



# BeNeKempen

## Werkgroep Water

### Eindrapport en maatregelvoorstel

# Inhoudsopgave

1.	Inleiding .....	3
2.	Het project BeNeKempen.....	3
2.1.	Wat is het project BeNeKempen.....	3
2.2.	Het projectgebied .....	3
2.3.	De werkgroep Water .....	3
3.	De verontreiniging met cadmium en zink .....	3
3.1.	Gebiedsbeschrijving .....	3
3.2.	De waterkringloop en menselijke beïnvloeding.....	3
3.2.1.	De natuurlijke kringloop .....	3
3.2.2.	De menselijke beïnvloeding.....	3
3.3.	Waterverontreiniging in de Kempen.....	3
3.3.1.	Bronnen van cadmium en zink .....	3
3.3.2.	Transportprocessen .....	3
3.3.3.	Drie verschillende typen beken.....	3
4.	Probleemanalyse .....	3
4.1.	Oppervlaktewater / oppervlaktewaterlichamen .....	3
4.2.	Diep grondwater .....	3
4.3.	Grondwateronttrekkingen.....	3
4.4.	Grondwaterafhankelijke natuurgebieden .....	3
5.	Maatregelen.....	3
5.1.	Beperking van de verontreinigingsbronnen .....	3
5.1.1.	Grondwater .....	3
5.1.2.	Oppervlaktewater.....	3
5.2.	Afvangen van verontreinigingen.....	3
5.3.	Beschermen van objecten.....	3
5.4.	Grondwaterbeheer .....	3
5.5.	Monitoring en voorlichting .....	3
5.6.	Verwerkingsmogelijkheden van reststoffen .....	3
5.6.1.	Baggerspecie .....	3
5.6.2.	Verontreinigd bronneringswater.....	3
6.	Voorstel tot beheersmaatregelen .....	3
6.1.	Institutioneel – juridische aspecten .....	3
6.1.1.	Institutioneel-organisatorische aspecten .....	3
6.1.2.	Juridisch.....	3
6.2.	Technisch inhoudelijke aspecten .....	3

# Samenvatting

## *Inleiding*

De bodem in de Kempen is verontreinigd door de zinkfabricage die de laatste 100 jaar in het gebied heeft plaatsgevonden. Over een gebied van ongeveer 1500 km<sup>2</sup> ligt een deken van verontreiniging met zware metalen, waarvan cadmium en zink de belangrijkste zijn. De verontreiniging van de bodem in de Kempen is zo omvangrijk dat deze invloed heeft op alle aspecten van het land- en watergebruik in het gebied. Om de problematiek aan te pakken is in 2004 het grensoverschrijdende project BeNeKempen gestart, met Europese ondersteuning.

Het project BeNeKempen is een grensoverschrijdend samenwerkingsverband en discussieforum van overheden en beheerders in het gebied van de Kempen. Het project is gestart op 1 november 2004 en wordt gecoördineerd door de Vlaamse OVAM (Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij) en het Nederlandse projectbureau ABdK (Actief Bodembeheer de Kempen). Binnen het project zijn 5 werkgroepen actief: 1) zinkassen, 2) Water, 3) Landbouw, 4) Natuur en 5) Risico-evaluatie. Het uiteindelijke doel van het project BeNeKempen, en de gezamenlijke werkgroepen, is het ontwikkelen van een haalbare beheers- en saneringsstrategie die door een ruime groep van actoren wordt gedragen. Als subdoelstellingen zijn opgenomen: het uitvoeren van een risicobeoordeling voor de Kempen, het verbeteren van de communicatie, het testen en beproeven van beheersmaatregelen en het harmoniseren van het beleid.

De werkgroep Water voert het onderzoek uit naar de cadmium- en zinkproblematiek in het oppervlaktewater, het grondwater en de waterbodems. Hierbij heeft de werkgroep Water een drieledig doel:

1. afstemming tussen de betrokken organisaties
2. informatie en gegevensuitwisseling
3. voorstellen van haalbare beheers- en verwerkingsconcepten

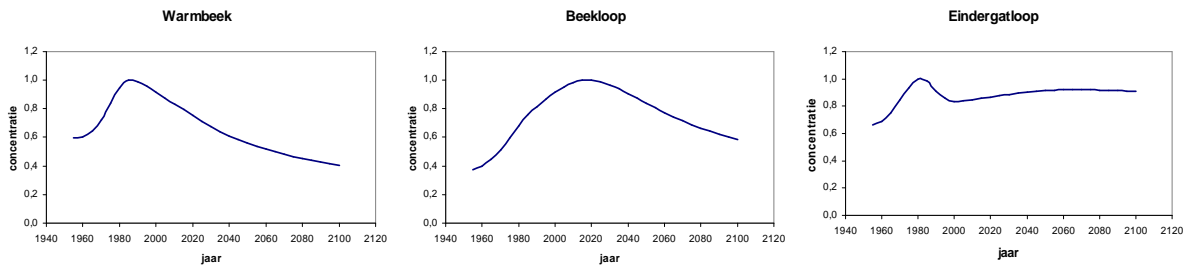
Om deze drie doelstellingen te realiseren zijn gezamenlijk projecten uitgevoerd. Hierdoor ontstond frequent regulier overleg tussen de organisaties en inzicht in de problematiek en oplossingsmogelijkheden.

Het probleem van de zware metalenverontreiniging is niet nieuw in de Kempen. Sinds 1990 worden al veel maatregelen genomen om verdere verslechtering van water- en bodemkwaliteit te voorkomen. Deze variëren van sanering van de waterbodems in de beken, het verwijderen van zinkassen tot het aanscherpen van de vergunningeisen van de zinkfabrieken. Deze maatregelen leidden tot afname van de verontreinigingsbronnen en verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Om de kwaliteit verder te verbeteren is meer inzicht nodig in het probleem. De studies van de werkgroep Water leveren dit inzicht en richtten zich op de vraag welke maatregelen nog realistisch haalbaar zijn en hoe nieuwe streefdoelen kunnen worden bepaald.

## *Resultaten van de studies*

De huidige verontreiniging in de Kempen is drieledig. Ten eerste is er de diffuse verontreiniging door de atmosferische depositie van door de fabrieken uitgestoten verontreiniging, die als een deken over het gebied ligt. Ten tweede komen historische lokale verontreinigingen voor door het historische lozen van afvalwater van zinkfabrieken en de toepassen van verontreinigde restproducten van de zinkfabricage (zinkassen genaamd). Ten derde komen nieuwe en nog voortgaande verontreiniging voor, voornamelijk door lozingen van afvalwater op het oppervlaktewater. Het resultaat van de verontreiniging is dat de bodem- en waterverontreiniging in de Kempen ernstig is en deze de milieuhygiënische normen overschrijdt.

Het cadmium en zink in de bodem loogt langzaam uit en wordt met het infiltrerende regenwater meegenomen. In agrarische gebieden bevindt de verontreiniging zich soms nog nabij het oppervlak, terwijl in bosrijke gebieden de verontreiniging is uitgelooft en dieper in de ondergrond voorkomt (tot dieptes van 10 meter). Zodra de vervuiling het grondwater bereikt verspreidt het zich en wordt het afgevoerd naar de dichtstbijzijnde beek of het diepere grondwater. Deze verspreiding is niet tot nauwelijks te beïnvloeden. Dit ondergrondse transport verloopt langzaam en duurt vele decennia. Ondanks dat de verontreiniging door de zinkfabricage rond 1900 is gestart en in 1973 is beëindigd, door verandering van productie proces, is de verontreiniging van het oppervlaktewater en de diepere bodemlagen nu pas in de beginfase.

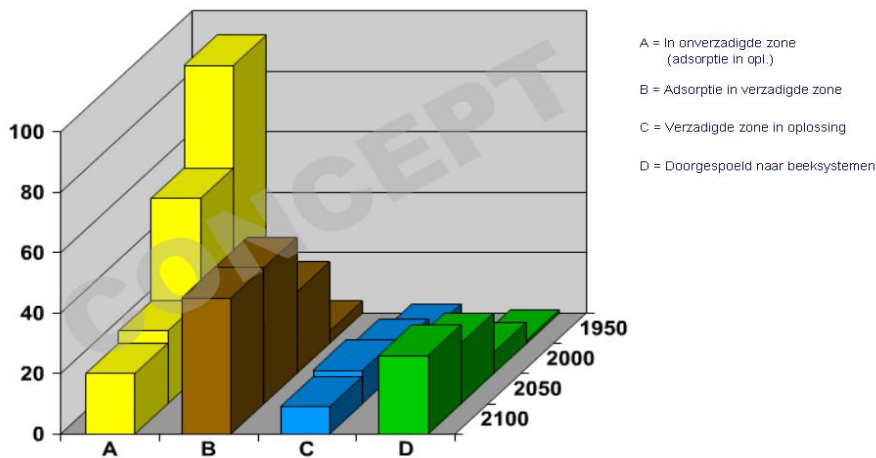


Figuur 1 Het verloop van cadmiumconcentratie in 3 beken (Ref. 2)

In figuur 1 zijn 3 typische verwachtingscurven voor de cadmium- en zinkverontreiniging gepresenteerd. In beken met korte grondwaterstroombanen is de verontreinigingspiek in de kwel nu gaande en vindt vanaf nu verbetering van de waterkwaliteit plaats. In beken met langere stroombanen is de piek in de cadmium en zinkconcentratie vanuit het grondwater in de periode 2020 tot 2040 te verwachten. Bij beeksystemen die beïnvloed worden door kwel vanuit fabrieksterreinen zal de cadmium- en zinkconcentratie continue toenemen (indien er geen maatregelen worden getroffen).

Momenteel bevindt 50 % van de verontreiniging zich nog in de onverzadigde zone (de bodem boven het grondwater), 40 % in de grondwaterzone (gebonden of opgelost) en is 10 % van de verontreiniging via de beken afgevoerd (zie figuur 2). In 2100 zal het overgrote deel van de verontreiniging zich hebben verplaatst naar het grondwater en zal ca 22 % via het oppervlakte water zijn afgevoerd. Hieruit wordt de belangrijkste karakteristiek van de verontreiniging van de Kempen duidelijk: het is een probleem dat nog honderden jaren zal voortduren en niet op korte termijn opgelost kan worden.

### Verdeling cadmium in diepte en tijd (%)



Figuur 2: Verdeling van cadmium in diepte en tijd (%)

De diffuse verontreiniging bevindt zich vlak onder of al dieper onder het maaiveld. Hierdoor is het milieuhygiënische risico dat optreedt door direct menselijk contact of inname via agrarische producten klein. In de hooggelegen bosrijke infiltratiegebieden is de uitloging het sterkst en is de stroming gericht naar het diepe grondwater. Uit berekeningen is gebleken dat de verspreiding van de verontreiniging gelimiteerd is door de situatie in de ondergrond. Door adsorptie en vastlegging komt de verontreiniging niet dieper dan 30 meter diep. Het grondwater onder dit niveau zal uiteindelijk niet worden verontreinigd. Bijna alle grote onttrekkingen voor drinkwater of industrieel gebruik bevinden zich in deze diepe zone en worden regelmatig gecontroleerd. Er bestaat hierdoor nagenoeg geen kans op verontreiniging van deze bronnen.

In de zone tot 30 meter onder maaiveld kan wel verontreinigd water voorkomen. In de Kempen zijn er honderden putten die uit deze zone water gebruiken voor o.a. privégebruik, tuinbesproeiing of agrarisch gebruik. Het gebruik van het water uit deze zone moet met zorg gebeuren. Om ongewenste situaties te voorkomen is analyse van het water in de aanwezige putten nodig op een regelmatige

basis. Hiernaast is voorlichting van de eigenaren een belangrijk onderwerp om de bewustwording van mogelijke risico's te bevorderen. Het gebruik van het water uit verontreinigde putten moet aan regels worden gebonden en het sluiten van deze putten moet worden aangemoedigd. Dit kan door b.v. de aanleg van nieuwe putten in bodemlagen met schoon water te stimuleren.

De historische verontreinigingen komen voor in verschillende vormen zijnde; het toepassen van zinkassen, grondwaterverontreiniging onder zinkfabrieken, waterboderverontreiniging. Het gebruik van zinkassen voor ophoging en wegeaanleg is veel toegepast. Deze zinkassen vormen nu een bron van verontreiniging voor de omgeving. Hierbij speelt zowel verstuiwing van stof als de uitloging een rol. De zinkassen liggen aan het oppervlak en zijn een milieuhygiënisch risico vanwege het mogelijke huidcontact en inademing van het stof. Waar mogelijk is de verwijdering van deze zinkassen al gaande. Het blijft een zorg om alle zinkassen op te ruimen en te storten in een gecontroleerde omgeving. De komende decennia moet de aandacht hiervoor blijven bestaan. Ook de zinkassen die nog niet gelokaliseerd zijn moeten worden herkend en verwijderd.

De grondwaterverontreiniging onder zinkfabrieken is zeer ernstig en komt tot dieptes van honderd meter en meer voor. De verontreiniging is een risico voor de omgeving omdat deze zich kan verspreiden via het grondwater en hierdoor onbeheersbaar wordt. De zelfregulering door binding met de bodemmaterialen die bij de diffuse verontreiniging optreedt speelt hier geen rol door de ernst van de verontreiniging. Voor beken die vlak langs de fabrieksterreinen lopen vormt de kwel uit deze terreinen nu al één van de belangrijkste verontreinigingsbronnen voor zware metalen (b.v. 30 % van de totale vracht in de Dommel). Zonder maatregelen neemt het belang van deze bron verder toe. Om verdere verspreiding en verontreiniging van de beken te voorkomen is de aanleg van een grondwaterbeheersysteem in combinatie met een goede waterzuivering noodzakelijk. Bij de vergunning van de aanleg van de zuivering moet rekening worden gehouden met de best beschikbare zuiveringstechnieken en het belang van het ontvangende water.

De historische verontreiniging door lozing van het afvalwater door de zinkfabrieken was zeer ernstig. Behalve opgeloste zware metalen zijn ook ertsdeeltjes op het oppervlaktewater geloosd. In de bovenstroomse delen van de beken vindt weinig sedimentatie plaats door de hoge stroomsnelheden. In de bovenstroomse gebieden komen daardoor geen verontreinigde waterbodems op grote schaal voor. De verontreiniging is voornamelijk aanwezig op plaatsen waar sedimentatie heeft plaatsgevonden door de aanleg van stuwen, watermolens en andere kunstwerken. Deze verontreiniging is te lokaliseren en sanering hiervan is wenselijk om verspreiding te voorkomen. De sedimentatie in de beek ten gevolge van de aanzanding van binnenbochten of overstroming is sterk wisselend. De hoeveelheden variëren sterk en sanering ligt niet voor de hand. Dit zal per situatie afgewogen moeten worden.

In de benedenstroomse delen van de beken, waar de beek minder snel stroomt en de bodem vlakker wordt, treedt van oudsher sedimentatie op. De waterbodems zijn hier over het algemeen sterk vervuild en moeten gesaneerd worden. Als ook lozing van ertsdeeltjes heeft plaatsgevonden, zoals bij Nyrstar Overpelt het geval lijkt, kunnen de waterbodems niet worden gezuiverd waardoor hergebruik niet mogelijk is. De waterbodems moeten gestort worden onder gecontroleerde omstandigheden.

In het gebied van de Kempen kunnen 3 typen beeksystemen worden onderscheiden:

Type 1: beek met achtergrondbelasting

Type 2: beek met achtergrondbelasting en RWZI-lozing

Type 3: beek met achtergrondbelasting, RWZI-lozing en beïnvloeding door een zinkfabriek

Het type 1 wordt vooral beïnvloed door de kwaliteit van het instromende grondwater (kwel). De kwaliteit is matig en heeft een relatief lichte overschrijding van de waterkwaliteitsnormen. De cadmium en zink concentraties variëren tussen 0,4 – 2 µg/l en 30 – 300 µg/l. Het beek type 2 krijgt een zwaardere belasting aan zink door de lozing van de RWZI (en riooloverstorten). De concentratie zink is vooral in de zomer hoger. De zinkconcentratie varieert tussen 200 – 300 µg/l. Het beektype 3 wordt sterk beïnvloed door de zinkfabrieken. In de beken is zowel de invloed van de afvalwaterlozing door de fabriek merkbaar als de aanvoer van zware metalen via de kwel van het fabrieksterrein. Benedenstreams van de zinkfabriek komen hoge cadmium en zinkconcentraties voor met waarden tot 100 µg/l voor cadmium en 2000 µg/l voor zink.

Uitgaande van de bovenbeschreven principes kan het beek type 1 worden aangemerkt als ecologisch streefdoel voor de beeksystemen. Het beek type 2 kan de basis vormen voor het opstellen van een

waterkwaliteitsdoelstelling die in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water kan worden toegepast op de regionale beken. Het beek type 3 heeft maatregelen en het gebruik van deze watergangen vraagt om regulering teneinde menselijke blootstelling te beperken.

De waterbodems die in zich het gebied ontwikkelen zijn verontreinigd (klasse 3-4). Dat zal in de toekomst zo blijven. Om de verontreiniging beheersbaar te maken kunnen slibvangen worden ingericht waarmee het verontreinigde slib kan worden afgevangen en de benedenstroomse delen van de beken kunnen worden beschermd.

### *Conclusies*

De Werkgroep Water onderkent de lange termijn verontreiniging van de Kempen en de noodzaak om binnen de gegeven omstandigheden te komen tot een optimale leefomgevingskwaliteit. Een leefomgeving waarin geleefd, gewerkt en gerecreëerd kan worden. Een omgeving waarin de natuurlijke kwaliteit verder verbetert. Aan de hand van de verkregen inzichten is een voorstel tot beheersmaatregelen opgesteld. Het voorstel omvat maatregelen die leiden tot de meest doelmatige situatie en omgang met de verontreiniging in de Kempen. Doelmatig wordt hierbij uitgelegd als technisch, financieel, juridisch en organisatorisch haalbaar. De belangrijkste voorstellen zijn:

### Institutioneel-organisatorische

1. Toekennen van de verantwoordelijkheid om de lange termijn doelstelling voor de Kempen te realiseren. Belangrijke taken hierbij zijn: verslaglegging van de ontwikkelingen, afstemming van de normering voor (grond)water(bodem)kwaliteit tussen Vlaanderen en Nederland.
2. Toekennen van de verantwoordelijkheid voor de centrale coördinatie voor monitoring en het bijhouden van de bestaande kennis.
3. Vastleggen van kaders voor verdere ruimtelijke ontwikkelingen zoals beleidskaders voor de ruimtelijke ontwikkeling van het gebied.
4. Vastleggen van kaders voor regionale normering voor de grondwater-, oppervlaktewater en waterbodembodemkwaliteit en de uitwerking hiervan in de wet- en regelgeving.
5. Opzetten van een regulier Vlaams-Nederlands overleg

### Juridisch

1. Opstellen van gebiedsgerichte normen voor grondwaterkwaliteit in de Kempen.
2. Opstellen van gebiedsgerichte normen voor oppervlaktewaterkwaliteit in de Kempen.
3. Opstellen van gebiedsgerichte normen voor waterbodembodemkwaliteit.
4. Afstemming van de normen voor afzet van slib op de kant tussen Vlaanderen en Nederland.
5. Opstellen van lozingvergunningen voor RWZI's en zinkfabrieken op basis van het principe van Best Beschikbare Techniek.

### Technisch inhoudelijke aspecten

1. Monitoring van oppervlaktewater.
2. Monitoring van ondiep grondwater.
3. Monitoring van diep grondwater.
4. Toepassen van bodempassage bij overstort van hemelwater uit rioleringen.
5. Installeren van een grondwaterbeheerssysteem in sites Balen en Overpelt
6. Toepassen van bodempassage van het onttrokken water bij bronnering, voordat dit wordt geloosd.
7. Baggeren op maat voor de bovenstroomse delen van de beeksystemen
8. Effectief toepassen van zandscheiding, op de baggerspecie waarvan verwacht kan worden dat deze na zandscheiding hergebruikt kan worden.

# 1. Inleiding

De bodem in de Vlaamse en Nederlandse Kempen is verontreinigd met o.a. cadmium en zink door de hier aanwezige lokale zinkverwerkende industrieën. De verontreiniging is zo groot en omvangrijk dat traditionele saneringsmethoden niet kunnen worden toegepast. Nieuwe kennis en technieken moeten ontwikkeld worden om de verontreiniging te kunnen beperken en beheersen.

Omdat de verontreiniging internationaal speelt is in 2002 door de beheerders besloten de problematiek gezamenlijk aan te pakken. Dit gebeurt in het project BeNeKempen dat met steun van de Europese Unie wordt uitgevoerd.

De zinkfabrieken hebben in de loop van de tijd veel zware metalen afgezet. Gezien de volumes en de mogelijk verbonden risico's ligt het zwaartepunt van het project BeNeKempen bij de verontreiniging met cadmium en zink. Deze twee metalen vormen een milieuhygiënisch en een milieukundig probleem.

Een deel van het project BeNeKempen, ondergebracht in de werkgroep Water, richt zich op de waterproblematiek, de verontreiniging en verspreiding van de zware metalen van en via het water. De kennis die binnen deze werkgroep is verkregen is beschreven in het voorliggende document. Het onderzoek richt zich op het verkrijgen van inzicht in de bestaande verontreiniging en de toekomstige ontwikkeling hiervan. Dit inzicht is beknopt beschreven en uitgewerkt in maatregelvoorstellen. Maatregelvoorstellen die gebruik maken van nieuwe inzichten en beheersstrategieën.

## **2. Het project BeNeKempen**

### **2.1. Wat is het project BeNeKempen**

Het project BeNeKempen is een grensoverschrijdend samenwerkingsverband en discussieforum van overheden en beheerders in het gebied van de Kempen, die verantwoordelijk zijn voor onze leefomgeving. Het project is gestart op 1 november 2004 en wordt gecoördineerd door de Vlaamse OVAM (Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij) en het Nederlandse projectbureau ABdK (Actief Bodembeheer de Kempen). Met financiële steun van de Europese Unie, de nationale overheden en de regionale beheerders voeren zij het project uit. Bij het project zijn alle in het gebied werkende overheden en belangenorganisaties betrokken. Hiernaast is een aantal nationale onderzoeks- en kennisinstituten betrokken bij de kennisontwikkeling en adviesbureaus bij de uitwerking en uitvoeringsprojecten.

Binnen het project BeNeKempen zijn 5 werkgroepen actief:

- 1 Zinkassen
- 2 Water
- 3 Landbouw
- 4 Natuur
- 5 Risico-evaluatie

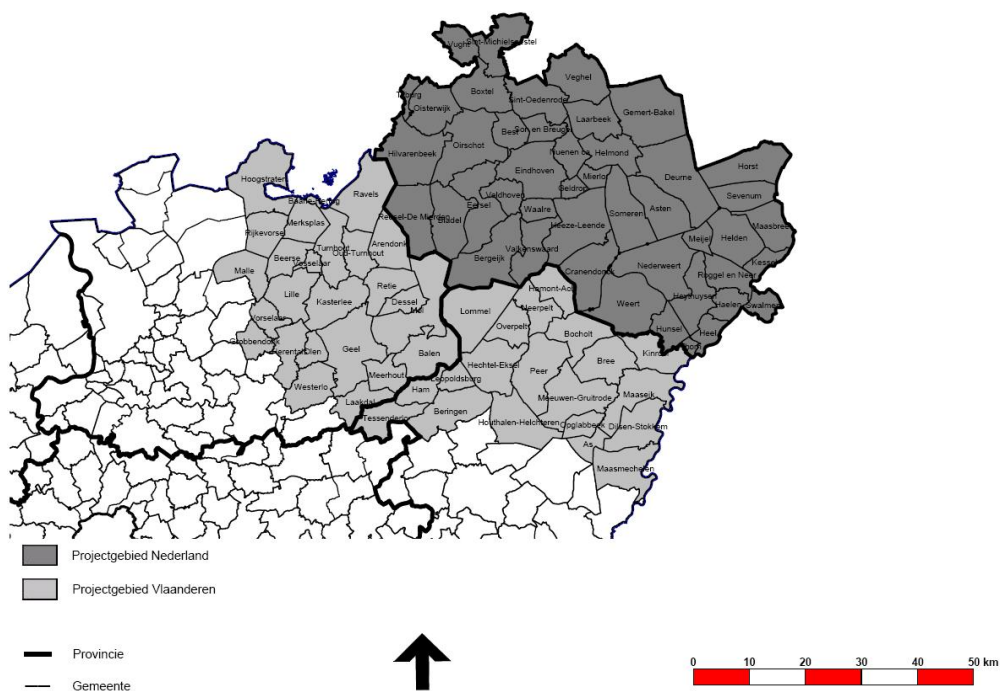
Iedere werkgroep houdt zich bezig met een specifiek thema en doet studie naar eigenschappen en de risico's van de zware metalenverontreiniging. De werkgroep Zinkassen houdt zich tevens actief bezig met de verwijdering van aanwezige zinkassen.

Het uiteindelijke doel van het project BeNeKempen, en de gezamenlijke werkgroepen, is het ontwikkelen van een haalbare beheers- en saneringsstrategie die door een ruime groep van actoren wordt gedragen. Als subdoelstellingen zijn opgenomen: het uitvoeren van een risicobeoordeling voor de Kempen, het verbeteren van de communicatie, het testen en beproeven van beheersmaatregelen en het harmoniseren van het beleid. Aan het einde van het project op 1 juli 2008 worden de bevindingen gerapporteerd en nieuwe strategieën en maatregelen voorgesteld.

### **2.2. Het projectgebied**

Het projectgebied is afgebakend op basis van de cadmium- en zinkverontreiniging van de bodem ten gevolge van de zinkverwerkende industrieën. Dit gebied is vervolgens gecombineerd met de gemeentelijke administratieve grenzen. De afbakening van het projectgebied volgt weliswaar de gemeentelijk grenzen maar loopt dwars door de administratieve grenzen van de provincies en over de Vlaams –Nederlandse grens. Globaal beslaat het projectgebied het zuidoostelijke deel van de provincie Noord-Brabant en een klein deel van de provincie Limburg in Nederland. In Vlaanderen beslaat het project het noordelijk deel van de provincie Limburg en het oostelijk deel van de provincie Antwerpen. In Figuur 2-1 is de begrenzing van het gebied aangegeven.





Figuur 2-1 kaart van het projectgebied

### 2.3. De werkgroep Water

De werkgroep Water voert het onderzoek uit naar de cadmium- en zinkproblematiek in het oppervlaktewater, het grondwater en de waterbodems. De werkgroep Water staat onder leiding van de projectleiders van OVAM en ABdK en omvat vertegenwoordigers van de volgende organisaties:

Vanuit Vlaanderen	Provincie Limburg Provinciaal Instituut voor Hygiëne/Provincie Antwerpen Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) OVAM
Vanuit Nederland	Provincie Noord Brabant Provincie Limburg Waterschap De Dommel Waterschap Peel en Maasvallei ABdK

De werkgroep Water heeft een driedelig doel. De eerste doelstelling betreft de afstemming tussen de betrokken organisaties voor de risicobeoordeling en de communicatie. Door het functioneren en de intensivering van de onderlinge contacten is de onderlinge communicatie verbeterd. Dit heeft geleid tot een gezamenlijk begrip van het probleem en een visie op de oplossingsmogelijkheden.

De tweede doelstelling betreft de informatie en gegevensuitwisseling. Deze moest verbeterd worden tussen Nederland en Vlaanderen waarna de bestaande kennisgaten kunnen worden ingevuld. Dit is gebeurd door het gezamenlijk uitvoeren van inventarisaties en studies op het gebied van oppervlaktewater, grondwater en baggerspecie. Binnen het project BeNeKempen is een database opgezet waarin alle gegevens, rapporten en relevante onderzoeken zijn opgenomen ([www.benekempen.eu](http://www.benekempen.eu)). Hiermee is de kennis voor alle betrokkenen ontsloten. De rapporten staan niet zelf in de database maar wel een korte beschrijving en de broninformatie waar het rapport te krijgen is.

De derde doelstelling is het voorstellen van haalbare beheers- en verwerkingsconcepten waarmee de verontreiniging van het oppervlaktewater, grondwater en waterbodembodem beheerst wordt. Om tot haalbare beheersmaatregelen te komen is inzicht nodig in de processen die zich in het projectgebied afspelen

en de mogelijkheden tot verwerking van de verontreinigde baggerspecie. Hiervoor heeft de werkgroep Water nieuwe onderzoeksprojecten gestart. De projecten kunnen in drie groepen worden onderverdeeld:

- 1 Oppervlaktewater:
  - a. Water- en stoffenbalans voor 3 beken in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen.
- 2 Grondwater:
  - a. Infiltratieproef met zware metalen verontreinigd grondwater.
  - b. 3D hydrogeologische kartering voor het studiegebied BeNeKempen.
  - c. Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen.
- 3 Baggerspecieverwerking en stort:
  - a. Beheer en hergebruikmogelijkheden van ruimingsslib uit waterlopen onderhevig aan verontreiniging met zware metalen in het BeNeKempen gebied.
  - b. Verwerkingsmogelijkheden Baggerspecie Dommel.

De projecten zijn begin 2008 afgerond en de kennis uit de projecten is beschikbaar. De rapporten behandelen ieder een afzonderlijk thema, deelgebied of watergang. In dit document zijn de inzichten en de voorstellen uit de afzonderlijke rapporten opgenomen en gebruikt om een integraal overzicht te bieden.

### 3. De verontreiniging met cadmium en zink

#### 3.1. Gebiedsbeschrijving

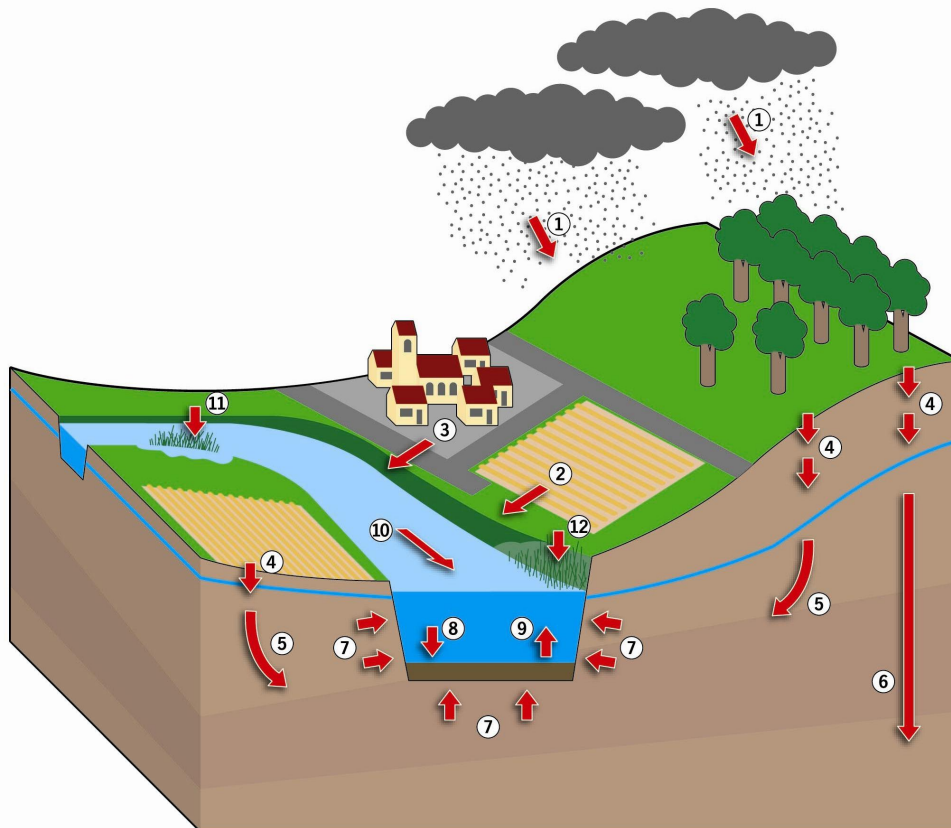
Het gebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen strekt zich uit over delen van de Belgische provincies Antwerpen, Limburg en Vlaams-Brabant en de Nederlandse provincies Noord-Brabant en Limburg. De zuidgrens wordt gevormd door de rivier de Demer. De oostgrens door de Maasvallei.

De Kempen is een streek met arme zandgronden die van oudsher dunbevolkt is. Het gebied is daarom als vestigingslocatie gekozen door monniken, die stille zochten, maar ook door vervuilende industrie zoals de metaalverwerkende nijverheid in Balen-Overpelt-Lommel of de eerste nucleaire installatie in België te Mol.

Tot omstreeks 1960 bestond de Kempen grotendeels uit heide, eikenbos en moeras. Deze zijn sindsdien door de landbouw en lintbebouwing stilaan gewijzigd in een kleinschalig landschap. Hier en daar komen nog steeds grote (tot meerdere tientallen hectare) heide- en bosgebieden voor, zoals het Turnhouts Vennengebied, het Nationaal Park Hoge Kempen, het Leenderbos en de Grootte Heide. Deze gebieden bevinden zich vaak op de grens tussen gemeentes, op zandige donken of temidden van grootschalig verkavelde landbouwgronden.

#### 3.2. De waterkringloop en menselijke beïnvloeding

Om de verontreiniging van het gebied, het water en de watergangen te beschrijven sluiten we aan bij enerzijds de natuurlijke kringloop van het water en anderzijds bij de menselijke beïnvloeding van dit systeem. De verschillende onderdelen worden kort benoemd waarna de belangrijkste processen en verontreinigingsbronnen nader worden beschreven.



Figuur 3-1 De natuurlijke kringloop van het water

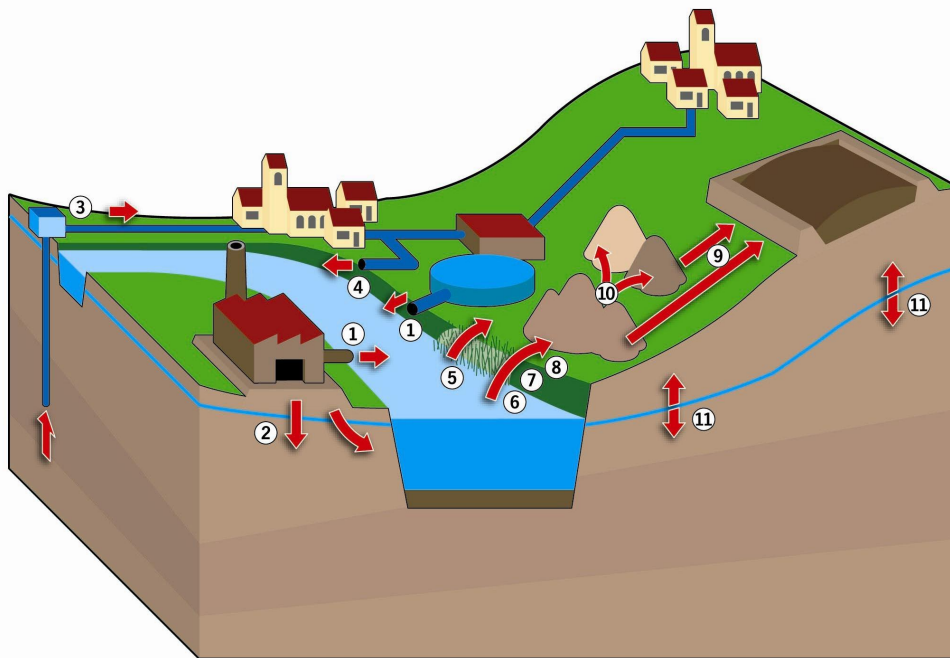
### 3.2.1. De natuurlijke kringloop

In Figuur 3-1 is met een schematisch figuur aangegeven welke processen er spelen en welke relaties tussen het water, de waterbodem en het transport van de zware metalen door het watersysteem bestaan.

Binnen de kringloop worden de volgende 12 processen onderscheiden.

- 1 Atmosferische depositie  
Atmosferische depositie is de afzetting van het stof dat door de zinkfabrieken via de schoorstenen in de lucht is verspreid.
- 2 Oppervlakkige afstroming vanuit landbouwgebied  
Bij hevige neerslag kan er meer regen vallen dan er in de grond kan infiltreren. De regen die niet infiltreert stroomt naar het laagste punt of van de helling af. Dit heet oppervlakkige afstroming.
- 3 Oppervlakkige afstroming van verhard oppervlak  
Op verhard oppervlak (straten, wegen, daken, etc.) kan het water niet infiltreren. Sterker dan in landbouwgebieden stroomt het water over het oppervlak naar de watergangen en beken.
- 4 Infiltratie  
De regen die op de grond valt infiltreert in de bodem.
- 5 Lokale grondwaterstroom naar watergang  
Na infiltratie stroomt het water door de ondergrond naar de greppels, watergangen of beken. Als de watergangen dichtbij zijn en het water binnen 20 – 30 jaar in de beek stroomt spreken we van lokale grondwaterstroming. Bij verblijftijden van 30 – 100 jaar in de ondergrond spreken we van intermediaire grondwaterstroming en bij langere verblijftijden van regionale grondwaterstroming.
- 6 Regionale grondwaterstroom naar diepe grondwater  
Het grondwater dat op een afstand van 100 m of meer van de greppel of beek infiltreert, is onderdeel van de regionale grondwaterstroming. Als het water ook nog dieper zakt dan 30 meter onder het maaiveld dan spreken we van diep grondwater.
- 7 Kwel in de beek  
Het in de beek stromen van, of het weer aan het oppervlak komen van, het grondwater wordt kwel genoemd.
- 8 Sedimentatie  
In het water van de beek is zand en slib aanwezig. Als de stroming traag is kan het zand en slib zich afzetten op de bodem van de beek. Dit wordt sedimentatie genoemd.
- 9 Erosie  
Erosie is het opwoelen van de bodem. Door de stroming van het water worden deeltjes van de bodem losgemaakt en door het water meegenomen.
- 10 Transport door de beek  
In de watergangen vindt door natte en droge perioden afwisselend sedimentatie en erosie plaats. Het effect is dat zand en slib deeltjes telkens verder stroomafwaarts worden getransporteerd door het water.
- 11 Vastlegging door vegetatie  
De stroming tussen planten is laag en hier kunnen zelfs de lichtste slibdeeltjes bezinken. Hiernaast neemt de vegetatie zelf ook een deel van de verontreiniging op tijdens haar groei. De (oever)begroeiing kan hierdoor verontreiniging vastleggen.
- 12 Sedimentatie bij overstroming  
Bij hoge afvoer in de beek, door hevige neerslag, kan overstroming optreden. In de overstromde gebieden is de snelheid van het water laag en kan veel zand en slib zich afzetten. Begroeiing vergroot de sedimentatie.

### 3.2.2. De menselijke beïnvloeding



Figuur 3-2 De menselijke beïnvloeding van de waterkringloop en de waterbodem

Binnen de kringloop van het water- en bodemsysteem spelen menselijke invloeden een rol bij de verspreiding van de zware metalen verontreiniging:

- 1 Bedrijfsmatige afvalwaterlozingen  
Lozing van afvalwater van bedrijven waaronder de non-ferro industrie en rioolwaterzuiveringen. De lozingen vinden gecontroleerd plaats en zijn gereguleerd met vergunningen.
- 2 Verontreiniging bodem en ondergrond  
Door de vaste afvalstoffen (o.a. zinkassen) van de zinkfabrieken te gebruiken bij grondophoging, wegeaanleg, opvulling van depressies en kuilen zijn bodems op verscheidene locaties sterk verontreinigd (o.a. fabrieksterreinen).
- 3 Grondwateronttrekking  
Ten behoeve van de industrie, drinkwater en landbouw wordt grondwater onttrokken via ondiepe en diepe putten.
- 4 Overstort van (hemelwater)riolen  
Tijdens hevige neerslag stroomt het riool over (overstort). Hierdoor komt rioolwater onverdund en ongezuiverd in de watergangen en beken terecht. De overstort uit het rioolstelsel is niet gecontroleerd en afhankelijk van de situatie van het riool kan dit water sterk verontreinigd zijn.
- 5 Maaien van oevervegetatie  
Planten belemmeren de stroming in de beek. Daarom worden deze op een groot aantal locaties jaarlijks gemaaid, uit het water gehaald en op de kant gelegd.
- 6 Verdiepen/uitdiepen van watergangen en ruimen van zandvangen  
Door de afzet van sediment in de watergangen wordt de afvoer belemmerd. Om de afvoercapaciteit van de watergangen op peil te houden, moeten greppels en delen van de beek regelmatig op diepte worden gebracht. De baggerspecie die uit de watergang komt wordt op de kant neergelegd.

Een zandvang is een natuurlijk of aangelegde verbreding van de watergang waar sediment

(mag) bezinken. Een zandvang moet geregeld worden onderhouden en geleegd.

- 7 Herinrichten van watergangen  
Onder herinrichting van watergangen vallen alle grote werkzaamheden waarbij het profiel van de beek wordt aangepast of de ligging van de beek wordt verlegd. Het aanpassen van het profiel betreft o.a. verbreding van de watergang, aanleg van overstromingsgebieden of het aanpassen van de hellingshoek van de oevers.
- 8 Waterbodemsanering  
In sommige gevallen is de waterbodem ernstig verontreinigd. Bij noodzaak tot uitdiepen van de watergang of vanwege milieuhygiënische redenen verwijdert de waterbeheerder de vuile baggerspecie. Waterbodemsanering betreft het verwijderen van de vervuilde waterbodem.
- 9 Storten van verontreinigde waterbodem  
Bij het saneren van een waterbodem wordt de vervuilde baggerspecie afgevoerd. Als de verontreinigde baggerspecie niet meer hergebruikt mag/kan worden, wordt deze onder gecontroleerde omstandigheden gestort.
- 10 Zuivering en verwerking van vervuilde waterbodems  
Afhankelijk van de samenstelling van de baggerspecie en het type verontreiniging is het mogelijk de schone en de vuile grond te scheiden of zodanig te bewerken dat de verontreiniging niet meer kan vrijkomen. Zuivering houdt in dat de verontreiniging uit de baggerspecie wordt gehaald door de grond te wassen of te scheiden. Verwerking van de vervuilde grond houdt in dat de verontreiniging wordt vastgelegd.
- 11 Grondwaterbeheer  
Grondwaterbeheer omvat het al dan niet lokaal verhogen of verlagen van de grondwaterstand. Door grondwaterbeheer kunnen wijzigingen optreden in de lokale grondwaterstroming en in de interactie met de verontreinigde bovengrond.

### **3.3. Waterverontreiniging in de Kempen**

In de uitgevoerde onderzoeken en studies, van Dommel, Warmbeek-Tongelreep en Beekloop-Keersop (Soresma, Ref. 6), is gebleken dat niet alle processen, die in de kringloop zijn vermeld, van belang zijn. Soms is de invloed van een proces slechts lokaal of zo klein dat het verwaarloosbaar is. Dit is o.a. het geval voor de fyto-remediatie, de oppervlakkige afstroming vanuit de onverharde gebieden, de afspoeling van zinkaswegen en verontreinigde terreinen, de landbouw of de recreatie. Uiteindelijk blijkt slechts een beperkt aantal bronnen en transportprocessen werkelijk van belang. Bij de verontreiniging van het grondwater zijn dit:

- de atmosferische depositie
- de bemesting
- de infiltratie van de neerslag

en voor de verontreiniging en het transport van het oppervlaktewater zijn dit:

- de grondwaterstroom en kwel
- de lozing door zinkverwerkende industrieën
- de lozing door rioolwaterzuiveringen
- de overstort uit riolen
- de sedimentatie en resuspensie
- de erosie

Deze verontreinigingsbronnen en transportprocessen worden hieronder besproken.

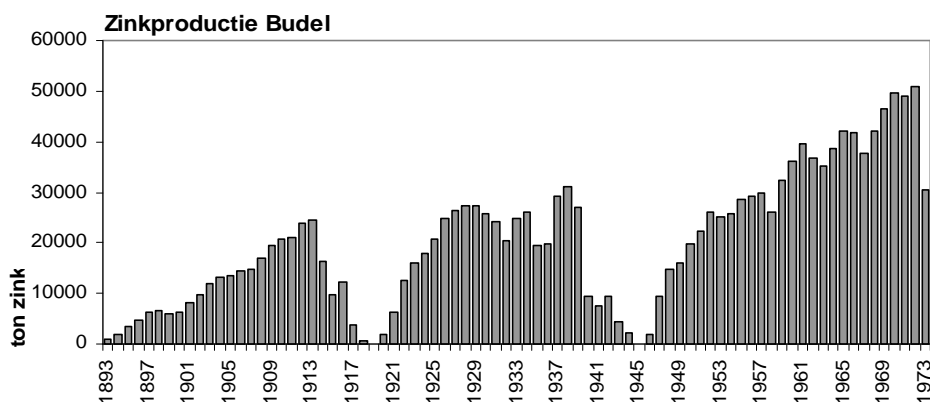
#### **3.3.1. Bronnen van cadmium en zink**

De bronnen van de cadmium- en zinkverontreiniging bestaan uit:

- atmosferische depositie
- bemesting
- kwel
- lozing door zinkverwerkende industrieën
- lozing door rioolwaterzuiveringen
- overstort uit riolen
- erosie

### Atmosferische depositie

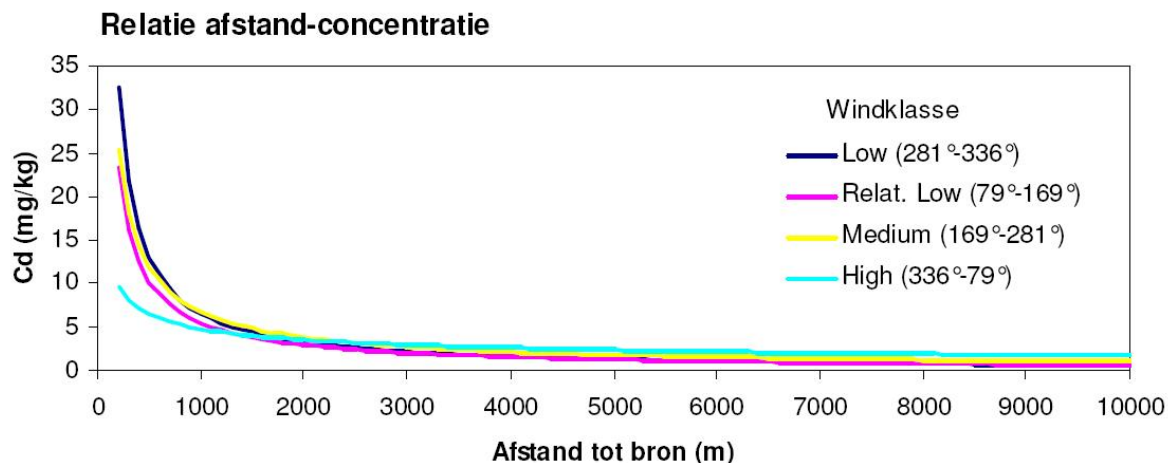
Tot 1973 gebruikte de zinkverwerkende industrie de thermische zinkproductiemethode die veel cadmium- en zinkverontreiniging opleverde. Het zinkoxide werd gereduceerd waarna de zinkhoudende gassen in een condensor werden neergeslagen. Met de afgezogen lucht werd veel zink en cadmium via de schoorsteen in de lucht verspreid. De grootte van de uitstoot, en dus de atmosferische depositie, van cadmium en zink kan rechtvaardig gesteld worden aan de zinkproductie in de fabrieken. Vanaf de oprichting van de fabriek in Budel is de jaarlijkse zinkproductie bekend en weergegeven in Figuur 3-3 (Van der Blom en Donkers, 1992). Een vergelijkbare grafiek kan worden opgesteld voor de fabrieken in Maatheide, Balen en Overpelt.



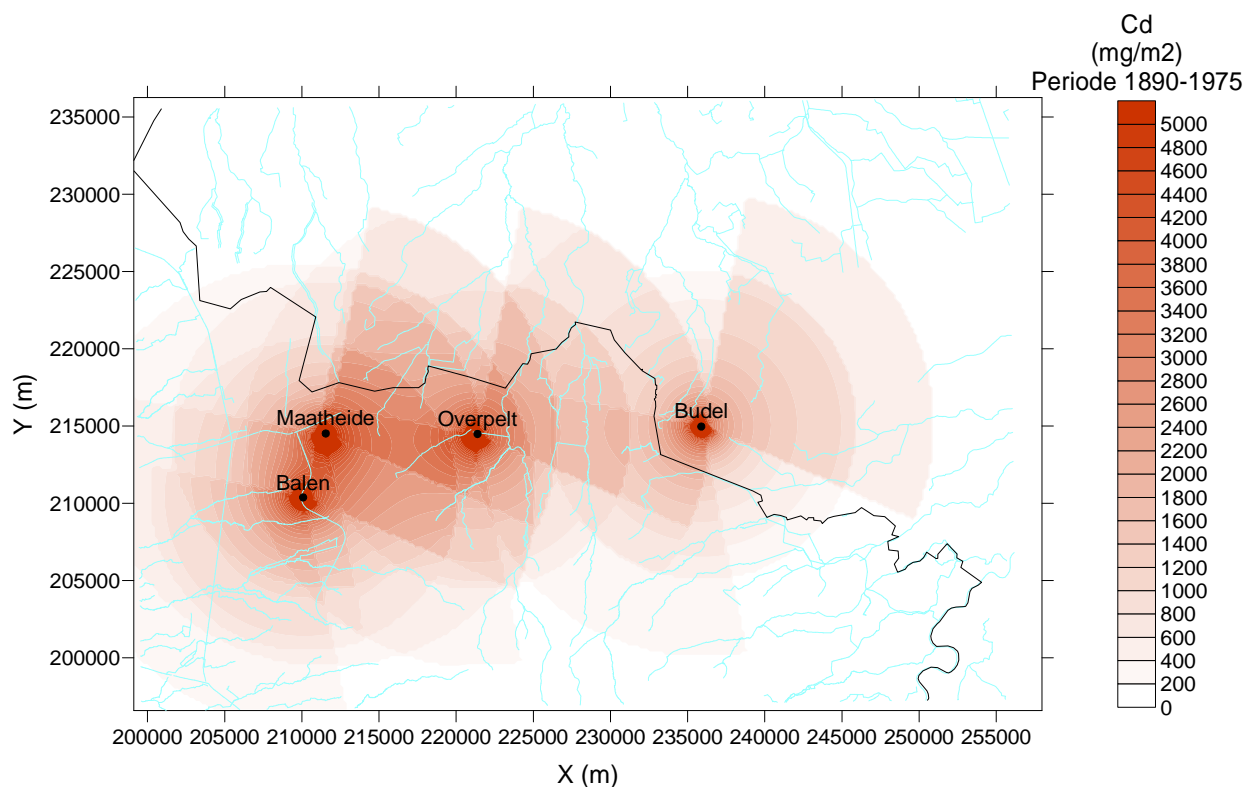
Figuur 3-3: Jaarlijkse zinkproductie in Budel vanaf oprichting fabriek tot de stopzetting van het themisch bedrijf (Van der Blom & Donkers, 1992)

De verspreiding van de atmosferische depositie kan aan de hand van de uitstoot en de windrichting berekend worden. De atmosferische verspreiding van cadmium voor de periode 1890 – 1975 is grafisch weergegeven in Figuur 3-5. De totale depositie in het projectgebied wordt geraamd op ca 1750 ton cadmium en 160.000 ton aan zink.

Aangenomen kan worden dat de bodemverontreiniging een goed beeld geeft van de atmosferische verspreiding van de verontreiniging in de periode tot 1973. Opvallend is de snelle afname in de atmosferische depositie bij toenemende afstand van de fabrieken, zie Figuur 3-4. De grootste depositie vindt plaats binnen een cirkel van 2 kilometer van de zinkfabrieken. Buiten deze 2 kilometer zone is de atmosferische belasting met cadmium en zink min of meer homogeen. In Figuur 3-5 is de invloed van de overwegend westelijke windrichting en de overlap van de depositie vanuit de verschillende fabrieken goed zichtbaar. Hierdoor kunnen 3 zones worden onderscheiden. Dichtbij de zinkfabrieken (tot 2 km van de fabriek) komen zeer hoge waarden voor en is de totale atmosferische depositie hoger dan  $3000 \text{ mg/m}^2$  voor cadmium. In het gebied hierbuiten is de atmosferische belasting redelijk homogeen en is deze  $400 - 800 \text{ mg/m}^2$  aan cadmium. De atmosferische depositie voor zink is gemiddeld een factor 90 hoger (gebaseerd op verhoudingen aangetroffen in bodem). In de gebieden tussen de zinkfabrieklocaties vindt stapeling van de effecten plaats hierdoor loopt de depositie op tot  $2000 \text{ mg/m}^2$ .



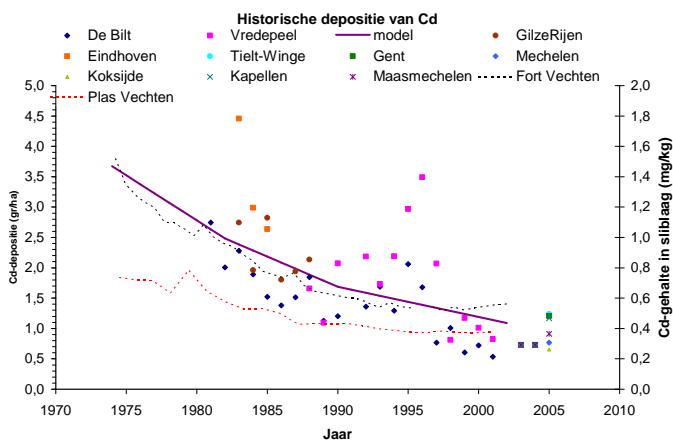
Figuur 3-4: relatie tussen de atmosferische depositie en de afstand tot de bron (naar Mohammadi, 1997)



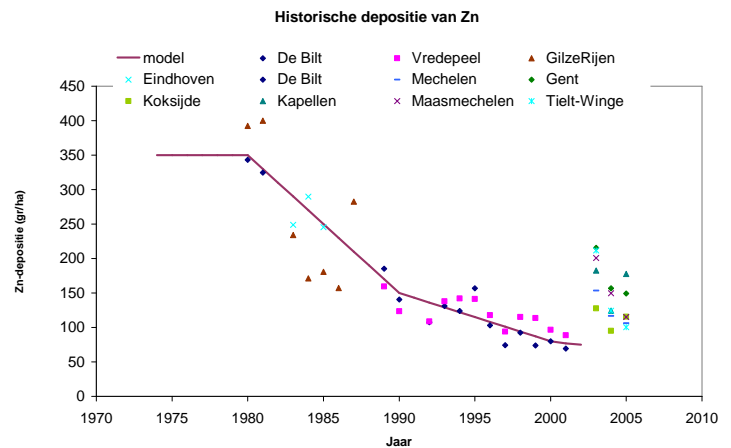
Figuur 3-5 Totale atmosferische depositie van cadmium over de periode 1890 tot 1973 (naar ref. 2)

Na 1973 is voor het zinkproductieproces overgestapt naar elektrolytische zinkproductie. Deze productiewijze is veel minder verontreinigend. Hiernaast zijn milieuverbeterende maatregelen toegepast. De gemiddelde achtergronddepositie voor de Kempen van cadmium en zink is opgenomen in de Figuur 3-6 en 3-7. De lokale afzetting rond fabrieken is hoger maar deze is niet in deze figuren weergegeven. De huidige achtergronddepositie wordt geraamd op gemiddeld 0,25 gram cadmium per hectare per jaar en 33 gram zink per hectare per jaar.





Figuur 3-6: Regionale depositie van cadmium (Ref. 6)



Figuur 3-7: Regionale depositie van zink (Ref. 6)

### Bemesting

Een tweede belangrijke bron van zink en cadmium verontreiniging van de bodem in de landbouwgebieden is de bemesting (Ref. 2). In tegenstelling tot de atmosferische depositie is de bemesting juist vanaf 1970 sterk toegenomen. Ondanks de toename van de bemesting is de belasting met cadmium (in g/ha/j) redelijk constant geweest over de jaren tot op heden. De zinkbelasting vanuit mest is echter sterk gestegen na 1970 van 1000 gram/hectare/jaar tot 3300 gram/hectare/jaar in 1988 waarna het weer langzaam is afgenomen tot ca 2500 gram/hectare/jaar.

De huidige belasting voor cadmium en zink in Vlaanderen zijn gemiddeld respectievelijk 2,5 gram per hectare per jaar en 1700 gram per hectare per jaar. In Nederland is de gemiddelde belasting door bemesting voor cadmium 3,4 gram per hectare per jaar en voor zink 2700 gram per hectare per jaar (Ref. 2).

De huidige jaarlijkse belasting ten gevolge van bemesting is ca 0,02% voor cadmium en 0,2 % voor zink van de totale historische atmosferische belasting. Zelfs de totale belasting door bemesting in de afgelopen 30 jaar vormt slechts een aandeel van enkele procenten (voor zink naar schatting 5-7 %) van de totale atmosferische belasting.

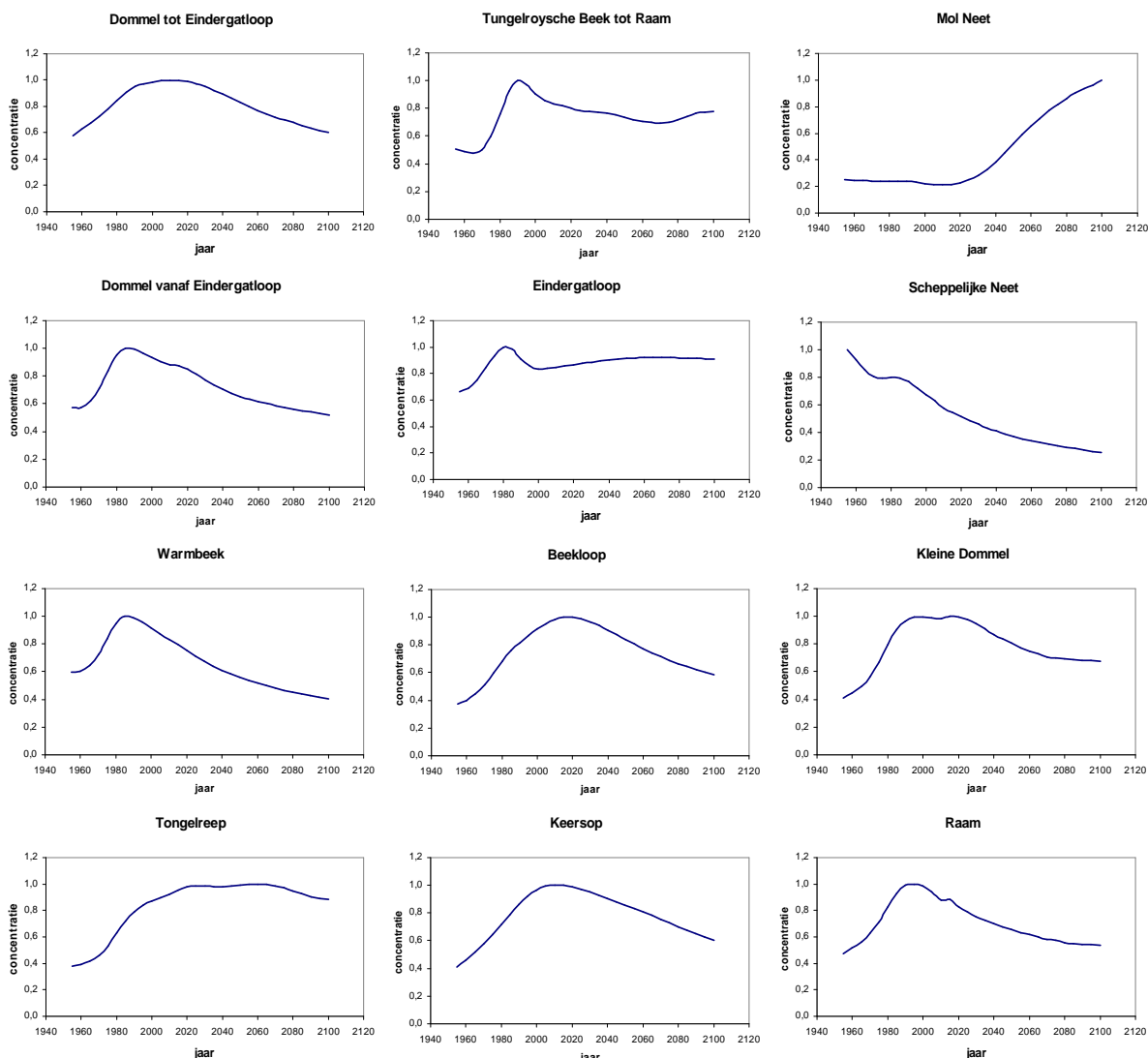
### Kwel

De kwel, instroming van grondwater in de beek, vormt een belangrijk deel van de totale afvoer van de beeksystemen. De kwel vormt voor de Tongelreep-Warmbeek, de Dommel en de Beekloop-Keersop respectievelijk 50 %, 51 % en 64 % van de totale afvoer. Als er geen lozingen of neerslag plaatsvindt, bestaat het water in de beek volledig uit kwel. De instroom van het grondwater in de watergangen bepaalt op dat moment de cadmium- en zinkconcentratie in de beek.

De kwaliteit van de kwel is berekend met het voor de Kempen ontwikkelde grondwatermodel (Ref. 1) Als de kwaliteit van de kwel naar de verschillende beken voor de periode 1940 tot 2120 wordt bekeken zijn per beekstelsysteem duidelijke trends waar te nemen. In Figuur 3-8 is het verloop van de waterkwaliteit van de kwel voor verschillende beken weergegeven.

De ligging van het beekstelsysteem (mate van verontreiniging), de bodemgesteldheid (doorlatendheid, organisch materiaal, sorptie, etc) en de lengte van de grondwaterstroombanen hebben een grote invloed op de kwaliteit van de kwel. De vorm van de grafiek en het tijdstip van de verontreinigingspiek ligt voor ieder beekstelsysteem anders. Voor de beeksystemen met relatief korte stroombanen en een zure bodem komt de piek in de concentratie vroeg en wordt de kwaliteit van de kwel vanaf nu alleen maar beter. In beeksystemen waar langere stroombanen voorkomen of de sorptie sterker is wordt de piek in de concentratie afgevlakt (lager) maar wordt de verontreiniging ook uitgesmeerd in de tijd. In veel gevallen neemt de mate van verontreiniging in de kwel nog toe tot 2020 of 2040. In een enkel

geval, zoals de Molse Nete, komt de verontreinigingspiek in de kwelstroom pas aan het einde van deze eeuw.

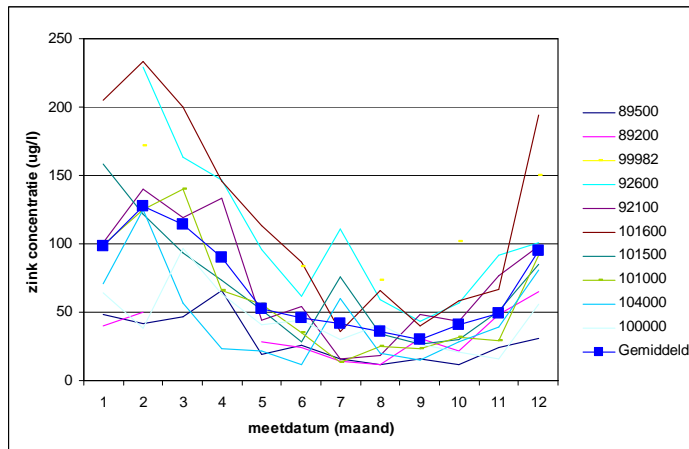


Figuur 3-8 Verloop van de cadmiumconcentraties in de kwel van de verschillende beken (Cd in µg/l)

Het verloop van deze grafieken geeft duidelijk de problematiek in de Kempen aan. De verontreiniging is wijdverspreid en komt over een zeer lange periode weer aan het oppervlak (o.a. in het oppervlaktewater en in kwelzones). Het concentratieverloop in de beken is daardoor niet met maatregelen aan te pakken hooguit te beïnvloeden (Ref. 3). In de Eindergatloop en Molse Nete kunnen beheersmaatregelen op de sites van de zinkfabrieken wel een bepalende invloed hebben (zie H 5).

Als de waterkwaliteit in de beken wordt geanalyseerd blijkt er behalve de langjarige trend ook een jaarlijkse fluctuatie op te treden. De achtergrondconcentratie blijkt in de winter hoger te liggen dan in de zomer. Dit wordt verklaard doordat de cadmium- en zinkverontreiniging nog ondiep in de bodem aanwezig zijn. Hierdoor wordt de verontreiniging vooral door het ondiepe grondwater meegevoerd naar de beek. De grootste aanvoer van dit ondiepe lokale grondwater vindt in de winter plaats, als de grondwaterstanden hoog zijn. De periodieke aanvoer van ondiep grondwater is ook in het grondwatermodel bekeken en aangetoond (Ref. 2). De grotere aanvoer van ondiep vervuild grondwater is goed terug te zien in de waterkwaliteitsmetingen. De waterkwaliteitsmetingen voor de Warmbeek-Tongelreep, Dommel en Beekloop zijn weergegeven in Figuur 3-9. In het droge seizoen

zijn de beken meer afhankelijk van het diepere grondwater dat naar de beken komt. Dit dieper grondwater is nog minder verontreinigd waardoor de waterkwaliteit in de beeksystemen beter wordt.



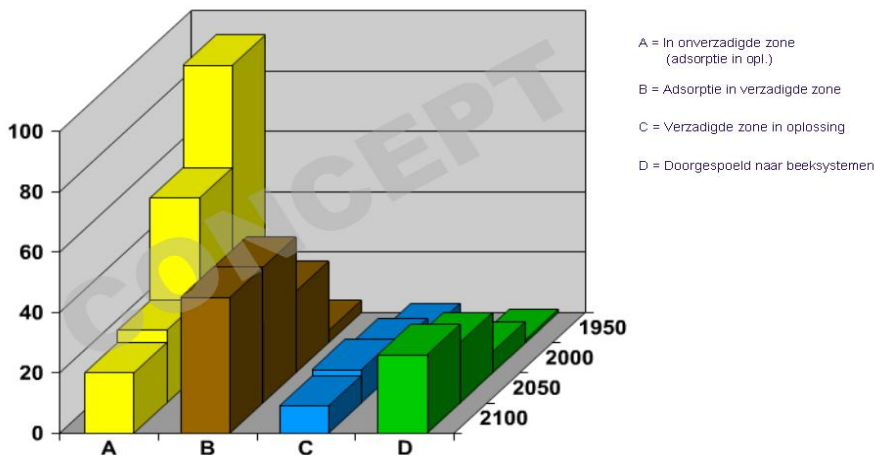
Figuur 3-9 Jaarlijkse fluctuatie van de zinkconcentratie in de beeksystemen Warmbeek-Tongelreep, Dommel en Beekloop (Ref. 6)

Indicatief voor de kwaliteit van het instromende grondwater is de kwaliteit van het poriewater in de waterbodem en het grondwater direct langs de beek. De gemiddelde gemeten concentraties in het poriewater bij deze beeksystemen variëren tussen de 90 tot 210 µg/l en 0,4 tot 2,15 µg/l voor de stoffen zink en cadmium (Ref. 6).

De waterkwaliteitsnormen in Vlaanderen liggen voor cadmium bij 1 µg/l en voor zink bij 200 µg/l. In Nederland liggen de waterkwaliteitsnormen (streefwaarden MTR) voor cadmium op 2 µg/l en voor zink op 40 µg/l. De kwaliteit van het poriewater ligt voor cadmium meestal onder de Nederlandse waterkwaliteitsnorm maar overschrijdt in de helft van de gevallen de Vlaamse waterkwaliteitsnorm. Voor zink is het beeld omgekeerd. Door de verschillen tussen de Vlaamse en Nederlandse normering voldoet de waterkwaliteit in de meeste gevallen aan de Vlaamse waterkwaliteitsnorm maar in Nederland wordt deze een factor 2-8 overschreden.

Aan de hand van de berekende concentraties en de jaarlijkse afvoervolumes is met het grondwatermodel een raming gemaakt van de afvoer van cadmium en zink via het oppervlaktewater. Ten opzichte van de in het gebied aanwezige verontreiniging is de afvoer via het oppervlaktewater klein. De jaarlijkse aanvoer via de kwel naar de beken is in de orde van < 1 % van de totale historische cadmium en zink verontreiniging. In onderstaand kader is de verdeling van cadmium in de tijd aangegeven. In 2100 is slechts ca 25 % van de verontreiniging afgevoerd naar de beek. De rest van de verontreiniging bevindt zich nog in de bodem. Hieruit blijkt dat de bron van de verontreiniging schier onuitputtelijk is. De kwaliteit van de kwel zal nog zeker honderden jaren sterk beïnvloed blijven.

## Verdeling cadmium in diepte en tijd (%)



In het bovenstaande figuur wordt op basis van een drietal grondwaterlichamen de berekende massabalans voor cadmium op de lange duur weergegeven. Hierin wordt aangegeven hoe de (relatieve) verdeling van cadmium over de verschillende bodemcompartimenten in de tijd verloopt. De figuur toont aan welk deel van de cadmiumvracht:

- zich in de onverzadigde zone bevindt (geel),
- tijdelijk in de ondergrond geadsorbeerd is (bruin),
- is opgelost in het grondwater (blauw)
- is doorgespoeld naar de beeksystemen (groen).

De verontreiniging in de kwel naar de beken is vooral afkomstig van de wijdverspreide verontreiniging tengevolge van de atmosferische depositie. In het gebied komen enkele uitzonderingen voor. De belangrijkste hiervan is de historische verontreiniging onder de fabrieksterreinen o.a. Balen, Overpelt en Maatheide. De verontreiniging van deze sites kan zeer ernstig zijn met zeer hoge gehalten aan cadmium en zink. De verontreiniging onder de site Balen is het grootst. De verontreiniging wordt gevonden tot een diepte van honderd meter over een oppervlak van 370 ha. Hierbij komen concentraties in het grondwater voor van 20.000 tot 100.000 µg/l cadmium en 1.000.000 tot 5.000.000 µg/l zink. In Overpelt komt de verontreiniging voor zowel onder het fabrieksterrein als onder de stortplaats aan de andere kant van het Kanaal Herentals-Bocholt. Ook hier reikt de verontreiniging tot dieptes van meer dan 100 m-mv en komen concentraties voor tot 10.000 µg/l voor cadmium en 50.000 µg/l voor zink.

De locatie Maatheide is net als de sites in Balen en Overpelt ernstig verontreinigd. Om de verspreiding te voorkomen is hier een sanering uitgevoerd waarbij de bovenste sterk verontreinigde grond is afgegraven. De hier aangetroffen concentraties variëren sterk. Voor cadmium zijn concentraties waargenomen van 14 tot 1650 µg/l en voor zink van 200 tot 320.000 µg/l. Momenteel vindt er zandwinning plaats op het fabrieksterrein en wordt grondwater vanuit de omgeving aangetrokken. Hierdoor kan de verontreiniging zich niet verspreiden.

In Budel is cadmium en zink in verhoogde concentraties aangetroffen tot een diepte van 40 meter onder maaiveld. De grondwaterverontreiniging wordt beheerst met een grondwaterbeheerssysteem (GBS), waardoor de verontreiniging zich niet kan verspreiden. Dit GBS is in 1992 aangelegd.

Door de extreme concentraties aan cadmium en zink in het grondwater onder de fabrieksterreinen kan de kwel naar de beek, ondanks de geringe hoeveelheid, sterk vervuilend zijn voor het beekstelsel. Voor de Dommel is berekend dat ca 30 % van de totale vracht, die de Dommel transporteert, (afvalwaterlozingen, Nyrstar Overpelt, kwel, verharding, etc.) afkomstig is van de in Overpelt bij Nyrstar Overpelt vrijkomende kwel. Hierbij kan nog worden aangemerkt dat een deel van het gebied van een grondwaterbeheerssysteem is voorzien. In de beeksystemen de Schepelijke Nete en de Molsse Nete treedt hetzelfde proces op. De concentraties in de beeksystemen, ten gevolge van de kwel uit het fabrieksterrein, kunnen oplopen tot 8 µg/l voor cadmium en 1000 µg/l voor zink.

### Lozing afvalwater door de zinkverwerkende industrie

Momenteel lozen nog 3 bedrijven afvalwater op het oppervlaktewater. Dit zijn Nyrstar in Overpelt, Budel en in Balen.

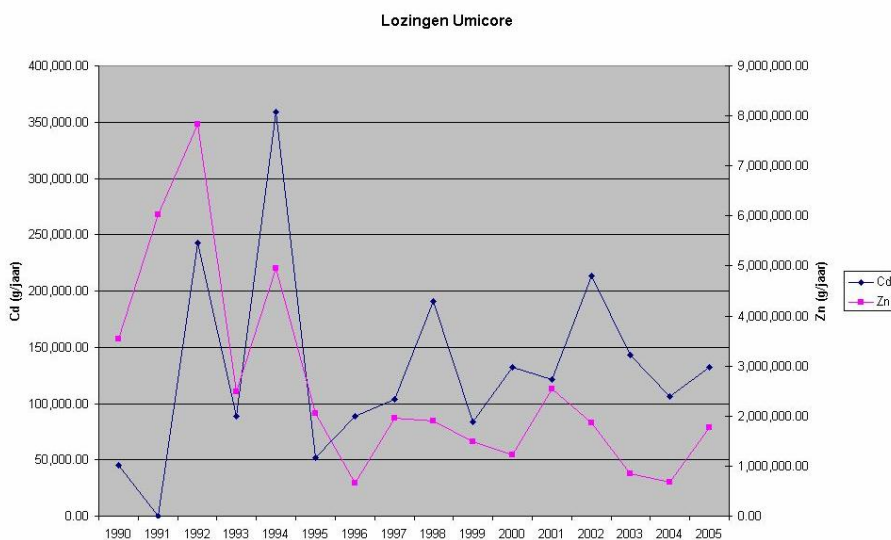
#### *Lozing Nyrstar - Overpelt*

In Overpelt staat de zinkverwerkende fabriek van Nyrstar Overpelt waar onder andere bouwmaterialen en metaalpoeders worden geproduceerd. De fabriek staat aan de Eindergatloop en gebruikt en loost water op deze watergang. Het afvalwater omvat 3 stromen:

- Proceswater: Het proceswater wordt via een waterzuivering geleid alvorens het wordt geloosd op de Eindergatloop.
- Hemelwater: Het hemelwater dat op de bedrijfsterreinen valt, wordt via de riolering naar een buffertank geleid en daar tijdelijk geborgen. Na de regenbui wordt het water uit de buffertank door de waterzuivering geleid alvorens geloosd te worden.
- Grondwater: Nyrstar Overpelt pompt, in een deel van haar terrein, grondwater op (een zgn. grondwaterscherp) om verspreiding van in de grond aanwezige verontreinigingen te beheren. Ook dit grondwater wordt via de waterzuivering op het oppervlaktewater geloosd.

De lozing vanuit de waterzuivering van Nyrstar Overpelt is bekend. In

Figuur 3-10 is de lozing vanaf 1990 gegeven (volgens opgave Nyrstar Overpelt). De laatste jaren is de lozing stabiel, maar in de periode 1990-1994 zijn grote variaties aanwezig. De laatste jaren is de gemiddelde lozing aan zink ca 1770 kg per jaar en ca 130 kg voor cadmium.



Figuur 3-10: Lozingen door Nyrstar Overpelt (Cd en Zn) (opgave volgens Nyrstar Overpelt)

#### *Lozing Balen*

De lozing vanuit Nyrstar Balen is niet bekend. In het voorstel voor de nieuwe vergunning wordt gesproken van een norm van 2 mg/l zink en 0,05 tot 0,1 mg/l cadmium bij een maximale lozing van 200 m<sup>3</sup>/uur.

Het drainage water uit de nieuwe stortplaats voor saneringsmateriaal, van Nyrstar Balen te Lommel, wordt geloosd op de afvalwaterzuivering. De hoeveelheid afvalwater is beperkt. De verontreiniging van het water is niet bekend. Deze vallen echter onder de hiervoor genoemde vergunning.

#### *Lozing Nyrstar - Budel*

Bij de fabriek van Nyrstar te Budel bestaan de volgende afvalwaterstromen:

1. Effluent van de waterzuivering (procesafvalwater, verontreinigd grondwater (GBS), regenwater, huishoudelijk afvalwater, consolidatiewater)
2. incidentele overstorting vanuit het Stamriool

Het afvalwater is gereguleerd met een vergunning en mag bepaalde concentraties aan o.a. cadmium en zink niet overschrijden. Voor cadmium is een maximum gesteld van 10 µg/l en voor zink van 300 µg/l. Dit water wordt geloosd in de Tungelroysche beek en op het Ringselven. De hoeveelheden afvalwater mogen niet meer dan 60 m<sup>3</sup>/uur bedragen.

#### Lozing rioolwaterzuiveringen

In het afvalwater komen relatief hoge concentraties voor van zink, 114-371 µg/l, en cadmium, 0,02 – 0,44 µg/l (Ref. 6). De totale vracht voor de beken Dommel, Warmbeek-Tongelreep en Beekloop-Keersop is berekend aan de hand van de lozingsgegevens van de RWZI's. De gegevens zijn gegeven in Tabel 3-1.

Beek	Cadmiumvracht	Zinkvracht
Dommel	2	2700
Warmbeek-Tongelreep	0	500
Beekloop - Keersop	0	0

Tabel 3-1 Lozing van cadmium en zink vanuit RWZI (kg/j)

Opvallend aan de lozingen van de RWZI's is het soms grote belang van het geloosde volume afvalwater ten opzicht van de ontvangende watergang. Voorbeeld: ter hoogte van Overpelt is de afvalwaterstroom 0,24 m<sup>3</sup>/s op een totaal debiet van 0,98 m<sup>3</sup>/s in de Dommel. Het debiet in de Eindergatloop bestaat zelfs voor meer dan 50 % uit afvalwater vanuit de RWZI (Lommel). Het grote belang van de afvalwaterzuiveringen geldt ook voor de verontreiniging door zink in het afvalwater. De verontreiniging door de afvalwaterlozingen is duidelijk zichtbaar in de metingen van de waterkwaliteit en zorgt lokaal voor hoge zinkconcentratie in het oppervlaktewater (Ref. 6). De cadmiumconcentratie in het afvalwater van de RWZI's is laag en de invloed ten gevolge van de afvalwaterlozing is beperkt. De cadmiumconcentratie in de watergangen wordt niet merkbaar beïnvloed. In Nederland wordt het afvalwater afgevoerd naar de RWZI bij Eindhoven. Deze valt buiten de uitgevoerde studies en de invloed hiervan is niet geanalyseerd.

#### Overstorten van rioelstelsel en hemelwaterafvoeren

In de Kempen, zowel in Vlaanderen als in Nederland, bevinden zich een groot aantal overstorten in lokale rioleringen. De lozing via de overstorten blijkt van belang voor de zinkverontreiniging door het gebruik van bouwmaterialen en verkeer. Het aandeel van deze bron van zinkverontreiniging varieert. In de Dommel is een aandeel van 3 % en in de Tongelreep-Warmbeek tot 10 % berekend (Ref. 6).

Voor cadmium is het beeld anders. Cadmium komt veel minder voor in afvalwater en op verharde oppervlakken. Het aandeel in de cadmiumvracht is dan ook nihil. Binnen de groep incidentele lozingen, die alleen tijdens hevige neerslag plaatsvinden, is de lozing via de overstort de belangrijkste.

#### Erosie

Het sedimenttransport is door het project BeNeKempen uitgebreid onderzocht voor de beken Dommel, Warmbeek-Tongelreep en Beekloop-Keersop (Ref. 6). De berekeningen tonen aan dat in de bovenloop van de beken Dommel, Beekloop-Keersop en Tongelreep-Warmbeek over het algemeen erosie plaats vindt. Lokaal kan tijdelijk sedimentatie plaatsvinden maar de afgezette sedimenten worden tijdens afvoerpieken weer opgenomen en verder stroomafwaarts getransporteerd. De erosie betreft een laag van ca 0,5 cm dikte per jaar die matig verontreinigd is voor de Dommel, de Warmbeek-Tongelreep en de Beekloop-Keersop. De erosie van deze laag is een belangrijke bron van cadmium en zink. De bij deze erosie vrijkomende vracht aan cadmium en zink omvat 10 % tot 40 % van de totale vracht van de beek. Het percentage wordt bepaald door de mate van verontreiniging van de waterbodem. De mate van verontreiniging is o.a. afhankelijk van de hoeveelheid organisch materiaal, de stromingsomstandigheden, de aanwezigheid van zinkasdeeltjes in het sediment.

### **3.3.2. Transportprocessen**

Hiervoor zijn de belangrijkste bronnen beschreven die leiden tot grondwater of oppervlaktewaterverontreiniging. Om te begrijpen waarom de concentraties aan cadmium en zink in

het ene gebied hoog zijn en in andere gebieden laag zijn is inzicht nodig in het transportproces van de verontreinigingen. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste 4 processen toegelicht.

- Infiltratie van de neerslag (en grondwatertransport)
- Sedimentatie en resuspensie
- Transport door de beek

#### Infiltratie van de neerslag

Neerslag infiltreert in de bodem en stroomt via het grondwater naar de beek of naar het diepere grondwater. Tijdens de infiltratie door de verontreinigde bodem logen de zware metalen uit en worden deze in opgeloste vorm meegevoerd. Zodra het geïnfiltreerde water dieper komt en de bodem schoner is, adsorberen de verontreinigingen aan kleimineralen, ijzeroxides en organisch stof. De uitwisseling tussen de opgeloste en geadsorbeerde fase is een continu proces.

Door de adsorptie en desorptie van de zware metalen aan de bodem gaat de voortschrijding van de verontreiniging langzamer dan de stroming van het grondwater. De snelheid wordt enerzijds beïnvloed door de hoeveelheid klei, oxides en organisch materiaal in de ondergrond en anderzijds door de pH en sulfide aanwezigheid. Een grotere aanwezigheid van klei, oxides en organisch materiaal vertraagt de voortgang van de verontreiniging doordat er veel mogelijkheid is om te adsorberen. Een lage pH beïnvloed het evenwicht tussen de opgeloste en geadsorbeerde metalen zodanig dat de adsorptie verminderd. In een 'zure' omgeving is meer cadmium en zink opgelost en zal de verontreiniging zich sneller naar beneden verplaatsen. Bij een basische omgeving (b.v. ten gevolge van het bekalken van de bodem) verloopt de uitloging van de bodem trager.

Uit berekeningen (Ref. 2) is gebleken dat er een hogere mate van vertraging (retardatie) optreedt bij toenemende diepte. Dit betekent dat door de lagere concentratie van metalen in het grondwater (door grotere menging) en de verandering van de pH in het grondwater de adsorptie met de diepte groter wordt. Hierdoor zullen ook in de toekomst de verontreinigingen met zware metalen niet tot grote diepte kunnen doordringen. Er lijkt een maximale doordringing op te treden tot ca 30 meter diepte. Alleen in de bosrijke infiltratiegebieden met een lagere pH en hoge infiltratiesnelheden van het water dringt de verontreiniging dieper door in de ondergrond.

In de huidige situatie is de verontreiniging in de landbouwgebieden nog slechts tot een diepte van ca 1 m onder het maaiveld doorgedrongen. De grootste verontreiniging bevindt zich op een niveau van 0,5 – 1 m onder maaiveld. Dit is een gevolg van de bekalking in de landbouwgebieden. In de bos en de natuurgebieden is de cadmium- en zinkverontreiniging tot een diepte van ca 10 meter doorgedrongen. Hierop zijn enkele uitzonderingen te maken. In de 'kwelgebieden' (gebieden met zeer beperkte infiltratie of kwel) is geen neerwaarts gerichte waterstroming en bevindt de verontreiniging zich nog aan het oppervlak. In de hooggelegen bosrijke infiltratiegebieden anderzijds kan de verontreiniging al een grotere diepte hebben bereikt, tot ca 30 m.

#### Sedimentatie en resuspensie

Erosie in de bovenlopen van de beeksystemen is al genoemd als bron van cadmium en zink. Dit proces vindt niet overal plaats en op elk moment. Erosie treedt op ten gevolge van hoge snelheden in de waterstroming. Hierdoor kunnen bodemdeeltjes (zand, silt, organisch materiaal) worden losgemaakt en door het water worden meegenomen. Hoge snelheden treden op als de beek van nature een groot verhang heeft, maar kan ook andere oorzaken hebben. De belangrijkste hiervan is de neerslag. Tijdens hevige neerslag stroomt veel water oppervlakkig naar de beken en neemt de afvoer en de stroomsnelheid toe. Hierdoor kan veel sediment worden meegenomen met het water. Zodra het waterpeil in de beek weer zakt neemt de snelheid weer af en zet veel sediment zich weer af. De eerder genoemde erosie in de bovenlopen is dan ook een resultante van een veelvoudig optreden van sedimentatie en resuspensie in de beken.

Behalve dat in de tijd een afwisseling van erosie en sedimentatie optreedt gebeurt dit ook afhankelijk van de locatie. Benedenstreams is het verhang van een beek kleiner dan bovenstreams. Bovenstreams zal dan ook een netto erosie optreden terwijl benedenstreams een netto sedimentatie optreedt. Aan de hand van het verhang van de beek kan bekeken worden in welke delen erosie optreedt en in welke delen overwegend sedimentatie optreedt. Op het Kempisch plateau vindt over het algemeen erosie plaats. In Nederland is ter hoogte van de stad Eindhoven duidelijk een overgang zichtbaar. Deze overgang wordt gevormd door de breuklijn die het Peelgebied begrensd. Ten noorden van deze breuklijn wordt het terrein vlak, neemt het verhang van de beek af en treedt sedimentatie op.

Hiernaast ontstaan verschillen in de beek zelf. In een meanderende beek is de stroming in de buitenkant van de bocht groot en kan erosie optreden terwijl in de binnenbocht sedimentatie voorkomt. Een laatste belangrijke beïnvloedingsfactor van de sedimentatie en erosie zijn de stuwen en watermolens. Met een stuw wordt de bodemhoogte vastgelegd en kan deze niet lager dan een bepaald niveau eroderen. Als de stuw omhoog en omlaag wordt gezet kan dit tot verandering in de bodemhoogte van de beek leiden. Hierbij kan vervuild sediment weer vrijkomen in de beek of extra sedimentatie optreden.

Bij hevige neerslag stijgt het waterpeil in de beek waardoor gebieden langs de beek overstromen. Op overstromingszones, die regelmatig overstromen, vindt accumulatie van de verontreiniging plaats. Deze accumulatie vindt plaats door een aantal aspecten dat daar speelt. Ten eerste is het water in deze overstromingszones ondiep en de stroming gering. Terwijl het water in de geul snel stroomt en veel sediment meeneemt stroomt het water in de overstromingszones zeer langzaam. Het sediment kan hier sedimenteren. Dit wordt nog versterkt door het tweede aspect de begroeiing, die op de overstromingszones aanwezig is. Als het sediment eenmaal afgezet is komt het niet meer in suspensie. Het wordt vastgelegd door de planten die er groeien en de stromingssnelheid van het water is niet genoeg om het opnieuw in suspensie te brengen. Het belang van sedimentatie in de overstromingsgebieden is o.a. afhankelijk van de overstromingsfrequentie, de duur van de overstroming en de locatie van het overstromingsgebied.

#### Transport door de beek

Bij verontreiniging met cadmium en zink vormt zich een evenwicht tussen de concentratie die adsorbeert aan de sedimentdeeltjes en het organische materiaal enerzijds en de concentratie die zich in oplossing bevindt in het grond- en oppervlaktewater. Onder de omstandigheden die in de Kempen optreden in de beken blijkt dat van de geadsorbeerde stoffen in de beek zich meer dan 95 % bindt aan het organische materiaal. Dit organische materiaal is licht (soortelijk gewicht bijna gelijk aan water) en sedimenteert zeer slecht tot niet. Dit betekent dat het net als de opgeloste stoffen met de stroomsnelheid door de beek wordt gevoerd. Met snelheden van 0,5 m/s (bij lage waterstanden) tot 1 m/s (bij hogere waterstanden) worden de verontreinigingen dus snel afgevoerd. In een dag zijn de verontreinigingen al ca 43 km tot 86 km stroomafwaarts getransporteerd.

De snelle afvoer heeft direct invloed op de interpretatie van de waterkwaliteitsmetingen. De metingen worden op maandbasis of langer uitgevoerd. Door de snelle afvoer in de beek is het monitoren van calamiteiten en lozingen bijna onmogelijk is. Het meten van een verontreinigingspluim vanwege een incidentele lozing is daarom meer geluk dan wijsheid.

Bij sedimentatie en erosie zijn de processen voor de zanddeeltjes al besproken. Voor organisch materiaal gaat dit proces dus niet op. Om organisch materiaal vast te houden ('sedimenteren') zijn speciale stromingsloze situaties nodig. Dit kan voorkomen tussen vegetatie, in de luwte achter bochten of bij hoogwater op de overstroomde gebieden. Bij de zandvang de Klotputten bij Eindhoven zijn de omstandigheden zodanig dat sedimentatie van een deel van het organisch materiaal optreedt. Eenmaal gesedimenteerd kan de organische stof samenklonteren en meer als zanddeeltjes gaan bewegen. Stroomafwaarts kunnen de organisch bezinkbare deeltjes hierdoor toch sedimenteren en een verontreinigde waterbodem vormen.

### **3.3.3. Drie verschillende typen beken**

Aan de hand van de verontreinigingsbronnen kunnen 3 typen beken worden onderscheiden:

Type 1: beken zonder menselijke verontreinigingsbronnen

Type 2: beken beïnvloed door RWZI's

Type 3: beken beïnvloed door RWZI's en zinkfabriek(en)

Beken zonder grote menselijke verontreinigingsbronnen hebben twee hoofdbronnen van verontreiniging. Dit zijn: 1) de verontreiniging in de kwel en 2) de verontreiniging vrijkomend bij erosie. Samen vormen deze twee bronnen de 'achtergrondconcentratie', de van nature voorkomende concentratie, in de beek. Een voorbeeld van dit type beek is de Beekloop-Keersop. Dit type beek heeft een waterkwaliteit die voornamelijk bepaald wordt door de historische atmosferische depositie en de van nature optredende processen. Hierdoor vormt dit type beek de referentie voor de beeksystemen in de regio.

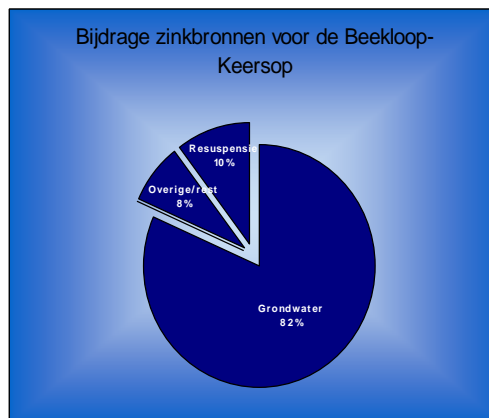


Naast deze weinig beïnvloede beeksystemen bestaan de beeksystemen waar één of meer rioolwaterzuiveringen op lozen. Deze lozingen beïnvloeden vooral de zinkvrachten in het systeem. Een voorbeeld hiervan is de Warmbeek-Tongelreep.

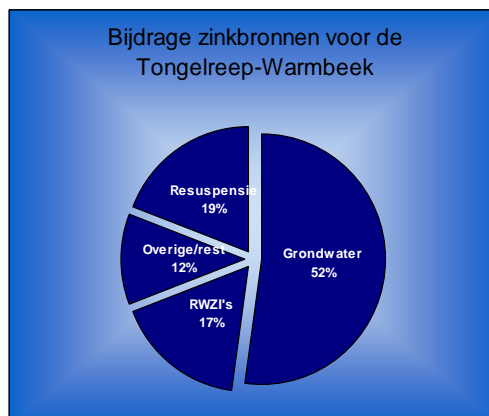
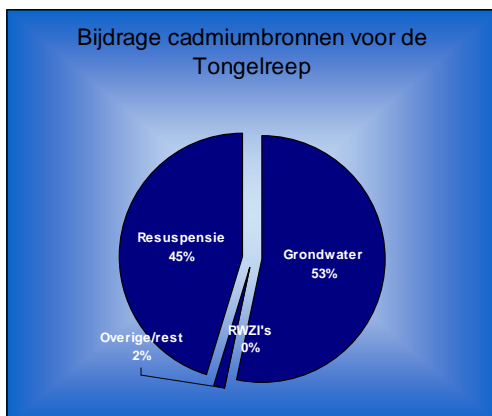
Het derde type wordt behalve door de rioolwaterzuivering(en) ook beïnvloed door de lozing of kwel vanuit een zinkfabriek. Voorbeelden hiervan zijn o.a. de Dommel en de Molse Nete.

De vier genoemde typen van verontreinigingsbronnen zijn bepalend in de Kempen. Alle overige bronnen zijn verwaarloosbaar of hebben een zeer beperkte invloed op de waterkwaliteit. In Figuur 3-11 wordt de procentuele verdeling van de verontreinigingsbronnen per beektype gevisualiseerd.

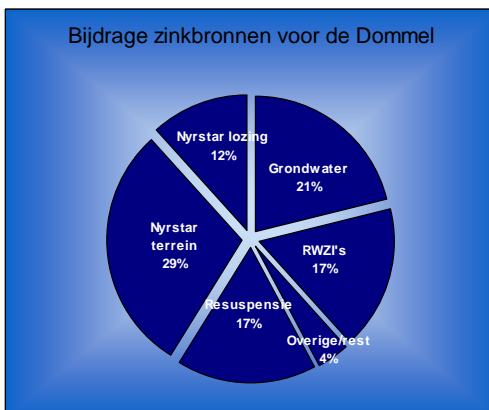
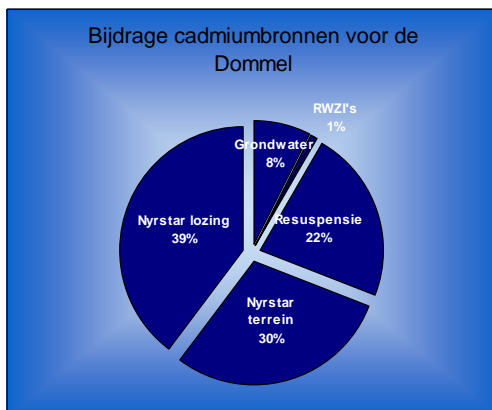
### Type 1



### Type 2



### Type 3



Figuur 3-11 weergave van de verontreinigingsbronnen per type beekstelsel.

## 4. Probleemanalyse

Om beheersmaatregelen effectief in te kunnen zetten is het belangrijk het probleem duidelijk te definiëren. Het probleem is afhankelijk van de mate waarin er risico's optreden en voor wie die risico's zijn. Om het probleem te bepalen wordt in dit hoofdstuk uitgegaan van de potentieel bedreigde objecten in het gebied van de Kempen. Ieder van de potentieel bedreigde objecten wordt besproken waarbij de verontreiniging en het hieruit voortvloeiende milieutechnische of milieuhygiënische risico wordt beschreven.

In het kader van de studie is onderscheid gemaakt tussen de volgende types potentieel bedreigde objecten:

- oppervlaktewater/oppervlaktewaterlichamen
- diep grondwater
- grondwateronttrekkingen
- grondwaterafhankelijke natuurgebieden

### 4.1. *Oppervlaktewater / oppervlaktewaterlichamen*

Aan Vlaamse zijde betreft het het Netebekken, het Dommelbekken, en een deel van de Grensmaas. Aan Nederlandse zijde betreft het De Dommel en Kleine Dommel inclusief bovenlopen en de Tungalroysche Beek. Meer specifiek kunnen de volgende waterlopen als potentieel bedreigde objecten aangeduid worden.

- Molse Nete
- Schepelijke Nete.
- Eindergatloop
- Dommel
- Warmbeek-Tongelreep
- Run
- Beekloop-Keersop
- Grote Aa en bovenlopen Strijper Aa, Bulder Aa, Boschloop
- Kleine Dommel met bovenlopen Sterkselse Aa en Oude Graaf
- Tungalroysche Beek

Figuur 3-8 geeft het berekende verloop van de cadmium- en zinkconcentraties in de tijd in de verschillende beeksystemen. De waterkwaliteitsnormen in Vlaanderen en Nederland zijn respectievelijk 2 µg/l (Nederland) en 1 µg/l (Vlaanderen) voor cadmium en 40 µg/l (Nederland) of 200 µg/l (Vlaanderen) voor zink.

Als de beeksystemen aan de waterkwaliteitsnormen worden getoetst blijken deze in veel gevallen niet te voldoen. De beken die niet door kwel- of afvalwater uit zinkfabrieken worden verontreinigd (beektype 1 en 2), voldoen voor cadmium aan de waterkwaliteitsnormen. Voor zink voldoen de beektypen 1 en 2 over het algemeen ook aan de Vlaamse waterkwaliteitsnorm. Door de strengere eisen in Nederland voldoet beektype 2 niet aan de Nederlandse waterkwaliteitsnorm. Deze wordt een factor 2 tot 8 overschreden. De beken waarop vanuit een zinkfabriek geloosd wordt (beektype 3) voldoen noch voor cadmium noch voor zink aan de waterkwaliteitsnormen. Zowel de Vlaamse als Nederlandse waterkwaliteitsnormen worden een factor 10 of meer overschreden.

De beken in de Vlaanderen en Nederland hebben een natuurdoelstelling en hebben vaak een recreatieve functie. De waterkwaliteit beïnvloedt beide. Zeker bij de beken van het beektype 3 kan zowel een milieutechnisch als milieuhygiënisch risico optreden.

### 4.2. *Diep grondwater*

Het diepe grondwater (> 30 m-mv) wordt als bedreigd object beschouwd.

In het Vlaamse deel van de Kempen zijn de volgende grondwaterlichamen afgebakend:

- Grondwaterlichamen van het Centraal Kempisch Systeem
- Grondwaterlichamen van het Brulandkrijtsysteem

Aan Nederlandse zijde ligt het gebied geheel in het grondwaterlichaam Maas

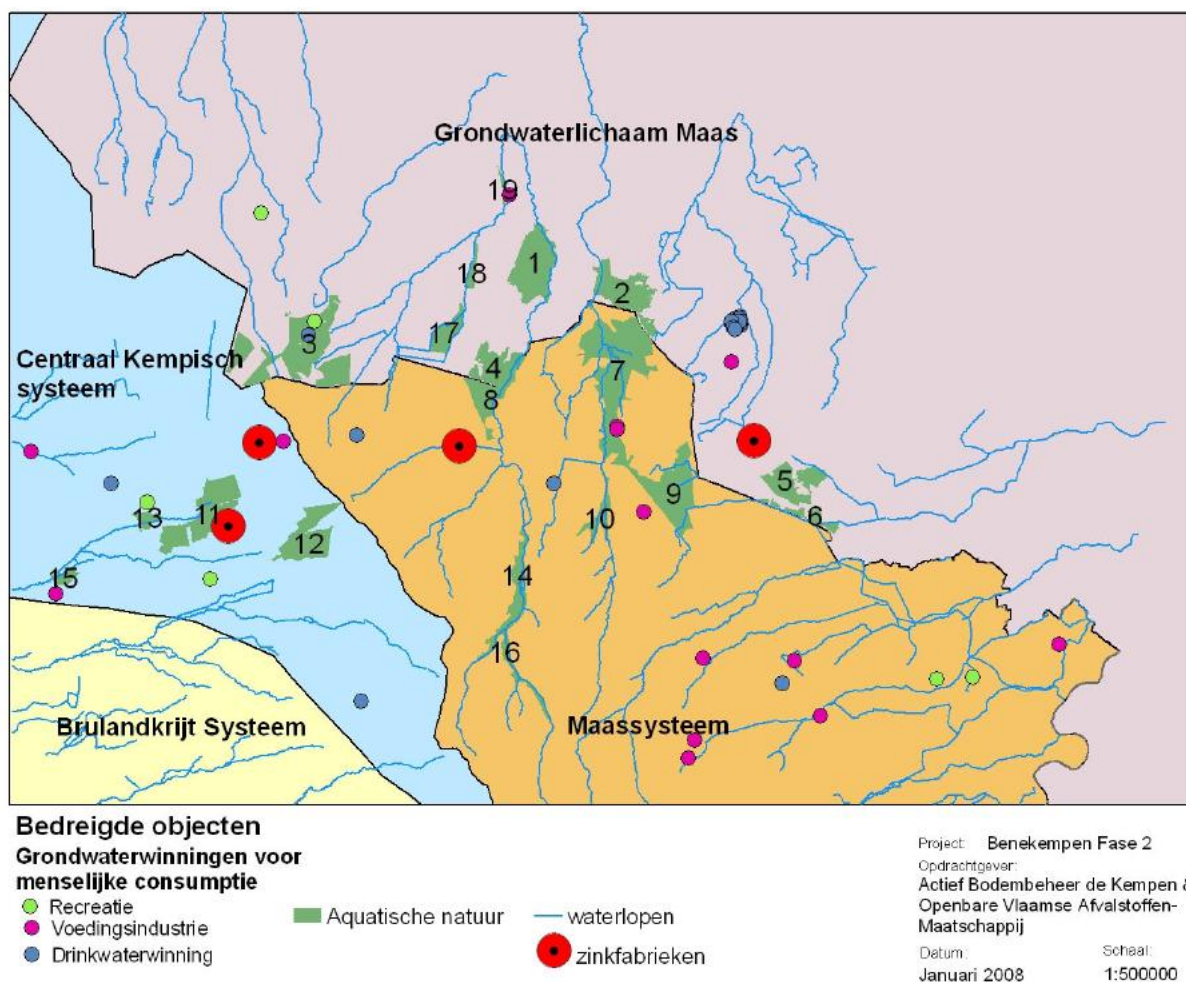
In paragraaf 2.4 is al gebleken dat de verontreiniging niet makkelijk tot grote diepte doordringt. Door de sortieprocessen, de menging met schoner water en de pH veranderingen met de diepte is de maximale infiltratie ca 30 m. Er lijkt geen risico te bestaan voor grootschalige verontreiniging van het diepe grondwater.

### 4.3. Grondwateronttrekkingen

Grondwateronttrekkingen voor menselijke consumpties en hoogwaardige industriële onttrekkingen ondieper dan 30 m-mv kunnen als bedreigd object worden gedefinieerd. Aan Nederlandse zijde betreft dit de winning van Brabant water (Luyksgestel en Budel). De Waterleidingmaatschappij Limburg heeft geen ondiepe winningen in het gebied. In het gebied zijn verder een enkele bierbrouwerij die ondiep water onttrekt en dus als bedreigd object kunnen worden beschouwd.

Aan Vlaamse zijde bevinden zich in het gebied een aantal belangrijke grondwaterwinningen met onttrekkingsdebieten groter dan 1.000.000 kubieke meter per jaar.

Alle onttrekkingen tot 30 m-mv lopen een risico vanwege de cadmium en zink verontreiniging. Voor alle grote onttrekkingen met een diepte tot 30 m-mv zijn de berekende cadmium- en zinkconcentraties in Figuur 4-1 opgenomen (Ref. 2). In een gering aantal winningen in het westelijk deel van het modelgebied wordt voor 2005 doorbraak van deze metalen berekend. De concentraties zijn dermate laag dat deze momenteel geen direct bedreiging vormen voor de waterkwaliteit.



Figuur 4-1 Berekende cadmium- en zinkconcentraties in grondwaterbronnen voor menselijke consumptie (project BeNeKempen)

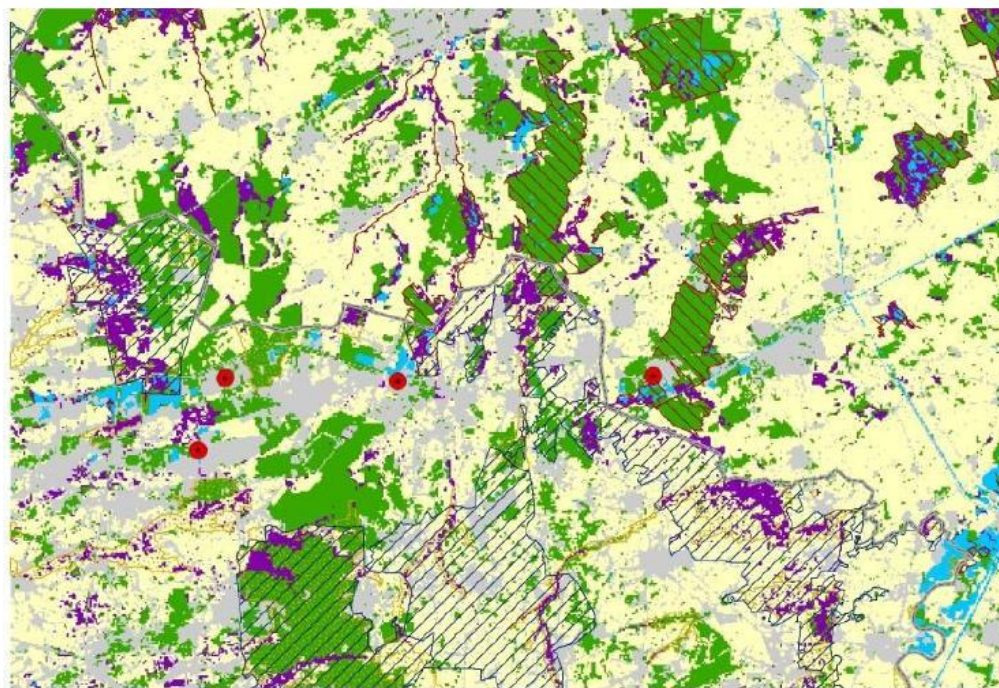
Naast de grotere industriële en drinkwater onttrekkingen komen in de Kempen een groot aantal kleine onttrekkingen voor in het ondiepe grondwater. Deze putten worden voor verscheidene kleinere doeleinden gebruikt zoals; veedrenking, tuinbesproeiing, agrarische doeleinden en soms ook

drinkwater. Het water uit deze onttrekkingen loopt een potentieel risico om verontreinigd te worden met cadmium en zink. In de zure bos- en natuurgebieden zal dit sneller optreden dan in de bekaakte agrarische gronden. De verontreiniging zal echter vroeg of laat optreden. Al deze putten vormen daarom een potentieel bedreigd object. Het risico bij deze onttrekkingen is extra groot omdat het water uit deze putten niet regelmatig wordt geanalyseerd. Hierdoor kan het gebruik en de inname van verontreinigd water over langere periode voorkomen.

#### 4.4. Grondwaterafhankelijke natuurgebieden

In het projectgebied komen er verscheidene ecologisch waardevolle waterrijke natuurgebieden voor, waaronder grondwater(kwel)gebonden vegetaties, laagveenrelicten, soortenrijke natte hooilanden, moerassen en broekbossen. Voorbeelden zijn onder andere De Zegge, het Zammels Broek en het Olens Broek, het Buitengoor-Meergoor (Mol), het Hageven, de Malpie en het Roeventerpeel.

Het betreft in Vlaanderen natuurgebieden die onderdeel uitmaken van de VEN-, Vogelrichtlijn- en Habitatrichtlijngebieden. In Nederland zijn de natuurgebieden vastgelegd in de Groene Hoofdstructuur (GHS) of de Provinciale Ecologische Structuur (PES) en Natura2000. De grondwaterafhankelijke natuurgebieden zijn bepaald aan de hand van de diepte van de grondwaterstand. Bij een grondwaterstand met een diepte kleiner dan 1 meter onder maaiveld wordt het natuurgebied als grondwaterafhankelijk beschouwd. De ligging van deze gebieden is weergegeven in Figuur 4-2.



**Grondwaterafhankelijke natuurgebieden**



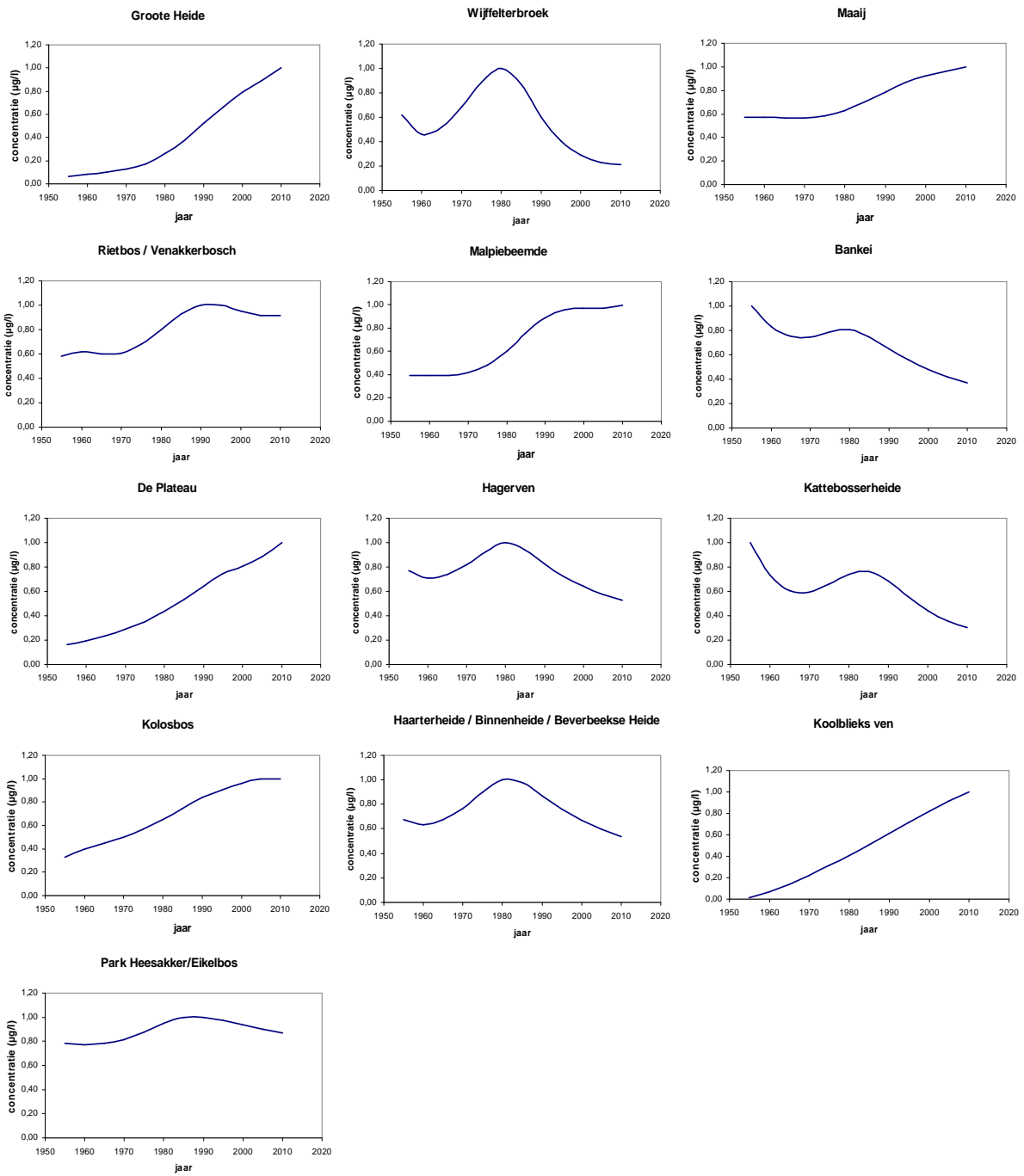
Figuur 4-2 Grondwaterafhankelijke natuurgebieden

Bij terrestrische natuurwaarden gaat het om een beschouwing van de berekende cadmium- en zinkconcentraties in freatisch grondwater in natuurgebieden met een berekende grondwaterstand van minder dan 1 m-mv. Voor de geselecteerde potentieel bedreigde natuurgebieden zijn de huidige gemiddelde cadmium- en zinkconcentratie in het bovenste grondwater berekend en de gemiddelde concentraties in 2060 (Ref. 2). De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 4-1. In de tabel is ook het oppervlak van het natuurgebied met een grondwaterstand van minder dan 1 m-mv weergegeven.

natuurgebied	oppervlak (ha)	Cd (µg/l)	Cd (µg/l)	Zn (µg/l)	Zn (µg/l)
		2005	2060	2005	2060
Malpiebeemden	195	21.3	12.3	2324	1187
Groote Heide / Gastelsche Heide	94	22.0	11.7	2257	1088
Rietbos / Venakkerbosch	119	63.7	17.9	5649	1955
De Plateaux	78	56.3	9.6	4521	1259
Kruispeel	21	15.4	3.5	1154	1096
Wijffelterbroek	104	3.0	1.8	480	450
Haarterheide / Binnenheide / Beverbeekse Heide	411	18.5	2.6	1403	196
Hagerven	138	9.6	2.9	714	378
Broekkant/Lozenbos	241	43.3	7.8	4266	866
Kolosbos	20	49.0	9.8	4416	631
Bankei	164	15.4	4.2	1241	533
Kattebossenheide	6	28.6	5.1	2134	418
Berkenbossen	6	23.4	2.9	1678	129
Park Heesakker/Eikelbos	37	19.5	4.1	1832	564
Maaij	66	40.6	13.1	3353	1428
Koolblijks ven	1	23.1	6.9	2964	1124
Keersopperbeemden	3	0.0	0.1	0	8

Tabel 4-1 Gemiddelde cadmium- en zinkconcentratie in het bovenste grondwater in de natte natuurgebieden

Voor de verschillende grondwaterafhankelijke natuurgebieden is ook het verloop van de gemiddelde cadmium- en zinkconcentraties in het oppervlaktewater in de tijd als gevolg van verontreinigde grondwaterkwel (= waterkwaliteit van het freatisch grondwater) (Ref. 2). Hierbij is uitgegaan van de huidige kwelomstandigheden. Gelijkaardig aan de bedreigde waterlopen is bij de berekening van deze concentraties geen rekening gehouden met retentie van de metalen in het oppervlaktewaterlichaam. Afhankelijk van de ligging van het natuurgebied ten opzichte van de sites van de zinkfabrieken stijgen of dalen de concentraties in de periode 1950-2010. Het verloop in de tijd van de zinkconcentratie is weergegeven in Figuur 4-3. In alle natuurgebieden, op één na, wordt de Vlaamse en Nederlandse waterkwaliteitsnorm voor zink overschreden. Voor cadmium is dit niet altijd het geval.



Figuur 4-3 zinkconcentratieverloop in het oppervlaktewater in natuurgebieden

## 5. Maatregelen

De maatregelen die genomen kunnen worden grijpen in op de verontreinigingsbronnen of de menselijke beïnvloeding. De belangrijkste en meest effectieve maatregelen die volgens de verschillende uitgevoerde studies kunnen worden getroffen zijn:

- Beperking van de verontreinigingsbronnen
  - o saneren van zinkaswegen
  - o saneren van fabrieksterreinen
  - o afvalwaterlozingen terugdringen
  - o incidentele lozingen van verontreinigd hemelwater terugdringen
  - o verminderen van kwel van fabrieksterreinen
  - o voorkomen van resuspensie van verontreinigde waterbodems
  - o waterbodems saneren
- Afvangen van verontreinigingen
- Bescherming van objecten
- Grondwaterbeheer
- Monitoring en voorlichting

De bij de bovengenoemde maatregelen vrijkomende grond kan vaak slechts onder voorwaarden worden gebruikt. Om handvatten hiervoor te krijgen zijn onderzoeken gedaan naar de verwerkingsmogelijkheden van baggerspecie. De maatregelen en verwerkingsmogelijkheden worden hieronder kort behandeld waarbij de maatregelen voor het grondwater en oppervlaktewater afzonderlijk worden behandeld.

### 5.1. *Beperking van de verontreinigingsbronnen*

#### 5.1.1. Grondwater

Om de aanvoer van cadmium en zink te verminderen kunnen de bronnen die deze zware metalen leveren direct worden aangepakt. In paragraaf 3.3 zijn de drie belangrijkste oorzaken van de verontreiniging van het grondwater genoemd. Bij analyse van deze bronnen is gebleken dat de huidige atmosferische depositie en de bemesting geen grote rol spelen bij de verontreiniging van het grondwater. De ernstigste verontreinigingsbron vormt de infiltratie van regenwater dat de historische bodemverontreiniging door uitloging in het grondwater brengt. De infiltratie van de neerslag kan worden onderverdeeld naar de locatie waar deze plaats vindt:

- bodem verontreinigd door de atmosferische depositie
- zinkaswegen
- fabrieksterreinen

De bodemverontreiniging door atmosferische depositie is eerder in dit rapport beschreven en is zo grootschalig dat de sanering hiervan niet mogelijk is. Dat vormt tevens de aanleiding voor het project BeNeKempfen waarbij nieuwe beheersmaatregelen worden gezocht om de verontreiniging te beheersen.

De lokale verontreinigingen door zinkassen worden gesaneerd. De Werkgroep Zinkassen, binnen het project BeNeKempfen, houdt zich hier mee bezig. In principe worden alle zinkaswegen in het gebied gesaneerd. Voor de aanpak van de zinkaswegen wordt naar de rapportage van deze werkgroep verwezen.

Voor de verontreinigde bodem op de fabrieksterreinen zijn saneringsvoorstellen gedaan in het convenant dat de Vlaamse overheid met de zinkfabrieken in Vlaanderen heeft gesloten. De belangrijkste punten uit dit convenant zijn tevens opgenomen in het 'Actieplan Cadmium' (Ref. 10). Een korte opsomming van de belangrijkste voorgestelde maatregelen is opgenomen in onderstaand kader. Op het fabrieksterrein van Nyrstar Budel zijn in de jaren 90 veel maatregelen genomen. Zoals beschreven stroomt er geen grondwater meer ongecontroleerd naar de bodem of het oppervlaktewater.

In de Dommel is aangetoond dat 20 procent van de totale vracht ter hoogte van de Klotputten afkomstig is van de kwel vanaf het Nyrstar Overpelt terrein (Ref. 6). Voor de site bij Nyrstar Balen is berekend dat de kwel vanaf het fabrieksterrein de belangrijkste bron van verontreiniging voor de Molse Nete zal worden (Ref. 2 en Ref. 3). Door grondwaterbeheersmaatregelen te treffen kan deze verontreiniging worden teruggedrongen. Een aandachtspunt hierbij is de verplaatsing van de verontreinigingsbron. Door het grondwater op te pompen kan alsnog een grote vracht in het



oppervlaktewater komen. Een goede afvalwaterzuiveringstechniek is nodig om de totale vracht vanaf het fabrieksterrein ook absoluut te verminderen. Het voorkomen van de verspreiding van de verontreiniging in de ondergrond en de beheersbaarheid van de verontreiniging blijven grote voordelen van de grondwateronttrekking.

### **Geplande beheersmaatregelen fabrieksterreinen in Vlaanderen**

#### *Site Balen*

##### Fabrieksterrein

In 2005 is ca 1.000.000 ton grond afgegraven en vervangen

Om de verspreiding van de aanwezige grondwaterverontreiniging tegen te houden worden volgende maatregelen genomen:

- bemaling rond de stortplaatsen en optimalisatie van de grondwateronttrekking;
- oppompen van grondwater ter hoogte van de terreingrens richting woonwijk en richting Balim;
- aanleg van een nieuwe waterzuivering;
- isolatie van de deponie.

##### Woonwijken "Glasfabriek" en "Balen-Wezel"

- sanering van de woonwijken "Glasfabriek" en "Balen-Wezel"

##### Ruimere omgeving Balen:

- Momenteel zijn er nog geen concrete maatregelen.

#### *Site Overpelt*

##### Fabrieksterrein Nyrstar Overpelt Overpelt

- verwijdering van alle bodem met bodemvreemde materialen op niet duurzaam verharde terreingedeelten;
- isolatie van de goethiet bekkens

In het kader van de bodemsanering van het fabrieksterrein te Overpelt vond reeds een ontgraving plaats. De heropvulling is gestart op 08/06/2005.

Om de verspreiding van de aanwezige pluimen tegen te houden worden volgende maatregelen genomen:

- opvangen van de kwel ter hoogte van de Eindergatloop door middel van pompen of andere maatregelen;
- actieve sanering van met VOCI's en As verontreinigde spots;
- bemaling rond stortplaatsen;
- aanleg van een nieuwe waterzuivering (gestart);
- het bestuderen van de invloed van de sanering op/in de zandwinningsputten;
- optimalisatie van de grondwateronttrekking.

##### Nabije omgeving Overpelt (woonwijk "Cité Overpelt"):

- Afgraven van de privé-assewegen

#### *Site Lommel-Maatheide*

##### Fabrieksterrein voormalige Zinkfabriek

De bovenste sterk verontreinigde grond (bovenste 0,49 m) is reeds gesaneerd

##### Woonwijk "Werkplaats Lommel"

- Afgraven van de privé-zinkassewegen

## **5.1.2. Oppervlaktewater**

Voor het oppervlaktewater komt de verontreiniging zowel direct als indirect in het systeem. De bronnen bij het oppervlaktewater zijn:

#### *Direct*

- Afvalwaterlozingen terugdringen
- incidentele lozingen van verontreinigd hemelwater terugdringen

#### *Indirect*

- verminderen van kwel van fabrieksterreinen
- voorkomen van resuspensie van verontreinigde waterbodems

Om de aanvoer van cadmium en zink vanuit de bronnen naar het oppervlakte- en grondwater te beperken is in de uitgevoerde studies een groot aantal mogelijkheden bekeken. Veel van de maatregelen zoals het maaien van de oevervegetatie, het voorkomen van afstroming vanaf landbouwgebieden, etc. blijken geen substantieel (meetbaar) effect te hebben op de waterkwaliteit. De effecten zijn te klein om merkbaar te zijn. Uiteindelijk zijn per bron 1 of 2 maatregelen geïdentificeerd die effectief en technisch haalbaar zijn.

#### Afvalwaterlozingen terugdringen

De mogelijke maatregelen om de afvalwaterlozingen te beperken zijn:

- Lozingsvergunning fabrieksterreinen aanscherpen
- Lozingsvergunning RWZI's aanscherpen
- Rioleringsstelsel aanpassing/overstort verminderen

In watergangen van het type 3 vormen de afvalwaterlozingen door de zinkfabrieken, de RWZI's en de overstorten de belangrijkste bron voor de zinkverontreiniging. Voor de Dommel is dit ca 70 %. In de watergangen van het type 2 is de afvalwaterlozing (RWZI's en overstort) verantwoordelijk voor ca 30 % voor zink. De belangrijkste afvalwaterlozingen in de Kempen komen van de zinkfabrieken (o.a. de lozingen van Nyrstar Overpelt), de lozingen van de RWZI's en de overstort van hemelwater uit de riolen.

Om de lozing vanuit de zinkfabrieken te verkleinen is extra zuivering van het geloosde afvalwater nodig. Dit kunnen de overheden bereiken door de lozingsvergunning te toetsen aan zowel de best beschikbare technieken (BBT) als een emissie-immissie gestuurd beleid. De BBT is beschreven in referentie bladen die behoren bij de bijlage 1 van de Europese IPPC-richtlijn (Europese Richtlijn 96/61/EG). Het behalen van de gestelde vrachten zink en cadmium (en andere metalen) in het afvalwater kan op verschillende manieren worden bereikt. Bij Nyrstar Budel voldoet de aanwezige, op sulfideprecipitatie gebaseerde, afvalwaterzuivering aan deze voorwaarden. In andere zinkfabrieken in het gebied is dit niet het geval.

Met emissie-immissie gestuurd beleid wordt verwezen naar een waterkwaliteitsbeleid dat uitgaat van het ontvangende water in plaats van de eisen die aan het afvalwater van een inrichting worden gesteld. Bij lozingen op kleine watergangen heeft een kleine maar sterk verontreinigde afvalwaterstroom meteen een groot effect op de watergang. Het toekomstig waterkwaliteitsbeleid richt zich telkens meer op deze benadering (Kaderrichtlijn Water). Alle zinkfabrieken in de Kempen lozen op zeer kleine watergangen met een beperkt debiet en hebben met dit beleid te maken.

Bij de afvalwaterlozingen van de RWZI's speelt dezelfde problematiek. De afvalwaterstroom is relatief minder verontreinigd dan deze van de zinkfabrieken. De RWZI's werken op basis van de BBT en niet de concentratie in het afvalwater maar het volume van de afvalwaterstroom vanuit RWZI's is een probleem. De zinkconcentraties in het afvalwater vormen hierdoor een belangrijke bijdrage waardoor de waterkwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater worden overschreden. De gevoeligheid van het ontvangende water, door de hoge achtergrondconcentraties, voor extra bronnen vraagt om een bedachtzame omgang met het verlenen van vergunningen. Een tweede aspect vormt het zuiveringsproces. De RWZI's lozen vooral zink en geen cadmium. Het verkleinen van het volume afvalwater lijkt de meest haalbare maatregel om deze verontreinigingsbron te beperken. Dit kan mogelijk worden aangepakt in combinatie met het beperken van de incidentele lozingen.

#### Incidentele lozingen van verontreinigd hemelwater terugdringen

De lozingen vanuit het rioelstelsel en de afstroming vanaf het verhard oppervlak vormen een beperkte bron (ca 10 % van de totale vracht). Het volume en de kwaliteit van deze incidentele lozingen zijn met beperkte maatregelen goed te beïnvloeden. Hieronder worden enkele binnen het BeNeKempen genoemde maatregelen opgenomen:

- Bij gebruik van een (verbeterd)gescheiden rioelstelsel kan voorkomen worden dat het kwalitatief goede water (van daken, etc.) in het afvalwaterrioolstelsel komt en tot overstorten leidt.
- Afstromend water van (licht) verontreinigde oppervlakken als wegen kan geleid worden naar 'zaksloten' of infiltratieplekken, waar het vuilere afstromende water mag infiltreren en de verontreiniging wordt beheerst. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de kennis opgedaan met het toepassen van een bodempassage in de infiltratieproef te Hapert (Ref. 5).

Bij de infiltratieproef in Hapert is gebleken dat bij een bodempassage een sterke verbetering van de waterkwaliteit optreedt door enerzijds het neerslaan/afvangen van slib/oxidedeeltjes waaraan veel cadmium en zink zijn geadsorbeerd. Anderzijds treedt een kwaliteitsverbetering op door de adsorptie van cadmium en zink aan de bodemdeeltjes. Als hier gecontroleerd mee om wordt gegaan dan kan een grote waterkwaliteitsverbetering worden behaald.

#### Verminderen van kwel van fabrieksterreinen

De waterkwaliteit van de algemene grondwaterstroming (kwel) vanuit het grondwatersysteem naar de watergangen is niet te veranderen. De sterk verontreinigde en zeer lokale kwel vanuit de fabrieksterreinen is wel te beheersen. De volgende maatregelen zijn de belangrijkste:

- Aanleg van een site dekkend GBS in Balen en Overpelt.
- Evaluatie van het GBS in Budel

Door de ongecontroleerde grondwaterstroom te beheersen kan de voortgaande verontreiniging van het diepe grondwater en de watergangen worden voorkomen. Het opgepompte water moet wel behandeld worden zodat het geloosde afvalwater aan de kwaliteitsnormen voldoet. Doel moet zijn de totale vracht in het oppervlaktewater te beperken.

#### Voorkomen van resuspensie van verontreinigde waterbodems

De erosie en resuspensie van de waterbodem in de bovenloop van de beken is een natuurlijk proces en slechts beperkt beïnvloedbaar. Door het plaatsen van vaste stuwen kan de erosie lokaal niet meer optreden. De overstorthoogte van de stuw bepaalt de maximale diepte van de uitslijping door erosie. Dit betreft alleen het stuk watergang bovenstrooms van de stuw. Een maatregel om erosie te voorkomen zou kunnen zijn het aanleggen van meer kunstwerken. Het volledig beheersen en vastleggen van de watergangen is echter niet gewenst vanuit het huidige beleid (Kaderrichtlijn Water). Binnen het huidige beleid wordt juist het natuurlijke proces gestimuleerd.

Een andere situatie treedt op als er historisch (zwaar) verontreinigde waterbodems in de watergangen aanwezig zijn die door erosie of resuspensie hun omgeving kunnen verontreinigen. In de bovenlopen van de beeksystemen komen dit type verontreinigde waterbodems voor bovenstrooms van stuwen. De watergangen hebben zich na de aanleg van de stuw langzaam opgevuld totdat deze in evenwicht waren met de overstorthoogte van de stuw. Bij het afzetten van sediment kunnen sterk verontreinigde waterbodems zijn ontstaan. Om te voorkomen dat deze hun omgeving kunnen beïnvloeden als deze eroderen of in suspensie komen bij hoge afvoeren bestaat maar één maatregel:

- Saneren van verontreinigde waterbodems bovenstrooms van kunstwerken, watervallen, watermolens, etc.

Benedenstrooms en in zandvangen is de stroming lager en is van oudsher veel sediment afgezet. Vaak liggen hier dikke lagen sediment op de bodem en kan de verontreiniging groot zijn. De belangrijkste maatregel om te voorkomen dat dit verontreinigde sediment de benedenstroomse gebieden verontreinigt is:

- Sanering van de waterbodems en onderhouden sedimentvangen.

## **5.2. Afvangen van verontreinigingen**

Het afvangen van verontreinigingen in de transportfase in het oppervlaktewater heeft een beperkt effect. Dit heeft 2 oorzaken. Ten eerste is het grootste deel van de zware metalen vracht in het oppervlaktewater opgelost of gebonden aan lichte organische deeltjes die nauwelijks sedimenteren. Ten tweede is in de bovenstroomse delen van de beeksystemen de stroomsnelheid te hoog om iets te kunnen uitrichten. Als de bronnen beperkt worden zullen extra slibvangen niet veel aan de waterkwaliteit in het projectgebied bijdragen.

De benedenstrooms gelegen vlakke delen van de beken kunnen wel baat hebben bij een slibvang. De lokale kwel is in de benedenstroomse gebieden van betere kwaliteit en met een slibvang kan de aanvoer van 'verontreinigd slib' worden verminderd. Het slib dat bovenstrooms in chemisch evenwicht is met zijn omgeving vormt nog steeds een klasse 4 waterbodembodemkwaliteit. Dit levert alsnog een verontreiniging in de benedenstroomse gebieden. Het toepassen van slibvangen in deze gebieden kan bijdragen aan de beheersing van deze verontreiniging.

## **5.3. Beschermen van objecten**

Bij de risicoanalyse en de urgentie bepaling is gekeken naar de objecten die vanwege de waterkwaliteit een milieuhygiënisch risico lopen. Dit kan zijn dat er risico's voor flora, fauna of mensen ontstaan die maatschappelijk niet aanvaardbaar zijn. De objecten met de hoogste urgentie blijken de watergangen te zijn en met name de watergangen van het beektype 3. Dit heeft te maken met de lozing en kwel vanaf de fabrieksterreinen. Maatregelen hiervoor zijn in paragraaf 5.1 al opgenomen. Ook de beektypen 1 en 2 voldoen vaak niet aan de waterkwaliteitsnormen. De verontreiniging van het oppervlaktewater is diffuus en het gevolg van de waterkwaliteit in het grondwater. Er zijn geen doelmatige manieren om de watergangen hiertegen te beschermen. De aanvoer van cadmium en zink vanuit de aanwijsbare lokale bronnen is in de vorige paragraaf beschreven.

## **5.4. Grondwaterbeheer**

Grondwaterbeheer omvat het doelbewust reguleren van de grondwaterstand om bepaalde doeleinden te behalen. Hierbij kan gedacht worden aan grondwaterstandverlaging ten behoeve van de landbouw of bebouwing maar ook aan grondwaterstandverlaging voor de aanleg van nieuwe natuurgebieden. Beide principes komen voor en de uitvoering van de maatregel kan lokaal grote gevolgen hebben voor de beheersbaarheid van de cadmium- en zinkverontreiniging.

De grondwaterstandverlaging in agrarische gebieden leidt tot vertraging van de uitloging van de zware metalen naar het grondwater. Door bekalking wordt de pH van de bodem beïnvloed en het diepere grondwater wordt minder snel bereikt. Tegelijkertijd zal in de winter het grondwater minder hoog komen waardoor minder cadmium en zink worden afgevoerd.

In stedelijk gebied wordt de ondergrond beïnvloed door een veelvoud aan aspecten. Bij volledige verharding treedt er b.v. geen infiltratie meer op en zal uitloging geen kans krijgen. Als het grondwater laag wordt gehouden kan dit de uitloging nog verder terugdringen. Echter bij toepassing van drainage in nattere gebieden kan dit leiden tot versnelde afvoer van cadmium en zink uit de bodem. Veel is afhankelijk van de oorspronkelijke functie van de grond en de manier van inrichting bij bebouwing.

In het kader van de koppeling van natuurgebieden tot grote internationale ecologische hoofdstructuren worden landbouwgebieden omgezet tot natuur of worden natuurdoeltypen aangepast. Bij het omzetten van landbouwgebied in bosgebied stopt de bekalking en zal de bodem langzaam verzuren. De uitloging neemt hierdoor langzaam toe en het cadmium en zink verspreiden zich in de ondergrond.

Bij aanleg van een nat natuurgebied op landbouwgrond kunnen verschillende effecten optreden. Als een gebied afgesloten wordt waardoor oppervlaktewater niet kan afstromen wordt de infiltratie versterkt. De verzuring die zal optreden in combinatie met de infiltratie kan leiden tot een diepere verontreiniging dan mogelijk gewenst. Indien de vernatting wordt bereikt door de watergangen te verondiepen (of door stuwing van het waterpeil), dan ontstaat een situatie vergelijkbaar met de wintersituatie, zie paragraaf 3.3.1. De aanwezige verontreiniging zal via ondiepe grondwaterstromen naar de watergangen worden meegenomen en via het oppervlaktewater worden afgevoerd.

Grondwaterbeheer heeft vooral een lokaal effect op de grondwaterstroming en de verplaatsing van de verontreiniging. De effecten werken vooral versnellend of vertragend op de uitloging en leiden in uitzonderlijke gevallen tot een grotere verspreiding van de zware metalen. Het is belangrijk dat het effect van de grondwaterstandsverandering op de verspreiding van de zware metalenverontreiniging een integraal onderdeel wordt bij de afweging bij het inrichten van gebieden. Het toepassen van grondwaterbeheer om milieuhygiënische risico's te beperken is in uitzonderlijke gevallen mogelijk.

## **5.5. Monitoring en voorlichting**

Door het project BeNeKempen en de werkgroep Water in het bijzonder zijn veel studies naar de verspreiding en ernst van de cadmium- en zinkverontreiniging in de Kempen gedaan. Bij de vele studies zijn rekenmodellen gebruikt en zijn analyses uitgevoerd naar de huidige situatie en de toekomstige ontwikkeling van de waterkwaliteit. Bij de verschillende studies zijn veel aannames gemaakt en is de heterogeniteit van de bodem, de neerslag en de verontreiniging beperkt meegenomen. De werkelijkheid in het veld kan altijd complexer zijn en lokaal tot andere uitkomsten leiden. Daarom is monitoring een wezenlijke maatregel om de risico's in de toekomst klein te houden en adequaat te kunnen reageren op onvoorziene ontwikkelingen.

Belangrijke objecten die gemonitord moeten worden zijn de waterkwaliteit van:

- het ondiepe grondwater
- het diepe grondwater
- industriële en drinkwateronttrekkingen
- het oppervlaktewater
- de (afvalwater)lozingen
- naleving van vergunningen

De grootste lacune in de monitoring bestaat bij het ondiepe grondwater. Voor het ondiepe grondwater is het niet mogelijk maatregelen te nemen om de verslechtering van de waterkwaliteit tegen te gaan. De waterkwaliteit van het ondiepe grondwater kan hierdoor de waterkwaliteitsnormen voor gebruik

overschrijden. Tegelijkertijd wordt het ondiepe grondwater lokaal door mensen gebruikt, die waterputten hebben voor eigen of agrarisch gebruik. Het gebruik van het ondiepe grondwater kan niet gecontroleerd worden. Om milieuhygiënische ongevallen te voorkomen is voorlichting de beste maatregel. Hiernaast kan een periodiek testprogramma worden opgezet om gegevens over het ondiepe grondwater op de lange termijn te verzamelen.

De monitoring van de overige objecten is momenteel al institutioneel geregeld maar sterk over de verschillende partijen verspreid. De samenwerking in het BeNeKempen project tussen Vlaanderen en Nederland, waterschappen en gemeenten, drinkwatermaatschappijen en milieuambtenaren heeft al veel inzicht in elkaars kennis en bezigheden opgeleverd. Om de monitoring de komende decennia goed te regelen is verdere afstemming tussen de partijen en een blijvende coördinatie gewenst. Belangrijk hierbij is dat er behalve monitoring ook een alarmeringssysteem bestaat waarbij ongewenste ontwikkelingen worden herkend en leiden tot aanvullende maatregelen.

## **5.6. Verwerkingsmogelijkheden van reststoffen**

De voorgestelde maatregelen om de verontreinigingsbronnen aan te pakken leiden tot een grote stroom van verontreinigde grond en afvalwater. De belangrijkste stromen hierbij zijn:

- verontreinigde baggerspecie
- verontreinigd water uit onttrekkingen rondom saneringen (o.a. zinkaswegen, fabrieksterreinen en omgeving)
- verontreinigde grond bij herinrichting van beken en watergangen

### **5.6.1. Baggerspecie**

Het project BeNeKempen heeft onderzoek gedaan naar het hergebruik van de vrijkomende baggerspecie bij waterbodemsanering (Ref. 15). Uitgaande van de Vlarenorm (Vlaamse regelgeving) blijkt 10 % – 15 % van de baggerspecie niet herbruikbaar. Indien de zandfractie schoon is kan het volume verontreinigde grond worden verkleind tot ca 2,8 %. Voor het Nederlands deel van de Kempen geldt het Bouwstoffenbesluit (Nederlandse wetgeving). Als de waterbodems van vergelijkbare kwaliteit zijn als in België dan is onder de Nederlandse wetgeving 41 % van de baggerspecie niet meer herbruikbaar. Na scheiding van de zandfractie zou hiervan nog 11,5 % overblijven.

Bij scheidingsproeven in Nederland (Ref. 7) is gebleken dat een zandscheiding op basis van korrel diameter niet het gewenste resultaat oplevert. Zelfs na hydrocycloneren, het afscheiden van de organische fractie in een zand/koolscheider, het scrubben van de bodem en nogmaals hydrocycloneren blijkt de zandfractie verkregen uit de waterbodems uit Eindhoven en Valkenswaard niet herbruikbaar. De cadmiumfractie in het grondmengsel gaat sterk omlaag van 300 mg/kg ds naar 8,4 mg/kg ds en de zinkconcentratie van 3.000-15.000 mg/kg ds naar 650 mg/kg ds. De zandfractie blijft echter klasse 3 volgens het bouwbesluit en klasse 4 binnen de Triademethodiek (Vlaanderen). De reden hiervoor is dat er mogelijk zinkasdeeltjes (ertsdeeltjes) in het zand aanwezig zijn die niet kunnen worden verwijderd. De waarschijnlijke aanwezigheid van de zinkasdeeltjes is ook bij de ruiming van de zandvang De Klotputten en De Vleut gevonden en in het project Water- en stoffenbalans in drie beken (Ref. 6).

Deze verontreiniging met zinkasdeeltjes komt gezien de aard van de deeltjes alleen voor benedenstreams van de zinkfabrieken en dan op plaatsen waar in de jaren tot 1973 sedimentatie heeft plaatsgevonden. Deze locaties vallen helaas samen met de bestaande verontreinigde waterbodemplacaties. Bij sanering moet dus rekening worden gehouden met de onmogelijkheid om een 'schone' zandfractie te kunnen afscheiden. Dit betekent dat de gedachte volumewinst niet op zal treden. Bij het storten van baggerspecie moet uit worden gegaan van 10 % van het volume in het Vlaamse deel van de Kempen en 41 % van de baggerspecie in het Nederlandse deel van de Kempen.

Bij het storten van baggerspecie is het storten in oude zand- of kleiputten niet mogelijk vanwege de verspreidingsrisico's via het grondwater. De stort van de verontreinigde baggerspecie onder gecontroleerde condities blijft de enige juridisch en milieutechnisch haalbare maatregel. Bij toepassing van beplanting om de zware metalen verontreiniging in het slib te verkleinen bleek dat de opname van zware metalen (fytoextractie) zeer beperkt is en geen duidelijke voordelen oplevert.

Matig verontreinigde baggerspecie (tot klasse 2 volgens het Bouwbesluit) wordt nog op de kant gezet. Om de cadmium en zink verontreiniging vanuit deze baggerspecie naar de omgeving te beperken zijn er verschillende mogelijkheden. Bij afzet op de kant kan rekening worden gehouden met de uitspoeling en kan toepassing van simpele maatregelen de verspreiding tegen gaan:

- bekalken van de bovenlaag van de grond om de pH te verhogen
- verhoging van de bindingscapaciteit van de bodem met klei of compost
- toepassing van silicaten en mangaanoxide om de uitspoelende metalen neer te slaan (fixeren)

### **5.6.2. Verontreinigd bronneringswater**

De maatregelen om de verontreiniging te saneren, beheersen of te verkleinen leveren naast verontreinigde grond ook een volume verontreinigd water op. De belangrijkste bronnen van verontreinigd water zijn:

- sanering van zinkaswegen
- grondwaterbeheerssystemen

Bij het saneren van verontreinigde oppervlakken zoals zinkaswegen en fabrieksterreinen wordt de verontreiniging afgegraven en ook een deel van de ondergrond meegenomen. In natte (kwel) gebieden levert dit problemen op omdat de gegraven put vol loopt met water. Bij de sanering wordt daarom grondwater onttrokken om de graafwerkzaamheden te kunnen uitvoeren. Het onttrokken water (bronneringswater) is verontreinigd.

Een grondwaterbeheerssysteem onttrekt grondwater vanuit en/of rondom een verontreinigd gebied. Hierdoor kan het verontreinigde water niet buiten het beheersgebied komen en zich verspreiden. Het onttrokken water is vaak sterk verontreinigd.

Het verontreinigde bronneringswater moet gezuiverd worden voordat het op het oppervlaktewater geloosd wordt. Hiertoe zijn 2 mogelijke en economisch haalbare maatregelen geïdentificeerd. De eerste mogelijkheid betreft het lozen naar de rioolwaterzuivering (RWZI). Hierbij worden voorwaarden aan de RWZI gesteld zodat het meer is dan het verdunnen van de concentratie. De tweede maatregel bestaat uit het herinfiltreren van het water. Het herinfiltreren heeft een aantal voordelen zoals beschreven in paragraaf 5.2.1. Tijdens de infiltratie wordt het zwevend stof uit het water gefilterd en blijft dit achter op het oppervlak. Hiernaast vindt sorptie plaats in de bovenste bodemlaag waardoor de verontreiniging sterk in de toplaag van de bodem wordt geconcentreerd. Na de bodempassage kan het water doorstromen naar het grondwater of opgevangen worden en in de watergangen worden geloosd. In de infiltratieproef bij Hapert bleek de waterkwaliteit voldoende goed te zijn (Ref. 5).

## 6. Voorstel tot beheersmaatregelen

De werkzaamheden van de Werkgroep Water binnen het BeNeKempen project heeft een grote hoeveelheid informatie opgeleverd. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de technisch inhoudelijk kennis en de institutionele organisatorische kennis. De technisch inhoudelijke kennis omvat de verontreiniging in de huidige situatie, de beheersbaarheid van de verontreinigingen, de toekomstige ontwikkelingen in de verontreiniging en de mogelijke maatregelen. De institutionele kennis betreft de verschillen in regelgeving, de opdeling van de verantwoordelijkheden over de waterlichamen over de verschillende organisaties.

Aan de hand van de verkregen kennis is een voorstel tot beheersmaatregelen opgesteld. Het voorstel omvat voorkeursmaatregelen die leiden tot de meest doelmatige situatie en omgang met de verontreiniging in de Kempen. Doelmatig wordt hierbij uitgelegd als technisch, financieel, juridisch en organisatorisch haalbaar. Het voorstel volgt de indeling van het eindrapport en gaat in op zowel de technisch inhoudelijke als de institutioneel organisatorische aspecten. Hiernaast biedt het voorstel handvatten voor het invoeren van de nieuwe regelgeving in de Kaderrichtlijn Water (Richtlijn Grondwater). De Richtlijn Grondwater richt zich erop om verspreiding van de verontreiniging tot buiten het verspreidingsgebied te voorkomen en binnen het verspreidingsgebied te verminderen. De situatie in de Kempen is uniek, door het gebied als verspreidingsgebied aan te merken kan deze binnen de regelgeving een plaats krijgen. De hieronder opgenomen voorstellen en gewenste afstemming zijn hierop gericht.

Bij de keuze van de maatregelen wordt uitgegaan van de voorkeur voor brongerichte maatregelen boven zogenoemde 'end-of-pipe' maatregelen. Het principe hierbij is dat de verontreiniging die niet wordt veroorzaakt ook niet tot problemen of beheersmaatregelen kan leiden. De historische verontreiniging kan niet meer worden teruggedraaid. De huidige voortgaande verontreiniging moet zo veel mogelijk worden voorkomen.

### 6.1. *Institutioneel – juridische aspecten*

De institutioneel-organisatorische en juridische aspecten zijn gescheiden opgenomen. Onder de institutionele aspecten zijn voorstellen met betrekking tot de organisatie, de verantwoordelijkheden en de communicatie opgenomen. Onder de juridische aspecten zijn voorstellen opgenomen die ingaan op normstelling voor water en waterbodems in het gebied en de vergunningverlening.

#### 6.1.1. **Institutioneel-organisatorische aspecten**

Het BeNeKempen project heeft een tweetal karakteristieke eigenschappen van de verontreiniging in de Kempen duidelijk gemaakt. Ten eerste is de verontreiniging van het grond- en oppervlaktewater in de Kempen een bijna permanente situatie waarbij de waterkwaliteit nog generaties (meer dan honderd jaar) beïnvloed zal blijven door de historische verontreiniging met cadmium en zink. Ten tweede is in het project gekeken naar de globale lange termijn effecten. Lokaal kunnen zich echter situatie voordoen waardoor niet acceptabele verontreinigingssituaties ontstaan. Beide eigenschappen betekenen dat het project BeNeKempen niet het einde vormt, van de aanpak van de verontreiniging in de Kempen, maar het begin. Nu er kennis bestaat over de mogelijke ontwikkelingen en risico's is het belangrijk om de normen en kaders voor de toekomst neer te leggen en deze binnen het gebied te realiseren en toe te passen.

#### Overkoepelend beheer

In de huidige situatie bestaat een duidelijke maar versnipperde structuur van organisaties die zich bezig houden met verschillende delen van de waterkringloop. Het hebben en behouden van overzicht over de waterkwaliteitsontwikkeling is daarom niet vanzelfsprekend. Om de verontreiniging in de komende generaties te beheersen en te monitoring is een éénduidige taaktoedeling hiervan gewenst. Voor een goede taakinvulling moet deze toegekend worden aan een bestuurlijke organisatie die de bevoegdheden, middelen en verantwoordelijkheden heeft om te kunnen sturen in de maatregelen, vergunningverlening, monitoring en actie kan ondernemen bij lokale verontreinigingen. In Nederland biedt de invoering van de Waterwet hiertoe mogelijk kansen. Bij de taaktoedeling moet duidelijkheid zijn over de werkzaamheden die hieronder vallen. Deze moet minimaal het volgende inhouden: jaarlijkse verslaglegging van de ontwikkelingen, sturing op de regionale normering voor

(grond)water(bodem)kwaliteit, centrale coördinatie monitoring en het bijhouden van de bestaande kennis (o.a. de metadatabase uit de BeNeKempen inventarisatie).

#### Vastleggen kaders voor verdere ruimtelijke ontwikkelingen

De resultaten van de werkgroep Water in het project BeNeKempen leveren genoeg informatie en inzicht in de toekomstige ontwikkelingen om nieuwe beleidskaders voor de Kempen op te stellen. De resultaten leiden zowel tot nieuwe beleidskaders voor zowel de ruimtelijke ontwikkeling van het gebied als de normering voor de grondwater- en water(bodem)kwaliteit. Nieuwe grootschalige ontwikkelingen, zoals o.a. de aanleg van natuurgebieden of agrarische concentratiegebieden kunnen een effect hebben op de ontwikkeling van de waterkwaliteit of kunnen gezien de waterkwaliteit onwenselijk zijn. Een mogelijk voorbeeld dat kan optreden is bv. dat verandering van een gebruiksfunctie leidt tot het beperken van de water gerelateerd recreatie in een ander gebied. De koppeling tussen de ontwikkelingen en de effecten hiervan op de omgeving moeten onderdeel worden van de beleidsafwegingen. Hiervoor moeten nieuwe (afwegings)kaders worden opgesteld. Wat de kwaliteitsnormen betreft zijn ook nieuwe beleidskaders nodig. Uit de projectresultaten blijkt dat de in Nederland geldende waterkwaliteitsnormen voor oppervlaktewater de komende generaties niet haalbaar zijn. Gebiedseigen normen zijn daarom noodzakelijk.

#### Vlaams-Nederlands overleg

Het probleem is grensoverschrijdend en het project BeNeKempen heeft de voordelen van de internationale aanpak bewezen. Ook na afronding van het project blijft overleg nodig om tot goede afstemming van gegevens, beleid en regelgeving te komen. Om te voorkomen dat de betrokken organisaties weer terugvallen in de oude overlegpatronen is blijvende aandacht voor communicatie noodzakelijk. Het overleg kan mogelijk worden gekoppeld aan het overleg dat in het kader van b.v. de kaderrichtlijn Water (KRW) en de Europese richtlijn Veiligheid wordt opgezet.

### **6.1.2. Juridisch**

De zware metalen problematiek van de Kempen wordt momenteel bekeken tegen de achtergrond van de landelijk geldende wet en regelgeving. Door de uitzonderlijke situatie en de continuïteit van de problematiek is aanpassing van het regelgevingkader nodig voor met name de waterkwaliteit gerelateerde aspecten.

#### Gebiedsgerichte normen voor oppervlaktewaterkwaliteit

Het ondiepe grondwater bepaalt de waterkwaliteit in de kleinere watergangen (greppels, perceelstoten, etc.). De cadmium en zinkconcentratie in deze watergangen ligt in grote lijnen met de Vlaamse waternormen maar overschrijdt de Nederlandse MTR-norm voor b.v. zink met een factor 5 tot 10. De waterkwaliteit zal de komende generaties niet verbeteren waardoor het behouden van de MTR-norm niet realistisch is. Voorgesteld wordt om voor de gemeenten in het projectgebied van het project BeNeKempen een gebiedseigen waterkwaliteitsnorm vast te stellen. Afstemming tussen Vlaanderen en Nederland is essentieel om realistische waterkwaliteitsnormen op te stellen.

#### Gebiedsgerichte normen voor waterbodembodemkwaliteit

Uit het project BeNeKempen (Ref. 6) is gebleken dat de cadmium- en zinkconcentraties kunnen oplopen tot ca 4 mg/kg ds cadmium en 350 mg/kg ds zink ten gevolge van de grondwaterkwaliteit (kwel instroom). Deze waarden vallen binnen de MTR-waarden voor waterbodems in Nederland maar overschrijden de waarden voor de gewenste Klasse 1 in Vlaanderen. Ook voor waterbodems zijn daarom gebiedsgerichte kwaliteitsnormen (doelstellingen) noodzakelijk. Voor het opstellen hiervan geldt net als voor de waterkwaliteit dat de afstemming tussen Vlaanderen en Nederland essentieel is.

#### Geen nieuwe regelgeving voor waterbodems nodig

Binnen de huidige regelgeving lijkt er geen regionaal specifieke beperking te bestaan. De regelgeving biedt voldoende mogelijkheden om waterbodems die ontstaan ten gevolge van de achtergrondconcentraties af te zetten. Daar waar afvoer van de baggerspecie nodig is, is dit ook duidelijk ten gevolge van industriële lozing. Met de voorgestelde maatregelen rond de vergunningverlening en de sanering van de fabrieksterreinen (incl. GBS) zou in de toekomst geen nieuwe waterbodembodem van klasse 3 of 4 meer 'mogen' ontstaan.

Per 1 januari 2008 is in Nederland de regelgeving met betrekking tot het hergebruik van baggerspecie aangepast (Besluit Bodembodemkwaliteit). Deze lijkt voornamelijk niet te leiden tot een andere conclusie. Met name de interventiewaarden (saneringsnormen) voor cadmium en zink zijn iets soepeler geworden en



de kwaliteit van de ontvangende bodem is van belang bij verspreiding van baggerspecie. De afstemming van de regelgeving in Vlaanderen en Nederland blijft een punt van aandacht.

#### Lozingvergunningen op basis van BBT principe

De huidige vergunningen voldoen niet altijd aan de BBT (best beschikbare techniek) principes. Dat is wel een uitgangspunt in veel regelgeving. Als de vergunningverlening wordt aangepast en nog sterker het BBT principe als uitgangspunt neemt dan levert dit de gewenste verbetering op voor de waterkwaliteit en de waterbodems.

## **6.2. Technisch inhoudelijke aspecten**

Het waterkwaliteitsprobleem is langdurig en de grootste flux moet in veel beken nog gaan optreden. Dit leidt tot de volgende beheersmaatregelen.

#### Geen maatregelen maar monitoring van ondiep grondwater

De infiltratie en uitloging van verontreiniging is niet te stoppen. Maatregelen kunnen retardatie (vertraging van de uitspoeling) opleveren maar daardoor blijft het probleem nog langer bestaan. De grootste verontreiniging bevindt zich in het ondiepe grondwater en zal ook in deze zone (tot 30 meter diep) aanwezig blijven. Deze verontreiniging is niet te voorkomen en zal als randvoorwaarde voor zowel het land- als het watergebruik gaan gelden. Om milieuhygiënische risico's te voorkomen is wel een goede monitoring van het zware metalentransport in deze zone nodig.

#### Geen maatregelen maar monitoring van diep grondwater

Het transport naar het diepe grondwater is een onomkeerbaar proces. Uit berekeningen blijkt dat in grote gebieden de verontreiniging in het ondiepe grondwater blijft en alleen in de 'infiltratie zones' naar het diepe grondwater doorstroomt. Om te bepalen of deze stroming volgens verwachting verloopt, is monitoring van het diepe grondwater nodig.

#### Bodempassage bij overstort hemelwater

De belangrijkste incidentele lozingen zijn de overstortlozingen van hemelwater uit de riolen. Door een doordacht ontwerp en het gebruik van de positieve effecten van bodempassage (ref...) kan de waterkwaliteit van de incidentele lozingen sterk verbeterd worden. Juist door de aanwezigheid van veel zwevende stof vanuit het riool kan makkelijk worden afgevangen. Bij toepassing van bodempassage moet wel rekening worden gehouden met regelmatig onderhoud van de infiltratiesloot/bekken.

#### Grondwaterbeheersing in sites Balen en Overpelt

Het belang van verontreinigde kwel vanaf de fabrieksterreinen is nu al een belangrijke verontreinigingsbron. Zonder aanvullende maatregelen zal het belang van deze kwelstroom in de toekomst verder toenemen. Om ernstige verontreiniging van de waterkwaliteit in de toekomst te voorkomen is een grondwaterbeheerssysteem nodig die de gehele site van de fabriek omvat. De gebruikte technieken bij het GBS en de waterzuiveringen moet robuust zijn. De sites zullen nooit meer schoon worden en de systemen worden voor lange periodes aangelegd. Bij de toepassing van de GBS systemen en de zuivering kan het systeem bij Nyrstar Budel als voorbeeld dienen.

#### Bodempassage bij bronnering

Bij bouwwerkzaamheden in het gebied wordt regelmatig grondwater onttrokken. Om te voorkomen dat verontreinigd water direct geloosd wordt op het oppervlaktewater is een werkmethode nodig waarin snel duidelijk is of een bodempassage en/of extra aanvullende behandeling oxide-toevoeging, bekalking, etc. nodig is. De noodzaak hiertoe kan worden afgekaderd aan de hand van o.a.: onttrokken volume grondwater, verontreinigingsgraad van het grondwater, aanwezigheid van oppervlaktewater in de omgeving.

#### Baggeren op maat

In het voorstel voor gebiedsgerichte waterbodemnormen is vermeld dat in de watergangen bodems kunnen optreden met hogere concentraties aan cadmium en zink. De variatie in de concentraties is sterk afhankelijk van de lokale situatie en de historie. Als de verontreiniging lokaal bepaald is (b.v. kwelkwaliteit, aanwezigheid organisch materiaal) dan heeft sanering van de waterbodems om milieuhygiënische redenen weinig zin.

Verontreinigde bodems in de erosieve delen van de beken moeten herleidbaar zijn uit de lokale situatie of de historie. In watergangen van het beektype 3 kunnen sterk verontreinigde bodems

voorkomen ten gevolge van historische afzettingen. Hier kan het saneren of baggeren van de watergang tot een grote verbetering van de waterbodemkwaliteit leiden omdat de nieuwe afzettingen van betere kwaliteit zijn. In het benedenstroomse deel van de beken waar sedimentatie de overhand heeft kan baggeren om milieuhygiënische redenen de kwaliteit van de waterbodem (tijdelijk) verbeteren.

Bij baggerwerkzaamheden om de waterbodemkwaliteit te verbeteren moet iedere keer duidelijk worden afgewogen of het doelmatig is en de verontreiniging niet de achtergrondwaarde aangeeft.

#### Wel of niet toepassen van zandscheiding

Het toepassen van zandscheiding om het volume baggerspecie te verminderen is zinvol in de watergangen waar geen zinkfabriek op heeft geloosd en toch een sterk verontreinigde waterbodem voorkomt. In de watergangen van het type 3 is eerst een proefscheiding nodig om te bepalen of de cadmium en zinkconcentratie genoeg kan worden verlaagd. Het lijkt interessant om gezamenlijk (Vlaanderen en Nederland) hiervoor een eenvoudige proefmethode te ontwikkelen.

Bij vervuilde baggerspecie benedenstrooms van zinkfabrieken moet worden uitgegaan van niet hebruikbare baggerspecie en gecontroleerde stort van de baggerspecie.

#### Aanpassing van monitoring

Om de verontreiniging te beheersen moeten nieuwe delen in de hydrologische cyclus worden opgenomen in de monitoring (zie ondiep en diep grondwater). Hiernaast is in het project BeNeKempem gebleken dat de verontreiniging wordt veroorzaakt door een beperkt aantal verontreinigingsbronnen en het transport van de verontreiniging door het beekstelsel zeer snel verloopt. Om meer grip op de lozingen te krijgen moet de monitoring op deze nieuwe eigenschappen worden afgestemd. Hierbij kan worden aangesloten bij de bestaande meetnetten en de huidige ontwikkelingen rondom o.a. de Kaderrichtlijn Water en in Nederland de Waterwet.

## Referenties

1. Van der Griff, B; Bronders, J; Joris, I; Seuntjes, P.; Janssen, G; De Smedt, F; 'Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen, Fase 1: Inventarisatie' concept; TNO, VITO, Vrije universiteit Brussel, maart 2007.
2. Van der Griff, B; Bronders, J; Joris, I; Seuntjes, P.; Janssen, G; De Smedt, F; 'Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen, Fase 2: Modellerings' concept; TNO, VITO, Vrije universiteit Brussel, januari 2008.
3. Van der Griff, B; Bronders, J; Joris, I; Seuntjes, P.; Janssen, G; De Smedt, F; 'Een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen, Fase 3: Scenario's' concept; TNO, VITO, Vrije universiteit Brussel, januari 2008.
4. Kroes, J.G.; Bonten, L.T.G.; Groenendijk, P.; 'Dynamische modellering van cadmium en zink transport in het stroomgebied van de Keersop, Subtitel: Bijdrage aan een grondwatermodel voor de Vlaamse en Nederlandse Kempen' concept; TNO, Alterra; 2008; ISSN 1566-7197
5. Olie, F.J.; Taat, J.; 'Infiltratieproef met zware metalen verontreinigd grondwater, aan de Castersedijk te Hpert (gemeente Bladel)'; Project BeNeKempen, juli 2007.
6. Soresma, Oranjewoud, Alterra; 'Water en stoffenbalans voor de drie beken in het grensgebied van de Vlaamse en Nederlandse Kempen, hoofdrapport', Project BeNeKempen; september 2007.
7. Niebeek Milieumanagement; 'Verwerkingsmogelijkheden Baggerspecie Dommel', project BeNeKempen; januari 2008.
8. Brochures BeNeKempen
9. ABdK; 'Gebiedsgericht Grondwaterbeheer De Kempen; Voorstel voor een effectgestuurde systeemaanpak', juni 2007.
10. 'Actieplan Cadmium'; Vlaams ministerie van Openbare Werken, Energie, leefmilieu en Natuur; februari 2006.
11. 'Kaartenatlas'; BeNeKempen
12. 'Nieuwsbrieven'; ABdK 1 tot 10
13. VITO, Royal Haskoning, TNO, Alterra; 'Inventarisatie van data en kennis ten behoeve van het BeNeKempen project'; project BeNeKempen; oktober 2006.
14. Naar systeemgerichte oplossingen op het juiste gebiedsniveau
15. BOVA; 'Beheer en hergebruik van ruimingslib uit waterlopen onderhevig aan verontreiniging met zware metalen in het BeNeKempen gebied'; Openbare Vlaamse Afvalstoffen Maatschappij; november 2007
16. Waterschap De Dommel; 'Intern memo "Vergelijking vergunningseisen Zinifex versus Umicore"'.  
17. Waterschap De Dommel; 'Wvo-vergunning aan Zinifex, Budel BV, no O-04-05883'; Waterschap De Dommel; 28 mei 2004