van dit systeem omgaat nader te bestuderen (De Jong 1990). Talrijke projecten zijn inmiddels met behulp van het GIS uitgevoerd (b.v. Zevenbergen en Scholten 1987, Padding en

Scholten 1988, Zevenbergen en Groen 1991). Een mooi voorbeeld is daarbij het zojuist afgeronde onderzoek naar de locatie mogelijkheden van één miljoen woningen in de Randstad (Geertman en Toppen 1990). De positieve ervaringen van de RPD hebben er toe geleid, dat de Provinciale Diensten serieus overwegen een GIS op te zetten of dat zij deze stap reeds in ver gaande mate hebben gezet (b.v. Noord-Holland, Gelderland, Friesland, Utrecht).

4.8 Milieu

De investeringen in de milieusector zijn groot. Het zal dan ook geen verwondering wekken dat er momenteel ook veel ontwikkelingen plaats vinden op het terrein van GIS in deze sector. De grootste investeerder is de overheid en we vinden de toepassingen dan ook allereerst terug binnen het ministerie van VROM bij het Directoraat Generaal Milieu. De afdeling Risico Beheer is reeds vele jaren actief bij het tot stand brengen van geografische data bestanden en het koppelen van diverse modellen aan deze bestanden voor b.v. het bepalen van optimale routes voor gevaarlijke stoffen en het doorrekenen van geluidshinder bij vliegvelden (Fedra en Reitsma 1990). Vermeldenswaardig is zeer zeker het project Emissie Registratie Collectief (De Jong 1990), dat sinds kort gereed is. Een zeer grote investering vindt momenteel plaats bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne. De directie aldaar heeft besloten al haar ruimtelijke gegevens te integreren middels een GIS (MILGIS, Van Beurden en Scholten 1990). Veel projecten vloeien uit deze benadering voort (zie voor een overzicht Kusse en Padding 1990). Het in 1992 verschenen Zorgen voor Morgen II (RIVM 1992) is vermoedelijk het eerste overheidsrapport waarin de rol van GIS zo nadrukkelijk naar voren komt. Op stedelijk niveau heeft men pilotstudies opgestart voor de milieuzonering (b.v. Kreuwel en Ten Velde 1990). Op het terrein van het milieu treffen we ook vele GIS toepassingen op de universiteiten aan. Het betreft hierbij met name studies bij de vakgroep Fysische Geografie van de Rijksuniversiteit Utrecht en bij de Landbouw Universiteit Wageningen.

5 CONCLUSIE

In deze inleiding is vooral naar voren gekomen, dat GIS niet een software pakket is. Wanneer een organisatie een Geografische Informatie Systemen wil gaan gebruiken, betekent dit veel meer dan de aanschaf van een stukje hard- en software. Het betekent het creëren van een structuur van waaruit de informatie processen binnen een organisatie ondersteund worden. Gegevens worden op een eenduidig wijze opgeslagen, beheerd en geïntegreerd. De koppeling van de ruimtelijke component van de gegevens maakt integratie mogelijk, maar tevens wordt het mogelijk gegevens te visualiseren en op specifieke wijze te analyseren. Deze tak van de informatica kent echter ook zijn specifieke vragen en problemen. Aspecten die te maken hebben met de organisatie, de ruimtelijke analyse, de (on-)nauwkeurigheid van gegevens, de cartografie en de hard- en

software. Inmiddels is men in veel landen tot het besef gekomen dat aan het gebruik van geografische informatie systemen zoveel aspecten kleven dat een specifieke opleiding noodzakelijk is. Het aantal toepassingen groeit snel.

Vanzelfsprekend is GIS geen wondermiddel dat onze problemen oplost. GIS kan een werkomgeving scheppen dat zich leent voor probleemoplossingen. Een werkomgeving waar de nadruk allereerst ligt op het gezamenlijk gebruik kunnen maken van geïntegreerde gegevens, gebaseerd op een gemeenschappelijke geografisch basis bestand. Geografische basisbestanden vormen het fundament voor een effectieve GIS toepassing. De Nederlandse ervaringen leiden tot de conclusie, dat de bestuurlijke coördinatie steeds beter wordt geregeld (Kok en Scholten 1993). Zij vormt een randvoorwaarde bij de opzet en het beheer van de geografische basisbestanden. Hoewel er reeds sprake is van een duidelijke vooruitgang in de coördinatie is er op dit punt nog teveel onduidelijkheid om nu reeds een afwachende houding aan te nemen.

Het succes van GIS zal eveneens in belangrijke mate afhangen van de wijze waarop we erin slagen kennis met betrekking tot het analyseren van bepaalde processen in een GIS-omgeving uit te voeren. Dit succes is in grote mate afhankelijk van de inbreng van inhoudelijke deskundigen. De integratie van GIS en hydrologische modellen is dan ook niet alleen een noodzaak, maar eveneens een gegarandeerd succes.

LITERATUUR

- BEURDEN, A.U.C.J. VAN AND H.J. SCHOLTEN; 1990. The environmental geographical information systems of the Netherlands and its organizational implications, in: Harts, J.J., H.F.L. Ottens and H.J. Scholten (eds.), 1990, EGIS'90 Proceedings, EGIS Foundation, Utrecht
- BIRKIN, M., G.P. CLARKE, M. CLARKE & A.G. WILSON; 1987. Geographical Information Systems and model-based locational analysis: ships in the night or the beginnings of a relationship?", School of Geography, University of Leeds, Leeds
- BOOGAERTS, M.J.M; 1987. Grootschalige ruimtelijke informatiesystemen in Nederland- Nieuwe ontwikkelingen in de periode 1984-1987 (Large-scale spatial information systems in the Netherlands - New developments in the period 1984-1987), In: "Kartografisch Tijdschrift", 13 pp. 38-42
- BURROUGH, P.A.; 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Management, Monographs on Soil and Resources Survey 12, Clarendon Press
- CLARKE, K.C.; 1986. Recent trends in geographic information system research, In: "Geoprocessing", 3 pp. 1-15
- PARKER, D. H.; 1988. The unique qualities of a geographic information system: a commentary, In: "PE&RS", 54 pp. 1547-1549

- DEURLOO, M.C.; 1981. Grafische voorstellingen en ruimtelijke gegevens per computer: handleiding voor het programmapakket GEOKART, Geografische en planologische notities, 3, Vrije Universiteit Amsterdam
- EST, J.P. V. AND C.M. SLIEPEN; 1990. Geographical Information Systems as a basis for interaction modelling; an application, in: Harts, J.J., H.F.L. Ottens and H.J. Scholten (eds.), 1990, EGIS'90 Proceedings, EGIS Foundation, Utrecht
- FEDRA, K. AND R. REITSMA; 1990. Decision support and geographical information systems, in: H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- GEERTMAN, S.C.M. AND F.J. TOPPEN; 1990. Regional planning for new housing in Randstad Holland, in: H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- HARTS, J.J., H.F.L. OTTENS AND H.J. SCHOLTEN; 1990, 1991, 1992, 1993. EGIS'90, EGIS'91, EGIS'92, EGIS'93 Proceedings, EGIS Foundation, Utrecht
- JANSEN, R. AND P. RIETVELD; 1990. Multicriteria analysis and geographical information systems: an application to agricultural land use in the Netherlands, in: H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- JONG, W.M. DE; 1990. Geographical information systems database design: experiences of the Dutch National Physical Planning Agency, in: H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- KUIJPER-LINDE, M.; 1990. Eén, twee of drie netwerken?, onderzoek in opdracht van Rijkswaterstaat, NexpRI, Rijksuniversiteit Utrecht
- KUSSE, B. AND P. PADDING (EDS.); 1990. The Environmental Geographical Information System of the Netherlands, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven
- MASSER, I.; 1990. GIS in Britain: the Regional Research Laboratory Initiative, in: Harts, J.J., H.F.L. Ottens and H.J. Scholten (eds.), 1990, EGIS'90 Proceedings, EGIS Foundation, Utrecht
- MEIJER, E., M. MEIJER AND M. V.D. VLUGT; 1990. The integration of different GIS-platforms in practice, in: Harts, J.J., H.F.L. Ottens and H.J. Scholten (eds.), 1990, EGIS'90 Proceedings, EGIS Foundation, Utrecht
- NIJKAMP, P. AND H.J. SCHOLTEN; 1990. New information systems: the use of retail information systems in The Netherlands, in: The Netherlands Journal of Housing and Environmental Research, vol. 5, 3
- OPENSHAW, S.; 1990. Spatial analysis and geographical information systems: a review of progress and possibilities, in: H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- PADDING, P. EN H.J. SCHOLTEN; 1988. Ontwikkelingen in de landbouw, een ruimtelijk perspectief voor natuurontwikkeling, in: Landschap

- SCHOLTEN, H.J.; 1987. The role of geographical information systems in regional planning, in: M. Giaoutzi and P. Nijkamp, Informatics and regional development, Avebury, Aldershot, pp. 292-307
- SCHOLTEN, H.J.; 1988. Planning en programmatuur: Kaarten op de pc, in: Planning 32, pp. 32-36
- SCHOLTEN, H.J. AND M. VAN DER VLUGT; 1990. GIS in Europe, a state of the art, in: Worrall, L.(ed), Information systems for urban and regional policy analysis, London, Bellhaven press
- SCHOLTEN, H.J. AND P. PADDING; 1990. Working with GIS in a policy environment, In: Environment and Planning B: Planning and Design, 17, pp. 405-416, London
- VELDEN, H. TEN AND G. KREUWEL; 1990. A GIS based decision support system for environmental zoning, in: H.J. Scholten and J.C.H. Stillwell, Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- ZEVENBERGEN, M.A. EN H.J. SCHOLTEN; 1987. De nivellering van het Nederlandse landschap, een toepassing van het GIS "Schaal van het Landschap", in: Planning 29, pp. 11-23

HET GIS-PAD BIJ KIWA

J.J.G.M. Geerts en J.H. Peters

SAMENVATTING

KIWA is het certificatie- en onderzoeksinstituut van de bedrijfstak drink- en industriewatervoorziening. In Nieuwegein verricht de afdeling Winning en Bodem onderzoek naar, maar meer nog adviseert zij omtrent winning, bescherming en aanvulling van grondwater als grondstof voor de openbare drinkwatervoorziening.

De keuze voor een GIS is bij KIWA op een gestructureerde wijze aangepakt, zie figuur 1. In 1990 is een project gestart waarbij een inventarisatie heeft plaatsgevonden naar de gegevensstroom bij projecten op de afdeling Winning en Bodem. Aan de hand hiervan is besloten dat een GIS een goed en efficiënt stuk gereedschap is voor het verzamelen, opslaan, verbeteren, transformeren en presenteren van ruimtelijke informatie bij de uitvoering van projecten. Ten behoeve van de keuzeonderbouwing voor een GIS en het creëren van een breed draagvlak is een projectgroep GIS opgericht. Deze projectgroep heeft in een drietal richtingen gewerkt:

- het opstellen van wensen en randvoorwaarden bij het kiezen van een GIS.
- opsporen van praktijkervaringen bij andere instanties en bij vergelijkbare instituten.
- het uitvoeren van een extern praktijkproject.

De uit deze drie richtingen vrijgekomen informatie heeft geleid tot een eerste selectie van een drietal GIS-pakketten.

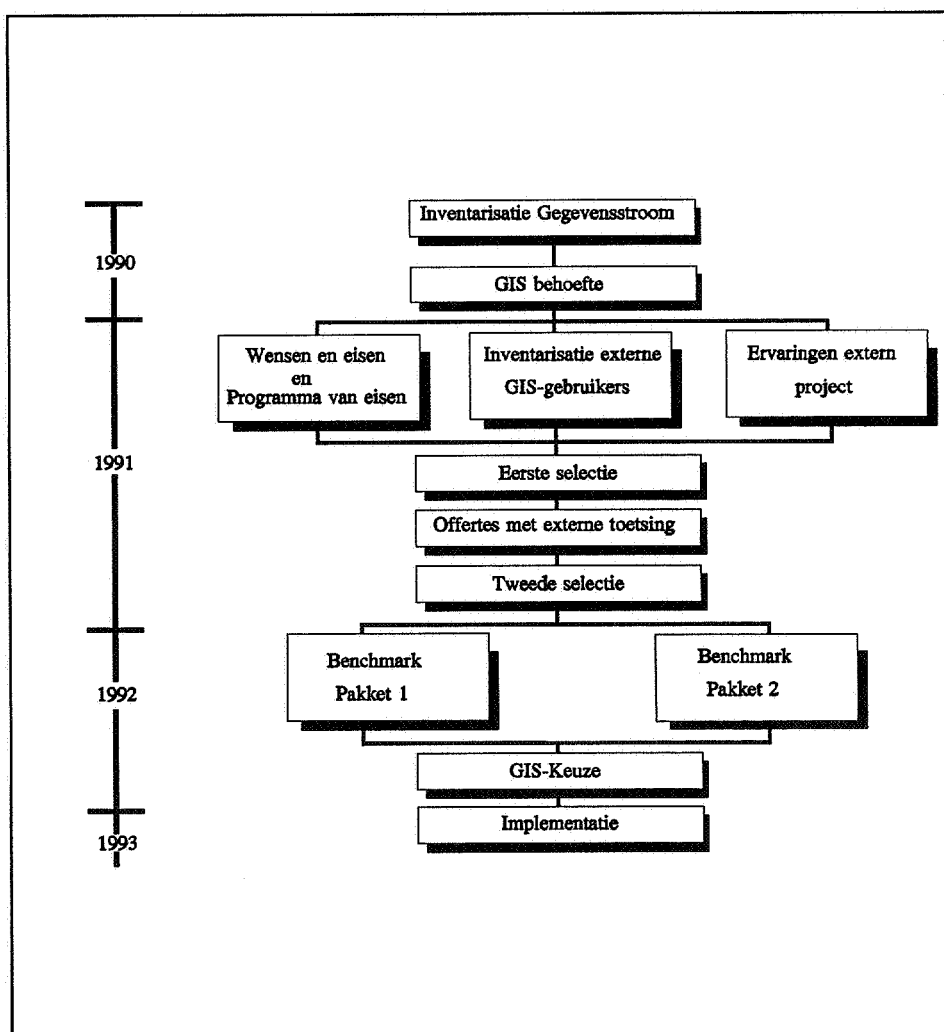
In dit stadium van het GIS-pad is een instituut gevraagd de geselecteerde GIS-pakketten te vergelijken. Deze vergelijking heeft plaatsgevonden door offertes van de soft- en hardwareleveranciers te toetsen aan een programma van eisen, gebaseerd op de eerder opgestelde wensen en randvoorwaarden. Dit leverde twee GIS-pakketten op, die interessant zijn voor KIWA.

Om tot een vergelijking op praktijk niveau te kunnen komen is in samenspraak en in samenwerking met de leveranciers een benchmark uitgevoerd waarbij met de twee GIS-pakketten hetzelfde is uitgevoerd. De werkzaamheden zijn representatief voor toekomstige

GIS-toepassingen binnen KIWA.

De uit de benchmark opgedane ervaringen en de al eerder genoemde ervaringen zijn naast elkaar gelegd en uitgaande van de huidige inpassingsmogelijkheden van het GIS binnen KIWA is er een keuze voor het GIS-pakket ARC/INFO op PC gemaakt. Doorslaggevend was de snel toegenomen functionaliteit van GIS op PC en het feit dat toen, op het moment van de keuze, alleen ARC/INFO een GIS op PC leverde.

Na de keuze is het implementatie plan opgesteld die alle van belang zijnde zaken behelst waaraan aandacht moet worden geschonken, wil het GIS optimaal kunnen functioneren binnen een organisatie als KIWA.



Figuur 1 Stroomdiagram GIS-pad KIWA

1 PROJECTANALYSE

In 1990 is bij KIWA een project gestart waarbij een inventarisatie heeft plaatsgevonden naar de gegevensstroom bij projecten op de afdeling Winning en Bodem. Hierbij is onderzocht in hoeverre een verbetering in de verzameling, opslag, bewerking en presentatie van gegevens aangebracht kan worden en in hoeverre een Geografisch Informatie Systeem (GIS) daarbij van nut kan zijn (Meijer et al., 1991).

Voor de inventarisatie van de gegevensstroom op de Afdeling Winning en Bodem is een aantal projectactiviteiten, waarbij gebruik wordt gemaakt van ruimtelijke gegevens, geclusterd tot een zestal hoofdonderwerpen. Deze zijn:

- systeemanalyse;
- milieu-effectrapportage;
- winplaatsonderzoek;
- bodemverontreiniging;
- beleidsvoorbereidend onderzoek;
- ecologisch onderzoek.

Per hoofdonderwerp is aandacht besteed aan:

- Het verzamelen van gegevens. Er is gekeken naar de vereiste tijd voor het verzamelen van ruimtelijke gegevens en van welke instanties deze gegevens afkomstig zijn.
- Formatteren en opslaan van gegevens. De aangeleverde gegevens moeten meestal worden opgeslagen in bruikbare formats. Daarnaast moeten de gegevens bewaard worden na afloop van het project. Er is onderzocht hoeveel tijd deze werkzaamheden vereisen.
- Bewerken van gegevens. Afhankelijk van de bewerkingsaard: selecteren, combineren, modelleren, interpoleren, correleren of nabijheidsanalyse, is geïnventariseerd wat hiervoor de benodigde tijdsbesteding is.
- Presentatie van resultaten. Hierbij is gekeken naar de wijze van presentatie en de frequentie ervan bij de verschillende hoofdonderwerpen.

Het totaal van de tijdsbesteding van de hierbovengenoemde handelingen, met ruimtelijke gegevens van de hoofdonderwerpen, in procenten uitgedrukt ziet er als volgt uit:

- het verzamelen van gegevens	31 %
- formatteren en opslaan van gegevens	11 %
- bewerken van gegevens	33 %
- presentatie van resultaten	25 %

Tijdwinst en kostenbesparing door gebruikmaking van een GIS zal vooral in het verzamelen, formatteren en presenteren van ruimtelijke gegevens behaald worden. En deze vormen circa 70 % van alle werkzaamheden.

Daarnaast is uit deze inventarisatie een aantal zaken naar voren gekomen die van invloed zijn bij het opstellen van de wensen en randvoorwaarden voor een GIS :

- Voor het verzamelen van ruimtelijke gegevens bestaat bij KIWA de behoefte aan een duidelijk overzicht en scheiding van informatiebronnen;
- In de toekomst bestaat de behoefte om gegevens, meer dan nu, digitaal aangeleverd te krijgen;
- Digitale bestanden dienen zoveel mogelijk in een gestandaardiseerd formaat aangeleverd te worden;
- Afhankelijk van de kosten-baten ontwikkelingen zullen de mogelijkheden van on-line verbindingen beoordeeld worden;
- Het gebruik van remote sensing beelden zal een vlucht nemen;
- KIWA voert zelf bewerkingen op ruimtelijke gegevens uit waardoor de vraag naar basisgegevens (dus niet van basisgegevens afgeleide gegevens) belangrijk is;
- Integratie van meerdere vakgebieden blijkt in de toekomst een belangrijk onderdeel van projecten. De ruimtelijke informatie van dergelijke vakgebieden zal desgewenst zoveel mogelijk in dezelfde ruimtelijke structuur opgeslagen moeten worden;
- Ruimtelijke informatie zal in de toekomst met name via een GIS behandeld worden. Bestaande digitale bestanden dienen hierop berekend te zijn.

Daarnaast is een projectgroep GIS opgericht die zorg zal gaan dragen voor de keuze van een GIS en de implementatie ervan. De projectgroep GIS heeft een drietal richtingen uitgewerkt die de keuze voor een GIS moet onderbouwen. Deze drie richtingen zijn:

- het opstellen van wensen en randvoorwaarden bij het kiezen van een GIS;
- opsporen van praktijkervaringen bij andere instanties;
- het uitvoeren van een extern praktijkproject.

De uitvoering van deze drie richtingen is in de volgende hoofdstukken beschreven.

2 WENSEN EN RANDVOORWAARDEN

Aan de hand van de inventarisatie van de gegevensstroom zijn de wensen en randvoorwaarden voor een GIS vastgesteld. De randvoorwaarden zijn te splitsen in de hard- en softwarerandvoorwaarden.

Aan de software zijde bleek de mogelijkheid te bestaan tussen een GIS op PC basis of op workstation basis. Hierbij mogen de eventuele beperkingen van een PC-GIS ten opzichte van een workstation GIS niet de doelstelling van de GIS-introductie voorbijlaten. De software mag geen beperkingen opleveren voor de mogelijkheden die een GIS in zich heeft. Daarnaast zal bij de keuze voor een GIS-pakket aandacht moeten worden besteed aan het koppelen van bestaande software pakketten aan het GIS binnen KIWA.

Hardware randvoorwaarden zijn er bij het koppelen van de bestaande PC-configuratie aan het GIS. Bij het opzetten van een GI-systeem zal zo mogelijk van de bestaande apparatuur gebruik moeten worden gemaakt, zodat de aanschaf van nieuwe hardware zoveel mogelijk beperkt kan worden.

Ten behoeve van de aanschaf van een GIS-pakket zijn de volgende wensen naar voren gekomen:

- Het GIS-specialisme niveau ten aanzien van GIS-pakketten is beperkt. Bij de keuze voor een pakket zal rekening moeten worden gehouden met ondersteuningsmogelijkheden;
- Er moet worden gekeken in hoeverre gebruik kan worden gemaakt van digitale informatie van belangrijke gegevensleveranciers die tevens gebruik maken van een GIS-pakket;
- Er moet een uitwisseling tussen het GIS-pakket en het computerprogramma 'AUTOCAD' mogelijk zijn;
- Het GIS-pakket zal met verschillende schalen en nauwkeurigheden moeten kunnen werken;
- De investering voor het GIS-pakket dient te worden afgestemd op de omvang van de bij KIWA gebruikelijke projecten;
- De capaciteit van het GIS-pakket zal voldoende groot moeten zijn om de verschillende categorieën ruimtelijke informatie op te slaan, te formatteren, te bewerken en te presenteren;
- Naar aanleiding van het vorige zal de interne opslag en omgang van data op een efficiënte wijze moeten worden uitgevoerd binnen het GIS-pakket;
- Automatisering van de verschillende bewerkingen die KIWA op ruimtelijke gegevens uitvoert, is nodig;
- Bovendien zal bij de bewerkingen inbouw van bestaande modellen of koppeling van bestaande modellen met het GIS mogelijk moeten zijn;
- Bij de presentatie van resultaten is drukwerkkwaliteit vereist;
- De gewenste presentatiemogelijkheden zijn: kaarten, dwarsdoorsneden, tabellen, grafieken, diagrammen en 3D-weergave.

3 MARKTINVENTARISATIE GIS-GEBRUIKERS

Om te komen tot een keuze voor een GIS-pakket is als tweede richting het inventariseren van de ervaringen en bevindingen van GIS-gebruikers aangegeven. Bij de selectie van de GIS-gebruikers is gekeken naar instanties die vergelijkbaar onderzoek uitvoeren, als bij de afdeling Winning en Bodem. Uit deze selectie kwam een zestal instituten naar voren. De onderwerpen, waarbij tijdens de inventarisatie naar de gekeken is, vloeien voort uit de al eerder beschreven wensen en randvoorwaarden voor een GIS. Deze onderwerpen zijn:

- aanwezige GIS-pakketten en kosten van hard- en software;
- softwarelevering;
- installatie op bestaande hardwareconfiguratie;
- ondersteuningsmogelijkheden;
- gegevensuitwisseling;
- gebruikersvriendelijkheid.

De inventarisatie gaf een zodanig gekleurd beeld dat het niet mogelijk bleek een waarderingstabel op te stellen aan de hand van de geïnventariseerde onderwerpen. Wel is er een aantal conclusies getrokken uit de bevindingen van de GIS-gebruikers, die hieronder zijn weergegeven:

- door de complexiteit van de materie moet het aanlooptraject niet worden onderschat; men moet rekening houden met een duur van 3 jaar;
- de prijs van GI-systemen varieert sterk;
- er moet minimaal 1 persoon vrijgemaakt worden die zich bezig gaat houden met het GIS;
- een langzaam groeipad heeft belangrijke voordelen (zo kunnen gebruikers van elkaar leren waardoor de opleidingskosten lager zijn);
- in de operationele fase van het GIS moet binnen een organisatie een verantwoordelijke en aanspreekpunt aanwezig zijn;
- het op eenvoudige wijze kunnen uitwisselen van bestanden met andere instituten moet een belangrijk onderdeel zijn bij de keuze van het GIS;
- de filosofie kan zijn om met een klein systeem te starten; ervaring op te doen en het GIS daarna te vervangen door een groter of ander GI-systeem.

Daarnaast kon in het algemeen gesteld worden dat al eerder opgestelde wensen en randvoorwaarden een goed toetsingskader vormen voor de keuze van een GIS-pakket. Tevens bleek nog eens duidelijk dat er geen GIS-pakket als absolute marktleider is.

4 EXTERN PROJECT

Het derde pad is het uitvoeren van een project elders. Hierbij is de hoofddoelstelling het opdoen van ervaring met een GIS, waarbij de bruikbaarheid van een GIS bij hydrologisch modelonderzoek als tweede doelstelling werd gehanteerd. Het gaat dus in eerste instantie niet om het uitvoeren van werkzaamheden met een GIS-pakket, maar om de kwaliteit van het werk.

In deze aanloopfase tot de keuze voor een GIS wilde KIWA zich niet binden aan een GIS-leverancier. Er is daarom gezocht naar een GIS-gebruiker waar GIS-functionaliteit reeds enige jaren operationeel is. Bij deze GIS-gebruiker, IAHN Larenstein Velp, waren op dat moment drie GI-systemen operationeel. Er is gekozen voor het pakket MGE

omdat voor dit pakket een voorkeur binnen de afdeling aanwezig was.

Er is vooral gewerkt met grote databestanden en er zijn arbeidsintensieve modeltechnische handelingen uitgevoerd die het nut van een GIS moeten aantonen. Uit dit externe project kwamen algemene en specifieke conclusies met betrekking tot de toepassing van een GIS bij een hydrologische modellering naar voren:

- het invoeren van parameterwaarden is betrekkelijk eenvoudig en bovendien snel te realiseren.
- ten behoeve van de ijking van het hydrologische model kan men op eenvoudige wijze aanpassingen aanbrengen en doorrekenen.
- de modeluitkomsten kunnen op eenvoudige, snelle wijze gepresenteerd worden.
- de uniformiteit die men creëert bij het presenteren van parameterkaarten en modeluitkomsten verhoogt de kwaliteit.

5 EERSTE SELECTIE

Aan de hand van de wensen en randvoorwaarden voor een GIS, de gebruikers-inventarisatie en het externe project is een selectie uitgevoerd. Hieruit kwamen een drietal GIS-pakketten, te weten MGE, ARC/INFO en Spans.

Ten behoeve van een onderbouwde keuze voor een van de drie GIS-pakketten was al een programma van 22 eisen opgesteld door de GIS-projectgroep. Het programma van eisen was opgesteld aan de hand van de wensen en randvoorwaarden. De belangrijkste eisen zijn hieronder weergegeven:

- De leverancier moet voldoende mogelijkheden hebben op het gebied van ondersteuning, begeleiding en opleiding;
- Er dient een goede documentatie/gebruikershandleiding van het GIS-pakket beschikbaar te zijn;
- De mogelijkheden van volledige of gedeeltelijke implementatie van een GI-systeem in de aanwezige hardware moet overwogen en onderbouwd worden;
- De capaciteit van het pakket zal voldoende groot moeten zijn om de ruimtelijke informatie van bij KIWA gebruikelijke projecten te kunnen opslaan, formatteren, te bewerken en te presenteren;
- Noodzakelijk is de mogelijkheid van verwerking en bewerking van zowel raster- als vectorinformatie;
- Mogelijkheden tot structureel en gebruikersvriendelijk systeembeheer zijn gewenst: gestandaardiseerde archivering, boekhouding en snelle backup-mogelijkheden;
- Beschikbaarheid van gebruikersvriendelijke conversieprogrammatuur voor het inlezen van digitale ruimtelijke informatie met verschillende formats;
- Goede digitaliseermogelijkheden met controle en correctie;
- Noodzakelijk is de mogelijkheid tot koppeling met bestaande hydrologische modellen;

- Uitgangspunt bij de visualisatie is het presenteren van resultaten op een (digitale) topografische ondergrond. Gewenst zijn de mogelijkheden tot het ontwerpen van een uniforme lay-out en presentatie op variabele schaal ('in- en uitzoomen');
- Noodzakelijk is de koppelingsmogelijkheid met 'AUTOCAD'.

Op basis van het programma van eisen is aan drie softwareleveranciers van de GIS-pakketten gevraagd een voorstel uit te brengen voor het invoeren van een GIS binnen KIWA. Het voorstel diende onder andere het gebruik, de implementatie, de mogelijkheden en de ondersteuning te omvatten. De uitgebrachte offertes zijn zowel intern als extern getoetst en vergeleken met het programma van eisen. Intern door de GIS projectgroep. Extern door een onafhankelijk automatiseringsbureau.

De conclusie van de externe toetsing gaf aan dat twee GIS-pakketten, te weten ARC/INFO en MGE, voor KIWA het meest interessant zijn. Daarnaast kwam naar voren dat beide hetzelfde marktgebied bedienen en op het gebied van beschikbare functionaliteit concurrerend zijn.

Op basis van de uitgevoerde interne en externe toetsing is een vervolgtraject voor het GIS-pad uitgestippeld. Allereerst is beslist tot het uitvoeren van een benchmark vóór een uiteindelijke keuze.

6 BENCHMARK

Nu de keuze is verkleind tot twee pakketten blijft nog steeds de vraag welk pakket KIWA het beste kan gebruiken. Er is daarom binnen een project een onderdeel van de geohydrologische dataverwerking ten behoeve van de geohydrologische modelinvoer, omgegoten in een benchmark. De benchmarkuitvoering lag bij KIWA. De begeleiding en soft- en hardware werd verzorgd door de desbetreffende leveranciers. De benchmark vormt een algemeen toetsingskader voor de twee GIS-pakketten en leidt tot de keuze voor een GIS-pakket.

De volgende werkzaamheden zijn tijdens de benchmark uitgevoerd:

- het genereren van een MODFLOW netwerk uit ASCII data;
- uit een hoogtecijferkaart een hoogtelijnenkaart interpoleren;
- de geïnterpoleerde hoogtelijnenkaart over het gegenereerde netwerk leggen. Hieruit volgt een gewogen gemiddelde hoogtecijfer-kaart;
- een ecologische grondgebruikskaart vervaardigen;
- het genereren van een gewasfactorenkaart op basis van een door KIWA samengestelde ASCII gewasfactoren datafile.

De werkzaamheden zijn op twee wijzen gewaardeerd. Enerzijds op basis van uitvoering. Anderzijds op basis van tevoren opgestelde criteria. Bij het laatste punt is naar de volgende aandachtspunten gekeken:

- meetkundig;
- database-technisch;
- GIS communicativiteit;
- analyse mogelijkheden;
- hardware.

Uit de benchmark zijn een aantal wellicht subjectieve conclusies getrokken. De belangrijkste zijn hieronder weergegeven:

- beide pakketten zijn in het algemeen aan elkaar gewaagd;
- ARC/INFO heeft een eenvoudiger database-opzet dan MGE. Hierdoor lijkt de toegankelijkheid van ARC/INFO beter en het opzetten van een kaart eenvoudiger dan bij MGE;
- de gebruikersinterface van ARC/INFO lijkt eenvoudiger dan bij MGE;
- ten tijde van de benchmark was er geen PC-versie van MGE op de markt.

7 KEUZE

Afhankelijk van de ervaringen van de benchmark en de eerder opgestelde randvoorwaarden en wensen is een keuze voor een GIS-pakket gemaakt. De keuze is onder andere afhankelijk van bedrijfseigen aspecten. De keuze houdt dan ook geen advies in voor vergelijkbare instituten en wordt voor een groot deel door het moment bepaald. KIWA heeft aan de hand van het voorgaande traject en de benchmark gekozen voor ARC/INFO op PC op basis van het volgende:

- De benchmark gaf geen duidelijk verschil aan tussen MGE en ARC/INFO. ARC/INFO is eenvoudig en overzichtelijk bij het opzetten van een database, de gebruikersinterface is gebruikersvriendelijk en de overzichtelijkheid bij de uitgevoerde werkzaamheden is goed.
- Uit het oogpunt van kostenoverweging speelde het feit mee dat er, op het moment dat de benchmark uitgevoerd was, van ARC/INFO een PC-versie bestond en van MGE nog niet. Het prijsverschil tussen een werkstation en een PC-versie is aanzienlijk en weegt zwaar mee in de keuze.
- Het verschil in functionaliteit tussen ARC/INFO op PC en werkstation is klein en weegt niet op tegen de ervaring die men nu kan opdoen. Voorts wordt ook voor GIS op PC steeds meer software ontwikkeld en breidt de snelheid en capaciteit van PC's zich snel uit.

8

IMPLEMENTATIE

Tijdens de uitvoering van de benchmark is begonnen met het opstellen van een plan voor gestructureerde implementatie voor GIS binnen de afdeling Winning en Bodem. Door het opstellen van een implementatieplan wordt de structuur voor het gebruik, de taken en verantwoordelijkheden van de gebruikers en van de GIS-beheerder op papier vastgelegd. Het invoeren van een GIS binnen een organisatie gaat niet zonder slag of stoot. Binnen een organisatie moet de implementatie van een GIS een breed draagvlak hebben willen de verschillende vakdisciplines, met hun eigen werkwijzen, er mee kunnen werken. Deze zullen allen op den duur moeten samenwerken wil men de implementatie en het gebruik van GIS tot een succes brengen.

Er zijn twee strategieën om een GIS binnen een organisatie te implementeren:

- De snelle strategie:

Hierbij wordt gekeken naar korte termijn resultaten. Er wordt weliswaar snel een meestal aansprekend resultaat gehaald. Echter er wordt geen info-analyse uitgevoerd, er wordt niet gekeken naar systeem ontwikkelingstrajecten, opbouw van een nette database etc.

Voorts moeten met hoge kosten snel veel mensen worden opgeleid.

- De gestructureerde strategie:

Hierbij wordt een duurzame basis gelegd voor een lange termijnbeleid. Er vindt een grondige verkenning van de informatievraag en -aanbod plaats, waarna men tot een systeemkeuze komt. Op basis van analyse van het voorgaande vindt de bouw en ontwikkeling plaats van het GIS en toepassingsprogramma's en wordt een gebruiks- en beheerskader ontworpen. De GIS implementatie. Met gerichte opleiding ('maatwerk') en werving van medewerkers met ook GIS-ervaring wordt voorkomen dat grote budgetten voor opleiding nodig zijn.

Binnen KIWA is de voorkeur gegeven aan de tweede strategie. Deze heeft een langere aanloop- en doorlooperperiode maar is efficiënter te beoordelen en ontwerpen.

Als GIS is geïnstalleerd wil een organisatie snel resultaat zien van het geïnvesteerde kapitaal. En dan doemt een gevaar op, het gevaar van onvoldoende coördinatie. Dit laatste moet voorkomen worden omdat veelal verschillende vakdisciplines met een GIS moeten gaan werken. Zoals al eerder gezegd heeft ieder zijn eigen werkmethode, zijn eigen wijze van data vergaren, opslaan, bewerken en presenteren. De tijd moet leren of het GIS volledig is uit te nutten door voldoende coördinatie en afstemming.

LITERATUUR

MEIJER, J.A. EN J.H. PETERS; 1991. Het relaas van KIWA als gebruiker van aardkundige gegevens; CHO-TNO; Rapporten en Nota's No. 25; p 35-48.

SYSTEMATIEK VAN GEBRUIK VAN GIS BIJ HET MODELLEREN

M.C.L. Tusveld

SAMENVATTING

GIS is een belangrijk hulpmiddel bij de uitvoer van veel bodem- en grondwateronderzoeken. Bij het modelleren van grondwaterstroming is GIS een onmisbaar hulpmiddel gebleken. Het GIS ARC/INFO wordt gebruikt als centraal opslag systeem voor ruimtelijke data. Een groot voordeel van het opzetten van een centraal opslagsysteem is, dat meerdere onderzoeken gebruik kunnen maken van dezelfde dataset. Voor de uitwisseling van ARC/INFO met overige in gebruik zijnde software zijn conversieprogramma's ontwikkeld door IWACO. Op deze wijze kunnen data overgezet worden zonder kennis van ARC/INFO. Het hanteren van een systematiek in het uitwisselen van GIS data met modellen is essentieel voor een efficiënte modellering. Het GIS heeft bovendien een belangrijke functie bij het presenteren van de modelresultaten al dan niet in combinatie met model invoer.

In dit artikel wordt aangegeven op welke wijze door IWACO gebruik gemaakt wordt van GIS in onderzoeken. Er wordt een overzicht gegeven van de koppelingen die bestaan tussen GIS en overige bij IWACO in gebruik zijnde software. De systematiek van het gebruik van GIS bij het modelleren van grondwaterstroming wordt in een vijftal stappen besproken aan de hand van een operationele koppeling tussen het GIS PC ARC/INFO en het grondwaterstromingspakket TRIWACO.

1 INLEIDING

Het gebruik van Geografische Informatiesystemen (GIS) bij IWACO is in korte tijd enorm toegenomen. Sinds 1988 wordt GIS toegepast en momenteel wordt GIS ingezet bij veel bodem- en grondwateronderzoeken. Bij de grondwatermodellering is GIS een onmisbaar hulpmiddel geworden. De kern van het artikel bestaat uit twee gedeelten: in paragraaf 2 worden een aantal algemene toepassingen en applicaties van GIS aangegeven, in paragraaf 3 wordt de systematiek van het gebruik van GIS bij de gronda-

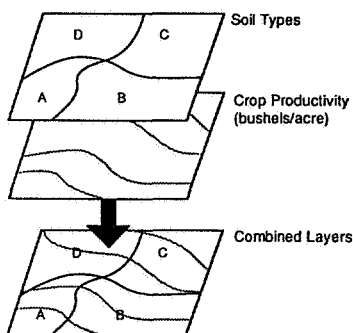
termodellering toegelicht. Tenslotte wordt in paragraaf 4 afgesloten met de meerwaarde die GIS biedt bij bodem- en grondwateronderzoeken in het algemeen en bij grondwatermodellering in het bijzonder.

2 GEBRUIK VAN GIS

2.1 Ruimtelijke en temporele data

Ruimtelijke data:

Een Geografisch Informatiesysteem (GIS) is een databank voor ruimtelijke informatie. Een GIS onderscheidt zich van een gewone databank door de wijze van dataopslag. De data in een GIS zijn namelijk opgeslagen in kaartlagen of overlays. Dit maakt een aantal bewerkingen mogelijk, die met een gewone databank niet uitgevoerd kunnen worden. Een voorbeeld van een dergelijke bewerking is het bepalen van de grenzen van homogene deelgebieden op basis van twee (of meer) parameters met een zekere ruimtelijke verdeling. In een GIS kan een nieuwe kaart berekend worden op basis van twee (of meer) bestaande digitale kaarten (zgn. overlay-bewerking, zie figuur 1).



Figuur 1 Voorbeeld overlay bewerking (ESRI, 1990)

Temporele data:

Voor de opslag van temporele of tijdsafhankelijke data is een GIS over het algemeen minder geschikt, aangezien de dataopslag gericht is op het verwerken van ruimtelijke data. Een GIS is niet toegespitst op weergave en analyse van tijdreeksen, van bijvoorbeeld onttrekkingsdebieten of stijghoogten. Het GIS kan wel een isolijnen kaart genereren voor een willekeurig gekozen tijdstip in de tijdreeks, zoals bijvoorbeeld isohypsenkaarten van een peilronde. Bij niet-stationaire modelberekeningen moeten tijdsafhankelijke data worden verwerkt, zoals de neerslag en verdamping,

oppervlaktewaterpeilen, onttrekkingsdebieten en grondwaterstanden en stijghoogten (modellering). Naast een GIS is daarom in de praktijk vaak een gewone databank onmisbaar. In een databank kunnen ook niet-temporele gegevens opgeslagen zijn, die van belang kunnen zijn voor de modellering, zoals boorbeschrijvingen inclusief een stratigrafische interpretatie. Een goede uitwisseling tussen databank en GIS is daarom noodzakelijk (zie ook 2.3 en 3.3).

2.2 GIS hardware en software

GIS hardware:

Een GIS bestaat uit hardware en software. De hardware bestaat uit een computer, een invoermedium (digitizer, muis, toetsenbord), een uitvoermedium (scherm, printer, plotter) en bij voorkeur een back-up unit. Een PC of een workstation is nodig voor de opslag van de programmatuur en de opslag en verwerking van de datafiles. Voor de invoer van data in het GIS wordt een digitizer gebruikt of eventueel een muis of het toetsenbord. De uitvoer van een GIS wordt meestal in de vorm van kaarten weergegeven op een grafische printer of een plotter. Met name bij het modelleren is het belangrijk kaarten op A1 of A0 formaat te kunnen weergeven. Op dit formaat kan het modelnetwerk worden gecontroleerd en kan de controle op de invoer en uitvoer van het model plaatsvinden op dezelfde schaal als de originele kaarten. Een back-up unit is gewenst, gezien de grote hoeveelheden data die met een GIS worden verwerkt. Met een back-up unit kunnen files worden bewaard op een tape, zodat files opnieuw op de computer kunnen worden geladen, bijvoorbeeld in geval de files verloren zijn gegaan. Daarnaast kan het maken van back-ups gebruikt worden voor het besparen van de harddisk capaciteit van de computer.

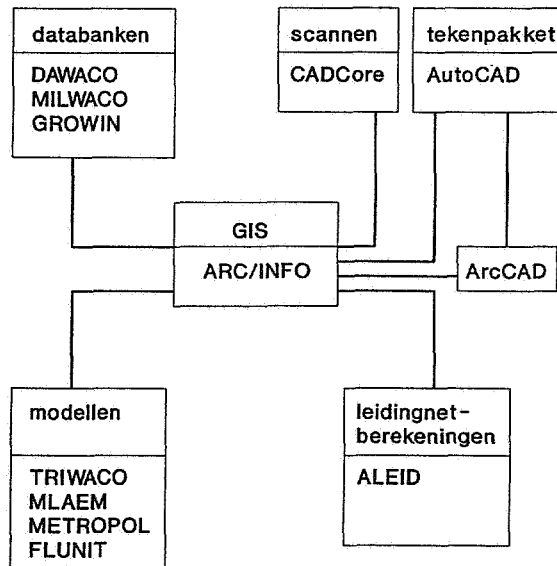
Het verschil tussen een GIS op PC of workstation is dat de functionaliteit op een workstation over het algemeen uitgebreider is. Bovendien kunnen grotere en complexere bewerkingen worden uitgevoerd op een workstation, die vaak ook aanzienlijk sneller worden uitgevoerd dan op een PC. Het zelfde geldt voor een vergelijk ten aanzien van modellering: doordat een workstation een groter intern geheugen heeft kunnen op een workstation berekeningen aanzienlijk sneller worden uitgevoerd met bovendien grotere en complexere modellen.

GIS software:

Momenteel is er een veelheid aan GIS pakketten op de markt. IWACO heeft op PC de beschikking over ARC/INFO (incl. SEM), GEOMAP en ILWIS; op workstation over ARC/INFO (incl. TIN) en MGE (Intergraph). TIN is de interpolatiemodule van de workstation versie van ARC/INFO. Een gedeelte van de functionaliteiten van TIN kunnen ook op PC worden uitgevoerd met SEM. Zowel op PC als op workstation is ARC/INFO een van de meest gebruikte pakketten in Nederland. In het onderstaande wordt steeds de PC versie van ARC/INFO behandeld.

2.3 Integratie GIS en overige software

Voor bodem- en grondwateronderzoeken zijn naast GIS verschillende andere software pakketten in gebruik bij IWACO. ARC/INFO wordt gebruikt als centraal opslag systeem voor ruimtelijke data. Een groot voordeel van het opzetten van een centraal opslagsysteem is, dat meerdere onderzoeken gebruik kunnen maken van dezelfde dataset. Het is essentieel dat de in ARC/INFO opgeslagen data uitgewisseld kunnen worden met de belangrijkste in gebruik zijnde softwarepakketten. Voor de uitwisseling van ARC/INFO met deze software zijn diensgevolge interfaces of conversieprogramma's gemaakt. Op deze wijze kunnen data overgezet worden zonder kennis van ARC/INFO, bijvoorbeeld van ARC/INFO format naar invoerfiles voor een grondwaterstromingsmodel (TRIWACO) of van ARC/INFO naar invoer files voor leidingnetberekeningen (ALEID). Momenteel is uitwisseling mogelijk met de volgende software pakketten (zie figuur 2):



Figuur 2 Integratie GIS en overige software

Databanken:

- DAWACO: geohydrologische databank;
- MILWACO: milieudatabank;
- GROWIN: databank voor het berekenen van landbouwschade (middels geautomatiseerde TCGB tabel);

CAD-pakketten:

- AutoCAD: geavanceerd tekenpakket;
- CADCore: semi-automatisch vectoriseren van gescande kaarten (raster);

- ArcCAD: integratie van PC ARC/INFO met AutoCAD;

Modelleer programma's:

- TRIWACO: pakket voor quasi drie-dimensionale berekeningen van de grondwaterstroming volgens de eindige elementen methode;
- MLAEM: pakket voor quasi drie-dimensionale berekeningen van de grondwaterstroming volgens de analytische elementen methode;
- METROPOL: pakket voor volledig drie-dimensionale stoftransport-berekeningen volgens de eindige elementen methode;
- FLUNIT: pakket voor berekening van uitspoeling van nitraat, kalium, sulfaat en bestrijdingsmiddelen uit de onverzadigde zone, gebaseerd op NITRON;
- ALEID: pakket voor leidingnetberekeningen.

2.4 GIS toepassingen

GIS wordt bij IWACO op veel verschillende manieren toegepast. Deze toepassingen zijn als volgt in te delen (figuur 3):

- digitalisatie:
digitaal maken van analoge data, met name ruimtelijke data (kaarten), maar ook bijvoorbeeld tijdreeksen;
- oppervlakten & volumes:
bepalen van omtrek (bv. uitwisseling mogelijkheden van natuurgebied met omgeving), lengten (bv. leidingen), oppervlakten (bv. oppervlakten per grondgebruikstype) en volumes (bv. bij ontgravingen, waarbij met prijzen per m3 wordt gerekend);
- kartering en presentatie:
geohydrologische karteringen (Zevenbergen et. al. 1991), maar ook kaarten en figuren voor rapporten;
- ruimtelijke analyse:
zoals het bepalen van gradiënten of bufferzones rond natuurgebieden of langs een weg (geluidszones);
- interpolatie:
zoals het maken van contourkaarten op basis van afzonderlijke meetpunten (bv. grondwaterstanden of diepte van lagen);
- invoer genereren:
het genereren van invoerfiles met het juiste format voor een van de in 2.3 genoemde softwarepakketten.

DIGITALISATIE	OPPERVLAKTEN & VOLUMES
bv. gwst -mv	bv.volume ontgravingen (bij saneringen)
KARTERING en PRESENTATIE	RUIMTELIJKE ANALYSE
geohydrologische kaarten overzichtskaarten	gradiënten bufferzones
INTERPOLATIE	INVOER GENEREREN
diepte lagen (uit boringen)	ALEID GROWIN modellen

Figuur 3 GIS toepassingen

2.5 GIS applicaties waarbij de uitvoer van modelberekeningen wordt geïntegreerd

In en rond ARC/INFO zijn een aantal specifieke applicaties gemaakt. Onder applicatie wordt in dit verband een toepassing verstaan, die bestaat uit een aantal geautomatiseerde stappen. Voorbeelden van applicaties waarbij de uitvoer van modelberekeningen geïntegreerd wordt met GIS kaarten zijn het berekenen van zettingen, het berekenen van landbouwschade en het ontwerpen van monitoringsystemen rond verontreinigde lokaties.

Zettingen:

Zettingen kunnen bijvoorbeeld ontstaan ten gevolge van een bouwputbemaling of door toename van een grondwateronttrekking. Ter bepaling van zettingen worden de initiële situatie en de gewijzigde situatie met een grondwaterstromingsmodel (TRIWACO) berekend. De grondwaterstandsverandering wordt gebruikt voor het bepalen van de zettingen. Tevens wordt een ARC/INFO kaart gebruikt met homogene deelgebieden, die tot stand is gekomen op basis van de profielopbouw. Aan de samenstelling van de

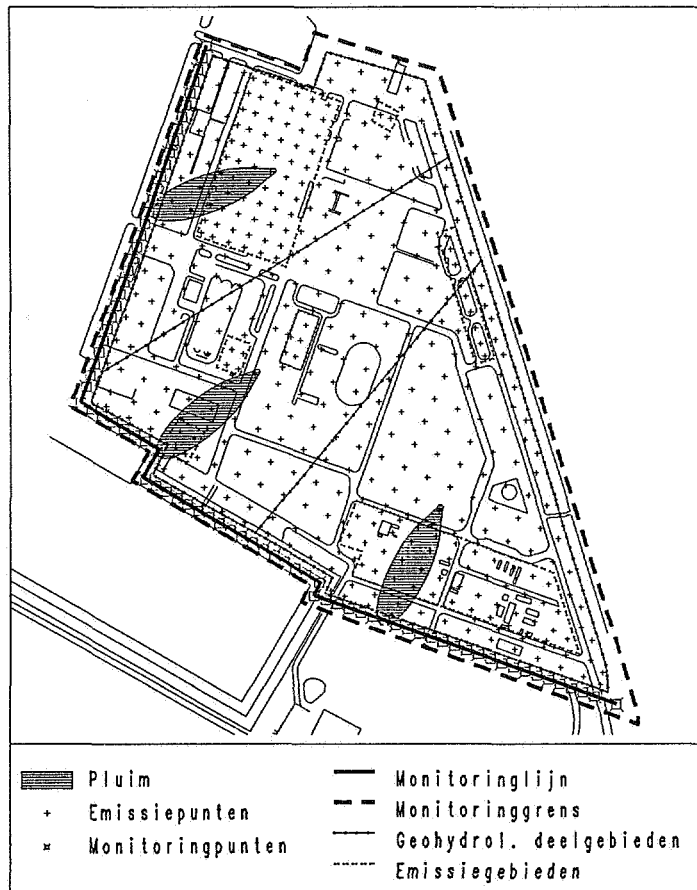
profiellagen zijn de waarden van geotechnische parameters gekoppeld, zoals samendrukkingsconstanten en soortelijk gewicht nat/droog. Daarnaast worden ARC/INFO kaarten met de diepteligging van de lagen gebruikt. De kaart met homogene deelgebieden, de kaarten met de diepten van lagen, de tabel met geotechnische parameters en de uitvoer file met berekende grondwaterstandsverschillen worden vervolgens gebruikt voor het berekenen van zettingen (volgens Terzaghi).

Landbouwschade:

Voor het bepalen van de landbouwschade met de TCGB tabel zijn de aan een bodemtype gekoppelde parameters pF curve, dikte wortelzone en type ondergrond van belang. Tevens is de diepte van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld een essentiële parameter. Daarom worden ARC/INFO kaarten van de bodemtypen en grondwatertrappen gecombineerd tot homogene deelgebieden. Deze ARC/INFO kaart met homogene deelgebieden wordt geïntegreerd met meteorologische data (langjarig gemiddelde (79 jaar) van de Bilt) en met de berekende grondwaterstandsveranderingen (bv. TRIWACO). Alle data worden opgeslagen in GROWIN, de databank voor het berekenen van landbouwschade volgens de TCGB tabel. De landbouwschade wordt berekend in guldens per hectare of als percentage, al dan niet uitgesplitst naar droogteschade en schade door wateroverlast (IWACO, 1991).

Ontwerp monitoringsystemen:

Een laatste voorbeeld van een applicatie waarin GIS en modellen worden geïntegreerd is MODISCO. MODISCO is een geautomatiseerde ontwerpmethode voor het ontwerpen van monitoringsystemen rond verontreinigde lokaties, zoals stortplaatsen of bedrijfsterreinen. Hierbij wordt een lokatie aan de hand van grondwatermodellering onderverdeeld in geohydrologische deelgebieden, waarbinnen de grondwaterstromingsrichting en -snelheid min of meer gelijk is. Tevens worden stoftransportberekeningen uitgevoerd om de vorm van het (potentiële) verontreinigingsbeeld te bepalen (pluimen). In ARC/INFO worden vervolgens emissiepunten gegenereerd vanwaar een pluim kan starten. Middels overlay bewerkingen wordt per emissiepunt bepaald of een pluim al dan niet gedetecteerd wordt door één of meer van de monitoringpunten van het monitoringsysteem. Vervolgens wordt aan de hand van kansberekeningen een trefkans berekend van het monitoringsysteem, waardoor een monitoringsysteem ontworpen wordt met een gekwantificeerde betrouwbaarheid (Tusveld, 1993 en IWACO, 1992a). In figuur 4 is een voorbeeld gegeven van een ontwerp van een monitoringsysteem met MODISCO (Canter Cremers, Hoencamp, Tusveld, 1993).



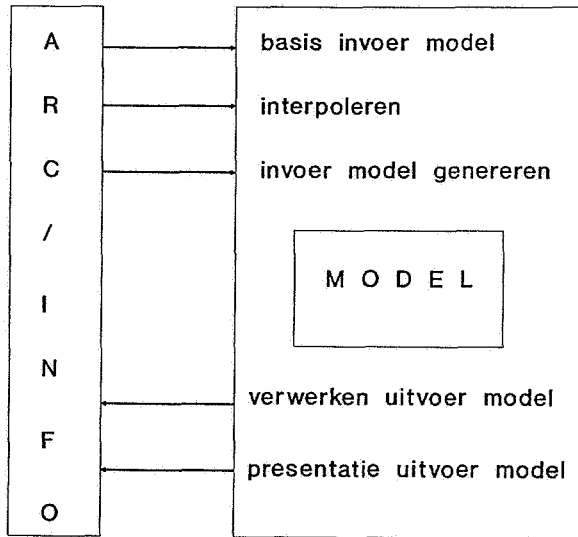
Figuur 4 Voorbeeld van een ontwerp van een monitoringsysteem met MODISCO (Canter Cremers, Hoencamp, Tusveld, 1993)

3 GEBRUIK VAN GIS BIJ GRONDWATERMODELLERING

3.1 Uitwisseling GIS en modellen

Het GIS ARC/INFO wordt gebruikt in een aantal fasen van het modelleren (zie figuur 5 en Emke, 1990). Allereerst wordt ARC/INFO gebruikt voor het genereren van basis invoer voor modellen (zie 3.2). Daarnaast vindt interpolatie tussen punten en lijnen binnen ARC/INFO plaats (zie 3.3). Het verwerken van de basis invoer en de geïnterpoleerde waarden tot invoer files in het juiste format voor het model vindt ook binnen ARC/INFO plaats (zie 3.3). ARC/INFO wordt tevens ingeschakeld nadat de

modelberekeningen zijn uitgevoerd, ten behoeve van het verwerken van de modelresultaten (zie 3.4) en de presentatie van de modelresultaten (zie 3.5). In de volgende paragrafen wordt de rol van het GIS ARC/INFO in elk van de fasen van een TRIWACO model nader toegelicht.



Figuur 5 Uitwisseling GIS en modellen

TRIWACO is een numeriek grondwaterstromingspakket, dat rekt volgens de eindige elementen methode. Als basis voor de berekeningen wordt een netwerk gebruikt, dat is opgebouwd uit driehoekige elementen. Op de hoekpunten van de elementen, de knooppunten, is model invoer benodigd en wordt model uitvoer berekend. De belangrijkste model invoer voor een TRIWACO berekening bestaat uit doorlatendheden van watervoerende pakketten, weerstanden van scheidende lagen, karakterisering van het oppervlaktewaterstelsel en grondwateronttrekkingen. De belangrijkste model uitvoer die door TRIWACO wordt berekend is grondwaterstanden en stijghoogten, fluxen over de scheidende lagen en oppervlaktewaterdebieten.

3.2 Basis invoer model met ARC/INFO

Een gedeelte van de basis invoer wordt door middel van digitalisatie in ARC/INFO gebracht, zoals bijvoorbeeld de basis voor de opbouw van het modelnetwerk en het oppervlaktewaterstelsel.

Met TRIWACO wordt een modelnetwerk gegenereerd. De gebruiker kan daarbij een aantal polygonen opgeven, waarbinnen de afstand tussen de te genereren knooppunten constant is. Deze polygonen worden via ARC/INFO aan TRIWACO aangeleverd.

Het oppervlaktewaterstelsel kan in TRIWACO op twee wijzen worden gemodelleerd: door de opname van rivieren in het modelnetwerk of middels topsystemen, waarin de totale oppervlaktewaterafvoer van het tertiaire stelsel voor het knooppuntgebied wordt verdiskonteerd. Er kunnen verschillende topsysteem typen worden onderscheiden, zoals gebieden met een beheerst peil of gebieden met een vrij afwaterend stelsel. Zowel de lokatie van de rivieren, als ook de verdeling van de verschillende topsysteem typen worden met ARC/INFO gedigitaliseerd en verwerkt.

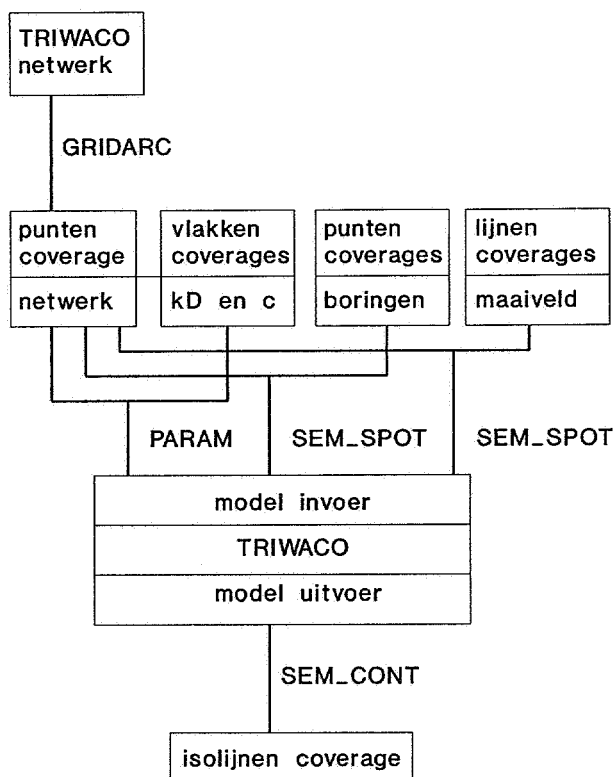
3.3 Interpolatie en genereren model invoer met ARC/INFO

Met de SEM module van PC ARC/INFO kunnen lineaire of Bezier interpolaties worden uitgevoerd. Voor de grondwatermodellering zijn onder meer kaarten met de diepten en dikten van de watervoerende pakketten en scheidende lagen nodig. Hiertoe worden de diepten per boring vanuit de geohydrologische databank DAWACO middels een interface naar ARC/INFO overgezet.

ARC/INFO wordt gebruikt voor het berekenen van de model invoer per knooppunt voor TRIWACO. Voor de interpolatie naar modelknooppunten zijn drie programma's door IWACO ontwikkeld: GRIDARC, PARAM, SEM_SPOT (zie figuur 6).

Het programma GRIDARC converteert een TRIWACO netwerk naar een punten coverage in ARC/INFO (coverage is digitale kaart). De punten coverage van het modelnetwerk is nodig als basis voor zowel het PARAM als SEM_SPOT programma. Het programma PARAM genereert model invoer op basis van polygonen coverages met parameterwaarden en de punten coverage van het netwerk middels een overlay bewerking. Aan elk van de knooppunten van het netwerk wordt de waarde toegekend van het vlak waarin het knooppunt zich bevindt. Het programma SEM_SPOT genereert eveneens model invoer echter niet door een overlay bewerking, maar door interpolatie. SEM_SPOT kan interpoleren van bijvoorbeeld boorpunten naar modelknooppunten (interpolatie van punten naar punten), maar ook van bijvoorbeeld hoogtelijnen naar modelknooppunten (interpolatie van lijnen naar punten). Zowel PARAM als SEM_SPOT resulteren in invoer files in het juiste format voor een TRIWACO berekening. Een

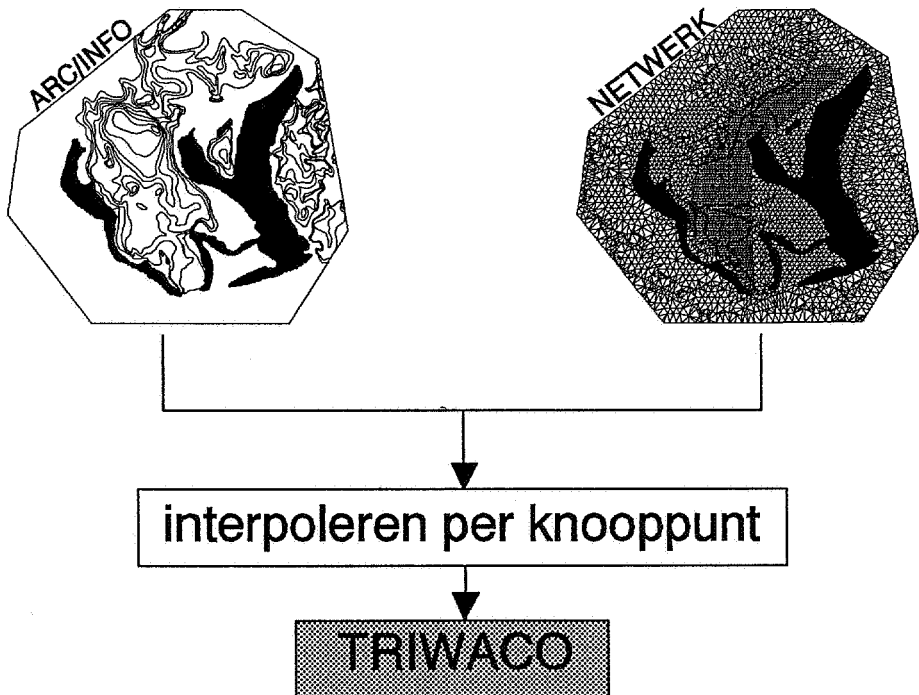
voorbeeld van het genereren van invoer files voor TRIWACO met behulp van SEM_SPOT is gegeven in figuur 7.



Figuur 6 Invoer en uitvoer TRIWACO met ARC/INFO

3.4 Verwerken model uitvoer met ARC/INFO

De resultaten van een modelberekening zijn in de vorm van berekende waarden per modelknooppunt beschikbaar. Deze resultaten kunnen van TRIWACO format naar ARC/INFO format geconverteerd worden. Door de met het TRIWACO model berekende effecten te combineren met ARC/INFO kaarten kan nieuwe informatie afgeleid of berekend worden. Een aantal veel voorkomende berekeningen zijn middels ARC/INFO applicatieprogramma's gestandaardiseerd, zoals het berekenen van zettingen en het berekenen van landbouwschade per modelknooppunt op basis van de berekende effecten met TRIWACO (zie 2.5). ARC/INFO kan ook gebruikt worden voor het bepalen van bijvoorbeeld de verdeling van grondgebruiksklasse per klasse van grondwaterstandsverlaging of -verhoging.



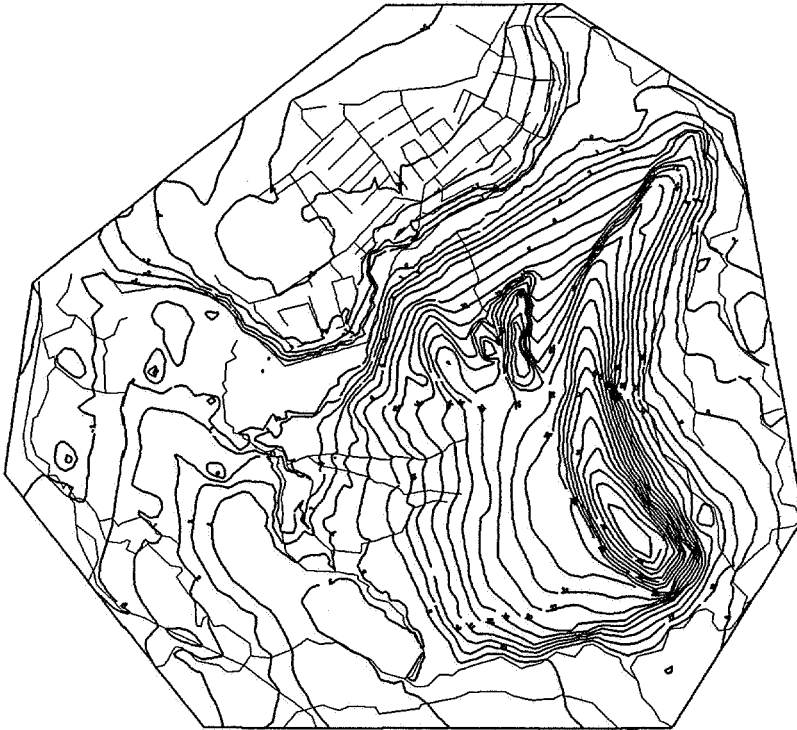
Figuur 7 Berekenen invoer TRIWACO met ARC/INFO: Contouren van de dikte van een scheidende laag en netwerk (IWACO, 1992b)

3.5 Presentatie model uitvoer met ARC/INFO

Voor de weergave van de modelresultaten kan het programma SEM_CONT worden gebruikt. Het programma maakt gebruik van een aantal ARC/INFO en SEM commando's voor het berekenen van contouren op basis van puntwaarden. De interpolatie naar contouren kan lineair of volgens Bezier worden uitgevoerd. De gebruiker kan onder andere het interval tussen de contourlijnen aangeven. Het resultaat van een SEM_CONT berekening is een coverage met de berekende contourlijnen. Deze coverage kan samen met één of meer invoer parameters worden weergegeven op een kaart. Een voorbeeld van de weergave van berekende grondwaterstanden in de vorm van isohypsen tezamen met het drainagepatroon is gegeven in figuur 8.

Het TRIWACO netwerk wordt omgezet naar een punten coverage met het programma GRIDARC ten behoeve van het genereren van model invoer voor TRIWACO (zie 3.3). Voor de presentatie van het netwerk zijn echter de elementen belangrijker dan de knooppunten afzonderlijk. Voor het genereren van een polygonen coverage met het

elementen netwerk van het model is het programma GRIDPRES door IWACO ontwikkeld (zie figuur 7).



Figuur 8 Weergave uitvoer TRIWACO met ARC/INFO: Isohypsen berekend met SEM tezamen met drainagepatroon (IWACO, 1992b)

4 TOT SLOT (MEERWAARDE GIS)

De meerwaarde van het gebruik van een GIS wordt gevormd door een aantal eigenschappen, zoals het sneller en goedkoper produceren van bestaande kaarten, kaarten zijn eenvoudig reproduceerbaar, kaarten kunnen eenvoudig geactualiseerd worden, nieuwe data kunnen worden afgeleid van de originele data (met behoud van de originele data) en kaarten die zijn gebaseerd op selecties of generalisaties kunnen expliciet worden gedefinieerd.

Door het gebruik van GIS zijn data centraal opgeslagen, waardoor de data voor

meerdere onderzoeken beschikbaar zijn. Met het GIS kunnen nieuwe gegevens worden gegenereerd door overlaybewerkingen of door interpolaties tussen punten en lijnen. Tevens kunnen met het GIS eenvoudige tot complexe kaarten en presentaties worden gemaakt. Hierdoor is GIS is een onmisbaar hulpmiddel bij bodem- en grondwateronderzoeken in het algemeen en bij grondwatermodellering in het bijzonder.

LITERATUUR

- CANTER CREMERS, I. , HOENCAMP, T. en M. TUSVELD; 1993. Uniformering monitoringsystemen voor (verontreinigde) lokaties. Richtlijnen voor strategie, ontwerp en beheer zijn gewenst. Bodem 1993 (2): pp. 62-64.
- EMKE, M.J.; 1990. Using a Geographic Information System in finite element solutions. Modelcare 90: Calibration and reliability in groundwater modelling. Volume of poster papers: pp. 129-138.
- ESRI; 1990. Understanding GIS. The ARC/INFO method. Redlands, U.S.A., ESRI Inc.
- IWACO B.V.; 1991. Handleiding GROWIN. Rapportnummer 92.32258.
- IWACO B.V.; 1992a. Handleiding MODISCO. Rapportnummer 10.29120.
- IWACO B.V.; 1992b. Onderzoek grondwaterbeheer Midden-Nederland. Modellering watersysteem.
- TUSVELD, M.C.L.; 1993. MODISCO: geautomatiseerde ontwerpmethode voor monitoringsystemen rond (verontreinigde) lokaties. Geaccepteerd door H₂O 6/5/93.
- ZEVENBERGEN, A.W., RADSTAKE, F. en TUSVELD, M.C.L.; 1991. Remote sensing and GIS applications for hydrogeological studies in Egypt. Planning for groundwater development in arid and semi-arid regions, pp. 239-246, RIGW-Cairo and IWACO-Rotterdam.

CASE STUDY: OPTIMALISATIE WATERBEHEER IN DE REGIO WIERDEN/ HOGE HEXEL

J.H. Hoogendoorn

SAMENVATTING

Momenteel maakt het vak van grondwatermodelleur interessante ontwikkelingen door. De probleem/vraagstelling wordt gecompliceerder, maar daartegenover staat een grote toename aan technische mogelijkheden die als hulpmiddel kunnen dienen bij het verkennen van de probleemruimte. Bij een modelstudie naar de optimalisatie van het waterbeheer in de regio Wierden/Hoge Hexel is op beide trends ingespeeld. Het Geografisch Informatiesysteem (GIS) speelt hierbij een belangrijke rol, zowel in de voorbereidende als in de evaluerende fase van het modelleringsproces.

1 INLEIDING

1.1 Probleem/vraagstelling

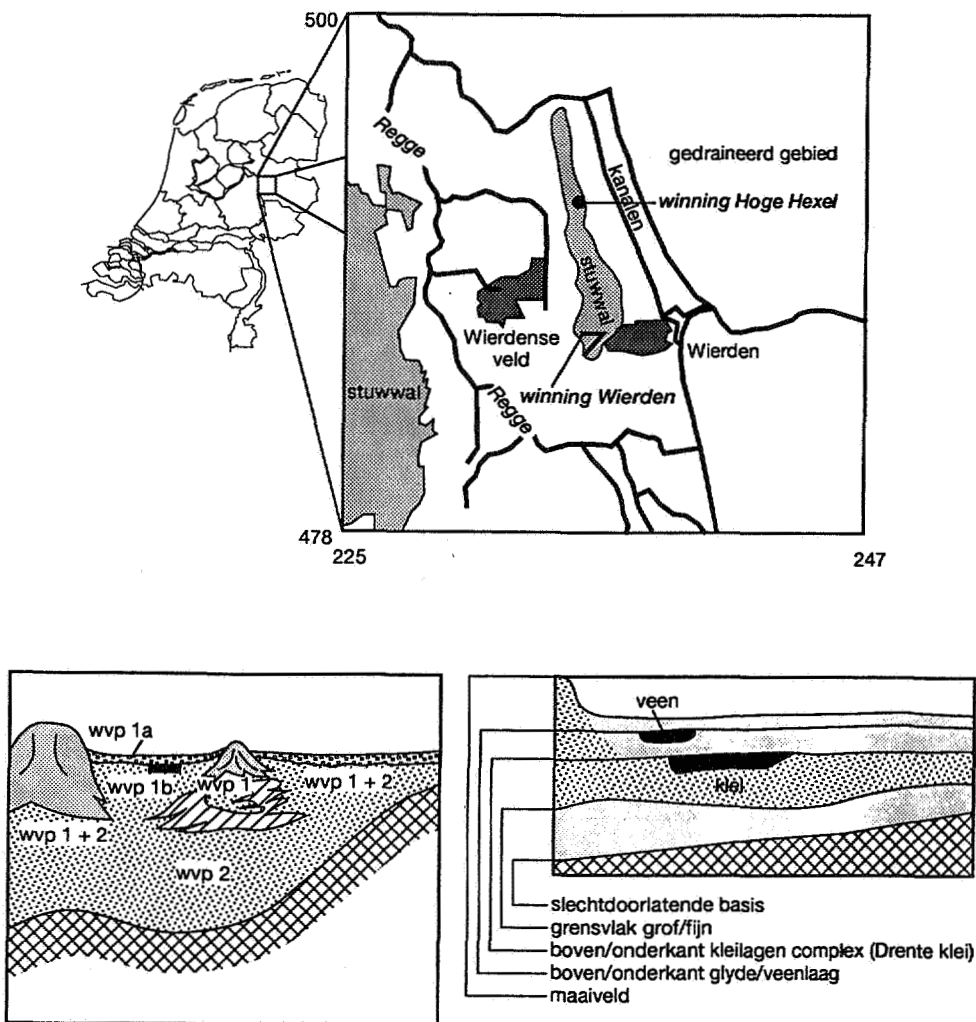
Tot voor kort kon de grondwatermodelleur zich nog tevreden stellen met het berekenen van stijghoogten en soms ook kwel- en infiltratiepatronen. Eventuele vertaalslagen naar maatschappelijk relevante grootheden, zoals bijvoorbeeld opbrengst/depressie voor de landbouw of zettingsschade aan gebouwen, vonden veelal buiten zijn of haar gezichtsveld plaats of werden er min of meer impliciet aan gekoppeld. Grondwatermodellen worden tegenwoordig veelvuldig ingezet bij beleidsverkenningen aangaande het (grond)waterbeheer. Hierbij is het van belang de maatschappelijke relevante grootheden direct als uitkomst te hebben ten behoeve van het afwegen van verschillende beleidsscenario's. Bovendien breidt het belangenspectrum zich uit: naast effecten van ingrepen in het geohydrologisch regime op de landbouw en gebouwen, nemen de effecten op ecologische potenties en op de kwaliteit van grondwaterwinningen in de beleidsvorming een steeds belangrijkere plaats in. Deze zaken komen ook duidelijk naar voren in de regio Wierden/Hoge Hexel, waar een aantal knelpunten in het waterbeheer bestaan. In het kort betreffen deze knelpunten (figuur 1):

- de aanwezigheid van een vrij intensief bebouwd gebied binnen de 25-jaars

beschermingszone van een grondwaterwinning ten behoeve van de drinkwater-voorziening (winning Wierden),

- verdroging binnen het natuurreservaat het Wierdense Veld door grondwaterwinningen in de nabijheid (waaronder de voornoemde) en verbeteringen in de waterafvoer ten behoeve van de landbouw.

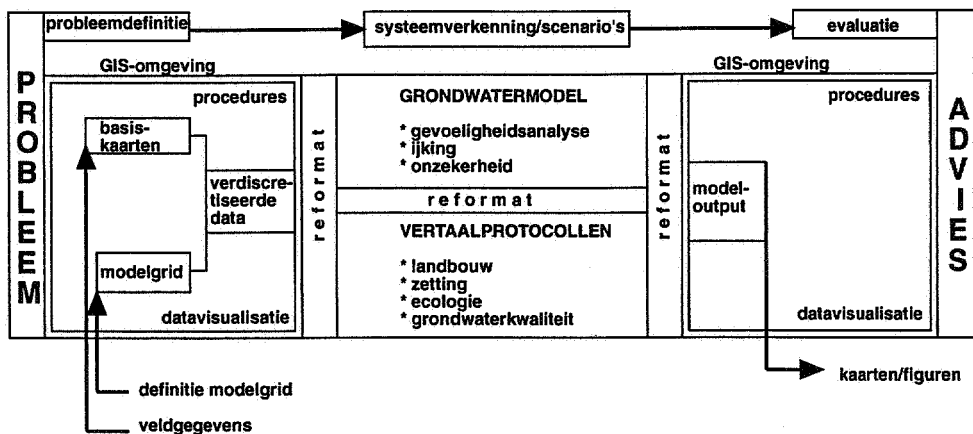
De Provincie Overijssel achtte nader onderzoek noodzakelijk om tot een samenhangend pakket van maatregelen te komen.



Figuur 1 Modelgebied en modelschematisatie

1.2 Combinatie GIS, gegevens en modellen als beleidsvoorbereidend instrument

Zoals reeds aangestipt is een grondwatermodel alleen niet meer voldoende om aan de vraagstelling van probleemeigenaren tegemoet te komen. Van belang wordt het de hele data-stroom, van veldgegevens tot uiteindelijk advies, onder controle te krijgen. Dit geschiedt door integratie van databases, applicatie modules en verschillende modelcodes binnen een GIS-omgeving (figuur 2). De modelcodes betreffen niet alleen numerieke simulatoren voor de karakterisering van het geohydrologisch regime (stijghoogten, wegzijgings/kwel intensiteiten, stromingspatronen), maar tevens vertaalprotocollen om de gesimuleerde geohydrologische fenomenen te vertalen naar maatschappelijk relevante, en liefst vergelijkbare, grootheden. Ook modelcodes ter kwantificering van de onzekerheid in de modellering zijn van belang om grip te krijgen op de zin en onzin van de uitkomsten van de berekeningen.



Figuur 2 Overzicht koppeling GIS, grondwatermodellen en vertaalmodulen

Het hiervoor geschetste traject is ook min of meer gevolgd bij de case study Wierden/Hoge Hexel, waarvan de verschillende stappen in paragraaf 3 en 4 nader zullen worden besproken. In de navolgende paragraaf wordt eerst ingegaan op de technische aspecten van het onderzoek.

2 TECHNISCHE ASPECTEN VAN HET ONDERZOEK

2.1 Soft- en hardware

De modelcode MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) is gebruikt voor de modelering van het grondwatersysteem. MODFLOW is gebaseerd op het rekenschema van eindige differenties, waarmee stijghoogten in gediscretiseerde delen van de ondergrond (gridcellen) worden berekend. Het programma MODPATH genereert op basis van door MODFLOW berekende stijghoogten stromingspatronen, die gebruikt kunnen worden voor de analyse van hydrologische systemen in het algemeen en intrekgebieden van grondwaterpompstations in het bijzonder.

Het programmapakket ARC/INFO (ESRI Inc., USA) is in gebruik voor de GIS applicaties. ARC/INFO is in eerste instantie vector georiënteerd. De aanvullende modules TIN en GRID zijn noodzakelijk voor de koppeling van ARC/INFO met het grondwatermodel. De module GRID maakt dat ARC/INFO tot op zekere hoogte tevens als raster-GIS te gebruiken is.

Het programma BODEP (Landinrichtingsdienst) is gebruikt voor de vertaling van grondwaterstandsveranderingen naar effecten voor de landbouw. Dit programma is gebaseerd op de zogenaamde HELP-tabellen, waarin de relatie tussen de vochtuishouding in de bodem en de produktiviteit van bepaalde landbouwgewassen is vastgelegd. De ecologische effectbepaling is gebaseerd op een analyse van duurlijnen en uitgevoerd door het KIWA (Jansen, 1993). Deze vertaalmodule is nog niet volledig in een softwarepakket vastgelegd.

Het gehele systeem draait op een platform van SUN werkstations (operating system UNIX), met een werkgeheugen van 32 kilobyte en een schijfgeheugen van in totaal 3 gigabyte. De verschillende werkstations zijn door middel van een netwerk met elkaar verbonden. Een dergelijke configuratie is voor de verwerking van wat grotere modellen al gauw noodzakelijk. Daarnaast is de workstation-versie van ARC/INFO meer geavanceerd als die voor de PC.

Voor de grafische weergave van de data zijn, naast uiteraard het beeldscherm, verschillende plotters aan het netwerk gekoppeld, waaronder een Tektronix Phaser III.

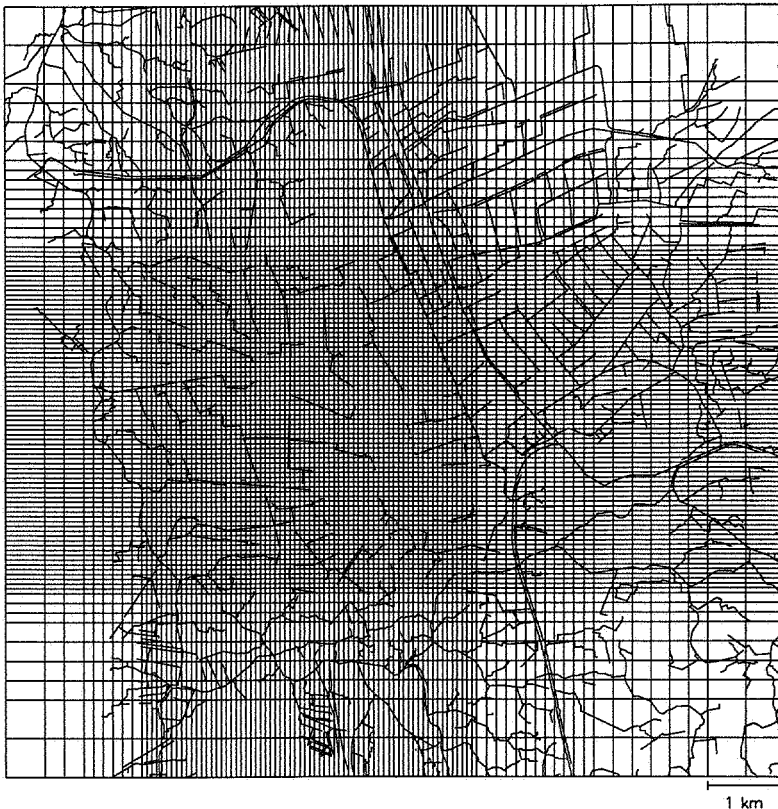
2.2 Koppeling tussen verschillende softwarepakketten

Integratie van verschillende modelcodes en GIS impliceert het continu doorschuiven van gegevens van het ene naar het andere software pakket. Door het (nog) ontbreken van 'standard exchange formats' zijn divers conversieprogrammaatjes gemaakt die de in- en uitvoer tussen de verschillende software pakketten regelen. Hiervoor is de

programmeertaal FORTRAN gebruikt. Veelal doen deze programmaatjes niet veel meer dan het lezen van de uitvoer van een bepaald software pakket en weer wegschrijven van de data in het formaat dat benodigd is voor het opvolgende software pakket. In een aantal gevallen bezitten de programmaatjes echter ook een zekere, zij het veelal beperkte functionaliteit, zoals bijvoorbeeld omrekeningen of het combineren van verschillende gegevenssoorten.

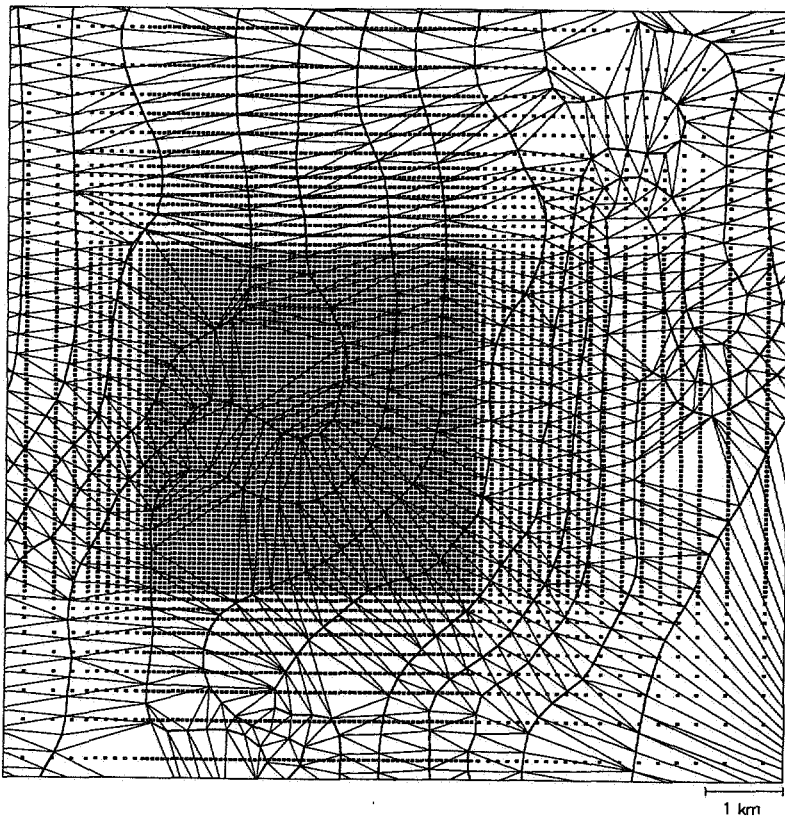
2.3 Rol van het GIS in de modellering

Met de incorporatie van een GIS in de modellering wordt op twee punten een belangrijke vooruitgang geboekt, namelijk bij de preparatie van modelinvoer en bij de visualisatie van de data.



Figuur 3 Overlay van de modelgridcellen en de oppervlaktewaterkaart. Door een standaard procedure in ARC/INFO wordt de oppervlaktewaterkaart opgeknipt volgens de modelgridcellen, waarna de generatie van MODFLOW invoer m.b.t. het oppervlaktewaterstelsel nog een kwestie is van enkele calculaties, exportatie vanuit het GIS en reformatting van de exportfile

De basisgegevens voor het grondwatermodel zijn in kaartvorm in het GIS-systeem opgenomen. De kwaliteitscontrole van de gegevens (testen op strijdigheden in de gegevens en dergelijke) vindt voor een belangrijk deel binnen de GIS-omgeving plaats. Het toekennen van modelparameters aan de cellen van het grondwatermodel (ruimtelijke discretisatie) wordt vrijwel geheel gedekt door de functionaliteit het GIS (figuur 3 en 4). Het grote voordeel van deze werkwijze is dat de basisinformatie vrijwel geheel los van de modelinvoer kan worden bewerkt en dat een wijziging in het modelgrid vrij gemakkelijk is door te voeren. Het runnen van het grondwatermodel en overige programma's geschiedt (nog) buiten het GIS om en is in dit opzicht weinig veranderd.



Figuur 4 Overlay van de celcentra van het model met een Triangulated Irregular Network (TIN) van een contourkaart. Binnen ARC/INFO is een standaard procedure aanwezig om, via een TIN, waarden aan punten toe te kennen. Dit vormt een van de manieren waarop (contour)patronen vertaald kunnen worden naar gridcelwaarden

De uitvoer van de diverse programma's wordt na conversie weer in het GIS ingelezen en door middel verschillende binnen het GIS geprogrammeerde procedures gevisualiseerd. Hierbij is het mogelijk verschillende informatiesoorten, zowel met betrekking tot de basisinformatie als de uitvoer van de verschillende programma's, in diverse combinaties te presenteren. Overigens ligt de toegevoegde waarde van een GIS ten opzichte van tekenpakketachtige systemen met name op het gebied van de bewerking van basisinformatie en de omwerking hiervan naar modelinvoer.

3 HET MODELLERINGSPROCES

3.1. Basisinformatie

De kaarten-database die binnen het GIS is opgezet bevat de volgende informatie: 1) geohydrologische opbouw; 2) waterlopenstelsel; 3) maaiveldhoogtekaart; 4) lokatie van winputten; 5) lokatie van peilputten; 6) neerslag/verdamping. Aan deze ruimtelijke elementen zijn de relevante attributen gekoppeld.

Met betrekking tot de geohydrologische opbouw van de ondergrond wordt onderscheid gemaakt tussen een ruimtelijke indeling van de ondergrond (geohydrologische schematisatie) en de toekenning van geohydrologische constanten (zoals k-waarden en bergingscoëfficiënten) aan deze deelruimten (Hoogendoorn & Boswinkel, 1990). De ruimtelijke indeling van de ondergrond geschiedt op basis van grensvlakken met een zeker contrast in k-waarden. Doorgaans worden deze grensvlakken gevormd door de boven- en onderkant van kleilagen. In sommige gevallen, met name wanneer berekening van stromingspatronen en verblijftijden mede onderwerp van studie is, is het ook zinvol grensvlakken tussen grof- en fijnzandige delen binnen een watervoerend pakket te onderscheiden. Voor het modelonderzoek Wierden/Hoge Hexel zijn de volgende grensvlakken vastgelegd (figuur 1): 1) boven- en onderkant van een glydelaag die binnen het Wierdense Veld voorkomt; 2) boven- en onderkant van een kleilagen-complex (Drente-klei); 3) het grensvlak tussen het grove en het fijne deel van het watervoerend pakket dat zich bevindt tussen het kleilagen-complex en de slecht doorlatende basis; 4) diepte van de slecht doorlatende basis.

De waterlopenkaart is opgezet in samenwerking met het Waterschap Regge en Dinkel, die de gegevens heeft aangeleverd. Alle waterlopen die bij het waterschap in beheer zijn, zijn gedigitaliseerd en van de nodige attributen voorzien (zoals ondermeer: zomer- en winterpeil, natte doorsnede, bodemhoogte). Van de waterlopen waarvan geen peilgegevens voorhanden waren, is het peil gerelateerd aan de maaiveldhoogte. Hiervoor zijn de hoogtecijfer kaarten (schaal 1:10.000) gedigitaliseerd. Voor het modelgebied betrof dit circa 35.000 lokaties met een ingemeten maaiveldhoogte.

De gegevens over grondwateronttrekkingen zijn afkomstig van de Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO) en de Provincie Overijssel. De lokaties van de afzonderlijke putten zijn in het GIS opgenomen, met de relevante attributen als het onttrekkingsdebiet, boven- en onderkant van het filter en dergelijke.

De gegevens omtrent de grondwaterstanden zijn ontleend aan het On Line Grondwater Archief (OLGA) van het IGG-TNO. OLGA heeft de faciliteit selecties van basisgegevens en afgeleide gegevens in een voor ARC/INFO inleesbaar formaat aan de leveren. Binnen het GIS zijn de putten voorzien van ondermeer de volgende attributen: type put, diepte boven- en onderkant waarnemingsfilter, gemiddelde stand voor de periode '80/'89, standaarddeviatie van deze stand, aantal waarnemingen waarop voornoemde grootheden gebaseerd zijn.

3.2 Ijkingsprocedure, gevoeligheidsanalyse en modelsamenstelling

Voor de ijkingsprocedure is bij het onderhavige onderzoek gebruik gemaakt van de Monte Carlo techniek (Olsthoorn, 1989; te Stroet, 1993, 1992). De modelsamenstelling en de wijze van het uitvoeren van de runs is hierop aangepast.

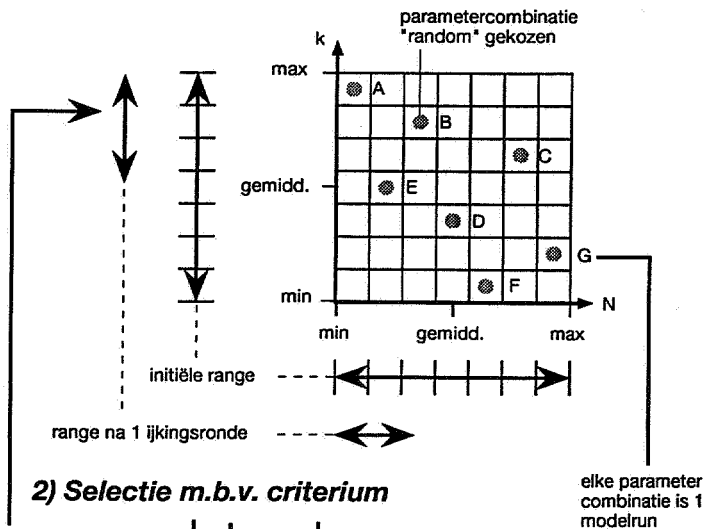
Bij de Monte Carlo techniek wordt onderscheid gemaakt tussen zogenaamde 'harde' en 'zachte' parameters. De harde parameters worden als goed bekend en daardoor min of meer als vaststaand beschouwd. Zachte parameters kenmerken zich door de onzekerheid die eraan verbonden is: doordat de waarde van de parameters niet goed is vast te stellen, wordt er een zekere bandbreedte aan toegekend. Harde parameters beschrijven veelal geometrische deelruimten; de zachte parameters hebben doorgaans betrekking op de eigenschappen van die deelruimten. Bij het onderzoek Wierden/Hoge Hexel zijn de geohydrologische schematisatie, de lokatie en debieten van winputten en de ligging van de waterlopen als harde parameters aangenomen. De volgende parameters zijn als zacht beschouwd: k- c.q. c-waarden, de grondwateraanvulling (in eerste instantie), peilen in de waterlopen en de conductiviteit (waarin verwerkt de intreeweerstand en de natte doorsnede) van de waterlopen.

De gevoeligheidsanalyse en een Monte Carlo cyclus zijn beide gebaseerd op het feit dat uit de range van elke zachte parameter één waarde wordt getrokken, waarmee een run met het grondwatermodel wordt gedraaid. Dit proces wordt herhaald, telkens met een andere waarde uit de ranges van de zachte parameters. De wijze waarop een set met parameterwaarden uit de verschillende ranges wordt samengesteld, bepaalt of er sprake van een gevoeligheidsanalyse dan wel een Monte Carlo cyclus.

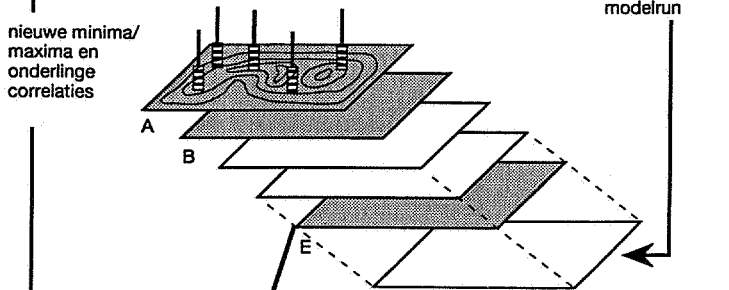
Bij een gevoeligheidsanalyse wordt de run met de gemiddelde waarde uit elke zachte parameterrange als referentierun gebruikt. Vervolgens wordt voor elke parameter een run met de maximale waarde uit de range en een run met de minimale waarde uit de range

gedraaid. Een gevoeligheidsanalyse genereert een groot aantal verschil-stijghoogten en verschil-flux patronen, die binnen het GIS (in een volgorde naar wens van de gebruiker) gevisualiseerd kunnen worden. Hiermee kan binnen enkele uren een goed inzicht omtrent gevoeligheden van het model verkregen worden. Bovendien levert de gevoeligheidsanalyse, door de berekende stijghoogten voor elke run te evalueren op de waargenomen stijghoogten, informatie over de mate waarin de zachte parameters al of niet met de beschikbare waarnemingspunten geijkt kunnen worden.

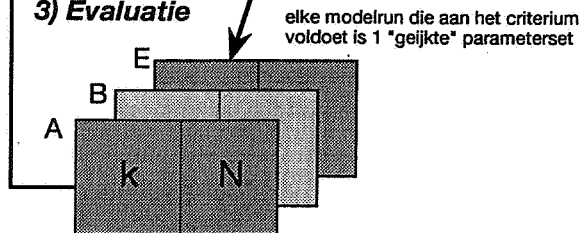
1) Genereren parametersets



2) Selectie m.b.v. criterium



3) Evaluatie



Figuur 5 Schematisch overzicht van de Monte Carlo ijkmethode (naar te Stroet, 1992)

Bij een Monte Carlo cyclus vindt de samenstelling van parametersets juist op een zo willekeurig mogelijke manier plaats. Voor de trekking van parametersets bestaan verschillende methoden, waarop hier verder niet ingegaan wordt. De Monte Carlo techniek komt er op neer dat door het draaien van liefst zoveel mogelijk runs, (sommige) ranges van zachte parameters ingeperkt kunnen worden. Dit geschiedt door de parametersets te selecteren die de kleinste fout voor het ijk criterium opleveren. Bij de onderhavige studie is een aantal cycli van 1000 runs gedraaid. Voor een verdere uiteenzetting van deze methode wordt verwezen naar Olsthoorn (1989) en te Stroet (1993, 1992).

Zowel bij de gevoeligheidsanalyse als bij de ijking moeten bij elke run de invoerfiles van het grondwatermodel aangepast worden. In principe zou de functionaliteit voor het GIS hiervoor in aanmerking komen. De procedure van modelinvoergeneratie blijkt dan echter te omslachtig te zijn om de aanpassing binnen acceptabele rekentijden gerealiseerd te krijgen, gezien de vele runs die veelal achtereenvolgens gedraaid moeten worden. Ter besparing van rekentijd is dan ook aparte schil om MODFLOW geprogrammeerd, die de aanpassing van de invoerfiles van het grondwatermodel automatisch regelt (te Stroet, 1992). Met behulp van het GIS worden, zoals omschreven in paragraaf 2.3, de invoerfiles gegenereerd voor de basisrun en de zogenaamde pointerfiles, die de ruimtelijke indeling volgens de harde parameters binnen het model beschrijven.

De GIS functionaliteit is, voor zover het stationaire berekeningen betreft, toereikend om een vergelijking tussen berekende en gemeten stijghoogten uit te voeren. Wanneer er veel runs geëvalueerd moeten worden, geldt ook hier echter weer dat de procedure te omslachtig is. Om deze reden zijn er aparte programma's ontwikkeld om het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten automatisch te bepalen. Deze zijn zowel operationeel voor stationaire als voor niet stationaire berekeningen. Van geselecteerde runs worden de verschillen tussen berekende en gemeten waarden binnen de GIS-omgeving gevisualiseerd.

3.3 Onzekerheidsanalyse

De Monte Carlo cycli resulteren in de acceptatie van meerdere parametersets. Deze parametersets geven allen een goede oplossing voor de toestand van het grondwater bij gegeven condities. Door voor elke cel de verschillende berekende stijghoogten te middelen en de standaarddeviatie ervan te berekenen, wordt tevens een indruk van de onzekerheid (als gevolg van de onzekerheid in modelparameters) in de berekende stijghoogte verkregen. Voor het Wierdense Veld is gebleken dat de onzekerheid in de berekende stijghoogte circa 1 à 2 decimeter bedraagt.

De onzekerheidspatronen worden gevisualiseerd binnen de GIS-omgeving.

4 HET ONDERZOEKSPROCES

4.1 Rol van het model en GIS

Het onderzoek Wierden/Hoge Hexel wordt begeleid door vertegenwoordigers van de belanghebbende partijen: de Provincie Overijssel, de WMO, het Waterschap Regge en Dinkel, de Technische Commissie Grondwaterbeheer (TCGB), de Landinrichtingsdienst en het Overijssels Landschap. Na gereedkoming van het grondwatermodel begint het onderzoek voor de betrokkenen eigenlijk pas interessant te worden. Met het model kunnen in eerste instantie bepaalde verwachtingen en ideeën, die in de groep met betrekking tot effecten van ingrepen in het geohydrologisch systeem leven, getoetst worden. Door de combinatie met het GIS is het vrij gemakkelijk wijzigingen in bijvoorbeeld het oppervlaktewaterstelsel of configuraties van winmiddelen aan te brengen. Het GIS als visualisatiemiddel komt uiteraard in deze fase van het onderzoek uitstekend tot zijn recht. Het werken met kleurenplots maakt het mogelijk het formaat van de figuren te beperken tot A4. De verschillende geproduceerde figuren zijn samengebundeld in een soort 'atlas', waarmee snel een overzicht van de verschillende kenmerken van het geohydrologisch systeem en de effecten van ingrepen daarop verkregen kan worden.

4.2 Systeemverkenning

Tijdens het onderzoek is onderscheid gemaakt tussen een verkenningsfase en een uitwerkingsfase. De verkenningsfase is uitgevoerd met de (minder bewerkelijke) stationaire variant van het grondwatermodel, waarmee circa 25 inrichtingsvarianten zijn doorgerekend. Van elke variant zijn telkens de volgende figuren gemaakt: 1) het effect van het totaal aan ingrepen op de grondwaterstand; 2) het effect van de ingreep op de wegzijging/kwel; 3) het verlagingspatroon van de winningen in de nieuwe situatie en soms ook 4) het wegzijgings/kwel patroon. Een vertaling van hydrologische effecten naar effecten voor de landbouw en dergelijke heeft in dit stadium niet plaatsgevonden.

Enkele conclusies van de stationaire verkenning waren: 1) aanpassingen in enkele individuele waterlopen leveren geen significante effecten; 2) het effect van gecombineerde ingrepen is meer dan de som van de effecten van de afzonderlijke ingrepen; 3) spreiding van de winningen tussen Wierden en Hoge Hexel geeft geen verbetering ten aanzien van de grondwatersituatie in het Wierdense Veld; 4) een winning op een geheel nieuwe locatie (nabij Vriezenveen) biedt perspectieven.

4.3 Uitwerkingsvarianten

Op basis van de kennis en inzichten die uit de stationaire verkenning zijn verkregen, is door de begeleidingsgroep een viertal uitwerkingsvarianten opgesteld. Deze uitwerkingsvarianten zijn met de niet-stationaire versie van het grondwatermodel doorgerekend, met tijdstappen van 14 dagen. Voor de presentatie van de toestand van

het geohydrologisch systeem zijn twee tijdsmomenten uitgekozen, namelijk het einde van het natte seizoen en het einde van het droge seizoen. Voor elk van deze tijdsmomenten zijn de volgende figuren gegenereerd: 1) het effect van het totaal aan ingrepen op de grondwaterstand; 2) het verlagingsspatroon van de winningen in de nieuwe situatie; 3) de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater; 4) het wegzijgings/kwelpatroon; 5) het intrekgebied van de winningen, met a) verblijftijden binnen het watervoerend pakket en b) verblijftijden vanaf het maaiveld. In het verlengde van het laatstgenoemde punt wordt een tabel gegenereerd, waarin het onttrokken grondwater is gespecificeerd naar herkomst (bodemgebruik of bodemtype) en verblijftijd van het grondwater. Hieruit kan een risico-inschatting afgeleid worden voor de te verwachten ontwikkeling van de kwaliteit van het onttrokken grondwater.

Op basis van de grondwaterstandsveranderingen aan het einde van het natte en aan het einde van het droge seizoen is de verandering in gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) bepaald ten behoeve van de opbrengst/depressie berekeningen voor de landbouw. De GHG en de GLG voor de Ausgangssituatie zijn hierbij afgeleid uit de grondwatertrappen van de (digitale) bodemkaart (Stiboka). De opbrengst/depressie voor de landbouw is zowel bepaald voor het totaal aan ingrepen als ten gevolge van alleen de winningen in de nieuwe situatie. De resultaten zijn met behulp van ARC/INFO zichtbaar gemaakt door middel van kleurenplots (A4) en verder gepresenteerd in tabelvorm (standaard BODEP-uitvoer). De niet-stationaire berekening levert tevens de duurlijnen die benodigd zijn voor de ecologische effectbepaling (Jansen, 1993). Voor het Wierdense Veld worden hiervan de potenties voor vegetatie ontwikkeling afgeleid.

4.4 Afweging en besluitvorming

De opzet is verder de effecten door te vertalen naar een standaard-eenheid: de gulden. De economische toestand van een uitwerkingsvariant wordt in belangrijke mate bepaald door de kosten van: 1) sluiting/verplaatsing/stichting van winningen (WMO); 2) (her)inrichting van het waterlopenstelsel (Waterschap); 3) opbrengst/depressies voor de landbouw (agrarische sector). Deze kosten worden berekend door de afzonderlijke partijen en later bijeengevoegd. Het GIS speelt hierbij (nog) geen rol.

Een probleem is dat de ecologische effecten zich niet direct laten vertalen naar een financieel gewin of verlies. De afweging voor de besluitvorming kan derhalve niet alleen op basis van een simpele minimalisering van de kosten plaatsvinden. Een politiek element blijft wat de maatschappij uiteindelijk over heeft voor ecologische waarden. Aangezien deze fase van het onderzoek nog loopt, kan de eindconclusie met betrekking tot de hydrologische (her)inrichting van het gebied nog niet gepresenteerd worden.

5

CONCLUSIES EN TOEKOMSTPERSPECTIEF

Met de introductie van GIS in de (grond)watermodelleringswereld is een belangrijke stap voorwaarts geboekt. Zowel wat de betreft de generatie van modelinvoer als de visualisatie van in- en uitvoergegevens. Ondanks de grote voordelen van een GIS kan het op sommige punten echter toch efficiënter zijn bepaalde bewerkingen buiten het GIS om uit te voeren. Dit geldt met name daar waar procedures veel herhalingen vergen, zoals bijvoorbeeld bij het gebruik van de Monte Carlo techniek. Nadeel van een GIS zijn de veelal hoge licentiekosten, die vaak ook nog gekoppeld zijn aan het aantal gebruikers. Dit kan een breed gebruik van GIS belemmeren.

De verzameling van adequate basisgegevens vergt relatief nog steeds veel inspanning en is derhalve kostbaar. Het beschikbaar komen van gecompileerde, digitale informatie is derhalve een noodzaak. Bij IGG-TNO wordt momenteel in opdracht van Rijk en Provincies gewerkt aan de bouw van REGIS (REgionaal Geohydrologisch Informatiesysteem) (van Bracht, 1992). Binnen enkele jaren zal binnen REGIS alle onder paragraaf 3.1 genoemde informatie landelijk beschikbaar zijn.

De koppeling tussen grondwatermodellen en GIS is nog maar het begin. De ontwikkeling zal gaan naar een toenemende integratie van databases, verwerkings- en presentatieprogramma's en verschillende modellen, ingebed in een GIS-omgeving. Bij IGG-TNO wordt in dit kader gewerkt aan EGIS (Deckers, 1993), de toekomstige opvolger van REGIS, waarin een dergelijke integratie in belangrijke mate gerealiseerd zal worden.

Nog een stap verder vormt de koppeling van fysische modellen aan afwegingsmodellen ten behoeve van beleidsvoorbereiding en besluitvorming, hoewel hierbij de filosofische vraag gesteld kan worden of deze ontwikkeling wel zo wenselijk is.

Met een GIS is de generatie van een massa aan plots kinderspel. Het gevaar bestaat hierbij het doel van de datavisualisatie, het verschaffen van inzicht en overzicht omtrent de toestand van het geohydrologisch systeem en aanverwante zaken, voorbij te schieten. Wellicht dat in de toekomst een drempel wordt overwonnen waarbij de verwerking van informatie en de productie van plaatjes dermate snel gaat dat van real time animaties kan worden gesproken. Want, zou het mooi zijn indien je met de muis een waterloopje op het scherm aanklikt, een wijziging in het peil doorvoert en het effect direct in ruimte en tijd op het scherm kunt waarnemen?

LITERATUUR

- ARC/INFO; 1992. Programmapakket voor opslag en verwerking van ruimtelijke gegevens; Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc., Redlands, CA USA.
- BODEP; 1992. Berekening Opbrengst DEPressies; een programma pakket voor berekening van de invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige produktie; Landinrichtingsdienst Utrecht; Beheerder van het pakket: ing. J.M.M. Bouwmans.
- BRACHT, M.J. VAN; 1992. REGIS: Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem; IGG-TNO rapport, no. PN 92-001.
- DECKERS, F; 1993. EGIS, a geohydrological information system; In: proceedings hydroGIS-congres: application of geographic information systems in hydrology and waterresources, april 1993, Wenen.
- HOOGENDOORN, J.H. en J.A BOSWINKEL; 1990. GIS as a tool in dataprocessing in Geohydrology; In: proceedings EGIS-congres, 10-13 april 1990, Amsterdam.
- HOOGENDOORN, J.H.; 1993 (in bewerking). Optimalisatie waterbeheer Wierden - Wierdense Veld; IGG-TNO rapport.
- JANSEN, A.J.M.; 1993 (concept). Een bepaling van de effecten van vier waterhuishoudkundige scenario's op de vegetatie van het Wierdense Veld (Ov); KIWA rapport, no. SWE 92.009.
- MCDONALD, MICHAEL G. and ARLEN W. HARBAUGH; 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model (MODFLOW). Open-File Report 83-875; U.S. Geological Survey.
- OLSTHOORN, T.N.; 1989. Grondwaterstandsverlagingen ten gevolge van de Duitse bruinkoolwinning in de Roerdalslenk. Kwantitatieve analyse van de verschillen tussen de Duitse en de Nederlands modelstudie. Technical Report 728610001, RIVM.
- STROET, C.B.M TE; 1992. Quantification of uncertainties in groundwater flow models; tussenrapport IGG-TNO, februari 1992.
- STROET, C.B.M TE; 1993. Kwantificering van onnauwkeurigheid in grondwaterstromingsmodellering; In: Rapporten en Nota's CHO-TNO, no 30: Proceskennis en statistiek in bodem en water.

OECOHYDROLOGISCH ONDERZOEK LUCHTERDUINEN

P.T.W.J. Kamps, T.N. Olsthoorn en W.J. Drogen

SAMENVATTING

Gemeentewaterleidingen voert sinds 1989 een uitgebreid onderzoek uit naar de optimalisatie van de belangen van waterwinning en natuurbeheer in het duingebied ten zuiden van Zandvoort. Voorzien werd dat tijdens deze studie een intensieve uitwisseling van een grote hoeveelheid ruimtelijke informatie tussen de disciplines hydrologie en oecologie noodzakelijk zou zijn. Dit leidde tot de aanschaf van een GIS (GENAMAP) op een SUN workstation. Het genereren van de invoer voor het grondwatermodel (MODFLOW) werd binnen het GIS uitgevoerd. De resultaten van het grondwatermodel werden eveneens gevisualiseerd en geanalyseerd met het GIS. Het verschil tussen de berekende stijghoogten en het digitaal terrein model van het duingebied is de waterstand beneden maaiveld die geschikt is voor gebruik in oecologische modellen. Inmiddels heeft het GIS zich bewezen zowel vanuit het oogpunt van modellering als dat van gemeenschappelijk gebruik van middelen en gegevens door verschillende vakdisciplines.

1 INLEIDING

Gemeentewaterleidingen gebruikt een 35 km² groot duingebied langs de Noordzee (Fig.1) voor grondwaterwinning (vanaf 1853) en kunstmatige infiltratie (vanaf 1957). Naast de grondwaterwinning heeft het gebied tevens de functie natuurgebied.

De totale drinkwaterproductie afkomstig van het duingebied is ongeveer 67 miljoen m³/jaar waarvan 10 miljoen m³ natuurlijk grondwater en 57 miljoen m³ afkomstig van gezuiverd Rijnwater dat een duinbodempassage heeft ondergaan.

Verlaging van de natuurlijke grondwaterstand in de luchterduinen van maximaal enige meters heeft geresulteerd in het verdwijnen van natte duinvalleien en achteruitgang van de natuurwaarde. Toch heeft het duingebied tegenwoordig nog een zeer hoge

natuurwaarde.

Sinds een aantal jaren wordt vanuit de nationale en provinciale politiek aangedrongen op hydrologische regeneratie van het duingebied, om zo de hoog gewaardeerde oorspronkelijke natte duinvalleien terug te krijgen. Daarom moeten drinkwaterproductie en natuurontwikkeling in het gebied worden geoptimaliseerd. Om inzicht te verkrijgen in de mogelijke consequenties voor de drinkwaterproductie en de natuurontwikkeling is een drie-jarig oeco-hydrologisch onderzoeksproject opgestart in 1989.

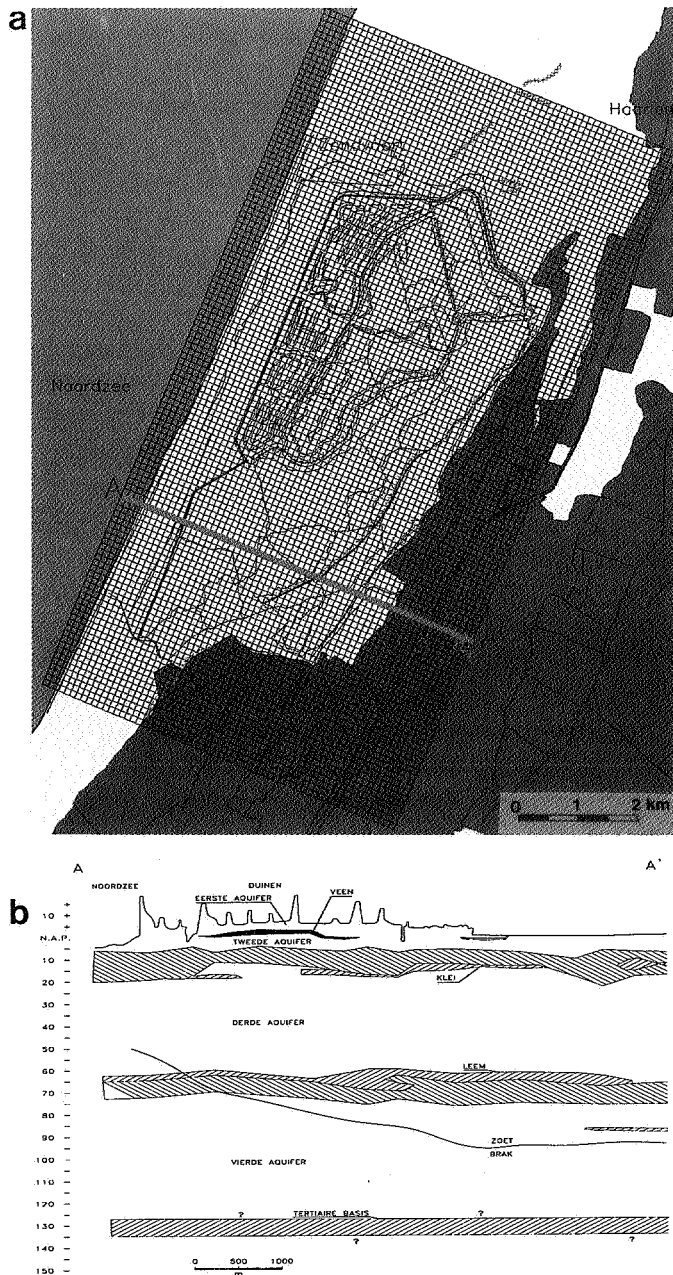
Het doel van het onderzoek is om inzicht te verschaffen in de samenhang tussen natuur en waterwinning om beide te optimaliseren. Hiertoe zijn een aantal hydrologische scenario's voor het gebied ontwikkeld om daarvan de ecologische consequenties te voorspellen. Hiervoor is een gedetailleerd hydrologisch model noodzakelijk als mede een aantal oecologische modellen. Omdat in het onderzoek veel ruimtelijke gegevens verwerkt en uitgewisseld moeten worden is besloten om het project op GIS-basis uit te voeren. De oecologische modellen werken met waterstanden beneden maaiveld. Door met het GIS een digitaal terrein model op te bouwen kan aan die voorwaarde worden voldaan.

2 DE MODELLERING VAN HET GRONDWATERMODEL

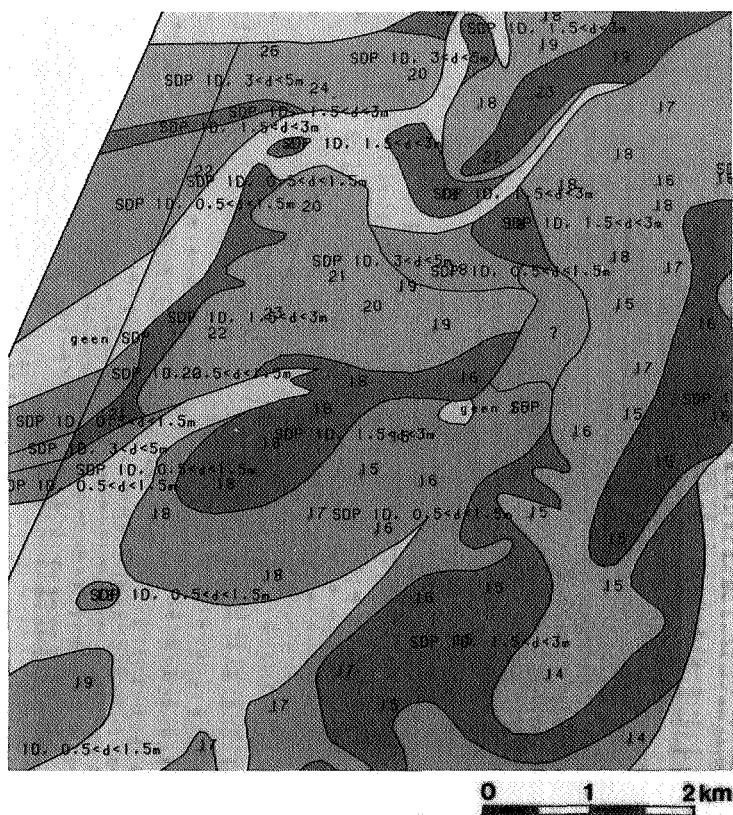
In het oeco-hydrologisch onderzoek ligt de nadruk op de oecologische voorspellingen. Om zinvolle oecologische gevolgtrekkingen te kunnen maken is een gedetailleerde modellering van het freatische grondwater van essentieel belang. De invoer van het model zou zo direct mogelijk worden gegenereerd vanuit GIS kaarten.

2.1 Geologische informatie

Het geologische dwarsprofiel in Fig.1 toont de geologische lagen in gedigitaliseerde vorm, bestaande uit 3 slecht doorlatende lagen die de ondergrond in vier watervoerende lagen verdelen. De bovenste watervoerende laag is freatisch, de tweede laag bevat gedeeltelijk afgesloten grondwater en freatisch water waar het veen ontbreekt. De tweede slecht doorlatende laag bestaat voornamelijk uit kleiige afzettingen en de derde slecht doorlatende laag uit leem. De basis van het vierde watervoerende pakket is tevens de basis van het geohydrologische systeem. Deze bestaat uit kleiige afzettingen van tertiaire herkomst. Beschikbare geologische kaarten (Stuyfzand, 1988; anoniem, 1989), van de slecht doorlatende lagen zijn gebruikt als basis informatie. Deze kaarten bevatten contouren van dikte-klassen en verwijzen ook naar hun geologische oorsprong (Fig. 2). De bodem van de laag wordt op de kaarten weergegeven middels hoogtepunten.



Figuur 1 (a) Het modelnetwerk (cellen van 100x100 m) voor het duingebied van Gemeentewaterleidingen;
 (b) een geschematiseerd W-O dwarsprofiel door de lijn AA' waarin zichtbaar zijn het zoet-zout-grensvlak en de drie slecht doorlatende lagen die de vier watervoerende lagen scheiden



Figuur 2 De originele kaart van de tweede slecht doorlatende laag (klei) waarop de oorspronkelijke dikte-klassen en de punt informatie van de bodemligging

In het modelgebied ligt de hydrologische basis op 150 m-NAP. Er is te weinig informatie om hierin meer detail aan te brengen. De actuele hydrologische basis in het model is het zoet-zout- grensvlak (zie dwarsprofiel in Fig.1). Een kaart van dit grensvlak is beschikbaar.

Figuur 3a toont een deel van de gedigitaliseerde veenkaart. Het veen is gevormd in de voormalige strandvlakten tussen de strandwallen. Het is vervolgens door enige meters duinzand overstoven en samengedrukt. Dit resulteert in een dunne gemiddelde 0.5 m dikke laag met een uiterst geringe doorlatendheid die van groot hydrologisch belang is voor de freatische waterstand. De hoger gelegen strandwallen waren grotendeels vrij van veen, waardoor langgerekte gaten in het veen zijn ontstaan. Deze gaten verbinden de eerste- met de tweede watervoerende laag en zijn belangrijk voor de plaatselijke freatische waterstand. Hierdoor zijn de lokatie en de verbreiding van de gaten van essentieel belang voor het model.

De geologische kaarten zijn gedigitaliseerd en als vectorkaarten in het GIS opgeslagen.

2.2 De hydrologische infrastructuur

In het duingebied wordt voorgezuiverd Rijnwater via toevoerbeken naar de infiltratiepanden gebracht. Daar infiltreert het water en ondergaat een duinbodempassage voordat het door drains en kanalen wordt teruggewonnen. In het zuidelijk deel, de luchterduinen, vindt geen infiltratie plaats maar wordt via twee kanalen duinwater gewonnen. In het gehele gebied bevinden zich langs de kanalen in totaal ca. 240 putten (filter NAP -30 m tot -40 m) om water uit het diepe pakket te kunnen winnen. De toevoerbeken, van waaruit water in de bodem infiltreert, is samen met de infiltratiepanden gedigitaliseerd. De infiltratiepanden en kanalen zijn opgeslagen als vlakelementen, de drains als lijnelementen en de diepewinningen als puntelementen. Elke hydrologische eenheid heeft zijn unieke entiteit waarmee het herkenbaar is in de hydrologische infrastructuur.

2.3 De keuze van het modelnetwerk

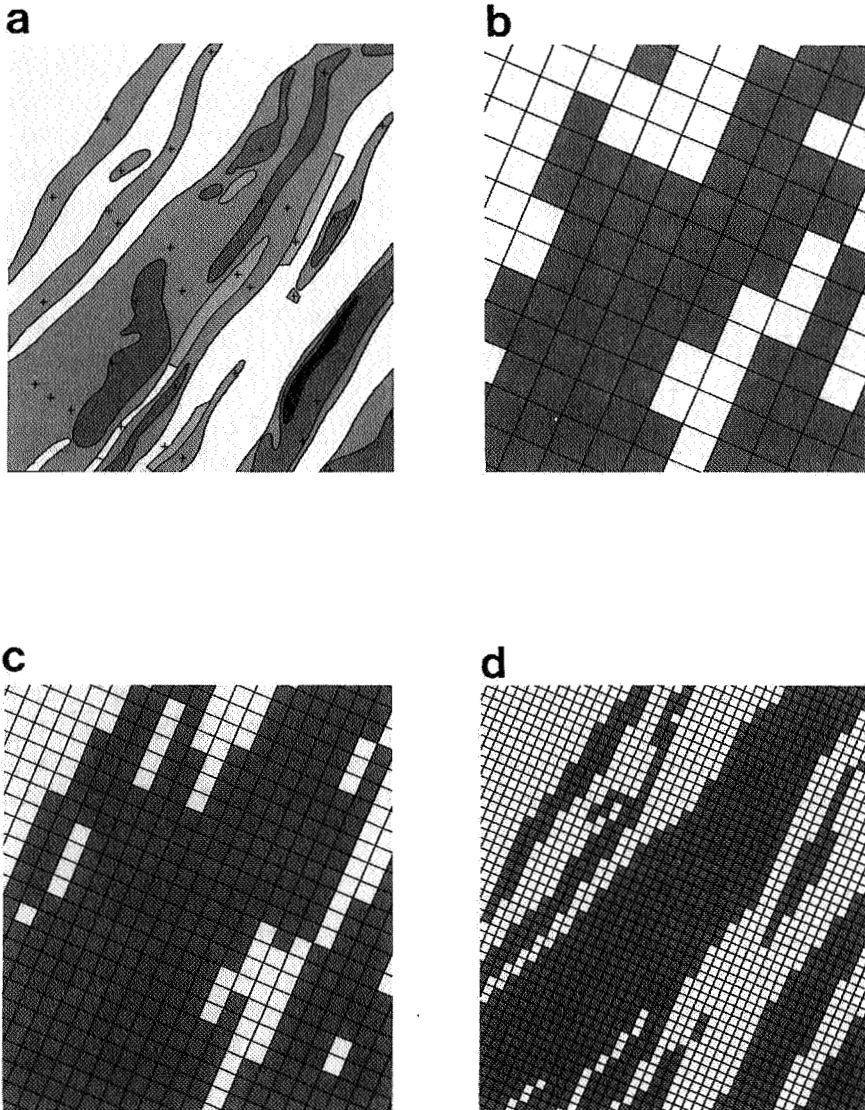
Eindige differentie- of elementenmodellen hebben een netwerk nodig bestaande uit knooppunten en elementen of cellen. Dit netwerk kan in het GIS door middel van een overlayprocedure worden gecombineerd met andere kaarten om waarden per knooppunt en/of element of cel te krijgen.

Alhoewel het toegepaste model (MODFLOW) alleen gebruik maakt van rechthoekige cellen, is een procedure geschreven voor omzetting van GIS naar een netwerk onafhankelijk van het soort netwerk. Zo kunnen in de toekomst ook andere modellen worden gebruikt. Het modelnetwerk is opgebouwd als een vectorkaart waarvan de vlakelementen overeenkomen met de celelementen uit het modelnetwerk gepresenteerd als polygonen.

In onze studie is gekozen voor vierkante cellen. Omdat de gesimuleerde freatische grondwaterstand erg gevoelig is voor de gerepresenteerde veenlaag in het model, is de veenkaart gebruikt om de resolutie van de modelcel te kiezen. Als gevolg van de hoge hydraulische weerstand van zelfs een dunne veenlaag, is een accurate representatie van de begrenzing van de veenlaag met zijn gaten van groter belang dan zijn variatie in dikte.

Er is geen manier voor het krijgen van een goede gemiddelde hydraulische weerstand voor een modelcel die slechts gedeeltelijk bedekt is met veen. De keuze voor een modelcel bestaat uit wel of geen veen. Het modelnetwerk moet fijnmazig genoeg zijn om de begrenzing van het veen goed te representeren. De thematische veenkaart is gecombineerd met drie netwerken met verschillende celgrootte (zie Fig. 3b, Fig. 3c, en

Fig. 3d). Een cel krijgt hierbij de eigenschap "veen" indien meer dan 50% van zijn oppervlak door veen is bedekt. Alleen het netwerk met de kleinste celgrootte (100x100 m) blijkt de veenlaag correct genoeg te representeren. Deze grootte is daarom gekozen voor het model.



Figuur 3 (a) deel van de gedigitaliseerde veenlaag;
(b) overlay van Fig. 3a met een 400x400 m grid;
(c) overlay van Fig. 3a met een 200x200 m grid;
(d) overlay van Fig. 3a met een 100x100m grid, gebruikt door het model
(zie Fig.1 voor het grid)

2.4 Genereren van modelinvoer

Geologie

Kaarten van doorlatendheden van watervoerende lagen en weerstanden van slecht doorlatende lagen kunnen niet direct worden afgeleid op basis van de geologie. Een logische benadering is om lithologische kaarten te combineren met de laagdikte. Pompproeven kunnen als richtlijn worden gebruikt om plausibele waarden te hanteren voor de doorlatendheid van de betrokken type materialen, waarna later de waarden kunnen worden aangepast door calibratie. Door afwezigheid van onafhankelijke gegevens van ruimtelijke variatie van slecht doorlatende lagen en watervoerende lagen, hebben Olsthoorn en Kusse (1986) in hun zelf geprogrammeerde GIS-achtige omgeving één doorlatendheid per onderscheiden geologische formatie toegepast. We hebben hun benadering vereenvoudigd door vermenigvuldiging van de door model-calibratie bepaalde specifieke doorlatendheid van het watervoerend pakket met zijn ruimtelijk variabele dikte.

Voor een goede simulatie heeft het grondwatermodel informatie nodig per gridcel van: c-veenlaag, top veenlaag, bodem veenlaag, top kleilaag, c-kleilaag, c-leemlaag en de kd-waarde van de gespannen watervoerende pakketten. Om een volledig gebiedsdekkende onderkant van de laag te verkrijgen, is de puntinformatie van de bodem van de laag geïnterpoleerd met behulp van kriging op een 100 m raster gebruik makende van het Geo-Ease geo-statistisch programma. Van de dikte-klassen van de oorspronkelijke kaart (zoals "3m < d < 10m") is een gemiddelde dikte geschat voor de actuele dikte. Aan de hand van de "gemiddelde" dikte en de geïnterpoleerde bodem van de slecht doorlatende laag is de top van de laag bepaald.

De dikte van de watervoerende lagen zijn verkregen uit het verschil tussen de bodem van de bovenliggende slecht doorlatende laag en de top van de onderliggende slecht doorlatende laag. Voor de bodem van de vierde watervoerende laag is bij modelberekeningen gebruik gemaakt van het zoet-zout-grensvlak.

De slecht doorlatende lagen zijn verdeeld in dikte-klassen (Fig. 2 en 3a). De door model-calibratie bepaalde specifieke doorlatendheid van de slecht doorlatende laag is vermenigvuldigd met de gemiddelde dikte-klasse om een kaart te krijgen van de laagweerstand.

De doorlatendheid en weerstand voor het model worden verkregen door eerst de laagdikten vanuit het GIS naar een ASCII-bestand te exporteren. Daarna is een FORTRAN-programma gebruikt om de dikten (verschillend per cel) te combineren met de specifieke doorlatendheden en direct een stuk van de invoer van MODFLOW aan te maken. Deze procedure is buiten het GIS gehouden om een automatische Monte-Carlo calibratie te kunnen uitvoeren met het model.

Hydrologische infrastructuur

De thematische kaarten van de hydrologische infrastructuur (drains, infiltratiepanden en kanalen) zijn in een overlay- procedure gecombineerd met het modelnetwerk. Op deze manier zijn oppervlakten van infiltratiegeulen en kanalen per cel verkregen, en voor de drains de drainlengte per cel en weggeschreven in een ASCII bestand. Het ASCII bestand wordt ingelezen door een FORTRAN programma samen met zijn attributenbestand en omgezet in een stuk uitvoer voor MODFLOW. In het attributenbestand zijn basisgegevens van elke hydrologische eenheid opgeslagen. Basisgegevens zijn o.a. peil, diepteligging van de kanaalbodem en bodemweerstand.

Sommige kanalen hebben een peil beneden de ligging van de veenlaag. Daarom zijn de kanalen in het 2e pakket geplaatst. Daar waar de kanalen het veen doorsnijden zijn ook kanalen in het eerste pakket gezet. Het kanaalpeil daarvan is gelijk gesteld aan de bodem van de veenlaag bij het kanaal.

Diepe winningen zijn puntelementen. Door eenvoudig de diepe winning toe te kennen aan de cel waarbinnen hij ligt kan een lokatieverschuiving ontstaan wanneer een put in de buurt van de celrand ligt. Daarom is een buffer met een straal van 25% van de cellengte rond iedere diepe winning gelegd voordat een overlay is gemaakt. Het oppervlak van de buffer rond de diepe winning is gebruikt om de onttrekking aan modelcellen toe te wijzen.

De natuurlijke grondwateraanvulling is bepaald met behulp van de vegetatiestructuurkaart van het duingebied en de wekelijks gemeten afvoer van vier lysimeters (25x25 m). De Lysimeters zijn gelegen in het duingebied bij Castricum en resp. bedekt met kaal zand, duinstruweel, eikenbos en naaldbos. Als volgt is de natuurlijke grondwateraanvulling bepaald:

- a Er wordt een overlay gemaakt van de vegetatiestructuurkaart van het duingebied met het modelnetwerk, resulterende in een oppervlak [m^2] van elk van de 15 vegetatietypen uitgedrukt in een matrix $CV[i,j]$ (CelVegetatie) waar $i=1..N$ de index is van de modelcellen en $j=1..15$ de index is van de vegetatietypen.
- b De vier lysimeters zijn verbonden met de actuele vegetatietypen in het duingebied via de matrix $VL[i,j]$ (Vegetatie-Lysimeter) waar $i=1..15$ de index is van de vegetatietypen en $j=1..4$ de index is van de lysimeters. De waarden zijn dimensieloze fracties die opgeteld op 1 uitkomen.
- c De wekelijks gemeten lysimeterafvoer zijn verzameld in de matrix $LW(i,j)$ [m^3] (Lysimeter-Week) waar $i=1..4$ de index is van de lysimeter en $j=1..N$ de index is van de week waarop de afvoer is bepaald.
- d Uiteindelijk is de natuurlijke grondwateraanvulling per modelcel verkregen (in matrix vorm $CW[i,j]$ [m^3] (Cel-Week), waar $i=1..N$ de index is van de modelcel en $j=1..m$ de weeknummer) door de drie matrices te vermenigvuldigen, $CW=CV*VL*LW$.

2.5 Randvoorwaarden

In het eerste watervoerende pakket (freatisch grondwater) zijn aan de randen van het modelgebied cellen met vaste stijghoogten geplaatst. Aan de westrand is het gemiddelde peil van de Noordzee 0.40 m+NAP (Stuyfzand 1987) opgegeven en aan de zuid- en oostrand zijn polderpeilen opgegeven. Hiervoor is de waterstaatskaart gedigitaliseerd. Een modelcel die door meerdere polders is bedekt krijgt een na oppervlak gewogen gemiddelde polderpeil. Een cel krijgt het predikaat vaste stijghoogte indien meer dan 50% van het oppervlak bedekt is door gebieden met een vast peil. Aan de west- en oostrand van de diepere watervoerende pakketten zijn randvoorwaarden opgegeven ter compensatie van de beperkte omvang van het model.

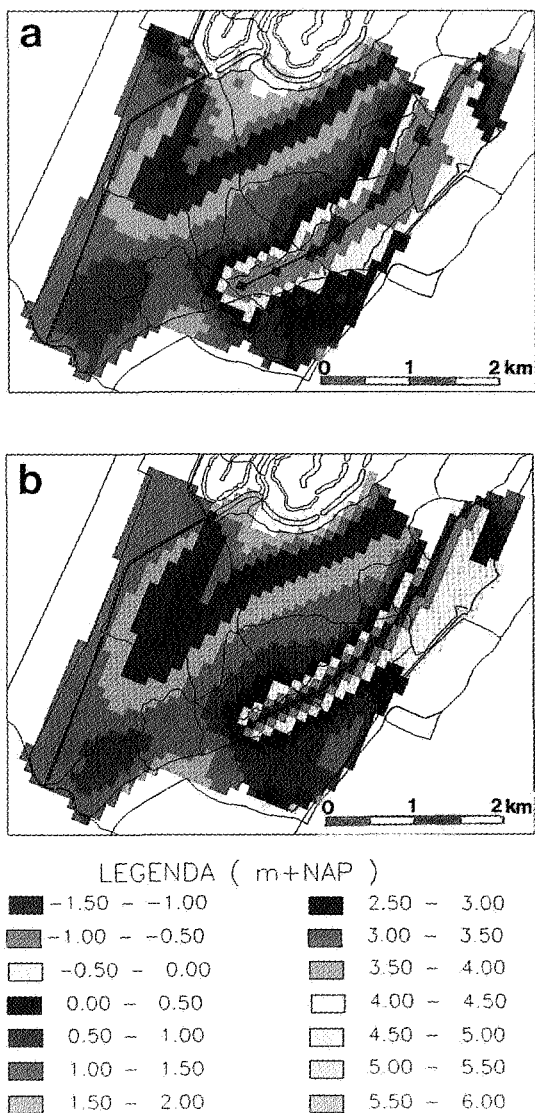
De hierboven besproken aanpak is geaccepteerd als de meest praktische. Verfijningen zullen worden uitgevoerd wanneer nieuwe kaarten beschikbaar komen. Het GIS en de geautomatiseerde procedure om model-input te genereren vanuit GIS-bestanden garanderen een eenvoudige "update" van de modelinvoer wanneer nieuwe gegevens beschikbaar zijn.

3 MODEL CALIBRATIE

Optimalisatie van de doorlatendheid van de watervoerende- en de slecht doorlatende lagen is uitgevoerd met de Monte-Carlo methode. Latin hypercube Sampling methode (Peck et al., 1988) is gebruikt om parametercombinaties te genereren voor invoer van het model. Een FORTRAN programma leest de ASCII-format GIS gegevens en combineert deze met de parameterset en genereert een modelinvoerbestand voor elke run. Het gemiddelde van de vijf beste parametersets is bij verdere berekeningen gebruikt.

4 GEBRUIK VAN HET MODEL EN RESULTATEN

Het model is gebruikt om 12 scenario's voor het zuidelijk deel van het duingebied door te rekenen. Om de resultaten te kunnen analyseren met behulp van het GIS, is de MODFLOW uitvoer van het model getransformeerd door een FORTRAN programma in een ASCII tabel met 27 kolommen, één rij voor elke model-cel die de gehele model output bevat. Deze tabel wordt in het GIS gelezen en gekoppeld aan het modelnetwerk voor presentatie in de vorm van kaarten en voor analyses. De kaarten worden in de vorm van de modelcellen ingekleurd volgens een bepaalde klasse indeling (Fig. 4). De ingekleurde kaarten kunnen worden gecombineerd met topografische kaarten voor een eenvoudige inspectie. Door de inkleuring worden fouten snel opgespoord. Door de modelinvoer aan het modelnetwerk te koppelen kunnen de vele gegevens van de modelinvoer visueel gecontroleerd worden.

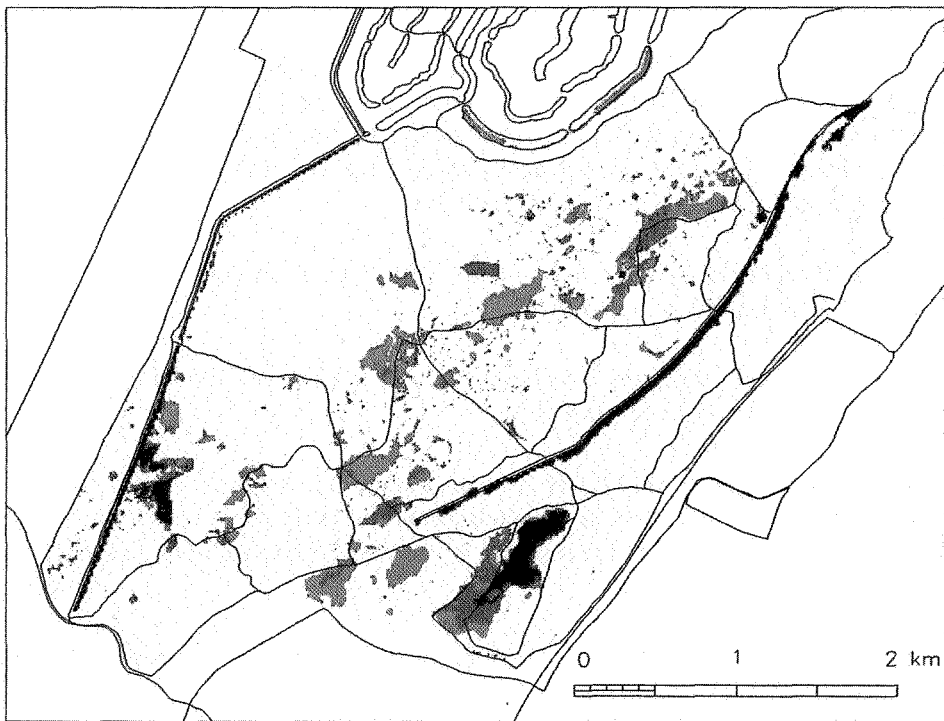


Figuur 4 (a) gekrigde en
(b) gemodelleerde grondwaterstanden van het tweede watervoerende pakket in m+NAP

Op deze wijze kunnen niet alleen stijghoogten (Fig. 4) maar ook andere modelresultaten worden gepresenteerd. Door eenvoudige combinaties van kolommen uit de hiervoor genoemde resultatentabel kunnen analyses binnen het GIS worden verricht. De metingen kunnen op hetzelfde modelnetwerk worden geïnterpoleerd om ze daarna met de berekeningen te kunnen vergelijken. De modelresultaten kunnen samen met de gedigitaliseerde kaarten worden gepresenteerd.

5 GEBRUIK VAN DE RESULTATEN DOOR ANDERE VAKDISCIPLINES

De voorspelde grondwaterstanden zijn slechts een schakel van een keten van modellen die gebruikt zijn bij dit project. Voor de oecologische modellen zijn niet zo zeer de grondwaterstanden van belang als de waterstand beneden maaiveld. Voor dit doel is een digitaal terrein model (DTM) gemaakt op basis van bestaande hoogtelijnenkaarten samen met nieuwe hoogtemetingen. De ruimtelijke interpolatie is uitgevoerd met een TIN-module, waarmee een 10x10 m grid is gegenereerd. Een overeenkomstig 10x10 m grid van de freatische waterstanden werd verkregen door een bilineaire interpolatie van het 100x100 m grid van MODFLOW. De waterstand beneden maaiveld is verdeeld in de klassen "droog", "vochtig", "nat" en "open water" waarop de inkleuring van kaarten is gebaseerd (Fig. 5).



LEGENDA vochtclassen

	droog		nat
	vochtig		open water

Figuur 5 Grondwaterstanden beneden maaiveld, uitgedrukt in vier vochtigheidsklassen (scenario waarbij geen grondwater wordt gewonnen uit de Luchterduinen)

De resulterende digitale kaarten zijn verder gebruikt door oecologen. Zij combineerden de waterstand beneden maaiveld- met de organische stof- en de zuurgraadskaart om met een logisch voorspelmodel een trofiekaart te maken. Door deze trofiekaart weer met de waterstand beneden maaiveld- en de zuurgraadskaart te combineren kunnen ecotooptypen worden voorspeld (Droesen & Geelen et al., 1993).

6 CONCLUSIES

Een groot voordeel van het gebruik van GIS is de gemakkelijke uitwisseling van ruimtelijke gegevens tussen verschillende onderzoeksafdelingen (grondwaterstanden voor oecologen, vegetatie gegevens voor hydrologen).

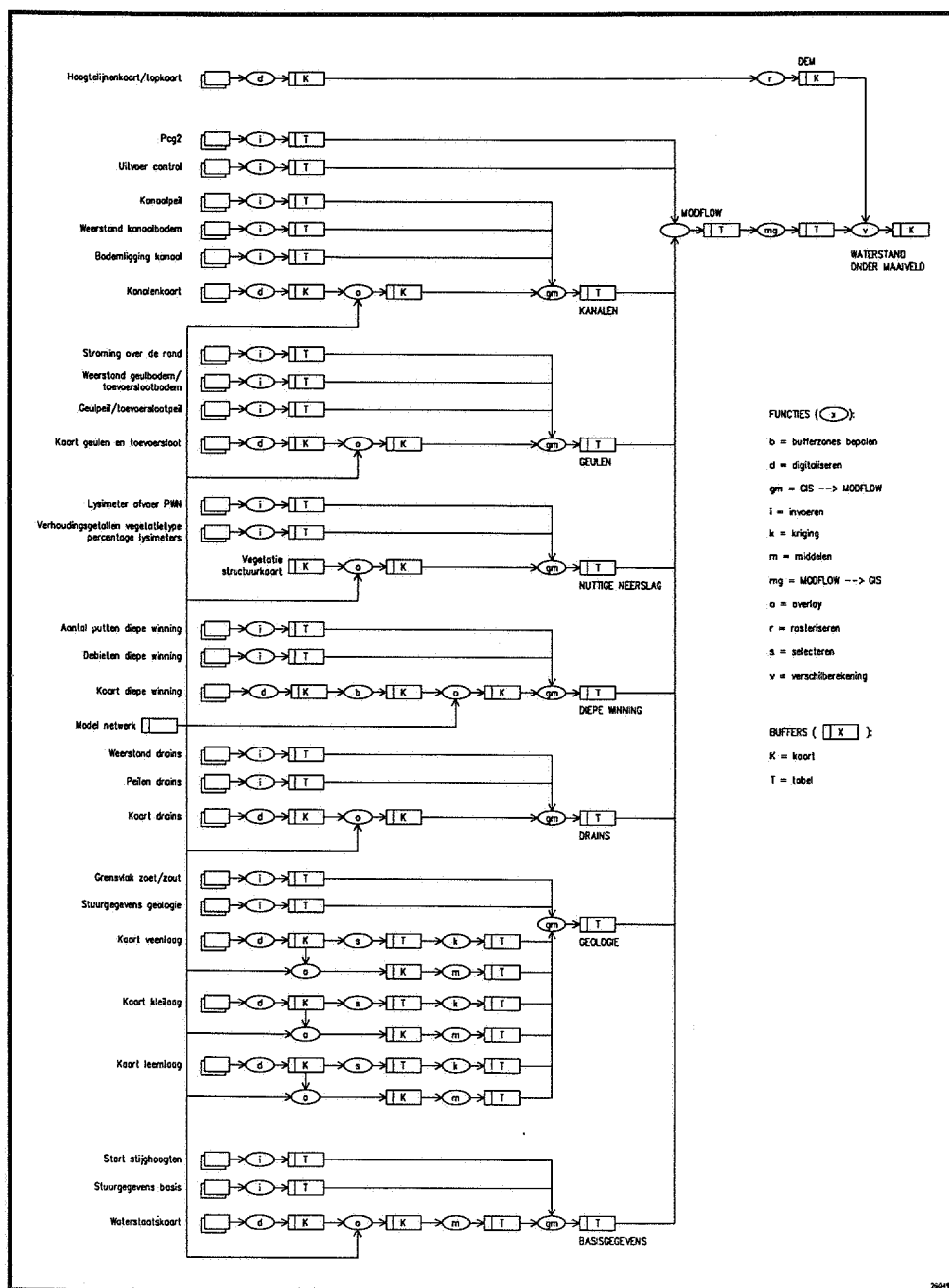
Geformaliseerd automatisch gebruik van ruimtelijke gegevens garandeert reproduceerbaarheid. Wanneer nieuwe informatie beschikbaar komt kan automatisch een "update" worden gemaakt van de modelinvoer. De reproduceerbaarheid geeft tevens de mogelijkheid om later eventueel over te schakelen op een ander modelnetwerk. Het gebruikte model is opgebouwd uit 31744 cellen met een invoer van 100000 getallen. Het GIS verzorgt het vullen van het model en de presentatie van de resultaten zodanig dat dergelijke grote modellen toch handzaam blijven.

Het gebruikte modelnetwerk is een vectorkaart. Dit geeft de mogelijkheid om ook een willekeurig ander netwerk te gebruiken.

Een GIS is een zeer uitgebreid softwarepakket. Het vereist veel tijd en ondersteuning voordat de omgang er mee vlot verloopt.

Met de aanschaf van een GIS is nog geen koppeling met een hydrologisch model tot stand gebracht. Allereerst moet de basisinformatie in digitale vorm beschikbaar worden gemaakt. Voor het maken van de koppeling is vooralsnog extra software buiten het GIS nodig (Fig. 6).

Het GIS verbetert de efficiëntie en de kwaliteit van het onderzoek en vergemakkelijkt het adequaat informeren van andere ten behoeve van het nemen van beslissingen.



Figuur 6 Dataflowdiagram van het oeco-hydrologisch onderzoek

LITERATUUR

- ANONIEM; 1989. Het voorkomen van veen- en humeuze lagen in en rondom het infiltratiegebied van Gemeentewaterleidingen Amsterdam. Rijksgeologische Dienst, 1989. Rapport BP 10815.
- DROESEN, W.J. & L.H.W.T. GEELEN; 1993. Application of Fuzzy Sets in Ecohydrological Expert Modelling. HydroGis, Vienna, 1993.
- HEIJ, G.J. & C.G.M. KESTER; 1977. De hydraulische weerstand van de Formatie van Sterksel / Kedichem in West-Utrecht. RID mededeling 77-7, Voorburg, Nederland, 1977.
- OLSTHOORN, T.N. & A.A.M. KUSSE; 1986. Aanpak en gegevensverwerking bij grondwatermodellering, toegepast bij onderzoek naar de invloed van de Duitse bruinkoolwinning H₂O, (19) nr.16 367-373.
- PECK A., S. GORELICK, G. DE MARSILY, S. FOSTER & V. KOVALEVSKY; 1988. Consequences of spatial variability in aquifer properties and data limitations for groundwater modelling practice. IAHS publ. No. 175.
- STUYFZAND, P.J.; 1987. Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Noordwijk en Zandvoort aan Zee. KIWA SWE, Nieuwegein, SWE 87.007, 172p.
- WIND, R.; 1958. The Lysimeters in the Netherlands. Committee on Hydrological Research TNO, The Hague.

CASE STUDY: SIMULATIE VAN HET REGIONAAL-HYDROLOGISCHE SYSTEEM IN DE STROOMGEBIEDEN VAN DE BEERZE, REUSEL EN ROSEP

F.J.E. van der Bolt

SAMENVATTING

Voor de ondersteuning van het beleid van de provincie Noord-Brabant ter bescherming van de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater is een methodiek ontwikkeld om met behulp van modellen de nutriëntenstromen regionaal te beschrijven. Bijzondere aandacht gaat daarbij uit naar de belasting met meststoffen vanuit de landbouw op de natuur in de beekdalen. De eerste stap bestaat uit het simuleren van de regionale waterhuishouding met het (grond)waterstromingsmodel SIMGRO om de waterstromen te kwantificeren. De horizontale ruimtelijke discretisatie is met behulp van geografisch gebonden invoergegevens tot stand gebracht. Daarbij is ervoor gezorgd dat de beekdalen herkenbaar zijn. De modelberekeningen zijn globaal getoetst. De resultaten lijken het regionaal-hydrologisch systeem adequaat te beschrijven. Het ruimtelijk onderscheidend vermogen voldoet aan de doelstelling van het onderzoek. De gevolgde werkwijze biedt mogelijkheden om regionale hydrologische studies relatief snel en efficiënt uit te voeren. Aanbevolen wordt de werkwijze verder te onderbouwen en de benodigde gegevens in gestandaardiseerde en gecontroleerde GIS-bestanden op te slaan.

1 INLEIDING

De beekdalen van de Beerze, Reusel en Rosep zijn vanwege hun bijzondere natuur- en landschapswaarden opgenomen in de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). De Provincie Noord-Brabant heeft een stappenplan opgesteld om de in dit relatief grote gebied te ontwikkelen. In dat kader voert DLO-Staring Centrum een studie uit waarin de stikstof- en fosforstromen van de landbouwgebieden naar de natuurgebieden worden gekwantificeerd. Aanvullend worden de effecten van een aantal door de provincie opgestelde scenario's op de waterkwaliteit onderzocht. De scenario's zijn zowel gericht op het beperken van de nutriëntentoevoer aan het maaiveld als op ingrepen in het waterhuishoudkundig systeem.

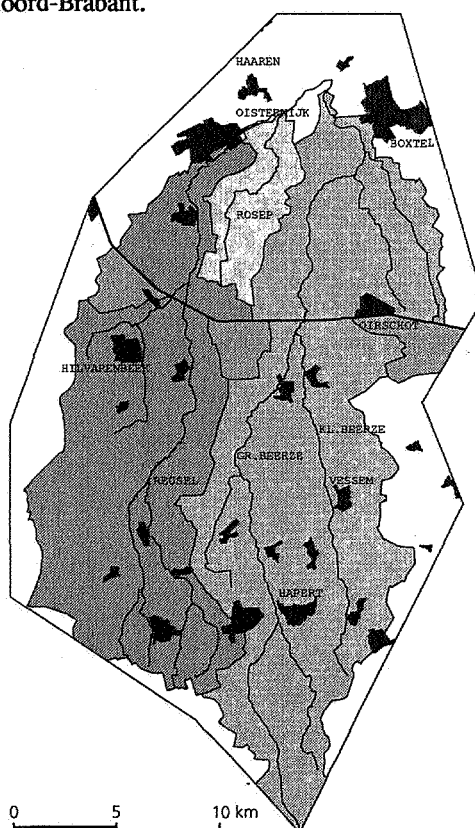
De studie is in drie onderdelen opgesplitst:

- 1 het simuleren van het regionaal-hydrologische systeem;
- 2 het simuleren van de nutriëntenstromen;
- 3 het doorrekenen van scenario's.

In deze case study wordt de regionale hydrologische modellering besproken. Het doel van dat onderdeel is het kwantificeren van de regionale waterhuishouding in de stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep om op basis daarvan de nutriëntenstromen te kunnen berekenen. De beekdalen en de EHS moeten gezien de vraagstelling in de schematisering herkenbaar zijn.

2 BESCHRIJVING STUDIEGEBIED

De stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep liggen in het zwak golvende dekzandgebied van Noord-Brabant.



Figuur 1 Het studiegebied met de hoofdwaterlopen en hun stroomgebieden, en daarbuiten de begrenzing van de modelstudie

Het noordelijk deel van het studiegebied ligt in de Centrale Slenk. Het zuidelijk deel van het studiegebied behoort tot het relatief hooggelegen Brabants Massief (de Kempen). Het gebied helt van het zuiden naar het noorden (rivierengebied) met een verval van bijna 1 m per km. De Kempen fungeren als intrekgebied voor het regionale systeem. Het gebied wordt door beken ontwaterd. De beekdalen zijn diep in het landschap ingesneden; de hellingen zijn overwegend glooiend. Het reliëf van de hoger gelegen delen is onregelmatig: reliëfrijke stuifzandgronden komen voor naast vrijwel vlakke gebieden.

Het grondwatersysteem bepaalt de begrenzing van de modelstudie (fig. 1). Deze is gebaseerd op resultaten uit de Centrale-Slenk studies (IWACO, 1987). De zuidelijke grens wordt gevormd door een waterscheiding, de oostelijke en westelijke grens volgen stroomlijnen in de bovenste watervoerende pakketten, en opgelegde potentialen vormen de noordelijke grens. Het totale studiegebied heeft een oppervlakte van 58000 ha en omvat de stroomgebieden van de Beerze, Reusel en Rosep (oppervlakte 44000 ha).

Het grondwatersysteem is geschematiseerd tot vier pakketten. Dit is bereikt door de diepe watervoerende pakketten, en eveneens de diepe weerstandbiedende lagen, samen te voegen. In totaal worden twee watervoerende pakketten (modelpakketten 2 en 4) en twee weerstandsbiedende lagen (toppakket en modelpakket 3) onderscheiden.

3 HET MODEL

De doelstelling vraagt om een niet-stationair, (quasi-)driedimensionaal model dat de regionale waterstroming op een geïntegreerde wijze beschrijft. In het model moeten de waterstromen in de volgende subsystemen worden beschreven:

- de verzadigde zone (het grondwatersysteem),
- de onverzadigde zone van de bodem,
- het oppervlaktewatersysteem,
- de interactie tussen het grond- en het oppervlaktewater.

Gekozen is voor SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989). SIMGRO beschrijft de hydrologische processen van de genoemde subsystemen in een gebied. SIMGRO kent twee discretisatieniveaus:

- knooppunten voor het grondwatersysteem,
- deelgebieden voor de onverzadigde zone.

3.1 De verzadigde zone

De stroming in de verzadigde zone wordt berekend met de eindige-elementenmethode. Daartoe wordt het gebied verdeeld in een aantal elementen waarvan de hoekpunten knooppunten van een netwerk vormen. De ondergrond is geschematiseerd in aquifers en

aquitards. In de aquifers wordt de stroming geacht horizontaal te zijn. In de aquitards wordt een verticale stroomrichting verondersteld. De randvoorwaarden langs de buitenrand van het studiegebied bestaan uit opgelegde potentialen en/of fluxen. Onttrekkingen kunnen per knooppunt worden gespecificeerd.

3.2 De onverzadigde zone

De waterbalans van de onverzadigde zone wordt per tijdstap per bodemgebruiksvorm voor een deelgebied berekend. Een deelgebied wordt gevormd door een aantal naast elkaar gelegen knooppunten van het elementen-netwerk. De bodemfysische eigenschappen en de hydrologische processen in een deelgebied worden verondersteld homogeen te zijn. De binnen een deelgebied onderscheiden bodemgebruiksvormen worden niet ruimtelijk gedefinieerd, maar worden gegeven als een percentage van het oppervlak van het totale deelgebied. De onverzadigde zone is onderverdeeld in twee reservoirs: de wortelzone en de onverzadigde ondergrond. De (verticale) stroming van water in de onverzadigde zone wordt pseudo-stationair berekend, dat wil zeggen als een opeenvolging van stationaire toestanden. De aan het bodemoppervlak/in de wortelzone optredende hydrologische processen en de diepte van de grondwaterspiegel vormen de randvoorwaarden voor dit systeem.

3.3 Het oppervlaktewatersysteem

Het oppervlaktewatersysteem van een deelgebied wordt weergegeven door een reservoir met een overstort aan het eind. Alle instroming, uitstroming en onttrekkingen gebeuren naar en vanuit dit reservoir. Voor deze studie is gebruik gemaakt van een aangepaste versie van SIMGRO waarbij zowel voor de zomer- als de winterperiode een stuwpeil is opgegeven. Bij waterafvoer wordt het water boven het stuwpeil opgestuwd volgens een afvoer-relatie. Wanneer infiltratie en/of beregening optreden kan bij onvoldoende wateraanvoer de waterspiegel tot onder het stuwpeil zakken.

3.4 De interactie tussen het grond- en het oppervlaktewater

De ontwatering van een deelgebied wordt beschreven met een drainagefunctie die de afvoer relateert aan de grondwaterstand en de hoogte van de open waterspiegel (Ernst, 1978). Kleinere waterlopen worden per deelgebied gekarakteriseerd door een drainageweerstand en een dichtheid (de totale lengte per oppervlakte-eenheid). De drainage/infiltratie van kanalen wordt beschreven met een berekende drainageweerstand en de lengte van de waterloop binnen het invloedsgebied van een knooppunt.

4 DE KOPPELING VAN GIS AAN HET MODEL

4.1 Werkwijze

De volgende invoergegevens zijn nodig om SIMGRO toe te passen:

- geohydrologische data (per knooppunt);
- het bodemgebruik (per deelgebied);
- de dikten van de wortelzones;
- bodemfysische data (per deelgebied en per knooppunt);
- drainageweerstand (per deelgebied);
- dimensies van de waterlopen;
- afvoerrelaties (per deelgebied);
- stuwpeilen (per deelgebied);
- maaiveldhoogtes (per knooppunt).

Om de datastroom beheersbaar (overzichtelijkheid, voorkomen van fouten en reproduceerbaarheid van de resultaten) te houden, is besloten zoveel mogelijk gegevens aan GIS-bestanden te ontlelen om geautomatiseerd invoergegevens voor het hydrologische model te kunnen genereren. Bijkomend voordeel is dat deze manier van werken ook voor andere vraagstellingen en/of modellen kan worden gebruikt. Een ander voordeel is dat wanneer de data en de programmatuur voor de koppeling beschikbaar zijn SIMGRO relatief snel voor andere gebieden operationeel kan worden gemaakt. GIS kan dan ook een nuttig hulpmiddel vormen voor regionale studies. Voorwaarde is echter wel dat er goed onderhouden (en gestandariseerde) GIS-bestanden met de benodigde data aanwezig zijn of worden ontwikkeld.

Geprobeerd is om ook de horizontale ruimtelijke discretisatie met behulp van GIS te genereren. Om dat verantwoord te kunnen doen, zijn aanvullende gegevens nodig:

- de ligging van de waterlopen;
- de begrenzing van de stroomgebieden;
- de begrenzing van de EHS;
- de grondwatertrappen (per deelgebied en knooppunt).

De gevolgde werkwijze voor het aanmaken van invoergegevens voor SIMGRO en voor het verkrijgen van een ruimtelijke schematisering op basis van GIS kan in vijf stappen worden gesplitst:

- 1 allereerst zijn de invoergegevens in GIS-bestanden geplaatst;
- 2 vervolgens is het elementennetwerk gegenereerd;
- 3 voor de vereiste eigenschappen is per knooppunt een waarde toegekend;
- 4 door aggregatie op basis van een aantal eigenschappen is een indeling in deelgebieden verkregen;
- 5 per deelgebied zijn waarden voor de overige eigenschappen toegekend.

4.2 Invoergegevens

De invoergegevens zijn:

- 1 direct ontleend aan bestaande GIS-bestanden:
 - het bodemgebruik aan de Landelijke Grondgebruikskartering Nederland;
 - de geohydrologische data aan de Centrale Slenk dataset.
- 2 gedigitaliseerd op basis van analoge bestanden:
 - maaiveldhoogten van topografische kaart 1:25.000;
 - waterlopen van de waterlopenkaart van waterschap De Dommel;
 - stroomgebieden van de Waterstaatskaart;
 - de EHS zoals ingetekend door de provincie Noord-Brabant.
- 3 via "vertaalslagen" afgeleid uit GIS-bestanden:
 - grondwaterklassen op basis van grondwatertrappen;
 - bodemfysische eenheden op basis van bodemeenheden;
 - dikte wortelzones op basis van bodemeenheid en grondwaterklasse;
 - drainageweerstand op basis van de lengte van waterlopen;
 - afvoerrelaties op basis van oppervlaktes, bodemgebruik, bodemeenheid, grondwaterklasse.
- 4 anders met behulp van GIS toegekend:
 - stuwpeilen;
 - dimensionering van het oppervlaktewatersysteem.

Per knooppunt kan aan een eigenschap één waarde worden toegekend. Deze waarde geldt voor het zogenaamde invloedsgebied rond het knooppunt (een soort Thiessen-polygoon). Wanneer meer dan één waarde van een eigenschap binnen een invloedsgebied wordt gevonden moet een representatieve waarde voor dat invloedsgebied worden bepaald. Dat is gebeurd met behulp van "besliscriteria". Voorbeelden van besliscriteria zijn:

- de waarde van de eigenschap in het knooppunt;
- de waarde met het grootste oppervlak binnen het invloedsgebied;
- een (gewogen) gemiddelde;
- een vervangingsweerstand.

De eigenschap is bepalend voor de keuze van het besliscriterium. Voor sommige eigenschappen (bijvoorbeeld de geohydrologische weerstanden) is de keuze voor het besliscriterium eenduidig; voor andere eigenschappen ontbreekt een onderbouwing voor het te hanteren criterium.

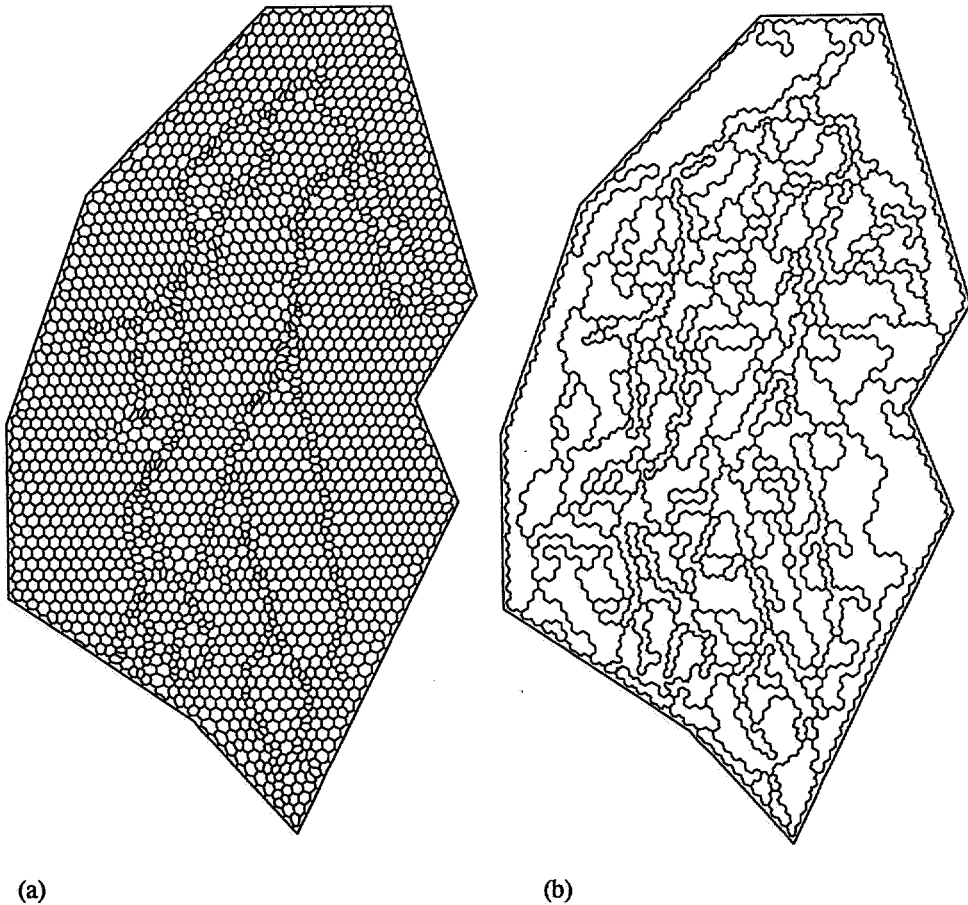
4.3 Het eindige-elementennetwerk

De vraagstelling, de schaal waarop deze zich richt, en het gebruikte model bepalen de te gebruiken schematisering. Het netwerk (horizontale discretisatie) is gegenereerd op basis van de loop van de Beerze, de Reusel en de Rosep (fig. 2a). In de beekdalen bedraagt

de afstand tussen de knooppunten ongeveer 400 m, buiten de beekdalen kan deze afstand oplopen tot 800 m. Het modelgebied bevat 2448 knooppunten.

4.4 De indeling in deelgebieden

De deelgebieden ontstaan door aan elkaar grenzende knooppunten met identieke waarden voor de eigenschappen stroomgebied, grondwaterklasse en beleidscriterium (EHS) samen te voegen (fig. 2b). Eigenlijk moeten daarbij ook de bodemfysische eenheden en de hoogtezones worden meegenomen. Dit bleek echter binnen deze studie niet te realiseren. Ook heeft een nabewerking plaatsgevonden om deelgebieden die uit één knooppunt bestaan te vermijden. In totaal zijn 189 deelgebieden onderscheiden.



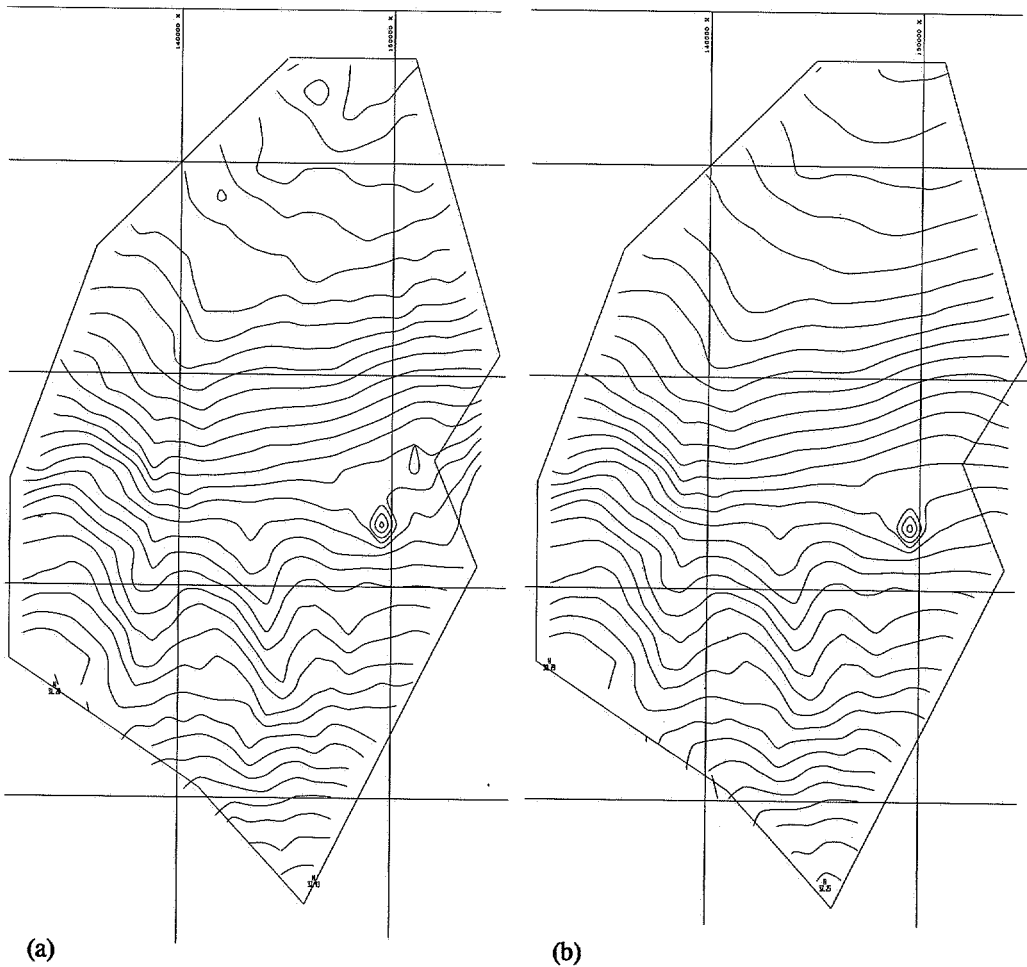
Figuur 2 De invloedsgebieden (a) en de deelgebieden (b) in het studiegebied

5 RESULTATEN EN TOETSING

Omdat het een verkennende modelstudie betreft waarbinnen geen mogelijkheid bestond om grondwaterstanden en afvoeren op een adequate schaal te meten, zijn geen gegevens gekalibreerd.

5.1 Vergelijking met de resultaten van de Centrale Slenk- studie.

Een eerste indruk van de te verwachten resultaten is verkregen door de resultaten van berekeningen voor het winterhalfjaar (stationair) en het zomerhalfjaar (niet-stationair) van 1980 en 1982 (fig. 3a en 3b) te vergelijken met de rekenresultaten van IWACO (1987).



Figuur 3 Berekende isohypsen van de toplaag (a) en de eerste aquifer (b) voor 27 september 1980 (interval 1 m)

Vergelijking van de resultaten laat zien dat:

- De regionale isohypsenpatronen over het hele studiegebied nagenoeg gelijk zijn.
- De in deze studie berekende isohypsen ook lokale patronen tonen omdat de schematisering gedetailleerder is.
- De berekende stijghoogten in het noordelijk deel van het studiegebied (de Slenk) nagenoeg identiek zijn.
- In het zuidelijk deel van het studiegebied in deze studie hogere stijghoogten worden berekend; in de meest zuidelijke punt van het studiegebied worden daarentegen lagere stijghoogten berekend.

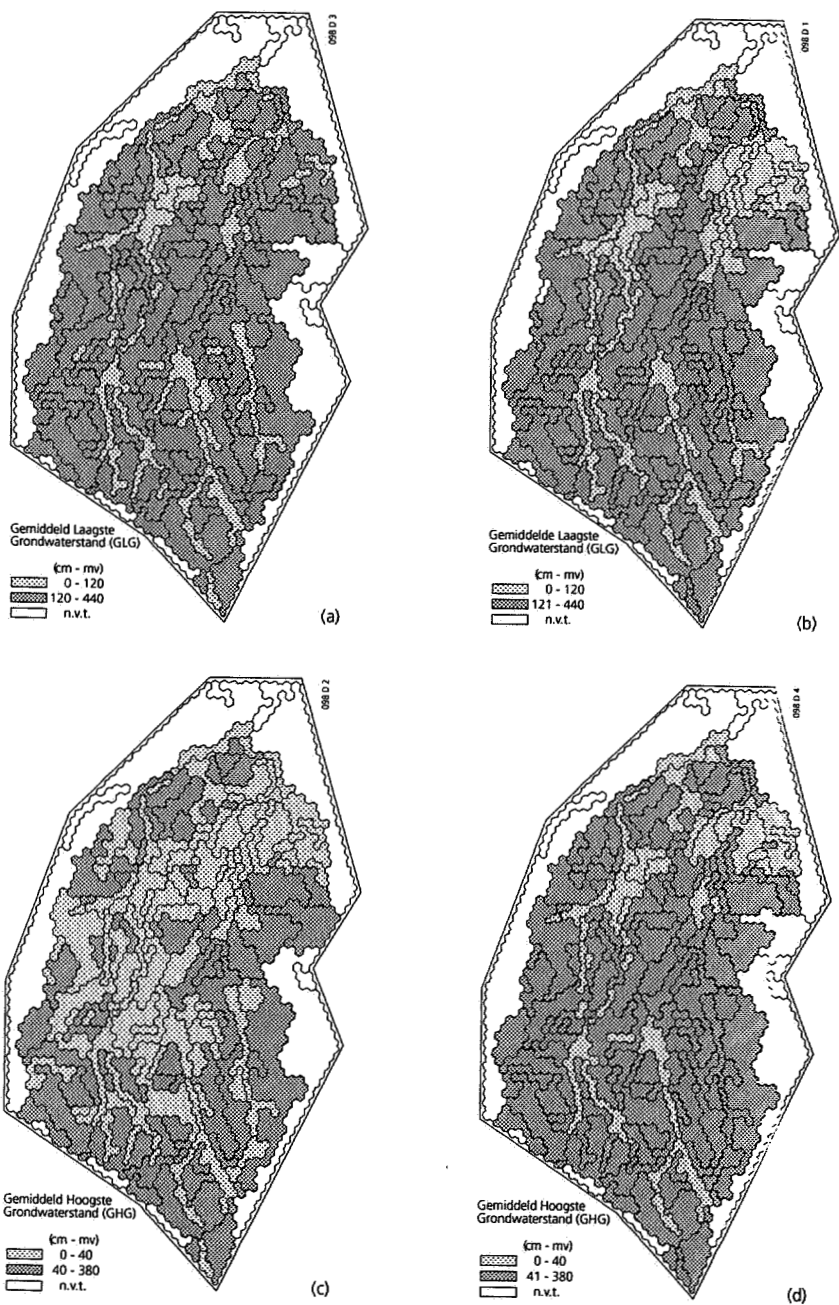
5.2 Kwalitatieve toetsing

Een nadere kwalitatieve toetsing is uitgevoerd door de reeks van 16 weerjaren (1971 t/m 1986) door te rekenen, waarbij gedurende de hele periode de onttrekkingen voor drinkwaterwinning op het niveau van 1989 (21 miljoen m³, waarvan de pompstations Haaren, Oirschot en Vessem 19,5 miljoen m³ onttrekken zijn gesteld. Deze berekening beschrijft de (langjarig gemiddelde) huidige situatie.

5.2.1 De gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand (GLG en GHG)

Vergelijking van de berekende GLG (fig. 4b) met de grondwatertrappenkaart (fig. 4a), laat een goed gelijkend ruimtelijk beeld zien voor de stroomgebieden van de Reusel, Rosep en de bovenloop van de Grote Beerze. Ten noorden van Oirschot wijkt het patroon af. De resultaten blijken daar te variëren rond de klassegrens van 1,20 m - mv. Op de grondwatertrappenkaart komen in dit gebied voornamelijk de grondwatertrappen III en V voor met respectievelijk een GLG ondieper en een GLG dieper dan 1,20 m - mv.

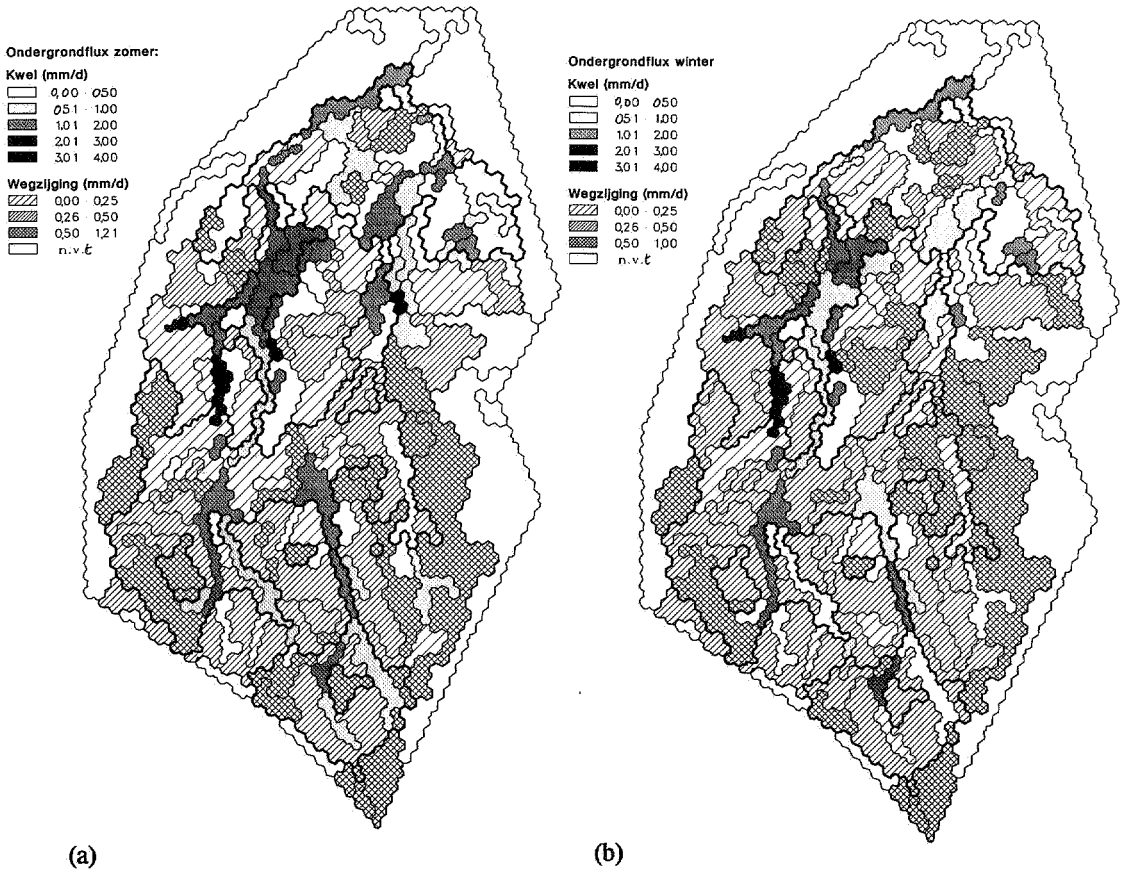
De GHG geeft grote verschillen tussen het kaartbeeld (fig. 4c) en de rekenresultaten (fig. 4d) te zien. Alle gebieden met een berekende GHG ondieper dan 40 cm-mv hebben deze volgens de kaart ook. Voor een groot aantal deelgebieden die volgens de kaart ook in deze klasse vallen wordt echter een diepere GHG berekend. De grondwatertrappenkaart geeft echter een verouderd beeld weer en de berekende daling van de grondwaterstand sluit aan bij de resultaten van andere onderzoeken (Noordhuis et al., 1990; IWACO, 1987). De beekdalen bezitten volgens de rekenresultaten nog wel GHG's ondieper dan 40 cm - mv. Opvallend is dat de bovenloop van de Kleine Beerze niet meer in deze klasse valt. Dit komt overeen met waarnemingen van Waterschap De Dommel (Stuurman, 1993).



Figuur 4 De Gemiddeld Laagste Grondwaterstand volgens de grondwatertrappenkaart 1:50000 (a) en berekend (b) en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand volgens de bodemkaart 1:50000 (c) en berekend (d)

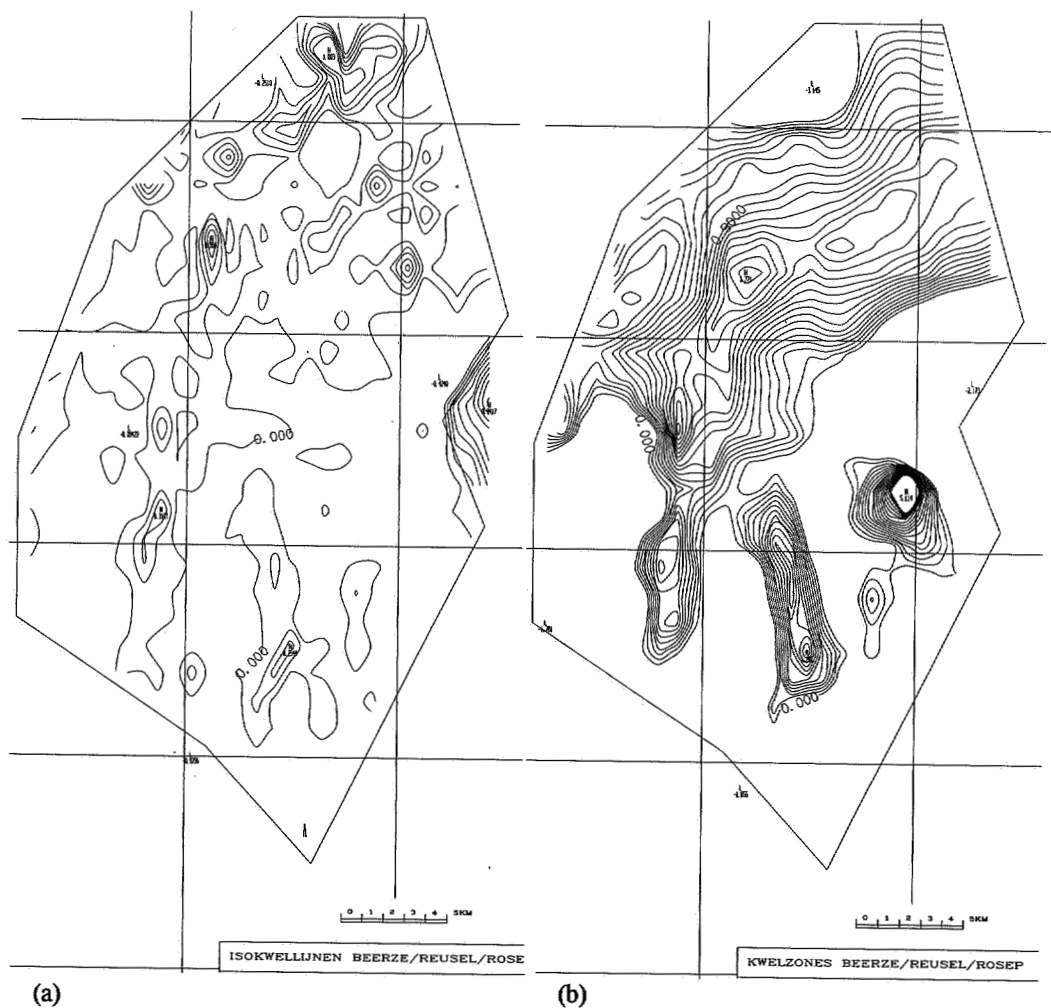
5.2.2 Kwel en wegzijging

De gecombineerde kwel/wegzijgingskaarten (fig. 5) laten zien waar de intrekgebieden en de kwelzones in het gebied gelegen zijn. Kwel is gedefinieerd als een opwaartse flux over het grensvlak tussen het eerste en tweede pakket (stroming van het tweede naar het eerste pakket); wegzijging is gedefinieerd als een neerwaartse flux over hetzelfde vlak (stroming van pakket 1 naar pakket 2). Uitgezonderd de beekdalen fungeert het plateau van de Kempen als intrekgebied. In het noordelijk deel van het studiegebied treedt met name in de zomer kwel op. De Kampina geeft (langjarig gemiddeld) zowel in de winter als in de zomer wegzijging. Het regionale patroon van het hydrologisch systeem lijkt goed met de werkelijkheid overeen te komen. De maximale berekende langjarig gemiddelde kwel ligt in de orde van 3 mm/dag, de maximale berekende langjarig gemiddelde wegzijging is ongeveer 1 mm/dag.



Figuur 5 Berekende langjarig gemiddelde kwel/wegzijging voor het zomer- (a) en winterhalfjaar (b)

Een nauwkeuriger begrenzing van de potentiële kwelzones is verkregen door te interpoleren tussen de berekende (september 1980) potentiaalverschillen van de knooppunten (fig. 6). Omdat dit het einde van de zomerperiode betreft, bezitten de potentiële kwelzones ongeveer hun maximale afmetingen. De potentiaalverschillen tussen de modellagen 1 en 2 vertonen een gevarieerd patroon als gevolg van de aanwezigheid van lokale en subregionale systemen. De beekdalenvormen de belangrijkste kwelzones. Opvallend is dat de zones met een groot berekend potentiaalverschil een zeer lokaal karakter hebben. Om het regionale systeem zichtbaar te maken zijn de verschillen in stijghoogten tussen de watervoerende modelpakketten 2 en 4 bepaald.



Figuur 6 Lijnen met een gelijk potentiaalverschil tussen modelpakket 1 en 2 (a) en modelpakket 2 en 4 (b) aan het einde van de zomerperiode (interval 0,1 m)

5.2.3 Oppervlaktewaterafvoeren

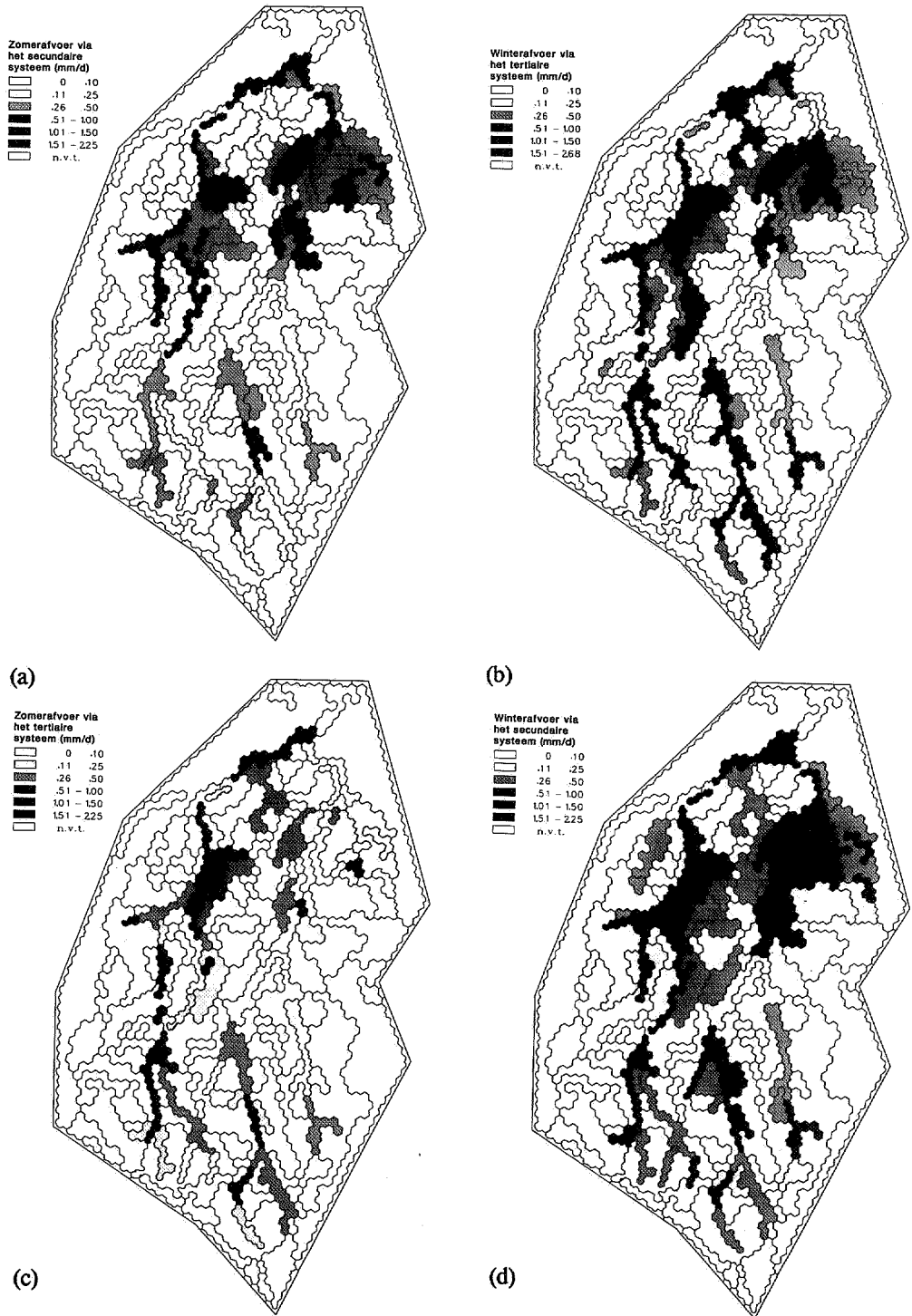
In deze studie is het oppervlaktewatersysteem onderverdeeld in een kanaalsysteem (het Wilhelminakanaal), een secundair systeem (alle waterlopen in beheer bij Waterschap de Dommel), en een tertiair systeem (perceelsloten). De langjarig gemiddelde oppervlaktewaterafvoeren van het secundair en tertiair systeem zijn bestudeerd voor het zomer- en winterhalfjaar (fig. 7). Het secundair systeem heeft in de zomer een hogere afvoer dan het tertiair systeem (waarvan de ontwateringsbasis minder diep ligt). In de zomerperiode vindt alleen afvoer plaats in de beekdalen en het noordelijk deel van het studiegebied. In de winterperiode is in de beekdalen de afvoer van het tertiair systeem ongeveer gelijk aan de afvoer van het secundair systeem; buiten de beekdalen is de afvoer via het secundair systeem groter. De orde van grootte van de afvoeren (tot bijna 2,5 mm/dag voor het secundair systeem in de winter) is zonder meer reëel. Saillant is de voor de zomerperiode berekende hogere afvoer voor het middenstuk van de bovenloop van de Grote Beerze ten opzichte van de boven- en benedenstrooms gelegen delen van deze beek. Dit beeld stemt overeen met waarnemingen.

5.3 Kwantitatieve toetsing

De dataset is kwantitatief getoetst door een berekening uit te voeren voor dezelfde reeks weerjaren met de werkelijke onttrekkingen voor drinkwaterwinningen per weerjaar. De resultaten beschrijven de historische reeks op bevredigende wijze.

5.3.1 GHG en GLG

Dertien binnen de stroomgebieden gelegen peilbuizen uit het TNO-grondwatersysteem met filters in het freatisch pakket zijn gebruikt voor de toetsing van berekende grondwaterstanden. Deze buizen zijn (Reijerink et al., 1993) als betrouwbaar en representatief gekwalificeerd. Voor deze buizen zijn de berekende GHG en GLG van het meest nabijgelegen knooppunt vergeleken met de GHG en GLG van de betreffende buis (tabel 1). Daarbij moet niet worden vergeten dat de berekende waarden gebiedsgemiddelde waarden zijn, terwijl de buizen puntwaarden betreffen die representatief worden geacht voor hun directe omgeving. In gebieden met hoogteverschillen op korte afstand kunnen de verschillen tussen de berekende en de gemeten waarde dan ook aanzienlijk zijn. De verschillen in GLG variëren van - 55 tot + 70 cm. Het verschil in GHG varieert tussen - 45 en + 73 cm. Omdat puntwaarnemingen worden vergeleken met berekende gebiedsgemiddelde waarden lijken de resultaten bevredigend.



Figuur 7 Berekende oppervlaktewaterafvoeren van het secundair en tertiair systeem voor het zomer- en winterhalfjaar

Tabel 1 De gemeten GHG en GLG voor de stijgbuizen en de berekende GHG en GLG voor het invloedsgebied waarbinnen de buis ligt in cm + NAP. Het verschil in GLG en GHG is berekend door de berekende waarde van de gemeten waarde af te trekken. Het verschil in amplitude is berekend door het gehalveerde verschil in GLG af te trekken van het gehalveerde verschil in GHG

Gemeten			Berekend			Verschil (cm)		
buisnr.	GHG (cm + NAP)	GLG	knoop- puntnr.	GHG (cm + NAP)	GLG	GHG	GLG	ampli- tude
45cL115	645	559	138	677	609	-32	-50	+9
50fL28	1301	1236	697	1348	1268	-47	-32	-8
50fL32	1352	1236	782	1332	1253	+20	-17	+18
50hL2	2100	2007	1370	2138	2062	-38	-55	+9
51aL11	867	766	291	879	798	-12	-32	+10
51aL15	1016	914	515	1009	921	+7	-7	+7
51aL21	1147	1077	686	1154	1071	-7	+6	-7
51aL23	1288	1236	860	1333	1241	-45	-5	-20
51aL35	745	653	208	768	693	-23	-40	+9
51aP101	931	839	453	947	870	-16	-31	+8
51bL23	1130	1045	666	1144	1063	-14	-18	+2
51cL19	1984	1900	1314	1911	1830	+73	+70	+2
51dL30	2519	2461	1921	2539	2465	-20	-4	-8

5.3.2 Oppervlaktewaterafvoeren

De berekende afvoeren zijn vergeleken met de afvoeren van de Beerze en de Reusel zoals gemeten door het waterschap De Dommel. De berekende afvoeren zijn lager dan de gemeten afvoeren omdat de afvoer die via de zuiveringsinstallaties in de waterlopen terecht komt niet is meegenomen in de berekeningen. Om deze hoeveelheden te schatten is verondersteld dat alle op verhard oppervlak gevallen neerslag en alle binnen het studiegebied door waterwinningen onttrokken water via de zuiveringsinstallaties op de waterlopen wordt geloosd. Door deze termen op te tellen bij de berekende oppervlaktewaterafvoer kan, wanneer geen wateraanvoer plaatsvindt, een maximale totale afvoer worden geschat. Het verschil van de geschatte maximale totale hoeveelheid met de gemeten hoeveelheid varieert van - 8 tot + 16%, en bedraagt gemiddeld + 4%. Uit de vergelijking van de afvoeren voor het zomer- en winterhalfjaar blijkt dat zowel in de modelberekeningen als in de meetwaarden gemiddeld 32% van de jaarafvoer in zomers wordt afgevoerd en 68% in winters. De verschillen in deze verhoudingen bedragen voor de zeven werkelijke weerjaren maximaal 3%. De berekende bijdragen van het stroomgebied van de Beerze en het stroomgebied van de Reusel aan de totale afvoer wijken af van de gemeten waarden. Gemeten wordt een bijdrage van 52% van de Beerze en een bijdrage van 48% van de Reusel; berekend worden bijdragen van 61% en 39%. De berekende bijdragen lijken sterk gerelateerd aan de grootte van de stroomgebieden

(respectievelijk 59% en 41% van het totale stroomgebied). Mogelijk leidt de bijdrage van de zuiveringsinstallaties tot een gewijzigde verhouding in de afvoeren.

6 CONCLUSIES

6.1 Conclusies ten aanzien van de resultaten

De op basis van GIS tot stand gebrachte gebiedsschematisering voldoet aan de vraagstelling. De resultaten lijken, gezien de gevolgde werkwijze (de invoergegevens zijn niet gekalibreerd!), het regionale systeem adequaat te beschrijven.

De resultaten kunnen worden verbeterd door:

- hoogtepunten aan een grotere kaartschaal te ontlenen;
- de werkelijke dimensies van de hoofdwaterlopen te gebruiken;
- de schematisering te verfijnen;
- invoergegevens te kalibreren.

Omdat de eerste twee punten voor iedere regionale hydrologische studie nodig zijn, verdient het aanbeveling een nationale GIS op te zetten waarin deze gegevens worden opgeslagen. Voor de realisatie van de laatste twee punten moeten meetgegevens worden verzameld om de resultaten te onderbouwen en te toetsen.

6.2 Conclusies ten aanzien van de koppeling van GIS aan modellen

Combineren van (simulatie)modellen met GIS biedt de mogelijkheid om regionale studies relatief snel en efficiënt te verrichten. Het is niet alleen mogelijk invoergegevens uit GIS te betrekken; ook de horizontale ruimtelijke schematisering kan met behulp van GIS tot stand worden gebracht. De werkwijze is technisch eenvoudig te implementeren, maar bevat een groot aantal open einden:

- Welke schaal kan zinvol worden gebruikt, gezien de vraagstelling en schematisering?
- Hoe kunnen datasets naar andere schaalniveaus worden omgezet (in ieder geval alleen naar kleinere schaal)?
- Hoe kan een goede schematisering worden verkregen?
- Hoe kan ervoor worden gezorgd dat zo min mogelijk informatie verloren gaat bij het gebruik van besliscriteria?
- Wat is de betrouwbaarheid van de data in de GIS?
- Wat is de ruimtelijke en temporele variabiliteit van de in GIS opgenomen data?
- Hoe kunnen regionale berekeningen zinvol worden getoetst?
- Wat is de betrouwbaarheid van de resultaten en welke beslissingen kunnen hierop wel en welke niet worden gebaseerd?
- Hoe kunnen de resultaten worden gepresenteerd om een objectieve weergave te

garanderen?

Een verdere inhoudelijke onderbouwing voor een verantwoord gebruik van GIS bij modelstudies is dan ook noodzakelijk.

6.3 Stellingen ten aanzien van de koppeling van GIS aan modellen

- Eén, op alle vraagstellingen algemeen toepasbare werkwijze voor het gebruik van modellen in combinatie met GIS is niet mogelijk.
- De inbreng van hydrologische vakkennis is en blijft onmisbaar.
- Om deze inbreng te kunnen garanderen verdient koppeling op afstand de voorkeur boven het integreren van modellen en een GIS.

LITERATUUR

- ERNST, L.F.; 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. I A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. II The variable hydraulic head ratio. Journal of Hydrology 39 (3/4): 1-50. Wageningen, ICW. Technical bulletin 106.
- IWACO; 1987. Eindrapport geohydrologisch onderzoek Centrale Slenk Fase 2. Boxtel.
- REIJERINK, J.G.A., A. BREEUWSMA, H.H. LUESINK EN H. KLEIJER; 1993. Rekenmodel voor de berekening van de fosfaatverzadigingstoestand van mestoverschotgebieden. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 241.
- NOORDHUIS, M., P.J.T. VAN BAKEL EN A.F. VAN HOLST; 1990. Onderzoek naar de verandering van de freatische grondwaterstanden op enkele kaartbladen in de provincie Noord-Brabant als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 72.
- QUERNER, E.P. EN P.J.T. VAN BAKEL; 1989. Description of the regional groundwater flow model SIMGRO. Wageningen, Staring Centrum. Report 7.

NIET GEPUBLICEEERDE BRONNEN

- BOLT, F.J.E. VAN DER, P.E.V. VAN WALSUM EN P. GROENENDIJK; 1993. Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep. Deel 1: Simulatie van de regionale hydrologie. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport in voorbereiding.
- STUURMAN, R.J.; 1993. Een watersysteemanalyse in het stroomgebied van de Beerze en Reusel (Midden-Brabant). Delft, IGG-TNO. Rapport in voorbereiding.

TOEPASSING VAN LANDELIJK GRONDWATER MODEL VOOR MILIEU TOEKOMSTVERKENNINGEN

M.J.H. Pastoors, R. Lieste en K. Kovar

SAMENVATTING

Kerntaak van het RIVM-milieuonderzoek is de diagnose en prognose van de milieukwaliteit. De invulling van deze diagnose- en prognosetaak krijgt ondermeer gestalte in de vierjaarlijkse milieuverkenning. Voor veel milieuvraagstukken blijkt kennis van de hydrologie van toenemend belang te zijn. In dat kader is het Landelijk Grondwater Model (LGM) ontwikkeld, waarmee de geohydrologische gevolgen van waterhuishoudkundige ingrepen in een gebied kunnen worden aangegeven.

In eerste instantie gaat het doorgaans om het verwerven van inzicht in de globale effecten van bepaalde beleidsvoornemens op de grondwaterstand en de daarmee samenhangende belangen. Dergelijke studies kenmerken zich doorgaans door een aantal varianten dan wel scenario's die op hun merites moeten worden beoordeeld ten opzichte van een referentie situatie. Dat wil zeggen dat in veel gevallen in eerste instantie kan worden volstaan met een mate van detail, die aansluit op de doelstelling van het onderzoek, te weten het landsdekkend berekenen van hydrologische effecten. De ondergrond van Nederland is voor de geohydrologische berekeningen geschematiseerd tot vier watervoerende pakketten, onderling gescheiden door slechtdoorlatende lagen. Voor deze schematisatie is gebruik gemaakt van bestaande inzichten in de verbreiding van de geologische formaties, met name de slechtdoorlatende lagen in deze formaties. Lokale detaillering is modeltechnisch gezien mogelijk, maar vanuit het onderzoek (nog) niet uitgevoerd.

De opslag en bewerking van data geschieden met het Geografisch Informatie Systeem ARC/INFO. Het oplossen van het grondwaterstromingsprobleem gebeurt met het rekenprogramma AQ-FEM, dat op de eindige elementenmethode is gebaseerd. Enkele LGM-resultaten uit twee case-studies worden in deze bijdrage toegelicht. De eerste case-study betreft het onderzoek ten behoeve van het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening en bijbehorende Milieu-effectrapport. De tweede case-study omvat het geohydrologisch onderzoek voor het milieuthema "Verdroging" in de Milieuverkenning-3 en de Evaluatie Nota Water.

1 INLEIDING

Grondwater is van groot belang voor de drinkwatervoorziening, de landbouwwaterhuishouding en de vochtvoorziening van natuurlijke vegetaties. De toenemende grondwateronttrekking en de versnelde afvoer van neerslag resulteren in een verlaging van de grondwaterstand en een afname van de kwel. Dit heeft geleid tot verdrogingsproblemen, waar een groot deel van Nederland mee te kampen heeft (RIVM, 1993). Daarnaast is er de voortdurende bedreiging van de bodem- en grondwaterkwaliteit. Deze bedreigingen bestaan uit zowel lokale als diffuse verontreinigingsbronnen.

Zowel bij kwantitatieve (verdrogingsproblematiek met effecten voor de natuurlijke vegetatie) als kwalitatieve vraagstukken (verzuring, vermisting en verspreiding) met betrekking tot het grondwater is het grondwatermodel een onmisbaar instrument. Immers de ingrepen in het hydrologische systeem worden vaak via het grondwatersysteem overgebracht naar andere plaatsen. Een onttrekking van grondwater resulteert in een verlaging van stijghoogten en grondwaterstanden in het grondwatersysteem over vaak grote afstanden. Een (lokale) verontreiniging wordt via het grondwater getransporteerd over relatief grote afstanden met daarbij behorende lange reistijden.

Ten behoeve van het (geo)hydrologisch onderzoek binnen de milieuthema's is het Landelijk Grondwater Model (LGM) ontwikkeld. Het LGM is opgebouwd uit het eindige elementen pakket AQ-FEM en het GIS ARC/INFO, gekoppeld door een verzameling programma's voor de uitwisseling van gegevens.

2 BESCHRIJVING VAN HET LGM

2.1 Opzet LGM

Binnen het LGM zijn twee omgevingen onderscheiden:

- een data-omgeving met ARC-INFO, GIS-tools en basis-data;
- een rekenomgeving met de AQ-programmatuur en de modeldata.

Voor een grondwatermodel is met name de opslag van data bepalend voor de gebruiksmogelijkheden. Die opslag moet dermate flexibel zijn dat ook andere toepassingen (scenario's, lokale detaillering) zonder omvangrijke ingrepen in de modelstructuur mogelijk zijn. Dit heeft geleid tot een wijze van opslag die volledig onafhankelijk is van het gekozen netwerk van het rekenprogramma. Het Geografisch Informatie Systeem (GIS) biedt hiervoor vele mogelijkheden. De opslag en bewerking van gegevens geschieden met ARC/INFO. ARC/INFO voorziet in een groot aantal functies. Om deze functies heen zijn programma's gemaakt om de data ten behoeve van

het geohydrologisch modelonderzoek te bewerken (Lieste et al., 1992; Kovar et al., 1992). Het oplossen van het grondwaterstromingsprobleem gebeurt met het rekenprogramma AQ-FEM. De koppeling tussen ARC/INFO en AQ-FEM verloopt via een aantal interface-programma's. Beide pakketten hebben hun eigen input en output structuur, waardoor een directe koppeling tussen deze pakketten zonder aanpassing niet mogelijk is. Voor een gemakkelijke en systematische uitwisseling van data tussen ARC/INFO en AQ-FEM is gekozen voor gestandaardiseerde ASCII files (Kovar et al., 1992).

Het rekenprogramma AQ-EP, onderdeel van AQ-FEM, berekent de grondwaterstijghoogte in en de grondwaterstroming tussen de watervoerende pakketten. De gebruikte numerieke oplossingsmethode gaat uit van Galerkin's eindige elementenmethode. Het rekenprogramma lost langs iteratieve weg de differentiaalvergelijking op die het stromingsproces beschrijft, in dit geval een twee-dimensionale, horizontale en stationaire grondwaterstroming in een systeem van maximaal 10 watervoerende pakketten. De simultane differentiaalvergelijkingen worden gelineariseerd, rekening houdend met de niet-lineaire relaties naar het oppervlaktewater. Deze set van vergelijkingen wordt opgelost met de geconjugeerde gradiënten methode.

Het programma AQ-EG, eveneens onderdeel van AQ-FEM, genereert het netwerk van drie- en vierhoekige elementen. De rand van het modelgebied wordt vastgelegd met randknooppunten. Binnen deze polygoon wordt het netwerk gegenereerd. De gebruiker heeft invloed op het aantal en de grootte van de elementen, waaruit het netwerk moet bestaan. Het is bovendien mogelijk het netwerk te verdichten binnen een deel van het modelgebied.

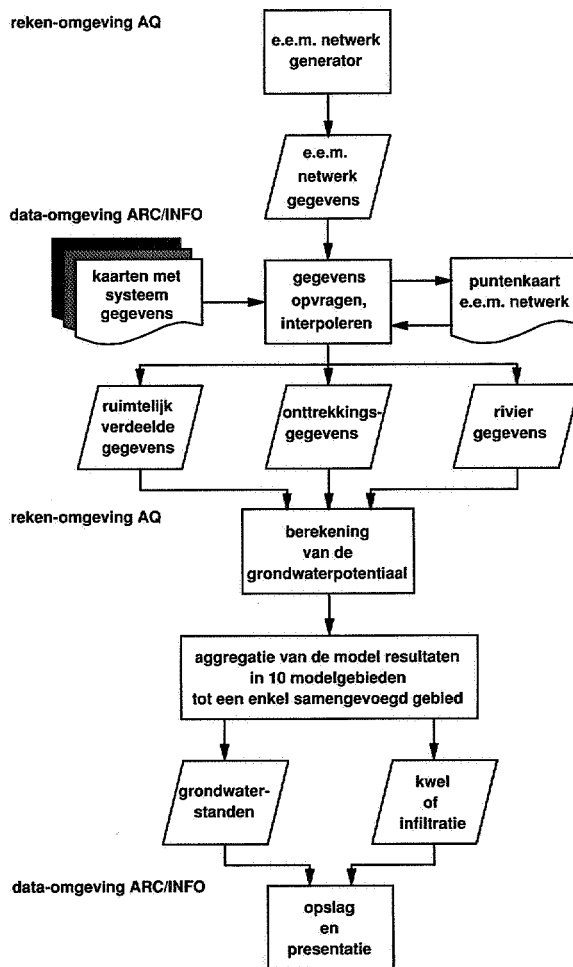
De belangrijke onderdelen van een modelstudie met LGM zijn afgebeeld in figuur 1.

Voor de invoer van het grondwaterstromingsmodel zijn gegevens verzameld van ondermeer de geologische opbouw van de ondergrond, de geohydrologische bodemconstanten, de eigenschappen van het oppervlaktewater, grondwateronttrekkingen, grondwaterstijghoogten en de meteorologische gegevens (Pastoors, 1992). In de paragrafen 2.2 t/m 2.6 zal worden ingegaan op de toegepaste bewerkingsmethoden.

2.2 Geohydrologische schematisatie

Uit overwegingen van doelmatigheid met betrekking tot het verzamelen van de geohydrologische gegevens is uiteindelijk gekozen voor een schematisatie van de ondergrond van Nederland in vier watervoerende pakketten, gescheiden door slechtdoorlatende lagen. De bovenste aquifer is afgedekt met een slechtdoorlatende (dek)laag. De slechtdoorlatende lagen mogen plaatselijk ontbreken. Voor deze landelijke schematisatie is gebruik gemaakt van bestaande kennis over parameterwaarden en

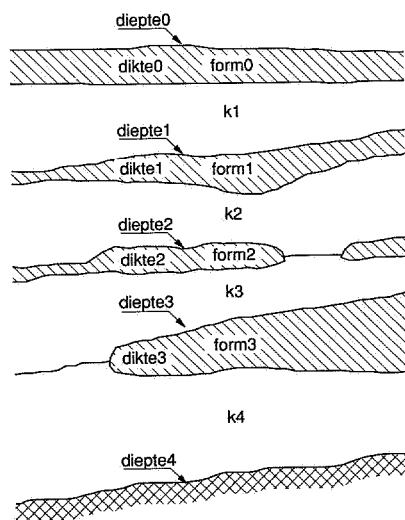
inzichten in de verbreiding van watervoerende pakketten en slechtdoorlatende lagen. De schematisering is geïllustreerd in figuur 2.



Figuur 1 Gegevens-stroomdiagram van het LGM

Op basis van de verzamelde gegevens zijn 17 ARC/INFO kaarten vervaardigd. Tabel 1 bevat een overzicht van de basiskaarten van de ondergrond.

Een gedetailleerde én gedigitaliseerde hoogtekaart van Nederland is (nog) niet beschikbaar. De hoogteligging van het maaiveld is daarom tot stand gekomen door de interpolatie van de maaiveldshoogten uit de kaart met waarnemingsputten uit het OLGA-bestand van IGG-TNO.



Tabel 1 Overzicht basiskaarten met omschrijving, naam en type

omschrijving van de kaart	kaartnaam	kaarttype
Maaiveldskaart	diepte0	punt
Dikte slechtdoorlatende (dek)laag	dikte0	contour
Top eerste slechtdoorlatende laag	diepte1	contour
Dikte eerste slechtdoorlatende laag	dikte1	contour
Top tweede slechtdoorlatende laag	diepte2	contour
Dikte tweede slechtdoorlatende laag	dikte2	contour
Top derde slechtdoorlatende laag	diepte3	contour
Dikte derde slechtdoorlatende laag	dikte3	contour
Diepte geohydrologische basis	diepte4	contour
Doorlatendheid eerste watervoerende pakket	k1	contour
Doorlatendheid tweede watervoerende pakket	k2	contour
Doorlatendheid derde watervoerende pakket	k3	contour
Doorlatendheid vierde watervoerende pakket	k4	contour
Formatiekaart deklaag	form0	vlak
Formatiekaart eerste slechtdoorlatende laag	form1	vlak
Formatiekaart tweede slechtdoorlatende laag	form2	vlak
Formatiekaart derde slechtdoorlatende laag	form3	vlak

Gebruik makend van het modelnetwerk kunnen de ARC/INFO-kaarten worden bewerkt en kunnen nieuwe kaarten worden gegenereerd (van ondermeer de dikte van de watervoerende pakketten, de grondconstanten e.d.). De ARC/INFO informatie wordt daarbij aan de netwerkknooppunten toegekend, door middel van interpolatie tussen contouren en/of punten of via vlakswaarden van de polygonen.

Watervoerende pakketten:

De watervoerende pakketten worden in AQ-FEM per knooppunt gekarakteriseerd door middel van het doorlaatvermogen (kD-waarde). Het doorlaatvermogen is berekend door de dikte van het desbetreffende pakket te vermenigvuldigen met de doorlatendheid. De dikte is per knooppunt berekend door interpolatie van de top- en dikte-kaarten van de slechtdoorlatende lagen. Daar waar het eerste watervoerende pakket freatisch grondwater bevat, is de verzadigde dikte berekend (freatisch grondwatervlak minus bovenkant eerste slechtdoorlatende laag).

Slechtdoorlatende lagen:

De in de geohydrologische schematisatie onderscheiden slechtdoorlatende lagen worden in het model gekarakteriseerd door de hydraulische weerstand, de c-waarde. De hydraulische weerstand van de slechtdoorlatende lagen, met uitzondering van de deklaag, zijn per knooppunt bepaald volgens de formule:

$$c_v = H * d * (h + \frac{d}{2}) \quad (1)$$

waarin:

- c_v = de verticale weerstand [d],
- d = de dikte van de slechtdoorlatende laag [m],
- H = een evenredigheidsconstante [d/m^2],
- h = de diepteligging van de slechtdoorlatende laag ten opzichte van het maaiveld [m].

De grootte van de evenredigheidsconstante H is afhankelijk van de aard van de slechtdoorlatende laag en is voor elke laag empirisch bepaald op grond van de geologische formatie.

De hydraulische weerstand van de deklaag is bepaald op basis van de dikte van de deklaag, de aard van de afzetting en het voorkomen van Basisveen (een zeer compacte veenlaag) die ondanks de beperkte dikte een hoge hydraulische weerstand heeft.

$$c_0 = \alpha * d + c_{bas} \quad (2)$$

waarin:

- c_0 = hydraulische weerstand van de deklaag [d],
- α = evenredigheidsconstante (aard van afzetting) [d/m],

- d = dikte deklaag [m],
 c_{bas} = hydraulische weerstand Basisveen [d].

2.3 Relatie grondwater-oppervlaktewater

Het oppervlaktewater wordt in het model weergegeven door middel van specifieke functies voor individuele waterlopen, polders en vrij afwaterende gebieden. De laatst genoemde twee typen zijn fluxen die ruimtelijk verdeeld zijn.

Waterlopen, die van invloed zijn op de regionale grondwaterstroming en waarvan de afvoer zodanig groot is dat een (verandering in de) grondwateronttrekking geen noemenswaardige invloed heeft op het peil in deze waterloop, zijn in het model als individuele watergangen ingevoerd. De relatie tussen deze waterlopen en het grondwater, luidt:

$$Q_r = \frac{(R_p - \varphi_I)}{c_r} * R_{opp} \quad (3)$$

waarin:

- Q_r = de infiltratie uit of de kwel naar de waterloop [m^3/d],
 R_p = het peil in de waterloop [m],
 φ_I = de gemiddelde grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket ter plaatse van de waterloop [m],
 c_r = de weerstand van de bodem van de waterloop en/of van de slechtdoorlatende lagen eronder tegen verticale grondwaterstroming [d],
 R_{opp} = het oppervlak waardoor de infiltratie dan wel de kwel plaatsvindt [m^2], de breedte maal de lengte van de waterloop.

De waterlopen zijn geschematiseerd tot één of meer aaneengesloten rechte lijnstukken. Per lijnstuk zijn waarden van de navolgende parameters verzameld:

- breedte van de waterloop [m],
- zomer en winterpeil [m] t.o.v. NAP,
- de weerstand tegen verticale grondwaterstroming uit (intreeweerstand) dan wel naar (uittreeweerstand) de waterloop [d],
- herkomst van de gegevens.

Van de intree- dan wel de uittreeweerstand zijn maar weinig gegevens uit onderzoek voorhanden. Bij de bepaling daarvan is ondermeer van belang of de waterloop een eventueel aanwezige slechtdoorlatende deklaag doorsnijdt. In de meeste gevallen reiken de waterlopen tot in het eerste watervoerende pakket. In het geval dat de waterloop niet reikt tot in het eerste watervoerende pakket is mede de hydraulische weerstand van de onderliggende gedeelten van de laag van belang. De gegevens met betrekking tot de breedte en het peil zijn afkomstig van de waterschappen, Rijkswaterstaat en de provincies. Van sommige waterlopen zijn de gegevens van verscheidene bronnen afkomstig.

Bij polders is er vanuit gegaan, dat het polderpeil op het gewenste niveau kan worden gehandhaafd. In feite wordt dus verondersteld dat het freatisch vlak niet verandert, waardoor de aanvulling van het grondwater vanuit het oppervlaktewater niet aan beperkingen is gebonden. Theoretisch is deze onbeperkte aanvulling slechts mogelijk als boven de slechtdoorlatende deklaag overal oppervlaktewater aanwezig zou zijn, dat ook nog onbeperkt kan worden aangevuld. Bij de polderrelatie is de deklaag beschouwd als een homogene laag met een weerstand c_0 . De betrekking, die de stromingsverandering door de deklaag beschrijft, luidt:

$$q_0 = \frac{(\varphi_1 - PP)}{c_0} \quad (4)$$

waarin:

- q_0 = de verticale grondwaterstroming door de deklaag [m/d]
- φ_1 = de grondwaterstijghoogte in het eerste w.v.p. [m t.o.v. NAP].
- PP = het (gewenste) peil in de polder [m t.o.v. NAP]
- c_0 = de weerstand tegen verticale grondwaterstroming door de deklaag [d].

De polders zijn gedigitaliseerd vanaf de Waterstaatkaart van Nederland, vijfde editie. Voor het noordelijke gedeelte van Nederland, waarvan deze editie niet is verschenen, is de vierde editie gebruikt. Het polderpeil is in klassen met een stapgrootte van 50 cm ingedeeld. Het polderbestand bevat polygonen met polderpeilen (winterpeilen) in meters ten opzichte van NAP. Als waarde van het polderpeil is het klasse-midden aangehouden.

In vrij afwaterende gebieden varieert het peil in de watergangen met de hoeveelheid af te voeren water (het drainagedebiet). Een daling van de grondwaterstand, van nature of door een kunstmatige ingreep, leidt tot een vermindering van de afvoer uit het stroomgebied van de waterloop. Als de grondwaterstand daalt tot onder de bodem van de waterloop, vindt er geen afvoer meer plaats. De waterloop is dan droog komen te staan. De (lineaire) relatie tussen de afvoer naar de watergangen en het verschil tussen het gemiddelde freatisch vlak en de ontwateringsbasis (de opbolling tussen de waterlopen) wordt beschreven door:

$$q_d = \frac{(\varphi_0 - DB)}{\gamma} \quad (5)$$

waarin:

- q_d = drainagedebiet [m/d],
- φ_0 = gemiddelde freatische grondwaterstand tussen de watergangen [m],
- DB = ontwateringsbasis [m],
- γ = drainageweerstand [d].

De drainageweerstand γ is te beschrijven met de formule (Ernst, 1962):

$$\gamma = L * w + \frac{L^2}{8 * kD_0} \quad (6)$$

waarin:

L = de slootafstand [m],

kD_0 = het doorlaatvermogen van de drainerende laag [m^2/d],

w = de slootweerstand, samengesteld uit de radiale en de intreeweerstand [d/m].

Zoals uit de formule blijkt bepaalt de afstand tussen de sloten in hoge mate de waarde van de drainageweerstand. De grondwatertrap karakteriseert het grondwaterstandsverloop in de ondergrond en wordt afgeleid uit de GHG en GLG. De grondwatertrap geeft derhalve een beeld omtrent de ontwatering van de gronden. De waarden van de drainageweerstand en ontwateringsbasis zijn dan ook gerelateerd aan de grondwatertrap. De waarden ervan zijn weergegeven in tabel 2.

Als de gemiddelde freatische grondwaterstand tussen de waterlopen onder de drainagebasis ligt, gaat de afvoer over in infiltratie. Er is wederom verondersteld dat er een lineaire relatie bestaat tussen, in dit geval, de infiltratie uit de waterloop en het verschil tussen de drainagebasis van en de gemiddelde freatische grondwaterstand tussen de waterlopen. De waarden zijn eveneens in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Koppeling grondwatertrap aan drainageweerstand en ontwateringsbasis

grondwatertrap	gebied met wateraanvoer			gebied zonder wateraanvoer		
	infiltratie- weerstand [dagen]	drainage- basis [m-mv]	drainage- weerstand [dagen]	infiltratie- weerstand [dagen]	drainage- basis [m-mv]	drainage- weerstand [dagen]
Gt-1	100	0,30	100	-	-	-
Gt-2, Gt-2*	200	0,30	150	∞	0,40	150
Gt-3, Gt-3*	300	0,60	250	∞	0,80	250
Gt-4	400	0,90	350	∞	1,00	350
Gt-5, Gt-5*, Gt-6	550	1,10	500	∞	1,20	500
Gt-7, Gt-7*	750	1,70	700	∞	1,70	700
stedelijk gebied	5000	1,80	1500	∞	1,80	5000

2.4 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling is gelijk aan het verschil tussen de neerslag en de gewasverdamping. De bodemopbouw bepaalt samen met de diepte van de grondwaterstand de capillaire nalevering. Verschillen in capillaire nalevering beïnvloeden de gewasverdamping in belangrijke mate. De grondwateraanvulling wordt berekend met de formule:

$$q_N = N - f * E_r * (1 - r * f_z) \quad (7)$$

waarin:

- q_N = grondwateraanvulling [mm/d],
- N = neerslag [mm/d],
- E_r = Makkink referentieverdamping [mm/d],
- f = gewasfactor voor het hele jaar [-],
- f_z = gewasfactor in het zomerhalfjaar [-],
- r = verdampingsreductiefactor [-].

Het KNMI publiceert de neerslag (N) en de (Makkink) referentieverdamping van haar 15 hoofdweerstations. De gewasfactoren f en f_z zijn voor de Makkink referentieverdamping (E_r) als jaargemiddelde afgeleid. De grootte van de verdampingsreductiefactor (r) is afhankelijk van het bodemtype, bodemfysische eigenschappen van de grond en grondwaterstand beneden maaiveld (Gt).

2.5 Grondwaterwinningen

De grondwaterwinningen, waarvan de grondwateronttrekking in 1988 groter dan of gelijk aan 50.000 m³ per jaar was, zijn verzameld. In tabel 3 zijn de grondwaterwinningen verdeeld naar type winning, met de totale onttrekking en infiltratie in 1988.

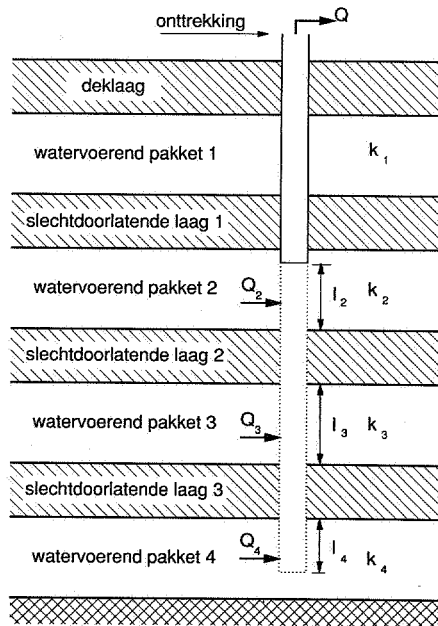
Tabel 3 Type winning, aantal, onttrekking en infiltratie in 1988

type winning	aantal		onttrekking		infiltratie	
		[%]	[10 ⁶ m ³ /jr]	[%]	[10 ⁶ m ³ /jr]	[%]
drinkwater	244	22	953	67	143	84
industrie	352	32	211	15	20	12
koelwater(> 50 %)	346	31	189	13	6	3
bemaling (tijdelijk)	97	9	33	2	0	0
overig	70	6	46	3	2	1
totaal	1109	100	1432	100	171	100

De data van de grondwateronttrekkingen zijn in ARC/INFO opgeslagen in een puntenkaart met een aantal attributen, waarvan de belangrijkste zijn:

- de x,y-coördinaat van de lokatie,
- de grootte van de onttrekking c.q. de infiltratie,
- het aantal pompputten van het puttenveld,
- de boven- en onderkant van het pompfilter, gemiddeld over het puttenveld.

AQ-FEM heeft als invoer nodig de lokatie en de grootte van de grondwateronttrekking per watervoerend pakket. Omdat de data van de grondwateronttrekkingen in ARC/INFO niet gerelateerd zijn aan de watervoerende pakketten, zijn de boven- en onderkant van de vier watervoerende pakketten en de doorlatendheid geïnterpoleerd vanuit de basiskaarten naar de locaties van de grondwateronttrekkingen en toegevoegd aan de kaart van de grondwateronttrekkingen. Vervolgens is de grondwateronttrekking verdeeld over de vier watervoerende pakketten naar ratio van het produkt van de doorlatendheid en de lengte van het pompfilter in het watervoerende pakket (figuur 3).



Figuur 3 Hydrologische schematisatie bij de berekening van de grondwateronttrekking per watervoerend pakket

De formule, die de grondwateronttrekking per watervoerend pakket beschrijft, luidt:

$$Q_i = \frac{k_i * l_i}{\sum_{i=1}^4 k_i * l_i} * Q \quad (8)$$

waarin:

- Q_i = grootte grondwateronttrekking uit het watervoerende pakket i [m^3/d],
- Q = grootte van de totale onttrekking [m^3/d],
- k_i = doorlatendheid van het watervoerende pakket i [m/d],
- l_i = lengte van putfilter in watervoerend pakket i [m].

Hierbij is aangenomen dat ter plaatse van slechtdoorlatende lagen geen pompfilter aanwezig is maar een zogenaamd blind stuk.

2.6 Grondwaterstijghoogten

Bij het grondwaterstromingsmodel is langs de modelrand een vaste stijghoogte als randvoorwaarde aangehouden. De stijghoogten op de modelrand zijn geïnterpoleerd op basis van de in het OLGA-bestand van IGG-TNO opgenomen gemeten waarden in de waarnemingsputten.

De data van de grondwaterstijghoogten zijn in ARC/INFO opgeslagen in een puntenkaart met een aantal attributen, waarvan de belangrijkste zijn:

- de x,y-coördinaat van de waarnemingsput,
- de boven- en onderkant van het waarnemingsfilter,
- de gemiddelde grondwaterstijghoogte van 1988.

Ook bij deze kaart zijn de boven- en onderkant van de vier watervoerende pakketten geïnterpoleerd vanuit de basiskaarten naar de locaties van de waarnemingsputten en als afzonderlijke attributen aan de kaart toegevoegd. Vervolgens is de stijghoogte aan één van de vier watervoerende pakketten toegekend.

3 CASE-STUDY IN HET KADER VAN BELEIDSPAN DRINK- EN INDUSTRIEWATERVOORZIENING EN BIJBEHORENDE MILIEU-EFFECTRAPPORT (BPDIV EN MER)

Grondwater is in Nederland een zeer belangrijke bron voor de openbare drinkwatervoorziening en voor de industrie. Ongeveer 65% van het drinkwater wordt bereid uit grondwater. Daarnaast onttrekt de industrie grondwater als proces- of koelwater, alsmede de landbouw ten behoeve van de beregening van landbouwgronden. De mogelijkheden voor de winning van grondwater zijn afhankelijk van een

belangenafweging. Een belangrijk aspect hierbij is de problematiek van de verdroging. De grondwaterwinning van 1 à 1,5 miljard m³ per jaar is één van de oorzaken van verdrogingsverschijnselen in van oorsprong natte en vochtige natuur- en bosgebieden, die afhankelijk zijn van (ondiepe) grondwaterstanden. In het BPDIV zal het rijksbeleid voor de lange termijn (30 jaar) worden vastgelegd met betrekking tot een duurzame veiligstelling van de drink- en industriewatervoorziening. Daarvoor is het noodzakelijk zo goed mogelijk te onderbouwen welke inzet van grondwater als bron voor de openbare watervoorziening (nog) mogelijk is. In het Milieu-effectrapport (MER) worden de uitgangssituatie en een aantal scenario's met betrekking tot de toekomstige drink- en industriewatervoorziening vanuit het grondwater beschreven. Ten behoeve van het MER is aan het RIVM gevraagd een methode te ontwikkelen, waarmee de schade aan en het herstel van de terrestrische natuur op landelijke schaal zichtbaar kan worden gemaakt als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding c.q. grondwateronttrekking. Voor het berekenen van de effecten op de natuur is de verandering van de freatische grondwaterstand van belang. De freatische grondwaterstand geeft de hoogte weer van de vrije grondwaterspiegel. Samen met de afstand tot het maaiveld en het capillaire opstijgingsvermogen is deze bepalend voor de vochtvoorziening van de vegetatie. Het LGM berekent niet rechtstreeks de freatische grondwaterstand. Daarom is de verandering in de grondwaterstijghoogte van het eerste watervoerende pakket vertaald naar een verandering in de freatische grondwaterstand met de formule (Projectgroep "West-Utrecht", 1982)

$$\Delta \varphi_0 = \frac{\gamma}{\gamma + c_0} * \Delta \varphi_1 \quad (9)$$

waarin:

- $\Delta \varphi_0$ = verandering freatische grondwaterstand [m],
- $\Delta \varphi_1$ = verandering grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket [m],
- γ = drainageweerstand [d],
- c_0 = weerstand van de afdekkende, slechtdoorlatende laag [d].

Voor het onderzoek ten behoeve van het BPDIV en MER is uitgegaan van 10 deelmodellen, waarmee het overgrote deel van Nederland waar zoet grondwater voorkomt in model is gebracht. De oostelijke delen van Twente en de Achterhoek zijn vanwege het vrijwel volledig ontbreken van een watervoerend pakket van enige betekenis niet in het model meegenomen. Door de zeer complexe geohydrologische situatie is bovendien Zuid Limburg niet gemodelleerd. Het totale modelgebied omvat 26.000 km², hetgeen ca 75% van het vasteland van Nederland is. In het modelgebied werd in 1988 in totaal 1000 miljoen m³ grondwater onttrokken door de waterleidingbedrijven, de industrie en de COAR-sector; dit komt overeen met circa 90% van de totale grondwateronttrekking in Nederland.

Met behulp van het LGM zijn acht scenario's doorgerekend (Pastoors, 1992b). Als

referentiescenario, de "huidige" situatie waarmee de andere scenario's zijn vergeleken, geldt de situatie van 1988, waarbij tijdsafhankelijke parameters een jaargemiddelde zijn. Verder is ervan uitgegaan, dat de grondwaterstroming stationair is.

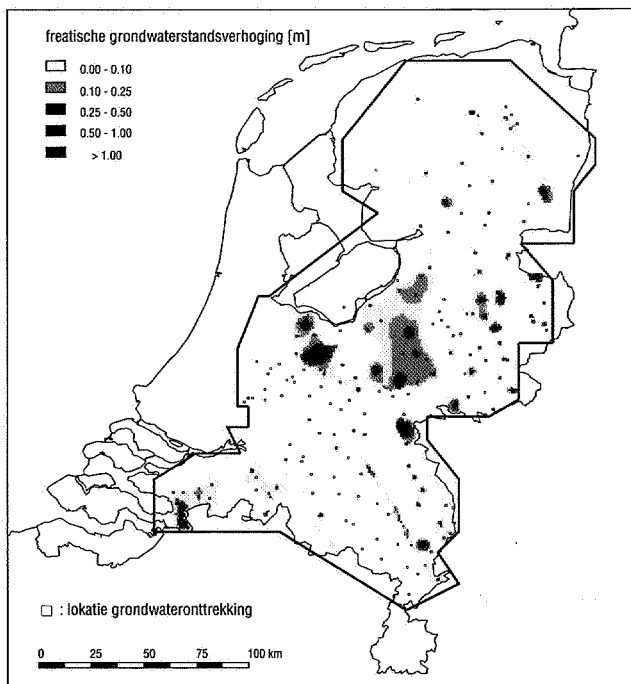
De varianten omvatten zowel de grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening als industriële winningen. Ook zijn scenario's doorgerekend, waarbij de grondwateronttrekkingen t.b.v. de drinkwatervoorziening zijn onderscheiden in freatische, semi-spanningswater en oevergrondwaterwinningen.

De acht scenario's zijn in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4 Omschrijving van de scenario's en de verandering in de onttrekking (ΔQ) in $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ tov de referentiesituatie van 1988

Scenario nummer	Omschrijving scenario	procentuele verandering tov 1988	ΔQ
1.	drinkwatervoorziening	+25%	+182
2.	drinkwatervoorziening	-25%	-182
3.	drinkwatervoorziening	-50%	-363
4.	industrie, koelwater en overig (COAR)	-50%	-129
5.	industrie, koelwater en overig (COAR)	-100%	-259
6.	drinkwatervoorziening (freatische winningen)	-100%	-219
7.	drinkwatervoorziening (semi-spanningswater winningen)	-100%	-480
8.	drinkwatervoorziening (oevergrondwaterwinningen)	-100%	-24

De industriële onttrekkingen hebben betrekking op de typen industrie, koelwater en overige onttrekkingen, dus zonder de (tijdelijke) bemalingen. De veranderingen van de grondwateronttrekking hebben betrekking op de huidige winplaatsen. Er heeft geen reallocatie van grondwaterwinningen plaats gevonden. Hier zullen enkele resultaten van de scenario's 2 en 4 worden getoond. In scenario 2 zijn de grondwaterwinningen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening met de helft gereduceerd. De totale onttrekking op de 197 winplaatsen is met ca. 182 miljoen m^3 per jaar terug gebracht tot 543 miljoen m^3 per jaar. Het gebied, waarbinnen een verhoging van de freatische grondwaterstand optreedt is ruim 6800 km^2 groot. In figuur 4 zijn de ruimtelijke verbreiding en de grootte van de freatische grondwaterstandsverhoging weergegeven.

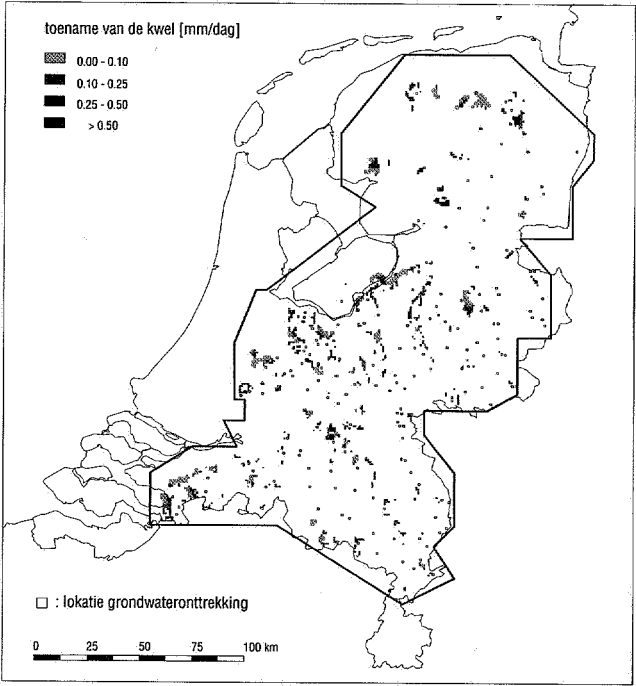


Figuur 4 Gebieden met een verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinwatervoorziening met 25%

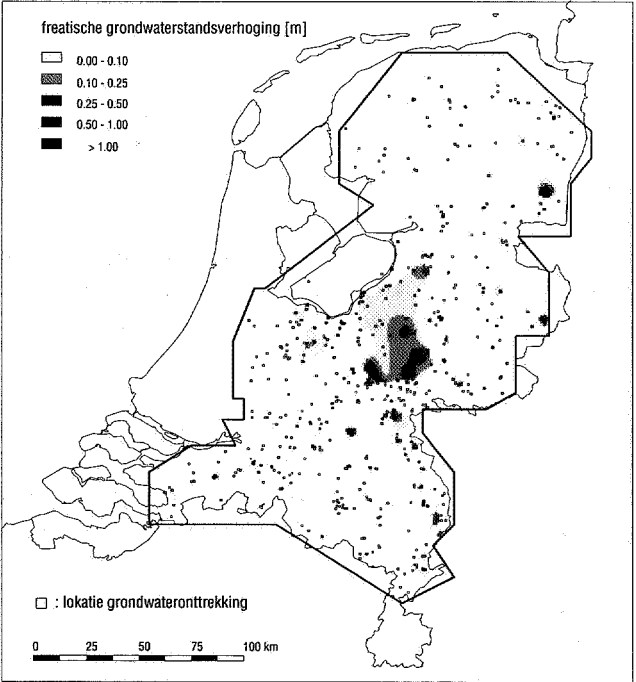
Een vermindering van de grondwateronttrekking heeft tot gevolg dat de infiltratie vanuit het oppervlaktewater afneemt en de kwel naar het oppervlaktewater toeneemt. Ook kan een omslag van infiltratie naar kwel plaatsvinden. Figuur 5 toont het ruimtelijke beeld van de toename van de kwel.

In scenario 4 gaat het om 575 industriële onttrekkingslocaties (de typen industrie, koelwater en overig uit tabel 4) met een totale grondwateronttrekking van 259 miljoen m^3 per jaar. Alle industriële winningen zijn gehalveerd, hetgeen betekent dat bijna 130 miljoen m^3 minder grondwater wordt onttrokken ten opzichte van de situatie in 1988.

Figuur 6 toont het ruimtelijke beeld en de grootte van de freatische grondwaterstandsverhoging.

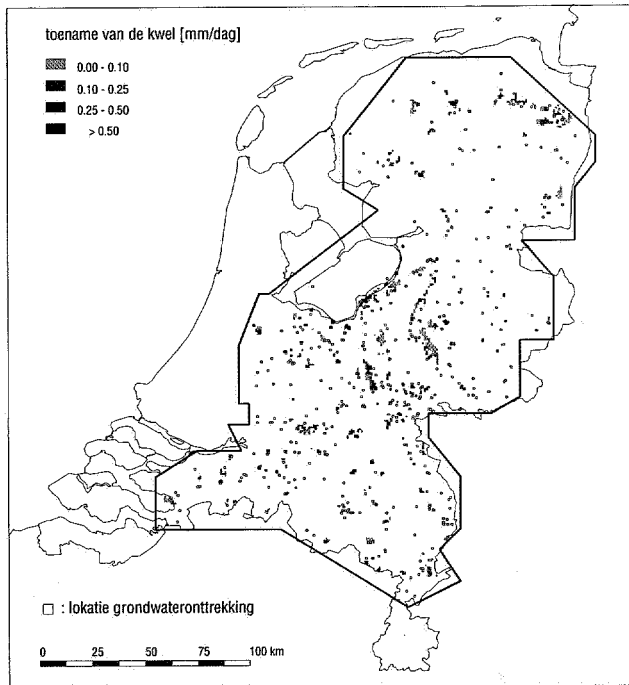


Figuur 5 Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25%



Figuur 6 Gebieden met een verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie met 50%

Het ruimtelijke beeld en de grootte van de kweltoename zijn weergegeven in figuur 7.



Figuur 7 Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie met 50%

Uit beide scenario's blijkt dat delen van de stuwwallen, met daarin een aantal grote grondwaterwinningen, duidelijk naar voren komen als gebieden waarbinnen de freatische grondwaterstand met meer dan 10 cm stijgt. Voor de toename van de kwel is het beeld wat minder geprononceerd dan dat van de gemiddelde freatische grondwaterstandsverhoging. Niet alleen de randgebieden van de stuwwallen maar ook de poldergebieden zijn nu gebieden waarin de kwel aan veranderingen onderhevig is. Zo zijn de randgebieden van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug, het westelijke deel van West Brabant en Utrecht en een deel van Friesland en Groningen duidelijk terug te vinden als gebieden waarin de kwel toeneemt. In tabel 5 is de verhoging van de freatische grondwaterstand samengevat. In tabel 6 is de toename van de kwel weergegeven.

Tabel 5 Gebied (km²) met verhoging van de freatische grondwaterstand

$\Delta\varphi_0$ [m]	aantal km ² bij scenario 2	aantal km ² bij scenario 4
0,00 - 0,10	5261	4371
0,10 - 0,25	1149	565
0,25 - 0,50	300	223
0,50 - 1,00	116	36
1,00 - 2,50	7	4
$\geq 2,50$	0	0
totaal	6833	5199

Tabel 6 Gebied (km²) met toename van de kwel

Δq_0 [mm/dag]	aantal km ² met toename van de kwel bij scenario 2	aantal km ² met toename van de kwel bij scenario 4
0,00 - 0,10	3028	2155
0,10 - 0,25	174	83
0,25 - 0,50	25	10
0,50 - 1,00	2	1
$\geq 1,00$	0	0
totaal	3229	2249

4 CASE-STUDY IN HET KADER VAN MILIEUTHEMA "VERDROGING" IN DE MILIEUVERKENNING-3 (MV-3) EN DE EVALUATIE NOTA WATER (ENW)

Volgens de motie Lansink/van Rijn-Vellekoop moet in het jaar 2000 de verdroging met 25% zijn teruggedrongen ten opzichte van het verdroogde areaal in 1985. Voor de Milieuverkenning 3 (RIVM, 1993) en de Evaluatie Nota Water (V&W, 1993) is aangegeven aan welke type maatregelen (aard, omvang en locatie) moet worden gedacht om deze verdroging van natuurgebieden in Nederland tegen te gaan, de natuurwinst die met deze maatregelen kan worden behaald en de kosten die met de beoogde maatregelen zijn gemoeid. Het RIVM en het RIZA hebben deze studie verricht, in samenwerking met de Landinrichtingsdienst en het Vakberaad Grondwater van het IPO. Het onderzoek is met name bedoeld om de orde van grootte van de kosten aan te geven.

Het RIVM en het RIZA hebben in samenwerking met het Vakberaad Grondwater de verdroogde gebieden in Nederland geïnventariseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten van de IVM-studie naar de verdroging van natuur en landschap in Nederland (Braat et al., 1989). Verder is voor de ligging van verdrogingsgevoelige natuurgebieden de zogenaamde Natuurwaardekaart van het ministerie van LNV gebruikt (Bakker et al., 1989). De provincies hebben de bekende en erkende verdroogde natuurgebieden in kaart gebracht en tevens de prioritaire gebieden voor herstel aangegeven. Deze prioritaire gebieden beslaan ca 35% van het totale verdroogde areaal natuurgebied in Nederland. Voor deze gebieden is een maatregelen pakket opgesteld om de verdroging "modelmatig" aan te pakken. De maatregelen, die in het grondwaterstromingsmodel zijn gesimuleerd, zijn:

- reductie grondwaterwinning ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening in of nabij natuurgebieden,
- verhogen van het oppervlaktewaterpeil in de poldergebieden,
- verhogen van het de stuw- en beekpeilen in de vrij afwaterende gebieden,
- verlagen van de drainageweerstand en het verhogen van de ontwateringsbasis in de vrij afwaterende gebieden.

Bij het berekenen van de freatische grondwaterstandsverandering moet nu ook rekening worden gehouden met het verhogen van het oppervlaktewaterpeil in de poldergebieden volgens de formule:

$$\Delta \varphi_0 = \frac{\gamma * \Delta \varphi_I + c_0 * \Delta PP}{\gamma + c_0} \quad (10)$$

waarin:

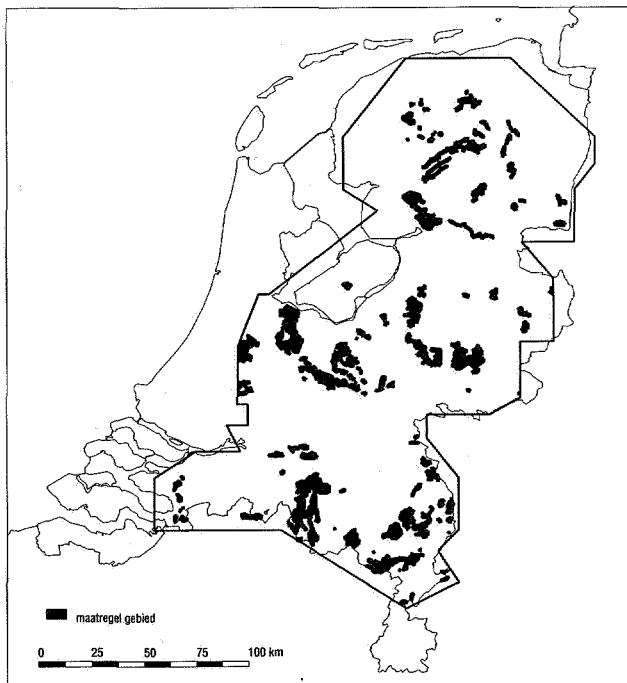
- $\Delta \varphi_0$ = verandering freatische grondwaterstand [m],
- $\Delta \varphi_I$ = verandering grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket [m],
- ΔPP = verandering van het oppervlaktewaterpeil in de poldergebieden [m],

γ = drainageweerstand [d],

c_0 = weerstand van de afdekkende, slechtdoorlatende laag [d].

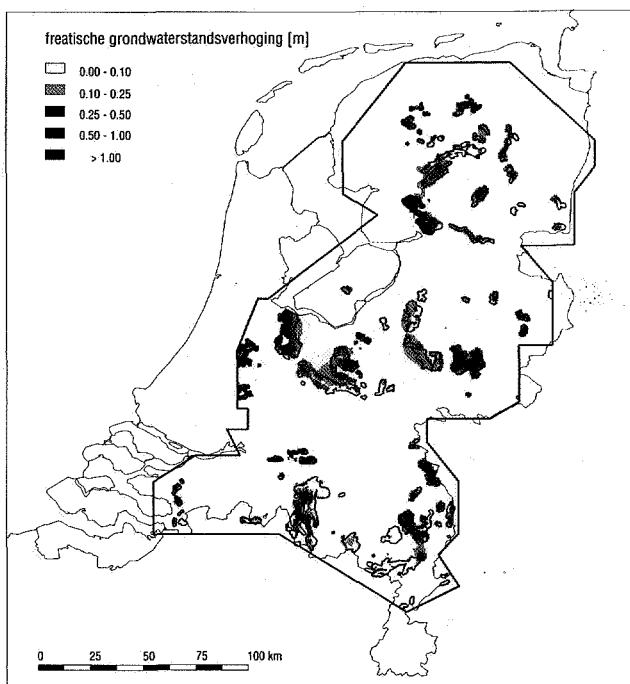
Het pakket maatregelen is doorgerekend voor het hetzelfde modelgebied als voor de studie van het BPDIV en de MER. Binnen het modelgebied van het LGM ligt 1186 km² van het met prioriteit te herstellen verdroogde natuurgebieden. Dit is 28% van areaal verdroogde natuurgebieden. Om de verdroging op te heffen is het treffen van maatregelen binnen alleen het natuurgebied niet voldoende. In het model is om het natuurgebied een zone van 500 meter aangehouden waarbinnen ook hydrologische maatregelen zijn uitgevoerd om in de natuurgebieden herstel te realiseren. Het herstelgebied in het model wordt door deze zone ca 2490 km² groot.

Van de ca 2490 km² ligt ca 590 km² binnen het poldergebied en 1900 km² in het vrij afwaterend gebied. In figuur 8 zijn de gebieden aangegeven, waarin hydrologische maatregelen in het model zijn aangebracht.



Figuur 8 Gebieden waarin in het model hydrologische maatregelen zijn aangebracht (herstelgebieden)

Figuur 9 toont de berekende verhoging van de freatische grondwaterstand als gevolg van de waterhuishoudkundige maatregelen. In de poldergebieden is de verhoging gelijk of iets lager dan de opgelegde peilverhoging in het oppervlaktewater. In het vrij afwaterende gebied ligt de verhoging tussen de 5 en 50 cm.

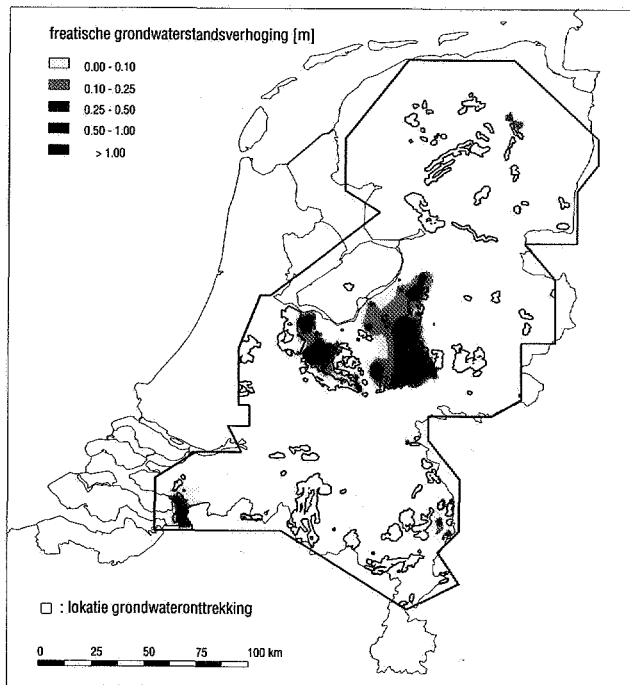


Figuur 9 Gebieden met een verhoging van de freatische grondwaterstand, als gevolg van waterhuishoudkundige maatregelen in de herstelgebieden

Figuur 10 geeft de berekende verhoging van de freatische grondwaterstand weer door reductie van een aantal grondwateronttrekkingen door waterleidingbedrijven. Het gaat hier om winningen op en rond de stuwwallen van de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug en de Brabantse Wal. Daarnaast zijn twee grondwaterwinningen in de nabijheid van de Drentsche Aa in het onderzoek betrokken.

Figuur 11 presenteert het totaal effect van de combinatie van waterhuishoudkundige maatregelen in de herstelgebieden en reductie van de grondwateronttrekkingen.

Het blijkt dat in veel gevallen de grondwaterstand in voldoende mate kan worden hersteld om de hydrologische verdroging op te heffen. In ca 176 km², gelegen in het vrij afwaterende gebied, is dit niet het geval. Hiervoor zullen aanvullende, relatief dure maatregelen nodig zijn, om het grondwater op het gewenste niveau te brengen, zoals bijvoorbeeld de aanvoer van water van elders.



Figuur 10 Gebieden met verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van enkele grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 50%

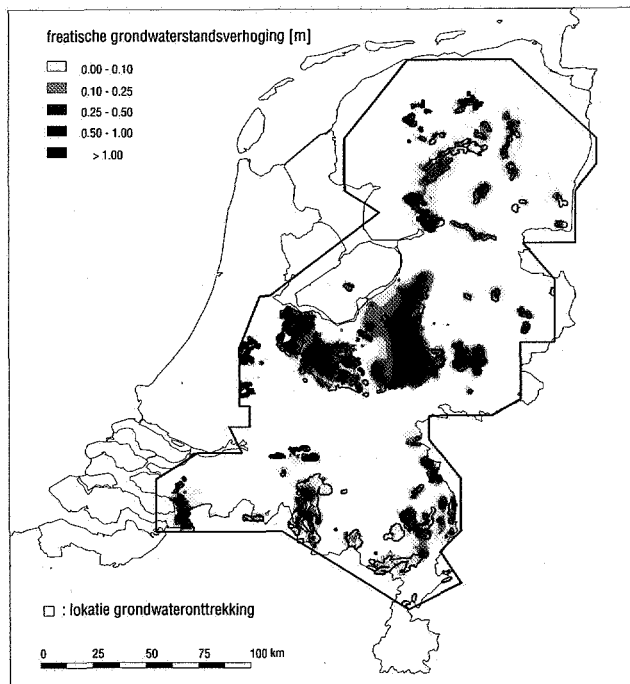
5 DISCUSSIE

Het onderzoek in de case studies is gericht geweest op het landsdekkend beschikbaar krijgen van hydrologische effecten, die optreden als gevolg van veranderingen in de waterhuishouding en de grondwateronttrekkingen. De onderzoeken hadden een vergelijkend karakter, waarbij de resultaten qua nauwkeurigheid en betrouwbaarheid onderling vergelijkbaar moesten zijn.

Het GIS is een zeer bruikbaar instrument gebleken bij het modelleren van grote gebieden, waarbij veel ruimtelijk verdeelde parameters een rol spelen. Het GIS biedt mogelijkheden om snel en efficiënt input data te verifiëren, berekende en gemeten waarden met elkaar te vergelijken, en berekeningsresultaten uit verschillende scenario's met elkaar te vergelijken.

Ook het maken van een nieuw model voor een gebied waarvan de data al beschikbaar zijn is relatief eenvoudig. Het genereren van een nieuw netwerk, waaraan de modeldata moeten worden toegekend, is voldoende. Het LGM is dermate flexibel dat ook andere

toepassingen (scenario's, lokale detaillering) zonder omvangrijke ingrepen in de modelstructuur mogelijk zijn.



Figuur 11 Gebieden met een verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij afname van enkele grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 50% en bij waterhuishoudkundige maatregelen in herstelgebieden

Het LGM zal ook worden ingezet bij het voorspellen van de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit en de daarmee samenhangende ruwwaterkwaliteit op grondwaterwinplaatsen. Het beschikt daartoe tevens over een moduul, waarmee concentraties in het grondwater kunnen worden berekend.

Bij de verdere ontwikkelingen van het LGM is meer ruimte gereserveerd voor een analyse van de betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten. Op deze wijze kunnen gemaakte aannamen, zoals de schematisering, vereenvoudiging, gebruikte parameterwaarden e.d., worden geverifieerd. Verder zal het LGM worden uitgebreid met de mogelijkheid om de effecten van zoet/zout grondwater in rekening te kunnen brengen, zodat ook berekeningen kunnen worden uitgevoerd, waarbij deze effecten een rol kunnen spelen (bijv. de kuststreek van Nederland).

LITERATUUR

- BAKKER, J.J., B. VAN DESSEL, F.J. ZADELHOFF; 1988. Natuurwaardenkaart, Natuurgebieden, bossen en natte gronden in Nederland. Ministerie van LNV
Achtergrondreeks NBP nr. 7
- BEUGELINK, G.P., F.A.M. CLAESSEN, J.H.C. MÜLSCHLEGEL; 1992. Effecten op natuur van grondwaterwinning ten behoeve van Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening en MER. RIVM-rapport 714305010. RIZA-nota nr.92.059
- BRAAT, L.C., A.R. VAN AMSTEL, A.C. GARRITSEN, C.R. VAN GOOL, N. GREMMEN, C.L.G. GROEN, H.L.M. ROLF, J. RUNHAAR, J. WIERTZ; 1989. Verdroging van Natuur en Landschap in Nederland, IVM, CML, DGV-TNO, RINMi
nisterie van V&W
- ERNST L.F.; 1962. Grondwaterstroming in de verzadigde zône en hun berekeningen bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Proefschrift, R.U. Utrecht.
- KOVAR, K., A. LEIJNSE, J.B.S. GAN; 1992. Groundwater Model for The Netherlands. Mathematical Model Development and User's Guide
RIVM-rapport 714305002
- LIESTE, R., J.G.W. VERLOUW; 1992. Het gebruik van een Geografisch Informatie Systeem ten behoeve van het Landelijk Grondwater Model. RIVM-rapport 714305003
- PASTOORS, M.J.H.; 1992a. Landelijk Grondwater Model; conceptuele modelbeschrijving RIVM-rapport 714305004
- PASTOORS, M.J.H.; 1992b. Landelijk Grondwater Model; berekeningsresultaten
RIVM-rapport 714305005
- PROJECTGROEP "WEST-UTRECHT"; 1982. Mogelijke lokaties voor diepe grondwaterwinning in West-Utrecht.

COMMISSIE VOOR HYDROLOGISCH ONDERZOEK TNO
RAPPORTEN EN NOTA'S

- No. 1. **Tweede rapport en aanbevelingen van de Contactgroep Archivering en Automatische Verwerking van hydrologische gegevens TNO.**
Januari 1977.
- No. 2. **Verslag en aanbevelingen van de ad hoc-Groep Grondwatermodellen en Computerprogrammatuur TNO.**
Juli 1978.
- No. 3. **De droogte in 1976.**
Een samenvatting en overzicht van de over de droogte van 1976 verschenen literatuur - P.K.M. v.d. Heijde.
Augustus 1978.
- No. 4. **Nederlandse activiteiten in internationaal hydrologisch verband.**
Lezingserie, gehouden op 25 april 1978 te Delft, aangevuld met (schematische) overzichten van internationale organisaties en een overzicht van hun vertegenwoordigers in Nederland.
Augustus 1978.
- No. 5. **Waterkwaliteit in grondwaterstromingsstelsels.**
Verslag van de Workshop op 1 en 2 april 1980 te Wageningen - (red. J.C. Hooghart), aangevuld met discussiebijdragen en een inventarisatie van het onderzoek in Nederland.
Augustus 1980.
- No. 6. **Derde rapport en aanbevelingen van de Contactgroep Archivering en Automatische verwerking van hydrologische gegevens TNO.**
Februari 1981.
- No. 7. **Overzicht van de wensen van hydrologen en waterbeheerders ten aanzien van het operationele regenwaarnemingennet van het KNMI - J.C. Hooghart.**
Oktober 1981.
- No. 8.*) **Verklarende Hydrologische Woordenlijst van de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie.**
8a. I. Water in de onverzadigde zone
II. Water in de verzadigde zone
Januari 1982.
8b. III. Atmosferisch water
Juni 1983.
8c. IV. Oppervlaktewater
Maart 1985.

*) Verouderd: vervangen door Rapporten + Nota's no. 16.

- No. 9. **Waterkwaliteit en waterkwantiteit in het IJsselmeergebied.**
Verslag van de 2e CHO-studiebijeenkomst op 2 en 3 november 1981, De Eemhof, Zuidelijk Flevoland - (red. J.C. Hooghart), aangevuld met discussiebijdragen.
Februari 1982.
- No. 10. **Rapport en aanbevelingen**
van de **Contactgroep Grondwatermodellen, CHO-TNO.**
April 1982.
- No. 11. **Inventarisatie Grondwaterkwaliteitsmodellen.**
L.J.M. Boumans.
Oktober 1982.
- No. 12. **Grondwaterkwaliteit in relatie met onderzoek en beleid.**
Verslag van de 3e CHO-studiebijeenkomst op 15 maart 1983 te Wageningen - (red. J.C. Hooghart), aangevuld met discussiebijdragen.
Juni 1983.
- No. 12a. **Voorlopig overzicht van inventarisaties waarin grondwater(kwaliteits)-modellen voorkomen of hiermee in verband staan.**
J.C. Hooghart.
Januari 1984.
- No. 13. **Vergelijking van modellen voor het onverzadigd grondwatersysteem en de verdamping.**
Verslag van de 4e CHO-studiebijeenkomst op 24 oktober 1984, georganiseerd in samenwerking met de Studiegroep Hupselse Beek - (red. J.C. Hooghart).
Maart 1985.
- No. 14. **Metten, meetnetten en optimale meetnetontwerpen ten dienste van het waterbeheer.**
Verslag van:
 - Voorjaarsbijeenkomst van de KIVI Sectie Waterbeheer:
"Meten voor waterbeheer", mei 1984.
 - Colloquium van de Studiegroep Statistiek in de hydrologie CHO-TNO:
"Meetontwerp en optimalisatie", november 1984.
(red. P. v.d. Kloet en J.C. Hooghart).
Januari 1986.
- No. 15. **Het hydrologisch systeem in het grensgebied Luik-Maasbracht.**
Le système hydrologique dans la région frontalière Liège- Maasbracht.
Verslag van de 5e CHO-studiebijeenkomst op 13 december 1985, georganiseerd in samenwerking met de Nationale IHP-comité's van België en Nederland en de Contactgroep Hydrologie van het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek uit België.
(red. J.C. Hooghart).
April 1986.

- No. 16. **Verklarende Hydrologische Woordenlijst** van de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, waarin opgenomen de hoofdstukken:
I Algemene termen
II Atmosferisch Water
III Water in de onverzadigde zone
IV Water in de verzadigde zone
V Oppervlaktewater
Oktober 1986, hernieuwde uitgave.
- No. 17. *) **Duurzaamheid rioolleidingen; een literatuurstudie naar aantastingsmechanismen.**
R.B. Polder.
Februari 1987.
*) Uitverkocht.
- No. 18. **Ruimtelijke variabiliteit van bodem en water.**
Verslag van de 6e CHO-studiebijeenkomst op 22 oktober 1986.
(red. J.C. Hooghart).
Februari 1987.
- No. 19. **Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen.**
Eindrapport van de KNMI-Projectgroep en de CHO-Begeleidingsgroep Verdampingsberekeningen.
(red. J.C. Hooghart en W.N. Lablans).
December 1988.
- No. 20. **Tijdreeksen in bodem en water.**
Inleidingen van de lezingendag op 25 januari 1989 van de NRLO-Werkgroep Ruimtelijke variabiliteit in bodem en water en de Studiegroep Statistiek in de Hydrologie van de CHO-TNO.
December 1988.
- No. 21. **Neerslagmeting en -voorspelling; toepassing van modern technieken, zoals radar- en satellietwaarnemingen.**
Verslag van de 7e CHO-studiebijeenkomst, georganiseerd in samenwerking met SAMWAT, op 16 november 1988.
(red. J.C. Hooghart).
Februari 1989.
- No. 22. **Integraal Waterbeheer in het Goois/Utrechts stuwwallen- en plassen gebied.**
Verslag van de op 7 april 1989 in Bussum gehouden themadag, georganiseerd door het Zuiveringschap Amstel en Gooiland en de Provincie Utrecht, in samenwerking met de CHO-TNO.
(red. L. van Liere, R.M.M. Roijackers en P.J.T. Verstraelen).
Augustus 1989.
- No. 23. **Bodemwaterkwaliteit in wisselwerking met biologische, chemische en hydrologische processen.**
Verslag van de 8e CHO-studiebijeenkomst op 8 mei 1990.
(red. J.C. Hooghart)
September 1990.

- No. 24. **Ruimtelijke statistiek van bodem en water.**
Inleidingen van de lezingendag op 24 januari 1991 van de NRLO-werkgroep Ruimtelijke variabiliteit van bodem en water en de Studiegroep Statistiek in de Hydrologie van de CHO-TNO.
(red. J.C. Hooghart)
Januari 1991.
- No. 25. **Geo-informatie in Nederland.**
Inleidingen van de lezingendag op 2 mei 1991 in samenwerking met het Samenwerkingsverband Aardkundige Gegevensverstreckende Instituten (SAG II).
(red. J.C. Hooghart)
Mei 1991.
- No. 26. **Het hydrologisch systeem in het grensgebied Luik-Maasbracht; onderzoeks-resultaten 1985-1990.**
Le système hydrologique dans la région frontalière Liège-Maasbracht; résultats des recherche 1985-1990.
Verslag van de 9e CHO-studiebijeenkomst op 9 januari 1991, georganiseerd in samenwerking met de Nationale IHP-comité's van België en Nederland en de Contactgroep Hydrologie van het Nationaal Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek uit België.
(red. J.C. Hooghart).
Augustus 1991.
- No. 27. **Richtlijnen voor ontwikkeling van computerprogrammatuur in de hydrologie.**
Eindrapport van de CHO-Werkgroep Richtlijnen Computerprogrammatuur Hydrologie.
(red. J.C. Hooghart, K. Kovar en J.M.P.M. Peerboom)
Oktober 1992.
- No. 28. **Integraal (water)beheer in de praktijk gebracht.**
Verslag van de op 7 april 1992 in Amsterdam gehouden themadag, met aanvullingen.
(red. R.M.M. Roijackers, P.J.T. Verstraelen en L. van Liere).
December 1992.
- No. 29. **HYDRO - LOGISCH; wetenschap en toepassing.**
Verslag van het symposium op 5 oktober 1992 ter gelegenheid van het afscheid van H.J. Colenbrander van de CHO-TNO.
(red. J.C. Hooghart en C.W.S. Posthumus).
Oktober 1992.
- No. 30. **Proceskennis en statistiek in bodem en water.**
Inleidingen van de lezingendag op 21 januari 1993 van de NRLO-werkgroep Ruimtelijke variabiliteit van bodem en water en de Studiegroep Statistiek in de Hydrologie van de CHO-TNO.
(red. J.C. Hooghart).
Januari 1993.

- No. 31. **Schaalproblemen in de hydrologie.**
Verslag van de 10e CHO-studiebijeenkomst op 15 december 1992.
(red. J.C. Hooghart)
Maart 1993.
- No. 32. **Gebruik van GIS bij grondwatermodellering.**
Inleidingen van de lezingendag op 5 oktober 1993 van de Contactgroep
Grondwatermodellen en GIS van de CHO-TNO.
(red. J.C. Hooghart).
Oktober 1993.

Voor bestellingen en informatie:

CHO-TNO
Postbus 6067
2600 JA DELFT
Telefoon: 015 - 69 72 81

