

## **Samenvattend beeld onderzoek grondwater ABdK 2002-2009**

Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen

20 november 2009

Definitief rapport

9T9474





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 Samenvattend beeld onderzoek grondwater  
ABdK 2002-2009

Verkorte documenttitel Grondwater ABdK 2002-2009

Status Definitief rapport

Datum 20 november 2009

Projectnaam Implementatie beleidskader  
grondwaterbeheer de Kempen


Projectnummer 9T9474

Opdrachtgever Projectbureau Actief Bodembeheer de  
Kempen  
H.B.P. Kessels


Referentie 9T9474/R00002/900642/BW/DenB

Auteur(s) drs. A. Krikken en ir. F.Th. Verhagen

Collegiale toets ir. J.A.P.H. Vermulst

Datum/paraaf 24-11-09 ..... 

Vrijgegeven door drs. M. van Elswijk

Datum/paraaf 24-11-09 ..... 



## INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
2	METALEN IN HET GRONDWATER	3
2.1	Historische bronnen van verontreiniging	3
2.2	Begrenzing diffuus beïnvloed gebied ABdK	5
2.3	Resultaten van het meetnet en van gegevens van de gemeenten	6
2.3.1	Grondwaterkwaliteitsmeetnet ABdK	6
2.3.2	Resultaten bovenste grondwater Bodeminformatiesystemen	6
2.4	Geochemische processen	9
2.5	Resultaten van de modelberekeningen	10
3	RISICO'S VAN METALEN IN HET GRONDWATER	14
3.1	Oppervlaktewater	14
3.2	Natuur	17
3.3	Landbouw (veedrenking en beregening)	17
3.4	Particulier grondwatergebruik	19
3.5	Openbare drinkwatervoorziening	19
3.6	Verspreiding diepe grondwater	19
3.7	Verspreiding vanuit zinkassenwegen	20
4	MOGELIJKE MAATREGELEN	21
4.1	Verkende mogelijke maatregelen	21
4.2	Globale kosten van maatregelen	22
4.3	Conclusies over kosteneffectiviteit van maatregelen	22
5	RESUMÉ	24
6	REFERENTIES	26

## BIJLAGE(N)

1. Deltares notitie berekeningen tot en met 2500



## 1 INLEIDING

Ruim 100 jaar geleden vestigde zich in de Nederlandse en Belgische Kempen een groot aantal zinkfabrieken. Het productieproces van deze fabrieken ging gepaard met een grote uitstoot van zware metalen via de schoorsteen en het oppervlaktewater. Daarnaast zijn in de wijde omgeving van de fabrieken zinkassen gebruikt voor de verharding van wegen en erven. Samen heeft dit geleid tot grootschalige verontreiniging van de bodem, het grondwater en de waterbodems in de Kempen.

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. Het project Actief Bodembeheer de Kempen is in het leven geroepen om een oplossing te vinden voor de zinkertsgerelateerde verontreiniging van bodem en water in de Kempen. De partijen verenigd in de Stuurgroep Actief Bodembeheer de Kempen hebben geoordeeld dat in het jaar 2015 forse stappen moeten zijn gezet bij het verwijderen van zinkassen en waterbodems en bij het verminderen van de risico's van verontreiniging. Hiertoe zijn een Raamplan en Meerjarenprogramma's opgesteld.

Eén van de onderdelen van het Raamplan is de aanpak van het verontreinigde grondwater. Vanaf 2001 heeft ABdK veel onderzoek uit (laten) voeren om inzicht te krijgen in de werking van het hele watersysteem met specifieke aandacht voor het grondwater.

De belangrijkste onderzoeken door ABdK naar de diffuse verontreiniging van het grondwater met zware metalen zijn:

- Grondwatermonitoring in 2002 en 2003 op basis van bestaande peilbuizen uit Landelijk Meetnet grondwater.
- Regionale grondwatersysteemanalyse- en risicoanalyse in de Nederlandse Kempen, studie uitgevoerd in 2002.
- Onderzoek relatie zinkassen en grondwater (2003).
- Pilotstudies systeemgericht grondwaterbeheer in drie beeksystemen (2004).
- Inrichting grondwatermeetnet De Kempen 2006.
- Karakterisatie geochemische immobilisatie zware metalen in de ondergrond 2006.
- Implementatie van de grondwaterrichtlijn in de Kempen (SKB-project MEEUW) in 2006-2007.
- Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen: fase 1 inventarisatie in 2007.
- Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen: fase 2+3 modellering en scenario's 2007-2008.

Zie de literatuurlijst voor een volledig overzicht van de uitgevoerde onderzoeken.

In dit document wordt een samenvattend overzicht gegeven van in het verleden uitgevoerde onderzoeken naar de grondwaterproblematiek in de Kempen. De relevante basisinformatie zoals de resultaten van de modellering en de meetnetten worden gebundeld gepresenteerd. De meest recente studie, "Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen" (TNO/VU Brussel/Alterra/VITO, 2007/2008) is hiervoor het meest gebruikt omdat in deze studie intensief gebruik is gemaakt van de voorgaande onderzoeken en de meest actuele stand van zaken is beschreven.

### *Leeswijzer*

In hoofdstuk 2 wordt inhoudelijk in gegaan op de aanwezigheid en verspreiding van zware metalen in het grondwater. Hoofdstuk 3 beschrijft de risico's van metalen in het grondwater waarbij wordt in gegaan op bedreigde objecten als beken, natuur, veedrenking, drinkwater etc. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van mogelijke maatregelen voor de aanpak van de grondwaterverontreiniging. Hoofdstuk 5 geeft tenslotte een resumé van de resultaten.



## 2 METALEN IN HET GRONDWATER

### 2.1 Historische bronnen van verontreiniging

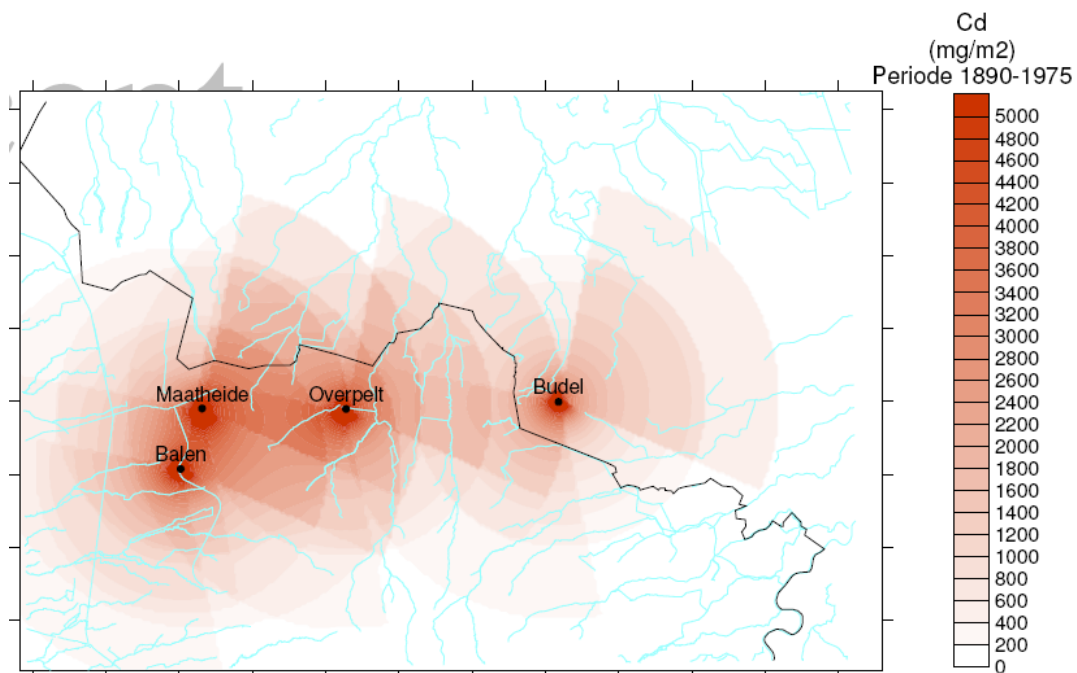
De volgende bronnen van bodembelasting zijn onderscheiden (TNO/VU Brussel/Alterra/VITO, 2008):

- atmosferische historische en actuele atmosferische depositie;
- belasting van landbouwgronden door gebruik van dierlijke mest en kunstmest;
- zinkassenwegen, -erven en -depots;
- bronzones ter plaatse van de zinkfabrieken (Balen, Overpelt, Maatheide, Budel).

Binnen het BeNeKempen project (2004-2008) zijn deze bronnen van belasting nader in beeld gebracht en gekwantificeerd.

#### *Atmosferische depositie*

Voor de atmosferische depositie van Cd en Zn is verschil gemaakt tussen de periode vóór 1975 (waarin het merendeel van de depositie heeft plaatsgevonden) en na 1975 (wanneer de depositie door de bedrijven door maatregelen drastisch verminderd is). De historische atmosferische depositie (tot 1975) is gereconstrueerd op basis van de historiek van de bedrijfsprocessen en de overheersende windrichtingen (zie figuur 2.1) terwijl de actuele atmosferische depositie (vanaf 1975) gebaseerd is op metingen van depositie in de regio.

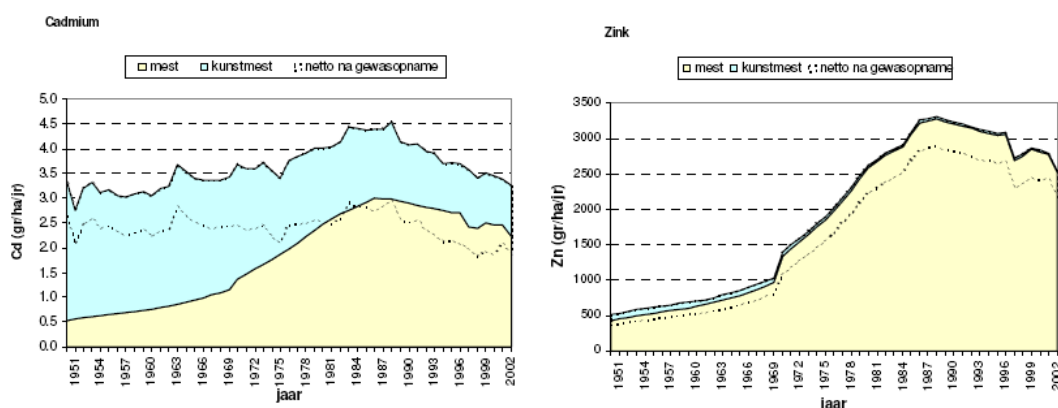


**Figuur 2.1: Totale atmosferische depositie van Cd over de periode 1890-1975 (TNO et al, 2008)**

Om een gebiedsdekkende reconstructie van de historische depositie te krijgen, is voor elk rekenpunt de atmosferische depositie van de 4 bedrijven opgeteld en zijn er voor vijfjaarlijkse periode tussen 1890 en 1975 berekeningen en kaarten van de atmosferische depositie van Cd en Zn opgesteld.

### Belasting landbouwgronden

Naast nutriënten worden in de landbouw met veevoer, (kunst)mest en gewasbeschermingmiddelen een diversiteit aan zware metalen aangevoerd. Voorbeelden daarvan zijn koper, cadmium, zink, chroom, nikkel, kwik en lood. Met name voor koper en zink is de bruto belasting van landbouwgronden veel hoger dan de gewasopname. Voor het Nederlandse deel van het studiegebied zijn tijdreeksen van de zware metalenbelasting van landbouwgronden voor de periode 1950-2002 opgesteld (TNO/VU Brussel/Alterra/VITO, 2008). De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 2.2. De gemiddelde bodembelasting met cadmium afkomstig van mest is gelijk aan 3,4 gr/ha/jr. In vergelijking met de atmosferische historische depositie rond de fabrieken (21 – 1067 gr/ha/jr) is dit veel minder.



**Figuur 2.2: Belasting van landbouwgronden in het zuidelijk veehouderijgebied in Nederland door gebruik van dierlijke mest en kunstmest en de netto maaiveldbelasting door correctie voor gewasopname (TNO et al, 2008)**

### Zinkassenwegen, -erven en -depots

Deze bronnen zijn in beeld gebracht op basis van bestaande data en kaartgegevens met inventarisaties van zinkassen. Enerzijds gebaseerd op inventarisaties van de aanwezigheid en de historie van dergelijke zinkassen. En anderzijds op basis van uitloogstudies op zinkassenmateriaal, metingen in poriënwater en grondwater onder zinkassenwegen om de fluxen uit zinkassen naar het grondwater in te schatten (TNO et al, 2008).

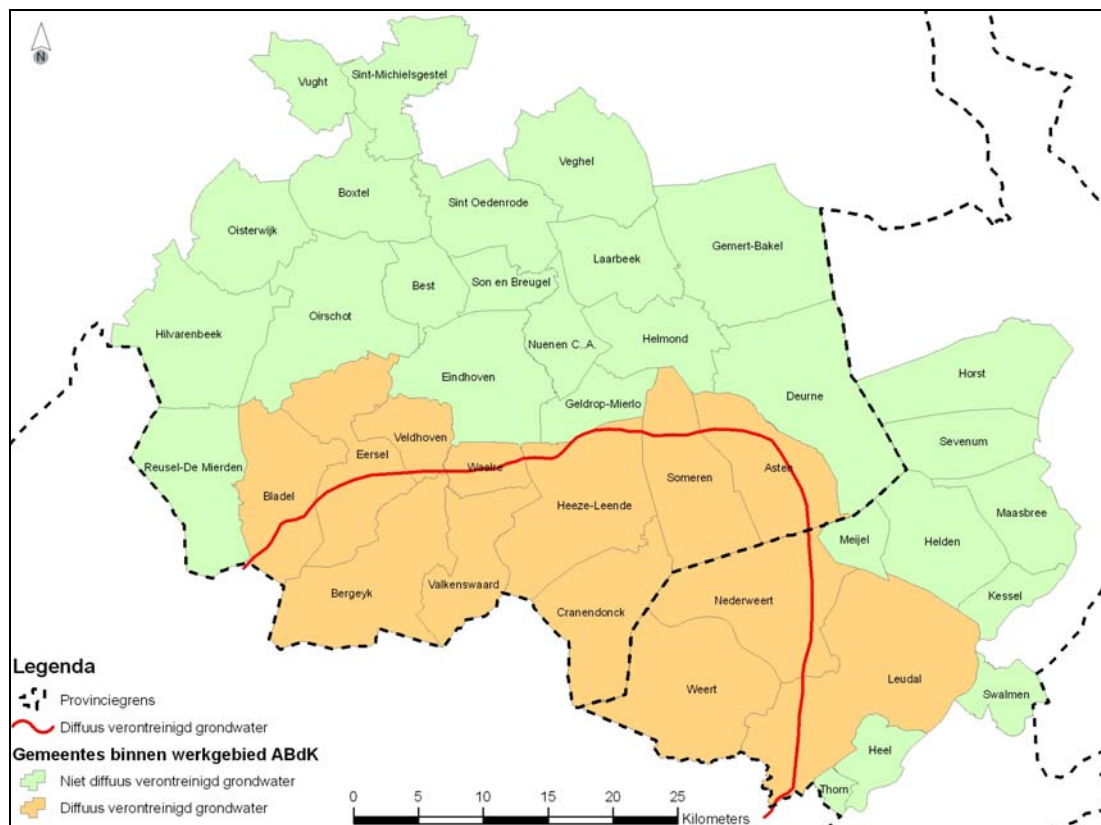
### Bronzones ter plaatse van de zinkfabrieken

De verontreinigingspluimen onder de zinkfabrieken zijn in beeld op basis van metingen op en in de directe nabijheid van de fabrieksterreinen (TNO et al, 2008).

## 2.2 Begrenzing diffuus beïnvloed gebied ABdK

De begrenzing van het verspreidingsgebied in het grondwater is weergegeven in figuur 2.3. Het gaat om een gebied met een omvang van ongeveer 30 x 30 km. De ligging van deze zone is gebaseerd op de interpretatie van de zware metaalgehalten in de bovengrond (CSO, 2001) en de uitkomst van de grondwatermodelberekeningen van het BeNeKempen project zoals die in paragraaf 2.1 zijn weergegeven (TNO, VITO, 2008).

De verontreiniging concentreert zich met name in de gemeenten Bergeijk, Valkenswaard, Cranendonck, Weert en Nederweert. Daarnaast vallen de gemeenten Bladel, Eersel, Asten, Heeze-Leende, Leudal, Waalre en Someren ook binnen het diffuus beïnvloed gebied.



Figuur 2.3 Omvang van het gebied waar het grondwater diffuus verontreinigd is

Buiten dit gebied kunnen in het grondwater ook lokaal verhoogde waarden aan zware metalen worden aangetroffen, mogelijk ook door lokaal aanwezige zinkassen. Echter buiten dit gebied is geen directe invloed meer merkbaar ten gevolge van industriële activiteiten van de zinkfabrieken zelf.

## 2.3 Resultaten van het meetnet en van gegevens van de gemeenten

### 2.3.1 Grondwaterkwaliteitsmeetnet ABdK

Aanvullend op het reguliere grondwatermeetnet van de provincies Noord-Brabant en Limburg is voor het gebied de Kempen een representatief grondwaterkwaliteitsmeetnet ingericht, bestaande uit in totaal 80 peilbuizen (TNO/Grontmij, 2006). Het meetnet heeft tot doel de grondwaterkwaliteit tot een diepte van 35 m beneden maaiveld te kunnen monitoren. Het meetnet is ingericht aan de hand van gebiedstypen. Hierbij is onderscheid gemaakt in:

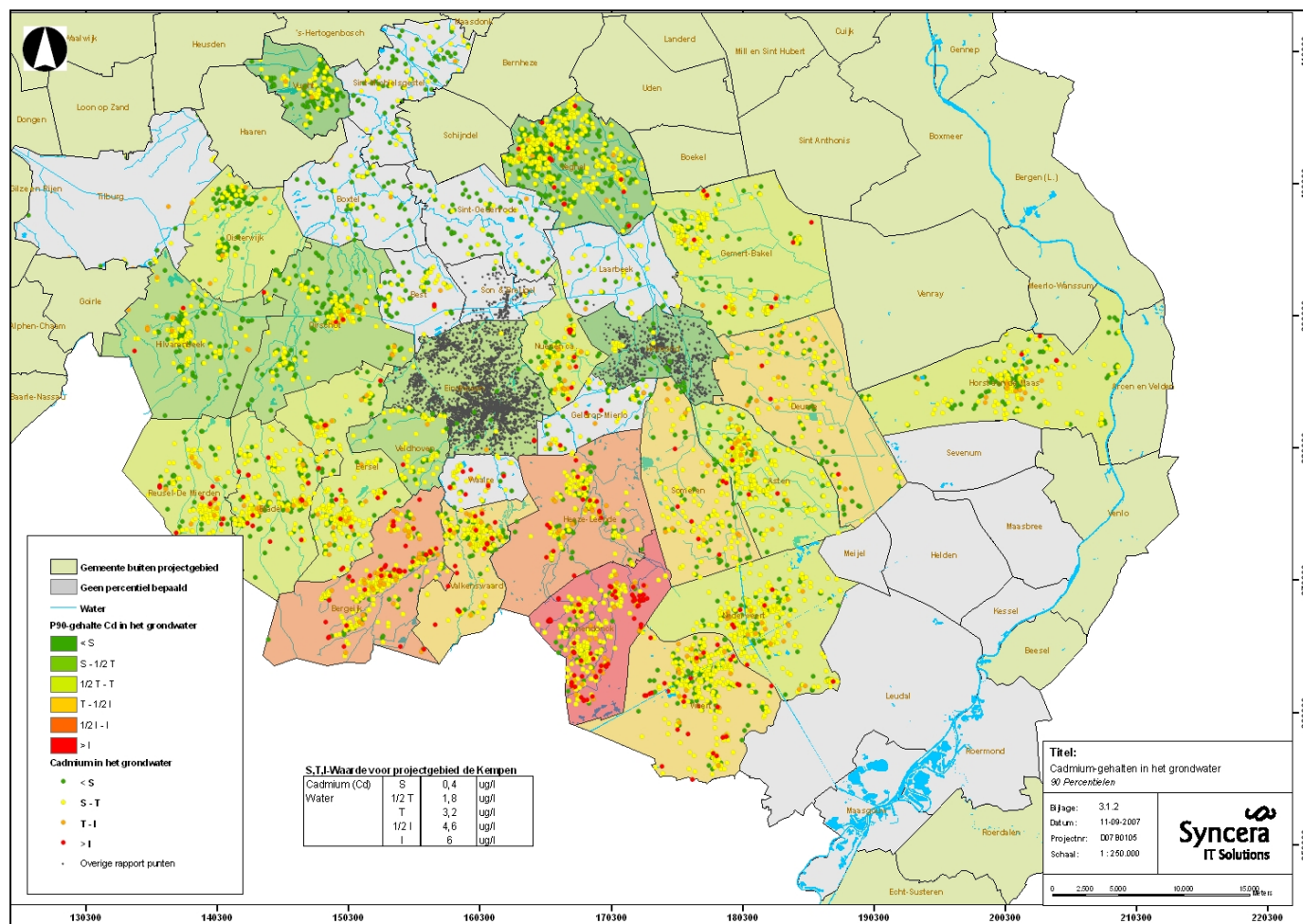
- landgebruik (landbouw of natuur);
- hydrologische situatie (infiltratie, intermediair of kwel).

De diepte van de boringen en het aantal peilbuizen variëren per gebiedstype. De meetfrequentie is afgestemd op de diepte van het filter en de gebiedstypes. De frequentie verschilt tussen eens per jaar tot eens per 4 jaar.

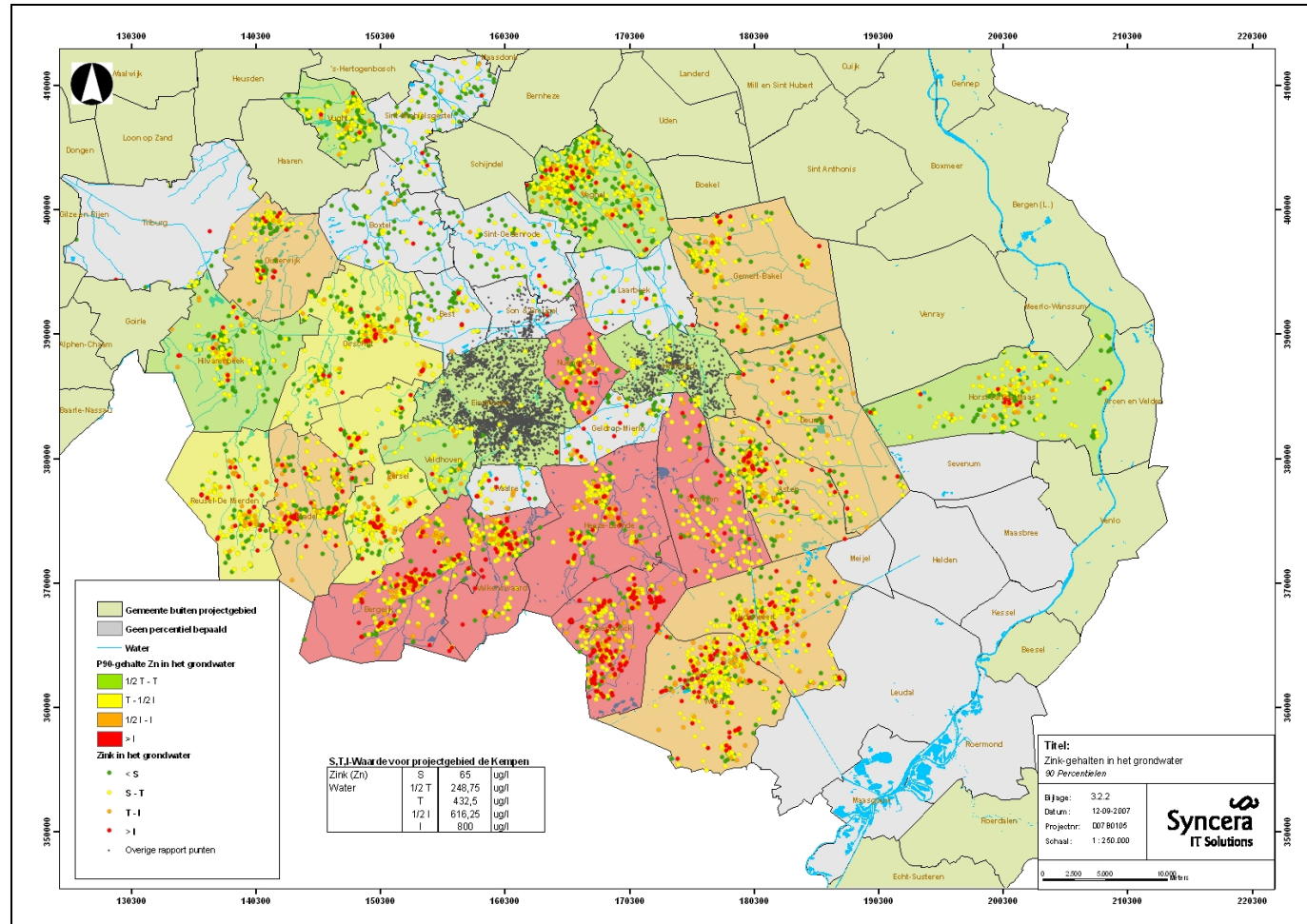
Uit de meetresultaten blijkt een duidelijke afname van de concentraties zware metalen met de diepte. Op een diepte > 15 m-mv wordt nauwelijks een overschrijding van de interventiewaarde aangetroffen (TNO/Grontmij, 2006). Dit heeft enerzijds te maken met de reistijd van het grondwater en anderzijds met een toename van de capaciteit van de ondergrond om zware metalen te binden.

### 2.3.2 Resultaten bovenste grondwater Bodeminformatiesystemen

In de onderstaande figuren 2.4 en 2.5 zijn de gemeten concentraties cadmium en zink in het bovenste grondwater (tot 10 m – mv) weergegeven. De gegevens zijn afkomstig uit de BodemInformatieSystemen van gemeenten in het projectgebied de Kempen en hebben betrekking op data die verzameld zijn op onverdachte locaties in de jaren 1995 t/m 2006. Locaties in de directe nabijheid van zinkassenwegen of ander soortige bronnen zijn in de kaarten niet meegenomen.



Figuur 2.4: Gemeten concentraties cadmium in het bovenste grondwater in projectgebied De Kempen (Gegevens afkomstig uit de inventarisatie door ABdK uitgevoerd van gemeentelijke bodemdata 2007)



Figuur 2.5: Gemeten concentraties zink in het bovenste grondwater in projectgebied De Kempen

De punten in beide kaarten geven per onderzoekslocatie een indicatie van de gemeten concentratie: beneden de streefwaarde, tussen streef- en tussenwaarde, tussen de tussen- en interventiewaarde en boven de interventiewaarde. De gemeente dekkende kleur geeft de 90-percentielwaarde weer van de gemeten concentraties in het grondwater in die gemeente.

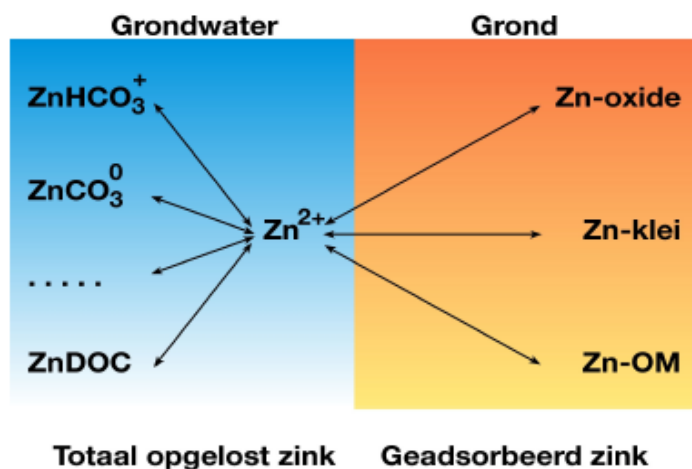
De kaarten laten zien dat voor zink de overschrijding van de interventiewaarde (rode kleur gemeente) veel voorkomt en dat voor cadmium alleen in Cranendonck deze 90-percentiewaarde boven de interventiewaarde (I-waarde) ligt. In Heeze-Leende en Bergeijk komt cadmium verhoogd voor, maar niet boven de I-waarde. Binnen deze gemeenten bevinden zich de depositiegebieden van de zinkfabrieken. Op lokaal niveau is de variatie in gemeten concentraties zink en cadmium dermate groot, dat het onmogelijk is om er contourlijnen doorheen te trekken. In het gehele projectgebied komen zowel locaties voor met concentraties boven de interventiewaarde als locaties met concentraties onder de streefwaarde, vaak op korte afstand van elkaar. Echter de kans om hogere waarden aan te treffen is in de genoemde gemeenten een factor 3 – 8 hoger dan in de overige gemeenten in de regio De Kempen. De grote verschillen die op lokaal niveau worden aangetroffen, worden vooral bepaald door de lokale geohydrologische en bodemkundige omstandigheden. Eerdere meetronden, door TNO uitgevoerd in 2002 en 2003 op een beperkter aantal locaties, lieten een vergelijkbaar regionaal beeld zien.

## 2.4 Geochemische processen

De geochemische processen die de verspreiding van zware metalen in de ondergrond controleren worden onderverdeeld in sorptie, en oplos- en neerslag reacties. Bij sorptie kan onderscheid gemaakt worden tussen kationuitwisseling aan kleimineralen, en sorptie aan organisch stof en Fe- en Al-oxiden. Voor oplos/neerslag reacties zijn vooral het oplossen en neerslaan van ijzersulfides van belang. Deze mineralen kunnen namelijk hoge gehalten aan zware metalen bevatten.

Voor de verzadigde zone is op basis van eerder onderzoek van TNO in het Nederlandse deel van de Kempen geconcludeerd dat sorptie het dominante proces is dat de verspreiding van cadmium en zink bepaalt (TNO, 2006). Als gevolg van het optreden van deze processen worden er momenteel geen verhoogde concentraties dieper dan 20 m-mv aangetroffen en komt de verontreiniging in modelberekeningen niet dieper dan 35 m-mv in infiltratiegebieden.

Op basis van deze bevindingen is een conceptueel model ontwikkeld om het gedrag van cadmium en zink in de ondergrond geochemisch te typeren (zie figuur 2.6).



Figuur 2.6: Conceptueel model voor sorptie van cadmium en zink (TNO, 2006)

De linker helft van het figuur omvat totaal opgelost zink, deels vrij  $Zn^{2+}$  en deels anorganische en organisch complexen van Zn. Aan de rechterkant is Zn geadsorbeerd aan oxides, klei en organisch materiaal. De mate van sorptie is sterk afhankelijk van de pH en de hoeveelheid oxides, klei en organische materiaal in de grond. Wanneer het grondwater een lage pH heeft (zoals veelal het bovenste grondwater in natuurgebieden) zijn cadmium en zink mobiel.

## 2.5 Resultaten van de modelberekeningen

Voor het centrale deel van het BeNeKempen projectgebied is een 3-dimensionaal regionaal transportmodel opgezet (TNO et al, 2008). Het model bestaat uit verschillende gekoppelde modellen voor de verzadigde en onverzadigde zone.

### *Onverzadigde zone*

Met het transportmodel (HYDRUS-1D) is de uitspoeling van Cd en Zn onderaan de onverzadigde zone berekend. De uitloogconcentraties voor cadmium en zink zijn berekend voor vijfjaarlijkse perioden tussen 1890 en 2010 en deze dienen als invoer voor het transportmodel voor de verzadigde zone. Uit de resultaten blijkt dat als gevolg van verschillen in bodemtype en de metaalbelasting aan maaiveld de uitloging van de metalen naar het bovenste grondwater in Vlaanderen veel sneller is gegaan dan in Nederland. De bodems ten westen van de Feldbissbreuk (dus op het Kempisch plateau) zijn over het algemeen veel grover van samenstelling en dus gevoeliger voor uitspoeling dan de bodems in de Centrale Slenk.

### *Verzadigde zone*

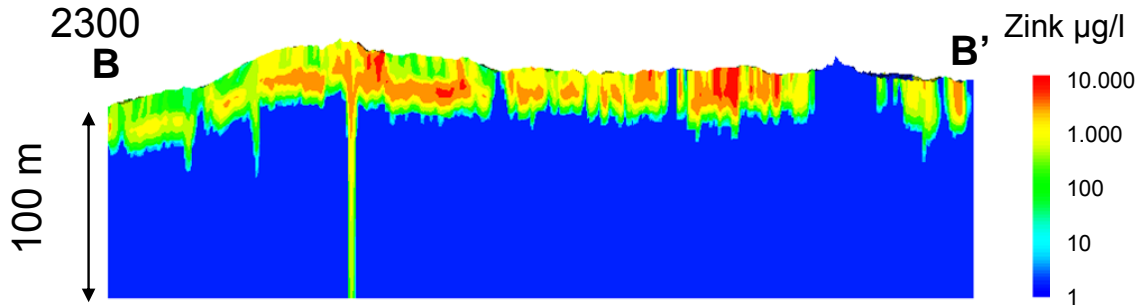
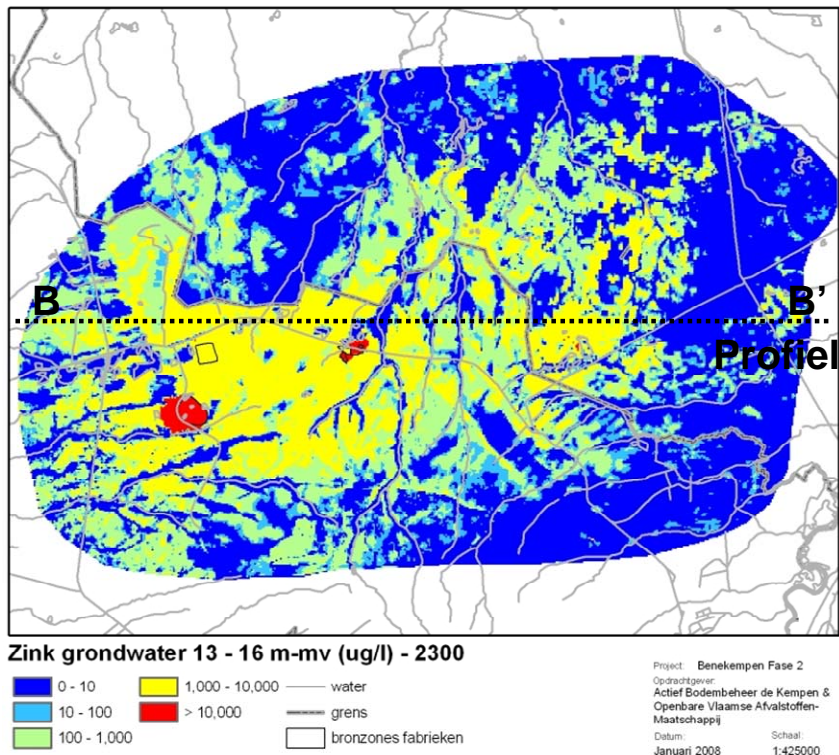
Zink- en cadmiumconcentraties zijn berekend op verschillende dieptes en voor verschillende perioden tot 2100 (TNO et al, 2008). In 2009 zijn door Deltares aanvullende berekeningen uitgevoerd tot het jaar 2500. De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd met gebiedsdekkende kaarten en diepteprofielen (zie ook bijlage 2). Figuur 2.7 geeft de horizontale verspreiding van de zinkconcentraties in het jaar 2300 op een diepteniveau van ongeveer 13 tot 16 m-mv. Het profiel B-B' geeft voor hetzelfde jaar de verticale verspreiding. Zowel in het horizontale vlak als in het verticale profiel is sprake van een grote variatie in zinkconcentraties.



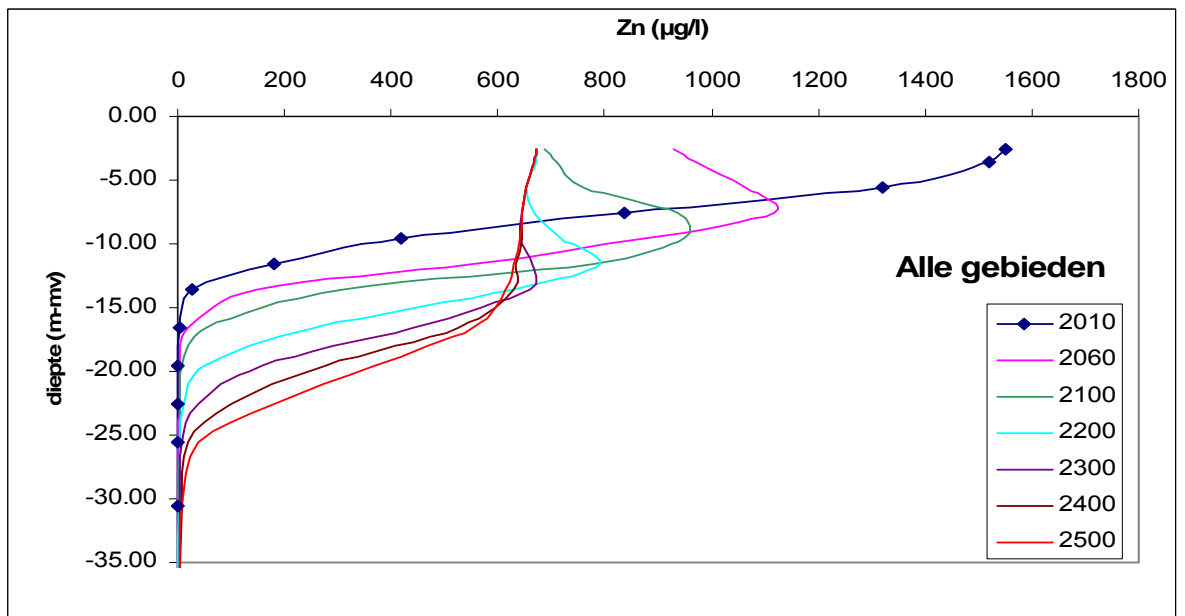
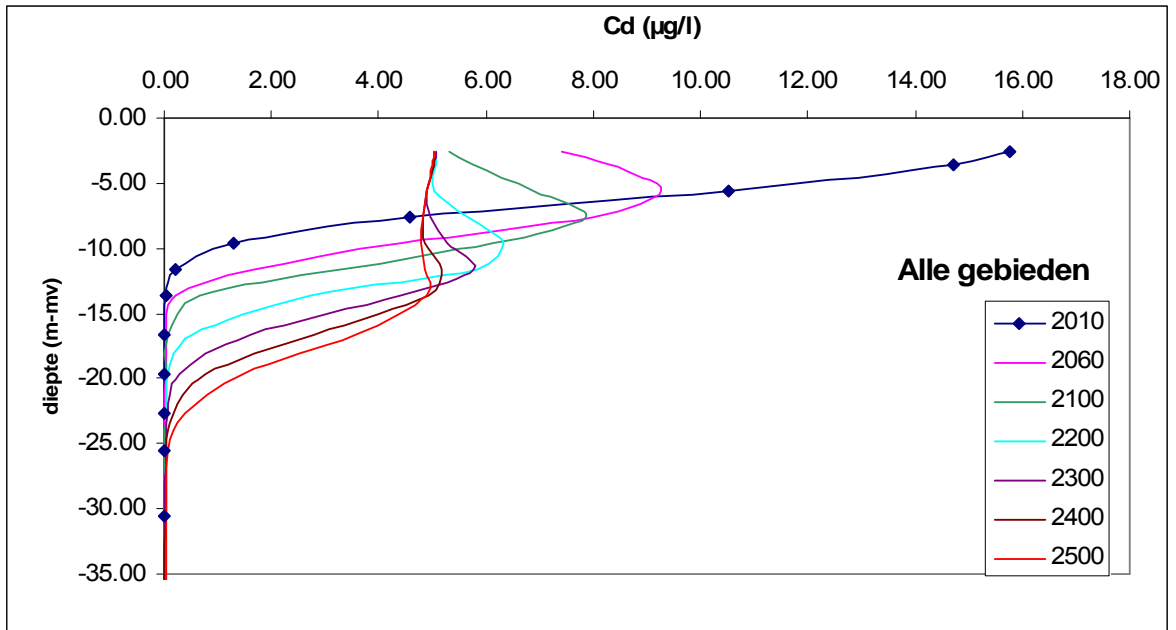
De smalle band met hoge concentraties in de linker helft van het figuur wordt veroorzaakt door een hoge infiltratieflux van het kanaal dat daar het profiel snijdt. Dit wordt veroorzaakt door de ruimtelijke discretisatie van het model. In een gridcel van 100x100 m ligt het kanaal. Hierdoor heeft deze gridcel een hoge infiltratiesnelheid. Als ook nog de uitspoeling van zink vanuit de onverzadigde zone naar de verzadigde zone hoog is, verspreidt dit zink zich relatief snel naar grote diepte.

Figuur 2.8 geeft de concentratie-diepteprofielen van gemiddelde berekende zink- en cadmiumconcentraties voor de jaren 2010, 2060, 2100, 2200, 2300, 2400 en 2500 voor het gehele BeNeKempen modelgebied. Uit de figuren blijkt dat de concentraties in het bovenste grondwater afnemen en dat het front zich (langzaam) in de tijd naar beneden verplaatst. De snelheid van verplaatsing van het front naar de diepte neemt af in de tijd. Ook is te zien dat de concentraties in het ondiepe grondwater min of meer stationair worden in de tijd. Dit wordt veroorzaakt door de langjarige gelijk blijvende uitspoeling vanuit de bodem naar het grondwater in de periode 2100-2500.

Bovenstaande berekeningen bevestigen de aanname dat de verontreiniging, ook op langere termijn, zich niet dieper dan tot 35 m onder maaiveld zal verspreiden.



Figuur 2.7: Horizontale en verticale verspreiding van zink in het jaar 2300 (TNO 2009)



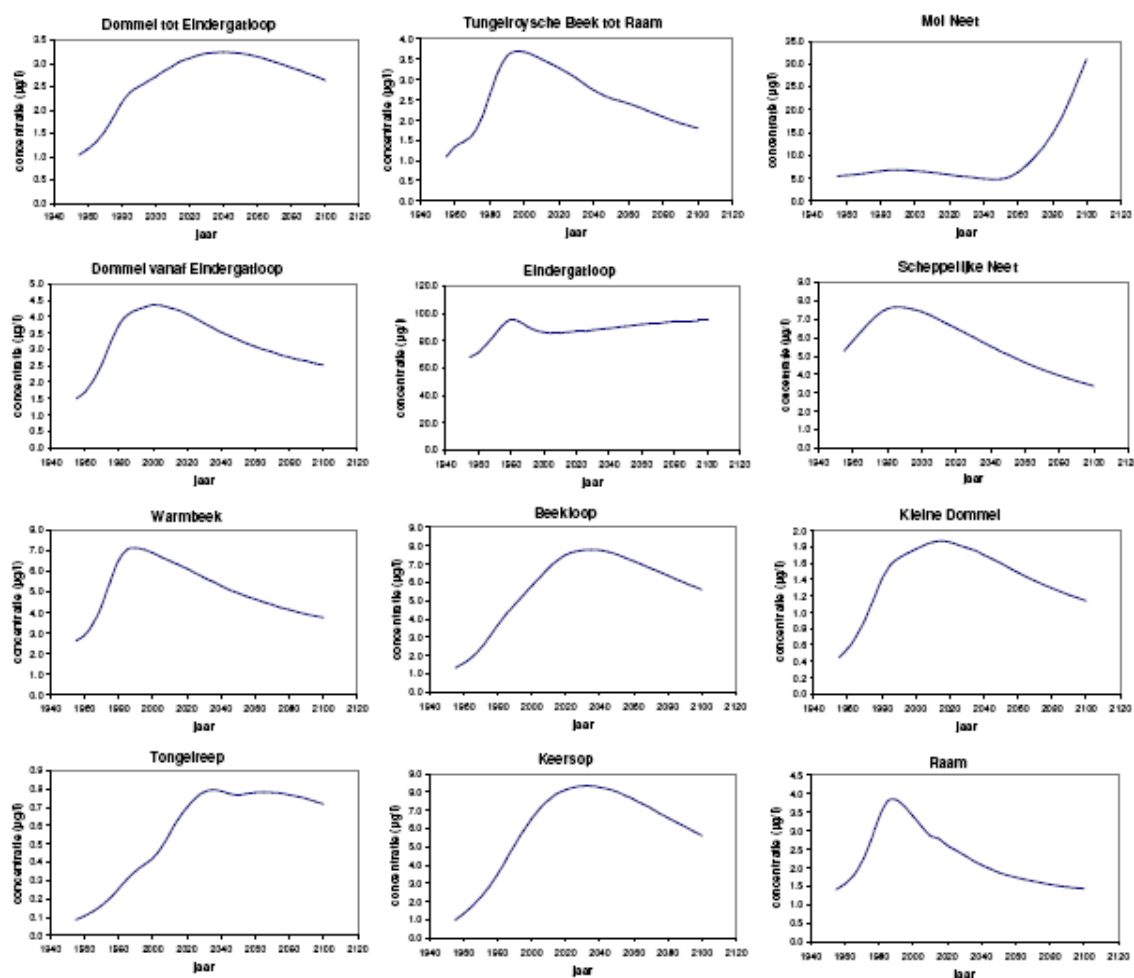
Figuur 2.8: Gemiddeld concentratie-diepte profielen van cadmium (boven) en zink (onder) voor het gehele BeNeKempen modelgebied (TNO 2009)

### 3 RISICO'S VAN METALEN IN HET GRONDWATER

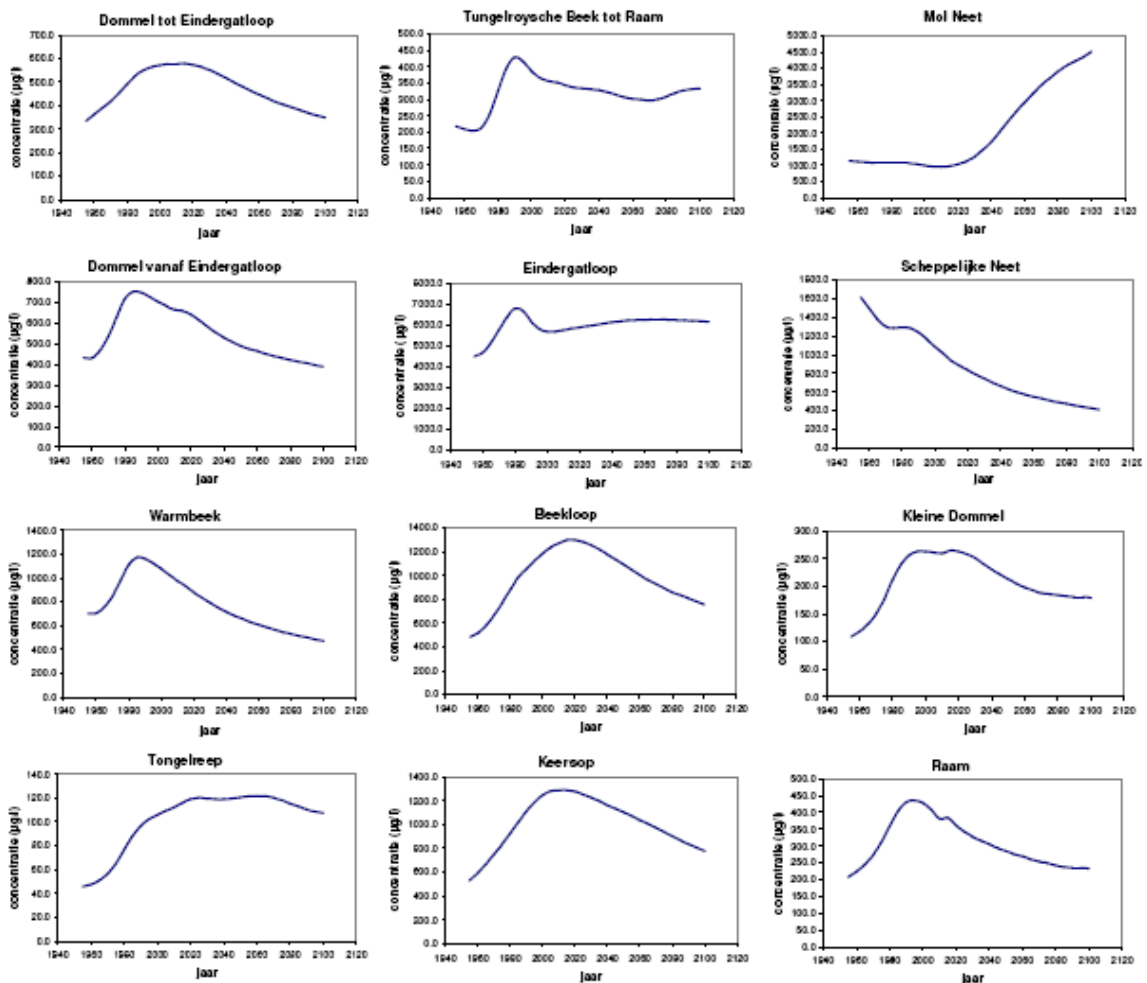
Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijke consequenties van de verontreiniging met zware metalen in het grondwater voor de verschillende gebruiksfuncties. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de mogelijke consequenties voor oppervlaktewater, natuur, landbouw, particulier grondwatergebruik en openbare drinkwatervoorziening.

#### 3.1 Oppervlaktewater

Het stoftransportmodel voor het BeNeKempen projectgebied is ingezet om een inschatting te verkrijgen van de belasting van de oppervlaktewatersystemen via het grondwater (TNO et al, 2008). In figuur 3.1 en 3.2 is het verloop van de berekende cadmium- en zinkconcentraties in de tijd voor de bedreigde beektrajecten weergegeven. In de figuren is de autonome situatie weergegeven zonder maatregelenpakket. Met deze berekening is niet de feitelijke concentratie in het oppervlaktewater gemodelleerd. Er spelen namelijk in werkelijkheid veel meer processen in het oppervlaktewatersysteem (inclusief waterbodembodem en beekdalafzetting) die de concentraties in het oppervlaktewater bepalen. Het voordeel van deze wijze van berekening van concentraties is dat hiermee verschillende beektrajecten rechtstreeks met elkaar kunnen worden vergeleken.



Figuur 3.1: Verloop van de cadmiumconcentratie in verschillende beken (in µg/l)



**Figuur 3.2: Verloop van de zinkconcentratie in verschillende beken (µg/l)**

De meeste bedreigde oppervlaktewatersystemen hebben een piek in belasting vanuit het grondwater tussen 1990 en 2025, waarna de flux weer langzaam afneemt. Er is een groot verschil in berekende concentraties tussen verschillende beektrajecten. Uit metingen van het waterschap De Dommel blijkt dat de MTR-waarden voor cadmium en zink (in oppervlakte water respectievelijk 2 en 40 µg/l) worden overschreden. In verschillende beken. In het stroomgebied van de Dommel wordt in 20% van de meetpunten de MTR voor cadmium overschreden. Voor zink is dit zelfs 90 tot 95%. Ook in de Tungelroyse beek worden deze normen overschreden. De bron(nen) voor deze overschrijdingen zijn echter divers. Enerzijds speelt hier de historisch invloed een rol via de belasting van het grondwater, anderzijds wordt deze belasting mede veroorzaakt door de historische bemesting en door afvalwaterzuiveringen. Deze laatste leveren met name voor zink een belangrijke bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater.

De MTR waarden zijn gebaseerd op een beschermingsniveau waarbij 95% van de potentieel aanwezige soorten in het ecosysteem worden beschermd. Wat de overschrijdingen in werkelijkheid betekenen in de beken is beperkt bekend (zie kader hieronder).

### Risico's voor vlokreeften (aangeleverd door Waterschap Peel en Maasvallei)

In een artikel van Harry Tolkamp (Ontwikkeling van de waterkwaliteit van de beken in het stroomgebied van de Tungelroysebeek, 1998) wordt ingegaan op het effect van cadmium en zink op de vlokreeften (Gammarus-soorten) in het oppervlaktewater. Vlokreeften lijken niet voor te komen bij zinkgehalten > 1 mg/l en/of cadmiumgehalten > 10 µg/l. Ze gaan dan cadmium opnemen in plaats van calcium. De kwaliteit van de waterbodem is minder bepalend voor hun voorkomen. Uit metingen door het waterschap blijkt ook dat er lange tijd geen vlokreeften voorkwamen in het bovenstroomse gedeelte van de Tungelroysebeek. Op dit moment worden ze wel weer waargenomen. De concentraties cadmium en zink liggen dan ook beneden de bovengenoemde waarden.

Wat betreft het ecologische functioneren van een waterloop is buiten de fysisch – chemische waterkwaliteit van onder andere zware metalen en nutriënten is ook de ecologische kwaliteit van groot belang. Deze wordt met name bepaald door een goede (door)stroming (geomorfologie/hydromorfologie).

Beektrajecten met bovenlopen in het gebied met de hoogste maaiveldbelasting, een bodem die gevoelig is voor uitspoeling en hydrologisch als snel (en dus kwetsbaar) worden gekenmerkt zijn het meest gevoelig voor verontreiniging vanuit het grondwater. De meest kwetsbare beken in het modelgebied zijn: Scheppelijke Nete, Molse Nete, Eindergatloop en Beekloop-Keersop (BeNeKempen, Werkgroep water, 2008).

De verschillen tussen gemeten en berekende concentraties in het oppervlaktewater geven aan dat de berekeningen hogere concentraties laten zien dan de metingen. Bij de berekeningen (TNO et al, 2008) is geen rekening met beekdalafzettingen die mogelijk wel verantwoordelijk zijn voor een sterke vastlegging van metalen uit het grondwater (sulfaatreductie). De overschatting, die kan oplopen tot een factor 2, kan hiermee goed verklaard worden.

Dit betekent dat de invloed van grondwater op de kwaliteit van het oppervlaktewater minder kan zijn dan in het verleden berekend. In het STROMON/WAHYD project dat TNO voor de provincie N-Brabant en Limburg heeft uitgevoerd blijkt dat oppervlakkige afstroming van landbouwgronden bij hoge afvoeren (veel regen) een belangrijke kwaliteitsverslechtering kan betekenen voor het oppervlaktewater. Dit fenomeen speelt vooral in de Kempen omdat de bovengrond daar aangereikt is met veel zware metalen. Dit effect kan ook optreden bij vernattingprojecten op basis van GGOR/Nieuw Limburgs Peil. In gebiedsprocessen zou met dit kwaliteitseffect rekening gehouden moeten worden door de waterbeheerders.

Om op lokaal niveau uitspraken te kunnen doen over de invloed en/of bijdrage van het grondwater dient een lokale grondwatermodellering uitgevoerd te worden. De gegevens uit het regionale grondwatermodel kunnen daarbij als eerste invoer dienen.

Uit het water- en massabalans onderzoek van de Dommel (Onderzoek BeNeKempen uitgevoerd door Soesma/Oranjewoud/Alterra) blijkt dat zolang er lozingen op een beek zijn, deze vaak meer bepalend zijn voor de oppervlaktewaterkwaliteit dan het grondwater. In dat geval hebben brongerichte maatregel duidelijk de voorkeur boven effectgerichte maatregelen.

## 3.2 Natuur

### *Terrestrische natuur*

Kennis over risico's in de bodem zijn wel bekend, bijvoorbeeld uit het onderzoek dat eind 2008 gepubliceerd is over het overstromingsgebied van de Dommel (Alterra 2008). In grond van de sterkst verontreinigde locaties zijn negatieve effecten van de verontreiniging op planten en regenwormen gemeten. Wormen van de verontreinigde locaties bevatten verhoogde gehalten cadmium en arseen. Het grootste mogelijke ecologische risico in het Dommeldal wordt gevormd door de doorvergiftiging van cadmium bij hogere dieren die zich met wormen voeden zoals spitsmuizen, steenuil en de das.

Kennis over risico's in het grondwater zijn minder bekend. De resultaten van de transportberekeningen (TNO et al, 2008) geven aan dat de berekende gemiddelde metaalconcentraties in het bovenste grondwater (0 tot 1,5 m-gwsp)<sup>1</sup> in een aantal natte natuurgebieden (met name degene die dichtbij de Vlaamse fabrieken liggen) met enkele tientallen microgrammen per liter cadmium en enkele duizenden microgrammen per liter zink hoog zijn. Dergelijke hoge concentraties zijn ook in het bovenste grondwater in Nederlandse natuurgebieden gemeten. Tussen 2005 en 2060 laten veel in Nederland gelegen natuurgebieden een toename van de concentraties in het bovenste grondwater zien. Wat het effect is van deze verhoogde waarden in het grondwater is niet bekend. Bij het RIVM en Alterra is hierover navraag gedaan. Zoals bij het RIVM als Alterra blijkt hierover geen informatie bekend te zijn.

Uit de resultaten van de hydrologische quickscans die waterschap de Dommel recent heeft laten uitvoeren in verschillende natuurgebieden blijkt dat er verhoogde waarden aan metalen worden aangetroffen in het grondwater. Er zijn geen gegevens bekend die aangegeven dat verhoogde zware metaalgehalten in het grondwater beperkend zijn om de instandhoudingdoelen in Natura 2000 gebieden te realiseren.

### *Aquatische natuurwaarden*

De berekende concentraties cadmium en zink in het oppervlaktewater zijn tevens van belang voor inschatting van de risico's voor aquatische natuurwaarden. Voor verschillende natuurgebieden dalen of stijgen de concentraties in de periode 1950-2010 (TNO et al, 2008). De belasting van het oppervlaktewater vanuit het grondwater is een complex proces en er worden sterke ruimtelijke variaties berekend. De Nederlandse norm (MTR-totaal) voor cadmium in oppervlaktewater is 2 µg/l en voor zink 40 µg/l. In alle natuurgebieden wordt de zinknorm regelmatig overschreden terwijl dit voor cadmium niet altijd het geval is. Zie hiervoor ook paragraaf 3.1.

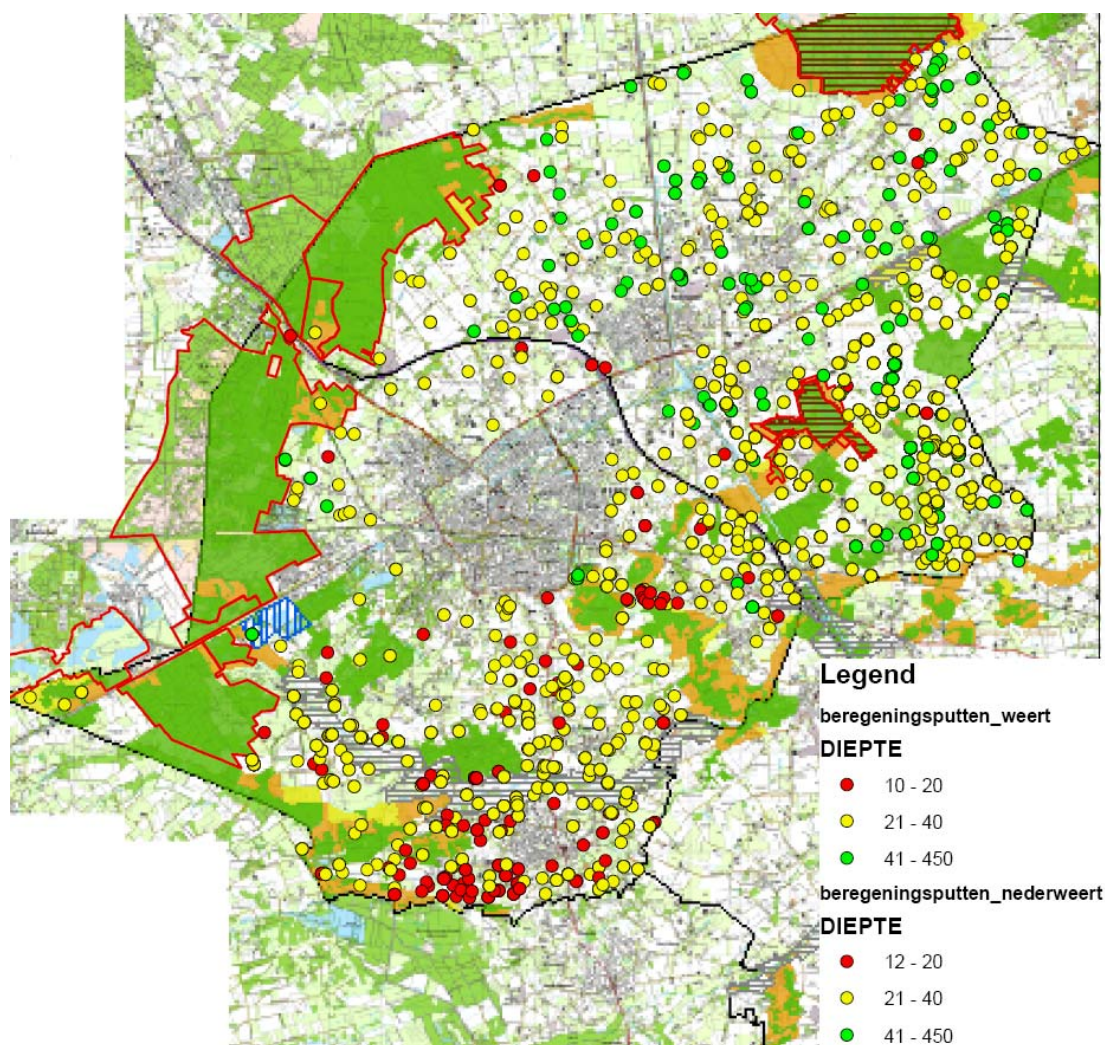
## 3.3 Landbouw (veedrenking en beregening)

Door de landbouw wordt grondwater onttrokken voor beregening, het watergebruik van de agrarische bedrijven zelf (o.m. spoelwater) en veedrenking. Uit een interview met ZLTO (Royal Haskoning, 2004) is naar voren gekomen dat beregening grotendeels plaats vindt uit bronnen met een filterdiepte tussen de 20 en 40 m-mv. Voor het watergebruik binnen de agrarische bedrijven en veedrenking wordt vaak gebruik gemaakt van grondwater onttrokken op deze diepte of drinkwater.

<sup>1</sup> 0 tot 1,5 meter onder de grondwaterspiegel betekent ongeveer 1 tot 2,5 meter onder maaiveld

In 2100 ligt de maximale diepte van het verontreiniging gemiddeld op 18 m-gwsp<sup>2</sup>. Dit komt alleen voor in het hydrologisch meest gevoelige gebiedstype, namelijk de natuur-infiltratie gebieden. Gelet op deze verspreiding is er de kans om verontreinigd grondwater te onttrokken op grotere diepte dan 18 m-gwsp gering.

Het aantal onttrekkingen voor beregening uit ondiepe putten (< 20 m-mv) wordt geschat op enkele honderden. Ten opzichte van alle bekende onttrekkingen is dat maar een klein deel (< 10%). Figuur 3.3 geeft een beeld van het aantal onttrekkingen in Weert en Nederweert. Binnen de provincie Noord Brabant wordt de diepte van de onttrekking niet geregistreerd. Er bestaan geen kwaliteitsgegevens van het onttrokken grondwater uit deze putten. Er vindt vanuit de grondwaterwet alleen regulering plaats van de waterkwantiteit (debiet) .



**Figuur 3.3: Diepteligging (m – mv) van beregeningsputten in de gemeenten Nederweert en Weert (Gegevens aangeleverd door de Provincie Limburg)**

<sup>2</sup> 0 tot 1,5 meter onder de grondwaterspiegel betekent ongeveer 1 tot 2,5 meter onder maaiveld



Een mogelijke kans om verontreinigingen aan te treffen geldt voor veedrenking uit ondiep grondwater (< 10 m diepte) of uit oppervlaktewater. Door de LLTB en de ZLTO is echter aangegeven dat veedrenking uit het ondiepe grondwater op zeer beperkte schaal plaatsvindt.

Agrariërs die veedrenkingsputten hebben in afgelegen gebieden waarvoor geen alternatief bestaat voor de watervoorzieningen, hebben van ABdK de mogelijkheid geboden gekregen om een nieuwe put te (laten) slaan. Deze mogelijkheid wordt alleen geboden aan boeren in de kerngemeenten (Bergeijk, Valkenswaard, Heeze-Leende, Cranendonck en Weert) en in het geval het grondwater in de oude put niet geschikt is voor veedrenking. Door ABdK is dit opgenomen in een folder over teeltadviezen voor agrariërs. Deze mogelijkheid bestaat sinds 2005. Tot op heden is van deze mogelijkheid (nog) geen gebruik gemaakt.

In verband met de uitwerking van de voorlichting over het gebruik van grondwater naar gebruikers toe en dan met name voor burgers en landbouwers is aan de GGD en het RIVM in 2006 verzocht om aan te geven of er grenswaarden zijn te benoemen voor de belangrijkste gebruiksfuncties van het grondwater namelijk als drinkwater, sproeiwater of voor veedrenking. Voor de 7 meeste voorkomende metalen (As, Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr en Hg) heeft het RIVM grenswaarden bepaald. In overleg met de provincies is afgestemd dat er geen gebruiksadviezen worden gegeven op basis van (momentane) analyses van grondwater. Aangezien de variatie in de tijd en ruimte groot is kan een momentane analyse niet gebruikt worden voor een (éénmalig) gebruiksadvies. In het algemeen wordt daarom aangegeven dat het gebruik van grondwater als drinkwater wordt afgeraden bij particulieren.

### **3.4 Particulier grondwatergebruik**

Zolang gebruik wordt gemaakt van drinkwater of eigen bronnen met een pompfilter dieper dan 40 m is er geen verhoogd risico voor grondwaterverontreiniging met zware metalen. Ondiep grondwater wordt in de Kempen niet veelvuldig gebruikt als drinkwater. Gebruik van ondiep grondwater als drinkwater wordt ook in zijn algemeenheid ontraden, omdat de kwaliteit hiervan nooit goed te waarborgen is (zie ook bovenstaand kader).

### **3.5 Openbare drinkwatervoorziening**

Binnen het projectgebied de Kempen bevinden zich twee pompstations voor de openbare drinkwatervoorziening: pompstation Budel en pompstation Luijksgestel. De putfilters van het pompstation Luijksgestel bevinden zich dieper dan 40 m beneden maaiveld. De putfilters van pompstation Budel bevinden zich op 20 m beneden maaiveld, maar hier heeft Brabant Water het voornemen om de putfilters te verdiepen naar 200 m beneden maaiveld. De transportberekeningen geven aan dat nu en in de komende eeuw de winningen niet bedreigd worden door de cadmium- en zinkverontreiniging. Dit wordt bevestigd door metingen (TNO et al, 2008).

### **3.6 Verspreiding diepe grondwater**

Het diepe grondwater (> 40 m-mv) zal in het door atmosferische depositie diffuus verontreinigd gebied in de toekomst schoon blijven.

In 2100 ligt de diepte van het verontreinigingsfront gemiddeld op 20 m-mv in het meest gevoelige gebiedstype natuur-infiltratie en maximaal op 35 m-mv (TNO, 2006; TNO et al, 2008). Ook op nog langere termijn (2500) zal de verontreiniging niet dieper dan 35 meter onder maaiveld wegzakken (bijlage 2).

### 3.7      **Verspreiding vanuit zinkassenwegen**

In 2004 heeft onderzoek plaats gevonden naar de beïnvloeding van zinkassen op verontreiniging van het grondwater (Royal Haskoning, 2004). Uit dit onderzoek is gebleken dat de aanwezigheid van zinkassen niet altijd leidt tot sterk verhoogde gehalten in het grondwater. Kennelijk spelen andere factoren een belangrijke rol bij de uitloging van zinkassen. Genoemd worden het type zinkas (open vs afgedekt), de leeftijd (i.v.m. verwerking) en de dikte van het pakket zinkassen. In navolging op dit onderzoek is verder geen methodiek ontwikkeld voor de aanpak van het grondwater bij zinkassen aangezien ABdK zich richt op de verwijdering van de bron van de verontreiniging waarmee ook de grootste vrachtverwijdering aan metalen plaats vindt.

Het aanvullend nog saneren van de aanwezige grondwaterverontreiniging is niet effectief omdat de vracht aan metalen in het grondwater ten opzichte van zinkassen zeer klein is én in de omgeving ook verhoogde gehalten aan metalen voorkomen.

## 4 MOGELIJKE MAATREGELEN

### 4.1 Verkende mogelijke maatregelen

In 2004 is door ABdK een advies voor een uitvoeringsprogramma grondwater opgesteld (Royal Haskoning - TNO, 2004). In dit advies zijn de hoofdlijnen geschetst voor aanpak van de grondwaterverontreiniging. Nadere uitwerking heeft plaatsgevonden in een drietal meer gedetailleerde concept-uitvoeringsplannen voor drie belangrijke deelsystemen (Oranjewoud, 2004; Arcadis, 2004; Grontmij, 2004)

Om de risico's van de grondwaterverontreiniging te beperken zijn verschillende maatregelen denkbaar. Al deze maatregelen zijn in meer of mindere mate gericht op de volgende twee doelen:

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

De maatregelen kunnen verder worden verdeeld naar:

- brongericht: gericht op het wegnemen of onschadelijk maken van de bron;
- padgericht: gericht op het wijzigen van de transportsnelheid of –richting, zodanig dat de effecten als gevolg van de verontreiniging verminderd worden;
- objectgericht: gericht op het tegengaan van nadelige effecten van de verontreiniging op kwetsbare objecten.

In onderstaande tabel 4.1 zijn per type de verschillende mogelijke maatregelen weergegeven. Het effect van de vet en cursief gedrukte maatregelen zijn nader doorgerekend in de vorm van scenario's (Royal Haskoning - TNO, 2004). Maatregelen die een zeer lokaal karakter hebben zijn hierbij niet meegenomen in de regionale modellering. Ook maatregelen die moeilijk te kwantificeren zijn binnen het geohydrologisch model zijn niet doorgerekend.

Tabel 4.1: Verschillende mogelijke brongerichte, padgerichte en objectgerichte maatregelen

Brongerichte maatregelen	Padgerichte maatregelen	Objectgerichte maatregelen
<i>Verwijderen zinkassen</i>	<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 beken
	<i>Aanpassing van het beregeningsregime</i>	
<i>Lokaal onttrekken stoppen (beregeningen)</i>	In-situ precipitatie	

## 4.2 Globale kosten van maatregelen

Drie scenario's zijn verkend, een autonoom, extensief en intensief scenario. Het autonome scenario omvat alleen monitoring, het extensieve scenario sluit aan bij veranderingen in het waterbeheer (m.n. stop zetten beregeningen) en ruimtelijke plannen en het intensieve scenario is gericht op het voorkomen van de verspreiding van de verontreinigingen naar het diepe watervoerende pakket (extra grondwateronttrekkingen en herinfiltratie).

De kosten (netto contante waarde, excl. BTW) van de drie scenario's in de drie deelsystemen zijn achtereenvolgens 2 tot 5 miljoen (autonoom), 5 tot 60 miljoen (extensief) en 25 tot 40 miljoen (intensief). De kosten voor het extensief scenario kunnen hoog oplopen vanwege het optreden van droogteschade. Deze deelgebieden beslaan ongeveer de helft van het gebied de Kempen. Indien deze maatregelen voor het hele gebied van ABdK zouden worden doorgevoerd zullen de kosten (minimaal) verdubbelen.

## 4.3 Conclusies over kosteneffectiviteit van maatregelen

*Conclusies advies uitvoeringsprogramma grondwater (Royal Haskoning - TNO, 2004)*  
De scenarioberekeningen laten zien dat met de onderzochte maatregelen de belasting van cadmium naar het oppervlaktewater en het diepere grondwater kan worden gereduceerd. De verwachte reducties zijn klein in verhouding tot de totale vracht die in het gebied in het grondwater aanwezig is en zeer klein in verhouding tot de totale vracht die is opgeslagen en gebonden in de bovenste meters van de bodem. Bovendien resulteert vrachtverwijdering via het grondwater in een effect dat deels tijdelijk is: na verloop van tijd zullen de gereduceerde concentraties in het grondwater weer oplopen doordat een deel van de gebonden vracht weer in oplossing komt. In dit licht bezien is het effect van de onderzochte maatregelen op gebiedsniveau als marginaal te beschouwen, zeker gezien de aanzienlijke investeringen die ervoor nodig zijn (tot enkele tientallen miljoenen euro).

*Conclusies concept uitvoeringsplannen (Oranjewoud, 2004; Arcadis, 2004; Grontmij, 2004)*

In alle drie de pilotgebieden hebben de voorgestelde maatregelen effecten op de drainage van verontreinigingen naar het oppervlaktewater en de verspreiding naar de diepte. Uiteraard is het intensieve scenario steeds het meest effectief. De effecten van de maatregelen op de totaal aanwezige vracht zink en cadmium in het grondwater en gebonden aan de bodem zijn echter zeer gering. Dit geldt voor alle scenario's voor alle gebieden. De maatregelen zorgen alleen voor een verandering van de verspreidingsrichting van de diffuse verontreiniging; van vrachtverwijdering is nauwelijks sprake.

De voorgestelde maatregelen uit het extensieve en zeker die uit het intensieve scenario hebben een aanzienlijke impact op de pilotgebieden. Veel van de voorgestelde maatregelen staan bovendien op gespannen voet met het bestaande waterbeleid, dat is gericht op het tegengaan van verdroging van natte natuur en het realiseren van veerkrachtige en duurzame watersystemen en het verminderen of stopzetten van onttrekkingen.

Bij de maatregelen gaat het daarbij met name om het grootschalig aanleggen van drainage in natuurgebieden en landbouwgebieden, het laten zitten van bestaande drainages in natuurontwikkelingsgebieden en het minder verhogen van beekpeilen. Gezien deze impact en de strijdigheid met bestaand waterbeleid én de hoge kosten in relatie tot het betrekkelijk geringe effect op de hoeveelheden zink en cadmium in grondwater en bodem, dienen vraagtekens te worden gezet bij de maatschappelijke wenselijkheid (en acceptatie) van eventuele grondwatermaatregelen.

## 5 RESUMÉ

Met het samenvattend overzicht van in het verleden uitgevoerde onderzoeken naar de grondwaterproblematiek in de Kempen zoals in dit document gepresenteerd is het volgende resumé gemaakt.

- Aanvullend op het reguliere grondwatermeetnet van de provincies Noord-Brabant en Limburg is voor het gebied de Kempen een representatief grondwaterkwaliteitsmeetnet ingericht, bestaande uit in totaal 80 peilbuizen (TNO/Grontmij, 2006). Het meetnet heeft tot doel de grondwaterkwaliteit tot een diepte van 35 m beneden maaiveld te kunnen monitoren.
- Uit de meetresultaten blijkt een duidelijke afname van de concentraties zware metalen met de diepte. Op een grotere diepte dan 15 meter onder maaiveld wordt nauwelijks een overschrijding van de interventiewaarde aangetroffen (TNO/Grontmij, 2006). Dit heeft enerzijds te maken met de reistijd van het grondwater en anderzijds met een toename van de capaciteit van de ondergrond om zware metalen te binden.
- Uit de resultaten van modelberekeningen blijkt dat de grondwaterverontreiniging met zware metalen op langere termijn (2500) in infiltratiegebieden niet dieper komt dan 35 m-mv in 2100 (TNO, 2006 en 2009).
- De oppervlaktewateren in het gebied worden de komende decennia nog gevoed met verhoogde gehalten zware metalen via het grondwater. Dit geldt met name voor zink. De meeste bedreigde oppervlaktewatersystemen hebben een piek in belasting vanuit het grondwater tussen 1990 en 2025, waarna de flux weer langzaam afneemt. Er is een groot verschil in berekende concentraties tussen verschillende beektrajecten.
- De MTR voor cadmium en zink (respectievelijk 2 en 40 µg/l) wordt regelmatig overschreden (De Dommel, 2008).
- Door de landbouw wordt grondwater onttrokken voor beregening, het watergebruik van de agrarische bedrijven zelf (o.m. spoelwater) en veedrenking:
  - Een kans om verontreinigingen aan te treffen geldt in beperkte mate voor intensieve beregening vanuit het ondiepe grondwater (10-20 m diepte). Onttrekking voor beregening vindt meestal dieper plaats (> 20 meter), waar geen risico's zijn.
  - Veedrenking is wel gebruikelijk uit ondiep grondwater (< 10 m) en hier is een verhoogd risico op het aantreffen van verontreinigingen. Voor boeren in de kerngemeenten geeft ABdK de mogelijkheid een niet geschikte veedrenkingsput te laten vervangen door een put met geschikt grondwater.
- Voor particulieren die grondwater gebruiken geldt een algemeen advies grondwater niet als drinkwater te gebruiken.
- Binnen het projectgebied de Kempen bevinden zich twee pompstations voor de openbare drinkwatervoorziening: pompstation Budel en pompstation Luijksgestel. De modelberekeningen geven aan dat nu en in de komende eeuw de winningen niet bedreigd worden door de cadmium- en zinkverontreiniging. Dit wordt bevestigd door de metingen (TNO et al, 2008).

- In 2004 is door ABdK een advies voor een uitvoeringsprogramma grondwater opgesteld (Royal Haskoning - TNO, 2004). Nadere uitwerking heeft plaatsgevonden in een drietal meer gedetailleerde concept-uitvoeringsplannen voor drie belangrijke deelsystemen (Oranjewoud, 2004; Arcadis, 2004; Grontmij, 2004). Uit de resultaten van deze studies is gebleken dat de onderzochte maatregelen om actief het grondwater te saneren op gebiedsniveau niet kosteneffectief zijn en gelet op de impact en de strijdigheid met bestaand waterbeleid vraagtekens gezet kunnen worden bij de maatschappelijke wenselijkheid en acceptatie van de technische maatregelen.
- Als actieve saneringsmaatregel blijft ABdK zich richten op de aanpak van de bron van de grondwaterverontreiniging namelijk de verwijdering van zinkassen en niet op het saneren van het grondwater zelf.

## 6 REFERENTIES

Alterra 2008. Ecologische effecten van metaalverontreiniging in het overstromingsgebied van de Dommel. Triade-onderzoek, ecologische risico's en mogelijkheden voor inrichting en beheer. Alterra/Grontmij/Aquasense rapport, december 2008.

Arcadis, 2004. Concept-uitvoeringsplan systeemgericht grondwaterbeheer. Pilotgebied Tungalroyse beek. Projectnummer 110502/ZF4/2H3/200839. 24 juni 2004.

CSO (2001), Actief Bodembeheer de Kempen – Gevalsafbakening, rapportnr. 00.298, Bunnik

De Dommel 2008. Waterschap De Dommel: feiten en cijfers 2007. Biologische en chemische waterkwaliteit

Grontmij, 2004. Concept-uitvoeringsplan systeemgericht grondwaterbeheer. Pilotgebied Beekloop-Keersop. Projectnummer 163746. 25 juni 2004.

Oranjewoud, 2004. Concept-uitvoeringsplan systeemgericht grondwaterbeheer. Pilotgebied Budelerbergen en Strijper Aa. Projectnummer 143481, 1 juli 2004.

Royal Haskoning, 2004, 1 Relaties zinkassen –bodem- grondwater, 2. effect bemaling. Eindnotitie rapportnummer 9P5259.

Royal Haskoning – TNO, 2004. Advies voor een uitvoeringsprogramma grondwater Actief Bodembeheer de Kempen. Rapportnummer 9M9208. 27 februari 2004.

TNO-NITG – KIWA – Royal Haskoning, 2002a. Regionale grondwatersysteem- en risico-analyse in het Nederlandse zoekgebied van het project ABdK: fase 2. Project 38452, juni 2002.

TNO-NITG – KIWA – Royal Haskoning, 2002b. Lokale grondwatersysteem- en risico-analyse in het Nederlandse zoekgebied van het project ABdK: fase 4. Project 38976, juni 2002.

TNO, 2006. Karakterisatie geochemische immobilisatie zware metalen in de Kempische ondergrond. TNO-rapport 2006-U-R132/A. TNO Bouw en Ondergrond, september 2006.

TNO/Grontmij, 2006. Ontwerp Meetnet Grondwaterkwaliteit de Kempen. TNO-rapport 2006-U-R0131/A. TNO Bouw en Ondergrond, Grontmij, augustus 2006.

TNO/VU Brussel/VITO, 2007. Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen, Fase 1 Inventarisatie - Dataverwerking en modelconcepten, mei 2007

TNO/VU Brussel/Alterra/VITO, 2008. Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen, Fase 2 modellering. Prj.nr. 034.79144, 10 januari 2008

TNO/VU Brussel/Alterra/VITO, 2008. Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen, Fase 3 scenario's. Prj.nr. 034.79144, 18 januari 2008

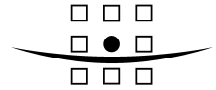


TNO, 2009. Notitie over modelberekeningen verspreiding zink en cadmium tot het jaar 2050. Bas van der Grift, oktober 2009.

Werkgroep water, 2008. Eindrapport werkgroep water, samenvatting en maatregelen voorstel Project BeNeKempen, 30 juni 2008

UNESCO-IHE Institute for Water Education, Zinc and cadmium mobility in the Dommel Brook valley in the southern Netherlands, J.Foppen, Y. Elfita, J. Griffioen e.a, 2008.

A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**

## **Bijlage 1**

### **Deltares notitie berekeningen tot en met 2500**

Het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen heeft aan Deltares gevraagd om het BeNeKempen grondwatermodel door te rekenen tot het jaar 2500 (Van der Griff et al., 2008). De doelstelling van deze som is een inzicht te verkrijgen in de verspreiding van cadmium en zink naar de diepte over een langere periode. Hierbij moet men zich wel realiseren dat de lokale voorspellende waarde voor modeluitkomsten over een dergelijk lang tijdstraject gering is. Het is immers niet realistisch dat voor een dergelijke lange periode het landgebruik, de hydrologie en bodemeigenschappen hetzelfde zullen zijn als nu. De hieronder gepresenteerde modeluitkomsten zullen dan ook met deze aannames moeten worden beschouwd. Het gaat bij deze berekeningen echter om de grote lijn. De modelresultaten zijn hiervoor prima geschikt.

Voor de modelberekening tot 2500 zijn een voortzetting van de eerder uitgevoerde berekeningen (Van der Griff et al., 2008). Hierbij zijn de volgende uitgangspunten genomen:

- De grondwaterbelasting is een continuering van het nul-scenario uit de periode 2095-2100 van het BeNeKempen grondwater model voor de periode 2100 – 2500.
- Het grondwaterstromingspatroon is een continuering van het nul-scenario voor de periode 2100-2500.
- Er is een berekening gemaakt van de diepte waarop de gemiddelde cadmium- en zinkconcentratie de tussenwaarde (respectievelijk 3,2 en 430 µg/l) en de streefwaarde (respectievelijk 0,4 en 60 µg/l) overschrijdt. De gemiddelde cadmium- en zinkconcentratie is op niveau van gebiedstypes (natuur-infiltratie, natuur-intermediair, landbouw-infiltratie, landbouw-intermediair en kwel) voor het gehele BeNeKempen studiegebied berekend.
- De op bovenstaande wijze berekende dieptes wordt uitgezet tegen de tijd. De tijdstippen 2010, 2060, 2100, 2200, 2300, 2400 en 2500 zijn uitleesmomenten.

Figuur 1 geeft de horizontale verspreiding van zinkconcentraties in het jaar 2300 op een diepteniveau van ongeveer 13 tot 16 m-mv. Het profiel B-B' geeft voor hetzelfde jaar de verticale verspreiding. Zowel in het horizontale vlak als in het verticale profiel is sprake van een grote variatie in zinkconcentraties. De smalle band met hoge concentraties in de linker helft van het figuur wordt veroorzaakt door een hoge infiltratieflex van het kanaal dat daar het profiel snijdt. Dit wordt veroorzaakt door de ruimtelijke discretisatie van het model. In een gridcel van 100x100 m ligt het kanaal. Hierdoor heeft deze gridcel een hoge infiltratiesnelheid. Als ook nog de uitspoeling van zink vanuit de onverzadigde zone naar de verzadigde zone hoog is verspreidt dit zink zich relatief snel naar grote diepte. Ditzelfde profiel snijdt ook nog de Zuid-Willemsvaart ten noordoosten van Weert. Dit is in het figuur niet terug te zien. De zinkconcentraties in het grondwater zijn hier veel lager en mogelijk infiltreert het kanaal hier in mindere mate.

Figuur 2 geeft hetzelfde B-B' profiel maar dan in de tijdsperiode 2010 - 2500. Hierin is duidelijk te zien dat de verontreiniging zich langzaam naar beneden verplaatst en dat tegelijk de absolute concentraties afnemen. Dit laatste is het gevolg van de afvoer van stoffen uit het grondwater naar het oppervlaktewater en in mindere mate door verdunning doordat de verontreiniging zich over een groter dieptebereik verspreidt.

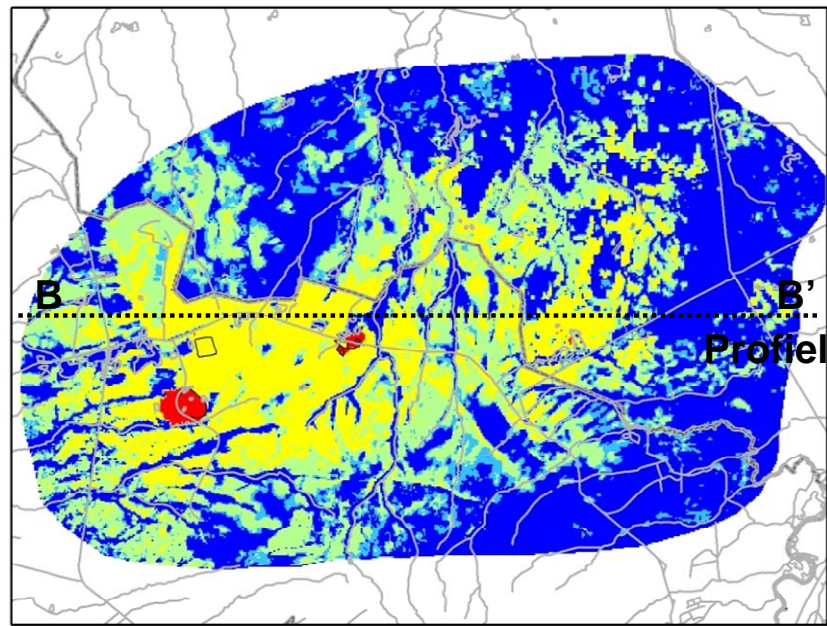
Figuur 3 geeft de concentratie-diepteprofielen van gemiddelde berekende zink- en cadmiumconcentraties voor de jaren 2010, 2060, 2100, 2200, 2300, 2400 en 2500 voor het gehele BeNeKempen modelgebied.

Uit de figuren blijkt dat de concentraties in het bovenste grondwater afnemen en dat het front zich (langzaam) in de tijd naar beneden verplaatst. De snelheid van verplaatsing van het front naar de diepte neemt af in de tijd. Ook is te zien dat de concentraties in het ondiepe grondwater min of meer stationair worden in de tijd. Dit wordt veroorzaakt door de langjarige gelijk blijvende uitspoeling vanuit de bodem naar het grondwater in de periode 2100-2500.

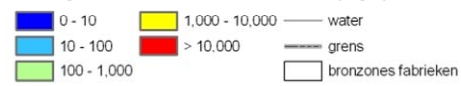
Vergelijkbare concentratie-diepteprofielen zijn ook gemaakt voor de gebiedstypen natuur-infiltratie, natuur-intermediar, landbouw-infiltratie, landbouw-intermediar en kwel. Uit deze figuren is de diepte afgeleid waarop de gemiddelde berekende concentratie de tussenwaarde en de streefwaarde overschrijdt. Deze diepte is in figuur 4, 5, 6 en 7 uitgezet tegen de tijd. De figuren 4 en 6 geven de diepte waarop de gemiddelde zink- en cadmiumconcentratie de tussenwaarde overschrijdt, de figuren 5 en 7 geven hetzelfde maar dan voor de streefwaarde. Dit is gedaan voor het gehele BeNeKempen gebied maar ook uitgesplitst naar de gebiedstypen natuur-infiltratie, natuur-intermediar, landbouw-infiltratie, landbouw-intermediar. Het gebiedstype kwel is niet opgenomen omdat de gemiddelde concentraties onder de tussenwaarde blijven.

In het gebiedstypen natuur-infiltratie en landbouw-infiltratie zakt de diepte waarop in 2500 de gemiddelde zinkconcentratie de tussenwaarde overschrijdt naar beneden de 20 m-mv. De diepte waarop de gemiddelde concentratie de streefwaarde overschrijdt zakt naar beneden de 25 m-mv. Voor cadmium liggen deze dieptes één tot enkele meters hoger. Het betreft gemiddelde concentraties. Dit betekent dat er beneden deze 20 m-mv wel overschrijdingen van de tussenwaarde zullen voorkomen. In figuur 1 en 2 is dit ook duidelijk terug te zien, de diepte met verhoogde concentraties is ruimtelijk heterogeen en er zijn smalle banden van verhoogde concentraties te zien. In de figuur 4 is ook te zien dat in het gebiedstype landbouw-infiltratie het toenemen van de diepte in de periode 2200-2500 min of meer lineair in de tijd verloopt. In de overige gebiedstypen is dit minder het geval. Hier zijn we een afnemende snelheid in de tijd. Dit geldt met name voor de landbouw-intermediare gebiedstypen. Het toenemen van de diepte in de tijd verloopt hier bijna asymptotisch. Dit wordt enerzijds veroorzaakt doordat de sortpie van metalen in de ondergrond toeneemt met de diepte. Anderzijds speelt ook de beperkte diepte van het hydrologische systeem hier een rol. Dit speelt met name in de intermediare gebieden. Stroombanen hebben een maximale diepte die wordt bepaald door de aanwezigheid van scheidende lagen en de aanwezigheid lokale ontwatering (drainage, sloten, greppels) waar het grondwater weer opkwelt. In figuur 8 is dit geïllustreerd.

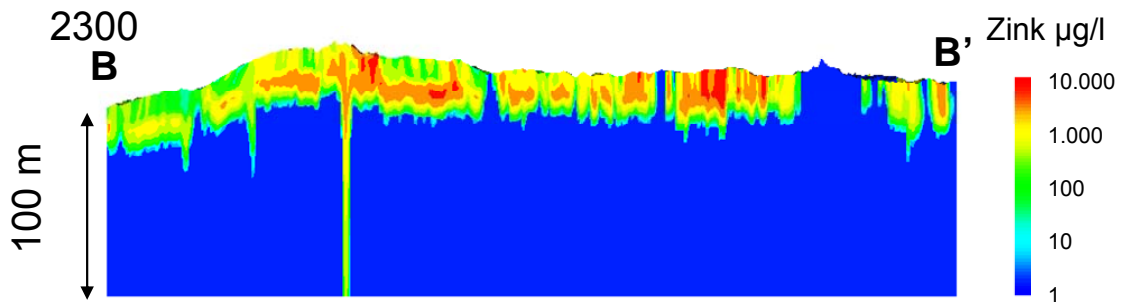
Bovenstaande berekeningen bevestigen de aanname dat de verontreiniging van nature, ook op langere termijn, niet dieper dan 35 m zal verspreiden.



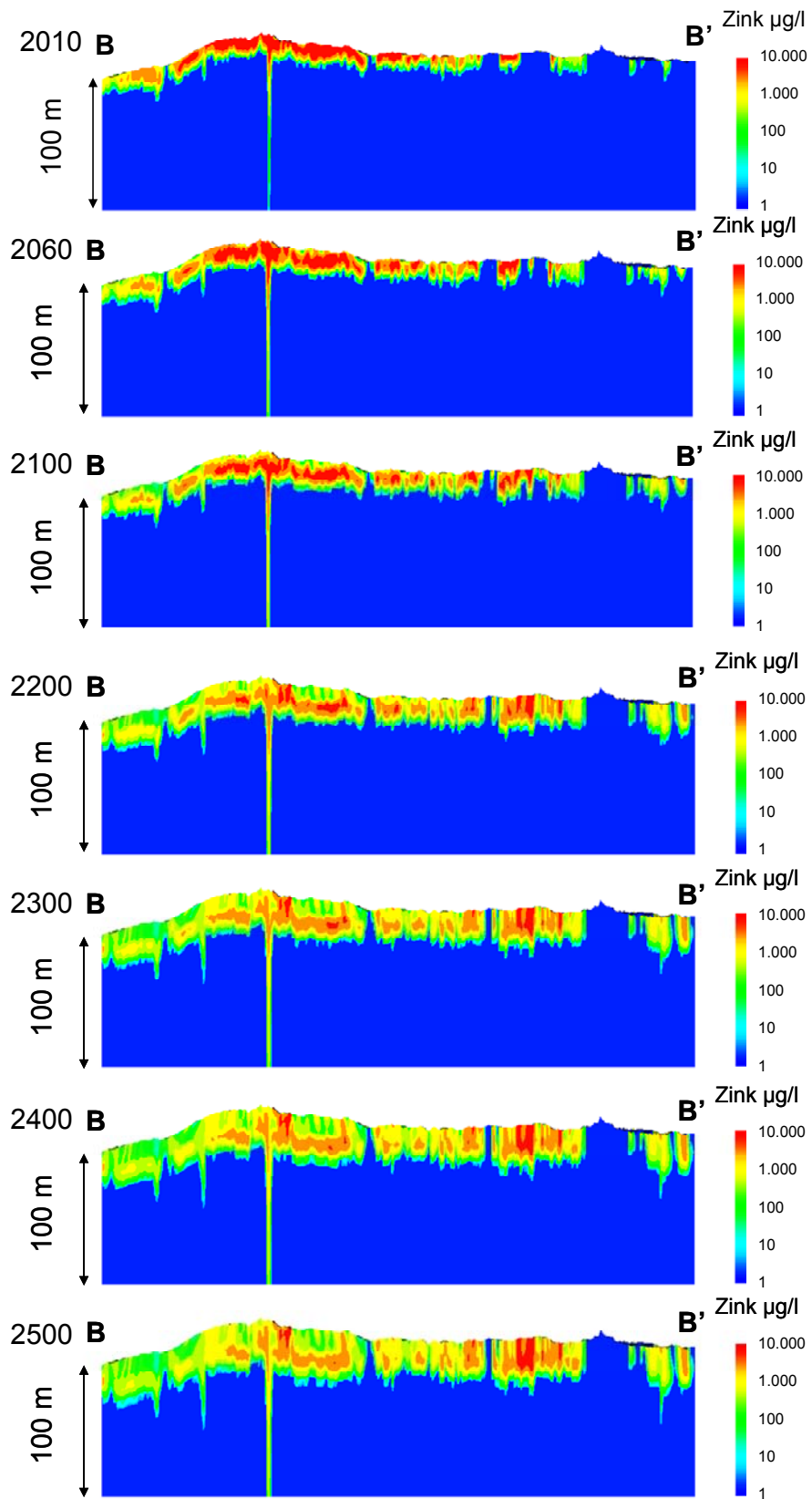
Zink grondwater 13 - 16 m-mv (ug/l) - 2300



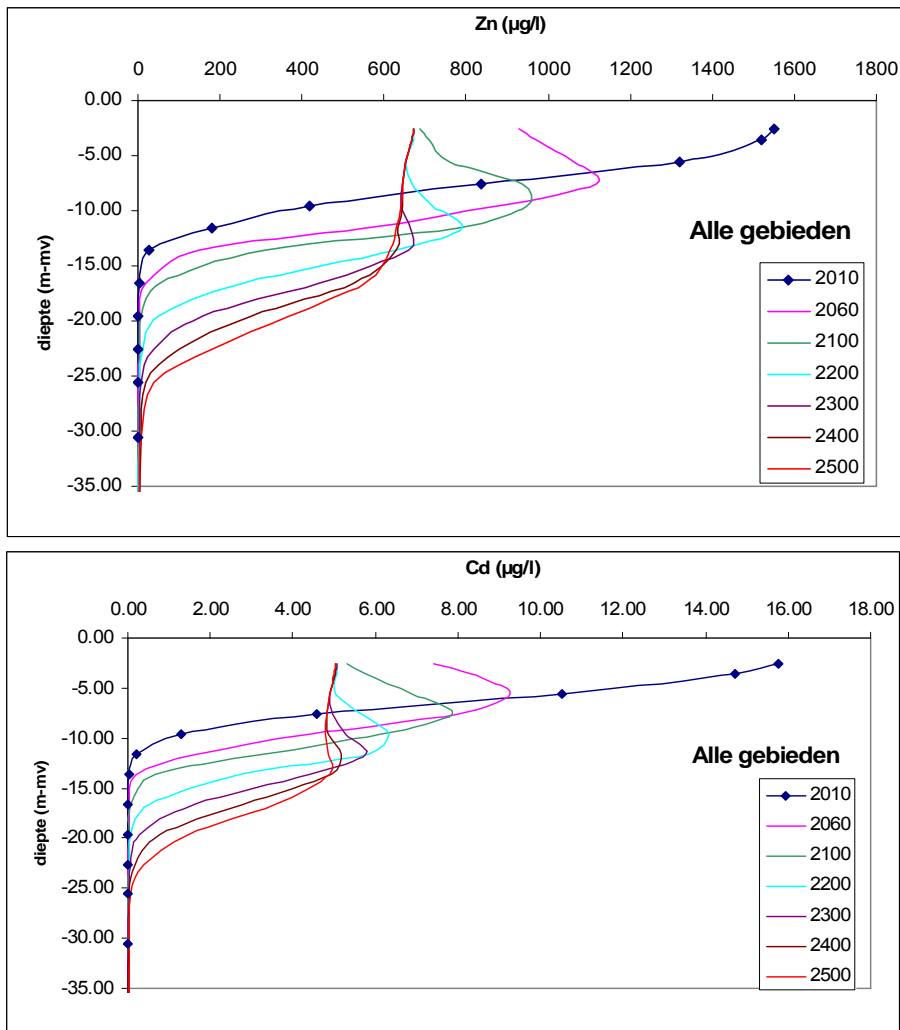
Project: Benekempen Fase 2  
Opdrachtgever: Actief Bodembeheer de Kempen & Openbare Vlaamse Afvalstoffen-Maatschappij  
Datum: Januari 2008  
Schaal: 1:425000



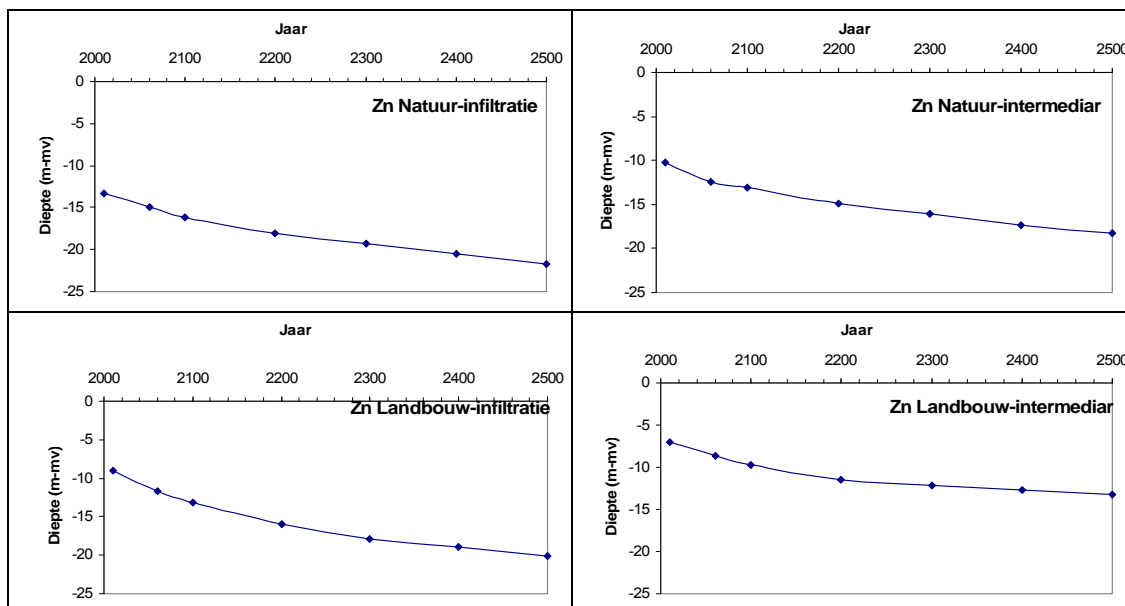
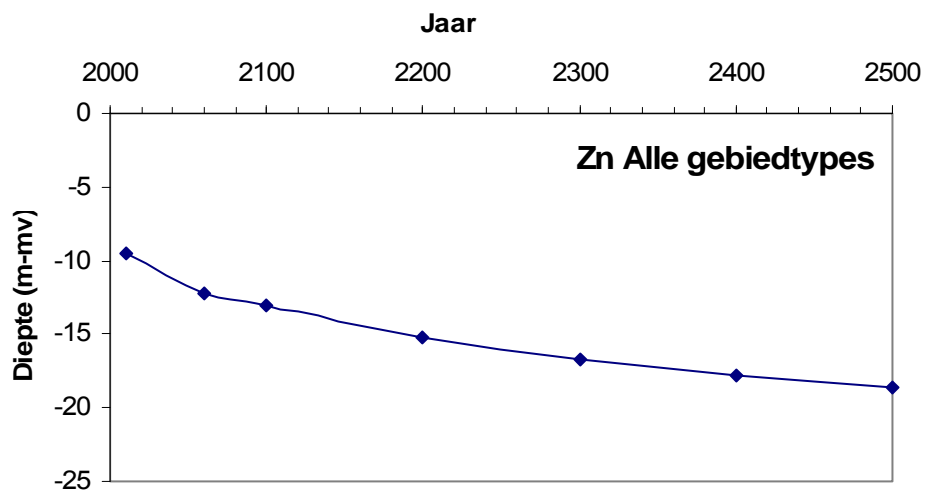
Figuur 1: Horizontale en verticale verspreiding van zinkconcentraties op in het jaar 2300



Figuur 2: Verticale verspreiding van zinkconcentraties over profiel B-B' in de periode 2010-2500

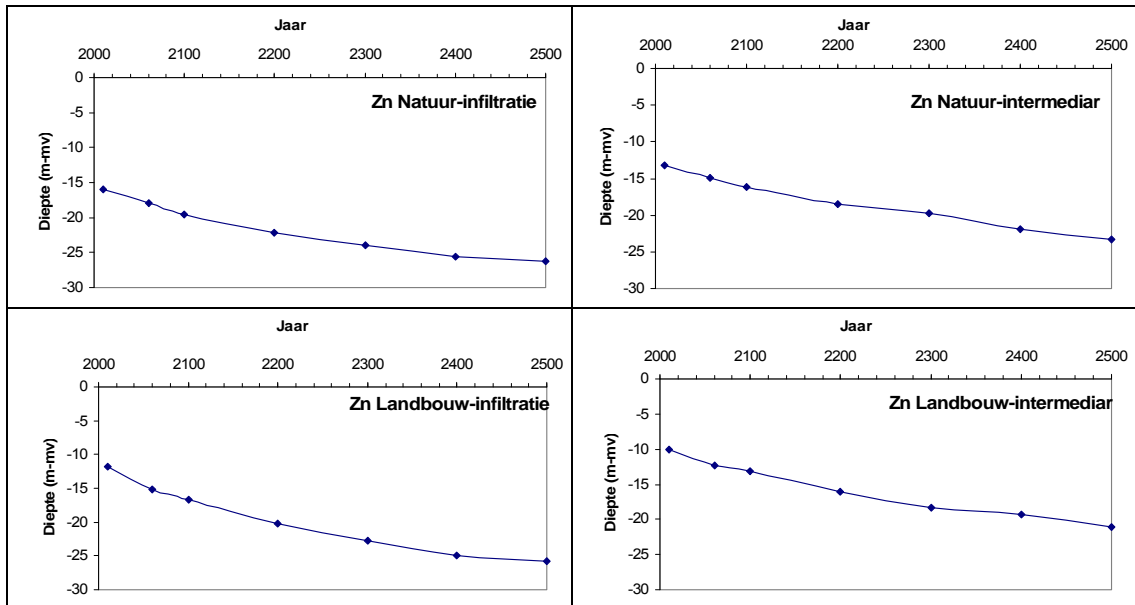
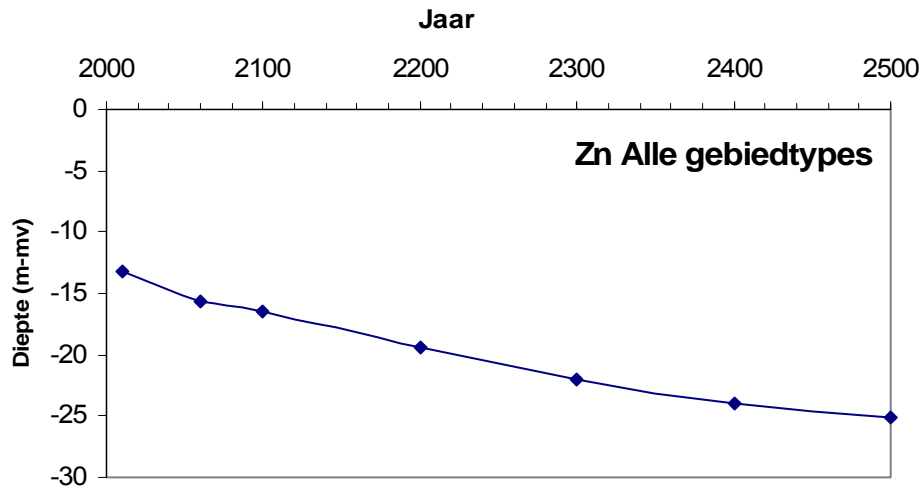


**Figuur 3: Concentratie-diepte profielen van de gemiddelde zink en cadmium voor het gehele BeNeKempen modelgebied**

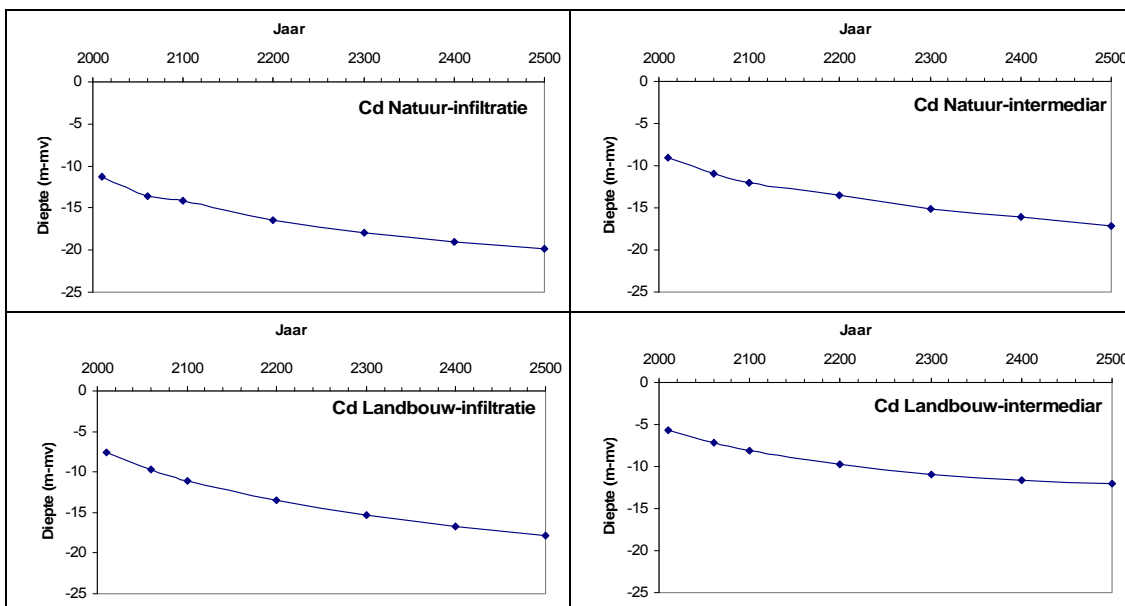
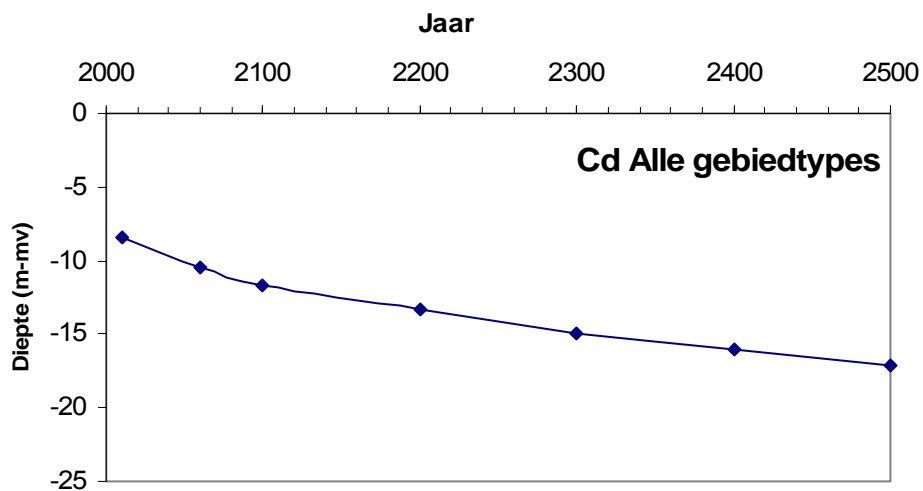


Figuur 4: Diepte waarop de gemiddelde berekende zinkconcentratie de tussenwaarde (430 µg/l) overschrijdt voor het gehele gebied en uitgesplitst naar gebiedstypes

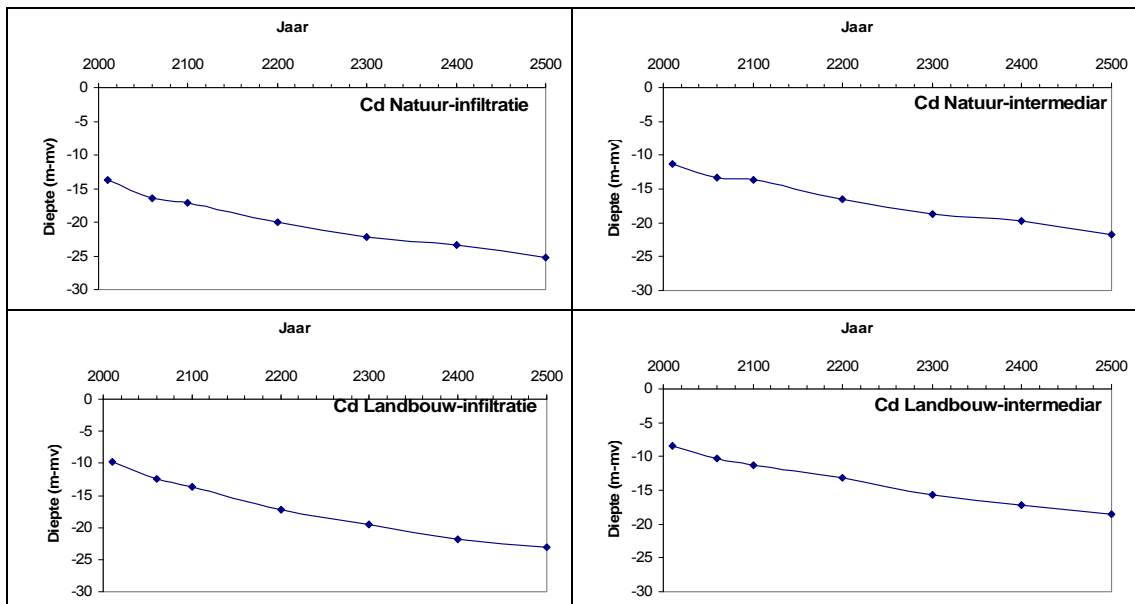
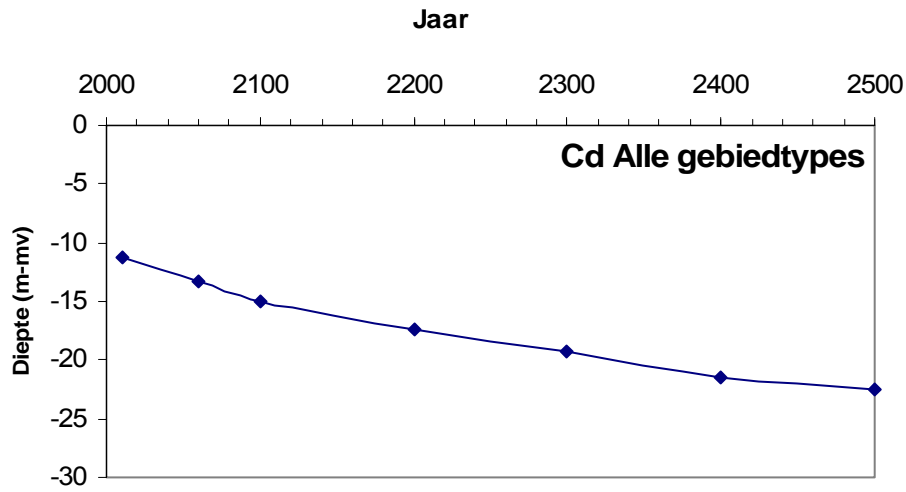




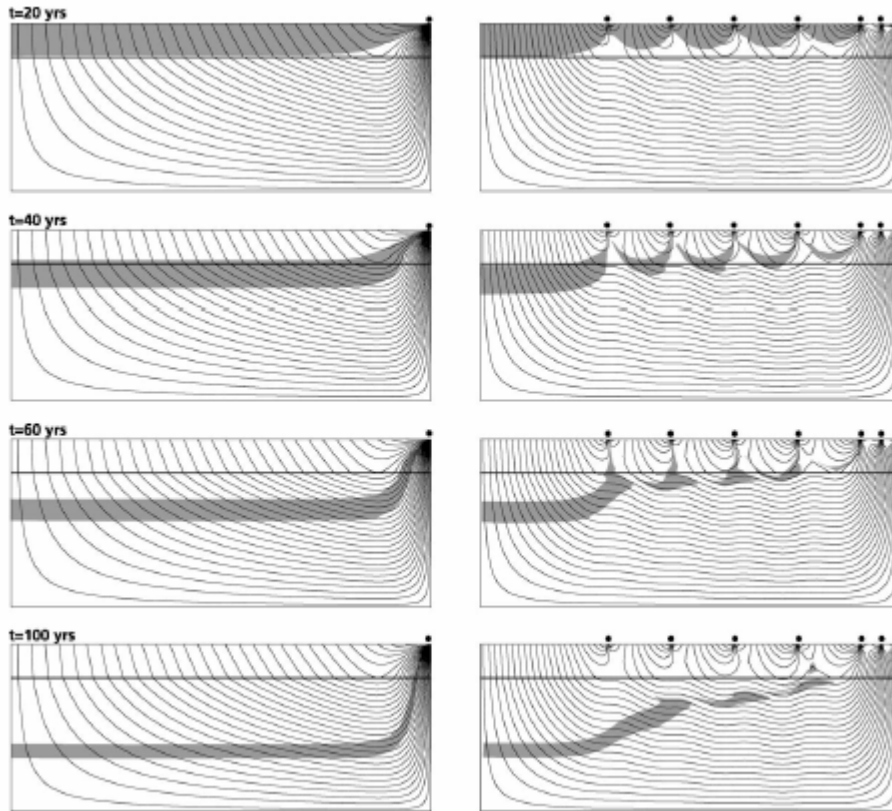
Figuur 5: Diepte waarop de gemiddelde berekende zinkconcentratie de streefwaarde (60 µg/l) overschrijdt voor het gehele gebied en uitgesplitst naar gebiedstypes



Figuur 6: Diepte waarop de gemiddelde berekende cadmiumconcentratie de tussenwaarde (3,2 µg/l) overschrijdt voor het gehele gebied en uitgesplitst naar gebiedstypes



Figuur 7: Diepte waarop de gemiddelde berekende cadmiumconcentratie de streefwaarde (0,4 µg/l) overschrijdt voor het gehele gebied en uitgesplitst naar gebiedstypes



**Figuur 8: Verplaatsing van een conservatieve verontreiniging (als blokfront van 20 jaar) naar de diepte in tijdstappen van 20 jaar (Het linker figuur is een infiltratiegebied zonder lokale ontwatering, het rechter figuur een gebied met drainage. Het is duidelijk te zien dat in een gedraineerd gebied de diepte van de stroombanen beperkt is waardoor de verontreiniging zicht niet verder naar de diepte verplaatst (Uit Broers, 2004).)**