

rivm

Rapport 607300010/2009

J. Spijker | R. Lieste | M.C. Zijp | A.C.M. de Nijs

Conceptuele modellen voor de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn

RIVM-rapport 607300010/2009

Conceptuele modellen voor de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn

J. Spijker
R. Lieste
M.C. Zijp
A.C.M. de Nijs

Contact:
Ton de Nijs
Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling
ton.de.nijs@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, in het kader van het Project M/607300: Ondersteuning Grondwaterrichtlijn

© RIVM 2009

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Conceptuele modellen voor de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW), Grondwaterrichtlijn (GWR) en bijbehorende richtsnoeren bevatten geen eenduidige definitie van conceptuele modellen, die nodig zijn om de richtlijnen uit te voeren. Dit blijkt uit onderzoek van het RIVM, waarin het gebruik van conceptuele modellen is geïnventariseerd. Daarnaast blijkt uit het onderzoek dat de gebruikte conceptuele modellen niet goed zijn ontsloten. Daarom wordt aanbevolen om de afzonderlijke conceptuele modellen te verzamelen en samen te voegen tot één kennisbron. Onderzoekers uit verschillende disciplines kunnen daaruit putten en er hun conceptuele modellen op baseren. Een enkele kennisbron helpt ook bij het onderling afstemmen en archiveren van de verschillende conceptuele modellen. De kennisbron moet ook beschikbaar zijn voor beleidsmakers.

In het onderzoek wordt de volgende onderverdeling van conceptuele modellen voorgesteld: fundamenteel wetenschappelijke modellen, geohydrologische conceptuele modellen en conceptuele modellen gericht op communicatie tussen de verschillende disciplines in wetenschap en beleid. Uit de inventarisatie van conceptuele modellen die in Nederland worden gebruikt voor grondwatervraagstukken bleek, dat ze voornamelijk zijn gericht op de genoemde interdisciplinaire communicatie. De in de richtsnoeren genoemde modellen laten een evenredige verdeling zien tussen geohydrologische en interdisciplinaire conceptuele modellen.

Een conceptueel model is een versimpelde weergave van de werkelijkheid, in dit geval van het (grond)watersysteem. Het bestaat meestal uit een kaartje, een schematische doorsnede van de ondergrond, een indicatie van de relevante processen en een toelichtend verhaal van het (grond)watersysteem.

In Nederland is voor de uitvoering van de KRW een draaiboek monitoring opgesteld waarin een monitoringcyclus wordt beschreven. Binnen deze cyclus is op diverse momenten een conceptueel model nodig. Momenteel kunnen op de diverse momenten in de monitoringcyclus verschillende conceptuele modellen worden gebruikt. De kennisbron moet bijdragen aan de consistentie van de conceptuele modellen in deze monitoringcyclus.

Trefwoorden:

conceptuele modellen, grondwateronderzoek, Dochterrichtlijn Grondwater, Kaderrichtlijn Water

Abstract

Conceptual models for the Water Framework Directive and Groundwater Directive

There is no single definition of conceptual models in the Water Framework Directive, Groundwater Directive or guidance documents, which are needed to execute the directives. This is shown in a study of the National Institute for Public Health and the Environment in which an inventory was made of the usage of conceptual models. The study also shows the poor availability of existing conceptual models. Therefore, this study recommends to gather conceptual models and compile them into one source of knowledge. Research scientists of several disciplines can use this source of knowledge to base their conceptual models on. A single source of knowledge also facilitates the mutual consistency and archiving of the particular conceptual models. This source of knowledge should also be available for policy makers.

In this study the following subdivision of conceptual models is proposed: fundamental scientific models, geohydrologic models and models aimed at the interdisciplinary communication between science and policy. From this inventory it is shown that the conceptual models which are used in the Netherlands are in general aimed towards interdisciplinary communication. The conceptual models mentioned in the guidance documents are equally distributed between geohydrologic and interdisciplinary conceptual models.

A conceptual model is a simplified representation of a groundwater system. A characteristic of a conceptual model is that it contains a map, a schematic profile of the subsurface, an indication of relevant processes and an explanatory text.

In the Netherlands a ‘draaiboek monitoring’ (guidance monitoring) is drafted which describes a cyclic monitoring sequence. On several occasions in this sequence a conceptual model is needed, but in the current situation these conceptual models can differ between these steps of the monitoring sequence. The source of knowledge should contribute to the consistency of the conceptual models in the monitoring sequence.

Key words:

conceptual models, groundwater research, Groundwater Daughter Directive, Water Framework Directive

Inhoud

Samenvatting		9
1	Inleiding	11
1.1	Leeswijzer	12
2	Conceptuele modellen en de Kaderrichtlijn Water	13
2.1	Inleiding	13
2.2	Samenvatting en conclusies uit de EU-richtsnoeren	14
2.2.1	Overzicht relevante richtsnoeren voor grondwater	14
2.2.2	Definitie conceptueel model in EU-richtsnoeren	14
2.3	Conceptuele modellen ontwikkelen en gebruiken	15
2.4	Informatie over conceptuele modellen per richtsnoer	16
2.4.1	Richtsnoer over Pressures en Impacts (no. 3)	17
2.4.2	Richtsnoer over Monitoring (no. 7)	17
2.4.3	Richtsnoer over Groundwater Monitoring (no. 15)	19
2.4.4	Richtsnoer over Prevent and Limit (no 17)	21
2.4.5	Richtsnoer over toestandsbeoordeling (<i>Status and Trend Assessment</i>)	21
3	Definities van conceptuele modellen	23
3.1	Algemeen	23
3.2	Het conceptuele model, fundamentele benadering	23
3.3	Het conceptuele model, geohydrologische benadering	25
3.4	Het conceptuele model als instrument voor kennisuitwisseling tussen disciplines	28
3.5	Hoe wordt het begrip conceptueel model in de richtsnoeren gebruikt?	29
3.6	Samenvatting	30
4	Voorbeelden van conceptuele modellen	31
4.1	De beantwoording van de ‘waterbalansvraag’	31
4.2	Grootschalige grondwatervervuiling nabij Apeldoorn	31
4.3	De zoet-zoutgrens in Nederland	33
4.4	Invloed van grondwater op oppervlaktewater	35
4.5	Invloed van grondwater op een terrestrisch ecosysteem	37
4.6	Het gebiedsdossier oeverinfiltratie Bergambacht	39
4.7	Conclusies	41
5	Bouwstenen voor conceptuele modellen	43
5.1	Pressures and Impacts	43
5.2	Monitoring	43
5.3	Preventing and Limiting	44
5.4	Status and Trend Assessment	44
5.4.1	Zoet-zoutgrens	44
5.4.2	Aquatische ecosystemen	44
5.4.3	Terrestrische ecosystemen	44
5.4.4	Drinkwater	45
5.5	Conclusies	45

6	Conclusies en aanbevelingen	47
6.1	Conclusies	47
6.2	Aanbevelingen	47
Literatuur		51
Bijlage 1	Nationaal Hydrologisch Instrument	55

Samenvatting

In de nieuwe Grondwaterrichtlijn (GWR, richtlijn 2006/118/EC) en verschillende Europese richtsnoeren ('guidance documents') staat dat bij het uitvoeren van de Kaderrichtlijn Water (richtlijn 2000/60/EC) gebruik zou moeten worden gemaakt van conceptuele modellen.

Om hier in Nederland aan de vraag voor conceptuele modellen te kunnen voldoen vroeg het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) aan het RIVM om te inventariseren wat we onder conceptuele modellen moeten verstaan en welke conceptuele modellen in Nederland beschikbaar zijn.

De definities van conceptuele modellen in de Grondwaterrichtlijn komen inhoudelijk min of meer met elkaar overeen maar lijken niet afgeleid van één basisdefinitie. Hoewel een conceptueel model in de richtsnoeren in kwalitatieve termen een probleemgebied kan beschrijven, worden deze kwalitatieve termen ook kwantitief ingevuld. Soms lijkt er zelfs sprake te zijn van een operationeel/mathematisch model. Uit de richtsnoeren blijkt verder dat een conceptueel model hoort bij de karakterisering van een grondwaterlichaam, maar dat de moeilijkheidsgraad of complexiteit van het model kan variëren, afhankelijk van de situatie.

Conceptuele modellen kunnen worden onderverdeeld in (zuiver) wetenschappelijk/abstracte modellen, geohydrologische conceptuele modellen en conceptuele modellen gericht op communicatie tussen de verschillende disciplines in wetenschap en beleid. De aard van de geïnventariseerde conceptuele modellen laat zien dat deze voornamelijk zijn gericht op genoemde interdisciplinaire communicatie. De in de richtsnoeren genoemde modellen zijn ongeveer in gelijke mate op te delen in geohydrologische en interdisciplinaire conceptuele modellen.

Dit rapport geeft enkele voorbeelden van deze modellen zoals die in de verschillende richtsnoeren kunnen worden toegepast. Hiermee is een overzicht ontstaan van de wijze waarop de verschillende definities van conceptuele modellen uit de richtsnoeren ingevuld kunnen worden. Uit deze inventarisatie bleek dat alle modellen een aantal elementen met elkaar gemeen hadden, ondanks de grote verschillen in toepassingen. Kenmerk van een conceptueel model is dat het een kaartje bevat, een doorsnede van de ondergrond en een indicatie van relevante processen. Deze kenmerken worden meestal samen in één plaatje weergegeven. Naast de grafische weergave van het model is er een toelichtend verhaal. De geïnventariseerde modellen blijven redelijk op beschrijvend (kwalitatief) niveau. Hoewel in sommige studies uit de inventarisatie operationele en mathematische / hydrologische modellen beschikbaar zijn, zijn zij niet noodzakelijk voor het begrip van het conceptuele model.

Bij de uitvoering van de KRW, waarbij gebruik wordt gemaakt van de richtsnoeren of het Draaiboek monitoring grondwater (VROM, 2006), is op diverse momenten een conceptueel model nodig. Bij de uitvoering is geen mechanisme of procedure opgenomen, wat er voor zorgt dat de conceptuele modellen zijn gebaseerd op dezelfde kennisbron. Vanzelfsprekend zullen de afzonderlijke modellen zijn (of worden) afgeleid op basis van dezelfde gebiedskennis maar door het mogelijk ontbreken van een gezamenlijke bron voor deze kennis is consistentie en efficiëntie niet gegarandeerd. Het wordt dan ook sterk aanbevolen om de afzonderlijke conceptuele modellen binnen een gebied te verzamelen en samen te voegen tot één kennisbasis die beschikbaar is voor zowel beleidsmakers als onderzoekers. Deze kennisbasis functioneert dan als centrale kennisbron voor het opstellen van conceptuele modellen en zou kunnen bestaan uit een overzicht of databank met relevante bronnen (rapportages, publicaties) en eerder afgeleide conceptuele modellen. Met deze kennisbasis is het mogelijk om de conceptuele modellen voor de verschillende stappen in de monitoringscyclus en gerelateerde richtsnoeren met elkaar af te stemmen. Voor een vervolgstudie zal het ontwikkelen en beschikbaar maken van deze kennisbasis het hoofddoel moeten zijn.

1 Inleiding

In de nieuwe Grondwaterrichtlijn (GWR, richtlijn 2006/118/EC) en verschillende Europese richtsnoeren, of guidance documents¹, staat dat bij het uitvoeren van de Kaderrichtlijn Water (KRW, richtlijn 2000/60/EC) is bepaald dat conceptuele modellen nodig zijn voor diverse doeleinden, zoals monitoringstrategie en beoordeling van de toestand van een grondwaterlichaam. De GWR stelt het gebruik van conceptuele modellen verplicht bij de beoordeling van de goede chemische toestand. Vanuit de diverse richtsnoeren van de KRW moeten ook conceptuele modellen worden opgesteld. Hoewel de richtsnoeren geen directe verplichting inhouden, wordt toch aangeraden om deze richtsnoeren op te volgen. Daarnaast wordt algemeen verondersteld dat conceptuele modellen kunnen bijdragen aan een goede communicatie tussen belanghebbenden. Echter van het begrip ‘conceptueel model’ is geen duidelijke omschrijving beschikbaar. Hierdoor is het lastig om een goed overzicht te krijgen of en wanneer conceptuele modellen zijn gebruikt bij de uitvoering van de GWR en de diverse richtsnoeren.

Door het belang van conceptuele modellen, vastgelegd in de GWR en richtsnoeren, en de rol die deze modellen spelen in de onderlinge communicatie tussen belanghebbenden, is het wenselijk dat inzichtelijk wordt gemaakt welke conceptuele modellen zijn gebruikt bij de uitvoering van de taken uit de GWR. Bijvoorbeeld de conceptuele modellen die zijn gebruikt bij het opstellen van de stroomgebiedsbeheersplannen en de grondwaterlichamen.

Het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) heeft aan het RIVM gevraagd om te inventariseren welke conceptuele modellen in Nederland beschikbaar zijn en wat de mogelijke behoefte is aan (nieuwe) conceptuele modellen. Impliciet betekenen deze vragen ook dat inzichtelijk moet worden wat onder conceptuele modellen moet worden verstaan.

Binnen verschillende wetenschappelijke en beleidsmatige disciplines wordt regelmatig gebruikgemaakt van conceptuele modellen. Echter binnen iedere discipline wordt weer een eigen benadering gevolgd. In de aanloop van dit project constateerden de auteurs dat de verschillende inzichten rond conceptuele modellen snel tot spraakverwarring en onduidelijkheden leidden.

Daarom is als doel voor deze rapportage gekozen om eerst inzichtelijk te maken hoe de conceptuele modellen zijn gedefinieerd in de GWR en de richtsnoeren. Daarnaast is onderzocht hoe conceptuele modellen zijn gedefinieerd in de (wetenschappelijke) literatuur. Door de definities van de conceptuele modellen uit de richtsnoeren te vergelijken met de meer fundamentele (wetenschappelijke) definities, ontstaat inzicht in de opbouw van de elementen waaruit een conceptueel model binnen de uitvoering van de KRW moet bestaan.

Vervolgens is onderzocht welke bouwstenen conceptuele modellen bevatten die op dit moment gebruikt worden binnen de Nederlandse praktijk. Er wordt een selectie gemaakt uit enkele in Nederland beschikbare conceptuele modellen. Uit deze selectie zal duidelijk worden welke typen conceptuele modellen in Nederland bestaan en hoe zij gebruikt worden.

De vraag of er behoefte is aan nieuwe conceptuele modellen, of nieuwe informatie om bestaande conceptuele modellen aan te vullen, wordt in dit onderzoek nog niet beantwoord. Hiervoor is uitgebreide inventarisatie nodig van bestaande conceptuele modellen en deze modellen moeten worden beoordeeld enerzijds naar de wijze waarop de modellen zijn gedefinieerd en anderzijds op hun toepasbaarheid voor de uitvoering van de KRW en richtsnoeren.

¹ richtsnoeren ter ondersteuning van lidstaten bij de implementatie van de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn

1.1 Leeswijzer

De eerste twee hoofdstukken (hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3) bespreken respectievelijk de conceptuele modellen zoals genoemd in de KRW, GWR en richtsnoeren en de conceptuele modellen zoals weergegeven in de wetenschappelijke literatuur. In hoofdstuk 4 is een aantal voorbeelden gegeven van conceptuele modellen, richtlijnen en richtsnoeren en de conceptuele modellen zoals weergegeven in de wetenschappelijke literatuur. In hoofdstuk 4 is ook een aantal voorbeelden gegeven van conceptuele modellen zoals zij nu in Nederland worden gebruikt. Deze modellen zijn overgenomen uit bestaande rapportages van diverse organisaties en instituten. Hoofdstuk 5 gaat nog nader in op de bouwstenen van de modellen voor de uitvoer van de KRW en GWR en op de vraag waar modellen ontbreken of aangevuld moeten worden.

2 Conceptuele modellen en de Kaderrichtlijn Water

2.1 Inleiding

In de KRW wordt het gebruik van conceptuele modellen niet genoemd. De GWR stelt voor om conceptuele modellen te gebruiken bij het uitvoeren van ‘artikel 4.2c passend onderzoek’ (Bijlage III lid 3 en 4, GWR). De meest verplichtende tekst staat in Bijlage III.4 en is opgenomen in Tekstbox 1.

Tekstbox 1: Het gebruik van conceptuele modellen in de GWR.

GWR, Bijlage III.4 (onderstreping aangebracht door de auteurs)

Teneinde na te gaan of is voldaan aan de voorwaarden voor een goede chemische toestand van grondwater als bedoeld in artikel 4, lid 2, onder c), punten ii) en iii), beoordelen de lidstaten, waar relevant en nodig, op basis van de betrokken monitoringresultaten en een geschikt conceptueel model van het grondwater:

- a) de gevolgen van de verontreinigende stoffen voor het grondwaterlichaam;
- b) [...]

De GWR geeft niet aan wat een conceptueel model is. Het uitvoeren van de toestandbeoordeling van grondwaterlichamen, alsmede het gebruik van conceptuele modellen daarbij, is verder uitgewerkt in de EU-richtsnoeren (guidance documents) over toestand- en trendbeoordeling (nr. 18). Daarnaast zijn er verschillende andere EU-richtsnoeren die het gebruik van conceptuele modellen aanbevelen en uitwerken voor verschillende onderdelen van de KRW-implementatie.

Richtsnoeren zijn ter ondersteuning van lidstaten bij de implementatie van de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn. Daarnaast zijn ze opgesteld om tot een, tussen EU-lidstaten onderling afgestemde, uitvoering van de KRW te komen. In het uiterste geval kunnen de EU-richtsnoeren - als de EC de implementatie van de KRW in een lidstaat als onvoldoende beoordeelt - ook een rol spelen in procedures die zouden kunnen gaan dienen voor het Europese Hof van Justitie. Ondanks dat richtsnoeren niet verplichtend zijn, is het daarom wel belangrijk rekening te houden met wat de richtsnoeren zeggen over bijvoorbeeld het gebruik van conceptuele modellen.

In dit hoofdstuk wordt dieper in gegaan op de omschrijving en definitie van conceptuele modellen in de verschillende EU-richtsnoeren. In paragraaf 2.2 wordt samengevat wat er in de richtsnoeren over conceptuele modellen staat vermeld. Vervolgens wordt in paragraaf 2.2.2 per relevant richtsnoer opgesomd (en hier en daar geciteerd) welke informatie over conceptuele modellen op welke pagina te vinden is.

Alle richtsnoeren genoemd in dit hoofdstuk zijn te downloaden via http://circa.europa.eu/Public/irc/env/wfd/library?l=/framework_directive/guidance_documents (2009-04-07).

2.2 Samenvatting en conclusies uit de EU-richtsnoeren

2.2.1 Overzicht relevante richtsnoeren voor grondwater

Er is een aantal voor grondwater relevante EU-richtsnoeren ontwikkeld door de EC onder de Common Implementation Strategy (CIS) van de KRW. In de meeste van die richtsnoeren wordt het gebruik van een conceptueel model aanbevolen en in enkele richtsnoeren wordt tevens een definitie of omschrijving gegeven. Er zijn twee richtsnoeren waarin conceptuele modellen als instrument niet worden genoemd (Tabel 2.1). Dit zijn de richtsnoeren over Wetlands en over Drinking Water Protected Areas. Opmerkelijk, omdat deze onderwerpen zich wel lenen voor het gebruik van conceptuele modellen.

Tabel 1: Een overzicht van grondwaterrelevante EU-richtsnoeren. Aangegeven is of in het document conceptuele modellen worden aanbevolen en/of gedefinieerd.

Richtsnoer	Definitie	Aanbeveling
no 3, Pressures and Impacts	-	+
no 7, Monitoring aanbeveling	+	+
no 12, The Role of Wetlands	-	-
no 15, Groundwater Monitoring	+	+
no 16, Drinking Water Protected Areas	-	-
no 17, Guidance on Preventing or Limiting Direct and Indirect Inputs	+	+
Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment.(Version no 2.0, 15-10-2008)	+	+

Op het moment van schrijven is er een EU-richtsnoer over conceptuele modellen in ontwikkeling. Onderdelen uit dit rapport worden ingebracht in de schrijfgroep van dat richtsnoer.

2.2.2 Definitie conceptueel model in EU-richtsnoeren

De definities gegeven in verschillende EU-richtsnoeren komen inhoudelijk min of meer met elkaar overeen: een schematisatie of versimpelde weergave van het geohydrologische systeem en het gedrag ervan. Echter de elementen waaruit de conceptuele modellen bestaan zijn niet geheel consistent met elkaar. De modellen variëren van kwalitatief (Prevent and Limit) tot kwantitatief (Groundwater Monitoring). Ook het doel van het model lijkt te verschillen, enerzijds om te dienen voor kwantitatieve berekeningen (Groundwater Monitoring), anderzijds om aan te duiden welke kwalitatieve processen een rol kunnen spelen (Pressures and Impacts). Paragraaf 2.4 gaat hier nader op in.

Tekstbox 2: Definities in verschillende richtsnoeren (vertaling door auteurs).

Guidance document on Monitoring: ‘A conceptual model is a simplified representation, or working description, of how the real hydrogeological system is believed to behave. It describes how hydrogeologists believe a groundwater system behaves’ *(een versimpelde weergave van hoe een bepaald hydrogeologisch systeem zich gedraagt volgens hydrogeologen).*

Guidance document on Groundwater Monitoring: ‘Conceptual models are simplified representations, or working descriptions, of the hydrogeological system being investigated’ *(conceptuele modellen zijn versimpelde afbeeldingen, of werkbeschrijvingen, van het hydrogeologisch systeem dat wordt onderzocht).*

Guidance document on Preventing or Limiting Direct and Indirect Inputs: ‘A conceptual hydrogeological model is the schematisation of the key hydraulic, hydro-chemical and biological processes active in a groundwater body’ *(een schematisatie van de belangrijkste hydrologische, chemische en biologische processen aanwezig in het grondwaterlichaam).*

Guidance document on Groundwater Status and Trend Assessment: ‘Conceptual models are (...) a working understanding of the geological and hydrogeological system being studied’ *(een werkbeschrijving van het geologische en hydrogeologische systeem dat wordt onderzocht).*

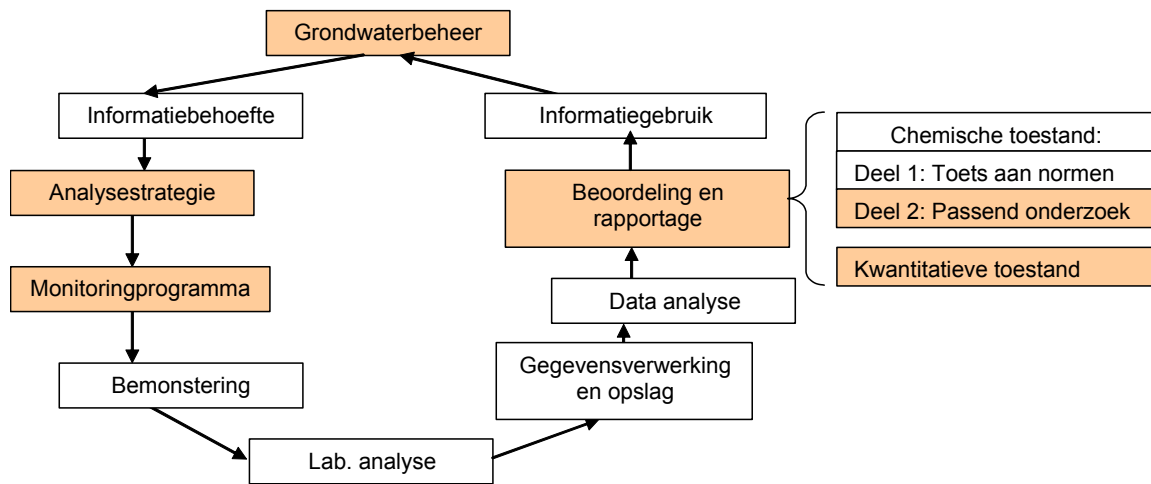
2.3 Conceptuele modellen ontwikkelen en gebruiken

Uit de analyse van de EU-richtsnoeren blijkt dat:

- het ontwikkelen van een conceptueel model onderdeel zou moeten zijn van de karakterisering van waterlichamen (richtsnoer nr. 3, 7, 15, 18);
- de moeilijkheidsgraad van het conceptuele model afhankelijk is van de situatie. In een complexe situatie waar dure herstelmaatregelen van toepassing zijn, kan het waardevol zijn extra te investeren in een goed conceptueel model (richtsnoer nr. 15);
- deze conceptuele modellen moeten getest en doorontwikkeld worden aan de hand van nieuwe monitoringdata (richtsnoer nr. 7, 15, 17, 18). De ontwikkeling van een conceptueel model is een iteratief proces;
- er iets gezegd moet kunnen worden over de betrouwbaarheid van het conceptuele model. Er worden echter geen concrete kwaliteitscriteria genoemd (richtsnoer nr. 3, 7).

Daarnaast blijkt dat een conceptueel model dient te worden gebruikt bij:

- de karakterisering van waterlichamen (richtsnoer nr. 3, 7, 15, 17, 18);
- het ontwikkelen en evalueren van de monitoringprogramma's (plaats en tijd) en de interpretatie van monitoringdata van zowel surveillance monitoring, operationele monitoring als monitoringkwantiteit (richtsnoer nr. 7, 15, 18);
- het afleiden van drempelwaarden (richtsnoer nr. 18);
- de beoordeling van de toestand van het grondwaterlichaam en trends in het grondwaterlichaam (de GWR Bijlage III en richtsnoer nr. 18).



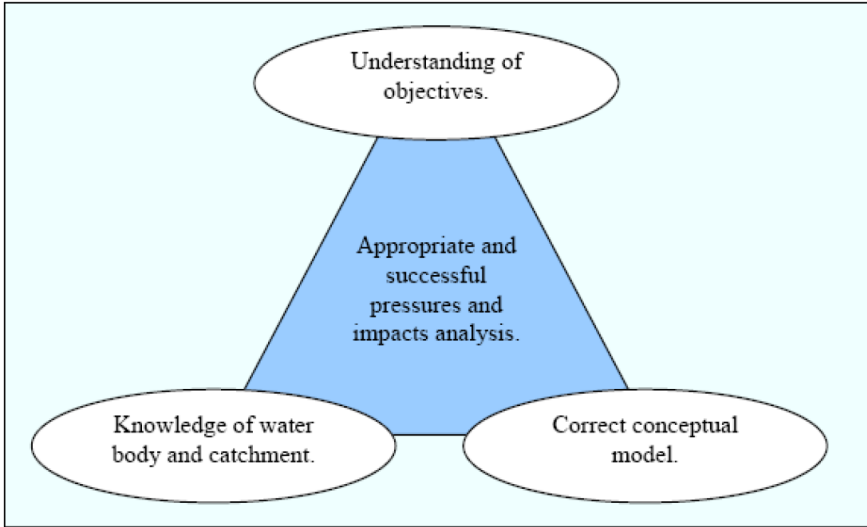
Figuur 2.1: De cyclus voor grondwaterbeheer, toegespitst op de beoordeling van de toestand van een grondwaterlichaam. Met kleur is aangegeven in welke onderdelen van de cyclus een conceptueel model kan worden gebruikt.

Bovenstaande is samengevat in Figuur 2.1. In dit geval gaat het om de waterbeheercyclus zoals deze in de brochure van de EC is opgenomen (EC, 2008, p. 14). De cyclus is gedeeltelijk ook opgenomen in het Nederlandse draaiboek voor grondwatermonitoring (VROM, 2006, p. 2). Het schema is hier toegespitst op het beoordelen van de toestand van grondwaterlichamen (hetzelfde kan worden gedaan voor de karakterisering van grondwaterlichamen en het bepalen van trends). In het ideale geval kan hetzelfde conceptueel model gebruikt worden voor de afzonderlijke onderdelen. Bij het doorlopen van dit iteratieve proces groeit als het goed is de kennis van het gebied. Deze kennisgroei kan worden vastgelegd door de conceptuele modellen erop aan te passen.

2.4 Informatie over conceptuele modellen per richtsnoer

In deze paragraaf wordt per richtsnoer toegelicht waar in deze richtsnoeren sprake is van conceptuele modellen en hoe de conceptuele modellen worden uitgelegd. Daar waar de (Engelstalige) tekst rechtstreeks uit het richtsnoer is overgenomen is deze *cursief* weergegeven. Voor het lezen van deze paragraaf wordt er van uitgegaan dat de lezer beschikt over de besproken richtsnoeren.

2.4.1 Richtsnoer over Pressures and Impacts (no. 3)

p. 38	
	<p>Figuur 2.2: Belangrijke elementen bij het maken van een milieustress en -impactanalyse (Figure 3.2, pagina 38).</p>
	<p>Voor een succesvolle milieustress en -impactanalyse is onder andere een goed conceptueel model essentieel (Figuur 2.2).</p>
p. 49	<p>Een conceptueel model is een essentieel onderdeel van de karakterisatie en moet vroeg in de grondwaterkarakterisatie worden ontwikkeld.</p>
p.49	<p>Nieuwe data kunnen worden gebruikt om het model te verbeteren en het model kan worden gebruikt om de betrouwbaarheid van de data te controleren.</p>
p. 55-56	<p>Dit richtsnoer ziet het als een taak voor de oppervlaktewaterbeheerders om een geschikt conceptueel begrip van de hydrogeologische situatie, de milieustress en de milieudoelen te ontwikkelen. Het richtsnoer ziet het als een taak voor de grondwaterbeheerders om een conceptueel model van de grondwaterstromen (ook van en naar het oppervlaktewater) en een model van het chemische systeem te ontwikkelen als basis voor inzicht in en rapportage over het grondwaterlichaam.</p>

2.4.2 Richtsnoer over Monitoring (no. 7)

p.82	<p>Dit richtsnoer over monitoring geeft de meest uitgebreide definitie van het conceptuele model: <i>‘A conceptual model/understanding is a simplified representation, or working description, of how the real hydrogeological system is believed to behave. It describes how hydrogeologists believe a groundwater system behaves.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>It is a set of working hypotheses and assumptions</i> • <i>It concentrates on features of the system that are relevant in relation to the predictions or assessments required</i> • <i>It is based on evidence</i> • <i>It is an approximation of reality</i> • <i>It should be written down so that it can be tested using existing and/or new data.</i>
------	---

- *The level of refinement needed in a model is proportionate to (i) the difficulty in making the assessments or predictions required, and (ii) the potential consequences of errors in those assessments.'*

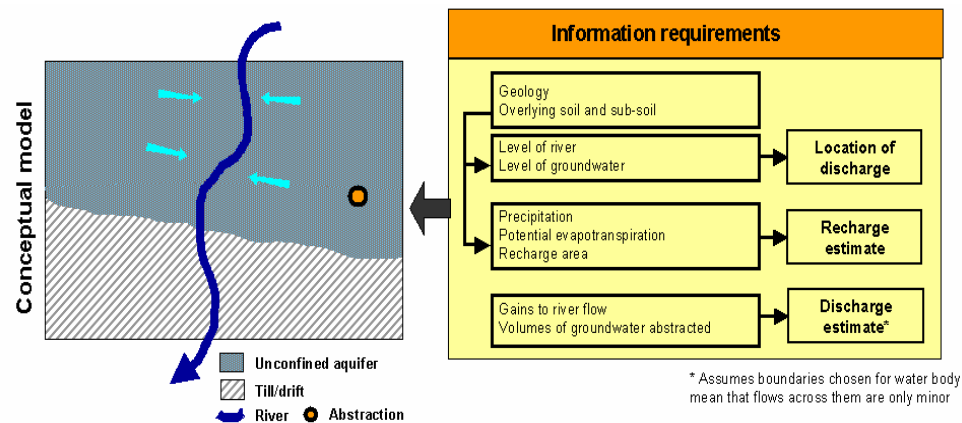
p. 79, 82

Modellen hoeven niet altijd mathematisch te zijn. In tegendeel, complexe mathematische modellen zijn alleen nodig bij het ontwikkelen en beoordelen van erg kostbare herstelmaatregelen voor grondwaterlichamen die anders niet aan de KRW-doelstellingen gaan voldoen.

p.111

Voorbeeld van een eenvoudig conceptueel model:

p. 85, 86, 98



Figuur 2.3: (Figure 5.4 uit richtsnoer) Schematic illustration of a simple conceptual model/understanding of a body of groundwater in which the only significant groundwater discharge is to a river.

Het ontwikkelen van een geschikt conceptueel model zou onderdeel moeten zijn van het karakterisatie proces van de grondwaterlichamen.

p. 83

Het monitoringprogramma zou altijd gebaseerd moeten zijn op een geschikt conceptueel model. Zie ook p. 36, 84, 85, 91, 118.

p. 117

Het model moet gebruikt worden bij de selectie van locaties voor en de dichtheid van de monitoringpunten in relatie tot de gevolgen voor het grondwater door het landgebruik. Zie Figure 5.10 pagina 114, uit het richtsnoer.

p. 81

Conceptuele modellen zijn ook nodig om de monitoringdata te interpreteren ...

p.110

... en maatregelenpakketten te ontwerpen.

p. 93, 128, 129

De KRW stelt dat de inspanning om grondwater dat bedoeld is voor drinkwater te zuiveren, omlaag moet. Om dit te bewerkstelligen is onder andere een conceptueel model nodig van het grondwatersysteem waaraan grondwater wordt onttrokken.

p. 36, 82, 85-86, 98, 111-113

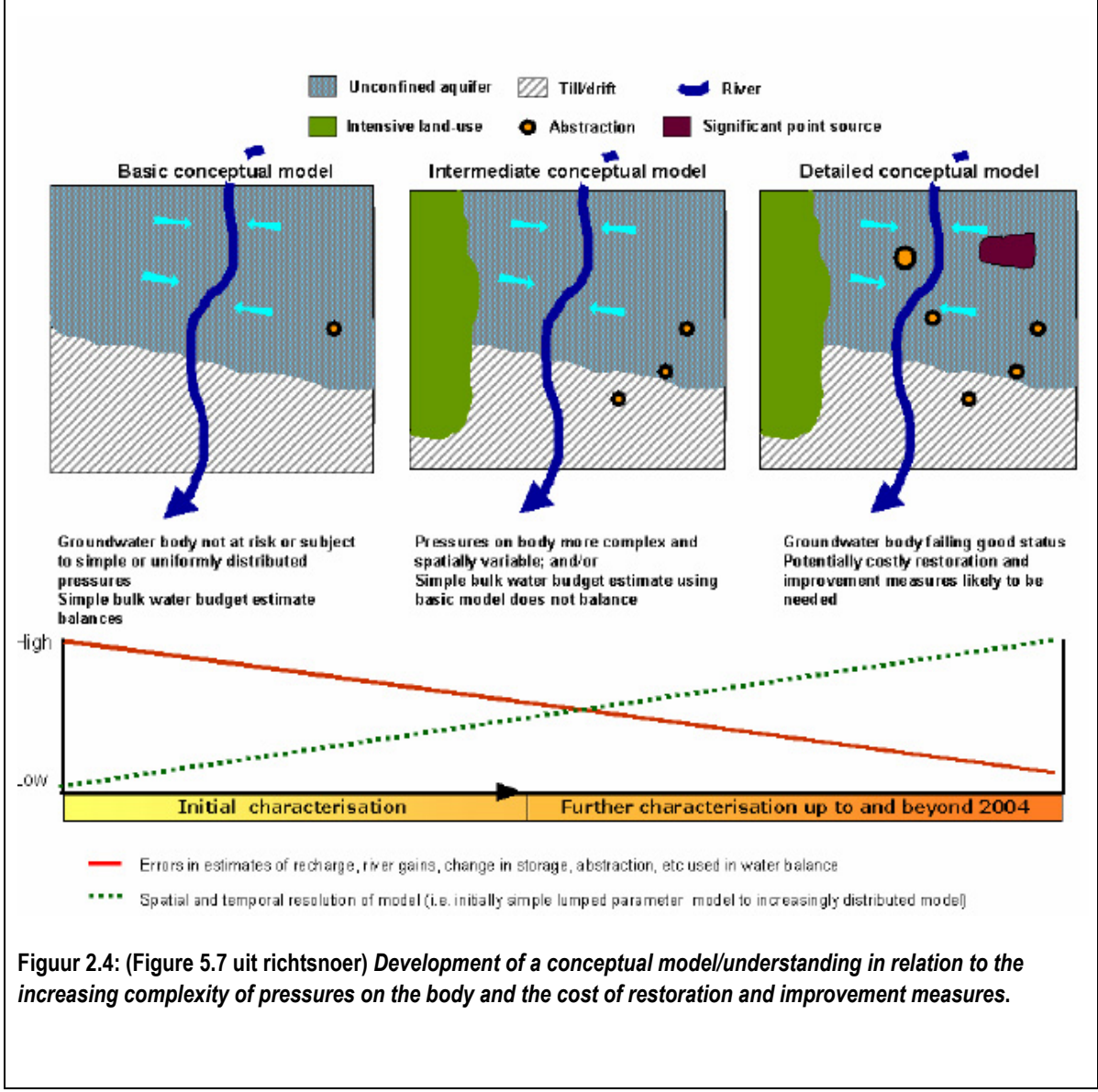
Monitoringdata zijn nodig om de betrouwbaarheid van conceptuele modellen te testen (numeriek, op basis van berekeningen aan de waterbalans) en te valideren en om het model te verbeteren.

p. 82, 84

Betrouwbaarheid van de grondwaterbeoordelingen is onder andere afhankelijk van de betrouwbaarheid van de gebruikte conceptuele modellen. Lidstaten moeten over de

betrouwbaarheid van hun monitoringresultaten rapporteren in de stroomgebiedbeheersplannen. Figuur 5.8 (p.114) uit het richtsnoer laat zien hoe een monitoringprogramma afgestemd kan worden op de betrouwbaarheid van een conceptueel model.

p. 107 Een model kan ook in de tijd doorontwikkeld worden. Figuur 2.4 laat dit zien:



2.4.3 Richtsnoer over Groundwater Monitoring (no. 15)

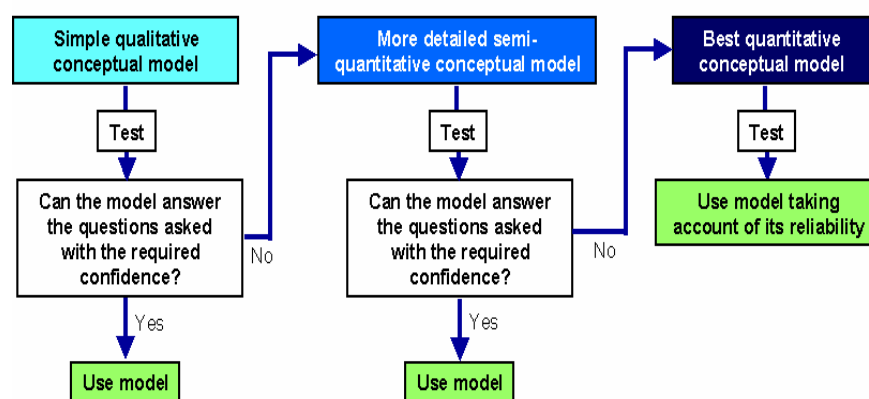
Volgens dit richtsnoer speelt het conceptuele model een rol:

p. 12 a) als onderbouwing van het karakterisatie proces (*at risk or not at risk*);

p. 10 b) als basis van monitoringprogramma's (trend en toestand, operationele en kwantitatieve monitoring):

- selectie van monitoringsites (p.14, 16, 19, 20);
- selectie monitoringfrequentie (p.17, 20);

- selectie van ‘wat te monitoren’ (*core and selected determinands*, p. 19);
- p. 13 c) bij het interpreteren van monitoringdata;
- p. 14 d) bij de evaluatie van het KRW-meetnet.
- p. 12 Er wordt een **definitie** gegeven: ‘Conceptuele modellen (of conceptueel begrip) zijn versimpelde afbeeldingen of werkbeschrijvingen van het, aan onderzoek onderhevige, hydrogeologisch systeem.’
En er worden **twee typen** conceptuele modellen onderscheiden:
- a) Het regionale conceptuele model; dit model biedt inzicht in de factoren die op de schaal van een GWL spelen (bijvoorbeeld representativiteit monitoringnetwerk en interpretatie monitoringdata).
- b) Het lokale conceptuele model; dit model biedt inzicht in factoren die het gedrag van individuele monitoringpunten beïnvloeden.
- p.13 Volgens het richtsnoer is de volgende informatie nodig bij het ontwikkelen van een conceptueel begrip/model van een gebied:
- constructiedetails van de monitoringpunten;
 - de hydrogeologische situatie;
 - begrip van de *recharge* bronnen en patronen;
 - het patroon van de lokale grondwaterstroming;
 - *impact* van onttrekkingen;
 - bestaande hydrochemische data;
 - omvang van het gebied; en
 - eventueel informatie over *travel times* en *groundwater age distribution*.
- p. 13 Met de verkregen monitoringdata kunnen conceptuele modellen getest, gevalideerd en 20 verbeterd worden.
- p. 25 Het richtsnoer meldt dat kwaliteitseisen voor een conceptueel model gedefinieerd kunnen worden in termen van een acceptabel verschil tussen gemeten en voorspelde waarden. Daarnaast moet het model worden gedocumenteerd en onderworpen aan een ‘peer review’. Concreter dan wat hier staat wordt het richtsnoer overigens niet.



Figuur 2.5: (Figure 8.1 uit richtsnoer) Iterative control of the conceptual model against set quality requirements.

De kwaliteit van een conceptueel model kan als een iteratief proces, gedurende het hele

monitoring programma, gecontroleerd worden. Zie Figuur 2.5

2.4.4 Richtsnoer over Prevent and Limit (no 17)

p. 17	Het richtsnoer over <i>Preventing or Limiting Direct and Indirect Inputs</i> geeft aan dat een conceptueel hydrogeologisch model moet worden ontwikkeld, om te bepalen of sprake is van verontreiniging nu of in de toekomst.
p. 17	Het conceptuele hydrogeologische model wordt gedefinieerd als: ‘een schematisatie van de belangrijkste hydrologische, chemische en biologische processen aanwezig in het grondwaterlichaam.’ Waar dat nodig is moeten ook de processen in de onverzadigde zone die invloed hebben op de verontreiniging worden meegenomen.
p. 25	Voor de ontwikkeling van een conceptueel model is mogelijk specifieke monitoring nodig. Deze eventueel extra monitoringpunten kunnen later gebruikt worden als ‘ <i>prevent and limit monitoring</i> ’.

2.4.5 Richtsnoer over toestandsbeoordeling (*Status and Trend Assessment*)

p.9	In dit richtsnoer wordt een conceptueel model omschreven als: een schematisatie van de hydrogeochemische eigenschappen en grondwaterstroming van het grondwatersysteem. Dit is niet noodzakelijk een numeriek model.
p.9, 10, e.a.	Conceptuele modellen zijn nodig bij: <ul style="list-style-type: none"> • het bepalen van significant stijgende trends; • monitoring (locatie en frequentie); • het afwijken van het standaardbeginpunt voor trendomkering; • het afleiden van drempelwaarden. Onder andere bij het bepalen van een eventuele dilution/ attenuation factor (Zie Annex 1 van het richtsnoer); • het bepalen van de toestand van grondwaterlichamen.
p. 9	De tests van de toestandbeoordeling maken onder andere gebruik van resultaten van de karakterisatie (‘ <i>at risk</i> ’-bepaling) en het monitoringprogramma. Voor beide is, volgens dit richtsnoer, al gebruikgemaakt van conceptuele modellen. Deze conceptuele modellen dienen, op basis van de nieuwe data van de toestandbeoordeling, te worden geoptimaliseerd. Het gebruik van conceptuele modellen wordt bij de verschillende tests genoemd (zonder verder specificatie van het hoe).
p. 9	Voor het gebruik van conceptuele modellen wordt verwezen naar het richtsnoer <i>on Impacts and Pressures</i> (zie paragraaf 2.1.1 in het richtsnoer), <i>on Monitoring</i> (zie paragraaf 2.1.2 in het richtsnoer) en <i>on Groundwater Monitoring</i> (zie paragraaf 2.13 in het richtsnoer).

3 Definities van conceptuele modellen

3.1 Algemeen

Naast het gebruik van de term ‘conceptueel model’ in de GWR en de verschillende richtsnoeren, wordt deze term al lange tijd op verschillende wijzen gebruikt in de literatuur. Dit verschillende gebruik leidt tot spraakverwarring (bijvoorbeeld Bredehoeft, 2005; Van Gaans, 1998; Robinson, 2006; Moody, 2005; Seifert et al., 2008). In dit rapport maken wij onderscheid tussen drie manieren waarop conceptuele modellen worden gebruikt: het fundamentele (algemeen wetenschappelijke) conceptuele model. Deze fundamentele benadering is de basis voor de tweede verschijningsvorm: het geohydrologische conceptuele model. En als laatste wordt het conceptuele model als instrument voor kennisuitwisseling onderscheiden. Iedere verschijningsvorm heeft zijn eigen doel.

Dit hoofdstuk gaat in op de drie bovengenoemde verschijningsvormen en zal enkele voorbeelden geven. In de communicatie tussen onderzoekers, (geo)hydrologen en beleidsmakers is het van belang om van elkaar te weten wat men bedoelt als men het heeft over een conceptueel model en wat de verschillen zijn van de opvattingen over conceptuele modellen binnen de diverse groepen van (eind)gebruikers.

3.2 Het conceptuele model, fundamentele benadering

Door Robinson (2006) is een overzicht gegeven van de verschillende benaderingen die gebruikt worden voor het werken met conceptuele modellen. Hij toont onder andere aan dat binnen de wetenschap verschillen bestaan in definitie, uitgangspunten, wijze van ontwikkeling en wijze van presentatie van de conceptuele modellen. De overeenkomst tussen de verschillende benaderingen is dat hij een conceptueel model als een kwalitatief denkmodel beschouwt, dat dient om met behulp van een verzameling begrippen onze voorstelling van een deel van de werkelijkheid weer te geven. Het is daarbij een instrument waarmee onderzoekers en andere partijen over aspecten van dat deel van de werkelijkheid van gedachten kunnen wisselen. Een conceptuele model vormt vaak het voorstadium van een operationeel model. Het operationeel model dient bijvoorbeeld om simulaties of scenarioberekeningen uit te voeren. Met een operationeel model wordt kwantitatief onderzocht hoe het gemodelleerde deel van de werkelijkheid zich zou gedragen onder invloed van de variatie van bepaalde variabelen en parameters. Met de daarmee opgedane kennis kan het conceptuele model worden verbeterd.

Het conceptuele model is dus een algemeen wetenschappelijk gebruikt begrip dat op verschillende manieren wordt gebruikt binnen de diverse wetenschappelijke disciplines. Er is een veelheid aan definities en omschrijvingen die zowel binnen als tussen wetenschapsgebieden sterk kunnen verschillen.

Opvallend is dat studies die een conceptueel model toepassen in het algemeen wel dezelfde basiselementen gebruiken (bijvoorbeeld Van Gaans, 1998; Inkpen, 2007; Van der Perk, 2006; Seifert et al., 2008; Heemskerk, 2003; Van Waveren et al., 1999). Deze studies beschrijven het conceptuele model aan de hand van drie elementen:

1. Het onderzoeksgebied, of onderzoekselement; dit is onderdeel van de werkelijkheid dat het conceptuele model beschrijft.
2. De concepten; dit zijn de (theoretische) variabelen van een systeem.
3. De hypothesen; deze geven de relaties weer tussen de afzonderlijke variabelen of concepten.

Ad 1: Ieder model heeft betrekking op een deel van de werkelijkheid en het onderzoeksgebied geeft de afbakening weer van de gebruikte concepten binnen dat deelgebied van de werkelijkheid. Volgens Van

Wavereen et al. (1999) is het afbakenen van het onderzoeksgebied een essentiële stap bij het maken van een conceptueel model. Daarnaast beargumenteren zij dat bij deze afbakening ook de mate van detail van het conceptuele model moet worden vastgelegd, zowel in tijd als in ruimte.

Ad 2: De concepten geven de relevante variabelen weer voor het model. Hierbij wordt altijd een keuze gemaakt op basis van aannames van de onderzoeker. In het algemeen zijn de concepten theoretisch en nog niet verbonden aan meetwaarden.

Ad 3: De hypothesen geven de verschillende relaties weer tussen de concepten. Deze relaties worden vaak weergegeven als (wiskundige) formules. De hypothesen kunnen enerzijds zijn gebaseerd op geaccepteerde theorieën of wederom op aannames. De belangrijkste eis aan deze hypothesen is dat zij niet met elkaar in strijd mogen zijn.

In onderstaande voorbeelden wordt dit principe van deze basiselementen nader geïllustreerd.

Voorbeeld 1: Het conceptueel model bij het onderzoek naar de bedreiging van grondwaterwinningen door chemische wasserijen.

1. Het **onderzoekselement** is verspreiding en gedrag van trichlooretheen in grondwater dat wordt onttrokken voor de drinkwaterbereiding.
2. De **concepten** zijn (onder andere):
 - grondwaterpotentialen (*afhankelijke variabele*);
 - grondwatersnelheden (*afhankelijke variabele*);
 - concentratie trichlooretheen in opgepompt grondwater (*afhankelijke variabele*);
 - laagdikte watervoerend pakket;
 - doorlatendheid watervoerend pakket;
 - weerstand scheidende (slecht-doorlatende) laag;
 - onttrekkingsdebiet;
 - onttrekkingslocatie;
 - natuurlijke aanvulling.
3. **Hypothese:** bij toenemend onttrekkingsdebiet neemt spreiding van vervuiling toe.

Voorbeeld 2: Het conceptueel model bij een onderzoek naar de afname van de soortendiversiteit in natuurgebieden.

1. Het **onderzoekselement** is de soortendiversiteit.
2. De **concepten** zijn onder andere:
 - (verandering van) kwel en de grondwaterstand in het natuurgebied;
 - doorlatendheid van de grond;
 - natuurlijke aanvulling;
 - onttrekking;
 - chemische stoffen;
 - nutriënten.
3. De **hypothesen** zijn de verbanden die tussen voornoemde variabelen en het onderzoekselement bestaan.

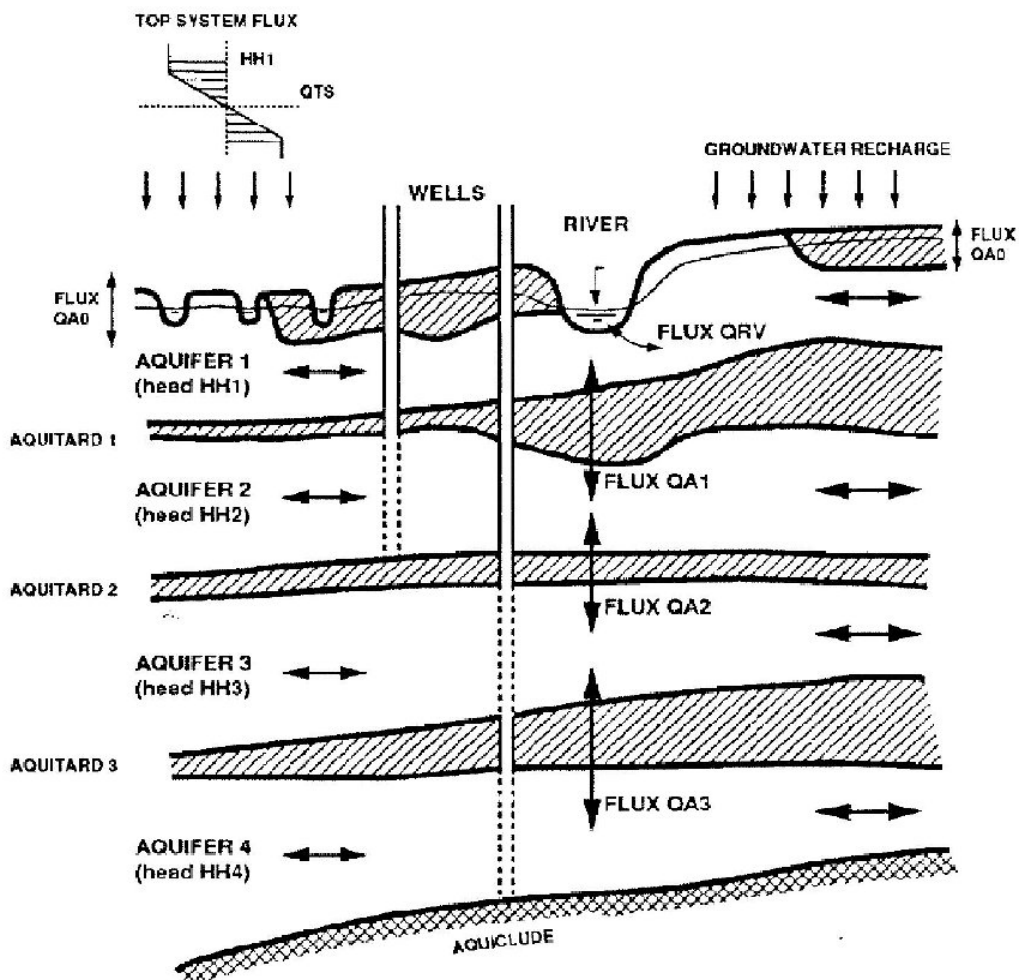
3.3 Het conceptuele model, geohydrologische benadering

Binnen elke wetenschappelijke discipline kan men vanuit de fundamentele benadering een meer toegepaste vorm van een conceptueel model maken. Voor de KRW is de geohydrologische benadering van belang. Binnen de geohydrologie worden conceptuele modellen als één van de meest ‘stekelige’ onderdelen gezien (Bredehoeft, 2005).

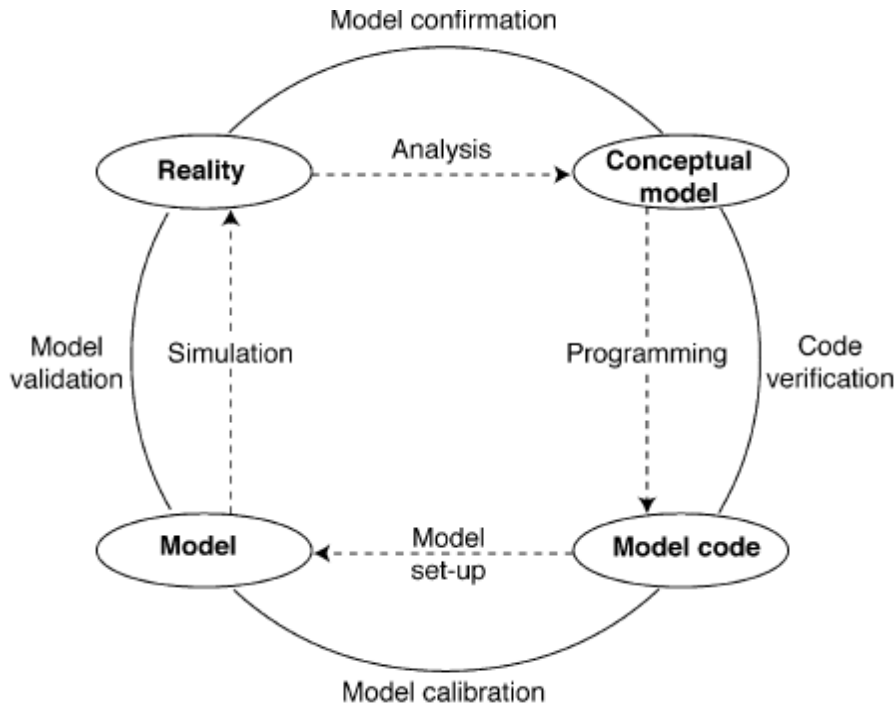
In het conceptrichtsnoer over ‘Conceptual Models’ (ongepubliceerd, 2008) is gebruikgemaakt van een definitie voor conceptuele modellen van McMahon et al. (2001). Deze luidt:

‘Conceptual model: A simplified representation of how the real system is believed to behave based on a qualitative analysis of field data. A quantitative conceptual model includes preliminary calculations for key processes.’

Vrij vertaald is een conceptueel model een vereenvoudigde weergave van hoe men aanneemt dat een werkelijk systeem zich gedraagt, gebaseerd op kwalitatieve gegevens uit het veld. Een kwantitatieve uitwerking van een conceptueel model bevat initiële berekeningen voor de belangrijkste processen.



Figuur 3.1: Conceptueel model of geohydrologisch schema van een bodemlagen systeem.



Figuur 3.2: Plaats van het conceptueel model in een vereenvoudigde modelleringsketen. (uit: Refsgaard en Henriksen, 2004).

Naast de definitie van McMahon et al. (2001) worden ook andere definities gehanteerd. In Nederland heeft de InformatieDesk standaarden Water (IDSW) een woordenboek samengesteld dat voor een groot deel is gebaseerd op de vroegere ‘Verklarende hydrologische woordenlijst’ van de CHO-TNO (IDSW, 2008). In deze Aquo-lex wordt als definitie voor een conceptueel model gehanteerd:

‘de beschrijving van de structuur van een systeem met kwalitatieve afhankelijkheden’

Ook Van Waveren et al. (1999) hanteren deze definitie in het ‘Good Modelling Practice Handbook’ welke in opdracht van Rijkswaterstaat, STOWA en het DLO-Staring Centrum is opgesteld in het kader van een studie om een standaardraamwerk te creëren voor het watermanagement in Nederland. In deze definitie worden alleen kwalitatieve afhankelijkheden genoemd.

Belangrijk kenmerk van deze toegepaste conceptuele modellen is dat zij worden opgesteld voor een bepaalde ruimtelijke schaal. Op deze schaal zijn geohydrologische concepten herkenbaar, zoals watervoerende, waterscheidende lagen en oppervlaktewateren. In Figuur 3.1 is een voorbeeld van een geohydrologisch conceptueel model weergegeven. Deze weergave van een conceptueel model wordt binnen de geohydrologie meestal een geohydrologisch schema genoemd. In dit schema is een systeem weergegeven van watervoerende pakketten en daartussen scheidende lagen zoals dat in het grootste deel van Nederland bestaat. De verschillende concepten (aquifers en aquitards, wateronttrekkingen en neerslag) zijn daarin weergegeven, net als enkele relaties tussen deze concepten (de ‘fluxen’).

Binnen de geohydrologie staat een conceptueel model niet op zichzelf maar is het onderdeel, of een fase in het (cyclische / evolutionaire) proces van modelontwikkeling. In Figuur 3.2 is de plaats van het

conceptuele model in een vereenvoudigde voorstelling van dit cyclische proces weergegeven (Refsgaard en Henriksen, 2004).

Op basis van een heldere vraagstelling of doelstelling en observaties (gebiedskennis en gegevens uit het veld of databases, de ‘reality’) kan een conceptueel model worden gemaakt. Met behulp van, een al dan niet bestaande, modelcode kunnen de hypothesen (relaties) uit het conceptuele model gekwantificeerd worden (Figuur 3.2) . De complexiteit van de modelcode kan daarbij variëren van eenvoudige berekeningen tot een zeer uitgebreide computercode. Het operationele model kan dan variëren van het spreekwoordelijke ‘sigarendoosje’ tot een zeer omvangrijk computermodel. Afhankelijk van de eisen die aan de uitkomsten van een model worden gesteld, dient men de complexiteit van de modelcode en het uiteindelijke model te kiezen.

De uitkomsten van het model worden in de validatiestap weer vergeleken met de observaties. Op basis van deze validatie kan het conceptuele model eventueel aangepast worden en kan de modelleringsketen opnieuw worden doorlopen. Na verificatie, kalibratie en validatie van het model kunnen scenario’s worden berekend op basis waarvan beleid kan worden ontwikkeld. Binnen deze modelleringscyclus (Figuur 3.2) wordt het conceptuele model meestal weergegeven als een geohydrologische schematisatie. Deze schematisatie kan ook als toelichting gebruikt worden om de keuzes die gemaakt zijn voor het veel abstractere (operationele) model te communiceren.

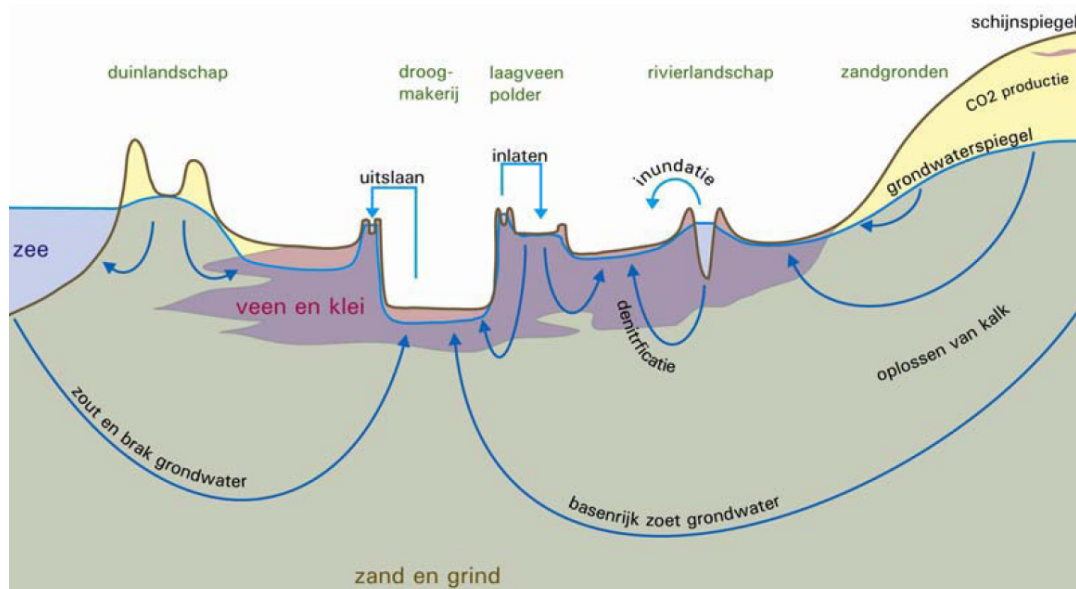


Figuur 3.3: Conceptueel model van de Nederlandse boven- en ondergrond (tekening: Wout Niezen, RIVM).

3.4 Het conceptuele model als instrument voor kennisuitwisseling tussen disciplines

Een gevolg van de implementatie van de KRW en de GWR is dat er meer interactie is ontstaan tussen verschillende groepen belanghebbenden, waaronder wetenschappers, gebiedsbeheerders en beleidsmakers, ieder met hun eigen wijze van communiceren en jargon. Kenmerk van deze interactie is communicatie tussen de verschillende groepen. Conceptuele modellen kunnen een goed hulpmiddel zijn om de communicatie tussen verschillende groepen en vakgebieden te stroomlijnen. Heemskerk et al. (2003) laten zien dat het gezamenlijk opstellen van een conceptueel model tussen ecologen en sociologen tot een beter geïntegreerd inzicht kan leiden in een probleemdomen. Tijdens het opstellen van de modellen kunnen niet alleen kennisvragen worden geformuleerd, maar kan ook inzichtelijk worden gemaakt welke kennislacunes nog aanwezig zijn. Daarnaast geeft het inzicht in de veronderstellingen en aannames die de verschillende onderzoekers uit de verschillende vakgebieden hanteren. Een dergelijk interdisciplinair gebruik van een conceptueel model zal niet afdoende zijn om afzonderlijk operationele modellen op te stellen. Binnen een vakgebied zullen nog aanvullende concepten en relaties moeten worden toegevoegd. Echter het conceptuele model geeft wel de gezamenlijke kennis weer en de mate van consensus tussen de verschillende vakgebieden (en beleidsvelden) over welke processen (concepten en relaties) een rol spelen binnen het onderzoeksgebied van het conceptuele model (Heemskerk et al., 2003)

In het brede beleids- en kennisveld rond de implementatie van de GWR kan de kennis van een gebied worden weergegeven in een informatieve weergave van een gebied. Dit kan herkenbare geologische en geohydrologische elementen bevatten zoals zand, veen en kleilagen in de bodem. Daarnaast kunnen processen worden weergegeven zoals vermisting en nitraatbelasting of fabrieken die milieuvreemde stoffen in bodem en grondwater brengen. In Figuur 3.3 is het conceptuele model van een deel van de Nederlandse sedimentdelta in een schets weergegeven.



Figuur 3.4: Stroming van water en enkele daaraan verbonden ecohydrologische processen in het Nederlandse landschap (uit: Lieste et al., 2007).

Figuur 3.4 laat een meer schematische weergave zien van grond- en oppervlaktewaterstroming. De schets definieert als het ware termen zoals ‘uitslaan’, ‘inlaten’ en ‘inundatie’. Voor de communicatie is het van belang dat termen eenduidig worden toegepast. Een conceptueel model zoals weergegeven in Figuur 3.4 kan helpen bij deze eenduidigheid. Of de weergegeven processen exact overeenkomen met de werkelijkheid (of het numerieke model) is dan van minder belang.

3.5 Hoe wordt het begrip conceptueel model in de richtsnoeren gebruikt?

In Tabel 3.1 zijn de richtsnoeren ingedeeld naar het type conceptueel model (fundamenteel, geohydrologisch en interdisciplinair) en naar de aard van het model (kwalitatief, kwantitatief). Deze indeling is niet absoluut en is onderhevig aan interpretatie. Het heeft als doel om de verschillen in de definities van de conceptuele modellen nog wat nader te illustreren.

Als het gaat om de elementen waar een conceptueel model uit bestaat zijn de verschillende richtsnoeren niet geheel consistent met elkaar. Met name de beoogde getalsmatige of operationele invulling van dit conceptuele model kan sterk verschillen. Op basis van operationele waarden, modelresultaten en metingen, kan van het conceptuele model een operationeel model gemaakt worden. Deze stap kost over het algemeen vrij veel inspanning voor het meten en modelleren van de relevante processen. Het resultaat van een operationeel model is, in tegenstelling tot een conceptueel model, tastbaarder doordat het model resultaten produceert die (getalsmatig) direct zijn te vergelijken met veldobservaties. Voor het conceptuele model worden voornamelijk kwalitatieve elementen gebruikt terwijl voor het operationele model vooral kwantitatieve elementen nodig zijn.

Tabel 3.1: Een overzicht van grondwaterrelevante EU-richtsnoeren. Aangegeven is welk type conceptueel model wordt gebruikt.

Richtsnoer	Fundamenteel	Geohydrologisch	Interdisciplinair		
				Kwalitatief	Kwantitatief
no 3, Pressures and Impacts		X	X		X
no 7, Monitoring aanbeveling		X		X	
no 15, Groundwater Monitoring		X			X
no 17, Guidance on Preventing or Limiting Direct and Indirect Inputs			X		
Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment.(Version no 2.0, 15-10-2008)		X	X	X	

In de verschillende richtsnoeren wordt de grootste inconsistentie gevonden in de rol van kwantitatieve elementen. In het richtsnoer *on Pressures and Impacts* (no. 3) gaat het over een schematisering van de grondwaterstromen en de chemische processen in een waterlichaam. Hier lijken kwantitatieve elementen geen rol te spelen bij het conceptuele model en deze elementen zijn (nog) niet getalsmatig invuld op basis van metingen. Het richtsnoer *on Groundwater Monitoring* (no. 15) heeft het

daarentegen over kwaliteitseisen voor een conceptueel model die kunnen worden gedefinieerd in termen van een acceptabel verschil tussen gemeten en voorspelde waarden. Oftewel een volledig kwantitatief (of numeriek, mathematisch of operationeel) model. In het richtsnoer *on Status and Trend Assessment* staat: ‘een conceptueel model is niet noodzakelijk een numeriek model’. Het richtsnoer *on Monitoring* (no. 7) heeft dezelfde strekking maar voegt daar nog aan toe: ‘Integendeel, complexe mathematische modellen zijn alleen nodig bij het ontwikkelen en beoordelen van erg kostbare herstelmaatregelen voor grondwaterlichamen die anders niet aan de KRW-doelstellingen gaan voldoen’.

De beschrijvingen in de richtsnoeren lopen dus uiteen van: ‘geen kwantitatieve elementen’ tot ‘een volledig kwantitatief model’.

Gezien het doel en de toepassing van de richtsnoeren is het niet verwonderlijk dat de wetenschappelijke, fundamentele, conceptuele modellen niet genoemd worden. De conceptuele modellen in de richtsnoeren zijn geohydrologisch of interdisciplinair georiënteerd. De drie elementen van een fundamenteel conceptueel model, genoemd in paragraaf 3.2, zijn wel een onderdeel van deze geohydrologische en interdisciplinaire modellen. De richtsnoeren aangaande monitoring (no. 7 en 15, Tabel 3.1) gaan uit van een geohydrologisch conceptueel model. Door het analytische karakter van dit onderwerp, voornamelijk gericht op meten, is het aantal betrokken wetenschappelijke en beleidsmatige disciplines beperkt. De overige richtsnoeren (Tabel 3.1) gaan meer uit van een interdisciplinair conceptueel model. Met name door het bredere onderwerp en de noodzaak om vanuit meerdere disciplines hiernaar te kijken.

3.6 Samenvatting

Uit de geraadpleegde literatuur komt geen algemeen overkoepelende definitie of methodiek voor conceptuele modellen naar voren. Per beleidsveld of wetenschappelijke discipline hanteert men zijn eigen methoden. Zelfs binnen disciplines, zoals de geohydrologie, is het begrip ‘conceptueel model’ onderdeel van voortdurende discussie. Voor deze studie zijn drie verschillende conceptuele modellen onderscheiden, het fundamenteel wetenschappelijke, het geohydrologische en het interdisciplinaire model. De conceptuele modellen zoals die in de richtsnoeren worden genoemd zijn van de laatste twee typen. In de richtsnoeren wordt in het algemeen niet expliciet gekozen voor een kwalitatief of kwantitatief model.

4 Voorbeelden van conceptuele modellen

Dit hoofdstuk geeft een aantal voorbeelden van conceptuele modellen om te laten zien wat men in de praktijk zoal onder een conceptueel model verstaat. Met uitzondering van het eerste voorbeeld, dat is gebruikt in de karakteriseringsrapporten van het grondwater, zijn alle voorbeelden niet ontwikkeld voor de KRW/GWR. Sommige van deze voorbeelden zouden met relatief geringe aanpassingen ook gebruikt kunnen worden voor de verschillende doeleinden binnen de KRW/GWR, monitoring, toestandsbepaling, et cetera. Bij de verschillende voorbeelden wordt aangegeven hoe ze zijn opgebouwd en waar ze eventueel, met enige aanpassing, toegepast zouden kunnen worden.

4.1 De beantwoording van de ‘waterbalansvraag’

In de karakterisatierapporten van het grondwater voor de verschillende deelstroomgebieden wordt naar een conceptueel model verwezen om de ‘waterbalansvraag’ te beantwoorden (Meinardi, 2005). Deze karakterisatie vormt een onderdeel van de ‘at risk’- bepaling volgens het richtsnoer *on Pressures and Impacts*. Dit conceptuele model betreft met name de argumentatie om te concluderen dat ‘een negatieve beantwoording van de waterbalansvraag’ onwaarschijnlijk is waarbij met name een algemene beschrijving van de geohydrologische situatie in Nederland wordt gebruikt.

Omschrijving

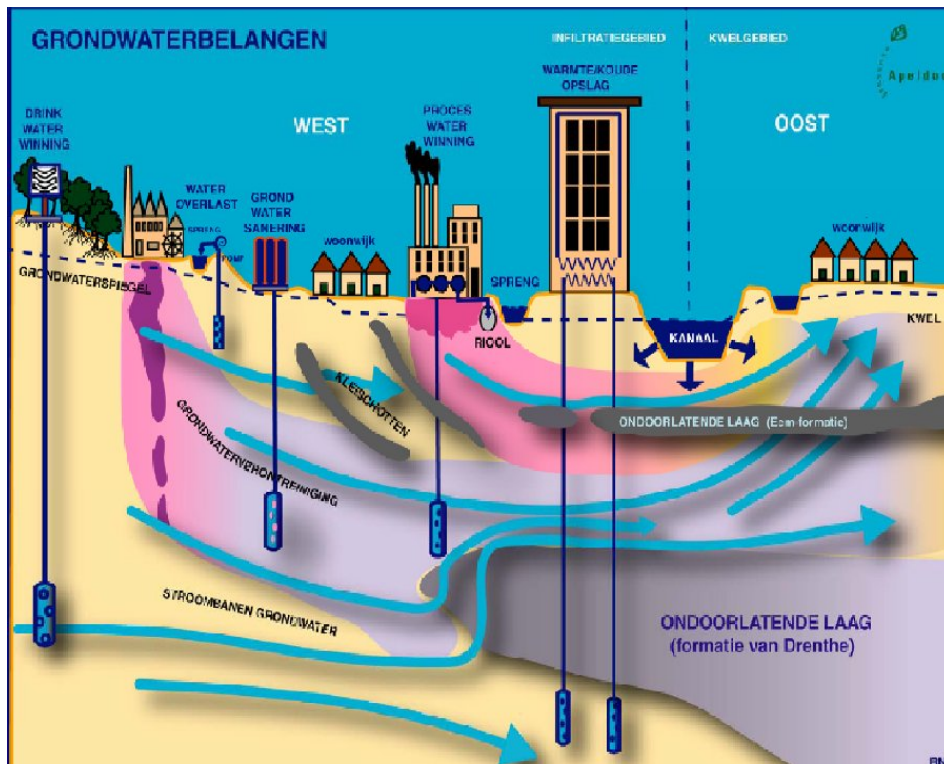
Meinardi (2005) beschrijft de waterbalans als: $In = UIT + BERGING$ waarbij BERGING de verandering van het volume in de beschouwde periode is. Omdat de BERGING relatief veel kleiner is dan de IN- en UIT-stroom wordt aangenomen dat de IN- en UIT-stroom in evenwicht zijn. Als de IN- en UIT-stroom in evenwicht zijn dan blijft de grondwaterstand op hetzelfde niveau. Hoewel de grondwaterstand op de hogere zandgronden als gevolg van de ruilverkaveling structureel is gedaald (Rolf, 1989), lijkt deze aanname gelegitimeerd omdat de grondwaterstanden zich de laatste decennia lijken te stabiliseren (Kremers en Van Geer, 1998; 2000). Het maakt daarbij niet uit dat er intrusie van brak of zout water plaatsvindt zoals in de droogmakerijen in West-Nederland. Voor de waterbalans wordt geen onderscheid gemaakt in zoet en zout water. De aanname is ook goed te verdedigen gezien de geohydrologische omstandigheden in het grootste gedeelte van Nederland. Het beleid is er op gericht dat de onttrekkingen de winbare geachte hoeveelheid water niet overschrijden. In de meeste gebieden is de oppervlakkige afvoer gekoppeld aan de drainagebasis of het maaiveld en dat controleert daarmee de grondwaterstand. Voor zover er al sprake is van een watertekort zal dat via laterale toestroming vanuit Duitsland, België en de grote oppervlaktewateren aangevuld worden. Meinardi (2005) concludeert op basis van deze argumentatie, een conceptueel model, dat ‘een negatieve score voor de waterbalansvraag’ onwaarschijnlijk is. Vervolgens werkt Meinardi (2005) de waterbalans verder uit voor ‘ondiepe klei- en veen’-grondwaterlichamen en ‘zand- en duin’-grondwaterlichamen, waarbij de basisvergelijking voor de waterbalans wordt uitgebreid met verschillende termen voor onder andere de infiltratie vanuit het oppervlaktewater, drainage naar het oppervlaktewater en grondwateronttrekkingen.

4.2 Grootschalige grondwatervervuiling nabij Apeldoorn

Onderstaande omschrijving van de grootschalige grondwaterverontreiniging nabij Apeldoorn (Zijp et al., 2007) zou een voorbeeld van een conceptueel model voor het richtsnoer *on Preventing and Limiting* kunnen zijn. Het voorbeeld laat zien welke processen zich in het gebied afspelen en wat de potentiële problemen zijn. Het gebruikt daarbij een dwarsdoorsnede van de ondergrond met geohydrologische opbouw, de verspreiding van de verontreiniging en de belangrijkste betrokkenen en een kaartje waarop de belangrijkste clusters van grondwaterverontreiniging zichtbaar zijn.

Omschrijving van de situatie

De locatie nabij Apeldoorn is vervuild met vluchtige organochloorverbindingen. Deze organochloorverbindingen zijn zwaarder dan water en zakken daardoor relatief snel naar beneden. Op de locatie zijn veel verschillende (historische) bronnen, voornamelijk kleinschalige bedrijfsactiviteiten, zoals wasserijen, papierfabrieken en drukkerijen. De grondwaterverontreiniging is tot op grote diepte aangetoond omdat het om een zeer mobiele stof gaat die al langere tijd geleden in de bodem terecht is gekomen. De omvang van de verontreiniging in zijn totaal wordt geschat op circa 75 miljoen m³ (Apeldoorn, 2005).

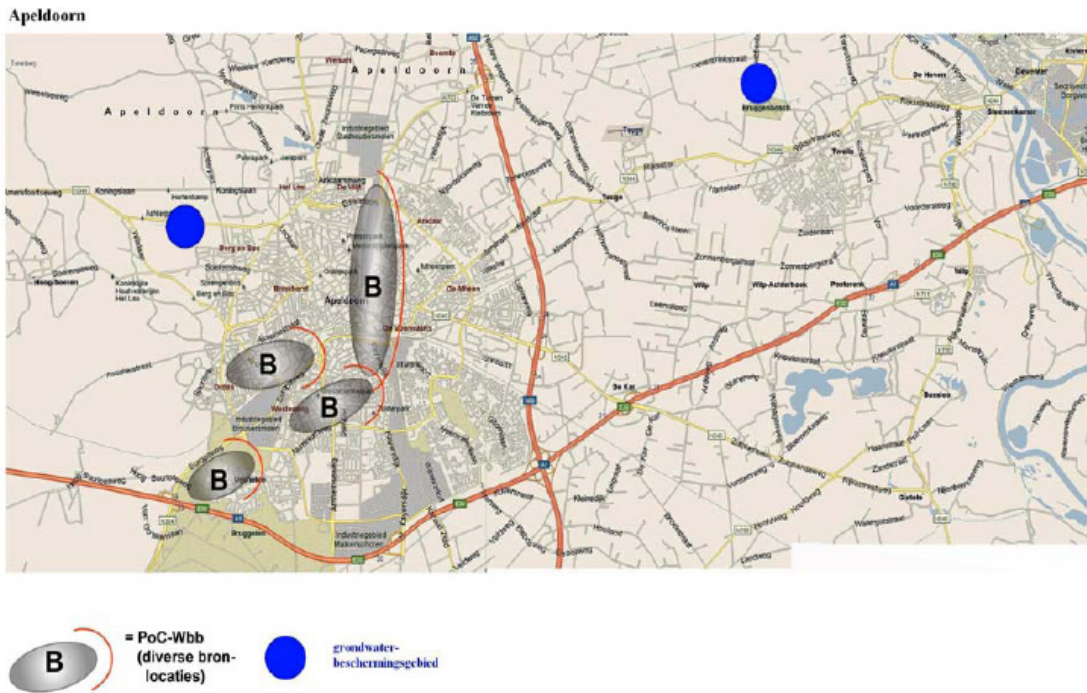


Figuur 4.1: Dwarsdoorsnede van de invloed van de grondwaterverontreiniging op het grondwater (Apeldoorn, 2005).

Geohydrologische situatie en gevolgen voor de verspreiding

De stromingsrichting van het grondwater onder Apeldoorn is in oostelijke richting (zie Figuur 4.4). De verontreinigingen worden daarmee meegevoerd. Het grondwater onder Apeldoorn splitst in een ondiep en diep grondwatersysteem (Figuur 4.1). Het grootste deel van de verontreiniging stroomt naar het ondiepe grondwatersysteem. De stromingssnelheid van het grondwater daar is zo'n 10 - 20 m/jaar. In de diepere ondergrond is de stromingssnelheid 50 - 100 m/jaar. Door retardatie is de verplaatsingssnelheid van (het front van) de verontreinigingen een factor 2 trager dan de stromingssnelheid van het grondwater (HgbII, 2007; Hgb, 2006, p. 4,5). Per jaar wordt 500.000 m³ schoon grondwater beïnvloed door de verontreiniging (Apeldoorn, 2005).

Het grondwater in het ondiepe grondwatersysteem stroomt onder het Apeldoorns kanaal door en kwelt op in het gebied aan weerszijden van de Wetering. Het diepere grondwater stroomt in het diepe watervoerende pakket. Uit dit pakket wordt in de omgeving van Twello grondwater onttrokken voor drinkwaterproductie (zie Figuur 4.2). De verontreiniging in het diepe grondwater zal naar schatting binnen 100 jaar de drinkwaterwinning bij Twello niet bereiken.



Figuur 4.2: Overzicht van de gemeente Apeldoorn en omgeving; indicatief zijn de belangrijkste clusters van grondwaterverontreiniging weergegeven.

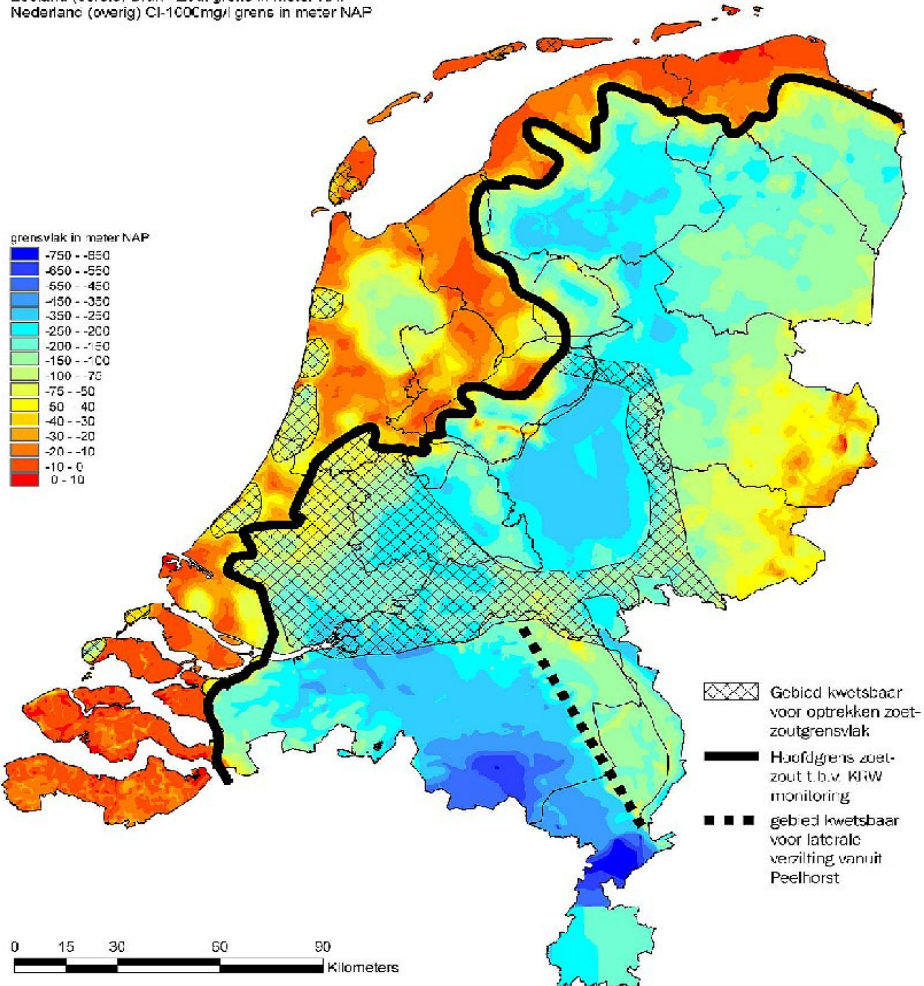
4.3 De zoet-zoutgrens in Nederland

Dit voorbeeld betreft een conceptueel model van de zoet-zoutgrens in Nederland (Stuurman en Oude Essink, 2006) en kan gebruikt worden in de toestandsbeoordeling (intrusies). Het voorbeeld geeft een omschrijving van de ontstaansgeschiedenis en de huidige situatie waarbij gebruik wordt gemaakt van een kaartje met de diepteligging van het brak-zout grensvlak en de grens tussen het zoete en het brak-zoute gebied en een oost-west hydrogeologisch profiel met de verspreiding van zoet en zout grondwater.

Omschrijving

De zoet-zoutpatronen in Nederland zijn sterk bepaald door de holocene kustontwikkeling. Dit geldt vooral voor de kweldergebieden in de kop van Noord-Holland, Zeeland, Friesland en Groningen die pas na de middeleeuwen zijn ingepolderd.

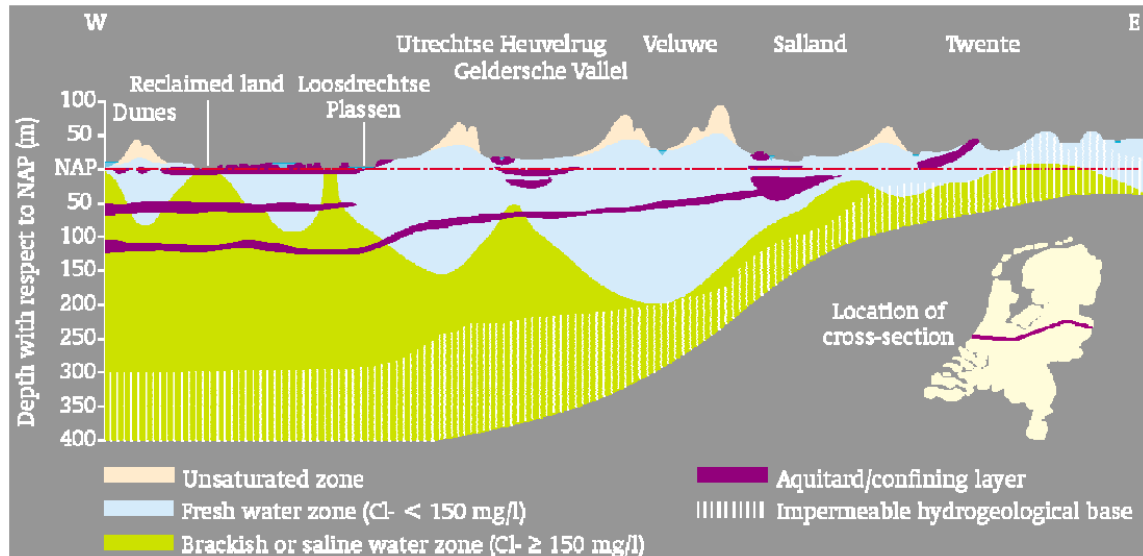
Brabant en Limburg Brak-zout grens in meter NAP
 Zeeland (eerste) Brak - Zout grens in meter NAP
 Nederland (overig) Cl-100Cmg/l grens in meter NAP



Figuur 4.3: Diepteligging brak-zout grensvlak met de grens tussen het 'zoete' en brak-zoute gebied. Met arcering zijn gebieden aangeduid die kwetsbaar zijn voor verzilting.

De kaart met de diepteligging van het brak-zout vlak (Figuur 4.3) toont de verschillende fenomenen. Op de zandgronden ligt het grensvlak in het algemeen dieper dan in het poldergebied. In de Roerdalslenk, tussen Roermond en Eindhoven, ligt het grensvlak zeer diep. Plaatselijk dieper dan 750 m –NAP. Dit wordt veroorzaakt door langdurige infiltratie vanuit Duitsland en de Belgische Kempen en het feit dat hier tot op grote diepte terrestrische afzettingen voorkomen. In de Eemvallei

(kwelgebied) tussen de infiltratiegebieden Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe, ligt het grensvlak 50-100 meter hoger dan in de aangrenzende infiltratiegebieden, zie Figuur 4.4



Figuur 4.4: Oost-west hydrogeologisch profiel tussen de grens met Duitsland en Noordzee met de verspreiding van zoet en zout grondwater.

In het oosten van Brabant, het noordoosten van Limburg en het oosten van Gelderland en Overijssel ligt het grensvlak relatief ondiep. Dit komt omdat op deze plaatsen zeer slecht doorlatende, mariene afzettingen uit het tertiair voorkomen. Het zoute formatiewater is nog steeds niet uitgespoeld. In Noord-Holland is de ‘zoetwaterbel van Hoorn’ duidelijk zichtbaar. Deze bel is vermoedelijk tijdens het holoceen ontstaan, mogelijk onder een toen aanwezig hoogveengebied (Beekman, 1991). Dit zoete grondwater is zeer methaan- en ijzerrijk en daardoor tot nu toe niet aantrekkelijk geweest voor drinkwaterbereiding. Langs de kust zijn de zoetwaterbellen onder de duingronden zichtbaar. Bij de Hondsbossche Zeewering en de Oude Rijn is het water verzilt. Dit is in het verleden veroorzaakt door zeewaterintrusies via het oppervlaktewater. Onder de Flevopolders komt veel zoet water voor dat toestroomt vanuit de Veluwe. Plaatselijk ligt het grensvlak hoger. Dit wordt veroorzaakt door de afwezigheid van kleilagen waardoor daar een sterk opwaarts gerichte stroming plaatsvindt. Het gekarteerde brak-zoute grensvlak toont een duidelijke tweedeling tussen een zone in West- en Noord-Nederland waarin zout grondwater, met uitzondering van de duinen en de ‘zoetwaterbel van Hoorn’, zeer ondiep voorkomt en de zone die daar ten zuiden of westen van ligt waar het zoet-zout grensvlak veel dieper ligt.

- In het oostelijk deel van Nederland ligt het grensvlak relatief ondiep. Dit wordt veroorzaakt door de ondiepe ligging van zeer slecht doorlatende, mariene, kleilagen uit het tertiair.
- Het grensvlak heeft een sterke relatie met de holocene kustontwikkeling.

4.4 Invloed van grondwater op oppervlaktewater

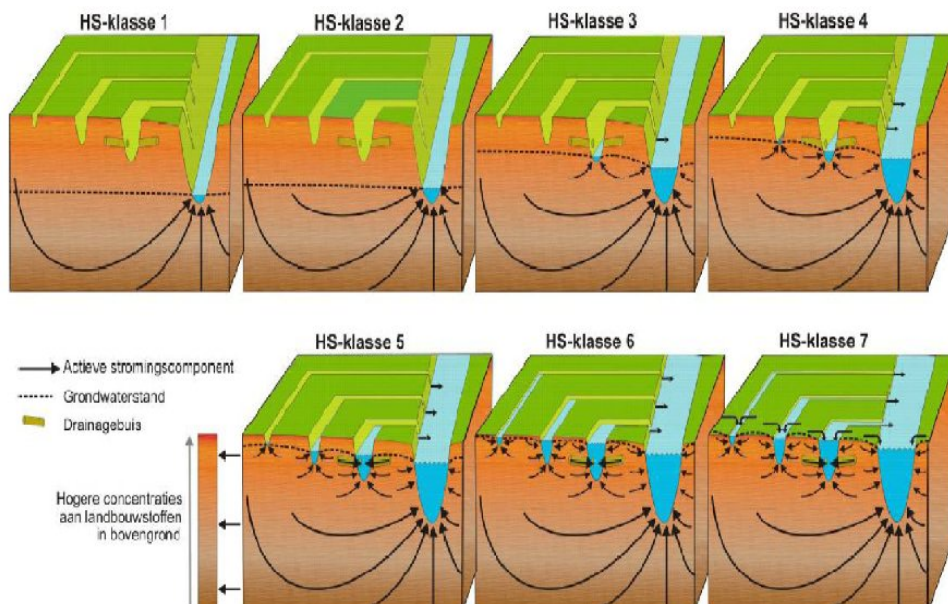
Het volgende voorbeeld beschrijft een generiek conceptueel model van de relatie tussen grondwater en oppervlaktewater voor de hooggelegen gebieden in Nederland bij verschillende hydrologische omstandigheden (Verhagen et al., 2007). Het conceptuele model zou als basis gebruikt kunnen worden bij de toestandbeoordeling van de effecten op aquatische ecosystemen. Aan de hand van een figuur met

een serie doorsneden van de ondergrond worden de processen beschreven die bij verschillende hydrologische omstandigheden spelen. In het voorbeeld wordt geen specifieke locatie beschreven maar wordt een generiek beeld geschetst van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater in de hogere, vrij afstromende gebieden in Nederland.

Omschrijving

Grond- en oppervlaktewater maken deel uit van hetzelfde hydrologische systeem. In Nederland zorgt het neerslagoverschot voor een grondwateraanvulling van ongeveer één meter per jaar. Om wateroverlast te voorkomen wordt het teveel aan grondwater afgevoerd door het (deels kunstmatige) stelsel van beken, sloten, greppels en drains. Het oppervlaktewater bestaat derhalve voor een groot deel uit afgevoerd grondwater. De oppervlaktewaterkwaliteit is de resultante van een bepaalde mengverhouding van grondwater afkomstig van verschillende diepteniveaus. Deze mengverhouding is afhankelijk van de afvoeromstandigheden; bij snelle afvoer verschuift de mengverhouding naar de ondiepere, snellere afvoercomponenten. Bij basisafvoer hebben de diepere, tragere afvoercomponenten meer invloed. Door de verschillen in waterkwaliteit tussen de diepteniveaus hebben de verschuivingen in de mengverhouding gevolgen voor de oppervlaktewaterkwaliteit (Rozemeijer en Broers, 2007).

In Figuur 4.5 wordt dit concept gevisualiseerd voor een geschematiseerde dwarsdoorsnede van een stroomgebied. Het bovenste grondwater is het meest verontreinigd door landbouwactiviteiten. Het diepere grondwater is schoner doordat veel verontreinigende stoffen sterk adsorberen in de ondiepe ondergrond (fosfaat en zware metalen) of worden afgebroken (nitraat). In Figuur 4.5 is de verontreinigingstoestand van de ondergrond met kleur gevisualiseerd (van rood naar bruin). In Figuur 4.5 is ook te zien dat het oppervlaktewater onder droge omstandigheden wordt gevoed vanuit het schone diepere grondwater (HS-klasse 1). Onder nattere omstandigheden gaat het ondiepe grondwater ook bijdragen aan de oppervlaktewaterafvoer. Na nog nattere periodes komt ook het bovenste grondwater langs zeer korte stroombanen via kleinere sloten, greppels en drains en eventueel



Figuur 4.5: Visualisatie van het conceptuele model voor de relatie tussen grond- en oppervlaktewater; grondwaterstromingscomponenten die onder verschillende afvoeromstandigheden (HS-classes) bijdragen aan het oppervlaktewater.

zelfs via oppervlakkige afstroming in de beek terecht. Vooral met deze snelle, oppervlakkige stroombanen wordt veel landbouwverontreiniging meegevoerd naar het oppervlaktewatersysteem.

Op basis van dit conceptuele model verklaren Verhagen et al. (2007) vervolgens de bijdrage van stikstof uit het grondwater aan het oppervlaktewater.

4.5 Invloed van grondwater op een terrestrisch ecosysteem

Onderstaand voorbeeld beschrijft de beïnvloeding van het natuurgebied Lemselermaten door grondwater (Aggenbach en Jansen, 2004). Dit voorbeeld zou gebruikt kunnen worden bij de toestandbeoordeling van de effecten op het terrestrische ecosysteem de Lemselermaten. Het voorbeeld geeft een terreinbeschrijving en een systeembeschrijving met een driedimensionaal profiel en gaat uitgebreid in op de hydrologische en geochemische processen in het grondwater.

Terreinbeschrijving

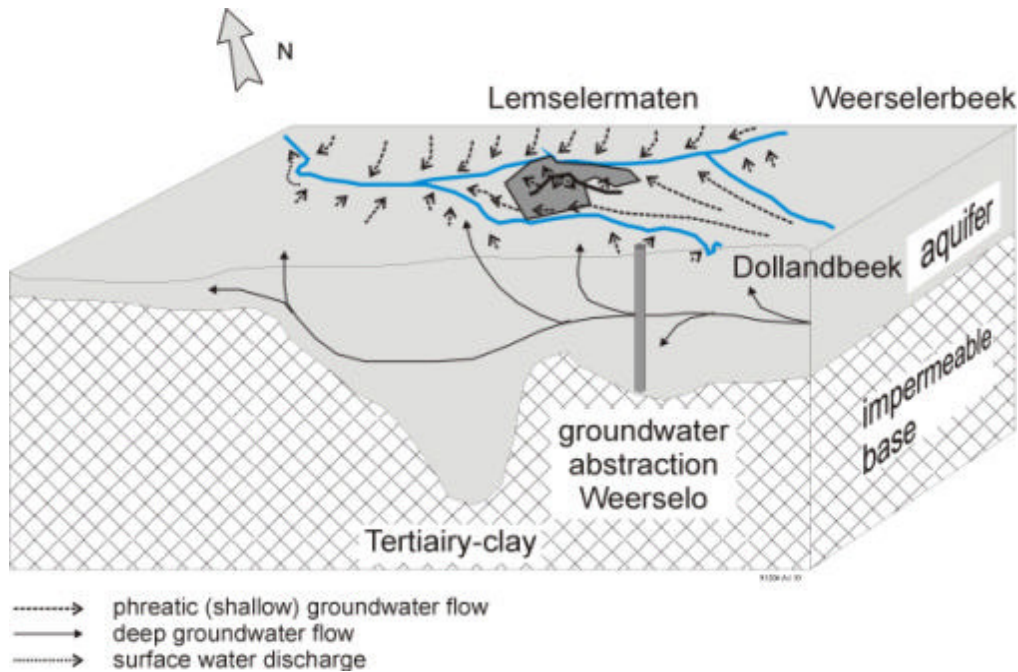
Het natuurreservaat Lemselermaten bestond tot het eind van de jaren tachtig uit een graslandperceel en was het laatste restant beekbegeleidend (orchideeënrijk) blauwgrasland in Twente. De soortenrijkdom van de vegetatie van dit grasland is sinds de jaren zeventig geleidelijk verminderd. Het perceel dat in dit onderzoek het 'Oude Maatje' wordt genoemd, wordt jaarlijks gemaaid. In 1988 werd een perceel aangekocht dat direct ten westen van het Oude Maatje ligt. Na aankoop is dit perceel verschaald via een beheer van maaien en afvoeren. In het onderzoek wordt dit grasland samen met het aangrenzende elzenbroekbos aangeduid als het 'Westelijke Maatje' of 'Nieuwe Maatje'. In 1990 is een landbouwperceel op de dekzandrug aan de oostzijde van het oorspronkelijke reservaat aangekocht. Dit perceel is heringericht tot natuurgebied, waarbij de bouwvoor 15 tot 30 cm diep is afgegraven en de buisdrains werden verwijderd. Tevens werd een perceelsloot gedempt. In het onderzoek wordt dit gebied aangeduid als 'Oostelijke Maatje'.

Systeembeschrijving

Lemselermaten ligt tussen de Weerselerbeek en de Dollandbeek die respectievelijk aan de noord- en zuidzijde van het gebied stromen. De onderzochte percelen liggen op de zuidflank van de Weerselerbeek. Het centrale deel bestaat uit een dekzandrug met landbouwgronden en natte heiden. Deze dekzandrug gaat geleidelijk over in de lage gronden van de beekdalen die bestaan uit elzenbroekbos en blauwgrasland. Vroeger kwam er in de laagste delen het *Scorpedio-Caricetum diandrae* voor (Jansen, 1991; Westhoff en Jansen, 1990). De elzenbroekbossen zijn ontstaan uit graslanden die in de jaren 40 en 50 van de vorige eeuw door boeren werden verlaten. Een groot deel van de dekzandrug werd ontgonnen en gedraineerd. De hydrologie wordt ook beïnvloed door kanalisatie van beide beken (omstreeks 1960) en een grondwaterwinning door Vitens (voorheen WMO) van 1 miljoen m³/j 1 km ten zuiden van het reservaat bij Weerselo. Deze winning startte in 1966. De verlagingen in Lemselermaten kunnen voor 90 % worden toegeschreven aan de beekpeilverlaging en voor 10 % aan de grondwaterwinning.

De lage beekdalgronden van Lemselermaten worden gevoed door basenrijk grondwater dat afkomstig is uit het watervoerende pakket boven de tertiaire kleilaag (zie Figuur 4.6). Omdat dit pakket in het noordwesten van het terrein dunner wordt, is aan de benedenstroomse zijde van het watervoerende pakket de doorlatendheid kleiner dan aan de bovenstroomse zijde. In deze geohydrologische overgang kwelt dit grondwater op in Lemselermaten en zorgt daar voor een buffering van de pH tussen 5,5 tot 7,0 en een basenverzadiging op het kationenadsorbtiecomplex van 50 tot 100 %. Alhoewel het kalkgehalte meestal kleiner is dan 0,3 % werd in 1991 in de diepere bodemlaag af en toe kalk aangetroffen (CaCO₃-gehalte van 0,3-5,0). Dat gaat samen met hoge pH-waarden van 6,5-7,0. Sinds de jaren 60 van de vorige eeuw zijn de concentraties SO₄²⁻ en Cl⁻ van het grondwater sterk toegenomen als gevolg van vermesting (metingen WMO). Vanuit de agrarisch gebruikte dekzandrug stroomt ook recent

geïnfiltreerd regenwater toe. Dit water heeft een lage basenrijkdom, maar wel hoge SO_4^{2-} en Cl^- -concentraties.



Figuur 4.6: Geohydrologie en grondwaterstroming in de Lemselermaten en omgeving (uit: Jansen, 2000).

Redox-processen in de bovenste bodemlaag hebben grote invloed op de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater en standplaatscondities (Jansen en Roelofs, 1996). Het sulfaat dat met het diepe grondwater wordt aangevoerd oxideert organisch materiaal. Hierbij wordt onder andere HCO_3^- en HS^- geproduceerd. Het sulfaatgehalte neemt dan af. In het ondiepe grondwater (1,5 m –mv) en in het oppervlaktewater van geïndeerde delen is het SO_4^{2-} -gehalte lager en het HCO_3^- -gehalte hoger dan die in het diepe grondwater bij Weerselo. Omdat HS^- verder kan reageren tot FeS kan de beschikbaarheid van P toenemen door oplossing uit FeCO_3 en Fe-P-complexen. Een toename van HCO_3^- kan leiden tot een sterkere decompositie van organisch materiaal waarbij extra N en P vrijkomen. Beide processen kunnen dus tot eutrofiëring leiden.

De hier beschreven processen zijn vooral werkzaam in delen waar de bodem een hoog organisch stofgehalte heeft (ongeplagde deel Oude Maatje en lage deel Westelijke Maatje). In geplagde delen treedt de sulfaatreductie en eutrofiëring aanvankelijk nog niet of nauwelijks op omdat de bodem een laag organisch stofgehalte heeft. Metingen aan poriewater in de toplaag van de bodem bevestigen dit: hoge waarden worden aangetroffen in ongeplagde delen van het Oude Maatje en in een deel van het Westelijke Maatje waar de bodem relatief rijk is aan organische stof. Op deze plekken is de vegetatie ook het meest productief (gewasanalyses). Het Oude Maatje is afgelopen decennia (voor de monitoringperiode die startte in 1991) geëutrofiëerd en vergrast met *Calamagrostis canescens*. De nutriëntenlimitatie is als volgt (De Haan et al., 1997). Het Oude Maatje dat nooit bemest is geweest, is P-gelimiteerd in zowel de ongeplagde als geplagde delen. Vermoedelijke oorzaak is dat dit perceel reeds langdurig wordt gemaaid en maaien leidt op den duur tot meer afvoer van P dan wordt aangevoerd (Koerselman, 1989). Het Westelijke Maatje (geplagd) is N-gelimiteerd zowel in het deel dat voorheen landbouwkundig werd gebruikt als het deel waar het elzenbroekbos is verwijderd.

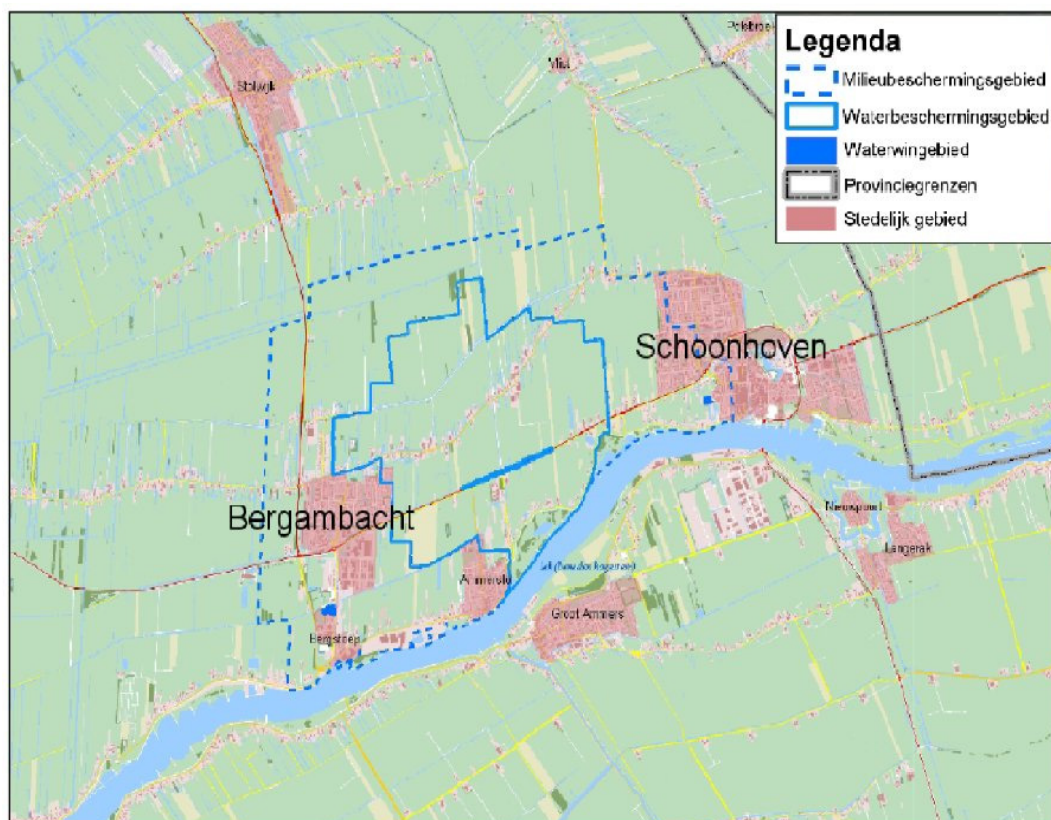
4.6 Het gebiedsdossier oeverinfiltratie Bergambacht

In een gebiedsdossier worden de aspecten beschreven die relevant zijn voor de waterkwaliteit. Het doel van het gebiedsdossier is vergelijkbaar met het doel van een conceptueel model, het scheppen van een gemeenschappelijk inzicht in de factoren die van belang zijn voor de kwaliteit van het onttrokken water. Dit vormt de input voor de uitwerking van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit ter plaatse van het onttrekkingspunt door de verschillende betrokken partijen. Het gebiedsdossier kan dus worden gebruikt voor communicatiedoeleinden, de ontwikkeling van maatregelen ten behoeve van de KRW-doelstellingen en als toetsingskader voor de drinkwaterfunctie bij ruimtelijke ontwikkelingen.

Onderstaand gebiedsdossier betreft de drinkwaterwinning bij Bergambacht (Wuijts et al., 2007). Ook dit conceptuele model zou gebruikt kunnen worden in de toestandbeoordeling ten aanzien van de effecten op het drinkwater bij Bergambacht. Het gebiedsdossier geeft een beschrijving van de winning inclusief de probleemstoffen, een kaartje met de ligging van onder meer het waterbeschermingsgebied en een driedimensionaal profiel met de (hydro)geologie van de ondergrond.

Omschrijving

Het waterleidingbedrijf Oasen exploiteert de oevergrondwaterwinning Bergambacht. Deze winning voorziet ongeveer 280.000 consumenten in de provincie Zuid-Holland van drinkwater. Als bron voor

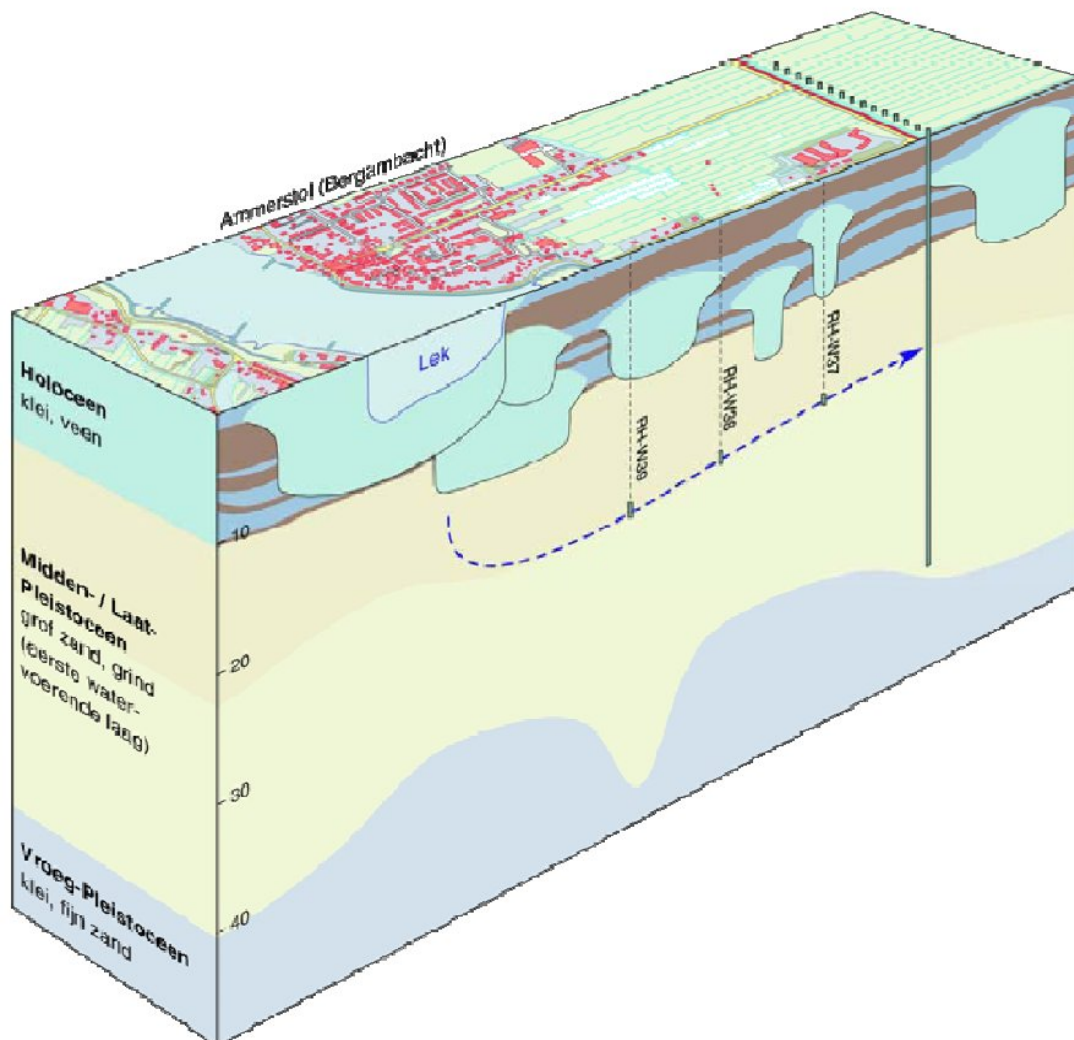


Figuur 4.7: Overzicht beschermingsgebied winning Bergambacht gelegen langs de Lek.

de drinkwaterproductie wordt gebruikgemaakt van oevergrondwater. Rivierwater uit de Lek infiltreert naar het grondwater en wordt op 500- 1000 m afstand van de rivier onttrokken. De totale onttrokken

hoeveelheid grondwater bedroeg in de afgelopen jaren ruim 14 M m³/jaar. De winning Bergambacht is gesitueerd evenwijdig aan de Lek (zie Figuur 4.7). Het ruwwater wordt onttrokken uit het eerste watervoerend pakket, op een diepte van circa NAP - 15 m tot circa NAP - 40 m. De Lek doorsnijdt de afsluitende deklaag ter plaatse. Het onttrokken water bestaat voor 60 % uit rivierwater, voor 20 % uit water dat toestroomt uit de uiterwaarden van de Lek (een mengsel van neerslag en rivierwater) en voor 20 % uit polderwater (polder Bergambacht en Krimpenerwaard). De bodemopbouw is schematisch weergegeven in Figuur 4.8.

De bodempassage vormt een belangrijk onderdeel van het zuiveringsproces. De verblijftijd varieert van minimaal ongeveer 3,3 jaar (10 % van het onttrokken water) tot maximaal 275 jaar (90 % van het onttrokken water) en bedraagt gemiddeld 10 jaar. Tijdens bodempassage van infiltrerend rivier- of polderwater treden grote hydrochemische veranderingen op. De samenstelling van het oorspronkelijk



Figuur 4.8: Conceptueel model oevergrondwaterwinning Bergambacht.

geïnfiltreerde zuurstof- en nitraatrijke water verandert door interactie met slib-, klei- en veenlagen in

anaeroob grondwater. Veel van de in het oppervlaktewater aanwezige stoffen worden tijdens de bodempassage effectief verwijderd. Een aantal organische en anorganische microverontreinigingen (met name de slecht afbreekbare polaire stoffen) wordt echter niet of nauwelijks verwijderd, zoals bentazon, diglyme, dikegulac, MTBE et cetera (Timmer et al., 2007). Een ander kenmerk van bodempassage is dat het een proces is dat niet kan worden gestopt zoals de directe inname van oppervlaktewater. Kwaliteitscalamiteiten kunnen zich na jaren manifesteren in het onttrokken oevergrondwater.

4.7 Conclusies

Dit hoofdstuk laat zien wat voor conceptuele modellen er in de praktijk in Nederland zoal gebruikt worden. Deze voorbeelden zijn primair bedoeld voor communicatie van de situatie en het (potentiële) probleem in een gebied met anderen. De voorbeelden zijn verkregen uit de rapportages van onderzoeksinstituten en ingenieursbureaus en worden gerekend tot de ‘grijze literatuur’.

De voorbeelden geven allemaal een beschrijving van een gebied, deels op basis van een systeembenadering, en de potentiële problemen. Sommige voorbeelden zijn generiek van aard, zoals het voorbeeld van de relatie tussen grond- en oppervlaktewater, andere locatiespecifiek zoals de voorbeelden van Apeldoorn, Bergambacht en Lemselermaten. Meestal wordt een (hydro)geologisch profiel gebruikt om de situatie beter te definiëren. In de locatiespecifieke voorbeelden wordt dit aangevuld met een kaart van het gebied of wordt een driedimensionaal profiel gebruikt. De generieke conceptuele modellen kunnen gebruikt worden om locatiespecifieke conceptuele modellen te ontwikkelen.

De voorbeelden zijn meestal niet primair ontwikkeld voor gebruik binnen de KRW/GWR maar zouden daarvoor eventueel aangepast kunnen worden.

5 Bouwstenen voor conceptuele modellen

Het gebruik van conceptuele modellen wordt voorgeschreven in de GWR ‘teneinde na te gaan of is voldaan aan de voorwaarden voor een goede chemische toestand’. Dit gebruik van conceptuele modellen in de GWR wordt praktisch verder uitgewerkt in het richtsnoer *Status and Trend Assessment*. Daarnaast wordt het gebruik van conceptuele modellen in de verschillende stappen van de waterbeheercyclus aanbevolen in de richtsnoeren voor *Pressures and Impacts*, *Preventing and Limiting* en *Monitoring*.

Het vorige hoofdstuk geeft een aantal voorbeelden van deze conceptuele modellen. Een enkele uitzondering daargelaten zijn de meeste conceptuele modellen uit deze voorbeelden niet specifiek voor de KRW/GWR ontwikkeld. Dit betekent niet dat deze conceptuele modellen voor de KRW/GWR van begin af aan ontwikkeld moeten worden. Vanuit andere kaders is in veel gevallen al veel informatie en kennis verzameld die als bouwstenen kunnen dienen om de conceptuele modellen zoals die vanuit de KRW/GWR worden gevraagd, te ontwikkelen.

Dit hoofdstuk tracht een overzicht te geven van deze bouwstenen voor conceptuele modellen. In dit hoofdstuk wordt per richtsnoer de beschikbare bouwstenen voor conceptuele modellen beschreven.

5.1 Pressures and Impacts

Het richtsnoer *Pressures and Impacts* kan gebruikt worden bij de ‘at risk’-beoordeling in de karakterisering van de grondwaterlichamen. Conform de KRW hebben RIVM en RIZA in 2004 een eerste en nadere karakterisering uitgevoerd van de verschillende grondwaterlichamen in Nederland. In deze karakterisering is een risicoanalyse uitgevoerd om te beoordelen of het grondwater in 2015 aan de eisen van de KRW zal voldoen. In de karakterisatie van het grondwater wordt een onderscheid gemaakt tussen de grondwaterkwantiteit en de grondwaterkwaliteit, de chemische toestand. Beide aspecten zijn van belang bij de beoordeling van de huidige toestand en bij de risicoanalyse. In de karakterisatie-rapporten wordt een generiek conceptueel model gebruikt ten aanzien van de grondwaterkwantiteit, voor grondwaterkwaliteit is geen conceptueel model toegepast.

Voor de ontwikkeling van conceptuele modellen die bij het ‘at risk’-assessment gebruikt zouden kunnen worden, is relevante kennis beschikbaar in modelsystemen zoals het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (zie Bijlage 1) dat door het Planbureau voor de Leefomgeving, Deltares, Alterra en anderen wordt ontwikkeld. Voor de opbouw van de ondergrond wordt daarbij gebruikgemaakt van de data uit REGIS (<http://www.dinoloket.nl/>). Voor grondwaterkwaliteit zou gebruikgemaakt kunnen worden van de kennis die in het kader van het modelsysteem STONE (<http://www.stone.alterra.nl/>) en STROMON (Rozemeijer en Broers, 2007) is ontwikkeld.

5.2 Monitoring

Voor de ontwikkeling van het grondwatermeetnet is veelal impliciet gebruikgemaakt van een conceptueel model door bij de selectie van de meetpunten in meer of mindere mate rekening te houden met het type landgebruik, bodemtype en de hydrologie op basis van de kwel- en infiltratiekaarten. In sommige grondwaterlichamen zijn relatief meer meetpunten geselecteerd in de gevoelige gebieden, veelal droge zandgronden met een hoge belasting waar de kans op antropogene beïnvloeding van het grondwater relatief hoger is.

5.3 Preventing and Limiting

De basisinformatie ten aanzien van de bodemverontreinigingslocaties is verzameld in databasesystemen zoals Globis (<http://www.globis.nl/>). Globis staat voor Geografisch landelijk overheids bodeminformatiesysteem. Globis is ontwikkeld voor het ondersteunen van de dagelijkse werkzaamheden rondom bodemtaken van provincies en een aantal gemeenten, de zogenoemde 'bevoegde overheden Wet Bodembescherming'. Op basis van de informatie in Globis kunnen conceptuele modellen worden ontwikkeld.

Naar verwachting zijn voor de meeste grote bodemverontreinigingslocaties al conceptuele modellen ontwikkeld. In opdracht van de overheid en bedrijfsleven is de toestand van de bodem en het grondwater op deze locaties waarschijnlijk door advies- en ingenieursbureaus onderzocht. Wellicht zijn er al operationele grondwatermodellen gebruikt om meer inzicht te krijgen in de verspreiding van de verontreiniging en om een beter onderbouwde keuze te maken in de maatregelen die genomen zouden moeten worden. De rapportages van deze studies bevatten waarschijnlijk al veel relevante informatie voor de ontwikkeling van een locatiespecifiek conceptueel model.

5.4 Status and Trend Assessment

5.4.1 Zoet-zoutgrens

De ligging van de zoet-zoutgrens in Nederland en het bijbehorende conceptuele model van de zoet-zoutgrens worden uitgebreid beschreven in het rapport van Stuurman en Oude Essink (2006). Het conceptuele model van de zoet-zoutgrens is in dit rapport overgenomen als een van de voorbeelden in paragraaf 4.3.

5.4.2 Aquatische ecosystemen

Voor de beïnvloeding van de aquatische ecosystemen door grondwater zijn veelal generieke conceptuele modellen ontwikkeld zoals het conceptuele model voor Noord-Brabant (Rozemeijer en Broers, 2007). Daarnaast bestaan er ook locatiespecifieke conceptuele modellen zoals voor de Vlietpolder (Meinardi, 2005) en Bergambacht (Wuijts et al., 2007). Waarschijnlijk bestaat er een groot aantal studies die de invloed van het grondwater op het oppervlaktewater beschrijven. Deze studies zullen meestal in opdracht van de waterschappen zijn uitgevoerd door adviesbureaus.

Voor de ontwikkeling van conceptuele modellen ten aanzien van de invloed van het grondwater op het oppervlaktewatersysteem is relevante kennis beschikbaar in modelsystemen zoals het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, STONE en regionale studies zoals STROMON.

5.4.3 Terrestrische ecosystemen

Ook voor de grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen bestaat er waarschijnlijk een groot aantal studies die de interactie met het grondwater beschrijven, met name vanuit de verdrogingsbestrijding. Deze studies zullen veelal zijn uitgevoerd door advies- en ingenieursbureaus in opdracht van de terreinbeherende instanties en/of de provincies. Op nationale schaal bestaan er inventarisaties van de verdroogde natuurgebieden (Taskforce Verdrogingsbestrijding). De invloed van de grondwaterkwaliteit op de terrestrische ecosystemen is waarschijnlijk minder uitgebreid onderzocht dan de invloed van verdroging en grondwaterkwantiteit.

Een groot gedeelte van de noodzakelijke kennis voor de ontwikkeling van conceptuele modellen voor de grondwaterafhankelijke terrestrische ecosystemen is voor de Natura 2000-gebieden al verzameld.

Voor alle Natura 2000-gebieden is een knelpunten- en kansanalyse uitgevoerd die onder meer ingaat op de invloed van het grondwater (KIWA, 2007).

5.4.4 Drinkwater

Voor een gedeelte van de drinkwaterpompstations bestaan conceptuele modellen over de antropogene beïnvloeding van het grondwater en de ligging van de intrekgebieden. De ligging van de intrekgebieden is bepaald voor de definitie van de grondwaterbeschermingsgebieden. Binnen deze gebieden zijn alle antropogene activiteiten die de kwaliteit van het grondwater negatief kunnen beïnvloeden niet toegestaan. Deze conceptuele modellen zijn veelal aanwezig bij de drinkwaterbedrijven.

5.5 Conclusies

Bovenstaand overzicht laat zien dat er al een aantal bouwstenen voor de ontwikkeling van conceptuele modellen beschikbaar is. De informatie is veelal aanwezig, is bekend bij de direct betrokkenen, advies- en ingenieursbureaus en is gedeeltelijk opgeslagen in databestanden.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In de GWR en EU-richtsnoeren wordt het conceptuele model veelvuldig genoemd als instrument bij de uitvoering van de KRW. Bijvoorbeeld bij het opstellen van het monitoringprogramma, het bepalen van milieurisico's voor grondwaterlichamen en het beoordelen van de toestand van grondwaterlichamen.

In de richtsnoeren worden conceptuele modellen volgens twee benaderingen gebruikt. Ten eerste zijn conceptuele modellen een instrument dat de interdisciplinaire communicatie moet faciliteren tussen onderzoekers uit verschillende wetenschappelijke velden en beleidsmakers. Ten tweede worden ze ook binnen de praktijk van de KRW voorgesteld als een onderdeel voor het opstellen van hydrologische modellen en/of schematisaties. In de richtsnoeren worden beide benaderingen door elkaar en ongeveer in gelijke mate gebruikt. In de richtsnoeren is geen duidelijke afbakening tussen de beide benaderingen.

De definities van conceptuele modellen in de richtsnoeren rond de KRW en GWR vertonen verschillen en lijken niet afgeleid van één basisdefinitie. Hoewel een conceptueel model in kwalitatieve termen een probleemgebied kan beschrijven, worden in de richtsnoeren deze kwalitatieve termen ook kwantitief ingevuld. Uit de richtsnoeren blijkt dat een conceptueel model hoort bij de karakterisatie van een grondwaterlichaam maar dat de moeilijkheidsgraad of complexiteit van het model kan variëren afhankelijk van de situatie. Een kenmerk van conceptuele modellen is ook dat zij worden doorontwikkeld door gebruik te maken van nieuwe kennis over het onderzoeksgebied.

In de monitoringcyclus, zoals opgenomen in het Draaiboek monitoring grondwater (VROM, 2006), moeten bij verschillende stappen van de monitoringcyclus conceptuele modellen worden gebruikt. Op basis van de definities in de richtsnoeren is het mogelijk om voor elke stap in de monitoringcyclus een afzonderlijk model op te stellen. Vanuit het oogpunt van efficiëntie en consistentie is dit echter onwenselijk.

Uit de voorbeelden van conceptuele modellen blijkt dat de modellen een aantal elementen met elkaar gemeen hebben, ondanks de grote verschillen in toepassingen. Kenmerken van de hier gepresenteerde conceptuele modellen zijn dat zij een kaartje en/of figuur bevatten, een doorsnede van de ondergrond en een indicatie van relevante processen. Deze kenmerken worden meestal samen in één plaatje weergegeven. Naast de grafische weergave van het model is er een toelichtend verhaal. De modellen blijven redelijk op beschrijvend (kwalitatief) niveau, eventueel aangevuld met initiële of globale kwantitatieve berekeningen. Hoewel in sommige gevallen operationele en mathematische / hydrologische modellen beschikbaar zijn, zijn deze modellen niet noodzakelijk voor het begrip van het conceptuele model. Daarnaast zijn conceptuele modellen vaak gebonden aan een bepaalde locatie in de ruimte; zij beschrijven een probleemgebied op een bepaalde locatie.

Verder blijkt uit de voorbeelden dat deze veelal niet direct in de openbare literatuur beschikbaar zijn maar wel te vinden zijn in rapportages van ingenieurs- en adviesbureaus, opgesteld voor de waterschappen en provincies. De basiskennis om conceptuele modellen te ontwikkelen is veelal wel beschikbaar in de openbare literatuur. Deze basiskennis dient daarbij op sommige punten nog wel aangevuld te worden met specifieke kennis uit het toepassingsgebied van de KRW

6.2 Aanbevelingen

Binnen de monitoringcyclus zoals vastgelegd in het Draaiboek monitoring grondwater (VROM, 2006) is op diverse momenten een conceptueel model nodig, maar dat is niet noodzakelijkerwijs een conceptueel model dat uitgaat van dezelfde kennis. Vanzelfsprekend zullen de afzonderlijke modellen

zijn (of worden) afgeleid op basis van dezelfde gebiedskennis maar door het ontbreken van een gezamenlijke basis is consistentie en efficiëntie niet gegarandeerd. Het wordt dan ook sterk aanbevolen om de afzonderlijke conceptuele modellen te verzamelen en samen te voegen tot één kennisbasis, bijvoorbeeld kennis vastgelegd in een databank, die beschikbaar is voor zowel beleidsmakers als onderzoekers. Voor een vervolgstudie zal het ontwikkelen en beschikbaar maken van deze gezamenlijke kennisbasis ook een hoofddoel moeten zijn. Het RIVM wil deze kennisbasis ontwikkelen als onderdeel van zijn kennisreferentiefunctie.

Met deze kennisbasis kunnen ook nieuwe conceptuele modellen worden ontwikkeld en kan inzichtelijk worden gemaakt waar kennis ontbreekt. Door een overzichtelijke kennisbasis kunnen lacunes in deze kennis snel en efficiënt worden ingevuld. Om de kennisbasis te kunnen maken die de relevante kennis voor alle beheerders (grondwater, oppervlaktewater en terrestrische ecosystemen) uiteindelijk samenbrengt moet een eenduidige structuur worden ontwikkeld. Om de kennisbank een eenduidige structuur te geven kunnen de meer en minder essentiële onderdelen van het conceptueel model gedefinieerd worden. In een pilotstudie kan voor een gebied (grondwaterlichaam) met betrokken beheerders en onderzoekers worden bediscussieerd hoe de kennis van het gebied geïntegreerd kan worden tot één enkel conceptueel model.

Het resultaat van de voorgestelde pilotstudie is een definitie van de meer en minder essentiële onderdelen van een conceptueel model en de ontwikkeling van een kennisbank (database) waarin de gegevens van conceptuele modellen kunnen worden opgenomen. Omdat de kennisbasis voornamelijk zal bestaan uit rapportages ('grijze literatuur') zal de kennisbank ook veel verwijzingen geven naar de rapportages en kenmerken van de in de rapportages genoemde conceptuele modellen bevatten.

Aan de hand van de ervaringen opgedaan in de pilotstudie, kan de uiteindelijke kennisbasis ontwikkeld worden. Een stappenplan voor deze ontwikkeling zou er als volgt uit kunnen zien:

1. inventariseren waar deze kennis/conceptuele modellen zich bevinden en hoe deze kennis openbaar gemaakt kan worden;
2. samenvoegen van de kennis/conceptuele modellen in de databank en aangeven van relaties tussen modellen;
3. weer beschikbaar maken van de verzamelde informatie.

Ad 1 Een probleem bij deze stap is dat een deel van de kennis mogelijk een strategisch onderdeel is van afzonderlijke ingenieursbureaus en kennisinstituten. Veel van de kennis ligt opgeslagen in het circuit van de 'grijze literatuur' en is meestal niet direct publiek toegankelijk. In samenspraak met de eigenaren van de kennis (i.c. de rapportages) en de opdrachtgevers van de onderzoeken kan gezocht worden naar een oplossing. Vooralsnog lijkt het verstandig om voornamelijk kwalitatieve kennis te verzamelen, eventueel ingevuld met kwantitatieve gegevens. Het verzamelen van operationele (mathematische/hydrologische) modellen lijkt op basis van de richtsnoeren in de meeste gevallen niet nodig.

Ad 2: De kennis kan samengevoegd worden in een centraal systeem, bijvoorbeeld een website, die eventueel is voorzien van een index of een zoekstelsel. Omdat conceptuele modellen meestal een gebied beschrijven, is de meest eenvoudige relatie tussen de modellen de ruimtelijke locatie waarop het model betrekking heeft. In kaarten kan deze relatie dan worden weergegeven. Ook kunnen er per milieucompartiment, of relaties tussen compartimenten die in het model beschreven worden, relaties worden gelegd.

Ad 3: De verzamelde informatie zou in het ideale geval publiek beschikbaar moeten zijn zodat zij weer als basis kan dienen voor nieuw onderzoek. Nieuwe conceptuele modellen kunnen direct gebruikt worden bij de uitvoering van de diverse stappen zoals beschreven in de monitoringscyclus en/of de richtsnoeren. De presentatie van de informatie zou kunnen bestaan uit een kaart, een doorsnede en indicatie van relevante processen.

Om de verschillende conceptuele modellen, al dan niet nieuw ontwikkeld, op elkaar af te stemmen, verdient het de voorkeur om deze volgens een overkoepelende methodiek te ontwikkelen. Op dit moment wordt er een nieuw richtsnoer geïnitieerd over conceptuele modellen en het heeft de voorkeur om hierbij aan te sluiten.

Omdat veel conceptuele modellen locatiespecifiek zijn, – zij zijn gemaakt voor een bepaald gebied, deelstroomgebied, grondwaterlichaam, waterlichaam, Natura 2000-gebied, drinkwatergebied –, is het mogelijk deze in een ruimtelijk overzicht weer te geven. Dit ruimtelijk overzicht is een kaart waarop de locaties staan waarvan conceptuele modellen beschikbaar zijn. Mogelijk onderverdeeld naar onderzoekselement of toegepaste concepten.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S. , Jansen, A.J.M. (2004). Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in beekdalen (Twenthe) en natte duinvalleien in het Renodunale District (Goeree-Overflakkee). Rapport EC-LNV nr. 2004/280-O, Den Haag.
- Apeldoorn (2005). Werken aan water, Apeldoorns waterplan. Gemeente Apeldoorn en Waterschap Veluwe.
- Beekman, H. E. (1991). Ion Chromatography of Fresh- and Seawater Intrusion. Multicomponent dispersive and diffusive transport in groundwater, Ph.D.-thesis, Free University of Amsterdam.
- Bredehoeft, J. (2005). The conceptualization model problem - surprise. Hydrogeology Journal, vol. 13, no. 1, pp. 37-46.
- EC (2008) Grondwaterbescherming in Europa. De nieuwe Grondwaterrichtlijn- consolidering van het EU-juridisch kader. Europese Commissie. Directoraat-generaal Milieu-informatiecentrum. ISBN 978-92-79-09823-9.
- Haan, de, M.W.A., Jansen, A.J.M., Molenaar, W.J. (1997). Monitoring Overlevingsplan Bos en Natuur. Eindrapport fase 2: Lemsenermaten, Stroothuizen, Punthuizen, Middelduinen, Kil en Reggers-Sandervlak. KOA 97.233, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- Heemskerck, M., Wilson, K., Pavao-Zuckerman, M. (2003). Conceptual Models as Tools for Communication Across Disciplines. Conservation Ecology, vol. 7, no. 3, p. 8.
- Hgb II (2007) Handreiking Gebiedsgericht beheer II. Gebiedsgericht beheer van verontreinigd grondwater, Handreiking II. SKB project PP6235,
- Hgb (2006) Handreiking Gebiedsgericht beheer. Handreiking ten behoeve van gebiedsgericht beheer verontreinigd grondwater, achtergronddocument DEEL II: de beschrijving van specifieke case studies. SKB project PP5302,
- IDsW. (2008) Het waterwoordenboek van Aquo-Lex. <http://www.idsw.nl/standaarden/woordenboek> (laatst geraadpleegd 8 juni 2009).
- IPO/RIZA (2000). Inventarisatie van verdroogde gebieden 2000. Interprovinciaal Overleg/Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, IPO publicatie nr. 145, Den Haag.
- Inkpen, R. (2007), Science, Philosophy and Physical Geography Routledge, London.
- Jansen, A.J.M. (1991). Effectgerichte maatregelen tegen verzuring van natte schraallanden prae-advies Lemselermaten. SWO 91.251, Kiwa N.V., Nieuwegein.
- Jansen, A.J.M., Roelofs, J.G.M. (1996). Restoration of Cirsio-Molinietum wet meadows bij sod cutting. Ecological Engineering 7 p.279-298.
- Jansen, A.J.M. (2000). Hydrology and restoration of wet heathland and fen meadows communities. Dissertatie Rijksuniversiteit Groningen.
- KIWA (2007) Knelpunten- en kansanalyse Natura 2000-gebied – Nieuwkoopse Plassen en De Haeck. Werkdocument. <http://www.minlnv.nl/natura2000/>
- Koerselman, W. (1989). Hydrology and nutrient budgets of fens in an agricultural landscape. Proefschrift. Universiteit Utrecht. Utrecht. 164 pp..

- Kremers A.H.M. en van Geer, F.C. (1998). Monitoring Actuele Grondwaterstanden 1998. Het grondwaterstandsverloop afgezet tegen de historische grondwaterkarakteristiek voor een aantal meetlocaties in Nederland en in 'verdrogingsgebieden'. NITG-TNO 99-103-B, Delft.
- Kremers A.H.M. en van Geer, F.C. (2000). Trendontwikkeling Grondwater 2000 (analyseperiode 1955-2000). NITG-TNO 00-184-B, NITG-TNO Delft.
- Lieste, R., Witte, J.P.M., de Nijs, A.C.M., Aggenbach, C.J.S., Pieters, B.J., Runhaar, J., Verweij, W. (2007). Beoordeling van de grondwatertoestand op basis van de Kaderrichtlijn Water RIVM rapport 607300003, Bilthoven.
- McMahon, A., Heathcote, J., Carey, M., Erskine, A. (2001). Guide to Good Practice for the Development of Conceptuel Models and the Selection and Application of Mathematical Models of Contaminant Transport Processes in the Subsurface.. Environmental Agency, Bristol, National Groundwater & Contaminated Land Centre Report NC/99/38/2.
- Meinardi (2005). Stromen van water en stoffen door de bodem en naar de sloten in de Vlietpolder RIVM-rapport 500003004, Bilthoven.
- Refsgaard, J. C., Henriksen, H. J. r. (2004). Modelling guidelines--terminology and guiding principles. *Advances in Water Resources*, vol. 27, no. 1, pp. 71-82.
- Robinson, S. (2006). Issues in Conceptuel Modelling for Simulation: Setting a Research Agenda. Proceedings of the 2006 OR Society Simulation Workshop edn, S. Robinson et al., eds. Warwickshire
- Rolf, H.L.M., (1989). Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland. Onderzoek van DGV-TNO in opdracht van het Ministerie van Verkeer & Waterstaat,
- Rozemeijer, J.C., Broers,H.P. (2007). The groundwater contribution to surface water contamination in a region with intensive agricultural land use (Noord-Brabant, The Netherlands). *Environmental Pollution* 148 p. 695-706
- Seifert, D., Sonnenborg, T., Scharling, P., Hinsby, K. (2008). Use of alternative conceptual models to assess the impact of a buried valley on groundwater vulnerability. *Hydrogeology Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 659-674.
- Stuurman, R. Oude Essink, G. (2006). Monitoring zoutwaterintrusie naar aanleiding van de Kaderrichtlijn Water 'verzilting door zoutwaterintrusie en chloridevervuiling'. TNO Bouw en Ondergrond Rapportnummer 2006-U-R0080/A, Utrecht.
- Timmer, H., Genuchten, C. van, Driel, F., (2007). Actuele kwaliteit van het infiltrerende River en polderwater. Rapportage in het kader van de inspectierichtlijn harmonisatie meetprogramma drinkwaterkwaliteit. Oasen, Gouda.
- Van der Perk, M. (2006). *Soil and Water Contamination*. Taylor and Francis, Leiden.
- Van Gaans, P. F. M. (1998). The role of modelling in geochemical engineering-a (re)view. *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 62, no. 1-3, pp. 41-55.
- Van Waveren, R. H., Groot, S., Scholten, H., van Geer, F. C., Wosten, J. H. M., Koeze, R. D., Noort, J. J. (1999). *Good Modelling Practice Handbook*, RWS-RIZA, STOWA report 99-05.
- Verhagen, F., Broers, H.P. , Krikken, A., Rozemeijer, J. van Ek, R. , van Vliet, M. , van der Grift, B. , Heerdink, R., Knobben, R. (2007) Invloed van grondwater op oppervlaktewater Regionale differentiatie in Noord-Brabant. TNO Rapport 9S5637/R0001/900642/DenB,
- VROM, (2006). Draaiboek monitoring grondwater, versie 1.2, rapport 9S1139/R00001/900642/DenB

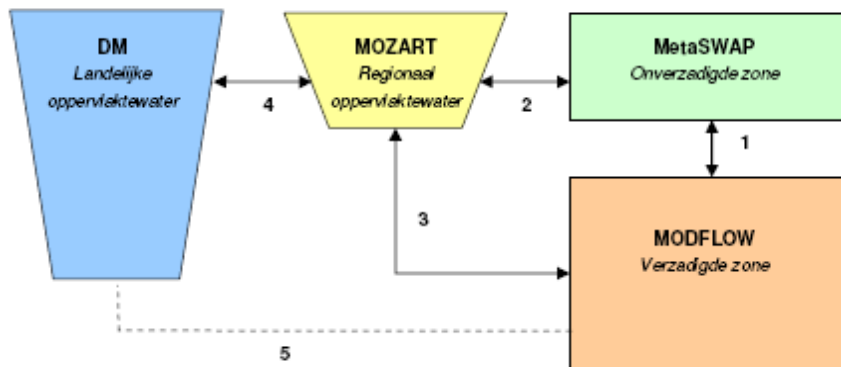
Westhoff, V., Jansen, A.J.M. (1990). Vegetatiegegevens uit de jaren veertig van Noordoost-Twente. KIWA-rapport SWE-89.025 Nieuwegein.

Wuijts S, Rijswick HFMW van, Dik HHJ (2007) Gebiedsdossiers voor drinkwaterbronnen, uitwerking van risico's en ontwikkeling van maatregelen . RIVM-rapport 734301032, Bilthoven.

Zijp MC, Wienhoven M, Rijswick HFMW van, Nijs ACM de, Pieters BJ, Verweij W (2007) Uitzonderingsbepalingen in de Kaderrichtlijn Water en de Grondwaterrichtlijn. Drie grondwatercasussen die in Nederland spelen. RIVM-rapport 607300007, Bilthoven.

Bijlage 1 Nationaal Hydrologisch Instrument

Voor landelijke beleidsstudies met betrekking tot het grondwater zijn de instituten Deltares, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) en WUR/Alterra een Nationaal Hydrologisch Instrument (NHI) aan het ontwikkelen. Met dit instrument kunnen oppervlaktewater en grondwaterstromingen op landelijke schaal berekend worden. Hiermee worden operationele en strategische vragen van uit het beleid (ministerie van Verkeer en Waterstaat/Waterdienst en VROM) beantwoord.



Figuur B1: Koppeling tussen modelonderdelen van het Nationaal Hydrologisch Instrument. Vet gedrukt zijn de name van de modelcodes, cursief het compartiment waarop de code betrekking heeft (uit: Snepvangers et al., 2008).

In Figuur B1 is schematisch weergegeven hoe de afzonderlijk concepten binnen het NHI gekoppeld zijn. De vier concepten in Figuur B1 geven compartimenten weer waarbinnen met afzonderlijke modelcodes de waterstromingen worden gemodelleerd. Aan de deze modelcodes liggen weer aparte concepten ten grondslag.

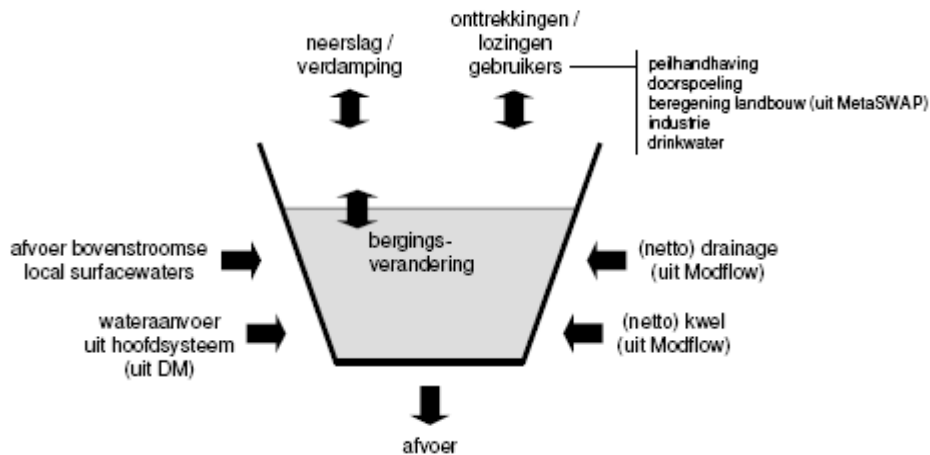
Voor het modelleren van de grond- en oppervlaktewaterstromen is gebruikgemaakt van bestaande modellen die deels voor het NHI zijn aangepast. Deze modellen zijn gebaseerd op verschillende benaderingen (rekenwijze) en concepten. Als voorbeeld worden twee compartimenten nader toegelicht.



Figuur B2: Conceptueel model van de vier modellagen die gebruikt zijn voor het modelleren van de verzadigde zone (ModFlow) (uit: Snepvangers et al., 2008).

Figuur B2 laat de concepten zien in het compartiment ‘verzadigde zone’. Dit vierlagenmodel bestaat uit watervoerende en slecht doorlatende lagen. Op basis van de het REgionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS), een schematisatie van de Nederlandse ondergrond, worden deze vier modellagen

nader ingevuld. Deze invulling geeft uiteindelijk de (geohydrologische) opbouw in de ondergrond weer.



Figuur B3: Conceptueel model van de vier modellagen die gebruikt zijn voor het modelleren van de verzadigde zone (ModFlow) (uit: Snepvangers et al., 2008).

De concepten die gebruikt worden bij het compartiment ‘regionaal oppervlaktewater’ zijn van heel andere aard dan bij de ondergrond. Het doel van MOZART, het gebruikte model, is om de verdeling van water in de regionale watersystemen te modelleren. Het model is gebaseerd op vraag en aanbod van het water voor het watersysteem.

Het NHI is gebaseerd op verschillende concepten, zoals ‘onderverzadigde zone’ en ‘regionaal oppervlaktewater’ en de relatie tussen deze concepten. Elk afzonderlijk concept heeft weer eigen concepten die op verschillende wijze ingevuld kunnen worden.

Het NHI is op dit moment sterk in ontwikkeling maar de concepten die er aan ten grondslag liggen, zijn van belang voor lokale en regionale studies. Eén van de doelen van het NHI is om te dienen als raamwerk voor regionale modellen. Op basis van het NHI kan landelijk consistentie worden aangebracht in de lokaal gebruikte concepten.

Literatuur

Snepvangers, J., Veldhuizen, A., Prinsen, G., Delsman, J., 2008, Nationaal Hydrologisch Instrumentarium - NHI, modelrapportage. Deltares rapport NHI\FASE_1+2008\HR_v2

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl