



# **Advies voor een uitvoeringsprogramma Grondwater** Actief Bodembeheer De Kempen

Projectbureau ABdK

27 februari 2004  
Definitief rapport  
9M9208





**HASKONING NEDERLAND BV**  
**RUIMTELIJKE ONTWIKKELING**

Boschveldweg 21  
Postbus 525  
5201 AM 's-Hertogenbosch  
+31 (0)73 687 41 11 Telefoon  
+31(0)73 612 07 76 Fax  
info@den-bosch.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoning.com Internet  
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Advies voor een uitvoeringsprogramma  
Grondwater  
Actief Bodembeheer De Kempen  
Verkorte documenttitel Uitvoeringsprogramma Grondwater  
Status Definitief rapport  
Datum 27 februari 2004  
Projectnaam Actief Bodembeheer De Kempen  
Projectnummer 9M9208  
Auteurs ir F.Th. Verhagen, drs A. Krikken,  
drs ir. G. Wilms, ir C. van den Brink  
en drs B. van der Grift  
Referentie 9M9208/R00010/FvE/DenB

Auteurs ir F.Th. Verhagen, drs A. Krikken, drs ir G. Wilms, ir  
Collegiale toets ir F.J. Jorna  
Datum/paraaf .....  
Vrijgegeven door ir J.W.P.M. van Poppel  
Datum/paraaf .....

## INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	SAMENVATTING	2
1.1	Inleiding	2
1.2	De aanpak op hoofdlijnen en doel van het uitvoeringsprogramma	3
1.3	Risico's van verontreinigd grondwater	3
1.4	Maatregelen en uitvoeringsprogramma	4
1.5	Scenario's	5
1.6	Resultaten van de scenario's	7
1.7	Het uitvoeringsprogramma	9
1.8	Het vervolg	10
2	INLEIDING	11
2.1	Historie en aanleiding voor dit plan	11
2.2	Plaats van het uitvoeringsprogramma binnen ABdK	12
2.3	Systeem gerichte aanpak	12
2.4	Leeswijzer	13
3	BESCHRIJVING VAN DE GRONDWATERLICHAMEN	14
3.1	Begrenzing en indeling in deelgebieden	14
3.2	Geohydrologische kenmerken van de zes grondwaterlichamen	15
3.3	Bronnen van verontreiniging	16
3.4	Verspreiding van de verontreiniging	17
3.5	Kwetsbare objecten	18
4	WETGEVEND EN BELEIDSKADER	21
4.1	Wetgevend kader	21
4.2	Ruimtelijke ontwikkelingen en trends in het grondwaterbeheer	23
5	KNELPUNTEN EN GEBRUIKSBEPERKINGEN	24
5.1	Definitie van gebruiksbeperingen	24
5.2	Huidig grondwatergebruik en gebruiksbeperingen	26
5.2.1	Drinkwaterwinningen	26
5.2.2	Natuurgebieden	26
5.2.3	Waterbodems	27
5.2.4	Landbouw	28
5.2.5	Volkstuinen en zwemwater (humane risico's)	28
5.3	Toekomstig grondwatergebruik en gebruiksbeperingen	29
5.3.1	Drinkwaterwinningen	29
5.3.2	Natuurgebieden	29
5.3.3	Waterbodems	30
5.3.4	Landbouw	31

6	MAATREGELEN	32
6.1	Algemene systematiek: Systeemgericht	32
6.2	Brongerichte maatregelen	32
6.3	Beïnvloeding van de verspreiding in het grondwaterlichaam	33
6.4	Object gerichte maatregelen	34
6.4.1	Case van object gerichte benadering: Roeventerpeel	35
6.4.2	Case van object gerichte benadering: Bovenloop Beekloop	37
6.5	Afstemming tussen bron en object gerichte maatregelen	39
7	SCENARIO'S	40
7.1	Autonoom scenario; voortzetting van de huidige berekening	40
7.2	Extensief scenario; stopzetten van de berekening	41
7.3	Intensief scenario; bescherming van het diepe grondwater	42
8	EVALUATIE MAATREGELEN: WAARDEREN EN PRIORITEREN	44
8.1	Werkwijze	44
8.2	Toelichting bij de criteria	44
8.3	Resultaten van "Waarderen en Prioriteren"	44
8.3.1	Verandering in gebruiksbepierking per functie	45
8.3.2	Vrachtverwijdering	46
8.3.3	Verandering verontreinigingsituatie diep grondwater	48
8.3.4	Kwalitatieve criteria	49
8.3.5	Kosten	50
9	ADVIES VOOR HET UITVOERINGSPROGRAMMA	52
9.1	Visie	52
9.2	Maatregelen voor alle zes grondwaterlichamen	52
9.3	Grondwaterlichaam Beekloop-Keersop	52
9.4	Grondwaterlichaam winning Luyksgestel	53
9.5	Grondwaterlichaam infiltratiegebied PBZ-Weert	53
9.6	Grondwaterlichaam Strijper Aa/Kleine Aa/Sterkselsche Aa	54
9.7	Grondwaterlichaam winning Budel	54
9.8	Grondwaterlichaam Tungelroyse Beek	54



## BIJLAGEN

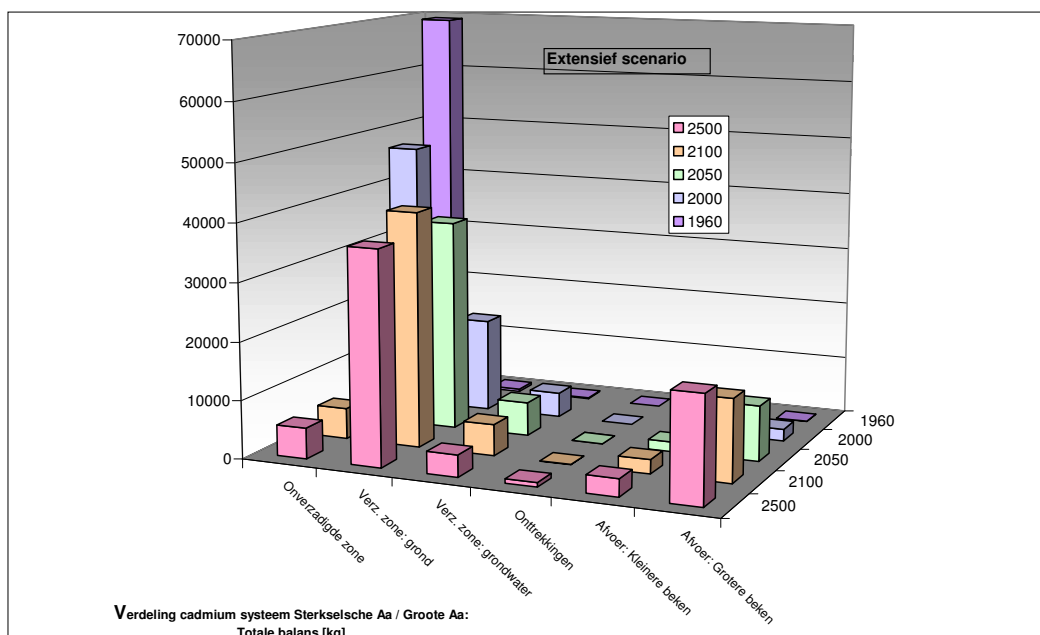
1. Geohydrologische systeemanalyse
- 2a. Kwetsbare objecten: natte natuurgebieden
- 2b. Kwetsbare objecten: grondwateronttrekkingen
- 2c. Kwetsbare objecten: humane risico's
- 2d. Kwetsbare objecten: landbouw
- 2e. Lijst met kwetsbare objecten
- 3a. Berekende concentraties cadmium in huidige situatie 1 meter -mv
- 3b. Berekende concentraties cadmium in huidige situatie 20 meter -mv
- 3c. Berekende concentraties cadmium in 2050 bij autonome ontwikkeling  
1 meter -mv
- 3d. Berekende concentraties cadmium in 2050 bij autonome ontwikkeling  
20 meter -mv
4. Uitgebreide tabel waarden en prioriteren
- 5a. Berekende verschilconcentraties cadmium tussen het autonome scenario en  
het intensieve scenario in 2050 20 meter -mv
- 5b. Berekende verschilconcentraties cadmium tussen het autonome scenario en  
het extensieve scenario in 2050 20 meter -mv
6. Uitgebreide kostenberekening voor intensieve scenario
7. Berekende vrachten voor zes grondwaterlichamen
8. Toelichting bij het modelinstrumentarium
9. Worst-case berekening voor winning Budel

## SAMENVATTING

### 1.1 Inleiding

Ruim 100 jaar geleden vestigde zich in de Nederlandse en Belgische Kempen een groot aantal zinkfabrieken. Deze wonnen het metaal uit erts. Het productieproces ging gepaard met een grote uitstoot van zware metalen via de schoorsteen en via het oppervlaktewater. Daarnaast zijn zinkassen als weg- of erfverharding aangebracht. Samen heeft dit geleid tot verontreiniging van de vaste bodem, het grondwater en de waterbodem.

In de jaren '80 ontstond grote bezorgdheid over de gevolgen van bodemverontreiniging in De Kempen. Onderzoek heeft zich toen met name toegespitst op de risico's op de mens en het ecosysteem. De laatste jaren komt er steeds meer aandacht voor de risico's voor verspreiding in het grondwater. Uit metingen en berekeningen blijkt dat de uitspoeling van cadmium en zink naar het grondwater een zeer langzaam proces is. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande figuur 1.1. In het jaar 2500 is het grootste gedeelte van de massa cadmium uit de onverzadigde zone gestroomd, maar de bulk van de hoeveelheid bevindt zich nog onder de grondwaterspiegel in de verzadigde zone. Het grootste gedeelte hiervan is geadsorbeerd aan de grond. Nog maar circa 30 % van de massa cadmium is gedraineerd door de kleinere en grotere beeklopen.



Figuur 1.1 Massabalans (kg cadmium) voor het deelsysteem Sterkselsche Aa/Groote Aa

## 1.2 De aanpak op hoofdlijnen en doel van het uitvoeringsprogramma

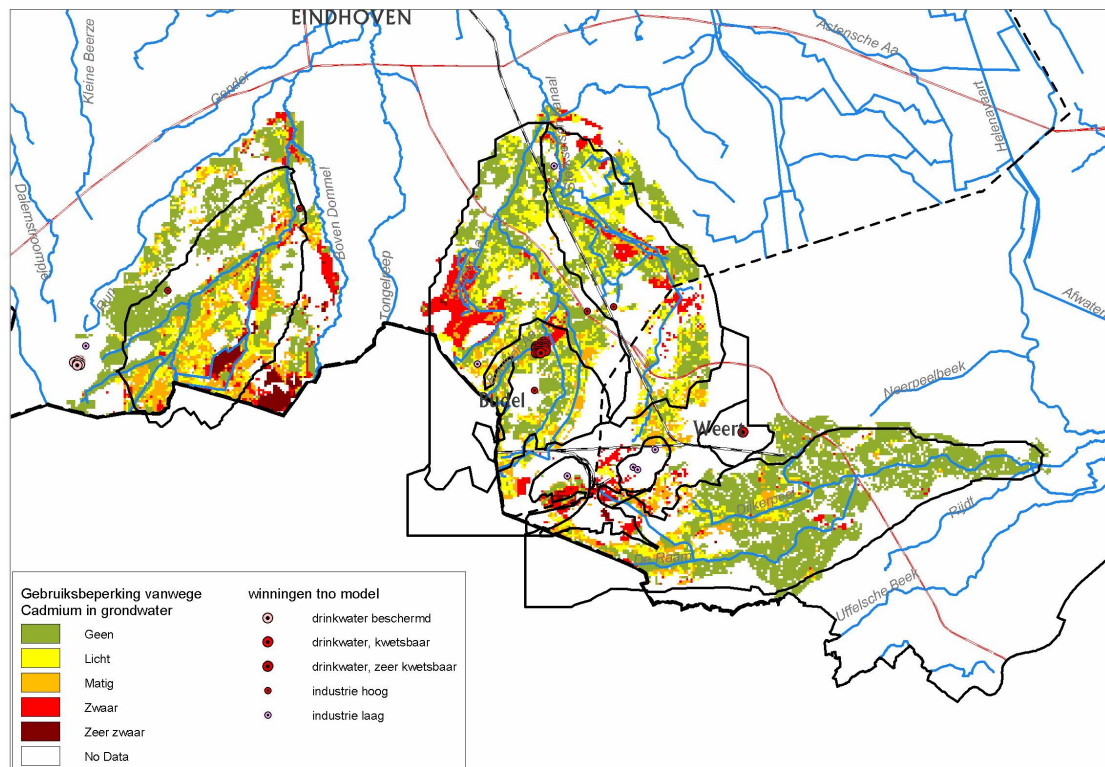
Als resultaat van de samenwerking tussen het Ministerie van VROM en de provincies Noord-Brabant en Limburg is het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK) opgericht. In mei 2002 is een Raamplan opgesteld met daarin de hoofdlijnen van aanpak. Een van de onderdelen van het Raamplan is de aanpak van het verontreinigde grondwater.

In de periode 2000-2002 is door de Werkgroep Grondwater (ABdK, 2002) onderzoek uitgevoerd naar de verspreiding en de risico's van verontreinigingen in het grondwater. In deze studie is op basis van de kwetsbaarheid van de bodem, de verspreiding van de verontreinigingen en de aanwezigheid van kwetsbare objecten een prioritering in gebieden aangebracht.

In voorliggend advies voor het uitvoeringsprogramma is voor de gebieden met hoge risicoscores een aanpak op hoofdlijnen geschetst. Deze aanpak zal begin 2004 verder worden uitgewerkt in drie meer gedetailleerde uitvoeringsplannen. Na overleg en afstemming met de grondwaterbeheerders in het gebied moet dit uiteindelijk resulteren in een breed geaccepteerd uitvoeringsprogramma voor De Kempen.

## 1.3 Risico's van verontreinigd grondwater

Maatregelen in het uitvoeringsprogramma zijn afgestemd op de huidige en de toekomstig verwachte gebruiksbependingen van het grondwater. Hierbij is een onderscheid gemaakt in het ondiepe en diepe grondwater. De berekende concentraties zijn vergeleken met de gebruikseisen per type landgebruik. Ter illustratie is in figuur 1.2 de kaart gepresenteerd voor de gebruiksbependingen van cadmium in het ondiepe grondwater.



**Figuur 1.2 Huidige gebruiksbeperking ten gevolge van cadmiumverontreiniging in het ondiepe grondwater**

Op basis van de analyse van de gebruiksbeperkingen zijn als grootste gebruiksbeperkingen gedefinieerd:

- de natte natuurgebieden binnen de EHS;
- de waterbodems;
- het diepe grondwater (als strategische voorraad).

De maatregelen concentreren zich voornamelijk op deze gebieden.

## 1.4 Maatregelen en uitvoeringsprogramma

Om risico's van verontreinigd grondwater te beperken kunnen verschillende maatregelen genomen worden. Deze maatregelen zijn gericht op twee doelen:

- het verkleinen van risico's bij kwetsbare objecten;
- het verwijderen van vracht uit het systeem.

Maatregelen kunnen het beste worden genomen, wanneer de maatregelen zijn toegespitst op de kenmerken van het grondwatersysteem. Maatregelen kunnen dan gericht worden genomen bij de bron, het pad of het kwetsbare object. In de knelpuntenanalyse (zie voorgaande paragraaf) zijn de gebieden gedefinieerd waar het beste maatregelen kunnen worden genomen.

Een samenvatting van mogelijke maatregelen wordt gegeven in onderstaande tabel.

**Tabel 1.1 Samenvatting van mogelijke maatregelen**

<b>Brongerichte maatregelen</b>	<b>Padgerichte maatregelen</b>	<b>Objectgerichte maatregelen</b>
Verwijderen zinkassen	<i>Onttrekken en zuiveren</i>	Veranderen landgebruik of gewaskeuze
Vastleggen en immobiliseren	<i>Infiltreren van schoon water</i>	Gebruiksadviezen over gebruik van grondwater
Fyto-remediatie/fyto-extractie	Veranderen van het peilbeheer	grondwaterbufferzones langs beekdalen
	<i>Aanpassen van beregeningsregime</i>	
<i>Lokaal onttrekken</i>	In-situ precipitatie	

Het effect van de cursief gedrukte maatregelen is in het uitvoeringsprogramma nader doorgerekend in scenario's.

## 1.5 Scenario's

Om een idee te krijgen van het effect van maatregelen zijn drie scenario's berekend met het grondwatertransportmodel. De scenario's zijn zo samengesteld dat een breed spectrum in intensiteit van maatregelen wordt afgedekt. In het meest eenvoudige scenario wordt naast het blijven monitoren van de grondwaterkwaliteit niets gedaan. Dit wordt het autonome scenario genoemd. Bij het extensieve scenario wordt aangesloten bij veranderingen in het waterbeheer en ruimtelijke plannen. Voor de berekeningen is uitgegaan van het scenario waarin gestopt wordt met beregenen van landbouwgewassen. In het intensieve scenario wordt actief ingegrepen in het grondwaterlichaam door water te onttrekken, te infiltreren en te zuiveren. De scenario's geven dus een beeld van het effect van een set aan maatregelen die gerealiseerd kunnen worden tegen bepaalde kosten. Uiteindelijk moeten ingrediënten van deze scenario's worden verwerkt in de uitvoeringsplannen en het definitieve uitvoeringsprogramma.

De drie scenario's zijn samengevat:

- autonoom scenario; huidige praktijk van beregening wordt voortgezet;
- extensief scenario; beregening wordt stopgezet;
- intensief scenario; actief grondwater onttrekken, infiltreren en zuiveren.

### **Extensief scenario**

In het extensieve scenario is aangenomen dat de berekeningen geheel worden stopgezet. Dit betekent dat er ten opzichte van het autonome scenario:

- 7,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar minder grondwater wordt onttrokken uit het diepe watervoerende pakket;
- 2,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar minder water ten goede komt als grondwateraanvulling in de landbouwgebieden.

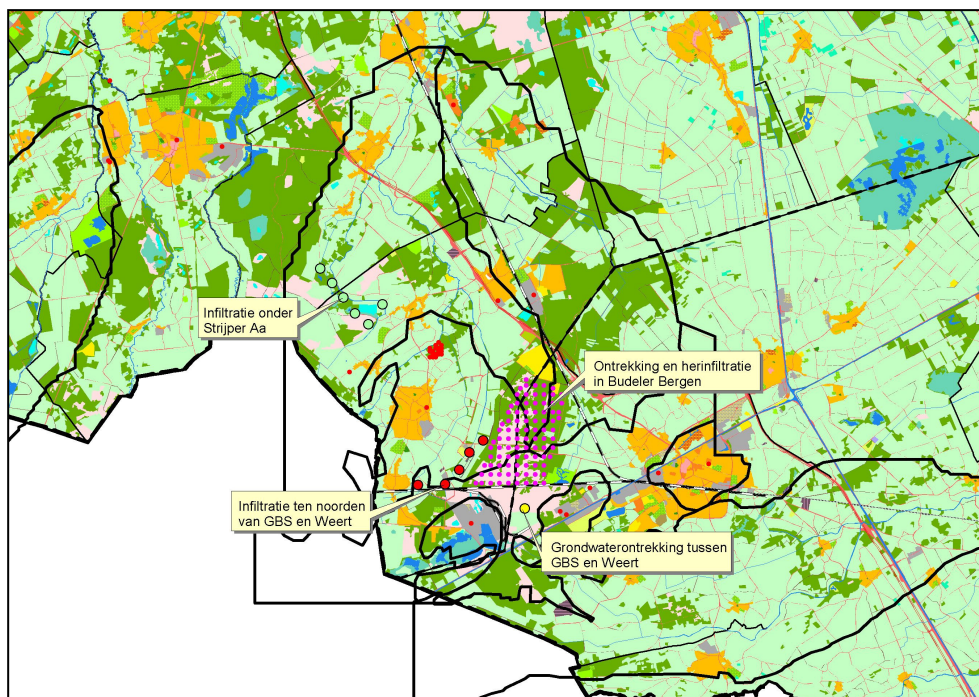
### Intensief scenario

Het intensief scenario is gericht op voorkoming van verspreiding van verontreiniging naar het diepe watervoerende pakket. Als voorbeeld is dit toegepast in de regio Budel-Weert, omdat hier de risico's het hoogst zijn. Hoge concentraties zink en cadmium in combinatie met een hoge infiltratiesnelheid op de hogere zandruggen resulteert namelijk in een verspreiding naar dieptes onder 20 meter –mv in de periode tot 2050. In een intensief scenario is uitgegaan van de volgende maatregelen:

- een extra grondwateronttrekking tussen het Geohydrologisch Beheersysteem (GBS) van Pasmenco Budel Zink (PBZ) en de industriële winningen bij Weert;
- het water dat bij bovenstaande winning wordt onttrokken wordt geherinfiltrateerd ten noorden van het GBS. Deze infiltratie van water heeft tot doel om de doorspoeling van cadmium en zink te vergroten door een duidelijke scheiding te creëren tussen het intrekgebied van de drinkwaterwinning Budel en het GBS van PBZ;
- een diffuse grondwateronttrekking met plaatselijk herinfiltratie ter plaatse van het kerninfiltratiegebied van Budeler Bergen;
- herinfiltratie in het bovenstroomse gebied van de Strijper Aa.

De locaties van de verschillende maatregelen zijn gepresenteerd in figuur 1.3.

**Figuur 1.3 Toelichting bij het intensief scenario**





## 1.6 Resultaten van de scenario's

Tabel 1.2 Vergelijking tussen de scenario's

		autonoom sc	extensief sc	intensief sc
<b>CADMIUM in grondwater</b>		verschil huidige situatie met 2050	verschil huidige situatie met 2050	verschil huidige situatie met 2050
<b>Verandering gebruiksbeperking per functie</b>	<b>eenh</b>			
- Natte natuur	ha	290	250	230
- Akkerbouw + volkstuinten	ha	2450	2360	2340
- Veedrenking	ha	1050	940	920
- Zwemwater	ha	0	0	0
<b>Verandering verspreiding verontreiniging</b>				
- Afvoer via opp.water	kg	22400	18900	19400
- Afvoer via onttrekkingen	kg	9	9	1090
<b>Verandering diep grondwater</b>				
- verandering oppervlak S-waarde	ha	2400	2700	1050
<b>Kwalitatieve criteria</b>				
- duurzaamheid		0	+	-
- realiseerbaarheid		0	--	-
<b>Kosten</b>				
<b>Totaal netto contante waarde (excl. BTW)</b>	<b>M €</b>	2 tot 5	5 tot 60	25 tot 40

Het extensieve scenario (gedefinieerd als het stopzetten van alle beregeningen) en het intensieve scenario (zie bovenstaande paragraaf en figuur 1.3) zijn met elkaar vergeleken (zie bovenstaande tabel 1.2).

Wanneer geen maatregelen worden genomen (**het autonome scenario**) zal de verontreiniging zich in de periode tot 2050 verder verspreiden en uitwaaieren. Dit geeft:

- een kleiner oppervlakte met zware tot zeer zware gebruiksbeperkingen in 2050 (niet gepresenteerd in tabel 1.2);
- een groter oppervlak met gebieden met een lichte gebruiksbeperking (circa 3800 ha meer in 2050);
- een oppervlak van het diepe grondwater wat verontreinigd raakt (circa 2400 ha in 2050). In de huidige situatie is dit nog schoon.

Door het stopzetten van de beregeningen in het **extensieve scenario** wordt het ondiepe grondwater minder doorgespoeld. Daardoor neemt de afvoer naar het oppervlaktewater af (circa 3500 kg cadmium minder).

In detail gebeurt het volgende:

- met name in het gebied van de Tungelroyse beek, met lokale systemen, resulteert de afname van beregeningen in een afname van de doorspoeling van het grondwatersysteem. De neerwaartse grondwaterstroming wordt groter en de verontreiniging stroomt meer naar de diepte. Het stopzetten van beregening werkt hier dus negatief voor diepe grondwater, maar het oppervlaktewater wordt minder belast;
- in de kerninfiltratiegebieden, bijvoorbeeld het vennencomplex ten zuiden van Pasmenco, komt geen beregening voor. Het stopzetten van de beregening resulteert in een regionale verhoging van de stijghoogte in het diepe watervoerende pakket.

Dit resulteert in een afname van de infiltratie in deze gebieden. Hier werkt het stopzetten van de beregeningen dus positief.

De kosten voor het compenseren van droogteschade ten gevolge van het stopzetten van beregening kunnen oplopen tot maximaal 60 miljoen €. Droogteschade kan worden beperkt door water te conserveren. Wanneer wordt aangesloten op lopende projecten op het gebied van waterconservering kunnen de investeringskosten voor het plaatsen van stuwen beperkt blijven tot maximaal 5 miljoen €.

Het **intensieve scenario** richt zich op bescherming van het diepe grondwater. Door het plaatselijk lokaal onttrekken en zuiveren wordt circa 1100 kg vracht cadmium tot 2050 uit het grondwatersysteem onttrokken. Het totaal aan maatregelen zorgt voor een betere bescherming van het diepe grondwater. In plaats van circa 2400 ha is in 2050 nog maar 1050 ha verontreinigd tot boven de streefwaarde op een diepte van 20 meter –mv.

Het intensieve scenario leert het volgende:

- de verontreiniging bevindt zich thans nog in de bovenste meters. Optimale vrachtverwijdering kan daarom voornamelijk plaats vinden in de bovenste 10 meter van de bodem;
- zuivering van grondwater geeft hoge jaarlijkse kosten aan onderhoud van de zuivering. Zuivering is alleen mogelijk wanneer wordt aangesloten bij lopende bestaande saneringen of extensieve zuiveringsmethoden worden gebruikt;
- verspreiding naar de diepte kan worden vertraagd door het infiltreren van schoon water. Water moet van elders aangevoerd worden. Hiervoor kan water worden gebruikt uit gebieden met wateroverlast (bijvoorbeeld Eindhoven), andere onttrekkingen of oppervlaktewater.

De effecten van het intensieve en extensieve scenario worden samengevat in onderstaande tabel 1.3.

**Tabel 1.3 Samenvatting van het effect van de scenario's**

	<b>extensief sc</b>	<b>intensief sc</b>
<b>CADMIUM in grondwater</b>	% verschil met autonome ontwikkeling	% verschil met autonome ontwikkeling
<b>Verandering gebruiksbeperking per functie</b>		
- Natte natuur	-14	-21
- Akkerbouw + volkstuinen	-4	-4
- Veedrenking	-10	-12
<b>Verandering verspreiding verontreiniging</b>		
- Afvoer via opp.water	-16	-13
- Afvoer via onttrekkingen	5	12500
<b>Verandering diep grondwater</b>		
- verandering oppervlak S-waarde	13	-56

In deze tabel is te zien dat de maatregelen vooral een gunstig effect hebben op de natuurgebieden. Het percentage gebieden met een gebruiksbeperking neemt hier in het extensieve en intensieve scenario af met respectievelijk 14 en 24 %. Het intensieve scenario richt zich op de bescherming van het diepe grondwater: het verontreinigde oppervlak van het diepe grondwater neemt in dit scenario af met 56 %.



## 1.7 Het uitvoeringsprogramma

Uit de scenario's zijn conclusies getrokken over de effectiviteit van de maatregelen.

### Algemene aanpak

Kern van het uitvoeringsprogramma is dat een duurzaam grondwatersysteem wordt gecreëerd waarin geen onaanvaardbare risico's optreden voor mens en ecosysteem. Uitgangspunten hierbij zijn:

- risico's voor kwetsbare objecten mogen in de toekomst niet toenemen;
- de kwaliteit van het diepe grondwater (beneden 20 meter – maaiveld) dient zo goed mogelijk gewaarborgd te blijven;
- lokale leemlagen en bodemprocessen (in-situ precipitatie) kunnen het verticale transport aanzienlijk lokaal vertragen. Door monitoring van de grondwaterkwaliteit zal steeds meer inzicht hierin worden verkregen. Gezien de trage transportsnelheden kunnen maatregelen voor het diepe grondwater hierop nog de komende decennia goed worden afgestemd.

De twee boven beschreven doelstellingen kunnen in het algemeen het beste als volgt worden aangepakt:

- bescherming van natte natuurgebieden en de waterbodems kan het beste in lokale systemen toegepast. Hier kan het grondwater snel uitspoelen naar de beekdalen;
- Verspreiding van cadmium en zink via diepe stroombanen in de intermediaire en diepe systemen verloopt door adsorptie traag. Uiteindelijk zal een verwaarloosbare hoeveelheid als regionale kwel in de beeksystemen terechtkomen. In intermediaire en diepe systemen richt de bescherming zich op het diepe water en niet op de beekdalen.

### Aanpak voor de drie grondwaterlichamen

Het grondwaterlichaam van de **Beekloop-Keersop** wordt gekenmerkt door een relatief snelle uitspoeling van de bovengrond en relatief ondiepe stroombanen. Daarom wordt, zonder maatregelen, in dit gebied reeds in 2020 de piek in uitstroom naar het oppervlaktewater verwacht. Maatregelen in dit gebied zijn gericht op het versnellen van dit proces in de beekdalen zodat de bovengrond in dit gebied zo snel mogelijk kan doorspoelen. De natte natuurparels in de bovenloop van de Beekloop en Keersop verdienen het meeste aandacht. Het waterbodembeheer moet hierop worden afgestemd.

Het deelgebied van de **Grootte Aa/Sterkselsche Aa** wordt gekenmerkt door hoge concentraties metalen in de omgeving van Budel. Het zuidelijk gedeelte van het gebied is een regionaal infiltratiegebied. Verspreiding van verontreinigingen naar grotere dieptes is hier het grootst. Maatregelen richten zich met name op deze verspreiding. Dit kan door vastlegging te stimuleren in brongebieden en het geohydrologisch beheer te optimaliseren. Dit laatste kan alleen tegen aanvaardbare kosten wanneer wordt aangesloten bij lopende initiatieven. Bijvoorbeeld het elders infiltreren van water uit gebieden met wateroverlast (zoals Eindhoven) of de voorgenomen plannen op het DIC-terrein.

Het grondwaterlichaam van **de Tungelroyse beek** wordt gekenmerkt door hoge concentraties verontreinigingen in het oostelijk deel en lage concentraties in het westelijk deel. Het uitvoeringsplan richt zich op met name op de peelvennen ten oosten van Weert en het waterbodembeheer van de Tungelroyse beek.

## 1.8 Het vervolg

De maatregelen in het voorliggende uitvoeringsprogramma worden in meer detail uitgewerkt in 2004 voor drie grondwaterlichamen. Op basis hiervan wordt de daadwerkelijke uitvoering voorzien in de periode 2005-2009. Overleg en afstemming met de grondwaterbeheerders in het gebied is een belangrijk onderdeel.

## 2 INLEIDING

### 2.1 Historie en aanleiding voor dit plan

Ruim 100 jaar geleden vestigde zich in de Nederlandse en Belgische Kempen een groot aantal zinkfabrieken. Deze wonnen het metaal uit erts. Het productieproces ging gepaard met een grote uitstoot van zware metalen via de schoorsteen en via het oppervlaktewater. Daarnaast zijn zinkassen als weg- of erfverharding aangebracht. Samen heeft dit geleid tot verontreiniging van de vaste bodem, het grondwater en de waterbodem.

In de jaren '80 ontstond grote bezorgdheid over de gevolgen van bodemverontreiniging in De Kempen. Onderzoek heeft zich toen met name toegespitst op de risico's op de mens en het ecosysteem. In de begin jaren negentig zijn particuliere tuinen gesaneerd met een cadmiumconcentratie hoger dan 2,5 mg/kg.

Op verzoek van de Minister van VROM heeft de Technische commissie bodembescherming (TCB) in 1997 een advies uitgebracht voor de aanpak van de bodemverontreiniging in De Kempen [TCB 1997]. Een van de deeladviezen betreft de aanpak van het grondwater. De commissie raadt een systeemgerichte aanpak waarin de nadruk meer op beheer dan op sanering ligt.

Als resultaat van de samenwerking tussen het Ministerie van VROM en de provincies Noord-Brabant en Limburg is het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK) opgericht. In mei 2002 is een Raamplan opgesteld met daarin de hoofdlijnen van aanpak.

Een van de onderdelen van het Raamplan is de aanpak van het verontreinigde grondwater. Aan het uitvoeringspakket grondwater ligt het werk van de werkgroep "Grondwater en verspreiding" ten grondslag [ABdK 2002]. De werkgroep heeft gebruik gemaakt van een analyse naar de risico's van verspreiding van zware metalen in het grondwater [TNO-NITG – KIWA - Royal Haskoning, 2002a en 2002b]. Hiervoor is een gebiedsdekkend grondwatertransport model opgezet. Daarnaast is een beleidsmatig beoordelingskader opgesteld.

In de periode 2000-2002 is door de Werkgroep Grondwater (ABdK, 2002) onderzoek uitgevoerd naar de verspreiding en de risico's van verontreinigingen in het grondwater. In deze studie is op basis van de kwetsbaarheid van de bodem, de verspreiding van de verontreinigingen en de aanwezigheid van kwetsbare objecten een prioritering in gebieden aangebracht.

In voorliggend advies voor het uitvoeringsprogramma is voor negen grondwatersystemen de aanpak op hoofdlijnen geschetst. Door ABdK is aan een consortium van TNO-NITG en Royal Haskoning opdracht verleend voor een 'pilot uitvoeringsprogramma systeemgericht grondwaterbeheer'. Voorliggend rapport is de weergave hiervan.

Deze aanpak zal begin 2004 verder worden uitgewerkt in drie meer gedetailleerde uitvoeringsplannen. Na overleg en afstemming met de grondwaterbeheerders in het gebied moet dit uiteindelijk resulteren in een breed geaccepteerd uitvoeringsprogramma voor De Kempen.

## 2.2 Plaats van het uitvoeringsprogramma binnen ABdK

### Drie sporen

De aanpak van het grondwater volgens drie sporen uitgewerkt:

1. Meten  
Aanvullend op het monitoringsprogramma van de provincies Limburg en Noord-Brabant worden aanvullende metingen uitgevoerd naar de kwaliteit van het grondwater. In 2003 is de laatste meetronde uitgevoerd.
2. Systeemgericht grondwaterbeheer  
Dit concept wordt nader uitgewerkt in het voorliggende uitvoeringsprogramma
3. Saneren van de zinkassenwegen  
Zinkassenwegen of erven en verontreinigde waterbodems zullen zo veel mogelijk verwijderd worden. Samen met het uitvoeringspakket zinkassen en waterbodems dienen hier prioriteiten gesteld te worden.

Door ABdK is opdracht gegeven voor een systeemgerichte aanpak van de volgende negen grondwatersystemen: Beekloop-Keersop, Grote Aa, Sterkselse Aa, Boschloop, Achel-Soerendonk, PS Budel, Budeler Bergen, Leukerbeek en Tungelroyse beek.

In het voorliggende uitvoeringsprogramma is dit uitgewerkt. Het betreft een uitvoeringsplan op hoofdlijnen (uitvoeringsprogramma) wat in meer detail zal worden uitgewerkt in 2004 voor drie grondwaterlichamen. Op basis hiervan wordt de daadwerkelijke uitvoering voorzien in de periode 2005-2009. Overleg en afstemming met de grondwaterbeheerders in het gebied is een belangrijk onderdeel.

## 2.3 Systeem gerichte aanpak

De verontreiniging van zink en cadmium is uitgestrekt over een gebied van meerdere tientallen km<sup>2</sup>s. Saneren op conventionele wijze is niet mogelijk. De aanpak moet daarom op een systeemgerichte wijze worden aangepakt waarin de relatie tussen land- en grondwatergebruik, het bodem- en grondwatersysteem, alsmede de financiële consequenties van ruimtelijke ingrepen inzichtelijk worden gemaakt. Ingrepen in het grondwater moeten vooral gericht zijn op de belangrijkste knelpunten: waar wordt het land- en watergebruik beperkt en waar zijn risico's voor mens en ecosysteem. Daarnaast wordt de aanpak van het grondwater bepaald door beleidsmatige en normatieve uitgangspunten. Bij het opstellen van dit advies voor een uitvoeringsprogramma wordt hiermee rekening gehouden.

Belangrijke accenten in het project zijn:

- het vroegtijdig betrekken van actoren uit de bodem-, water- en ruimtelijke ordeningswereld;
- het vroegtijdig definiëren, afwegen en prioriteren van gebruikrisico's van het grondwater;
- het afstemmen van de maatregelen op de locaties waar de grondwaterverontreiniging de grootste beperkingen in gebruik oplevert;
- het definiëren van concrete maatregelen.

Om maatregelen te kunnen afwegen is gebruik gemaakt van een rekenmodel (HYDRUS/MODFLOW/GT) waarmee het transport vanuit de bovengrond naar en via het grondwater kan worden berekend.

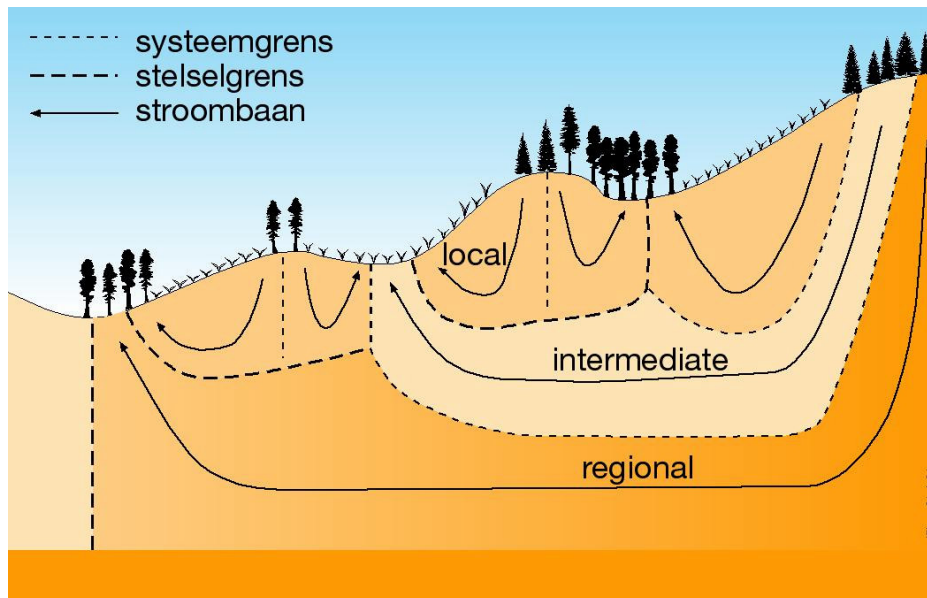
## 2.4 Leeswijzer

De kenmerken van de grondwatersystemen, de verontreinigingsbronnen, de verontreinigingssituatie en de ligging van bedreigde objecten wordt gepresenteerd in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de relevante ruimtelijke en wettelijke ontwikkelingen. Hiermee wordt later rekening gehouden in het advies voor het uitvoeringsprogramma bij het definiëren van maatregelen. Hoofdstuk 5 gaat in op de gebruiksbeperkingen: zowel de huidige situatie als de verwachte situatie in 2050. Risico's kunnen worden verminderd met verschillende maatregelen. Hoofdstuk 6 geeft een overzicht van deze maatregelen. Om een indruk te krijgen van de maatregelen zijn scenario's doorgerekend. Het extensieve scenario (effect van landbouwbergingen) en het intensieve scenario (bescherming diepe grondwater) worden beschreven in hoofdstuk 7. De kosten van de scenario's en de effecten voor het ondiepe en diepe grondwater worden geanalyseerd in hoofdstuk 8. Hoofdstuk 9 is het afsluitende advies voor een uitvoeringsprogramma. Aan de hand van het opgedane inzicht in de kenmerken van het grondwatersysteem, het wettelijke kader en de effectiviteit van de doorgerekende scenario's worden gebiedsgerichte maatregelen voorgesteld voor zes grondwaterlichamen.

### 3 BESCHRIJVING VAN DE GRONDWATERLICHAMEN

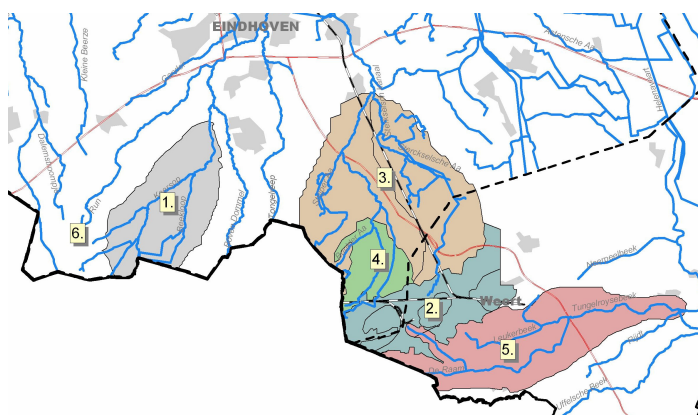
#### 3.1 Begrenzing en indeling in deelgebieden

Met een geohydrologische systeemanalyse kunnen lokale, intermediaire en regionale systemen worden onderscheiden (zie onderstaande figuur 3.1).



**Figuur 3.1** Schematische weergave van grondwatersystemen en grondwaterstromingstelsels met een verschillende ruimtelijke schaal (TCB, 2001)

Ten behoeve van dit uitvoeringsprogramma is het geohydrologisch model nader verfijnd. Met dit model zijn stroombaanberekeningen uitgevoerd waarmee in meer detail de ligging van 6 grondwatersystemen zijn bepaald. In aansluiting op de gebruikte terminologie in de Europese Kader Richtlijn Water (KRW) wordt verder in dit rapport gebruik gemaakt van de term grondwaterlichamen (in plaats van grondwatersystemen).



De zes grondwaterlichamen zijn (zie figuur 3.2):

1. Beekloop-Keersop
2. Infiltratiegebied (PBZ-Weert) met cluster van onttrekkingen
3. Strijper Aa/Kleine Aa/Sterkselsche Aa
4. Pompstation Budel
5. Tungalroyse beek
6. Systeem Luyksgestel

**Figuur 3.2** Ligging van de zes grondwaterlichamen

### 3.2 Geohydrologische kenmerken van de zes grondwaterlichamen

De grondwaterlichamen zijn afgebakend (Bijlage 1) door:

- rekening te houden met de stroombanen;
- rekening te houden met stroombanen die dieper dan 100 meter reiken;
- rekening te houden met de ligging van infiltratiegebieden en kwelgebieden.

#### **Beekloop-Keersop (Nr 1)**

Het Beekloop-Keersop gebied ligt op het Kempisch Plateau. Vanwege het geringe vermogen van de bovengrond om verontreinigingen vast te leggen (het reactieve vermogen) kunnen deze relatief snel naar de diepte verspreiden. Op regionale schaal stroomt het grondwater binnen vanuit België. Grondwater infiltreert in het bovenstroomse gedeelte en kwelt via lange stroombanen uiteindelijk weer op in het beekdal van de Beekloop en Keersop. De verwachte instroom van verontreinigingen vanuit het oppervlaktewater van de Beekloop en Keersop is naar verwachting gering omdat dit water deels gevoed is door (schoner) water uit het Kempisch Kanaal.

#### **Infiltratiegebied (PBZ-Weert) met cluster van onttrekkingen (Nr 2)**

Het grondwater infiltreert tot grote diepte (dieper dan 100 meter). Binnen dit regionale infiltratiegebied liggen verschillende grondwateronttrekkingen. Dit zijn van west naar oost:

- het geohydrologisch beheerssysteem van PBZ;
- een industriële onttrekking van AKZO;
- een drinkwater onttrekking van de WML (in de stad Weert).

Binnen de intrekgebieden stroomt het grondwater naar deze winningen en kan niet verder verspreiden naar de diepte. De verontreinigingsgraad is in het westen (PBZ) hoog en neemt snel af in oostelijke richting (Weert).

#### **StrijperAa/Kleine Aa/Sterkselsche Aa (Nr 3)**

Het grondwatersysteem wordt gedreven door de regionale instroom vanuit België, en de Budeler Bergen. De Budelerbergen is een hoger gelegen beboste zandrug. Grondwater kan daarom in het bovenstroomse gedeelte infiltreren en kwelt via lange stroombanen uiteindelijk weer op in de Strijper Aa/Kleine Aa en de Sterkselsche Aa. In het bovenstroomse gedeelte komen de hoge concentraties zink en cadmium voor.

#### **Pompstation Budel (Nr 4)**

Het grondwater binnen het systeem Budel wordt ingevangen door de putten van de waterwinning Budel van Brabant Water. De 19 putten van de drinkwaterwinning bevinden zich op een diepte variërend van 32 tot 231 meter beneden maaiveld. Vanwege de afwezigheid van ondiepe scheidende lagen en de geringe onttrekkingsdiepte wordt de winning van Budel als zeer kwetsbaar gezien. Daarom is recent, naast de 25-jaars-zone ook de 100-jaars zone vastgesteld. Binnen het invanggebied ligt de winning van Budels bier. De concentraties cadmium en zink zijn, gezien de nabije ligging bij Pasmenco Budel Zink, relatief laag.

#### **Tungelroyse beek (Nr 5)**

Het grondwater stroomt in oostelijke richting en wordt gedraineerd door de Tungelroyse beek. Het gebied heeft een sterk agrarisch karakter. Regionale kwel komt vooral voor in het gebied ten zuiden van Weert. Grote delen van het oostelijk stroomgebied hebben concentraties zink en cadmium onder de streef- of tussenwaarde.



### **Pompstation Luyksgestel (Nr 6)**

Pompstation Luyksgestel van Brabant Water is gelegen op het Kempisch Plateau. Het reactief vermogen van de bovengrond is hier gering. Maar vanwege de diepte van de winning (55 tot 100 meter) wordt de kwaliteit van het onttrokken water niet direct bedreigd.

## **3.3 Bronnen van verontreiniging**

Cadmium, zink en andere metalen in de bovengrond spoelen langzaam uit naar het grondwater. De drie belangrijkste bronnen van verontreiniging zijn:

1. atmosferische depositie;
2. zinkassenwegen;
3. bemesting in de landbouw.

### **Atmosferische depositie**

De belangrijkste bronnen van de diffuse verontreiniging met cadmium en zink in het onderzoeksgebied zijn vier zinksmelterijen langs de Nederlands-Belgische grens. De Belgische fabrieken zijn gelegen in Neerpelt, Overpelt en Wezel. De Nederlandse fabriek, Pasminco Budel Zink (PBZ; het voormalige Budelco) is gevestigd in Budel. Deze fabrieken hebben vanaf ca. 1880 met cadmium en zink verontreinigde asdeeltjes via schoorstenen uitgestoten. Deze asdeeltjes zijn vervolgens via atmosferische depositie in de omgeving terechtgekomen. De fabriek in Wezel is reeds in circa 1930 overgegaan op een elektrolytische zinkextractiemethode. De overige drie fabrieken zijn rond 1975 overgegaan op dit proces, waardoor vanaf 1975 de uitstoot van cadmium en zink naar de atmosfeer nihil is.

### **Zinkassenwegen**

Uitspoeling van cadmium en zink vanuit zinkassen naar het grondwater is een complex en heterogeen proces. In de meetronde grondwaterkwaliteit de Kempen, 2002 zijn er direct naast de assenwegen in het bovenste grondwater cadmium- en zinkconcentraties onder de streefwaarde gemeten tot overschrijding van de interventiewaarde met een factor 4 (TNO-NITG, 2003). De zinkassen zijn wijd verspreid omdat dit materiaal als gratis verhardingsmateriaal bij de zinkfabrieken kon worden opgehaald.

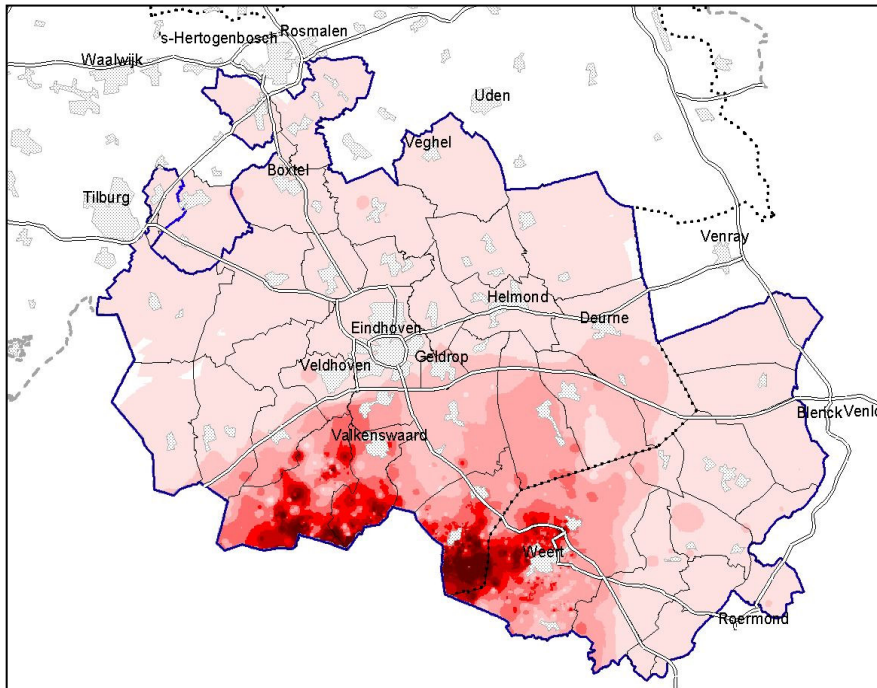
### **Bemesting in de landbouw**

In zowel dierlijke mest als in kunstmest komen sporenelementen zoals cadmium en zink voor. Een gedeelte van deze sporenelementen wordt door gewassen opgenomen. Het resterend gedeelte kan uitspoelen naar het grondwater. De bemestingsgraad verschilt per landgebruik en per tijdperiode. Tot de jaren tachtig is steeds intensiever bemest. Sinds de invoering van mestwetgeving (Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen, 1989) is het gebruik van mest sterk afgenomen.

### **Totale belasting**

In de modelberekeningen is uitgegaan van de drie boven beschreven belastingen. De afgeleide belasting in de bovengrond komt goed overeen met de gemeten gehalten cadmium in de bovenste 50 cm van de bodem (figuur 3.3).





Figuur 3.3 Gemeten gehalten cadmium in de bovengrond (bron CSO, 2001)

### 3.4 Verspreiding van de verontreiniging

Cadmium en zink spoelen van de onverzadigde zone naar het grondwater. Hier kan het verder verspreiden met het grondwater. De verticale snelheid van het grondwater bedraagt maximaal 2 tot 4 meter per jaar (in infiltratiegebieden) en de horizontale snelheid is maximaal 100 meter per jaar. Cadmium en zink verspreiden zich echter minder snel omdat de mobiliteit van de elementen door verschillende processen wordt beïnvloed. Daarom wordt cadmium en zink verplaatst met een snelheid die een factor 3 tot 200 langzamer plaats vindt dan het conservatieve watertransport. De belangrijkste factoren die dit bepalen zijn:

- de zuurgraad. Bij een lagere pH worden cadmium en zink meer mobiel en kan sneller verspreiden. Daarom verspreiden cadmium en zink zich sneller onder natuurgebieden (met een soms lagere pH) dan onder landbouwgebieden (bekalkt, met hogere pH);
- het organisch stof- en lutumgehalte. Hoe hoger dit gehalte hoe meer metalen kunnen adsorberen aan de vaste fase. Daarom vindt de verspreiding op het Kempisch Plateau sneller plaats in de bovengrond dan op de Centrale Slenk (relatief hoge gehalten organisch stof en lutum in de Formatie van Nuenen);
- de redoxomstandigheden. Onder reducerende omstandigheden wordt sulfaat omgezet in sulfides. Deze sulfides vormen verbindingen met metalen, zoals ijzer, maar ook met cadmium en zink. Deze metaalsulfidecomplexen zijn immobiel. Daarom is de verwachting dat op plekken waar van nature pyriet (ijzersulfide) in de bodem voorkomt de verspreiding van cadmium en zink geringer is;
- de reactiviteit van de bodem. Kleimineralen zoals glauconiet of metaalcomplexen zoals pyriet zijn in staat om cadmium en zink vast te leggen. Glauconiet komt van nature voor in de diepere ondergrond in de mariene Formaties van Breda en Maassluis.

In eerder onderzoek is voor De Kempen een natuurlijke vastleggingskaart gemaakt waarin rekening is gehouden met boven beschreven processen. In de modelberekeningen voor deze studie wordt ook rekening gehouden met alle processen met uitzondering van de vastlegging in sulfidecomplexen. Dit onderdeel is door ABdK apart uitbesteed aan Tauw [Tauw, 2004].

### 3.5 Kwetsbare objecten

In dit plan is een kwetsbaar object gedefinieerd als een locatie waar door interactie met verontreinigd grondwater mogelijk risico's optreden voor mens of ecosysteem. Om dit goed te kunnen beoordelen is kennis van het grondwatersysteem nodig.

De volgende kwetsbare objecten zijn onderscheiden:

- natuurgebieden;
- grondwateronttrekkingen;
- zwemwater;
- volkstuinten;
- landbouwgebieden (tuinbouw/akkerbouw/veeteelt);
- het diepe grondwater (strategische voorraad).

Deze paragraaf beschrijft de ligging van de bedreigde objecten. De risico's voor mens en ecosysteem ten gevolge van interactie met verontreinigd grondwater worden nader toegelicht in hoofdstuk 5.

#### Natuurgebieden

De ligging van de waardevolle natuurgebieden is door de Provincie Noord-Brabant vastgelegd in de Groene Hoofdstructuur (GHS). De Provincie Limburg heeft dit gedaan in de Provinciale Ecologische Structuur (PES).

Kwetsbare natuurgebieden zijn gedefinieerd als de gebieden waar het grondwater vlak onder maaiveld voorkomt. Dit zijn de beekdalen en de kwelgebieden.

In Noord-Brabant zijn de volgende natuurgebieden binnen de GHS geselecteerd:

- de natte natuurparels;
- de natte natuur;
- de kwelafhankelijk natuur.

In Limburg wordt binnen het PES geen onderscheid gemaakt tussen natte en droge natuurgebieden. Daarom is gebruik gemaakt van de Ecohydrologische Atlas van Limburg waarin dit onderscheid wel is gemaakt. De volgende twee gebieden zijn geselecteerd:

- hydrologisch gevoelige natuur;
- hydrologisch zeer gevoelige natuur.

De kenmerken van de vijf bovenbeschreven natte natuurtypes is in onderstaand kader nader omschreven.

### **Toelichting bij de natte natuurgebieden (zie kaart op Bijlage 2a)**

#### **1. Natte natuurparels in Noord-Brabant**

De gebieden binnen de Ecologische Hoofdstructuur die afhankelijk zijn van hoge grondwaterstanden en/of kwel en die als natuurparel in het Streekplan (2002) zijn opgenomen. Het gaat om de natuurgebieden die in de reconstructieplannen voor het zandgebied de hoogste prioriteit hebben voor behoud en herstel. De waterhuishouding (grondwaterstand en/of kwel), waterkwaliteit en inrichting moeten worden afgestemd op de ecologische doelstellingen. Een speciaal aandachtspunt hierbij is het herstel van regionale kwel in een aantal nog nader aan te geven beekdalen in het zandgebied. Richtinggevend voor de waterhuishoudkundige doelstellingen zijn de natuurdoeltypen die door de provincie zijn vastgelegd.

#### **2. Natte natuurgebieden in Noord-Brabant**

*Alle* gebieden binnen de Ecologische Hoofdstructuur die afhankelijk zijn van hoge grondwaterstanden en/of kwel. In het Streekplan (2002) zijn de gebieden niet allemaal opgenomen als natuurparel.

#### **3. Kwelafhankelijke natuurgebieden in Noord-Brabant**

De gebieden binnen de Ecologische Hoofdstructuur die afhankelijk zijn van kwel. Hierbij is kwel een naar boven toe gerichte grondwaterstroming met een bepaalde waterkwaliteit waarvan de vegetatie afhankelijk is. In principe zijn alle natuurgebieden afhankelijk van kwel opgenomen als natuurparel in het Streekplan (2002). De waterhuishouding (in dit geval de mate van kwel) en de kwaliteit van deze kwel moeten worden afgestemd op de ecologische doelstellingen.

#### **4. Hydrologisch gevoelige natuur in Limburg**

De hydrologisch gevoelige natuur is gebaseerd op een vegetatiekartering die is uitgevoerd tussen 1984-1989 door de provincie Limburg. Een gebied is als hydrologisch gevoelig gekarakteriseerd als er aan grondwater gebonden soorten (freatofyten) voorkomen. Voorbeelden zijn vochtige loofbossen of grasland op een voedselrijke bodem. Afhankelijk van het aantal voorkomende soorten is een onderscheid gemaakt in slecht tot goed ontwikkelde gebieden. Voor de kaart in Bijlage 2a zijn alle hydrologisch gevoelige (zowel slecht als goed ontwikkeld) geclusterd.

#### **5. Hydrologisch zeer gevoelige natuur in Limburg**

De hydrologische zeer gevoelige natuurgebieden zijn geselecteerd op een soortgelijke wijze als voorgaande categorie (nr 4). In deze gebieden komen soorten voor die zeer gevoelig zijn voor hoge grondwaterstanden. Voorbeelden zijn elzenbroekbossen, hoogveen of grote zeggen-moeras.

## Grondwateronttrekkingen voor drinkwatervoorziening en industriële toepassing

Onttrekking voor de **drinkwatervoorziening** wordt verzorgd door Brabant Water en de Watermaatschappij Limburg (WML).

**Tabel 3.1** Overzicht van de vergunde onttrekkingen groter dan 300.000 m<sup>3</sup>/jr en ondieper dan 100m –mv

Naam ontbrekking	Maatschappij	Diepte ontbrekking (m tov NAP)	Onttrekkingsdebiet (M m <sup>3</sup> /jaar)
Budel	Brabant Water	30-60	5,5
Luyksgestel	Brabant Water	55-100	2,0
Weert, Graafschap Hornelaan	WML	0-30	2,9
Stamproy	WML	30	1,7
Facilities Wetering bv	Industrie	Ondiep	0,5
Dumeco Weert bv	Industrie	Ondiep	0,3
PBZ	PBZ	0-30	2,9

Op een kaart (Bijlage 2b) wordt de ligging van de winningen gepresenteerd inclusief de ligging van de 25-jaars zones. Binnen deze gebieden gelden extra strenge eisen ter bescherming van de grondwatervoorraad. Naar verwachting zal de drinkwaterwinning in Weert binnen enkele jaren worden gesloten. Voor de winning van Graafschap Hornelaan is daarom geen 25-jaarszone gedefinieerd.

### Grondwaterbeheerssysteem Pasmenco Budel Zink (PBZ)

Door PBZ wordt grondwater onttrokken door een geohydrologisch beheerssysteem. Dit systeem heeft tot doel dat verontreinigd grondwater onder het fabrieksterrein zich niet verder naar de diepte en omgeving kan verspreiden. Na zuivering van het water wordt dit geloosd op de Tungelroyse beek.

### Zwemwater

Open water met een recreatieve functie worden gepresenteerd op een kaart in bijlage 2c.

### Volkstuinen

De ligging van volkstuinencomplexen wordt gepresenteerd op een kaart in Bijlage 2c. De ligging van de tuinen aan huis zijn buiten beschouwing gelaten.

### Landbouwgebieden (tuinbouw/akkerbouw/veeteelt)

Water voor nodig voor beregening van gewassen en veedrenking wordt deels aan het grondwater onttrokken. Hiervoor zijn putten geslagen op een diepte van circa 20 tot 80 meter beneden maaiveld. Grondwater wordt niet ondieper dan 20 meter onttrokken vanwege het verhoogde ijzergehalte in het ondiepe grondwater. Voor de Provincie Limburg is een databestand beschikbaar met de locatie, en diepte van de filters van de ontbrekkingen. Het betreft de ontbrekkingen groter dan 10 m<sup>3</sup>/uur (vergunningsplichtig). De provincie Noord-Brabant voltooit in 2004 een bestand met de locaties van de ontbrekkingen. Dit wordt gedaan door bedrijfsbezoeken en het vastleggen van de locaties middels een GPS systeem. Ruwe schattingen geven aan dat de totale ontbrekking in een droog jaar kan oplopen tot 100 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (vergelijk: de totaal vergunde hoeveelheid voor de drinkwatervoorziening in Noord-Brabant bedraagt 265 miljoen m<sup>3</sup>/jaar).

## 4 WETGEVEND EN BELEIDSKADER

### 4.1 Wetgevend kader

#### Europees beleid

In de Europese Kaderrichtlijn Richtlijn Water (KRW) worden verplichtingen gesteld aan de kwaliteit en de bewaking van grondwaterlichamen. De KRW moet eind 2004 geïmplementeerd zijn. Deze schrijft voor dat een goede grondwatertoestand wordt bereikt in 2015 en dat op Gemeenschapsniveau verslechtering van de watertoestand moet worden voorkomen. Maar de KRW biedt een uitzondering voor reeds sterk verontreinigde grondwaterlichamen: "Maar wanneer een waterlichaam in een zodanige mate door menselijke activiteiten wordt aangetast of de natuurlijke toestand ervan van dien aard is dat een goede toestand niet kan worden bereikt of buitensporig duur is, mogen minder strenge milieudoelstellingen worden vastgesteld op basis van passende, duidelijke en transparante criteria en moeten alle haalbare maatregelen worden genomen om elke verdere achteruitgang van de watertoestand te verhinderen". Afgezien van de voorwaarden voor een goede toestand van het grondwater, moet elke significante en aanhoudende stijgende tendens van de concentratie van een verontreinigende stof worden vastgesteld en teruggedrongen".

De concept versie van de *Grondwater Richtlijn* is in september 2003 door de Europese Commissie gepubliceerd. Enkele belangrijke onderdelen zijn:

1. criteria en algemene indicatoren worden gedefinieerd voor het vaststellen van een goede chemische toestand van het grondwater. Cadmium zit binnen de minimale set van indicatoren waarvoor in ieder geval een drempelwaarde gedefinieerd moet worden. Drempelwaarden moeten nog vastgesteld worden;
2. de concentraties mogen geen opwaartse trend in concentratie vertonen. In de richtlijn wordt vastgesteld hoe deze trend bepaald moet worden;
3. bijzondere aandacht moet worden gegeven aan de grondwaterwingebieden en de interactie van grondwater met oppervlaktewater en terrestrische ecosystemen.

De beoordeling van de toestand van de grondwaterlichamen vindt plaats per grondwaterlichaam. Thans ligt er een voorstel voor indeling van Nederland in 10 deelgebieden. De Kempen ligt geheel binnen het gebied 'Zuidelijke zandgronden'. In het Plan van aanpak voor de karakterisering van het Nederlandse grondwater voor de Europese Kaderrichtlijn Water (RIZA en RIVM, 2003) is geconstateerd dat er binnen Nederland twee belangrijke gebieden zijn die een grensoverschrijdend karakter in grondwaterstroming hebben: " Enkele gebieden waar echter wel sprake is van een enigszins omvangrijke stroming van grondwater over de grens zijn het dal van de Dinkel en de Vecht in Overijssel en het stroomgebied van de Dommel in Noord-Brabant. "

#### Landelijk beleid

De Wet bodembescherming (Wbb) is het wettelijk kader voor de aanpak van verontreinigde landbodems, verontreinigde waterbodems en verontreinigd grondwater. Op basis van deze wet moeten concentraties in de bodem worden getoetst aan de Streef en Interventiewaarden en wordt de Ernst en Urgentie van de bodemverontreiniging vastgesteld.

Stagnatie in de bodemsaneringsoperatie heeft de Regering ertoe gebracht om een koerswijziging in het bodemsaneringsbeleid in te zetten. In 1999 verscheen het BEVER-rapport "Van trechter naar zeef" een maand later gevolgd door het "kabinetsstandpunt over de functiegerichte en kosteneffectieve aanpak van bodemverontreiniging". De aanpak van immobiele verontreinigingen in de bovengrond is in "Van trechter naar zeef" (1999) uitgewerkt, de aanpak van mobiele verontreinigingen in de ondergrond is in "Doorstart A5" (2001) uitgewerkt middels het begrip "stabiele eindsituatie".

Vanwege het uitgestrekte karakter van de verontreiniging in de Kempen is door de TCB een uitzondering gemaakt: *"Een derde situatie waar de saneringsladder minder makkelijk kan worden toegepast zijn grootschalige grondwaterverontreinigingen zoals in de Kempen. Daarvoor zijn ook benaderingen nodig die uitgaan van beveiliging van concrete bedreigde objecten zoals drinkwaterwinningen, als aanvulling op de brongerichte invalshoek van de saneringsladder"*.

### **Provinciaal beleid**

Het verontreinigde gebied binnen de Kempen ligt binnen de provincies Noord-Brabant en Limburg. De provincies zijn verantwoordelijk voor de praktische uitvoering van de ruimtelijke ordening. Daarnaast zijn de provincies verantwoordelijk voor het grondwaterbeheer. Het beleid ten aanzien van (grond)water is uitgewerkt in verschillende plannen:

- waterhuishoudingsplan;
- provinciale beleidsplan;
- provinciale milieuverordeningen;
- provinciale verordeningen waterhuishouding;
- structuurvisies;
- streekplannen.

In het algemeen richt het beleid van de provincies Noord-Brabant en Limburg zich op:

- tegengaan van verdroging;
- bescherming van de drinkwatervoorraad (kwantiteit en kwaliteit);
- optimalisatie van het waterbeheer in de Agrarische hoofdstructuur;
- optimalisatie van het waterbeheer in de Ecologische hoofdstructuur.

### **Gemeentelijk beleid**

Gemeentelijk waterbeleid wordt steeds meer in een overkoepelend waterplan geformuleerd. Aanleiding tot het opstellen van een dergelijk plan kan divers zijn: herinrichting van een wijk, lokale problemen met de waterhuishouding (kwantitatief of kwalitatief), een nieuw rioleringsplan of een nieuw bestemmingsplan. Het doel van het waterplan is dan het water tot mede-ordenend element in de (ruimtelijke) planning te maken en de betrokken beleidsvelden en overheden goed op elkaar af te stemmen.



## 4.2 Ruimtelijke ontwikkelingen en trends in het grondwaterbeheer

Grondwater wordt steeds meer integraal beschouwd. Sinds de tachtiger en negentiger jaren wordt de relatie tussen grondwaterkwantiteit en grondwaterkwaliteit en de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater steeds belangrijker. Sinds enige jaren wordt het grondwaterbeheer ook meer verweven binnen het ruimtelijke beleid. Een dergelijke integrale aanpak komt terug in de Reconstructieplannen, de water(bodem)-beheerplannen, de gemeentelijke waterplannen, natuurherinrichtingsplannen, stedelijke en industriële inrichtingsplannen (bijvoorbeeld ontwikkeling van het DIC-terrein).

Bij het genereren van oplossingen moet rekening worden gehouden met andere ontwikkelingen op het gebied van grondwaterbeheer en grondwaterkwaliteit. Relevante aspecten zijn het verminderen van verdroging (GGOR), het tegengaan van uitspoeling van nutriënten (bijvoorbeeld fosfaat), het optimaliseren van de grondwaterwinningen (draagkracht, AGB), het bergen van water in bovenstroomse gebieden en het realiseren van natuurdoelstellingen (EHS en natuurdoeltypen). Binnen de reconstructie worden de komende jaren integrale projecten gestart waarin een optimaal land- en watergebruik belangrijke doelen zijn. Het ligt voor de hand om de aanpak van het verontreinigde grondwater met zink en cadmium met deze ontwikkelingen zo nauw mogelijk af te stemmen.

In onderstaande tabel worden de meest relevante beleidsontwikkelingen en projecten opgenoemd. Voor drie aspecten is aangegeven of dit een relevant thema is:

1. bescherming van de grondwaterkwaliteit op beleidsmatig niveau (KRW) of praktisch niveau (waterbodembeheersplannen);
2. het afwegen van verschillende alternatieven. Dit kunnen saneringsvarianten zijn (A5) of ruimtelijke varianten (Reconstructie);
3. het ruimtelijk inpassen van maatregelen of het veranderen in functie van gebieden;

**Tabel 4.1 Relatie tussen relevante beleidsontwikkelingen en thema's**

	Bescherming grondwater kwaliteit	Afweging van alternatieven	Ruimtelijke inpassing
KRW			
Bever/A5/ROSA			
Reconstructie			
GGOR/Draagkracht			
WB21			
EHS Natuurdoeltypen			
Waterbodem- beheerplannen			

## 5 KNELPUNTEN EN GEBRUIKSBEPERKINGEN

### 5.1 Definitie van gebruiksbepalingen

Grondwater wordt voor verschillende doeleinden gebruikt; als grondstof voor drinkwater, beregeningswater, veedrenkingswater. Bovendien bepaalt het grondwater voor een belangrijk deel de kwaliteit van de waterbodems in de beekdalen en de ecologische waarde van natuurgebieden. Wanneer verontreinigingen in het grondwater voorkomen kan dit de gebruikswaarde van een gebied beperken. Bijvoorbeeld doordat er risico's optreden voor de gezondheid (humane risico's) of voor de natuur (ecologische risico's).

Het grondwater in De Kempen is, afgezien van het PBZ-terrein, niet dusdanig verontreinigd dat een bepaalde vorm van grondwatergebruik niet langer meer mogelijk is; bijvoorbeeld drinkwaterwinning of beregening. Wel zal het huidige landgebruik in enige mate worden beperkt doordat het grondwater niet de ideale samenstelling heeft. Deze gebruiksbepaling wordt in deze paragraaf ruimtelijk weergegeven op een kaart. Dit is gedaan door het combineren van de volgende drie gegevens:

1. het huidige land- en bodemgebruik;
2. de huidige berekende concentraties zink en cadmium in het bovenste grondwater (1 m –mv);
3. een tabel met afgeleide gebruiksbepalingen per land- en bodemgebruik<sup>1</sup>

**Tabel 5.1 Afgeleide gebruiksbepalingen voor verschillende vormen van landgebruik**

(natte) natuur	Bijlagenummer (met ligging gebieden)	Cadmium [ $\mu\text{g/l}$ ]	Zink [ $\mu\text{g/l}$ ]
Interventiewaarde		6	800
Natuur	2a	1,2	40
Zwemwater	2c	45	3000
Volkstuinen	2c	10	2000
Veedrenking	2d	5	250
Akkerbouw	2d	10	2000
Watervoorziening	2b	3	3000

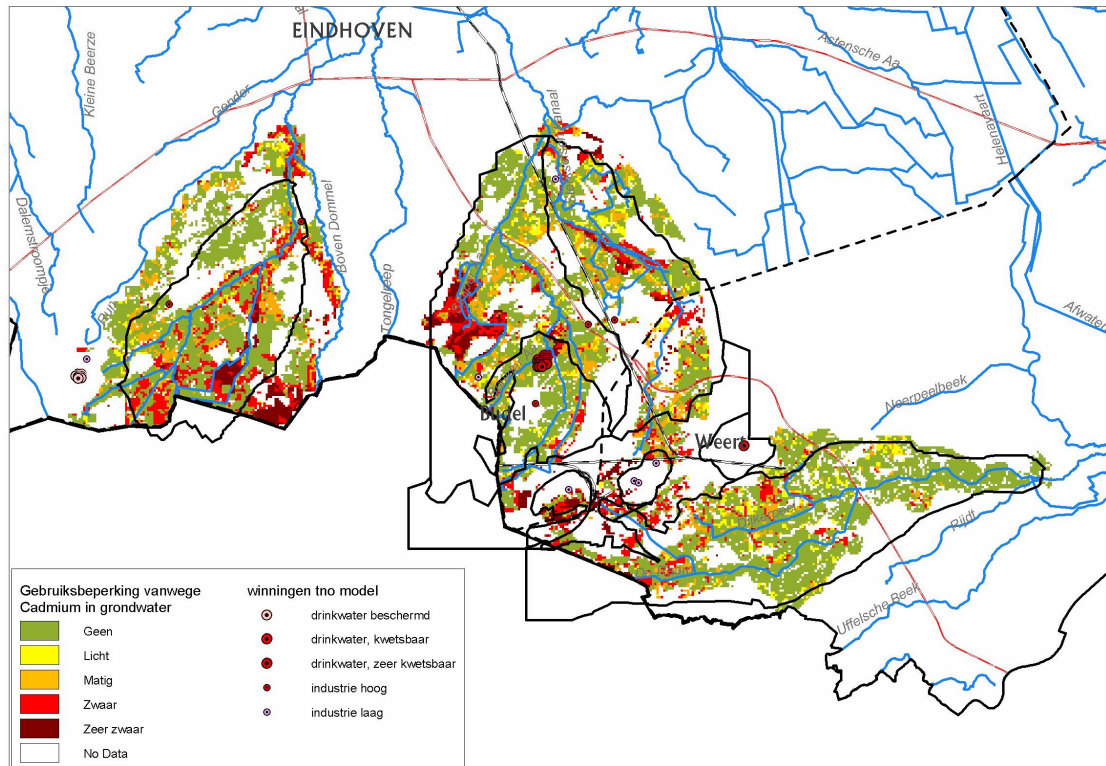
De gebruiksbepalingen zijn ingedeeld afhankelijk van de factor waarmee de boven beschreven waarden worden overschreden:

- No data : de hoog gelegen natuurgebieden en de stedelijke gebieden  
 Geen : geen overschrijding van de bovenbeschreven waarde  
 Licht : overschrijding met een factor 1-2  
 Matig : overschrijding met een factor 2-5  
 Zwaar : overschrijding met een factor 5-10  
 Zeer zwaar : overschrijding met een factor groter dan 10

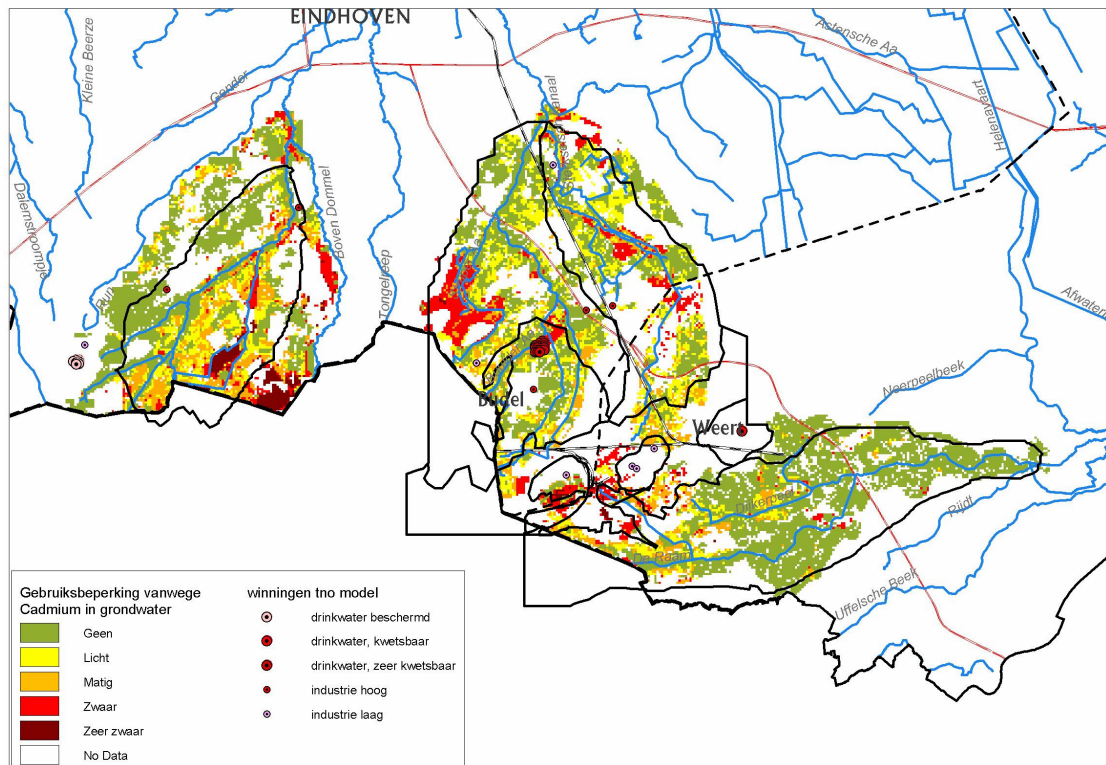
Het diepe grondwater (20 meter –mv) is nu nog niet verontreinigd. De gehele diepe grondwatervoorraad wordt als een apart kwetsbaar object gezien dat zo veel mogelijk beschermd moet worden.

<sup>1</sup> De gebruiksbepalingen zijn gebaseerd op de concentraties cadmium en zink opgelost in het grondwater, inclusief zwevende bestanddelen. De interventiewaarde is gebaseerd op de opgeloste fractie.





**Figuur 5.1 Huidige gebruiksbeperking ten gevolge van zinkverontreiniging in het ondiepe grondwater**



**Figuur 5.2 Huidige gebruiksbeperking ten gevolge van cadmiumverontreiniging in het ondiepe grondwater**

## 5.2 Huidig grondwatergebruik en gebruiksbeperkingen

Kaarten met de huidige gebruiksbeperkingen worden gepresenteerd in Figuur 5.1 en 5.2. In de groene gebieden wordt geen gebruiksbeperking verwacht bij het huidige landgebruik. De concentraties zijn hier voldoende laag. In de witte gebieden is geen directe interactie tussen het ondiepe grondwater en de grondwatergebruikers verwacht. Dit zijn bijvoorbeeld de stedelijke gebieden en de droge hoog gelegen natuurgebieden. Hier is ook geen gebruiksbeperking. Gebieden met een gebruiksbeperking zijn, afhankelijk van de mate van beperking, gepresenteerd in een gele tot (donker)rode kleur.

In de figuren is te zien dat zink en cadmium ongeveer een gelijk beeld in gebruiksbeperkingen veroorzaken. Vanwege de kritische gebruiksconcentratie voor (natte) natuurgebieden worden de natuurgebieden genormeerd met een zware tot zeer zware gebruiksbeperking.

### 5.2.1 Drinkwaterwinningen

Grondwater wordt op vier locaties onttrokken ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Het risico voor de winningen van Luyksgestel en Budel wordt het hoogst ingeschat. Deze winningen zijn relatief ondiep en de verontreinigingsgraad is relatief hoog. De verontreinigen bevinden zich nog niet in het onttrokken water zodat er nu geen gebruiksbeperkingen zijn voor de drinkwaterwinning.

### 5.2.2 Natuurgebieden

In natuurgebieden kunnen problemen ontstaan ten gevolge van de cadmium en zinkverontreiniging door accumulatie van cadmium in de voedselketen en door een verminderde vertering van de strooisellaag. Risico's ten gevolge van verontreinigd grondwater komen alleen voor in de natuurgebieden die afhankelijk zijn van grondwater. Dit zijn de laag gelegen gebieden met ondiep en (soms) opkwellend grondwater. Deze gebieden liggen overwegend in de beekdalen.

Op de hoger gelegen zandruggen komen bossen die binnen de EHS zijn gelegen. Maar vanwege de diep gelegen grondwaterstand zijn deze bossen minder afhankelijk van het grondwater.

Bij relatief lage concentraties kunnen reeds negatieve effecten voor het ecosysteem optreden. Het betreft bijvoorbeeld een verminderde groei en gezondheid van gewassen, doorvergiftiging van zoogdieren en vogels, en een verminderde afbraak van de strooisellaag. In de praktijk worden door natuur- en terreinbeheerders in het veld weinig problemen ervaren ten gevolge van de cadmium en zinkverontreiniging in het grondwater. De belangrijkste bevindingen van een korte telefonische enquête onder natuurbeheerders is onderstaand kader samengevat.

Voor het uitvoeringsprogramma zijn de relatief strenge gebruiksbeperkingen gehanteerd van 1,2 µg/l voor cadmium en 40 µg/l voor zink. Onder deze eis worden gebruiksbeperkingen met name verwacht in de natuurgebieden:

- Strijper Aa;
- Beekdal van de Beekloop en Keersop;
- Vennencomplex ten zuiden van Budel;
- Bovenloop van de Sterkselsche Aa.

### Resultaten telefonische enquête met Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer

In natuurterreinen waar ook begrazing plaatsvindt, zijn in het algemeen geen gezondheidsproblemen van de dieren. Alleen bij extreme hoge gehalten kunnen er gezondheidsproblemen ontstaan. In een studie naar zware metalen in wild op de Veluwe kwam naar voren dat alleen lood een probleem was bij het consumeren van het orgaanvlees van deze dieren.

Hoge gehalten aan zware metalen vormen een belemmering voor het "herstel"-beheer in sommige natuurgebieden. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om het plaggen van de bovenste 30 cm om voedingsstoffen af te voeren en de oorspronkelijke zaadbank bloot te leggen. De gehalten aan zink en cadmium in het plagmateriaal zijn zodanig hoog dat er moet worden afgevoerd naar een stort. Vanwege de gepaard gaande kosten gebeurt dit vaak niet.

Gevreesd wordt voor een verhoging van de mobiliteit van zware metalen in infiltratiezones met een lage pH van het grondwater. In kwelgebieden zijn over het algemeen geen problemen ten aanzien van het vrijkomen van zware metalen in bodem en ondiep grondwater.

#### 5.2.3 Waterbodems

De waterbodems van de oppervlaktewateren in het gebied zijn door de jaren heen (ernstig) verontreinigd geraakt door de aanvoer van zink en cadmium via het oppervlaktewater en het zwevend stof, ook uit België, en door aanvoer vanuit het grondwater. De waterbodemkwaliteit kan als gevolg van erosie-/sedimentatieprocessen (dynamiek) binnen een watersysteem sterk variëren. Door de drainerende werking van de waterlopen en het opkwellend grondwater in de beekdalen worden verontreinigende stoffen in de richting van het watersysteem getransporteerd. Verontreinigd grondwater dat opkwelt in oppervlaktewater passeert de waterbodem (indien aanwezig). Over het algemeen heerst hierin een sulfaatreducerend milieu, waardoor metalen worden vastgelegd. Cadmium en zink hechten bovendien goed aan het organisch rijke slibmateriaal. Sanering van de waterbodem is vanuit dit oogpunt niet altijd direct noodzakelijk.

De sterk verontreinigde waterbodems in beken leiden tot negatieve effecten op ecosystemen en verontreiniging van overstromingsgebieden. Door de verspreiding van de verontreiniging stroomafwaarts nemen de toekomstige onderhouds- en saneringskosten toe, omdat het vrijkomende (verontreinigde) slib bij een erkende verwerker moet worden gestort. Dit leidt tot stagnatie van de reguliere onderhouds- en inrichtingswerkzaamheden aan waterlopen en belemmert de uitvoering van natuur- en beekherstelprojecten. In situaties waarbij sprake is van herverontreiniging via het grondwater kan de realisatie van beekherstelprojecten of de aanleg van ecologische verbindingzones ernstig worden belemmerd. In de waterbodembeheersplannen wordt aangegeven op welke wijze hiermee kan worden omgegaan.

#### 5.2.4 Landbouw

Opname van cadmium en zink vindt plaats via de bovenste bodemlaag. Cadmium en zink worden door plantenwortels opgenomen en naar bovengrondse delen getransporteerd. Daardoor kan de concentratie in de plant aanzienlijk oplopen. Door uitspoeling van zink en cadmium naar de ondergrond wordt het risico van opname door planten steeds kleiner.

Grondwater wordt door boeren onttrokken ten behoeve van veedrenking. Een koe krijgt het grootste gedeelte van de vochtbehoefte binnen via de consumptie van gras (circa 85 liter per dag). Afhankelijk van de melkgift heeft een koe nog 0 tot 85 liter extra water nodig. Risico's voor vee bestaan naast het opdrinken van verontreinigd water ook uit voer, aanhangende grond met het voer, buitenlucht, en dermaal contact.

De beregeningsputten staan op een diepte vanaf 20 meter beneden maaiveld. De verontreiniging bevindt zich nog niet zo diep. In de praktijk worden door agrariërs weinig gebruiksbependingen ervaren (zie onderstaand kader).

##### **Resultaten gesprek ZLTO (H. Hoeben, voorzitter ZLTO Cranendock)**

Beregeningsputten staan over het algemeen op een diepte tussen de 20 meter en 40 meter onder maaiveld. Precieze afstelling van de filters wordt gedaan op basis van het voorkomen van ijzermoerbanken. Onttrekking van ijzerrijk water wordt zo voorkomen. Onttrekkingen voor tuinsproeiers en handpompjes worden wel gedaan in de bovenste 20 meter.

De kwaliteit van het grondwater wordt door agrariërs niet gecontroleerd. Aangenomen wordt dat het grondwater een goede kwaliteit heeft.

Door aanhechting van verontreinigd bodemmateriaal aan gewassen of het beregenen met verontreinigd water kunnen gewassen ook mogelijk verontreinigd raken. Over dit proces is weinig onderzoek gedaan.

De Keuringsdienst voor Waren doet steekproefsgewijs onderzoek naar de kwaliteit van gewassen bij veilingen en winkels. In het algemeen komen hier geen problemen naar voren. Het enige bekende probleem is de overschrijding van LAC-waarden en de Warenwet bij een grasland in de directe omgeving van het PBZ-terrein in 2002.

#### 5.2.5 Volkstuinen en zwemwater (humane risico's)

De Technische commissie bodembescherming en het Provinciaal Bureau Medische Milieukunde van de GGD Brabant en Zeeland stellen dat het grootste risico wordt gevormd door het consumeren van groenten van met cadmium verontreinigde bodem. Uit bevolkingsonderzoeken is gebleken dat dit nierschade kan veroorzaken. Uit de huidige gezondheidsonderzoeken kunnen de nadelige effecten voor de gezondheid nog niet reëel worden ingeschat. In De Kempen komen relatief veel moes- en volkstuinen voor. Gewassen waarvan bekend is dat zij gemakkelijk cadmium uit de bodem opnemen zijn snijsla, spinazie, selderij(loof), radijs, prei en rabarber [DHV, 2000].

De gewasopname is sterk afhankelijk van de pH, het humus- en lutumgehalte. Door ABdK zijn adviezen uitgebracht ten aanzien van het nuttigen van gekweekte gewassen in volkstuinjes.

Door het binnen krijgen van verontreinigd water in zwemplassen kunnen tevens risico's voor de gezondheid optreden. Dit risico is gering vanwege de kleine hoeveelheden.

### **5.3 Toekomstig grondwatergebruik en gebruiksbeperkingen**

#### **5.3.1 Drinkwaterwinningen**

Het transportmodel berekent voor de periode tot 2100 geen doorbraak in de winningen van Luiksgestel en Budel. Deze winningen worden daarom niet bedreigd.

#### **5.3.2 Natuurgebieden**

In het kader van de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur zal in de periode tot 2015 landbouwgrond worden omgezet in natuurgebieden. Op provinciale schaal zijn deze plannen uitgewerkt in de GHS (Noord-Brabant) en het PES (Limburg).

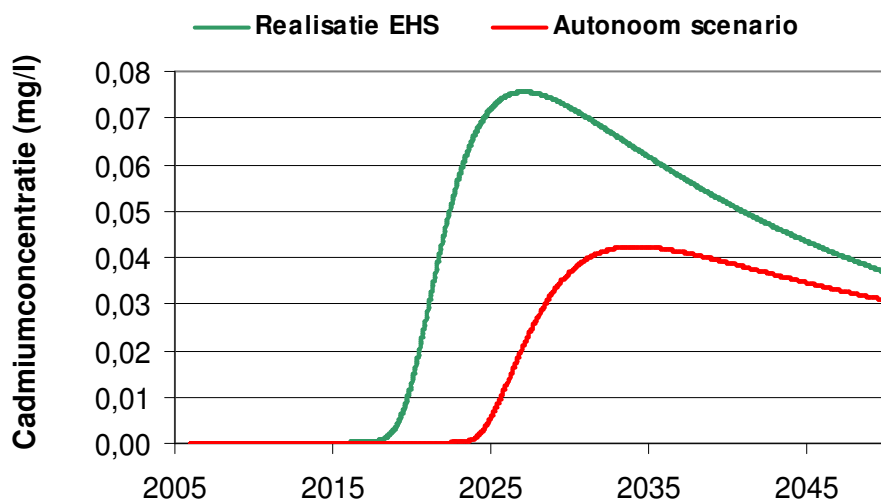
Door de omzetting van landbouw in natuur zal in het algemeen het volgende gebeuren:

- door het stopzetten van drainage zal de grondwaterstand stijgen;
- door het stopzetten van bekalking zal de pH dalen;
- door ophoging in natte gebieden zal het organisch stofgehalte kunnen toenemen;
- door het stopzetten van bemesting neemt de belasting met cadmium en zink af.

Van de vier bovenbeschreven effecten is de verandering van pH het meest van invloed op de uitspoeling van cadmium en zink naar het grondwater.

Om een indruk te krijgen van de effecten van pH verandering en omzetting van landbouw in natuurgebieden is zijn berekeningen uitgevoerd, waarbij alle landbouwgebieden vallend binnen de EHS direct in 2005 worden omgezet tot natuur.

Uit de resultaten (Figuur 5.3) is af te leiden dat de uitspoeling van cadmium en zink sneller plaats vindt door de omzetting van landbouw in natuurgebieden.

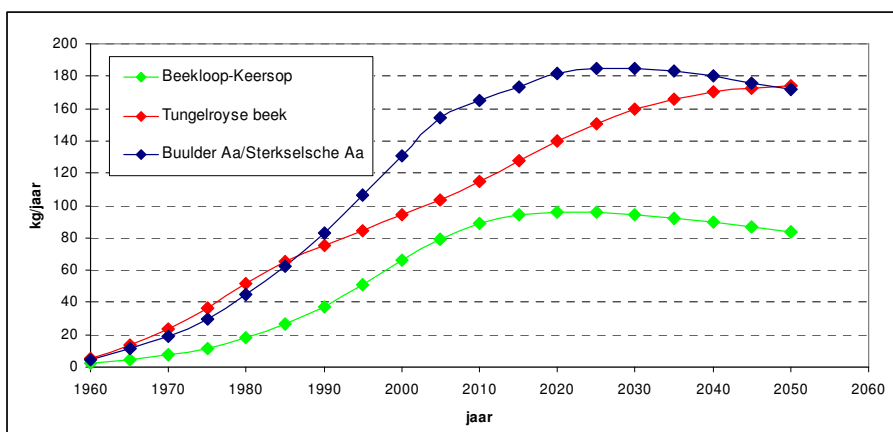


**Figuur 5.3** Gevolg van omzetten van landbouw in natuur voor de uitspoeling van cadmium

### 5.3.3 Waterbodems

Verspreiding van verontreinigd grondwater is een proces wat aanzienlijk wordt vertraagd door vastleggingsprocessen. Maar uiteindelijk kwelt de bulk van de verontreiniging uiteindelijk op in de waterlopen en sloten. Voor drie hoofddeelsystemen van beken is uitgerekend om hoeveel vracht het gaat en hoe snel dit proces verloopt. De drie hoofdwatersystemen zijn:

1. Beekloop-Keersop;
2. Tungelroyse beek;
3. Bulder Aa/Sterkselsche Aa/Strijper Aa.



**Figuur 5.4** Uitspoeling van cadmium naar het oppervlaktewater voor de drie hoofdwatersystemen



De berekende hoeveelheid cadmium die jaarlijks naar het oppervlaktewater opkwelt wordt gepresenteerd in figuur 5.4. Uit deze figuur kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- voorlopig neemt de jaarlijkse hoeveelheid uitgespoeld cadmium nog toe voor alle beeksystemen;
- de beeksystemen reageren verschillend. De uitspoeling naar de Tungelroyse beek blijft tot 2050 door stijgen. Voor het Beekloop-Keersop systeem wordt in 2020 een maximum bereikt.

#### 5.3.4 Landbouw

In het kader van de reconstructie en het realiseren van de EHS zal landbouwgrond uit de productie worden genomen. Het resterende landbouwgebied zal op de korte termijn steeds minder gebruiksbeperkingen ondervinden ten gevolge van de afname in concentraties cadmium en zink in de bovenste meters. Berekeningen laten zien dat in 2050 de verontreiniging alleen in de kerninfiltratiegebieden (Bijlage 3d) dieper zal zijn gezakt dan 20 meter –mv. In deze gebieden komen geen beregeningsputten voor. Daarom is er tot 2050 geen gebruiksbeperking te verwachten ten aanzien van beregeningswater.

## 6 MAATREGELEN

### 6.1 Algemene systematiek: Systeemgericht

Om risico's van verontreinigd grondwater te beperken kunnen verschillende maatregelen genomen worden. Deze maatregelen zijn gericht op twee doelen:

- het verkleinen van risico's bij kwetsbare objecten;
- het verwijderen van vracht uit het systeem.

Maatregelen kunnen het beste worden genomen, wanneer ze zijn toegespitst op de kenmerken van het grondwatersysteem. Afhankelijk van de verontreinigingssituatie kunnen maatregelen gericht worden genomen bij de bron, het pad of het kwetsbare object.

### 6.2 Brongerichte maatregelen

Binnen het projectbureau ABdK lopen er naast de aanpak van het grondwater andere initiatieven die zich bezighouden met brongerichte aanpak van verontreinigingen.

Voorbeelden hiervan zijn:

1. het verwijderen van zinkassen. Voor het saneren van zinkassenwegen of -erven is een subsidiesysteem opgezet;
2. het vastleggen/immobiliseren van verontreinigingen in de bovengrond op landbouwpercelen. Dit kan gedaan worden door het toevoegen van kalk of kleimineralen. Voor deze toepassingen worden door ABdK pilotprojecten uitgevoerd;
3. fyto-remediatie/fyto-extractie. Door het kweken van speciale gewassen kan cadmium en zink worden opgeslagen in plantendelen;

Andere mogelijke brongerichte maatregelen zijn:

4. het onttrekken en zuiveren van ondiep verontreinigd grondwater.

Uit modelberekeningen kunnen conclusies worden getrokken over de effectiviteit van de maatregelen 1 en 2:

- het verwijderen van zinkassen een klein effect heeft op de totale massabalans (tabel 6.1). De diffuse bronnen leveren een veel groter resterend aandeel in de uitspoeling naar het grondwater. In totaal neemt de uitspoeling vanuit de onverzadigde zone naar het grondwater af met 2 tot 10 % (voor respectievelijk cadmium en zink). Lokaal kan dit wel een zeer positief effect hebben op de grondwaterkwaliteit;
- de pH wordt op landbouwgronden verhoogd door te bekalken. Dit vermindert de totale uitspoeling sterk, omdat bekalking over grote oppervlaktes wordt toegepast. De lokale effectiviteit van bekalken is sterk afhankelijk van de plaatselijke geochemische omstandigheden en de diepte waarop het verontreinigingsfront zich bevindt. Het verontreinigingsfront is gedefinieerd als de diepte waarop zich de hoogste concentraties cadmium en zink bevinden. Wanneer de verontreiniging reeds te diep in de bodem is uitgespoeld zal het effect naar bekalken gering zijn, omdat het "kalk-front" het zink en Cadmiumfront niet inhaalt. De precieze diepteligging van het verontreinigingsfront kan door monitoring en modelberekeningen later beter in kaart worden gebracht.



**Tabel 6.1 Effect van het verwijderen van alle zinkassen op de totale uitgespoelde vracht cadmium en zink naar het grondwater**

	Autonome ontwikkeling (ton)		Verwijderen zinkassen (ton)		Verschil (%)	
	Zink	Cadmium	Zink	Cadmium	Zink	Cadmium
Beekloop-Keersop	1634	16	1440	16	12%	3%
Sterkselsche Aa/Buulder Aa	2110	26	1882	25	11%	2%
Tungelroyse beek	1446	13	1327	13	8%	2%
<b>Totaal</b>	<b>5190</b>	<b>55</b>	<b>4650</b>	<b>54</b>	<b>10%</b>	<b>2%</b>

### 6.3 Beïnvloeding van de verspreiding in het grondwaterlichaam

Voorbeelden van maatregelen in het grondwatersysteem zijn:

1. het onttrekken en zuiveren van grondwater. Voor het onttrekken van water kunnen bestaande onttrekkingen (drinkwaterwinningen, koude-warmte opslag systemen, industriële onttrekkingen en beregingen) worden gebruikt;
2. het infiltreren van schoon grondwater om zo de grondwaterstroming te beïnvloeden;
3. het veranderen van het peilbeheer om zo de grondwaterstroming te beïnvloeden;
4. het laten neerslaan (in-situ precipitatie) van zink en cadmium door het veranderen van de geochemische omstandigheden in het watervoerend pakket.

#### Toelichting bij In-situ precipitatie

Naar maatregel 4 is door Tauw nader onderzoek gedaan. In-situ precipitatie is het verschijnsel dat metalen, zoals cadmium en zink, worden vastgelegd in sulfide complexen. Eerst zal het meer stabiele cadmiumsulfide neerslaan en daarna zinksulfide.

Dit proces doet zich van nature in de bodem voor als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

1. een zuurstofloos milieu;
2. pH niet lager dan 3,5-4;
3. aanwezigheid van sulfaatreducerende bacteriën;
4. voldoende sulfaat;
5. aanwezigheid van een elektronendonor (voedingsbron voor de bacteriën).

In De Kempen wordt aan de eerste 3 voorwaarden voldaan wanneer het grondwater zich op een diepte beneden 5 meter onder maaiveld bevindt. De sulfaatreducerende omstandigheden en de aanwezigheid van een elektronendonor zijn vaak de beperkende factor. De exacte redox-omstandigheden (sulfaatreductie) in de diepte zijn nog onvoldoende bekend. Deze factor bepaalt sterk in hoeverre in-situ precipitatie daadwerkelijk optreedt.

Het proces van vorming van sulfide complexen is in de modellering voor het uitvoeringsprogramma niet meegenomen. Daarom zijn aanvullende indicatieve berekeningen uitgevoerd (Tauw, 2004) voor het wingebied rond Budel en een gebied in het stroomgebied van de Beekloop-Keersop (op het Kempisch Plateau). Uit deze berekeningen is geconcludeerd dat:

1. Het aanwezige cadmium en zink volledig wordt vastgelegd in de periode tot 2050 als wordt uitgegaan van de gemiddeld aangenomen geochemische condities
2. Uitgaande van worst-case omstandigheden (sulfaatreductie vanaf 15 m –mv en 5 keer minder organisch stof) wordt in het gebied rond Budel nog steeds alle metalen vastgelegd. In het gebied van de Beekloop-Keersop gebeurt dit dan slechts gedeeltelijk.

In-situ precipitatie kan worden gestimuleerd door het injecteren van elektronendonoren in de bodem. Een relatief dicht net van injectiefilters is nodig om het substraat goed in de bodem te kunnen verdelen. Dit is daarom een te intensieve methode voor diffuus verontreinigde gebieden.

## 6.4 Object gerichte maatregelen

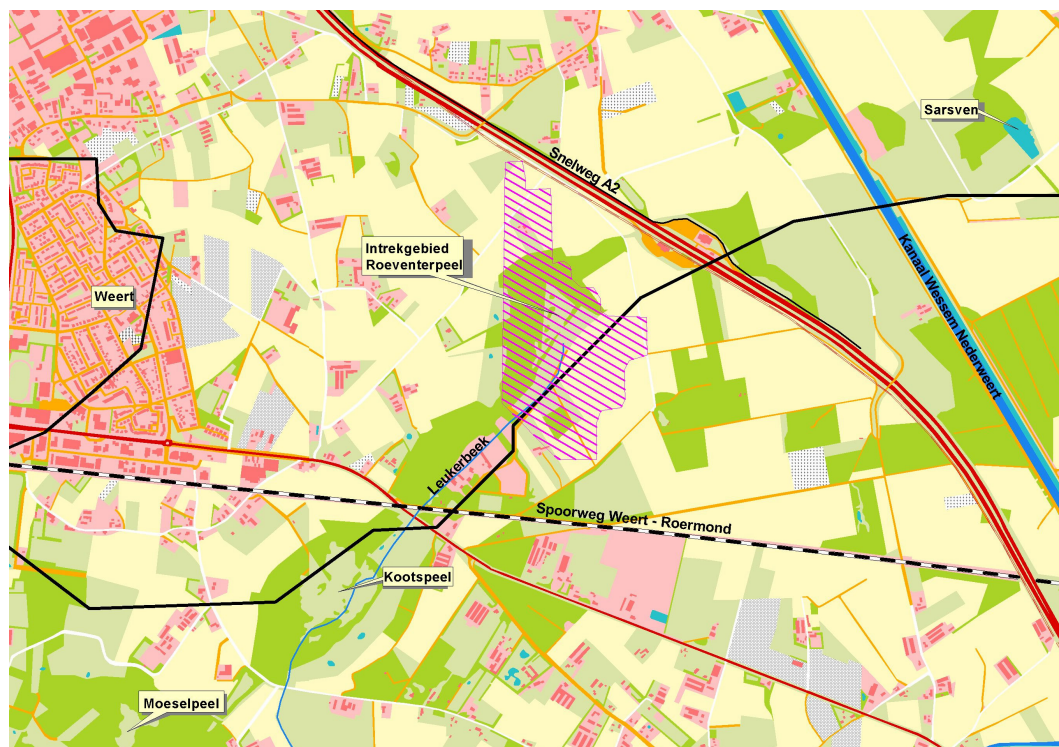
Voorbeelden van objectgerichte maatregelen zijn:

1. het veranderen van het landgebruik. De maatschappelijke trend voor de komende decennia is het omzetten van landbouwgrond in natuurgronden. Hierdoor zal meer cadmium en zink uitspoelen naar het grondwater. Het omzetten van landgebruik, primair ter vermindering van risico's van de cadmium en zinkverontreiniging, is gezien de knelpuntenanalyse (hoofdstuk 5) een weinig effectieve en realistische maatregel;
2. het geven van gebruikadviezen bij het gebruik van grondwater afkomstig uit handpompen en tuinsproeiers.

Grondwater kwelt uiteindelijk op in beekdalen, vennetjes en andere natte gebieden. Risico's kunnen hier worden verminderd door het saneren van verontreinigde waterbodems en het vastleggen van verontreinigingen door fyto-remediatie (bijvoorbeeld wilgenbossen). Binnen ABdK worden hiervoor initiatieven ondernomen. Bij het saneren van waterbodems in vennen of beekdalen moet rekening worden gehouden met de hoeveelheid verontreinigd grondwater die nog in de toekomst zal toestromen.

#### 6.4.1 Case van object gerichte benadering: Roeventerpeel

Ter illustratie wordt het voorbeeld van het Roeventerpeel gebruikt. Dit gebied (21 ha), in eigendom van het Limburgs Landschap, ligt ingeklemd tussen de autosnelweg A2 en spoorlijn ten oosten van Weert. Het ven is geheel verland en begroeid met riet en struweel; het wordt omgeven door Elzenbroekbos met overgangen naar droger eikenbos en grasland. In het gebied komen vier wateren samen: de Einderbeek, de Vlierlossing, de Kraanlossing en de Stortbermsloot die samen de Leukerbeek vormen.

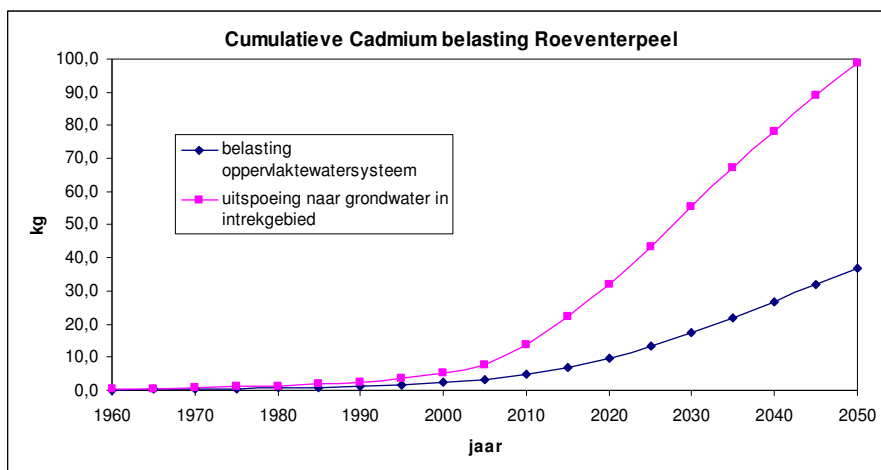


**Figuur 6.1** Situatieschets Roeventerpeel

Het Roeventerpeel is een van de peelvennen die als een kralensnoer aaneen liggen in het Leukerbeekdal. Elk veen heeft door de ligging in het hydrologisch systeem een eigen type water. Het meest bovenstroomse gedeelte van de vennen wordt door regenwater gevoed; het Roeventerpeel en de Kootspeel ontvangen lokale kwel en de vennen stroomafwaarts (Moeselpeel, Roukespeel, De Krang) ontvangen regionale kwel (vanuit het infiltratiegebied in de buurt van Weert). Doordat het water langzaam oppervlakkig afstroomt kunnen de verschillende watertypes zich langzaam mengen en zo ontstaan subtiele ecologische waterkwaliteitsgradiënten.

Een deel van de waterbodem van het Roeventerpeel is verontreinigd met cadmium en zink. Het noordelijk gedeelte van het ven is het meest verontreinigd met klasse IV slib. Het Limburgs Landschap overweegt om dit gedeelte te saneren om zo een goede ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater te kunnen garanderen. Een alternatief is het laten zitten van de waterbodem. Onder anaërobe condities zullen cadmium en zinkverontreinigingen worden vastgelegd in sulfidecomplexen in het slib. Wanneer dit voldoende gebeurt wordt de waterkwaliteit niet bedreigd.

Door de WUR wordt in opdracht van ABdK onderzoek gedaan naar deze processen binnen het Roeventerpeel. Binnen dit onderzoek zal ook in meer detail worden gekeken naar de verticale concentratiegradiënt cadmium en zink binnen het nieuwe en oude veenpakket. Deze analyse geeft mogelijk uitsluitsel over de herkomst van de metalen: opkwellend grondwater of atmosferische depositie.

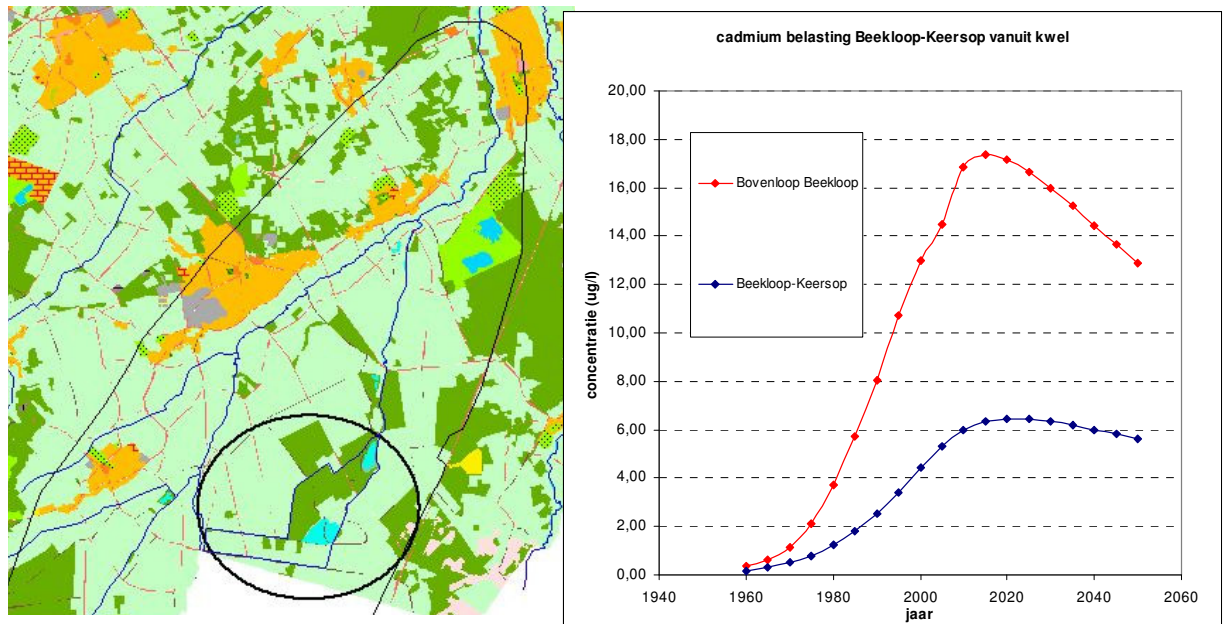


**Figuur 6.2** Cumulatieve belasting en uitspoeling naar het grondwater in het intrekgebied van het Roeventerpeel

Met het geohydrologisch model is de grootte van het intrekgebied bepaald (zie figuur 6.1). Het betreft een relatief klein intrekgebied van waaruit licht verontreinigd water naar het ven kan stromen. Ondanks de beperkte omvang van het intrekgebied zal de toestroming van verontreinigd grondwater naar het ven nog lange tijd doorzetten (figuur 6.2). In deze figuur wordt zowel de totale hoeveelheid cadmium (roze lijn) als het gedeelte dat in het ven opkwelt (blauwe lijn) weergegeven. Tot 2050 zal naar schatting nog 35 kg cadmium in het Roeventerpeel opkwellen. Bij het saneren van de waterbodem in het ven dient hiermee rekening te worden gehouden.

## 6.4.2 Case van object gerichte benadering: Bovenloop Beekloop

De bovenloop van de Beekloop maakt deel uit van de EHS. De beek ontspringt op de Belgisch-Nederlandse grens. De voeding van verontreinigd water uit oppervlaktewater is daarom gering. De beek wordt gevoed door lokaal grondwater. Omdat dit een relatief zwaar verontreinigd gebied is met weinig buffercapaciteit in de bovengrond verloopt de toestroming naar het oppervlaktewater kort en hevig.



**Figuur 6.3** Gemiddelde concentratie cadmium van het toestromende grondwater naar het totale Beekloop-Keersop systeem (licht omcirkelde gebied) en de bovenloop van de Beekloop-Keersop (dik omcirkelde gebied)

Dit principe wordt nader toegelicht in bovenstaande figuur. De uitspoeling van cadmium naar de bovenloop van de Beekloop (de rode lijn) gaat gepaard met hogere concentraties, maar vakt ook weer sneller af, in vergelijking met de gehele Beekloop-Keersop. Ter vergelijking: Waterschap De Dommel meet maandelijks de oppervlaktewaterkwaliteit van de Beekloop. In de periode 1999 – 2003 varieerde de gemeten concentratie cadmium tussen een minimale waarde van 0,15 µg/l en een maximale waarde van 1,0 µg/l.

Bij een snel reagerend systeem, zoals de bovenloop van de Beekloop-Keersop kan de doorspoeling nog verder gestimuleerd worden. Bijvoorbeeld door het toepassen van meer beregening of het aanpassen van peilbeheer. Hiermee wordt de piek in afvoer van cadmium nog steiler. Dit heeft het voordeel dat de voeding met verontreinigd grondwater eerder ophoudt en op een eerder tijdstip een continu goede toestand van de waterbodem wordt bereikt.

### Vergelijking tussen grondwaterkwaliteit en waterbodempkwaliteit

Het waterbodembeheer wordt in de praktijk afgestemd op de hoeveelheid te verwachten toestromend verontreinigd grondwater. Daarom is voor het stroomgebied van de Beekloop-Keersop een vergelijking gemaakt tussen de berekende hoeveelheid toestromend verontreinigd grondwater en de aanwezige hoeveelheid verontreinigd slib in de waterbodems.

Voor de schatting van de hoeveelheid verontreinigd slib is gebruik gemaakt van de schattingen hoeveelheden verontreinigd slib per verontreinigingsklasse uit het 10 jaren scenario. Op basis van de kwaliteitsmeetgegevens van het slib (in de periode 1992 – 1995) is per klasse vastgesteld wat de gemiddelde concentratie zink en cadmium in het slib is. Door de bekende hoeveelheden slib uit het 10 jaren scenario te vermenigvuldigen met deze concentraties kan de totale vracht aan cadmium en zink in het slib globaal worden geschat.

**Tabel 6.2: Geschatte hoeveelheden cadmium en zink in het slib in het stroomgebied van de Beekloop-Keersop**

Klasse	Hoeveelheid m <sup>3</sup>	Concentratie in slib		Vracht in slib	
		mg/kg ds		Kg	
		Cd	Zn	Cd	Zn
0	760	0.7	93	1	120
1	2520	0.5	24	2	103
2	17600	2	145	60	4338
3	140	4	450	1	107
4	2170	8	900	30	3320
<b>Totaal</b>	<b>23190</b>			<b>94</b>	<b>7988</b>

Uit bovenstaande globale berekeningen blijkt dat er naar verwachting ongeveer 100 kg cadmium en 8000 kg zink in het slib zit. Met het transportmodel wordt berekend dat tot heden ongeveer 700 kg cadmium is verspreid naar het systeem van de Beekloop-Keersop. Deze zeven keer grotere hoeveelheid kan verschillende oorzaken hebben:

- het grondwatermodel overschat de hoeveelheid uitspoeling naar de beken. In werkelijkheid vindt dit proces wellicht langzamer plaats;
- de gemiddelde metingen van het kwaliteit slib geven een onderschatting. Er is namelijk gebruik gemaakt van een beperkte set van data. Het betreft daarom een zeer ruwe schatting zodat het goed mogelijk is dat plaatselijk hogere concentraties kunnen voorkomen;
- een groot deel van de massa toegestroomd verontreinigde grondwater bevindt zich niet meer in het slib; omdat dit al gesaneerd is of omdat de metalen in het water zijn opgelost en verder afgestroomd zijn.



## 6.5 Afstemming tussen bron en object gerichte maatregelen

De berekeningen voor het uitvoeringsprogramma hebben het volgende geleerd:

- de verontreiniging bevindt zich thans nog in de bovenste meters. Optimale vrachtverwijdering kan daarom alleen plaats vinden in de bovenste 10 meter van de bodem. Tot 2050 wordt lokaal verontreinigd grondwater verwacht dieper dan 20 meter –mv;
- bescherming van kwetsbare objecten moet vooral gericht zijn op de lokale systemen. Hier kan het grondwater snel uitspoelen naar de beekdalen;
- verspreiding naar de diepte vindt plaats in de regionale systemen. Hier moeten maatregelen vooral gericht zijn op bescherming van het diepe grondwater, zoals het onttrekken en infiltreren van water.



## 7 SCENARIO'S

Om een idee te krijgen van het effect van maatregelen zijn drie scenario's berekend met het grondwatertransportmodel. De scenario's zijn zo samengesteld dat een breed spectrum in intensiteit van maatregelen wordt afgedekt. In het meest eenvoudige scenario wordt naast het blijven monitoren van de grondwaterkwaliteit niets gedaan. Dit wordt het autonome scenario genoemd. Bij het extensieve scenario wordt aangesloten bij veranderingen in het waterbeheer en ruimtelijke plannen. Voor de berekeningen is uitgegaan van het scenario waarin gestopt wordt met beregenen van landbouwgewassen. In het intensieve scenario wordt actief ingegrepen in het grondwaterlichaam door water te onttrekken, te infiltreren en te zuiveren. De scenario's geven dus een beeld van het effect van een set aan maatregelen die gerealiseerd kunnen worden tegen bepaalde kosten. Uiteindelijk moeten ingrediënten van deze scenario's worden verwerkt in de uitvoeringsplannen en het definitieve uitvoeringsprogramma.

De drie scenario's zijn samengevat:

- autonoom scenario; huidige praktijk van beregening wordt voortgezet;
- extensief scenario; beregening wordt stopgezet;
- intensief scenario; actief grondwater onttrekken, infiltreren en zuiveren.

De resultaten van de berekeningen worden nader toegelicht in hoofdstuk 8.

### 7.1 Autonoom scenario; voortzetting van de huidige beregening

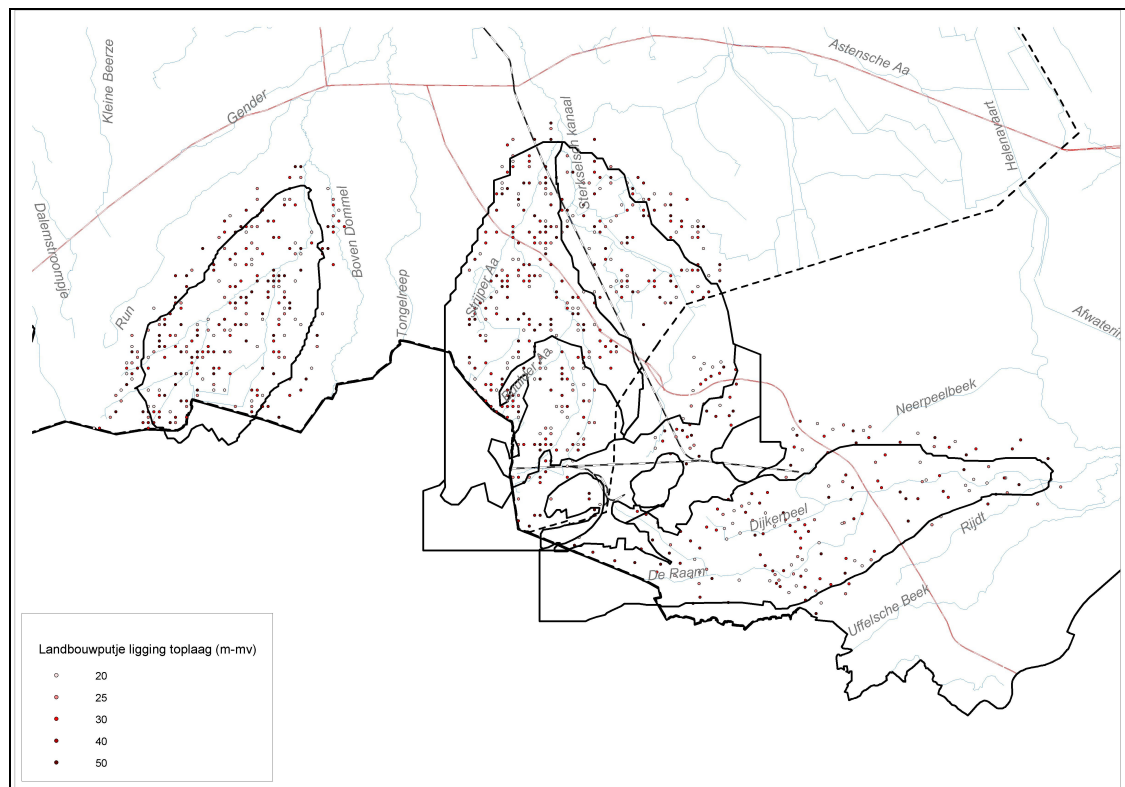
Het autonome scenario is gedefinieerd als een voortzetting van de huidige situatie.

In werkelijkheid zal de ruimtelijke en hydrologische situatie waarschijnlijk aanzienlijk veranderen. Op de langere termijn (tot 2050) moet rekening worden gehouden met hogere piekafvoeren, ruimte die gereserveerd wordt voor waterberging, landbouwgebieden die omgezet worden in natuur, onttrekking van grondwater zal steeds meer beperkt worden. De precieze veranderingen zijn nog niet bekend. Daarom is dit ook niet verwerkt in de scenario's. Wanneer dit wel zou zijn gedaan, zou dit bovendien de vergelijking met de andere twee scenario's bemoeilijken.

In de huidige situatie wordt berekend voor de landbouw. De precieze locaties en dieptes van deze putten zijn (nog) niet precies bekend. Daarom is in het huidige Waterdoelenmodel ook nog geen rekening gehouden met deze onttrekkingen. Uit schattingen is echter bekend dat ten behoeve van beregening en veedrenking een substantiële hoeveelheid grondwater wordt onttrokken.

Om een indruk te krijgen van het effect van deze beregeningsputten is de volgende schematisatie doorgevoerd in het geohydrologisch model:

- geschat is dat binnen het projectgebied jaarlijks 7,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar wordt onttrokken voor beregening en veedrenking;
- deze onttrekking is verdeeld over ruim 800 putten. Dit is een jaarlijks gemiddelde onttrekking van ongeveer 25 m<sup>3</sup>/d per put. In werkelijkheid wordt de onttrekking voor beregening in de twee meest droge maanden van het jaar gerealiseerd;
- de onttrekkingsputten zijn verdeeld over de gras en akkerbouwgebieden (zie figuur 7.1);
- de onttrekkingsdiepte is willekeurig verdeeld tussen de 20 en 60 meter onder maaiveld;
- 35 % van het onttrokken water infiltreert weer naar het grondwater. Het overige gedeelte wordt door de planten opgenomen of verdampt.



**Figuur 7.1 Aangenomen locaties van de beregeningsputten in het transportmodel**

## 7.2 Extensief scenario; stopzetten van de beregening

Om verdroging te compenseren zal in de toekomst de hoeveelheid onttrokken water voor beregening en veedrenking steeds verder afnemen. In het extensieve scenario is aangenomen dat de beregeningen geheel worden stopgezet. Dit betekent dat er ten opzichte van het autonome scenario:

- 7,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar minder grondwater wordt onttrokken uit het diepe watervoerende pakket;
- 2,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar minder water ten goede komt als grondwateraanvulling in de landbouwgebieden.

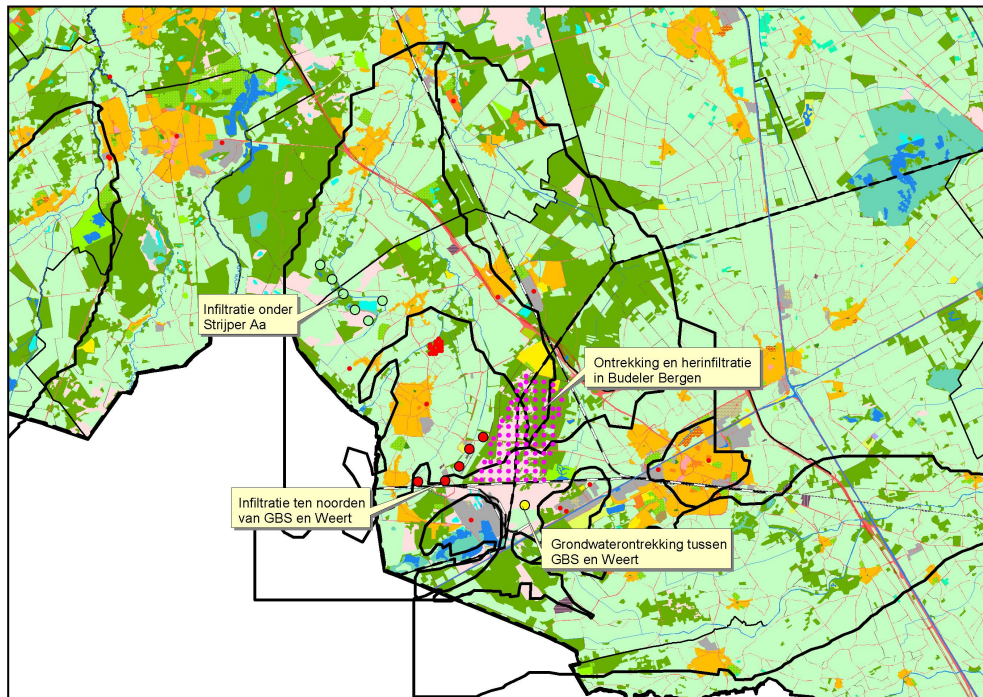
### 7.3 Intensief scenario; bescherming van het diepe grondwater

In het intensief scenario is een pakket maatregelen samengesteld die zijn gericht op bescherming van het diepe grondwater. De maatregelen bestaan uit onttrekkingen en infiltratie. In het intensieve scenario wordt niet berekend.

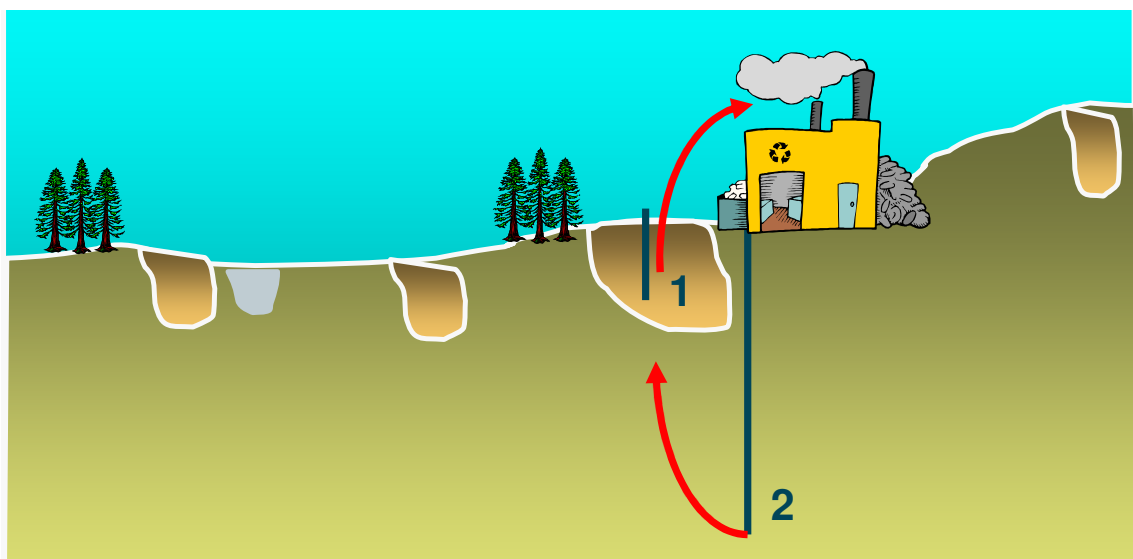
De volgende maatregelen zijn gedefinieerd:

- een extra grondwateronttrekking tussen het Geohydrologisch Beheer Systeem (GBS) van PBZ en de industriële winningen bij Weert. Dit gebied maakt onderdeel uit van het kerninfiltratiegebied. Het water dat hier infiltreert, zal pas na zeer lange tijd weer dagzomen. De onttrekking beschermt het diepere grondwater tegen verontreiniging met zware metalen door de verontreiniging af te vangen. De onttrekking heeft een filterstelling van 15 tot 20 m-mv en het debiet bedraagt 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar;
- het water dat bij bovenstaande winning wordt onttrokken wordt geherinfiltrated ten noorden van het GBS. Deze infiltratie van water heeft tot doel om de doorspoeling van cadmium en zink te vergroten door een duidelijke scheiding te creëren tussen het intrekgebied van de drinkwaterwinning Budel en het GBS van PBZ. De filters zijn afgesteld tussen 20 en 50 m-mv. Het infiltratiewater debiet bedraagt 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar;
- herinfiltratie in het bovenstroomse gebied van de Strijper Aa. Deze infiltratie heeft tot doel de doorspoeling van verontreinigd grondwater te versnellen in het watervoerend pakket en de infiltratie van verontreiniging van bovenaf te beperken. De filters zijn afgesteld tussen de 20 en 50 m-mv. Het infiltratiedebiet bedraagt 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Water moet van elders aangevoerd worden. Hiervoor kan water worden gebruikt uit gebieden met wateroverlast (bijvoorbeeld Eindhoven), andere onttrekkingen of oppervlaktewater. Bij deze opties moet rekening worden gehouden met de kosten van aanvoer van water en eventuele kosten van zuivering van (licht) verontreinigd water. Voor de kostenberekening is uitgegaan van het aanleggen van een 20 km lange leiding; zuiveringskosten zijn niet begroot.
- een diffuse grondwateronttrekking met plaatselijk herinfiltratie ter plaatse van het kerninfiltratiegebied van Budeler Bergen. Deze grondwateronttrekking met herinfiltratie heeft tot doel wegzijging van verontreinigd grondwater naar diepe watervoerende pakketten te voorkomen door het verontreinigde water na onttrekking te zuiveren. Het systeem wordt gerealiseerd middels een aantal kleine onttrekkingsputten en plaatselijke herinfiltratie. Er wordt om de 300 meter een put geplaatst en het totale onttrekkingsdebiet bedraagt 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

De locaties van de verschillende maatregelen zijn gepresenteerd in figuur 7.2. en het basisprincipe van het intensief scenario is schematisch weergegeven in figuur 7.3.



**Figuur 7.2** Toelichting bij het intensief scenario



**Figuur 7.3** Principeschets van het intensieve scenario: onttrekken en zuiveren van verontreinigd grondwater (nr 1) en infiltreren van schoon water (nr 2)

## 8 EVALUATIE MAATREGELEN: WAARDEREN EN PRIORITEREN

### 8.1 Werkwijze

In dit hoofdstuk worden het intensieve en extensie scenario, zoals beschreven in hoofdstuk 7, gewaardeerd en geprioriteerd. De twee scenario's worden met elkaar vergeleken aan de hand van een aantal toetsingscriteria:

- verandering in gebruiksbeperking per functie, eenheid oppervlaktes [ha];
- verandering in verspreiding van verontreiniging, eenheid massa [kg];
- verandering verontreinigings situatie diep grondwater [ha];
- duurzaamheid;
- realiseerbaarheid;
- kosten [euro].

De uitkomst van het “waarderen en prioriteren” wordt gebruikt bij het advies voor uitvoeringsprogramma (hoofdstuk 9).

### 8.2 Toelichting bij de criteria

Voor alle criteria is beoordeeld wat het totale effect is in de periode tot 2050.

De **gebruiksbeperkingen** zijn eerder in dit rapport toegelicht in paragraaf 5.1. Onderscheiden functies zijn natte natuur, akkerbouw, volkstuinten, veedrenking en zwemwater. In het waarderen en prioriteren is beoordeeld wat de toename in gebied is met gebruiksbeperkingen (ha).

De **afvoer in vracht** bestaat uit afvoer via oppervlaktewater (grote beken en kleine beken/sloten) en afvoer via grondwateronttrekkingen (kg).

De verandering in de verontreinigings situatie in het **diepe grondwater** is gedefinieerd als het oppervlak waar sprake is van een streefwaardeoverschrijding op een diepte van 20 m-mv.

Onder kwalitatieve criteria worden de aspecten **duurzaamheid en realiseerbaarheid** nader beschouwd. Hierbij wordt een kwalitatieve waardering (plussen en minnen) toegepast.

Voor de verschillende maatregelen zijn de **kosten** bepaald. De kosten bestaan uit investeringen, onderhoudskosten en compensatie van nevenmaatregelen.

### 8.3 Resultaten van “Waarderen en Prioriteren”

De eindconclusie van het waarderen en prioriteren is samengevat in tabel 8.1. Een meer uitgebreide tabel is opgenomen als bijlage 4.

Tabel 8.1 Waarderen en prioriteren van het extensieve en intensieve scenario

		autonoom sc	extensief sc	intensief sc
CADMIUM in grondwater		verschil huidige situatie met 2050	verschil huidige situatie met 2050	verschil huidige situatie met 2050
<b>Verandering gebruiksbeperking per functie</b>	<b>eenh</b>			
- Natte natuur	ha	290	250	230
- Akkerbouw + volkstuinen	ha	2450	2360	2340
- Veedrenking	ha	1050	940	920
- Zwemwater	ha	0	0	0
<b>Verandering verspreiding verontreiniging</b>				
- Afvoer via opp.water	kg	22400	18900	19400
- Afvoer via onttrekkingen	kg	9	9	1090
<b>Verandering diep grondwater</b>				
- verandering oppervlak S-waarde	ha	2400	2700	1050
<b>Kwalitatieve criteria</b>				
- duurzaamheid		0	+	-
- realiseerbaarheid		0	--	-
<b>Kosten</b>				
<b>Totaal netto contante waarde (excl. BTW)</b>	<b>M €</b>	<b>2 tot 5</b>	<b>5 tot 60</b>	<b>25 tot 40</b>

### 8.3.1 Verandering in gebruiksbeperking per functie

De verandering in gebruiksbeperking is per functie, per scenario, per grondwaterlichaam en per mate van gebruiksbeperking geanalyseerd.

Tabel 8.2 Samenvatting van het effect van de scenario's

CADMIUM in grondwater	% verschil met autonome ontwikkeling	% verschil met autonome ontwikkeling
<b>Verandering gebruiksbeperking per functie</b>		
- Natte natuur	-14	-21
- Akkerbouw + volkstuinen	-4	-4
- Veedrenking	-10	-12

Beschouwing van de relatieve verschillen (tabel 8.2) laat zien dat de maatregelen vooral een gunstig effect hebben op de natuurgebieden. Het percentage gebieden met een gebruiksbeperking neemt hier in het extensieve en intensieve scenario af met respectievelijk 14 en 24 %.

Bij het **extensieve scenario**, het stopzetten van de beregning, wordt de doorspoeling van het bovenste grondwater verminderd. De vermindering in gebruiksbeperking treedt daarom met name op in de landbouwgebieden direct rondom de beken waar sprake is van een vermindering in afvoer.

Het **intensieve scenario** (het stopzetten beregning en onttrekking/zuivering/infiltratie) heeft een beperkt positief effect op de gebruiksbeperkingen in de gebieden waar deze maatregelen worden genomen. Het effect aan de oppervlakte blijft beperkt, omdat deze maatregelen vooral tot doel hebben om het diepere grondwater te beschermen.



### 8.3.2 Vruchtverwijdering

#### Totale massa

De totale vrachten worden voor zes grondwaterlichamen gepresenteerd in staafdiagrammen in bijlage 7.

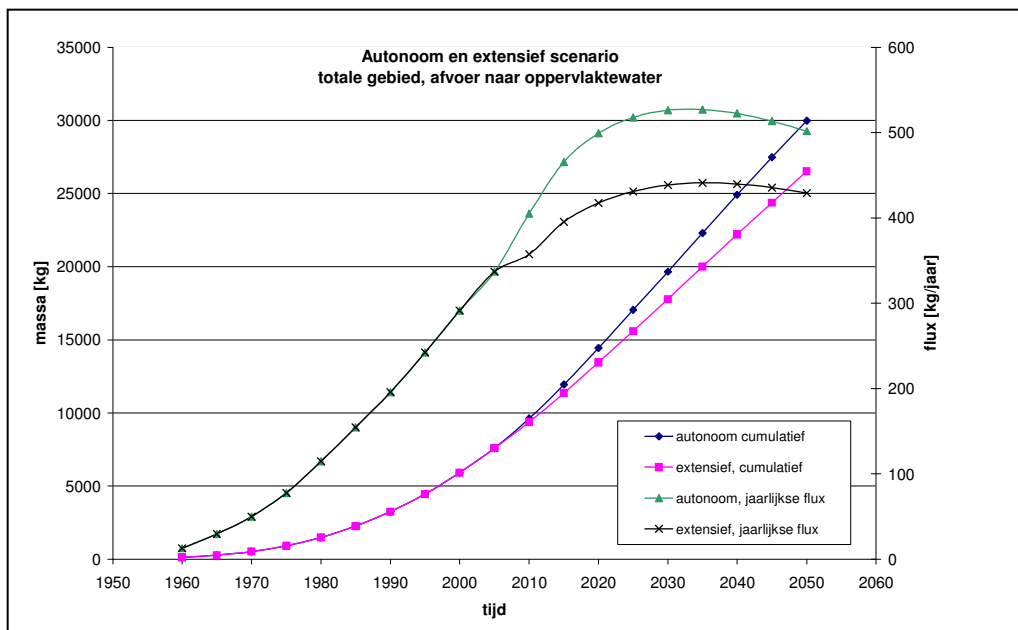
In deze grafieken is voor cadmium gepresenteerd:

- de hoeveelheid massa boven de grondwaterspiegel; de onverzadigde zone;
- de hoeveelheid massa geadsorbeerd aan grond in de verzadigde zone;
- de hoeveelheid massa opgelost in het grondwater;
- de hoeveelheid massa onttrokken door grondwaterwinningen;
- de hoeveelheid massa gedraineerd door de kleine sloten en greppels;
- de hoeveelheid massa gedraineerd door de grotere waterlopen.

De verschillen in massa voor de drie scenario's zijn gering. Ter illustratie zijn voor het grondwaterlichaam Beekloop-Keersop de figuren voor alle drie scenario's opgenomen.

#### Afstroming vrucht naar oppervlaktewater

Voor het autonoom en extensief scenario is weergegeven hoe veel vrucht cadmium in totaal de waterbodems terecht komt in de periode tot 2050.



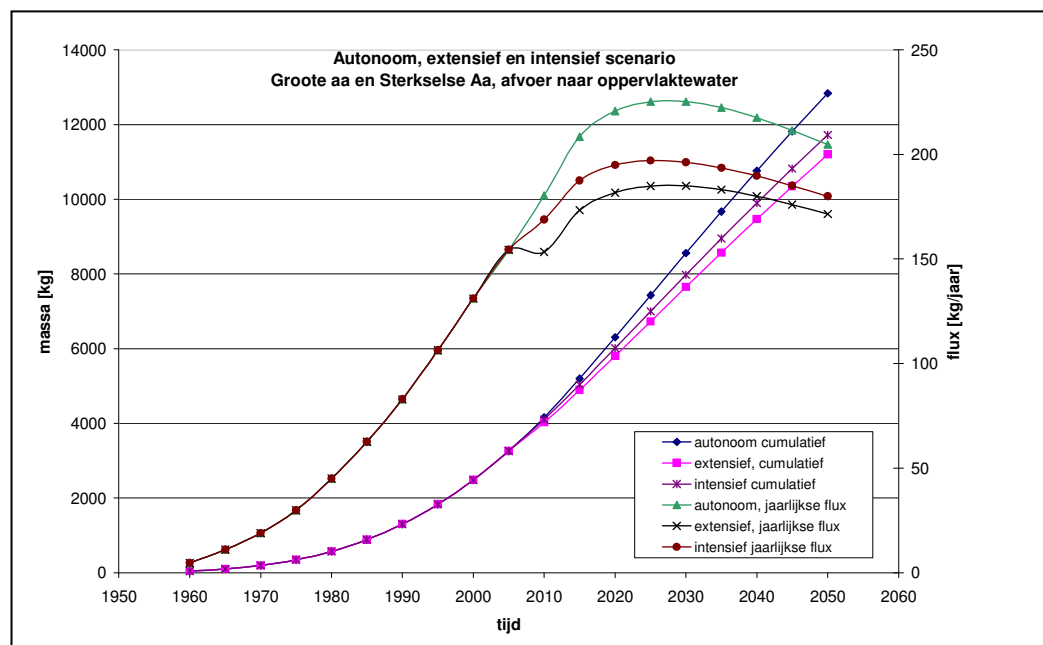
Figuur 8.1 Afvoer cadmium naar oppervlaktewater, autonoom en extensief scenario



Het stopzetten van de berekening (extensieve scenario) resulteert in een lagere afvoer naar het oppervlaktewater (zie figuur 8.2). Dit wordt veroorzaakt door de minder grote doorspoeling van het ondiepe grondwater in de directe omgeving van de beekdalen.

De maatregelen van het intensieve scenario zijn geconcentreerd in het grondwaterlichaam van de Sterkselsche Aa/ Grote Aa. De afvoer naar het oppervlaktewater is daarom voor dit grondwaterlichaam apart gepresenteerd (figuur 8.2). Bij de interpretatie van de resultaten moet rekening worden gehouden met het feit dat zowel bij het extensieve als intensieve scenario de berekening wordt stopgezet. Het intensieve scenario heeft daarom de volgende twee effecten:

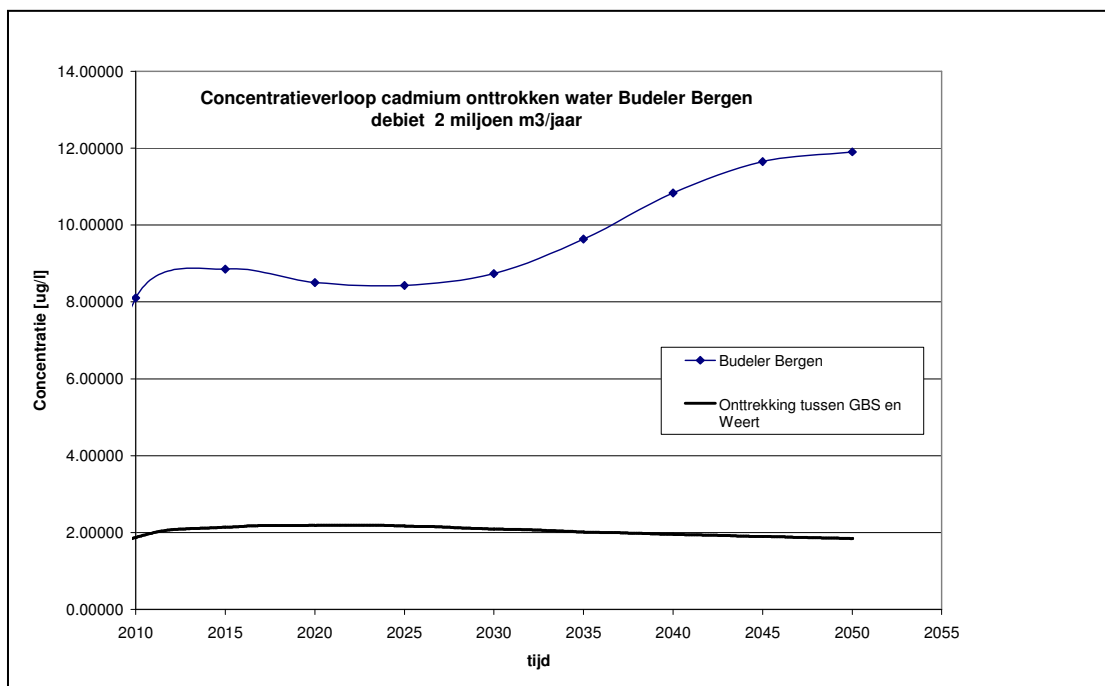
- het stopzetten van de berekeningen resulteert in een verminderde uitspoeling naar het oppervlaktewater (zie extensieve scenario);
- het onttrekken en infiltreren heeft een vergrote uitspoeling naar het oppervlaktewater tot gevolg, omdat dit de dynamiek van het grondwatersysteem vergroot.



**Figuur 8.2 Afvoer naar oppervlaktewater in grondwaterlichaam Grote Aa/Sterkselsche Aa**

### Onttrekking vracht in onttrekkingen

In het intensieve scenario wordt op twee plaatsen water onttrokken en gezuiverd: bij de Budeler Bergen en een onttrekking tussen het GBS van PBZ (zie hoofdstuk 7). Het concentratieverloop van het cadmiumgehalte in het opgepompte water is weergegeven in figuur 8.3.



**Figuur 8.3** Verwachte concentraties cadmium in te onttrekken water in intensieve scenario

Hieruit blijkt dat bij de Budeler Bergen een concentratie in 2050 een waarde bereikt van 12 µg/l en bij de onttrekking tussen het GBS en Weert een waarde van circa 2 µg/l.

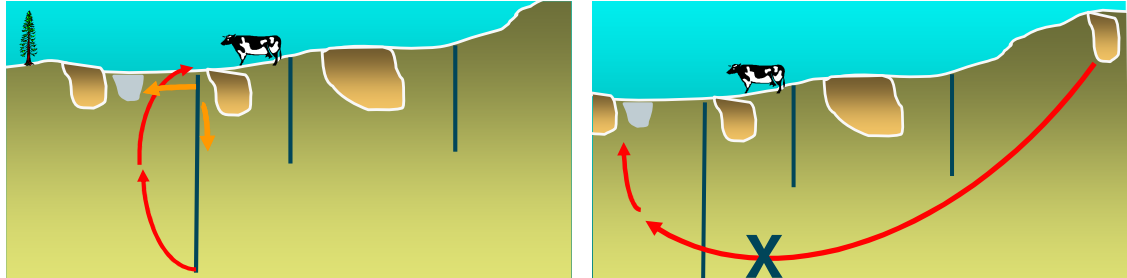
### 8.3.3 Verandering verontreinigings situatie diep grondwater

#### Algemeen

Het diepe grondwater is gedefinieerd als het grondwater op een diepte van 20 meter – mv, globaal de top van het grove watervoerende pakket in De Centrale Slenk. Uit dit pakket vinden de meeste grondwateronttrekkingen plaats. Het grondwater is op deze diepte nog niet verontreinigd in de huidige situatie (bijlage 3b). In het autonome scenario (tabel 8.1) raakt in de periode vanaf nu tot 2050 een oppervlakte van ruim 2400 ha verontreinigd (zie ook bijlage 3d) boven de streefwaarde.

Bij het **extensieve scenario** gebeurt het volgende:

- in het gebied van de Tungaloyse beek, met lokale systemen, resulteert de afname van beregeningen in een afname van de doorspoeling van het grondwatersysteem. De neerwaartse grondwaterstroming wordt groter en de verontreiniging stroomt meer naar de diepte. Het stopzetten van beregening werkt hier dus negatief;
- in de kerninfiltratiegebieden, bijvoorbeeld het vennencomplex ten zuiden van Pasmenco, komt geen beregening voor. Het stopzetten van de beregening resulteert in een regionale verhoging van de stijghoogte in het diepe watervoerende pakket. Dit resulteert in een afname van de infiltratie in deze gebieden.



**Figuur 8.4** Effect van beregenen; een grotere dynamiek van het grondwatersysteem. Het afvangen van diepe stroombanen speelt, gezien het trage transportproces, geen rol

De ruimtelijke verdeling van deze effecten is goed te zien op de kaart met verschillberekeningen (bijlage 5b) voor de cadmiumconcentraties in het diepe grondwater. Netto is het eerste effect het grootst. Daarom neemt het oppervlak waar de streefwaarde wordt overschreden toe in het extensieve scenario van 2400 van 2700 tot 2700 ha. Echter in de kerninfiltratiegebieden, met de hoogste concentraties, speelt het tweede effect een grote rol. Het stopzetten van beregening heeft hier een positief effect.

Bij het **intensieve scenario** is sprake van sterke verbetering van de situatie in het diepe grondwater (1050 ha). Het intensieve scenario zorgt dus voor de beste bescherming van het diepe grondwater. Het effect van het voortzetten van de beregeningen (extensieve scenario) verschilt per type gebied (lokaal systeem of regionaal systeem).

#### 8.3.4 Kwalitatieve criteria

Per scenario zijn de aan de hand van twee kwalitatieve criteria de effecten van de maatregelen nader geëvalueerd:

- duurzaamheid grondwaterbeheer;
- realiseerbaarheid.

##### **Duurzaamheid**

Een duurzame maatregel wordt gedefinieerd als een maatregel die in lengte van dagen goed kan functioneren en tegelijkertijd goed past binnen het huidige en toekomstige grondwaterbeheer.

Het extensieve scenario kan als een duurzaam scenario worden geclassificeerd omdat het goed past binnen het beleid op het gebied van waterbeheer door het tegengaan van verdroging. Daarnaast is het een maatregel dat geen beheer en onderhoud vereist.

Het intensieve scenario kan geclassificeerd worden als een niet duurzame maatregel. De maatregelen van dit scenario zijn toegespitst op het saneren van de grondwaterverontreiniging en vereisen veel beheer en onderhoud. Daarnaast passen de maatregelen van dit scenario door hun effecten op de waterhuishouding minder goed in het toekomstig grondwaterwaterbeheer.

### Realiseerbaarheid

Onder 'realiseerbaarheid' wordt verstaan of de maatregelen goed te realiseren zijn zonder ingrijpende neveneffecten te veroorzaken.

Het stopzetten van beregeningen heeft grote effecten voor de droogteschade. Dit scenario zal daarom veel weerstand bij de agrarische sector oproepen. Het realiseren van beperkingen in beregeningen zijn alleen realistisch wanneer dit gecombineerd wordt met verdergaande waterconservering (verondiepen waterlopen en aanleggen kavelstuwen). Het effect van waterconservering op de landbouwproductie in droge periodes wordt nog nader onderzocht in het kader van het project Waterdoelen/GGOR en het project "Integrale gebiedsgerichte aanpak waterconservering Limburg en Noord-Brabant". In het laatst genoemde project wordt onderzoek gedaan naar het effect van waterconservering op de uitspoeling van (onder andere metalen) naar het oppervlaktewater.

Bij het intensieve scenario worden meer lokaal maatregel genomen. Dit maakt het makkelijker om maatregelen uit dit scenario te realiseren. Wanneer de maatregel bestaat uit meerdere ondiepe onttrekkingsputten en lokale infiltratie (zoals bij de Budeler Bergen) is dit meer ingrijpend dan een onttrekking op een enkele locatie. Het onttrekken van water zal extra verdroging tot gevolg hebben. Dit gaat in tegen de doelstellingen die zijn gesteld in de provinciale waterhuishoudingsplannen. Wanneer maatregelen binnen een natuurgebied (Budeler Bergen of Strijper Aa) worden genomen moet rekening worden gehouden met nadelige effecten voor het ecosysteem. In het kader van Flora en Faunawet moet worden beoordeeld of er negatieve effecten optreden en hoe dit kan worden gecompenseerd. Bovendien moet rekening worden gehouden met nadelige effecten ten aanzien van de (recreatie)beleving. Deze factoren maken het intensieve scenario moeilijk realiseerbaar.

#### 8.3.5 Kosten

De kosten bestaan uit investeringen, onderhoudskosten en compensatie van nevenmaatregelen. In onderstaande tabel zijn de kosten van het extensieve en intensieve scenario nader gespecificeerd.

**Tabel 8.3 Kosten van het extensieve en intensieve scenario voor de periode 2005 – 2050 (Netto Contante Waarde in M€, excl BTW)**

Aspect	Extensief scenario	Intensief scenario
Investeringskosten	-	7
Onderhouds en beheerkosten	2	22
Herinvesteringskosten		3
Maximale droogteschade	60	-
Bijdrage in compenserende waterconserveringsmaatregelen	5	-
<b>Netto Contante Waarde</b>	<b>5 tot 60</b>	<b>32</b>

### **Extensieve scenario: kosten van droogteschade**

Het geheel stopzetten van de berekening heeft geen direct kosten tot gevolg. Maar de effecten van droogteschade zijn aanzienlijk. Voor het bepalen van deze kosten is ter indicatie de totale potentiële droogteschade in de huidige situatie in kaart gebracht voor het Noord-Brabantse gedeelte met de methodiek Waterlood (Provinciaal project Waterdoelen Noord-Brabant, 2003). Voor de systemen van de Beekloop en de Grote Aa/Sterkselsche Aa is de huidige potentiële jaarlijkse droogteschade respectievelijk circa 830.000 € en 1.400.000 €. Inclusief het Limburgse deel betekent dit jaarlijkse kosten van circa 3 miljoen € per jaar. De berekende droogteschade geeft hierbij een globale indicatie van de mogelijke *maximale* schade die op kan treden. Het effect van een verhoging van de grondwaterstand als gevolg van het stopzetten van berekening niet meegenomen. Geconcludeerd kan worden dat de kosten van stopzetten van berekening zo hoog zijn dat dit alleen realistisch is als dit effect wordt gecompenseerd met waterconservering. In dat geval zullen de kosten veel lager uitvallen. De kosten voor het aanleggen van stuwen is globaal ingeschat op 5 miljoen €.

### **Intensieve scenario: kosten van onttrekking en zuivering**

Voor de kosten van het intensieve scenario is een begroting gemaakt die is opgenomen in bijlage 6. Hierbij zijn tevens de verschillende uitgangspunten en randvoorwaarden genoemd. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- het water uit de onttrekking tussen het GBS en Weert heeft te lage concentraties om te zuiveren
- alleen het water bij de Budeler Bergen wordt gezuiverd. Het debiet bedraagt 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar met een gehalte van 14 ug/l cadmium en 8000 ug/l zink;
- zuivering vindt plaats met coagulatie/flocculatie.

Geconcludeerd wordt dat de jaarlijkse onderhoudskosten van zuivering hoog zijn. Deze kosten kunnen sterk beperkt worden wanneer gebruik wordt gemaakt van een extensieve zuiveringsmethode. Te denken valt aan infiltratie door kalkfilters. Nader onderzoek moet worden gedaan naar het zuiveringsrendement van dergelijke methodes.

## 9 ADVIES VOOR HET UITVOERINGSPROGRAMMA

### 9.1 Visie

Maatregelen en beheer van de grondwaterlichamen zijn gericht op het creëren van een duurzaam grondwatersysteem waarin geen onaardvaarbare risico's optreden voor mens en ecosysteem. Uitgangspunten hierbij zijn:

- risico's voor kwetsbare objecten mogen in de toekomst niet toenemen;
- de kwaliteit van het diepe grondwater (beneden 20 meter – maaiveld) dient zo goed mogelijk gewaarborgd te blijven;
- waar mogelijk wordt vracht uit het systeem verwijderd.

Deze uitgangspunten moeten verankerd worden in een controle en monitoringsprogramma wat in het kader van de Europese Dochterrichtlijn Grondwater kan worden geformaliseerd. Onderscheid tussen het ondiepe reeds verontreinigde grondwater (boven 20 meter – mv) en het schone grondwater (beneden 20 meter –mv) is hierbij belangrijk.

### 9.2 Maatregelen voor alle zes grondwaterlichamen

De volgende algemene maatregelen kunnen in alle zes grondwaterlichamen worden genomen:

- het geven van voorlichting over het gebruik van verontreinigd grondwater. Gebruik van grondwater in het traject tot 20 meter onder maaiveld wordt ontraden voor beregening van gewassen of menselijke consumptie;
- het optimaliseren van de beregening. Beregening zorgt er enerzijds voor dat verontreinigingen sneller naar de diepte worden verplaatst; anderzijds zorgen beregeningen voor een snellere doorspoeling van het topsysteem. Afhankelijk van de kenmerken van het grondwatersysteem kunnen beregeningen geoptimaliseerd worden; zowel qua diepte als de locatie van de beregeningsputten;
- door het optimaal (her)inrichten en gebruiken van gebieden kunnen de negatieve effecten van de grondwaterverontreiniging zo veel mogelijk beperkt blijven. Te denken valt aan de gewaskeuze in landbouwgebieden, de keuze voor de type nieuwe natuurgebieden in de EHS, het waterbodembeheer, etc. Deze optimalisatie heeft een positiever effect dan de rigoreuze verandering van landgebruik (bijvoorbeeld van grasland in natuur);
- maatregelen moeten worden afgestemd en geïncorporeerd in relevante RO en waterplannen. De belangrijkste plannen zijn de MER-reconstructie, de waterbodembeheerplannen van de waterschappen, de gemeentelijke waterplannen en integrale waterplannen bij herinrichtingen.

### 9.3 Grondwaterlichaam Beekloop-Keersop

Het deelgebied van de Beekloop-Keersop wordt gekenmerkt door een relatief snelle uitspoeling van de bovengrond en relatief ondiepe stroombanen. Daarom wordt, zonder maatregelen, in dit gebied reeds in 2020 de piek in uitstroom naar het oppervlaktewater verwacht. Maatregelen in dit gebied zijn gericht op het versnellen van dit proces zodat de bovengrond in dit gebied zo snel mogelijk kan doorspoelen.

Meest kwetsbare en bedreigde object is de bovenloop van de Beekloop en de Keersop. Dit zijn natte natuurparels met relatief hoge concentraties in het grondwater. Het waterbodembeheer in dit gebied moet worden afgestemd op de verwachte instroom van verontreinigingen vanuit het grondwater. Verontreinigd grondwater is afkomstig uit de directe omgeving van de beekdalen. Instroom vanuit het oppervlaktewater speelt een geringe rol voor de Beekloop.

#### **9.4 Grondwaterlichaam winning Luyksgestel**

De winning van Luyksgestel wordt de komende 50 jaar niet bedreigd. Hier zijn geen bijzondere maatregelen nodig.

#### **9.5 Grondwaterlichaam infiltratiegebied PBZ-Weert**

Verspreiding naar het diepe watervoerende pakket kan worden voorkomen in de gebieden met hoge concentraties gelegen in infiltratiegebieden. Gebieden die het meest kwetsbaar zijn, zijn het gebied direct ten zuiden en oosten van het PBZ-terrein.

Verspreiding naar de diepte kan voorkomen worden door:

1. Schoon water te infiltreren in het diepe watervoerende pakket. Infiltratie in het grofzandige watervoerende pakket straalt ver uit in de omgeving. Daarom geeft dit een positief effect over een groot areaal. Infiltratie heeft een positief neveneffect: het restaureren van natte en kwelafhankelijke natuurgebieden. Water moet van elders aangevoerd worden. Hiervoor kan water worden gebruikt uit gebieden met wateroverlast, andere onttrekkingen of oppervlaktewater. Tevens kan worden aangesloten op de mogelijke waterhuishoudkundige ingrepen in geval dit gebied verder industrieel wordt ontwikkeld (bijvoorbeeld het DIC-terrein). Aandacht moet uitgaan naar de kwaliteit van het te infiltreren water;
2. Verontreinigd water te onttrekken en te zuiveren. De verontreiniging zit in het algemeen nog niet dieper dan 15 meter. Daarom moeten relatief veel ondiepe putten worden geplaatst in het fijne zand van de Nuenengroep. Onttrekking vanuit de pakketten dieper dan 20 meter –mv kan op de langere termijn worden toegepast als blijkt dat de verontreiniging inderdaad tot grotere dieptes zal infiltreren. Zuivering is alleen een haalbare oplossing als dit wordt gecombineerd met extensieve zuiveringsmethoden of bestaande zuiveringsinstallaties.

Meest kwetsbare en bedreigde natuurgebied is de Strijper Aa en de vennencomplexen ten zuiden en oosten van het PBZ-terrein.



## 9.6 Grondwaterlichaam Strijper Aa/Kleine Aa/Sterkselsche Aa

Verspreiding naar de diepte kan worden voorkomen in de gebieden met hoge concentraties gelegen in infiltratiegebieden. Infiltratie vindt voornamelijk plaats in het bosgebied De Budeler Bergen. Verspreiding naar de diepte kan voorkomen worden door:

1. Schoon water te infiltreren in het diepe watervoerende pakket. Infiltratie in het grofzandige watervoerende pakket straalt ver uit in de omgeving. Daarom geeft dit een positief effect over een groot areaal. Infiltratie heeft een positief neveneffect: het restaureren van natte en kwelafhankelijke natuurgebieden. Water moet van elders aangevoerd worden. Hiervoor kan water worden gebruikt uit gebieden met wateroverlast (bijvoorbeeld Eindhoven), andere onttrekkingen of oppervlaktewater;
2. Verontreinigd water te onttrekken en te zuiveren. De verontreiniging zit in het algemeen nog niet dieper dan 15 meter. Daarom moeten relatief veel ondiepe putten worden geplaatst in het fijne zand van de Nuenengroep. Onttrekking vanuit de pakketten dieper dan 20 meter –mv kan op de langere termijn worden toegepast als blijkt dat de verontreiniging inderdaad tot grotere dieptes zal infiltreren. Zuivering is alleen een haalbare oplossing als dit wordt gecombineerd met extensieve zuiveringsmethoden of bestaande zuiveringsinstallaties.

Meest kwetsbare en bedreigde natuurgebied is de Strijper Aa.

## 9.7 Grondwaterlichaam winning Budel

De winning van Budel wordt de komende 50 jaar niet bedreigd. Grondwaterbescherming van het winningsgebied Budel kan beter worden gegarandeerd wanneer het invanggebied van het beheerssysteem van PBZ wordt gescheiden door het infiltreren van water tussen de twee gebieden.

## 9.8 Grondwaterlichaam Tungelroyse Beek

Dit grondwaterlichaam wordt gekenmerkt door hoge concentraties verontreinigingen in het oostelijk deel en lage concentraties in het westelijk deel. Het oostelijk deel is een regionaal infiltratiegebied; het westelijk deel bestaat uit meer lokale systemen.

De maatregelen worden gevormd door:

1. meest kwetsbare en bedreigde natuurgebieden zijn de natte natuurgebieden langs de Belgische grens en de peelvennen ten oosten van Weert. Voor het Roeventerpeel laat ABdK een pilotstudie uitvoeren waarin de mogelijkheden van natuurlijke vastlegging in de waterbodem;
2. de winningen in het Limburgse deel worden vanwege de grote diepte van de winningen niet bedreigd.

## Literatuur

- ABdK, 2002  
Grondwaterverontreiniging met zware metalen in het Nederlands zoekgebied van de Kempen: een beheersbaar probleem
- CSO, 2001  
Actief Bodembeheer de Kempen; Gevalsafbakening
- DGV-TNO, 1983  
Grondwaterkaart van Nederland. De Centrale Slenk. DGV-TNO, november 1983
- DHV, 2000  
Risicosystematiek versus Kempense situatie; Bepaling humane en ecologische risico's; DHV november 2000
- Tauw, 2004  
Natuurlijke vastlegging zware metalen in het grondwater in de Kempen; conceptrapport 1 projectnr 4321990; januari 2004
- TCB, 1997  
Advies aanpak bodemverontreiniging in de Kempen, A20(1997), februari 1997
- TNO-NITG, 2000  
Watersystemen in beeld. Een beschrijving en kaarten van de grond- en oppervlaktewatersystemen van Noord-Brabant. Derde versie, aanpassing november 2000.
- TNO-NITG – KIWA - Royal Haskoning, 2002a  
Regionale grondwatersysteem en risico-analyse in het Nederlandse zoekgebied van het project ABdK: fase 2; project 38452; Royal Haskoning/TNO-NITG/KIWA, juni 2002
- TNO-NITG – KIWA - Royal Haskoning, 2002b  
Lokale grondwatersysteem en risico-analyse in het Nederlandse zoekgebied: fase 4; project 38976; Royal Haskoning/TNO-NITG/KIWA, juni 2002
- TNO-NITG, 2003  
Monitoring grondwaterkwaliteit de Kempen; meetronde 2002; NITG 03-104-B
- RIZA en RIVM, 2003  
Plan van aanpak voor de karakterisering van het Nederlandse grondwater voor Europa



## **Bijlage 1**

# **Hydrologische systeemanalyse van de zes grondwaterlichamen**



## Bijlage 2 Kwetsbare objecten



## Bijlage 3 Berekende concentraties cadmium



## **Bijlage 4**

### **Uitgebreide tabel waarden en prioriteren**



## Bijlage 5 Berekende verschilconcentraties cadmium





## **Bijlage 6** **Uitgebreide kostenberekening**



## Bijlage 7 Berekende vrachten voor drie grondwaterlichamen



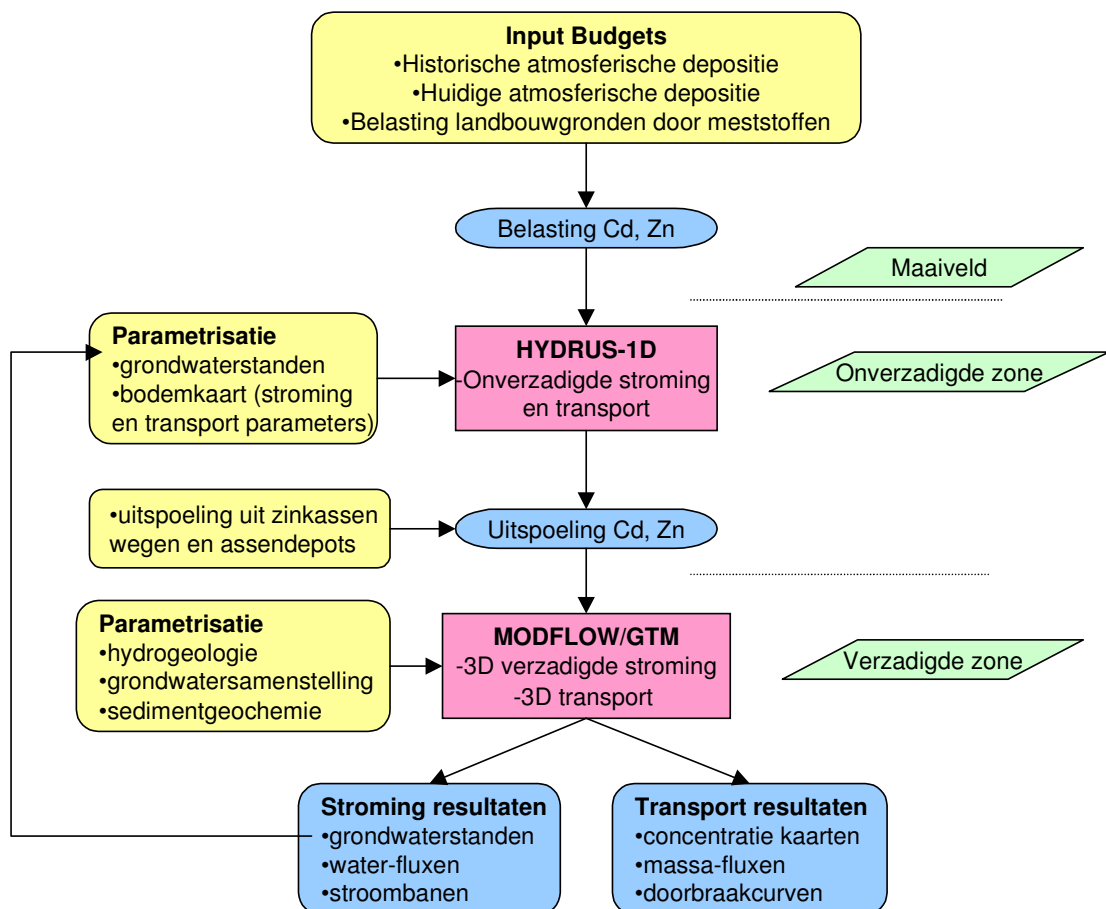
## **Bijlage 8**

### **Toelichting bij het modelinstrumentarium**

## Inleiding

De modelberekeningen in dit rapport zijn uitgevoerd met verschillende gekoppelde modellen die het transport vanaf maaiveld tot in het diepe grondwater en kwelgebieden simuleren. Een uitgebreide beschrijving van de modellering is in een apart deelrapport opgenomen: "Pilot systeemgericht grondwaterbeheer; deelrapport 1b: Modelopzet en eerste berekeningen, oktober 2003".

De gehele modellenlijn wordt in onderstaande figuur samengevat met de invoertermen (geel), rekenmodules (roze) en uitvoer (blauw):



## Belasting aan maaiveld

De drie belangrijkste bronnen van verontreiniging zijn in het model opgenomen:

1. atmosferische depositie;
2. zinkassenwegen;
3. bemesting in de landbouw.

In het model is een reconstructie opgezet van de historische belasting aan maaiveld voor de drie bovenbeschreven belastingsbronnen. Om een goede inschatting van de belasting in de tijd per type landgebruik te kunnen maken is gebruik gemaakt van diverse literatuurbronnen en berekeningen.

Ad 1: De historische atmosferische depositie is geschat aan de hand van gemeten gehalten cadmium en zink in de bovenste 50 cm van de bodem op 21 locaties in het gebied, De atmosferische depositie op deze afzonderlijke locaties is door middel van modelberekeningen geschat uit de gemeten gehalten. Deze zijn vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd tot een vlakdekkende kaart. Hiervoor hebben de ligging van de zinkfabrieken en de overheersende windrichting in zuidwestelijke richting als invoer gediend.

Ad 2: De zinkassenwegen zijn ruimtelijk geschematiseerd aan de hand van het rapport van de werkgroep gevalsafbakening (CSO, 2001).

Ad 3: De belasting door meststoffen is geschat door gebruik te maken van productiecijfers van verschillende soorten mest per type landgebruik en gehalten van zware metalen in verschillende soorten dierlijke mest en kunstmestzouten.

De gesimuleerde belasting van de bovengrond door atmosferische depositie is vergeleken met gemeten gehalten cadmium en zink in de bovengrond. Uit deze vergelijking blijkt dat het berekende verspreidingspatroon van cadmium en zink voldoende lijkt op het verspreidingspatroon van gemeten gehalten in het gebied.

#### **Stroming in de onverzadigde zone (Hydrus 1D)**

Het transport van cadmium en zink door de onverzadigde zone is gesimuleerd met een 1-dimensionaal model (Hydrus 1D). De uitspoeling naar het grondwater is in de tijd berekend voor verschillende homogene gebiedstypes met elk een eigen atmosferische belasting, bodemeigenschappen, grondwaterstand en type landgebruik. Door middel van een GIS operatie zijn deze berekeningen vertaald naar vlakdekkende kaarten.

#### **Grondwaterstroming door de verzadigde zone (MODFLOW-WATERDOELEN model)**

Voor de berekening van de grondwaterstroming is gebruik gemaakt van het 'Waterdoelenmodel' model. Dit model is in opdracht van de provincie Noord-Brabant ontwikkeld door TNO-NITG en dekt het gehele interessegebied binnen de Kempen (inclusief het Limburgse deel). Ten behoeve van deze studie is een uitsnede uit het Waterdoelenmodel gemaakt. Om het model geschikt te maken voor stoftransport is het in de diepte verijnd. De bovenste lagen zijn drie meter dik. Het model rekent stationair en bestaat in diepte uit 13 modellagen tot een maximale diepte van ongeveer 120 meter -mv. Het model is eerder uitgebreid gekalibreerd aan meetgegevens.

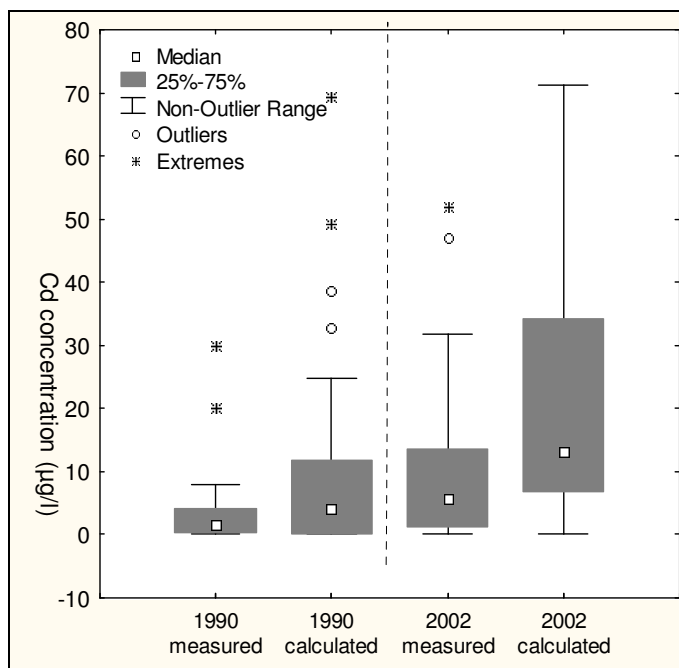
#### **Transport van cadmium en zink door de verzadigde zone (GT-model)**

De 3D-stoftransportberekeningen in de verzadigde zone zijn uitgevoerd met het Geïntegreerd Transportmodel (GT) dat ontwikkeld is door TNO-NITG en Kiwa. Dit model berekent het transport van cadmium en zink op basis van de berekende 3D-stroming berekeningen uit het Waterdoelen model. Het GT-model houdt rekening met de reactiviteit van de bodem en de samenstelling van het grondwater. In het model wordt de sorptie van metalen berekend afhankelijk van de gehalten:

- cadmium en zink;
- lutum;
- organische stof;
- ijzeroxide;
- pH;
- opgeloste stoffen.

Bovenstaande parameters zijn vlakdekkend ingevoerd door uit te gaan van homogene gebiedstypes. Aan unieke combinaties van type landgebruik (landbouw/natuur) en hydrologische situatie (infiltratie/kwel) en diepte van het grondwater is elk een eigen macrochemische grondwatersamenstelling gegeven. Parametrisatie van de sedimentsamenstelling is uitgevoerd met een geologisch lagenmodel en gemeten gehalten uit boringen.

De berekende en gemeten concentraties voor cadmium in het grondwater zijn met elkaar vergeleken. In onderstaande figuur wordt dit samengevat. De berekende concentraties in modellaag 1 in het 100x100 meter grid zijn vergeleken met gemeten concentraties in het bovenste grondwater. In het onderstaand figuur is d.m.v. boxplots de mediaan en spreiding in de ondiepe berekende en gemeten concentraties op twee tijdstippen weergegeven. De orde grootte en spreiding van de gemeten en berekende concentraties is vergelijkbaar. Te zien is dat zowel in 1990 als in 2002 de berekende concentraties hoger zijn dan de gemeten concentraties. De berekende concentraties in 1990 zijn wel lager dan de gemeten concentraties in 2002. Mogelijk loopt de berekening dus zo'n 10 jaar voor op de werkelijkheid.



### **Aannames en onzekerheden**

Zowel in het opstellen van de invoer en de wijze van berekening van het stoftransport zijn aannames en/of vereenvoudigingen gemaakt. De aannames in de invoertermen zijn van grotere invloed dan de wijze van berekening van het stoftransport. De belangrijkste aannames zijn hieronder aangegeven:

- De historische atmosferische depositie is bepaald door interpolatie van een berekende depositie op een beperkte set van 19 locaties verspreid in het gebied. Het verloop van de depositie vanaf 1880 tot 1975 is gebaseerd op een model dat door het RIVM is opgesteld en gerelateerd is aan de zinkproductie in Budel;
- Extra gewasopname in gebieden met een verhoogde atmosferische depositie van cadmium en zink is niet meegenomen. Reguliere opname van cadmium en zink door landbouwgewassen is bij de belasting van landbouwgronden door meststoffen wel meegenomen;
- De uitspoeling van Cd en Zn naar het grondwater is berekend met een uniform neerslagoverschot van 30 cm/jaar;
- De uitspoeling vanuit zinkassenwegen is in werkelijkheid zeer variabel en daarom moeilijk te voorspellen. In de modellering is voor de gehele rekenperiode uitgegaan van uitspoeling van 0,05 mg/l Cd en 20 mg/l Zn. Deze cijfers zijn gebaseerd op resultaten van laboratoriumexperimenten en metingen in het veld;
- Voor de geochemische parametrisatie van de ondergrond (gehalten reactieve bestanddelen OM, lutum en FeOX) is één getal per geologisch formatie gebruikt. Voor de Formatie van Boxtel (deklaag en voormalige Nuenen groep) zijn de gehalten voor zand gebruikt. Het is echter bekend dat in deze formatie ook klei, leem en veenlagen voorkomen. Deze materialen hebben een hogere capaciteit om metalen te binden. Cijfers van de gehalten reactieve bestanddelen in de klei, leem en veen in het gebied zijn beschikbaar maar het voorkomen van klei, leem en veenlagen is echter nog niet op een voor dit project geschikt detailniveau gekarteerd. Voor de overige formaties is het gemiddelde van zand, klei en leemmonsters gebruik, wat mogelijk een overschatting van de reactiviteit geeft;
- In het model is geen rekening gehouden met neerslag van cadmium en zink in sulfidecomplexen onder reducerende omstandigheden. De neerslag- en adsorptiecapaciteit in de ondergrond zijn echter wel aan elkaar gecorreleerd. De diepere formaties in het huidige model hebben een hoge adsorptiecapaciteit. Mogelijk dat in de praktijk in deze lagen neerslag van sulfides plaatsvindt. Het netto effect van beide processen is dat de bulk van cadmium en zink aan de bodem gebonden is en dat er nauwelijks nog transport van opgelost cadmium en zink plaatsvindt. Het 'verwaarlozen' van neerslagreacties wordt in het model dus voor een belangrijk deel gecompenseerd door adsorptiereacties.



## **Bijlage 9**

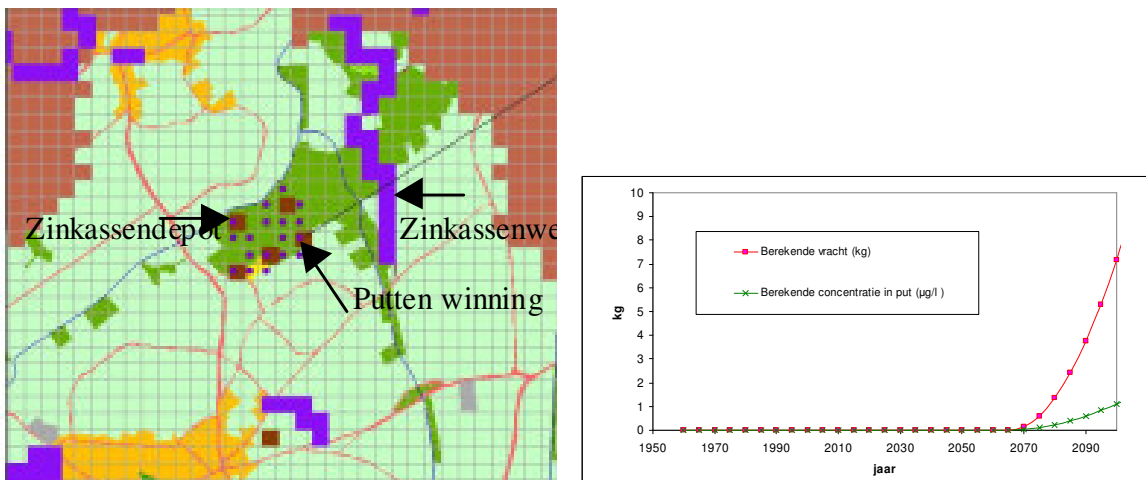
### **Worst-case berekening doorbraak in winning Budel**



### Doorbraak van cadmium in de waterwinning van Budel

Om een indruk te krijgen van het grootste risico van verontreiniging van waterwinputten zijn berekeningen gemaakt met het transportmodel. Hierbij is uitgegaan van worst case aannames voor de meest kwetsbare winning, Budel. Bij de berekening is het volgende aangenomen:

- de werkelijk geïnterpreteerde voorkomens van zinkassendepots (bruine vierkanten) en zinkassenwegen (blauwe vierkanten) zijn in het model opgenomen;
- direct boven de winputten bevinden zich extra zinkassen met een concentratie cadmium van 50 µg/l. Benadrukt moet worden dat deze zinkassen bij eerdere inventarisaties niet zijn gevonden. Dit is dus een worst-case aanname;
- de 24 winputten staan afgesteld op een diepte variërend tussen NAP -4m tot NAP -32 m (circa 33 tot 61 meter onder maaiveld);
- in totaal wordt 5,6 miljoen m<sup>3</sup> grondwater per jaar onttrokken. Dit is een worst-case aanname omdat de laatste jaren gemiddeld 4 miljoen m<sup>3</sup> grondwater per jaar is onttrokken.



**Figuur 9.1 Schematisatie (worst-case) berekeningen en berekende doorbraakcurve doorbraak cadmium in winning Budel**

Uit de worst-case berekening valt het volgende te concluderen (Figuur 9.2):

- doorbraak van cadmium in de winningen is niet eerder te verwachten dan in 2070;
- de concentratie stijgt tot 2100 tot maximaal 5 µg/l.

Zonder rekening te houden met extra zinkassen boven de winputten treedt geen doorbraak op in de winning van Budel.

Humane risico's kunnen optreden bij het nuttigen van drinkwater met concentraties cadmium hoger dan 3 µg/l. Wanneer verontreiniging optreedt, kan het water relatief makkelijk worden gezuiverd met marmerfiltratie (mondelijke mededeling Brabant Water). Gezien het bovenstaande worden de grondwaterwinningen in De Kempen de komende 50 jaar niet bedreigd en is eventueel ingrijpen goed mogelijk, door het water te zuiveren.

Filename: R00010 Definitief rapport uitvoeringsprogramma grondwater  
27-02-04.doc  
Directory: I:\9M9208\Correspondence\HWA\9M9208  
Template: C:\Documents and Settings\All Users\Application Data\Royal  
Haskoning\Company Style\RHReport.dot  
Title: Report template-SingleSided  
Subject:  
Author:  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 2/27/2004 1:41 PM  
Change Number: 2  
Last Saved On: 2/27/2004 1:41 PM  
Last Saved By:  
Total Editing Time: 13 Minutes  
Last Printed On: 2/27/2004 1:51 PM  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 73  
Number of Words: 16.771 (approx.)  
Number of Characters: 102.139 (approx.)