

LD Groningen
Afd. O & B

Maart
1990

DE BETEKENIS VAN DE HYDROLOGISCHE SYSTEEM-
ANALYSE VOOR HET BEPALEN VAN DE KWETSBAAR-
BAARHEID VAN HET GRONDWATER MET HET OOG OP
DE VEILIGSTELLING VAN WATERVOORRADEN VOOR
HET TOEKOMSTIGE WATERGEBRUIK

826085

landinrichting
afd. onb.
provincie

W117 11/11/4P

ISBN 933209

Maart
1990

DE BETEKENIS VAN DE HYDROLOGISCHE SYSTEEM-
ANALYSE VOOR HET BEPALEN VAN DE KWETSBAAR-
BAARHEID VAN HET GRONDWATER MET HET OOG OP
DE VEILIGSTELLING VAN WATERVOORRADEN VOOR
HET TOEKOMSTIGE WATERGEBRUIK

Auteur:
Drs. R.J. Stuurman

SAMENVATTING

Als vervolg op de eerste fase van de grondwaterverkenning van Nederland die onlangs voltooid werd en hoofdzakelijk gericht was op het aquifersysteem vindt momenteel de tweede fase - de analyse van de grondwaterstromingsstelsels - plaats.

Grondwaterstromingsstelsels komen naast elkaar en in elkaar genesteld voor. Een stromingsstelsel begint in een infiltratiegebied, passeert meer of minder diep een tussengebied dat intermediair gebied wordt genoemd en eindigt in één of meer kwelgebieden (fig. 2 en 3). De analyse van de grondwaterstromingsstelsels (ook wel grondwatersysteemanalyse genaamd) vindt in een aantal stappen plaats (zie fig. 4). Gebruik wordt gemaakt van recente en historische kaarten, chemische analyses van het grondwater, temperatuurmetingen, grondwaterstromingsmodellen, etc. In de laatste stap worden onder meer de relaties tussen oppervlaktewater en grondwater bestudeerd.

De kwalitatieve en kwantitatieve aspecten zijn onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Dat geldt niet alleen voor het onderzoek maar ook ten aanzien van de gevolgen van menselijk ingrijpen. Zo leidt de vermindering van kwel, met een bepaalde doorgaans goede kwaliteit water uit een diep grondwaterstelsel, vaak tot uitbreiding van een ondiep grondwaterstelsel, waarvan de watersamenstelling van nature anders is en momenteel, vanwege verontreinigingen, slecht (fig. 5).

De atmosferische depositie speelt een belangrijke rol bij grondwaterverontreiniging en manifesteert zich met name in gebieden met een natuurlijke begroeiing. Waar deze samenvallen met kerninfiltratiegebieden blijkt de pH op 25 m onder maaiveld sterk te zijn teruggelopen.

Combinatie van een grote stikstofbelasting uit dierlijke mest en een gering denitrificerend vermogen van de ondergrond leidt tot een ernstige bedreiging van de grondwatervoorraad. Dat is het geval onder o.m. de Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug, de Holterberg en de hoge Maasterrassen. Onder de Veluwe bij Koudhorn is reeds nitraat geconstateerd op een diepte van 60 m. Andere diffuse bronnen van grondwaterverontreiniging vormen landbouwbestrijdingsmiddelen, het oppervlaktewater en stedelijke gebieden. Van veel belang zijn ook lijn- en puntbronnen.

Om te komen tot een situatie waarbij duurzaam gebruik van het water voor een aantal functies mogelijk wordt zullen maatregelen nodig zijn. In eerste instantie zullen de vervuilingsbronnen gesaneerd moeten worden. Vervolgens kan op basis van de grondwatersituatie een prioriteitsindeling worden gemaakt voor de sanering. De functietoekenning aan het (grond-)water is daarbij van belang. Op korte termijn kan de kwaliteit van het grondwater in bepaalde gebieden sterk worden verbeterd door regeneratie van stromingsstelsels.

Algemene conclusies op basis van de tot op heden uitgevonden grondwatersysteemanalyse zijn aansluitend weergegeven.

CONCLUSIES

Oppervlaktewater en grondwater zijn in sterke mate aan elkaar gekoppeld. Dat geldt ook voor kwantiteit en kwaliteit. Een en ander heeft zijn consequenties zowel voor wat betreft het onderzoek als ten aanzien van te treffen maatregelen ten behoeve van duurzaam gebruik van het grondwater.

De ondiepe grondwaterstromingsstelsels zijn in aanzienlijke mate verontreinigd. Daar deze draineren op open water kan de sanering van het oppervlaktewater in vele gebieden alleen worden bereikt als ook de grondwaterkwaliteit kan worden verbeterd. Gezien de verblijftijden kan dit een proces zijn dat enige decennia vergt, ook als het zou lukken om de verontreiniging op korte termijn sterk te reduceren.

Een bijzonder probleem vormt de irreversibiliteit van sommige processen die zich in de bodem en ondergrond voordoen en waarover onvoldoende kennis beschikbaar is.

De diepe grondwaterstromingsstelsels zijn evenzeer verontreinigd als de ondiepe, zij het dat het grondwater in die stelsels slechts verontreinigd is over een gedeelte van de transportweg en het uittredende water nog de oorspronkelijke kwaliteit heeft.

In de kwelgebieden behorende bij de diepe grondwaterstelsels kan de verslechtering van de kwaliteit van het grondwater als gevolg van menselijke handelen in de laatste decennia in directe zin pas merkbaar worden zo niet na duizenden, dan toch wel na honderden jaren. Als het lukt om de verontreiniging snel (b.v. in een decade) aanzienlijk te reduceren zal de kwaliteit van het uittredende water veel beter zijn dan die van het momenteel instromende water, zulks vanwege optredende diffusie en dispersie in de ondergrond die een afvlakkend effect heeft.

Als niet ingegrepen wordt zal de verslechtering van de kwaliteit van het uittredende water lang aanhouden. De kans op irreversibiliteit van processen is bij de diepe grondwaterstelsels aanzienlijk kleiner dan bij de ondiepe stelsels.

De grondwaterafhankelijke natuurwaarden in kwelgebieden van diepe grondwaterstromingsstelsels worden echter meestal door een indirect effect aangetast. Als gevolg van veranderingen in het potentiaalveld wordt namelijk op korte termijn de van origine kalkrijke onbeïnvloede kwel van diepe grondwaterstromingsstelsels vervangen door verontreinigd grondwater van lokale herkomst. In de provincie Noord-Brabant ontstaat dit effect door grondwateronttrekking en op grotere diepte.

Grondwaterwinningen zijn dikwijls in kerninfiltratiegebieden gelokaliseerd. Verontreinigingen in kerninfiltratiegebieden bereiken dientengevolge deze winningen in plaats van de oorspronkelijke kwelgebieden. Wanneer een grondwaterwinning in het intermediair gebied is gelokaliseerd, zullen verontreinigingen uit gebieden waar van nature ondiepe grondwaterstroming plaatsvond (intermediair gebied), naar de diepte getransporteerd worden. Als gevolg van dergelijke grondwateronttrekkingen raakt dus relatief snel een aanzienlijk groter deel van het grondwatersysteem vervuild dan er bij gelijke belasting maar zonder winningen zou gebeuren.

Kennis van de grondwaterstromingsstelsels geeft inzicht in de kansrijkdom voor de functies natuurwatervoorziening, drinkwatervoorziening, industriewatervoorziening, landbouwatervoorziening en recreatiewatervoorziening en maakt gebiedsgericht beheer mogelijk.

INHOUDSOPGAVE

pag. nr.

SAMENVATTING

CONCLUSIES

1.	INLEIDING	2
2.	HYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE	2
3.	ENKELE VOORBEELDEN VAN ONLOSMAKELIJKE KOPPELING TUSSEN DE KWALITATIEVE EN KWANTITATIEVE ASPECTEN VAN HET WATERSYSTEEM	4
4.	DE ACTUELE GROND- EN OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT IN HET LICHT VAN GRONDWATERSTROMINGSSTELSELS	5
4.1	Inleiding	5
4.2.	De grondwaterkwaliteit bepalende factoren	5
4.3	Het grondwatersysteem van Nederland	6
4.4	De ruimtelijke verspreiding van verontreinigings- bronnen en de gevolgen voor de grondwaterkwaliteit	6
4.5	De gevolgen voor de oppervlaktewaterkwaliteit en ecologie	8
5.	TE VERWACHTEN TOEKOMSTIGE WATERKWALITEIT	9
6.	CONCLUSIES	12
7.	KNELPUNTEN	13
8.	LITERATUURVERWIJZINGEN	15

1. INLEIDING

De waterkwaliteit in Nederland is buitengewoon zorgwekkend. De werkelijke afmeting van de aantasting van onze (grond-)watervoorraad is zelfs nog niet te overzien. Er is bijvoorbeeld nog weinig bekend over grondwaterverontreiniging door zware metalen, organische micro's en bestrijdingsmiddelen. Daarnaast is nauwelijks iets bekend over de invloed van deze vervuiling op de grondwaterfauna (b v. op denitrificerende bacteriën).

Omdat deze aantasting van de waterkwaliteit dusdanig grote vormen heeft aangenomen doet zich vanuit het standpunt van de waterkwaliteitsbeheerder de vraag voor 'waar beginnen we met herstel?'. Overigens is het onduidelijk of na terugdringing van de belasting nog ooit de natuurlijke kwaliteit (streefbeeld) benaderd kan worden. Dit hangt samen met tal van irreversibele processen die door menselijke ingrepen ontstaan of sterk versneld zijn en waaromtrent nog weinig kennis beschikbaar is.

In deze notitie wordt getracht duidelijk te maken op welke wijze het huidige grondwateronderzoek, ook wel aangeduid met de naam grondwatersysteemanalyse, wordt uitgevoerd en welke resultaten daarmee worden verkregen. Vervolgens wordt geprobeerd om vanuit de huidige kennis over de grondwaterkwaliteit, transportmechanismen en grondwaterstromingspatronen een prioriteitsrangorde aan te geven wat betreft herstelmaatregelen en beheersmaatregelen ter veiligstelling van toekomstig waterverbruik. Ter illustratie worden enkele voorbeelden getoond uit de hydrologische systeem-analyse van westelijk Noord-Brabant.

2. HYDROLOGISCHE SYSTEEMANALYSE

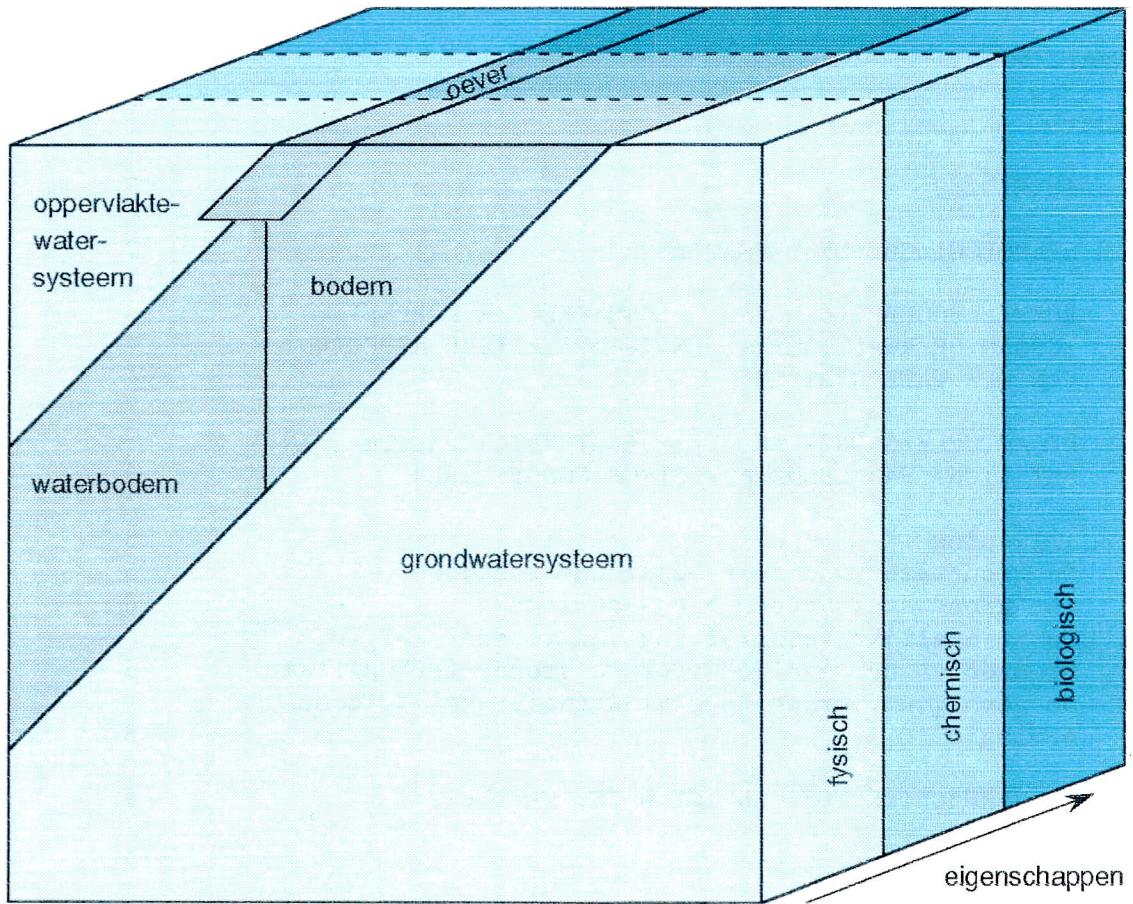
Om de problemen te bestrijden is het noodzakelijk kennis te verkrijgen van het watersysteem, dat wil zeggen van het samenhangende functioneren van het geheel van oppervlaktewater, grondwater, waterbodems, oevers en technische infrastructuur, met inbegrip van alle bijbehorende fysische, chemische en biologische kenmerken en processen.

In figuur 1 is getracht dit watersysteem schematisch weer te geven. Het watersysteem is op te delen naar (Witmer e.a., 1987):

1. de basiselementen: grond- en oppervlaktewatersysteem en de hierin voorkomende levensgemeenschappen, zwevende en opgeloste stoffen.
2. de fysische, chemische en biologische eigenschappen van deze basiselementen
3. alle relaties tussen deze basiselementen
4. de grenszones van het systeem met de directe omgeving en de relaties binnen deze grenszones. In de notitie 'Omgaan met water' worden de waterbodem en oevers genoemd als relevante grenszones,
5. een technische infrastructuur waarmee eigenschappen en relaties kunnen worden beïnvloed.

Dit geheel gedraagt zich veranderlijk in de tijd; een watersysteem bezit de dimensies ruimte en tijd.

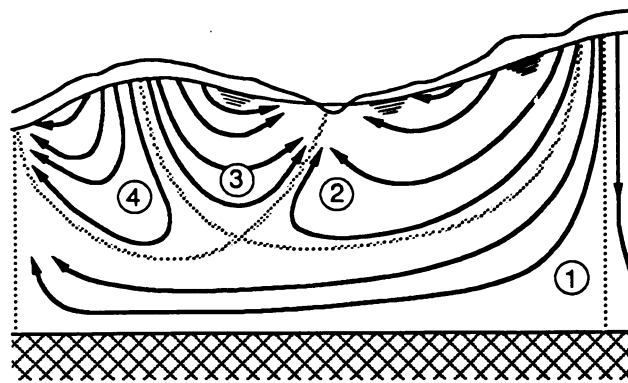
Het grondwatersysteem is aldus een subsysteem van het eerder genoemde watersysteem. Het bestaat uit het met water-verzadigde korrelskelet van de ondergrond, het daartussen aanwezige of daaraan gebonden water en de technische infrastructuur met inbegrip van de daarin voorkomende levensgemeenschappen en alle bijbehorende fysische, chemische en biologische



basiselementen : oppervlaktewatersysteem, grondwatersysteem

grenszones : 

Figuur 1: Een schematische weergave van het watersysteem



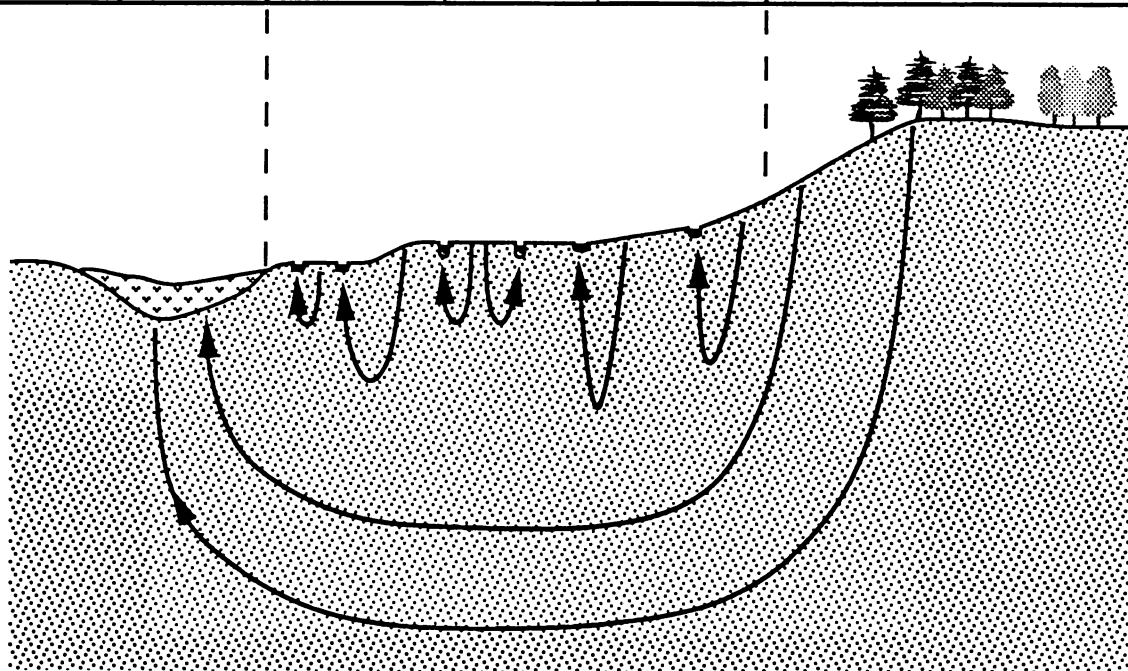
② subsysteem nummer 2

----- subsysteemgrens

∩ stroombaan

Figuur 2: Schematische weergave van genestelde grondwaterstromingsstelsels

GEOMORFOLOGIE	BEEKDAL, DALVORMIGE LAAGTE	TERRASAFZETTINGSWELVINGEN	(LAND-)DUINEN, DEKZANDRUGGEN
DRAINAGESTELSEL	DICHT		GEEN
BODEM	VEEN	VELDPODZOLGRONDEN	o.a. DUINVAAGGRONDEN
GRONDWATERTRAPPEN	±I t/m III	±IV + V	±VI + VII
HYDROLOGIE	PERMANENTE KWEL	AFWISSELEND KWEL EN INFILTRATIE IN DE TIJD EN IN DE RUIMTE (INTERMEDIAR)	PERMANENTE INFILTRATIE



bos



veen



stroombaan



gras



zand

Fig. 3: Een schematische weergave van het grondwatersysteem voor de westbrabantse situatie.

kenmerken en processen. De begrenzing van het grondwatersysteem wordt aan het oppervlak gevormd door de onverzadigde zone, de atmosfeer en/of waterbodems. Lateraal en in de diepte bestaat de begrenzing primair uit het impermeabele grondgebergte of basement. Afhankelijk van de vraagstelling kunnen qua ruimtelijk schaalniveau minder omvattende onderdelen als een apart (hydrogeologisch) sub-systeem worden beschouwd.

Het grondwatersysteem is op te delen naar:

1. het aquifersysteem, de ruimtelijke verdeling van goed, matig tot slecht doorlatende pakketten en hun geochemische samenstelling,
2. het grondwaterstromingsstelsel, een in de ondergrond en aan het oppervlak begrensde driedimensionale eenheid die bestaat uit een dynamisch stelsel van stroombanen met één infiltratiegebied of voedingsgebied en één of meer exfiltratie- of kwelgebieden.

Grondwaterstromingsstelsels kunnen binnen een aquifersysteem naast elkaar en/of genesteld in een hiërarchische structuur voorkomen (zie figuur 2). Zij verbinden als het ware infiltratiegebieden waar stroombanen beginnen met kwelgebieden (of grondwateronttrekkingen) waar stroombanen eindigen.

Meer specifiek kan een grondwaterstromingsstelsel aan het oppervlak onderverdeeld worden in (zie figuur 3):

1. kerninfiltratiegebieden, dat zijn gebieden waar (regen) water intrekt in de diepere watervoerende pakketten en de voedingsgebieden vormen voor de grondwaterstromingsstelsels van regionale aard. Deze gebieden zijn ondermeer op basis van geomorfologische karakteristieken te begrenzen. De afwezigheid van een oppervlaktewaterstelsel vormt hierbij een belangrijke factor.
2. de overgangszone tussen kwel- en infiltratiegebieden (intermediaire gebieden). Dit is een zone waarin in het algemeen stelsels van (zeer) lokale, ondiepe grondwaterstroming aanwezig zijn. Men kan hierbij denken aan gedraineerd (agrarisch) gebied.
3. kwelgebieden. Gebieden waar grondwater van regionale oorsprong uittreedt. Voor het begrip kwel wordt een ecologisch relevante definitie gehanteerd: 'Een grondwaterstroming naar het oppervlak toe, die veelal gepaard gaat met een significante beïnvloeding van de chemische en/of fysische waterkwaliteit in de wortelzone (areaal) en/of de watergangen (lineair). Een belangrijke factor wordt gevormd door de herkomst-diepte van het uittredende grondwater. Deze bepaalt in belangrijke mate de voor de ecologie belangrijke samenstelling.

Bij de analyse van het watersysteem worden compartimenten d.m.v. een zogenaamde "telescoop benadering" onderzocht. Hiermee wordt bedoeld dat lokale aandachtsgebieden stapsgewijs vanuit een globale regionale, vervolgens een nauwkeuriger subregionale en tenslotte een gedetailleerde lokale optiek benaderd worden.

Hierbij wordt behalve aan de kwantitatieve aspecten van het watersysteem sterk de aandacht geschonken aan de kwalitatieve aspecten zoals de grond- en oppervlaktekwaliteit, de verspreiding en toestand of toestandsverandering van freatofyten en macro-invertebraten.

De werkwijze wordt globaal weergegeven in figuur 4.

In fase I worden op basis van bestaand materiaal het aquifersysteem en de potentiële kwel- en infiltratie gebieden beschreven. Onderzoek met behulp van de grondwaterkwaliteit en isotopen levert vervolgens informatie over de historische grondwaterstroming (fase II).

In de volgende fase wordt verder uitgezocht hoe de actuele situatie er uit ziet. Belangrijk hierbij is het zoeken naar de verklaring van de veranderingen tussen de historische/natuurlijke toestand en de actuele toestand van het systeem. Hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van grondwaterstromingsmodellen.

In fase IV wordt de dynamiek van het watersysteem uitgewerkt. Hierbij worden ondermeer de relaties tussen grond- en oppervlaktewater en grondwater en freatofyten bestudeerd. Van groot belang hierbij is kennis over het kwelmechanisme en de factoren die zowel de kwantiteit als kwaliteit hiervan beïnvloeden.

Ten slotte kunnen op basis van de vergaarde kennis kaarten met de grondwatersystemen in natuurlijke/historische en actuele toestand gemaakt worden en kunnen deze gebruikt worden om relaties tussen bijvoorbeeld vervuiliingsbron en bedreigd object weer te geven.

Een belangrijk accent binnen de hydrologische systeemanalyse vormt aldus de koppeling van kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van het watersysteem. Hiervoor wordt uitvoerig onderzoek verricht naar de (grond)waterkwaliteit. De resultaten worden met behulp van profielen en kaarten zichtbaar gemaakt.

3. ENKELE VOORBEELDEN VAN DE ONLOSMAKELIJKE KOPPELING TUSSEN DE KWALITATIEVE EN KWANTITATIEVE ASPECTEN VAN HET WATERSYSTEEM.

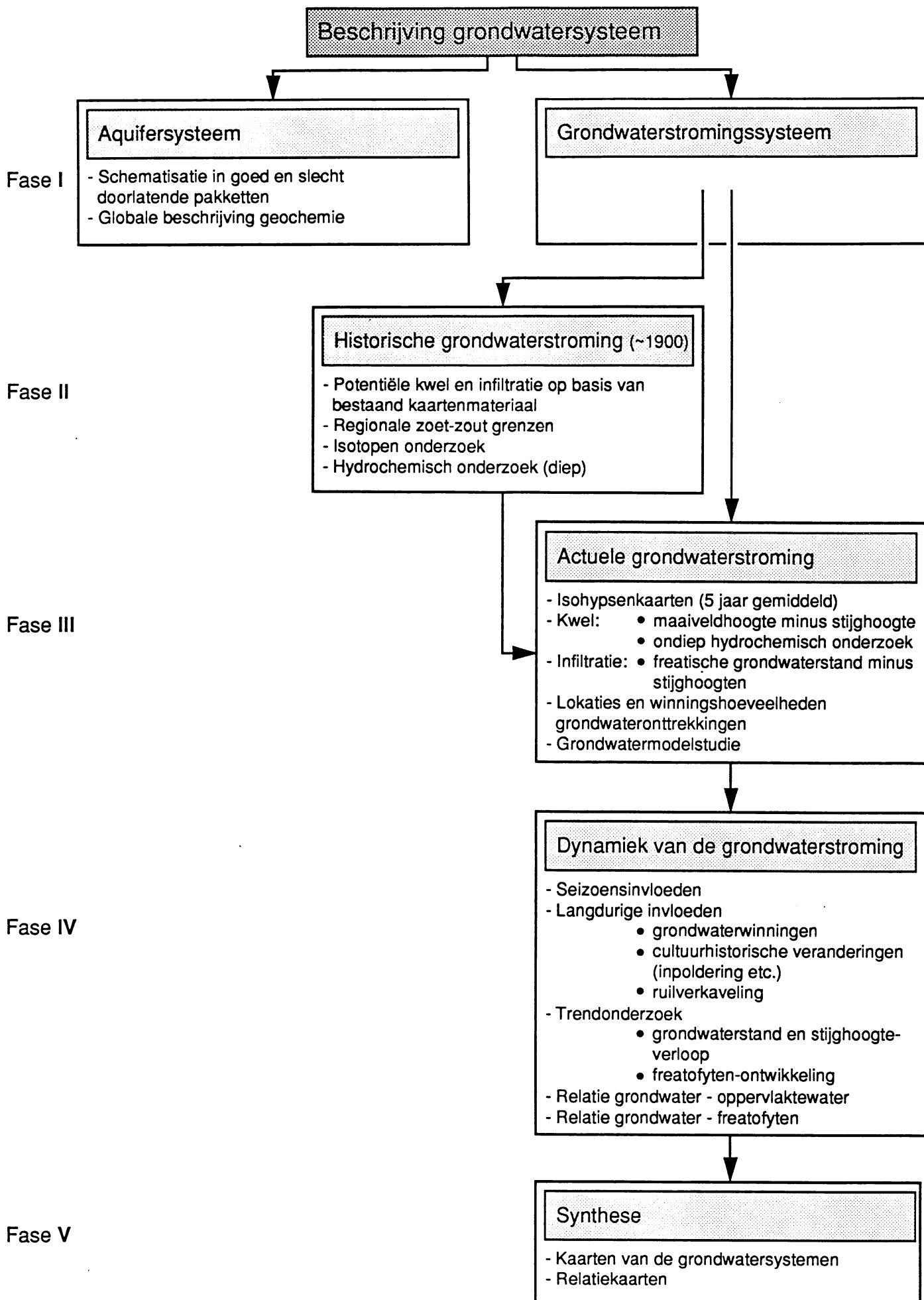
Zoals in de vorige paragraaf is beschreven vormt de volledige integratie van de kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van het watersysteem een belangrijk accent in de hydrologische systeemanalyse.

Dat kwantiteit en kwaliteit onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn tonen de volgende voorbeelden.

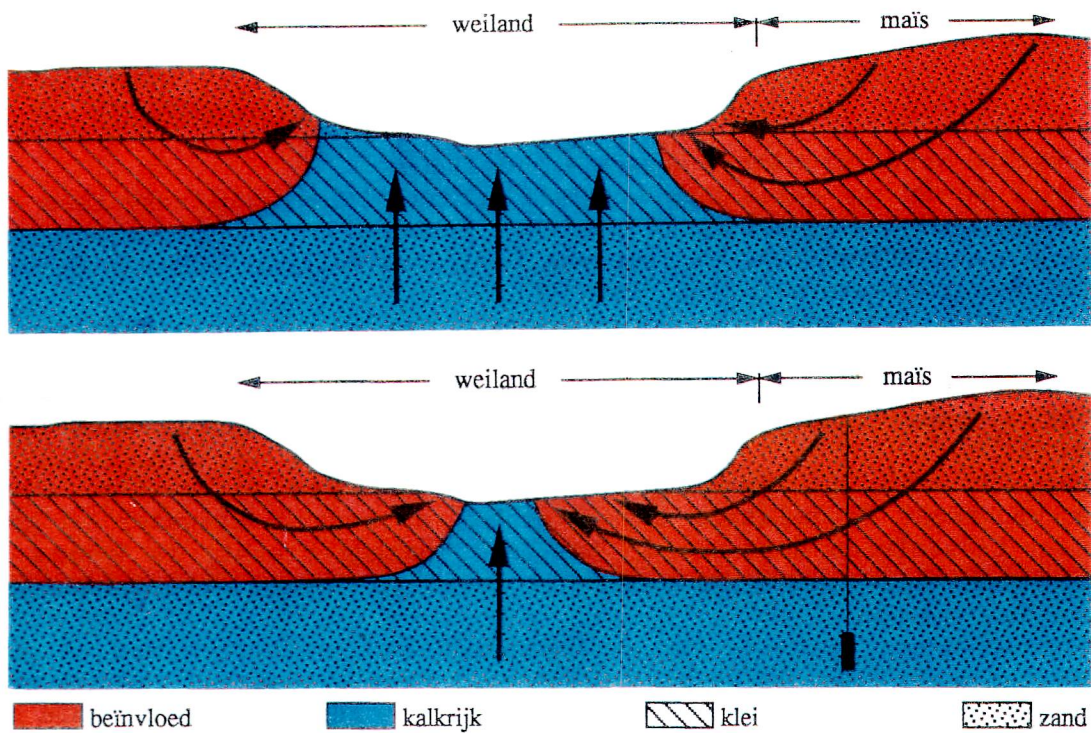
1. **Grondwaterstandsaling;** als gevolg van daling van het grondwaterpeil treden mineralisatieprocessen op waardoor o.a. voedingsstoffen vrijkomen. In klei- en veengebieden kunnen hierdoor tevens als gevolg van pyrietoxidatie zeer hoge sulfaatgehalten in het grondwater ontstaan.

2. **Grondwaterstijghoogtedaling;** verandering van de stijghoogte van het grondwater veroorzaakt wijzigingen in het grondwaterstromingspatroon. Als gevolg hiervan wordt met name de grondwaterkwaliteit in kwelgebieden sterk beïnvloed.

In West-Brabant werd bijvoorbeeld geconstateerd dat, ofschoon er in op ondermeer kaartenmateriaal bepaalde potentiële kwelgebieden ook daadwerkelijk kwel geconstateerd werd, de watersamenstelling, hydrobiologie en freatofyten daar niet mee in overeenstemming waren. Bij nadere bestudering van dit probleem blijkt dat als gevolg van de afname van het stijghoogteverschil onder invloed van diepe grondwaterwinningen, de kwelintensiteit van de diepe component is afgenomen. Hierdoor kan vervuild grondwater uit de directe omgeving in korte tijd (enkele jaren) een kwelgebied binnendringen. Dit gaat dan ten koste van het oorspronkelijk aanwezige kalkrijke grondwater. Op lage plaatsen kan de diepe component nog aanwezig zijn (zie figuur

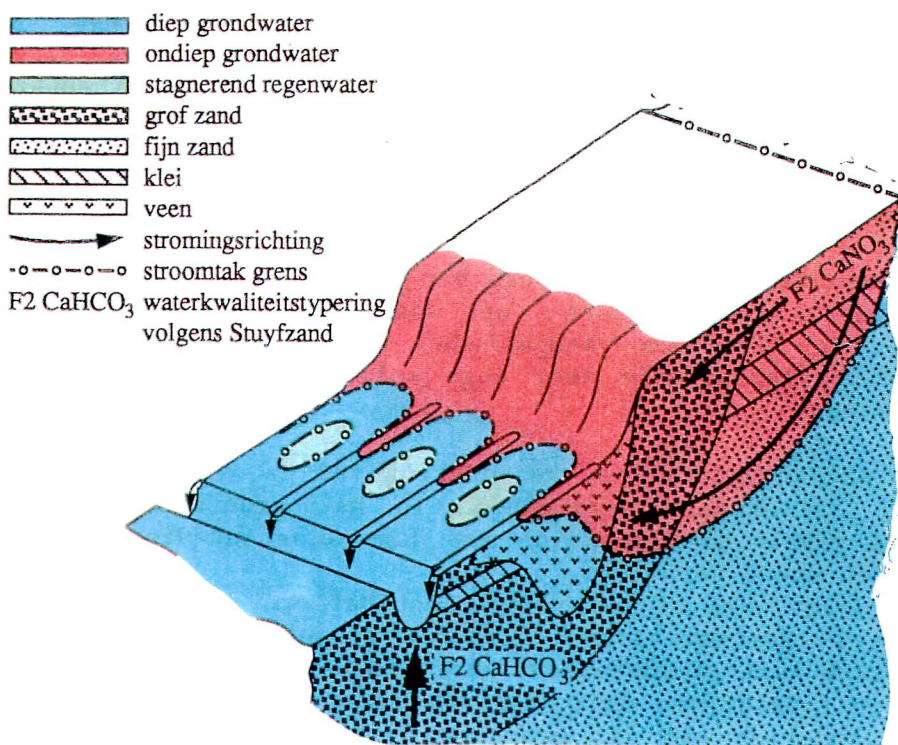


Figuur 4: Werkwijze bij de hydrologische systeemanalyse



Als gevolg van de daling van de diepe grondwaterstijghoogte neemt kwel vanuit de diepe watervoerende pakketten af en kan lokale ondiepe stroming zich uitbreiden. Deze ondiepe stromingscomponent is in het algemeen sterk vervuild.

Figuur 5



In bovenstaande figuur is aangegeven hoe het ondiepe, vervuilde grondwater (roodgekleurd) aan de randen het beekdal binnenkomt en hierbij het diepe, schone grondwater verdringt. In extreme gevallen kan het diepe grondwater zelfs tot de beek worden teruggedrongen.

Figuur 6

5).

Deze zelfde effecten kunnen tevens optreden bij drainagebasisverlaging, bijvoorbeeld bij beekverdieping in het kader van de ruilverkaveling. Ook ondeskundig beheer van het kwelgebied kan resulteren in een kwalitatieve achteruitgang. Als bijvoorbeeld kleinere drainageslootjes in een beekdal niet onderhouden worden zal het vuile grondwater van de randen binnendringen (figuur 6).

3. Opzetten open waterpeil; zulks vanwege zeespiegelrijzing en waterconservering. In beide gevallen wordt het potentiaalveld gewijzigd. Als gevolg hiervan kan de drainerende werking van het oppervlaktewater overgaan naar een infiltrerende waardoor de grondwaterkwaliteit sterk zal veranderen.
4. Wateraanvoer; in de waterbehoefte van een belangrijk gedeelte van de Nederlandse zandgronden wordt voorzien door middel van aanvoer van gebiedsvreemd oppervlaktewater. Dit oppervlaktewater is meestal van Rijn of Maas origine. Dit water voedt deels het grondwater, maar wordt in droge perioden ook in kwelgebieden ingelaten.
5. Berekening; deze leidt tot extra verdamping met als gevolg een extra concentratie van verontreinigende stoffen in het grondwater. Tevens raakt door recirculatie schoon grondwater vervuild.
6. Bebossing of ontbossing; door verandering van het neerslagoverschot en veranderingen in de invang van droge depositie zal de grondwaterkwaliteit veranderen.

Uit deze voorbeelden blijkt, dat bijna alle veranderingen op kwantitatief terrein invloed op de (grond-)waterkwaliteit hebben.

4. DE ACTUELE GROND- EN OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT IN HET LICHT VAN GRONDWATERSTROMINGSSTELSELS.

4.1 INLEIDING

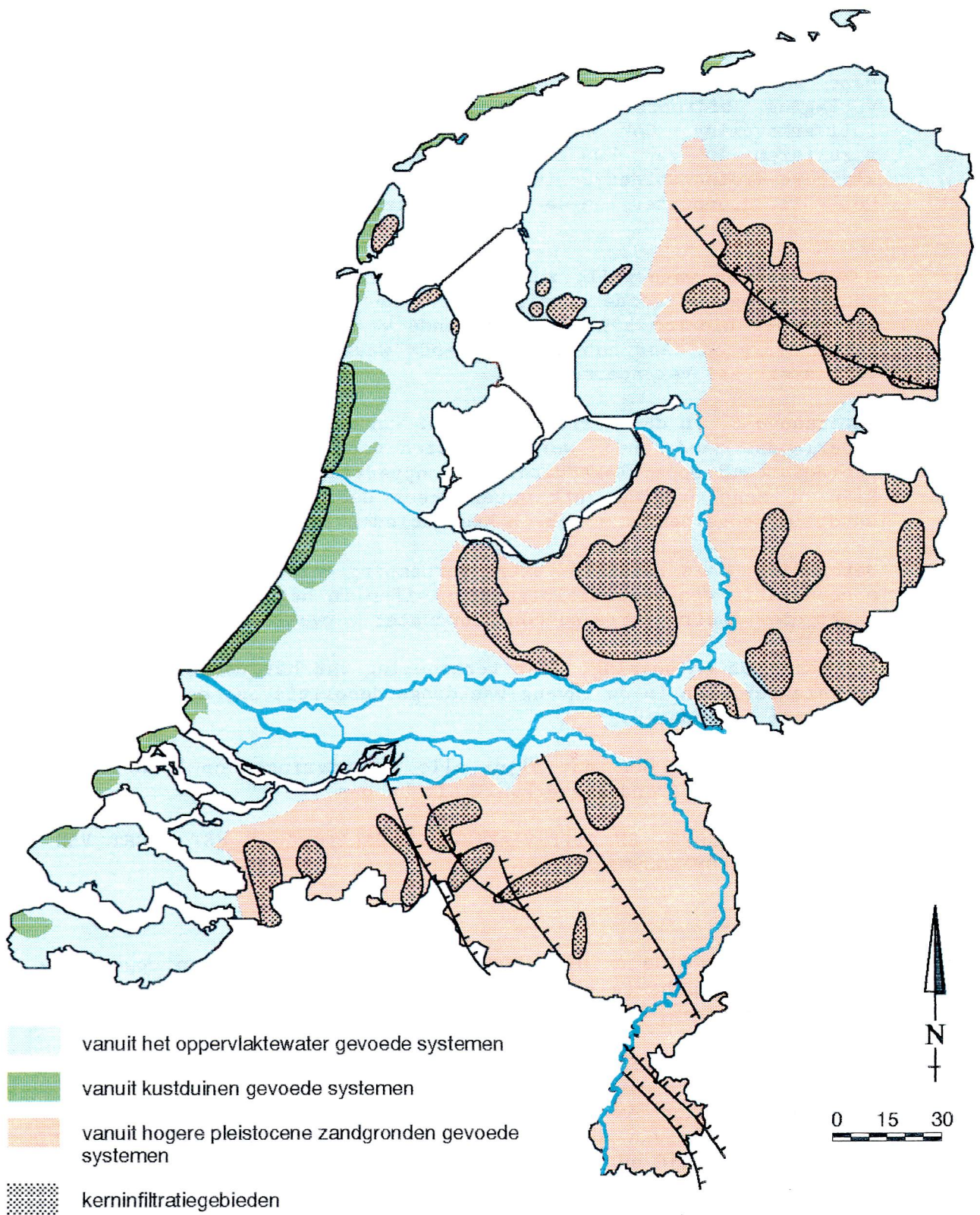
In dit hoofdstuk wordt de huidige kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater geëvalueerd op basis van de bestudering van het grondwatersysteem en de vervuilingbronnen.

4.2 DE GRONDWATERKWALITEIT BEPALENDE FACTOREN

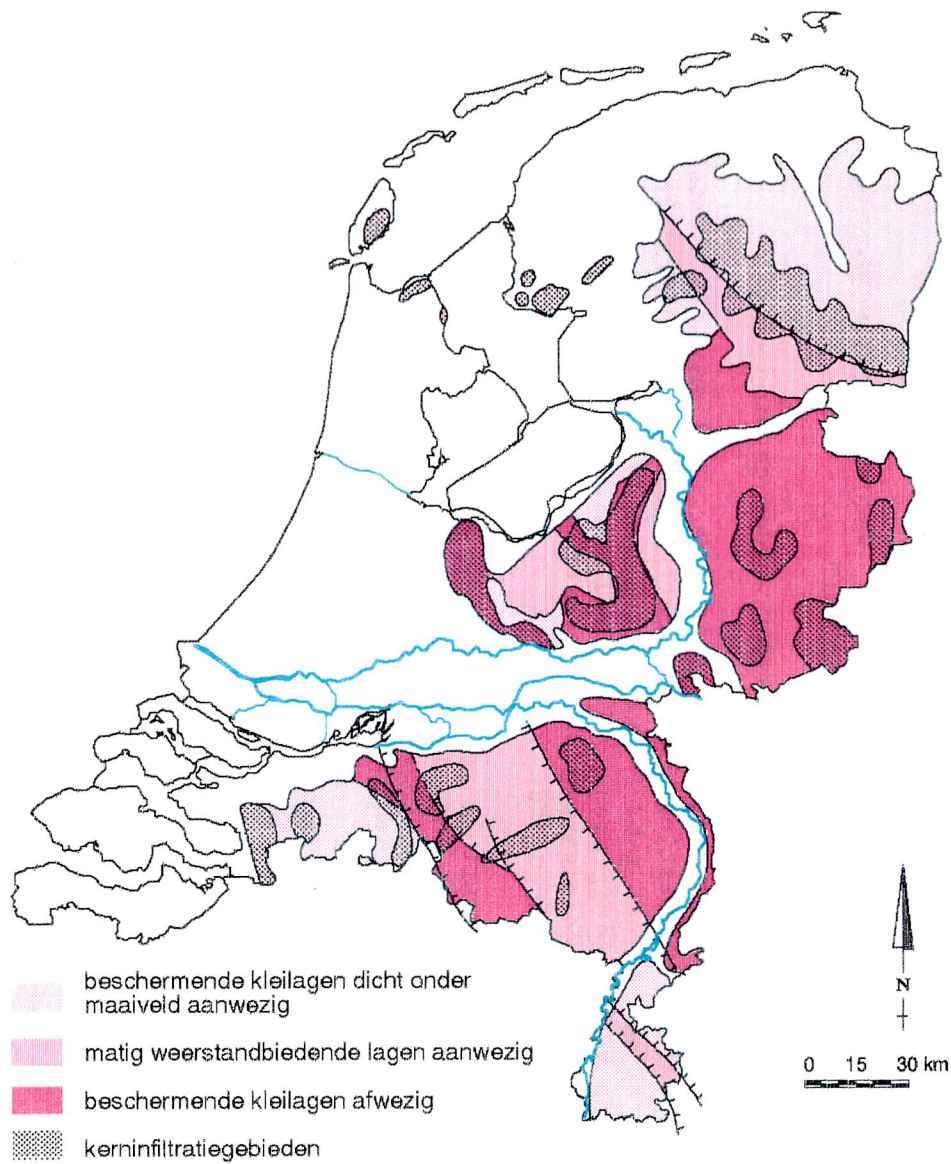
De samenstelling van het grondwater op een bepaalde plaats op een bepaald moment is afhankelijk van invoer, afgelegde weg, formatiesamenstelling (geochemie), verblijftijd en variaties in stroomsnelheid en grondwaterstand en omzettingsprocessen.

De invoer bestaat van nature uit atmosferische depositie (natte en droge), infiltrerend oppervlaktewater, biotische invoer (b v. faeces, natuurlijke afbraak van vegetatie, stikstoffixatie).

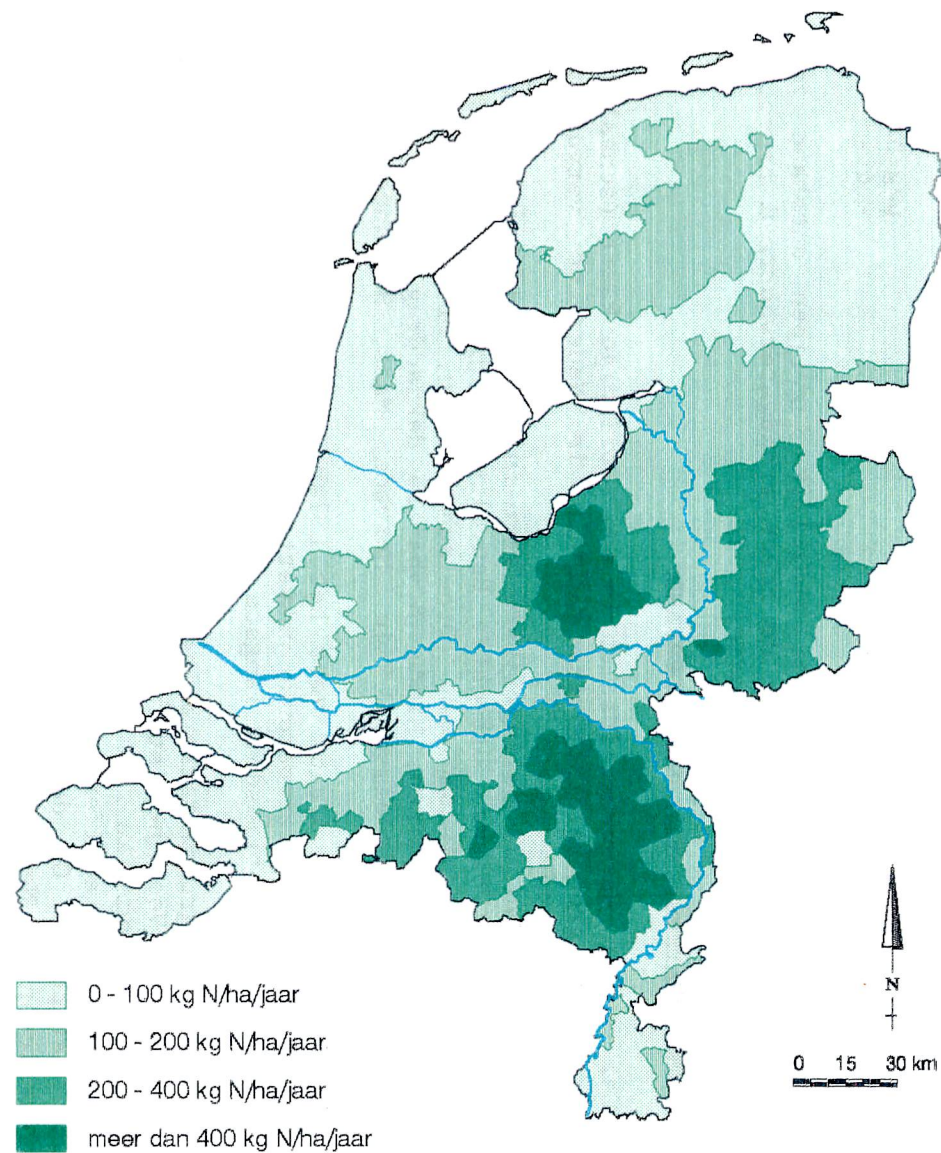
Door menselijk ingrijpen is deze invoer aanzienlijk vergroot en de kwaliteit daarvan sterk verslechterd. De belangrijkste bronnen bestaan nu uit mestgift, bestrijdingsmiddelen, stedelijke vervuiling en allerhande puntverontreinigingen en toename atmosferische depositie.



Figuur 7: Grondwatersystemen in Nederland



Figuur 8: Een vereenvoudiging van de landelijke verbreiding van profieltypen (tot 40 m -m.v.; bron RIVM, 1987) gecombineerd met de belangrijkste kerninfiltratiegebieden



Figuur 9: Stikstofbelasting uit dierlijke mest in (1986), gebaseerd op CBS-gegevens van de RPD in kg N/ha/jaar

Tevens heeft als gevolg van door menselijk ingrijpen ontstane veranderingen connaat (formatie-)water de zoete grondwatervoorraad aangetast (zoutwater-opkegeling, zeewaterintrusie).

4.3 HET GRONDWATERSYSTEEM VAN NEDERLAND

In het kader van het Natuurbeleidsplan is een voorlopige kaart (schaal 1 : 600.000) van de grondwaterstromingsstelsels in Nederland vervaardigd (Engelen e.a., 1989 ; zie figuur 7).

Op deze schaal worden de belangrijkste kern-infiltratiegebieden gevormd door de stuwwallen (Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, Nijmegen, Overijssel), dekzandruggen en stuifduincomplexen (Drentsch Plateau, Drunensche Duinen, Kalmthoutse Heide, kustduinen, Midden-Brabantse dekzandrug etc.) en door het oppervlaktewater (IJsselmeer, Rijn, Merwede, Maas, Hollandsch Diep, Haringvliet, Oude Rijn).

Deze infiltratiegebieden dragen voor het belangrijkste deel bij tot de voeding van de diepere watervoerende pakketten. Zij vormen als het ware de startpunten voor de qua tijdsduur langste transportbanen.

Belangrijk voor de grondwaterstroming is de hydrogeologische gesteldheid van de ondergrond. Voor het stoftransport speelt tevens de geochemische gesteldheid een belangrijke rol.

In figuur 8 wordt het aquifersysteem op landelijke schaal voor de bovenste 40 meters getypeerd. Op deze kaart zijn tevens de belangrijkste infiltratiegebieden van Nederland aangegeven.

Op basis van deze kaart en aanvullend materiaal (DGV-TNO, grondwaterkaarten van Nederland) blijkt dat door het ontbreken van ondiepe weerstandbiedende kleilagen met name de stuwwallen, de IJsselvallei (Salland), de Peelhorst en de Storingszone in Midden-Brabant potentieel zeer kwetsbaar zijn.

4.4 DE RUIMTELIJKE VERSPREIDING VAN VERONTREINIGINGSBRONNEN EN DE GEVOLGEN VOOR DE GRONDWATERKWALITEIT

De vervuilingsbronnen van het grondwater worden gevormd door:

1. diffuse verontreinigingen, hieronder vallen de atmosferische depositie, vermisting door overmatig gebruik van dierlijke mest en kunstmest en het gebruik van bestrijdingsmiddelen
2. lijn verontreinigingen, bijvoorbeeld vervuilde waterbodems
3. punt verontreinigingen, vuilnisbelten, voormalige gasfabrieken, industrieterreinen etc.

Ondermeer uit het Verzuringsonderzoek in Nederland blijkt dat de vervuilde atmosferische depositie een belangrijke rol speelt bij grondwaterverontreiniging. De grondwaterverontreiniging als gevolg van atmosferische depositie uit zich zowel in directe als indirecte zin. Een voorbeeld van indirecte vervuiling is de mobilisatie van aluminium vanuit het sediment als gevolg van de lage zuurgraad.

Om tot een natuurlijke grondwaterkwaliteit te komen moet de huidige zuurdepositie met 80 % (tot 1400 kg/ha/j) gereduceerd worden. Voor stikstof is een reductie nodig van meer dan 90 %.

Met name Zuid-Nederland en in het bijzonder de provincie Noord-Brabant wordt zwaar belast met zure depositie.

De invloed van de atmosferische depositie op de grondwaterkwaliteit manifesteert zich hoofdzakelijk in gebieden met een natuurlijke begroeiing.

Hierdoor heeft o.a. stikstofverzadiging plaatsgevonden waardoor de nitraatconcentraties in het grondwater toenemen. In west-Brabant is geconstateerd dat onder kerninfiltratiegebieden met een natuurlijke begroeiing op 25 m onder maaiveld de pH in enkele jaren tot bijzonder lage waarden (3.8 - 4.0) gedaald is. Als gevolg hiervan zijn de concentraties voor verschillende zware metalen tot boven de (drinkwater)-normen gestegen.

De stikstofbelasting uit dierlijke mest, gebaseerd op CBS-gegevens, wordt weergegeven in figuur 9. Hieruit blijkt, dat de provincies Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant onder grote 'mestdruk' staan.

Combinatie van deze figuur met de kaarten van het grondwaterstromingssysteem en aquifersysteem geeft aan dat men name het diepere grondwater onder de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, de Peelhorst, Salland en Montferland bedreigd wordt. Deze bedreiging wordt nog vergroot door het geringe denitrificerende vermogen van de ondergrond onder de Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, Holterberg en hoge Maasterrassen.

Verwacht kan worden dat het grondwater hier dan ook tot grote diepte beïnvloed of verontreinigd is.

In de praktijk blijken dit ook de landelijke probleemgebieden wat betreft nitraatvervuiling te zijn. Onder de Veluwe bij Koudhorn bijvoorbeeld is reeds nitraat geconstateerd op een diepte van 60 meter. De pompstations in deze gebieden onttrekken veelal reeds vervuild of sterk beïnvloed water.

Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld west-Brabant. In dit gebied wordt het grootste deel van het neerslagoverschot via relatief snelle, ondiepe systemen afgevoerd. Alleen op de plaatsen waar de kerninfiltratiegebieden zwaar belast zijn wordt op grotere diepte beïnvloed grondwater aangetroffen (zie figuur 10). Als gevolg van de passage door ondiepe kleilagen is alleen in uitzonderingsgevallen sprake van een hoog nitraatgehalte.

De belasting van het grondwatersysteem met bestrijdingsmiddelen is gekoppeld aan het gewastype en type bestrijdingsmiddel. Bij de maisteelt wordt o.a. gebruik gemaakt van atrazine. Combinatie van de kaarten met de cultuurgrond met snijmais met de grondwatersystemenkaart, geeft globaal aan hoe atrazine zich in de toekomst zal verspreiden. Figuur 11 toont deze combinatiekaart voor westelijk Noord-Brabant.

Een laatste belangrijke diffuse vervuillingsbron vormen de stedelijke gebieden. De lokatie van een stedelijk gebied t.o.v. het grondwatersysteem of grondwaterstromingsstelsel bepaalt de grootte van de potentieel bedreigde grondwatervoorraad.

Een stedelijk gebied op een kerninfiltratiegebied bedreigt natuurlijk een groter grondwatervolume dan een stedelijk gebied in een kwelgebied.

Tijdens de studie in westelijk Noord-Brabant werd geconstateerd dat de lokatie waar grondwaterverontreiniging het diepst het grondwatersysteem binnengedrongen is, zich onder het stedelijk gebied van Tilburg bevindt (zie figuur 12). Tilburg bevindt zich op een kerninfiltratiegebied terwijl daar tevens grote grondwaterwinningen zijn gesitueerd. Een zelfde situatie doet zich voor bij Oosterhout.

Potentiële verontreinigingsbronnen van het grondwater vormen de vervuilde waterbodems (zie voor verspreiding de derde nota Waterhuishouding). Een belangrijk deel van het nederlandse oppervlaktewater is namelijk infiltratiegebied (zie figuur 7).

Uit de grondwatersystemenkaart van Nederland blijkt dat in principe een groot deel van het grondwater op deze wijze bedreigd wordt. De mate van verontreiniging zal per lokatie echter sterk verschillen. Deze wordt vooral

bepaald door de infiltratie-intensiteit en retardatie. Als gevolg van plaatselijke erosie van 'beschermende' holocene klei- en veenlagen kan bijvoorbeeld kortsluiting met de diepere watervoerende pakketten plaatsvinden. Dit is met name het geval in het Hollandsch Diep en Haringvliet.

Uit figuur 13 dat de grondwaterstromingsstelsels van Noord-Brabant en omgeving (Stuurman e.a., 1990) weergeeft wordt inzicht verkregen in de omvang van het Hollandsch Diep Systeem. Dit systeem wordt bedreigd door zeer sterk vervuilde waterbodems.

Nederland ligt bezaaid met duizenden tot tienduizenden meer of minder verontreinigde puntvervuilingsbronnen. De mate van bedreiging die hiervan uitgaat wordt bepaald door de ligging ten opzichte van het grondwatersysteem en de aard van de verontreiniging (mobiliteit, gevaar voor natuur en milieu). Kennis van het grondwatersysteem c.q. aquifer- en grondwaterstromingsstelsel vormt ook hier een belangrijk uitgangspunt bij het bepalen van de mate van bedreiging voor het grondwater.

In West-Brabant is op basis van deze kennis de kwetsbaarheid van het diepere grondwater voor deze lokale puntverontreinigingen ingeschat (zie figuur 14a, 14b). Hierbij is gesteld dat de watervoerende pakketten onder kwelgebieden ongevoelig zijn voor verontreiniging terwijl kerninfiltratiegebieden daarentegen juist gevoelig zijn.

Mede op basis van deze kaart kan een inschatting gemaakt worden van de meest bedreigende puntbronnen.

4.5 DE GEVOLGEN VOOR DE OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT EN ECOLOGIE

De gevolgen van de grondwatervervuiling voor de kwaliteit van het oppervlaktewater, de grondwaterafhankelijke vegetatie en micro-organismen zijn niet eenduidig aan te geven.

Simpelweg volgen van het 'bron-pad-bedreigd object' concept biedt niet direct een verklaring voor de geconstateerde snelle aftakeling van bijvoorbeeld de grondwaterafhankelijke flora.

Hiervoor is naast kennis over het grondwaterstromingspatroon inzicht in de werking en ondergane veranderingen in het potentiaalveld van het watersysteem noodzakelijk.

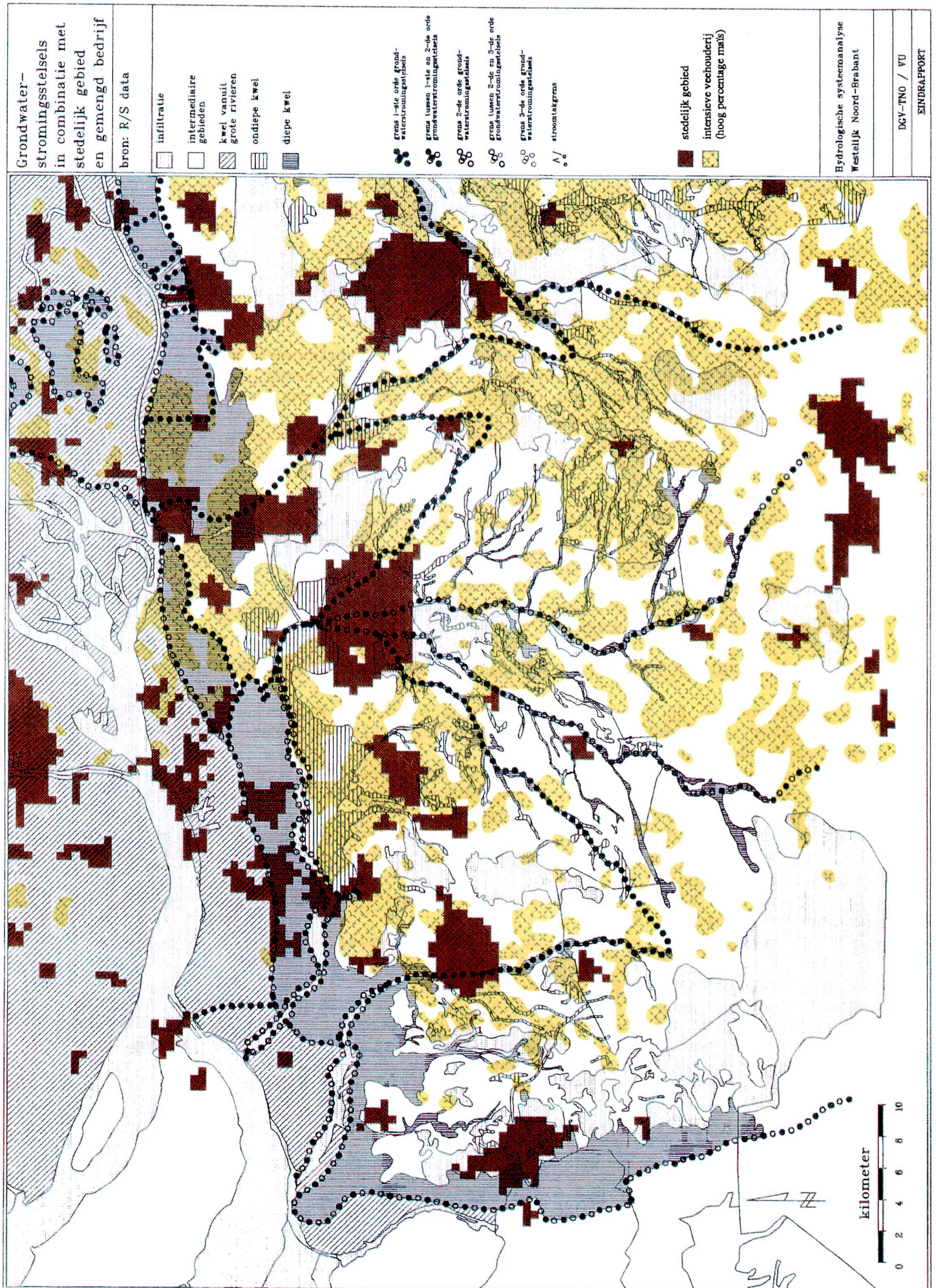
Belangrijk is bijvoorbeeld het verkrijgen van kennis over het kwelmechanisme (zie par. 3).

Uit het onderzoek in westelijk Noord-Brabant (maar ook elders; bijvoorbeeld rond de Utrechtse Heuvelrug) blijkt dat de stromingssituatie als gevolg van de grondwateronttrekkingen sterk gewijzigd is.

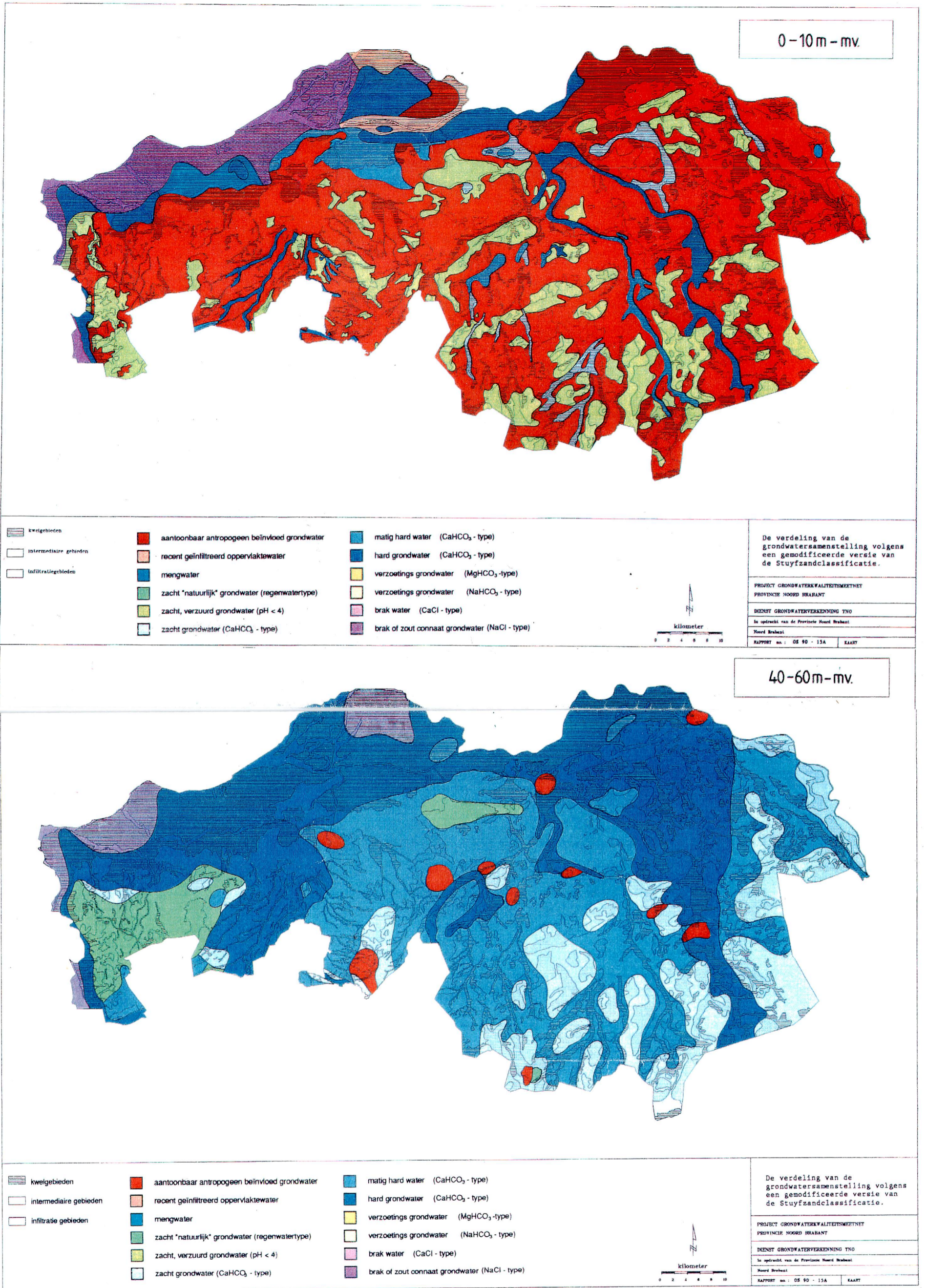
Naast achteruitgang in de intensiteit van de kwel gekoppeld aan een sterke achteruitgang van de waterkwaliteit ter plaatse, heeft ook een overgang plaats gehad van grote delen voormalig kwelgebied naar infiltratiegebied. In figuur 15 wordt dit laatste aspect zichtbaar gemaakt met behulp van het driedimensionale grondwaterstromingsmodel Flosa (DGV-TNO).

5. TE VERWACHTEN TOEKOMSTIGE WATERKWALITEIT

Op basis van talrijke DGV-TNO studies is een beeld verkregen van de kwetsbaarheid van het hydrologische systeem. Met deze kennis kan een voorzichtige inschatting gemaakt worden over de toekomstige waterkwaliteit. Het grootste gedeelte van het oppervlak van Nederland wordt in beslag genomen door ondiepe grondwaterstromingsstelsels. Deze zijn snel (in enkele tientallen jaren) vervuuld, maar kunnen in de toekomst ook weer snel



Figuur 11: In deze kaart zijn de regionale grondwaterstromingsstelsels in westelijk Noord-Brabant gecombineerd met de verspreiding van maïspercelen en stedelijk gebied (bepaald m.b.v. remote sensing). Het percentage oppervlak van het stromingsstelsel dat door maïspercelen ingenomen wordt en de ligging van deze percelen binnen een grondwaterstromingsstelsel geeft een indicatie over deze kwetsbaarheid.



Figuur 10: De verbreiding van grondwaterkwaliteitstypen in de provincie Noord-Brabant. Duidelijk is te zien dat het beïnvloede grondwater alleen zeer plaatselijk tot grotere diepte is doorgedrongen. Ook wordt zichtbaar dat regionaal grote verschillen in de natuurlijke watersamenstelling aanwezig zijn. Deze verschillen hangen ondermeer samen met het grondwaterstromingspatroon en het aquifersysteem. Belangrijk is de geochemische samenstelling van de ondergrond. Dat er in westelijk Noord-Brabant (omgeving Bergen op Zoom, Roosendaal) tot op grote diepte zacht weinig gemineraliseerd grondwater wordt aangetroffen geeft ook de kwetsbaarheid voor verzuring aan.

geregenereerd worden. Een belangrijk probleem hierbij vormt echter de irreversibiliteit van enkele veranderingen. Het uitloggen van de natuurlijke buffercapaciteit van de ondergrond voor verzurende componenten is daar een voorbeeld van.

De kwaliteit van het provinciale oppervlaktewater wordt in belangrijke mate bepaald door die van het ondiepe grondwater. Herstelmaatregelen ten behoeve van de ondiepe grondwaterkwaliteit zullen dan ook op korte termijn (enkele tot tientallen jaren) resulteren in een verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Doordat een aanzienlijk deel van de Nederlandse grondwatervoorraad gevoed wordt vanuit het oppervlaktewater bepalen de kwaliteit van dit oppervlaktewater en de kwaliteit van de waterbodems in belangrijke mate de kwaliteit van deze grondwatervoorraden.

De kwaliteit van het diepe grondwater is onder infiltratiegebieden zonder beschermende afdekkende kleilagen (o.a. Veluwe) het kwetsbaarst voor verontreiniging. Deze verontreiniging bedreigt de drinkwatervoorziening op relatief korte termijn. De meeste freatische winningen kampen nu reeds met problemen op dit gebied. Binnen niet al te lange tijd zullen de verontreinigingen ook de diepere winningen bereiken. Bij een modelstudie rond het pompstation Seppe, dat hydrogeologisch zeer gunstig ligt onder dikke kleipakketten, bleek dat volgens het 'worst-case'-scenario reeds over 50 jaar sporen atrazine verwacht kunnen worden.

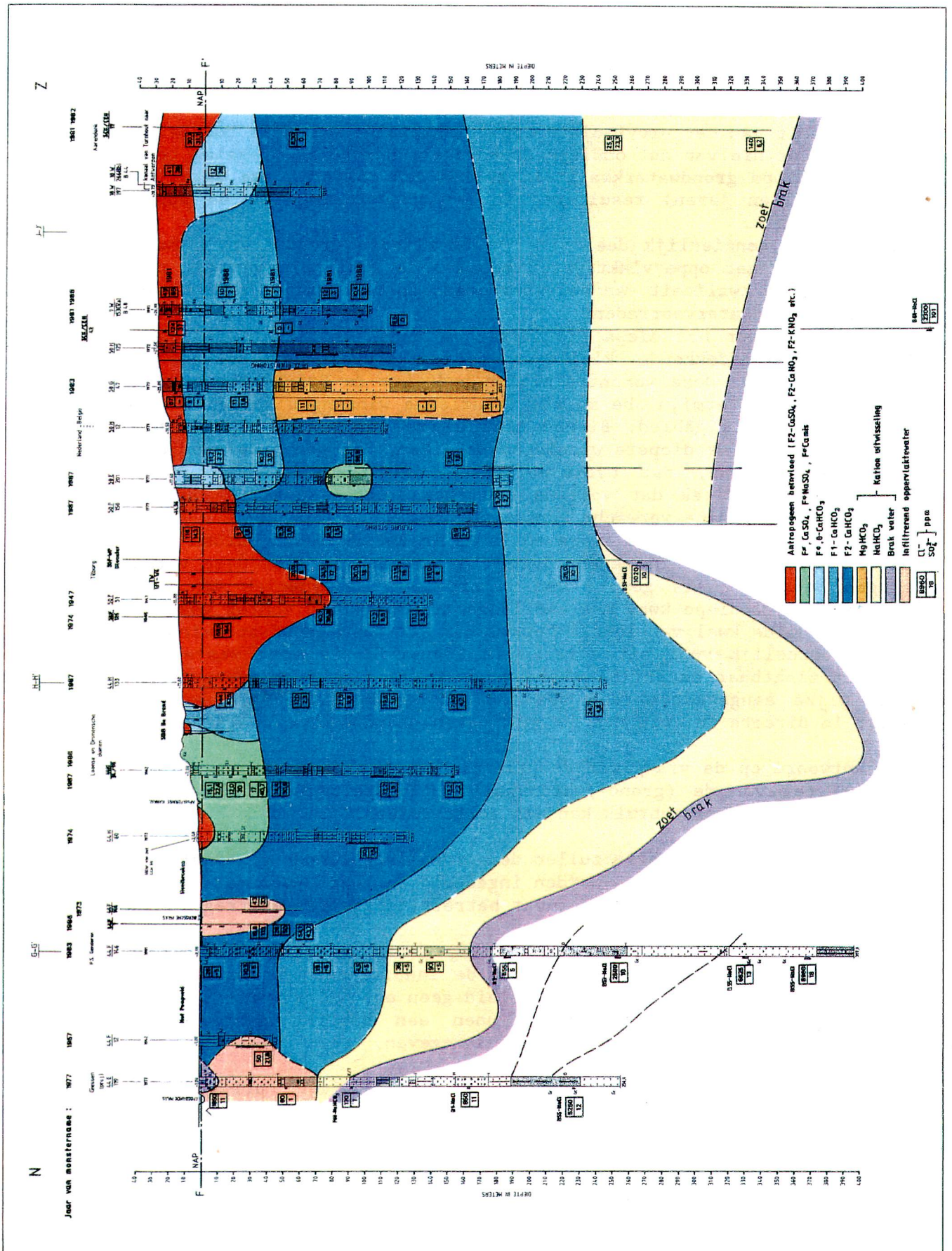
De grondwaterafhankelijke flora en fauna in kwelgebieden worden in principe pas na honderden tot duizenden jaren in directe zin door deze verontreinigingen bedreigd. Als gevolg van wijzigingen in dynamiek van het watersysteem blijkt diepe kwel met een lange transporttijd echter vaak vervangen door vervuilde kwel van lokale herkomst. Met name grondwaterwinningen zijn verantwoordelijk voor dit effect. In figuur 16 is voor westelijk Noord-Brabant zichtbaar dat bijna alle grondwaterafhankelijke natuurterreinen op deze wijze aangetast worden. De toekomstige kwaliteit van het kwelwater staat in directe relatie tot de onttrokken grondwaterhoeveelheden.

Een antwoord op de vraag wat de prioriteitsrangorde dient te zijn voor wat het herstel van de (grond-)waterkwaliteit betreft ter veiligstelling van het toekomstig watergebruik kan als volgt luiden:

- I. In eerste instantie zullen de vervuilingsbronnen gesaneerd dienen te worden. Deze kunnen worden ingedeeld in twee typen met verschillende prioriteitsrangorde voor wat betreft te treffen maatregelen:
 1. Vervuilingsbronnen waarbij de bron diffuus is en voor een belangrijk deel buiten de landsgrenzen is gelegen. Hiervoor kan gebiedsgericht beleid geen oplossing vormen.
 2. Vervuilingsbronnen binnen een beperkt gebied waarvan de grenzen kunnen worden aangegeven.

In de eerste categorie, met absoluut hoogste prioriteit, vallen atmosferische depositie en de kwaliteit van de rijkswateren (Rijn, Maas, Schelde).

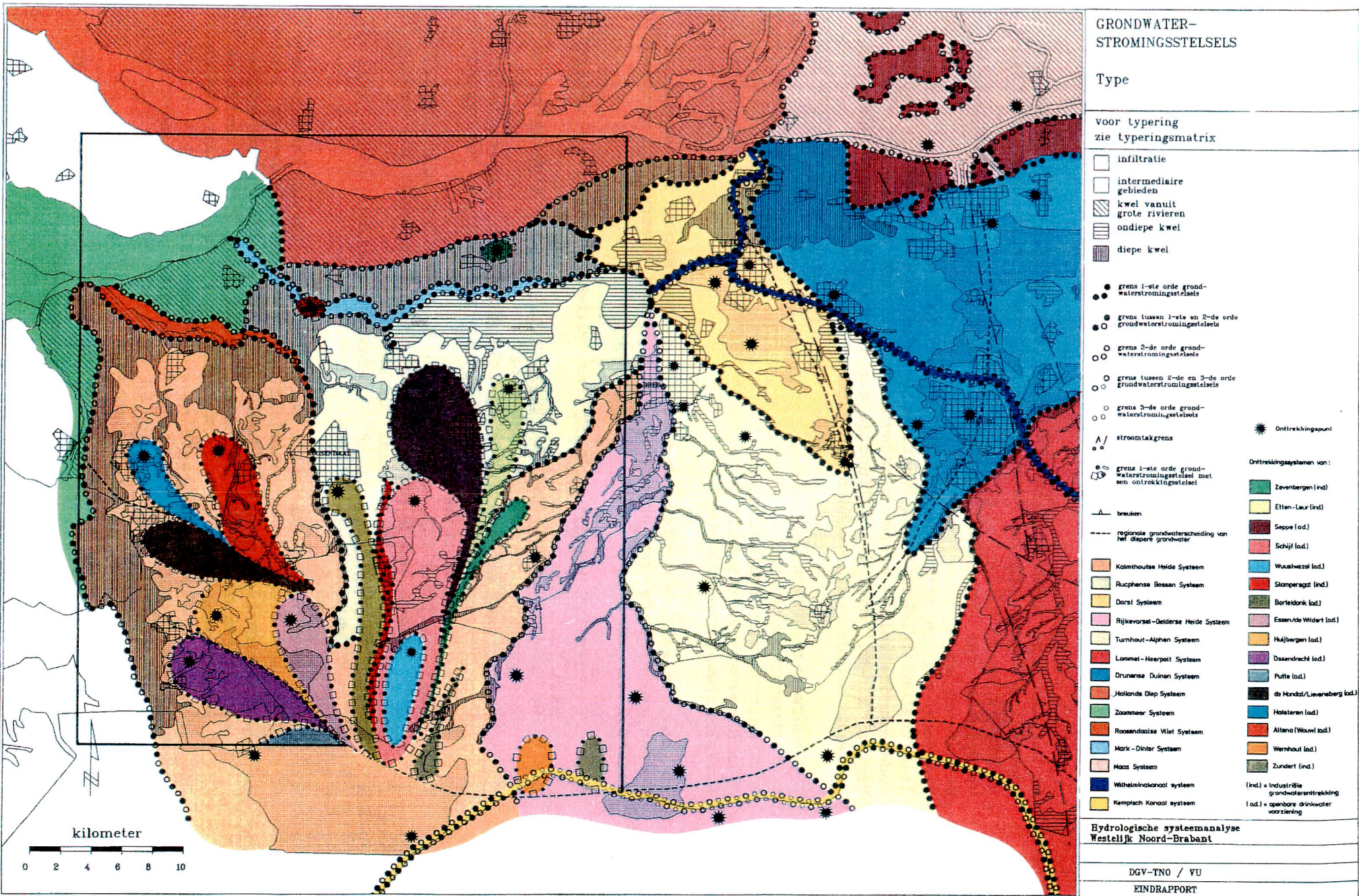
Binnen de tweede categorie kan men door middel van gebiedsgericht beleid tot een prioriteitsrangorde voor sanering komen. Dit zal afhankelijk zijn van de functietoekenning voor een bepaald gebied of object.



Figuur 12: Een zuid-noord profiel vanaf de waterscheiding tussen Maas- en Scheldebekken in België, over de gemeente Tilburg en de Drunense Duinen tot de Oude Maas. In het profiel wordt zichtbaar dat het grondwater onder Tilburg tot relatief grote diepte beïnvloed is.

- II. Op basis van de toestand (kwalitatief/kwantitatief) van het grondwatersysteem (aquifersysteem + stromingssysteem) kan vervolgens een prioriteitsindeling gemaakt worden.
- De hoogste prioriteit vanuit het oogpunt voor grondwaterbeheer heeft het saneren van de vervuilingsbronnen op kerninfiltratiegebieden. Hierbij kan dan analoog aan figuur 14a een differentiatie plaatsvinden op basis van aanwezigheid van beschermende kleilagen en organisch stofgehalte.
- De kerninfiltratiegebieden hebben deze grootste prioriteit omdat het voornaamste deel van het diepere grondwater vanuit deze gebieden afkomstig is.
- Vervolgens zal een sector-gerichte prioriteitsstelling opgesteld moeten worden.
- Hiervoor zal in een eerste fase op verschillende schalen (landelijk/regionaal/lokaal) een functietoekenning voor de bovengrondse en ondergrondse ruimte moeten plaatsvinden. Bij deze toekenning zal het begrip "kansrijkdom" van de functie een sleutelrol moeten spelen. De volgende hoofdfuncties kunnen dan worden onderscheiden:
- * natuurwatervoorziening
 - * drinkwatervoorziening
 - * industriewatervoorziening
 - * landbouwwatervoorziening
 - * recreatiewatervoorziening
- III. In gebieden waar de hoofdfunctie aan de sector natuur is toegewezen kunnen op volgorde van prioriteit de volgende maatregelen genomen worden.
1. Regeneratie waterkwantiteit ter verbetering van de waterkwaliteit.
Op korte termijn kan de kwaliteit van het grondwater in kwelgebieden hersteld worden door:
 - la) herstel kweldruk c.q. stijghoogte in diepere watervoerende pakketten door het terugdringen van grondwateronttrekkingen
 - lb) bijstelling peilbeheer in die gevallen waar de kwel door het drainagesysteem afgevangen wordt als gevolg van een laag kanaal- of beekpeil.
 - lc) wijziging beheer detailontwatering in ruilverkavelingsgebieden.
 2. Wat de sanering van lokale en/of regionale vervuilingsbronnen betreft dient de verontreiniging (onafhankelijk van de aard van verontreiniging) in ondiepe systemen die natuurwaarden bedreigen de hoogste prioriteit te krijgen. Hierbij wordt er vanuitgegaan, dat de verontreiniging van de voedingsgebieden van de grote stromingsstelsels tijdens het transport in de toekomst genivelleerd zal worden. Kennis van de grondwaterstromingsstelsels kan een belangrijke rol spelen bij de lokatiekeuze voor deze projecten.
- IV. Waar de hoofdfunctie aan de sector 'drinkwater' is toegekend dient sanering plaats te hebben binnen het intrekgebied van de grondwater-

Figuur 13: De regionale en supraregionale (half-)natuurlijke grondwaterstromingsstelsels met voor het westelijk deel tevens de grondwaterstromingsstelsels van de grondwateronttrekkingen



Nr. HY-90/245

maart
1990pag.nr.
- 11 -

onttrekkingen, conform de eisen die de drinkwaterbereiding stelt. Daarnaast dient gestreefd te worden naar een zo gunstig mogelijke lokatie binnen het grondwaterstromingssysteem.

In die gevallen waar natuur- of drinkwater bedreigd worden door grootschalige grondwaterverontreiniging als gevolg van stedelijke vervuiling en/of agrarische belasting kan gedacht worden aan 'hydrologische isolatie'.

Hierbij kan met behulp van pompputten en injectieputten het vervuilde grondwater ontkoppeld worden van het 'natuurlijke' stromingssysteem of van een onttrekkingsysteem.

Als gevolg van de zware kwantitatieve aantasting van het grondwatersysteem zal het noodzakelijk zijn voor een steeds groter deel de drinkwatervoorziening gebruik te maken van oppervlaktewater, al dan niet door middel van diepte- of oeverinfiltratieprojecten.

Kwetsbaarheid van het grondwater onder de deklaag voor puntverontreinigingen

bron: RIVM, prov. N-Brabant

- a : Ongevoelig voor puntverontreiniging
- b : —
- c : —
- d : —
- e : —
- f : —
- g : Zeer gevoelig voor puntverontreiniging

opslag (benzine/olie, autowrakken) en chemische wasserijen

gasfabrieken

verf- en metaalindustrie

leerlooierij

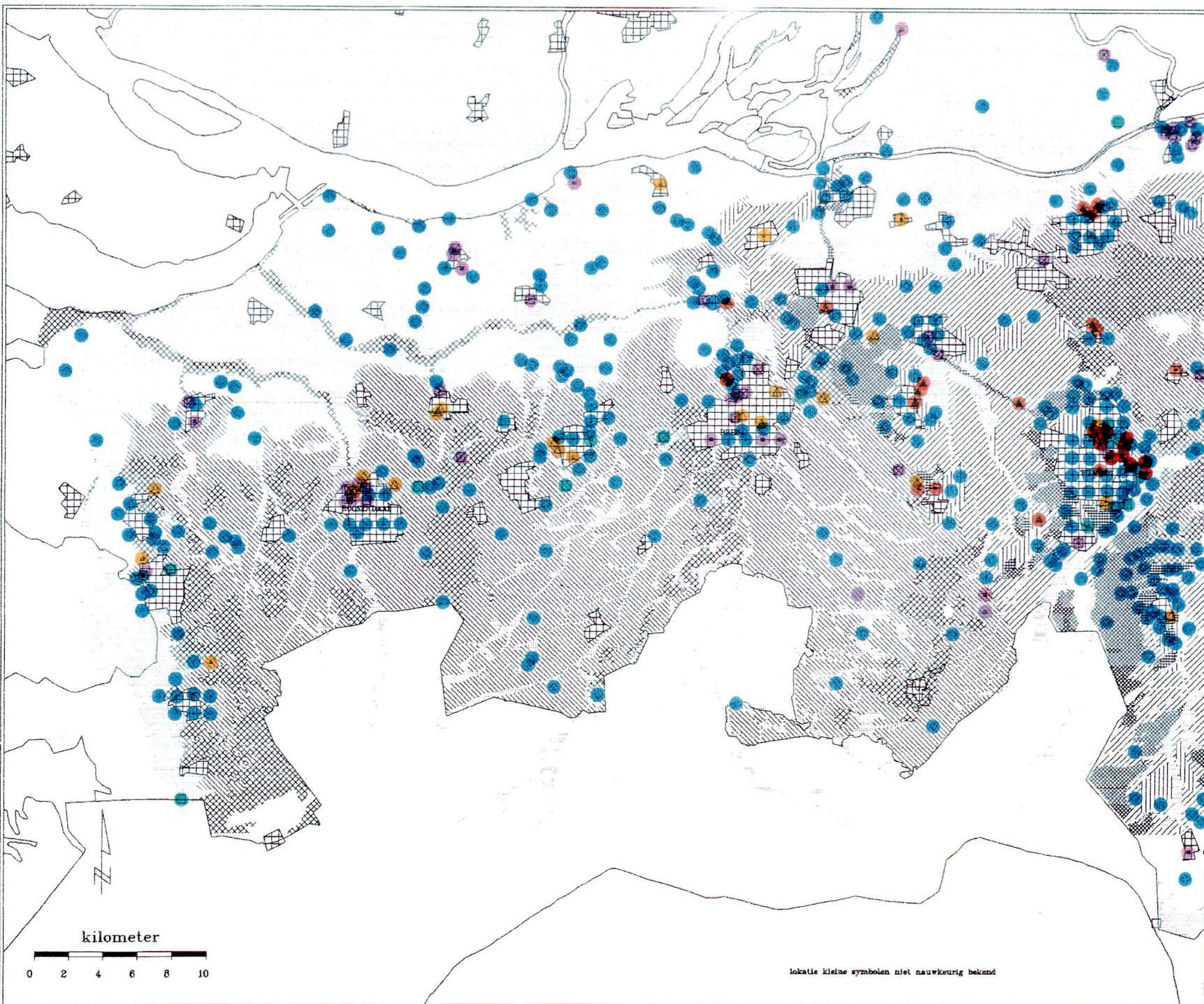
textielindustrie

bedreiging niet bekend
-diverse storten
-chemische industrie
-keramische industrie
-overige

Hydrologische systeemanalyse
Westelijk Noord-Brabant

DGV-TNO / VU

EINDRAPPORT



Figuur 14b: Een kaart met de kwetsbaarheid van het grondwater onder de deklaag voor puntverontreinigingen. De verontreinigingen zijn tevens op basis van toxiciteit geordend (groen relatief lage, rood relatief hoge toxiciteit).

6. CONCLUSIES

Oppervlaktewater en grondwater zijn in sterke mate aan elkaar gekoppeld. Dat geldt ook voor kwantiteit en kwaliteit. Een en ander heeft zijn consequenties zowel voor wat betreft het onderzoek als ten aanzien van te treffen maatregelen ten behoeve van duurzaam gebruik van het grondwater.

De ondiepe grondwaterstromingsstelsels zijn in aanzienlijke mate verontreinigd. Daar deze draineren op open water kan de sanering van het oppervlaktewater in vele gebieden alleen worden bereikt als ook de grondwaterkwaliteit kan worden verbeterd. Gezien de verblijftijden kan dit een proces zijn dat enige decennia vergt, ook als het zou lukken om de verontreiniging op korte termijn sterk te reduceren.

Een bijzonder probleem vormt de irreversibiliteit van sommige processen die zich in de bodem en ondergrond voordoen en waarover onvoldoende kennis beschikbaar is.

De diepe grondwaterstromingsstelsels zijn evenzeer verontreinigd als de ondiepe, zij het dat het grondwater in die stelsels slechts verontreinigd is over een gedeelte van de transportweg en het uittredende water nog de oorspronkelijke kwaliteit heeft.

In de kwelgebieden behorende bij de diepe grondwaterstelsels kan de verslechtering van de kwaliteit van het grondwater als gevolg van menselijke handelen in de laatste decennia in directe zin pas merkbaar worden zo niet na duizenden, dan toch wel na honderden jaren. Als het lukt om de verontreiniging snel (b.v. in een decade) aanzienlijk te reduceren zal de kwaliteit van het uittredende water veel beter zijn dan die van het momenteel instromende water, zulks vanwege optredende diffusie en dispersie in de ondergrond die een afvlakkend effect heeft.

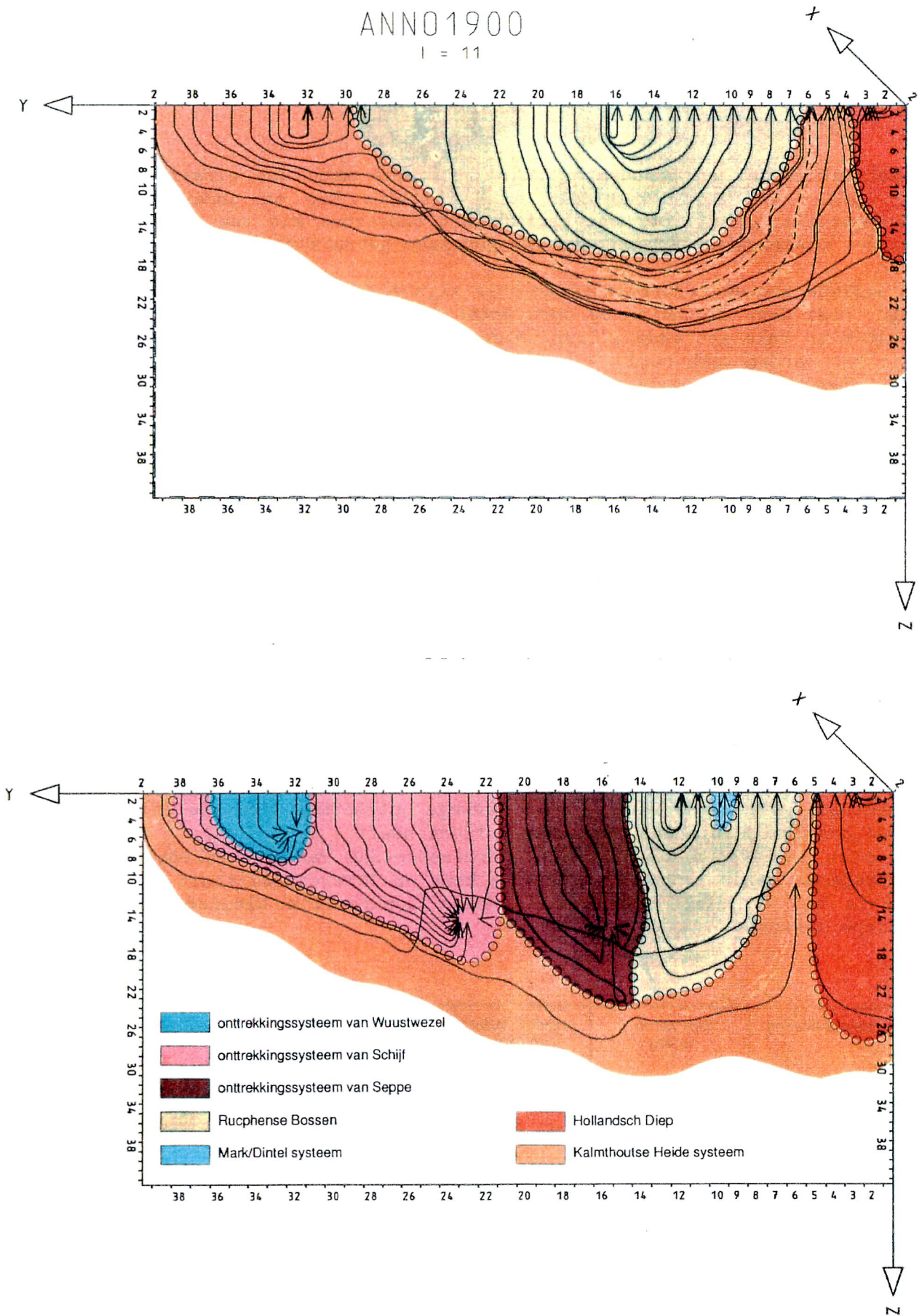
Als niet ingegrepen wordt zal de verslechtering van de kwaliteit van het uittredende water lang aanhouden. De kans op irreversibiliteit van processen is bij de diepe grondwaterstelsels aanzienlijk kleiner dan bij de ondiepe stelsels.

grondwaterstroming	dikte van de deklaag	organisch stofgehalte van de toplaag	gevoeligheidsrangorde voor verontreiniging van het grondwater onder de deklaag
kwel			zeer ongevoelig ①
intermediair	dik		②
	dun	hoog	③
infiltratie	dun	laag	④
	dik		⑤
	dun	hoog	⑥
	dun	laag	zeer gevoelig ⑦

Figuur 14a: Een schema ter bepaling van de relatieve kwetsbaarheid van het diepere grondwater voor lokale puntverontreinigingen van bovenaf

ANNO 1900

I = 11



Figuur 15: De verandering (simulatie met de modelcode FLOSA (DGV-TNO)) in het grondwaterstromingssysteem a.g.v. de grondwateronttrekkingen in westelijk Noord-Brabant. Na de start van deze grondwaterwinningen zijn nieuwe kunstmatige grondwaterstromingsstelsels ontstaan. Deze winningen hebben o.a. als gevolg dat zowel het oppervlak aan kwelgebied als de kwelintensiteit achteruit zijn gegaan.

De grondwaterafhankelijke natuurwaarden in kwelgebieden van diepe grondwaterstromingsstelsels worden echter meestal door een indirect effect aangetast. Als gevolg van veranderingen in het potentiaalveld wordt namelijk op korte termijn de van origine kalkrijke onbeïnvloede kwel van diepe grondwaterstromingsstelsels vervangen door verontreinigd grondwater van lokale herkomst. In de provincie Noord-Brabant ontstaat dit effect door grondwateronttrekking en op grotere diepte.

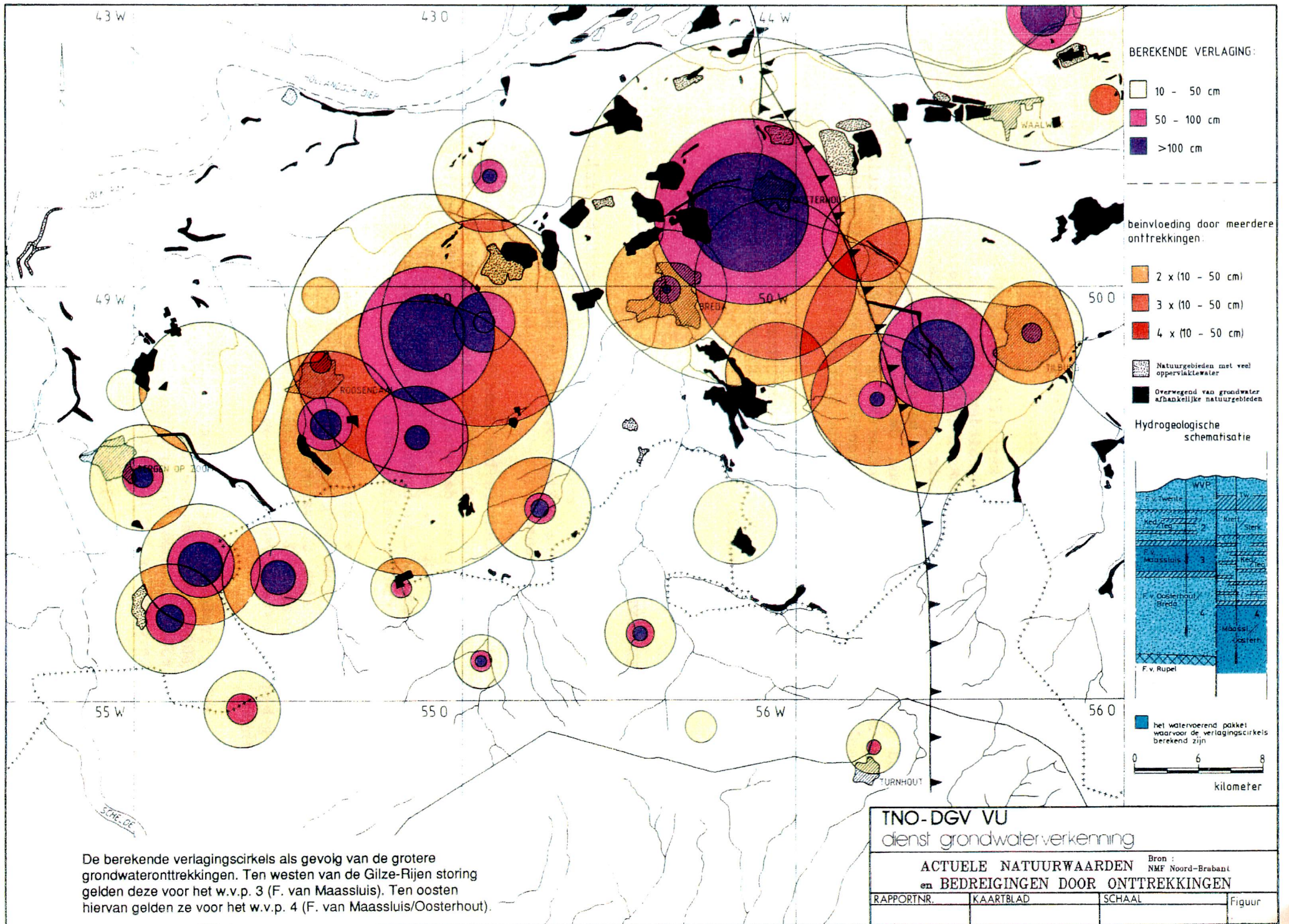
Grondwaterwinningen zijn dikwijls in kerninfiltratiegebieden gelokaliseerd. Verontreinigingen in kerninfiltratiegebieden bereiken dientengevolge deze winningen in plaats van de oorspronkelijke kwelgebieden. Wanneer een grondwaterwinning in het intermediair gebied is gelokaliseerd, zullen verontreinigingen uit gebieden waar van nature ondiepe grondwaterstroming plaatsvond (intermediair gebied), naar de diepte getransporteerd worden. Als gevolg van dergelijke grondwateronttrekkingen raakt dus relatief snel een aanzienlijk groter deel van het grondwatersysteem vervuild dan er bij gelijke belasting maar zonder winningen zou gebeuren.

Kennis van de grondwaterstromingsstelsels geeft inzicht in de kansrijkdom voor de functies natuurwatervoorziening, drinkwatervoorziening, industriewatervoorziening, landbouwatervoorziening en recreatiewatervoorziening en maakt gebiedsgericht beheer mogelijk.

7. KNELPUNTEN EN PUNTEN VOOR VERDER ONDERZOEK

- * Het is onduidelijk in hoeverre de waterkwaliteit zich nog zal kunnen herstellen als gevolg van irreversibele veranderingen. Een voorbeeld is de aantasting van de buffervoorraad in de (ondiepe) ondergrond voor verzurende componenten.
- * Moeilijk valt in te schatten hoe lang het zal duren voordat deze maatregelen leiden tot een zodanig herstel van de abiotische factoren dat deze binnen de ecologische amplitude van kwelvegetaties vallen. De vraag is, of dit überhaupt voor vele gebieden nog mogelijk is. Belangrijk is inzicht te verkrijgen in de hydrogeochemische processen binnen kwelgebieden.
- * Nagegaan zal moeten worden of er tijdelijke maatregelen noodzakelijk zijn om toekomstig herstel van de kwaliteit van het watersysteem nog mogelijk te maken. Te denken valt aan de kunstmatige buffering van vennen (bijv. met kalkrijk grondwater). Als dit niet zou gebeuren bestaat grote kans op onomkeerbaarheid van de veranderingen.
- * Er is weinig inzicht in de verontreiniging van het grondwater onder stedelijk gebied in de hogere delen van Nederland. Deze vormt een bedreiging voor de drinkwatervoorziening doordat vele winningen zich in de directe omgeving van het stedelijk gebied bevinden.
- * Er is beter inzicht noodzakelijk in de relatie van het kwantitatieve grondwaterbeheer met de waterkwaliteit (b.v. effecten berekening op grondwaterkwaliteit, relatie kwaliteit-kwantiteit van kwel).

Figuur 16: Actuele natuurwaarden en bedreigingen door onttrekkingen (bron: NMF Noord-Brabant)



Nr. HY-90/245

maart
1990pag.nr.
- 14 -

- * Nader onderzoek naar de zgn. "winbare hoeveelheid" is essentieel in het kader van verdroging en het herstel van kwelstromen (kwantitatief en kwalitatief).
- * Het ontbreekt aan een landsdekkende en gebiedsgewijs gedifferentieerde feitelijke basisdocumentatie van de hydrologische systemen.
- * De beschikbare methoden om de effecten van maatregelen te registreren, zowel op provinciale en landschappelijke schaal (meetnetten, tijdreeksanalyse) als op de schaal van kleinschalige stromingsstelsels en individuele natuurgebieden, zijn nog ontoereikend.
- * Er is nog onvoldoende kennis van de geochemische samenstelling van de ondergrond. Zo is niet bekend, in welke gebieden van Nederland de (diepere) ondergrond als gevolg van geochemische samenstelling kwetsbaar is voor verzuring.
- * Per gebied zal moeten worden vastgelegd wat de oorzaak van de aantasting van het grondwatersysteem is, bijvoorbeeld als gevolg van verdroging.
- * Vastgesteld zal moeten worden in hoeverre is hydrologische isolatie van stromingsstelsels mogelijk is (casco-concept).

8. LITERATUURVERWIJZINGEN

- Engelen, G.B., J.M.J. Gieske en S.O. Los (1989)
Grondwaterstromingsstelsels in Nederland
Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.
Achtergrondreeks Natuurbeleidsplan nr.2
- Saaltink, M.W. en R.J. Stuurman (1989)
Simulatie van stoftransport in grondwater d.m.v. koppeling van een
geografische informatiesysteem en het grondwaterstromingsmodel
FLOSA.
Uit: Praktische toepassingen van GIS en Remote Sensing voor
grondwateronderzoek en -beheer.
Bijdrage aan de 47e technische bijeenkomst 'waterbeheer en
remote sensing' van de Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO
op 7 november 1989.
DGV-TNO rapport, OS 90-22A
- Stuurman, R.J., J.L. van der Meij, G.B. Engelen, A. Biesheuvel en F.J.
Zadelhoff (1990).
De hydrologische systeemanalyse van westelijk Noord-Brabant en
omgeving.
Eindrapport: Een integraal onderzoek naar de structuur en dynamiek
van watersystemen en de processen die deze bedreigen.
DGV-TNO rapport, OS 89-59A
- Witmer, e.a. (1987)
Watersystemen en integraal milieubeheer
Milieu, 1987/3