Aanpak en gegevensverwerking bij grondwatermodellering, toegepast bij onderzoek naar de invloed van de Duitse bruinkoolwinning

1 Inleiding

Dit artikel beschrijft een aantal bestanden die door ons zijn gemaakt en die zijn gebruikt bij de uitwerking van een complex grondwatervraagstuk, namelijk de invloed van grondwateronttrekkingen ten behoeve van de Duitse bruinkoolwinning in de Roerdalslenk op de grondwaterhuishouding in Nederland. Het gemodelleerde gebied tussen Weert en Euskirchen is met zijn 3.000 km² niet alleen groot, maar bovenal complex door het grote aantal watervoerende pakketten en de vele, belangrijke geologische breuken.



IR. TH. N. OLSTHOORN
(RIVM/LBG)



ING. A. A. M. KUSSE
(RIVM/LBG)

De gepresenteerde bestanden vormden een zeer belangrijke schakel in het project en waren onzes inziens essentieel in het beheersbaar houden van de modelcomplexiteit. De in dit artikel beschreven aanpak is vrij algemeen toepasbaar en verdient onzes inziens om deze reden bredere belangstelling.

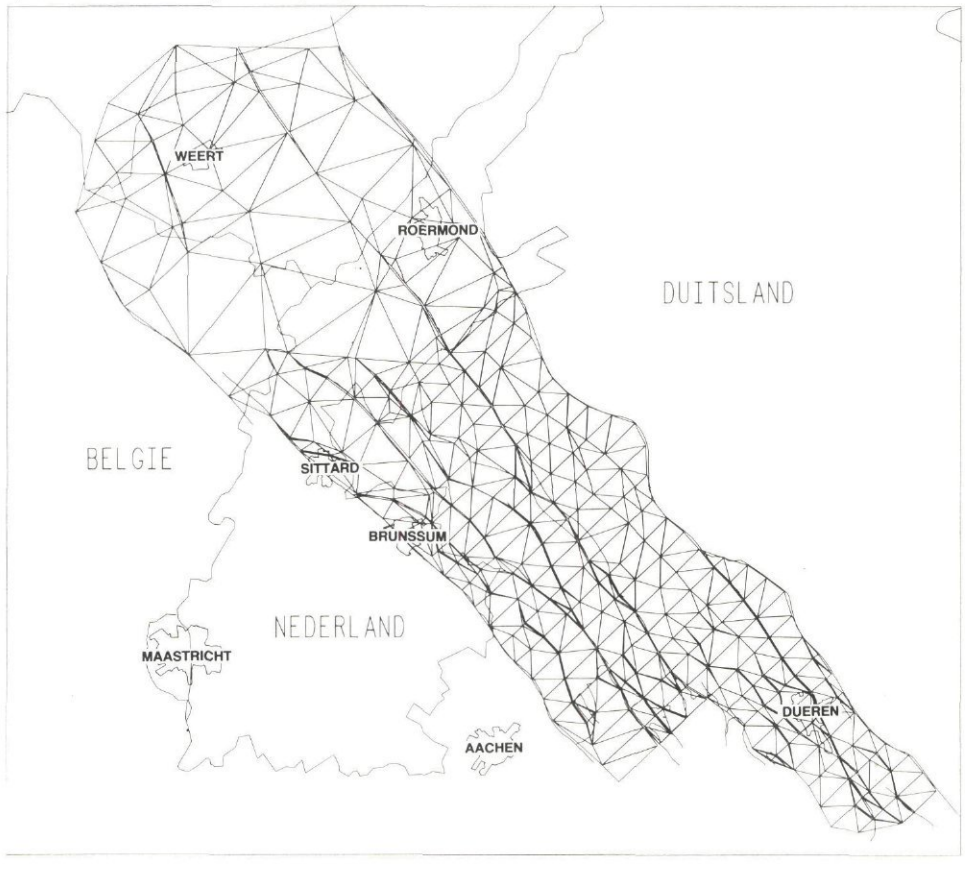
2. Hydrologie van de Duitse bruinkoolwinning

In de Niederrheinische Bucht bevindt zich 55 miljard ton bruinkool, waarvan er 35 miljard winbaar wordt geacht. Deze winning vindt plaats in enorme open groeven, die stuk voor stuk een oppervlakte bereiken in de orde van vierkante kilometers en momenteel tot 300 m beneden maaiveld gaan. In de toekomst zal plaatselijk zelfs een diepte van 600 m worden bereikt.
Het behoeft geen betoog, dat voor het drooghouden van deze groeven enorme bemalingen noodzakelijk zijn. Het totale waterbezwaar beloopt gemiddeld dan ook 1,2 miljard m³ per jaar, waarvan het grootste deel via het oppervlaktewater wordt afgevoerd.
Grote, over het geheel genomen zeer slecht doorlatende geohydrologische breuken verdelen de Niederrheinische Bucht in afzonderlijke compartimenten: Rurscholle (of Roerdalslenk), Venloslenk, Kölner Scholle, Ville-Scholle en Erft-Scholle.
Het door ons gemodelleerde compartiment Roerdalslenk (afb. 1) is in het zuiden afgesloten door de breuk genaamd Feldbiss, waarachter zich in hoofdzaak vast gesteente bevindt. In het noorden wordt de Roerdalslenk begrensd door de Peelrandbreuk (overgaand in de Rurrand) waarachter zich de Erftscholle bevindt. De Roerdalslenk vormt zo, met zijn breedte van slechts 25 km, een langgerekt grondwaterbassin dat zich uitstrekt van Bonn tot Weert en vandaar, onder de naam 'Centrale Slenk', tot ver in Noord-Brabant reikt.
In deze situatie ligt het in de lijn der verwachtingen, dat de verlagingen door de droogmaling van de bruinkoolgroeven in het Duitse deel van deze Roerdalslenk enerzijds tot de slenk beperkt blijven, doch zich anderzijds tot in Nederland zullen kunnen uitstrekken. Om deze reden kon de studie vooralsnog beperkt blijven tot de Roerdalslenk.
Uit de geologische doorsnede (afb. 2) blijkt dat de slenk ook zelf nog weer is verdeeld door een aantal breukvlakken. Bovendien blijkt de ondergrond opgebouwd uit een groot aantal etages. Voegen we daaraan toe dat het modelgebied een oppervlakte beslaat van ongeveer 3.000 km², dan kan met recht van een complex vraagstuk worden gesproken. In een dergelijke situatie is het nuttig en noodzakelijk tevoren goed na te denken over de te volgen aanpak en de daarbij behorende consequenties.
In dit artikel wordt de gegevensverwerking beschreven die voor de modelstudie, die is uitgevoerd door het Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek van het RIVM, nodig was. Door deze vorm van gegevensverwerking kon de noodzakelijke flexibiliteit bij de modellering worden bereikt.
De bruinkoolstudie is uitgevoerd in samenwerking met:
Provinciale Waterstaat van de provincie Limburg, Maastricht;
Geologisch Bureau, Heerlen;
Rijkswaterstaat, afdeling Maas, Maastricht;
Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

3. Vergelijking oude en nieuwe werkwijze

Hierna wordt een overzicht gegeven van de gebruikelijke manier van werken bij het modelleren van grondwaterregimes. Het is ook de methode die wij voorheen hebben toegepast. Voor het onderhavige project zou zij niet meer toereikend zijn, terwijl ook de huidige stand van de ontwikkelingen op het gebied van de informatica welhaast dwingend een nieuwe aanpak voorschreven.
De werkwijze die tot nu toe door de meeste hydrologen wordt toegepast ter realisatie van een grondwatermodelleringproject kan als volgt worden getypeerd:
1. hij/zij maakt een begroting en een projectplan op basis van ervaring, intuïtie en summier vooronderzoek;
2. kiest onmiddellijk het model dat zal worden gebruikt;
3. kiest direct het modelnetwerk, dat wil zeggen het elementennetwerk;

Afb. 1 - Overzicht modelgebied met geologie-netwerk.



4. inventariseert de gegevens op basis van en gericht op het gekozen elementennetwerk;
5. kalibreert en rekent;
6. rapporteert.

Hier tegenover kan de situatie worden geschetst waarmee de hydroloog bij de aanvang van een complex vraagstuk wordt geconfronteerd:

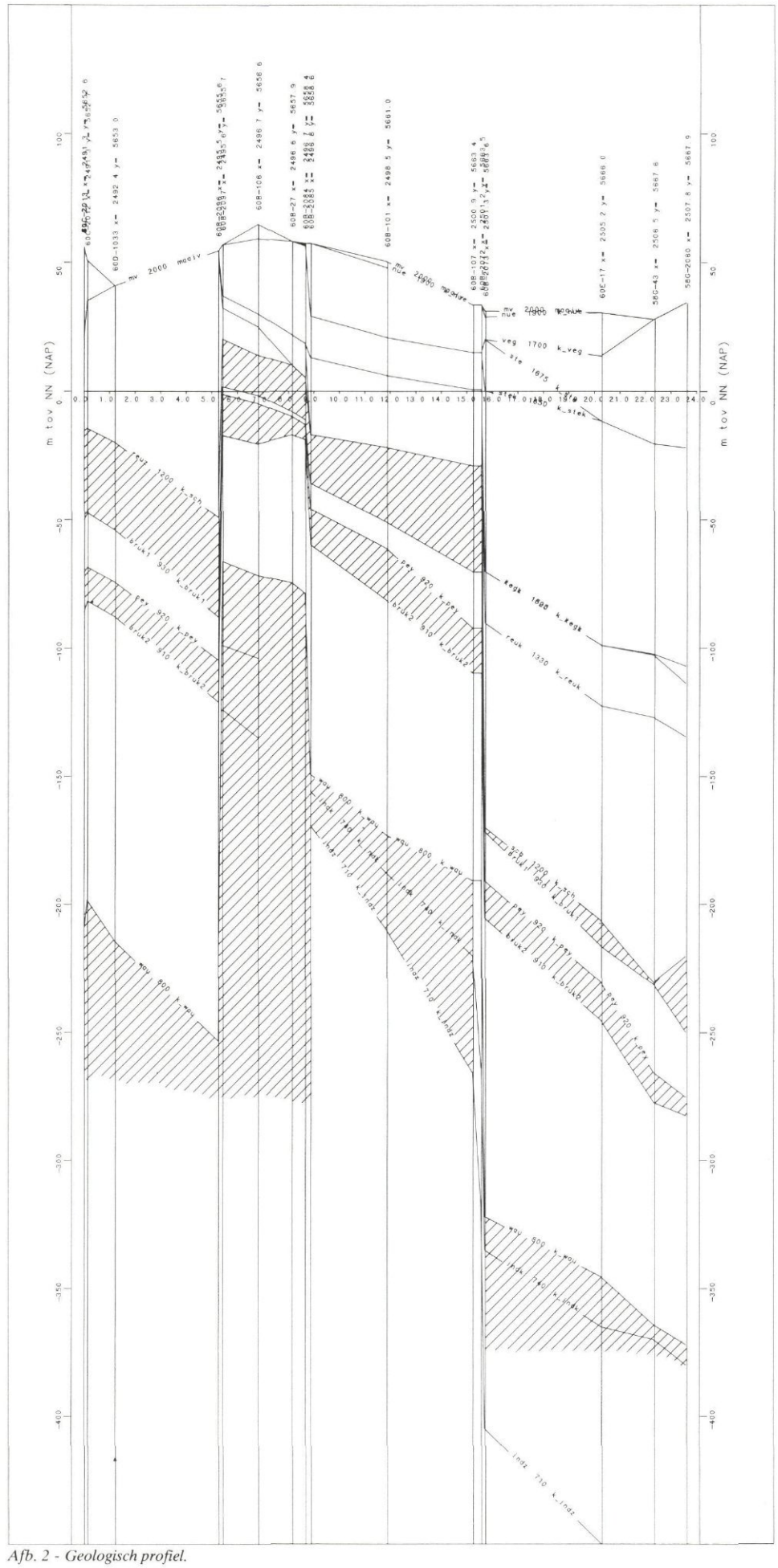
1. er zijn te weinig gegevens voorhanden;
2. er is nog te weinig inzicht in het te modelleren systeem;
3. de gewenste detaillering is vaag;
4. de te beantwoorden vragen zijn niet geheel te voorzien;
5. de kalibratie-inspanning is nog nauwelijks te overzien.

Het zal duidelijk zijn, dat er een discrepantie bestaat tussen de gebruikelijke aanpak enerzijds en de aangetroffen situatie anderzijds. Er kan in zekere zin zelfs van een dilemma worden gesproken. Immers, met de boven aangeduide 'klassieke' werkwijze legt men zich vast voor de duur van het project en dat op een moment dat nog veel te weinig zicht bestaat over het verloop van het project. Op deze manier wordt de basis gelegd voor een groot aantal bekende problemen:

1. latere detaillering vergt een nieuw netwerk en zal nauwelijks meer mogelijk zijn, omdat de inventarisatie en de bewerking op het oude netwerk waren toegespitst;
2. onvoorziene vragen kunnen aanpassingen en herinventarisatie noodzakelijk maken, waarbij het vorige punt van toepassing wordt;
3. nieuwe inzichten in het systeem kunnen nauwelijks worden verwerkt, bijvoorbeeld als blijkt dat de indeling in watervoerende pakketten achteraf aanpassing verdient of wanneer de eerst veronderstelde randvoorwaarden niet goed gekozen blijken te zijn;
4. nieuwe informatie kan moeilijk in het model worden opgenomen;
5. 'met-de-hand' uit rapporten overgenomen en naar modelinvoer omgezette informatie is lang niet altijd reproduceerbaar;
6. omdat later niemand weet hoe de modelinvoer precies tot stand is gekomen en op welke gegevens zij precies is gebaseerd, verdwijnt deze na afloop van het project, in verreweg de meeste gevallen, in de vuilnisbak.

Daar dit soort problemen op zichzelf altijd al duidelijk was, worden doorgaans maatregelen getroffen om de schade zoveel mogelijk te beperken. Een methode die hierbij veelvuldig wordt toegepast is het gebruik van een groot aantal kleine elementen, een fijnmazig elementennetwerk dus. Op deze wijze wordt er voor gezorgd dat in een aantal toekomstige vragen en detailleringskwesties bij voorbaat is voorzien. Andere problemen blijven echter onverminderd optreden.

Veel regionale grondwatermodellen vertonen plaatselijk of in het gehele model dergelijke netwerkverfijningen, die uitsluitend zijn aangebracht om later eventuele detail-



Afb. 2 - Geologisch profiel.

informatie te kunnen ontlenen aan het totale regionale model. Zulke verfijningen kunnen lang niet altijd hydrologisch worden gemotiveerd. Dit is bijvoorbeeld het geval indien het model wordt toegepast om details van het geheel te bestuderen. In zulke situaties wordt steeds het gehele model doorberekend, terwijl de gezochte invloed te allen tijde beperkt blijft tot een klein deel van het totale model. Het hoeft nauwelijks betoog dat een dergelijke aanpak vele modellen nodeloos zwaar en de computerruns duur maakt. Soms is dit de feitelijke reden dat een model op een grotere computer moet worden gedraaid dan met een andere aanpak nodig zou zijn geweest.

Een andere maatregel die wordt toegepast om latere problemen zoveel mogelijk te beperken, is het africhten van het elementennetwerk op de loop van de rivieren, beken en dergelijke en het plaatsen van knooppunten op onttrekkingen en soms zelfs op waarnemingsputten. Bij een flexibele modellering is dit niet nodig en blijft men vrij om het modelnetwerk te kiezen op grond van de hydrologie zelf, dat wil zeggen verfijnen op die plaatsen waar dat hydrologisch gezien wenselijk en qua doelstelling noodzakelijk is en niet op grond van toevallig aanwezige onttrekkingen en waarnemingsputten. (Op welke wijze dit kan worden gerealiseerd zal worden beschreven in een artikel dat speciaal aan de modellering is gewijd.)

4. Andere aanpak

Na alle bovenstaande kritische overwegingen rijst vanzelf de vraag hoe modelleren dan wel zou moeten. Op deze vraag kan natuurlijk geen absoluut antwoord worden gegeven. Desondanks kan een aantal algemene principes worden geformuleerd, die het genoemde dilemma kunnen oplossen.

1. stel keuze van het model uit;
2. stel de keuze van het elementennetwerk uit;
3. stel de hydrologische schematisatie uit;
4. verzamel eerst de gegevens en verwerf het nodige inzicht in het hydrologische systeem;
5. leg deze gegevens vast in bestanden;
6. doe dit vastleggen op een manier die zo goed mogelijk past bij de gegevens zelf, ongeacht het later te gebruiken model en elementennetwerk;
7. maak bij dit vastleggen scherp onderscheid tussen harde en zachte gegevens.

Het bovenstaande komt neer op het doorvoeren van een zo strikt mogelijke scheiding tussen de gegevens enerzijds en het model anderzijds. Alleen door deze scheiding kan het volgende worden bereikt:

1. gegevens blijven in de bestanden als zodanig herkenbaar;
2. gegevens behouden hun waarde (een boring is over honderd jaar nog altijd een boring);
3. de bestanden zijn eenvoudig uit te breiden en up to date te houden;
4. inventarisaties voor studies hoeven niet steeds vanaf nul te beginnen;
5. een effectief beheer van de gegevens wordt mogelijk;
6. de gegevens worden voor vele toepassingen en modellen bereikbaar en toepasbaar;
7. de bewerking van de gegevens, zoals deze bij verschillende onderzoekingen is en wordt uitgevoerd, wordt reproduceerbaar.

Het voorgaande lijkt gemakkelijker gezegd dan uitgevoerd. Het gemak waarmee de gegevens en de informatie kunnen worden vergaard en waarmee zij kunnen worden verwerkt en gepresenteerd, is bepalend voor de praktische toepassing. De bewerkingen die nodig zijn om vanuit bestanden zoveel mogelijk automatisch een complete invoer van een rekenmodel te genereren, zijn alleen effectief met een goed geprogrammeerde computer uit te voeren. Toepassingsprogramma's zijn nodig voor:

1. toevoegen aan, selecteren uit, en wijzigen in bestanden;
2. interpoleren, omzetten, samenvoegen en presenteren van gegevens.

In het kader van het bruinkoolproject is voor dit doel een 40-tal programma's door ons geschreven. De meeste hiervan zijn niet specifiek en dus voor elk modelvraagstuk bruikbaar. Tezamen met de gegevens vormen deze, met een moeilijk woord, een 'database management system voor grondwatermodelleringsvraagstukken' en aanverwante toepassingen.
De bestanden zelf en hetgeen men er zoal mee kan doen wordt hierna beschreven.

5. Model-onafhankelijke bestanden

Bij de opzet van bestanden wordt meestal direct gedacht aan een zogenaamd 'DataBase Management System'. Dergelijke bestandsbeheerprogrammatuur is overal te koop en wordt in de praktijk en de industrie veel toegepast. Wij hebben geen gebruikgemaakt van dergelijke speciale programmatuur omdat:

1. het besturingssysteem op de RIVM-computers (UNIX) in zichzelf reeds een dergelijk systeem is;
2. wij bij de aanvang van het project nog niet konden en wilden vastleggen welke bestanden we zouden opslaan en welke vorm zij zouden krijgen. Door toepassing zou moeten blijken wat een geschikte vorm is voor de afzonderlijke bestanden;
3. een apart systeem blijkens ervaring een zwaar beslag legt op de computercapaciteit en daardoor in zijn geheel minder efficiënt is;
4. het op onze computer draaiende, populaire besturingssysteem 'UNIX' dusdanig boordevol gereedschappen zit, dat specifieke database management programmatuur overbodig mocht worden geacht.

Achteraf hebben wij vastgesteld dat het geheel der bestanden voldoet aan de definitie van een 'Relational Database Management Systeem', dat wil zeggen een systeem waarin de gegevens zijn vastgelegd in de vorm van 'relaties'. Een relatie blijkt daarbij niets anders te zijn dan een lijst. Aldus bestaat elk bestand in ons systeem uit een lijst, zoals hierna wordt beschreven. Een Relationeel Database Management Systeem is dus niets anders dan een verzameling lijsten, met daarbij een reeks programma's die op en met deze lijsten nuttige bewerkingen kunnen uitvoeren.

De volgende bestanden zijn door ons opgezet en gebruikt, waarbij wij een onderscheid maken tussen harde oftewel relatief onaanvechtbare bestanden aan de ene kant en zachte oftewel meer discutabele bestanden aan de andere kant.
Harde gegevens zijn in onze optiek:

1. Geologie, onderverdeeld in:
1.1. boringen,
1.2. breukvlakken,
1.3. formatieleeftijden,
1.4. geologisch driehoekennetwerk;
2. rivieren, beken, kanalen, meren en sloten;
3. onttrekkingen;
4. waarnemingsputten;
5. grondgebruik;
6. meteo;
7. stijghoogten.

Zachte gegevens zijn:

8. k-waarden (doorlatendheidscoëfficiënten);
9. de geohydrologische schematisatie;
10. breukvlakweerstanden;
11. intredeweerstand van de afzonderlijke rivieren etc.

6. De afzonderlijke bestanden en toepassingen

6.1. *Harde gegevens*
Het boringenbestand:
Het boringenbestand bestaat uit een verzameling boringen. Een boring in deze verzameling bestaat uit de volgende gegevens:

naam x y 'info'
geologische-formaties.

De eerste regel van elke boring spreekt grotendeels voor zich wat betreft de naam (bijvoorbeeld 60F-349 volgens RGD) en de coördinaten van de locatie.

'info' kan van alles bevatten, zoals boorjaar, boormeester etc.

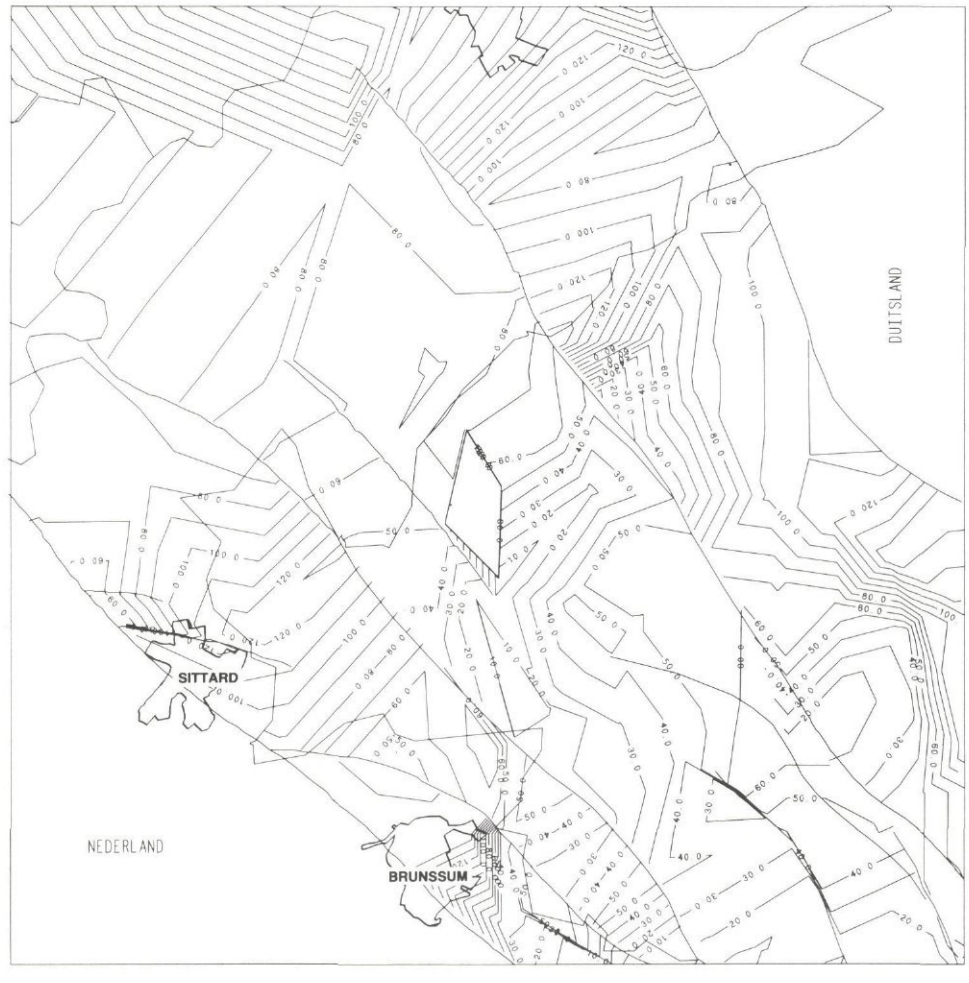
Geologische-formaties vormt op zichzelf weer een verzameling die voor elke boring anders kan zijn. Elke afzonderlijke formatie

daaruit bestaat in dit verband uit vier onderdelen:

naam leeftijd materiaal z

'naam' is hier de naam van de formatie zelf, zoals 'Nuenen', 'Sterksel', 'Pey' etc. De naam dient slechts voor gemakkelijke herkenning en wordt gebruikt bij het automatisch tekenen van profielen en dergelijke.
Hoewel (ook) in (de opgeslagen) Duitse boringen andere namen worden gebruikt dan in de Nederlandse (bijvoorbeeld Rotton versus Brunssum), dient zo'n formatie over de landsgrens heen natuurlijk wel als dezelfde herkenbaar te zijn. Hiertoe dient de leeftijd, een nummer dat de formaties qua leeftijd ten opzichte van elkaar ordent.
De absolute waarde van dit nummer doet weinig ter zake, van belang is slechts dat eenduidigheid bestaat over het al dan niet samenhangen van lagen en hun onderlinge opeenvolging. De meeste zoekacties geschieden in dit bestand dan ook op basis van de leeftijdnummers.
Het materiaal dat per formatie wordt ingevuld kan van alles zijn, leemhoudend-zand, grind of wat voor aanduidingen dan ook. In het Duitse deel van ons geologiebestand is hiervoor het nummer gebruikt, waarmee op de ons ter beschikking staande profielen het soort materiaal was aangegeven, welke een verwijzing inhoudt naar een aantal gestileerde zeefkrommen. Voor het Nederlandse bestand is door ons afgezien van detail en is voor het materiaal eenvoudig de formatienaam zelf gebruikt. Op deze wijze wordt later de doorlatendheid niet zozeer gekoppeld aan een materiaalbeschrijving, als zand, grind etc., maar aan de afzonderlijke geologische formaties zelf; een k per formatie zogezegd. Het is duidelijk dat deze beperking geen gevolg is van de methode alswel van de manier waarop zij door ons is toegepast.
De z-waarde die per formatie wordt opgeslagen is per definitie de onderkant van deze formatie ten opzichte van NAP.
Het zal duidelijk zijn, dat wij zijn uitgegaan van geologische formaties als kleinste onderdeel van ons boringenbestand.
De geologische formatie bepaalt aldus het oplossend vermogen van dit bestand en van hetgeen wij ermee kunnen doen. Wij achten deze grens en de daarvoor noodzakelijke nauwe samenwerking met de geoloog gewenst, aangezien alleen de geologische formaties houvast geven ten aanzien van het al dan niet doorlopen van lagen. Zonder deze informatie kan geen grondwatermodel worden gemaakt.
Waar mogelijk zijn de beschikbare boorbeschrijvingen op deze wijze ingevoerd.
In een aantal gevallen moest echter gebruik worden gemaakt van profielen. Dit is met name het geval in het Duitse deel van het modelgebied, waarvoor ons geen boorbeschrijvingen ter beschikking stonden.
Profielen zijn ook gebruikt om geologiebeschrijvingen pal ter weerszijde van geologische breuken te verkrijgen. Zou dit niet worden gedaan, dan zou later een geleidelijke overgang ontstaan in plaats van de in werkelijkheid zo abrupte overgang die een breuk veelal met zich meebrengt.
Gezien het belang van de breuken voor de grondwaterstroming in de slenk zou dit onacceptabel zijn geweest.
Het gehele bestand beslaat ca. 600 van deze echte en uit profielen overgenomen 'boringen'.
Het geologiebestand vormt een complete driedimensionale beschrijving van de ondergrond van het gebied. Ook zonder direct over te stappen op het automatisch aanmaken van de uiteindelijke invoer voor een model, kent een dergelijk bestand reeds een aantal nuttige toepassingen:
1. creëren van een geologische beschrijving in willekeurige andere punten in het gebied;
2. maken van geologische doorsneden langs willekeurige lijnen door het gebied;
3. maken van contourkaarten van de bovenkant, de onderkant en de dikte van relevante formaties of combinaties van formaties;
4. automatisch vaststellen van de geologische formatie waarin zich een gegeven driedimensionaal punt bevindt.
Geologische beschrijvingen van willekeurige punten in het gebied worden gemaakt door middel van interpolatie. Wij pasten de meest eenvoudige interpolatietechniek toe, namelijk lineaire interpolatie in een driehoek die wordt opgespannen door drie opgeslagen boringen op zijn hoekpunten. Deze wijze van interpoleren heeft het voordeel dat zij kan worden toegepast met willekeurig over het gebied verdeelde boringen. Voorts garandeert de lineariteit dat elke laag die zich in de verschillende boringen boven een ander gegeven laag bevindt, ook op elke plaats binnen de driehoek boven een bepaalde laag is gelegen. Dit laatste is een essentiële eigenschap voor interpolatie van geologische gegevens. Voor deze interpolatie is een programma geschreven. Het is voor dit programma om het even of lagen die in de ene boring aanwezig zijn ook in de andere voorkomen.
Het opvragen van losse boorbeschrijvingen in niet gegeven punten is niet alleen nuttig bij het voorspellen van de bodemopbouw op punten waar boringen gepland zijn. Door ons zijn boringen gegenereerd pal langs de

Afb. 3 - Diktekaart van het 3e watervoerende pakket in het grensgebied Nederland-Duitsland.



belangrijke breuken van de slenk, door lineaire extrapolatie vanuit drie naburige, aan dezelfde kant van de breuk gelegen boringen. Deze kunstmatige hulppunten waren nodig, om de sprong in de geologie over de breuken naar behoren te kunnen vastleggen in het bestand. Bij het verdere werken met de gegevens worden deze boringen niet onderscheiden van de echte. In het bestand zelf zijn zij echter gemerkt en kunnen er te allen tijde uit worden verwijderd.

Geologische doorsneden
Vanuit bovenstaande interpolatie is het een betrekkelijk kleine stap om rechtstreeks uit het bestand geologische profielen te laten tekenen langs willekeurige lijnen.
Het programma dat we voor dit doel hebben gemaakt verlangt de namen van een reeks boringen. Vervolgens worden deze in het bestand opgezocht en tekent de plotter hierlangs een doorgaand profiel (afb. 2).
Profielen langs willekeurige lijnen waarop zich geen boringen bevinden worden gemaakt door eerst nieuwe 'boringen' aan te maken op een aantal punten langs de gewenste lijn en vervolgens het profielentekenprogramma op dit 'nieuwe kunstmatige boringenbestand' los te laten.

Contourkaarten
Contourkaarten kunnen rechtstreeks uit het geologiebestand worden getekend. Het betreffende programma selecteert de lagen op grond van de opgegeven leeftijd. Worden twee leeftijden opgegeven, dan wordt de dikte tussen de betreffende leeftijden gecontourd. Om de bovenzijde te krijgen neme men eenvoudig een leeftijd die juist lager is dan de gezochte. Het punt behorend bij de opgegeven leeftijd wordt vervolgens in alle bestandsboringen opgezocht, waarna een hoogtelijnen-programma de laag uittekent (afb. 3). Om dezelfde reden als boven wordt bij het contouren een lineaire interpolatie toegepast.
Om deze wijze van contouren mogelijk te maken, is een driehoekennet nodig, dat bepaalt welke drie boringen voor elk willekeurig punt zullen worden gebruikt bij de interpolatie. Dit zogenaamde geologische netwerk, met een boring in elk knooppunt, is met een programma aangemaakt (afb. 1). (Dit 'geologische' netwerk heeft niets te maken met een eventueel 'rekennetwerk', het elementennetwerk, dat door het model zal worden gebruikt.)
Op deze wijze was het mogelijk om voorheen niet bestaande, zelfs internationale dikte- en dieptekaarten te maken voor het gehele modelgebied, uitsluitend gebaseerd op de gegeven boringen, de profielen en de breuklijnen. De zo gecreëerde kaarten zijn aan de desbetreffende geologische instanties voorgelegd ter verificatie (afb. 3).

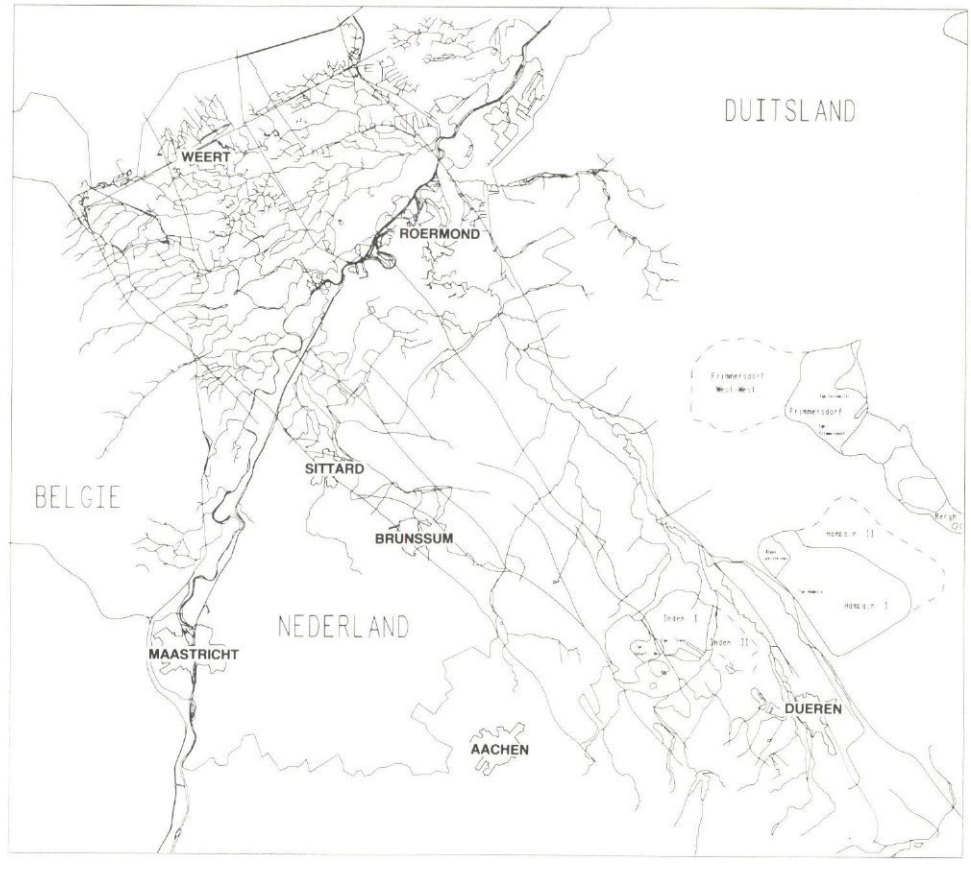
Het geologiebestand geeft, in combinatie met het geologische netwerk, een compleet ruimtelijk beeld van het gebied. Het is aldus mogelijk automatisch uit te vinden in welke geologische formatie zich een willekeurig punt x,y,z bevindt. Hierop zal in het navolgende worden ingegaan.

Oppervlaktewater
Het oppervlaktewater wordt door ons opgevat als een verzameling oppervlaktewaterpunten. Elk punt vertegenwoordigt een stukje sloot, beek, rivier en dergelijke.
Om voldoende oplossend vermogen te verkrijgen is ervoor gezorgd dat de punten op niet te grote onderlinge afstand zijn gelegen. In ons bestand bedraagt deze afstand ongeveer honderd meter. Het bestand is verkregen door al het oppervlaktewater van de verschillende Duitse en Nederlandse (waterstaats)kaarten te digitaliseren.
Elk punt van dit meer dan 23.000 punten tellende oppervlaktewaterbestand heeft de volgende vorm:

naam x y z dl b d i

hierbij zijn de naam van het betreffende water en de puntcoördinaten x y tijdens het digitaliseren verkregen. Daarna is voor elk punt dl berekend, de lengte waarvoor dit punt relevant is. De andere drie parameters zijn door tijdgebrek niet exact bekend, doch afgeleid uit kaarten. Zo is het peil van het oppervlaktewater automatisch afgeleid uit een gedigitaliseerde, gedetailleerde isohypsenkaart voor het freatische pakket. Deze methode is primitief, doch onder de gegeven omstandigheden het beste wat we konden doen en voor het nagestreefde projectdoel afdoende. Voor de rivierbreedte is een klasse-indeling gemaakt. De diverse klassen zijn per gegeven naam in een lijst gezet en automatisch aan het bestand toegevoegd. Waar de naam van een bepaald oppervlaktewater, zoals een lange rivier als de Rur, niet relevant geacht kan worden voor zijn totale lengte, zijn subnamen gebruikt: Rur1, Rur2 etc. De rivierdiepte is door ons noodgedwongen gekoppeld aan de genoemde breedteklasse. Bij dit alles is het vanzelfsprekend, dat te allen tijde de werkelijke breedte en diepte kunnen worden ingevuld, wanneer deze uit metingen bekend zijn.
De laatste parameter i is een code die aangeeft of dit punt hydraulisch contact maakt met het grondwater. In een aantal gevallen is namelijk gebleken, dat volgens eerste modelberekeningen, sommige stukken open water meer invloed op het resultaat uitoefenden, dan op grond van de isohypsenkaarten mogelijk was. In zulke situaties is de parameter i gebruikt om het punt effectief uit te schakelen. Evengoed zou in die gevallen een grotere intredeweerstand kunnen worden gebruikt. Indien veldgegevens hierover beschikbaar zijn, verdient dit de voorkeur.

Afb. 4 - Gedigitaliseerd oppervlaktewater.



Zulke gegevens waren ons echter niet bekend. Uiteindelijk moet het model worden gevoed met intredeweerstanden die op de afzonderlijke punten betrekking hebben. Wij gebruikten totnogtoe hiervoor de eenvoudige methode, namelijk een specifieke intredeweerstand per rivier (zie aparte alinea onder zachte gegevens). Het is echter niet zo moeilijk, om hiervoor een beduidend meer geavanceerde methodiek toe te passen, die rekening houdt met de eigenschappen van het eerste watervoerende pakket. Immers door combinatie van het rivierenbestand met het geologische bestand is voor elk rivierpunt bekend in welke geologische formatie de rivierbedding ligt. Aldus kan rekening worden gehouden met een daarbij behorende doorlatendheid. Evenzeer is, onder combinatie met het geo-hydrologische schema (zie onder 6.2.) bekend hoe dik het eerste watervoerende pakket onder elk rivierpunt is en, onder toevoeging van de k-waarden (zie onder 6.2.) wat het totale doorlaatvermogen is. Al deze informatie kan de liefhebber gebruiken bij de berekening van de intredeweerstand voor elk van de rivierpunten. Alle hiervoor noodzakelijke gegevens liggen onder handbereik in het geheel van gegeven bestanden.
Het oppervlaktewaterbestand zelf kan rechtstreeks worden uitgetekend (afb. 4). Het is door ons steeds op de kaarten met de berekende stijghoogten in het freatische pakket geplot.

Onttrekkingenbestand
De onttrekkingen zijn door ons opgeslagen in de volgende vorm:

naam x y zl z2 tijdvak Q

De twee z-waarden hebben betrekking op de onderkant en de bovenkant van het putfilter. Zoals hiervoor is beschreven is voor dit geologische bestand berekend in welke geologische formatie z1 en z2 zich bevonden. Met een aparte lijst waarin staat tot welk watervoerend pakket of welke scheidende laag elke afzonderlijke formatie behoort is dan tevens bekend in welk pakket zich elk putfilter bevindt. In die gevallen dat het filter meerdere pakketten bestreek, is de onttrekking overeenkomstig deze afzonderlijke pakketten opgesplitst. Op grond van informatie van de Provincie Limburg is ook de onttrekkingshoeveelheid in zulke gevallen over de afzonderlijke watervoerende pakketten verdeeld.
Dit bestand is verder rechtstreeks bij de modellering gebruikt. Selectie op tijdvak (jaartal) levert alle onttrekkingen in dat tijdvak op, terwijl selectie-op-naam de volumestroom geeft voor deze specifieke onttrekking door de tijd heen. Anderzijds levert selectie op de toegevoegde formatie of watervoerend pakket en tijdvak alle onttrekkingen in dit tijdvak in dit specifieke pakket op. Dit bestand is gebleken voldoende krachtig te zijn voor de modellering.
Indien in een andere studie een andere indeling van de watervoerende en scheidende pakketten wordt gewenst, moet de pakketinformatie in dit bestand worden vervangen. Dit kan dan automatisch worden uitgevoerd.

Waarnemingsputtenbestand
Dit bestand bevat de waarnemingsputten die wij voor dit project van DGV/TNO hebben ontvangen. Per waarnemingsput is opgeslagen:

naam x y zl z2 Phi Phi Phi ? Phi ..

waarbij de zl en z2 de bovenzijde en de onderkant van het filter weerspiegelen en de Phi.. de gemeten stijghoogte is op een bepaald tijdstip (hier steeds april en oktober van elk jaar). Ontbrekende stijghoogten of z-waarden krijgen een vraagteken ('?').
Wij hebben aan dit bestand (geheel automatisch) de geologische formatie toegevoegd waarin zich elk punt bevindt. Met de bovengenoemde relatie (lijst) tussen geohydrologische pakketten en geologische formaties is tevens bekend in welk pakket zich elke waarnemingsput bevindt. De peilputten in een bepaalde formatie kunnen dan als zodanig worden geselecteerd en per afzonderlijk pakket (of zelfs formatie) kan een isohypsenbeeld worden gegenereerd.

Grondgebruiksbestand
Het grondgebruiksbestand maakt nuancering van de in te voeren nuttige neerslag mogelijk. Het bestand bestaat uit een verzameling bos- en stadcontouren. Uiteraard kan het bestand gemakkelijk worden uitgebreid met akkerbouwcontouren etc.
Met deze verzameling contouren kan voor elk willekeurig punt worden uitgezocht of het punt bos, stad, akker of wat dan ook is. Vervolgens kan deze informatie worden meegenomen in de berekening van de actuele verdamping.
Het ware aan te bevelen tevens grondsoortcontouren en grondwatertrappencontouren van de bodemkaarten te digitaliseren, om de nuttige neerslag verder te kunnen preciseren. Dit laatste is nog niet door ons uitgevoerd.

Meteobestand
Het meteobestand bestaat feitelijk uit twee bestanden. Het eerste bevat per weerstation het Thiessenpolygondeel waarbinnen dit station geldig is. Het tweede bevat per weerstation de open-waterverdamping (Ep) en de neerslag (N) per decade. Het bepalen van de neerslag in een bepaalde decade voor een willekeurig punt verloopt via het Thiessenbestand, waarmee wordt bepaald welk station voor het gegeven punt moet worden gebruikt. Hierna wordt de feitelijke waarde in het tweede bestand opgezocht. De nuttige neerslag wordt hierna voor dit punt berekend onder invloed van het grondgebruiksbestand (en eventueel het grondwatertrappen- en het grondsoortenbestand). De feitelijke berekening kan op velerlei manieren worden uitgevoerd en is de verantwoordelijkheid van de onderzoeker. Wij pasten een zeer eenvoudige methode toe, namelijk de neerslag minus een gewasfactor maal de open-water-verdamping.

6.2. *Zachte gegevens*
Zachte gegevens zijn gegevens die relatief gemakkelijk aangevochten kunnen worden. Dit zijn in het algemeen afgeleide gegevens, parameters die niet gemeten zijn of slecht gemeten kunnen worden. Dit is onder meer het geval voor k-waarden, breukweerstanden, intredeweerstanden van rivieren en de geohydrologische schematisatie die wordt gekozen. Zachte gegevens zouden eigenlijk hard moeten zijn, en worden dit ook, wanneer zij onafhankelijk zouden worden gemeten. In zulke praktische omstandigheden is de keuze van zulke parameters niet triviaal. Het succes van een model wordt er in sterke mate door bepaald. In feite vormt het bestaan van zachte gegevens de basis en motivatie van de ijkingsinspanningen en de uitvoering van gevoeligheidsanalysen.

k-waardenlijst (doorlatendheden)
De formaties in het geologiebestand bevatten allemaal een kolom met daarin een materiaalbeschrijving. Deze beschrijving is volledig vrij, bijvoorbeeld 'fijn–slibh–zand' of iets dergelijks. De k-waardenlijst zet tegenover alle in het geologiebestand voorkomende beschrijvingen een k-waarde (doorlatendheid). Hiermede kan automatisch aan elke formatie een eigen k-waarde worden toegevoegd.
In het bruinkoolproject hebben wij voor de Duitse boringen in het bestand inderdaad een aanduiding opgenomen voor het materiaal zoals dat voor de betreffende formaties uit de Duitse gegevens bekend was. Voor de Nederlandse boringen is een eenvoudiger methode toegepast. Op de plaats van het materiaal hebben wij de naam van de formatie zelf ingevuld. Voor deze boringen is er derhalve een directe koppeling aangebracht tussen k-waarde en geologische formatie. Het zal duidelijk zijn dat de methode alle mogelijkheden in zich bergt om dit naar believen te preciseren met of zonder handhaving van deze directe koppeling, danwel een bepaald ruimtelijk verloop in de koppeling aan te brengen.

Breukweerstandenlijst
Elke breuk heeft een weerstand. De waarde ervan is zelden bekend en dient dan door ijking te worden geschat. Het breukenbestand bevat onder meer een lijst van de

voorkomende breuknamen en de daarbij gekozen weerstand. In eerste instantie is het al dan niet doorlatend zijn van de verschillende breuken en onderdelen daarvan afgeleid op grond van de beschikbare stijghoogtebeelden.

Intredeweerstand van rivieren
Deze lijst geeft voor elke in het rivierenbestand voorkomende naam een intredeweerstand. Met deze lijst en het rivierenbestand kan een programma een nieuwe lijst aanmaken die per rivierpunt de intredeweerstand deelt door het bijbehorende oppervlak, zodat de resulterende file direct aan het rekenmodel kan worden doorgegeven.

Geohydrologisch schema
Het geologiebestand bevat geen informatie omtrent de geohydrologische schematisatie: daarin zijn slechts geologische formaties opgenomen. De geo-hydrologische schematisatie is in een aparte lijst vastgelegd. In deze lijst komen alle formaties voor met daarbij het watervoerende pakket waar zij deel van uitmaken. Indien de schematisatie per regio wisselt, worden aparte lijsten per regio toegepast. De regio's zelf zijn daarbij in de vorm van contouren vastgelegd.

Doorlaatvermogens en c-waarden
Uiteindelijk kan het doorlaatvermogen en de weerstand van elke formatie afzonderlijk danwel van elke reeks tezamen worden berekend. Het hiervoor door ons gemaakte programma berekent beide tegelijkertijd. Voor elke formatie die wordt gevraagd, wordt zowel k maal D als D gedeeld door k berekend. Zo ontstaat voor elke formatie afzonderlijk of voor elke serie formaties kD en c, keurig samengesteld uit de afzonderlijke formaties.

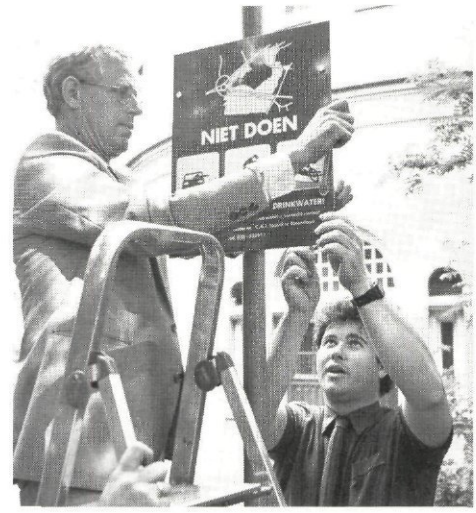
Het programma voert de bewerking uit op grond van twee opgegeven formatieleeftijden, voor elk der boringen in het bestand.
De resulterende file op zijn beurt kan dienen als invoer voor contouringprogramma's of interpolatieprogramma's. De laatste wordt gebruikt om waarden per rekenelement te verkrijgen.

7. Conclusies

Met de aangegeven door ons gebruikte bestanden kan de invoer van een nagenoeg willekeurig rekenmodel voor grondwaterstroming worden aangemaakt. De oorspronkelijke gegevens blijven intact en in hun eigenlijke vorm als zodanig herkenbaar, waardoor de bestanden ook op langere termijn waardevol blijven en bruikbaar voor andere onderzoekingen.
Het wijzigen, aanvullen en aanpassen van de gegevens is gemakkelijk en overzichtelijk, wat de onderhoudbaarheid van de bestanden zeer ten goede komt.
De opslag en de verwerking van de gegevens geschiedt geheel onafhankelijk van de modelkeuze en van de keuzen van een eventueel rekennetwerk. De methodiek is derhalve voor willekeurige rekenmodellen en onderzoekingen te gebruiken.
De gemakkelijke aanmaak van complexe, complete modelinvoeren maakt de methodiek zeer geschikt voor het uitvoeren van ijkingen en gevoeligheidsanalyses. De directe toegang tot de oorspronkelijke gegevens geeft de ijking de flexibiliteit die het nodig heeft om effectief te kunnen zijn.
Het behoud van waarde van de gegevens zou een dergelijk bestandsbeheer aantrekkelijk moeten maken voor instanties die zijn belast met de verantwoordelijkheid ten aanzien van het grondwater. Daarmee wordt immers voorkomen dat binnen een bepaald gebied meer dan eens een complete inventarisatie en modeloptuiging moet plaatsvinden, uitsluitend omdat de oude gegevens niet meer up-to-date, niet aangepast aan het nieuw te starten onderzoek, danwel onbruikbaar zijn omdat niemand meer weet wat de bestanden uit vorige studies exact inhouden of hoe deze precies zijn verkregen.

• • •

Waterbedrijf Amersfoort start actie bescherming waterwingebied



Met het vastschroeven van een bord op een paal bij de watertoren te Amersfoort heeft ir. G. C. van Wijnbergen, lid van Gedeputeerde Staten in Utrecht en belast met het beheer van het milieu, het startsein gegeven in het aangrenzende waterwingebied nog veertig van deze borden te plaatsen.



Met deze voor dit doel speciaal ontworpen borden wil het Gas-, Water- en CAI-bedrijf meer begrip kweken voor de watervoorziening in het algemeen en voor waterwingebieden in het bijzonder.
Ter ondersteuning van de actie gaat het Gas-, Water- en CAI-bedrijf zich richten op de artsen, tandartsen en organisaties in de gezondheidszorg. Aan hen zullen posters en folders worden toegezonden met het verzoek deze in voor het publiek bereikbare plaatsen aan te brengen.