

Natuurlijke immobilisatie van zware metalen in de Roeventerpeel



# Natuurlijke immobilisatie van zware metalen in de Roeventerpeel

J. Harmsen,  
A. van den Toorn  
A.J. Zweers

Alterra-rapport 1125

Alterra, Wageningen, 2005

## REFERAAT

Harmsen J., A. van den Toorn & A.J. Zweers, 2005. *Natuurlijke immobilisatie van zware metalen in de Roeventerpeel*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1125. 42 blz.; 9 fig.; 6 tab.; 22 ref.

De waterbodem in Roeventerpeel is verontreinigd met cadmium en zink. Het is een voor de natuur potentieel belangrijk vengebied. Voor de ontwikkeling van dit gebied is verwijdering van de waterbodem van belang. De zware metalen in de waterbodem zijn via het grondwater aangevoerd en vastgelegd als sulfide. Naast de vastgelegde zware metalen is in de waterbodem een grote hoeveelheid ijzersulfide gevormd. Dit beperkt de mogelijkheden voor verwerking, omdat opsalg boven het grondwaterniveau zal leiden tot sterke verzuring. Het principe van natuurlijke immobilisatie kan ook worden gebruikt voor de verwerking van de te verwijderen baggerspecie, zodat zowel de zware metalen als het ijzersulfide niet zullen zorgen voor schadelijke effecten. Het vengebied en de directe omgeving voldoen aan de te stellen randvoorwaarden.

Trefwoorden: Kempen, zware metalen, natuurlijke immobilisatie, ijzersulfide natuurontwikkeling

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 25,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1125. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Belangrijkste sturende factoren	11
2.1 Sulfide chemie	11
2.2 Grondwaterstand	13
3 Beschrijving van de uitgangssituatie in de Roeventerpeel	15
3.1 Bodemkwaliteit	15
3.2 Waterkwaliteit	18
3.3 Hydrologie	19
3.4 Kwaliteit en kwantiteit	20
4 Verificatie van optreden natuurlijk immobilisatie	21
4.1 Diepe boringen	21
4.2 Redoxpotentiaal	22
5 Naar oplossingen in de Roeventerpeel	31
5.1 Omgaan met de aanwezige waterbodem	31
5.1.1 Hoeveelheid te verwerken baggerspecie	31
5.1.2 Oplossingsrichtingen	32
5.1.2.1 Oplossing in het af te graven gebied	32
5.1.2.2 Grootschalige oplossingen	33
5.2 Toekomstige kwaliteitsontwikkelingen.	34
6 Conclusies	37
Referenties	39
 <b><i>Bijlage</i></b>	
1 Gloeiverlies en gehalten aan cadmium, zink, ijzer en zwavel in bodemmonsters op verschillende locaties. De locaties zijn weergegeven in figuur 4.	41



## Samenvatting

In het natuurgebied Roeventerpeel is de waterbodem verontreinigd met zware metalen, wat een probleem kan opleveren bij verdere ontwikkeling van dit potentieel belangrijke natuurgebied. Het gebied is in beheer bij het Limburgs Landschap. Verwijderen van de baggerspecie is financieel geen haalbare mogelijkheid en er moet naar een methode worden gezocht om op een zodanige wijze met de specie om te gaan dat ecologische risico's drastisch worden verlaagd en de zware metalen verdere ontwikkeling van het gebied niet in de weg staan.

Uitgaande van bestaande metingen is door Alterra in opdracht van het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK) vastgesteld, dat natuurlijke immobilisatie door middel van vastleggen van de aanwezig zware metalen als metaalsulfiden mogelijk is in de Roeventerpeel. Het werkelijke optreden van dit proces in de Roeventerpeel is bevestigd door middel van een door Alterra uitgevoerd aanvullend veldonderzoek. Bij dit onderzoek is vastgesteld dat vastlegging van de zware metalen in het gehele gebied plaatsvindt. De bron van de zware metalen is aanwezigheid van deze metalen in lage concentraties in het opkwellende grondwater. Tevens is geconstateerd dat er grote hoeveelheden ijzersulfide aanwezig zijn in de bodem. Dit geeft een groot risico voor de natuurontwikkeling, omdat bij droogvallen van het systeem er een sterke verzuring van de bodem zal plaatsvinden.

Oplossingen zijn gegeven voor oplossing van het waterbodemp probleem in het gebied zelf. Helaas is de hoeveelheid te verwerken baggerspecie zodanig groot dat hoogst waarschijnlijk ook het naastgelegen gebied bij de oplossing moet worden betrokken. Oplossingen moeten worden gezocht door samenwerking van beheerder, bevoegd gezag, ABdK en onderzoek.





# 1 Inleiding

In het natuurgebied Roeventerpeel is de waterbodem verontreinigd met zware metalen, wat een probleem kan opleveren bij verdere ontwikkeling van dit natuurgebied. Het gebied is in beheer bij het Limburgs Landschap. Verwijderen van de baggerspecie is financieel geen haalbare mogelijkheid en er moet naar een methode worden gezocht om op een zodanige wijze met de specie om te gaan dat ecologische risico's drastisch worden verlaagd en de zware metalen verdere ontwikkeling van het gebied niet in de weg staan. Dit in overeenstemming met het nieuwe beleidskader verwoord in de Beleidsbrief Bodem (2003), waarin het omgaan met baggerspecie een belangrijke plaats inneemt.

De Roeventerpeel ligt in het Limburgse deel van de Kempen, een groot gebied waar de Nederlandse en Belgische zinkindustrie heeft gezorgd voor een diffuse verontreiniging. Het Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK) zoekt naar mogelijkheden om te komen tot een kwaliteitsverbetering van de bodem in het gehele gebied. De Roeventerpeel is hier een onderdeel van. Door Bioclear (van der Waarde et al., 2003) is nagegaan wat de mogelijkheden zijn van het gebruik van wilgen om op termijn de zware metalen in een landfarmachtige situatie te verwijderen. Dit vereist het baggeren van de verontreinigde waterbodem en transport naar een locatie waar de specie kan ontwateren. Voorzorgen moeten worden genomen om de effecten van uitspoeling te voorkomen. De aangedragen opties zijn duur en kunnen niet worden gedragen door het Limburgs Landschap. In deze notitie wordt niet verder op de verdere voors en tegens van deze opties ingegaan.

Zware metalen als cadmium en zink zijn een probleem als de (biologische) beschikbaarheid voor opname in planten, water- en bodemorganismen en uitspoeling naar het grondwater te groot is en daardoor aanleiding geeft voor onacceptabele risico's. De beschikbaarheid van zware metalen kan worden verlaagd, door gebruik te maken van verschillende additieven met een immobiliserende werking. Een alternatief hiervoor is de toepassing van een natuurlijk gevormd immobilisaat, de vorming van zeer slecht oplosbare metaalsulfiden. Dit concept van natuurlijk immobilisatie is uitgewerkt door Alterra (Harmsen et al., 2001 en 2002). Belangrijk hierbij is dat natuurlijke immobilisatie niet overal inzetbaar is, omdat moet worden voldaan aan een aantal randvoorwaarden.

Sulfide wordt alleen gevormd onder anaërobe (zuurstofloze) omstandigheden. Zodra zuurstof kan toetreden, worden gevormde metaalsulfiden geoxideerd en daardoor weer gemobiliseerd. Stabiele anaërobe omstandigheden, waardoor metalen duurzaam als sulfiden worden vastgelegd, komen veel voor in de bodem, maar niet overal. Een hoge grondwaterspiegel en aanwezigheid van oxideerbaar organische stof staat garant voor anaërobie. Een andere randvoorwaarde is dat er sulfaat wordt aangevoerd, dat dient als bron voor sulfide. Om te voorkomen dat een te grote overmaat aan sulfide wordt gevormd, waardoor cadmium weer mobiel kan worden, dient de bodem ijzer te bevatten, of moet ijzer worden aangevoerd.

In de Kempen is natuurlijke immobilisatie geen optie voor de bovengronden gezien de goede beluchting in deze gronden. De Roeventerpeel echter is gelegen in een kwelgebied met een hoge grondwaterstand. Het kwelwater bevat zowel sulfaat als ijzer. Bovendien zorgt de ophoping van organische stof voor een goede uitgangspositie voor een duurzame vastlegging van de zware metalen als sulfiden. Verschillende plekken in de Roeventerpeel komen in aanmerking voor natuurlijke immobilisatie. Uiteindelijke keuze hiervan dient plaats te vinden in samenhang met de gewenste ontwikkelingen van de Roeventerpeel.

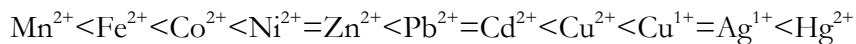
## 2 Belangrijkste sturende factoren

Voor natuurlijke immobilisatie zijn de twee belangrijkste factoren; de rol van sulfide en de mate van anaërobie, die afhankelijk is van de grondwaterstand. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op deze twee factoren (Harmsen et al., 2001).

### 2.1 Sulfide chemie

Bij de vastlegging van zware metalen in waterbodems spelen sulfiden een belangrijke rol. Sulfiden van zware metalen zijn slecht oplosbaar. In anaërobe waterbodems zijn al sulfiden aanwezig of worden gevormd door reductie van sulfaat dat de waterbodem passeert. Hierdoor vindt er in waterbodems vaak verrijking plaats met zware metalen. Het oplosbaarheidproduct van de zware metalensulfiden CdS, ZnS, CuS en Cu<sub>2</sub>S en PbS is laag (log K<sub>sp</sub> is respectievelijk -28, -24.5, -36 en -48). Metalen komen er wel in, maar wordt zodanig vastgelegd, dat ze er niet meer uitkomen. In de waterbodems zijn de metalen dan immobiel, maar na baggeren ze kunnen weer mobiel worden door oxidatie van het sulfide tot sulfaat. Door het handhaven of opnieuw creëren van reducerende omstandigheden kunnen sulfiden de gemobiliseerde zware metalen opnieuw immobiliseren.

Zware metalen die twee- en/of eenwaardige kationen vormen en behoren tot de overgangselementen zijn in het algemeen in staat om stabiele sulfiden te vormen. De elementen die hiertoe in staat zijn, worden chalcofiel genoemd (zwavelminnend). De stabiliteit van de sulfiden volgt de zgn. Irving-Williams volgorde (Stumm & Morgan, 1982):



Mangaansulfiden zijn het minst stabiel, terwijl kwik sulfiden zeer stabiel zijn. Sulfide komt alleen voor in anaëroob milieu. Wanneer vrije zuurstof aanwezig is, wordt sulfide geoxideerd tot sulfaat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Daardoor worden verbindingen van metalen met sulfide instabiel en de metalen mobiel.

Hoewel bovenstaande volgorde de volgorde van thermodynamische stabiliteit van de sulfiden zeer goed volgt, wil dit toch niet zeggen dat de sulfiden bij ontstaan precipiteren in de gegeven volgorde, en ook niet dat wanneer ze geoxideerd worden, dat ze deze volgorde (maar dan in omgekeerde richting) handhaven. Zo zal Ag<sub>2</sub>S niet snel gevonden worden, omdat de hoeveelheid zilver in het milieu zeer klein is. Indien we naar werkelijk voorkomende sulfiden kijken, dan kunnen we 3 hoofdmineraal(groepen) onderscheiden:

- IJzer-(koper)-sulfiden
- Zinksulfide
- Loodsulfide

De eerste groep komt kwantitatief het meeste voor. Hierin zitten o.a. de mineralen Greigiet ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ), FeS (mackinawite),  $\text{FeS}_2$  (pyriet), FeCuS (chalcopyriet),  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  (Bornite),  $\text{Cu}_2\text{S}$  (chalcosite), FeAsS (arsenopyriet). Meestal is ijzer het dominante kation, en zijn de andere kationen in hoeveelheden tot enkele mol% aanwezig. Pyriet kan naast Cu en Ni ook vrij veel Pb bevatten (Vaughan&Graig, 1978). Deze mineraalgroep kan daarom beschouwd worden als de verzamelbak van diverse zware metalen.

De tweede groep bestaat uit het mineraal ZnS (Sfaleriet). Dit mineraal is wijd verbreid in de natuur, en hiervan is aangetoond dat in niet- en matig verontreinigde sedimenten (Piper, 1971, Loring, 1976, Vaughan and Graig, 1978) dit mineraal daadwerkelijk precipiteert. In principe bevat de ZnS alle CdS, daar ZnS-CdS een volledige, en vrijwel ideale, mengfase vormen. Vaughan&Graig (1978) vermelden dat in natuurlijke sfalerieten tot 4.4 % (mol) Cd wordt aangetroffen. Ook Fe en Mn kunnen zeer belangrijke elementen zijn.

De derde groep bestaat uit PbS (Galeniet). Dit mineraal ontstaat omdat het loodatoom te groot is om goed in de kristalroosters van andere sulfidemineralen te passen (behalve pyriet). Galeniet kan tot 5 % Bi, tot 3 % Ag en 1 % As bevatten. Ook worden hogere gehalten Fe en Cu gemeld (Vaughan&Graig, 1978). Andere mineralen ontstaan slechts in bijzondere omstandigheden, niet onder 'normale' diagenetische omstandigheden.

De volgorde van ontstaan is  $\text{PbS}=\text{ZnS}>\text{Fe}$ -sulfiden. Indien men Fe-sulfiden aantreft, dan zijn alle Pb en Zn (en daarmee ook Cd) al omgezet in sulfiden, en wordt de beschikbaarheid van Pb, Zn en Cd gecontroleerd door de sulfideprecipitaten. Deze beschikbaarheid is zo laag dat ze geen enkel risico voor uitspoeling of biologische effecten meer bezit.

Bij oxidatie wordt de mate van aantasting van de sulfiden ook beïnvloed door de thermodynamische stabiliteit. Hierbij geldt echter niet dat eerst alle Fe-sulfiden en daarna pas de Zn- en Pb-sulfide worden aangetast. Ze worden tegelijk geoxideerd, de oxidatiesnelheid is echter afhankelijk van de stabiliteit, zodat Pb- en Zn-sulfiden langzamer worden geoxideerd dan Fe-sulfiden. Bij oxidatie speelt daarnaast de kristalliniteit een grote rol: hoe beter de sulfiden zijn gekristalliseerd, hoe minder snel ze zullen worden geoxideerd.

In verse baggerspecie ontstaan crypto-kristallijne en amorfe precipitaten van sulfiden. Deze kunnen na verloop van tijd overgaan in grotere, beter geordende kristallen. Hiermee neemt de oplosbaarheid af, en wat belangrijker is, ook de oxidatiesnelheid wordt (veel) lager.

Ijzer is in veel bodems in grote hoeveelheden aanwezig. En het ijzer bepaalt de hoeveelheid sulfide aanwezig in oplossing. Als het ijzer 'verbruikt' is zal de sulfide activiteit toenemen. Dit treedt alleen op in permanent gereduceerde systemen met een constante aanvoer van sulfaat. In een dergelijk geval kan mobilisatie optreden, doordat de metalen in oplossing ook stabiele sulfide complexen vormen. In praktijk

betekent dit echter dat in aanwezigheid van sulfiden de concentratie sulfide extreem hoog moet zijn en dus alle Fe-oxiden gereduceerd moeten zijn en er een grote hoeveelheid sulfaat wordt aangevoerd (bijvoorbeeld zoute kwel), voordat enige vorm van mobilisatie door sulfide kan optreden. Bij permanente reductie en constante aanvoer van sulfaat kan de mobiliteit dan toenemen door het ontstaan van  $\text{Me}(\text{HS})_2^0$ ,  $\text{Me}(\text{HS})_3^-$  en  $\text{MeS}(\text{HS})^-$  complexen (voor een uitgebreide analyse van deze systemen zie Janssen (1985)).

## 2.2 Grondwaterstand

Voor het handhaven van anaërobe omstandigheden is het van belang dat de baggerspecie (of grond) op een zodanige wijze wordt opgeslagen dat de specie volledig verzadigd is. Het grondwaterpeil moet dus hoog zijn. Daling van het grondwaterpeil kan er voor zorgen dat niet meer aan de gestelde voorwaarden wordt voldaan. Afhankelijk van het waterbeheer en bodemgebruik kan in de zomer een daling van het grondwaterpeil worden verwacht, die groter kan zijn in een droge warme zomer zoals in 2003. De extra grondwaterstandverlaging in de zomer van 1976, die een extreem droge zomer was, was voor klei, zand en veen respectievelijk 37; 33 en 20 cm. Dit in vergelijking tot de gemiddelden in de periode 1951-1998 (Querner, 2001).

Verlaging van de grondwaterstand leidt tot een vervanging van watergevulde poriën door luchtgevulde poriën, waardoor het mogelijk wordt dat de neergeslagen sulfiden worden geoxideerd. De mate hiervan is afhankelijk van de het type grond. In tabel 1 is voor een aantal gronden aangegeven hoe groot de volume fractie luchtgevulde poriën is bij grondwaterstandverlaging van respectievelijk 10; 31 en 100 cm. De gronden zijn geclassificeerd volgens de textuurdriehoek van Stiboka beschreven door Van der Sluijs en Locher (1990). Hierbij is er van uitgegaan dat het bodemvocht in hydrostatisch evenwicht is met het grondwater, de drukhoogte is dan gelijk aan de afstand tot het grondwater. Zodra dit evenwicht verbroken is kan dit boven in de grond, vooral in de bewortelde laag, leiden tot meer negatieve drukhoogten. Als voorbeeld zijn de drukhoogten van -250 en -500 cm weergegeven. Bij deze drukhoogte zijn alle gronden volledig aëroob.

*Tabel 1 Luchtgevuld porievolume als volume percentage in relatie tot de drukhoogte in cm (Rijtema et al., 1999)*

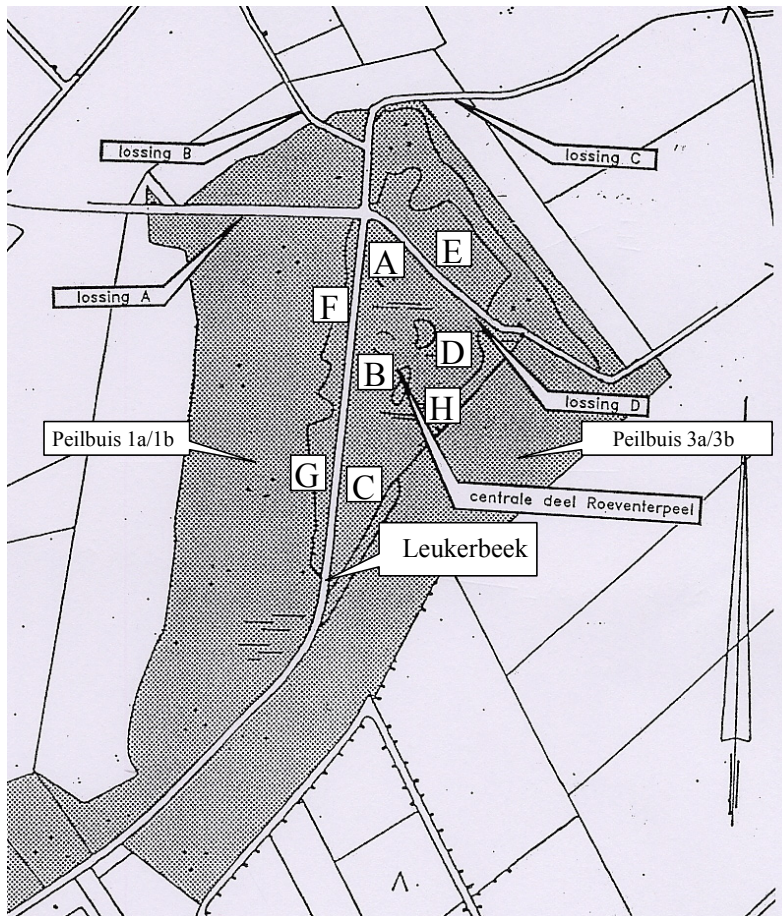
Bodem type	Lucht gevuld porievolume (%) bij een ingestelde drukhoogte				
	-10 cm	-31 cm	-100 cm	-250 cm	-500 cm
Grof zand	7.4	18.8	28.9	29.7	30.3
Matig grof zand	4.8	10.6	27.0	29.6	30.6
Kleiig zand	1.1	5.1	14.4	23.7	27.2
Lichte zavel	1.2	3.2	8.1	15.1	18.0
Zware zavel	0.5	2.2	9.1	15.8	22.2
Lichte klei	0.3	1.7	4.9	9.3	13.2
Zware klei	0.7	2.3	5.5	9.3	12.3
Veen	1.2	4.7	15.0	27.3	38.3

Tabel 1 geeft aan dat de bodems boven in de tabel al snel relatief veel luchtgevulde poriën bevatten en dat enkele tientallen cm boven het grondwaterpeil de specie al

aëroob zal worden. De gronden onder in de tabel bevatten op een hoogte van 30 cm boven het grondwater nog zeer weinig luchtgevulde poriën wat ook zal zorgen voor een langzamere oxidatie. Grote delen van de grond zullen anaëroob blijven. Veen neemt een tussenpositie in. De grote hoeveelheid organische stof in veen, die bovendien afbreekt onder aërobe omstandigheden, is sterk bepalend voor de aërobie. Een meter boven het grondwater bevatten de meeste gronden al veel luchtgevulde poriën.

### 3 Beschrijving van de uitgangssituatie in de Roeventerpeel

In 1994 heeft een verkennend onderzoek plaatsgevonden uitgevoerd door Het Milieuburo in opdracht van het Limburgs landschap. Het onderzoek was gericht op de bodem- en waterkwaliteit. In figuur 1 zijn de bemonsterde locaties weergegeven. In 2003 heeft nader onderzoek plaatsgevonden door CSO. Bij de presentatie van deze gegevens in deze rapportage, is dezelfde codering als in 1994 aangehouden.



Figuur 1. Bemonsteringslocaties in de Roeventerpeel.

#### 3.1 Bodemkwaliteit

De kwaliteit van de bodem met betrekking tot relevante parameters gemeten in 1994 is vermeld in tabel 1. Weergegeven zijn:

- Organisch stofgehalte, van belang om een gereduceerde omgeving te waarborgen en organische stof zorgt voor bindingsplaatsen voor zware metalen
- Lutum zorgt ook voor vastlegging van zware metalen en kan verklarend zijn als verschillen worden waargenomen
- Cadmium en zink als de belangrijkste zware metalen

De pH in de bodem is niet gemeten en zou in een vervolgfase moeten worden vastgesteld (*nader onderzoek*).

De locaties waar mengmonsters zijn genomen is weergegeven in figuur 1. Zware metalen gehalten zijn verhoogd. Ten westen van de Leukerbeek is de bodem schoner. Verhoogde lutum gehalten zijn aanwezig in het noordoostelijke deel van het gebied. Het organisch stof gehalte is hoog en zal zorgen voor een continue zuurstofvraag waardoor anaërobe zal plaatsvinden. De organisch rijke laag is tussen de 60 en 90 cm dik (boorbeschrijvingen Het Milieuburo, 1994)

*Tabel 2. Kwaliteit van de bodem in de Roeventerpeel (bron: Het Milieuburo, 1994)*

Deelgebied	Organische stof (%)	Lutum (%)	Cadmium (mg/kg d.s.)	Zink (mg/kg d.s.)
A	26.1	6.0	7.4	690
B	16.5	5.9	7.3	670
C	31.4	5.8	5.6	520
D	25.4	20.0	8.0	770
E	24.3	14.0	3.9	460
F	25.3	6.5	2.6	190
G	25.8	7.2	3.1	280
H	26.6	19.0	4.4	480

In een nader onderzoek uitgevoerd door CSO (2003) werden alleen in gebied E verhoogde gehalten aangetroffen (tabel 3). De resultaten in de deelgebieden zijn afkomstig van mengmonsters, die helaas afkomstig zijn van verschillende dieptes. Het is waarschijnlijk dat de zware metalen zich geconcentreerd hebben in een bepaalde diepte. Door menging kan verdunning zijn opgetreden. Tevens zijn gehalten gegeven van een monster genomen ten zuiden van de Roeventerpeel indicatief voor de omgeving. Dit monster is gezien het lage organisch stofgehalte vermoedelijk niet representatief voor de bovengrond van de omgeving. De tabel bevat ook gehalten gemeten in de ondergronden van vier deelgebieden.

*Tabel 3. Kwaliteit van de bodem in de Roeventerpeel (bron: CSO, 2003)*

Deelgebied	Organische stof (%)	Lutum (%)	Cadmium (mg/kg d.s.)	Zink (mg/kg d.s.)
A	20.6	5	1.5	130
B	23.5	2.5	1.7	140
C	18.5	5.4	0.5	<20
D	26.9	7.9	0.7	35
E	37	14	6.7	620
F			-	72
G	4.9	2.6	-	36
H			-	45
H (afgeplagd)	0.8	1.5	<0.4	<20
omgeving	<0.5	1.4	<0.4	<20
Ondergrond D	1.7	3.4	<0.4	<20
Ondergrond E	0.7	16	<0.4	<20
Ondergrond F	1.1	2.1	<0.4	<20
Ondergrond G	1.2	2.0	<0.4	<20

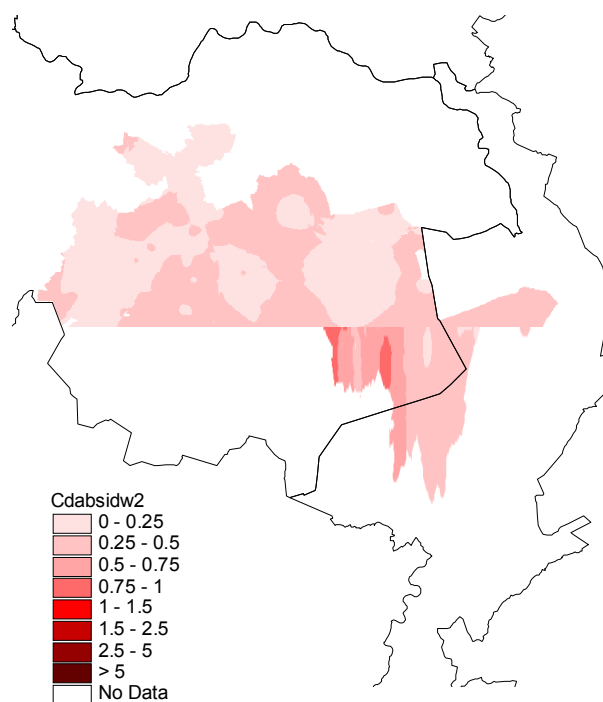


Uit deelgebied E zijn door CSO een aantal individuele monsters geanalyseerd op zware metalen. De waarden voor zink en cadmium zijn weergegeven in tabel 4, waarin tevens de dikte van het organisch rijke veenpakket en de bemonsterde laag zijn weergegeven. Op basis van deze gegevens lijken de zware metalen zich hoofdzakelijk te bevinden in het onderste deel van het veenpakket.

Tabel 4. Kwaliteit van de bodem in Deelgebied E (bron: CSO, 2003)

Boring	Dikte veenpakket (cm)	Bemonsterde laag (cm)	Cadmium (mg/kg d.s.)	Zink (mg/kg d.s.)
15	90	0-50	0.7	41
16	80	50-80	13	1300
17	90	0-50	4.4	430
18	80	0-50	<0.4	25
19	90	50-90	3.0	300
20	80	0-50	3.1	150
117	50	0-50	14	1100

Ter vergelijking is de bodemkwaliteit van de gehele omgeving weergegeven in figuur 2. De omgeving bevat 0.5-1 mg/kg d.s. cadmium.



Figuur 2. Cadmiumgehalten in bovengrond Kempen (brongegevens CSO).

### 3.2 Waterkwaliteit

In 1994 en 2003 is zowel de kwaliteit van het oppervlaktewater als van het grondwater in de Roeventerpeel gemeten. Resultaten zijn weergegeven in tabel 5. Gemeten zijn gehalten genomen in monsters genomen vanuit het aangevoerde oppervlaktewater in de 4 lossingen en het grondwater op twee locaties en twee diepen in 1994. De filters bevonden zich ten westen en ten oosten van het gebied. (zie figuur 1). In 2003 zijn extra filters geplaatst door CSO in De deelgebieden D, H en F. In deelgebied H zijn de filters met name aan de oostzijde geplaatst.

De resultaten laten zien dat in het aangevoerde water sulfaat en ijzer aanwezig zijn wat van belang is voor de gewenste immobilisatie. Het zinkgehalte is vergelijkbaar met de streefwaarde of iets erboven. Een verhoogd zinkgehalte is aanwezig in peilbuis 3B, wat het ondiepe filter is. In dit filter heeft gezien het verhoogde sulfaat en nitraatgehalte oxidatie plaatsgevonden en zal de redox-potentiaal verhoogd zijn. Het water op deze locatie bevat een verhoogd zinkgehalte als resultante van de redox-verhoging.

Tabel 5. Kwaliteit water (Het Milieuburo (1994)), gemiddelde van 3 metingen) (**vet**) = meting CSO, 2003

	Filterdiepte (cm-mv)	pH	Ijzer (mg/l)	Sulfaat (mg/l)	Nitraat (mg/l)	Zink (mg/l)
Lossing A		5.7	2.6	86	25	0.13 <b>(0.06)</b>
Lossing B		4.0	2.2	70	22	0.04 <b>(0.15)</b>
Lossing C		6.1	1.5	70	10	0.03 <b>(0.04)</b>
Lossing D		5.4	3.4	51	37	0.12 <b>(0.08)</b>
Peilbuis 1A	433-483	5.5	7.2	22	< 6	0.05
Peilbuis 1B	104-154	5.9	4.4	19	< 6	0.07
Peilbuis 3A	237-287	5.4	6.2	35	< 6	0.04
Peilbuis 3 B	53-103	6.1	2.3	154	74	0.22
D	1.5-2.5					<b>(&lt;0.02)</b>
H1	1-2					<b>(0.07)</b>
H2	1.5-2.5					<b>(0.04)</b>
H3	1-2					<b>(0.02)</b>
H4	150-250					<b>(&lt;0.02)</b>
H4	550-650					<b>(0.05)</b>
F	1-2					<b>(0.12)</b>
<b>streefwaarde</b>						<b>0.065</b>
<b>Interventie- waarde</b>						<b>0.8</b>

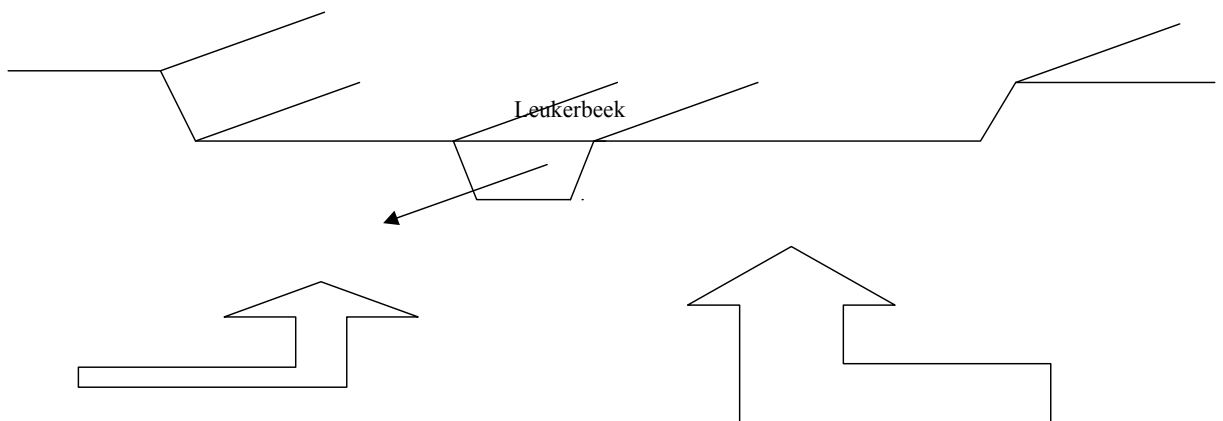
In het gebied bevinden zich geen bestaande peilbuizen voor het provinciale meetnet of voor de monitoring in de Kempen. Door TNO zijn voorspellingen gedaan over de kwaliteit van het grondwater en in het betreffende gebied kunnen voor cadmium gehalten worden gevonden die 4 tot 10 maal de streefwaarde zijn (Van der Grift, 2002). De streefwaarde en interventiewaarde van cadmium zijn respectievelijk 0.4 en 6 µg/l. Ijzer en sulfaatgehalten in deze rapportage variëren sterk, maar de gehalten in tabel 3 passen in deze variatie.

### 3.3 Hydrologie

De Roeventerpeel is ten opzichte van de omgeving een laag gelegen gebied. Vanaf het omliggende landbouwgebied is er een steile helling van enkele meters naar beneden. Grondwater komt in het gebied naar boven en voedt de Leukerbeek. Het diepe grondwater stroomt van noord naar zuid in de richting van het Julianakanaal. Gezien de beperkte grootte van het gebied zal het opgekwalde water een lokaal karakter hebben (Van Bakel, persoonlijke informatie). Het grondwaterpeil is hoog tot in het maaiveld en zelfs de droge zomer van 2003 heeft niet gezorgd voor een verlaging van dit peil (veldwaarneming 3 september 2003).

De regio waar de Roeventerpeel deel van uitmaakt, is onderwerp geweest van diverse hydrologische studies. (Tauw, 1999; van der Bolt et al., 2002; van der Grift, 2002). Op het detail niveau van de Roeventerpeel zijn echter niet direct kaarten beschikbaar. Het lijkt wel mogelijk kaarten te maken op basis van de basisgegevens, die verzameld zijn in deze studies (*nader onderzoek*).

Op basis van de veldwaarnemingen van Het Milieuburo en CSO en de hoogte van de zware metalen verontreiniging<sup>1</sup> wordt aangenomen dat de meeste zware metalen in het oostelijke gebied worden aangevoerd, zoals ook is weergegeven met de dikkere pijl (figuur 3).



Figuur 3. Schematische weergave van de aanvoer van accumulerende zware metalen in de Roeventerpeel.

Een andere reden voor het verschil in metaalgehalten kan zijn dat het westelijk deel iets hoger gelegen is, waardoor de zware metalen in diepere lagen worden vastgelegd en niet zijn bemonsterd. Er zijn kleine verschillen in niveau in het gebied, maar deze zijn niet groter dan ca. 20 cm (Het Milieubureau, 1994).

<sup>1</sup> In feite is dit gebaseerd op 2 waarnemingen in het westelijk gebied. Gezien de te verwachten spreiding zijn dit te weinig waarnemingen om een verantwoorde keuze op te baseren.

### 3.4 Kwaliteit en kwantiteit

Combinatie van grondwaterkwaliteit en kwantiteit (hydrologie) levert een aanvoer van de zware metalen cadmium en zink in de Roeventerpeel. Als er in het gebied immobiliserende omstandigheden zijn, zullen de aangevoerde zware metalen accumuleren in de bodem. Als de gehalten in tabel 2 (metingen 1994) vergeleken worden met de gehalten in de bovengrond in figuur 2, kan worden geconcludeerd dat de gehalten in de waterbodem sterk verhoogd zijn in vergelijking tot de omgeving. Resultaten uit tabel 3 (metingen 2003) beperken het verontreinigde gebied tot het centrum. De metingen weergegeven in tabel 4 laten zien, dat met de onderste laag van de organisch rijke veenlaag verontreinigd is. Voorlopig wordt geconcludeerd dat er accumulatie via het grondwater plaats vindt. Een vergelijkbare situatie bestaat in het oosten van Brabant, waar lage concentraties nikkel in het grondwater de oorzaak zijn van een verhoogd gehalte in de waterbodem (Reijnen, 2003).

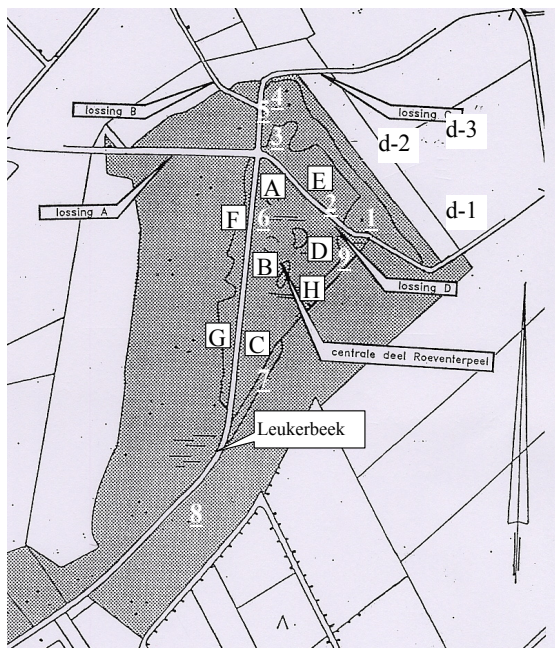
De wetenschap dat de aanvoer van zware metalen door zal gaan heeft betekenis voor de in te zetten 'saneringsactiviteiten'. Zelfs als het gebied vrij kan worden van zware metalen zal op lange termijn het gebied weer even 'vuil' worden als het nu is. Oplossingen voor het gebied moeten daarom passen in het systeemgerichte grondwaterbeheer. Kenmerkend voor dit beheer is het zoeken naar de beste oplossing op systeemniveau (AbdK, 2003).

Natuurlijke immobilisatie kan worden gebruikt voor het vastleggen van in de bodem aanwezige zware metalen, maar kan ook worden gebruikt als filter voor aangevoerde zware metalen. Aanvoer van deze metalen kan zowel van bovenaf (uitloging) als van onderen (kwel) plaatsvinden.

De bodem in het gebied is zanderig, waardoor het luchtgevulde porievolume snel zal toenemen bij een dalende grondwaterspiegel (zie tabel 1). Anaërobie kan in dit gebied alleen worden gegarandeerd als de locatie voor natuurlijke immobilisatie permanent onder de grondwaterspiegel is. In het centrum van het gebied geldt dit overal en stond het water, zoals eerder vermeld, zelfs na de droge zomer van 2003 tot in het maaiveld. Voor de overige gebieden zal moeten worden nagegaan wat de grondwaterspiegel zal gaan doen bij deponie van baggerspecie.

## 4 Verificatie van optreden natuurlijk immobilisatie

Op 2 en 27 februari 2004 hebben aanvullende veldmetingen plaatsgevonden gevolgd door monsteronderzoek op het laboratorium. Doel hiervan was om vast te stellen of natuurlijke immobilisatie werkelijk plaats vindt in de Roeventerpeel. Hiertoe zijn op verschillende plekken bodemprofielen doorgemeten op de redoxpotentiaal en zijn monsters genomen voor verdere analyse op het laboratorium. De meetplaatsen zijn weergegeven in figuur 4. Er zijn diepere boringen gezet op het deel dat is opgevuld (d-1; d-2 en d-3). En er is gemeten in het gebied zelf (1 t/m 9). In de figuur staan tevens de coderingen van de gebieden (A t/m H)



Figuur 4. Locaties onderzocht en bemonsterd in februari 2004.

### 4.1 Diepe boringen

Het gebied aan de noordoostkant is later opgevuld en er bevindt zich een laag zand van ca 2 meter op de oorspronkelijke bodem. Het was de verwachting dat de oorspronkelijke bodem nog in ongestoorde staat aanwezig was en dat juist hierin zware metalen in geïmmobiliseerd waren. De hoeveelheid veen die aangetroffen werd was echter zeer klein. In d-1 werd geen veen aangetroffen tot op een diepte van 470 cm. In boringen d-2 en d-3 werden veenlaagjes van respectievelijk 5 (op diepte 150 cm) en 1 cm (op diepte 200 cm) aangetroffen. De bodemsamenstelling van de boringen was als volgt:

- d-1 geboord tot 470 cm. Geen veen. Bovenste 30 cm bouwvoor, humusarm zand. Onderste 2 m fijn grijs zand. Daartussen verstoord profiel met sterk leemachtig zand

- d-2 geboord tot 330 cm. 25 cm bouwvoor. Op 200 cm laag van 5 cm veenachtig materiaal, daaronder af en toe stukjes hout
- d-3 geboord tot 300 cm. 25 cm bouwvoor. Op 150 laag van 1 cm veen, daaronder iets bruinachtig zand met houtachtig materiaal, matig grof zand

Gezien het ontbreken<sup>2</sup> van de veenlaag is dit deel van de locatie niet verder meer bemonsterd.

## 4.2 Redoxpotentiaal

De processen die kunnen optreden in de bodem zijn afhankelijk van de redoxpotentiaal. Gaande van hoge naar lage potentiaal kunnen de volgende processen optreden als weergegeven in Tabel.6.

*Tabel 6 Verband tussen de redoxpotentiaal en het optreden van redoxprocessen in de bodem (Scheffer en Schachtschabel, 1989)*

Redoxpotentiaal in mV	Reductiestadium
> 550	Zuurstof sturing processen
450-550	Begin van nitraatreductie
350-450	Begin mangaan (II) vorming
330	Zuurstof niet meer aantoonbaar
220	Nitraat niet meer aantoonbaar
150	Begin van ijzer (II) vorming
-50	Begin sulfaatreductie en sulfidevorming
-120	Methaanvorming
-180	Sulfaat niet meer aantoonbaar

In figuur 5 zijn de gemeten redoxpotentialen in gebied E weergegeven. In gebied E zijn door SCO bij de laatste monitoring de hoogste gehalten gevonden. In figuur 6 zijn de gemeten redoxpotentialen in de overige locaties weergegeven. Naast de grafiek van de locatie is een foto van de locatie gegeven. Drie situaties konden worden onderscheiden:

- Wilgen      locatie 1: 3; 5; 6; 7; 8 en 9
- Riet        locatie 2
- Berken      locatie 4

De lage redoxpotentiaal, waarbij sulfaatreductie kan optreden, wordt gemeten op de eerste doorgemeten locatie (wilgen). Op de andere locaties zijn de redoxpotentialen hoger. Dit betekent niet dat sulfaatreductie onmogelijk is. Op kleinere schaal dan de grote van de elektrode (4mm) kan in aggregaten een lagere redoxpotentiaal aanwezig zijn. In een onderzoek in North Carolina werden ook hogere redoxpotentialen gemeten, terwijl er sulfiden aanwezig waren (Hesterberg, presentatie WUR, 8 maart 2004).

<sup>2</sup> Voor de verdere ontwikkeling van het gebied wordt door het Limburgs Landschap gedacht aan het ontgraven van de opgebrachte grond. De zadenbank aanwezig in het oorspronkelijke veenprofiel dient vervolgens te zorgen voor de gewenste re-vegetatie. Gezien de resultaten van deze metingen, verdient het aanbeveling te controleren of deze zadenbank wel daadwerkelijk aanwezig is.

Ook per locatie zijn er verschillen. Op locatie 2 (riet) kon op in bodem afkomstig van een diepte van 80 cm, vlak bij een rietwortel een redoxpotentiaal van +320 mV worden gemeten op 10cm afstand van de rietwortel was de redoxpotentiaal -130mV. De berken (locatie 4) lag wat hoger, wat resulteerde in aërobie in de bovengrond, met bijbehorende hoge redoxpotentiaal.

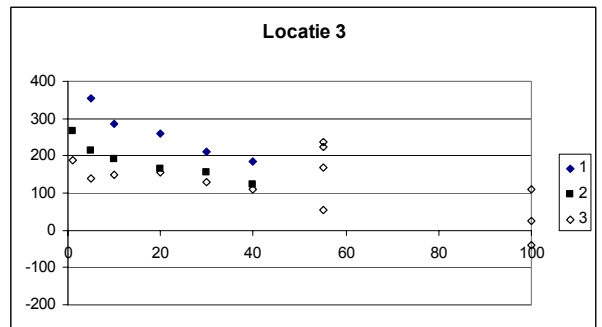
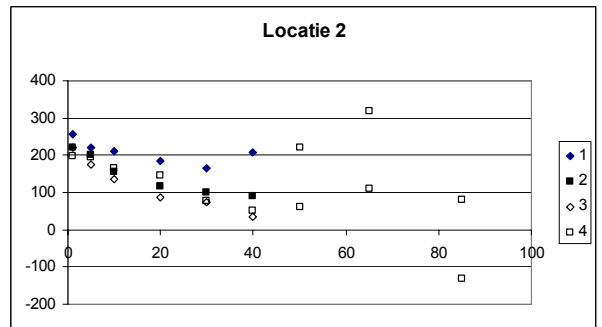
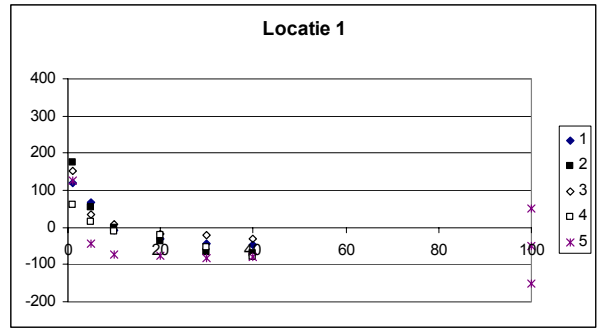
Afgezien van het berkenbos was de bodem overal zeer slap. Jong veen was aanwezig tot diepten van ca 50 cm. Op de bemonsterde plekken was de dikte van de veenlaag kleiner dan volgt uit het kaartmateriaal gerapporteerd in CSO (2003-2) en weergegeven in tabel 4. Tijdens de bemonstering zijn op verschillende plekken leemlagen waargenomen.

De bemonsterde bodemlagen zijn op het laboratorium gedroogd en het gloeiverlies (maat voor organische stof) en de gehalten aan cadmium, zink, ijzer en sulfaat zijn gemeten (ICP-AES). De laatste twee gehalten geven een indicatie voor de aanwezigheid van ijzersulfide<sup>3</sup>. De gemeten gehalten zijn weergegeven in bijlage 1.

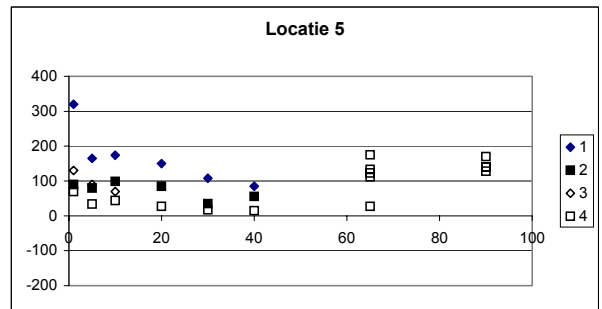
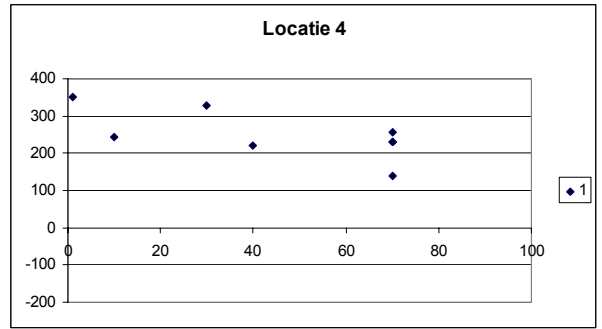
De bovenlaag in het gebied bevat veel organische stof. Dit gehalte neemt af naar de diepte, zoals blijkt uit het diepteprofiel van de locaties 1; 2 en 9. Weergegeven in figuur 7. Het organisch rijke deel beperkt zich tot de bovenste 50 cm. Hieronder bestaat de bodem uit zand en soms leem. Ook verder naar boven kan een laag zand worden aangetroffen (diepte 30 cm op locatie 1). De overige monsters (geen volledig doorgemeten profiel) passen in dit beeld. Met uitzondering van de toplaag van locatie 4. In dit droge deel is mineralisatie van de bovengrond opgetreden.

---

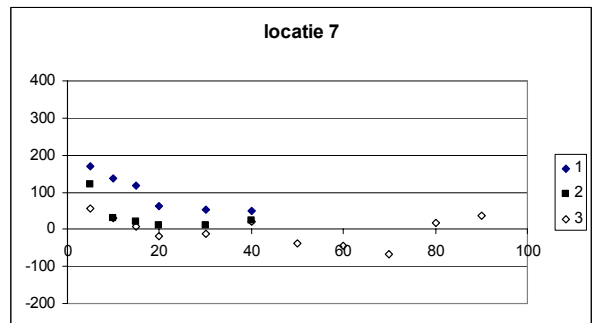
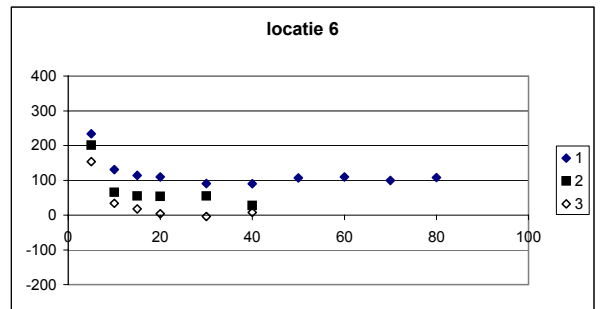
<sup>3</sup> Ijzersulfide kan ook worden gemeten. Hiervoor dient de bemonstering te worden aangepast, de monsters te worden gevriesdroogd en een separate analyse te worden uitgevoerd. Hiervoor is niet gekozen en er is een goedkoper alternatief, doch minder specifiek alternatief gebruikt. De monsters zijn gedroogd, waarbij sulfiden al deels worden omgezet in sulfaat. Vervolgens zijn de monsters gedeutereerd en in het deuteeraat zijn naast cadmium en zink ook ijzer en sulfaat gemeten (ICP-AES)

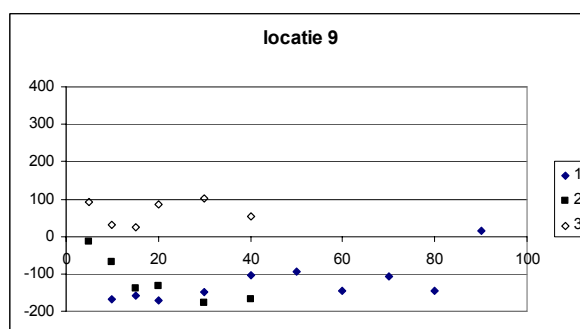
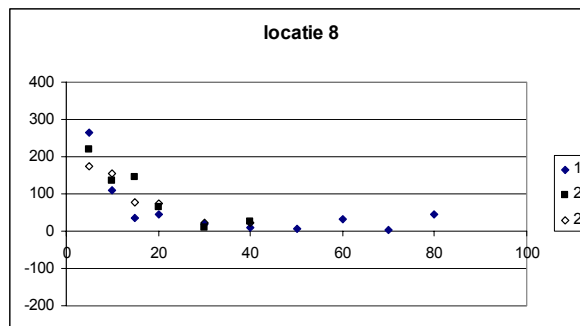




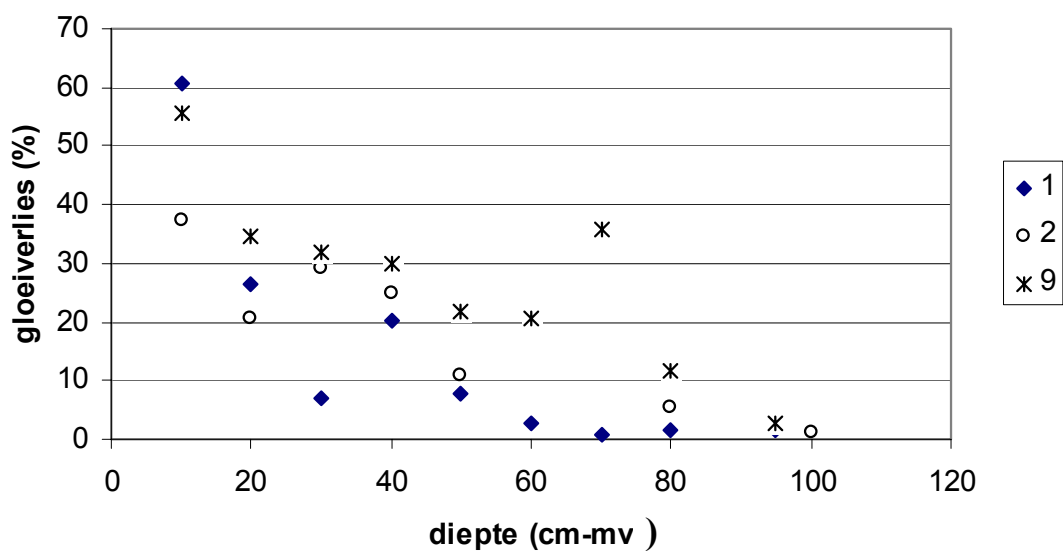


Figuur 5. Locaties en gemeten redoxpotentialen in gebied E. Horizontale as is diepte in cm –mv. Verticale as is redoxpotentiala in mV.





Figuur 6. Locaties en gemeten redoxpotentialen ten zuiden van gebied E. Horizontale as is diepte in cm -mv. Verticale as is redoxpotentiaal in mV.

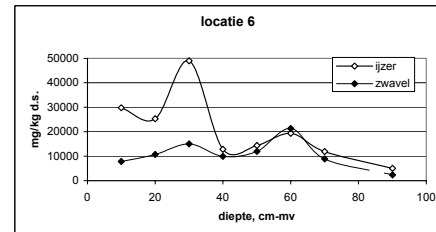
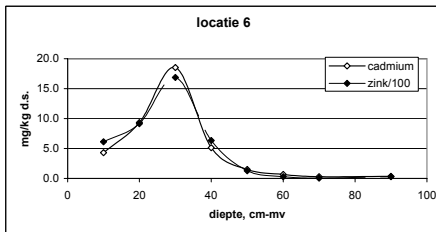
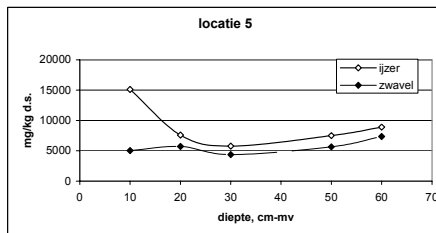
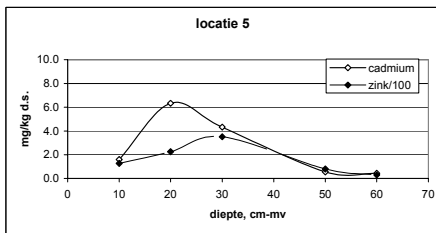
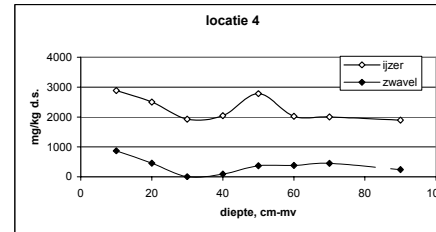
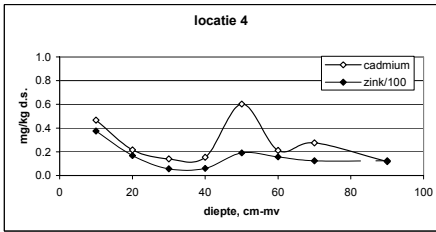
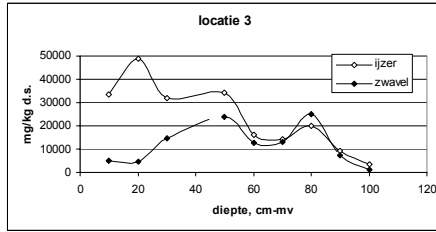
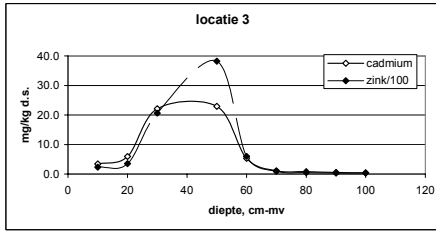
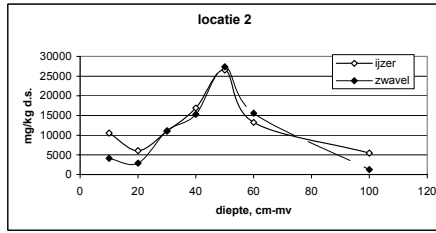
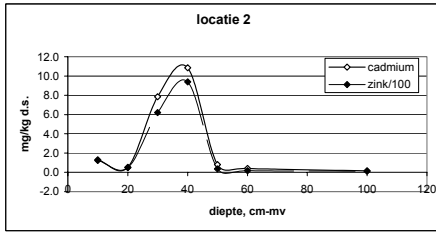
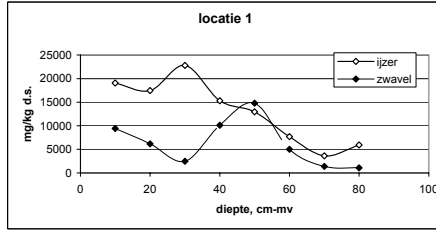
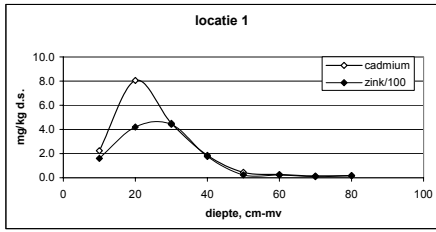


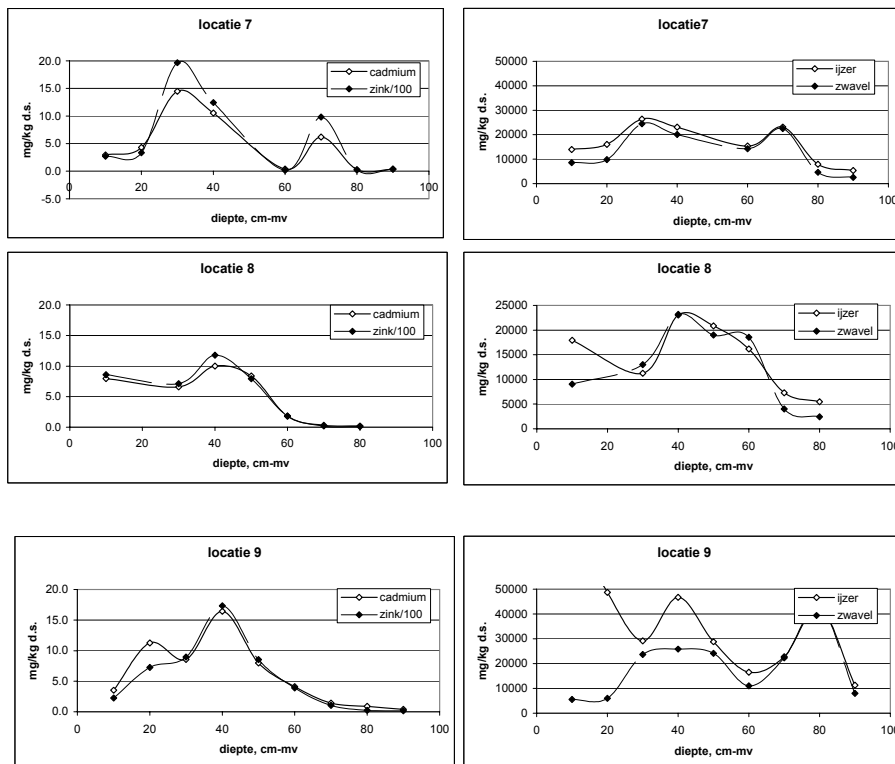
Figuur 7 Verloop organisch stofgehalte in bodemprofielen op 3 locaties

De profielen voor cadmium, zink, ijzer en zwavel zijn per locatie weergegeven in figuur 8. De laagste gehalten voor cadmium en zink zijn gemeten op de locaties 4 en 5. Dit zijn ook de hoogst gelegen locaties met de bijbehorende hoogste redoxpotentiaal. De overige profielen zijn vergelijkbaar en zowel in gebied E als de

overige bemonsterde gebieden zijn hoge cadmium en zink concentraties gemeten. Dit in tegenstelling tot de bemonstering uitgevoerd door CSO waarin alleen gebied E als vuil is aangemerkt. De aanwezigheid van zware metalen in het gehele gebied is wel in overeenstemming met de theorie dat de aanvoer gaat via het grondwater. De kwel zal gezien de gelijke hoogte (met uitzondering van locatie 4 en 5) overal vergelijkbaar zijn en daardoor zal ook de vervuilingsgraad van vergelijkbare grootteorde moeten zijn.

Opvallend zijn de zeer hoge gehalten aan ijzer en sulfide. Dit zorgt voor een ander risico, wat wel eens groter kan zijn dan het risico van de zware metalen. Als deze gronden droogvallen of afgegraven worden en droogvallen, zal het ijzersulfide oxideren en zal een zeer sterke verzuring optreden. Deze verzuring kan worden gecompenseerd door toevoegen van kalk. Dit betekent wel dat het gevormde sulfaat zal uitloggen samen met calcium. Deze uitloging wordt bepaald door het oplosbaarheidproduct van calciumsulfaat. De sulfaat- en calciumconcentratie in het uitgeloopte water zullen dan respectievelijk ca. 750 en 300 mg/l zijn. De invloed van de calciumsulfaattoevoer op de natuurontwikkeling is niet verder onderzocht.





Figuur 8. Cadmium-, zink-, ijzer- en sulfideprofielen op de bemonsterde locaties.



## 5 Naar oplossingen in de Roeventerpeel

Bij het omgaan met de verontreinigde waterbodem kan worden uitgegaan van de huidige verontreinigde waterbodem, waarvoor een oplossing moet worden gezocht. Mogelijke oplossingen hiervoor zijn weergegeven in hoofdstuk 5.1. Er van uitgaande, dat herverontreiniging van de nieuwe waterbodem zal optreden zullen er aanvullende maatregelen moeten worden genomen om te voorkomen dat de zware metalen natuurontwikkeling in de weg zullen staan. Dit aspect is beschreven in hoofdstuk 5.2. Bij het zoeken naar de oplossingen is uitgegaan van een integrale aanpak (Verheijen, 2004), waarbij wordt uitgegaan naar de mogelijkheden van de Roeventerpeel en het omliggende gebied. Een deel van deze oplossingen (5.1.1) zijn besproken in een workshop, waarbij werd geconcludeerd dat het noodzakelijk was bestuurlijk draagvlak te creëren (van der Veen, 2004).

### 5.1 Omgaan met de aanwezige waterbodem

#### 5.1.1 Hoeveelheid te verwerken baggerspecie

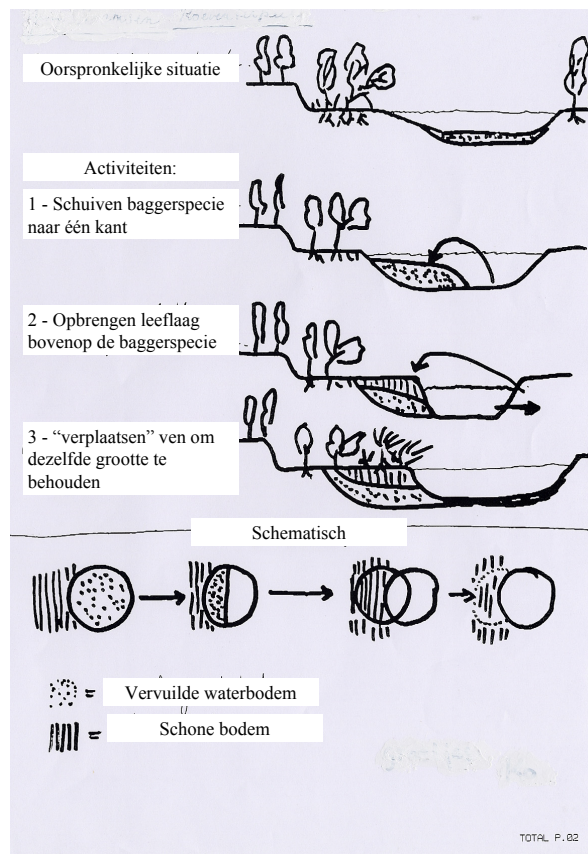
In de afgelopen jaren zijn er verschillende schattingen geweest van de hoeveelheid verontreinigde waterbodem in de Roeventerpeel. Het beperkte onderzoek van Het Milieuburo liet zien dat overal in het te ontwikkelen veengebied de bodem verontreinigd was met cadmium en zink. Vervolgens werd door CSO als resultaat van een nader onderzoek uitgegaan van een beperkter vervuild gebied (gebied E) en was het nodig van 2000 m<sup>3</sup> baggerspecie te verwijderen. Deze hoeveelheid is ook gebruikt in de rapportage van Bioclear (2004). De rest van de waterbodem (30.000 m<sup>3</sup>) werd verondersteld schoner te zijn (klasse 2 of beter). Oplossingen werden dan ook gezocht in het verwijderen en saneren van de van 2000 m<sup>3</sup> specie uit gebied E en het verwijderen en verspreiden van de overige specie. Gebaseerd op het door Alterra uitgevoerde aanvullende onderzoek (beschreven is in hoofdstuk 4), is echter, in overeenstemming met de metingen van het Milieuburo, het gehele gebied verontreinigd met cadmium en zink. Dit is ook te verwachten uitgaande van het proces beschreven in hoofdstuk 3. Er zijn geen grote verschillen te verwachten in de hoeveelheden via kwel aangevoerd cadmium en zink.

De bovenste 10-20 cm van de bodem is niet verontreinigd. Het is echter niet haalbaar deze laag te scheiden van de onderliggende verontreinigde laag. Alleen gebaseerd op de verontreiniging zou het voldoende zijn de bovenste 50 cm te verwijderen. Dit levert een hoeveelheid van ca. 15.000 m<sup>3</sup> baggerspecie. Om venontwikkeling mogelijk te maken, zal het ook nodig zijn de volledige laag die ijzersulfide bevat te verwijderen. Blijft deze laag zitten, dan zal een sterke verzuring kunnen gaan optreden door oxidatie van het ijzersulfide. Meenemen van deze laag brengt de totale hoeveelheid te verwijderen baggerspecie op 30.000 m<sup>3</sup>.

## 5.1.2 Oplossingsrichtingen

### 5.1.2.1 Oplossing in het af te graven gebied

Onderstaande oplossingen zijn ontwikkeld toen nog werd verondersteld dat er slechts 2000 m<sup>3</sup> baggerspecie moest worden verwerkt en de omvang van de ijzersulfideproblematiek nog onbekend was. Ze zijn nu minder relevant gezien de totale hoeveelheid. Voor een grotere schaal blijft het principe echter hetzelfde. Uitgangspunt in alle gevallen is dat de sulfiden van de zware metalen en van ijzer zijn in de huidige waterbodem als stabiele stoffen aanwezig zijn. De vervuilde waterbodem zal onder anaërobe omstandigheden moeten blijven of worden opgeslagen om maximale immobilisatie te handhaven. Het meest eenvoudig kan dit in het centrale deel van het gebied, omdat hier het grondwater tot in het maaiveld staat. Bij het uitdiepen van de vennen kan de vuile waterbodem bijeengebracht worden en afgedekt. Het nieuwe ven wordt hierbij iets verplaatst (figuur 9). Ook op andere plaatsen kan vervuilde waterbodem onder de grondwaterspiegel worden opgeslagen.

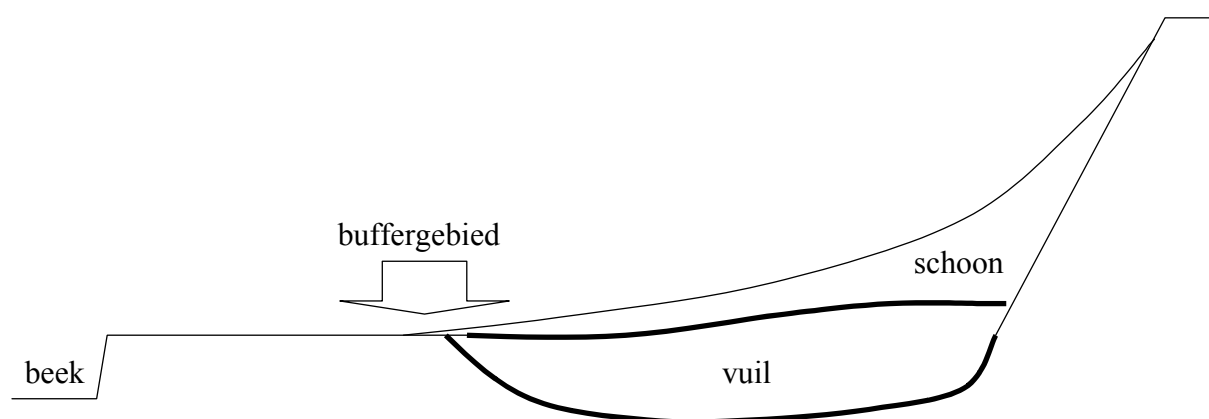


Figuur 9. Opslag van vervuilde waterbodem in combinatie met inrichting ven (schets, J. de Ruijter, 2003).

Een tweede mogelijkheid voor opslag is de noordrand van het gebied. Het hoogteverschil kan worden gebruikt om op te vullen. Ook hier geldt dat de baggerspecie zich onder de grondwaterspiegel moet bevinden. In september 2003 was de dit deel droog en sijpelde er geen water uit de helling. De grondwaterstand zal dan



vergelijkbaar zijn met de rest van het gebied. Het zal daarom ook hier waarschijnlijk nodig eerste een gat te graven, waarin de baggerspecie komt, waarna de uitgegraven grond kan worden gebruikt om de specie af te dekken (figuur 10). Als aan de voet van de helling een gebied komt waar eventuele uitgeloopte zware metalen kunnen worden vastgelegd (buffergebied) kan het mogelijk zijn een dikkere laag specie te gebruiken (*nader onderzoek*). Een dikkere schone leeflaag ontstaat dan door uitloging van de zware metalen uit deze laag, die vervolgens weer in een anaëroob buffergebied moeten worden opgeslagen. Hoe snel de uitloging gaat is afhankelijk van de bodemeigenschappen (vooral pH) en kan als deze gegevens bekend zijn worden voorspeld op basis van transferfuncties (Römkens et al., 2003 a en b). Of de uitgeloopte metalen weer in een anaërobe laag terechtkomen, vereist ook nader onderzoek. De stroombanen van het water met zware metalen moeten voor een gekozen optie worden vastgesteld.



Figuur 10. Opslag van vuile baggerspecie in noordelijk deel Roeventerpeel.

Een derde optie is zichtbaar in het meest westelijk deel. Hier heeft al “herinrichting” plaats gevonden. Het hierbij noodzakelijke grondverzet had gecombineerd kunnen worden met verplaatsing van de vuile waterbodem naar locaties geschikt voor natuurlijke immobilisatie.

### 5.1.2.2 Grootschalige oplossingen

Het aansluitende landbouwgebied is ongeschikt om de baggerspecie op te brengen. Dit gebied ligt enkele meters hoger en baggerspecie zal hier ontwateren, rijpen en aëroob worden. Het is zelfs niet geschikt voor de verspreidbare baggerspecie. Dit is de specie die qua verontreinigingsgraad voldoet aan klasse 0; 1 of 2. De hoeveelheid ijzersulfide aanwezig in deze specie zal voor problemen zorgen. Het zal noodzakelijk zijn het verzuringproces te neutraliseren door toevoeging van grote hoeveelheden kalk. Gebaseerd op de metingen weergegeven in hoofdstuk 4 kan 30-60 kilo kalk per  $m^3$  specie nodig zijn. De zware metalen en sulfaat zullen uitlogen en weer terugstromen naar de Roeventerpeel. Door de bekalking zal sulfaat gaan uitlogen samen met calcium. Uitloging vindt slechts langzaam plaats omdat de oplosbaarheid van  $CaSO_4$  beperkt is. Het bovenste grondwater zal gedurende tientallen jaren ca. 300

mg calcium en 750 mg sulfaat gaan bevatten (gebaseerd op oplosbaarheidsproduct  $\text{CaSO}_4$ ). IJzer blijft als ijzeroxide achter in de aërobe bodem en zal slechts zeer langzaam uitspoelen. Dit calcium- en sulfaatrijke grondwater zal als eerste in het ven terecht komen en de ontwikkeling behorende bij het ven in de weg staan. Door de grotere hoeveelheid sulfaat wordt dan zelfs mogelijk dat niet al het gevormde sulfide wordt vastgelegd als ijzersulfide, maar als  $\text{H}_2\text{S}$  het vensysteem zal belasten.

Om 30.000 m<sup>3</sup> baggerspecie te bergen is een gat nodig van 1 hectare en 3 meter diep. Geredeneerd vanuit de verontreinigingen en de hoeveelheid ijzersulfide kan een dergelijk gat worden gegraven aansluitend aan het te ontwikkelen ven. Dit komt neer op een uitvergroete versie van de oplossing gegeven in figuur 9. Dit is echter 1/5 van het vengebied en zo'n grote ingreep in het in potentie waardevolle gebied zal niet snel als acceptabel worden gezien. Het is te overwegen een voor de natuur potentieel minder waardevol gebied, maar wel een gebied met dezelfde potenties voor natuurlijke immobilisatie te gebruiken voor de berging. Zo'n gebied kan worden gevonden ten zuiden van de onderzochte locatie. Dit 'bergingsgebied' kan ook zodanig worden ingericht dat het de toekomstige belasting met cadmium en zink kan gaan opnemen, die uit het ven zal komen, omdat de omstandigheden voor vastlegging zullen gaan verminderen (zie ook 5.2). Dit om belasting van benedenstrooms gelegen gebieden te voorkomen. Het kan zelfs worden overwogen de sterk met o.a. loodvervuilde locatie aanwezig ten zuiden van de Roeventerpeel te betrekken in de plannen.

Het is mogelijk de hoeveelheid met cadmium en zink verontreinigde baggerspecie te verminderen, door het uitvoeren van een fractiescheiding. Er worden dan een organisch rijke fractie met cadmium en zink en een qua zware metalen schone zandfractie gevormd. Er wordt dan echter voorbij gegaan aan de aanwezigheid van het ijzersulfide in beide fracties. Dit zal in de zandfractie zeer snel worden geoxideerd en voor verzuring zorgen. Eén van de randvoorwaarden voor stabiele sulfiden (aanwezigheid organische stof) is immers verdwenen. Ook bij opslag onder water van de zandrijke fractie zal er oxidatie van de sulfiden kunnen optreden. Juist door niet te scheiden is oxidatie te voorkomen. Zonder toevoegen van grote hoeveelheden kalk zal de zandfractie niet bruikbaar zijn onder aërobe omstandigheden. De zandfractie kan zeker niet worden toegepast in de omgeving van het ven in verband met belasting van het ven met calciumsulfaat zoals hiervoor al is vermeld.

## **5.2 Toekomstige kwaliteitsontwikkelingen.**

Alle hiervoor beschreven situaties gaan er van uit dat er geen nieuwe aanvoer plaats vindt van zware metalen en kunnen bij een goede invulling worden gezien als een duurzame oplossing. Als er wel zware metalen worden aangevoerd, is de oplossing vanuit de huidige hoeveelheid vervuilde baggerspecie geredeneerd wel duurzaam, maar voor het gebied niet.

Het is immers waarschijnlijk, dat via het grondwater zware metalen worden aangevoerd, die vervolgens ergens worden geïmmobiliseerd. De bodems van de

gevormde vennen zullen hierin een minder belangrijke taak krijgen, omdat de organische stof wordt verwijderd en in het voorgestane voedselarme systeem een organisch rijke laag niet of zeer langzaam wordt gevormd. De huidige bodem zal die functie blijven vervullen op die plekken waar afgraving niet nodig is. De gemeten gehalten geven aan dat de verontreiniging zich iets dieper in het profiel bevindt en dat de bovenste 10 tot 20 cm schoon zijn. Boven op de ondergrond, die als filter wordt gebruikt kan zich vervolgens een nieuwe bodem gaan vormen. Nieuwe bodem of zones met veel organische stof zullen op termijn weer vervuild zullen raken. Als dit gebiedsdelen zijn die minder van belang zijn voor de natuurontwikkeling, zal de toekomstige vervuiling de natuurontwikkeling niet in de weg staan.

In een duurzaam systeem moet voorkomen van immobilisatie in het voedselarme ven samengaan met immobilisatie op een andere plek. De belasting met cadmium en zink moet niet worden afgewenteld op benedenstroomse locaties. Het cadmium en zink dat anders zou worden vastgelegd in de Roeventerpeel zal zonder extra maatregelen worden meegevoerd. Dit probleem kan worden ondervangen door immobilisatie plaats te laten vinden op een plek waar het geen kwaad kan. Helofyten filters kunnen een rol spelen bij het vastleggen van zware metalen. Immobilisatie en vastlegging als sulfide zal plaatsvinden als de ondergrond voldoende organische stof bevat. Het is te overwegen benedenstrooms van de Roeventerpeel een systeem te maken waarin cadmium en zink worden vastgelegd, waardoor verder gelegen systemen ook gevoed zullen worden met schoon water. Zoals al is aangegeven kan zo'n systeem worden gecombineerd met berging van de baggerspecie uit de Roeventerpeel.

De dikke veenlaag kan een gunstige werking hebben op de verwijdering van nitraat uit het opgekwalde water. Aangevoerd nitraat zal door denitrificatie worden verwijderd. Ontwatering van het veenpakket, gevolgd door oxidatie zal leiden tot aanvoer van nitraat in het oppervlaktewater. Dit naast de al besproken aanvoer van calciumsulfaat. Het nitraat zal van invloed zijn op de vegetatie.

De hoeveelheid ijzersulfide in het gebied van de Roeventerpeel kan een bedreiging zijn voor de toekomst. Momenteel is er een vast waterpeil en zelfs in de warme en droge zomer van 2003 heeft er geen verdroging plaats gevonden. Het is de bedoeling van het Limburgs Landschap dit strakke waterregiem los te laten en fluctuaties in grondwaterpeil te accepteren. Hierdoor kan oxidatie en daarmee sterke verzuring van de omgeving plaatsvinden. Dit risico voor verzuring dient meegenomen te worden in de planontwikkeling. Die delen die sulfiden bevatten en niet worden verwijderd zullen verzekerd moeten blijven van natte omstandigheden. Het kan noodzakelijk zijn het deel waarin zich sulfiden bevinden, hydrologisch te kunnen scheiden van de rest van het ven. In dit deel moet het mogelijk zijn bij droogte een hoger peil te handhaven. Dit systeem moet wel zodanig zijn dat hierbij eventueel voedselrijk water niet later via het ven wordt afgevoerd. Dit kan het eenvoudigst worden gerealiseerd bij sulfide bevattende delen die benedenstrooms zijn gelokaliseerd.



## 6 Conclusies

In de waterbodem van de Roeventerpeel bevinden zich zware metalen die de gewenste natuurontwikkeling in de weg kunnen staan. Dit geldt voor het totale oppervlak van het gebied waarbinnen wordt gedacht aan herstel van het ven. Verwijderen en afvoer van deze waterbodem zal financieel gezien niet haalbaar zijn. Om verdere ontwikkeling van het gebied mogelijk te maken, moet er herinrichting van de vennen plaatsvinden, waarbij er grote hoeveelheden vervuilde baggerspecie moet worden verwijderd of in het gebied worden hergebruikt. Het is mogelijk in dit gebied of direct aansluitend aan het gebied, gebruik te maken van natuurlijke immobilisatie, waarbij de zware metalen worden vastgelegd als sulfide. De randvoorwaarden voor dit proces, stabiel hoog grondwaterpeil, kwel en aanvoer van sulfaat en ijzer, zijn aanwezig. De zware metalen worden dan duurzaam vastgelegd, waardoor een hoog milieurendement wordt verkregen. Mogelijke oplossingsrichtingen zijn gegeven.

Complexerende factor is de bron van de zware metalen. Het opgekwelde water lijkt de belangrijkste bron te zijn. Consequenties hiervan zijn dat er na verwijdering van de vervuilde waterbodem herverontreiniging gaan optreden en dat over enkele tientallen jaren de vervuiling opnieuw de natuurontwikkeling in de weg kan gaan staan. Het is dus van belang de maatregelen voor het immobiliseren van de zware metalen te combineren met mogelijkheden voor afvang van de aangevoerde zware metalen. Hiervoor zijn ook nader te onderzoeken suggesties gegeven.

Voor alle gegeven oplossingen geldt, dat deze nader moeten worden bekeken met betrekking tot de hydrologie, bodem- en stoffeigenschappen, maar vooral in relatie tot de wensen voor het gebied. Een technische mogelijkheid moet inpasbaar zijn in de gewenste en op de locatie mogelijke natuurontwikkeling. Dit vereist een communicatie over en weer tussen beheerders, bevoegd gezag en onderzoekers.

Toepasbaar maken van natuurlijke immobilisatie zal gelijktijdig plaats moet vinden met werkzaamheden noodzakelijk voor de verdere ontwikkeling van het gebied. Hierdoor kunnen de kosten voor de “saneringsoperatie” worden gereduceerd. Het is nu nog niet mogelijk om aan te geven wat de “extra” kosten zullen zijn, omdat dit afhankelijk is van de nog te maken keuzes. Bespaard wordt in ieder geval op afvoer per as van de baggerspecie (ca. 8 EURO/m<sup>3</sup>) en sanerings- of stortkosten. Het gebied voldoet aan de randvoorwaarden voor natuurlijke immobilisatie, zodat geen dure isolerende voorzieningen nodig zijn. Gebaseerd op de metingen in 2004 is er minder organisch rijke bagger aanwezig dan weergegeven in de rapportage van CSO (2003). Gebaseerd op de organische stof, zal ca 60 cm moeten worden verwijderd. Wordt echter rekening gehouden met het sulfide gehalte (ter voorkoming van verzuring van het ven), dan zal ca 80 cm moeten worden verwijderd.

Aanwezigheid van grote hoeveelheden ijzersulfide in de bodem zorgt voor een ander en misschien wel groter risico voor de ontwikkeling van het ven dan de aanwezigheid

van de zware metalen. Als deze bodem droogvalt of droog wordt hergebruikt, zal als eerste het ijzersulfide oxideren, wat samengaat met een zeer sterke verzuring van de bodem. De verzuring kan zodanig zijn dat alle vegetatie zal afsterven. De verzuring kan worden gecompenseerd door toevoeging van kalk. Dit zal echter zorgen voor een langdurige verhoging van het calciumsulfaatgehalte in het grondwater in die gebieden waar de specie wordt toegepast, wat weer gevolgen heeft voor de mogelijkheid voor natuurontwikkeling.

Binnen het veranderende bodembeleid (Beleidsbrief Bodem, 2003) komt er meer ruimte voor het omgaan met vervuilde bagger. Hierbij zal het wel of niet toepassen van vervuilde baggerspecie worden gebaseerd op de risico's voor mens, landbouw en natuur. De waterbodem in de Roeventerpeel zal hoogst waarschijnlijk in de categorie nader te beoordelen vallen, waarna er een locatiespecifieke beoordeling zal moeten plaatsvinden, gebruikmakend van een beslismodel. Hoe dit precies gaat gebeuren is afhankelijk van lopende studies, waarbij Alterra betrokken is.

*Uit bovenstaand blijkt, dat de Roeventerpeel een complex systeem is met diverse interacties met de omgeving. Omdat het niet mogelijk of zeer kostbaar is de volledige hoeveelheid baggerspecie uit het gebied te halen en ook af te voeren tot buiten de directe omgeving, zal het gehele systeem in beschouwing moeten worden genomen. Het gebied is in staat z'n eigen baggerspecie risicoloos te bergen. Algemeen kan worden geconcludeerd dat voor elke te kiezen oplossing, er vanuit een systeembenadering moet worden nagegaan wat de korte en lange termijn effecten kunnen zijn.*

## Referenties

- AbdK, 2003, Managementsamenvatting Grondwater en Verspreiding
- Beleidsbrief Bodem, 2003. Ministerie van VROM, versie 31 oktober 2003
- Bolt, F.J.E. van der, P.E. Dik en W.W. Immerzeel, 2002 Waterbeheer reconstructiegebied Nederweert. Alterra-rapport
- CSO, 2003-1. Nader (water)bodemonderzoek Roeventerpeel
- CSO, 2003-2. Onderzoek verschillende onderzoeksresultaten 1994-2003 Roeventerpeel
- Grift, B. van der, 2003. Monitoring grondwaterkwaliteit de Kempen: meetronde 2002. Rapport TNO-NITG 03-104-B
- Harmsen, J., A. van den Toorn en J. Bril, 2001. Natuurlijke immobilisatie van zware metalen in de bodem. Alterra rapport 357
- Harmsen, J., A. van den Toorn, E.P.A. Lucas, 2002. Natuurlijke immobilisatie van zware metalen in de bodem, een grondige oplossing. Bodem, 12(5), 182-184
- Janssen, A.M.J. (1985). Solubility controlling processes in anoxic systems for some trace elements. Delft Hydraulics Laboratory, Report S691, Delft, the Netherlands.
- Loring, D.H., 1976. The distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay fjord. Can. J. Earth Sci., 13, 960-971
- Piper, D.Z., 1971. The distribution of Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn in Framvaren, a Norwegian anoxic fjord. Geochim. Cosmochim. Acta 35, 531-550.
- Querner, E., 2001. Persoonlijke mededeling, Alterra Wageningen
- Reijnen, J. 2003. Diverse resultaten Waterschap De Maaskant
- Rijtema, P.E., P. Groenendijk en J.G. Kroes (1999). Environmental impact of land use in rural regions. Series on environmental science and management. Imperial College Press, London.
- Römkens, P.F.A.m., L.T.C. Bonten, R.P.J.J. Rietra, J.E. Groenenberg, A.C.C. Plette en J. Bril, 2003a. Uitspoeling van zware metalen uit landbouwgronden. Alterra-rapport 791

Römkens, P.F.A.m., L.T.C. Bonten, R.P.J.J. Rietra en A.C.C. Plette, 2003b. Bijdrage uitspoeling zware metalen aan belasting van grond- en oppervlaktewater. *H<sub>2</sub>O*, 36 (23), 33-35

Tauw, 1999. Onderzoek Tungelroyse Beek. Diverse rapporten Tauw

Stumm, W., Morgan, J.J., 1982. *Aquatic Chemistry Second Edition*. Wiley-Interscience, New York.

Vaughan, D.J., Graig, J.R., 1978. *Mineral chemistry of metal sulfides*. Cambridge University Press, Cambridge.

Veen, A.J.J. van der., 2004. Verslag van de workshop 'Bestuurlijk draagvlak waterbodemsanering in combinatie met natuurbeheer. Bioclear-rapport 2003.2232

Verheijen, L., 2004. Actief Bodembeheer de Kempen geeft impuls aan duurzaam bodembeheer. *Bodem*, 14 (3), 105

Waarde, J.J. van der, A.J.J. van der Veen en M.H.A.B. Wagelmans, 2003. Extensieve baggerspecie reiniging in combinatie met natuurbeheer. Bioclear-rapport 2002.1769



**Bijlage 1 Gloeiverlies en gehalten aan cadmium, zink, ijzer en zwavel in bodemonsters op verschillende locaties. De locaties zijn weergegeven in figuur 4.**

locatie	diepte	Gloeiverlies (%)	Cadmium (mg/kg d.s.)	Zink (mg/kg d.s.)	IJzer (mg/kg d.s.)	Zwavel (mg/kg d.s.)
1	-10	61	2.2	161	19078	9427
	-20	26	8.0	421	17474	6176
	-30	7	4.5	442	22811	2464
	-40	20	1.9	176	15322	10123
	-50	8	0.4	24	12953	14779
	-60	3	0.3	23	7701	5018
	-70	1	0.2	9	3623	1397
	-95	2	0.2	17	5939	1089
leem op -50	6	2.3	309	21503	1304	
2	-10	37	1.3	123	10526	4081
	-20	21	0.5	48	6070	2881
	-30	29	7.9	620	11008	11132
	-40	25	10.9	939	16920	15295
	-50	11	0.8	36	26559	27371
	-60	6	0.4	16	13230	15581
	-100	1	0.1	12	5435	1281
3	-10	60	3.4	233	33349	4942
	-20	39	5.9	350	48866	4490
	-30	31	22.1	2065	32001	14469
	-50	42	22.9	3824	34092	23813
	-60	19	5.3	599	16180	12596
	-70	0	1.1	91	14237	13125
	-80	9	0.8	47	19905	24914
	-90	3	0.5	33	9138	7212
	-100	1	0.4	41	3313	1267
4	-10	20	0.5	37	2887	872
	-20	3	0.2	17	2502	456
	-30	1	0.1	6	1930	5
	-40	1	0.2	6	2046	92
	-50	1	0.6	19	2782	373
	-60	1	0.2	16	2028	381
	-70	56	0.3	13	2003	453
	-90	1	0.1	12	1895	238
				0.0		
5	-10	56	1.6	128	15109	5020
	-20	36	6.3	225	7594	5724
	-30	9	4.3	351	5776	4377
	-50	8	0.6	80	7491	5644
	-60	4	0.4	29	8894	7365

6	-10	52	4.3	613	29800	7885
	-20	56	9.3	915	25287	10726
	-30	42	18.5	1688	>49000	>15000
	-40	25	5.1	635	12823	9957
	-50	19	1.5	131	14351	11956
	-60	8	0.7	31	19306	21351
	-70	3	0.3	7	11896	8844
	-90	2	0.4	32	5001	2363
7	-10	72	3.0	272	13925	8545
	-20	60	4.3	334	16077	9822
	-30	66	14.5	1967	26375	24489
	-40	35	10.5	1245	23110	20084
	-60	6	0.4	17	15375	14274
	-70	25	6.2	981	23138	22462
	-80	3	0.3	22	7884	4611
	-90	2	0.4	39	5356	2519
8	-10	68	7.9	858	17925	9051
	-30	73	6.6	711	11251	13019
	-40	41	10.0	1180	23053	23170
	-50	28	8.4	793	20856	18983
	-60	22	1.8	183	16174	18550
	-70	6	0.3	19	7286	4002
	-80	2	0.2	9	5481	2445
	9	-10	56	3.5	224	76495
-20		34	11.3	724	48635	5994
-30		32	8.6	895	29137	23687
-40		30	16.4	1734	46682	25839
-50		22	8.0	852	28769	24108
-60		21	4.1	389	16536	10997
-70		36	1.4	103	22738	22350
-80		12	0.9	24	42584	43068
	-90	3	0.4	15	11254	7983

---