

RIVM Rapport 607035001/2007

## **Ecologische risicobeoordeling depotterrein gemeente Epe**

M. Mesman (projectleider), RIVM  
J. Spijker  
A.J. Schouten  
M. Rutgers

Contact:  
Miranda Mesman  
Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling  
Miranda.Mesman@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Waterschap Veluwe, in het kader van  
E/607035/01/AA

© RIVM 2007

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

## Rapport in het kort

### **Ecologische risicobeoordeling depotterrein gemeente Epe**

Op arseenhoudende depotgrond bij de gemeente Epe (Gelderland) zijn ecologische effecten waargenomen. Het arseen lijkt een remmende werking te hebben op de activiteit van bacteriën en algen. Veldonderzoek aan vegetatie, aaltjes en regenwormen laat ook verschillen zien tussen de depots en de omgeving. Deze effecten zijn duidelijk aanwezig, maar klein. Dit concludeert het RIVM na onderzoek naar de ecologische risico's van deze arseenhoudende depotgrond.

De concentratie arseen overschrijdt de maximum toelaatbare waarde, maar is bij de ijzerhoudende gronden in de nabije omgeving eveneens hoog. Wel gedraagt het arseen in de depotgrond zich op een andere wijze dan in de natuurlijke omgeving. De concentraties arseen in het bodemvocht zijn hoger.

Trefwoorden:

ecologische risicobeoordeling, TRIADE, arseen, biobeschikbaarheid



## **Abstract**

### **Ecological risk assessment at a depot at the community of Epe**

Near the community of Epe, on arsenic containing soil from a depot ecological effects are observed. The arsenic limits the growth of earthworms and the activity of bacteria and algae. Field investigation of vegetation, nematodes and earthworms also show differences between the depot area and the surroundings. However, the effects are small and the uncertainty of this estimation is small. This is the conclusion of the National Institute for Public Health and the Environment after an ecological risk assessment of the arsenic in the soil depot.

The arsenic concentration exceeds the maximum allowable value but is also high in the iron rich soil in the surroundings. The behaviour of arsenic differs in the depot from the arsenic in the local environment. Concentrations of arsenic in the soil solution are higher.

Key words:

ecological risk assessment, TRIAD, arsenic, bioavailability



## Inhoud

<b>Samenvatting</b>		<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1	Vooronderzoek	11
<b>2</b>	<b>Fase 1</b>	<b>15</b>
2.1	Methode geochemie	15
2.1.1	Analyses	15
2.2	Resultaten geochemie	16
2.2.1	Concentratieniveaus	16
2.2.2	Mechanismen	18
2.3	Interne gehalten regenwormen	23
<b>3</b>	<b>Fase 2</b>	<b>25</b>
3.1	Toxicologische waarnemingen	25
3.2	Ecologische waarnemingen	26
<b>4</b>	<b>TRIADE-beoordeling</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbeveling</b>	<b>37</b>
<b>Literatuur</b>		<b>33</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Chemische analyses</b>	<b>41</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>PAM-algentoets</b>	<b>42</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Microtox-test</b>	<b>43</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Regenwormentest: groei en overleving</b>	<b>44</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Vegetatieopname</b>	<b>45</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Analyse wormen</b>	<b>47</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Resultaten nematodenanalyses</b>	<b>48</b>
<b>Bijlage 8</b>	<b>Referentie gebied</b>	<b>53</b>





## Samenvatting

Het RIVM heeft onderzoek gedaan naar de ecologische risico's van arseenhoudende depotgrond op een locatie in de gemeente Epe (Gelderland). Deze locatie is naast een natuurgebied gelegen en kan daar in de toekomst deel van uit gaan maken. Op de locatie is arseenhoudende grond, afkomstig van beekoevers in de nabije omgeving, in verschillende depots opgebracht. In sommige depots overschrijdt de concentratie arseen de interventiewaarde, een drempelwaarde die verder onderzoek naar de risico's van arseen noodzakelijk maakt. Uit voorgaand onderzoek van een adviesbureau is gebleken dat het arseen weinig beschikbaar is en dat de oorspronkelijke bodem van de locatie waarschijnlijk van nature verhoogde arseenconcentraties bevat. De voorlopige conclusie was dat de risico's van het arseen mogelijk lager zijn dan op basis van de generieke norm verondersteld mag worden. Op verzoek van het Waterschap Veluwe en de Provincie Gelderland heeft het RIVM de ecologische risico's verder onderzocht met behulp van de TRIADE-benadering. Het doel van deze TRIADE-benadering is om de ecologische risico's van het arseen kwantitatief te beschrijven. Het optreden van effecten van verhoogd arseen is op drie verschillende manieren bestudeerd:

1. Chemie: de natuurlijke achtergrondconcentratie bij de ijzerhoudende gronden in de nabije omgeving is hoog. De arseenconcentraties in de depotgrond zijn gelijkwaardig aan de omgeving, maar het onderzoek toont aan dat het arseen in het depot zich chemisch op een andere wijze gedraagt dan bij de natuurlijke hoge achtergrond. De extraheerbare concentraties arseen uit de depotgrond zijn hoger.
2. Toxiciteit: drie verschillende bioassays werden gebruikt om de toxiciteit in monsters van de locatie te meten, namelijk een bacteriesoort (*Vibrio fischeri*), een algensoort (*Selenastrum capricornutum*) en een regenwormensoort (*Eisenia andrei*). De bacterie- en algentest werden uitgevoerd in een waterig extract (elutriaat) van de grondmonsters. De regenwormentest werd uitgevoerd met grond van de locatie. Er werden geringe effecten waargenomen in monsters van het meest verontreinigde depot (monsterlocatie A). Uitgedrukt op een schaal van 0 tot 1: 0,09 op de activiteit van algen, 0,20 op de activiteit van bacteriën en 0,39 op de groei van regenwormen.
3. Ecologische waarnemingen: op de locatie met de gronddepots en in de nabije omgeving werd de vegetatie bestudeerd. Specifieke effecten van arseen werden niet aangetroffen. De vegetatie op het meest verontreinigde depot was kenmerkend voor ruigte (ruderaal terrein) of een algemene verstoring. Het aantal regenwormen in de monsters was hoog (gemiddeld 450 per m<sup>2</sup>), behalve in de grond van het meest verontreinigde depot (50 per m<sup>2</sup>). Dit kan duiden op een effect van arseen. In de overige gemeten bodemeigenschappen (pH, vocht, organische stof) kon geen duidelijke verklaring voor een effect op de wormen worden gevonden. Mogelijk zijn er andere factoren die de kolonisatie van de grond, door regenwormen, beperken.  
De omvang van de aaltjesgemeenschap in de arseenhoudende depotgrond was niet afwijkend van de referentielocaties, maar de samenstelling wel. In de depotgrond kwamen relatief veel bacterie-etende nematoden voor. De waargenomen verschillen tussen de locaties duidt op een combinatie van verstoring en mogelijke effecten van arseen.

De ecologische risicoschatting is gebaseerd op een meervoudige bewijsvoering in de drie bovengenoemde sporen van de TRIADE. Hiermee werd aangetoond dat het bodemecosysteem in het meest verontreinigde depot afwijkt van de bodem die als de lokale referentie werd gekozen. Hieruit

volgt de conclusie dat er geringe ecologische effecten van arseen in een deel van het depot optreden. Toxicologisch- en veldonderzoek geven echter ook aan dat er effecten zijn van grondverzet en veranderde abiotische omstandigheden in de bodem. De vooraf gestelde grenzen voor onaanvaardbare risico's worden niet overschreden, noch de grenzen die werden gesteld aan de onzekerheid in de risicoschatting als gevolg van verschillen tussen de TRIADE-sporen.

# 1 Inleiding

Het Waterschap Veluwe heeft sinds eind jaren '90 tot 2005 bodemmateriaal van beekoevers uit de gemeente Epe en omgeving opgeslagen op een depotterrein in de gemeente Epe. Dit materiaal bevat een van nature hoge concentratie arseen. Ook de bodem van het depotterrein zelf bevat hoge concentraties arseen. Uit onderzoek blijkt dat de arseenconcentraties in het opgeslagen materiaal de interventiewaarde overschrijden. Het terrein is aangewezen voor natuurontwikkeling. Daarom heeft het Waterschap Veluwe het RIVM gevraagd een ecologische risicobeoordeling uit te voeren op het depotterrein. Het doel van deze risicobeoordeling is om de ecologische risico's te kwantificeren zodat zij gebruikt kunnen worden door het bevoegd gezag. Het bevoegd gezag zal moeten oordelen of het depot als bodem toegepast kan worden. Een belangrijk aandachtspunt bij de onderzoeksvraag waren de mogelijke ecologische risico's voor de das.

De aanname van dit onderzoek was dat de concentraties van het beekmateriaal overeenkomen met die van het depotterrein en dat het opslaan van dit materiaal geen onaanvaardbare ecologische risico's oplevert. Om deze aanname te toetsen hebben wij in het onderzoek de volgende fasering toegepast.

## **Fase 1:**

Nagaan of er relevante verschillen zijn in de arseengehaltes en chemische beschikbaarheid tussen de depotgrond en de nabije omgeving, zodat in principe geconcludeerd kan worden dat het arseengehalte van de depotgrond beschouwd kan worden als locatiespecifieke achtergrond. Dit betekent dat er geen verhoogde ecologische risico's zijn in vergelijking met de nabije omgeving.

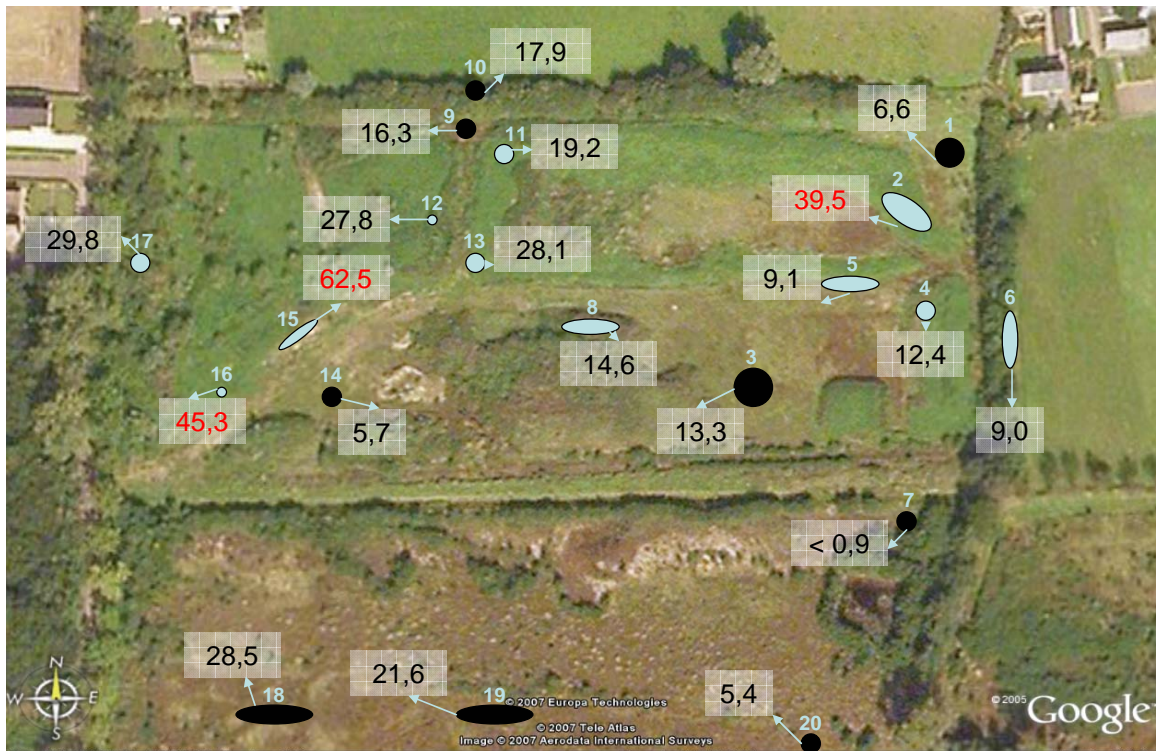
Wanneer er verschillen aangetoond worden in fase 1, dan volgt fase 2.

## **Fase 2:**

In deze fase worden de mogelijke ecologische effecten gekwantificeerd, waarbij ook de onzekerheden in kaart gebracht worden. Chemische informatie uit fase 1 wordt gecombineerd met toxicologische en ecologische informatie. Deze drievoudige bewijsvoering, de TRIADE-benadering, geeft als eindresultaat een maat voor de effecten en een deviatie in de resultaten. Ecologische effecten zijn voor deze locatie niet acceptabel wanneer de effectmaat hoger is dan 0,5 en de deviatie groter dan 0,4 (zie Rutgers et al., 2005 in de Leidraad Bodembescherming voor een toelichting). De beslissing of het verantwoord is om de depotgrond als bodem toe te passen, is uiteindelijk aan het bevoegde gezag.

## 1.1. Vooronderzoek

Voordat een definitieve keuze gemaakt werd voor de bemonstering heeft een vooronderzoek plaatsgevonden. In dit vooronderzoek is de informatie uit het rapport van TAUW bv (2007) gecombineerd met XRF-metingen (röntgenfluorescentie) van monsters van het depotterrein en een naastgelegen natuurgebied. In Figuur 1.1 zijn de arseengehaltes van de diverse monsterpunten op een kaart weergegeven. Opvallend is dat de tweedeling in arseengehaltes, zoals die ook door TAUW (2007) op het depotterrein is waargenomen ook voorkomt op het naastgelegen natuurgebied (de Vossenbroek). De westelijke kant lijkt hogere concentraties arseen te bevatten dan de oostelijke zijde.



Figuur 1.1. Arseengehaltes gemeten met XRF van de bemonsterde locaties van het vooronderzoek (kaart verkregen via Google Earth). Gehaltes in rood geven een overschrijding van de interventiewaarde op dat monsterpunt weer. Zwarte monsterpunten geven metingen in de ondergrond aan, blauwe monsterpunten zijn van opgeslagen materiaal.

### Monsternamen

Voor fase 1 van het onderzoek zijn drie locaties op het depotterrein (A, B en C) en twee locaties in het natuurgebied Vossenbroek (F en G) bemonsterd, zie Tabel 1.1 en Figuur 1.2. De locaties zijn in viervoud bemonsterd. Met een Edelmanboor zijn grondmonsters gestoken in de bovenste 20 cm van de bodem. Diverse steken met de boor zijn gehomogeniseerd en als mengmonster gebruikt voor de verdere analyses en testen. Voor de regenwormanalyse zijn plaggen van 20 cm bij 20 cm gestoken. Bij het bemonsteren is voldoende materiaal verzameld, zodat daar ook fase 2 mee uitgevoerd kan worden.

Tabel 1.1 Korte beschrijving van de locaties waar gemonsterd is.

Locatie	Depotterrein	Natuurterrein	opgeslagen materiaal	Concentratie arseen	Dieptemonsters
A	Ja		Ja	Hoog	Ja
B	Ja		Ja	Laag	
C	Ja		Nee	Laag	
F		Ja		Hoog	
G		Ja		Laag	



*Figuur 1.2. Locaties die bemonsterd zijn in het onderzoek. A, B en C liggen op het depotterrein en F en G op het natuurterrein het Vossenbroek (kaart aangepast van Google Earth).*





*Foto 1: Boven, het terrein gezien vanaf de ingang aan de Wiemanstraat. Onder, het terrein gezien vanuit tegenovergestelde zijde. Duidelijk zijn de hoogteverschillen te zien van de opgeslagen hopen grond.*

## 2 Fase 1

### 2.1. Methode geochemie

Het doel van het geochemisch onderzoek was tweeledig:

1. het inzichtelijk maken van concentratieniveaus van arseen in de verschillende bodemfasen (vaste en vloeibare fase).
2. globaal inzicht verkrijgen in de onderliggende mechanismen die hebben geleid tot de gevonden concentratieniveaus

Het toetsen van concentratieniveaus aan risiconiveaus gebeurt vaak op basis van zogenaamde totaalgehalten, de totaalconcentratie van een element per massa bodemmateriaal. Deze totaalgehalten zijn niet altijd representatief voor de gehalten die beschikbaar zijn voor ecologische processen. Binnen dit onderzoek zijn daarom naast de totaalgehalten ook gehalten bepaald die meer representatief zijn voor de beschikbaarheid van arseen onder de lokale omstandigheden.

In het onderzoek van Tauw (2007) werden hoge arseenconcentraties op de locatie aangetoond; aangenomen werd dat deze arseenconcentraties van natuurlijke oorsprong waren. Om duidelijkheid te krijgen over de mechanismen die kunnen hebben geleid tot de hoge arseenconcentraties, is het noodzakelijk om ook inzicht te krijgen in algemene bodemchemische parameters zoals de gehalten aan ijzer(oxiden), aluminium(oxiden), carbonaatgehalte etc. Deze extra gegevens kunnen ook worden gebruikt om de gegevens over beschikbaarheid van arseen te interpreteren.

De uitwerking van het geochemisch deel valt uiteen in twee onderdelen. Een directe vergelijking van de gevonden concentraties met risiconiveaus (toetsing) en daarnaast een interpretatie waarin de gevonden resultaten gekoppeld worden aan mogelijke mechanismen.

#### 2.1.1. Analyses

In Tabel 2.1 zijn de uitgevoerde chemische analyses weergegeven, de gemeten parameters en het doel van de analyse. Doordat gebruik is gemaakt van analyse apparatuur die een groot aantal elementen tegelijk meet (XRF en ICP-MS) worden veel meer elementen gerapporteerd dan strikt noodzakelijk. De overlap tussen de beide technieken wordt gebruikt ter controle van de analyses.

Naast de in Tabel 2.1 genoemde elementen zijn ook de pH (poriewater, waterextract, KCL), lutumgehalte en organisch stof gehalte bepaald. Om inzicht te krijgen in de koolstofchemie (e.g. opgelost koolstof, carbonaten) zijn ook het DOC (dissolved organic carbon, opgelost organisch koolstof) gehalte en IC (inorganic carbon, anorganisch koolstof) gehalte gemeten.

Tabel 2.1. Overzicht van de uitgevoerde chemische analyses.

Analyse methode	matrix	doel	gemeten parameters
XRF	bodem	bepaling totaal gehalten	Ag, Al, As, Ba, Bi, Br, Ca, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, I, In, K, La, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr
HNO <sub>3</sub> -extractie	extract	bepaling gehalten overeenkomstig commerciële laboratoria	Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ca, V, Cr, Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Ba, Tl, Pb
Oxalaat extractie	extract	bepaling oxiden	Fe, Al, Mn
water-extract	extract	bepaling beschikbaarheid	Li, Be, Na, Mg, P, K, Ca, V, Cr, Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Ba, Tl, Pb

## 2.2. Resultaten geochemie

### 2.2.1. Concentratieniveaus

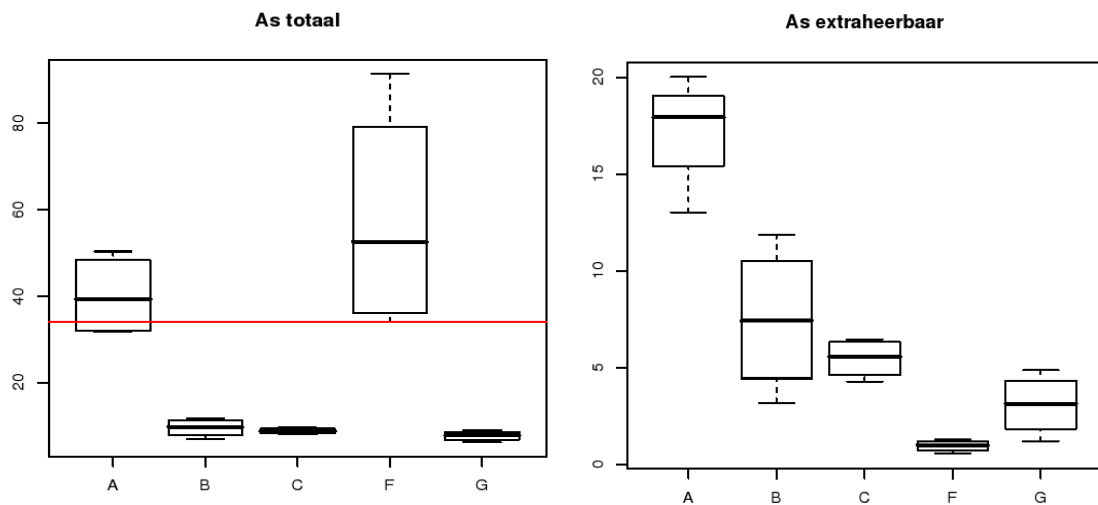
In Tabel 2.2 staan de concentratieniveaus weergegeven van arseen; zowel de concentratie in de vaste fase (benaderd door de HNO<sub>3</sub>-extractie) als de waterextraheerbare fase zijn gegeven. De concentraties in de vaste fase zijn vergeleken met de interventiewaarde grond, gecorrigeerd voor organisch stof en lutum. De waterextraheerbare concentraties zijn ter illustratie vergeleken met de streefwaarde voor grondwater. Als de laatste worden vergeleken met de interventiewaarde voor grondwater (60 µg/l) dan zijn alle gemeten concentraties lager. In het veld kunnen de poriewaterconcentraties hoger liggen. De extractie met water geeft de concentratie na 24 uur weer en het is mogelijk dat er zich dan nog geen volledig evenwicht heeft ingesteld.



Tabel 2.2. Gemeten concentraties van arseen in bodem en waterextract, percentages lutum en organisch stofgehalte, streefwaarde grondwater en bodemtypespecifieke interventiewaarde. Concentraties arseen gemerkt met een \* overschrijden de normwaarde, voor grond is dit de interventiewaarde (IW), voor het waterextract is dit de streefwaarde (SW) grondwater. De interventiewaarde voor grondwater (60 ug/l) wordt in geen van de gevallen overschreden.

Locatie		Meetwaarde				Toetsingswaarden		
locatie	nr	lutum	organisch stof	Arseen totaal grond	Arseen extraheerbaar water	IW	SW grondwater	grondwater
A	1	2	6.9	32.3	18.1 *	35.2	10	
A	2	2	6.6	31.8	17.8 *	35.0	10	
A	3	2	7.3	46.4 *	13.0 *	35.5	10	
A	4	2	7.7	50.4 *	20.0 *	35.8	10	
B	1	3	3.6	8.9	9.1	33.5	10	
B	2	4	3.8	10.7	3.2	34.4	10	
B	3	3	4.3	11.8	11.9 *	34.0	10	
B	4	2	3.7	6.9	5.7	32.8	10	
C	1	2	3.9	9.7	4.3	32.9	10	
C	2	<1	3.8	8.6	6.5	32.1	10	
C	3	1	3.4	9.1	4.9	31.8	10	
C	4	1	4.3	8.1	6.2	32.5	10	
F	1	7	3.8	34.2	0.6	36.6	10	
F	2	6	5.3	38.2 *	1.3	37.0	10	
F	3	12	5.1	67.0 *	1.1	41.4	10	
F	4	5	6.1	91.4 *	0.9	36.9	10	
G	1	4	8.4	7.4	4.9	37.9	10	
G	2	7	7.5	9.0	1.2	39.4	10	
G	3	5	10.8	8.3	2.5	40.4	10	
G	4	2	7.7	6.3	3.8	35.8	10	

In Figuur 2.1 staan de concentratieniveaus van bodem en waterextract voor iedere afzonderlijke locatie weergegeven in box-and-whisker plots. Voor de bodemconcentraties is ook het niveau van de interventiewaarde aangegeven bij 2,5% lutum en 5% organisch stof.



*Figuur 2.1. Box-and-whisker plot van totaalgehalte arseen en waterextraheerbaar arseen, concentraties op de y-as respectievelijk in mg/kg en mg/l. De box geeft de bandbreedte aan tussen de 25 en 75 percentiel, de whisker is de 75 percentiel plus 1,5 maal de eerder genoemde bandbreedte. De rode lijn geeft de interventiewaarde weer bij 2.5% lutum en 5% organisch stof.*

Uit Figuur 2.1 blijkt dat locaties A en F de hoogste arseenwaarden in de bodem hebben, locaties B, C en G liggen een stuk lager. Referentielocatie F is een bekeerdgrond waarvan bekend is dat deze hoge arseenconcentraties heeft. Volgens de bodemkaart is referentielocatie G gelegen op een vlierveengrond. Ofschoon in het veld het voorkomen van de vlierveengrond niet is bevestigd, wordt aangenomen dat het bodemtype van locatie G sterk verschilt van locatie F.

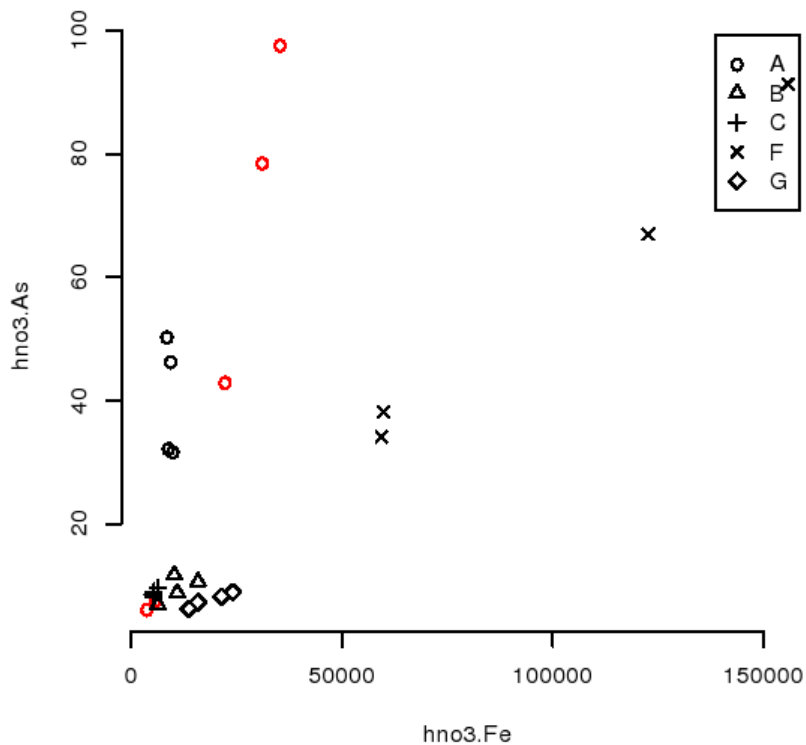
De depotlocaties A, B, en C hebben de hoogste waterextraheerbare concentraties, de referentielocaties F en G hebben lagere concentraties. Dit betekent dat het arseen uit het opgeslagen materiaal meer beschikbaar is dan in de lokale bodem.

### **2.2.2. Mechanismen**

Arseen is een metalloïde dat van nature in de Nederlandse bodem voorkomt. Typische concentratieranges voor zandbodems zijn 0,5-19 mg/kg (min, max) (Van de Veer, 2006). Voor ondiep grondwater onder natuurgebieden op zandgrond geldt een typische concentratierange van 0.14-0,46 ug/l (95% betrouwbaarheidsinterval van de mediaan) (Fraters et al., 2001).

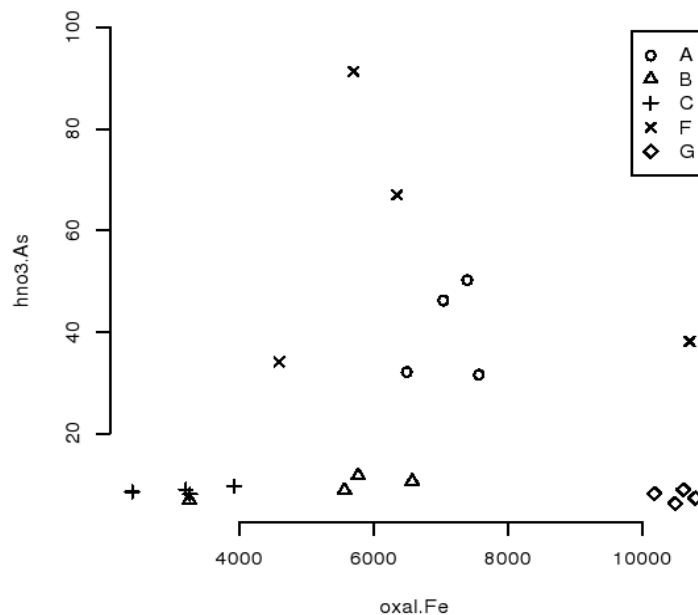
Een bekend fenomeen is dat als arseenrijk, gereduceerd grondwater met daarin opgelost ijzer, in een zuurstofrijke omgeving komt, er dan een arseenrijke sedimentatie van ijzeroxiden ontstaat. Aangenomen wordt dat dit proces heeft plaatsgevonden in de beeksedimenten die op de locatie Wiemanstraat zijn opgeslagen.

Figuur 2.2 toont de relatie tussen de totaalgehalten arseen en ijzer. Wanneer het ijzergehalte in de bodem toeneemt dan stijgt ook het arseengehalte. Echter de verhouding tussen arseen en ijzer varieert per bemonsterde locatie.



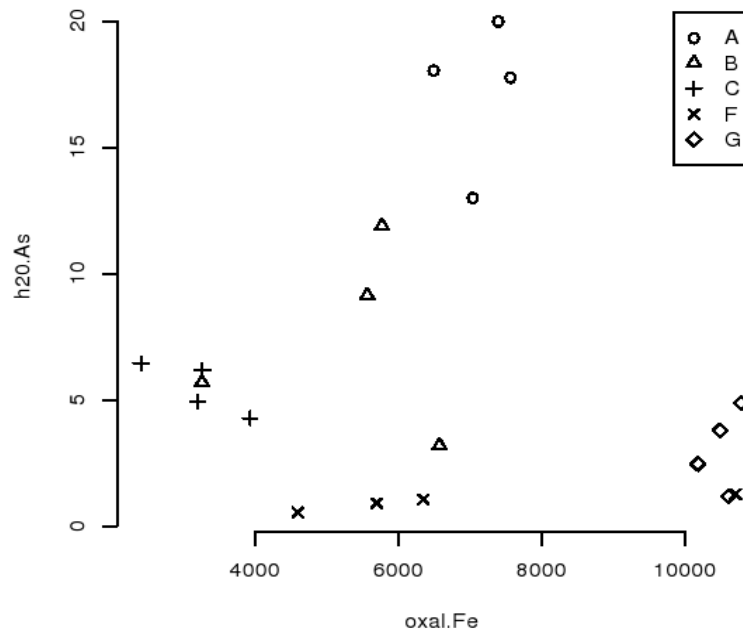
*Figuur 2.2. Scatterplot van de concentraties ijzer (hno3.Fe) en arseen (hno3.As) gemeten na HNO3 extractie. Concentraties in mg/kg, de rode cirkels zijn de diepe monsters genomen onder locatie A.*

In Figuur 2.3 is de ijzeroxalaatconcentratie uitgezet tegen de arseenconcentratie. Als aangenomen wordt dat arseen opgesloten zit in de matrix van ijzeroxiden dan zouden de data in Figuur 2.3 een verband moeten tonen. Dit verband is niet zichtbaar. Alle locaties, afgezien van F, liggen wel geclusterd bij elkaar. Dit betekent dat per locatie de ijzeroxides en arseen in de afzonderlijke monsters in verhouding met elkaar overeenkomen. De spreiding in locatie F is zowel voor arseen als voor de ijzeroxides veel groter. Het is dus op basis van deze gegevens niet mogelijk om een generiek verband tussen het voorkomen van ijzeroxides en arseen af te leiden. De relatie van arseen en ijzer zal dus voor iedere locatie apart beschouwd moeten worden.



*Figuur 2.3. Concentraties ijzeroxiden, gemeten als oxalaatextraheerbaar ijzer (oxal.Fe) en arseen (hno3.As), Concentraties in mg/kg.*

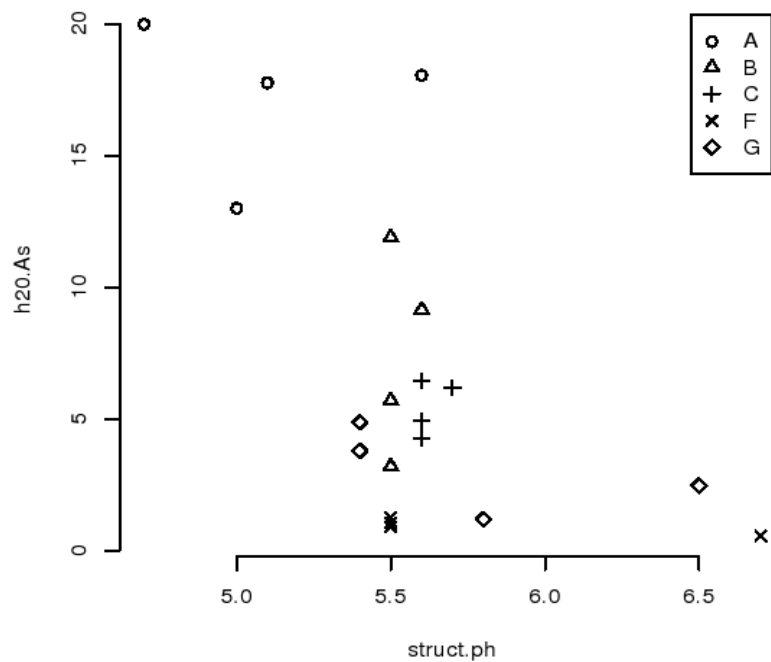
Als de waterextraheerbaarheid van arseen wordt vergeleken met het voorkomen van ijzeroxides (Figuur 2.4) dan valt op dat voor de opgeslagen gronden (locatie A, B, C) er een ander verband lijkt te bestaan dan voor de referentielocaties F en G. De punten liggen als het ware op twee afzonderlijke lijnen. Als de figuur op die wijze wordt geïnterpreteerd dan kan gesteld worden dat de beschikbaarheid van arseen op locaties A,B,C, verband houdt met het voorkomen van ijzeroxides en dat deze beschikbaarheid groter is ten opzichte van de referentielocaties F en G.



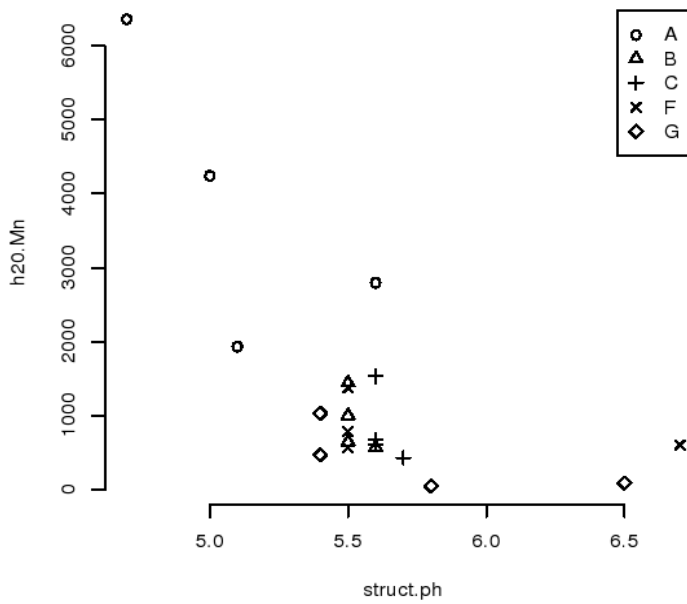
Figuur 2.4. Concentraties ijzeroxiden, gemeten als oxalaatextraheerbaar ijzer (oxal.Fe) in mg/kg en waterextraheerbaar arseen (h2o.As) in mg/l.

De relatie tussen de waterextraheerbaarheid van arseen en de pH(H<sub>2</sub>O) is gegeven in Figuur 2.5a. Uit de figuur kan opgemaakt worden dat een lagere pH is gerelateerd aan een hogere beschikbaarheid van As. De pH gemeten in het poriewater van locatie A lag rond de 5,7. Voor de overige locaties lag deze pH rond de 6,7. Uitgaande van licht oxidische omstandigheden (suboxisch), afwezigheid van carbonaat (Figuur 2.6), en de stabiliteit van ijzeroxides (i.e. Fe(OH)<sub>3</sub>) en mangaan (i.e. MnCO<sub>3</sub>), is het mogelijk dat zowel ijzer als mangaan gereduceerd worden (Appelo en Postma, 2005). Organisch stof zou een mogelijke oxidator kunnen zijn. Figuur 2.5b toont dat de waterextraheerbare mangaanconcentratie toeneemt met het dalen van de pH.

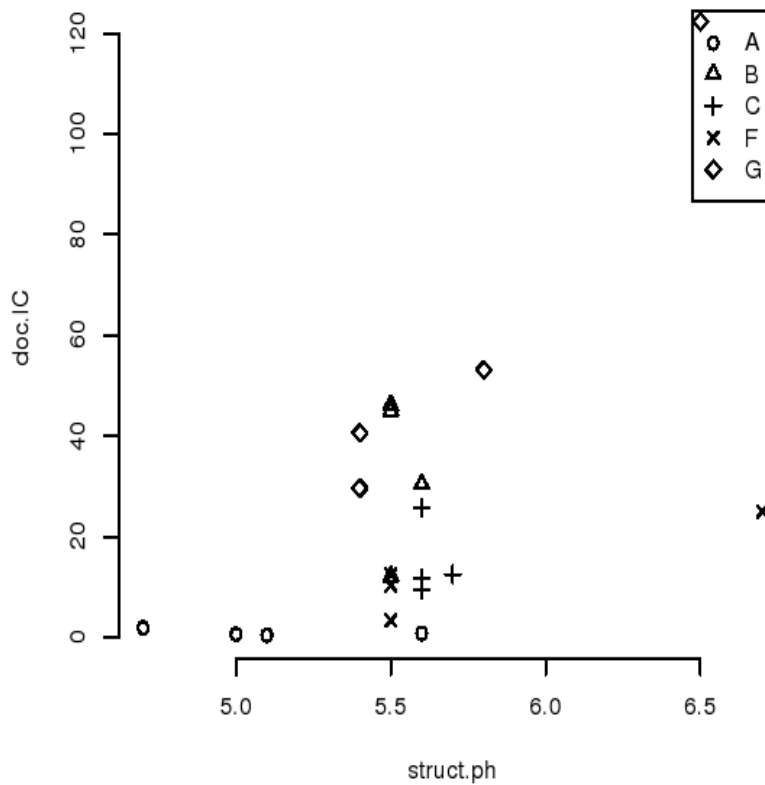
Op basis van bovenstaande resultaten mag vermoed worden dat arseen op locatie A vrijkomt uit de bodemmatrix. Deze conclusie is wel speculatief van aard. In de discussie wordt hier verder op ingegaan.



Figuur 2.5a. De pH (struct.ph) tegen waterextraheerbaar arseen (h2o.As) in mg/l.



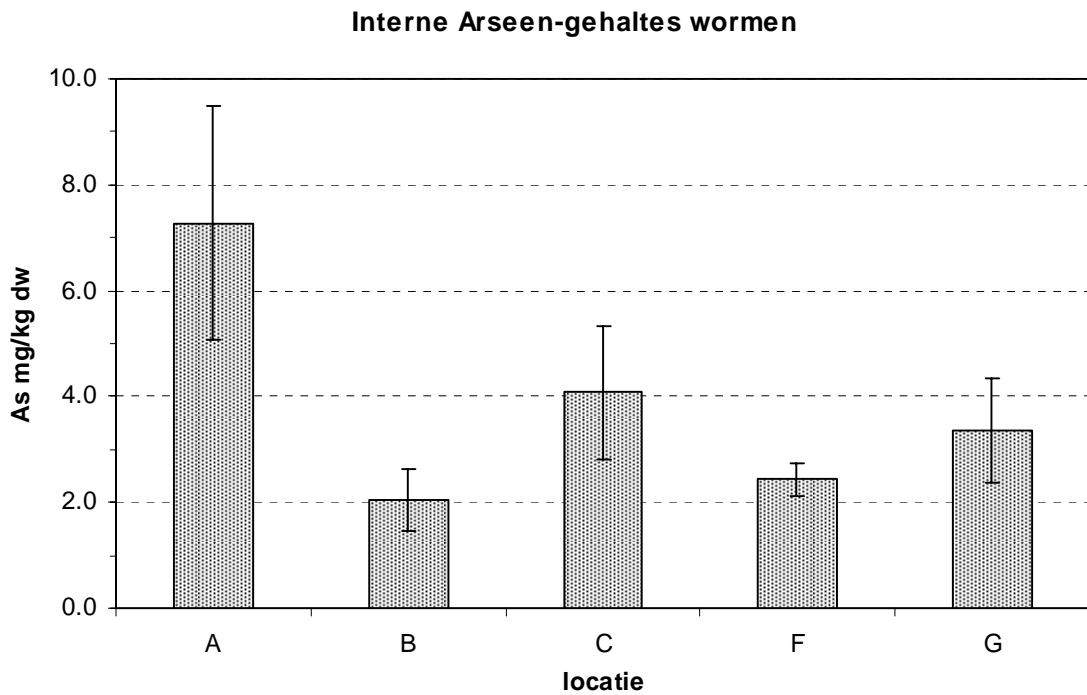
Figuur 2.5b. De pH (struct.ph) tegen waterextraheerbaar mangaan (h2o.Mn) in mg/l.



Figuur 2.6. De pH (struct.ph) tegen water het anorganisch koolstof (doc.IC) in ppm.

### 2.3. Interne gehalten regenwormen

De regenwormen die verzameld zijn op de locaties voor de inventarisatie zijn ook gebruikt om de interne gehalten arseen te bepalen. In Figuur 2.7 zijn de gemiddelde concentraties arseen in de regenwormen voor de verschillende locaties uitgezet. Hieruit blijkt dat de regenwormen bij locatie A, iets meer arseen bevatten dan de wormen op de andere locaties. Deze concentraties zijn nog redelijk laag in vergelijking met metingen in regenwormen elders in Nederland. De data uit die regenwormenset (ongeveer 550 monsters) levert een gemiddelde concentratie van 26 mg/kg arseen (met een standaard deviatie van 17 mg/kg droog gewicht). De laagste gemeten concentratie in de dataset is 5,2 mg/kg droog gewicht (pers. communicatie Willie Peijnenburg).



*Figuur 2.7. Arseengehalte in mg/kg drooggewicht in de regenwormen gevonden op de locaties. Foutbalken geven de standaarddeviatie aan.*



*Foto 2: Links, een gestoken plag, rechts de plag voor analyse in het laboratorium.*



### 3 Fase 2

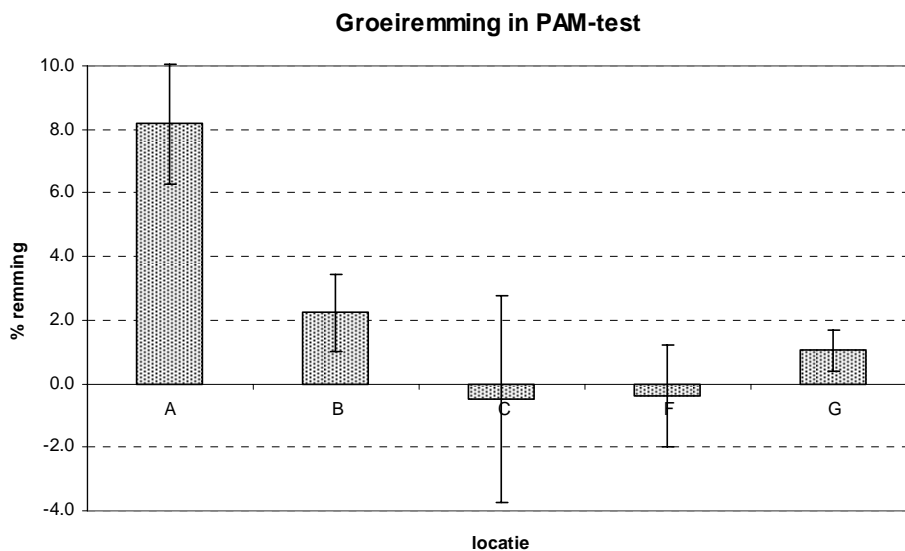
Uit fase 1 blijkt dat de concentraties op het depotterrein qua niveau vergelijkbaar zijn met die van het nabijgelegen natuurterrein. Echter de relatie tussen arseen en ijzer in de bodem duidt erop dat er wel sprake is van verschillen in chemische processen waarin arseen een rol speelt. Vooral bij locatie A is het arseen meer beschikbaar. Dit is een motivatie om verder te onderzoeken of deze verschillen ook leiden tot toxicologische en ecologische effecten in de depotgrond ten opzichte van het natuurterrein.

#### 3.1. Toxicologische waarnemingen

##### PAM-algentest

De PAM (Pulse Amplitude Modulation) toets is een eenvoudige acute toxiciteitstest met groene algen (Van Beusekom et al., 1999). De PAM-test is een kortdurende screeningstest in (verdund) bodemextract van 2 mM calciumnitraat. Met een fluorometer wordt de remming van de fotosynthese gemeten onder invloed van toxische stoffen in het bodemextract. Het toetsorganisme is de groene alg *Selenastrum capricornutum*. Effecten van de toxicant op fotosynthese-efficiëntie worden uitgedrukt in percentage remming.

In Figuur 3.1 toont bij locatie A een kleine remming op fotosynthese (effectpercentage van 8%). De negatieve percentages bij C en F geven aan dat daar sprake is van stimulatie van de fotosynthese, de standaarddeviatie is bij deze locaties erg groot.



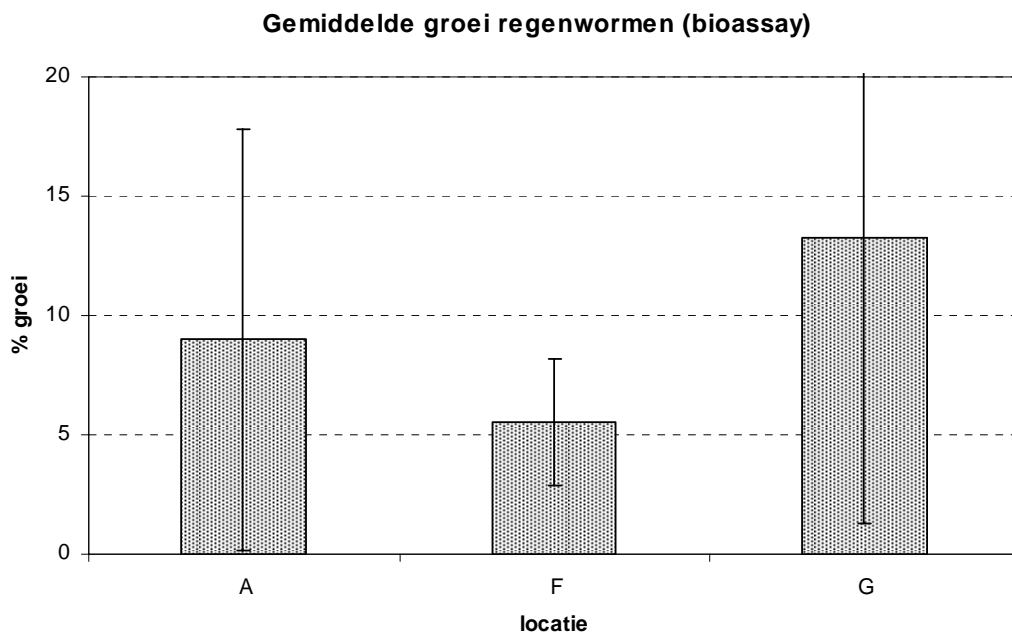
Figuur 3.1. Percentage effect op de fotosynthese in de PAM-algentest voor de verschillende locaties. Foutbalken geven de standaarddeviatie aan.

### Microtox (bacterietest)

De Microtox-toets (ISO 11348-3, 1998) is een kortdurende screeningstest met een lichtgevende bacteriestam, *Vibrio fischeri*, in het (verdunde) bodemextract. Alleen bij locatie A werden lichte effecten gevonden in deze test, bij de andere locaties niet (zie Bijlage 3 voor resultaten).

### Regenwormentest

De regenwormentest (ISO 11268-2, 1998) is een vier weken durende test met de worm *Eisenia andrei*, die wordt blootgesteld in grond van de te onderzoeken locatie. Na vier weken worden de groei en overleving van de regenworm bepaald. In verband met kosten is deze test alleen voor monsters van locatie A, F en G uitgevoerd. Hieruit bleken minimale effecten op de overleving voor alle locaties, deze was minimaal 96,5%. De groei van de regenwormen verschilde tussen de diverse locaties, maar deze verschillen zijn niet significant, zie Figuur 3.2.



Figuur 3.2. Groei van de regenwormen in percentages voor de locaties A, G en F. Foutbalken geven de standaarddeviatie aan.

## 3.2. Ecologische waarnemingen

### Vegetatie inventarisatie

De vegetatie op het depotterrein en het natuurterrein is op een kwalitatieve manier geïnventariseerd. In het veld zijn de diverse soorten gedetermineerd. De soortenlijsten voor het depotterrein en het natuurgebied zijn te vinden in Bijlage 5.

De twee terreinen lijken erg op elkaar qua vegetatie, maar er zijn ook verschillen.

- A, B en C: grassen, vlinderbloemigenfamilie, brandnetels
- F en G: zeggen, boterbloemfamilie, lisdoddes
- B,C en G: arseentolerante soorten

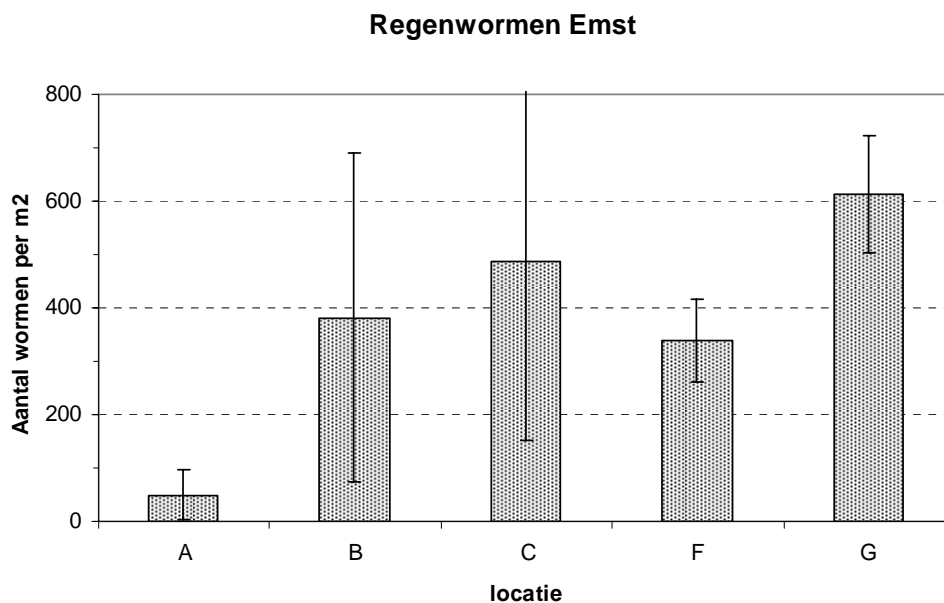
Verder lijkt het alsof het vochtgehalte en het grondwaterpeil wellicht een meer negatief effect hebben dan arseen. Naast deze observaties is de inventarisatie gebruikt om de locaties te scoren op vier traits. Dit zijn biodiversiteit, netto primaire productie, hoogte begroeiing en bedekkinggraad (zie Tabel 3.2). Hieruit blijkt dat de biodiversiteit van A laag is (er groeiden alleen maar brandnetels). Bij C was de vegetatie laag, net als de netto primaire productie. Het leek alsof het terrein bij C veel vochtiger geweest is (een pool wellicht). Dit zou deze score kunnen verklaren. Bij F was de bedekkinggraad lager dan bij de andere locaties.

Tabel 3.1. Per locatie zijn vier traits weergegeven die gebaseerd zijn op de vegetatie-inventarisatie.

Locaties	A	B	C	F	G
<b>Traits</b>					
Biodiversiteit	-	+	+	+	+
Netto primaire productie	+	+	-	+	+
Hoogte begroeiing	+	+	-	+	+
Bedekkingsgraad	+	+	+	-	+

### Regenwormen inventarisatie

Uit de plaggen van de locaties zijn in het laboratorium handmatig alle regenwormen verwijderd. De regenwormen werden gewogen, geteld en voor zover mogelijk is de soort en/of geslacht bepaald. Na determinatie zijn de regenwormen ingevroren voor de bepaling van de interne gehalten arseen. In Bijlage 7 zijn alle resultaten (biomassa, abundantie, aantal soorten en geslachten) te vinden. In Figuur 3.3. is het aantal regenwormen per vierkante meter uitgezet per locatie. Uit de figuur blijkt dat bij locatie A het aantal regenwormen significant lager is dan het aantal bij F. Tussen B, C en G zijn geen significante verschillen zichtbaar.



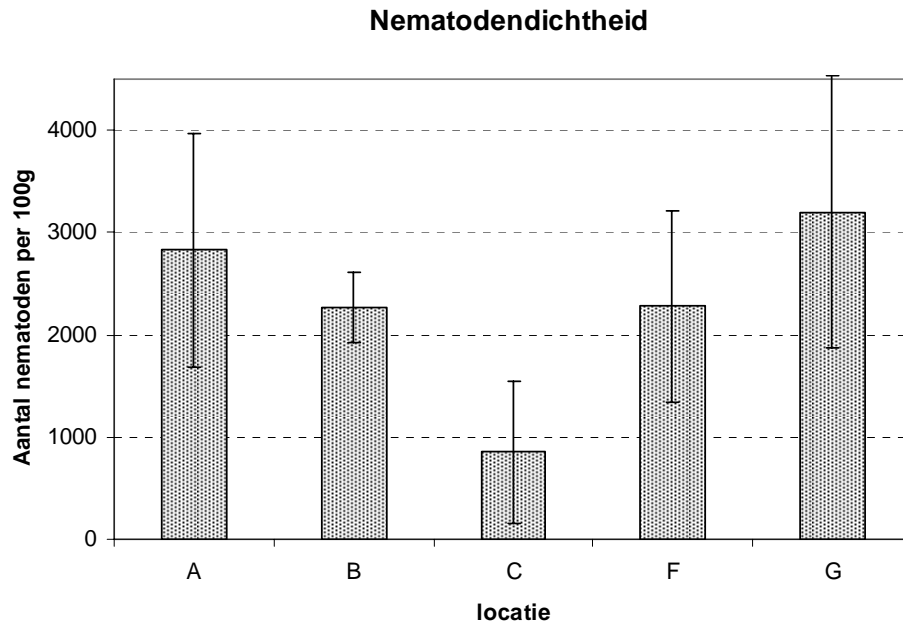
*Figuur 3.3. Het aantal regenwormen per vierkante meter dat is aangetroffen per locatie. De foutbalken geven de standaarddeviatie aan.*

#### **Nematoden inventarisatie**

Als onderdeel van het veldonderzoek naar ecologische effecten van de verhoogde arseengehaltes in het depot, zijn de dichtheid en samenstelling van de nematodenfauna onderzocht. Nematoden zijn kleine aalachtige wormpjes, met een lengte van circa 0,5mm tot 3mm. Ze zijn met het blote oog net niet meer in een grondmonster te zien. Nematoden komen in groten getale in vrijwel alle bodems voor. In Nederland kunnen naar schatting 1000 verschillende soorten worden aangetroffen. In een grondmonster worden meestal 30 à 40 soorten gevonden. De nematoden hebben veel voedingsrelaties in de bodem. Er zijn soorten die bacteriën eten, schimmels, of plantenwortels. Onder de grotere soorten bevinden zich ook carnivoren (roofalen) die kleinere nematoden en andere organismen eten. Daarnaast kan er onderscheid worden gemaakt in overlevingsstrategie. Hierin worden vijf groepen onderscheiden, de zogenaamde colonizer-persister klassen. Deze indeling ligt ten grondslag aan de Maturity Index (MI, = rijpheidsindex), die veel wordt gebruikt om de ecologische bodemkwaliteit te beschrijven. Ze maken ook onderdeel uit van de indicatorset in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (Rutgers et al., 2005).

De nematodenfauna is geanalyseerd in elk van de vier mengmonsters die op de vijf onderzoekslocaties (A tot en met F) zijn genomen. Ze worden uit de bodem gehaald met een spoel- en zeefmethode. Dit is uitgevoerd bij het Bedrijfslaboratorium voor Grond en Gewasonderzoek. Na de extractie worden de nematoden geteld, in een microscopisch preparaat gebracht en gedetermineerd bij sterke vergroting. De indeling in voedingsgroepen en klassen (cp-klassen) vindt plaats op basis van de verkregen soortensamenstelling.

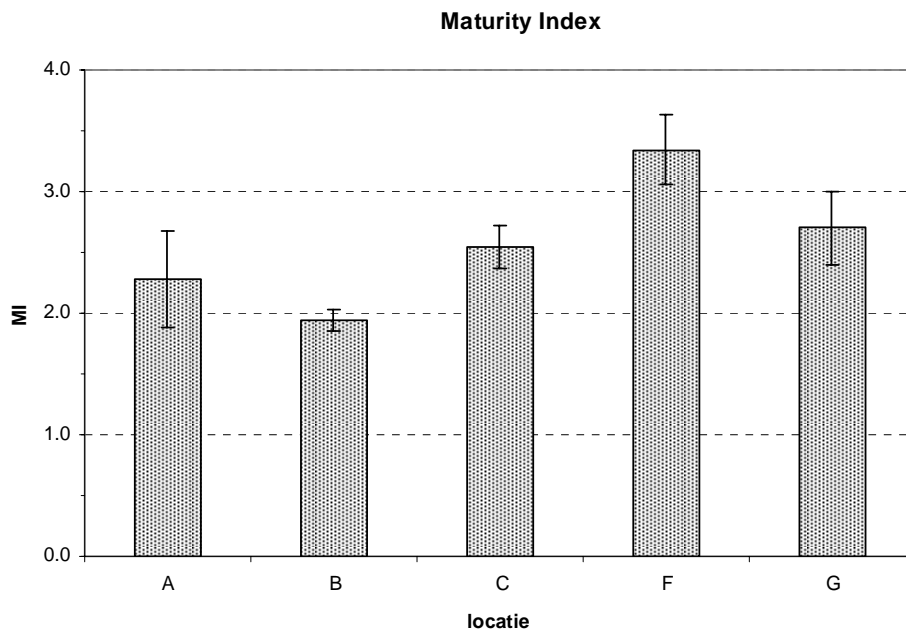
Gedetailleerde resultaten zijn opgenomen in de bijlagen. Hier wordt alleen een selectie van de eigenschappen besproken.



*Figuur 3.4. Nematodendichtheid uitgedrukt als aantal nematoden per 100g bodem. De foutbalken geven tweemaal de standaarddeviatie aan.*

In Figuur 3.4 is het aantal nematoden uitgezet dat in submonsters van 100 gram werd aangetroffen. De balken in het histogram geven het gemiddelde aantal op de verschillende plots weer. De spreiding in de waarnemingen is aangeduid met de balkjes. Ze vertegenwoordigen tweemaal de standaarddeviatie. Voor statistisch normaal verdeelde data komt dit neer op een range waarbinnen 68% van de waarnemingen liggen.

Figuur 3.3 laat zien dat er aanzienlijke verschillen tussen de plots zijn, en dat de heterogeniteit in het veld groot is. De aantallen in de depotgrond (plots A en B) wijken niet af van de referenties (F en G). Opvallend is het (relatief) lage aantal in C. Deze monsterplek vertegenwoordigt de originele ondergrond van de locatie. Tijdens dit onderzoek is er geen duidelijk aanwijsbare reden gevonden waarom de nematodendichtheid in C afwijkt. Het kan zijn dat de bodem ter plaatse is verdicht doordat er veelvuldig met zwaar materieel overheen is gereden. Het is ook mogelijk dat deze plek langdurig onder water heeft gestaan. De vegetatie laat op deze plek afwijkingen zien. Er is geen direct verband met de aanwezigheid van arseen.



*Figuur 3.5. Mate van ontwikkeling (rijpheid) van de nematodengemeenschap uitgedrukt als maturity index (MI). De foutbalken geven tweemaal de standaarddeviatie weer.*

De maturity index (Figuur 3.5). laat zien dat de grond van plot A en B weinig ontwikkeld is. Dit kan komen door een recente verstoring, een langdurige voedselarme situatie of extreme abiotische omstandigheden. De MI van plot C heeft een onverwacht hoge waarde. Ondanks de lage aantallen ziet de nematodenfauna er redelijk ontwikkeld uit. De MI is gemiddeld het hoogst op de referentieplots F en G. Vooral F springt er uit met een opmerkelijke waarde van 3,35. Dit duidt op een langdurig ongestoorde situatie met een divers bodemmilieu. Bezien vanuit de verhoudingen tussen de voedselgroepen vallen de depots A en B op door de dominantie van bacterie-etende nematoden, in F en G zijn de planteneters juist in de meerderheid. Plot C bevindt zich daartussenin.

Voor de effectberekeningen in de TRIADE zijn de volgende eigenschappen gebruikt: aantal per 100g, aantal soorten en cp345. Deze indicatoren zijn gebundeld tot één effectmaat voor de nematodenfauna.

## 4 TRIADE beoordeling

De TRIADE-beoordeling integreert de informatie uit drie onderzoeksporen: chemie, toxicologie en ecologie. Om deze integratie uit te voeren, worden de resultaten van de afzonderlijke analyses en testen geschaald. Waarbij 0 staat voor geen effect en 1 voor het maximale effect van de test. De geschaalde getallen kunnen dan met elkaar vergeleken worden. Dit gebeurt eerst per spoor en vervolgens worden de drie sporen gecombineerd (zie Jensen en Mesman, 2006 en Rutgers et al., 2005b voor meer informatie over de berekeningswijze).

### Referentie

De geschaalde resultaten worden in de TRIADE-methode vergeleken met een referentielocatie. In een ideale situatie is de referentielocatie in alle opzichten gelijk aan de te onderzoeken locatie, behalve de verontreiniging. De resultaten van de referentie worden op 0 gezet en de resultaten van de te onderzoeken locatie worden daarmee vergeleken. In dit onderzoek is gebruikgemaakt van twee referenties. Locatie F is gebruikt als referentie voor locatie A, locatie G is als referentie gebruikt voor B en C. De resultaten in Tabel 4.1 kunnen dus alleen vergeleken worden met de eigen referentie.

### Chemie

De totaalgehalten en poriewatergehalten die bepaald zijn in de bodemmonsters op de locaties zijn gebruikt om de toxische druk te berekenen. Hierbij worden gegevens van toxiciteitstesten vergeleken met gemeten concentraties (Rutgers et al., 2005). Naarmate de gemeten concentratie hoger ligt dan de effectconcentratie, zal de toxische druk groter worden.

### Toxicologie

De regenwormentest is alleen uitgevoerd voor de locaties A, F en G. Daarom is bij G, B en C geen resultaat opgenomen.

### Ecologie

Zowel bij de nematodeninventarisatie als bij de regenwormeninventarisatie is een aantal parameters geïntegreerd in één getal. Hierbij is gekozen voor parameters die onafhankelijk van elkaar zijn, om het dubbel meetellen van informatie te voorkomen. Voor de integratie is gebruikgemaakt van de BKX-methode (Jensen en Mesman, 2006.;Rutgers et al., 2005)

### Deviatie

De TRIADE-methode is gebaseerd op het principe van meervoudige bewijsvoering. Als de drie sporen in dezelfde richting wijzen, dan kan men met meer zekerheid een beslissing nemen. Een maat voor de zekerheid is de deviatie. Bij een deviatie hoger dan 0,4 is de onzekerheid zodanig dat er meer onderzoek moet plaatsvinden om de resultaten te verklaren.

Tabel 4.1. Integratie van de resultaten van de drie TRIADE-sporen, chemie, toxicologie en ecologie. F is referentielocatie voor A; G is dat voor B en C.

TRIADE spoor	Parameter	Locaties				
		F (ref)	A	G (ref)	B	C
<b>Chemie</b>						
	Interne gehalten regenworm	0.00	0.67	0.00	0.39	0.18
	Toxische Druk acuut bodem	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
	Toxische Druk acuut poriewater	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
	<b>Risico</b>	0.00	0.37	0.00	0.16	0.06
<b>Toxicologie</b>						
	PAM algen	0.00	0.09	0.00	0.01	0.02
	Microtox	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00
	Regenwormen overleving	0.00	0.03	-	-	-
	Regenwormen groei	0.00	0.39	-	-	-
	<b>Risico</b>	0.00	0.19	0.00	0.01	0.01
<b>Ecologie</b>						
	Vegetatie inventarisatie	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
	Regenwormen inventarisatie	0.00	0.74	0.00	0.43	0.31
	Nematoden inventarisatie	0.00	0.41	0.00	0.44	0.41
	<b>Risico</b>	0.00	0.46	0.00	0.32	0.41
		<b>F(ref)</b>	<b>A</b>	<b>G (ref)</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0.0 <Effect < 0.25	<b>Oordeel chemie:</b>	0.00	0.37	0.00	0.16	0.06
0.26 <Effect < 0.5	<b>Oordeel toxicologie:</b>	0.00	0.19	0.00	0.01	0.01
0.51 <Effect < 0.75	<b>Oordeel ecologie:</b>	0.00	0.46	0.00	0.32	0.41
0.76 <Effect < 1.0	<b>Geïntegreerd risico</b>	0.00	0.35	0.00	0.17	0.18
	Deviatie	0.00	0.24	0.00	0.27	0.38

### Geïntegreerd risico

Uit Tabel 4.1 blijkt dat het geïntegreerd risico op locatie B en C laag is (geïntegreerd risico < 0.25), evenals de deviatie (< 0,4). Voor locatie A geldt dat er in het chemische en ecologische spoor effecten zijn, bij het toxicologische spoor zijn die effecten lager. Het geïntegreerd risico voor A geeft aan dat er ecologische effecten zijn (tussen 0.25 en 0.50 bij een deviatie < 0,4).



## 5 Discussie

Op basis van de chemie van de arseenhoudende grond, afkomstig van beekoevers, zijn twee belangrijke conclusies te trekken. Ten eerste, de arseenconcentraties in de depotgrond op locatie A overschrijden de interventiewaarde en locatie A heeft de hoogste waterextraheerbare arseengehaltes. De referentielocatie F (ondergrond) heeft gelijkwaardige arseenconcentraties ten opzichte van A in de bodem maar veel lagere waterextraheerbare gehalten. Het arseen op locatie A is meer beschikbaar dan op de referentielocatie F. Bij de locaties B (depotgrond), C (ondergrond) en de referentielocatie G (ondergrond) is geen overschrijding van de interventiewaarde voor arseen aangetoond. Locaties B en C kennen wel een grotere waterextraheerbare arseenfractie dan locatie G.

Ten tweede, op basis van de overige gemeten chemische parameters lijkt het er op dat arseen geassocieerd is met ijzeroxiden. Deze associatie is echter voor iedere locatie verschillend waardoor er geen algemeen verband afgeleid kan worden voor het opgeslagen materiaal in het depot. Voor locatie A geldt dat de lage pH, de afwezigheid van carbonaat en de relatie tussen waterextraheerbaar arseen en mangaan, een aanwijzing kan zijn voor het oplossen van mangaancarbonaten (rhodochrosiet). Het oplossen van mangaancarbonaten is weer een aanwijzing voor reductie en het oplossen van de ijzeroxiden waarin arseen is vastgelegd. Het lijkt er op dat bij locatie A het waterextraheerbaar arseen hierdoor toeneemt en dat dit op locaties B en C niet plaatsvindt.

De laatste conclusie is deels speculatief van aard. De hypothese dat op locatie A reductie van ijzeroxiden plaatsvindt, wordt niet tegengesproken door de gegevens. Echter door spreiding in de data en het beperkte monsteraantal per locatie kan de hypothese ook niet onomstotelijk worden aangenomen.

De interne arseengehaltes in regenwormen zijn als effectmaat in het chemische spoor gebruikt. In dit geval worden de wormen als een 'biosensor voor de beschikbare fractie arseen' gezien, en gaat het om het chemische aspect. De wormen in plot A bleken de grootste hoeveelheid arseen in hun lichaam te hebben. Dit is in lijn met de concentraties in de grond en het relatief hoge oplosbare gedeelte arseen. Het hoogst gemeten gehalte in de wormen was 8,8 mg/kg. Wanneer dit wordt vergeleken met concentraties in wormen die elders in Nederland zijn verzameld, dan liggen de gegevens van de onderzochte locatie echter in de gevonden range. Een recente Finse studie heeft aangetoond dat regenwormen met een weefselconcentratie van arseen van 350 mg/kg drooggewicht, zowel blootgesteld aan gespikete bodems (kunstmatig verontreinigde bodems) als aan bodems met natuurlijke arseenconcentraties, geen acute toxische effecten vertoonden (Schultz en Joutti, 2007). Daar staat tegenover dat Langdon et al. (2003, 2005) aangetoond hebben dat er geen directe relatie vast te stellen is tussen arseengehaltes in de bodem en interne arseengehaltes. Dit is onderzocht bij verschillende soorten regenwormen. De ene soort neemt wel arseen op uit de bodem, terwijl de andere soort dat niet doet of in geringe mate. Daarnaast speelt dat in plot A zeer weinig wormen werden gevonden (8 in totaal). Deze resultaten hebben daarom een smalle basis. Er zouden meer wormen moeten worden onderzocht om een beter beeld te krijgen van de ophoping van arseen.

Een belangrijk aandachtspunt bij het onderzoek was de mogelijke gezondheidsschade voor de das, wanneer het depotterrein zou worden toegevoegd aan het naast liggende natuurterrein. Op grond van de bovenstaande gegevens lopen grotere dieren, zoals de das, die (voor een deel) van wormen leven, slechts een beperkt risico. In de eerste plaats zijn er weinig wormen met een verhoogd arseengehalte ten opzichte van de omgeving. Plot A is dus geen aantrekkelijke plek om voedsel te verzamelen. Ten

tweede is het gehalte in de wormen uiteindelijk niet hoger dan normaal. Wanneer het terrein bezocht of bewoond zou worden door dassen is er op grond van deze metingen en de huidige situatie geen aanleiding te veronderstellen dat de toxische belasting tot schade zal leiden. Dassen foerageren bij voorkeur in lagere natte terreinen, zodat het onwaarschijnlijk lijkt dat ze dit boven op het depot doen.

Een aspect dat nog niet is onderzocht is het arseengehalte van de vegetatie. Het merendeel van het dieet van dassen bestaat naar schatting voor 25% uit wormen en voor 50% uit plantaardig materiaal. Plot A is momenteel nog voornamelijk begroeid met brandnetels. Deze kolonisatiefase zal in de komende jaren langzaam verdwijnen en plaatsmaken voor andere kruiden en struikgewas of een boomlaag. Het is nog niet duidelijk of deze planten schadelijke hoeveelheden arseen zullen bevatten. Wel is bekend dat er nauwelijks een relatie bestaat tussen arseengehaltes in de bodem en arseengehaltes in de vegetatie (Swartjes et al., 2007). Op voorhand is de mate van risico van doorvergiftiging via de vegetatie niet aan te geven.

Qua ecologische aspecten blijken er verschillen tussen de gekozen referenties (plot F en G) en de depotgrond (A en B) of de ondergrond van de locatie (C). De afwijkende situatie in C is onverwacht. Hier zijn ook geen duidelijke oorzaken voor aan te geven. De vegetatie is karig en het aantal nematoden opvallend laag. De samenstelling van de nematodenfauna laat desondanks geen verdachte afwijkingen zien. Een mogelijke oorzaak kan liggen in de berijding met zwaar materieel die moet hebben plaatsgevonden tijdens het opslaan van de grond. Een andere mogelijkheid is dat dit lage deel van het terrein langere tijd onder water heeft gestaan.

Afwijking van ecologische aspecten heeft voor een groot deel te maken met de structuur en fysieke omstandigheden in de depotgrond. Mengen en transport van grond hebben een grote invloed op de organismen die in de bodem leven. Een dergelijk negatief effect wordt bijvoorbeeld ook gevonden in gronden die voor akkerbouw worden gebruikt. Daarnaast ligt het oppervlak van de opgeslagen hopen één tot enkele meters boven het maaiveld waardoor een ander temperatuur- en vochtregime ontstaat. Deze basale milieuomstandigheden hebben een grote invloed op de vegetatie en bodemorganismen, ze zijn bovendien verweven met het toxicologische aspect. Om deze reden zijn er bioassays uitgevoerd in het tweede TRIADE-spoor. Hierin worden de mogelijke effecten, van in dit geval arseen, als het ware losgekoppeld van de milieu-invloed. Vergelijking van de uitkomsten van het toxicologische en ecologische spoor wijst er op dat de invloed van arseen van ondergeschikt belang is op het totaal van de effecten.

Een risico kan worden beschreven als: de kans op een effect maal de mate van blootstelling. Deze grootheden zijn te meten en getalsmatig uit te drukken inclusief een onzekerheidsmarge. Hoe acceptabel een risico is, blijft echter een subjectieve keuze. Wat betreft ecologische risico's blijkt het lastig een dergelijke keuze te moeten maken. Ter vergelijking: in het maatschappelijk bestel is dit een alledaagse kwestie. We leven met de wetenschap dat er een kans is van 1:10000 dat er een dijkdoorbraak kan plaatsvinden. De blootstelling van mensen die aan de kust leven is uiteraard het grootst. Aangezien we hier in termen van kansen spreken kan de gebeurtenis volgend jaar optreden, over 25000 jaar of helemaal nooit. In dezelfde trant zijn er geaccepteerde risico's voor deelname aan het verkeer, de veiligheid van kerncentrales of de kans op een ernstige ziekte.

Voor de kans op ecologische effecten worden veel minder strenge veiligheidsmarges gehanteerd. Het maximaal toelaatbare risico (MTR) is vastgesteld op 5%, en de grens voor saneringsurgentie is gelegd bij 50% aantasting van de soorten (planten en dieren zouden een andere keuze maken). Elk risico onder deze grens wordt in het algemeen nog acceptabel geacht. Het effect zelf is niet nader omschreven, maar niet per definitie dodelijk. De grens is in toxicologische termen gebaseerd op 'no effect concentrations' (NOEC). Veel aspecten spelen een rol bij de keuze voor een grens voor ecologische risico's. De chemie

en toxicologie ervan is wetenschappelijk gezien goed onderbouwd. De situatie in het veld is echter complex door de vele factoren die van invloed zijn. Het gebrek aan specifieke kennis en validatie van de normen draagt er toe bij dat risico's nog op een relatief grove schaal worden berekend. In dit locatieonderzoek is uitgegaan van de grenzen zoals die in de Triadesystematiek zijn voorgesteld (risicogrens 0,5; deviatie 0,4). Dit houdt dus in dat 50% van de organismen in een ecosysteem kans hebben om een effect van de verontreiniging en de daarbij gepaard gaande milieuomstandigheden te ondervinden. In het nieuwe saneringscriterium en de daarin beschreven locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling zijn de grenzen niet volledig vastgelegd. Dit voorstel is een startpunt, of en hoe de grenzen in de toekomst toegepast gaan worden is nog niet duidelijk. Het bevoegd gezag kan, binnen de ruimte die de Wet Bodembescherming biedt, besluiten dat lokaal een hogere of lagere grens moet worden gehanteerd.



## 6 Conclusies en aanbeveling

In deze rapportage wordt verslag gedaan van een onderzoek naar ecologische risico's op de locatie Wiemandstraat in Emst, gemeente Epe. Op deze locatie is arseenhoudende grond afkomstig van beekoevers in depots opgebracht. Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van een TRIADE-benadering waarin het optreden van effecten van verhoogd arseen op drie verschillende manieren is bestudeerd:

1. Chemie: de natuurlijke achtergrondconcentratie bij de ijzerhoudende gronden in de nabije omgeving is hoog. De arseenconcentraties in de depotgrond zijn gelijkwaardig aan de omgeving maar het onderzoek toont aan dat het arseen in het depot zich chemisch op een andere wijze gedraagt dan bij de natuurlijke hoge achtergrond. De extraheerbare concentraties arseen uit de depotgrond zijn hoger.
2. Toxiciteit: drie verschillende bioassays werden gebruikt om de toxiciteit in monsters van de locatie te meten, namelijk een bacteriesoort (*Vibrio fischeri*), een algensoort (*Selenastrum capricornutum*) en een regenwormensoort (*Eisenia andrei*). De bacterie- en algentest werden uitgevoerd in een waterig extract (elutriaat) van de grondmonsters. De regenwormentest werd uitgevoerd met grond van de locatie. Er werden geringe, maar statistisch niet significante, effecten waargenomen in monsters van het meest verontreinigde depot (monsterlocatie A). Uitgedrukt op een schaal van 0 tot 1: 0,09 op de activiteit van algen, 0,20 op de activiteit van bacteriën en 0,39 op de groei van regenwormen.
3. Ecologische waarnemingen: op de locatie met de gronddepots en in de nabije omgeving werd de vegetatie bestudeerd. Specifieke effecten van arseen werden niet aangetroffen. De vegetatie op het meest verontreinigde depot was kenmerkend voor ruigte (ruderaal terrein) of een aspecifieke verstoring. Het aantal regenwormen in de monsters was hoog (gemiddeld 450 per m<sup>2</sup>), behalve in de grond van het meest verontreinigde depot (50 per m<sup>2</sup>). Dit kan duiden op een effect van arseen. In de overige gemeten bodemeigenschappen (pH, vocht, organische stof) kon geen duidelijke verklaring voor een effect op de wormen worden gevonden. Mogelijk zijn er andere factoren die de kolonisatie van de grond door regenwormen beperken. De omvang van de aaltjesgemeenschap in de arseenhoudende depotgrond was niet afwijkend van de referentielocaties, maar de samenstelling wel. In de depotgrond kwamen relatief veel bacterie-etende nematoden voor. De waargenomen verschillen tussen de locaties duiden op een combinatie van verstoring en mogelijke effecten van arseen.

De ecologische risicoschatting is gebaseerd op een meervoudige bewijsvoering in de drie sporen van de TRIADE. Hiermee werd aangetoond dat het bodemecosysteem in het meest verontreinigde depot (locatie A) afwijkt van de bodem die als de lokale referentie werd gekozen. Hieruit volgt de conclusie dat er geringe ecologische effecten van arseen in een deel van het depot optreden. Toxicologisch- en veldonderzoek geven echter ook aan dat er effecten zijn van grondverzet en veranderde abiotische omstandigheden in de bodem, maar deze effecten zijn in dit onderzoek niet gekwantificeerd. De vooraf gestelde grenzen voor onaanvaardbare risico's, een risicoindex van 0,5, worden niet overschreden, noch de grenzen die werden gesteld aan de onzekerheid in de risicoschatting, een deviatie van 0,4, als gevolg van verschillen tussen de TRIADE-sporen.

Of, en hoe groot het risico van verhoogde arseengehaltes in plot A zijn hangt mede af van het toekomstig gebruik en de inrichting van de locatie. De bodem in de omgeving bevat van nature verhoogde concentraties arseen. Dit is echter sterk gebonden. Het verplaatsen en opbrengen van grond uit naburige beekoevers heeft verandering gebracht in een aantal geochemische processen. De

buffercapaciteit van plot A is beperkt. In de toekomst zou de beschikbaarheid van arseen kunnen toenemen, bijvoorbeeld door verdere verzuring van de grond. Het is daarom aan te bevelen om in de toekomst de ontwikkelingen te blijven monitoren.

## Literatuur

Appelo, C.A.J., Postma, D. 2005. Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema publishers, Leiden. ISBN 04 1536 421 3.

Fraters, B., Boumans, L.J.M., Prins, H.P. 2001. Achtergrondconcentraties van 17 sporenmatalen in het grondwater van Nederland. Rapport 711701017, RIVM, Bilthoven.

Het Geldersch Landschap, [www.gelderland.nl](http://www.gelderland.nl) (25-10-2007) Informatie over natuurgebied Het Vossenbroek.

ISO 11348-3. 1998. Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) – Part 3: Method using freeze-dried bacteria. ISO. Geneva, Switzerland.

ISO 11268-2. 1998. Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia foetida*). Part 2: Determination of effects on reproduction. ISO, Geneva, Switzerland.

Jensen, J., Mesman, M. (eds) 2006. Ecological risk assessment of contaminated land - Decision support for site specific investigations. RIVM report 711701047, ISBN: 9069601389. RIVM, Bilthoven.

Langdon, C.J., Pearce, T.G., Meharg, A., & Semple, K.T. 2003. Interactions between earthworms and arsenic in the soil environment: a review. Environ. Poll. 124, 361-373.

Langdon, C.J., Winters, C., Sturzenbaum, S.R., Morgan, A.J., Charnock, J.M., Meharg, A.A., Pearce, T.G.G., Semple, K.T. 2005. Ligand arsenic complexation and immunoperoxidase detection of metallothionein in the earthworm *Lumbricus rubellus* inhabiting arsenic-rich soil. Environ. Sci. Technol. 39(7), 2042-8.

Mekking, M., Lud, D., Stekete, J. 2007. Arseenonderzoek Wiemanstraat te Emst. R001-4504026MMK-avd-V01-NL. TAUW bv. Deventer.

Rutgers, M., Mesman, M., Otte, P.F. 2005. TRIADE: instrumentarium voor geïntegreerde ecotoxicologische beoordeling van bodemverontreiniging. Leidraad Bodembescherming 2005; afl 62:1170/1-26. SDU Uitgevers, Den Haag.

Rutgers M ; Mulder Ch ; Schouten AJ ; Bogte JJ ; Breure AM ; Bloem J ; Jagers op Akkerhuis GAJM ; Faber JH ; Eekeren N van ; Smeding FW ; Keidel H ; Goede RGM de ; Brussaard L. 2005. Typering van bodemecosystemen- Duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit. Rapport 607604007, Alterra, Wageningen ; Louis Bolk Instituut, Driebergen ; Bedrijfslaboratorium voor grond- en gewasanalyse, Oosterbeek ; Sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit, RIVM, Bilthoven.

Rutgers, M., Schouten, A.J., Dirven-van Breemen, E.M., Otte, P.F., Mesman, M. 2005b. Naar een richtlijn voor locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling met de TRIADE. Rapport 711701038, RIVM, Bilthoven.

Schultz, E. en Joutti, A. 2007. Arsenic Ecotoxicity in Soils. Finnish Environment Institute. Geological Survey of Finland, Espoo.

Stöp-Bowitz, C. 1969. A contribution to our knowledge of the systematics and zoogeography of Norwegian earthworms. (Annelida, Oligochaeta: Lumbricidae). *Nytt Mag. Zool.* 17: 169-280.

Swartjes, F.A., Dirven-van Breemen, E.M., Otte, P.F., Beelen, P. van, Rikken, M.G.J., Tuinstra, J., Spijker, J., Lijzen, J.P.A. 2007. Towards a protocol for the assessment of site-specific human health risks for consumption of vegetables from contaminated sites. Rapport 711701040, RIVM, Bilthoven.

Van Beusekom, S.A.M., Admiraal, W., Sterkenburg, A., De Zwart, D., 1999. Handleiding PAM-Test, ECO notitie 98/09, Laboratorium voor Ecotoxicologie, RIVM, Bilthoven.

Van der Veer, G., 2006. Geochemical soil survey of the Netherlands. Atlas of major and trace elements in topsoil and parent material; assessment of natural and anthropogenic enrichment factors. Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.



## Bijlage 1 Chemische analyses

Resultaten chemische bepalingen. Deze tabel vermeldt alleen de resultaten die in deze rapportage zijn besproken.

Monster code	Structuur			HNO3 extract		Water extraheerbaar		oxalaat extraheerbaar	Anorganisch koolstof
	pH	organisch stof	lutum	Fe	As	Fe	As	Fe	IC
	[-]	[%]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/kg]	[ppm]
A1	5.6	6.9	2	8862	32.296792	3649	18.08	6496	1.07
A2	5.1	6.6	2	9912	31.772709	3236	17.8	7568	0.715
A3	5	7.3	2	9372	46.386854	2160	13.03	7040	0.88
A4	4.7	7.7	2	8487	50.377284	2674	20.02	7396	2.135
A1 1				35331	97.66958				1.22
A1 2				31127	78.578981				5.4
A1 3				22275	43.012024				78.15
A1 4				5810	7.7570464				63.9
A1 5				3713	6.2423873				30.725
B1	5.6	3.6	3	10927	8.9083503	6949	9.144	5568	30.49
B2	5.5	3.8	4	15856	10.680462	2379	3.188	6576	45.005
B3	5.5	4.3	3	10225	11.799075	5800	11.89	5772	46.235
B4	5.5	3.7	2	6369	6.9243287	2232	5.692	3258	12.21
C1	5.6	3.9	2	6290	9.69369	1522	4.282	3931	25.73
C2	5.6	3.8	1	5101	8.5957792	2155	6.45	2407	11.885
C3	5.6	3.4	1	5381	9.079404	1575	4.928	3203	9.55
C4	5.7	4.3	1	5204	8.125	2271	6.186	3267	12.605
F1	6.7	3.8	7	59398	34.172809	360	0.552	4596	25.05
F2	5.5	5.3	6	59810	38.189533	980	1.268	10708	3.41
F3	5.5	5.1	12	122707	66.993942	656	1.062	6352	12.565
F4	5.5	6.1	5	155824	91.368552	1052	0.914	5700	10.495
G1	5.4	8.4	4	15834	7.3654276	8657	4.872	10792	40.68
G2	5.8	7.5	7	24156	9.0418435	1646	1.191	10616	53.2
G3	6.5	10.8	5	21471	8.26762	3494	2.466	10184	122.3
G4	5.4	7.7	2	13663	6.2844498	7299	3.792	10492	29.71

## Bijlage 2 PAM–algentoets

In de tabel staan de resultaten van de PAM-algentoets in percentages remming van de fotosynthese. Percentages groter dan 5% geven een effect op de fotosynthese weer. Negatieve percentages zijn een indicatie voor stimulatie van de fotosynthese. Op locatie A is er sprake van remming, bij enkele monsters van C en F is er stimulatie.

*Percentages remming van de fotosynthese. Geel gearceerd zijn de percentages met negatieve effecten op de fotosynthese, blauw gearceerd de percentages die stimulatie van de fotosynthese veroorzaken.*

	% remming van de fotosynthese
A1	6.6
A2	6.7
A3	8.8
A4	10.6
B1	1.0
B2	3.3
B3	1.4
B4	3.2
C1	3.8
C2	-2.1
C3	-3.7
C4	0.1
G1	1.0
G2	1.6
G3	0.2
G4	1.4
F1	1.2
F2	0.0
F3	-2.6
F4	0.0

## Bijlage 3 Microtoxtest

In de tabel staan de resultaten van de Microtoxtest voor de diverse locaties, de locaties zijn in viervoud getest. Het percentage geeft aan hoeveel volume van het elutriaat nodig is om een effect op EC20-niveau te verkrijgen. Alleen bij monster A1 en A4 was het mogelijk om een effect vast te stellen, bij alle andere locaties moest er meer geconcentreerd worden, dan mogelijk is in deze test.

*Per locatie het volume percentage van het elutriaat van het bodemmonster dat nodig is om een effect op EC20-niveau te verkrijgen in de Microtoxtest.*

Locatie	Volume percentage monster
A1	81
A2	>90
A3	>90
A4	59
B1	>90
B2	>90
B3	>90
B4	>90
C1	>90
C2	>90
C3	>90
C4	>90
F1	>90
F2	>90
F3	>90
F4	>90
G1	>90
G2	>90
G3	>90
G4	>90

## Bijlage 4 Regenwormentest: groei en overleving

In de tabel staan de resultaten voor de regenwormentest met *Eisenia andrei* (ISO 11268-2), uitgevoerd met bodemonsters van de locaties. Na vier weken zijn de overleving en groei van de regenwormen bepaald.

*Overleving en groei voor de locaties in percentages, in de laatste kolom de standaarddeviatie.*

Locatie	Overleving	
	Gemiddelde overleving adulten %	std
A1	98.00	5.00
A2	98.00	5.00
A3	95.00	5.80
A4	95.00	10.00
F1	98.00	5.00
F2	98.00	5.00
F3	100.00	0.00
F4	100.00	0.00
G1	100.00	0.00
G2	93.00	9.60
G3	98.00	5.00
G4	95.00	10.00

Locatie	Groei	
	Gemiddelde groei %	std
A1	18.00	10.10
A2	15.00	14.80
A3	0.00	17.30
A4	3.00	5.40
F1	6.00	2.80
F2	9.00	5.80
F3	4.00	0.80
F4	3.00	8.70
G1	8.00	3.20
G2	5.00	6.20
G3	9.00	11.70
G4	31.00	9.20

## Bijlage 5 Vegetatieopname

In de tabel staan de plantensoorten zoals deze zijn gevonden bij de vegetatieopname. Er is alleen onderscheid gemaakt bij deze lijst tussen het natuurgebied en het depotterrein. Voor scoring op traits (zie hoofdstuk 3) is er wel een onderscheid naar specifieke locatie gemaakt. De vegetatieopname was kwalitatief en niet kwantitatief en de determinatie is alleen in het veld uitgevoerd.

*Plantensoorten die aangetroffen zijn in het natuurgebied en op het depotterrein.*

	Natuurgebied (Referentie)	Depotterrein
<i>Adoxa moschatellina</i>	X	
<i>Aegopodium podagraria</i>	X	
<i>Alnus glutinosa</i>	X	X
<i>Anemone nemorosa</i>	X	X
<i>Apium nodiflorum</i>		X
<i>Aster pratensis</i>	X	X
<i>Betula cf. pendula</i>	X	X
<i>Cardamine amara</i>	X	
<i>Cardamine pratensis</i>	X	X
<i>Carex paniculata</i>	X	X
<i>Chrysosplenium oppositifolii</i>	X	
<i>Cirsium palustre</i>	X	
<i>Cirsium arvense</i>	X	X
<i>Convolvulus arvensis</i>	X	X
<i>Crepis sp.</i>	X	X
<i>Dactylis glomerata</i>	X	X
<i>Dactylorhiza sp.</i>		X
<i>Epilobium angustifolium</i>	X	X
<i>Epilobium obscurum</i>	X	
<i>Equisetum palustre</i>	X	X
<i>Eragrostis pallida</i>	X	X
<i>Filipendula ulmaria</i>	X	X
<i>Galeobdolon luteum</i>	X	
<i>Holcus lanatus</i>	X	X
<i>Juncus effusus</i>	X	X
<i>Lonicera sp.</i>	X	X
<i>Lysimachia vulgaris</i>	X	X
<i>Lythrum salicaria</i>	X	X
<i>Medicago sp.</i>		X
<i>Mentha aquatica</i>	X	
<i>Myosotis palustris</i>		X
<i>Phragmites australis</i>	X	X
<i>Plantago lanceolata/major</i>		X
<i>Poa nemoralis</i>	X	X
<i>Polygonum amphibium</i>	X	X

<i>Polygonum aviculare</i>		X
<i>Polygonum bistorta</i>		X
<i>Primula elatior</i>	X	
<i>Ranunculus arvensis</i>	X	X
<i>Ranunculus ficaria</i>	X	
<i>Rhynchospora fusca</i>	X	X
<i>Rubus gr. ulmifolius</i>	X	X
<i>Rumex acetosa</i>	X	X
<i>Salix cinerea/repens</i>	X	X
<i>Scrophularia auriculata</i>	X	
<i>Solidago purpurea</i>	X	X
<i>Stellaria holostea</i>	X	
<i>Stellaria uliginosa</i>	X	
<i>Taraxacum officinale</i>	X	X
<i>Tilia cf. platyphyllos</i>	X	X
<i>Trifolium pratense</i>		X
<i>Trifolium rubrum</i>	X	
<i>Tussilago farfara</i>	X	X
<i>Typha latifolia</i>	X	
<i>Urtica dioica</i>		X
<i>Veronica beccabunga</i>	X	

## Bijlage 6 Analyse wormen

Bij de bemonstering zijn bij iedere locatie in viervoud plaggen gestoken. Uit deze plaggen zijn alle regenwormen gehaald en voor zover mogelijk op soort of geslacht gedetermineerd (naar een tabel van Stöp-Bowitz, 1969). Regenwormen zijn in vier groepen in te delen, naar gelang de hun functie in de bodem:

- strooiseleter (S)
- grondeter (G)
- pendelaar (P)
- mest- of compostworm (M)

In de tabel staat de soortenlijst per locatie, de functiegroep en vervolgens het aantal dat per m<sup>2</sup> is aangetroffen. Onderaan de tabel staan vier parameters die de bovenstaande gegevens van de tabel samenvatten.

*De soorten (of geslachten) en aantallen regenwormen gevonden op de diverse locaties.*

Soort worm	functie	A aantal/m <sup>2</sup>	B aantal/m <sup>2</sup>	C aantal/m <sup>2</sup>	G aantal/m <sup>2</sup>	F aantal/m <sup>2</sup>
<i>Allolobophora chlorotica</i>	G	0.00	0.00	193.75	18.75	18.75
<i>Aporrectodea caliginosa</i>	G	12.50	131.25	56.25	131.25	100.00
<i>Aporrectodea rosea</i>	G	0.00	0.00	6.25	137.50	31.25
<i>Dendrobena rubidus</i>	M	6.25	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Lumbricus castaneus</i>	S	0.00	31.25	56.25	31.25	6.25
<i>Lumbricus rubellus</i>	S	12.50	162.50	43.75	43.75	25.00
<i>Lumbricus terrestris</i>	P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Octolasion cyaneum</i>	G	0.00	0.00	18.75	156.25	0.00
<i>Octolasion lacteum</i>	G	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00
onbekend		0.00	0.00	0.00	6.25	0.00
juveniel		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>abundantie</b>		<b>50.00</b>	<b>381.25</b>	<b>487.50</b>	<b>612.50</b>	<b>337.50</b>
<b>totaal aantal geslachten</b>		<b>3.00</b>	<b>2.00</b>	<b>4.00</b>	<b>5.00</b>	<b>4.00</b>
<b>totaal aantal soorten</b>		<b>3.00</b>	<b>3.00</b>	<b>6.00</b>	<b>7.00</b>	<b>6.00</b>
<b>biomassa (g/m<sup>2</sup>)</b>		<b>16.52</b>	<b>101.18</b>	<b>70.15</b>	<b>146.31</b>	<b>69.84</b>

## Bijlage 7      Resultaten nematodenanalyses

De tabel geeft de gemiddelde waarde uit vier herhaalde waarnemingen per plot. De letters in superscript geven de resultaten van een variantie-analyse weer. Getallen met overeenkomende letters in superscript (binnen een regel) verschillen niet significant.

*Resultaten nematodenanalyse per locatie. Waarden zijn een gemiddelde uit vier herhaalde waarnemingen per locatie*

plot	A	B	C	F	G
totaal/100g	2832 <sup>ab</sup>	2265 <sup>ab</sup>	857 <sup>a</sup>	2277 <sup>ab</sup>	3201 <sup>b</sup>
aantal taxa	24,3 <sup>ab</sup>	29,3 <sup>b</sup>	24,5 <sup>b</sup>	19,3 <sup>a</sup>	25,5 <sup>b</sup>
MI	2,28 <sup>ab</sup>	1,94 <sup>a</sup>	2,55 <sup>b</sup>	3,35 <sup>c</sup>	2,70 <sup>b</sup>
% bact. eters	54 <sup>cd</sup>	64 <sup>d</sup>	41 <sup>bc</sup>	10 <sup>a</sup>	24 <sup>ab</sup>
% carnivoren	6 <sup>ab</sup>	1 <sup>a</sup>	7 <sup>b</sup>	9 <sup>b</sup>	3 <sup>ab</sup>
% dierparasieten	2	10	0	0	1
% omnivoren	2 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	7 <sup>ab</sup>	9 <sup>b</sup>	8 <sup>ab</sup>
% planteneters	34 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	40 <sup>ab</sup>	70 <sup>c</sup>	60 <sup>b</sup> <sup>c</sup>
% schimmeleeters	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
% cp1	19 <sup>ab</sup>	29 <sup>b</sup>	9 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>
% cp2	58 <sup>b</sup>	58 <sup>b</sup>	53 <sup>b</sup>	24 <sup>a</sup>	42 <sup>b</sup>
% cp3	7 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>
% cp4	8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	22 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>	26 <sup>b</sup>
% cp5	8 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>



Tabel: Nematodenwaarnemingen voor locatie A en F.

Monster	A1	A2	A3	A4	F1	F2	F3	F4
<b>Soortenverdeling (%)</b>								
<b>Achromadora</b>	0.6	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Acrobeles</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Acrobeloides</b>	5.7	9.6	9.2	9.9	3.1	0.0	0.6	0.0
<b>Acrobeloides nanus</b>	0.0	1.3	0.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Alaimus</b>	0.6	0.6	2.0	5.3	0.6	0.0	0.0	0.7
<b>Anaplectus</b>	2.5	5.1	3.9	0.7	1.2	1.3	0.0	3.3
<b>Anaplectus granulosus</b>	0.0	3.8	1.3	0.7	0.6	0.0	0.0	2.0
<b>Aphelenchoides</b>	1.3	1.9	1.3	1.3	1.2	0.7	0.0	2.6
<b>Aphelenchus</b>	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Aporcelaimellus obtusicaudatus</b>	0.6	4.5	5.2	7.3	0.0	0.7	0.0	0.0
<b>Bastiania gracilis</b>	0.0	0.0	1.3	0.0	1.2	0.0	0.0	0.7
<b>Clarkus papillatus</b>	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Dauerlarve</b>	0.0	3.8	0.7	4.0	0.0	1.3	0.0	0.0
<b>Diphtherophora communis</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
<b>Dolichodoridae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
<b>Dorylaimoidea</b>	1.9	2.5	1.3	2.0	13.7	7.9	6.3	8.5
<b>Eucephalobus</b>	9.4	12.1	4.6	3.3	0.0	0.7	0.6	0.7
<b>Eucephalobus mucronatus</b>	4.4	3.2	1.3	0.0	1.2	0.0	0.0	0.7
<b>Eucephalobus oxyroides</b>	6.3	5.7	3.9	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Eucephalobus striatus</b>	0.6	1.9	2.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Eudorylaimus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	3.3	0.6	2.0
<b>Eumonhystera</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Helicotylenchus</b>	22.0	9.6	31.4	27.8	6.2	13.2	13.9	20.9
<b>Helicotylenchus pseudorobustus</b>	7.5	2.5	12.4	6.0	9.3	7.2	7.0	5.9
<b>Heterocephalobus elongatus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Heterodera</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Meloidogyne naasi</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Mesodorylaimus mesonyctius</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Metateratocephalus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0
<b>Mononchidae</b>	0.0	0.0	2.6	0.7	1.9	0.7	0.6	0.7
<b>Neodiplogasteridae</b>	1.9	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0

<b>Monster</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>
<b>Panagrolaimus rigidus</b>	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.7
<b>Paratylenchus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Paratylenchus projectus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Plectus</b>	1.9	5.1	2.0	6.6	3.1	3.3	0.6	3.3
<b>Plectus armatus</b>	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Pratylenchus</b>	0.6	0.0	2.0	0.7	0.0	0.7	0.6	1.3
<b>Pratylenchus crenatus</b>	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Pratylenchus neglectus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Pratylenchus penetrans</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Prismatolaimus</b>	1.3	0.6	3.3	4.0	3.1	0.7	0.0	0.7
<b>Prodorylaimus rotundiceps</b>	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	2.0	2.5	2.6
<b>Pungentus alpinus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.3
<b>Rhabditidae</b>	20.8	16.6	4.6	3.3	0.0	2.6	0.0	1.3
<b>Teratocephalus</b>	1.3	1.9	0.7	0.7	1.2	0.0	0.0	0.0
<b>Trichodorus</b>	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	1.3	0.6	1.3
<b>Tripyla</b>	0.0	1.3	0.0	0.0	1.2	0.7	2.5	2.6
<b>Tylenchidae</b>	5.0	3.8	0.7	4.0	43.5	52.0	60.1	34.0
<b>Tylencholaimus crassus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0
<b>Tylenchorhynchus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Tylenchorhynchus bryobius</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Tylenchorhynchus dubius</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Wilsonema</b>	1.9	1.9	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

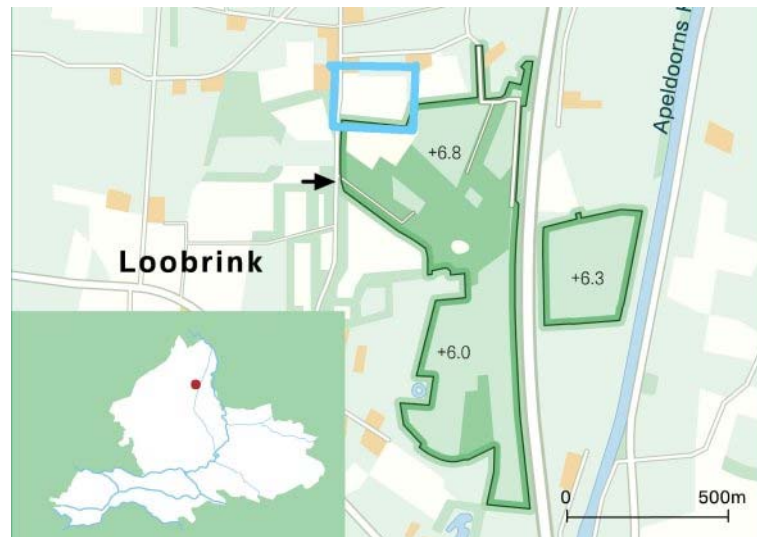
Tabel: Nematodenwaarnemingen voor locatie A en F.

Monster	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	G1	G2	G3	G4
<b>Soortenverdeling (%)</b>												
Achromadora	0.6	0.6	0.0	0.7	0.8	2.5	0.0	1.8	0.6	0.6	0.0	3.3
Acrobeles	1.2	3.2	1.2	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
Acrobeloides	10.6	7.0	5.0	2.6	10.3	10.0	15.1	1.8	1.2	3.5	0.0	3.3
Acrobeloides nanus	1.2	2.5	0.0	2.6	3.2	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0
Alaimus	3.7	3.8	0.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.3
Anaplectus	2.5	3.2	5.0	7.2	0.8	0.8	0.0	4.8	1.2	1.7	0.0	0.7
Anaplectus granulosus	1.9	5.1	5.0	6.5	0.0	0.0	0.0	4.8	1.2	0.6	0.7	0.7
Aphelenchoides	0.6	0.6	5.6	0.7	3.2	0.8	1.3	2.4	1.9	0.0	2.0	1.3
Aphelenchus	0.0	0.6	0.0	0.7	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0
Aporcelaimellus obtusicaudatus	0.0	1.3	0.6	0.0	0.8	2.5	1.3	0.0	0.0	1.7	0.7	1.3
Bastiania gracilis	0.0	0.6	0.6	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
Clarkus papillatus	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dauerlarve	16.8	2.5	10.6	10.5	0.0	0.0	0.0	1.2	0.6	0.0	2.0	2.0
Diphtherophora communis	0.6	1.3	1.2	1.3	0.0	0.8	2.0	3.6	2.5	0.6	0.0	0.0
Dolichodoridae	0.0	0.0	1.2	0.0	0.8	0.0	0.7	0.0	0.0	0.6	0.0	2.0
Dorylaimoidea	1.2	0.6	2.5	3.3	7.9	8.3	5.3	6.5	14.3	8.1	2.0	6.6
Eucephalobus	5.6	5.7	8.7	7.8	2.4	5.8	0.7	7.7	3.7	4.1	0.7	2.6
Eucephalobus mucronatus	3.1	3.2	3.1	0.7	2.4	1.7	2.0	1.2	0.0	1.7	1.3	0.7
Eucephalobus oxyuroides	0.0	0.0	1.2	0.7	0.8	0.0	0.7	3.0	0.0	0.0	2.6	0.7
Eucephalobus striatus	1.9	1.3	2.5	1.3	1.6	3.3	0.7	0.0	1.2	2.9	0.7	0.0
Eudorylaimus	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
Eumonhystera	0.0	1.3	0.0	1.3	4.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Helicotylenchus	2.5	5.1	2.5	2.6	0.0	0.8	0.7	5.4	0.6	6.4	9.3	2.0
Helicotylenchus pseudorobustus	1.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.4	0.0	1.7	0.7	0.7
Heterocephalobus elongatus	0.0	0.0	0.6	0.0	4.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0
Heterodera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0
Meloidogyne naasi	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mesodorylaimus mesonyctius	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Metateratocephalus	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	1.9	0.0	0.7	0.7
Mononchidae	0.0	0.0	0.0	1.3	1.6	3.3	5.9	5.4	0.6	0.6	0.0	1.3
Neodiplogasteridae	1.2	1.3	0.0	0.0	0.8	0.8	0.0	3.6	0.6	0.0	0.0	0.0
Panagrolaimus rigidus	0.0	1.9	1.2	0.0	0.0	0.0	1.3	1.2	0.0	0.0	0.7	0.0
Paratylenchus	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	38.4	1.3
Paratylenchus projectus	0.0	1.3	1.9	0.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Plectus	5.6	6.4	7.5	6.5	6.3	5.0	2.6	3.6	7.5	1.2	2.0	3.9
Plectus armatus	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pratylenchus	3.7	8.9	4.3	6.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Pratylenchus crenatus	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pratylenchus neglectus	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pratylenchus penetrans	1.2	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Prismatolaimus	2.5	0.6	0.0	0.7	11.9	7.5	0.7	0.6	4.3	1.2	0.0	7.2
Prodorylaimus rotundiceps	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0
Pungentus alpinus	0.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	1.3	1.8	0.0	1.2	1.3	0.0
Rhabditidae	23.6	13.4	19.3	19.6	11.1	2.5	0.7	1.8	2.5	0.0	5.3	5.9

<b>Monster</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>
<b>Teratocephalus</b>	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	3.3
<b>Trichodorus</b>	0.0	0.6	1.2	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	13.0	0.6	1.3	16.4
<b>Tripyla</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0
<b>Tylenchidae</b>	4.3	10.8	3.7	0.7	21.4	31.7	42.8	32.7	36.0	52.3	19.2	28.3
<b>Tylencholaimus crassus</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.7
<b>Tylenchorhynchus</b>	0.0	0.0	1.9	0.0	0.8	0.0	3.9	1.2	0.0	4.1	0.7	0.0
<b>Tylenchorhynchus bryobius</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0
<b>Tylenchorhynchus dubius</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	5.9	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0
<b>Wilsonema</b>	0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0

## Bijlage 8 Referentie gebied

Het terrein ten zuiden van het depotterrein behoort tot het natuurgebied het Vossenbroek, dat sinds 1992 in het bezit is van het Gelders Landschap. Op de website van het Geldersch Landschap is het volgende beschreven over het natuurgebied.



*Kaart van het natuurgebied het Vossenbroek. In het blauwe kader het depotterrein. Aangepast naar een figuur van het Geldersch Landschap (internet bron: <http://www.gelderslandschap.nl/> (15 okt 2007)).*

‘Het Vossenbroek, 52 hectare, bestaat uit twee delen, gescheiden door de A50. Het westelijke besloten gedeelte bestaat uit elzenbroekbos omringd door graslanden. De hooggelegen enk met de houtwallen er omheen vormt een opvallend element. Het oostelijk deel bestaat uit een open graslandgebied, met hier en daar wat struiken.

■ Het Vossenbroek maakt deel uit van het agrarische cultuurlandschap rond de buurtschappen Loobrink en Westendorp, gelegen aan een oostelijke uitloper van de Emsterenk. Deze enk is nog te zien als een hooggelegen wig met steile randen die uitsteekt in het Vossenbroek.

De lagere gronden waren in het verleden in gebruik als grasland. Deels waren ze omzoomd met houtsingels en houtwallen en tussen de graslanden lagen ook enkele geriefhoutbosjes. Ofschoon de graslanden fijn verkaveld waren, met talloze slootjes ertussen, was het waarschijnlijk moeilijk boeren op deze gronden. De graslanden lagen in een laag gelegen, afvoerloos gebied waar bovendien kwel optrad. Op kaarten van rond 1900 zijn spontane bosjes op de percelen te zien; sommige percelen zijn zelfs helemaal met bos begroeid. Kennelijk werden de percelen niet meer gebruikt, waardoor ze dichtgroeiden, of werden ze beplant met bos.

Rond 1970 werd de A50 dwars door het Vossenbroek aangelegd, waarbij tevens de ontwatering van het oostelijke deel, dat altijd het natst was geweest, werd verbeterd. Daarmee werd het gebied tussen de A50 en de Grift geschikt voor landbouw.

■ Het elzenbroekbos in het Vossenbroek is zeer bijzonder. Ongestoorde elzenbroekbossen zijn zeldzaam in deze streken. Het broekbos staat een groot deel van het jaar onder water. Onder de elzen groeien moerassoorten als moeraszegge, gele lis, wolfspoot, moerasstruisgras en elzenzegge. In de sloten komen soorten als gewone dotterbloem, bittere veldkers, holpijp en waterviolier voor, die profiteren van het schone kwelwater. Op vele plekken is het in de late lente paars van de kale jonkers.

Een opvallende bewoner van het Vossenbroek is de das, die zijn burcht heeft op hoge droge gronden en zijn voedsel zoekt in de natte graslanden.

Het Vossenbroek is ook van belang voor vogels. Het is het enige bos van behoorlijke omvang in de omgeving en relatief rustig. De snelweg wordt door vogels niet als erg storend ervaren. Door de menselijke vogelaars des te meer. Vogelaars brengen veel vogels op het gehoor op naam en dat valt met het geluid van de snelweg op de achtergrond niet mee. Opvallende zichtwaarnemingen waren een ijsvogel die in het bos aan het vissen was en een witgatje dat in de ruige natuurontwikkelingsgebieden aan het fourageren was.

Door de afwisseling in het gebied komen er vogelsoorten voor die typerend zijn voor bossen, voor overgangssituaties, moerassen en graslanden. Ook is het gebied van groot belang voor roofvogels. Havik, buizerd, ransuil en kerkuil houden zich in of om het gebied op. De kerkuil vliegt vaak laag langs de wegberm op zoek naar prooi en is daarom regelmatig slachtoffer van het snelwegverkeer.

■ De belangrijkste natuurwaarde in het Vossenbroek is het elzenbroekbos. Om de kwaliteit van dit bos verder te versterken zullen enkele laaggelegen graslandpercelen worden omgezet in bos, dat zich verder spontaan mag ontwikkelen. Langs de enkrand zijn de cultuurhistorische waarden belangrijk. Hier zal een actief beheer gevoerd worden om de enkrand met zijn houtwallen in goede staat te houden.'