331.4730

Provincie Limburg

PROVINCIE
NOORD-BRABANT
AFDELING WATER
no. 1603
code 43-3

HYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE NOORD- EN MIDDEN-LIMBURG, FASE 1B

Onderzoeksvoorstel

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu

Postbus 174
5280 AD Boxtel

BIDOC PROVINCIEHUIS N-BR.
3 2500 00047 6342

Boxtel 12 augustus 1991

2200142

I N H O U D S O P G A V E Blz.

1 INLEIDING 1

2 UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONDERZOEK 2

3 OPZET EN UITVOERING 4
3.1 OPZET ONDERZOEK 4
3.2 OPZET EN IJKING GRONDWATERSTROMINGSMODEL 4
3.3 DETAILLERING EN KWANTIFICERING VAN DE ACTUELE GROND-WATERSTROMINGSTELSELS 12
3.4 EVALUATIE BEINVLOEDING GRONDWATERSTROMINGSSTELSELS DOOR WATERHUISHOUDKUNDIGE INGREPEN 13

4 PROJECTORGANISATIE 17

5 TIJDSPLANNING 19

6 KOSTENRAMING 20

7 OVERDRACHT GRONDWATERSTROMINGSMODEL EN GRONDWATERSTRO-MINGSPAKKET TRIWACO-TRACE 21

L IJ S T V A N T A B E L L E N

1. Mensdagenplanning en kostenraming onderdeel 1
2. Mensdagenplanning en kostenraming onderdeel 2
3. Mensdagenplanning en kostenraming onderdeel 3

L IJ S T V A N B IJ L A G E N

1. Methodiek bepaling intrekgebieden en verblijftijden van grondwaterwinningen
2. H_2O-artikel "Diepe grondwaterwinning en natte natuurgebieden: kansen en bedreigingen"
3. Informatie ARC/INFO, TRIWACO-TRACE, TRACE en FLUZO
4. Informatie over enkele relevante topsystemen
5. CV's projectmedewerkers

L IJ S T V A N F I G U R E N (in tekst)

1. Stroomschema onderzoeksopzet
2. Globale grenzen regionale grondwaterstromingsmodel
3. Overzicht TRIWACO-modellen in Nederland
4. TRIWACO-topsysteem no. 11
5. Plaats en invoer FLUZO
6. Tijdsplanning

1 INLEIDING

Bij brief d.d. 15 juli 1991 (kenmerk BU 53301) hebben Gedeputeerde Staten van Limburg IWACO B.V. uitgenodigd een offerte uit te brengen voor geohydrologisch onderzoek. Het onderzoek betreft de uitvoering van fase 1b van de "Hydrologische systeemanalyse Noord- en Midden-Limburg". De achtergronden en doelstellingen van dit onderzoek zijn uiteengezet in het projectvoorstel van de Provincie.

In het projectvoorstel van de Provincie en de nadere informatie hierover van het Bureau Grondwaterbeheer zijn de werkzaamheden die uitgevoerd dienen te worden goed omschreven. Conform het offerteverzoek wordt in deze offerte dan ook vooral aandacht besteed aan zaken zoals de modelkeuze, de wijze van modellering, de rapportagevorm, de tijdsplanning en de kostenraming.

In hoofdstuk 2 heeft IWACO de belangrijkste uitgangspunten voor het onderzoek geformuleerd. De opzet en de uitvoering van het onderzoek zijn beschreven in hoofdstuk 3. Een korte beschrijving van het projectteam dat de uitvoering van het onderzoek ter hand gaat nemen, alsmede enige opmerkingen over de projectorganisatie zijn gegeven in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 geeft de tijdsplanning van het project en in hoofdstuk 6 wordt de mensdagenplanning en de kostenraming van het onderzoek gepresenteerd. Tenslotte volgen in hoofdstuk 7 enige opmerkingen over de overdracht aan de Provincie van het grondwaterstromingsmodel en -pakket.

2 UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONDERZOEK

Met behulp van de resultaten van fase 1a en het programma van eisen voor fase 1b, heeft IWACO de volgende uitgangspunten voor de uitvoering van fase 1b geformuleerd:

1. In de Roerdal Slenk wordt alleen het watersysteem boven de Bovenste Brunssum klei of Reuver klei (daar waar de Brunssum klei ontbreekt) gemodelleerd. De beïnvloeding van grondwatersystemen onder de Bovenste Brunssum klei/Reuver klei zal worden afgeleid middels een gevoeligheidsanalyse. In het overige gebied zullen alle watervoerende pakketten gemodelleerd worden.

2. Dit uitgangspunt heeft belangrijke consequenties voor de horizontale begrenzing van het grondwaterstromingsmodel en voor de modelijking. De voedingsgebieden van de regionale grondwaterstromingstakken in de diepere pakketten van de Roerdal Slenk behoeven niet gemodelleerd te worden. De modelgrenzen kunnen daardoor dichter bij het grondgebied van Midden- en Noord-Limburg gekozen worden. In tegenstelling tot de grondwaterstroming in de ondiepe watervoerende pakketten is de stroming van de diepe pakketten in de Roerdal Slenk niet-stationair. Het grondwaterstromingsmodel waarin de diepe pakketten in de Roerdal Slenk vooralsnog ontbreken kan daarom in eerste instantie geijkt worden op een meerjarig gemiddelde situatie.

3. IWACO stelt voor gebruik te maken van de volgende hulpmiddelen voor de uitvoering van het onderzoek:
   - ARC/INFO (geografisch informatiesysteem, zie bijlage 3). Indien de Provincie dit wenst kan IWACO ook gebruik maken van ARC/DBASE;
   - TRIWACO-TRACE-FLUZO (eindige elementen grondwaterstromingspakket, zie bijlage 3 en 4).

4. Deze hulpmiddelen zullen op dezelfde wijze gebruikt worden als voor het onderzoek "Grondwaterbeheer Midden Nederland". Het voorstel van dit onderzoek is bekend bij de opdrachtgever. De rapportage is momenteel ter inzage beschikbaar.
   Deze opzet resulteert in:
   - een inzichtelijke opbouw van het grondwaterstromingsmodel (dus gemakkelijk overdraagbaar);
   - een grote flexibiliteit ten aanzien van het veranderen en updaten van invoergegevens, doordat bijna alle invoergegevens met ARC/INFO-kaarten gegenereerd worden;
   - een grote flexibiliteit ten aanzien van het "inzoomen" met behulp van window-modellen en de hierin aan te brengen detailleringen;
   - een grondwatermodel dat op eenvoudige wijze uitgebreid kan worden in de breedte of in de diepte (diepere pakketten in Roerdal Slenk);
   - een nauwkeurige modellering van de relatie neerslag-grondwater-oppervlaktewater door de koppeling van zogenaamde topsystemen aan een module voor de simulering van de stroming door de onverzadigde zone (FLUZO). Het gebruik van FLUZO biedt vooral voordelen wanneer voor vervolgonderzoek nauwkeurige niet-stationaire berekeningen uitgevoerd moeten worden;
   - een grondwaterstromingsmodel dat uitermate geschikt is voor onderzoek ten behoeve van het bijzondere grondwaterbeschermingsbeleid; bijvoorbeeld voor de berekening van de verdeling van voeding en verblijftijden bij grondwaterwinningen en natuurgebieden (zie bijlage 1).

3 OPZET EN UITVOERING

3.1 OPZET ONDERZOEK

Het onderzoek zoals beschreven in het voorstel van de Provincie kan verdeeld worden in de volgende onderdelen:

1. Opzet en ijking grondwaterstromingsmodel.
2. Detaillering en kwantificering actuele grondwaterstromingsstelsels.
3. Evaluatie van de beïnvloeding van de grondwaterstromingsstelsels door waterhuishoudkundige ingrepen.

Deze onderdelen kunnen na elkaar uitgevoerd worden. De hoofdlijn van het onderzoek verloopt dan zoals afgesproken in figuur 1.

3.2 OPZET EN IJKING GRONDWATERSTROMINGSMODEL

TRIWACO-TRACE-FLUZO

Het grondwaterstromingsmodel zal opgezet worden met het eindige elementen grondwaterstromingspakket TRIWACO-TRACE-FLUZO (bijlage 3 en 4). Met dit pakket kunnen stationaire en niet-stationaire berekeningen gemaakt worden voor iedere geohydrologische schematisatie. Het pakket is reeds voor vele geohydrologische systemen toegepast, waaronder toepassingen waarin breuken, ontgrondingen en stromingssystemen naar beekdalen, kwelgebieden en grondwaterwinningen een belangrijke rol spelen.

Modelgrenzen

De door IWACO aanbevolen grenzen van het model zijn weergegeven in figuur 2. De grenzen zijn voornamelijk gebaseerd op de uitgangspunten in hoofdstuk 2 en de resultaten van fase 1a. De exacte grenzen zullen tijdens de uitvoering van het onder-

zoek vastgesteld worden. Deelgebieden in Limburg en vooral in Brabant zijn al met TRIWACO gemodelleerd (zie figuur 3). Om geohydrologische en efficiency overwegingen zal van Noord- en Midden-Limburg één regionaal model gemaakt worden. Van boven wordt het model begrensd door een zogenaamd "topsysteem" en van onderen door de Bovenste Brunssum klei of Reuver klei (Roerdal Slenk) of de Formatie van Breda (Venlo Schol en Peel Schol).

Tijdreeksanalyse

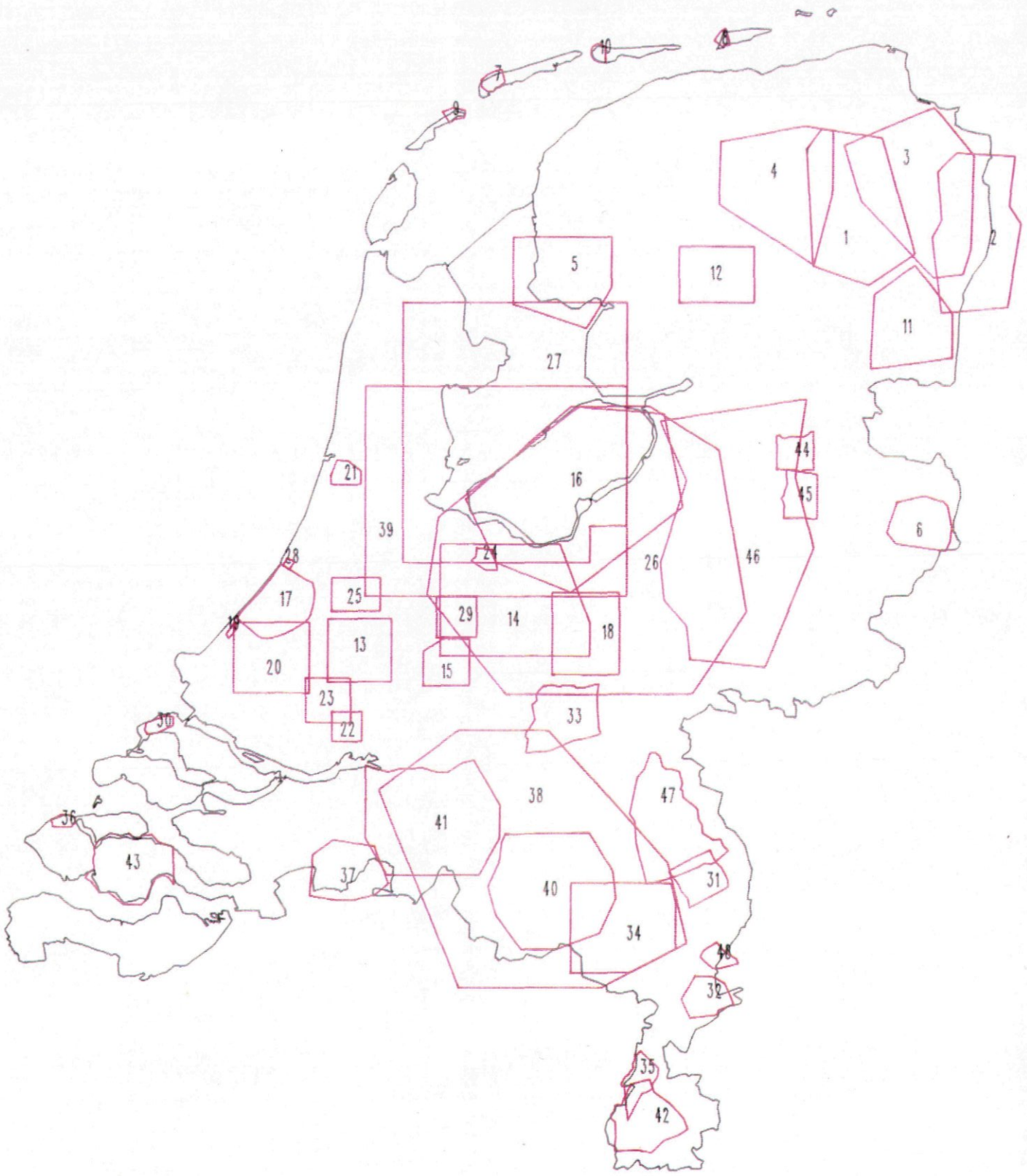
Op basis van een analyse van tijdstijghoogtelijnen zal een kortere of langere periode worden gekozen, waarvoor geldt dat de grondwaterstijghoogten, neerslag en verdamping, grondwateronttrekkingen en oppervlaktewaterafvoer in redelijke mate met elkaar in evenwicht zijn. De gemiddelde stijghoogten gedurende deze perioden zullen gebruikt worden voor de stationaire modelijking. Tevens bepaalt de geselekteerde periode de tijdsafhankelijke invoergegevens van het grondwatermodel.

Verwerking van invoergegevens met ARC/INFO

De invoer van gegevens in het grondwatermodel zal voornamelijk gebeuren met het geografische informatiesysteem ARC/INFO. Met ARC/INFO zullen databestanden gegenereerd worden van de ruimtelijke verdeling van de volgende gegevens:

- top van de hydrologische basis van het grondwaterstromingsmodel;
- dikte watervoerende pakketten en scheidende lagen;
- doorlatendheid watervoerende pakketten en scheidende lagen;
- natte omtrek, peilen, intreeweerstanden en uittreeweerstanden van oppervlaktewater die als lijnsegment ("rivier") in het netwerk opgenomen worden;
- stijghoogten in het watervoerende pakket beneden de Bovenste Brunssum klei/Reuver klei;
- invoerparameters van het topsysteem:
  * topografie maaiveld

Figuur 3. Overzicht TRIWACO-modellen in Nederland



TRIWACO modellen bij IWACO Nederland

1 Gorecht
2 Westerwolde
3 Veendam
4 Zuidelijk Wester Kwartier
5 Oudega
6 Oldenzaal
7 Terschelling
8 Schiermonnikoog
9 Vlieland
10 Ameland
11 Valtherbosch
12 Lindevallei
13 Gouda (Unichema)
14 Soestduinen
15 Draswaard (van Waning)
16 Harderbroek
17 Duingebied DZH/EWR
18 Maanderplas/A30 (MER)
19 Monster
20 Delft (Gist-Brocades)
21 Velserbroekpolder *
22 Zwijndrecht
23 Ridderkerk
24 Laarder Waschmeren
25 Coupe polder Alphen a/d Rijn
26 Midden Nederland
27 Markerwaard **
28 Noordwijk
29 Utrecht (Central Soya)
30 Goeree
31 Horst (Jeco)
32 Roermond
33 Dreumel
34 Someren
35 Westelijk Mijngebied Limburg
36 Oranjezon
37 Zundert
38 Centrale Slenk
39 Zuidelijk Flevoland *
40 Welschap (Aalsterweg)
41 Tilburg (Fuji)
42 Meersen (KNP)
43 Kreekruggen
44 Archemerberg
45 Nijverdal
46 Ijsselvallei *
47 Vierlingsbeek-Boxmeer
48 Reuver

* GROMULA
** FIESTA

  * dikte deklaag
  * doorlatendheid deklaag
  * doorlatendheden en dikte (kh en kv) drainerende laag ten behoeve van de berekening van de drainage/infiltratie-weerstand;
  * slootbodemweerstand ten behoeve van de berekening van de drainage- en infiltratieweerstand;
- invoerparameters voor de berekening van de nuttige neerslag (m.b.v. FLUZO):
  * grondgebruik;
  * grondsoort bovengrond;
  * grondsoort ondergrond;
  * dikte onverzadigde zone;
  * neerslag en verdamping.

Al deze invoergegevens kunnen met ARC/INFO op kaart weergegeven worden. Deze kaarten kunnen voor vervolgonderzoeken door de geohydroloog op eenvoudige wijze aangepast of gedetailleerd worden met ARC/INFO en met behulp van een tussenprogramma weer aan het netwerk van het regionale grondwatermodel of aan het netwerk van een gedetailleerd window-model gekoppeld worden.

Behalve bij de invoer van gegevens zal ARC/INFO ook gebruikt worden in latere fasen van het project. Gedurende het ijk-proces zullen parameters regelmatig dienen te worden aangepast. Deze aanpassingen geschieden door aan ARC/INFO gegenereerde parametervlakken een andere waarde mee te geven of parametervlakken aan te passen. Hetzelfde geldt voor de uit te voeren gevoeligheidsanalyse en voor de berekening van de effecten van waterhuishoudkundige maatregelen. Daarnaast zal ARC/INFO gebruikt worden voor het presenteren van invoer- en berekeningsresultaten.

Modelnetwerk

Door middel van de koppeling van ARC/INFO aan TRIWACO-TRACE kunnen de verschillende gegevens op ARC/INFO-kaarten automatisch aan de knooppunten van het elementennetwerk worden toegekend. Binnen het netwerk zal onderscheid gemaakt worden in gebieden met een drietal (gemiddelde) knooppuntafstanden. Gebieden die gekenmerkt worden door een sterke variatie in geohydrologische opbouw en grondwaterstroming zullen de kleinste knooppuntafstand krijgen. We gaan ervan uit dat de kleinste knooppuntafstand in het regionale model ca. 500 m zal bedragen.

Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan gebieden met een sterke gradiënt in het stijghoogteverloop. In het onderzoeksgebied kunnen deze bijvoorbeeld voorkomen nabij beken, ontgrondingen en rivieren en ter plaatse van overgangszones van infiltratie naar kwelgebieden. Het totaal aantal knopen dat in het model kan worden toegepast is vrijwel onbeperkt, zodat voor de regionale modellering de knooppuntafstand zodanig gekozen kan worden dat een duidelijk onderscheid gemaakt kan worden tussen lokale en regionale grondwaterstroming naar kwelgebieden.

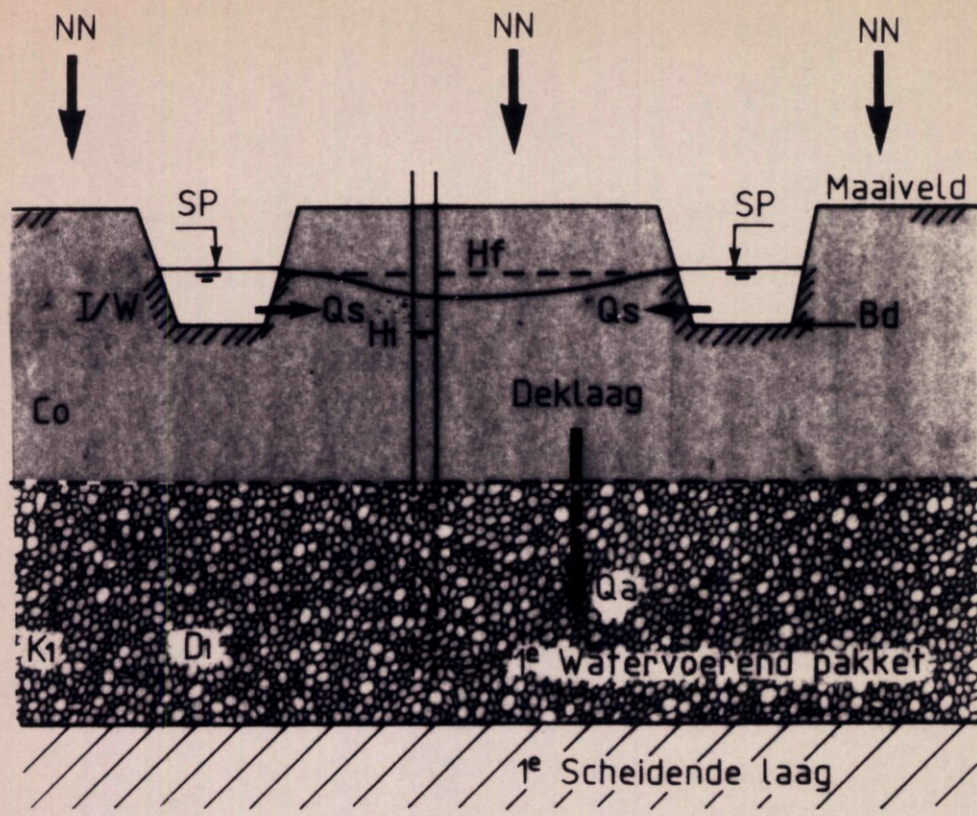
Belangrijke waterlopen

De rivieren, kanalen en alle belangrijke beken zullen als lijnfunctie in het model worden opgenomen. Deze individuele waterlopen zijn in het netwerk herkenbaar. Per segment zullen de volgende parameters ingevoerd worden:

- natte omtrek waterloop;
- waterpeil (met of zonder verhang);
- intreeweerstand;
- uittreeweerstand.

Gegevens met betrekking tot de natte omtrek en het waterpeil zullen verzameld worden bij de betreffende waterschappen. Bij de bepaling van de in- of uittreeweerstand is ondermeer van

Triwaco topsysteem 11



Model invoer :

- NN = **Nuttige neerslag (m/dag)**
- Co = **Hydraulische weerstand tussen maaiveld en het 1e watervoerend pakket (dagen)**
- W = **Drainage weerstand** (dagen)
- I = **Infiltratie weerstand** (dagen)
- Bd = **Diepte van slootbodem t.o.v maaiveld (m)**
- K1 = Horizontale doorlatendheid 1e watervoerend pakket (m/dag)
- D1 = **Dikte 1e watervoerend pakket (m)**

Model uitvoer :

- Hf = Grondwaterspiegel (m)
- Hi = **Stijghoogte 1e watervoerend pakket (m)**
- Qs = **Aanvoer uit de sloten naar het grondwater in het topsysteem (m/dag)**
- Qa = **Afvoer van het grondwater in het topsysteem naar het 1e watervoerend pakket (m/dag)**

IWACO	Projekt: HYDROLOGISCH SYSTEEMANALYSE LIMBURG			Rapport: 331.4730
	Getekend: RAL	Gezien:	Datum: 2-8-1991	Figuur: 4
	Opdrachtgever: PROVINCIE LIMBURG			
	TRIWACO TOPSYSTEEM 11			

Raadgevend Ingenieursbureau
Postbus 174, 5280 AD Boxtel.
Telefoon: 04116-76946

belang of de waterloop de eventueel aanwezige deklaag doorsnijdt. Als dit het geval is, is de weerstand klein en varieert van enkele dagen (intreeweerstand beek) tot enkele tientallen dagen (uittreeweerstand grote rivier). Indien de waterloop de deklaag niet doorsnijdt zal de in- en uittreeweerstand bepaald worden op basis van de dikte van de deklaag, de diepte van de waterloop en de vertikale doorlatendheid van de deklaag.

De overige waterlopen zullen gemodelleerd worden door middel van een zogenaamd topsysteem. Betreffende de modelinvoer zal in het hiernavolgende nog even stilgestaan worden bij het topsysteem van het grondwaterstromingsmodel en bij de voeding van dit topsysteem door nuttige neerslag.

Topsysteem

Binnen TRIWACO zijn voor de randvoorwaarden aan de bovenzijde van het grondwaterstromingsmodel verschillende topsystemen beschikbaar die de interactie tussen grondwater, oppervlaktewater en/of nuttige neerslag beschrijven. Een overzicht van de beschikbare relevante topsystemen is gepresenteerd in bijlage 4.

Voor de modellering van Midden- en Noord-Limburg wordt voorgesteld gebruik te maken van topsysteem 11 (zie figuur 4).
De invoer van topsysteem 11 is:

- de hydraulische weerstand (Co) tussen het maaiveld en het eerste watervoerende pakket;
- drainageweerstand (W);
- infiltratieweerstand (I);
- diepte slootbodem t.o.v. maaiveld (Bd);
- de nuttige neerslag (NN) (via FLUZO).

De modeluitvoer betreft o.a. (zie figuur 4):

- de hoogte van de grondwaterspiegel;
- het slootpeil;

- de hoeveelheid grondwater die uitgewisseld wordt met de sloten;
- de hoeveelheid grondwater die uitgewisseld wordt met het bovenste watervoerende pakket.

De hydraulische weerstand tussen maaiveld en het bovenste watervoerende pakket wordt berekend door bewerking van de ARC/INFO kaarten "dikte deklaag" en "doorlatendheid deklaag". De waarden op de laatste kaart zullen met behulp van ARC/INFO door een anisotropiefactor (Kh/Kv) gedeeld worden ter verkrijging van de vertikale doorlatendheid van de deklaag.

Voor de bepaling van de drainage- en infiltratieweerstand zal gebruik gemaakt worden van het analytische model volgens Bruggeman. Dit model gaat uit van een aantal kenmerken van het oppervlaktewaterstelsel en de geohydrologische opbouw van de ondergrond:
- slootafstand (L);
- natte omtrek (B);
- dikte van de drainerende laag (D);
- doorlatendheid drainerende laag (Kh en Kv);
- hydraulische weerstand drainerende laag (C);
- slootbodemweerstand.

De slootafstand en natte omtrek zullen geclassificeerd worden in een aantal categorieën met behulp van de topografische kaart en informatie van waterschappen.

Onder de drainerende laag wordt verstaan de laag waarin het watervoerende deel van de sloot aanwezig is. Dit kan zowel de deklaag als het bovenste watervoerende pakket zijn. Uitgaande van een gemiddelde slootbodemdiepte van 1 meter beneden maaiveld, wordt de doorlatendheid en de dikte van de deklaag maatgevend indien deze dikker is dan 1 meter.

De horizontale doorlatendheid (Kh) van de drainerende laag zal afgeleid worden uit de lithologische samenstelling van de ondergrond volgens de bodemkaart 1:250.000. De waarden voor Kv zullen uit de ARC/INFO-kaart van Kh verkregen worden door invoering van een waarde voor anisotropiefactor (Kh/Kv).

De hydraulische weerstand van de drainerende laag (c) wordt alleen ingevoerd als de deklaag dikker is dan 1 meter (sloot-diepte). De c-waarde wordt berekend via D/Kv.

De slootbodemweerstand is een van de parameters die slecht bekend zijn. De weerstand wordt voornamelijk bepaald door de afzetting van slib en ander slecht doorlatend materiaal op de bodem en de taluds van watergangen. De weerstand is in sterke mate afhankelijk van de onderhoudstoestand van de sloten. Uit eerdere modelcalibraties, beschikt IWACO over verwach-tingswaarden van de slootbodemweerstand.

De boven beschreven kenmerken van het tertiaire oppervlak-tewaterstelsel zullen alle via ARC/INFO-kaarten aan knooppun-ten toegekend worden. Per knooppunt zal aan de hand van de analytische formule, die gebaseerd is op het model van Brug-geman, de drainageweerstand worden bepaald.

De **nuttige neerslag** is een van de belangrijkste invoer-parameters van ieder grondwaterstromingsmodel. IWACO stelt voor met behulp van de module FLUZO de grondwateraanvulling vanuit de onverzadigde zone te kwantificeren. Met FLUZO kan de stroming door de onverzadigde zone gesimuleerd worden, waarmee niet-stationaire voeding van de grondwaterspiegel nauwkeurig bepaald kan worden. Figuur 5 geeft een overzicht van de in-voergegevens van FLUZO. Voor een meer complete beschrijving van FLUZO verwijzen we naar bijlage 3.

IJking van het grondwaterstromingsmodel

IWACO gaat ervan uit dat na de invoer van alle relevante parameters het model geijkt zal worden op een langjarig gemiddelde situatie zoals deze volgt uit de tijdreeksanalyse. De ijking zal in overleg met de begeleidingsgroep van het project uitgevoerd worden. Daarnaast stellen we voor om tijdens de ijking één of enkele medewerkers van de opdrachtgever met het grondwaterstromingsmodel te laten werken. De ijking zal plaatsvinden met behulp van de volgende informatie:

- waargenomen gemiddelde stijghoogte ter plaatse van observatieputten;
- kwel- en infiltratiekaarten uit fase 1;
- vergelijking van de berekende grondwaterspiegeldiepte beneden maaiveld;
- vergelijking van de berekende met de gemeten beekafvoer. (De berekende beekafvoer is gelijk aan de afvoer van de beek in het modelnetwerk, vermeerderd met de afvoer van het tertiaire systeem (in topsysteem) in het stroomgebied van de beek.)

Een uitgebreide gevoeligheidsanalyse zal deel uitmaken van de ijking van het regionale model. Hierbij zal voor alle relevante geohydrologische parameters inzicht worden verkregen in de mate waarin een bepaalde parameter de berekeningsresultaten kan beïnvloeden. Deze gevoeligheidsanalyse vormt tevens een basis voor een gefundeerde inschatting van de nauwkeurigheid waarmee kwel- en infiltratiegebieden, de grondwaterstromingsstelsels en de hydrologische effecten van waterhuishoudkundige maatregelen kunnen worden bepaald.

Over onderzoeksdeel 1 zal apart gerapporteerd worden.

3.3 DETAILLERING EN KWANTIFICERING VAN DE ACTUELE GRONDWATER-STROMINGSTELSELS

Een van de resultaten van de laatste ijkingsrun is een kaart met de actuele kwel- en infiltratiegebieden. Binnen deze gebieden is ook de verdeling van de voeding van het grondwater (infiltratiegebieden) en de afvoer (kwelgebieden) bekend.

Vervolgens zullen met de TRIWACO-module TRACE stroombaan- en verblijftijdberekeningen uitgevoerd worden, uitgaande van het stijghoogtebeeld van de laatste ijkingsrun. Ter plaatse van de grondwaterspiegel in kwelgebieden zullen volgens een gedetailleerd grid stroombanen gestart worden en teruggerekend worden naar de grondwaterspiegel in de bijbehorende infiltratiegebieden. Ook zullen stroombanen gestart worden vanaf de bodem van in het modelnetwerk opgenomen drainerende en voedende beken.

De figuren op de laatste bladzijden van bijlage 2 geven een indruk hoe gedetailleerde verdeling van de voeding en de verblijftijden berekend en gepresenteerd kunnen worden. De figuren zijn afkomstig uit recent IWACO-onderzoek naar de voedingsgebieden van de drinkwaterwinningen Boxmeer en Vierlingsbeek, gelegen in het Noord-Brabantse gedeelte van de Venlo schol binnen de voorgestelde modelgrenzen.

Vervolgens zullen kwel- en infiltratiegebieden die "bij elkaar horen" door stroombanen met elkaar worden verbonden. In de kwelgebieden zullen de flux (het debiet) en de gemiddelde verblijftijd van het grondwater, dat tussen deze gebieden en de bijbehorende infiltratiegebieden stroomt, aangegeven worden. Indien relevant zullen kwel- en infiltratiegebieden opgedeeld worden in homogene deelgebieden op basis van de verblijftijd (zie bijlage 1). De kaart zal gecompleteerd worden door middel van stroombanen, die de bij elkaar horende gebieden verbinden, en met het aangeven van de systeemgrenzen. De

aandelen lokale en (sub)regionale kwel in kwelgebieden zijn hiermee afdoende gekwantificeerd.

Deze berekeningsresultaten zullen "gecontroleerd" worden met een analyse van de grondwaterchemie en met informatie over het voorkomen van specifieke grondwaterafhankelijke plantensoorten. De analyse van de grondwaterchemie is erop gericht vast te stellen hoe verschillende grondwatertypen recentelijk zijn verdeeld en welke chemische processen verantwoordelijk zijn voor de verschillen in watersamenstelling. Veel van deze informatie is al gepresenteerd in de concept-rapportage van fase 1a. Met behulp van een kaart en dwarsprofielen met grondwatertypen zal nagegaan worden in hoeverre de berekende actuele grondwaterstromingsstelsels en watersystemen kloppen met de analyse van de grondwaterchemie. Grote afwijkingen kunnen verklaard worden door historische veranderingen in de waterhuishouding. De effecten van deze veranderingen zullen in het laatste onderdeel van dit onderzoek onderzocht worden.

Dit deel van het onderzoek wordt afgesloten met een evaluatie van de consequenties van de actuele grondwaterstromingsstelsels voor de toekomstige waterkwaliteit in kwelgebieden.

Over dit onderzoeksdeel zal apart gerapporteerd worden. Over de schaal van de kaarten en profielen zal overleg plaatsvinden met de opdrachtgever.

3.4 EVALUATIE BEINVLOEDING GRONDWATERSTROMINGSSTELSELS DOOR WATERHUISHOUDKUNDIGE INGREPEN

De afgelopen twee jaar heeft IWACO in de Provincie Noord-Brabant vrijwel continu de beïnvloeding onderzocht van waterhuishoudkundige maatregelen op de grondwaterstanden, de natuurlijke grondwaterstromingsstelsels en de in de ondergrond voorkomende grondwaterkwaliteitsverdeling. Met betrekking tot

de grondwaterkwaliteitsverdeling spitste het onderzoek zich met name toe op de te verwachten veranderingen van de kwaliteit van het opkwellende grondwater in kwelgebieden met waterafhankelijke natuurwaarden. De gebruikte methodiek en de resultaten van deze onderzoeken zijn onderwerp van een H_2O-artikel. Dit artikel, dat binnenkort aan H_2O aangeboden zal worden, is weergegeven in bijlage 2.

Binnen het kader van het onderhavige onderzoek zou de beïnvloeding van het grondwatersysteem door de grondwaterwinningen en door de aanleg van kunstmatige ont- en afwatering in sommige gebieden onderzocht kunnen worden. De invloed van de grondwaterwinningen kan vastgesteld worden door alle grondwaterwinningen van het geijkte grondwaterstromingsmodel een onttrekking van 0 m^3/jaar te geven en opnieuw de stijghoogten, fluxen etc. te berekenen.

Met behulp van de nieuwe stijghoogtenberekening kunnen de volgende kaarten gemaakt worden:
- kaart met grondwaterspiegelverandering ten opzichte van actuele (ijkings)situatie;
- kaart met kwel/infiltratieveranderingen nabij maaiveld (ten opzichte van actuele (ijkings)situatie).

Identiek aan de stroombaanberekeningen voor de huidige situatie (sectie 3.3) zullen vervolgens met de TRIWACO-module TRACE stroombaan- en verblijftijdberekeningen worden uitgevoerd, uitgaande van het stijghoogtebeeld uit de berekening zonder grondwaterwinningen. De stroombaan- en verblijftijdberekeningen zullen op dezelfde manier uitgewerkt worden als de berekeningen voor de actuele situatie. Het resultaat is weer een kaart waarop is aangegeven:
- topografische achtergrondinformatie;
- kwelgebieden verbonden met de bijbehorende infiltratiegebieden. In de kwelgebieden zal ook de flux en de gemiddelde verblijftijd van het grondwater worden aangegeven. Indien

relevant zullen kwel- en infiltratiegebieden opgedeeld worden in homogene deelgebieden op basis van de verblijftijd (zie ook bijlage 1). De aandelen lokale en (sub)regionale kwel zijn hiermee afdoende gekwantificeerd;
- enkele geohydrologische dwarsprofielen met de grondwaterstromingsstelsels voor de situatie zonder grondwaterwinningen.

In de geohydrologische dwarsprofielen kan de actuele grondwaterkwaliteitsverdeling aangebracht worden om na te gaan in hoeverre deze nog in overeenstemming is met de meer "natuurlijke" grondwaterstromingsstelsels.

Met behulp van de berekeningsresultaten zal tevens een kaart gemaakt worden waarop de volgende aspecten aangegeven zullen worden:
- topografische achtergrondinformatie;
- buitenste begrenzing intrekgebied van de drinkwaterwinningen;
- huidige grondwaterbeschermingsgebieden;
- actuele kwel- en infiltratiegebieden.

Vervolgens zal dezelfde procedure gevolgd worden voor een situatie waarin in een aantal nog te definiëren gebieden de ont- en afwatering naar vroegere proporties teruggebracht is. Met behulp van de gegevensbestanden in ARC/INFO kunnen dergelijke veranderingen snel in het grondwaterstromingsmodel worden aangebracht. IWACO gaat ervan uit dat de modelberekeningen tegelijkertijd voor de verschillende gebieden uitgevoerd kunnen worden. De resultaten van stijghoogte- en stroombaanberekeningen kunnen op dezelfde manier gepresenteerd worden als voor de situatie zonder grondwaterwinningen.

Met behulp van de gepresenteerde kaarten en profielen voor de drie situaties (actuele situatie, situatie zonder grondwaterwinningen en de situatie met teruggedraaide ont- en afwate-

ring) en de actuele ecologische waarden in waterafhankelijke natuurgebieden zullen de volgende aspecten worden afgeleid:

- de beïnvloeding van de grondwaterspiegel en de kweldrukken in actuele en potentiële kwelgebieden door grondwaterwinning en door cultuurtechnische maatregelen;
- de al gerealiseerde en de te verwachten kwaliteitsveranderingen van het grondwater in actuele en potentiële kwelgebieden;
- de hydrologische kansrijkheid van kwelgebieden voor waterafhankelijke natuurwaarden.

Bij de evaluatie van de hydrologische kansrijkheid van de kwelgebieden zal naast de al genoemde aspecten (natuurlijke en actuele abiotische randvoorwaarden) ook gebruik gemaakt worden van de met dit onderzoek verkregen informatie over de beïnvloedbaarheid en de beheersbaarheid van de abiotische randvoorwaarden.

Over dit onderzoeksdeel zal weer apart gerapporteerd worden. De schaal van de kaarten en profielen zal in overleg met de opdrachtgever bepaald worden.

4 PROJECTORGANISATIE

Het project zal uitgevoerd worden op de regionale vestiging van IWACO te Boxtel. Vanwege grote overeenkomsten van het project met het onderzoek "Grondwaterbeheer Midden-Nederland", zullen ervaren vakspecialisten van de IWACO-vestiging te Rotterdam in het project meewerken.

Gekozen is voor een projectteam waarbij de leiding berust bij een ervaren geohydroloog (T. Lennaerts) met gebiedskennis. Het grondwaterstromingsmodel zal opgezet en geijkt worden door M. Emke en L. Postmes. M. Emke is een senior modelspecialist met veel modelleerervaring. Hij was onlangs verantwoordelijk voor de opzet en ijking van het Midden-Nederland model. L. Postmes heeft verschillende kleinere, gedetailleerde modellen gebouwd, onder andere in de provincies Limburg en Noord-Brabant. De kennis en ervaring met de discipline hydrologische systeemanalyse/hydrochemie zal worden ingebracht door M. Gischler. Daarnaast is ruimte ingepland voor overleg met "resource persons".

Het projectteam ziet er als volgt uit:

Projectleider/senior geohydroloog	- ir. T. Lennaerts
Senior modelspecialist	- ir. M. Emke
Geohydroloog/modelspecialist	- ir. L. Postmes
Systeemanalist/hydrochemicus	- drs. M. Gischler

Resource persons

- Systeemanalyse/hydrochemie	- drs. J. Oude Munnink
- Ecologie	- drs. H. v.d. Putten

De CV's van deze medewerkers zijn weergegeven in bijlage 5.

Wat betreft de organisatie van het project zal, mede gezien de relatief korte tijdsspanne waarin het onderzoek uitgevoerd

dient te worden, intensief overleg met de opdrachtgever nodig zijn. Daartoe zijn een aantal tussentijdse overlegrondes ingevoerd (zie tijdsplanning, hoofdstuk 5). Daarnaast is in verband met de overdracht van het model wenselijk dat één of enkele medewerkers van de opdrachtgever nauw betrokken worden bij de opzet en de ijking van het grondwaterstromingsmodel (zie hoofdstuk 7).

5 TIJDSPLANNING

De tijdsplanning is weergegeven in figuur 6. Uit figuur 6 blijkt dat het gehele onderzoek binnen 13 maanden uitgevoerd kan worden. De begin- en eindtijdstippen van de 3 project-onderdelen zijn als volgt:

Onderdeel	Begin	Eind
1. Opzet en ijking grondwater-stromingsmodel	september 1991	januari 1992
2. Detaillering en kwantificering actuele (grond)waterstromings-stelsels	januari 1992	april 1992
3. Evaluatie van de beinvloeding van de (grond)waterstromings-stelsels door waterhuishoud-kundige ingrepen	maart 1992	september 1992

(zoals: Ontw
wateraanvoer (peilopzet)
drainage

6 KOSTENRAMING

Gedetailleerde mensdagenplanningen en kostenramingen van de drie projectonderdelen (zie sectie 3.1) zijn weergegeven in tabel 1 t/m 3. Hierin zijn de benodigde mensdagen per hoofdactiviteit en per discipline geraamd. Samengevat zijn de kosten (excl. BTW) als volgt:

Onderdeel	Personeels-kosten	Overige kosten	Totaal
1. Opzet en ijking grondwaterstromingsmodel	ƒ 121.060,00	ƒ 17.940,00	ƒ 139.000,00
2. Detaillering en kwantificering actuele (grond)waterstromingsstelsels	ƒ 59.840,00	ƒ 17.160,00	ƒ 77.000,00
3. Evaluatie van de beinvloeding van de (grond)waterstromingsstelsels door waterhuishoudkundige ingrepen	ƒ 73.732,00	ƒ 19.268,00	ƒ 93.000,00
TOTAAL	ƒ 254.632,00	ƒ 54.368,00	ƒ 309.000,00

Er zullen geen kosten in rekening gebracht worden voor de overname van het grondwaterstromingspakket TRIWACO-TRACE-FLUZO en de datafiles van het grondwaterstromingsmodel. Meer informatie hierover is in hoofdstuk 7 gegeven.

De werkzaamheden zullen worden uitgevoerd op basis van de "Regeling van de verhouding tussen opdrachtgever en adviserend ingenieursbureau", R.V.O.I.-1987, waarvan IWACO op verzoek kosteloos een exemplaar zal verstrekken. De advieskosten worden berekend op basis van de werkelijk bestede tijd en kosten (artikel 10, lid 2a, 3a en 4a). Indien tijdens het onderzoek wordt afgeweken van de geplande werkzaamheden en dit financiële consequenties met zich meebrengt, zal overleg plaatsvinden met de opdrachtgever. Deze offerte is geldig tot . De betalingstermijn voor onze rekeningen is gesteld op 30 dagen.

7 OVERDRACHT GRONDWATERSTROMINGSMODEL EN GRONDWATERSTROMINGS-PAKKET TRIWACO-TRACE

Aan het eind van het project zullen alle in- en uitvoerfiles van het grondwaterstromingsmodel en de runversie van het grondwaterstromingspakket TRIWACO-TRACE-FLUZO overgedragen worden aan de opdrachtgever. Voor dit project zullen geen kosten voor de overname van het grondwaterstromingspakket berekend worden.

De opzet van het grondwaterstromingsmodel en het gebruik van het pakket TRIWACO-TRACE-FLUZO is zodanig, dat voor geohydrologisch georiënteerde medewerkers slechts een beperkte "training" noodzakelijk is om met het pakket te kunnen werken. We stellen voor om tijdens de uitvoering van het onderzoek één of enkele medewerkers van de opdrachtgever met het TRIWACO-TRACE-FLUZO pakket te laten werken binnen het kader van dit onderzoek.

T A B E L L E N

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

Tabel 1. Mensdagenplanning en kostenraming onderdeel 1

Activiteiten f/dag	Projektleider geohydroloog sr 1.280,00	Geohydroloog sr/ modelspecialist sr 1.080,00	Geohydroloog/ modelspecialist 800,00	Computer-operator 680,00	Ondersteunend personeel 480,00
1. Planning en vooroverleg	1,50	1,00	2,00	0,50	
2. Tijdreeksanalyse	0,50	1,00	4,00		
3. Evaluatie hydrologische systeem-analyse (voor de modelgrenzen en de geohydr. schematisatie)	1,50	2,00	3,00		
4. Onderzoek topsysteem	0,50	0,50	2,00		
5. Verzameling, verwerking en bewerking van gegevens in ARC/INFO	4,00	8,00	15,00	20,00	4,00
6. Opzetten grondwaterstromings-model:					
-modelnetwerk	0,50	2,00	7,00		
-invoer gegevens		1,00	2,00	2,00	
-testruns,controle invoer	1,50	2,00	4,00	3,00	
7. IJking van het model, incl. gevoeligheidsanalyse	4,00	6,00	20,00	10,00	
8. Concept-rapportage	2,00	2,00	5,00	5,00	7,00
9. Overlegronden	2,00	2,00	3,00		
10.Definitieve rapportage	1,00	0,50	2,00	2,00	3,00
Totaal aantal mensdagen	19,00	28,00	69,00	42,50	14,00
Totaal personeelskosten f	24.320,00	30.240,00	55.200,00	28.900,00	6720,00

172

Personeelskosten	f	121.060,00
Reiskosten	f	700,00
Reproduktie,porti,tel etc. (5 concept- en 10 eindrapporten)	f	4.000,00
Computerkosten	f	13.000,00
Onvoorzien en afronding	f	240,00
Totaal excl. B.T.W.	f	139.000,00
Totaal incl. B.T.W.	f	164.715,00

Tabel 2. Mensdagenplanning en kostenraming onderdeel 2

Activiteiten *f*/dag	Projektleider geohydroloog sr 1.280,00	Geohydroloog/ modelspec. 800,00	Systeemanal./ hydrochemicus 920,00	Ecoloog 1.280,00	Geohydrol. assistent 680,00	Ondersteunend personeel 480,00	
1. Evalueren en uitdiepen relatie hydrochemie, grondwaterstromingsstelsels en waterafhankelijke natuurgebieden	1,00		4,00				
2. Stroombaan- en verblijftijdberekeningen m.b.v. stijghoogtepatronen laatste ijkingsrun	0,50	4,00			6,00		
3. Verificatie van de ligging van de berekende kwel- en infiltratiegebieden met analyse grondwaterchemie (type kwel) en ecologische informatie; verklaren verschillen	1,00	2,00	3,00	2,00			
4. Koppelen van gebieden met kwel en gebieden met infiltratie m.b.v. verblijftijden en fluxen van het grondwater	0,50	2,00	2,00		6,00		
5. Evaluatie actuele (grond)waterstromingsstelsels en consequenties voor de grondwaterkwaliteit in kwelgebieden	1,00	1,00	4,00			3,00	
6. Concept-rapportage	2,00	2,00	6,00	2,00		8,00	
7. Overleg	0,50	0,50	1,00				
8. Definitieve rapportage	1,00	1,00	2,00			3,00	
Totaal aantal mensdagen	7,50	12,50	22,00	4,00	12,00	14,00	72
Totaal personeelskosten *f*	9.600,00	10.000,00	20.240,00	5.120,00	8.160,00	6.720,00	

Personeelskosten	*f*	59.840,00
Reiskosten	*f*	400,00
Reproduktie,porti,tel etc. (5 concept- en 60 eindrapporten)	*f*	9.000,00
Computerkosten	*f*	7.000,00
Onvoorzien en afronding	*f*	760,00
Totaal excl. B.T.W.	*f*	77.000,00
Totaal incl. B.T.W.	*f*	91.245,00

20.000,-

Fred - afkeuren ← per winning

Quantum kortom indien er meerdere winningen zijn die bij elkaar liggen - 10% - Totaal som

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

Tabel 3. Mensdagenplanning en kostenraming onderdeel 3

Activiteiten	Projektleider geohydroloog sr	Geohydroloog/ modelspec.	Systeemanal./ hydrochemicus	Ecoloog	Geohydrol. assistent	Ondersteunend personeel
f/dag	1.280,00	800,00	920,00	1.280,00	680,00	480,00
1. Vooroverleg over de te evalueren waterhuishoudkundige maatregelen	1,00	0,50	0,50			
2. Principe beschrijving en globaal ontwerp waterhuishoudkundige maatregelen	0,50	2,00	1,00			
3. Verzamelen relevante informatie m.b.t. waterhuishoudkundige maatregelen		1,00	1,00	0,50		
4. Verwerking gegevens in ARC/INFO	1,00	2,00	0,50		3,00	
5. Maken invoerfiles voor doorrekenen waterhuishoudkundige maatregelen met TRIWACO-TRACE	0,50	2,00			3,00	
6. Stijghoogte-, stroombaan-, en verblijftijdenberekeningen met TRIWACO-TRACE		5,00			8,00	
7. Koppelen gebieden met kwel met gebieden met infiltratie m.b.v. - berekende stroombanen, verblijftijden en fluxen - hydrochemie van ondiepe en diepere grondwatersystemen - ecologische informatie	0,50	2,00	2,00	1,50		
8. Presentatie waterstromingsstelsels in de situatie zonder de waterhuishoudkundige maatregelen maatregelen	1,00	2,00	2,00			5,00
9. Aangeven van de intrekgebieden van drinkwaterwinningen	0,50	2,00	1,00	901/1- → 3160,-		
10. Evaluatie en presentatie: - beinvloeding grondwaterstroming en grondwaterkwaliteit in kwelgebieden door waterhuishoudkundige maatregelen - begrenzing intrekgebieden drinkwaterwinningen in relatie tot huidige beschermingsgebieden - kansrijkdom van kwelgebieden	2,00	2,00	4,00	1,50		4,00
11. Concept-rapportage	2,00	3,00	3,00	1,50		5,00
12. Overleg	0,50	0,50	1,50			
13. Definitieve rapportage	1,00	2,00	1,00	0,50		3,00
Totaal aantal mensdagen	10,50	26,00	17,50	5,50	14,00	14,00
Totaal personeelskosten *f*	13.440,00	20.800,00	16.100,00	7.040,00	9.520,00	6.720,00

86

Personeelskosten	*f*	73.732,00
Reiskosten	*f*	400,00
Reproduktie, porti, tel. etc.	*f*	10.000,00
(5 concept- en 60 eindrapporten)	*f*	
Computerkosten	*f*	8.000,00
Onvoorzien en afronding	*f*	868,00
Totaal excl. B.T.W.	*f*	93.000,00
Totaal incl. B.T.W.	*f*	110.205,00

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

Bijlage 1

Methodiek bepaling intrekgebieden en verblijftijden van grondwaterwinningen

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

Methodiek bepaling intrekgebieden en verblijftijden van grondwaterwinningen

In deze notitie worden in het kort de verschillende stappen beschreven in het onderzoek ter bepaling van de ligging van de intrekgebieden en de verblijftijden van het opgepompte water van grondwaterwinningen.

Het doel van het onderzoek is het verkrijgen van inzicht in:
- De ligging van de voedingsgebieden van de grondwaterwinningen met de totale verblijftijd en het aandeel van het ingetrokken water aan de winning;
- De mate van kwetsbaarheid van de grondwaterwinningen voor diffuse verontreinigingen;
- De effectiviteit van de huidige beschermingsmaatregelen voor diffuse verontreinigingen.

Het resultaat van de studie zal zijn, per winning:
1. De ligging van het totale (100%-) intrekgebied;
2. De responskarakteristiek;
3. De ligging van de verblijftijdzones (vanaf maaiveld) in combinatie met het aandeel van de voeding aan de winning vanuit die zones (volumestroom), voor het aangewezen grondwaterbeschermingsgebied, dan wel voor de 100-jaars verblijftijdzone (vanaf maaiveld), afhankelijk van de buitenste begrenzing van deze gebieden;
4. Een gevoeligheidsanalyse voor deze drie resultaten.

Om rekening te kunnen houden met de laterale verschillen in de bodem(invoer)parameters wordt een numeriek grondwatermodel gemaakt van het onderzoeksgebied. IWACO maakt gebruik van het numerieke eindige elementen model TRIWACO in combinatie met de stroombaanmodule TRACE. TRIWACO gaat uit van driehoekige elementen. TRACE gaat uit van berekende stijghoogten en het beginsel van continuïteit. Een belangrijk voordeel van TRIWACO/TRACE is de mogelijkheid tot een zeer sterke verdichting van het elementen-netwerk rond de winputten.

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

Dit is van belang omdat de ligging van de intrekgebieden sterk beïnvloed wordt door de richting van de stroombanen vlakbij de winputten.

In het onderstaande zal de te volgen methodiek, die bestaat uit de volgende handelingen, in volgorde van voorkomen kort worden toegelicht:

1. Inventarisatie gegevens
2. Opzet regionaal model
3. IJking regionaal model
4. Verificatie regionaal model
5. Gevoeligheidsanalyse modelparameters (volgt grotendeels uit ijking)
6. Bepaling intrekgebieden
7. Gevoeligheidsanalyse intrekgebieden
8. Opzet window-modellen
9. Bepaling verblijftijden en aandeel opgepompt water
10. Gevoeligheidsanalyse verblijftijden

ad 1 Inventarisatie gegevens

Alvorens een model op te zetten dienen eerst voldoende gegevens te worden verzameld. Deze gegevens betreffen:

- grondboringen, pompproeven, geologisch onderzoek, geo-elektrisch onderzoek, e.d. en daaruit afgeleide geohydrologische dwarsprofielen en kaarten van diverse zand- en kleipakketten;
- neerslag- en verdampingsmetingen;
- stijghoogtewaarnemingen;
- waterstaatskaarten;
- topografische kaarten;
- uitmaal- en afvoermetingen;
- bestaande onderzoeksrapporten.

ad 2 Opzet regionaal model

Dit houdt in dat de geïnventariseerde gegevens worden omgezet in kaarten die het modelgebied beslaan. Deze kaarten betreffen:

- afbeelding van topsystemen (bijv. polders, freatische en vrij-afwaterende systemen);
- afbeelding van de belangrijke waterlopen in het modelgebied;
- afbeelding van de dikte en kD-waarde van de diverse watervoerende pakketten;
- afbeelding van de dikte en c-waarde van de diverse weerstandsbiedende lagen;
- afbeelding van de maaiveldhoogte (t.o.v. NAP);
- afbeelding van de diepte van de geohydrologische basis (t.o.v. NAP).

Deze kaarten worden dan met behulp van een GIS gecombineerd met het aangemaakte elementennetwerk, waarin de belangrijkste waterlopen en de grondwateronttrekkingen ook zijn opgenomen.

ad 3 <u>IJking regionaal model</u>

Er wordt een periode gekozen (één of meerdere jaren), waarbij uit meetgegevens blijkt dat de grondwaterbergingsverandering minimaal is (ongeveer gelijke grondwaterstanden aan begin en eind van de gekozen periode). Over het algemeen wordt een hydrologisch gemiddelde periode gekozen.

- Stationaire ijking:
  Over de gekozen periode wordt de gemiddelde (m/dag) nuttige neerslag bepaald (= gemeten neerslag verminderd met gewasfactor X gemeten "open water verdamping"). Daarnaast worden van de onttrekkingsputten de gemiddelde (m^3/dag) debieten bepaald. Dan wordt net zolang aan de modelparameters gesleuteld totdat de berekende waarden binnen redelijke grenzen overeenkomen met de meetgegevens.

Dit "sleutelen" heeft natuurlijk zijn grenzen en moet binnen aannemelijke proporties blijven. De meetgegevens kunnen bestaan uit:

* grondwaterstanden per watervoerend pakket
* rivierafvoeren
* uitmaaldebieten (bij poldergebieden)

N.B. De meetgegevens moeten critisch worden belicht:

* landbouwbuizen op smalle ruggetjes in polders geven vaak waarden ver boven polderpeil aan. De filters van deze buizen zitten vaak al boven polderpeil;
* landbouwbuizen in hoge freatische gebieden kunnen zogenaamde schijngrondwaterspiegels aangeven;
* meetgegevens aan de rand van het model zijn over het algemeen moeilijker met het model te benaderen dan meetgegevens midden in het model (randinvloeden, kleinere netwerkdichtheid, e.d.);
* uitmaalgegevens kunnen van weinig waarde zijn als er ook onbekende hoeveelheden water worden ingelaten (op onbepaalde tijden, voor peilopzet o.i.d.).

- Niet stationaire ijking:
  Er wordt nu geijkt op:
  * tijdstijghoogtelijnen;
  * neerslag-afvoerrelaties;
  De neerslag-verdampings-gegevens worden nu per rekenperiode ingevoerd (zo ook de grondwateronttrekkingen).
  NB: bij freatische systemen moet rekening worden gehouden met eventuele traagheden in het systeem.

ad 4 <u>Verificatie regionaal model</u>

In wezen wordt nu hetzelfde gedaan als bij de ijking, met deze verschillen:
- Er wordt een hydrologisch natte of droge periode gekozen;
- Er wordt niet verder gesleuteld aan de modelparameters.

Als dit laatste wel nodig mocht zijn is terugkoppeling naar de ijking noodzakelijk. Er wordt dus nu gecontroleerd of de ijking van de modelparameters geslaagd is, of slechts op toevalligheden berust.

ad 5 <u>Gevoeligheidsanalyse modelparameters</u>

Voor een groot regionaal model kan dit een probleem zijn. Iedere parameter (bijv. een kD-waarde) kan in een groot regionaal model sterk variëren, afhankelijk van de plaats in dat model. Dit houdt dus in dat er niet kan worden gesproken over

(bijv.) de kD van het 3e watervoerend pakket verhogen of verlagen. Deze kan dus slechts lokaal gevarieerd worden, maar wat is dan de invloed hiervan op het totale model (hoever draagt deze verandering). Aan de hand van het "sleutelwerk" gedurende de ijking van het model kan wel wat kwalitatiefs gezegd worden over de gevoeligheid van de diverse parameters. Een andere mogelijkheid is om eventueel alle modelparameters per parameter over het gehele gebied tegelijk te variëren met een factor (bijv. 0,5 of 2), maar ook dan kan niet veel meer dan een kwalitatieve analyse worden gemaakt.

ad 6 Bepaling intrekgebieden

Voor de berekeningsfase wordt, wat betreft de neerslag en verdamping, gebruik gemaakt van een veeljarig gemiddelde hydrologische situatie (bijv. 1951-1980). Voor de te onderzoeken winningen worden de vergunningscapaciteiten aangehouden voor de overige winningen de meest recent bekende onttrekkingshoeveelheden.

Een intrekgebied van een winning wordt gedefinieerd als het aaneengesloten gebied waarbinnen al het onttrokken water van die winning in de bodeminfiltreert.

Met het geijkte en geverifieerde model kunnen de intrekgebieden van de winningen binnen dat model worden berekend. Hierbij worden stroombanen vanaf de onttrekkingsfilters teruggerekend naar de plaats waar ze aan maaiveld ontstaan (zie afbeelding i).

NB: De stromingsrichting in de diverse watervoerende pakketten is niet per definitie gelijk. Daarom is het raadzaam om de stroombanen op diverse hoogtes vanaf de (als volkomen geschematiseerde) onttrekkingsfilters te laten starten. Bijvoorbeeld: helemaal bovenin, op 10% vanaf de bovenkant, op 20% vanaf de bovenkant, etc., tot helemaal onderin. Alleen als het gehele intrekgebied (waarschijnlijk) in een freatisch gebied ligt, is het voldoende om slechts de

stroombanen vanaf de onderkant van het onttrekkingsfilter terug te rekenen.

-d 7 Gevoeligheidsanalyse intrekgebieden

De berekening van de intrekgebieden bevat een aantal onnauwkeurigheden. Deze worden veroorzaakt door:
- de dynamiek van het grondwatersysteem;
- de schematisatie van de werkelijkheid;
- onzekerheden in parameterwaarden.

Wat de dynamiek van de grondwatersystemen betreft, zijn er oneindig veel scenario's te bedenken (verandering onttrekkingsdebieten, verkavelingen, peilopzet, etc.). Het is niet de bedoeling deze scenario's in een gevoeligheidsanalyse uit te voeren.

De schematisatie van de werkelijkheid spreekt voor zich, dat is nu eenmaal een kenmerk van een model. Er is door de vereenvoudiging wel enige samenhang met het laatste punt: de onzekerheden in parameterwaarden.

Een gevoeligheidsanalyse per parameter zal moeten uitwijzen in hoeverre de ligging van het berekende intrekgebied, gevoelig is voor deze parameter. Daarnaast zal, ter controle ook moeten worden gelet op afwijkingen. Indien de stijghoogte irreëel sterk verandert bij een gevoeligheidsanalyse van een bepaalde parameter, kan er van worden uitgegaan dat de parameterwaarde ook irreëel sterk veranderd is. In dat geval is de veronderstelde mogelijke afwijking in deze parameter te groot.

De parameter die vermoedelijk de meeste invloed heeft op de ligging van het intrekgebied van een winning is de voeding (de zgn. nuttige neerslag). Met name in gebieden met een grote onverzadigde zone kunnen behoorlijke onzekerheden in de hoeveelheid voeding voorkomen.

Indien uit deze gevoeligheidsanalyse mocht blijken dat de ligging van het intrekgebied van een winning erg afhankelijk

is van een kleine verandering van een van de modelparameters, heeft het geen zin zo'n winning verder te onderzoeken. Dit zal over het algemeen niet het geval zijn. Waarschijnlijk zal over het algemeen slechts de ligging van de staart van het intrekgebied aan veranderingen onderhevig zijn (zie afbeelding ii). Dit betreft dan het water met de grootste verblijftijden (vaak meer dan 100 jaar).

ad 8 Opzet window-modellen

Indien de gevoeligheidsanalyse (ad 7) met goed gevolg is afgerond, kan het belangrijkste deel van het intrekgebied van een winning uit het regionale model worden gelicht in een window-model (zie afbeelding iii). Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om te werken met een fijnmaziger netwerk enerzijds en een meer-lagensysteem anderzijds. Dan wordt een watervoerend pakket dat bestaat uit meerdere lagen (met bijbehorende k-waarden) ook als zodanig gemodelleerd. Dit is niet van belang voor de ligging van de intrekgebieden, maar wel voor de verblijftijden (zie afbeelding iv).

Een window-model heeft natuurlijk alleen maar zin als er aan nauwkeurigheid gewonnen kan worden.

ad 9 Bepaling verblijftijden en aandeel opgepompt water

Dit kan worden opgesplitst in twee belangrijke onderdelen, te weten:

- het bepalen van de responskarakteristiek van een winning;
- het bepalen van de combinatie verblijftijdzone - aandeel van de voeding.

Voor het bepalen van de responskarakteristiek, wordt het onttrekkingsfilter in een aantal gelijke stukken verdeeld, (bijv. 10). Dan worden vanaf elk van die stukken een aantal stroombanen teruggetraced naar de plaats waar ze aan maaiveld komen (net zoals is gedaan bij de bepaling van het intrekgebied). Hierbij wordt dan langs elke stroombaan de tijd tussen aankomst bij de grondwaterspiegel in het infiltratiegebied en het oppompen van een waterdeeltje berekend. Met

behulp van deze tijden kan dan de zgn. responskarakteristiek worden opgesteld (zie afbeelding v).

Ten behoeve van het bepalen van de combinatie verblijftijdzone - aandeel van de voeding van een winning wordt een fijnmazig (bijv. 250 m bij 250 m) raster over het gebied rond deze winning gelegd. Op de rasterknopen wordt dan berekend:

* de tijd die een waterdeeltje nodig heeft om vanaf maaiveld de winning te bereiken;
* de verticale flux aan maaiveld.

Hiermee kan dan het gekozen gebied worden ingedeeld in een combinatie van verblijftijdzone en aandeel van de voeding van de winning in die zone (zie afbeelding vi). Deze indeling kan naar believen worden uitgebreid met indeling naar:

* bodemgebruik (stedelijk gebied, natuur, landbouw, e.d.);
* bodemopbouw (klei, veen en zand) en GT;
* soort oppervlaktewaterstelsel (polder, freatisch gebied, e.d.).

Bij eventuele verder indeling moet wel worden gelet op overzichtelijkheid (niet te veel kleine vakjes) en op een mate van schijnnauwkeurigheid, die hier uit afgeleid zou kunnen worden. Het gebied waarover het raster wordt gelegd is minimaal zo groot als het door de provinciale overheid vastgestelde beschermingsgebied. Indien echter uit de berekeningen volgt dat de 100 jaars-verblijftijd-zone zich uitstrekt tot buiten het beschermingsgebied zal het raster worden uitgebreid tot deze zone bereikt wordt. Het gaat hierbij dan om de verblijftijd vanaf maaiveld tot onttrekkingsfilter.

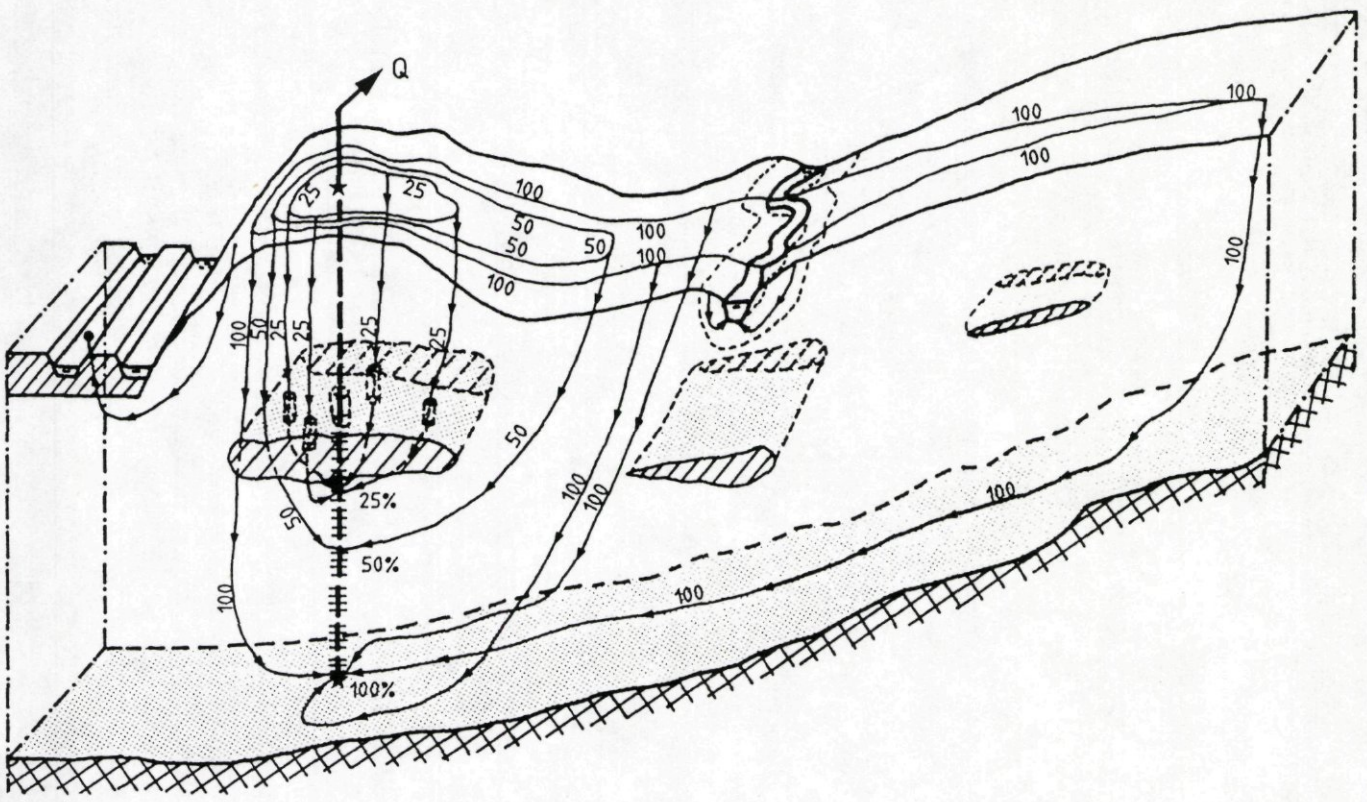
ad 10 <u>Gevoeligheidsanalyse verblijftijden</u>

De verblijftijden van het grondwater kunnen niet simpelweg geijkt worden zonder een uitgebreid tracer en monitoring systeem. Er zijn hiervan over het algemeen (nog) geen meetgegevens beschikbaar. Dit betekent dat er een gevoeligheidsanalyse nodig is om iets over de betrouwbaarheid van de resultaten te kunnen zeggen.

De parameters die van belang zijn voor de verblijftijden zijn:
- de k-waarden van de watervoerende afzettingen;
- de porositeit van de kleilagen.

↳ kortom: is feitelijk niet te verifieren

→

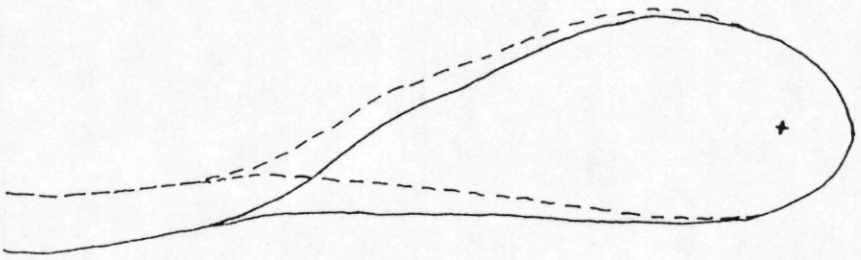


25 Begrenzing gebied waarin 25% van het gewonnen water infiltreert

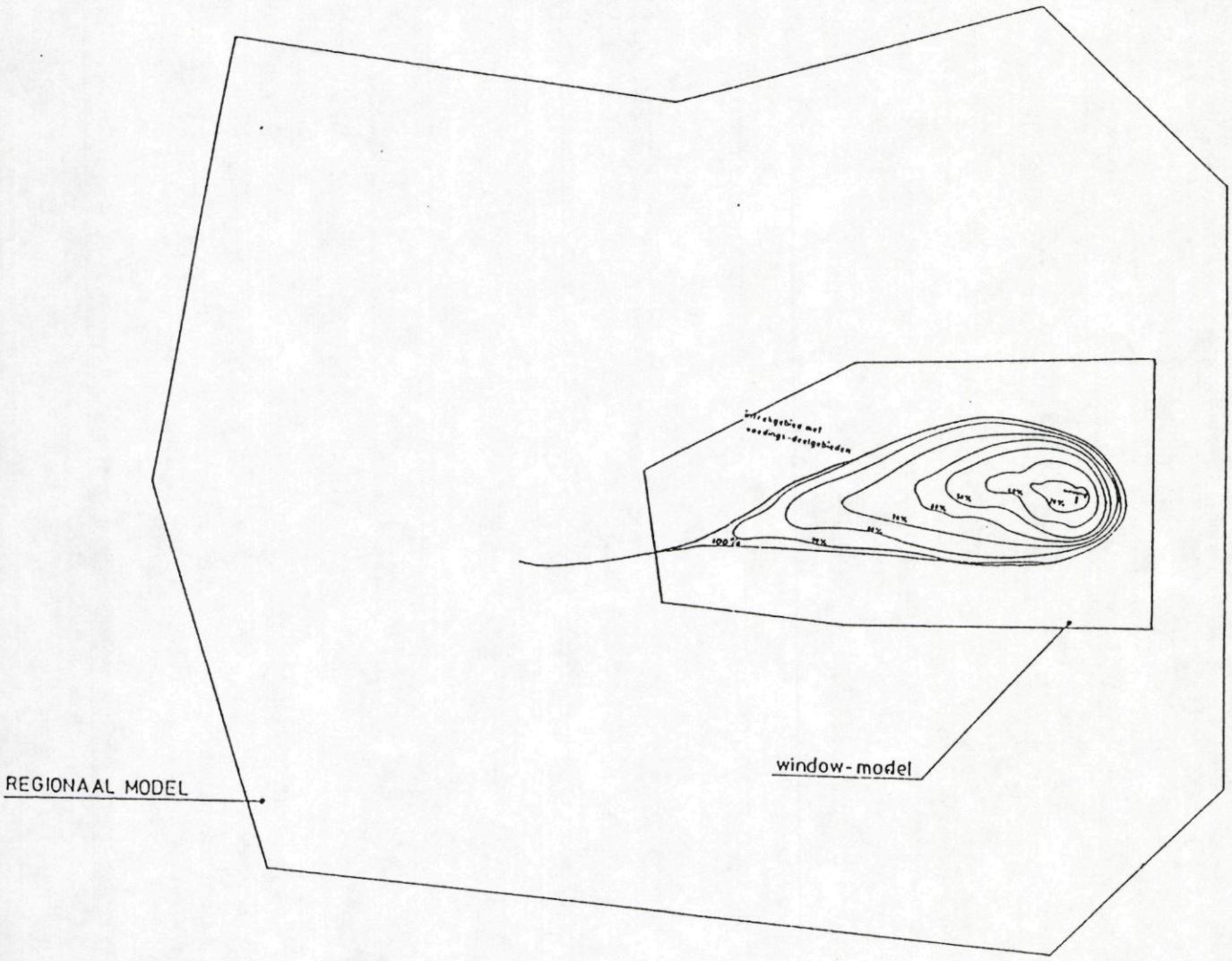
50 Begrenzing gebied waarin 50% van het gewonnen water infiltreert

100 Begrenzing gebied waarin 100% van het gewonnen water infiltreert

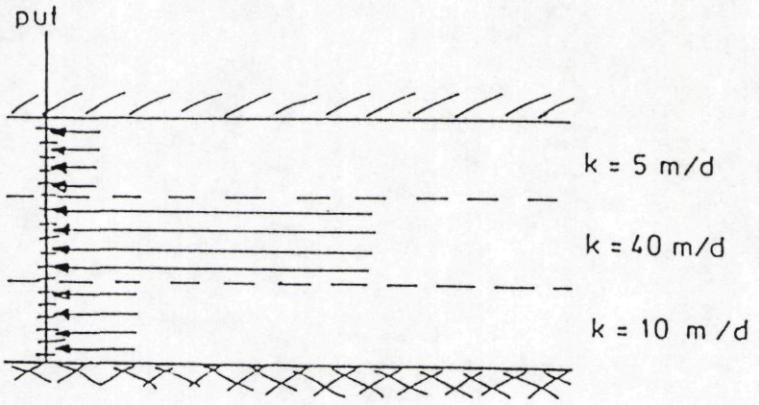
Afbeelding i: Bepaling intrekgebieden



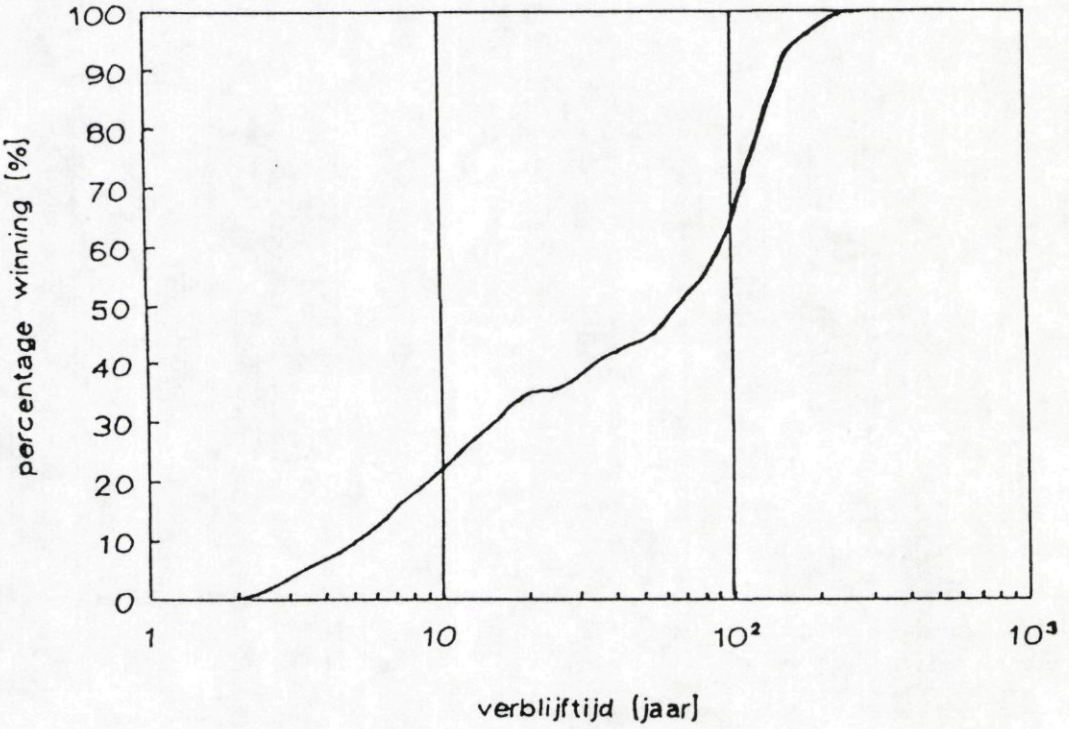
Afbeelding ii : Gevoeligheid ligging intrekgebied



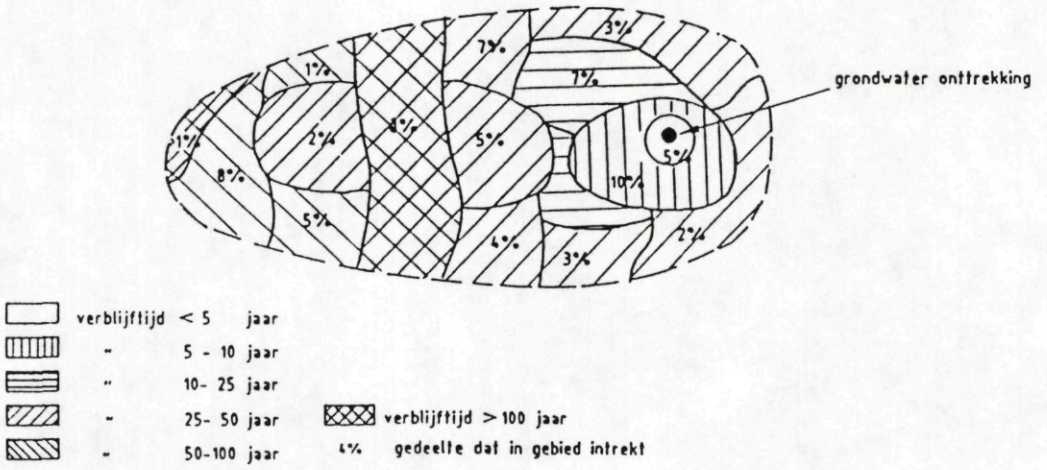
Afbeelding iii : Uitlichten window-model



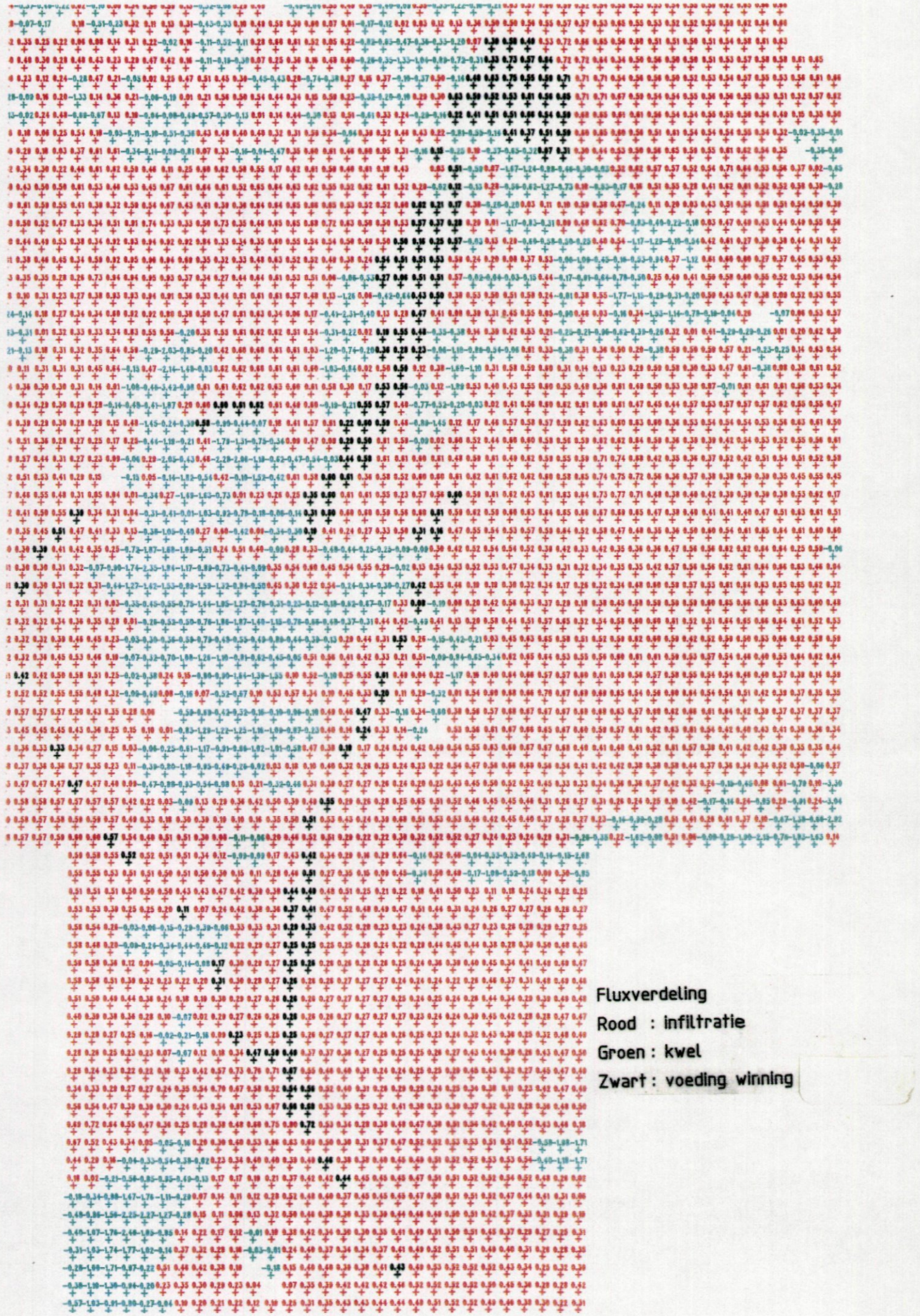
Afbeelding iv : Voorbeeld gelaagdheid watervoerend pakket

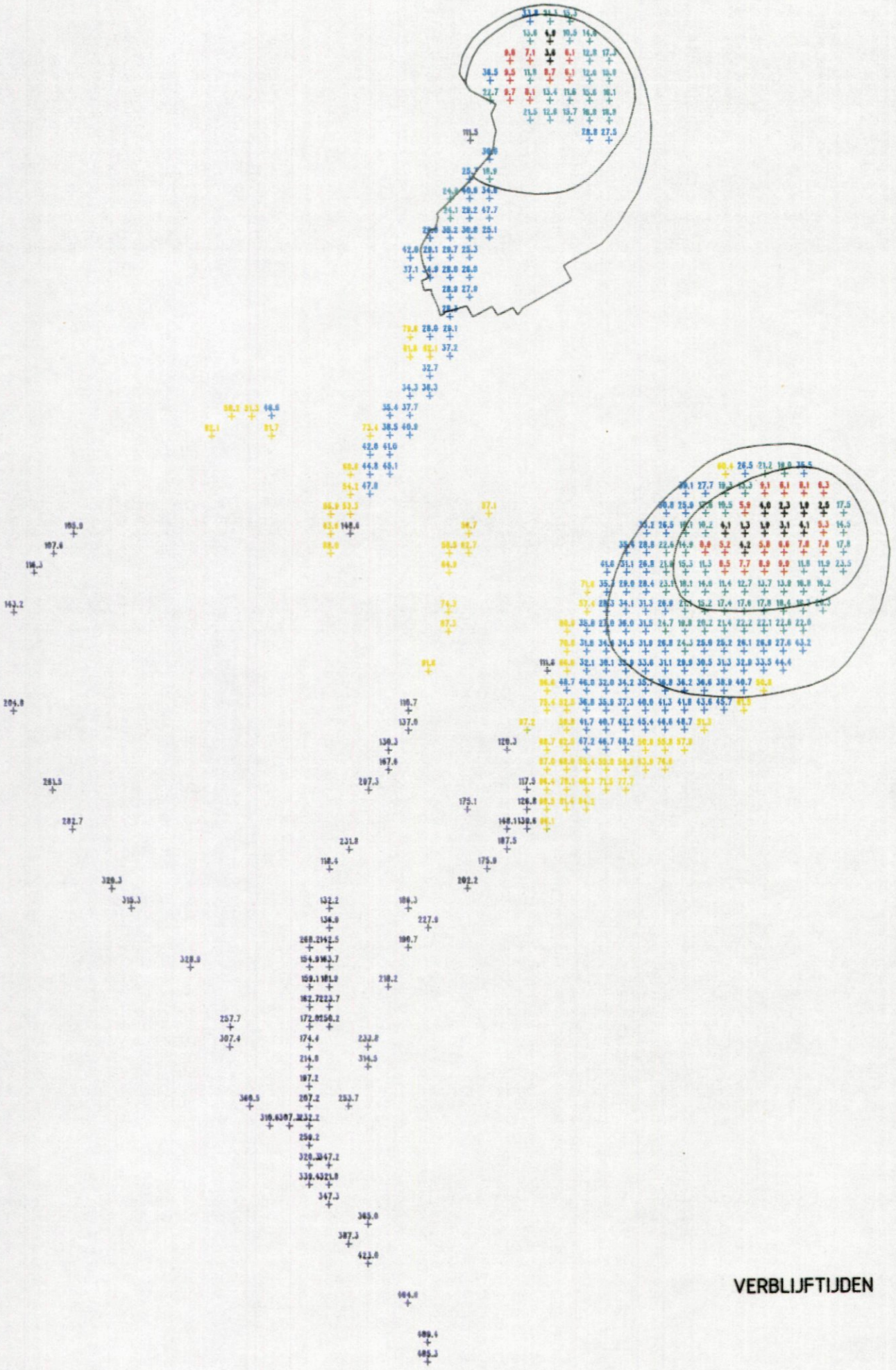


Afbeelding v : Voorbeeld responskarakteristiek

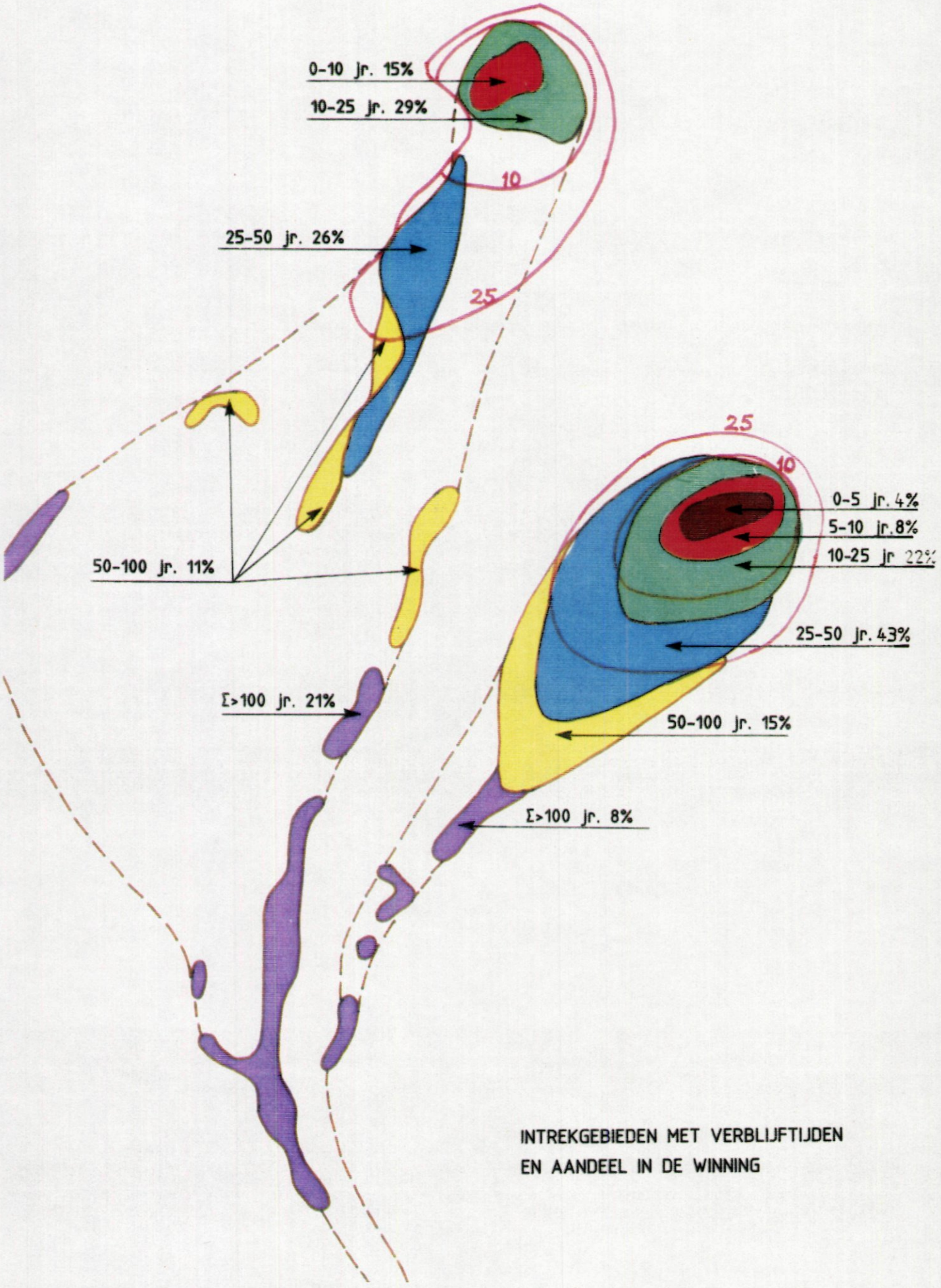


Afbeelding vi: Indeling bestaand grondwaterbeschermingsgebied naar verblijftijdsinterval en volumestroom-percentage


Fluxverdeling
Rood : infiltratie
Groen : kwel
Zwart : voeding winning



VERBLIJFTIJDEN



INTREKGEBIEDEN MET VERBLIJFTIJDEN
EN AANDEEL IN DE WINNING

Bijlage 2

H_2O-artikel
"Diepe grondwaterwinning en natte natuurgebieden:
kansen en bedreigingen"

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

SAMENVATTING

IWACO heeft een methode ontwikkeld om beter de mogelijke effecten te voorspellen die diepe grondwaterwinningen teweegbrengen op grondwatergevoede eco-systemen in kwelgebieden. De methode kan een waardevol aanvullend instrument opleveren om beleidskeuzes te maken bij het grondwaterbeheer.
Diepe winningen onder afdekkende kleilagen leiden nauwelijks tot daling van de grondwaterstand. Maar ze kunnen grondwaterstromingspatronen dermate verstoren dat de waterkwaliteit in de ondergrond verandert. De veranderingen van grondwaterstroming zijn te kwantificeren en de kwaliteitsontwikkeling is te voorspellen, maar het vertalen van dit abiotische effect in biotische gevolgen blijft een probleem. De processen die hierbij spelen zijn nog niet allemaal bekend. Met de aangegeven methode kunnen de potentiële bedreigingen worden geschat.

Allereerst wordt getracht inzicht te krijgen in de oorspronkelijke stromingsstelsels (zonder winningen) aan de hand van een hydrologische systeemanalyse, ruimtelijke verdeling van waterkwaliteit in de ondergrond, vegetatiepatronen van voor 1950 en een numeriek model. Daarna worden de hydrologische veranderingen die de huidige winningen hebben veroorzaakt, gekwantificeerd met het model en vergeleken met veranderingen in vegetatie en grondwaterkwaliteit. Tot slot worden toekomstige onttrekkingssituaties hydrologisch gekwantificeerd in termen van omvang van kwelgebieden en -vensters, herkomst van stroombanen en fluxen. Op basis van de stromingsveranderingen en inzichten in historische en recente waterkwaliteitsverdeling zijn voorspellingen te doen ten aanzien van de grondwaterkwaliteits- en vegetatieontwikkeling in kwelgebieden.

DIEPE GRONDWATERWINNINGEN EN NATTE NATUURGEBIEDEN: KANSEN EN BEDREIGINGEN

INLEIDING

In de Centrale Slenk in Noord-Brabant (figuur 1) wordt het zwaartepunt van grote grondwaterwinningen steeds meer verlegd naar de diepe watervoerende pakketten. Deze verschuiving heeft consequenties voor het hydrologisch onderzoek naar de effecten van de winningen; ook dat is "verdiept". Tot enkele jaren geleden ging het vooral om het voorspellen van de verlagingen van de grondwaterspiegel, nu krijgen de verandering van stromingsstelsels in de ondergrond en veranderingen van waterkwaliteit meer en meer de aandacht.

In de Centrale Slenk worden de diepe watervoerende pakketten afgedekt door regionaal verbreide slecht-doorlatende kleilagen. Het kleipakket van de Formaties Kedichem en Tegelen vormt in de Centrale Slenk de belangrijkste scheidende laag (zie figuur 2). Dit kleipakket beschermt het diepe grondwater tegen verontreinigingen vanaf maaiveld en bovendien dempt dit pakket de daling van de grondwaterspiegel. Een diepe winning heeft echter het nadeel dat diepe kwelstromen worden verstoord waardoor de waterkwaliteitsverdeling kan veranderen. Dit kan net als daling van de grondwaterspiegel nadelige gevolgen hebben voor de natuur.

Diepe kwelstromen maken deel uit van een regionaal stromingssysteem. Een dergelijk hydrologisch systeem verbindt een hoog gelegen infiltratiegebied via diepe stromingstakken met een ver weg en laag gelegen kwelgebied. Voor de Centrale Slenk in Noord-Brabant zijn de Belgische Kempen en delen van de Peelhorst de belangrijkste infiltratiegebieden voor regionale systemen (zie figuur 1). Het rivierengebied en de dalen van de hoofdbeken in Noord-Brabant vormen de bijbehorende kwelgebieden. Het grondwater dat een diepe stromingstak volgt, heeft vaak looptijden van honderden tot duizenden jaren. Het is dan ook niet verontreinigd door menselijke activiteit en heeft een uiterst laag gehalte aan eutrofiërende stoffen als nitraat,

fosfaat en sulfaat. Op plaatsen waar dit diepe, schone en voedsel-arme grondwater aan het maaiveld komt (figuur 3a), liggen vaak grondwatergevoede eco-systemen met bijzondere floristische soortenrijkdom.

Een diepe grondwaterwinning kan tot gevolg hebben dat diepe kwel niet meer aan maaiveld komt maar wordt vervangen door kwelwater uit een minder diep systeem (figuur 3b). Hierdoor kan de chemische samenstelling van het grondwater veranderen en dat kan gevolgen hebben voor de flora. Of dit ook werkelijk optreedt, hangt af van de lokale situatie: met name een duidelijk verschil in waterkwaliteit tussen diepe en minder diepe kwel is hierbij een voorwaarde. Een andere voorwaarde is dat de verandering van de grondwaterkwaliteit doorwerkt in de samenstelling van het bodemvocht.

In grote lijnen ziet deze effectketen er als volgt uit:

In praktijk zitten er nogal wat haken en ogen aan deze effectketen. De processen in de verschillende abiotische en biotische "ketenschakels" zijn complex; vooral in de laatste biotische schakel. Daarom is het moeilijk om het effect van een diepe winning (eerste schakel: abiotisch) op een eco-

systeem (laatste schakel: biotisch) te voorspellen. Niettemin bestaat bij grondwaterbeheerders zoals de provincie een grote behoefte om tot een zekere mate van voorspelling te komen. Daarmee kunnen ze maatregelen onderbouwen om de verdroging en eutrofiëring terug te dringen en om herstel te bereiken van grondwatergevoede eco-systemen. Optimalisatie en eventuele verplaatsing van grondwaterwinningen zijn maatregelen die worden aangekondigd in de provinciale waterhuishoudingsplannen.

De provincie eist tegenwoordig dan ook een uitgebreider hydrologisch effectenonderzoek bij een vergunningsaanvraag voor een grote grondwaterwinning. Het gaat niet meer alleen om verlagingen van de grondwaterspiegel maar ook om grondwaterkwaliteitsveranderingen en de mogelijke invloed daarvan op de natuur. Ook wordt het onderzoeksgebied groter. Ging het vroeger grofweg om het gebied met freatische verlagingen van meer dan 5 cm, nu is dat niet meer voldoende omdat de invloed van een winning op de grondwaterkwaliteit vaak verder reikt.

Een praktisch probleem blijft echter het vaststellen en kwantificeren van die effecten. In dit artikel introduceert IWACO een methodiek; daarmee kan beter worden ingeschat in welke mate diepe grondwaterwinningen een potentiële bedreiging vormen voor grondwatergevoede eco-systemen. De methode kan ook worden gebruikt om locaties te vinden waar diepe grondwaterwinning geen nadelige effecten met zich meebrengt.

BENADERINGSWIJZE

Bij grondwatergevoede eco-systemen op het land geldt een zekere relatie tussen de kwaliteit van het grondwater en die van het bodemvocht. Ook geldt er een relatie tussen de kwaliteit van het bodemvocht en de samenstelling van de vegetatie. Indirect kan een verandering van de grondwaterkwaliteit leiden tot een verandering van de soortenrijkdom van de vegetatie. Dat is inmiddels wel gebleken uit vele eco-hydrologische studies in grondwatergevoede natuurgebieden in Nederland (o.a. KIWA, 1989; Zadelhof & Cools, 1989).

De oorzaken van de grondwaterkwaliteitsverandering liggen vaak buiten het natuurgebied zelf. Een van die oorzaken kan een diepe grondwaterwinning zijn, maar hoe de biotische en abiotische mechanismen nu precies werken, is nog onduidelijk. Problemen zijn de vertaling van:

- verstoring van stromingsstelsels naar verandering van grondwaterkwaliteit;
- verandering van grondwaterkwaliteit naar effecten op bodemwatersamenstelling;
- verandering van bodemwatersamenstelling naar uiteindelijke vegetatie-ontwikkeling.

Een reeks van processen zoals verdringing, naijling, bodemprocessen etcetera, kunnen hierbij een belangrijke vertragende rol spelen.

Er zijn twee invalshoeken om een instrument te ontwikkelen om bovengenoemde effecten te voorspellen: een biotische en abiotische. De biotische invalshoek vergt langdurig en gedetailleerd veld-onderzoek naar de lokale relatie grondwaterkwaliteit-bodemvochtkwaliteit-vegetatie. Dit is vaak niet haalbaar binnen de procedures van vergunningverlening of formulering van beleid vanwege de tijdsduur of de kosten. Daarom heeft IWACO een methode ontwikkeld vanuit de abiotische invalshoek. Deze methode levert in relatief korte tijd (enkele maanden) een voorspelling op van de verandering in de kwaliteit van opkwellend grondwater en van de potentiële bedreiging van grondwatergevoede eco-systemen die daar het gevolg van is.

Eerst wordt vastgesteld welke regionale veranderingen in grondwaterwaterstromingsstelsels een winning veroorzaakt. Op grond daarvan wordt een uitspraak gedaan over de veranderingen in de grondwaterkwaliteit rondom grondwatergevoede natuurgebieden. De volgende stap is: vaststellen of die veranderingen in grondwaterkwaliteit bedreigend **kunnen** zijn voor de vegetatieontwikkeling.

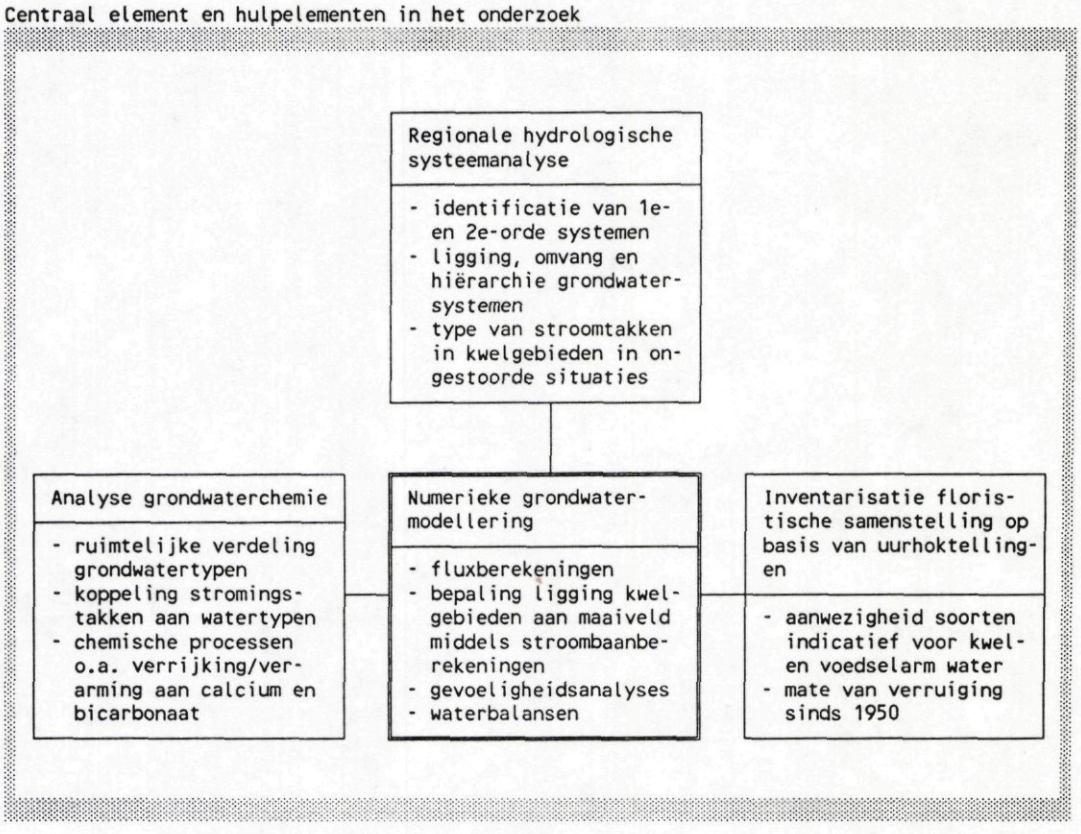
Met nadruk wordt hier gesteld dat het gaat om potentiële bedreigingen. Om uiteindelijk de stap te maken naar reële

bedreigingen moet het eco-hydrologische onderzoek worden aangevuld met een biotisch deel: een gedetailleerd vegetatie-onderzoek in de bewuste natuurgebieden. Dat kan uitsluitsel geven in welke mate het nu de voorspelde verandering van de kwaliteit van het opkwellende grondwater is die zal leiden tot een achteruitgang van de flora. Want ook factoren als atmosferische depositie of oppervlaktewaterverontreiniging kunnen hierbij de doorslag geven.

METHODIEK

Het hoofdelement van de methode is een numeriek grondwaterstromingsmodel. Drie andere essentiële elementen zijn een hydrologische systeemanalyse, een analyse van de hydrochemie en een analyse van de vegetatie in kwelgebieden. Tabel 1 geeft dit schematisch weer. Deze elementen komen aan de orde in drie onderzoeksstappen die hieronder worden toegelicht: de oorspronkelijke situatie zonder grondwaterwinningen, de huidige winningssituatie en de toekomstige (zie ook tabel 2).

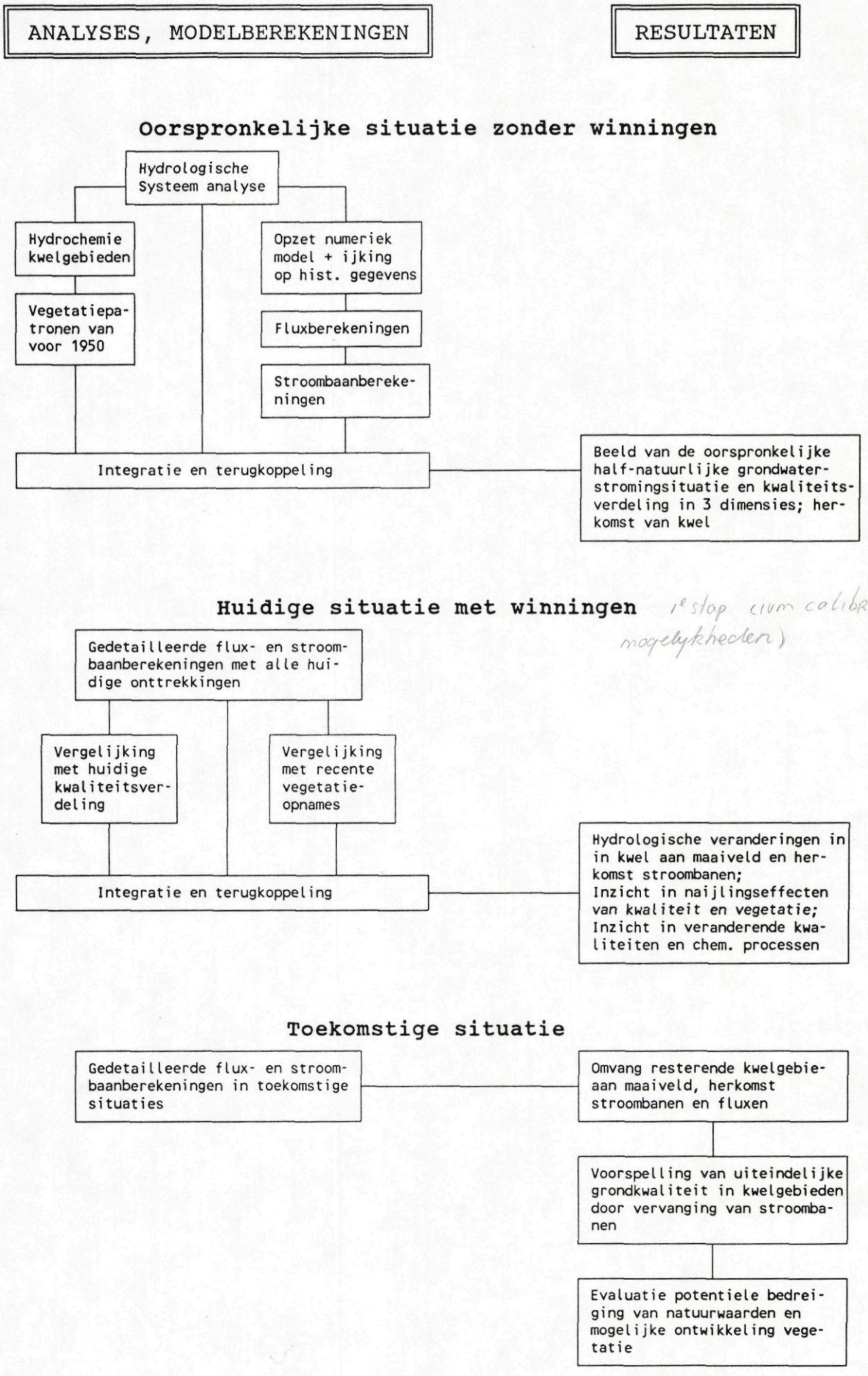
Tabel 1. Koppeling tussen de verschillende onderzoekselementen



I. Oorspronkelijke situatie zonder winningen

In deze eerste stap wordt het instrument gebouwd waarmee later wordt gerekend en waarmee de effecten worden voorspeld van een grondwaterwinning of andere ingreep. Onderdeel van deze stap is ook te verifiëren of het instrument goed werkt. De systeemanalyse, de hydrochemische analyse, de modelberekeningen en de vegetatie-analyse worden met elkaar vergeleken en eventueel bijgesteld als de resultaten niet met elkaar overeenstemmen.

Tabel 2. Onderzoeksstappen, integratie en terugkoppeling tussen de onderzoekselementen en de resultaten



Eerst wordt een hydrologische systeemanalyse uitgevoerd. Met behulp van kwalitatieve gegevens van geomorfolgie, topografie en bodem worden oorspronkelijke kwelgebieden geïdentificeerd. Zo worden de regionale natuurlijke grondwatersystemen afgebakend en daarmee ook de diepe stromingstakken. De kwelgebieden waar diepe stromingstakken aan het maaiveld komen worden gedetailleerd in het model gebracht.

IWACO beschikt over een regionaal model van de Centrale Slenk in Noord-Brabant. Een deelgebied waar invloed wordt verwacht van een winning, wordt opgenomen in een gedetailleerder subregionaal window-model. Dit window-model wordt geijkt en daarna wordt de oorspronkelijk grondwaterstromingstoestand berekend. De aandacht gaat vooral uit naar die gebieden waar het model een opwaartse stroming berekent door het kleipakket Kedichem/Tegelen die uiteindelijk aan maaiveld komt. De resultaten worden vergeleken en teruggekoppeld met die van de systeemanalyse.

De analyse van de grondwaterchemie is erop gericht vast te stellen hoe verschillende grondwatertypen ruimtelijk zijn verdeeld en welke chemische processen verantwoordelijk zijn voor de verschillen in watersamenstelling. Hierbij wordt de Stuyfzand-classificatie gebruikt (zie H_2O 1989, nr. 5 en 6) en worden verzadigingsindices en CO_2-spanningen berekend.

Het is van wezenlijk belang dat er chemisch verschillende watertypen voorkomen. Alleen als ondiepe kwel duidelijk verschilt van diepe, zal de grondwaterkwaliteit in kwelgebieden veranderen als de diepe kwelcomponent wordt afgevangen. In grote delen van de Centrale Slenk is dit inderdaad het geval. De kwaliteit van het ondiepe anthropogeen beïnvloede grondwater in de bovenste pakketten varieert sterk en wijkt qua samenstelling duidelijk af van middeldiep en diep grondwater. Processen van kalkverrijking van het diepere grondwater in de Centrale Slenk zullen in een toekomstig H_2O artikel worden behandeld (IWACO in prep.).

In tabel 3 zijn de belangrijkste verschillen samengevat.

Tabel 3. Overzicht belangrijkste kwaliteitsverschillen van kwelwater in de Centrale Slenk.

Soort kwel	Gemiddelde verblijftijden in jaren	Zuurgraad pH	Verzadiging t.o.v. CaCO3	Hardheid (Stuyfzand)	Alkaliteit (Stuyfzand)	Hoge concentraties	Lage concentraties
ondiep (< 30 m)	1 - 50	3 - 7	irrelevant	F* - F3	F* - F3	Cl, SO4, NO3, PO4, Al, Zn	
middeldiep (30 - 100 m)	50 - 500	6,5 - 7,5	licht onderverzadigd	F0 - F1 lokaal F2	F0 - F2 lokaal F3		NO3
diep (> 100 m)	500 - 30000	> 7	(over)-verzadigd	F1 lokaal F2	F2 lokaal F3	(Ca), HCO3	Cl, SO4-, NO3

De grondwatertypologie wordt gekoppeld aan de stromingstakken uit de systeemanalyse en vergeleken met de modelberekeningen. Indien er discrepanties zijn dan is het mogelijk dat of het model moet worden bijgesteld, of de systeemanalyse een verfijning behoeft, of watertypen in de ondergrond een relictsituatie vertegenwoordigen en dat effecten na-ijlen.

In de kwelgebieden die uit de systeemanalyse en de modelberekeningen naar voren zijn gekomen, wordt de oorspronkelijke floristische samenstelling afgeleid uit zogenoemde uurhoktellingen (veldwaarnemingen van vegetaties) uit ca. 1950. Het gaat vooral om soorten en samenstellingen die voedselarm kwelwater indiceren (zie foto 4a en 4b en ook Zadelhoff en Cools, 1989). De verspreiding van deze soorten wordt vergeleken met de gebieden waar volgens het model, de systeemanalyse en de hydrochemische gegevens diepe kwel optreedt.

De integratie en onderlinge terugkoppeling tussen de vier elementen blijkt in de praktijk een sterk punt, waardoor onrealistische modelberekeningen vermeden kunnen worden. Bovendien wordt zo een regionaal inzicht verkregen in de stromingsstelsels.

II. Huidige winningssituatie

Essentiële onderdelen van deze stap zijn: vaststellen waar en hoeveel diep grondwater thans nog opwaarts stroomt door het kleipakket Kedichem/Tegelen, bepalen waar diep kwelwater aan maaiveld is vervangen door ondiep kwelwater en nagaan wat dit betekent voor de waterkwaliteitsontwikkeling.

Tot slot worden de waterkwaliteits- en -kwantiteitsveranderingen vergeleken met de veranderingen in de flora tussen ca. 1950 en de jaren 1980 in de (oorspronkelijke) kwelgebieden. Hieruit blijkt of de gebieden waar de diepe kwel volgens het model is afgenomen, zijn verruigd sinds de vijftiger jaren. Als dit inderdaad het geval is, dan kan dit in de volgende stap worden gebruikt als indicatie van de veranderingen die in de toekomst kunnen optreden bij verdere afname van de diepe kwel. Als de noodzakelijke aanpassingen en verificaties zijn verricht, dan is het instrument geschikt om effecten te voorspellen van een voorgenomen ingreep.

III Toekomstige winningssituatie

Het gaat er uiteindelijk om te voorspellen in welke mate de toekomstige winningssituatie een bedreiging kan vormen voor de natuurwaarden in kwelgebieden en hoe de vegetatie zich kan ontwikkelen. Hiervoor wordt eerst voorspeld:

- waar nog kwelgebieden aan maaiveld zullen bestaan, hoe groot de kwelintensiteit daar is en wat de herkomst is van die kwel (diep, middeldiep of ondiep);
- in hoeverre de grondwaterkwaliteit zal veranderen in kwelgebieden door de vervanging van stroombanen.

CASE STUDIES

IWACO heeft de methode het afgelopen jaar toegepast bij drie diepe winningsonderzoeken in de Centrale Slenk. Een van die onderzoeken is uitgevoerd in samenwerking met het Nutsbedrijf

Regio Eindhoven (NRE). Dit onderzoek wordt hier beknopt toegelicht aan de hand van een aantal figuren en berekeningsresultaten. Omwille van het principe zal de oorspronkelijke situatie zonder winningen worden vergeleken met de situatie in 1987 mèt winningen.

Figuur 5 geeft gebieden weer in de omgeving van Eindhoven waar het model berekent dat grondwater oorspronkelijk opwaarts stroomde door de scheidende laag Kedichem/Tegelen. Het betreft gebieden ten noorden van het Wilhelmina kanaal en ruwweg tussen Eindhoven, Valkenswaard en Helmond. Verder zijn locaties aangegeven met nog waardevolle kwelafhankelijke landnatuur.

Figuur 5 laat ook zien dat de opwaartse flux van diep grondwater door de laag Kedichem/Tegelen in de periode tot 1987 sterk is afgenomen; er is nog maar een klein deel van over ten noordoosten van Eindhoven. De reductie van de opwaartse flux onder de Dommel springt hierbij in het oog.

In het natuurgebied de "Hooidonksche Akkers" ten noordoosten van Eindhoven werden vóór 1950 bij uurhoktellingen nog meer dan 10 soorten kwelindicerende landplanten aangetroffen en na 1970 nog meer dan 8 soorten. De uurhokken buiten dit natuurgebied geven voor de opnamen na 1970 een sterke afname te zien tot minder dan 4 soorten.

Met het model zijn stroombanen van diepe kwel berekend vanaf de scheidende laag Kedichem/Tegelen tot aan het maaiveld. De figuren 6 (oorspronkelijke situatie) en 7 (situatie 1987) laten de berekende locaties zien waar de diepe stroombanen langs de Dommel aan het maaiveld komen. In het natuurgebied de "Rietbeemden en -velden" (zie figuur 6) komen de stroombanen geconcentreerd langs de Dommel aan maaiveld als gevolg van het V-vormige rivierdal. Bij de "Hooidonksche Akkers", gelegen in een vlak rivierdal met overstromingsvlakte, blijken de stroombanen ook buíten de Dommel aan maaiveld te komen, namelijk

langs en iets ten noorden van de Hooidonksche Beek. Dit beeld stemt overeen met de vegetatieopnamen van vóór 1950. In de situatie van 1987 blijken de nog overgebleven opwaartsgerichte stroombanen ten noordoosten van Eindhoven uitsluitend langs de Dommel aan maaiveld te komen.

In dit gedeelte van de Centrale slenk rondom Eindhoven zijn de chemische samenstellingen tussen middeldiep en diep grondwater niet al te contrasterend. De Ca+Mg-hardheden zijn voor beide typen grondwater ongeveer gelijk (matig hard). De belangrijkste verschillen zijn gelegen in lagere SO_4- en Cl-gehaltes en hogere HCO_3 in het diepere grondwater. De relatief geringe achteruitgang in vegetatierijkdom in de "Hooidonksche Akkers" zou een aanwijzing kunnen vormen voor de minder geprononceerde verschillen tussen diep en middeldiep grondwater in dit gebied.

Aan de hand van deze te verwachten veranderingen in kwaliteit van het kwelwater kan op basis van de huidige samenstellingen van vegetatiesoorten per natuurgebied globaal worden aangegeven welke soorten gevoelig zullen zijn voor lichte verhogingen in het Cl- en SO_4-gehalte en een afname in HCO_3.

DISCUSSIE

De methode die is beschreven in dit artikel biedt de mogelijkheid verschillende winningsalternatieven te evalueren op mogelijke nadelige hydrologische effecten en een alternatief te selecteren met een minimum aan negatieve effecten op kwelsituaties in grondwatergevoede eco-systemen.

Zoals in het onderdeel "benaderingswijze" is betoogd, heeft de methodiek geenszins de pretentie een volledig beeld te geven van de te verwachten eco-hydrologische effecten van diepe winningen aan het maaiveld. De methode levert wel een beeld op van de potentiële bedreiging van grondwatergevoede eco-syste-

men in kwelgebieden. Op basis van die potentiële bedreigingen kan de grondwaterbeheerder beleidsbeslissingen nemen.

De grondwaterbeheerder kan echter ook besluiten dat nader moet worden onderzocht of die potentiële bedreiging nu ook een reële bedreiging is. In dat geval worden de resultaten gebruikt als een kader op (sub)-regionale schaal voor verder veldonderzoek in natte natuurgebieden; het te onderzoeken gebied kan op deze manier sterk worden ingeperkt. Dit veldonderzoek moet uitsluitsel geven of de kwelverandering van wezenlijke betekenis kan zijn voor de achteruitgang van de floristische soortenrijkdom in de bewuste natuurgebieden. De invloed van veranderende kwelwaterkwaliteit moet dan worden afgezet tegen die van bijvoorbeeld dikte van regenwaterlenzen, oppervlaktewaterverontreiniging en atmosferische depositie. Het is niet onmogelijk dat laatstgenoemde bedreigingen veel ernstiger zijn en dan verandering van kwelwaterkwaliteit.

De betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten met deze numerieke methode blijkt sterk af te hangen van de nauwkeurigheid van de modelinvoer, in het bijzonder de dikten van de verschillende modellagen en de mate van detail van het netwerk van waterlopen. Voorts zijn de stroombaanberekeningen gevoelig voor de wijze waarop regionale breuken en discontinuïteiten in scheidende lagen zijn gemodelleerd en voor de mate van detail in de kwelgebieden. Door de modelresultaten voortdurend te toetsen aan de resultaten van de andere onderzoekselementen treden onjuistheden in de modelopbouw eerder aan het licht.

De zwakste schakel is tot nog toe de vertaling van een kwaliteitsverandering in het opkwellende grondwater naar een verandering in de vegetatie: wanneer bestaat er nu tussen beide een duidelijke relatie en wanneer niet? Die vertaling kan worden verbeterd door onderzoek op lokalere schaal, bijvoorbeeld naar de invloed van regenwater in het bodemvocht. Gezien de toepassingsmogelijkheden van de methode is dergelijk onderzoek van groot belang.

MOGELIJKE TOEPASSINGEN

De methodiek is in te zetten in het kader van het verdrogingsbeleid of het herstelbeleid voor beekdalsystemen en andere natte gebieden met grondwatergevoede eco-systemen. Zo is reallocatie van winningen te onderbouwen en zijn kansrijke gebieden aan te wijzen waar diepe kwel is te herstellen.

Een belangrijke voorwaarde voor de toepassing is dat de grondwaterchemie in de ondiepe pakketten duidelijk verschilt van die in de diepe pakketten en dat verschillende stromingstakken/kwelcomponenten samenkomen in de te onderzoeken kwelgebieden en de daarin gelegen natuurgebieden. Juist in het geval van regionaal verbreide scheidende lagen op grotere diepte is er een meer geprononceerde hydrochemische stratificatie te verwachten en neemt het spreidingseffect van diepe winningen toe. De hogere Pleistocene gronden in het zuiden en oosten van Nederland lijken wat dit betreft het eerst in aanmerking te komen.

Literatuur

1. Cools, J.M.A., 1989. Atlas van de Noordbrabantse flora. KNNV, Utrecht.

2. DGV/TNO en Vrije Universiteit van Amsterdam, 1990. De hydrologische systeemanalyse van Westelijk Noord-Brabant en omgeving.

3. Everts, F.H., A.P. Grootjans en N.P.J. de Vries, 1984. Vegetatiekartering van de Drentse Aa. Rapport Lab. voor Plantenoecologie, Haren.

4. IWACO, 1990. Proefprojekt Oirschot; Toepassing en toetsing van een methode voor het bepalen van de effecten van diepe grondwateronttrekkingen op de kwaliteit van kwelwater in natuurgebieden. Opdrachtgever Provincie Noord-Brabant.

5. IWACO, 1990. Effectenonderzoek wingebieden Aalsterweg en Welschap. Opdrachtgever NV Nutbedrijf Regio Eindhoven.

6. IWACO, 1990. Hydrologische effecten van een grondwaterwinning van 4,25 miljoen m^3/jaar door Fuji Photo Film B.V. Opdrachtgever Fuji Photo Film B.V.

7. Provincie Noord-Brabant, 1990. Ontwerp Waterhuishoudingsplan; Werken aan Water.

8. KIWA, 1989. Indicatorsoorten voor vedroging, verzuring en eutrofiëring van grondwater-afhankelijke beekdalvegetaties. Rapportnr. SWE 89.029.

9. Zadelhoff, F.J. van, J.M.A. Cools, 1989. Landschapsoecologisch onderzoek grensoverschrijdend natuurgebied "het Merkske"; Relatie vegetatie abiotische milieufactoren, deelrapport 6.

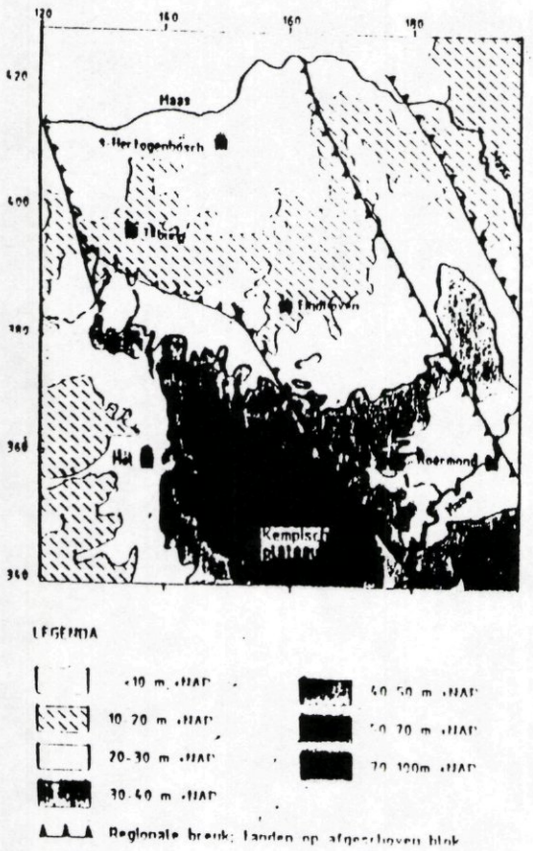


Fig 1

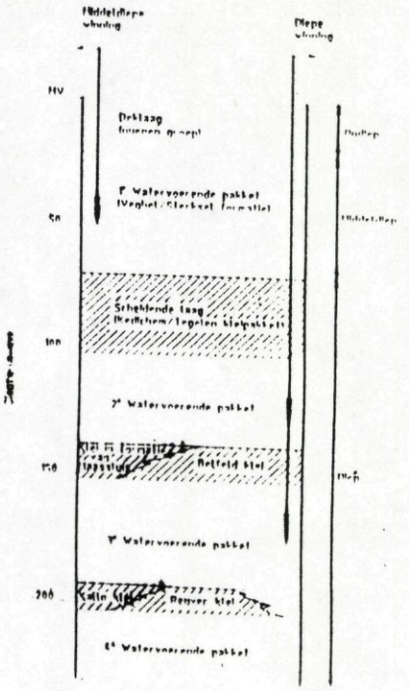


Fig 2

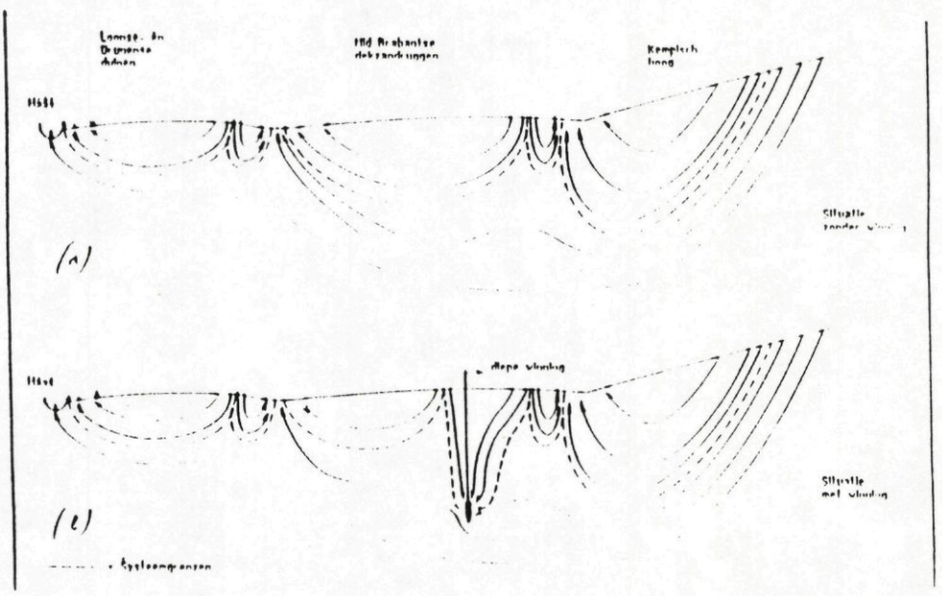


Fig 3

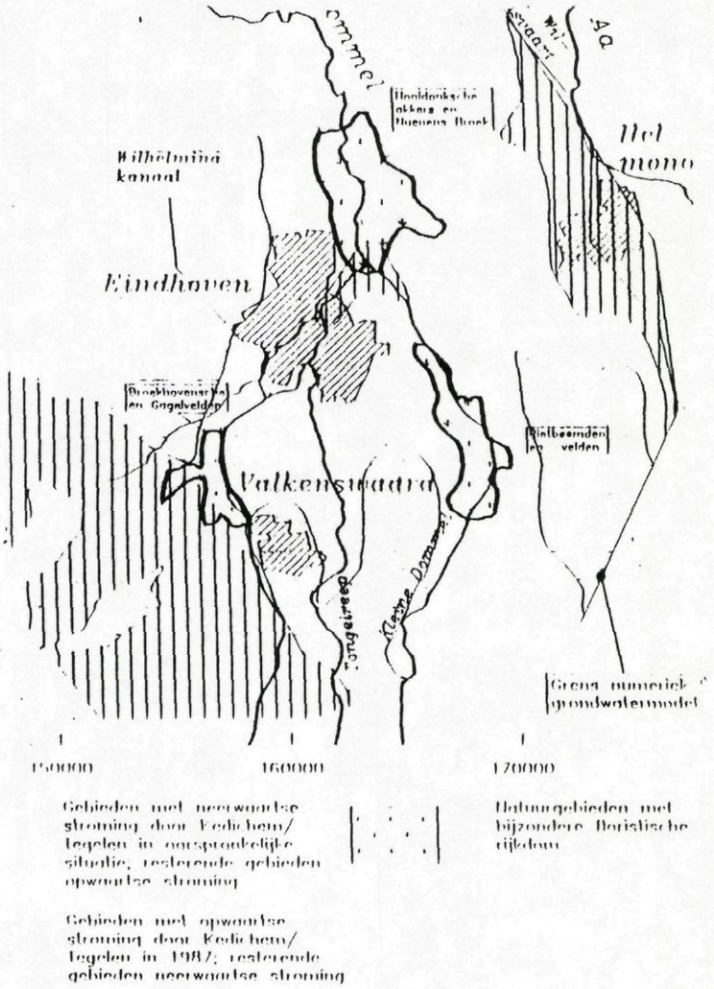

Wilhelmina kanaal
Eindhoven
Valkenswaard
Het mono
Grens numeriek grondwatermodel
150000
160000
170000
Gebieden met neerwaartse stroming door Kedichem/Tegelen in oorspronkelijke situatie; resterende gebieden opwaartse stroming
Gebieden met opwaartse stroming door Kedichem/Tegelen in 1987; resterende gebieden neerwaartse stroming
Natuurgebieden met bijzondere floristische rijkdom

fig 5

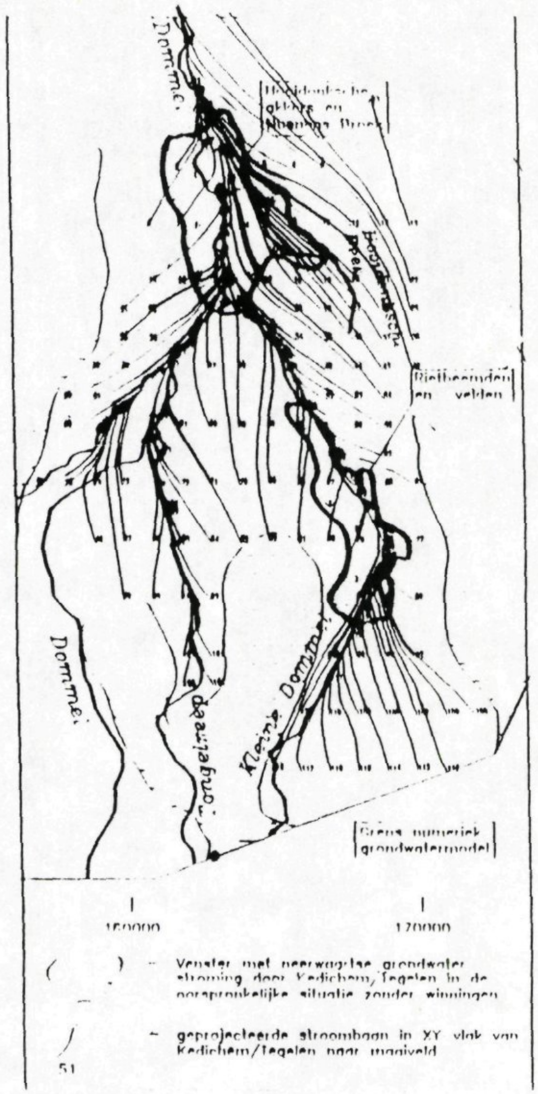

Dommel
Rietbeemden
en velden
Dommel
Kleine Dommel
Grens numeriek
grondwatermodel
160000
170000
Venster met neerwaartse grondwater stroming door Kedichem/Tegelen in de oorspronkelijke situatie zonder winningen
geprojecteerde stroombaan in XY vlak van Kedichem/Tegelen naar maaiveld
51

fig. 6

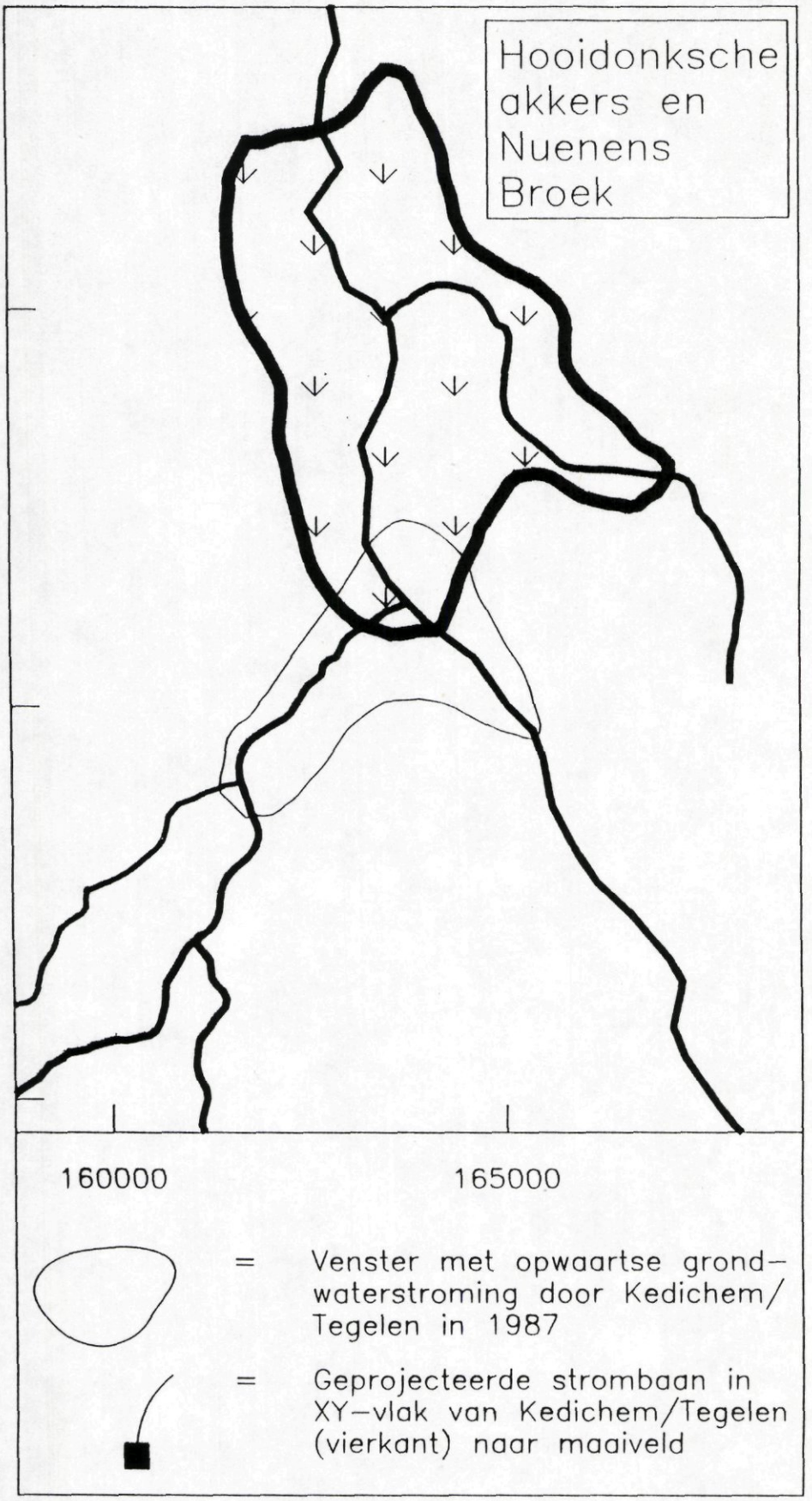

Hooidonksche
akkers en
Nuenens
Broek
160000
165000
= Venster met opwaartse grond-
waterstroming door Kedichem/
Tegelen in 1987
= Geprojecteerde strombaan in
XY-vlak van Kedichem/Tegelen
(vierkant) naar maaiveld

fig 7

Bijlage 3

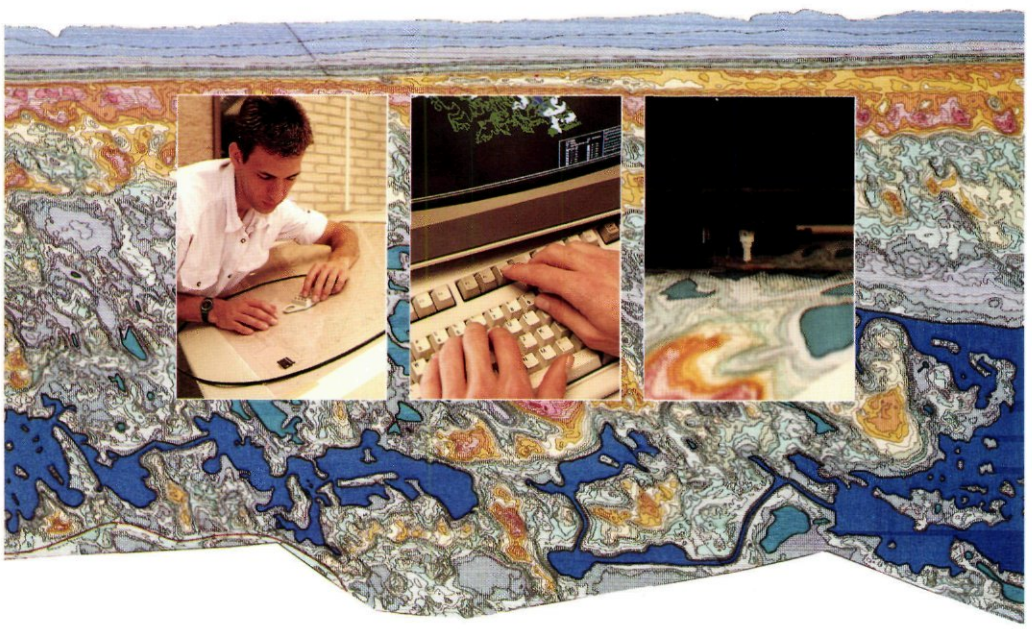
Informatie ARC/INFO, TRIWACO-TRACE, TRACE en FLUZO

IWACO B.V. POSTBUS 174 5280 AD BOXTEL tel. 04116-76946

IWACO

Adviesbureau voor Water en Milieu

Geografische Informatie Systemen



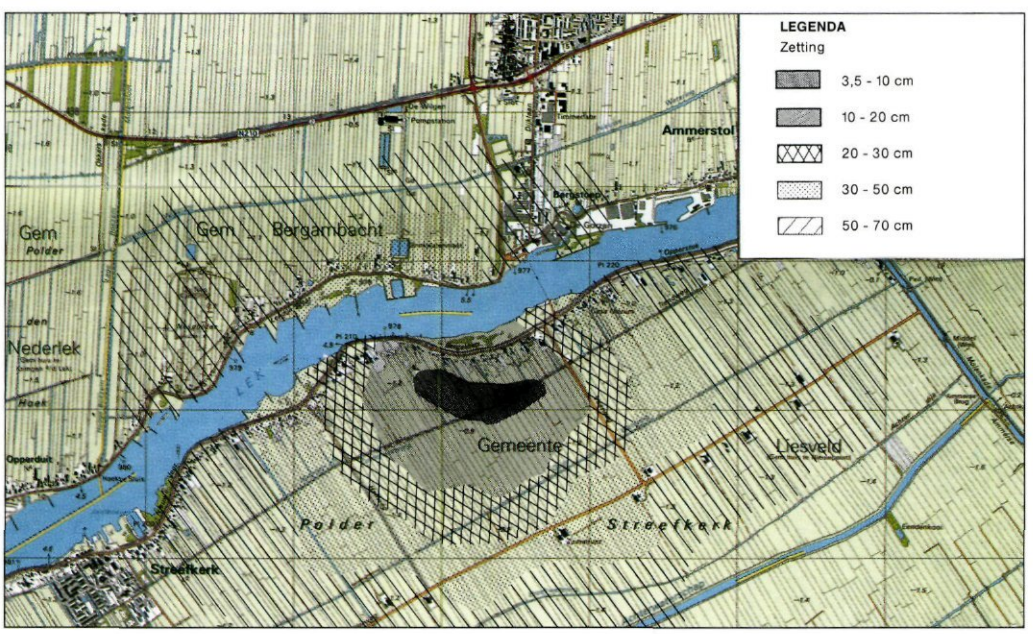
Het verwerken van basis-gegevens tot informatie die beslissingen mogelijk maakt is een belangrijke stap bij het oplossen van problemen. Bij veel milieuproblemen is de hoeveelheid gegevens groot. Vaak zijn de beschikbare gegevens divers en hangen op een complexe manier met elkaar samen.
Eén van de methoden om de informatie te rangschikken is om deze te koppelen aan ruimtelijke eenheden. Een dergelijke ordening van informatie kan geautomatiseerd worden met een Geografisch Informatie Systeem (GIS).

Toepassing

GIS wordt toegepast wanneer men snel inzicht wil hebben wat de situatie op een bepaalde locatie is en als het niet meer te doen is om de relevante informatie met de hand bij elkaar te zoeken. In de milieuwetenschappen biedt GIS perspectieven wanneer informatie over de kwetsbaarheid van een gebied gekoppeld moet worden aan gegevens over de bedreigingen (grondwaterkwaliteitsmeetnetten, regionale bodemverontreinigingskaarten). Ook kan GIS gebruikt worden bij een gebiedsgerichte benadering van de milieuproblematiek. Men kan dan snel inzicht krijgen in de consequenties van beslissingen op het gebied van de ruimtelijke ordening, b.v. het uitbreiden van een stuk natuurgebied.

Projectbenadering

Voor het opzetten van een geïntegreerd GIS zijn 5 stappen nodig:



Voorbeeld 1: inklinken van de bodem

Op een groot aantal punten kan de te verwachten zetting (inklinken van de bodem) als gevolg van grondwaterstandsverlaging worden berekend. De kaart met geotechnische gegevens en de grondwatertrappenkaart moeten gedigitaliseerd worden. De grondwaterstandsveranderingen kunnen direkt worden ingelezen uit de resultaten van bijvoorbeeld een grondwatermodel. Het resultaat is een gedetailleerd overzicht van de zettingen over een groot gebied. Ook wordt de verdroging of vernatting als gevolg van zetting en grondwaterstandsverandering berekend en weergegeven op contourlijnenkaarten.

INFORMATIE TRIWACO/TRACE

TRIWACO/TRACE is het eindige-elementen grondwaterstromings-simulatie programmapakket dat ontwikkeld is door IWACO.

In de documentatie vindt u enige algemene informatie over TRIWACO/TRACE, alsmede een overzicht van de topsystemen in TRIWACO/TRACE, een lijst van TRIWACO/TRACE gebruikers, een overzicht van de reeds bij IWACO vervaardigde modellen en een beschrijving van het stroombanenprogramma TRACE.

TRIWACO/TRACE, dat reeds operationeel is sinds 1984, wordt voortdurend voorzien van nieuwe mogelijkheden op software- en hardware-gebied. De laatste ontwikkelingen zijn onderstaand gegeven.

* De grafische programma's van het pakket TRIWACO/TRACE zijn voorzien van het Graphical Kernel System (GSS*GKS). Hierdoor is grafische uitvoer vanuit de programma's te verzorgen voor nagenoeg alle plotters, printers en beeldschermen.
* Na het beschikbaar komen van het nieuwe Operating System OS/2 van IBM voor PS/2 machines is TRIWACO/TRACE ook voor dit systeem geschikt gemaakt. Groot voordeel van TRIWACO/TRACE met OS/2 is dat het maximaal aantal elementen nu praktisch onbeperkt is. Voor DOS geldt de beperking van maximaal circa 2000 knopen.
* Het Geografisch Informatie Systeem ARC/INFO is gekoppeld aan TRIWACO/TRACE. Hiermee zijn de praktische voordelen van ARC/INFO beschikbaar voor de TRIWACO/TRACE-gebruiker:
  - parameters kunnen aan de netwerkknopen worden toegekend. Hiervoor zijn twee methoden beschikbaar, namelijk door interpolatie tussen contourlijnen en via gebiedswaarden;
  - digitaliseren van ruimtelijk verdeelde modelparameters;
  - presenteren van berekeningsresultaten op kaarten;
  - combineren van modelresultaten met andere parameters zodat secundaire effecten kunnen worden bepaald

(bijvoorbeeld zettingen of landbouwschade).

TRIWACO/TRACE wordt door IWACO in vele projecten gebruikt. Tevens is TRIWACO/TRACE beschikbaar voor derden. Een lijst met TRIWACO/TRACE gebruikers is hierbij gevoegd.

Bij grotere projecten, waarbij een substantieel gebruik is gemaakt van de runversie van TRIWACO/TRACE komt na afloop van het project de run-time versie van het programmapakket TRIWACO/TRACE inclusief de vervaardigde datasets ter beschikking van de opdrachtgever.

TRIWACO/TRACE draait op een IBM-compatible PC zowel onder OS/2 als onder DOS. De DOS run-time versie is beschikbaar voor een bedrag van *f* 6.500,-- exclusief B.T.W. De OS/2 run-time versie is beschikbaar voor een bedrag van *f* 7.500,-- exclusief B.T.W. De prijs voor de source versie bedraagt *f* 13.000,-- exclusief B.T.W.

Gebruikers van het programmapakket TRIWACO/TRACE

Egypte, Research Institute for Groundwater
Soedan, Institute for Groundwater modelling
Mozambique, National Directorate for Water Affairs
Zwitserland, Elektrowatt Ingenieursunternehmung
ITC Enschede, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science
RIVM Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
TU Delft, Technische Universiteit Delft
Heineken Technisch Beheer, Zoeterwoude
Provinciale Waterstaat Zuid-Holland
Provinciale Waterstaat Overijssel
Duinwaterbedrijf Zuid-Holland
Energie- en Watervoorziening Rijnland
N.V. Waterleidingbedrijf Midden-Nederland
Drinkwaterleiding Oost-IJsselmonde
Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland
Waterleidingbedrijf Friesland
Waterleiding Maatschappij Drenthe
N.V. Watermaatschappij Zuid-West Nederland
Waterleiding Maatschappij Overijssel

1. GENERAL OUTLINE

Why numerical travel time calculations?

If travel times are calculated by analytical formulas, the assumption is made that there are no influences at great distances of the source. Moreover in analytical programs generally only homogeneous, isotrope layers can be evaluated (no differences in hydrogeological characteristics within one layer). In reality these two assumptions are generally not valid. Especially the boundary conditions can have a great influence on the travel times.

When the calculation model is numerical (as with TRIWACO-TRACE) inhomogenity and boundary conditions can be dealt with. TRIWACO is a final element model that calculates the groundwater head and vertical fluxes (seepage/infiltration). TRACE calculates the displacement of water particles in x, y and z direction, based on the groundwater heads and vertical fluxes that have been calculated by TRIWACO.

Introduction TRACE

TRACE is a software package that calculates streamlines and travel times of groundwater. The calculations are based on the groundwater heads calculated by TRIWACO, as well as on the thickness and porosity of aquifers and aquitards. The assumption is made that the direction of groundwater flow in aquitards is only vertical.

TRACE for groundwater quality modelling

TRACE only calculates the convective transport. If retardation of chemical components has to be calculated, the retardation could be simulated by entering a higher porosity than in reality. Moreover the program gives the user a clear view of the direction and time of groundwater flow.

If for instance pollution is reaching the groundwater, it can be calculated where the pollution is transported to and how long it takes for the pollution to reach a certain area (drinking water pumping station).

2. TRACE INPUT

To run TRACE, two input files are needed:

1. The unformatted FLAIRS (TRIWACO) output file;
2. A TRACE input file.

In the unformatted FLAIRS output file the calculated piezometric heads and the infiltration/seepage rates, as well as permeabilities for the distinctive aquifers are stored.

A complete data input description for the program TRACE is given in appendix 2.1. The layout of the file is similar to the input files for TRIWACO.

The following input data are needed:

- thickness of topsystem
- effective porosity of topsystem
- thickness of aquifers
- effective porosity of aquifers
- thickness of aquitards
- effective porosity of aquitards
- position of base of system
- definition of streamlines (starting points)
- definition of travel time (time intervals)
- definition of plot (scale, angle, window)

The input of thickness, effective porosity and base of system should be in an ARPADI output format (ADORE).

The streamlines can start at any depth within the groundwater system (z-level). Streamlines can be defined in three ways:

- starting points at a well (calculation only in direction opposite to groundwater flow (back in time; figures 1 and 2);

- random starting points with calculation of flowlines in direction of groundwater flow (forward in time; figures 3 and 4);
- random starting points with calculation of streamlines in direction opposite to groundwater flow (back in time).

The travel times that are calculated can be shown on the streamlines by installing time markers in the TRACE input file.

Finally in the TRACE input file the plot can be defined, with respect to scale, angle of display and window to zoom-in.

3. TRACE CALCULATIONS

TRACE calculates the displacement of a water particle in x, y and z direction by calculating the horizontal and vertical velocity of the groundwater. The horizontal velocity is calculated by the permeability (k), effective porosity (p_{eff}) and the gradient (dh/dx) calculated by TRIWACO:

$$V(h) = \frac{dh}{dx} * \frac{k}{p_{eff}}$$

V(h)	=horizontal velocity	(m/day)
dh/dx	=gradient	(-)
k	=permeability	(m/day)
p_{eff}	=effective porosity	(-)

The vertical velocity is dependent on two factors:

- the weighed average of the flux (seepage/infiltration calculated by TRIWACO) through the aquitard above and under the aquifer (figure 5a)
- the weighed average of the gradient of the base and top of the aquifer in which the water particle is present (figure 5b).

Within one time interval (between two time markers) many time-steps are calculated. For each timestep a horizontal and vertical velocity and displacement is calculated. Travel times can be indicated on the streamlines by time markers.

An exception in this way of calculating the displacement and travel times concerns (only) the calculation of the location and travel times of the starting points at a well. When the streamlines are calculated starting from a well, the user has to define the location of the starting points. This should be done by giving an angle with the x-axis and by giving the number of radial divided points around the

well (figure 6). TRACE will calculate the x,y-coordinates of the starting points. The travel time from well to starting point is calculated by a special formula:

$$T = \pi R^2 * \frac{D * P_{eff}}{Q}$$

T = travel time from well to starting point (days)
R = radius of circle (see figure 4) (meter)
D = thickness of aquifer (meter)
P_{eff} = effective porosity (-)
Q = well discharge
(m^3/day)

4. TRACE OUTPUT

As output of TRACE two binary files (TRACE1.BIN and TRACE2.BIN) are generated, as well as a print file of the calculation. The printfile shows for every streamline a list of the x, y and z positions at the timesteps indicated by time markers. The two binary files are used by the program PLTRAC to construct plotfiles (see: plotting).

5. PLOTTING TRACE OUTPUT (PLTRAC)

To generate plotfiles the program PLTRAC has to be loaded after running TRACE. This program will use the results of the last TRACE calculation to construct three projections on the screen or plotter:

1. A projection of streamlines and travel times in x-y direction (map);
2. A projection of streamlines and travel times in x-z direction;
3. A projection of streamlines and travel times in y-z direction.

The scale of the projection/plot is according to the scale in the TRACE input file. For a better display of the projection (especially the x-z and y-z projections) it might be necessary to rotate the model area. The angle of rotation can be specified in the TRACE input file. If only part of the model area should be plotted, the plot window should have been defined in the TRACE input file.

When the first plot is shown on the screen, one of six function keys can be chosen:

F1 = zoom
F2 = initial picture
F3 = select plot device
F4 = plot on scale
F5 = plot enlarged
F6 = quit.

These function keys are explained in detail in annex 3 of this report (chapter 2).

With F1 it is possible to zoom-in on part of the total model area, and display it on the screen. The kind of plotter (HP or Houston etc.) to use can be choosen with the option F3.

The correspondance between the numbers and plotters is dependent on the installation on the computer (file: KERNEL.SYS). To plot the map

or cross-sections on the plotter either F4 or F5 should be choosen. With the option F4 the plot will be at the scale that has been given in the TRACE input file, with F5 the plot will be scaled as large as possible on the page of the plotter. After typing F6 for quit, the next plot will be generated and displayed on the screen. To exit the program PLTRAC, F6 has to be typed after the third plot is shown on the screen.

6. SUMMARY

The steps for calculation of streamlines and travel times with TRIWACO-TRACE are:

1. Construct a grid for the calculations;
2. Create ARPADI files for input parameters TRIWACO and TRACE;
3. Run FLAIRS, with flag for TRACE output on (set 3: IFTR= 1);
4. Create TRACE input file;
5. Run TRACE;
6. Run PLTRAC for plotting the streamlines and travel times.

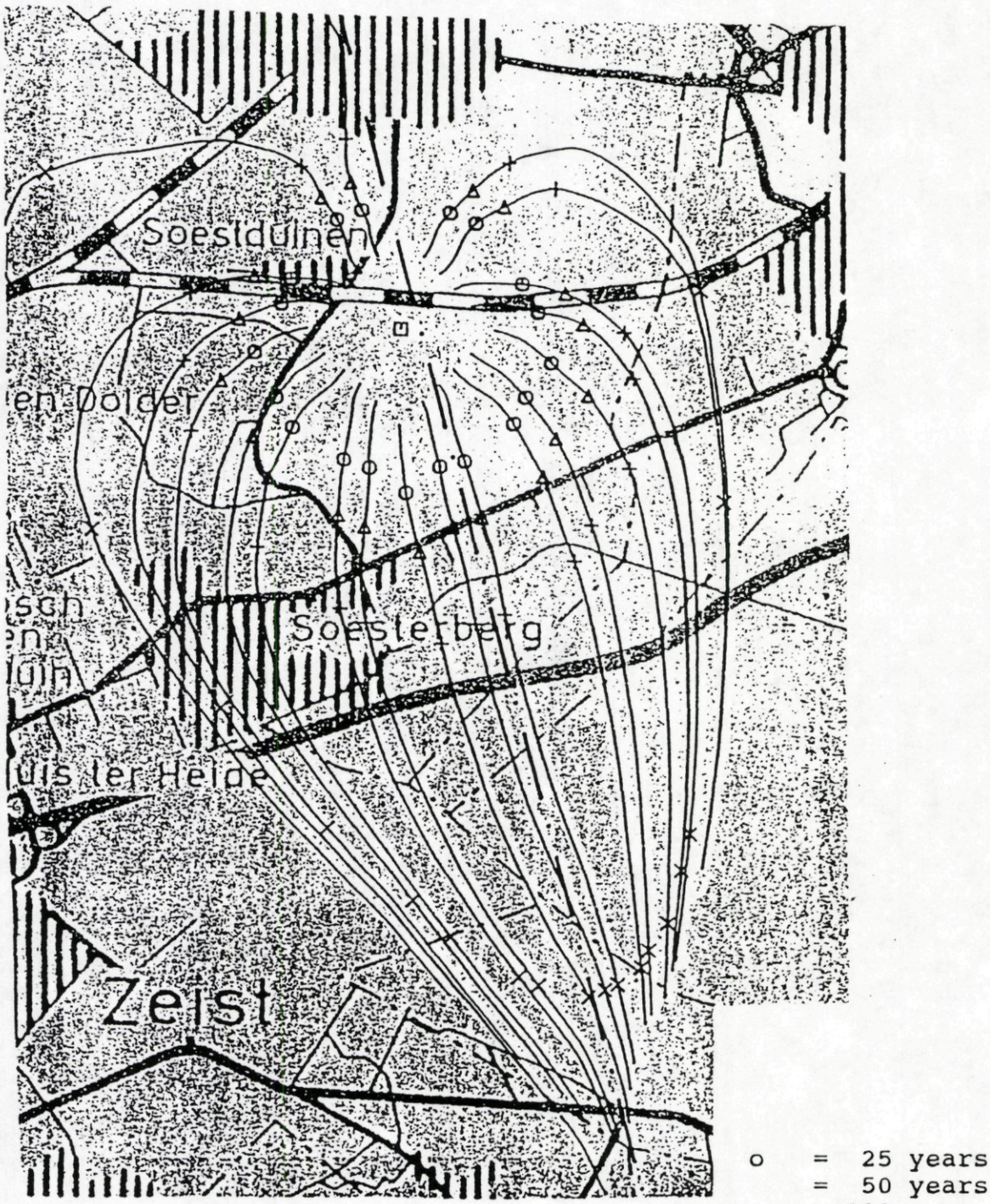
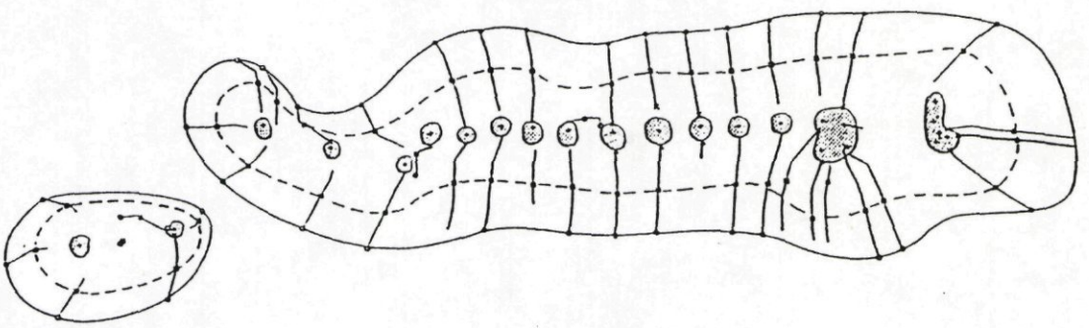
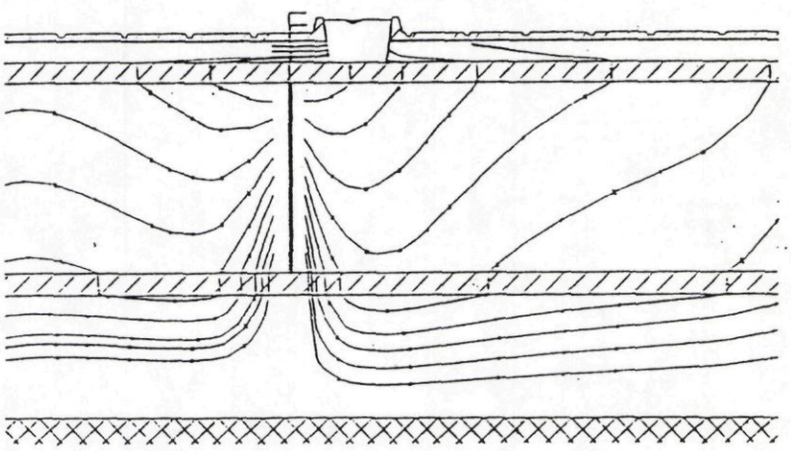


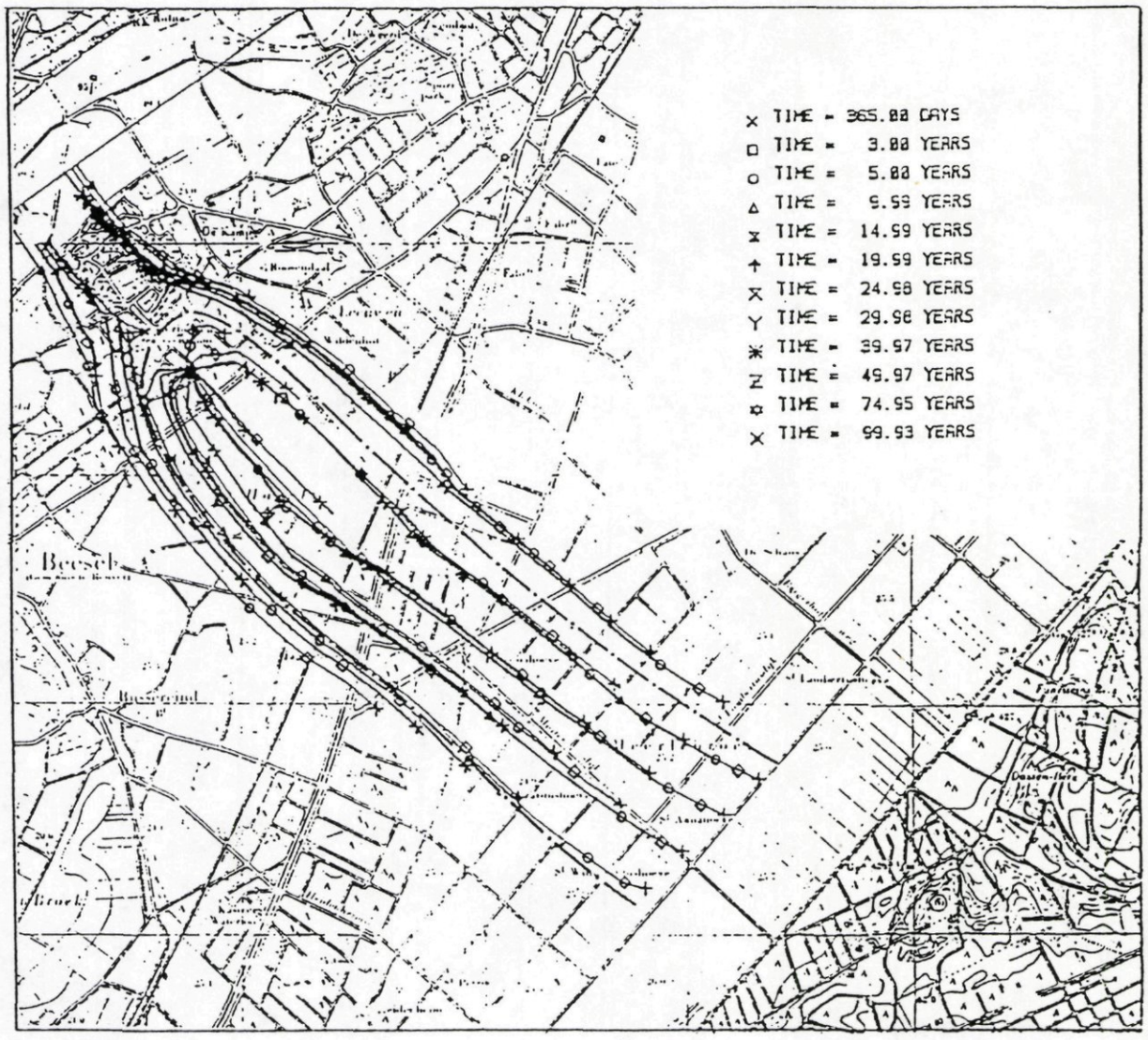
Figure 1. Starting points at a well: calculation of origin of pumped groundwater





x = 60 days
■ = 10 years
0 = 25 years

Figure 2. Starting points at wells, calculation of groundwater protection areas



.—. = boundary of recharge area

Figure 3. Random starting points: calculation of recharge area

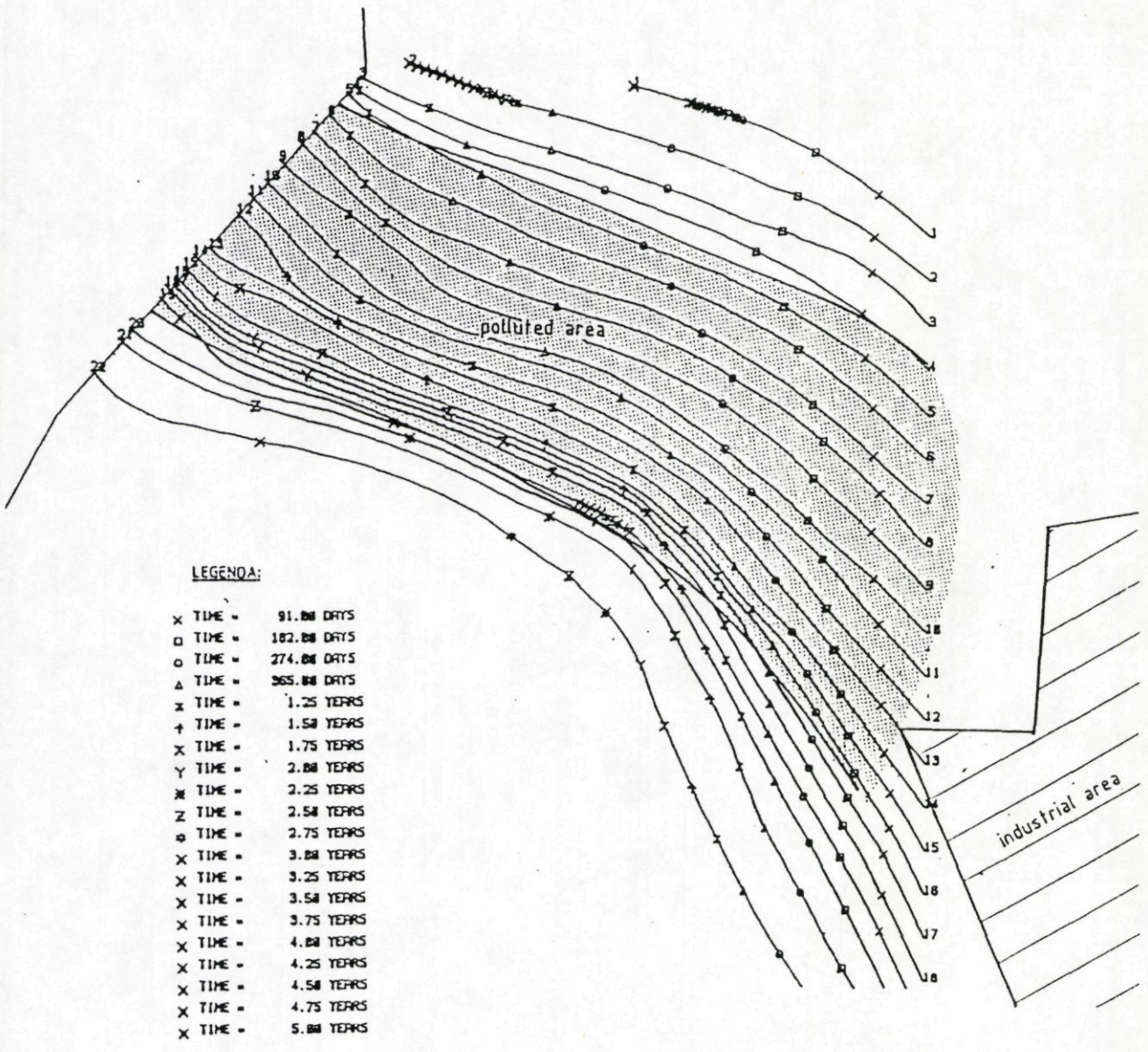
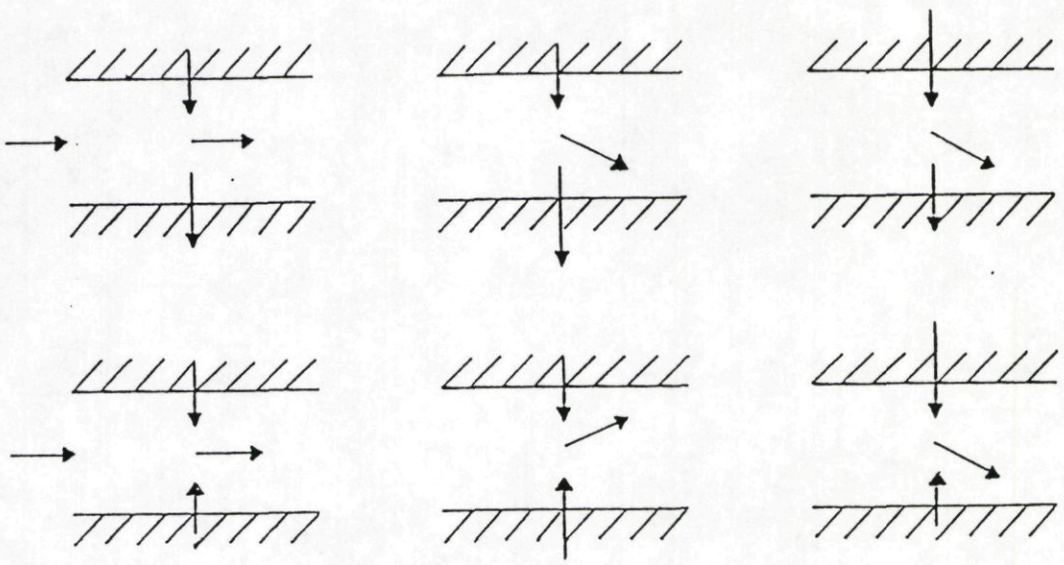


Figure 4. Random starting points: calculation of influence area of a groundwater pollution/verification groundwater pollution

The vertical velocity component depends on:

a. the vertical fluxes through aquitards



b. the gradient of the top and base of the aquifer

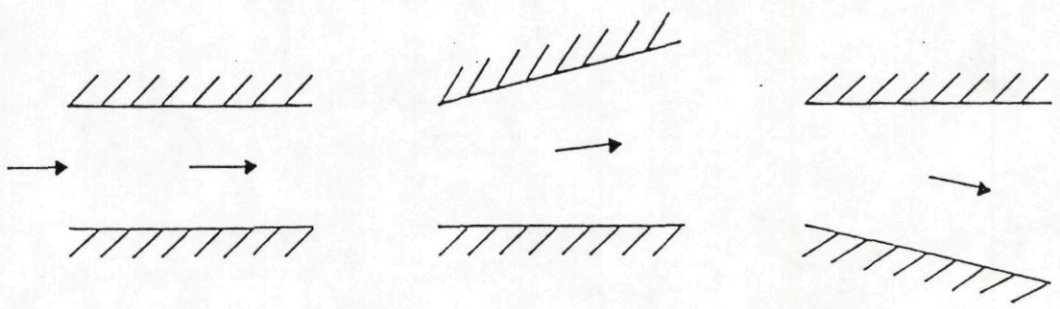
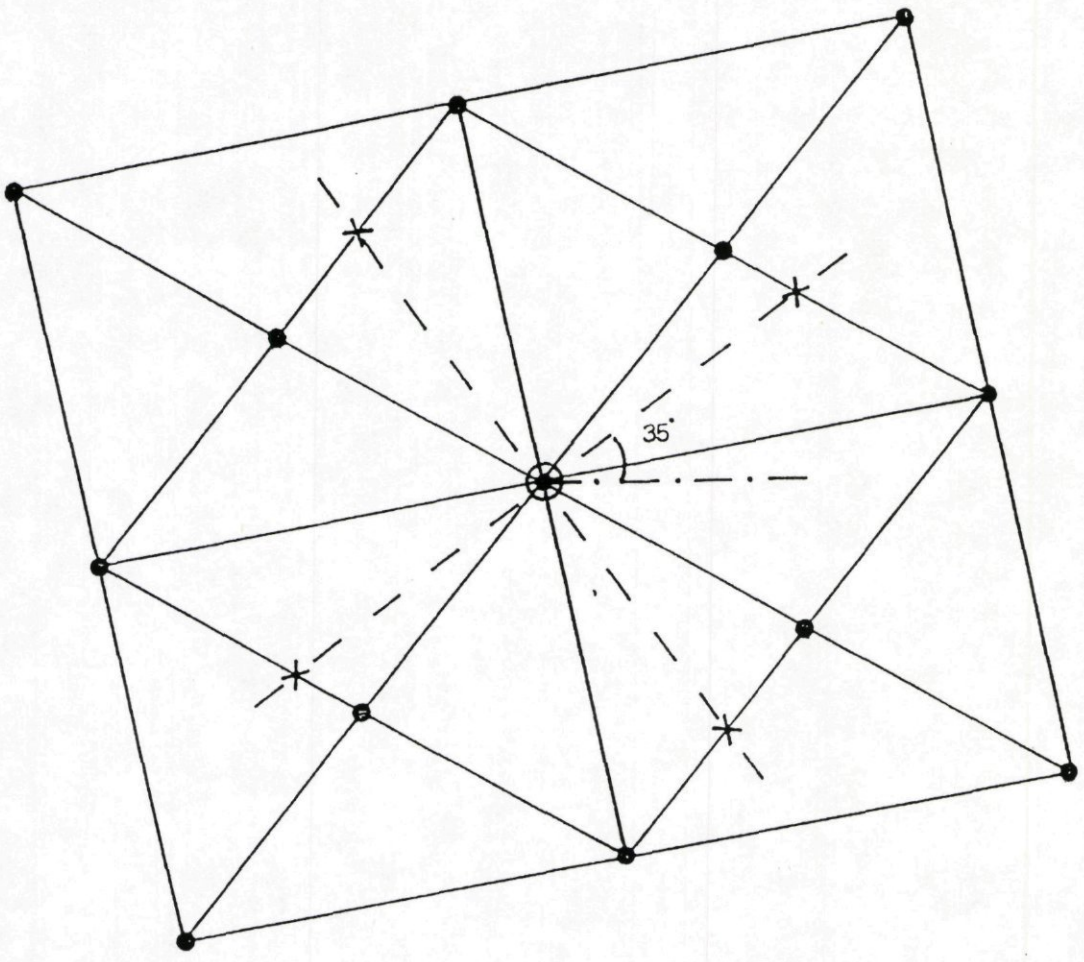


Figure 5. The vertical velocity component



Input:

(set 14)	NRSP	=	1	1 well with starting points
(set 15)	IS	=	85	source node number = 85
	NRP	=	4	4 radial divided starting points
	ZL	=		height starting point
	ANG	=	35	angle for first starting point is 35 degrees with x-axis

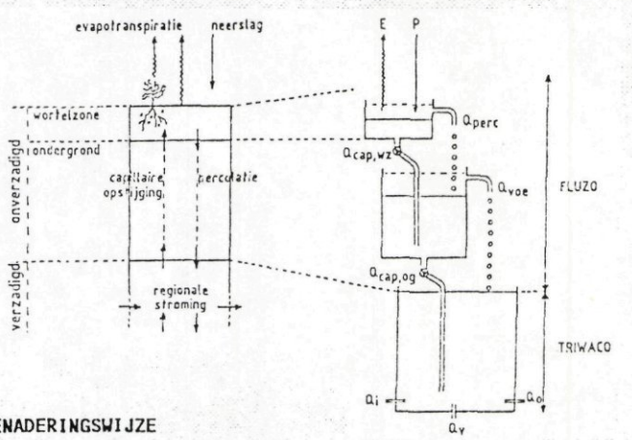
Figure 6. Calculation of starting points at a well

SIMULATIE VAN STROMING DOOR DE ONVERZADIGDE ZONE: FLUZO EN TRIWACO-FLUZO

DE ONVERZADIGDE ZONE IN REGIONALE GRONDWATERSTROMING

In geohydrologische berekeningen wordt de vereiste nauwkeurigheid steeds groter. Enerzijds is dit het gevolg van het inzicht dat ook kleine veranderingen van de grondwaterstand grote gevolgen kunnen hebben. Dit geldt b.v. voor beïnvloeding van natuurgebieden en landbouw ten gevolge van onttrekkingen. Anderzijds is de behoefte aan tijdsafhankelijke berekeningen toegenomen.
In integrale waterbeheersplannen moeten ecologische en landbouwkundige gevolgen van een bepaalde ingreep in de geohydrologische situatie aangegeven worden. Daarom zal de behoefte aan gedetailleerde niet-stationaire berekeningen toenemen.
Is het moeilijk om in deze behoefte te voorzien? Nee en ja. Nee, wanneer het gaat om volkomen spanningswater. Ja, wanneer er sprake is van de noodzaak om ook berekeningen uit te voeren voor het freatisch niveau. Immers, wie freatisch niveau zegt, zou automatisch moeten denken aan de bovengelegen onverzadigde zone: het gebied van de agrohydroloog. Terwijl de geohydroloog op zijn hoogst geconfrontreerd wordt met een kD-waarde die lineair afhankelijk is van de dikte van het freatisch pakket, heeft de agrohydroloog te maken met een grillig verloop van het vochtgehalte in de bodem en een daarmee nog grilliger verlopende doorlatendheid.

FLUZO: FLOW IN THE UNSATURATED ZONE (Stroming in de onverzadigde zone)



BENADERINGSWIJZE

- Schematisatie van de onverzadigde zone in een reservoir voor de wortelzone en een voor de ondergrond;
- Gebruik van de van Genuchten relaties voor de bepaling van evenwichtsvochtprofiel, verdeling van het vochttekort en berekening van de doorlatendheid;
- Volkomen niet-stationair;
- Berekening van capillaire opstijging naar de wortelzone en de ondergrond d.m.v. Darcy-vergelijkingen;
- Actuele verdamping wordt berekend uitgaande van een gegeven potentiele verdamping en de gewas-afhankelijke onttrekkingsfunctie van Feddes;
- Meer dan één gewas per punt;
- Onderrand is een vaste grondwaterstand per tijdstap (berekend aan de hand van de fluxen in de voorgaande tijdstap of opgegeven);
- Iteratieproces met relaxatie.

UITVOER

- Actuele verdamping;
- Fluxen van en naar de verschillende reservoirs;
- Vochtgehalten en -tekorten;
- Drukhoogten;
- Eventueel: nieuw berekende grondwaterstand.

TOETSING

- Vergelijking met MUST, meteogegevens 1911-1920, zandige en kleiige bodems, verschillende grondwaterstanden;
- Gegevens Hupselse Beek gebied, 1976-1982: vergelijking met zes andere programma's.

Met andere woorden: in geohydrologische berekeningen wordt het gebied boven de grondwaterspiegel maar liever vergeten. Men rekent met een "bekende" voeding op het freatische vlak, een "bekende" capillaire opstijging, of men introduceert een lineaire relatie tussen de grondwaterstand en de voornoemde parameters. Zo rekent men met een onnauwkeurigheid die tot enkele decimeters op kan lopen. Het laatste geldt met name voor niet-stationaire berekeningen waarbij naast de onnauwkeurigheid van stationair bepaalde parameters ook die van de niet-stationaire invoergegevens een rol gaat spelen. Daarom is deze methode niet toepasbaar voor gevallen waarbij de vereiste nauwkeurigheid van de tijdsafhankelijke grondwaterstand (of zijn verandering) hoog is.

Betekent het bovenstaande dat IWACO berekeningen van niet-stationaire veranderingen van het freatisch vlak uitsluitend uitvoerde met lage nauwkeurigheden? Gelukkig niet. De noodzaak om de onverzadigde zone mee te nemen in geohydrologische berekeningen werd al enkele jaren geleden bij IWACO onderkend. De indertijd ontwikkelde module voor de onverzadigde zone (CAPFLOW) is succesvol toegepast in een aantal projecten. Toch vormt deze module in een aantal gevallen een te eenvoudige benadering voor de stroming in de onverzadigde zone. IWACO beschikt nu over een tweede module voor stroming door de onverzadigde zone (FLUZO).

WERKING VAN FLUZO

FLUZO is een programma voor een zogenaamde puntsituatie (FLUZO = **Flow** in the **Unsaturated Zone**). Dit wil zeggen dat er op één plaats stroming door een verticaal bodemprofiel wordt berekend. Het bodemprofiel wordt geschematiseerd in drie gekoppelde reservoirs: de wortelzone, de ondergrond en het verzadigde deel (zie de figuur in het kader).
Als invoergegevens zijn nodig: neerslag en potentiele verdamping, gewassoort en -bedekking en bodemopbouw. FLUZO berekent de actuele verdamping, vochtgehalte en stromingen van en naar de wortelzone, de ondergrond en het verzadigde deel en desgewenst een nieuwe grondwaterstand (zie ook het kader).
FLUZO is gekoppeld aan het reeds bestaande programma voor quasi-driedimensionale (verzadigde) grondwaterstroming TRIWACO: TRIWACO-FLUZO. Ten gevolge van de eenvoudige opzet van FLUZO is het mogelijk de onverzadigde module voor elk knooppunt binnen een modelgebied van TRIWACO door te rekenen.

FLUZO is geschreven in FORTRAN-77 en draait op een PC onder DOS of OS/2. De rekentijden van FLUZO zijn kort (in de regel korter dan die van MUST, een ander model voor de onverzadigde zone).

RESULTATEN

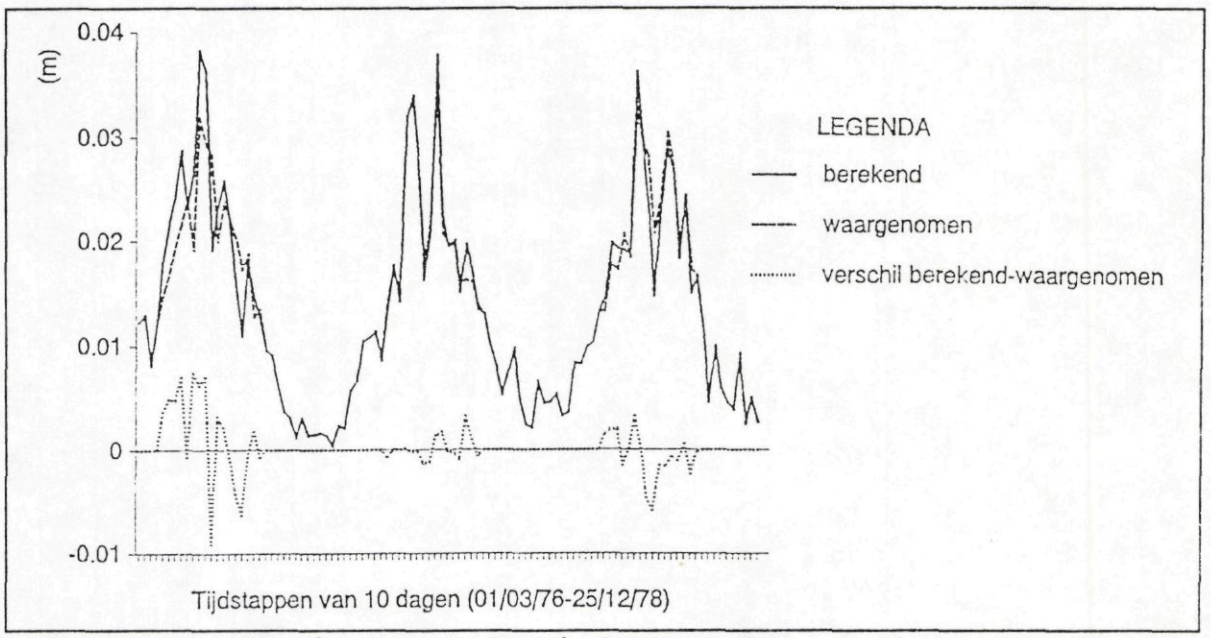
FLUZO is op twee manieren getoetst:

. Vergelijking met MUST voor zandige en kleiige bodems met verschillende grondwaterstanden en meteorologische gegevens van 1911-1920;

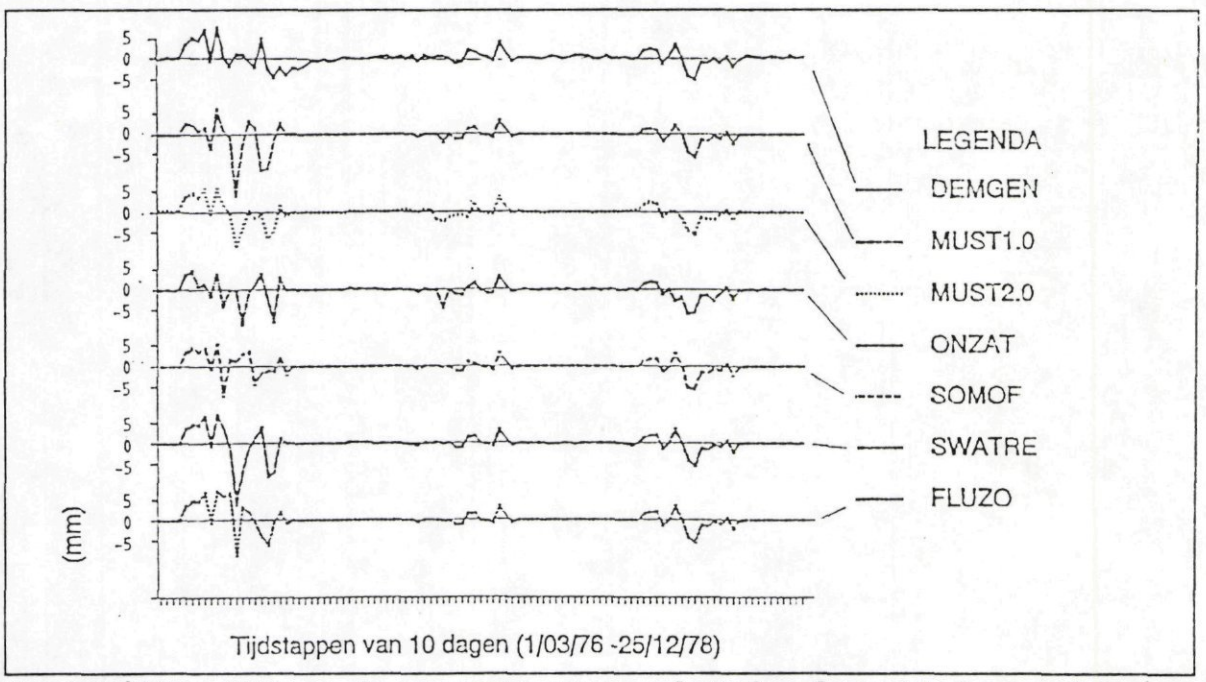
. Vergelijking met zes andere programma's met gegevens van het

. Vergelijking met zes andere programma's met gegevens van het proefgebied Hupselse Beek (Gelderland) voor 1976-1982[1].

In beide gevallen zijn de FLUZO-resultaten vergelijkbaar met of beter dan de resultaten van andere programma's (zie ook de onderstaande afbeeldingen).



Actuele verdamping proefgebied Hupselse Beek gedurende de calibratie-periode. Waargenomen en door FLUZO berekende waarden.



Verschillen tussen de waargenomen en berekende actuele verdamping in het Hupselse Beek gebied voor FLUZO en 6 ander programma's gedurende de calibratie-periode. (N.B. Nullijn is verschoven.)

---

1 Hierbij is dankbaar gebruik gemaakt van de gegevens verschaft door Rijkswaterstaat/RIZA i.s.m. de vakgroep Hydrologie en Hydraulica van de LUW.

Bijlage 4

Informatie over enkele voor dit onderzoek relevante topsystemen

1. TOPSYSTEMEN VAN TRIWACO

Het eindige-elementen grondwaterstromingssimulatie programma TRIWACO kent voor de randvoorwaarden aan de bovenzijde van een model de mogelijkheid om verschillende soorten zogenaamde topsystemen te definiëren. Deze topsystemen maken het mogelijk per netwerkpunt een grondwateraanvulling of -onttrekking te bepalen voor zeer uiteenlopende systemen.

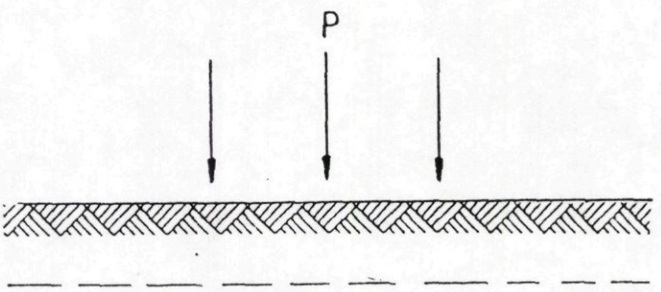
Elk van deze systemen is afhankelijk van één of meerdere invoerparameters. In het vervolg worden deze invoerparameters aangeduid als RP's (Recharge Parameters). Voor TRIWACO zijn momenteel verschillende topsystemen beschikbaar. Nieuwe topsystemen kunnen betrekkelijk eenvoudig in TRIWACO worden aangebracht. Een relatie tussen de stijghoogte van de bovenste modellaag en de RP's bepaalt de grondwateraanvulling per netwerkpunt. Indien deze relatie bekend is kan hiervoor een topsysteem in TRIWACO worden gemaakt. Op het moment zijn beschikbaar:

A) Neerslag
B) Polder met vast peil
C) Polder met vast peil en neerslag
D) Polder met vast peil, neerslag en verschillende infiltratie/drainagesystemen
E) Freatische drainage
F) Freatische drainage met neerslag
G) Irrigatie of neerslag en drainage
H) Onverzadigde zone, CAPFLOW.

Deze topsystemen worden in het volgende beschreven. De eenheden waarin parameters en variabelen worden uitgedrukt zijn lengte-eenheid (L) of tijdseenheid(T). Niveaus en peilen zijn alle ten opzichte van een referentieniveau vermeld.

A) NEERSLAG

Omschrijving : Grondwateraanvulling of -onttrekking onafhankelijk van de stijghoogte in de bovenste modellaag



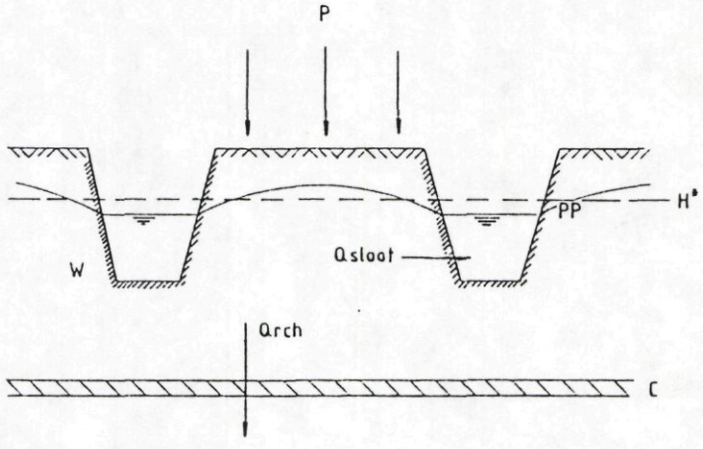
Relatie : $Q_{rch} = P$

Parameters : 1: P = voeding $[L \cdot T^{-1}]$

Toepassingen :
- Grondwateraanvulling is bekend
- Model waarbij de flux aan de bovenrand wordt opgelegd.

C) POLDER MET VAST PEIL EN NEERSLAG

Omschrijving : De grondwateraanvulling/-onttrekking treedt op vanuit een polder. Door de neerslag treedt een opbolling boven het vaste slootpeil in de polder op. Door deze opbolling wordt het gemiddelde peil in de polder hoger dan het slootpeil. De grondwateraanvulling is nu afhankelijk van het slootpeil vermeerderd met de verhoging ten gevolge van de verticale weerstand en de drainageweerstand van stijghoogte in de onderliggende aquifer.



Relatie :

$$Q_{sloot} = (H^* - PP)/W$$
$$Q_{rch} = (H^* - H)/c$$
$$Q_{sloot} + Q_{rch} = P$$

Parameters :

1: PP= vaste peil [L]
2: c = verticale weerstand [T]
3: W = drainageweerstand [T]
4: P = nuttige neerslag [$L \cdot T^{-1}$]

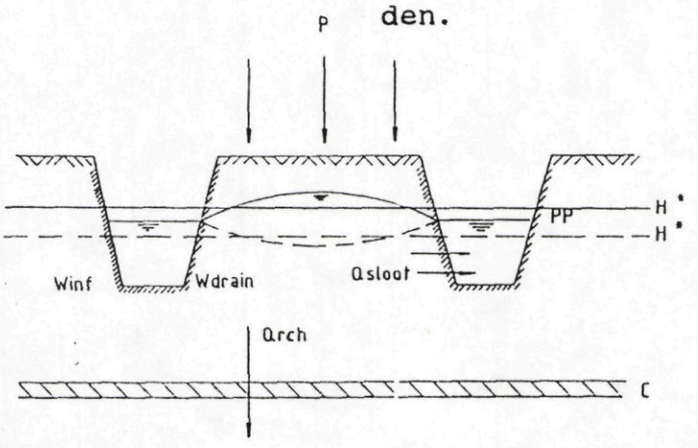
Variabelen :

Q_{sloot} = flux naar de sloot ($L \cdot T^{-1}$]
Q_{rch} = grondwateraanvulling [$L \cdot T^{-1}$]
H^* = peil inclusief verhoging door gemiddelde opbolling [L]
H = stijghoogte in watervoerend pakket

Toepassingen : - Polder met vast opgelegd peil waarbij de opbolling door de neerslag niet kan worden verwaarloosd. Tussen de polder en het watervoerend pakket eronder treedt een stroming op.

D) POLDER MET VAST PEIL, NEERSLAG EN VERSCHILLEND INFILTRATIE/DRAINAGE SYSTEEM

Omschrijving : Tussen een polder en het watervoerend pakket eronder treedt een stroming op, kwel of infiltratie. Kwel treedt op indien de stijghoogte in het watervoerend pakket groter is dan het gemiddelde peil in de polder. Infiltratie treedt op indien het gemiddelde peil in de polder groter is dan de stijghoogte. Bij kwel vindt drainage plaats door de sloten. Deze is afhankelijk van een drainageweerstand naar de sloten. Bij infiltratie zal vanuit de sloten een infiltratieweerstand worden ondervonden.



Relatie : Afhankelijk van het gemiddeld polderpeil H^*

$Q_{sloot} = (H^* - PP)/W_{inf}$ (voor $H^* < PP$)

$Q_{sloot} = (H^* - PP)/W_{drain}$ (voor $H^* \geq PP$)

$Q_{rch} = (H^* - H)/c$

$Q_{sloot} + Q_{rch} = P$

Parameters :

1:	PP	=	vaste peil [L]
2:	c	=	verticale weerstand [T]
3:	W_{inf}	=	infiltratieweerstand [T]
4:	W_{drain}	=	drainage weerstand [T]
5:	P	=	nuttige neerslag [$L \cdot T^{-1}$]

Q_{rch} = grondwateraanvulling $[L \cdot T^{-1}]$

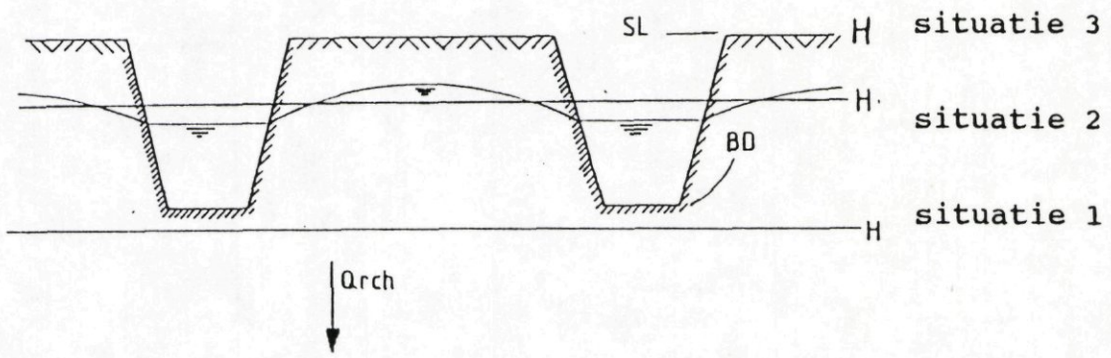
H^* = peil inclusief verhoging door gemiddelde opbolling [L]

H = stijghoogte in het watervoerend pakket [L]

Toepassingen : Gebied waarbij afhankelijk van de stijghoogte infiltratie of drainage optreedt. Het drainagesysteem is echter niet hetzelfde als het infiltratiesysteem. Bijvoorbeeld: Een gebied met kleinere waterlopen die water afvoeren in natte situaties, naar droogvallen in droge perioden, terwijl de grotere waterlopen wel het hele jaar water voeren.

E) FREATISCHE DRAINAGE

Omschrijving : Drainage van opkwellend grondwater vanuit bovenste modellaag wordt berekend afhankelijk van de grondwaterstand in de bovenste freatische modellaag, de hoogte ligging van de slootbodem, de drainageweerstand en de maaiveldhoogte ligging.



Relatie : Afhankelijk van de grondwaterstand

Situatie 1) $Q_{rch} = 0$ voor $H < BD$

Situatie 2) $$Q_{rch} = -\frac{(H - BD)}{W}$$ voor $Sl > H > BD$

Situatie 3) $$Q_{rch} = \frac{SL - BD}{W}$$ en $$Q_{opp} = \frac{H - SL}{WW}$$

voor $H > SL$

Parameters :
1: SL= vaste peil [L]
2: W = drainageweerstand [L]
3: BD= hoogteligging slootbodem [L]

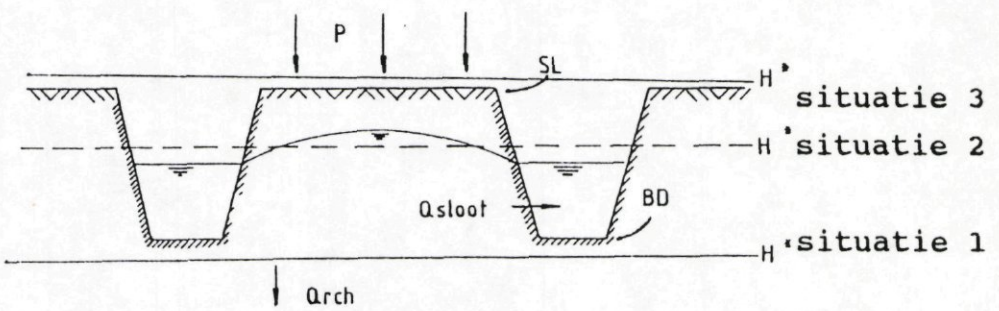
Variabele :
H = grondwaterstand freatische modellaag [L]
Q_{rch} =flux naar het grondwater [$L \cdot T^{-1}$]

Q_{opp} = flux oppervlakkige afvoer [$L \cdot T^{-1}$]
WW = weerstand voor oppervlakkige afvoer [T]

Toepassingen : Gebieden waarbij kwel kan optreden. Hierbij kan afwatering plaatsvinden via sloten of greppels. Ook gestuwde afwateris is mogelijk, waarbij niet de slootbodem maar het studpeil bepalend is of er afvoer optreedt.

F) FREATISCHE DRAINAGE MET NEERSLAG

Omschrijving : Drainage van opkwellend grondwater of infiltratie van neerslag. Dit wordt berekend afhankelijk van de hoogteligging van de slootbodem en het grondwaterniveau, de drainageweerstand en de opbolling door de neerslag.



Relatie: Afhankelijk van de grondwaterstand

Situatie 1) voor $H^* \leq BD$:

$$Q_{rch} = P$$

Situatie 2) voor $SL \geq H^* > BD$:

$$Q_{rch} = P - Q_{sloot}$$

$$Q_{sloot} = \frac{H^* - BD}{W}$$

Situatie 3) voor $H^* > SL$:

$$Q_{rch} = P - Q_{sloot} - Q_{opp}$$

$$Q_{sloot} = \frac{SH - BD}{W}$$

$$Q_{opp} = \frac{H^* - SL}{WW}$$

Parameters:

1: SL = hoogteligging maaiveld [L]
2: W = drainage weerstand [T]
3: BD = hoogte ligging slootbodem [L]
4: P = nuttige neerslag [$L \cdot T^{-1}$]

Variabelen:

Q_{rch} = flux naar het grondwater [$L \cdot T^{-1}$]

Q_{sloot} = flux naar sloot of greppel [$L \cdot T^{-1}$]

Q_{opp} = flux naar oppervlakkige afstroming [$L \cdot T^{-1}$]

WW = weerstand voor oppervlakkige afstroming [T]

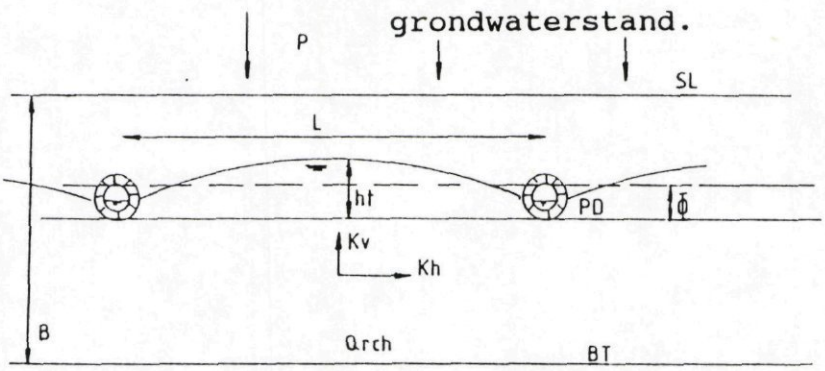
H^* = freatische grondwaterstand vermeerderd met opbolling door neerslag [L]

Toepassing:

Freatische gebieden met sloten en greppels waarbij zowel kwel als infiltratie kan optreden. Infiltratie is niet groter dan de nuttige neerslag.
Afwatering vindt plaats via sloten en greppels. De infiltratie treedt alleen op door neerslag. De sloten of greppels worden niet op een vast peil gehouden.

G) IRRIGATIE/NEERSLAG EN DRAINAGE

Omschrijving : Drainage van neerslag of irrigatie naar een drainagestelsel en percolatie naar het grondwater worden berekend. De drainageweerstand is afhankelijk van de afstand tussen de sloten of drains, de verticale en horizontale doorlatendheid voor de toplaag, de natte omtrek van de sloot of drain, en de dikte van de toplaag. De gedraineerde hoeveelheid is afhankelijk van de drainageweerstand en het peilverschil tussen drainniveau en grondwaterstand.



Relatie : $P = q_d + q_{rch}$

Afhankelijk van afmetingen en doorlatendheden van de toplaag:

Situatie 1) Voor $B < \frac{\sqrt{(k_v)}}{\sqrt{(k_h)}} \cdot \frac{L}{\pi}$

a. $$Q_d = L \cdot q_d = \frac{-(\Phi \cdot \pi \cdot k_v + P \cdot B \cdot \pi)}{\frac{\sqrt{k_v}}{\sqrt{k_h}} \cdot \ln\left[4{,}27 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{k_h}}{\sqrt{(k_h)} + \sqrt{(k_v)}} \cdot \frac{B}{\mu}\right]}$$

b. $$Q_{rch} = L \cdot q_{rch} - Q_d - P \cdot L$$

c. $$h_t = \Phi + \frac{P \cdot (B + h_t)}{k_v}$$

$$d.\ W = \frac{L}{\pi \cdot \sqrt{(k_v \cdot k_h)}} \ln\left[4{,}27 \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{k_h}}{\sqrt{k_h} + \sqrt{k_v}} \cdot \frac{B}{\mu}\right.$$

$$W = \frac{\Phi \times L}{Q_d}$$

Situatie 2) Voor $B \geq \frac{k_v}{k_h} \cdot \frac{L}{\pi}$

$$a.\ Q_d = \frac{-(\Phi \cdot \pi \cdot k_v + P \cdot \pi \cdot B)}{\frac{\sqrt{k_v}}{\sqrt{k_h}} \cdot \ln\left(4{,}27 \cdot \frac{2\sqrt{k_h}}{\sqrt{k_h} + \sqrt{k_v}} \cdot \frac{B}{\mu}\right)}$$

$$b.\ Q_{rch} = \frac{\Phi \cdot \pi \cdot k_v - P \cdot L \cdot \frac{k_v}{k_h} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot \sqrt{k_v}}{\sqrt{k_h} + \sqrt{k_v}} \cdot \frac{L}{2.\mu}\right)}{\frac{\pi B}{L} \cdot \frac{\sqrt{k_h}}{\sqrt{k_v}} + \ln\left(\frac{2 \cdot \sqrt{k_v}}{\sqrt{k_h} + \sqrt{k_v}} \cdot \frac{L}{2.\mu}\right)}$$

$$c.\ h_t = \left(\Phi + \frac{P \cdot B}{k_v}\right) \cdot \frac{\ln\left(\frac{2 \cdot \sqrt{k_v}}{\sqrt{k_v} + \sqrt{k_h}} \cdot \frac{L}{\mu}\right)}{\frac{\pi B}{L} \cdot \frac{\sqrt{k_h}}{\sqrt{k_v}} + \ln\left(\frac{2 \cdot \sqrt{k_v}}{\sqrt{k_h} + \sqrt{k_v}} \cdot \frac{L}{2 \cdot \mu}\right)}$$

$$W = \frac{B}{k_v} + \frac{L}{\pi \cdot k_h \cdot k_v} \cdot \ln\left(\frac{2\sqrt{k_v}}{\sqrt{k_h} + \sqrt{k_v}} \cdot \frac{L}{2\ \mu}\right)$$

Parameters:

P	=	irrigatie of nuttige neerslag [$L \cdot T^{-1}$]
SL	=	maaiveldhoogte ligging [L]
DL	=	drain level [L]
BL	=	onderzijde van toplaag [L]
k_v	=	verticale doorlatendheid [$L \cdot T^{-1}$]
k_h	=	horizontale doorlatendheid [$L \cdot T^{-1}$]
L	=	afstand tussen de drains [L]

WP = natte omtrek van de drains [L]
Q_{rch} = flux naar het grondwater [$L \cdot T^{-1}$]
Q_d = flux naar de drain [$L \cdot T^{-1}$]

Toepassing: Gebieden waarbij irrigatie of neerslag gedeeltelijk wordt gedraineerd en gedeeltelijk aan het grondwater ten goede komt. Tevens wordt de drainage weerstand berekend uit de horizontale en verticale doorlatendheid en de afstand tussen de drainagebuizen of de sloten.
Van dit systeem bestaan 2 versies. Een waarbij de drains kunnen infiltreren en draineren, de ander waarbij de drains alleen kunnen draineren.

Bijlage 5

CV's projectmedewerkers

M.J. EMKE

CURRICULUM VITAE

Naam	:	EMKE, M.J. (Mark)
Geboortedatum	:	1959
Nationaliteit	:	Nederlandse
Opleiding	:	1987: Ir., Landbouw Universiteit Wageningen Vakgroep Cultuurtechniek-B, oriëntatie Hydrologie
Huidige funktie	:	Specialist geohydrologisch modelleren

WERKERVARING

1987-1988	:	Geohydroloog bij Gemeentewaterleidingen Amsterdam
1988-heden	:	Geohydroloog bij IWACO B.V., gespecialiseerd in het modelleren van grondwaterstromingssituaties en het beheren en ontwikkelen van het computerprogramma TRIWACO/TRACE/CAPFLOW voor de modellering van grondwaterstromingen

PROJECTERVARING

1987-1988	:	Grondwatermodellering van de Waterleidingduinen van Gemeentewaterleidingen Amsterdam ten behoeve van een vergunningsaanvraag voor de gehele winning in dit gebied met behulp van het eindige differentie grondwaterstromingsprogramma MODFLOW Aanpassing van het eindige differentie programma MODFLOW zodat de invloed van dichtheidsverschillen op de grondwaterstroming kunnen worden berekend
Sinds 1988	:	Modelleren met het grondwatersimulatieprogramma TRIWACO (gebaseerd op de eindige-elementen methode) in de volgende studies: - Effectbepaling van een zandwinput in de uiterwaarden van de Lek, waarbij na de herinrichting van het gebied een natuurgebied gecombineerd wordt met een oevergrondwaterwinning - Effectbepaling van de grondwaterwinning van het pompstation Soestduinen op de Utrechtse Heuvelrug - Niet-stationaire modelberekeningen, gebruikmakend van een onverzadigde zone module in een regionaal grondwaterstromingsprogramma ten behoeve van een vegetatie voorspelmodel - Bepaling van bodembeschermingszones voor het beekdal van De Linde in Friesland - Regeneratie-onderzoek in het duingebied van het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland - Geohydrologisch onderzoek voor een vergunningsaanvraag van een grondwaterwinning van een zuivelfabriek

M.J. EMKE

Beheren van het grondwaterstromingsprogramma TRIWACO en het ontwikkelen van nieuwe modules en mogelijkheden met dit programma, te weten:

- De koppeling van een Geografisch Informatie Systeem (ARC/INFO) aan het eindige-elementen programma TRIWACO
- De verdere ontwikkeling van het TRIWACO programma voor OS/2
- Het programmeren van een flexibele netwerkgenerator

CURRICULUM VITAE

Naam	:	LENNAERTS, A.B.M. (Ton)
Geboortedatum	:	1953
Nationaliteit	:	Nederlandse
Opleiding	:	1980; Ir. Landbouw Universiteit Wageningen, Specialisaties: cultuurtechniek (agrohydrologie) en geohydrologie
Huidige funktie	:	Senior adviseur/coördinator produktgroep Hydrologie en Waterbeheer (Boxtel)

WERKERVARING

1976-1977	:	Trainee irrigatie en drainage; Euroconsult
1980-1981	:	Luitenant der Genie; Militaire Dienst
1981-heden	:	Werkzaam bij IWACO B.V. in de volgende functies: - projectleider agrohydrologie en geohydrologie in Nederland en het buitenland - senior adviseur Hydrologie en Waterbeheer - coördinator produktgroep Hydrologie en Waterbeheer

PROJECTERVARING

1976	:	Agrohydrologisch onderzoek in het Abu Ghraib projektgebied, Irak
1977	:	Onderzoek naar vertikale drainage als alternatief voor de gebruikelijke horizontale drainage voor de landbouw (doctoraal scriptie), Abu Ghraib projektgebied, Irak
1981-1982	:	Onderzoek naar grondwater- en oppervlaktewatervoorkomens voor de drinkwatervoorziening van 35 steden in de provincie West-Java, Indonesië
1982	:	Ontwerp van winningssystemen voor de drinkwatervoorziening van enkele steden in West-Java, Indonesië
1983	:	Hydrogeologisch onderzoek in het stroomgebied van de Witte en Rode Volta, Burkina Faso
1983-1985	:	Medewerker in het hydrologisch training programma van het Research Institute for Groundwater (RIGW), Cairo, Egypte
1985	:	Studie naar de oorzaak van de grondwaterspiegelstijging in een deel van de stad Damman, Saoedi Arabië
1986	:	Technische en economische haalbaarheidsstudie voor toepassing van vertikale drainage in de Nijlvallei, Egypte
1987-1988	:	Planvorming voor regionaal grondwaterbeheer ten behoeve van landbouw en drinkwatervoorziening in de Oostelijke Nijldelta, Egypte

1988	:	Geohydrologisch modelonderzoek voor de selektie van ontgrondingslokaties in het rivierengebied van Gelderland
1988	:	Optimalisatie van de grondwaterwinning (9 miljoen m3/jaar) van Heineken Brouwerijen te 's-Hertogenbosch
1989	:	Evaluatie van de technische haalbaarheid van compenserende maatregelen ten behoeve van uitbreiding van de grondwaterwinning in de omgeving van de Groote Peel
1989	:	Geohydrologisch onderzoek naar compenserende maatregelen voor brongebieden i.v.m. de uitbreiding van Maastricht Airport
1989	:	Haalbaarheidsstudie naar milieuhygiënische maatregelen in de intrekgebieden van drinkwaterwinningen in Gelderland
1988-1991	:	Onderzoek naar de milieu-effekten van uitbreidingen van diverse grondwaterwinningen
1988-1991	:	Bepaling van intrekgebieden en de verdeling van voeding en verblijftijden bij industriële - en drinkwaterwinningen in Noord-Brabant
1990	:	Haalbaarheidsonderzoek naar beperking van grondwaterwinning en naar alternatieven voor de drink-, industrie- en landbouwwatervoorziening in Limburg.
1991	:	Haalbaarheidsonderzoek naar grootschalige alternatieven (10 à 15 miljoen m3/jaar) voor de drink- en industriewatervoorziening op de oostflank van de Veluwe

CURRICULUM VITAE

Naam	:	POSTMES, L.A.M. (Luc)
Geboortedatum	:	1960
Nationaliteit	:	Nederlandse
Opleiding	:	1988; Ir. Technische Universiteit Delft, Afdeling Civiele Techniek
Huidige funktie	:	Geohydroloog produktgroep Hydrologie en Waterbeheer (Boxtel)

WERKERVARING

1987	:	Inventarisatie irrigatie- en drainageproblematiek in India. ILRI, Wageningen
1988	:	Uitvoering van een haalbaarheidsstudie voor een polder in Bangkok, Thailand. IHS, Rotterdam
1989-heden	:	Geohydroloog bij IWACO B.V.. Projektleider van projekten op het gebied van: - milieukundig bodem- en grondwateronderzoek - grondwatersanering - geohydrologische onderzoeken - bronneringsonderzoek - grondwaterwinning (o.a. vergunningsonderzoeken, winplaatsonderzoeken) - grondwaterbescherming (o.a. onderzoek naar grondwaterbeschermingsgebieden, kwetsbaarheidsanalyses) - begeleiding grondboorwerkzaamheden

PROJECTERVARING

1989	:	Analytische beschouwing van de effecten van een grindwinning
1989-1990	:	Diverse milieukundige onderzoeken, m.n. met grondwaterverontreinigingen
1989-1990	:	Studie naar verspreiding van verontreinigingen, saneringsonderzoek gemeente Tilburg
1990	:	Stroombaanberekeningen t.b.v. invloedsbepaling van een grondwateronttrekking op kwel in waardevolle natuurgebieden
1990	:	Begeleiding van de ontwikkeling van een puttenveld voor drinkwaterwinning
1990	:	Diverse modelleringen t.b.v. van vergunningsaanvragen voor grondwaterwinningen
1990	:	Begeleiding en directievoering bij de uitbreiding van een grondwaterwinning ten behoeve van een bierbrouwerij
1990-1991	:	Inventarisatie ten behoeve van modellering van het Kreekruggenstelsel op Zuid-Beveland
1991	:	Opstellen bemalingsplannen en bepaling milieu-effecten van bronneringen met behulp van analytische en numerieke grondwaterstromingsmodellen

CURRICULUM VITAE

Naam	:	GISCHLER, M.A. (Maarten)
Geboortedatum	:	1962
Nationaliteit	:	Nederlandse
Opleiding	:	1988; Vrije Universiteit Amsterdam, Vakgroep Hydrogeologie
Huidige funktie	:	Hydrogeoloog produktgroep Hydrologie en Waterbeheer (Boxtel)

WERKERVARING

1986-1987	:	Onderzoeker bij NUFFIC/VU, Brebes, Java, Indonesië
1988	:	Stafmedewerker International Institute voor Waterbouwkunde en milieubeheer, IHE
1989	:	Redactielid, projectteam "Milieukerngegevens Nederland", VROM/Infoplan milieu-adviesbureau
1989-heden	:	Hydrogeoloog/projectleider bij IWACO B.V.: - alternatieve methoden van watervoorziening - vergunningsonderzoeken voor grondwaterwinning - grondwaterbescherming (o.a. systeem- en kwetsbaarheidsanalyse) - integraal waterbeheer

PROJECTERVARING

1986-1987	:	Onderzoek grondwatersystemen Midden-Java, Indonesië
1988	:	Rapportage en evaluatie van de IHE-cursus "Low-cost watersupply and sanitation"
1989	:	Milieukerngegevens Nederland, Almanak van de Nederlandse milieuproblemen en het gevoerde milieubeleid
1989	:	Bepaling intrekgebieden grondwaterwinningen in Gelderland
1989-1990	:	Geohydrologisch onderzoek pompstation Someren
1990	:	Haalbaarheidsstudie alternatieven grondwaterwinning Provincie Limburg
1990	:	Bepaling intrekgebieden grondwaterwinningen Noord-Brabant
1990	:	Geohydrologisch onderzoek Fuji Photo Film b.v.
1990	:	Geohydrologisch onderzoek Monsanto fase 2
1990-1991	:	Haalbaarheidsstudie watervoorzieningsalternatief op Oostflank Veluwe (N.V. Waterleiding Maatschappij Gelderland)
1991	:	Haalbaarheidsstudie drinkwaterwinning omgeving Lith (WMG, WOB, ZGN)
1991	:	Proefproject verdroging Epe (Provincie Gelderland, RWS, WMG)

J.M.E. OUDE MUNNINK

CURRICULUM VITAE

Naam	:	OUDE MUNNINK, J.M.E. (Josefien)
Geboortedatum	:	1959
Nationaliteit	:	Nederlandse
Opleiding	:	1986; Drs. Vrije Universiteit Amsterdam, afd. Hydrogeologie
Huidige funktie	:	Hydrogeoloog/projectleider

WERKERVARING

1986- heden	:	Werkzaam bij IWACO B.V. in de volgende functies: - specialist hydrologische systeemanalyse - specialist hydrochemisch onderzoek - specialist/projectleider ontwerp primaire (provinciale) en tertiaire (vuilstorts, bedrijfsterreinen) meetnetten grondwaterkwaliteit

PROJECTERVARING

1986	:	- Hydrogeochemisch onderzoek zuid-west Drenthe (tijdens studie) - Kwetsbaarheidskartering voor grondwaterverontreiniging in Nederland (VROM)
1986-heden	:	Diverse geofysische onderzoeken (verontreinigingen, zandwinningen) en diverse milieustudies
1987	:	- Ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnetten en kwetsbaarheidsanalyses voor drinkwaterwinningen in de provincie Friesland - Geohydrologisch onderzoek waterwinning Vlieland
1987-1989	:	Integraal ecohydrologisch onderzoek en hydrochemisch onderzoek Waddeneilanden (invloed grondwaterwinningen op natuurwaarden)
1987-1990	:	Diverse grondwaterkwaliteitsonderzoeken en isotopenonderzoeken wingebieden (onder andere Hebrecht en Bellingwolde (Groningen), Oranjezon (Walcheren), Terwisscha en Vlieland (Friesland)
1988	:	- Milieu-effectrapportage uitbreiding grondwaterwinning Alblasserwaard en Vijfheerenlanden - Grondwaterkwaliteitsmeetnet voor de provincie Groningen (primair en secundair)
1988-1990	:	Projectleider ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet provincie Noord-Holland (primair), inclusief doelstellingen-analyse en hydrologische systeemanalyse
1990	:	- Projectleider ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet provincie Utrecht (primair), inclusief globale hydrologische systeemanalyse - Projectleider onderzoek naar kwel in het rivierengebied, inclusief oriëntatie op funkties natuurontwikkeling en slibberging (RPD) - Onderzoek ontwikkelingsmogelijkheden van een binnenduinzoomgebied met recreatie, natuur en waterwinning

J.M.E. OUDE MUNNINK

1991	:	- Projectleider monitoringsonderzoek vuilstorts provincie Utrecht - Projectleider vermestingsstudie Krimpenerwaard - Onderzoek ontwerp monitoringssystemen bedrijfsterreinen

CURRICULUM VITAE

Naam	:	VAN DER PUTTEN, H.C.N. (Harrie)
Geboortedatum	:	1950
Nationaliteit	:	Nederlandse
Opleiding	:	1978; Katholieke Universiteit Nijmegen; Biologie, samenstelling vakkenpakket: vegetatiekunde, zoölogie en natuurbeheer.
Huidige funktie	:	Landschapsecoloog/projektleider, produktgroep Water, Afvalstoffen en Milieustudies (Boxtel)

WERKERVARING

1981-1989	:	Projectcoördinator Stichting voor Toegepaste Landschapsecologie (STL), Nijmegen
1989-heden	:	Werkzaam bij IWACO B.V. in de functie van projectleider; acquisitie en coördinatie milieu-effectrapportages en landschapsecologische ondersteuning bij integraal milieu-onderzoek

PROJECTERVARING

1981-1989	:	Adviezen en onderzoek voor diverse gemeentes; onder meer Amersfoort, Enschede, Groesbeek en Gorinchem. Onderwerpen: stedelijk groen, ecologische effecten van woningbouw, landschapsecologische inbreng in bestemmingsplan buitengebied, beheers- en inrichtingsstudies.
1986-1989	:	Landschapsecologische effectstudies voor diverse golfbaanprojecten
1984-1985	:	Mede-samensteller van het boek "Milieu-inventarisaties in Nederland". Een overzicht van inventarisaties op provinciale en nationale schaal van bodem, water, lucht, flora en fauna
1989-1990	:	Projectleider MER Lokatiekeuze afvalverwerkingsinrichting Cluster West (Noord-Brabant)
1990-1991	:	Projectleider MER Golfbaan Zwolle
1991	:	Projectleider MER Zuidelijke rondweg Boxtel; deelaspecten bodem en water.
1990	:	Oriënterend onderzoek naar kwel in het rivierengebied; mogelijkheden voor verschillende gebruiksfuncties (slibdeponie en natuurontwikkeling)
1990-1991	:	Onderzoek naar de milieugevolgen van diepe grondwaterwinning in het kader van drie projecten: Oirschot, Aalsterweg (Eindhoven) en Fuji (Tilburg).
1990-1991	:	Biologische waterzuivering Efteling

1991	:	Startnotitie ROM gebied Zuidoost Friesland
1991	:	Basisrapport Oppervlaktewater ten behoeve van het MER beleidsplan Drink- en Industriewatervoorziening.
1991	:	Monitoring waterkwaliteit oppervlaktewater Efteling