

Bodemecologisch onderzoek incl. aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst te Elspeet

Onderzoek conform de Triade-methodek, incl. aanvullend pH-onderzoek



Definitief

Opdrachtgever:
Vereniging Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst, Elspeet
Gemeente Nunspeet

Grontmij Nederland B.V.
Amsterdam, 09 januari 2014

Verantwoording

Titel	:	Bodemecologisch onderzoek incl. aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst te Elspeet
Subtitel	:	Onderzoek conform de Triade-methodiek, incl. aanvullend pH-onderzoek
Projectnummer	:	304080 – 330888
Referentienummer	:	GM-0121899
Revisie	:	versie 2.2
Datum	:	09 januari 2014
Uitvoering	:	[Redacted]
Auteur(s)	:	[Redacted]
E-mail adres	:	[Redacted]
Gecontroleerd door	:	[Redacted]
Paraaf gecontroleerd	:	[Redacted]
Goedgekeurd door	:	[Redacted]
Functie	:	Teamleider
Paraaf goedgekeurd	:	[Redacted]
Contact	:	Grontmij Nederland B.V. Science Park 406 1098 XH Amsterdam Postbus 95125 1090 HC Amsterdam T +31 88 811 42 42 www.grontmij.nl
Citeren als	:	de Kort, T., Kools, S.A.E. (2014). Bodemecologisch onderzoek incl. aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst te Elspeet - Onderzoek conform de Triade-methodiek, incl. aanvullend pH-onderzoek. Grontmij. Rapportnummer: 304080, aanvulling 330888
Disclaimer	:	© Grontmij - Het copyright van deze rapportage is voorbehouden aan Grontmij. Alles uit deze publicatie mag worden overgenomen met duidelijke bronvermelding. Voor het gebruik van foto's vragen wij u contact op te nemen met de auteur(s).

Samenvatting

Het terrein van Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst te Elspeet is verontreinigd met lood en PAK's dat door historische activiteiten (kleiduifschieten met loodhagel) in de bodem is gekomen. Op grond van stap 2 (Sanscrit model) is vastgesteld dat op de locatie sprake is van onaanvaardbare ecologische risico's bij zowel de functie groen (binnen het hek voor lood en PAK's) als de functie bos (voor lood) (Tauw, 2010). De spoedeisendheid is vastgelegd in de beschikking van 9 juni 2011. Om te bepalen of de berekende ecologische risico's zich ook daadwerkelijk voordoen op de locatie is besloten een locatiespecifiek bodemecologisch onderzoek uit te laten voeren conform de Triade-methodiek (stap 3 in de Circulaire bodemsanering). Het onderzoeksplan is geschetst door het RIVM. Het onderzoek is vervolgens besproken met een begeleidingsgroep met onder andere de grondeigenaar en bevoegd gezag, conform NEN 5737. Onderhavige rapportage is vervolgens tot stand gekomen door het overleggen en bespreken van de (tussentijdse) resultaten. Het RIVM trad op als kwaliteitbewaker en borging van het proces.

Uit het onderzoek naar het spoor chemie blijkt dat de beschikbaarheid van PAK's zeer laag is. De gemiddelde beschikbaarheid is ca. 3000 maal lager dan op basis van standaardmodellen wordt verwacht. Hiermee vormen PAK's, vanuit ecologisch perspectief, geen risico. Lood blijft een aandachtstof in de Triade-methodiek. De ecologisch relevante actuele beschikbaarheid van lood is zeer laag op de ruigte- en graslocaties en relatief hoog op de verontreinigde boslocaties. Dit hangt sterk samen met de pH van de bodem op deze locaties. In het spoor toxicologie is de Microtox-assay uitgevoerd. In de monsters van de vegetatietypen gras en ruigte werden geen negatieve effecten aangetoond. In de monsters van de boslocatie werden in de verontreinigde monsters effecten aangetoond. Er is een sterke correlatie tussen het beschikbare loodgehalte en de effecten in het onderdeel toxicologie. Uit het spoor ecologie blijkt dat de tijdens het veldwerk aangetroffen flora en fauna op de verontreinigde referentielocaties niet zichtbaar verschilt van de verontreinigde locaties. De verschillende sporen zijn geïntegreerd tot een Triade-effect (TE-)waarde. Deze meervoudige bewijsvoering is uitgevoerd volgens de Triade-methodiek van het RIVM en aangevuld met expert-judgement.

De conclusies zijn dat binnen het hek voor de vegetatietypen gras en ruigte geen sprake (meer) is van ecologische risico's (<TE criterium). Voor het vegetatietype bos *buiten het hek* zijn de ecologische risico's (>TE criterium) wel bevestigd. Het verschil kan verklaard worden door het actueel beschikbare loodgehalte dat direct van invloed is op de risico's voor de ecologie. Voor het vegetatietype bos *binnen het hek* zijn de loodgehalten uit eerder onderzoek gebruikt in combinatie met aanvullend uitgevoerd pH-onderzoek van de bodem. Ondanks de iets hogere pH op de boslocaties binnen het hek (vakken 3, 8 en 19), is de verwachte actuele beschikbaarheid van lood op deze locaties dusdanig dat ecologische risico's niet uitgesloten worden (>hoge-TE criterium).

Op de vraag of (potentiële) risico's van loodhagel en kleiduiffragmenten bestaan is het antwoord dat deze verwaarloosbaar zijn op ecosysteemniveau. Tot slot is het antwoord op de vraag vanaf welke gehalten en/of toxische druk onaanvaardbare risico's aanwezig zijn dat deze te berekenen zijn tot ca. 180 mg/kg ds actueel beschikbaar lood. Deze waarde is bepaald met inachtneming van het lage (180 mg/kg ds) en hoge TE-criterium (280 mg Pb/kg ds) voor de boslocaties buiten het hek.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1 Inleiding.....	6
1.1 Aanleiding TRIADE-onderzoek.....	6
1.2 Vraag- en doelstelling.....	6
1.3 Achtergrond.....	7
1.4 Verontreinigingssituatie.....	8
1.5 Leeswijzer.....	8
2 Onderzoeksaanpak.....	9
2.1 Onderzoeksaanpak (Triade benadering).....	9
2.2 Procesgang.....	9
2.3 Opzet en uitvoering van het onderzoek.....	10
3 Uitvoering en resultaten.....	14
3.1 Samenvatting resultaten in het kort.....	14
3.2 Veldwerkverslag.....	15
3.3 Triadespoor Chemie.....	18
3.4 Triadespoor Toxicologie.....	26
3.5 Triadespoor Ecologie.....	27
3.6 Aanvullend pH-onderzoek.....	30
4 Risicobeoordeling en oordeel.....	33
4.1 Wijze van beoordeling.....	33
4.2 Beoordeling volgens 'RIVM methode'.....	33
4.3 Expert judgement.....	35
4.4 Risicobeoordeling en oppervlaktecriteria.....	38
4.5 Risicogehalte.....	39
4.6 Eindoordeel.....	41
5 Risico's van loodhagel en kleiduifragmenten.....	45
5.1 Loodhagel.....	45
5.2 Kleiduifragmenten.....	47
5.3 Conclusie.....	47
6 Conclusies en aanbevelingen.....	48
6.1 Conclusies en beantwoorden onderzoeksvragen.....	49
6.2 Aanbevelingen.....	49
7 Literatuur.....	51

Bijlagen:

Bijlage 1 De Triade-methodiek

Bijlage 2 Reactie op opmerkingen en vragen van aangeschreven partijen

Bijlage 3 Risicogehalten

Bijlage 4 Foto's bemonsterde locaties

Bijlage 5 Gestandaardiseerde gehalten

Bijlage 6 Gemeten gehalten incl. toetsingswaarden

Bijlage 7 Toxische druk/msPAF

Bijlage 8 Resultaten Bioassays

Bijlage 9 Veldwerk: locatiebeschrijving en waarnemingen

Bijlage 10 Achtergrond Nematodenanalyses

Bijlage 11 Resultaten nematodenanalyse

Bijlage 12 Analysecertificaten

1 Inleiding

1.1 Aanleiding TRIADE-onderzoek

Op het terrein van het Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst is bodemonderzoek uitgevoerd naar een bodemverontreiniging met lood, PAK's en plaatselijk minerale olie. Deze verontreinigingen laten overschrijdingen van de interventiewaarden zien.

Een berekening van de ecologische risico's met de gemeten gehalten bodemverontreiniging is allereerst uitgevoerd met het rekenprogramma Sanscrit, de standaard manier in de beoordeling van risico's. De uitkomst is dat de bodemverontreiniging een ecologisch risico vormt. Op basis hiervan is een beschikking afgegeven waarin opgenomen is dat de verontreiniging met spoed (binnen 4 jaar) dient te worden gesaneerd.

Het rekenmodel is echter een generieke risicobeoordeling: het model richt zich niet op een specifiek ecosysteem of een bepaalde locatie. Om te bepalen of de *berekende* ecologische risico's zich ook *daadwerkelijk* voordoen op de locatie, hebben de gemeente Nunspeet (grondeigenaar) en Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst (gebruiker) gezamenlijk besloten een locatiespecifiek bodemecologisch onderzoek uit te laten voeren.

1.2 Vraag- en doelstelling

Het onderzoek dient volgens de Triade-methodiek conform stap 3 in de Circulaire bodemsanering uitgevoerd te worden. Voor het onderzoek heeft het RIVM in samenspraak met bevoegd gezag (Provincie Gelderland) een plan van aanpak opgesteld aan de hand waarvan het onderzoek uitgevoerd moest worden. Overigens is recent een nieuwe versie van de Circulaire verschenen (versie 2011, vanaf april 2012 van kracht). Echter, ten tijde van de opzet van het onderzoek was deze nog niet beschikbaar. Om die reden gaat de rapportage uit van de Circulaire uit 2009. Daarnaast is besloten dat aandacht besteed moest worden aan de op de bodem aanwezige loodhagel en kleiduifragmenten.

De onderzoeksvragen zijn:

1. Bestaan locatiespecifieke ecologische risico's veroorzaakt door de aanwezige bodemverontreiniging op het terrein, zowel binnen als buiten het hek?¹
2. Wat zijn (potentiële) risico's van de op de bodem aanwezige loodhagel en kleiduifragmenten?
3. Vanaf welke gehalten en/of toxische druk zijn er onaanvaardbare ecologische risico's aanwezig?

Uiteindelijk is het doel van het onderzoek ook om een risicogehalte te bepalen of zogenaamde 'TRIADE effectwaarden' af te leiden. Hiervoor worden de resultaten uit het Actualiserend Onderzoek (Tauw, 2010) gecombineerd met de uitkomsten van het onderhavige rapport. Aan de hand hiervan kunnen Triade-effectcontouren of risicogehaltecontouren worden bepaald. Zie bijlage 3 voor een uitgebreidere uitleg van het risicogehalte.

¹ Hierbij worden de drie vegetatietypen op de onderzoekslocatie in beschouwing genomen om rekening te houden met eventuele verschillen in gevoeligheid. De vegetatietypen zijn gras, ruigte en bos.

1.3 Achtergrond

Aan de Stakenbergweg 60 te Elspeet bevindt zich sinds 1949 het Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst. Het jachtschietcentrum bevindt zich op ca. 8 hectare groot terrein dat door de vereniging van de gemeente wordt gepacht. Door het gebruik voor schietactiviteiten in het verleden is een gedeelte van het terrein verontreinigd geraakt met lood en PAK's. Plaatselijk is de bodem ook verontreinigd met minerale olie. Ook een gedeelte van het terrein buiten het hek van de vereniging is verontreinigd met lood en PAK's. De loodverontreiniging heeft een relatie met het in het verleden gebruikte loodhagel en de PAK-verontreiniging met de (vroegere) samenstelling van kleidruiven. Uit een actualiserend bodemonderzoek van Tauw (2010) blijkt dat de verontreinigingen voor ecologische risico's zorgen op basis van een standaardrisicobeoordeling met het rekenmodel Sanscrit. De sterkste verontreinigingen bevinden zich op en rond de kogelvangers op het terrein. Op basis van dit onderzoek is door de provincie Gelderland op 9 juni 2011 een beschikking afgegeven voor een spoedeisend geval van ernstige bodemverontreiniging (zaaknummer 2010-017739; kenmerk GE030200030). Het grondwater is niet verontreinigd met de stoffen die in de bodem in sterk verhoogde gehalten aanwezig zijn (Tauw, 2011).

Het terrein bestaat voornamelijk uit (gemengd) bos. Rondom en op de schietbanen en kogelvangers is er sprake van grasachtig terrein en ruigtes (zie figuur 1.1). Ter plaatse van de schietbaan wordt dit gras ook intensiever beheerd (maaien e.d.) dan de begroeiing op bijvoorbeeld de kogelvanger. In deze rapportage is aangesloten bij het uitgangspunt van de provincie Gelderland en het rapport van Tauw (2010) dat het verenigingsterrein de gebruiksfunctie 'ander groen/industrie' kent, en dat buiten het hek de functie 'natuur' van toepassing is.



Figuur 1.1 Terrein van Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst en omgeving. Het omheinde terreindeel is in groen weergegeven, het volledige onderzoeksgebied in blauw. De schietbanen zijn paarsgekleurd en de kogelvangers oranje (bron: Google Earth)

1.4 Verontreinigingssituatie

Binnen het hek van de vereniging is een oppervlak van ca. 1,6 hectare verontreinigd met lood en/of PAK's waarbij de acute Toxische Druk² groter dan 50% is. Dit is een overschrijding van het kritische oppervlak van de toxische druk voor de functie 'ander groen/industrie' (5.000 m²; Circulaire bodemsanering, 2009). Het lage criterium (TD>20% op >5 ha) wordt niet overschreden. Buiten het hek is het oppervlak waar de acute Toxische Druk het criterium voor de functie 'natuur' overschrijdt (TD>20% op >50 m²) bijna 0,2 ha³. Wanneer voor een bepaalde functie het oppervlak behorende bij het lage en/of hoge Toxische Druk-criterium wordt overschreden, is op basis van stap 2 uit de circulaire bodemsanering saneren met spoed noodzakelijk, tenzij een locatiespecifiek bodemecologisch onderzoek anders uitwijst. De tabel uit het de Circulaire bodemsanering 2009 (Wet bodembescherming) met oppervlakcriteria en bijbehorende functies is hieronder opgenomen. De beoordeling is recent aangepast in de nieuwe versie van de Circulaire (versie zoals gewijzigd op 3 april 2012). Ten tijde van de opzet en uitvoer van het onderzoek was deze nog niet beschikbaar. De rapportage gaat uit van de Circulaire uit 2009.

Tabel 1.1 Toxische drukcriteria uit de Circulaire bodemsanering 2009 naar functie met bijbehorende oppervlakcriteria.

Gebiedstype	Oppervlakte onbedekte bodemverontreiniging: laag criterium (Toxische Druk > 20%)	Oppervlakte onbedekte bodemverontreiniging: hoog criterium (Toxische Druk > 50%)
Natuur incl. gebieden behorende tot de EHS	50 m ² 500 m ² *)	50 m ²
Groen met natuurwaarden	5.000 m ²	50 m ²
Landbouw		
Wonen met tuin		
Moestuinen/volkstuinen		
Ander groen	50.000 m ²	5.000 m ²
Bebouwing		
Industrie		
Infrastructuur		

Bron: Circulaire bodemsanering 2009. *) Sinds april 2012 is het criterium voor de functie natuur 500 m² voor TD >20% en 50 m² voor TD >50%. Ook in dat geval wordt het criterium voor natuur overschreden.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport begint met een inleiding (hoofdstuk 1) met hierin een achtergrondbeschrijving van de onderzoekslocatie, de verontreinigingssituatie en de doelstellingen van het onderzoek. In hoofdstuk 2 is de onderzoeksopzet en een motivatie van de verschillende onderzoeksonderdelen beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de gebruikte methoden. Hoofdstuk 4 beschrijft de ecologische risicobeoordeling, de discussie en de resultaten van de verschillende onderdelen van de Triade. Hoofdstuk 5 bevat een beschouwing van de risico's van kleiduifragmenten. Tot slot staat in hoofdstuk 6 de beantwoording van de onderzoeksvragen.

² Het concept 'toxische druk' is een maat om de negatieve ecologische effecten van (een mengsel van) verontreinigingen aan te geven, en is gebaseerd op de msPAF (meerdere stoffen potentieel aangetaste fractie). De msPAF is een theoretisch percentage of fractie organismen in een ecosysteem dat negatieve effecten ondervindt van het mengsel aan verontreinigingen. De msPAF wordt verkregen door de effecten van de verschillende verontreinigingen (en bijbehorende gehalten) te combineren tot één getal. Zo betekent bijvoorbeeld een msPAF van 0,3 of 30% dat theoretisch 30% van de in het ecosysteem aanwezige organismen negatief beïnvloed wordt door de aanwezige verontreiniging. Een uitgebreidere uitleg is te vinden in bijlagen bij dit rapport.

³ Begin 2012 zal het criterium voor de functie natuur 500 m² worden voor TD >20% en 50 m² voor TD >50%. Ook in dat geval wordt het criterium voor natuur overschreden.

2 Onderzoeksaanpak

2.1 Onderzoeksaanpak (Triade benadering)

De locatiespecifieke bepaling van de ecologische risico's op de Berkenhorst is uitgevoerd volgens de Triade-methodiek. Het onderzoek sluit aan bij de gangbare methodiek (RIVM handreiking Triade 2011), de recent ontwikkelde normstelling (NEN-procesnorm 5737 (Nederlands Normalisatie-instituut), SIKB-richtlijn (Protocol 2005, Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer; in ontwerp) en het plan van aanpak van het RIVM (RIVM, 2010). Met behulp van een Triade-onderzoek wordt bepaald in welke mate bodemverontreiniging het functioneren van het ecosysteem daadwerkelijk aantast. Het voordeel van de Triade-methodiek boven een generieke risicobeoordeling, is dat bij de Triade bij de interpretatie van onderzoeksgegevens rekening wordt gehouden met de plaatselijke omstandigheden. Door metingen aan ecologie, toxicologie en chemie is sprake van een meervoudige bewijsvoering die meer zekerheid geeft over de risico's doordat locatiespecifieke informatie wordt gebruikt (drie sporen) en geen algemeen model (enkel spoor: chemie – totaalgehalten stoffen). Zowel het principe van een Triade-onderzoek als de achtergrond bij de NEN-procesnorm zijn opgenomen in bijlage 1.

2.2 Procesgang

Door alle partijen te betrekken wordt voldaan aan NEN-norm 5737 – de norm die het proces van een Triade-onderzoek beschrijft. Voor het Triade-onderzoek is een projectgroep opgericht met direct belanghebbenden (eigenaar en gebruiker) en niet-direct belanghebbende partijen (bevoegd gezag, deskundigen). De projectgroep bestaat uit vertegenwoordigers van:

1. Eigenaar / beheerder van de onderzoekslocatie: Gemeente Nunspeet en vereniging Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst – dit zijn tevens de opdrachtgevers
2. Bevoegd gezag Wet bodembescherming: Provincie Gelderland – het bevoegd gezag heeft een beschikking op ernst en spoed afgegeven vanwege de verontreinigingssituatie. Zij bepaalt of er op basis van het Triade-onderzoek een herschikking wordt afgegeven of dat het Triade-onderzoek als uitgangspunt voor een saneringsplan kan dienen.
3. Kwaliteitsbewaking / adviseur bevoegd gezag: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) – het RIVM staat de bevoegde overheid inhoudelijk bij met het maken van afwegingen en keuzes binnen dit specialistische onderzoek. Daarnaast kunnen ze het bevoegd gezag informeren of het onderzoek kwalitatief voldoende uit wordt/is gevoerd.
4. Opdrachtnemer: Grontmij Nederland B.V. – Specialisten van Grontmij zijn door de opdrachtgever ingehuurd om het onderzoek uit te voeren en te rapporteren.

De projectgroep bespreekt op welke manier het onderzoek uitgevoerd zal worden en tijdens het onderzoek is er afstemming over het verloop. Deze afspraken zijn in het startoverleg van 29 maart 2011 gemaakt. Het conceptplan van aanpak is ook opgestuurd naar organisaties en omwonenden die in procedures n.a.v. eerdere onderzoeken op de Berkenhorst betrokken zijn (geweest). Dit is gebeurd op 11 en 12 april 2011. Op deze manier is het mogelijk gemaakt eventuele onduidelijkheden in het plan van aanpak op te helderen, vragen te beantwoorden en suggesties te doen. Aan de hand van de vragen, opmerkingen en suggesties zijn aanpassingen gedaan aan het conceptplan van aanpak. De reactie op de vragen en opmerkingen van de aangeschreven partijen is opgenomen in bijlage 2. Voor belangstellenden bestaat nog de mogelijkheid om te reageren op het saneringsplan dat volgt uit het Triade-onderzoek.

2.3 Opzet en uitvoering van het onderzoek

Een Triade is bedoeld om de *locatiespecifieke* ecologische risico's van een verontreiniging in beeld te krijgen. De ruimtelijke spreiding van de verontreiniging is al in kaart gebracht in de reguliere bodemonderzoeken. Bij de uitvoering van het Triade-onderzoek en beoordeling van de risico's is uitgegaan van de meest recente informatie over de ruimtelijke spreiding van de verontreinigingssituatie op de locatie. Dit betreft het actualiserend bodemonderzoek van Tauw (2010), het aanvullend grondwateronderzoek van Tauw (2011) en ecologische inventarisaties en natuuronderzoek van Tauw (2007) en Mertens (2009; 2011).

2.3.1 Omvang van het onderzoek

De omvang van het onderzoek is afhankelijk van (de combinatie van) een aantal zaken:

- Functie/bestemming en gebiedstype van de onderzoekslocatie

Bij bepaling van de functie / bestemming van de locatie is aangesloten bij eerder onderzoek en de beschikking. Dit betekent dat het gebied binnen het hek de bestemming jacht- en sport-schietcentrum (functie 'ander groen') heeft en het deel buiten het hek de functie 'natuur'. De functie 'ander groen' behoort tot de minst gevoelige functies uit de risicobeoordeling, terwijl de 'functie' natuur de meest gevoelige functie is binnen de Wet bodembescherming.

- Verontreinigingssituatie op de onderzoekslocatie

De verontreinigingssituatie bestaat uit de stof(groep) lood en PAK's (op het grootste deel van de onderzoekslocatie) en minerale olie (plaatselijk).

- Omvang van de verontreinigingssituatie op de onderzoekslocatie

De omvang van de verontreinigingssituatie is dusdanig, dat het overgrote oppervlak binnen het hek valt: 1,6 ha van de 1,8 ha sterk verontreinigde grond.

- Vegetatietype(n) op de onderzoekslocatie

Binnen het onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende vegetatietypen, zoals ook aangegeven in het plan van aanpak van het RIVM. Het vegetatietype van het verontreinigde gedeelte buiten het hek betreft enkel bos. Het vegetatietype binnen het hek kent daarnaast ook ruigte (op en rond de kogelvallers) en gras (schietbanen / baanzolen).

2.3.1.1 Aantal bemonsterde locaties

De keuze voor de locaties – inclusief referentielocaties – kent een aantal criteria en is gebaseerd op de gegevens uit het actualiserend bodemonderzoek van Tauw (2010), waarin de ruimtelijke spreiding van de verontreiniging is opgenomen. In onderstaande tabel zijn de gegevens uit het rapport van Tauw (2010) over de geselecteerde locaties opgenomen.

Tabel 2.1 Monsterlocaties, inclusief verwachte lood-, PAK- en minerale oliegehalten, bodemeigenschappen en bijbehorende Toxische Druk (gehalten uit Tauw, 2010)

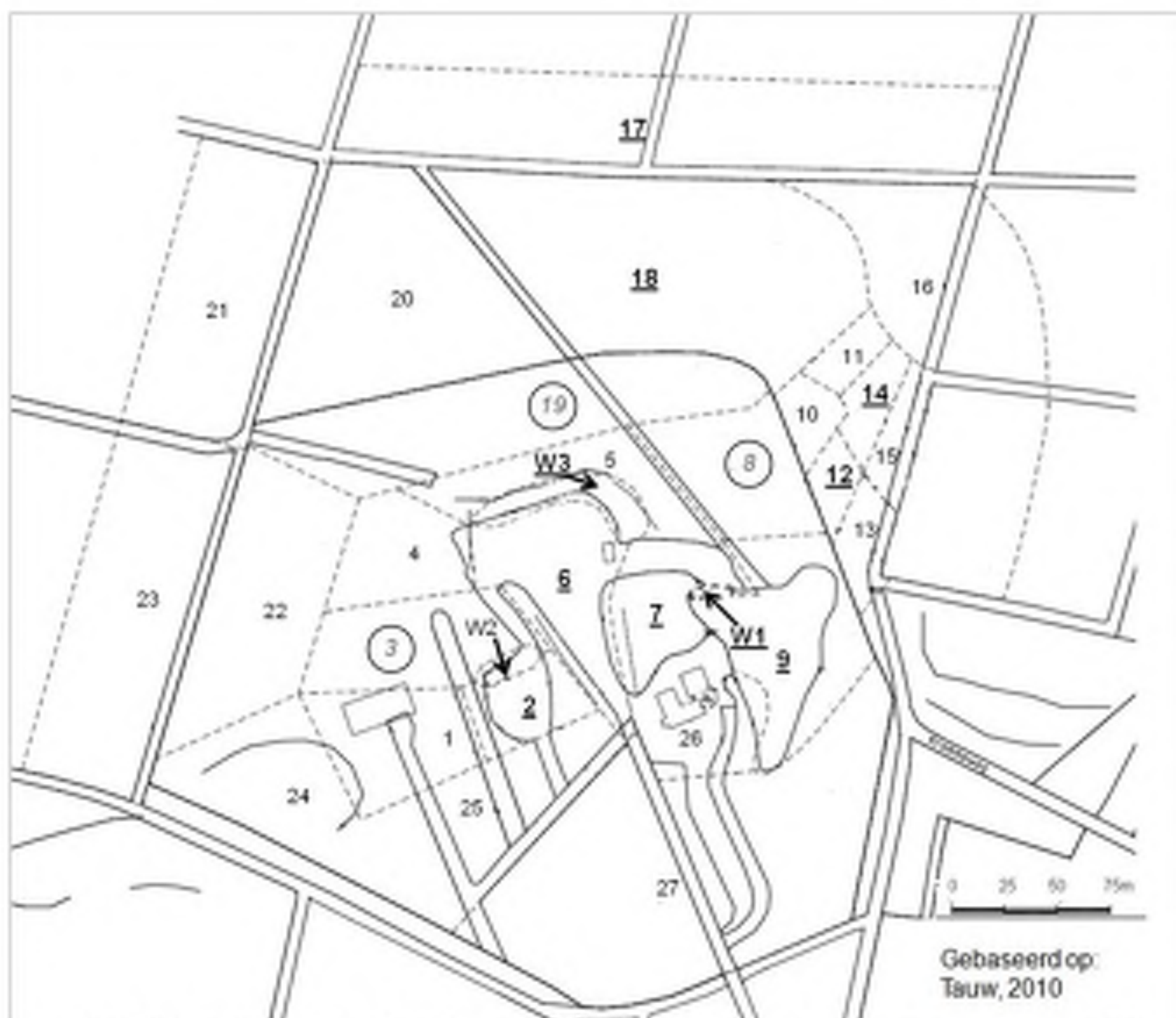
Vegetatietype	Locatie (incl. codering Tauw, 2010)	Organische stof (%)	lutum (%)	Lood (mg/kg ds)	PAK 10 VROM (mg/kg ds)	Minerale olie (mg/kg ds)	Toxische Druk (% msPAF)
Bos (buiten het hek)	Bos referentie - buiten hek (vak 17)	7	1	<13	0,012	31	0%
	Bos - buiten hek (vak 12)	3,7	4,3	1.900	0,099	30	39%
	Bos - buiten hek (vak 14)	3,7	4,3	730	0,094	<20	22%
	Bos - buiten hek (vak 18)	4,9	1,3	7.400	0,14	<20	66%
Gras (schietbaan)	Gras referentie (naast vak 6 en 7)	Onbekend*	Onbekend*	onbekend*	Onbekend*	Onbekend*	Onbekend*
	Gras baan 3 (vak 2)	3,9	1,1	85	390	480	87%
	Gras baan 4 (vak 6)	3,8	3,4	70	130	310	67%
	Gras baan 5 (vak 9)	3,8	3,4	590	800	800	95%
Ruigte (kogelvangervanger)	Ruigte referentie - waf nabij baan 4 (deel vak 7)	3,8	3,4	110	3,6	51	0%
	Ruigte Kogelvangervanger baan 4 (W3voor)	1	2	1.300	840	1.200	96%
	Ruigte Kogelvangervanger baan 5 (W1)	1	13	17.000	1.200	3.300	98%

*De bodemeigenschappen van de referentielocatie voor het vegetatietype Gras zijn onbekend. Dat komt omdat de beoogde referentielocatie in vorige onderzoeken nog niet in detail onderzocht was, maar slechts als onderdeel van een groter gebied.

De volgende paragraaf bevat de onderbouwing van de keuze voor het aantal en de locaties van de monsterlocaties.

- Bij selectie van de locaties is gekozen om zowel de lood-, PAK- als minerale olieverontreiniging te betrekken in het onderzoek.
- Onderscheid is gemaakt in de drie vegetatietypen. Vegetatietype 'Bos' kent vier monsterlocaties buiten het hek, vegetatietype 'Gras' en 'Ruigte' respectievelijk vier en drie monsterlocaties binnen het hek. Het grootste deel van de verontreiniging bevindt zich binnen het hek en hier ligt dan ook de focus.
- Voor de vegetatietypen bos en gras is een oplopende verontreinigingsgradiënt (oplopende toxische druk (TD)) bemonsterd. De oplopende verontreinigingsgradiënt begint voor de monsterlocaties buiten het hek bij een TD >20% en bij de monsterlocaties binnen het hek bij een TD >50%. Hiervoor is gekozen omdat het onbedekte verontreinigde oppervlak binnen het hek het oppervlakcriterium behorende bij een TD >20% voor de functie ander groen (5 ha) niet overschrijdt en daarmee vanuit juridisch oogpunt niet relevant is. Voor het gedeelte buiten het hek is de functie (natuur) dusdanig gevoelig, dat de oppervlakte behorende bij een TD >20% (50 m²) wel overschreden wordt.
- Het vegetatietype ruigte is gekoppeld aan de kogelvangsters: zowat elke daadwerkelijk gebruikte kogelvangster heeft hoge lood- en PAK-gehalten, voortkomend uit zijn functie. Daarom is gekozen om de plekken met een hoge Toxische Druk te selecteren.
- Per vegetatietype is ook een referentielocatie geselecteerd. Een goede referentielocatie geeft duidelijkheid over het feit of aangetroffen effecten te wijten zijn aan de verontreiniging of de lokale omstandigheden, zoals bijvoorbeeld droogte. Voor dit onderzoek is gekozen om de niet-verontreinigde vakken binnen de onderzoekslocatie te gebruiken als referentielocaties. Tijdens de bespreking met betrokkenen partijen is een uitleg over de keuze voor referentielocaties ter sprake gekomen (bijlage 2) en deze keuze wordt ook in het volgende hoofdstuk verder toegelicht.
- In een standaardbodemonderzoek worden vaak (meng)monsters samengesteld uit één of een beperkt aantal stekken. In het Triade-onderzoek wordt een monster samengesteld van ca. 20 stekken uit een groter vak dan in regulier bodemonderzoek gebruikelijk is; een gebied van ca. 50 tot 100 m². Door deze bemonsteringswijze te volgen is het resultaat een meer gemiddeld beeld, vooral bij heterogene bodemverontreiniging. Dit 'verdunningseffect' is geen beletsel voor het onderzoek, omdat door de wijze van bemonstering juist de heterogeniteit van de bodem ondervangen wordt, zowel wat betreft verontreiniging als bodemeigenschappen.
- Een breed stoffenpakket is geanalyseerd zodat in het onderzoek rekening kan worden gehouden met monsters met verontreinigingen die niet gerelateerd zijn aan activiteiten op de schietbanen. Dit voorkomt dat eventuele effecten veroorzaakt door toevallige verontreinigingen anders dan lood, PAK of minerale olie geïnterpreteerd worden als risico's van de verontreinigingen die de ernstige bodemverontreiniging veroorzaken. De analysecertificaten en de samengevatte gegevens, inclusief toetsingswaarden zijn in bijlage 6 en 12 opgenomen. De naar standaardbodemonderzoek gecorrigeerde gehalten zijn opgenomen in bijlage 5.
- In een later stadium is een aanvullend pH-onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de beschikbaarheid van de loodverontreiniging. Dit is uitgevoerd in de vakken met bos binnen het hek van de Berkenhorst, te weten 3, 8 en 19.

In figuur 2.1 is de gevolgde vakverdeling – zoals ook in de rapportage van Tauw (2010) gebruikt – weergegeven.



Figuur 2.1 - Vakverdeling zoals aangehouden in het Triadeonderzoek – hierbij is aangesloten bij de vakverdeling zoals in de rapportage van Tauw (2010). Vak 10 t/m 18 en 20 t/m 23 liggen buiten de hekken van het jachtschiet centrum. De overige vakken liggen binnen de hekken. De kogelvangsters zijn aangeduid met de codes W1 t/m W3. De dikgedrukte, onderstreepte vakken zijn betrokken in het Triade-onderzoek. De omcirkelde, schuingedrukte vakken zijn in een later stadium in het aanvullende pH-onderzoek betrokken.

2.3.2 Interpretatie en beoordeling van locatiespecifieke ecologische risico's

Op basis van al de verzamelde gegevens wordt uiteindelijk een ecologische risicobeoordeling opgesteld. Bij de interpretatie is de combinatie van resultaten van doorslaggevend belang. De resultaten van de chemie, toxicologie (bioassay) als ecologie (veldinventarisatie) krijgen onafhankelijk van elkaar een effectgetal, maar na de combinatie van deze waarden kan pas een uitspraak gedaan worden over het wel of niet aanwezig zijn van risico's. Voor de onderzoekslocatie Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst (binnen en buiten het hek) is de berekening uitgevoerd op basis van de onderzochte parameters, waarbij de (kwantificeerbare) gegevens gebruikt zijn om tot een weging te komen. Dit zijn:

- Chemie: msPAF op basis van gestandaardiseerde totaalgehalten⁴
 - Toxicologie: effecten in Microtox-bioassay (EC_{20})
 - Ecologie: nematodengemeenschapsinventarisatie (aantal taxa, dichtheid en Maturity Index)
- Alle parameters wegen in de eerste fase even zwaar mee. De interpretatie zal worden gebaseerd op de risicogrenzen uit de Handreiking Triade 2011 (Mesman et al., 2011) die bij de twee gebiedstypen / functies horen (ander groen binnen hek; natuur buiten hek). Hierbij wordt een koppeling gemaakt tussen de Triade Effectwaarden (tussen 0 en 1), de toxische druk, het ver-

⁴ De msPAF is gebaseerd op de totaalgehalten. In de huidige opzet van de RIVM-methodek zijn biobeschikbare gehalten nog niet opgenomen in de berekeningen. Bij de interpretatie worden de biologisch beschikbare gehalten wel meegewogen door een deskundigheidsoordeel ('expert judgement') en kunnen bijvoorbeeld effecten in het spoor toxicologie verklaard worden.

ontreinigd oppervlak en de functie of categorie waar het terrein in valt. De beoordelingstabel is opgenomen in bijlage 1, evenals uitleg over de Triade effectwaarden.

Daarnaast worden de factoren die momenteel nog niet meegenomen kunnen worden in het kwantitatieve deel van de Triade beoordeeld aan de hand van expert judgement. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de biologisch beschikbare gehalten. Deze hebben een veel sterkere relatie met de aan- of afwezigheid van effecten dan de totaalgehalten van een verontreiniging. De combinatie van kwantitatieve beoordeling en expert judgement bepaalt welke daadwerkelijke ecologische risico's op de onderzoekslocatie aanwezig zijn.

Een Triade is niet bedoeld om een beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de verontreinigingssituatie op en nabij de Berkenhorst. Dit is in het actualiserend onderzoek van Tauw (2010) al gedaan. Vanuit de gegevens uit dit eerdere onderzoek van Tauw (2010) kunnen de risicogetallen die uit de Triade naar voren komen, gebruikt worden om de risico's te duiden op de niet onderzochte delen van het terrein met vergelijkbare eigenschappen. Op basis van deze risicogetallen en de gehalten uit het actualiserend onderzoek van Tauw (2010) kan bepaald worden hoe de contouren op basis van de Triade-effectwaarden lopen. Hierbij wordt de Toxische Druk aangegeven waarbij onaanvaardbare ecologische risico's uitgesloten kunnen worden en waar deze onaanvaardbaar geacht worden. De Toxische Druk contouren op basis van totaalgehalten zijn al eerder vastgesteld.

3 Uitvoering en resultaten

3.1 Samenvatting resultaten in het kort

De resultaten staan in deze paragraaf voor de snelle lezers samengevat en worden verder in dit hoofdstuk in meer detail uitgewerkt:

- De bodem op de gehele locatie bestaat uit fijn tot matig fijn zand en heeft een laag lutum- en organische stofgehalte. Op verontreinigde locaties zijn plaatselijk bijmengingen van loodha- gel en kleiduifragmenten waargenomen.
- Uit het onderzoek komt naar voren dat lood en PAK's de interventiewaarde overschrijden. Dit komt overeen met de bevindingen van Tauw (2010).
- PAK's zijn 3000 maal minder beschikbaar dan verwacht op basis van standaardmodellen. Het ecologische risico van PAK's op de locatie is daarmee verwaarloosbaar.
- De pH van de bodem verschilt sterk tussen de verontreinigde gras- en ruigte locaties en de verontreinigde boslocaties (resp. gemiddelde pH van 6,9, 6,6 en 3,5).
- De actuele beschikbaarheid van lood is sterk afhankelijk van de pH van de bodem. De maximale beschikbaarheid van lood op de gras- en ruigtelocaties is slechts 0,1% van het to- taalgehalte. De gemiddelde beschikbaarheid van lood op de verontreinigde boslocaties is ca. 15% van het totaalgehalte.
- Het reactieve loodgehalte (potentieel beschikbaar) is ongeveer gelijk aan het totaalgehalte lood.
- De toxiciteitstest met de bacterie *V. fischeri* laat geen negatieve effecten zien in de monsters van de gras- en ruigtelocaties. De verontreinigde monsters van de boslocatie laten matige tot sterke effecten zien die correleren met de actueel beschikbare loodgehalten.
- De nematodengemeenschap laat op alle locaties minstens enige mate van 'verstoring' zien, maar daarin is geen duidelijk onderscheid met referentielocaties.
- De tijdens het veldwerk aangetroffen flora en fauna wijkt niet duidelijk af van de niet- verontreinigde referentielocaties. Wel was de vegetatie op enkele plekken waar geen bodem is aangetroffen onderontwikkeld.
- Aanvullend onderzoek in de vakken 3, 8 en 19 (boslocaties binnen het hek) laat zien dat de pH op deze plekken iets hoger is dan op de boslocaties buiten het hek. Dit verschil is echter niet significant ($p > 0,05$).

3.2 Veldwerkverslag

3.2.1 Voorfase

Voorafgaand aan het veldwerk is op basis van de gegevens over de bodemverontreiniging en de locatiefoto's en kaartmateriaal bepaald welke locaties bemonsterd zouden worden (tabel 2.1). De benaming uit het rapport van Tauw (2010) van de locaties (vakken en schietbanen) is voor zover als mogelijk overgenomen. Daarnaast is er met vertegenwoordigers van de hele projectgroep – waaronder de projectcoördinator van Grontmij, dhr. T. de Kort – op 29 maart 2011 een veldbezoek gebracht, waarbij de voorziene monsterlocaties bezocht en beoordeeld zijn. Hier is ter plaatse in meer detail bepaald welke delen van de geselecteerde vakken het meest geschikt waren voor bemonstering op basis van de veldsituatie. Hierbij is extra aandacht besteed aan de referentielocaties:

- Referentielocatie BOS: vak 17 (Tauw, 2010) – Deze boslocatie ligt buiten het gebied waar schietactiviteiten hebben plaatsgevonden. Evenals de verontreinigde plekken betreft het een gemengd bos (op de rand van een naaldbos) met beperkte, vergelijkbare ondergroei. De plek zal – evenals de verontreinigde locaties – door zijn ligging niet snel betreden worden door mensen. De samenstelling van de strooisellaag is vergelijkbaar.
- Referentielocatie GRAS: grasgedeelte bij schietbaan 4, richting clubhuis – Deze locatie lijkt het meest geschikt als lokale referentie voor gras: de plek wordt evenals de verontreinigde plekken betreden door mensen en heeft hetzelfde beheer – en daardoor vergelijkbare vegetatie. Het is een geschikte locatie omdat deze zich bevindt vóór de plek waar schietactiviteiten plaats hebben gevonden. De verontreinigde locaties liggen allen juist op plekken waar schietactiviteiten wel invloed hebben gehad. Hierdoor is de invloed van schietactiviteiten goed te onderscheiden.
- Referentielocatie RUIGTE: wal bij vak 7 (Tauw, 2010) – Deze locatie lijkt het meest geschikt als lokale referentie voor ruijgte: de wal ligt op een plek waar geen schietactiviteiten hebben plaatsgevonden en heeft een vergelijkbare steilte als de verontreinigde kogelvangsters. De begroeiing komt goeddeels overeen met de begroeiing op de kogelvangsters, al hebben de kogelvangsters een iets sterkere ondergroei. Op en nabij de locatie zijn geen beter vergelijkbare verhogingen in het veld te vinden die als referentie kunnen dienen.

3.2.2 Uitvoering veldwerk

- Het veldwerk is op 19 mei 2011 van 8.30 tot ca. 18.30 uur uitgevoerd door de projectcoördinator dhr. T. de Kort en ecologisch veldmedewerker dhr. P. Spannenburg. Tijdens het veldwerk was het bewolkt met af en toe neerslag in de vorm van regen. De temperatuur lag rond de 20°C.
- De coördinaten van de bemonsterde locaties zijn in het veld bepaald met behulp van een GPS-ontvanger (Garmin Etrex Vista HCx) en aan de hand van kaartmateriaal gevalideerd. In figuur 3.1 zijn de bemonsterde locaties weergegeven. In bijlage 4 zijn de coördinaten en foto's van de bemonsterde locaties opgenomen.



Figuur 3.1. Luchtfoto met monsternamelocaties: het omheinde terreindeel (binnenste gedeelte) is in zwart weergegeven, de volledige onderzoekslocatie in wit. (bron: Google Earth); Legenda:

	BOS		GRAS		RUIGTE
1	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	5	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	9	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)
2	BH Bos - buiten hek (vak 12)	6	BH Gras baan 3 (vak 2)	10	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)
3	BH Bos - buiten hek (vak 14)	7	BH Gras baan 4 (vak 5)	11	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
4	BH Bos - buiten hek (vak 18)	8	BH Gras baan 5 (vak 9)		

- Op de vooraf bepaalde locaties zijn monsters genomen op een gebied van ca. 50 tot 100 m². Op de gras- en boslocaties was dit een vak van 10m x 10m. Voor de ruigtelocaties was dit niet mogelijk, omdat de gewenste monsterplek (voorzijde van de kogelvanger) niet altijd breed genoeg was om een traject van 10m x 10m uit te zetten. Daarom is gekozen om hier een vergelijkbaar oppervlak te bemonsteren door een langer, maar smaller vak uit te zetten aan de schietzijde van de kogelvanger.
- Per monsterlocatie is met een edelmanboor ca. 15 liter monstermateriaal verzameld van de laag van 0-25 cm-mv in twee 10 liter-emmers. Per vak zijn ca. 30 steken genomen om de benodigde hoeveelheid materiaal te verkrijgen die als één monster in behandeling worden genomen. Dit materiaal is gehomogeniseerd in het veld.
- Bij de monstername is de strooisellaag – indien aanwezig – verwijderd om bij de (verontreinigde) bodem te komen. Het deel dat als humus al onderdeel van de bodem uitmaakt is wel

meegenomen bij de bemonstering⁵. De bemonsterde 0-25 cm-mv is de bodemlaag waarin de sterkste verontreinigingen voorkomen over het grootste deel van het gebied (Tauw, 2010). De monsterdiepte van 0-25 cm-mv is ook de laag waar in zandige bodems de belangrijkste en meeste bodembioologische activiteit aanwezig is.

- Alle bodemonsters zijn vervoerd naar het laboratorium van Grontmij in Amsterdam en bij 4°C opgeslagen alvorens gebruikt te worden voor de Triadesporen chemie en toxicologie. De bodemsamenstelling was op alle locaties fijn tot matig fijn zand. Op de boslocaties was daarbij een strooisellaag van gemiddeld ca. 3 tot 7 cm aanwezig. Op de graslocaties was geen strooisellaag aanwezig. De strooisellaag in de ruigtes was gemiddeld ca. 1 tot 3 cm dik. Op de locaties waar geen schietactiviteiten plaats hebben gevonden (referentielocaties) zijn ook geen aanwijzingen voor schietactiviteiten aangetroffen, op de Grasreferentie na, waar in twee steken een klein aantal kleiduifragmenten (zeer klein) werden aangetroffen: deze steken zijn niet in het verzamelmonster meegenomen. Op de locaties waar wel schietactiviteiten plaats hebben gevonden, zijn daarvoor aanwijzingen aanwezig, variërend van bijmengingen met loodhagel, tot kleiduifragmenten en hulzen. Op de kogelvangsters van baan 4 en 5 zijn plaatselijk verzamelplekken met grotere hoeveelheden kleiduifragmenten en hulzen aangetroffen. Op deze plekken kon niet bemonsterd worden, omdat hier geen sprake was van bodem en om die reden was weinig begroeiing aanwezig. Van de bemonsterde locaties was op boslocatie Vak 18 de grootste hoeveelheid loodhagel op de bodem aanwezig. Vak 18 is namelijk het vak waarin hagel landt wanneer vanaf baan 3 en/of 5 wordt geschoten. De loodhagel was hier bedekt door een strooisellaag van ca. 5 cm. In onderstaande tabel zijn de belangrijkste waarnemingen aan de bodem opgenomen. In bijlage 9 zijn meer waarnemingen die gedaan zijn tijdens het veldwerk, opgenomen. De referentielocaties zijn wat betreft begroeiing, optische bodemeigenschappen (o.a. bodemtype, vochtgehalte, strooisel) en ligging (o.a. schaduwrijkheid, mate van betreding) goed vergelijkbaar met de verontreinigde locaties van de betreffende vegetatietypen.



Figuur 3.2 Voorbeelden van de onderzochte vegetatietypen: links Bos, midden Ruigte en rechts Gras

⁵ De activiteiten die voor de verontreiniging gezorgd hebben, zijn al enige tijd gestaakt: de verontreiniging zal zich daarom grotendeels in en op de bodem bevinden en niet in of op de strooisellaag. Het bemonsteren van de strooisellaag is daarmee ook niet zinvol.

Tabel 3.1 Bodembeschrijving

Locatiecode	Vegetatietype	Bodemtype	Bijmengingen	Grondkleur	Dikte strooisellaag
1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	Gemengd bos op scheidslijn met naaldbos	fijn zand	grind, hout	donkergrijs met roodachtig uitspoellaag van humus	gem. 3 cm
2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	gemengd bos	fijn tot matig fijn zand	hout, deels loodhagelkorreltjes en kleiduffragmenten	loodgrijs, deels humushoudende uitspoellaag	gem. 7 cm
3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	gemengd bos	fijn tot matig fijn zand	hout	grijs, met top laag humus	gem. 7 cm
4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	bos, vnl. naaldbomen	fijn tot matig fijn zand	hout, loodhagel	donkergrijs, plaatselijk roodachtig	gem. 5 cm
5) BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	gras en mosbedekking	fijn zand	lokaal grind, 2 stekken met klein aantal kleiduffragmenten (niet meegenomen), 1 steek met ijzerhoudende grond	Geel, met humusuitspoellaag	0 cm
6) BH Gras baan 3 (vak 2)	gras en mosbedekking	fijn tot matig fijn zand	grind, kleiduffragmenten	bruin/zwart/geel, met humusuitspoellaag	0 cm
7) BH Gras baan 4 (vak 6)	gras en mosbedekking	fijn zand	grind, kleiduffragmenten, hulzen	geel/grijs met donkere uitspoellaag	0 cm
8) BH Gras baan 5 (vak 9)	gras en mosbedekking	fijn tot matig fijn zand	zeer lokaal grind en puin, kleiduffragmenten, plaatselijk kleibrokken	bruin (humusrijk)	0 cm
9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	Ruigte / bos	fijn tot matig fijn zand	geen	Bruin/lichtbruin/geel met humusuitspoellaag	gem. 2 cm
10) BH Ruigte Kogelvangervanger baan 4 (W3voor)	Ruigte	matig fijn tot matig grof zand	grind, hulzen, kleiduffragmenten	geel, met plaatselijk humeuze delen	gem. 1 cm
11) BH Ruigte Kogelvangervanger baan 5 (W1)	Ruigte	fijn zand	lokaal grind en hout, hulzen, kleiduffragmenten, plaatselijk kleibrokken	geel met humus(uitspoel)laag	gem. 3 cm

Gewasmonsters en nematodenmonsters zijn gestoken op dezelfde locaties als de bodemmonsters, zodat een 1-op-1-vergelijking met de bodemmonsters mogelijk is.

- Gewasmonsters (grassen: blad en wortels) zijn verzameld door met een schep pollen gras uit te steken op een zestal plekken verspreid over het bemonsteringsvak. De wortels zijn van grond ontdaan en zowel bovengrondse als ondergrondse delen zijn apart gelabeld in een plastic zak en gekoeld vervoerd naar het laboratorium van Grontmij in Amsterdam. In het laboratorium zijn de monsters ingevroren bij -25°C voor eventuele analyse op lood in een vervolgfase van het onderzoek (spoor Chemie).
- Nematodenmonsters zijn gestoken met een nematodenguts (Ø 13 mm). Elk nematodenmonster is samengesteld uit 25 stekken van 0-25 cm-mv. De stekken zijn gezet op de plekken waar ook grond verzameld is. De stekken zijn in een ziplockbag verzameld en gekoeld naar het laboratorium van Grontmij in Amsterdam vervoerd. Vanuit hier zijn de monsters de volgende dag gekoeld (tot 4°C) naar het laboratorium van Bgg in Wageningen vervoerd voor analyse (spoor Ecologie).
- Tijdens het veldwerk zijn ook gegevens omtrent flora en fauna opgenomen nabij de monsterlocaties. Het gaat hierbij om algemene soorten op de monsterlocaties en bijzondere soorten die op en nabij het terrein waargenomen zijn tijdens het veldwerk (spoor Ecologie).

3.3 Triadespoor Chemie

Het onderzoek focust zich op lood en PAK's, omdat uit eerdere onderzoeken is gebleken dat deze stoffen in sterk verhoogde gehalten voorkomen en daardoor potentieel de belangrijkste ecologische risico's veroorzaken. Ook minerale olie wordt meegenomen in het onderzoek, maar dit is slechts op een beperkt aantal plekken aangetoond. De monsters voor chemische analyses zijn per koerier gekoeld (tot 4°C) vervoerd naar de betreffende laboratoria (totaalgehalten: Al-control in Rotterdam; beschikbare gehalten lood: CBLB in Wageningen; beschikbare gehalten PAK's: IRAS in Utrecht).

3.3.1 Bodemeigenschappen

Bodemeigenschappen zijn van belang voor de vergelijkbaarheid van de locaties en de interpretatie van de biologische beschikbaarheid van lood en ecologische veldgegevens.

Tabel 3.2 Bodemeigenschappen per vegetatietype

Monster omschrijving	droge stof	vochtgehalte	organische stof (gloei-verlies)	lutum (<2 µm)	pH-CaCl ₂ grond (pH-KCl)
	gew.-%	gew.-%	% vd DS	% vd DS	-
1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	85,5	14,5	6,4	1,7	3,3 (3,0)
2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	85,9	14,1	5,3	2	3,4 (3,1)
3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	88,4	11,6	3,8	4,8	3,4 (3,1)
4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	88	12	5,4	3,3	3,6 (3,3)
Gemiddelde Bos (±standaarddeviatie)	87,0 ±1,5	13,1 ±1,5	5,2 ±1,1	3,0 ±1,4	3,4 ±0,1 (3,1 ±0,1)
5) BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	95,8	4,2	0,7	1	4,6 (4,2)
6) BH Gras baan 3 (vak 2)	90,4	9,6	3,4	3,6	6,9 (6,4)
7) BH Gras baan 4 (vak 6)	94,2	5,8	1,3	2,9	6,9 (6,4)
8) BH Gras baan 5 (vak 9)	87,3	12,7	4,3	7,1	6,8 (6,3)
Gemiddelde Gras (±standaarddeviatie)	91,9 ±3,8	8,1 ±3,8	2,4 ±1,7	3,7 ±2,5	6,3 ±1,1 (5,8 ±1,1)
9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	93,5	6,5	3	3	3,8 (3,5)
10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	97	3	1,3	1	6,4 (5,9)
11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	88,2	11,8	7	8	6,8 (6,3)
Gemiddelde Ruigte (±standaarddeviatie)	92,9 ±4,4	7,1 (±4,4)	3,8 ±2,9	4,0 ±3,6	5,7 ±1,6 (5,2 ±1,5)

* Omrekening van pH-CaCl₂ naar pH-KCl conform Reuter et al., 2008. Dit is gedaan omdat dit vergelijking met bijvoorbeeld Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit (Rutgers et al. 2007) vergemakkelijkt.

3.3.2 Beschouwing bodemeigenschappen

- Op de gehele onderzoekslocatie is een fijn- tot matig fijnzandige bodem aanwezig. Dit type bodems verklaart het relatief lage kleigehalte (lutum: minerale deeltjes <2 µm), laag organische stofgehalte en de relatieve droge bodems.
- Het vochtgehalte van de bodem is in het bos hoger dan op het gras en in de ruigte. Dit kan te maken hebben met het feit dat het bos schaduwrijker is, waardoor verdamping beperkter is. Ook kan de dikkere strooisellaag op de bodem als buffer werken: vocht uit de strooisellaag trekt de bodem in en het strooisel voorkomt snelle verdamping van reeds in de bodem aanwezig vocht tijdens drogere perioden.
- De pH van de bodem verschilt duidelijk tussen de verschillende vegetatietypen. De pH van de bos is normaal voor een gemengd bos op zandgrond (pH 3,2; Rutgers et al., 2007). Dit geldt zowel voor de referentielocatie voor bos als de verontreinigde boslocaties. Voor ruigte kan uitgegaan worden van een gemengd bos op zandgrond en/of voor een halfnatuurlijk grasland op zand (pH-KCl ca. 3,9). De referentielocatie voor ruigte is vergelijkbaar, pH-KCl van 3,8). Op een halfnatuurlijk grasland op zand wordt een gemiddelde pH-KCl van 4,6 verwacht (Rutgers et al., 2007); vergelijkbaar voor de referentielocatie gras.
- Op gras en ruigte met voornamelijk schietactiviteiten en waar kleiduifragmenten zijn aangetroffen is de pH van de bodem hoger dan verwacht op een zandige bodem (pH-KCl tussen 5,9 en 6,4). Dit zal naar alle waarschijnlijkheid te maken hebben met de voormalige kleiduischietactiviteiten op deze locatie. Kleiduien bestaan voor het merendeel uit stoffen met calciumverbindingen (m.n. calciumcarbonaat en calciumsulfaat), gecombineerd met een kleinere hoeveelheid bindmateriaal, zoals restproducten van aardolie- en kolenproductie. Het gebruik van kleiduien zal tot verhoogde kalkgehalten in de bodem leiden. Deze calciumverbindingen hebben een zuurgraadverlagende (=pH-verhogende) eigenschap, wat de hogere pH op de plekken waar kleiduifragmenten in de bodem zijn gevonden, verklaart. Tegenwoordig is het bindmiddel overigens vaker een biologisch afbreekbaar product (VROM, 2001; Lobb, 2006).

De bodemeigenschappen op de referentielocatie voor bos zijn goed vergelijkbaar met de verontreinigde boslocaties. Voor de referentielocatie voor gras is het organische stof- en lutumgehalte lager dan de verontreinigde locaties. Hiermee wordt bij de interpretatie van eventuele ecologische effecten rekening gehouden. Bij de referentielocatie voor ruigte bevindt het organische stof- en lutumgehalte zich tussen de twee verontreinigde locaties in. Met betrekking tot pH bestaat een verschil tussen de referentielocaties voor gras en ruigte en de verontreinigde gras- en ruigtelocaties. Dit verschil is echter gerelateerd aan de schietactiviteiten op de verontreinigde locaties en de afwezigheid van deze activiteiten op de referentielocaties; beter passende referentielocaties voor ruigte en gras zijn niet te verwachten.

3.3.3 Totaalgehalten laboratoriumanalyses en toxische druk (msPAF)

Totaalgehalten⁶ van verontreinigingen geven een indruk van de verontreinigingssituatie op een onderzoeklocatie. Ze worden gebruikt bij toetsingen aan normen uit het bodembeleid. De totaalgehalten van de stoffen waarvoor normen conform de Wet bodembescherming overschreden worden, zijn opgenomen in onderstaande tabel. Stoffen waarvoor de gehalten onder de achtergrondwaarden en/of rapportagegrenzen waren, zijn niet opgenomen in deze tabel. Dit geldt voor de stoffen cadmium, chroom, kwik, koper en zink en de somparameter EOX. De totaalgehalten zijn gebruikt om de Toxische Druk te bepalen (als msPAF; zie bijlage 7 voor uitgebreidere uitleg). De Toxische Druk is een maat om de verwachte acute toxiciteit – en daarmee het potentiële ecologische risico – van het mengsel van verontreinigingen dat op de onderzoeklocatie aanwezig is in te schatten. De bijbehorende msPAF-waarden zijn in onderstaande tabel weergegeven, inclusief de op basis van eerder onderzoek verwachte Toxische Druk.

Tabel 3.3 Verontreinigingsgehalten voor de stoffen die een norm overschrijden en msPAF (inclusief en exclusief PAKs).

Locatiecode	Arseen ^a	Lood ^a	PAK - 10 van VROM (PAK-16 van EPA) ^a	totaal olie C10 - C40 ^a	Toxische Druk ^b	Toxische Druk, excl. PAKs ^{b,c}
	mg/kg ds	mg/kg ds	mg/kg ds	mg/kg ds	msPAF (%)	msPAF (%)
1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	<4	39	<0,2 (<0,32)	<20	0%	0%
2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	6,1	2400	<0,2 (<0,32)	<20	43%	43%
3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	6,5	1300	<0,2 (<0,32)	<20	31%	31%
4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	11	1800	0,22 (0,33)	<20	37%	37%
5) BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	<4	120	13 (18)	<20	7%	0%
6) BH Gras baan 3 (vak 2)	<4	800	64 (90)	40	59%	24%
7) BH Gras baan 4 (vak 6)	<4	230	29 (41)	20	33%	9%
8) BH Gras baan 5 (vak 9)	7,8	7400	80 (110)	100	84%	64%
9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	<4	71	0,38 (0,55)	<20	0%	0%
10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	<4	150	30 (42)	<20	30%	5%
11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 W1)	29	7100	490 (700)	480	95%	63%
^a Overschrijdingen:	<AW	>AW / <[AW+IW]/2	>[AW+IW]/2 / <IW	>IW		
^b Beschermingsniveau:	TD<20: geen beschermingsniveau overschreden		20<TD<50: laag criterium overschreden		TD>50: hoog criterium overschreden	

^aHoe hoger de toxische druk, hoe hoger het risico voor het negatief beïnvloeden van het functioneren van het ecosysteem. Bij overschrijding van enkel het lage criterium wordt een groter verontreinigd oppervlak als niet onaanvaardbaar gezien dan bij overschrijding van het hoge criterium (zie ook tabel 1.1). ^cDit is de toxische druk exclusief PAKs: PAKs blijken namelijk niet biologisch beschikbaar te zijn en daarmee is het onrealistisch om deze stofgroep mee te laten tellen in de eindbeoordeling (zie 3.2.6); voor de eindbeoordeling is in de eerste stap gebruik gemaakt van de Toxische druk excl. PAK's.

⁶ Op basis van koningswaterontsluiting

Zoals uit tabel 3.3 blijkt, is de verwachte Toxische Druk op basis van het rapport van Tauw (2010) – hoewel iets lager – vergelijkbaar met de in het Triade-onderzoek berekende Toxische Druk. De locaties vallen in acht van de elf gevallen in dezelfde categorie als verwacht ($TD < 20\%$; $20\% < TD < 50\%$; $TD > 50\%$). Over het algemeen zijn de verontreinigingsgehalten iets lager in het huidige onderzoek. De iets lagere lood- en PAK-gehalten - en de daarmee samenhangende lagere Toxische Druk - zijn waarschijnlijk te verklaren uit het feit dat deeltjes > 1 mm (o.a. hagelkorrels en kleiduifragmenten) in dit onderzoek voorafgaand aan de chemische analyses verwijderd zijn. Dit geeft een meer realistische beschouwing van de verontreinigingen in de bodem die de toxiciteit grotendeels bepalen. Het onderdeel over de risico's van het metallisch loodhagel en de kleiduifragmenten wordt apart behandeld.

De lokaal aanwezige minerale olieverontreinigingen op de kogelvangsers in de ruigte zijn in dit onderzoek niet in dezelfde mate teruggevonden⁷. Dit kan te maken hebben met de wijze van bemonstering, zoals ook in paragraaf 3.1.2 is besproken. De beoogde referentielocaties zijn op basis van de Toxische Druk geschikt: zowel voor de vegetatietypen bos als ruigte is de Toxische Druk van de referentie 0% en voor gras is dit met 7% ruim onder de 20% ($TD < 20\%$: geen overschrijding van beschermingsniveau's voor ecologie).

3.3.4 Beschikbare gehalten

Om de oorzaak-gevolg relaties nog sterker te kunnen maken worden de analyses van totale loodgehalten ondersteund door beschikbaarheidsmetingen. De chemische biobeschikbaarheidsanalysemethoden geven inzicht in de relatie tussen biologische beschikbaarheid en bodemeigenschappen, de variatie in de zgn. 'biobeschikbaarheid' in het terrein en de verklaarbaarheid van de waargenomen effecten in spoor Toxicologie en Ecologie.

3.3.5 Lood

Voor lood is het actuele biologisch beschikbare gehalte bepaald door een milde extractie met een 0,01M CaCl_2 -oplossing (tabel 3.4). Hierbij worden metalen die zwak aan lutum- en organische stofdeeltjes gebonden zijn verdrongen door calcium uit de CaCl_2 -oplossing. De vrijgekomen metalen worden in het extract gemeten worden en worden beschouwd als het voor organismen direct opneembare deel uit poriewater, oftewel het actueel biologisch beschikbare gehalte. Dit gehalte is daarmee met name relevant voor microorganismen, planten en micro- en mesofaunagemeenschappen die hun voedsel uit het poriewater halen of daar nauw mee in contact zijn. Bodemprocessen – zoals bodemademhaling en de nutriëntenomzettingen - worden vaak gereguleerd door microorganismen: het actueel beschikbare gehalte is daarom ook voor deze processen relevant.

Voor lood is ook bepaald welke fractie potentieel vrij kan komen door middel van een krachtigere extractie met 0,43M HNO_3 (tabel 3.4). De werking hierbij is vergelijkbaar met de milde extractie, maar het sterker geconcentreerde uitschudmedium in combinatie met de sterkere competitie van protonen (H^+) met metalen op de bodemdeeltjes, zorgen ervoor dat een veel groter gedeelte van de metalen losgemaakt wordt. Dit is de potentieel beschikbare fractie die een maat is voor het gedeelte dat op langere termijn mogelijk vrij kan komen, en ook voor bodemeters met een zure omstandigheid in het spijsverteringskanaal (bijvoorbeeld regenwormen) beschikbaar kan zijn na inname (Klok et al., 2004).

⁷ De aangetroffen gehalten zijn beperkt qua totaalgehalten. Bij berekening van de toxische druk kan minerale olie helaas (nog) niet meegenomen worden, omdat er geen (betrouwbare) toxiciteitscurves afgeleid konden worden voor deze stof (minerale olie een vaak divers mengsel van verschillende petroleumkoolwaterstoffen). Dit heeft als mogelijk effect in de beoordeling dat deze iets strenger kan worden: in de toxische druk is minerale olie niet verwerkt, maar in de sporen toxicologie en ecologie telt een eventueel effect wel mee.

Tabel 3.4 Lood: beschikbare fracties, beschikbare gehalten en totaalgehalte. De beschikbare loodfracties zijn berekend op basis van beschikbaar gehalte t.o.v. totaalgehalte. Aangezien de pH een sterke invloed heeft op de actuele beschikbaarheid, is deze ook in de tabel opgenomen.

Monstercode	Actueel beschikbaar loodgehalte (0,01 M CaCl ₂)	Potentieel beschikbaar loodgehalte (0,43 M HNO ₃)	Totaal loodgehalte (koningswater)	pH (CaCl ₂)	Actueel beschikbaar loodfractie**	Potentieel beschikbaar loodfractie***
	mg Pb/kg ds	mg Pb/kg ds	mg Pb/kg ds		%	%
1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	0,92	32	39	3,3	2,4%	81%
2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	288,6	1.903	2.400	3,4	12,0%	79%
3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	170,2	1.216	1.300	3,4	13,1%	94%
4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	347,8	2.443	1.800	3,6	19,3%	136%*
Gemiddeld Bos				3,4	11,7%	98%
5) BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	7,3	109	120	4,6	6,1%	91%
6) BH Gras baan 3 (vak 2)	0,2	761	800	6,9	0,0%	96%
7) BH Gras baan 4 (vak 6)	0,1	317	230	6,9	0,0%	138%*
8) BH Gras baan 5 (vak 9)	0,2	727	7.400	6,8	0,0%	10%
Gemiddeld Gras				6,3	1,5%	83%*
9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	5,4	78	71	3,8	7,6%	110%*
10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	0,1	143	150	6,4	0,1%	95%
11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	7,47	9.709	7.100	6,8	0,1%	137%*
Gemiddeld Ruigte				5,7	2,6%	114%

*Een percentage boven de 100% is te verklaren uit de heterogeniteit van een monster. Omdat slechts een beperkte hoeveelheid monster in gebruik genomen wordt bij een analyse, is het mogelijk dat er ook in een gehomogeniseerd monster verschillen worden in gemeten in gehalten. Dit kan zich in een berekening uiteten in beschikbare percentages >100%; **Actueel beschikbaar gehalte gedeeld door totaalgehalte; *** Potentieel beschikbaar gehalte gedeeld door totaalgehalte

3.3.5.1 Actueel beschikbaar loodgehalte

De actueel beschikbare loodgehalten in de vegetatietypen ruigte en gras zijn laag (tabel 3.4).. Dit leidt tot een actueel beschikbare loodfractie voor de verontreinigde gras- en ruigte locaties van <0,2%. In het vegetatietype bos is het actueel beschikbaar loodgehalte hoog te noemen. De actueel beschikbare loodfractie op de onderzoekslocatie is voor het vegetatietype bos normaal te noemen, wanneer het zandige bodemtype en de bodem-pH in beschouwing worden genomen (Grontmij/AquaSense, 2007; Grontmij, 2010; Grontmij, 2011). De actueel beschikbare loodfractie op de verontreinigde locaties is gemiddeld 14,8% van het totaalgehalte (excl. referentie). Dit heeft te maken met de lage pH en het lage organische stof- en lutumgehalte van de bodem in het vegetatietype bos. Op deze locaties zijn geen of weinig kleiduifresten te vinden die voor een pH-verhogend effect – en daarmee ook voor een verlaagde loodbeschikbaarheid – kunnen zorgen.

Op de referentielocaties van gras en ruigte is de actueel beschikbare fractie hoger dan op de verontreinigde locaties (tabel 3.4).. De grote verschillen tussen de verontreinigde gras- en ruigte locaties en de boslocaties en referentielocaties voor gras en ruigte zijn goed te verklaren aan de hand van de pH-verschillen tussen deze locaties. Op de plekken waar de pH hoog is (tussen pH-CaCl₂ van 6,4 en 6,9), is de beschikbaarheid zeer laag te noemen. Op de plekken met de laagste pH (boslocaties) is de beschikbaarheid het hoogst. Deze pH-gerelateerde beschikbaarheid is in voorgaande onderzoeken waar de focus op lood lag ook aangetoond. Ter vergelijking: in eerdere door Grontmij uitgevoerde Triade-onderzoeken op locaties met een hoge bodem-pH en hoge organische stof- en lutumgehalten, was het gemiddelde beschikbare loodgehalte kleiner dan 0,2% (Grontmij/AquaSense, 2009-1; 2009-2), terwijl op voormalige schietterreinen met een zure, zandige bodem de actueel beschikbare fractie lood beduidend hoger was, variërend van ca. 5% tot 17% (Grontmij/AquaSense, 2007; Grontmij, 2010; Grontmij, 2011).

De verhoogde pH zou verklaard kunnen worden doordat kleiduifragmenten kalkhoudend zijn. Deze kunnen voor een pH-verhoging van de bodem zorgen, en daarmee voor een sterk verminderde beschikbaarheid van lood.

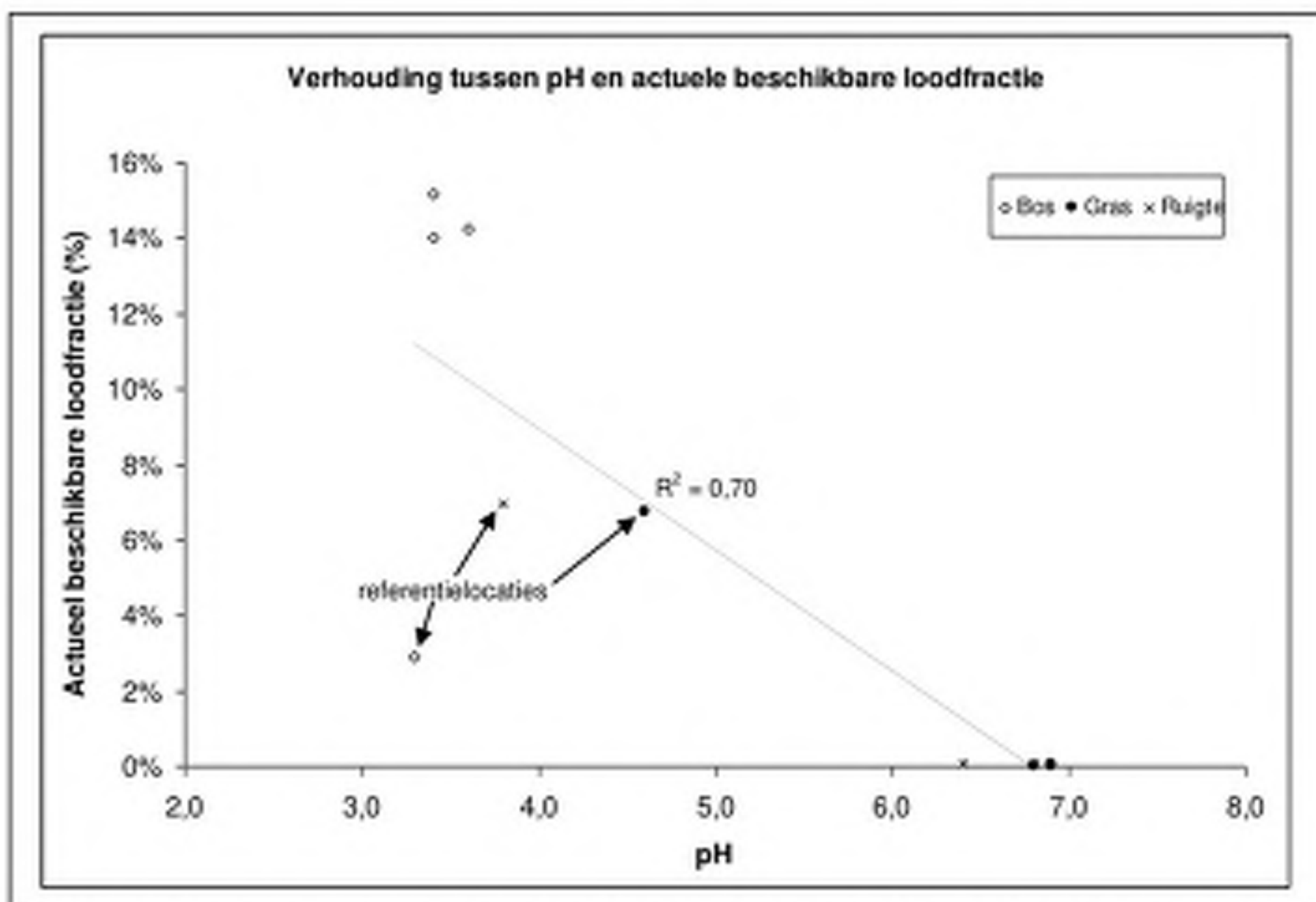
Voor de uiteindelijke te verwachten ecologische effecten is de actueel beschikbare loodconcentratie van belang. Voor de vegetatietypen ruigte en gras zijn op basis van de actueel beschikbare loodgehalten geen negatief ecologische effecten te verwachten. Deze is op de verontreinigde boslocaties dusdanig hoog (170 tot 348 mg/kg ds), dat negatief ecologische effecten niet uitgesloten kunnen worden.

3.3.5.2 *Potentieel beschikbaar gehalte*

Het potentieel beschikbaar gehalte is voor alle drie de vegetatietypen vergelijkbaar met de totaalgehalten, op het monster van de graslocatie baan 5 (vak 9) na (tabel 3.4).. Dat betekent dat het merendeel van het lood op de locatie reactief is en dus beschikbaar kan komen. Bij BH Gras baan 5 (vak 9) is dit slechts 10%.. Het feit dat na ca. 60 jaar schietactiviteiten de loodverontreiniging nog grotendeels in de bovenste 50 cm van de bodem aanwezig is en er geen grondwaterverontreinigingen zijn aangetroffen (Tauw, 2010; Tauw, 2011), wijst erop dat de loodverontreiniging in de praktijk weinig mobiel is. Dit komt overeen met eerdere onderzoeken naar de beschikbaarheid en mobiliteit van lood in bodem en grondwater. Clausen et al. (2011) heeft op basis van diverse studies geconcludeerd dat lood weinig mobiel is en het risico van uitloging laag is. In bodems met een pH van rond de 3 á 4 komt lood in een stabiel adsorptie-complex voor met ijzeroxide. Onder dezelfde pH-condities zal naast de adsorptie van lood aan ijzeroxiden ook een deel adsorberen aan organisch stof. Bij een pH van 3.5 is circa 30-50% gebonden aan opgelost organisch materiaal. Bij hogere pH-waarden, rond 6 tot 8, zal lood sterker aan organisch materiaal binden en zal een deel van het ijzer gebonden lood, bij aanwezigheid van fosfaat, overgaan in stabiele loodfosfaatmineralen (Clausen e.a. 2011). Vanwege de relatief hoge – en daarmee gunstige – pH is niet te verwachten dat op termijn grote hoeveelheden lood in één keer vrij zullen komen op het terrein van de Berkenhorst. Het feit dat er in de bodemlagen >50 cm-mv en in het grondwater geen of slechts een lichte loodverontreiniging aanwezig is – ondanks de decennialange aanwezigheid van lood op en in de bodem – ondersteunt dit.

3.3.5.3 *Relatie tussen beschikbaar en totaalgehalte*

Het potentieel beschikbaar loodgehalte komt goed overeen met het totale loodgehalte in de bodem (tabel 3.4; figuur 3.3).. Het actueel beschikbaar gehalte is sterk afhankelijk van de pH van de bodem. Dit is een bekend fenomeen bij veel zware metalen (o.a. Rieuwerts et al, 2006; Bergema en Van Straalen, 1991). De verontreinigde locaties hebben soms een nog lager actueel beschikbaar gehalte dan de referentielocaties met een lagere pH.



Figuur 3.3 - Verhouding tussen pH en actueel beschikbare loodfractie (actueel beschikbaar gehalte / potentieel beschikbaar gehalte). Bij een oplopende pH neemt de actuele beschikbaarheid af. De lage pH zorgt voor een grotere beschikbare fractie op de boslocaties dan op de gras- en ruigte locaties met een hoge pH. Er is een redelijke trend waarneembaar met een R^2_{lineair} van 0,70.

Zoals uit figuur 3.3 duidelijk wordt, is met name voor de zure, verontreinigde boslocaties een groot deel van het lood actueel beschikbaar (gemiddeld ca. 15%). Voor de verontreinigde graslocaties en ruigte locaties is dit maximaal 0,1%. Dit heeft te maken met de lage pH op de boslocaties. Omdat de pH van alle locaties op het bos vergelijkbaar is, is het interessant om de relatie tussen het totaalgehalte / potentieel beschikbaar gehalte en het actueel beschikbaar gehalte te bekijken. Deze relatie is weergegeven in bijlage 8. Ondanks hogere totale loodgehalten bij gras en ruigte, kunnen de ecologische risico's dus beduidend lager zijn, omdat de beschikbare gehalten laag zijn. Dit is belangrijke informatie bij de interpretatie van de risico's.

3.3.6 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen

Naast de beschikbaarheid van lood is ook de beschikbaarheid van de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) bepaald. Dit is gedaan door middel van een 28-daagse POM-SPE-extractie. Hierbij worden polyoxymethyleen strips 28 dagen geschud met de monsters, waarna bepaald wordt welke fractie van de PAKs aan deze strips is gaan hechten. Dit kan bijvoorbeeld vergeleken worden met een organisme dat in de bodem leeft en op een vergelijkbare manier aan de verontreiniging met PAK's wordt blootgesteld. In bijlage 6 is de methode in meer detail uitgelegd. Aan de hand van het C_w -beschikbaarheidsmodel voor de voorspelling van de concentratie in het poriewater, kan voorspeld worden welk deel van de PAK-verontreiniging beschikbaar is of kan komen. Door dit te vergelijken met de daadwerkelijke hoeveelheid die beschikbaar komt in de POM-SPE-extractie, kan bepaald worden in welke mate de voorspelde beschikbaarheid afwijkt van de werkelijke. In onderstaande tabel is per PAK en voor alle PAK's gemiddeld opgenomen welk deel van de PAKs beschikbaar is ten opzichte van het deel dat beschikbaar zou zijn volgens generieke modelberekeningen.

Tabel 3.5. PAK's: beschikbare fractie (%) per PAK % (daadwerkelijk gemeten gehalte in poriewater gedeeld door berekende waarden in poriewater op basis van de totaalanalyses; zie ook bijlage)

Locatiecode	Fenantreen	antraceen	fluoranteen	pyreen	benzo(a)antraceen	chryseen	benzo(b)fluoranteen	benzo(k)fluoranteen	benzo(a)pyreen	benzo(ghi)perylene	dbenzo(a,h)antraceen	indeno(1,2,3-cd)pyreen	Gemiddelde
BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
BH Bos - buiten hek (vak 12)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
BH Bos - buiten hek (vak 14)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
BH Bos - buiten hek (vak 18)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	0.15%	0.09%	0.15%	0.11%	0.07%	0.07%	0.01%	0.03%	0.02%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%
BH Gras baan 3 (vak 2)	0.09%	0.08%	0.11%	0.09%	0.07%	0.05%	0.01%	0.03%	0.03%	0.04%	0.03%	0.04%	0.04%
BH Gras baan 4 (vak 5)	0.05%	0.06%	0.08%	0.05%	0.05%	0.04%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	0.05%	0.02%
BH Gras baan 5 (vak 9)	0.15%	0.12%	0.09%	0.08%	0.05%	0.04%	0.01%	0.02%	0.01%	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%
BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0.08%	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0.08%
BH Ruigte Kogelvangervanger baan 4 (W3voor)	0.17%	0.24%	0.19%	0.13%	0.09%	0.07%	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%	0.03%
BH Ruigte Kogelvangervanger baan 5 (W1)	0.05%	0.03%	0.05%	0.04%	0.04%	0.03%	0.01%	0.02%	0.02%	0.04%	0.02%	0.03%	0.03%

Op basis van bovenstaande gegevens is duidelijk dat de PAK's die op de locatie aangetroffen zijn, vrijwel niet beschikbaar zijn. De gehalten op de boslocaties en op de referentielocatie voor ruigte (op de stof chryseen na) lagen beneden de detectielimiet (variërend van 0,002 tot 0,2 ng/l poriewater – let op het gaat hier om nanogram = éénmilyardste gram). Voor de overige locaties was het wel mogelijk om meetbare gehalten te extraheren. Echter, de gehalten die teruggevonden werden, zijn gemiddeld ruim 3500 maal lager dan op basis van een standaardmodel voorspeld worden. De PAK's zijn waarschijnlijk sterk ingebakken in de kleidruiven dat het zeer sterke, niet opneembare complexen heeft gevormd met de overige componenten in de kleidruiven.

De PAK's zijn dusdanig verminderd beschikbaar, dat er geen ecologische risico's van te verwachten zijn. Wanneer het meest negatieve scenario wordt gekozen, waarbij ervan uit wordt gegaan van een maximale beschikbaarheid van PAK's van 0,24% (antraceen op locatie BH Ruigte Kogelvangervanger baan 4 (W3voor)), de maximaal aangetroffen totaalgehalten per individuele PAK en de laagste gehalten lutum en organische stof, dan nog blijkt de Toxische druk veroorzaakt door PAK's 0%. Het is daarom niet zinvol om PAK's verder als risicostofgroep te beschouwen in dit onderzoek.

3.4 Triadespoor Toxicologie

Met laboratoriumtesten (bioassays) kan onder gecontroleerde omstandigheden bepaald worden hoe organismen reageren op een verontreinigd monster. Het functioneren wordt bepaald ten opzichte van een referentie die vergelijkbaar is met de onderzoekslocatie. Factoren anders dan de verontreiniging, zoals temperatuur, vocht en voedsel, worden zoveel mogelijk constant gehouden. Hierdoor is vergelijking tussen effecten op organismen in monsters met verschillende verontreinigingsgehalten mogelijk. Bioassays geven inzicht in de gecombineerde toxiciteit van alle aanwezige, biologisch beschikbare verontreinigingen en zijn dus van belang bij het onderbouwen van oorzaak-gevolg relaties.

3.4.1 Microtox-analyse

Voor de toxicologische component van de Triade op het terrein van de Berkenhorst is de Microtox-assay met de lichtuitzeggende bacterie *Vibrio fischeri* uitgevoerd.

In de test wordt de bacterie blootgesteld aan een uitschudfractie van de bodemonsters. Per monster is berekend bij welke verdunning van de uitschudfractie van de bodem 20% (EC₂₀) en 50% (EC₅₀) effect optrad ten opzichte van een blanco. De methode en de resultaten zijn beschreven in bijlage 8. Voor deze test is gekozen, omdat de pH van de bodem in deze test geen effect heeft op het testorganisme doordat met een bodemextract gewerkt wordt. Voor de duidelijkheid zijn de EC-waarden omgerekend naar een waarde tussen 0 en 1 waarbij gecorrigeerd is voor de lokale referentie.

Omdat geen effecten in de lokale referenties zijn aangetroffen, is de correctie voor alle locaties hetzelfde. In de beoordeling is de EC₅₀-waarde gebruikt conform de Triade-methodiek van het RIVM. De EC50 heeft daarnaast een groot onderscheidend vermogen. De uitkomsten zijn in tabel 3.6 opgenomen en meer informatie is beschikbaar in bijlage 8.

Tabel 3.6. Effecten op bacteriën in de Microtoxtest ten opzichte van de msPAF en het actueel beschikbaar loodgehalte: hoe hoger de effectwaarde, hoe sterker het negatieve effect: lichtgrijs: geen effect; grijs: matig effect; donkergrijs: sterk effect

Monstercode	Toxische druk (msPAF)	Actueel beschikbaar lood (mg/kg ds)	Ongeschaald gemeten effect (bioluminescentie) (EC ₂₀) [*]	Geschaald effect in Microtoxtest gebaseerd op EC ₅₀ ^{**}
BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	0%	0,92	>90%	0
BH Bos - buiten hek (vak 12)	43%	288,6	1,4%	0,92
BH Bos - buiten hek (vak 14)	31%	170,2	4,1%	0,31
BH Bos - buiten hek (vak 18)	37%	347,8	0,2%	0,99
BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	7%	7,3	>90%	0
BH Gras baan 3 (vak 2)	59%	0,2	>90%	0
BH Gras baan 4 (vak 6)	33%	0,1	>90%	0
BH Gras baan 5 (vak 9)	84%	0,2	>90%	0
BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	0%	5,4	>90%	0
BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	30%	0,1	>90%	0
BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	96%	7,5	>90%	0
Kleurcodering:	geen effect	matig effect	sterk effect	

^{*}Op basis van indicatieve criteria in Van der Waarde et al., 2003 en expert judgement: sterk effect: EC₂₀<10%; matig effect: 10%<EC₂₀<90% (hoogst geteste concentratie); geen effect: EC₂₀>90%. Omgerekend naar een schaling tussen 0 en 1 is dit: sterk effect: = >0,89; matig effect: <0,89 / >0; geen effect: 0. ^{**}De EC₅₀ = geschaald van 0 tot 1 = zoals berekend voor de Triade-methodiek wordt weergegeven omdat deze onderscheidender is en deze gebruikt wordt in de uiteindelijke beoordeling (cf. de Triade-methodiek van het RIVM).

Hoewel de toxische druk voor de verontreinigde locaties hoog was, zijn bij de gras- en de ruigte-locaties geen effecten aangetoond in de bacterietest. Op de verontreinigde boslocaties zijn matige tot sterke effecten aangetoond, terwijl de toxische druk hier gemiddeld lager was dan bij de ruigte en het gras. De msPAF-waarden zijn echter gebaseerd op totaalgehalten. Er zal pas een ecologisch effect zijn als de stof ook daadwerkelijk beschikbaar is voor organismen. Wan-

neer naar de actueel beschikbare loodgehalten wordt gekeken, is er een duidelijk verband tussen de waargenomen effecten en deze gehalten. Deze trend is inzichtelijk gemaakt in de dosis-effect-curve in bijlage 8. De beschikbare gehalten op de ruigte en graslocaties zijn allen erg laag, terwijl deze op de boslocaties hoog zijn. Vanaf een beschikbaar loodgehalte van 75 mg/kg ds is een matig negatief effect waarneembaar ($EC_{20} > 10\%$). Een sterk negatief effect is verwacht vanaf actueel beschikbare loodgehalten van 155 mg/kg ds ($EC_{20} > 90\%$). Dit verklaart ook waarom geen effecten zijn aangetroffen op de ruigte- en graslocaties: de actueel beschikbare loodgehalten waren op deze locaties namelijk maximaal 7,5 mg/kg ds. Dit is ruim tienmaal lager dan het gehalte waarbij matig negatieve effecten optreden. In de uiteindelijke risicobeoordeling wordt de grote invloed van het actueel beschikbare lood meegenomen in de expert judgement.

3.5 Triadespoor Ecologie

Veldinventarisaties van aantallen en soortensamenstelling van planten en/of bodemorganismen geven aan wat de effecten onder veldomstandigheden zijn (zowel direct als indirect risico). Echter, in het veld spelen meerdere factoren een rol bij de aan- of afwezigheid van soorten. Naast verontreiniging wordt dit ook sterk beïnvloed worden door bijvoorbeeld verdroging, vermisting, verstoring, onderlinge concurrentie, enzovoorts. Op het terrein van de Berkenhorst zijn tijdens het veldwerk waargenomen soorten genoteerd en is een inventarisatie van de nematodengemeenschap uitgevoerd.

Tabel 3.7 Nematodeninventarisatie: totaal aantal, aantal soortgroepen (taxa), levensstrategie (Maturity Index) en gevoelige voedselgroepen. Ter indicatie zijn ook de msPAF en het actueel beschikbare loodgehalte opgenomen in de tabel.

Locatiecode	Chemie		Nematodeninventarisatie				Effectwaarde l.o.v. referentie in beoordeling	
	msPAF	actueel beschikbaar lood (mg/kg ds)	M12-5	totaal aantal per 100 g grond	aantal taxa per 100 g grond	% carnivoren*		% omnivoren*
BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	0%	0,92	2,51	158	14	7,4%	0,0%	0,00
BH Bos - buiten hek (vak 12)	43%	288,6	2,92	261	11	7,1%	3,6%	0,13
BH Bos - buiten hek (vak 14)	31%	170,2	2,50	183	10	0,0%	6,9%	0,07
BH Bos - buiten hek (vak 18)	37%	347,8	2,63	236	6	0,0%	0,0%	0,20
BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	7%	7,3	3,16	561	22	7,5%	4,5%	0,00
BH Gras baan 3 (vak 2)	59%	0,2	3,03	692	25	5,0%	5,9%	0,06
BH Gras baan 4 (vak 6)	33%	0,1	2,28	336	23	1,9%	0,0%	0,13
BH Gras baan 5 (vak 9)	84%	0,2	2,52	1052	25	2,6%	6,6%	0,15
BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	0%	5,4	2,89	459	16	11,1%	4,8%	0,00
BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	30%	0,1	3,15	203	18	12,8%	2,6%	0,16
BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	96%	7,47	3,08	706	29	1,1%	4,2%	0,16

*Omnivoren (alleseters) en carnivoren (vleeseters) zijn twee verontreinigingsgevoelige voedselgroepen. Het zijn slechts twee van de voedselgilden die onder nematoden bestaan. Zo zijn er o.a. ook nog plantparasitaire soorten, bacterie-eters en schimmeleters. Dit is ook de reden dat het gesommeerde percentage niet gelijk aan 100% is.

3.5.1 Inventarisatie van nematodengemeenschap

In tabel 3.7 zijn de belangrijkste gegevens van de nematodeninventarisatie opgenomen. Tijdens het veldwerk zijn op alle locaties bodemonsters voor nematodenanalyses verzameld. Nematoden (of aaltjes) zijn microscopisch kleine wormpjes die in grote aantallen voorkomen in de bodem. Nematoden leven van organische stof in de bodem en/of van organismen die afhankelijk zijn van organische stof, zoals bijvoorbeeld bacteriën, schimmels, algen en andere nematoden. Nematoden bewegen zich met name door het poriewater (Procter, 1990; Rutgers et al., 2007). Ze hebben een belangrijke regulerende rol in nutriëntenstromen in de grond en dragen zo bij aan de bodemgezondheid, waardoor het ook een relevante soortgroep is. Door hun hoge

dichtheid in de bodem is het mogelijk om met een relatief beperkte hoeveelheid monster een representatief beeld te krijgen van een locatie. Nematoden hebben een regulerende rol in nutriëntenstromen in de bodem. Onderzoek naar nematoden wordt al gedurende langere tijd uitgevoerd waardoor de inventarisatie vrij goed gestandaardiseerd is, er veel bekend is over effecten van metalen op de aantallen en soortensamenstelling van de nematoden en er (indicatieve) beoordelingscriteria beschikbaar zijn.

De monsters voor nematodenanalyse zijn na monsternamen koel bewaard en binnen 24 uur opgestuurd naar het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (Blgg) in Wageningen. Hier zijn alle monsters opgespoeld om de nematoden uit de grond te krijgen. De opgespoelde monsters zijn gefixeerd en daarna gedetermineerd. Behalve op aantallen zijn de aangetroffen nematoden ook beoordeeld op de aanwezigheid van bijzondere en/of indicatieve soorten, de aangetroffen levensstrategieën (uitgedrukt in de Maturity Index) en de aangetroffen voedselstrategieën. De volgende parameters zijn uitgewerkt:

- Totale aantallen nematoden per 100 g veldnatte grond
- Aantallen individuen per geslacht
- Aantallen per voedselgroep
- Aantallen per cp-groep (mate van gevoeligheid voor verandering)
- Maturity Index (MI)

In bijlage 10 zijn de termen en de wijze van uitwerking uitgelegd. De resultaten zijn opgenomen in bijlage 11.

3.5.2 Duiding resultaten inventarisatie nematodengemeenschap

Bij de duiding van de resultaten van de nematodengemeenschapsinventarisatie is het van belang om het de samenhang tussen de verschillende factoren te bekijken en niet op basis van een enkele parameter te beoordelen. Daarnaast is het van belang om onderscheid te maken tussen afwijkingen van een 'standaardgemeenschap' veroorzaakt door verontreiniging en andere factoren, zoals pH of droogte. Door afwijkende bodemeigenschappen kan een nematodenpopulatie ook afwijken, zonder dat dit veroorzaakt wordt door een verontreiniging. Het is dus van belang om de bodemeigenschappen en de samenstelling op een referentielocatie bij de interpretatie te betrekken. Een aantal indicatieve beoordelingscriteria voor de nematodengemeenschap is gebruikt bij de duiding van de resultaten (Bosveld et al., 2003) en opgenomen in bijlage 11. In onderstaande paragrafen worden de verschillende onderdelen toegelicht. In de uiteindelijke beoordeling van de effecten wordt de mate van verontreiniging meegewogen (zie verder hoofdstuk 4; tabel 4.1).

3.5.2.1 Soortgroepen en dichtheden

Op basis van de aantallen en diversiteit op de respectievelijke referentielocaties kan geconcludeerd worden dat de dichtheid goed vergelijkbaar is tussen de referentielocatie en de verontreinigde locaties en dat - in de gevallen er verschillen worden aangetoond - de loodverontreiniging geen duidelijk aanwijsbare invloed heeft gehad op de dichtheid. Enige correlatie bestaat tussen het aantal soortgroepen (taxa) en het beschikbare loodgehalte ($R^2_{\text{lineair}} = 0,62$).

Een correlatie bestaat verder tussen dichtheid en aantal soortgroepen, die vooral veroorzaakt wordt door het lage aantal soorten op de locatie waar het hoogste gehalte beschikbaar lood aanwezig is (BH Bos - buiten hek, vak 18). In de beoordeling zijn alle afwijkingen van de referentie als effect meegenomen. Deze kwantitatieve beoordeling maakt wel een weging; hogere waarden dan de referentielocaties worden minder sterk negatief beoordeeld dan afwijkingen naar beneden.

De soortantallen en dichtheden voor de ruigte- en graslocaties zijn hoger dan voor de boslocaties. Dit is waarschijnlijk een effect van de bodem-pH, welke op de boslocaties duidelijk lager is dan op de ruigte- en graslocaties. Locatie BH Gras baan 4 (vak 6) valt op door de relatief lage dichtheid, maar het vergelijkbare aantal soorten voor binnen het vegetatietype gras. Dit verschil is echter niet te relateren aan de aangetroffen verontreinigingsgehalten.

In vergelijking met eerdere onderzoeken op schietbanen is sprake van een relatief laag aantal taxa en een lage dichtheid op de boslocaties (Grontmij, 2010; GrontmijAquaSense, 2007; AquaSense, 2000) en het referentie-ecosysteem 'gemengd bos op zandgrond' (Rutgers et al., 2007). De dichtheden en het aantal taxa is vergelijkbaar met een onderzoek op een schietbaan op soortgelijk terrein, waar ook bemonsterd is na een relatief droge periode (Grontmij, 2011). Deze lage dichtheden zijn niet direct aan de verontreinigingssituatie te relateren: ook de refe-

referentielocaties hebben relatief lage dichtheden nematoden. De relatief droge periode voorafgaand aan het onderzoek in combinatie met de zandige, relatief zure, organische stofarme structuur van de bodem zijn de waarschijnlijke oorzaken van de relatief lage dichtheden en soortantallen op de boslocaties. Op organische stofarme, zure, droge zandgrond in bossen komen nu eenmaal minder soorten voor en is de diversiteit lager dan in kleigrond en vochtige bodems die rijk zijn aan organisch stof (Esbroek et al., 1994).

3.5.2.2 Levensstrategieën en voedselgroepen

Tussen de levensstrategie van de nematoden en de verontreinigingssituatie op de onderzoekslocatie is geen eenduidig verband gevonden. Er lijkt een zwakke correlatie tussen het beschikbaar loodgehalte en een onderdeel van de voedselgroepenverdeling: de verhouding bacterie-eters en schimmeleeters verschuift naar de kant van de schimmeleeters bij een toenemend actueel beschikbaar loodgehalte. Boslocatie Vak 18 laat wel een dussdanig afwijkende nematodengemeenschap zien, dat invloed van het (actueel beschikbare) lood aannemelijk is.

De levensstrategie is een indeling op verstoringsgevoeligheid. Bij verstoring kunnen er verschuivingen in soortensamenstelling plaatsvinden afhankelijk van levensstrategie (cp-groep). Soorten die zich eenvoudig aanpassen en zich snel voortplanten zullen bijvoorbeeld toenemen (zogenaamde kolonisten of colonizers (c)), terwijl gevoelige soorten die zich langzaam reproduceren verdwijnen (uithouders/blijvers of persisters (p)). Stress – zoals droogte en verontreiniging – heeft een sterker effect op gevoelige soorten die zich langzaam voortplanten dan minder gevoelige, zich sneller voortplantende soorten. Gevoelige nematodensoorten krijgen een hoog cijfer op de schaal van 1 t/m 5, ongevoelige soorten een laag cijfer. Het gewogen gemiddelde van het aantal individuen per cp-groep wordt uitgedrukt als de Maturity Index. Soorten met cp-klasse 1 worden vaak buiten beschouwing gelaten, omdat dit soorten zijn die zeer snel toenemen wanneer er groot voedselaanbod is, maar ook weer snel afnemen wanneer dit voedselaanbod afneemt⁸. Hoge aantallen nematoden uit de cp-1 groep hebben grote invloed op de MI-index, terwijl het minimale informatie over de verontreinigingssituatie oplevert. Om het effect van verontreiniging te beoordelen wordt daarom meestal gebruik gemaakt van de MI2-5 index (Van Straalen en Krivolutsky, 1996; Bongers, 1990; Bongers en Bongers, 1998) (zie ook bijlage 11).

De Maturity Index (MI2-5) is relatief laag te noemen op vrijwel alle locaties. Er is dus sprake van een enigszins verstoorde nematodengemeenschap. Dit is ook terug te zien aan de ondervertegenwoordiging van de meest gevoelige levensstrategie (cp5) op bijvoorbeeld de boslocaties. Dit geldt echter voor zowel de verontreinigde als de referentielocaties: de invloed van de verontreinigingen is niet eenduidig terug te zien, en de meest gevoelige groep kan ook verstoorde zijn door bijvoorbeeld een korte, droge periode. In een aantal gevallen is er zelfs sprake van een – op basis van de MI2-5 – stabielere nematodengemeenschap (hogere MI2-5) op de verontreinigde, dan op de referentielocaties (bos: BH Bos - buiten hek (vak 12) en BH Bos - buiten hek (vak 18); ruigte: BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor) en BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)). Een positieve afwijking van de referentielocatie kan bij de ruigte mogelijk veroorzaakt worden door de hogere pH van de bodem op de verontreinigde locaties. Ook is in sommige gevallen de MI2-5 hoger door de dominante aanwezigheid van een enkele soort uit een hoge cp-klasse. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de boslocatie Vak 18, waar de soort *Tyolaimophorus* – een schimmeleter met cp-klasse 4 – relatief veel voorkomt. Ook op de referentielocatie voor gras is een schimmeleter uit cp 4 goed vertegenwoordigd; hier gaat het om *Tylencholaimellus*. In de ruigte van de kogelvanger van baan 5 (W1) is het juist een bacterie-eter (*Paramphidelus*; cp 4) die ruim 11% van het totale aantal nematoden uitmaakt. Om zoveel mogelijk met de negatieve effecten rekening mee te houden, wordt in de kwantitatieve beoordeling elke afwijking van de referentie als negatief beoordeeld.

Nematoden zijn ook in te delen in een aantal voedselgroepen:

- bacterie-eters (bacterivoren)
- schimmeleeters (fungivoren)
- algeneters (algavoren)

⁸ Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan sterk bemeste plekken (uitwerpselen, kadavers). Om te voorkomen dat één enkele monstername op een dergelijke plek de inventarisatie kan verstoren, zijn er 25 steekmonsters per locatie genomen die als één mengmonster in behandeling wordt genomen.

- planteneters (herbivoren/plantparasieten)
- alleseters (omnivoren)
- vleeseters/predatoren (carnivoren)

Deze verschillende voedselgroepen hebben verschillende gevoelheden voor verstoring. Zo zijn door het drogere weer voorafgaand aan het veldwerk de algeneters waarschijnlijk ondervertegenwoordigd. Ook zijn in zure, zandige (bos)bodems planten- en schimmelende nematoden vaak dominant (Esbroek et al., 1994). Dat blijkt ook in dit onderzoek het geval: samen maken deze twee voedselgroepen gemiddeld 56% (minimaal 25% en maximaal 86%) van alle voedselgroepen uit. Vooral de carnivoren en omnivoren zijn soorten die deel uitmaken van complexe voedselwebben én zich relatief langzaam voortplanten en daardoor gevoelig zijn voor verstoring. Carnivoren en omnivoren zijn daarmee goede indicatoren voor een stabiele nematodengemeenschap. De relatie tussen het percentage omnivoren en/of carnivoren en de verontreinigingssituatie (totaal en actueel beschikbaar loodgehalte) is echter niet eenduidig: zo zijn de omnivoren niet vertegenwoordigd in de referentielocatie voor het bos, terwijl dit in de twee sterk verontreinigde boslocaties (vak 12 en vak 14) wel het geval is. Wel valt op dat op de sterkst verontreinigde locatie (Bos – vak 18) zowel de carnivoren als omnivoren afwezig zijn. Een ander aspect is dat de verhouding bacterie-eters en schimmelers verschuift naar de kant van de schimmelers bij een toenemend actueel beschikbaar loodgehalte. Dit is ook zichtbaar bij boslocatie Vak 18. Deze correlatie is echter zwak ($R^2_{lineair} = 0,46$).

3.5.3 Veldwaarnemingen

De bodembewonende organismen bestonden met name uit pissebedden, mijten, springstaarten, boskakerlak en rode bosmieren (waarvan ook een mierenhoop werd aangetroffen op de onderzoekslocatie binnen het hek). De zandige, organische stofarme –en plaatselijk zure – bodem is niet geschikt voor regenwormen: deze werden dan ook vrijwel niet aangetroffen. Niet-bodemgebonden soorten zijn niet opgenomen in de waarnemingenlijst. Een gedetailleerde flora- en faunainventarisatie naar kwalificerende soorten is uitgevoerd door Mertens (2011) en resultaten uit dat onderzoek zijn leidend. Waarnemingen van bodemgerelateerde organismen tijdens het veldwerk en andere bijzonderheden zijn opgenomen in bijlage 9. Op de grasklocaties was sprake van een grasmix (ingezaaid) met een diverse hoeveelheid aan kruiden, zoals smalle en brede weegbree, paardenbloem, ereprijs-soorten, madelief, etc. Daarnaast groeide er vrijwel overal tussen het gras ook mossoorten. Het gras was dusdanig kort, dat het waarschijnlijk regelmatig gemaaid wordt. Er was geen duidelijk verschil in vegetatie tussen de referentielocatie en de verontreinigde grasklocaties. Het grootste deel van de onderzoekslocatie bestond uit bos. Het gaat hierbij om relatief jong bos: de schatting is dat het grootste deel van de bomen niet ouder is dan ca. 40 jaar. De boslocaties bestonden met name uit gemengd bos met grove den, berk, spar, lijsterbes en eik als belangrijkste boomsoorten. Locatie Bos Vak 18 was sterker gedomineerd door naaldbomen dan de andere drie boslocaties. Dit heeft zijn oorsprong in het feit dat dit een – inmiddels verwaarloosd – productiebos is. De ondergroei was beperkt en bestond uit bosbes, Amerikaanse vogelkers, plaatselijk mosbegroeiing en grassen. Op locatie Bos Vak 18 werd plaatselijk loodhagel aangetroffen onder de strooisellaag. De ruigte locaties (kogelvangens en ophogingen) waren vaak dichter begroeid en slechter doordringbaar. Dit kwam met name door de aanwezigheid van braam, brandnetel, vogelkers, berk, beuk, klimop, lijsterbes, grove den en hoog opgeschoten grassoorten. Op de kogelvangens van baan 4 en 5 (W3voor en W1) waren plaatselijk plekken waar kleidruiven en lege hulzen waren verzameld. Hier was geen sprake van bodem. Op deze plekken waren lokaal een aantal graspollen aanwezig, maar was voor de rest weinig begroeiing aangetroffen.

3.6 Aanvullend pH-onderzoek vakken 3, 8 en 19

Zoals eerder aangegeven, is de zuurgraad (pH) van de bodem de factor die de beschikbaarheid van lood het sterkst stuurt (zie: 3.3.5.3). Om deze reden is er op 21 juni 2013 nog een extra veldbezoek geweest om te bepalen wat de pH is in de vakken 3, 8 en 19. Dit zijn de boslocaties binnen het hek waar in het eerdere onderzoek van Tauw (2010) al gegevens zijn verzameld over totale loodgehalten, lutum en organische stof. De gegevens over deze vakken zijn gebaseerd op een mengmonster van 10 stekken per vak. In de Triade is dit vak niet meegenomen, omdat de boslocaties ondervangen werden door de vakken buiten het hek van de jachtschietcentrum.

In dit aanvullende onderzoeksonderdeel is aangesloten bij dit eerdere onderzoek van Tauw, waar in de bovenste 20 cm van de bodem de loodgehalten zijn bepaald. Om te bepalen in hoeverre er sprake is van spreiding in de pH-gehalten in de bodem, zijn op dezelfde plekken als in het onderzoek van Tauw 10 stekers tot 20 cm-mv genomen. De bovenste 20 à 25 cm van de bodem is in dit zandige milieu de ecologisch meest relevante laag en tevens de laag waarin het loodgehalte het hoogst is. Alle monsters zijn op pH (na CaCl₂-extractie) geanalyseerd. De resultaten van de pH-analyses staan in onderstaande tabel. Het analysecertificaat is opgenomen in bijlage 12.

Tabel 3.8 Resultaten pH-metingen uit aanvullend pH-onderzoek (juni 2013) per monsterpunt, incl. droge stofgehalten. Per vak zijn de gemiddelde waarden ook weergegeven.

Vak	Monster omschrijving	Droge stofgehalte	pH-CaCl ₂ grond (pH-KCl*)
		% (gewicht)	-
Vak 3 - boslocatie binnen het hek	301pH	91,9	3,7 (3,4)
	302pH	87,2	3,7 (3,4)
	303pH	80,6	3,6 (3,3)
	304pH	90,2	3,8 (3,5)
	305pH	92,4	4,9 (4,5)
	306pH	92,8	3,8 (3,5)
	307pH	87,7	3,6 (3,3)
	308pH	88,5	4 (3,7)
	309pH	82,4	3,2 (2,9)
	310pH	86,8	3,3 (3)
	Gemiddelde vak 3 (±standaarddeviatie)	88,7 ± 4,1	3,76 ± 0,46 (3,43 ± 0,44)
Vak 8 - boslocatie binnen het hek	801pH	84,2	4 (3,7)
	802pH	82,6	3,9 (3,6)
	803pH	88,5	4 (3,7)
	804pH	86,9	3,6 (3,3)
	805pH	87,5	4 (3,7)
	806pH	81,9	4 (3,7)
	807pH	85,6	4 (3,7)
	808pH	88,2	3,8 (3,5)
	809pH	88,5	3,9 (3,6)
	810pH	88,6	3,8 (3,5)
	Gemiddelde vak 8 (±standaarddeviatie)	86,3 ± 2,6	3,90 ± 0,13 (3,57 ± 0,13)
Vak 19 - boslocatie binnen het hek	1901pH	88,9	3,5 (3,2)
	1902pH	93,6	3,3 (3)
	1903pH	90,9	3,9 (3,6)
	1904pH	90,2	3,6 (3,3)
	1905pH	90	3,8 (3,5)
	1906pH	87,2	3,7 (3,4)
	1907pH	85,3	3,5 (3,2)
	1908pH	80,8	3,5 (3,2)
	1909pH	88,7	4 (3,7)
	1910pH	87,4	3,4 (3,1)
	Gemiddelde vak 19 (±standaarddeviatie)	89,3 ± 3,5	3,62 ± 0,23 (3,30 ± 0,21)

* Omrekening van pH-CaCl₂ naar pH-KCl conform Reuter et al., 2008. Dit is gedaan omdat dit vergelijking met bijvoorbeeld Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit (Rutgers et al., 2007) vergemakkelijkt.

De resultaten van de aanvullende pH-analyses in vakken 3, 8 en 19 zijn met de resultaten van de pH-metingen op de boslocaties uit het Triadeonderzoek (vakken 12, 14 en 18) vergeleken.

Hoewel de pH-waarden iets hoger zijn op de boslocaties binnen het hek, zijn deze verschillen niet significant ($p < 0,05$) ten opzichte van de samengevoegde resultaten van de pH-analyses uit het Triade-onderzoek.

Vanuit de gemiddelde pH-waarden uit het aanvullende pH-onderzoek, de in het rapport van Tauw (2010) gerapporteerde lood-, lutum- en organische stofgehalten en de tijdens het Triade-onderzoek bepaalde actueel beschikbare loodgehalten, is te bepalen welke actueel beschikbare loodgehalten er in de vakken 3, 8 en 19 verwacht kunnen worden. Dit is gedaan door voor zowel de locaties uit het Triade-onderzoek als de vakken 3, 8 en 19 een modelberekening uit te voeren naar het verwachte loodgehalte in het poriewater en dit om te rekenen in actueel beschikbare loodgehalten (gebaseerd op De Nijs et al., 2008). Deze uitkomsten zijn daarna gecorrigeerd voor de daadwerkelijk gemeten actuele beschikbaarheid van lood op de boslocaties in het Triade-onderzoek, omdat het model een overschatting van maximaal factor 2,4 en minimaal factor 1,1 maakt voor deze onderzoekslocatie. Uit de berekeningen komt naar voren dat het verwachte beschikbare loodgehalten op de boslocaties vergelijkbaar zijn met of zelfs iets hoger zijn dan de in het Triade-onderzoek gemeten gehalten. Dit komt waarschijnlijk door het feit dat de loodgehalten op de boslocaties binnen het hek gemiddeld hoger zijn dan op de boslocaties buiten het hek.

In onderstaande tabel zijn de resultaten van de modelberekening weergegeven.

Tabel 3.9 Berekende actueel beschikbare loodgehalten in de vakken 3, 8 en 19 op basis van gegevens uit het aanvullend pH-onderzoek, gemeten actueel beschikbare loodgehalten uit het Triadeonderzoek (vakken 12, 14 en 18) en lood-, lutum- en organische stofgehalten uit Tauw (2010).

Monsterlocatie	pH-CaCl ₂ (gemeten)	Loodgehalte (totaal)	Actueel beschikbaar loodgehalte (gemeten)	Berekend beschikbaar loodgehalte*	Gecorrigeerd verwacht beschikbaar loodgehalte**
	-	mg/kg ds	mg/kg ds	mg/kg ds	mg/kg ds
Triadeonderzoek Berkenhorst					
BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	3,3	39	0,9	1,2 (1,3x overschatting)	[§]
BH Bos – buiten hek (vak 12)	3,4	2400	289	725 (2,5x overschatting)	[§]
BH Bos – buiten hek (vak 14)	3,4	1300	170	183 (1,1x overschatting)	[§]
BH Bos – buiten hek (vak 18)	3,6	1800	348	416 (1,2x overschatting)	[§]
Aanvullend pH-onderzoek					
Vak 3 (MM03)	3,76	2300	[§]	427	285 (175-400)
Vak 8 (MM08)	3,90	2700	[§]	646	431 (265-606)
Vak 19 (MM19)	3,62	2500	[§]	645	431 (264-605)

*Berekend beschikbaar loodgehalte is gebaseerd op een generiek model (De Nijs et al., 2008), op basis van input van pH, lutum- en organische stofgehalten. Voor de vakken 3, 8 en 19 zijn voor deze laatste twee de gehalten gebruikt uit Tauw (2010), resp. 1% en 6%, 3,4% en 3,8%, en 1,3% en 4,9%. Tussen haakjes staat de factor verschil tussen het berekende en gemeten beschikbare gehalte (de overschatting van de beschikbaarheid door het gebruikte model).

** verwacht actueel beschikbaar loodgehalte gecorrigeerd voor de gemiddelde factor (1,5) verschil tussen gemeten en berekend beschikbaar loodgehalte op boslocaties buiten het hek uit het Triade-onderzoek (tussen haakjes gecorrigeerd voor de maximale en minimale factoren verschil).

[§] Gecorrigeerd verwacht beschikbaar gehalte niet berekend, aangezien beschikbare gehalten geanalyseerd zijn.

[¶] Gehalten gebaseerd op berekening op basis van gegevens van rapport Tauw (2010) en aanvullend pH-onderzoek; meting van beschikbare gehalten niet uitgevoerd.

4 Risicobeoordeling en oordeel

4.1 Wijze van beoordeling

De kracht van een Triade is dat verschillende sporen worden bestudeerd om tot een conclusie te komen of er ecologische risico's zijn op een specifieke onderzoekslocatie. De mate waarin de sporen eenzelfde richting opwijzen geeft aan of er risico's zijn en hoe groot deze risico's zijn. De RIVM-methodiek maakt gebruik van een deel van de kwantificeerbare resultaten om tot een enkel risicogetal te komen. Zoals in de Handreiking Triade 2011 – waar deze methodiek besproken wordt – aangegeven wordt, speelt ook specialistische kennis een belangrijke rol bij de uiteindelijke beoordeling: dit is de zogeheten expert judgement. Met expert judgement worden gegevens bedoeld die niet opneembaar zijn in het RIVM model maar die wel van belang zijn bij de duiding van de resultaten en het eindoordeel. In dit hoofdstuk wordt daarom eerst de RIVM-methodiek toegepast en daarna toegelicht met expert judgement. Uit deze beoordeling volgt het eindoordeel.

4.2 Beoordeling volgens 'RIVM methode'

Met het Triade-onderzoek wordt een oordeel gegeven worden over de mogelijke ecologische risico's op de onderzoekslocatie. Voor de onderzoekslocatie Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst (binnen en buiten het hek) is de berekening uitgevoerd met informatie uit drie verschillende sporen (chemie, toxicologie en ecologie). Per spoor zijn de volgende (kwantificeerbare) gegevens gebruikt:

- Chemie: msPAF - gestandaardiseerde totaalgehalten
- Toxicologie: effecten in Microtox-bioassay (EC_{50})
- Ecologie: nematodengemeenschapsinventarisatie (aantal taxa, dichtheid en MI2-5)

De gegevens zijn beoordeeld volgens de RIVM Triade-methodiek zoals opgenomen in de Handreiking Triade 2011 van het RIVM (Mesman et al, 2011). De resultaten van de verontreinigde locaties worden vergeleken met resultaten van lokale referentielocaties. Op deze manier wordt rekening gehouden met factoren die invloed kunnen hebben op bijvoorbeeld de ecologie of toxicologie, zoals seizoens- en weersinvloeden, bodem-pH, vochtigheid van de bodem, etc. Alle locaties kennen namelijk vergelijkbare omstandigheden, en waar toch verschillen tussen de locaties zijn, kan hiermee rekening gehouden worden.

Per spoor en vegetatietype wordt een getal tussen de 0 en 1 berekend waarin de afwijkingen op een locatie ten opzichte van de referentielocatie wordt aangegeven. Dit is het zogenaamde geïntegreerde risico per spoor. Een afwijking op de monsterlocaties ten opzichte van de referentielocatie (zowel negatief als positief) zorgt voor een score die meeweegt in de uiteindelijke beoordeling.

Uiteindelijk worden de uitkomsten uit de drie sporen worden samengevoegd tot één getal: dit is de Triade-effectwaarde⁹. De mate waarin de sporen eenzelfde richting wijzen wordt weergegeven met de deviatie. Wanneer de deviatie groot is, wijzen de sporen uit elkaar: een sterk effect in het ene spoor wordt niet ondersteund door een effect in een ander spoor. Bij een deviatie boven een waarde van 0.4 is de onzekerheid te groot en is meervoudige bewijsvoering niet voldoende.

⁹ Omdat er slechts één onderdeel is bepaald in het ecologie- en het toxicologiespoor, wordt een gewogen gemiddelde berekend van de drie sporen. Een minder gevoelig(e) toxiciteitstest of veldonderdeel weegt in deze berekening minder sterk mee dan een gevoeliger onderdeel. Op deze manier wordt voorkomen dat een minder gevoelige test/onderdeel een onderschatting van effecten oplevert.

Bij de Triade-effectwaarde horen bepaalde grenswaarden, die gekoppeld zijn aan gebiedstype en oppervlakte (m²). Dit betekent bijvoorbeeld dat een negatief effect op een klein oppervlak van het terrein niet direct tot onaanvaardbare risico's leidt. Ook kan een beperkt effect op een zeer groot oppervlak als onaanvaardbaar risico worden beschouwd. De gehanteerde grenswaarden staan in de handreiking samengevat en zijn in deze beoordeling onveranderd toegepast (opgenomen in bijlage 1). In tabel 4.1 is de beoordeling conform de Triademethodiek opgenomen.

Tabel 4.1. Triade-effectwaarden (TE) Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst e.o. volgens de RIVM Triade-methodiek (risicogetallen per spoor en geïntegreerd risicogetal). Ter informatie zijn ook de totaalgehalten en actueel beschikbaar gehalten lood opgenomen in de tabel.

Locatie →		1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	5) BH Gras referentie (naaby vak 6 en 7)	6) BH Gras baan 3 (vak 2)	7) BH Gras baan 4 (vak 6)	8) BH Gras baan 5 (vak 9)	9) BH Ruigte referentie - wal naaby baan 4 (steef vak 7)	10) BH Ruigte Kogelvangar baan 4 (W3voor)	11) BH Ruigte Kogelvangar baan 5 (W1)
Totaal loodgehalte (mg/kg ds)		39	2.400	1.300	1.800	120	800	230	7.400	71	150	7.100
Actueel beschikbaar loodgehalte (mg/kg ds)		0,9	288,6	170,2	347,8	7,3	0,2	0,1	0,2	5,4	0,1	7,5
Chemie	Toxische druk: msPAF o.b.v. totaalgehalten (excl. PAKs)*	0,00	0,43	0,31	0,37	0,00	0,24	0,09	0,64	0,00	0,05	0,63
	Geïntegreerd risico Chemie*	0,00	0,43	0,31	0,37	0,00	0,24	0,09	0,64	0,00	0,05	0,63
Toxicologie	Microtox EC ₅₀	0	0,92	0,31	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Geïntegreerd risico Bioassays	0	0,92	0,31	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecologie	M12-5 nematoden	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,02	0,14	0,10	0,00	0,04	0,03
	Aantal soortgroepen nematoden	0,00	0,10	0,15	0,37	0,00	0,06	0,02	0,06	0,00	0,05	0,26
	Dichtheid nematoden	0,00	0,22	0,05	0,17	0,00	0,09	0,22	0,27	0,00	0,35	0,19
	Geïntegreerd risico Ecologie	0,00	0,13	0,07	0,20	0,00	0,06	0,13	0,15	0,00	0,16	0,16
Integratie Triade-spooren	oordeel chemie	0,00	0,43	0,31	0,37	0,00	0,24	0,09	0,64	0,00	0,05	0,63
	oordeel toxicologie	0,00	0,92	0,31	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	oordeel ecologie	0,00	0,13	0,07	0,20	0,00	0,06	0,13	0,15	0,00	0,16	0,16
Triade effectwaarde (geïntegreerd risicogetal)		0,00	0,66	0,24	0,80	0,00	0,27	0,17	0,48	0,00	0,16	0,68
deviatie (D)		0,00	0,69	0,24	0,71	0,00	0,57	0,29	0,77	0,00	0,26	0,69
Geen overschrijding TE (<0,25)			Overschrijding lage TE-criterium (>0,25, <0,75)					Overschrijding hoge TE-criterium (>0,75)				

*Omdat PAKs onbeschikbaar zijn, zijn deze uit de toxische drubberekeningen gelaten: dit geeft een realistischer beeld van de toxische druk, die door lood bepaald wordt.

4.3 Expert judgement

De RIVM methode produceert kwantitatieve risicogetallen. Het meewegen van kwalitatieve informatie speelt ook een rol, want eco(toxico)logische kennis is een belangrijk onderdeel bij de interpretatie van de getallen. In onderstaande tabel zijn de onderdelen nogmaals opgenomen, maar nu met een interpretatie bij de getallen:

Tabel 4.2a. Triade-effectwaarden (TE) Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst e.o. op basis van expert judgement: chemie. Ter informatie zijn ook de totaalgehalten en actueel beschikbare gehalten lood opgenomen in de tabel. De dikgedrukte getallen zijn aangepast o.b.v. expert judgement.

Locatie →		1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	5) BH Gras referentie (naast vak 6 en 7)	6) BH Gras baan 3 (vak 2)	7) BH Gras baan 4 (vak 6)	8) BH Gras baan 5 (vak 9)	9) BH Ruigte referentie - wal naast baan 4 (deel vak 7)	10) BH Ruigte Kogelvangter baan 4 (W3voor)	11) BH Ruigte Kogelvangter baan 5 (W1)
Totaal loodgehalte (mg/kg ds)		39	2.400	1.300	1.800	120	800	230	7.400	71	150	7.100
Actueel beschikbaar loodgehalte (mg/kg ds)		0,9	288,6	170,2	347,8	7,3	0,2	0,1	0,2	5,4	0,1	7,5
Chemie	Toxische druk – zie onderstaande toelichting	0,00	0,43	0,31	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Geïntegreerd risico Chemie	0,00	0,43	0,31	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Biobeschikbaarheid kan niet kwantitatief meegenomen worden in het huidige beoordelingsmodel. Dit is echter wel de meest relevante concentratie om te beschouwen. Een stof zal pas een effect hebben op het moment dat deze ook daadwerkelijk door organismen opgenomen kan worden. PAK's blijken vrijwel onbeschikbaar te zijn in dit onderzoek en het is dus niet nuttig deze stof verder als risicostof te beschouwen.

De belangrijkste risicostof is daarmee lood geworden. De referentielocaties voor ruigte en gras geven op basis van de totaalgehalten lood een toxische druk van 0%. Hieruit volgt dat dit op basis van verontreinigingsgehalten geschikte referentielocaties zijn. Lood blijkt daarnaast vrijwel niet actueel beschikbaar te zijn op de verontreinigde gras- en ruigtelocaties: de referentielocatie voor gras en ruigte hebben beide een actueel beschikbaar loodgehalte dat op vrijwel alle locaties hoger is dan op de verontreinigde gras- en ruigtelocaties¹⁰. Voor deze locaties is er dus sprake van een overschatting van het spoor Chemie met betrekking tot het ecologisch risico van lood wanneer het totale bodemgehalte gebruikt wordt voor de toxische druk-berekening. Daarom is voor de verontreinigde gras- en ruigtelocaties de toxische druk gelijkgesteld aan de toxische druk voor de referentielocaties. Voor de boslocaties is de berekende toxische druk op basis van het totaal loodgehalte aangehouden: hier heeft lood namelijk wel een duidelijk hogere actuele beschikbaarheid dan in de referentielocatie.

¹⁰ De kogelvangter van baan 5 heeft een actueel beschikbaar gehalte dat iets hoger is dan de referentielocatie voor ruigte. Het actueel beschikbaar loodgehalte is echter vergelijkbaar met het actueel beschikbare gehalte van de referentielocatie voor gras.

Tabel 4.2b. Triade-effectwaarden (TE) Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst e.o. op basis van expert judgement: toxicologie.

Locatie →		1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	5) BH Gras referentie (na bij vak 6 en 7)	6) BH Gras baan 3 (vak 2)	7) BH Gras baan 4 (vak 6)	8) BH Gras baan 5 (vak 9)	9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
Totaal loodgehalte (mg/kg ds)		39	2.400	1.300	1.800	120	800	230	7.400	71	150	7.100
Actueel beschikbaar loodgehalte (mg/kg ds)		0,9	288,6	170,2	347,8	7,3	0,2	0,1	0,2	5,4	0,1	7,5
Toxicologie	Microtox EC ₅₀	0	0,92	0,31	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Geïntegreerd risico Bioassays	0	0,92	0,31	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Conform de berekeningen in de Handreiking Triade 2011 van het RIVM wordt de EC₅₀ gebruikt om het effect in de Microtox-assay te duiden. De toxicologie heeft een sterke relatie met de actuele beschikbaarheid van lood. Hier zijn daarom geen aanpassingen aan gedaan bij het expert judgement.

Tabel 4.2c. Triade-effectwaarden (TE) Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst e.o. op basis van expert judgement: ecologie.

Locatie →		1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	5) BH Gras referentie (na bij vak 6 en 7)	6) BH Gras baan 3 (vak 2)	7) BH Gras baan 4 (vak 6)	8) BH Gras baan 5 (vak 9)	9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
Ecologie	MI2-5 nematoden	0,00	0,06	0,00	0,02	0,00	0,02	0,14	0,10	0,00	0,04	0,03
	Aantal soortgroepen nematoden	0,00	0,10	0,15	0,37	0,00	0,06	0,02	0,06	0,00	0,05	0,26
	Dichtheid nematoden	0,00	0,22	0,05	0,17	0,00	0,09	0,22	0,27	0,00	0,36	0,19
	Geïntegreerd risico Ecologie	0,00	0,13	0,07	0,20	0,00	0,06	0,13	0,15	0,00	0,16	0,16

Bij de beoordeling van de nematodengemeenschap is het van belang om de samenhang tussen de verschillende factoren te bekijken en niet op basis van een enkele parameter te beoordelen. Bij de beoordeling van de nematodengemeenschap zijn alle afwijkingen van de referentie als een negatief effect aangemerkt. Door de wijze van standaardisatie tellen negatieve afwijkingen – zoals een lagere diversiteit of Maturity Index – echter sterker mee dan positieve. Dit is ook relevant, omdat over het algemeen verontreinigingen zorgen voor een afname in aantallen, diversiteit (aantal soortgroepen) en stabiliteit (MI2-5). De bodemeigenschappen hebben ook een invloed op de samenstelling van de nematoden. Bodemeigenschappen en omgevingsfactoren

zoals pH, organische stofgehalte en aanwezige vegetatie kunnen van grote invloed zijn op de nematodengemeenschap. De pH op de referentielocaties van gras en ruigte is duidelijk lager dan op de verontreinigde gras- en ruigtelocaties. Dit kan een verklaring zijn voor de aangetroffen verschillen tussen de verontreinigde en referentielocaties van deze twee vegetatietypen. De actueel beschikbare gehalten lood bij de ruigte- en graslocaties zullen niet voor risico's zorgen voor de nematoden. Bij het bos zijn de bodemeigenschappen van de referentielocatie en de verontreinigde locaties goed vergelijkbaar. In het bos is op alle locaties – inclusief de referentie – een matig tot sterk verstoorte nematodengemeenschap aangetroffen: dit is echter te relateren aan de bodemsamenstelling (met name lage pH) en de aanwezige vegetatie. Op één na zijn geen van de locaties dusdanig afwijkend van de referentielocatie – in combinatie met verhoogde loodgehalten – dat een directe invloed van de verontreinigingssituatie waarschijnlijk is. Bij boslocatie Vak 18 is het mogelijk dat de afwijkingen in het aantal taxa per grond, het aantal soorten uit cp3 t/m 5 en de afwezigheid van carnivoren en omnivoren veroorzaakt worden door de actueel beschikbare gehalten lood. Om eventuele effecten van de verontreinigingen niet te onderschatten, is het risicogetal voor de ecologie ongewijzigd gebleven ten opzichte van de RIVM-beoordeling.

Tabel 4.2d. Triade-effectwaarden (TE) Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst e.o. op basis van expert judgement: integratie risicosporen en Triade-effectwaarde. De **dikgedrukte** getallen met de expert judgement.

Locatie →		1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	5) BH Gras referentie (na bij vak 6 en 7)	6) BH Gras baan 3 (vak 2)	7) BH Gras baan 4 (vak 6)	8) BH Gras baan 5 (vak 9)	9) BH Ruigte referentie - waf nabij baan 4 (deef vak 7)	10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
Integratie Triade-sporen	oordeel chemie	0,00	0,43	0,31	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	oordeel toxicologie	0,00	0,92	0,31	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	oordeel ecologie	0,00	0,13	0,07	0,20	0,00	0,06	0,13	0,15	0,00	0,16	0,16
	Triade effectwaarde (geïntegreerd risicogetal)	0,00	0,66	0,24	0,80	0,00	0,02	0,05	0,05	0,00	0,06	0,06
	deviatie (D)	0,00	0,69	0,24	0,71	0,00	0,06	0,13	0,15	0,00	0,16	0,16
Geen overschrijding TE (<0,25)		Overschrijding lage TE-criterium (>0,25, <0,75)					Overschrijding hoge TE-criterium (>0,75)					

Door de beschikbaarheid van de verontreinigingen in acht te nemen, is voor de vegetatietypen ruigte en gras duidelijk dat er geen ecologische risico's zijn (TE-waarde <0,25, D<0,4). Voor het vegetatietype bos is er bij de monsterlocatie vak 12 sprake van een overschrijding van het lage TE-criterium (0,25<TE<0,75) en bij monsterlocatie vak 18 sprake van overschrijding van het hoge TE-criterium (TE>0,75). De deviatie is echter groter dan 0,4 voor deze twee locaties: de bewijsvoering is daarmee dusdanig onzeker, dat er niet met zekerheid een uitspraak over de ecologische risico's kan worden gedaan. Vanuit het voorzorgsprincipe geredeneerd wordt bij een te grote onzekerheid uitgegaan van ecologische risico's, maar extra onderzoek kan de onzekerheid wegnemen.

4.4 Risicobeoordeling en oppervlaktecriteria

Uit de berekeningswijze zoals door het RIVM voorgestaan, komen zogeheten Triade Effectwaarden (TE-waarden). Aan de risicogrenzen die uit de beoordeling volgen, ligt (nog) geen wettelijke regelgeving ten grondslag. In onderling overleg tussen bevoegd gezag, opdrachtgever, adviseur/expert en eventueel overige belanghebbenden wordt in het proces van de Triade methodiek vóór de risicogrens bepaald. In het startoverleg is besloten om aansluiting te zoeken bij de Handreiking Triade van het RIVM. Dit betekent – uitgaande van de Handreiking Triade 2011 (Mesman et al., 2011) – dat het lage criterium bij $TE > 0,25$ en het hoge criterium bij $TE > 0,75$ ligt. Bij deze TE-criteria horen – afhankelijk van de functie van de locatie – oppervlaktecriteria (tabel 4.2).

Tabel 4.2. Oppervlaktecriteria behorende bij de Triade Effectwaarden (Handreiking Triade 2011).

Gebiedstype	Lage Triade Effectcriterium ($TE > 0,25$, $D < 0,4$) Onaanvaardbaar risico, indien:	Hoge Triade Effectcriterium ($TE > 0,75$, $D < 0,4$) Onaanvaardbaar risico, indien:
Natuur incl. gebieden behorende tot de EHS – onderzoekslocatie buiten hek	500 m ²	50 m ²
Groen met natuurwaarden	5.000 m ²	500 m ²
Landbouw		
Wonen met tuin		
Moestuinen/volkstuinen		
Ander groen – onderzoekslocatie binnen hek	50.000 m ²	5.000 m ²
Bebouwing		
Industrie		
Infrastructuur		

Als naar de uitkomst wordt gekeken van de TE-berekeningen, dan blijkt dat er geen overschrijdingen zijn van de TE-waarden voor de gras- en ruigtelocaties. Ook de afwijking (D) op deze locaties is $< 0,4$. Dit betekent dat de drie Triade-sporen eenduidig dezelfde richting opwijzen. Op deze locaties – en locaties met vergelijkbare omstandigheden en verontreinigingsgehalten, worden geen onaanvaardbare ecologische risico's verwacht van de bodemverontreiniging bij de huidige pH van de bodem.

Op de boslocaties overschrijden twee van de drie verontreinigde monsters het lage TE-criterium: vak 12 en 18. Bos Vak 18 overschrijdt daarnaast ook het hoge TE-criterium. Bij deze locaties is daarnaast de deviatie (D) groter dan 0,4. Dit betekent dat de drie Triadesporen uiteenlopen, waardoor de afwijking groot is. Hierdoor is er nog onzekerheid over de beoordeling¹¹. De deviatie is echter te verklaren: zowel de Toxische druk (chemiespoor) als de nematodengemeenschapsinventarisatie (ecologiespoor) wijzen dezelfde kant op. Het toxicologiespoor laat echter een sterker effect zien voor deze twee locaties.

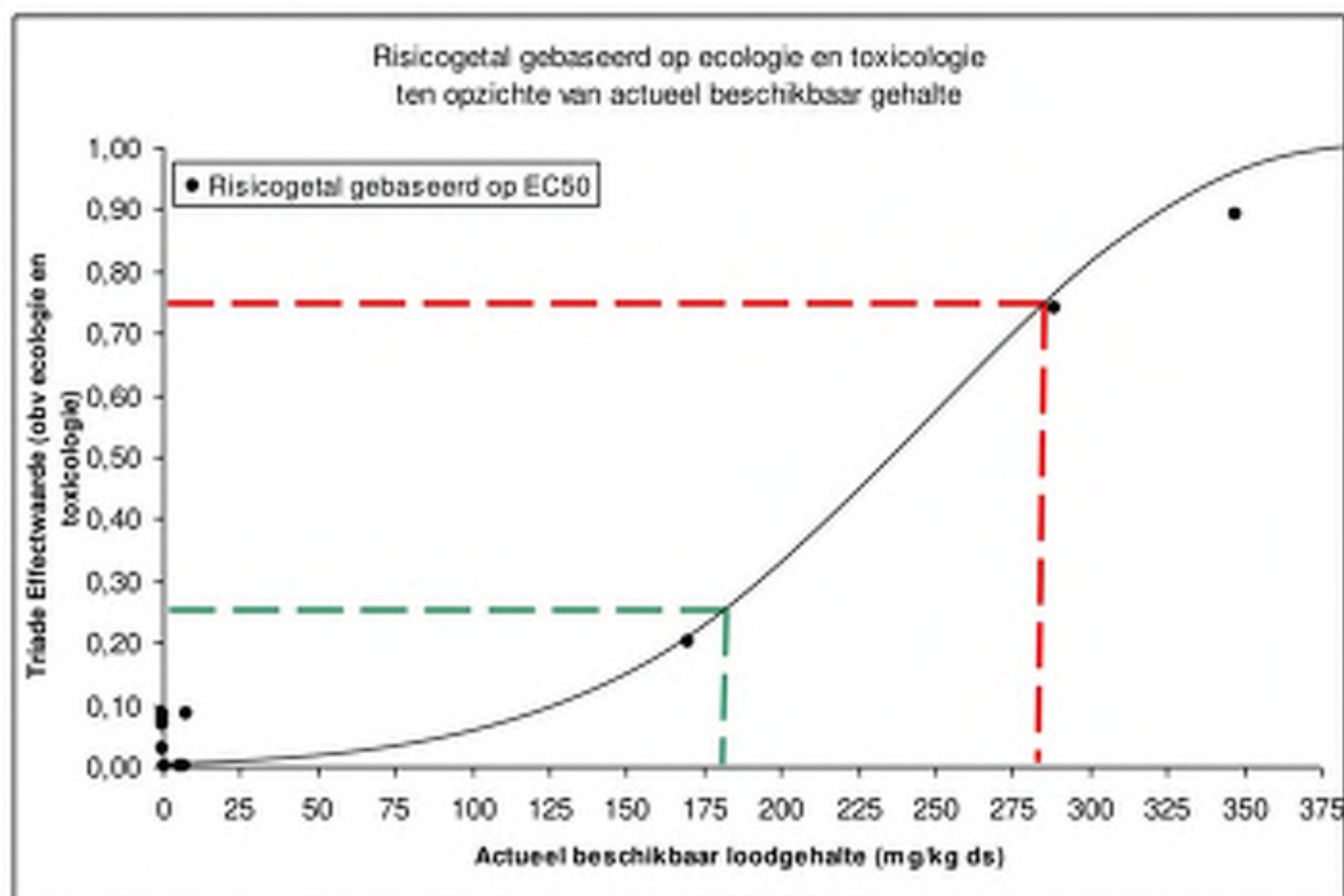
Op alle locaties komt duidelijk naar voren dat het actueel beschikbare gehalte lood beter correspondeert met de aangetoonde effecten dan de Toxische druk op basis van totaalgehalte.

¹¹ Wanneer dit niet nader onderzocht wordt, is dit een reden om aan te nemen dat er ecologische risico's op deze locaties zijn. Dit wordt meegenomen in het eindoordeel.

4.5 Risicogehalte

Het risicogehalte van lood is af te leiden uit het verontreinigingsgehalte waarbij geen onaanvaardbare ecologische risico's van lood meer te verwachten zijn. Het actueel beschikbare loodgehalte geeft de beste correlatie met het meest kritische risico (toxicologie) en is daarmee het ecologisch meest relevante gehalte. Door na te gaan vanaf welk beschikbaar loodgehalte negatieve effecten optreden in de combinatie van de Triadesporen ecologie en toxicologie, kan bepaald worden vanaf welke gehalten er TE-criteria overschreden worden.

Op basis van de curve in figuur 4.1 is een inschatting gemaakt van de ecologische risico's. Vanaf een gehalte van 180 mg actueel beschikbaar lood / kg ds wordt het lage TE-criterium overschreden. Vanaf een gehalte van 280 mg actueel beschikbaar lood / kg ds wordt ook het hoge criterium overschreden. Dit gehalte is vergelijkbaar met beschikbare loodgehalten die in eerdere Triades op vergelijkbare terreinen en met de probleemstof lood werden waargenomen (o.a. Grontmij, 2010; Grontmij, 2011; Grontmij/AquaSense, 2007; AquaSense, 2000). De actueel beschikbare gehalten lood op de ruigte- en graslocaties blijven ver onder beschikbare totaalgehalten waarbij risico's optreden (ca. 180-280 mg Pb/ kg ds). Om die reden worden dan voor gras en ruigte ook geen ecologische risico's voor deze vegetatietypen op het terrein van de Berkenhorst verwacht bij de huidige pH van de bodem. De verontreinigde boslocaties buiten het hek hebben beschikbare loodgehalten die hoger zijn dan de risicogehalten: ecologische risico's zijn dus mogelijk op deze locaties.



Figuur 4.1. Geïntegreerd risico van Triadesporen toxicologie en ecologie ten opzichte van actueel beschikbaar loodgehalte. Bij de berekeningen is uitgegaan van het geïntegreerde risicogetal van de nematodeninventarisatie en de Microtox-assay (EC_{50}). Het lage en hoge TE-criterium (resp. 0,25 [groene lijn] en 0,75 [rode lijn]) zijn weergegeven om aan te geven vanaf welke actueel beschikbare gehalten TE-criteria worden overschreden. Dit is namelijk het snijpunt tussen de ingetekende curve en de resp. groene en rode lijn.

In figuur 4.1 zijn de risicogehalten voor lood bepaald op basis van het biologisch relevante actueel beschikbare loodgehalte. In reguliere bodemonderzoeken is het gebruikelijk om uit te gaan van totaalgehalten. De beschikbaarheid van lood op de onderzoekslocatie is echter sterk afhankelijk van de pH van de bodem. Een directe vertaling naar een totaalgehalte is daardoor lastig te maken. Een beoordeling op basis van actueel beschikbaar loodgehalte leidt tot twee soorten risicogehalten (Tabel 4.4).

Tabel 4.4. Risicogehalten voor lood op basis van actuele beschikbaarheid

Triade Effectcriterium	Risicogehalte lood
	Actueel beschikbaar gehalte
Lage criterium (TE > 0,25)	180 mg/kg ds
Hoge criterium (TE > 0,75)	280 mg/kg ds

De gehalten in tabel 4.4 zijn de risicogehalten: bij een actueel beschikbaar gehalte beneden 280 mg lood/kg droge grond wordt het hoge TE-criterium niet overschreden en beneden 180 mg lood/kg droge grond geldt dit ook voor het hoge TE-criterium. Welke risicogehalte wordt gehanteerd, is afhankelijk van het totale verontreinigde oppervlak in combinatie met de functie van het terrein(deel) waar de verontreiniging aanwezig is. De functie binnen het hek is 'ander groen' en buiten het hek is dit 'natuur'.

De pH is de belangrijkste sturende factor voor de beschikbaarheid van lood. Dit is te zien aan de zeer beperkte beschikbaarheid op de gras- en ruigte locaties – waar een hoge pH heerst – en de relatief hoge beschikbaarheid op de boslocaties buiten het hek – waar een lage pH van de bodem aangetoond is. Om deze reden is in juni 2013 een aanvullend pH-onderzoek uitgevoerd bij de boslocaties binnen het hek (vakken 3, 8 en 19). Op basis van de gegevens uit dit aanvullende pH-onderzoek en uit de rapportage van Tauw (2010) is berekend dat de verwachte actuele beschikbaarheid van lood in de vakken 3, 8 en 19 boven het hoge TE-criterium uitkomen (zie tabel 3.9).

4.6 Eindoordeel

Op grond van stap 2 (Sanscrit model) is vastgesteld dat op de locatie sprake is van onaanvaardbare ecologische risico's bij zowel de functie groen (binnen het hek voor lood en PAKs) als de functie bos (voor lood) (Tauw, 2010). De spoedeisendheid is vastgelegd in de beschikking van 9 juni 2011. Dit Triadeonderzoek is uitgevoerd om te achterhalen of de standaardrisicobepaling wel overeenkomt met de werkelijkheid en of een gehalte bepaald kan worden waarbij geen onaanvaardbare ecologische risico's aanwezig zijn. Het eindoordeel na het beoordelen van de drie risicosporen is als volgt:

- Uit de beoordeling komt naar voren dat de stofgroep PAKs geen risico vormt voor de ecologie. De risicobeoordeling richt zich vooral op het gehalte lood in de bodem.
- Het Triade onderzoek laat duidelijk zien dat de beschikbaarheid van lood in de bodem op de Berkenhorst in sterke mate wordt bepaald door de zuurgraad (pH) van de bodem. De zuurgraad wisselt per deelgebied en is in het bos lager dan op de gras en ruigtes.
- Bij het beoordelen van ecologische risico's in stap 2 en het Triade onderzoek wordt rekening gehouden met het oppervlak van de verontreiniging. De pH van een (deel)locatie is dus van groot belang bij het beoordelen van het ecologisch risico en dit is meegewogen in de beoordeling van de locatie. De beoordeling in relatie tot oppervlaktes staat hieronder samengevat en uitgewerkt in tabel 4.6 en figuur 4.5.
- Het terrein met gras en ruigte met de functie 'ander groen' *binnen het hek* heeft een pH die maakt dat de verhoogde loodgehalte zijn gemeten niet tot ecologische risico's leiden (lager dan het TE criterium).
- Voor het terrein met vegetatietype bos en de 'functie natuur' *buiten het hek* is het oppervlak te waarop ecologische risico's worden verwacht op meer dan 1.950 m² geschat (vak 12 en 18). Dit is hoger dan het oppervlakcriterium voor zowel het lage als hoge TE-criterium (resp. 500 en 50 m²). Deze beoordeling heeft echter een onzekerheid in zich door de hoge deviatie bij de sterkst verontreinigde vakken. Extra onderzoek kan meer inzicht geven in de risico's op de boslocaties. Gezien de relatief hoge beschikbare loodgehalten is de verwachting dat met extra onderzoek de conclusie over de ecologische risico's op deze locatie gehandhaafd zullen blijven.
- In de bosgebieden *binnen het hek* met de functie 'ander groen' (vak 3, 8 en 19) is in een later stadium een aanvullend pH-onderzoek uitgevoerd. Hieruit bleek dat de pH in deze vakken niet significant verschilt van de pH op de boslocaties buiten het hek. Een modelberekening wijst uit dat het actueel beschikbaar loodgehalte in deze vakken boven de 280 mg/kg ds wordt verwacht. Hiermee wordt het strenge TE-criterium overschreden. Het gezamenlijke oppervlak van deze vakken is tevens >5.000 m² waardoor onaanvaardbare ecologische risico's niet uitgesloten zijn.
- Het eindoordeel door toetsing is samengevat in tabel 4.5. Tabel 4.6 bevat het oordeel per vak.

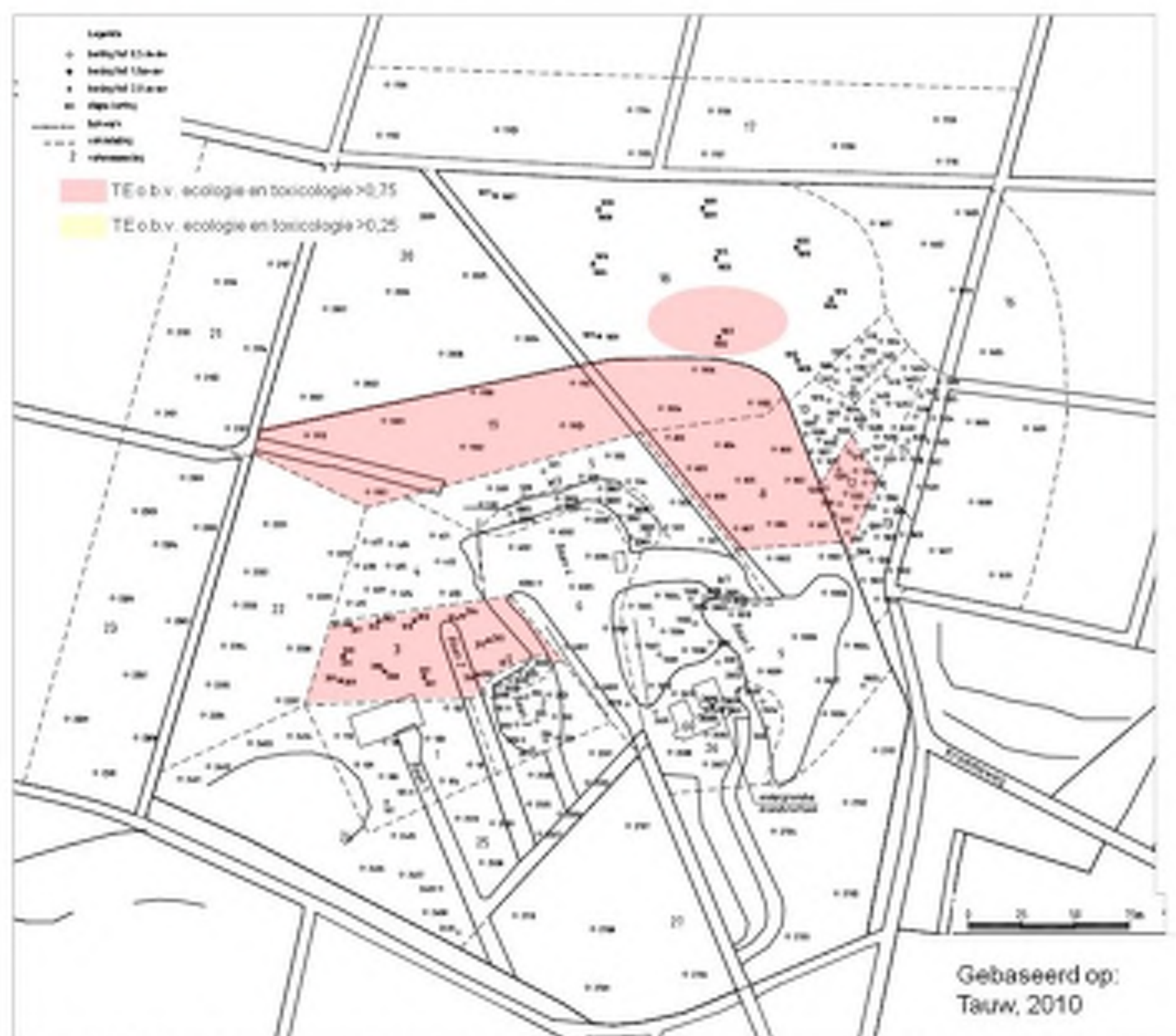
Tabel 4.5 Toetstabel locatiespecifieke ecologische risico's (op basis van Triade Effectcriteria) Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst 2011.

Gebiedstype	Lage Triade Effectcriterium (>0,25) Onaanvaardbaar risico, indien:	Hoge Triade Effectcriterium (>0,75) Onaanvaardbaar risico, indien:
Natuur incl. gebieden behorende tot de EHS – onderzoekslocatie buiten hek	actueel beschikbaar gehalte lood >180 mg/kg ds <u>en</u> $\geq 500 \text{ m}^2$	actueel beschikbaar gehalte lood >280 mg/kg ds <u>en</u> $\geq 50 \text{ m}^2$
Groen met natuurwaarden	actueel beschikbaar gehalte lood >180 mg/kg ds <u>en</u> $\geq 5.000 \text{ m}^2$	actueel beschikbaar gehalte lood >280 mg/kg ds <u>en</u> $\geq 500 \text{ m}^2$
Landbouw		
Wonen met tuin		
Moestuinen/volkstuinen		
Ander groen – onderzoekslocatie binnen hek	actueel beschikbaar gehalte lood >180 mg/kg ds <u>en</u> $\geq 50.000 \text{ m}^2$	actueel beschikbaar gehalte lood >280 mg/kg ds <u>en</u> $\geq 5.000 \text{ m}^2$
Bebouwing		
Industrie		
Infrastructuur		

4.6.1 Triade effect contour

Door gebruik te maken van eerder onderzoek dat de ruimtelijke spreiding van de verontreiniging in kaart bracht, kunnen zogenaamde Triade Effect-contouren worden afgeleid, zoals in nadere bodemonderzoeken interventiewaardecontouren (en eventueel Toxische Drukcontouren) worden afgeleid. Een contour bestaande uit monsterlocaties waar het hoge TE-criterium wordt overschreden, is altijd omsloten door een minstens even grote of grotere contour waar het lage TE-criterium wordt overschreden. Zodra de oppervlakte van een Triade Effectcontour groter is dan het maximaal acceptabele onbedekte verontreinigd oppervlak behorende bij een gebiedstype (zie bovenstaande tabel), dan is er sprake van een onaanvaardbaar risico.

Om te bepalen of de Triade Effectcontouren de oppervlaktecriteria behorende bij de functie overschrijden, is gebruik gemaakt van kaartmateriaal en gegevens uit het meest recente rapport dat de ruimtelijke spreiding van de verontreiniging weergeeft (Touw, 2010). Voor het gedeelte binnen het hek is uitgegaan van de functie Ander groen, voor het gedeelte buiten het hek van de functie Natuur. De informatie uit het onderzoek van Touw (2010) in combinatie met de risicogehalten is schematisch opgenomen in de tabel op de volgende pagina en grafisch weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2. Triade-effectcontouren: de roodgearceerde gebieden hebben een totaalgehalte dat de hoge TE-waarde ($>0,75$) overschrijdt. Geelgearceerde gebieden zijn niet aangegeven, omdat de overschrijding van de hoge TE-waarde leidend is. Onder de huidige omstandigheden zijn op de locaties onaanvaardbare ecologische risico's aanwezig (bewerkte tekening uit: Tauw 2010)

Tabel 4.6. Beoordeling risico's Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst. Basisgegevens (oppervlakten, totaalgehalte lood) zijn gebaseerd op Tauw, 2010.

Vakcodering	Code (meng)monster	Vegetatietype	Totaalgehalte lood (mg/kg ds)	Oppervlakte TE > lage criterium (0,25) – m ²	Oppervlakte TE > hoge criterium (0,75) – m ²
Binnen hek – functie ander groen					
Vak 24	MM24	bos	<13	0	0
Vak 27	MM27	bos	<13	0	0
Vak 1	MM01	gras/ruigte	19	0	0
Vak 25	MM25	bos	55	0	0
Vak 6	MM05	gras/ruigte	70	0	0
Vak 2	MM02	gras/ruigte	85	0	0
Vak 26	MM26	gras/ruigte	100	0	0
Vak 7	MM07	gras/ruigte	110	0	0
Vak 22	MM22	bos	360	0	0
Vak 9	MM09	gras/ruigte	590	0	0
Vak 4	MM04	bos	740	0	0
Kogelvanger baan 4 - achterzijde	W3achter	gras/ruigte	1.200	0	0
Vak 5	MM05	gras/ruigte	1.300	0	0
Kogelvanger baan 4 - voorzijde	W3voor	gras/ruigte	1.300	0	0
Vak 3	MM03	bos	2.300	4.016	4.016
Vak 19	MM19	bos	2.500	8.463	8.463
Vak 8	MM08	bos	2.700	3.725	3.725
Kogelvanger baan 5	W1	gras/ruigte	17.000	0	0
Kogelvanger baan 3	W2	gras/ruigte	22.000	0	0
Totaal oppervlak - binnen hek				16.204	16.204
Oppervlaktecriterium – Ander groen				<50.000	<5.000
Oordeel – binnen hek				Geen Overschrijding*	Overschrijding
Buiten Hek - functie natuur					
Vak 17	MM17	bos	<13	0	0
Vak 23	MM23	bos	110	0	0
Vak 16	MM16	bos	130	0	0
Vak 21	MM21	bos	190	0	0
Vak 11	MM11	bos	230	0	0
Vak 20	MM20	bos	230	0	0
Vak 15	MM15	bos	360	0	0
Vak 10	MM10	bos	570	0	0
Vak 13	MM13	bos	600	0	0
Vak 14	MM14	bos	730	0	0
Vak 12	MM12	bos	1.900	748	748
Vak 18	1812	bos	2.700	1.200	1.200
Totaal oppervlak - buiten hek				1.948	1.948
Oppervlaktecriterium – Natuur				<500	<50
Oordeel – buiten hek				Overschrijding	Overschrijding
Totaal oppervlak (binnen en buiten hek gecombineerd)				18.152	18.152

*Door de combinatie van functie en verontreinigd oppervlak is er geen overschrijding van het oppervlaktecriterium voor het lage TE-criterium. Echter, dit is niet relevant aangezien de bestaande overschrijding van het oppervlaktecriterium behorende bij het hoge TE-criterium leidend is.

5 Risico's van loodhagel en kleiduifragmenten

Op de bodem van delen van het terrein van Jachtschietcentrum Berkenhorst zijn loodhagel en kleiduifragmenten aanwezig. Een gedeelte ligt op de bodem, een gedeelte bevindt zich in de bodem of onder de strooisellaag. De hoeveelheid loodhagel en kleiduifragmenten die aanwezig is, is niet gekwantificeerd. Er is daarom geen kwantitatief onderzoek gedaan naar de gevolgen van de aanwezigheid van loodhagel en kleiduifragmenten op de onderzoekslocatie Berkenhorst. Het inzetten van een dergelijk onderzoek hiernaar is gezien de relatief beperkte oppervlakte van de locatie waar loodhagel aanwezig is niet zinvol. In dit hoofdstuk worden de risico's van loodhagel en kleiduifragmenten verder besproken aan de hand van wetenschappelijke literatuur.

5.1 Loodhagel

Loodhagel op een landbodem verweert langzaam. Het duurt – afhankelijk van omstandigheden – tientallen tot honderden jaren voordat een korrel loodhagel volledig verweerd is (Scheuhammer en Norris, 1995). Hierbij worden complexen gevormd die veelal in de bovenste laag van de bodem blijven en niet snel uitlogen (Clausen et al., 2011; MDEP, 2009).

Een mogelijk risico van loodhagel op de bodem is de opname van lood door gewervelden, met name vogels en in mindere mate kleine zoogdieren¹². Bij opname komt lood in het zure spijsverteringskanaal van de dieren terecht, waar het oplost en opgenomen kan worden in het bloed. Wanneer toxische hoeveelheden lood in het bloed terechtkomen, kan schade optreden aan o.a. nieren, lever, zenuwstelsel, spijsverteringskanaal, bloedtransport en botten. Bij vogels uit dit zich met name in vermagering - o.a. door de afname van de voedselopname -, lethargie, groenkleurige uitwerpselen, verlamming van vleugels en poten, onbalans en in het ergste geval dood (o.a. Fiend en Franson, 1999; DeFrancisco et al., 2003; Ferrandis et al., 2008; Clausen et al., 2011). Waar kleine zoogdieren op incidentele basis loodhagel binnenkrijgen met de opname van ander voedsel, nemen bepaalde vogelsoorten op frequentere basis loodhagel op (Ma et al., 1989; Vyas et al., 2000; Peddicord en LaKind, 2000). Omdat vogels het grootste risico lopen, wordt in dit hoofdstuk op deze diergroep gefocust.

Het grootste risico lopen watervogels (Quy, 2010; Mateo et al., 2007; Fisher et al., 2006; Kendall et al., 1996). Deze soorten komen echter niet voor bij de Berkenhorst. Roofvogels worden ook als een andere gevoelige soortgroep genoemd. Daarbij gaat het met name om aaseters die karkassen met loodhagel opeten (o.a. Kendall et al., 1996; Quy, 2010). Van roofvogels als haviken, valken, buizerds en sperwers zijn in de literatuur incidentele gevallen van loodvergiftiging waargenomen, veroorzaakt door opname van loodhagel. Dit wordt echter vooral geassocieerd met kadavers die door jagers geschoten zijn en niet meegenomen zijn (Fisher et al., 2006; Quy, 2010; Friend en Franson, 1999). Hiervan is geen sprake bij de Berkenhorst, omdat er niet op levende dieren, maar op kleiduiven is geschoten. Ook voor andere (facultatief) aasetende soorten, zoals bijvoorbeeld de das (*Meles Meles*) bestaat dit gevaar dus niet, aangezien de hagelkorrels zich niet in eventuele kadavers op de onderzoekslocatie bevinden.

¹² Grote zoogdieren – zoals wilde zwijnen, reeën en edelherten – hebben vaak een groot leef- en foeragegebied, eten met name groen, wortels en noten/vruchten en hun spijsverteringssysteem heeft geen noodzaak voor de opname van grit. Hierdoor zijn ze minder gevoelig dan bijvoorbeeld vogels voor loodhagel op de bodem (Peddicord en LaKind, 2000). Om deze reden wordt deze groep dieren niet apart behandeld.

Voor de Berkenhorst ligt het grootste potentiële risico bij vogels die gewend zijn om grit¹³ op te nemen. Deze soorten – voornamelijk zaadeters als duiven, fazanten, en kleine zangvogels – zullen frequenter loodhagel opnemen en daarmee een groter risico lopen. Loodhagel wordt aangezien voor grit of zaden. Wanneer in plaats van grit loodhagel wordt opgenomen, kan dit in de spiernaag fijn gemalen worden en opgenomen worden in het lichaam. Voor de eerder genoemde soortgroepen worden incidenteel sterfgevallen gerapporteerd door opname van loodhagel (Friend en Franson, 1999). De dichtheid waarbij de risico's voor gewervelden (op individueel niveau) verwaarloosbaar worden geacht variëren van ca. 30 tot 140 loodhagels/m² (MDEP, 2009). Het gaat hierbij met name om loodhagel die op het bodemoppervlak ligt. Wanneer de loodhagel is afgedekt door bijvoorbeeld een strooisellaag, zal het risico waarschijnlijk bij een hoger aantal loodhagelkorrels liggen. Wanneer het om effecten op populatie- of ecosysteemniveau gaat, is het zeer onwaarschijnlijk dat de loodhagel op de bodem van de Berkenhorst een negatief effect heeft. Daarvoor is het oppervlak van de locatie te beperkt. In eerder onderzoek aan loodhagel op een schietbaan is dit ook gebleken (Peddicord en LaKind, 2000). Roofvogels, vossen en herten liepen een verwaarloosbaar risico om op individueel niveau negatief beïnvloed te worden door loodhagel op de bodem. Enkel grit-innemende vogelsoorten liepen op individueel niveau een risico. Het mogelijke verlies van enkele individuen van een soort werd opgevangen door zogenaamde dichtheidsafhankelijke compensatiemechanismen, zoals instroom van individuen waarvoor eigenlijk onvoldoende leefgebied aanwezig was.

5.1.1 Invloed van loodhagel op kwalificerende soorten voor de Veluwe

Voor de Veluwe zijn enkele kwalificerende vogelsoorten aangewezen op grond van de Natuurbeschermingswet 1998. In Mertens 2011 is aangegeven in hoeverre de kwalificerende (bos)soorten daadwerkelijk voor kunnen komen op en in de nabijheid van het terrein van De Berkenhorst. In de voorliggende rapportage wordt in algemene zin getoetst aan de hiervoor vermeldde kwalificerende bossoorten. Deze soorten lopen verwaarloosbare risico's op individueel niveau op vergiftiging met loodhagel op en in de nabijheid van het terrein van de Berkenhorst, mochten deze soorten hier toch voorkomen. Hier worden de soorten kort besproken. Voor de risicobepaling van de verontreiniging op en in nabijheid van de Berkenhorst zijn enkel de bossoorten van belang. Soorten van de heide zijn uitgesloten op het terrein. Deze kwalificerende soorten van het bos zijn voor de Veluwe de Zwarte specht (*Dryocopus martius*), Draaihals (*Jynx torquilla*) en Wespendif (*Pernis apivorus*) (Anoniem, 2008). Het risico voor deze soorten is verwaarloosbaar. Dit heeft zowel te maken met het feit dat het terrein van de Berkenhorst ongeschikt leefgebied is voor deze soorten (Mertens, 2011), als met de levenswijze van deze vogels. In het volgende stuk wordt in algemene zin getoetst aan de risico's van loodhagelverontreiniging voor kwalificerende bossoorten van de Veluwe. Zwarte specht en Draaihals behoren tot de spechten en eten met name insecten. De Zwarte specht komt daarbij voornamelijk in bomen voor en komt zo weinig in aanraking met loodhagel op de bodem. Draaihals en Zwarte specht eten graag mieren en zullen bij mierenhopen op de grond komen zitten. Het is onwaarschijnlijk dat ze daarbij loodhagel opnemen. Een Zweeds onderzoek naar de invloed van loden munitie op diverse spechtsoorten gaf geen aanwijzingen dat deze soortgroep significante risico's loopt (Quy, 2010). De Wespendif is een roofvogel die voornamelijk van (larven van) bijen, wespen, hommels en andere vliesvleugeligen leeft. Deze worden uitgegraven en ter plekke opgegeten. Sporadisch worden reptielen en jonge vogels gegeten. Het territorium van deze soort beslaat ca. 1400 hectare in het broedseizoen. Het risico dat deze soort in aanraking komt met loodhagel en er negatieve effecten van ondervindt, is verwaarloosbaar. Daarnaast zijn in de nabijheid van de Berkenhorst ook de das (*Meles meles*) en de hazelworm (*Anguis fragilis* ssp. *fragilis*) aangetroffen (Adviesbureau Mertens, 2012). De das heeft een territorium dat vele malen groter is dan het terrein van de Berkenhorst (50 tot 150 hectare) en zal met name op die delen foerageren waar het voedselaanbod het grootst is. Dit zullen met name de landbouwgronden (o.a. maïsvelden), plekken met veel regenwormen en vrucht-/nootdragende gewassen zijn. Het terrein van de Berkenhorst is minder geschikt als foerageergebied. Dassen - en soorten met een vergelijkbare levenswijze als dassen, zoals andere grote marterachtigen - worden in de wetenschappelijke literatuur niet genoemd als soorten die negatief beïnvloed worden door

¹³ Grit zijn steentjes die vogels opnemen om in hun spiernaag voedsel te vermalen om zo de spijsvertering te vergemakkelijken

aanwezigheid van loodhagel op de bodem. Hun leefwijze doet dit ook niet vermoeden. Ook landreptielen – waar de hazelworm als pootloze hagedis toe behoort - worden in de wetenschappelijk literatuur niet aangeduid als gevoelige soorten. Het dieet van hazelwormen bestaat met name uit wormen, insecten, spinnen, naaktslakken en soms een levendbarende hagedis of soortgenoten. Met dit dieet is opname van loodhagel niet te verwachten. Regenwormen komen op de boslocaties vrijwel niet voor omdat de zure, zandige bodem voor deze organismen ongeschikt is. Opname van lood via regenwormen is daarmee ook geen relevante bedreiging voor zowel das als hazelworm.

5.2 Kleiduifragmenten

Naar de risico's van de opname van kleiduifragmenten is zeer beperkt onderzoek gedaan. Uit onderzoek met kwartels bleek dat kleiduifragmenten vrijwel volledig genegeerd werden als er de keus was uit grit of kleiduifragmenten (Gonzalez, 2003). Testen met kwartels die twee jaar lang wekelijks dwangvoeding kregen met kleiduistof of dagelijks een hoeveelheid kleiduistof door het voedsel kregen, lieten geen negatieve effecten zien die gerelateerd konden worden aan de opname van kleiduifragmenten (Gonzalez, 2003). In een ander onderzoek naar de gevolgen van de aanwezigheid van verontreinigingen op een kleiduischietbaan werden geen negatieve effecten van de aanwezigheid van kleiduifragmenten aangetoond (Peddicord en La-Kind, 2000). Deze resultaten in combinatie met de zeer beperkte beschikbaarheid van PAK's in de bodem – zoals aangetoond in dit onderzoek – maakt het zeer onwaarschijnlijk dat kleiduifragmenten opgenomen worden door organismen, of dat bij incidentele opname, negatieve effecten te verwachten zijn. De risico's van kleiduifragmenten op de locaties wordt daarmee beoordeeld als verwaarloosbaar.

5.3 Conclusie

De ecologische effecten van de aanwezigheid van kleiduifragmenten op de bodem van NJC Berkenhorst worden als verwaarloosbaar beoordeeld. De opname van loodhagel kan negatieve effecten hebben op individuele dieren, met name vogels op de onderzoekslocatie. Dit zal om incidentele gevallen gaan. Voor de kwalificerende bossoorten van de Veluwe is het risico op individueel niveau verwaarloosbaar. Zoals verwoord in paragraaf 5.1.1 en 5.2 is voor de kwalificerende bossoorten van de Veluwe het risico gelet op de aanwezige loodhagel en kleiduifragmenten op individueel niveau verwaarloosbaar. Gezien de beperkte grootte van het oppervlak waar loodhagel voorkomt en het bufferende karakter van populatiedynamische processen, is het zeer onwaarschijnlijk dat loodhagel op het terrein van de Berkenhorst op populatie- of ecosystemniveau negatieve effecten heeft.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies en beantwoorde onderzoeksvragen

- Op de vraag of locatiespecifieke ecologische risico's bestaan is het eerste antwoord dat PAKs geen risico vormen en lood mogelijk wel;
 - Op basis van de Triade-methode van het RIVM en expert-judgement is een risicobeoordeling uitgevoerd. Hiervoor zijn resultaten uit de Triadesporen Chemie, Ecologie en Toxicologie geïntegreerd, resulterend in een Triade-effect (TE) waarde.
 - Voor de vegetatietypen gras en ruigte *binnen het hek* is geen sprake van ecologische risico's (<TE criterium) van verontreiniging door lood.
 - Voor het vegetatietype bos *buiten het hek* zijn ecologische risico's (>TE criterium) van verontreiniging door lood aangetoond die verklaard kunnen worden door het beschikbare loodgehalte op de onderzochte locaties. Van de boslocaties *binnen het hek* is de verwachte beschikbaarheid van lood op basis van een aanvullend pH-onderzoek vergelijkbaar met de beschikbaarheid van lood op de boslocaties *buiten het hek*. In combinatie met de in het eerder onderzoek gemeten loodgehalten op deze plekken, is hier sprake van ecologische risico's (>TE criterium).
- Op de vraag of (potentiële) risico's van loodhagel en kleiduffragmenten bestaan is het antwoord dat deze verwaarloosbaar zijn op ecosysteemniveau. De op de bodem aanwezige loodhagel kan negatieve effecten hebben op individuele organismen die deze opnemen. Met name vogels zijn geneigd per ongeluk loodhagel op te nemen omdat ze dit als grit voor hun spiermaag zien. Het gaat echter om een relatief beperkt oppervlak waar loodhagel op de bodem ligt. Risico's voor individuele vogels zijn niet uit te sluiten, maar op populatie- of ecosysteemniveau zijn deze verwaarloosbaar. Voor de kwalificerende bossoorten van de Veluwe is het risico op verwaarloosbaar.
- Op de vraag vanaf welke gehalten en/of toxische druk onaanvaardbare risico's aanwezig zijn is het antwoord dat deze te berekenen zijn tot ca. 180 mg/kg.ds actueel beschikbaar lood. Deze waarde is bepaald met inachtneming van het lage en hoge TE-criterium voor de boslocaties buiten het hek. Het risicogehalte behorende bij het lage criterium is 180 mg actueel beschikbaar lood/kg ds. Het risicogehalte behorende bij het hoge criterium is 280 mg actueel beschikbaar lood/kg ds.

6.2 Aanbevelingen

De actueel beschikbare gehalten hebben een sterke relatie met de aangetoonde effecten, met name in het spoor toxicologie. De actuele beschikbaarheid van lood is sterk afhankelijk van de pH van de bodem. Daarom is een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de pH-waarde van de bodem op de boslocaties binnen het hek (vak 3, 8 en 19). Hieruit is gebleken dat de pH op de boslocaties binnen het hek vergelijkbaar zijn met die buiten het hek.

Als een saneringsmaatregel kan gedacht worden aan een manier om de beschikbaarheid van lood te verlagen. Dit kan bijvoorbeeld door het bekalken van de bodem waardoor de bodem-pH hoger wordt. Ook kan de loodverontreiniging deels vastgelegd worden door toediening van fosfaatverbindingen (o.a. Brown et al., 2004).

Wanneer gekozen wordt voor het verhogen van de pH van de bodem, kan als richtlijn tabel 6.1 aangehouden worden. In deze tabel is aangegeven tot hoever de pH van de bodem verhoogd moet worden op basis van een omgekeerde modelberekening (op basis van De Nijs et al., 2008) om de twee grenswaarden – of risicogehalten waarden – voor het Triade-effectcriterium niet te overschrijden. Voor de boslocaties binnen het hek is daarbij uitgegaan van de meest strenge correctiefactor uit het beschikbaarheidsonderzoek op de boslocaties buiten het hek. Voor de boslocaties buiten het hek is uitgegaan van de daadwerkelijk gemeten actuele beschikbaarheid.

Tabel 6.1 Verwachte beschikbaarheid bij verhoogde pH-gehalten

Monster	pH	Aangepaste pH	Actueel beschikbaar lood (mg/kg ds)	Aangepaste pH	Actueel beschikbaar lood (mg/kg ds)
nr.	huidig	o.b.v. lage TE-criterium (<180 mg Pb/kg ds)	Verwachte gemiddelde beschikbaarheid (min – max tussen haakjes)	o.b.v. hoge TE-criterium (<280 mg Pb/kg ds)	Verwachte gemiddelde beschikbaarheid (min – max tussen haakjes)
BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	3,3	3,3	1	3,3	1
BH Bos - buiten hek (vak 12)	3,4	5,1	172	4,6	263
BH Bos - buiten hek (vak 14)	3,4	3,5	168	3,4	183
BH Bos - buiten hek (vak 18)	3,6	4,6	178	4,1	272
Vak 3 – bos binnen hek	3,8	4,8	1,18 (7,2-166)	4,2	196 (120-276)
Vak 8 – bos binnen hek	3,9	5,4	121 (74 - 170)	4,9	185 (113-260)
Vak 19 – bos binnen hek	3,6	5,1	123 (75-173)	4,6	188 (115-264)

Zoals vermeld in 4.6.1 zijn de risicogehalten waarden die gehanteerd dienen te worden afhankelijk van de functie van het terrein(deel) en het verontreinigd oppervlak. Wanneer uit wordt gegaan van de huidige functies zal – om de oppervlaktecriteria voor verontreiniging voor de specifieke functies niet te overschrijden – voor het gedeelte buiten het hek (functie natuur) gestreefd moeten worden naar de pH behorende bij het lage TE-criterium (<180 mg beschikbaar lood/kg ds). Wanneer het beschikbare loodgehalte lager is, worden er geen onaanvaardbare ecologische risico's verwacht.

Voor het gedeelte binnen het hek (functie 'ander groen') zal minimaal gestreefd moeten worden naar de pH behorende bij het hoge TE-criterium (<280 mg beschikbaar lood/kg ds). Het verontreinigd oppervlak waar ecologische risico's niet uitgesloten kunnen worden is namelijk 1,6 hectare (>hoge TE-criterium), waar 0,5 hectare als niet onaanvaardbaar wordt beschouwd. Wanneer tot onder het hoge TE-criterium wordt teruggesaneerd, maar het lage TE-criterium (180 mg beschikbaar lood/kg ds) nog wel wordt overschreden, kunnen de ecologische risico's als niet onaanvaardbaar worden beschouwd. Voor deze functie geldt namelijk dat minder dan 5 hectare verontreinigd mag zijn boven het lage TE-criterium: het terreindeel binnen het hek blijft hier driemaal onder.

Voor het terrein zijn verscheidende saneringsvarianten te bedenken. Deze zullen in een saneringsplan uitgewerkt moeten worden. Indien gekozen wordt voor het verhogen van de pH als

saneringsmaatregel, is het van belang om te monitoren of de streefwaarde van de pH niet onder de gestelde grenswaarde komt. Daarnaast is het zinvol om in deze pH-monitoring ook de daadwerkelijke beschikbaarheid op gezette tijden te bepalen, bijvoorbeeld een half jaar na de verhoging van de pH en daarna om de 4 jaar. Dit is echter een onderdeel dat in een saneringsplan uitgewerkt kan worden.

De deviaties bij de twee boslocaties buiten het hek waar ecologische effecten zijn aangetoond, zijn groter dan 0,4. Dit komt door het sterke effect in het toxicologiespoor en het beperkte effect bij het ecologiespoor. Bij een dergelijk grote afwijking tussen de sporen is de uitspraak of de aan- of afwezigheid van ecologische risico's onzeker. Omdat nu de sterk effecten in de toxicologie - vanwege de berekeningswijze - zwaarder weegt dan de beperkte effecten in het ecologiespoor, is het onwaarschijnlijk dat de TE-waarde bij een nader onderzoek hoger zal worden.

7 Literatuur

Adviesbureau Mertens, 2009. Aanvullende toetsing aan de Vogelrichtlijn van heringebruikname van de bovengrondse schietbaan De Berkenhorst. Eindrapport, december 2009.

Adviesbureau Mertens, 2011. Actualiserend onderzoek Natuurbeschermingswet 1998 – De Berkenhorst. Conceptrapport 2011.1252, juli 2011.

Adviesbureau Mertens, 2012. Actualiserend onderzoek Flora- en faunawet Berkenhorst. Eindrapport, oktober 2012.

Anoniem, 2008. Profielen Vogels, versie 1 september 2008.

- Wespendief (*Pernis apivorus*) A072
- Draaihals (*Jynx torquilla*) A233
- Zwarte specht (*Dryocopus martius*) A236

Nederlandse soorten (<http://mineleni.nederlandsesoorten.nl>)

- Hazelworm (*Anguis fragilis ssp. fragilis*)
- Das (*Meles meles*)

AquaSense, 2000. Ecologische risico's en saneringsurgentie loodverontreiniging schietbaan Bornia. In opdracht van provincie Utrecht.

Bana, G., 2004. Ecological effects of lead-shot on terrestrial habitats and on the accumulation of lead in wild birds other than waterfowl. EU-report T-PVS/Inf (2004) 02, 26 juli 2004.

Bergema, W.F. en N.M. van Straalen, 1991. Ecological risks of increased bioavailability of cadmium and lead as a consequence of soil acidification. TCB-rapport 91/04R. Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.

Bongers, T. en M. Bongers, 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, pp. 239-251.

Bongers, T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, pp. 14-19.

Bosveld, B., J. de Jonge, D. de Zwart, P. den Besten, P. Doelman, J. Faber, H. Maas, J. Postma, M. Rutgers, B. van Hattum, N. van Straalen, J. van der Waarde, 2003. Periscoop, taakgroep "veldeologische beoordelingscriteria". Resultaatdocument van een workshop in Utrecht d.d. 21 januari 2003. Bijlage C behorende bij: van der Waarde et al. (2003). Periscoop Platform ecologische risicobecoordeling (SP-015). Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.

Brown, S., R. Chaney, J. Hallfrisch, J.A. Ryan en W.R. Berti, 2004 In situ soil treatments to reduce the phyto- and bioavailability of lead, zinc, and cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 33, pp. 522-531.

Circulaire Bodemsanering 2009. Staatscourant nr. 67, 7 april 2009, pp. 1-41.

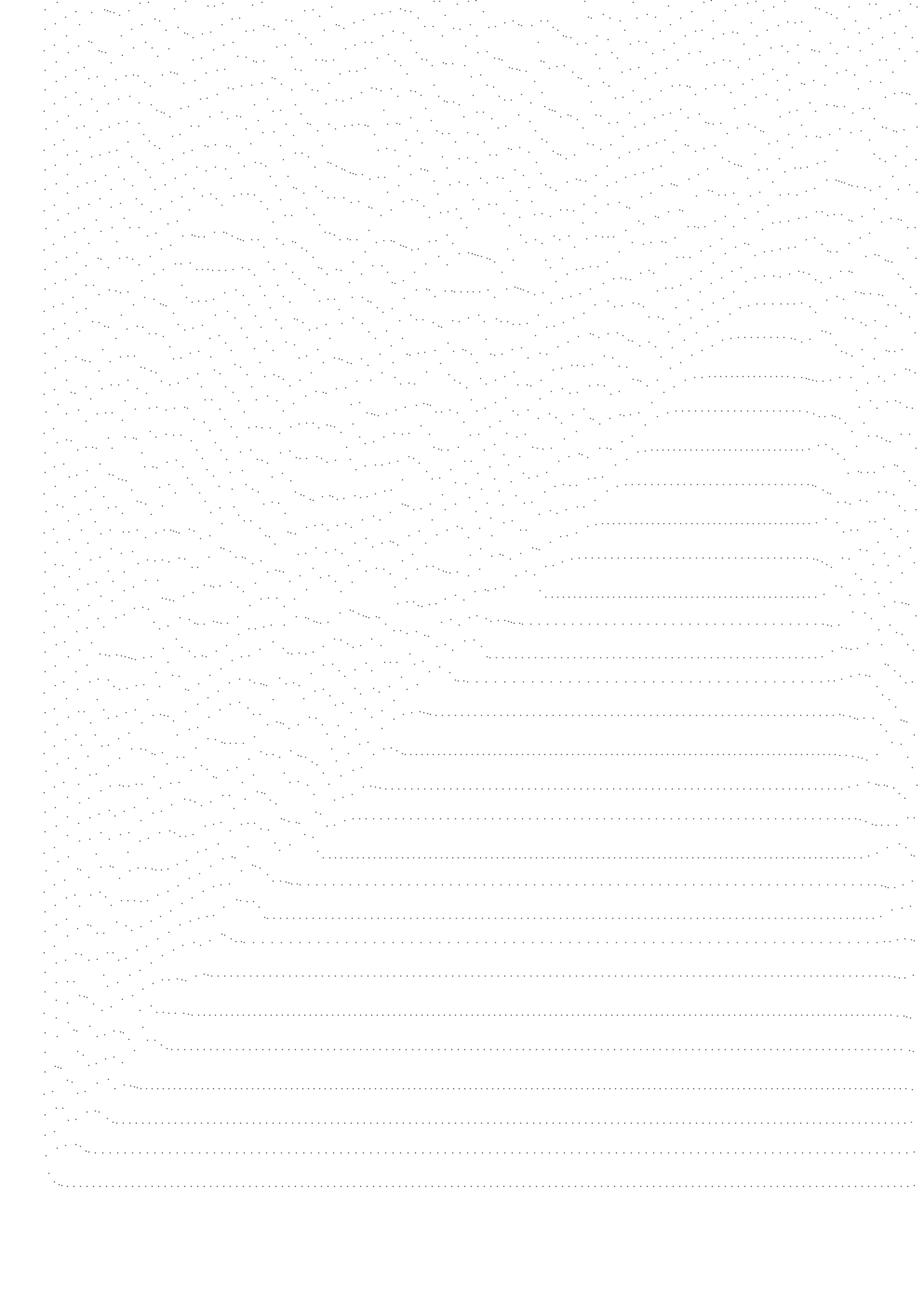
Clausen, J.L., Bostick, B. en Korte, N., 2011. Migration of lead in surface water, pore water,

- and groundwater with a focus on firing ranges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(15), pp.1397-1448.
- Cronzucker, H.J., M.Y. Siddiqi en A.D.M. Glass, 1997. Conifer root discrimination against soil nitrate and the ecology of forest succession. *Nature*, 385, pp. 59-61.
- DeFrancisco, N., J. Ruiz-Troya en E. Aguera, 2003. Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. *Avian Pathology*, 32, pp. 3-13.
- Esbroek, M.L.P., A.J. Schouten en J.R.M. Alkemade, 1994. Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit: nematodenfauna. Deel 2: Bemonstering 1994 (Boslocaties op zandgrond). RIVM-rapport 714801010. Bilthoven.
- Ferrandis, P., R. Mateo, F.R. López-Serrano, M. Martínez-Haro en E. Martínez-Duro, 2008. Lead-shot exposure in red-legged partridge (*Alectoris rufa*) on a driven shooting estate. *Environmental Science and Technology*, volume 42, p. 6271-6277.
- Fisher, I.J., D.J. Pain en V.G. Thomas, 2006. A review of lead poisoning from ammunition sources in terrestrial birds. *Biological Conservation*, 131, pp. 421-432.
- Friend, M. en J.C. Franson (Eds.), 1999. *Field Manual of Wildlife Diseases: General Field Procedures and Diseases of Birds*. USGS, Biological Resources Division, Information and Technology Report 1999-001: Chapter 43: Lead, pp. 317-334.
- Grontmij, 2010. Ecologische risico's op voormalig militair oefenterrein Langenboom – Triade. Eindrapport nr. 267691, Amsterdam.
- Grontmij, 2011. Bodemecologisch onderzoek oefenterrein De Vughtse Heide. Onderzoek volgens de Triade-methode. Eindrapport nr. 295139, Amsterdam.
- Grontmij/AquaSense, 2007. TRIADE onderzoek voormalig militair oefenterrein Mastbos te Breda - Directe en indirecte ecologische risico's van lood in de bodem. Eindrapport nr. 217269, Amsterdam.
- Grontmij/AquaSense, 2009-1. Bodemecologisch onderzoek volgens de Triade-benadering in recreatiegebied en voormalig baggerspeciedepot Broekpolder te Vlaardingen. Eindrapport nr. 256581, Amsterdam.
- Grontmij/AquaSense, 2009-2. Triade-onderzoek Volkstuinencomplex Nut en Genoegen aan de Kralinger Esch te Rotterdam - Bodemecologisch onderzoek volgens de Triade-benadering. Eindrapport nr. 261166, Amsterdam.
- Kendall, R.J., T.E. Lacher, C. Bunck, B. Daniel, C. Driver, C.E. Grue, F. Leighton, W. Stansley, P.G. Watanabe en M. Whitworth, 1996. An ecological risk assessment of lead shot exposure in non-waterfowl, avian species: upland game birds and raptors. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15, pp. 4-20.
- Klok, C., P. Römken, J.H. Faber en M.A. van de Leemkule, 2004. Risicobeheer van verontreinigde gronden; Kwetsbaarheid en kansrijkdom van natuurdoelen op verontreinigde bodems. Alterra-rapport 908, Wageningen.
- Lobb, A.J., 2006. Potential for PAH contamination from clay target debris at shooting sites: Review of literature on occurrence of site contamination from clay targets. Report No. U06/81, Environment Canterbury.
- Locatiespecifiek ecologisch onderzoek in stap 3 van het Saneringscriterium. RIVM, Bilthoven, RIVM rapport 607711003.
- Ma, W. 1989. Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and or-

- gan/body weight alterations in small mammals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 18, pp. 617-622.
- Ma, W.C. (1994). Methodological principles of using small mammals for ecological hazard assessment of chemical soil pollution, with examples on cadmium and lead. In: M.H. Donker, H. Eijsackers & F. Heimbach (eds). *Ecotoxicology of soil organisms*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, USA. P357-371.
- Ma, W.C. (1996). Lead in mammals. In: W.N. Beyer et al. (eds). *Environmental contaminants in wild-life*. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Raton, USA. P281-296.
- Ma, W.C., A.T.C. Bosveld en D.B. van den Brink, 2001. Schotse Hooglanders in de Broekpolder? Analyse van de veterinaire-toxicologische risico's van de verontreinigde bodem voor grote grazers. *Alterra-rapport 260*, Wageningen.
- Ma, W.-C., H. van Wezel en D. van den Ham (1992). Achtergrondgehalten van vijftien metaal-elementen in de bodem, de vegetatie en de bodemfauna van twaalf natuurgebieden in Nederland. *RIN-rapport 92/11*, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Arnhem.
- Mateo, R., A.J. Green, H. Lefranc, R. Boas en J. Figuerola, 2007. Lead poisoning in wild birds from southern Spain: A comparative study of wetland areas and species affected, and trends over time. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66, pp. 119-126.
- MDEP, 2009. Assessment of ecological risk associated with lead shot at trap, skeet & sporting clays ranges. Report of Massachusetts Department of Environmental Protection, Office of Research and Standards, 11 mei 2009.
- Mesman, M., A.J. Schouten, M. Rutgers. 2011. Handreiking Triade 2011. Locatiespecifiek ecologisch onderzoek in stap 3 van het Saneringscriterium. RIVM rapport 607711003, RIVM, Bilthoven.
- Miretzky, p., en A. Fernandez-Cirelli, 2008. Phosphates for Pb immobilization in soils: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 6, pp. 121-133.
- NEN, 2010. NEN 5737 'Bodem - Landbodem - Proces van locatiespecifieke ecologische risico-beoordeling van bodemverontreiniging'.
- Nijs, A.M.C. de, A.M. Wintersen, L. Posthuma, J.P.A. Lijzen, P.F.A.M. Römken, D. de Zwart, 2008. Het webportaal: www.risicoolboxBodem.nl – Modelbeschrijving. RIVM rapport 711701067, RIVM, Bilthoven
- NOBO, 2008. NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling. Onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en 2007. Rapport, Ministerie van VROM, Den Haag.
- NOBOWA, 2009. Bepaling spoed van gevallen van ernstige bodemverontreiniging met lood. Toetsing humane risico's met Sanscrit. P. Otte (RIVM), J. Lijzen (RIVM), C. Molenaar (VROM) en J. Wezenbeek (Grontmij, namens VROM), Notitie NOBOWA-2009-007.
- Peddicord, R.K., en J.S. LaKind, 2000. Ecological and human health risks at an outdoor firing range. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19, pp. 2602-2613.
- Procter, D.L., 1990. Global Overview of the Functional Roles of Soil-living Nematodes in Terrestrial Communities and Ecosystems. *Journal of Nematology*; volume 22, p. 1-7.
- Quy, 2010. Review of evidence concerning the contamination of wildlife and the environment arising from the use of lead ammunition. FERA-Report to DEFRA, 16 april 2010.

- Reuter, H.I., L.R. Lado, T. Hengl en L. Montanarella, 2008. Continental-scale Digital Soil Mapping using European soil – Profile data: soil pH. In: Böhner, J., Blaschke, T., Montanarella, L. (Eds.), 2008: SAGA – Seconds Out. Hamburger Beiträge zur Physischen Geographie und Landschaftsökologie, Vol.19.
- Rieuwerts, J.S., M.R. Ashmore, M.E. Farago en I. Thornton, 2006. The influence of soil characteristics on the extractability of Cd, Pb and Zn in upland and moorland soils. *Science of the Total Environment*, 366(2-3), pp. 864-75.
- RIVM, 2010. Offerteverzoek Triade Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst.
- Romeiro, S., A.M.M.A. Lagôa, P.R. Furlani, C.A. de Abreu, M.F. de Abreu en N.M. Erismann, 2006. Lead uptake and tolerance of *Ricinus communis* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Vol. 18, pp. 483-489.
- Rutgers, M., C. Mulder, A.J. Schouten, J. Bloem, J.J. Bogte, A.M. Breure, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, J.H. Faber, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G.W. Korhals, F.W. Smeding, C. ten Berg, N. van Eekeren, 2007. Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM-rapport 607604008/2007, Bilthoven.
- Scheuhammer, A. M. en S. L. Norris, 1995. A review of the environmental impacts of lead shotshell ammunition and lead fishing weights in Canada. Occasional Paper Nr. 88, Canadian Wildlife Service.
- SIKB, 2011. Protocol 2005: Veldwerk voor Triade onderzoek op verontreinigde bodems, versie 1.4 (concept).
- Tauw, 2007. Natuuronderzoek de Berkenhorst, toetsing effecten van bovengrondse schietoefeningen en veranderingen van de inrichting op beschermde natuurwaarden, 10 april 2007 kenmerk: R001-4472699NJE-mss-V04-NL.
- Tauw, 2008. Verkennend bodemonderzoek Jacht- en sportschietcentrum Berkenhorst te Elspeet. 1 februari 2008, kenmerk R001-4550280LSM-cmn-V01-NL.
- Tauw, 2010. Actualiserend bodemonderzoek Stakenbergweg 60 te Elspeet. 17 maart 2010, Kenmerk R001-4653213LRG-cmn-V02.
- Tauw, 2011. Aanvullend grondwateronderzoek Stakenbergweg 60 te Elspeet. 28 april 2011, Kenmerk R001-4782724AVO-baw-V01-NL.
- Taylor, K., A.P. Rowland en H.E. Jones, 2001. *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Journal of Ecology*, Vol. 89, pp. 126-144.
- Tsuji, L.J.S., J.D. Karagatzides en E. Nieboer, 1998. Spent Lead Shot and the Environment: A Topical Environmental Education Issue for Schoolchildren, Especially Rural Canadians and Native North Americans. *Canadian Journal of Environmental Education*, 3, pp. 189-212.
- Van der Waarde, J. M. Wagelmans, T. Crommentuijn, M. Hopman, J. de Jonge en M. Rutgers, 2003. Periscoop - Platform ecologische risicobecordeling. SKB-rapport SP-015, Gouda.
- Van Straalen, N.M. en D.A. Krivolutsky, 1996. Bioindicator systems for soil pollution. Kluwer, Dordrecht.
- VROM, 2001. Emissiereductiedoelstellingen prioritair stoffen. Thema verspreiding. Notitie in het kader van NMP4. Ministerie van VROM, 010358/h/06-01-19891/198, Den Haag.
- Vyas, N.B., J.W. Spann, G.H. Heinz, W.N. Beyer, J.A. Jaquette en J.M. Mengelkoch, 2000. Lead poisoning of passerines at a trap and skeet range. *Environmental Pollution*, 107, pp. 159-166.

Yin, X., U.K. Saha en L.Q. Ma, 2010. Effectiveness of best management practices in reducing Pb-bullet weathering in a shooting range in Florida. *Journal of Hazardous Materials*, 179, pp. 895-900.



Bijlage 1 De Triade-methodiek

Bij het nader vaststellen van de risico's voor ecosystemen wordt gekeken naar:

- 1) biodiversiteit (soorten; directe risico's)
- 2) kringloopfuncties (processen; directe risico's)
- 3) bioaccumulatie en doorvergiftiging (indirecte risico's)

In het onderzoek naar de ecologische risico's zal uitgegaan worden van de Triade-methodiek. De kracht van de Triade-benadering is de 'weight-of-evidence approach' (meervoudige bewijsvoering) en het locatiespecifieke karakter. Om die reden is er pas sprake van aantoonbaar ecologisch risico als de resultaten van de chemische analyses, veldinventarisaties en/of bioassays elkaar ondersteunen (zie figuur 1). Bij een Triade worden daarom drie compartimenten onderzocht:

- **Chemie**

De fysisch-chemische component van de Triade beschrijft de fysisch-chemische kwaliteit van de bodem. Door totaalgehalten en biologisch beschikbare gehalten te meten kan bepaald worden of er reden is om aan te nemen dat er risico's zijn voor het ecosysteem. De resultaten uit dit onderdeel van de Triade worden gebruikt om te bepalen of eventuele effecten in de andere twee Triade-onderdelen plausibel zijn aan de hand van de verontreinigingen. Afhankelijk van het type verontreiniging kan ook nog bepaald worden of er een gevaar is voor ophoping in de voedselketen door naar interne verontreinigingsgehalten van organismen te kijken (zie ook onderdeel ecologie).

- **Toxicologie**

Bij dit onderdeel worden in het laboratorium organismen blootgesteld aan (een extract van) de bodem. Onder gecontroleerde omstandigheden wordt met organismen waar veel ervaring mee is bepaald of er negatieve effecten optreden. Hierbij kan zowel naar acute als de gevoeligere chronische effecten worden gekeken.

- **Ecologie**

In het veld wordt bepaald wat de staat van het ecosysteem is op de onderzoekslocatie. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een inventarisatie van de regenwormen en nematoden. Ook kan gekeken worden naar de gehalten in organismen om te bepalen of er risico's voor doorvergiftiging zijn naar hogere organismen zoals bijvoorbeeld wormeters. Er moet bij dit onderdeel wel rekening mee worden gehouden dat ook andere factoren dan verontreinigingen invloed hebben op de aan- of afwezigheid van soorten!

Door alle informatie te combineren en te integreren volgt een beoordeling of de aanwezige verontreiniging toxische effecten kan veroorzaken en of die effecten onder de gegeven locatie-specifieke omstandigheden ook optreden. Op de volgende pagina is dit nader uitgelegd.



Figuur 1. Combinatie van de risicospooren chemie, toxicologie en veldinventarisaties levert de locatiespecifieke informatie op over de ecologische risico's.

Beoordeling

De resultaten uit de diverse testen en analyses worden geschaald weergegeven bij de eindbeoordeling. Dit om het mogelijk te maken om vergelijkingen te trekken. De schaal loopt daarbij van 0 (geen effecten) tot 1 (maximaal effect). Per spoor (chemie, toxicologie en ecologie) worden alle testen voor dat spoor gemiddeld, zo krijgt men per spoor één getal. Dan vindt de laatste integratie stap plaats, het bepalen van de Triade Effectwaarde (TE). Dit is één getal voor de drie sporen, gebaseerd op het rekenkundig gemiddelde. De TE heeft ook een schaalverdeling van 0 (geen waargenomen effecten als gevolg van de verontreiniging) tot 1 (maximale effecten als gevolg van de verontreiniging). Naast deze TE-waarde wordt ook een maat bepaald die aangeeft op de sporen elkaar tegenspreken of niet. Dit is de zogenaamde deviatie (D). Ook de deviatie loopt van 0 tot 1, indien de deviatie hoger is dan 0,4 dan is de tegenspraak zo groot dat er geen uitspraak gedaan kan worden in de eindbeoordeling. Aan de hand van de gegevens uit eerder onderzoek kan dan een TE-contour worden ingetekend¹⁴. Als de contour een bepaald oppervlakte overschrijdt, wordt gesproken van onaanvaardbare risico's. Dit is hieronder kort beschreven.

De eindbeoordeling is een combinatie van drie aspecten:

1. De hoogte van de Triade Effect-waarde (TE) (incl. de deviatie D): deze is hierboven uitgelegd. In de Handreiking is onderscheid gemaakt tussen een laag criterium (TE > 0,25) en een hoog criterium (TE > 0,75).
2. Het gebiedstype: dit is de functie of bestemming die het gebied heeft.
3. Het oppervlaktecriterium: bij overschrijding van het lage TE-criterium mag een groter oppervlak verontreinigd zijn dan bij overschrijding van het hoge TE-criterium. Wanneer het verontreinigde oppervlak het oppervlak behorende bij het bewuste TE-criterium overschrijdt, dan is sprake van een onaanvaardbaar risico.

In onderstaande tabel zijn de criteria samengevat

Tabel B1.1 Besliscriteria Ecologische risico's: wanneer de onbedekte bodemverontreiniging het oppervlaktecriterium behorende bij de bewuste TE-waarde overschrijdt, dan is sprake van een onaanvaardbaar ecologisch risico.

Gebiedstype	Oppervlakte onbedekte bodemverontreiniging: laag criterium (Triade Effect-waarde > 0,25 [D<0,4])	Oppervlakte onbedekte bodemverontreiniging: hoog criterium (Triade Effect-waarde > 0,75 [D<0,4])
Natuur incl. gebieden behorende tot de EHS	500 m ²	50 m ²
Groen met natuurwaarden	5.000 m ²	500 m ²
Landbouw		
Wonen met tuin		
Moestuinen/volkstuinen		
Ander groen	50.000 m ²	5.000 m ²
Bebouwing		
Industrie		
Infrastructuur		

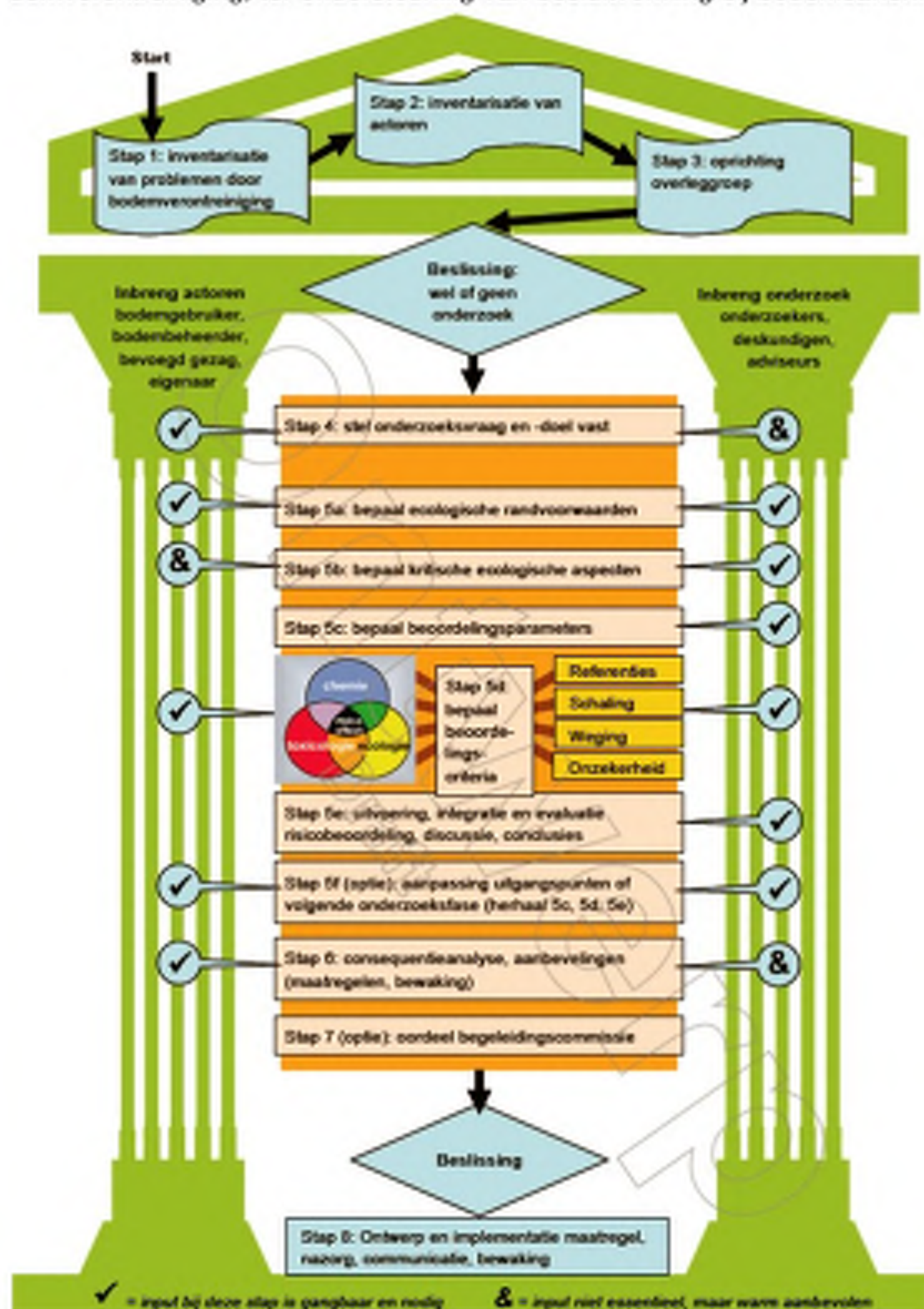
(naar: Mesman et al., 2011)

¹⁴ De TE-waarde kan teruggerekend worden naar een Toxische druk (TD). Op basis van de gegevens uit onderzoek waarin de ruimtelijke verspreiding van de verontreiniging bekend is geworden (bijv. Nader onderzoek), kan de toxische druk bepaald worden. Wanneer de berekende TD gerelateerd wordt aan de Triade Effectwaarde, kan een zgn. TE-contour worden bepaald.

NEN 5737 Proces locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging

De werkgroep 'Biologische methoden' heeft een procesnorm gepubliceerd voor ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging. De norm beschrijft de processtappen van ecotoxicologisch onderzoek (Triade). De norm richt zich primair op het onderzoeksproces. De kritieke stappen van het onderzoek worden beschreven. Voor elke kritieke stap worden vervolgens richtlijnen gegeven zodat de kwaliteit van het onderzoek gewaarborgd wordt. Bij deze kritieke stappen kan gedacht worden aan het formuleren van de onderzoeksvraag, het vaststellen welke onderzoekstechnieken toegepast moeten worden en de wijze waarop de resultaten gepresenteerd moeten worden. De kritieke stappen vormen de basis voor het goed uitvoeren van het Triade-onderzoek. De norm beschrijft geen specifieke onderzoeksmethoden. In onderstaand schema (opgenomen in de norm) wordt aangegeven welke kritieke stappen genomen en vragen beantwoord dienen te worden.

Schema van te doorlopen stappen voor locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging, ter ondersteuning van besluitvorming bij bodemsanering of -beheer



Bijlage 2 Reactie op opmerkingen en vragen van aangeschreven partijen

Inleiding

Op het terrein van Jachtschietcentrum Berkenhorst in Elspeet zijn delen van het terrein verontreinigd met lood, PAK en plaatselijk minerale olie. Op basis van stap 2 uit de Circulaire bodemsanering (standaardrisicobeoordeling met Sanscrit) blijkt dat er sprake is van ecologische risico's door deze verontreinigingssituatie. Door conform de Circulaire bodemsanering in stap 3 een Triade uit te voeren kan bepaald worden wat de daadwerkelijke, locatiespecifieke ecologische risico's zijn op het terrein.

Samenstelling Projectgroep

Binnen het onderzoek zijn verschillende partijen betrokken. De projectgroep bestaat uit vertegenwoordigers van:

1. Eigenaar / beheerder van de onderzoekslocatie: Gemeente Nunspeet en vereniging Nationaal Jachtschietcentrum Berkenhorst – dit zijn tevens de opdrachtgevers
2. Bevoegd gezag: Provincie Gelderland – het bevoegd gezag bepaalt vanaf welke grenzen ecologische risico's onaanvaardbaar zijn. Daarnaast bepaalt zij of het onderzoek kwalitatief voldoende is uitgevoerd om een beschikking op af te geven.
3. Kwaliteitsbewaking / adviseur bevoegd gezag: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) – het RIVM staat het bevoegd gezag inhoudelijk bij met het maken van afwegingen en keuzes binnen dit specialistische onderzoek. Daarnaast kunnen ze het bevoegd gezag informeren of het onderzoek kwalitatief voldoende uit is/wordt gevoerd.
4. Opdrachtnemer: Grontmij Nederland B.V. – Specialisten van Grontmij zijn door de opdrachtgever ingehuurd om het onderzoek uit te voeren.

Procesgang

Het Triade-onderzoek is net als een standaard bodemonderzoek een onderdeel van een groter proces dat hoort bij de aanpak van een geval van ernstige bodemverontreiniging. De projectgroep bespreekt op welke manier het onderzoek uitgevoerd zal worden en tijdens het onderzoek is er afstemming over het verloop. Omdat een Triade-onderzoek minder bekend is dan het standaard bodemonderzoek is het plan van aanpak ook opgestuurd naar organisaties en omwonenden die in procedures n.a.v. eerdere onderzoeken op de Berkenhorst betrokken zijn (gewest). Op deze manier kunnen eventuele onduidelijkheden in het plan van aanpak opgehelderd en vragen beantwoord worden. Ook laat dit de mogelijkheid open om in de startfase van het onderzoek nog aanpassingen te doen naar aanleiding van de reacties van de aangeschreven partijen.

Er volgt nog een formele inspraakprocedure bij het in behandeling nemen van een saneringsaanpak (waaraan het Triade-onderzoek een bijdrage zal leveren). Belanghebbenden krijgen dan nog ruimschoots de gelegenheid om formeel te reageren via zienswijzen.

De reacties van de benaderde partijen kunnen verdeeld worden in drie categorieën:

1. Inhoudelijke vragen over het principe van de Triade.
2. Inhoudelijke vragen en opmerkingen over (keuzes binnen) het plan van aanpak van het Triade-onderzoek op en nabij het terrein van de Berkenhorst.
3. Meninge over hoe met bodemverontreiniging in het algemeen en specifiek op het terrein van de Berkenhorst om dient te worden gegaan en zaken die buiten de Wet bodembescherming (Wbb) vallen.

De vragen en opmerkingen zijn inhoudelijk behandeld door het RIVM, bevoegd gezag en Grontmij. In dit document wordt ingegaan op de vragen over het principe van de Triade en op vragen en opmerkingen over het plan van aanpak. De aanpak van de bodemverontreiniging op het terrein van de Berkenhorst wordt uitgevoerd binnen de grenzen van de bestaande regelgeving met betrekking tot bodemverontreiniging (Wet bodembescherming). Hieronder valt onder andere het functiegericht saneren, waarbij het niet uitgesloten is dat restverontreinigingen (mo-

gen) achterblijven indien het (het ecologisch functioneren behorende bij) de huidige functie van de locatie niet beperkt of als de saneringsmaatregel niet meer sober en doelmatig is. Dit beleid en de Triade-methodiek zoals beschreven in de Handreiking Triade 2011 staan niet ter discussie binnen dit onderzoek. Daarom wordt de laatste categorie niet behandeld.

De aangeschreven partijen zullen op de hoogte worden gehouden van het onderzoek. Indien noodzakelijk komt er een informatieavond voor omwonenden en andere geïnteresseerden om de uitkomsten van het onderzoek toe te lichten. De resultaten van de Triade zullen – samen met de resultaten van eerdere bodemonderzoeken – gebruikt worden om een saneringsplan op te stellen. Dit saneringsplan komt ter inzage voor alle geïnteresseerden en hierop kan gereageerd worden.

Samenvatting aanpassingen aan Plan van Aanpak n.a.v. reacties

Naar aanleiding van de reacties van de aangeschreven partijen zijn een aantal aanpassingen gedaan aan het oorspronkelijke plan van aanpak. De belangrijkste aanpassingen zijn hieronder opgesomd. In de volgende hoofdstukken worden deze zaken nog nader toegelicht:

1. Extra chemische analyse: meten van potentieel beschikbare fractie lood.
2. Risico-inschatting van verontreinigingen op bodem voor grotere diersoorten.
3. Extra monsterlocatie: bosgedeelte buiten het hek extra onderzocht.
4. Bioaccumulatie: Verzamelen van zowel wortels als bladmateriaal tijdens veldwerk (mogelijk voor fase 2).

Principe van de Triade

Het principe van de Triade wordt hieronder uitgelegd. Hierin is meer achtergrondinformatie opgenomen dan in het plan van aanpak. Dit zou het grootste deel van de vragen moeten beantwoorden en opmerkingen ondervangen.



Triade-onderzoek bij bodemverontreiniging¹⁵

De Triade is een onderzoeksmethode die gebruikt wordt om inzicht te krijgen over de risico's voor de bodemecologie als gevolg van de aanwezige bodemverontreiniging.

De Triade is gebaseerd op drie sporen van bewijsvoering waarmee wordt aangetoond dat de aanwezige bodemverontreiniging ook daadwerkelijk ecologische risico's veroorzaken. De sporen waar naar gekeken worden

zijn: chemie, toxicologie en ecologie. Ieder spoor heeft zijn onzekerheden maar door de informatie van de drie sporen te bundelen worden deze onzekerheden verminderd. Is er tegenspraak in de sporen, dan zal dat zichtbaar zijn bij de eindbeoordeling en kan er geen conclusie getrokken worden. Op dat moment kan besloten worden tot een volgende fase van het Triade onderzoek, zodat uitgezocht wordt waar die tegenspraak vandaan komt.

Spoor Chemie:



Op de locatie, waar het onderzoek plaatsvindt, worden bodemonsters genomen en daarin worden gehalten aan verontreinigende stoffen gemeten. De concentraties worden vergeleken met gegevens uit de literatuur over effecten van de stoffen voor verschillende bodemorganismen (regenwormen, pissebedden) of bodemprocessen (afbraak van stoffen). Hierbij wordt niet per stof gekeken, maar worden alle stoffen meegenomen die mogelijk effecten veroorzaken. Stoffen waarvan de gehalten te laag zijn om voor effecten te zorgen, blijven buiten beschouwing.

Een belangrijk aspect bij het spoor Chemie is te kijken of de aanwezige verontreinigde stoffen ook wel beschikbaar zijn voor de bodemorganismen en of deze ook worden opgenomen (bioaccumulatie).

Beschikbaarheid

¹⁵ Referentie: Mesman, M., A.J. Schouten, M. Rutgers. 2011. Handreiking Triade 2011. Locatiespecifiek ecologisch onderzoek in stap 3 van het Saneringscriterium. RIVM rapport 607711003. RIVM, Bilthoven.

Het meten van een stof in de bodem kan op diverse manieren plaatsvinden. Standaard wordt gemeten wat er maximaal in de bodem aanwezig is, de totale concentratie¹⁶. Deze gehalten geven echter niet aan wat beschikbaar is voor de bodemecologie. Sommige stoffen in de bodem gaan chemische reacties aan met onderdelen van de bodem, ze binden aan kleideeltjes of vormen complexen met andere stoffen (zouten, humus). Stoffen die gebonden zijn, zijn dan minder beschikbaar waardoor organismen in de bodem ook minder blootgesteld worden. In Triade onderzoek worden metingen worden gedaan om te bepalen welke gehalten van een stof biologisch beschikbaar zijn. Hier zijn verschillende meetmethoden voor beschikbaar, afhankelijk van de stof worden deze toegepast.

Bioaccumulatie

Het is mogelijk om nog gedetailleerder te kijken naar de blootstelling van organismen aan stoffen. Dit wordt gedaan door te meten wat de gehalten van stoffen zijn in het organisme zelf. Organismen die op een locatie leven waar stoffen verhoogd aanwezig zijn en die ook nog biologisch beschikbaar zijn, zullen meer van die stoffen in hun lichaam hebben (bioaccumulatie). Deze informatie is belangrijk voor het organisme zelf, maar ook voor de organismen hoger in de voedselketen. Hun voedsel kan hierdoor verhoogde concentraties aan stoffen bevatten en zo zorgen voor effecten bij hen (doorvergiftiging).

Spoor Toxicologie



In het tweede spoor, Toxicologie, worden de verzamelde bodemonsters gebruikt voor het uitvoeren van testen in het laboratorium. Onder standaard condities (temperatuur, vochtgehalte, licht, etc.) worden planten of dieren blootgesteld aan de bodemonsters. Na een bepaalde periode (dit varieert per organisme van uren tot weken) wordt bekeken wat de effecten zijn voor deze planten of dieren. Effecten kunnen voorkomen op het gebied van sterfte of groei, maar ook het aantal nakomelingen of remmingen in bepaalde processen. Dit spoor levert informatie over de werkelijke effecten van de bodemonsters op bepaalde planten of dieren.

Spoor Ecologie



Het derde spoor, Ecologie, richt zich op de effecten in het veld. Wat is waar te nemen in het veld. Zijn bepaalde organismen afwezig of in veel lagere aantallen aanwezig vergeleken met een locatie waar geen verontreiniging voorkomt. Deze waarnemingen vinden voor een deel in het veld plaats, maar ook voor een deel in het laboratorium. In het laatste geval worden bodemonsters meegenomen naar het lab. Daar worden bijvoorbeeld soorten op naam gebracht (regenwormen) en krijgt men inzicht in populatiesamenstellingen (nematoden ofwel aaltjes). Ook wordt hierbij gekeken naar ecologische processen zoals afbraaksnelheid van stoffen of mineralisatie. Het ecologie spoor geeft informatie over de waargenomen effecten op het ecosysteem op de locatie.

Andere belangrijke keuzeaspecten bij Triade-onderzoek

Organisme

De keuze van het te onderzoeken organisme bij het ecologie spoor hangt van diverse factoren af. Eén van die factoren is in hoeverre de plant of het dier blootgesteld wordt aan de verontreiniging. Voor planten geldt dat zij zich niet of nauwelijks kunnen verplaatsen, bij dieren ligt dit uiteraard anders. Bijvoorbeeld als de te onderzoeken locatie relatief klein is en het verspreidingsgebied van het dier relatief groot. Dan wordt het lastig om de effecten die gemeten of waargenomen zijn bij deze dieren nog redelijkerwijs te koppelen aan de verontreinigde locatie. Het dier brengt mogelijk maar een klein deel van zijn tijd daar door en wordt misschien op andere locaties blootgesteld aan andere stressfactoren. Daarom worden alleen bij zeer grote locaties (vele hectaren) onderzoeken naar grotere/hogere organismen gedaan. Een voorbeeld hiervan is een grutto onderzoek in de Krimpenerwaard bij een gebied van 12.000 hectare met 5000 verontreinigde gedempte sloten.

¹⁶ Bij het bepalen van de totale concentratie wordt het bodemonster geschud met sterke zuren zodat de aanwezige stoffen volledig in oplossing gaan.

Bij kleinere locaties zal de focus daarom in de eerste instantie meer gericht zijn op bodemorganismen die een beperkt verspreidingsgebied hebben, zoals nematoden en regenwormen of planten.

Referentielocatie

Een belangrijk onderdeel van het Triade onderzoek is het vinden van een geschikte referentielocatie. Dit is namelijk nodig om een vergelijking te kunnen maken tussen de waarnemingen en effecten op verontreinigde en schone locatie. Die vergelijking is nodig om effecten door andere oorzaken dan de verontreiniging zoveel mogelijk uit te sluiten. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat uit metingen blijkt dat de bodemecologie minder actief is maar dat dit veroorzaakt wordt door gebiedsfactoren (bijvoorbeeld arme en droge zandgrond) en niet door de aanwezige verontreiniging.

In een ideale situatie is een referentielocatie volledig gelijk aan de verontreinigde locatie (bodemtype, bodemprofiel, pH, type begroeiing, etc.), behalve de aanwezige verontreiniging. De praktijk is vaak weerbarstiger. Soms lukt het niet om een locatie te vinden, waar helemaal geen verontreinigingen aanwezig zijn. Dan wordt een locatie genomen waar de concentraties zo laag mogelijk zijn. Daarnaast zal als er sprake is van verschillende soorten begroeiing (vegetatietypen), gezocht moeten worden naar verschillende referentielocaties. Bijvoorbeeld bij een locatie waar zowel bos als heide aanwezig is. De monsters genomen in het bos, worden dan vergeleken met de referentie voor het bos en de monsters genomen op de heide worden vergeleken met de referentielocatie op heide.



Eindbeoordeling

De resultaten uit de diverse testen en analyses worden geschaald weergegeven bij de eindbeoordeling. Dit om het mogelijk te maken om vergelijkingen te trekken. De schaal loopt daarbij van 0 (geen effecten) tot 1 (maximaal effect). Per spoor (chemie, toxicologie en ecologie) worden alle testen voor dat spoor gemiddeld, zo krijgt men per spoor één getal. Dan vindt de laatste integratie stap plaats, het bepalen van de Triade Effectwaarde (TE).

Dit is één getal voor de drie sporen, gebaseerd op het rekenkundig gemiddelde. De TE heeft ook een schaalverdeling van 0 (geen waargenomen effecten als gevolg van de verontreiniging) tot 1 (maximale effecten als gevolg van de verontreiniging). Naast deze TE-waarde wordt ook een maat bepaald die aangeeft op de sporen elkaar tegenspreken of niet, de deviatie. Ook de deviatie loopt van 0 tot 1, indien de deviatie hoger is dan 0,4 dan is de tegenspraak zo groot dat er geen uitspraak gedaan kan worden in de eindbeoordeling. In de tabel hieronder is een dergelijke eindbeoordeling weer gegeven. Zone A was de referentielocatie en zone B en zone C waren verontreinigd met zware metalen. Afhankelijk van het verontreinigde oppervlak in combinatie met de TE-waarde kan worden bepaald of een risico wel of niet onaanvaardbaar is.

Triade	Parameter	zone A	zone B	zone C
Chemie	TD Totaalconcentratie	0,00	0,46	0,72
	TD Beschikbare concentratie	0,00	0,48	0,79
	Risico	0,00	0,47	0,76
Toxicologie	Microtoets	0,36	0,48	0,62
	PAM-algenoets	0,00	0,00	0,00
	Kerning sla	0,00	0,05	0,33
Risico	0,14	0,21	0,30	
Ecologie	Biog	0,00	0,35	0,44
	PCT	0,00	0,47	0,71
	Microbiologie	0,00	0,25	0,422
	Nematoden	0,00	0,15	0,32
	Reuzenwormen	0,00	0,00	0,00
	Wormen	0,00	0,15	0,236
Risico	0,00	0,24	0,50	
Oordeel chemie:		0,30	0,47	0,76
Oordeel toxicologie:		0,14	0,21	0,30
Oordeel ecologie:		0,00	0,24	0,50
Triade Effectwaarde		0,05	0,32	0,58
Deviatie		0,14	0,24	0,63

Tabel B2.1. Eindbeoordeling van een Triade-onderzoek.

Plan van aanpak Berkenhorst

De opmerkingen en vragen over het plan van aanpak hadden betrekking op een aantal zaken. Kortweg kunnen deze in twee punten worden samengevat:

1. Verontreinigingssituatie:
 - a. Functie/bestemming van de onderzoekslocatie (binnen en buiten het hek) en bijbehorende beoordelingscriteria
 - b. Begrenzing onderzoekslocatie
 - c. Grondwater
 - d. Invloed van huidige activiteiten

2. Omvang van het onderzoek:
 - a. Kwantitatief: Keuze voor (aantal) monsterlocaties, bemonsteringsmoment, bemonsteringsdiepte.
 - b. Kwalitatief: Keuze voor monster(voor)behandeling, chemische analyses, bioassays (testen met organismen in een laboratoriumomgeving), ecologische onderdelen en fasering.

Deze punten worden hier behandeld.

Verontreinigingssituatie

Functie/bestemming van onderzoekslocatie

Zowel het gebied binnen als buiten het omheinde deel van de Berkenhorst wordt onderzocht. Bij de functie van de onderzoekslocatie wordt aangesloten bij de functie zoals opgenomen in de eerdere onderzoeken en beschikking(en). Dat betekent dat het gebied binnen het hek beoordeeld zal worden als industrie/ander groen en het deel buiten het hek als natuur. Dit komt overeen met de huidige bestemmingen van de onderzoekslocatie. Op het afgesloten terreindeel vinden dusdanige activiteiten plaats (of hebben plaatsgevonden) – o.a. ondergrondse en bovengronds schietactiviteiten, aanleg ondergrondse schietbanen en onderhoud kogelvangs, bewerking van de bovengrond (schoonslepen) – dat de functie natuur hier niet bij past. Bij de beoordeling wordt aangesloten bij de risicogrenzen uit de Handreiking Triade 2011 die voor deze twee gebiedstypen / functies horen (zie ook hoofdstuk 2 van deze notitie en tabel B2.2 in Bijlage 1 van de Triade Handreiking 2011). Hierbij wordt een koppeling gemaakt tussen de gevonden effectwaarden (TE-waarden tussen 0 en 1), de toxische druk, het verontreinigd oppervlak en de functie of categorie waar het terrein in valt. In het rapport zal een doorkijk worden gegeven naar de consequenties wanneer voor het gebied binnen het hek de functie groen met natuurwaarden zou gelden.

Begrenzing onderzoekslocatie

De gevals grenzen in de beschikking worden aangehouden: dit is zowel het deel binnen als buiten het hek van Berkenhorst. Het is belangrijk om te beseffen dat een Triade niet is bedoeld om de ruimtelijke spreiding van een verontreiniging in kaart te krijgen, maar om de locatiespecifieke ecologische risico's van een verontreiniging in beeld te krijgen. Resultaten uit het nader bodemonderzoek worden dan gebruikt om de locatiespecifieke risico's over de ruimte inzichtelijk te maken.

Grondwater

In stap 2 van de Circulaire bodemsanering (Wbb) worden drie standaard risicobeoordelingen uitgevoerd:

- Humane risico's
- Ecologische risico's
- Verspreidingsrisico's

Het Triade-onderzoek richt zich op de ecologische risico's. Verspreidingsrisico's richten zich op de risico's veroorzaakt door de mobiliteit van de verontreiniging. Hierbij wordt gekeken naar verspreiding van de bodemverontreiniging naar het grondwater. Grondwateronderzoek is en wordt momenteel uitgevoerd en er is daarbij geen grondwaterverontreiniging aangetroffen, ondanks dat de schietbaan al meer dan 60 jaar geleden in gebruik is genomen. Dit is een aanwij-

zing dat de verontreiniging niet erg mobiel is en dat het verspreidingsrisico naar het grondwater daarmee beperkt is. De onverontreinigde status van het grondwater in combinatie met de relatief grote diepte waarop het (schijn)grondwater zich bevindt (resp. 3 à 5 m-mv en 10-20 m-mv), is de reden om dit onderdeel niet in de Triade te betrekken.

Invloed van huidige activiteiten

De activiteiten en/of materialen die voor de verontreiniging hebben gezorgd, worden niet meer gebruikt op de onderzoekslocatie. Zo is bijvoorbeeld het gebruik van loodhagel verboden en worden kleiduiven gebruikt die vrijwel vrij van PAKs zijn. Herverontreiniging of verergering van de verontreinigingssituatie zijn daarmee niet aan de orde. De risico's van nalevering van bijv. lood naar de bodem door verwerken van loodhagel krijgt met een extra beschikbaarheidsanalyse aandacht. Daarnaast zijn in de afgelopen jaren veel analyses uitgevoerd op grondmonsters afkomstig van de Berkenhorst. Dit geeft ook informatie wat er in de loop der jaren beschikbaar is gekomen uit de loodhagel. Hieruit is een verwachting naar de ontwikkeling van de verontreinigingsgehalten in de bodem in de toekomst te voorspellen. Hierbij zal de expertise van het RIVM ook een belangrijke rol spelen.

Omvang van het onderzoek

Kwantitatief

Aantal monsterlocaties

Het terrein dat onderzocht wordt, bevindt zich zowel binnen als buiten het hek van de Berkenhorst. Omdat het grootste deel van de verontreiniging zich binnen het hek bevindt, is de belangrijkste focus ook op dit gebied. Zoals in het oorspronkelijke plan van aanpak voorzien, worden hier zeven monsters genomen: twee monsters in de kogelvangens, drie monsters in het gras en voor beide ook een referentie. Buiten het hek zouden drie monsters genomen worden in het oorspronkelijke plan van aanpak. Om meer informatie te verzamelen, is besloten om hier één extra monster te nemen. Dit zal gedaan worden in vak 14: een locatie die zich qua verontreinigingssituatie tussen de referentielocatie (vak 17) en vak 12 bevindt. Hiermee komt de het uiteindelijke aantal monsters uit op 11. Bij de ruigte (kogelvangens) is gekozen om de kogelvangens bij baan 4 (W3voor) te bemonsteren. Dit is gedaan om een evenwichtiger verdeling van de verontreinigingsgradiënt (oplopende concentratiereeks van verontreinigingen) te krijgen. Deze locatie bevindt zich wat betreft verontreinigingssituatie tussen locatie W1 en 'baan 5 – vak 9'. De vervallen locatie (W2) ligt wat betreft toxische druk dusdanig dicht bij W1 (Toxische druk van resp. 99,8% en 99,1%), dat beide locaties onderzoeken weinig extra informatie op zou leveren. In onderstaande tabel zijn de gegevens uit het rapport van Tauw (2010) over de geselecteerde locaties opgenomen.

Tabel B2.2 Monsterlocaties, inclusief verwachte lood-, PAK- en minerale oliegehalten en bodemeigenschappen als in Tauw (2010)

Vegetatietype	Locatie (incl. codering Tauw, 2010)	Organische stof (%)	lutum (%)	lood (mg/kg ds)	PAK 10 VROM (mg/kg ds)	Minerale olie (mg/kg ds)
Gras (schietbaan)	Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	-	-	-	-	-
	Gras baan 3 (vak 2)	3,9	1,1	85	390	480
	Gras baan 4 (vak 6)	3,8	3,4	70	130	310
	Gras baan 5 (vak 9)	3,8	3,4	590	800	800
Bos (buiten het hek)	Bos referentie - buiten hek (vak 17)	7	1	<13	0,012	31
	Bos - buiten hek (vak 12)	3,7	4,3	1900	0,099	30
	Bos - buiten hek (vak 14)	3,7	4,3	730	0,094	<20
	Bos - buiten hek (vak 18)	4,9	1,3	7400	0,14	<20
Ruigte (kogelvangens)	Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	3,8	3,4	110	3,6	51
	Ruigte Kogelvangens baan 4 (W3voor)	1	2	1300	840	1200
	Ruigte Kogelvangens baan 5 (W1)	1	13	17000	1200	3300

Het is belangrijk om te beseffen dat monsterpunten van een Triadeonderzoek, in tegenstelling tot de monsterpunten in het actualiserend bodemonderzoek, niet geselecteerd met als doel de ruimtelijke omvang van de verontreiniging te bepalen. Om interpretatie van de resultaten van het Triadeonderzoek in de ruimtelijke context mogelijk te maken, is daarom een koppeling met ruimtedekkende en correlerende gegevens noodzakelijk (standaard bodemonderzoeken, zoals het actualiserend onderzoek van Tauw). Het geval is geschikt omdat de verontreinigingssituatie voldoende in beeld is gebracht. Vanuit deze gegevens kunnen de risicogetallen die uit een Triade naar voren komen, gebruikt worden om de risico's te kunnen duiden op niet onderzochte delen van het terrein met vergelijkbare eigenschappen.

Bemonsteringsmoment (en referentielocaties)

In deze Triade is gekozen voor een enkel bemonsteringsmoment. Daarmee is het een momentopname, maar wel een momentopname die voor zowel de referentielocaties als de verontreinigde locaties geldt. Eventuele omstandigheden die van invloed zijn op de verontreinigde locaties (anders dan de verontreinigingen) zijn dat ook op de referentielocaties. De monsternamen worden namelijk op dezelfde dag uitgevoerd. Hierdoor blijven de monsters onderling dus goed vergelijkbaar. De keuze voor een referentielocatie is daarmee belangrijk. Een niet of weinig verontreinigde locatie met vergelijkbare vegetatie op of nabij het terrein is ideaal, omdat de omstandigheden – anders dan verontreiniging – daar gelijk zijn aan de omstandigheden in het verontreinigde terreindeel¹⁷. Door in de Triade naar organismen te kijken die weinig mobiel zijn (o.a. adulte nematoden, planten) kan een vergelijking worden gemaakt tussen de samenstelling of opname van verontreinigingen in een onverontreinigd en een verontreinigd terreindeel, ook wanneer deze relatief dicht bij elkaar liggen. De mate van afwijking is een maat voor de ernst van de verontreiniging. Door deze werkwijze wordt aangesloten bij de Handreiking Triade 2011 van het RIVM.

Ook waren er vragen over de risico's van de verontreinigingen over verloop van tijd, door bijvoorbeeld verweering van de loodhagel. Hierop wordt bij de chemische analyses nog verder ingegaan.

Diepte van monsternamen

Eén van de vragen was waarom er maar tot een diepte van 25 cm-mv wordt bemonsterd. Hiervoor is gekozen, omdat m.n. in zandige bodems de belangrijkste en meeste bodembioïologische activiteit tot ca. 25 cm-mv aanwezig is. Dit is ook de bodemlaag waarin de sterkste verontreinigingen voorkomen over het grootste deel van het gebied (Tauw, 2010). De verontreiniging lijkt relatief immobiel, gezien het feit dat de activiteiten die tot de verontreiniging hebben geleid ca. 60 jaar geleden gestart zijn. Desondanks zal er wel aandacht besteed worden aan de eventuele risico's van verspreiding naar de diepere bodemlagen door middel van een potentiële beschikbaarheidsanalyse.

Een andere reden om niet dieper te bemonsteren is dat dit als negatief effect heeft dat er 'verdunning' kan optreden: door tot 0,5 m-mv te bemonsteren zal de bodemlaag met de meeste bodembioïologische activiteit minder sterk naar voren komen. Hierdoor zullen eventuele verschillen tussen referentielocaties en verontreinigde locaties minder duidelijk zijn, in ieder geval vanuit de veldsituatie geredeneerd.

Kwalitatief

Monsterneming en (voor)behandeling

Bij het veldwerk wordt de bodem bemonsterd en verzameld voor verdere analyses. Dat betekent dat de strooisellaag niet meegenomen zal worden. Het eventuele deel dat als humus al onderdeel van de bodem uitmaakt wordt wel meegenomen bij de bemonstering. De activiteiten die voor de verontreiniging gezorgd hebben zijn al enige tijd gestaakt: de verwachting is daarom

¹⁷ Om deze reden wordt niet naar een referentielocatie in of nabij de voormalige beekloop op de onderzoekslocatie gezocht. Naast dat omstandigheden en bodemtype waarschijnlijk onvoldoende overeenkomen met de verontreinigde locaties, is er ook sprake van natuurlijk verhoogde arseengehalten op deze plekken.

dat de verontreiniging zich grotendeels in en op de bodem bevindt en niet in of op de strooisellaag. Het meebemonsteren van de strooisellaag is daarmee ook niet zinvol.

De monsters voor de chemische analyses zullen eerst gezeefd worden. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat hagel in de vorm van metallisch lood en PAKs in (grotere) kleiduifragmenten meegenomen worden. De vraag die hieruit voortkwam bij de aangeschreven partijen was of er dan geen onderschatting is van de verontreinigingsgehalten in de bodem. Door de insteek van een Triade is dit niet het geval. Een overschatting van het Triadespoor chemie door het meenemen van lood en PAKs in voor bodemorganismen niet beschikbare vorm kan leiden tot een scheve verdeling van de eindresultaten, waardoor eventuele effecten minder goed geïnterpreteerd zouden kunnen worden. Het onderdeel waarbij de risico's van het metallisch loodhagel wordt apart behandeld. De gegevens die in de loop van jaren zijn verzameld over de verontreinigingssituatie geven daarnaast ook informatie over de hoeveelheid lood en PAKs die in de loop der jaren vrij is gekomen. In combinatie met resultaten uit de potentiële beschikbaarheidsanalyses (zie hieronder) kan in samenwerking met specialisten van het RIVM een inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid verontreiniging die vrij kan komen op termijn.

Waar in het oorspronkelijke plan van aanpak het bemonsteren van bovengrondse delen (blad, stengel) van een plantensoort(groep) was voorzien, zullen nu ook de ondergrondse delen (wortels) bemonsterd worden. In een eventuele vervolgfase kan dan nog bepaald worden welke delen van de plant geanalyseerd moeten worden.

Chemische analyses

Er wordt een aantal (specialistische) chemische analyses gedaan per monsterpunt. Zo worden totaalgehalten van PAK, minerale olie, lood en 7 extra metalen en EOX gemeten¹⁸. Daarnaast wordt het biologisch veel relevantere beschikbare gehalte gemeten. Naar aanleiding van de vragen en opmerkingen is besloten om naast het **actueel** beschikbare gehalte ook het **potentieel** beschikbare gehalte van lood te meten op alle monsterpunten. Dit is de fractie lood in de bodem die op termijn maximaal vrij zou kunnen komen (het reactieve deel) en die beschikbaar is voor (bodem)organismen die verontreinigde grond binnenkrijgen. Vanuit het RIVM zal ondersteuning zijn om vanuit hun expertise een risicogetal aan de potentieel beschikbare gehalten te geven. De actueel beschikbare fractie lood zal nog steeds gemeten worden: dit is het deel dat daadwerkelijk beschikbaar is op dit moment (aanwezig in poriewater in de bodem) en daarmee opgenomen kan worden door planten en organismen die in het poriewater van de bodem voorkomen. Het beschikbare PAK-gehalte wordt ook gemeten.

Daarnaast zal rekening gehouden worden met de mogelijkheid van nalevering van verontreinigingen uit loodhagel op de bodem. Een goede indicator hiervoor is in hoeverre de verontreinigingssituatie zich in de afgelopen jaren ontwikkeld heeft (bijv. gehalten en diepte). Door gegevens van eerdere onderzoeken te vergelijken met recente gegevens, kan een inschatting gemaakt worden wat er in de toekomst aan nalevering van verontreinigingen verwacht kan worden. Dit zal waar mogelijk gecombineerd worden met de potentiële beschikbaarheidsgehalten voor lood. Voor PAKs geldt dat over tijd chemische en biologische afbraakprocessen voor afnemende gehalten zullen zorgen en dat PAKs minder beschikbaar komen. Dit geldt ook voor de minerale olie-verontreiniging (zeer lokaal).

Omdat de pH van invloed is op de beschikbaarheid van lood in de bodem, zal deze bodemeigenschap ook gemeten worden.

Een andere vraag was of de minerale olie-verontreiniging ook meegenomen wordt. Dit is het geval. Hieronder worden met betrekking tot de minerale olie-verontreinigingen nog een aantal zaken verduidelijkt.

Het oppervlak dat met minerale olie verontreinigd is, is beperkt. De focus van het onderzoek ligt daarom op lood en PAKs. Minerale olie wordt echter wel meegenomen in de beoordeling, omdat ook monsters worden genomen op locaties met een sterke minerale olie-verontreiniging. Het

¹⁸ Door de extra stoffen te betrekken in toxische drukberekeningen zal de toxische druk nooit lager uitvallen dan wanneer deze stoffen niet meegenomen worden.

ecologie- en toxicologiespoor zullen dus blootgesteld worden aan de olieverontreiniging. Ook in de chemie wordt minerale olie bepaald. Bij berekening van de toxische druk kan minerale olie helaas (nog) niet meegenomen worden, omdat er geen (betrouwbare) toxiciteitscurves afgeleid konden worden voor deze stof (minerale olie een vaak divers mengsel van verschillende petroleumkoolwaterstoffen). Dit heeft als mogelijk effect in de beoordeling dat deze iets strenger kan worden: in de toxische druk is minerale olie niet verwerkt, maar in de sporen toxicologie en ecologie telt een eventueel effect wel mee. Het oplossend vermogen wordt ondervangen door ook de beschikbaarheid van lood en PAKs te onderzoeken.

Bioassays: laboratoriumtesten met organismen

In het onderzoek worden naast verontreinigde locaties ook referentielocaties bemonsterd én onderzocht. In het laboratorium worden de testorganismen zowel aan de verontreinigde als de referentiemonsters blootgesteld. Daarnaast loopt ook een controle op het lab mee om te bepalen of de testorganismen wel in de juiste conditie zijn. De effecten op de testorganismen van de verontreinigde monsters worden vergeleken met de effecten in de referentiemonsters. Aan de hand hiervan wordt de effectmaat bepaald (zie hoofdstuk 2).

Ecologische onderdelen

Bij de ecologische onderdelen is de eerste focus op de risico's van de verontreiniging voor het bodemecosysteem. Hierbij wordt onderzoek gedaan naar de samenstelling van een wereldwijd voorkomende soortgroep: nematoden – ook wel bekend als aaltjes. Nematoden komen vrijwel overal voor. Dichtheden kunnen wel verschillen tussen gebieden en door seizoenen. Er is geen reden om aan te nemen dat er geen representatieve nematodengemeenschap aangetroffen zal worden. Nematoden in de bodem zijn weinig mobiel. Dit heeft als voordeel dat een gemeenschap op een verontreinigde locatie wat zegt over die specifieke locatie, terwijl een onverontreinigd terreindeel verderop weer zijn eigen gemeenschapssamenstelling heeft.

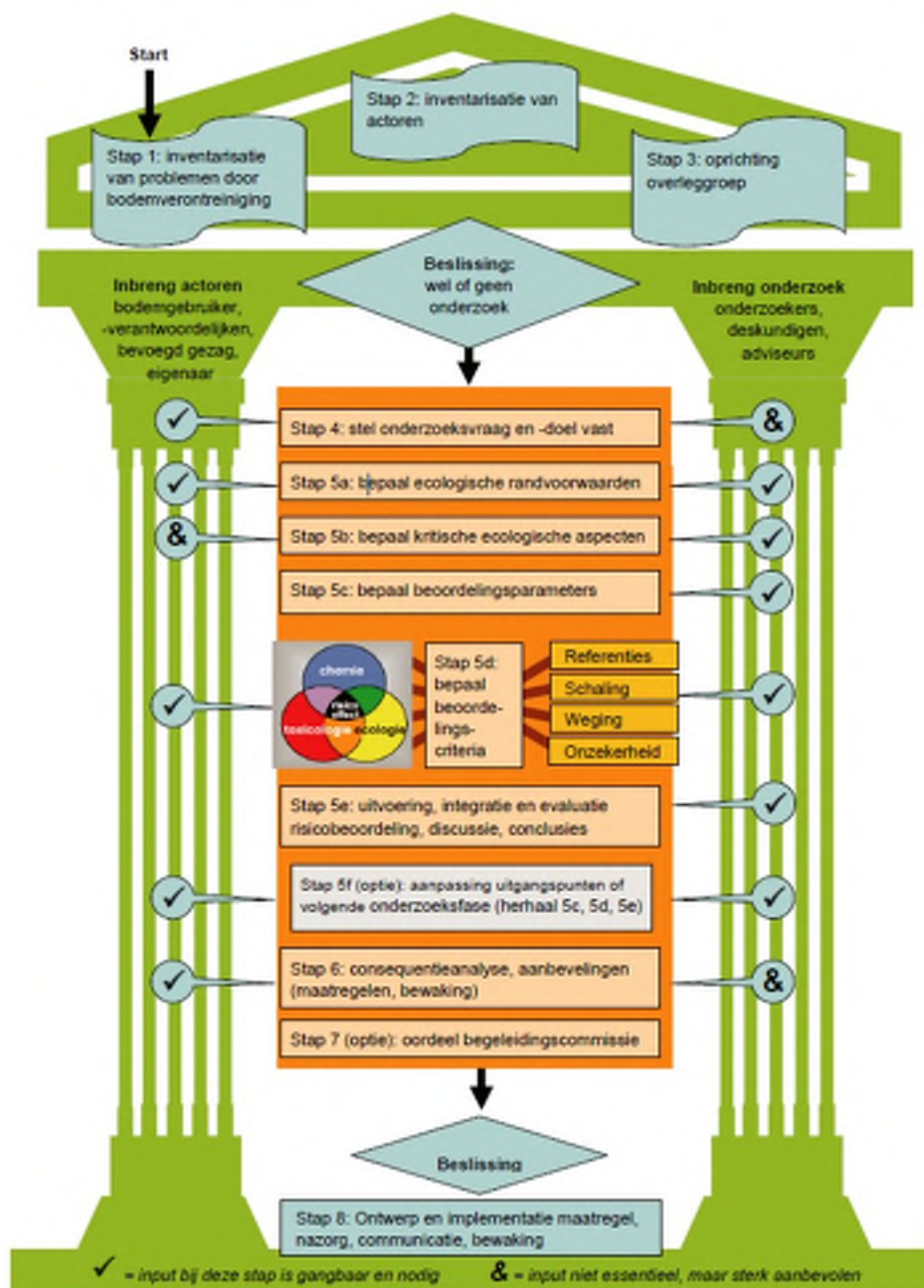
Omdat er op een aantal plekken loodhagel (metallisch lood) en kleiduifragmenten aanwezig zijn op de bodem, zal ook aandacht besteed worden aan mogelijke risico's hiervan voor met name de grotere diersoorten die op en nabij de locatie voorkomen, zoals diverse vogelsoorten en zoogdieren als edelhert en wild zwijn. Dit onderdeel zal losgekoppeld worden van het onderdeel dat zich op de bodem focust. Op basis van gegevens uit de wetenschappelijke literatuur zal een risico-inschatting worden gemaakt van loodhagel op de locatie en zal kort aangegeven worden wat voor maatregelen er genomen kunnen worden om risico's te reduceren. Het RIVM zal ook een rol spelen bij deze risico-inschatting. Bij dit onderdeel zal ook gebruik worden gemaakt van onderdelen uit de rapporten 'Natuuronderzoek De Berkenhorst' (Tauw, april 2007) en 'Aanvullende toetsing aan de Vogelrichtlijn van heringebruikname van de bovengrondse schietbaan De Berkenhorst' (Adviesbureau Mertens, december 2009).

Fasering

Het onderzoek wordt gefaseerd uitgevoerd. Jarenlange ervaring van verschillende partijen leert dat dit de meest efficiënte methode is voor een Triade-onderzoek (zie bijvoorbeeld zie: <http://www.soilpedia.nl/Bikiviki%20documenten/SKB%20Projecten/PTS808%20Evaluatie%20van%20de%20toepassing%20van%20TRIADe%20bij%20het%20beoordelen%20van%20ecologische%20risico%27s/PTS808%20eindrapport.pdf>). Dat betekent dat in eerste instantie naar een groter aantal deellocaties gekeken wordt, waarna het mogelijk is om in een latere fase te focussen op locaties waar nog te veel onduidelijkheid over bestaat. De ervaring – opgedaan op meerdere vergelijkbare locaties – leert dat een eerste fase vaak voldoende duidelijkheid oplevert om een uitspraak over de locatiespecifieke ecologische risico's te kunnen doen. Mocht dit niet het geval zijn, dan kan in een extra fase alsnog ingezoomd worden op eventuele onzekerheden. Een uitgebreide Triade wordt ingezet bij zeer grote gebieden die (sterk) verontreinigd zijn en/of waar kwetsbare waterlichamen aanwezig zijn (bijv. (bagger)stortplaatsen, uiterwaarden). Gezien de relatief eenvoudige verontreinigingssituatie en het relatief beperkte oppervlak van de verontreiniging is hiervoor niet gekozen bij de Berkenhorst.

Overig

In het plan van aanpak ontbrak figuur 2 op pagina 29. Deze is hieronder alsnog weergegeven.



Bijlage 3 Risicogehalten

Risicogehalten bepalen

Wanneer uit generieke modelberekeningen blijkt dat er op een locatie risico's verwacht worden, kan besloten worden om een locatiespecifieke beoordeling uit te voeren. Deze locatiespecifieke beoordeling is over het algemeen minder gevoelig dan een generieke beoordeling, omdat uit wordt gegaan van een lokale situatie, en niet van een situatie waarin alle mogelijke locaties en situaties beschermd dienen te worden (generiek). Voor het bepalen van een risicogehalte wordt uitgegaan van het gevoeligste risico. Wanneer dit risico weg wordt weggenomen, zullen tevens de minder gevoelige risico's weggenomen worden.

In de praktijk betekent dit dat slechts op de locaties waar een risico verwacht wordt (op basis van de generieke normen en modelberekeningen) een locatiespecifieke beoordeling moet worden uitgevoerd naar de voor deze locatie specifieke risico's (ecologisch, humaan en/of verspreiding). De overige locaties kunnen als beschermd gelabeld worden op basis van de generieke beoordeling. Deze locatiespecifieke ecologische risico's kunnen bepaald worden aan de hand van veldwaarnemingen, laboratoriumexperimenten en chemische analyses (zoals een Triade). De integratie van deze onderdelen geeft aan of er risico's zijn op een locatie. Door een oplopende verontreinigingsgraad te kiezen, kan bepaald worden vanaf welke concentratie van een stof of stoffen een negatief effect optreedt ten opzichte van een lokale, vergelijkbare, maar niet-verontreinigde locatie (referentie).

Na een locatiespecifieke beoordeling kan een verontreinigingsgraad worden aangegeven waarbij geen en waarbij wel effecten worden aangetoond. Het risicogehalte ligt dan tussen de hoogste verontreinigingsgraad waarbij geen en de laagste verontreinigingsgraad waarbij nog wel risico's zijn aangetroffen. In de Triade wordt onderscheid gemaakt tussen een lage en hoge TE-waarde. Hierdoor kunnen ook twee risicogehalten worden aangegeven. Wanneer de TE-waarden duidelijk verdeeld zijn, kunnen de risicogehalten geïntrapoleerd worden uit de effectwaarden en de bijbehorende verontreinigingsgehalten.

Bijlage 4 Foto's bemonsterde locaties



Monsternamelocaties: het omheinde terreindeel is in groen weergegeven, het volledige geval in blauw. (bron: Google Earth); Legenda:

1	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	5	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	9	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)
2	BH Bos - buiten hek (vak 12)	6	BH Gras baan 3 (vak 2)	10	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)
3	BH Bos - buiten hek (vak 14)	7	BH Gras baan 4 (vak 6)	11	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
4	BH Bos - buiten hek (vak 18)	8	BH Gras baan 5 (vak 9)		

Tabel bijlage 4.1. Rijksdriehoekskoördinaten van de bemonsterde locaties

Locatiecode	RD-coördinaten	
	X	Y
1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	181.378	479.558
2) BH Bos - buiten hek (vak 12)	181.385	479.394
3) BH Bos - buiten hek (vak 14)	181.392	479.425
4) BH Bos - buiten hek (vak 18)	181.344	479.460
5) BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	181.268	479.290
6) BH Gras baan 3 (vak 2)	181.225	479.281
7) BH Gras baan 4 (vak 6)	181.244	479.345
8) BH Gras baan 5 (vak 9)	181.323	479.332
9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	181.274	479.305
10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	181.227	476.355
11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	181.322	479.339



BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)



BH Bos - buiten hek (vak 12)



BH Bos - buiten hek (vak 14)



BH Bos - buiten hek (vak 18)



BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)



BH Gras baan 3 (vak 2)



BH Gras baan 4 (vak 6)



BH Gras baan 5 (vak 9)



BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)



BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)



BH Ruigte Kogelvangervan baan 5 (W1)

Bijlage 5 Gestandaardiseerde gehalten

Stof	Gehalte in standaardbodem (25% lutum, 10% organische stof) (mg/kg ds)										
Monstercode	BH Bos - buiten hek (vak 12)	BH Bos - buiten hek (vak 14)	BH Bos - buiten hek (vak 16)	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	BH Gras baan 3 (vak 2)	BH Gras baan 4 (vak 6)	BH Gras baan 5 (vak 9)	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (WT)	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)
Metalen											
Arseen	9,9	10,2	17,3	<6,3	<6,5	<6,8	11,6	<7,0	<7,0	40,1	<6,7
Cadmium	<0,60	<0,61	<0,59	<0,57	<0,63	<0,68	<0,58	<0,69	<0,69	<0,52	<0,65
Chroom	<27,8	<25,2	<26,5	<27,8	<26,2	<26,9	<23,4	<27,8	<27,8	<22,7	<26,8
Koper	9,3	<8,9	<8,9	<9,0	11,1	<10,0	19,8	<10,3	<10,3	27,0	<9,7
Kwik	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	0,10	<0,07	<0,07	0,10	<0,07
Lood	3.560	1.886	2.606	57	1.193	356	10.244	189	236	9.285	108
Nikkel	<8,8	<7,1	<7,9	<8,8	<7,7	9,8	18,4	9,3	8,8	23,3	<8,1
Zink	<43,8	<39,9	<41,2	<42,7	<42,5	<45,4	84,6	<47,5	<47,5	97,8	<44,1
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen											
Naftaleen	<0,04	<0,05	<0,04	<0,03	0,62	0,55	0,91	0,20	0,55	2,57	<0,07
Fenantreen	<0,04	<0,05	<0,04	<0,03	14,71	14,00	20,47	4,70	13,50	72,86	0,10
Antraceen	<0,04	<0,05	<0,04	<0,03	3,53	3,10	5,58	1,35	3,10	17,14	<0,07
Fluorantheen	0,06	0,08	0,07	0,05	28,82	22,00	27,91	10,50	24,50	110,00	0,23
Chryseen	0,06	<0,05	0,06	0,05	27,65	21,50	27,91	9,00	22,00	92,86	0,17
Benzo(a)antraceen	<0,04	<0,05	0,06	<0,03	25,59	20,50	25,58	11,00	21,00	102,86	0,17
Benzo(a)pyreen	<0,04	<0,05	0,06	<0,03	29,41	22,50	27,91	10,00	23,50	110,00	0,20
Benzo(k)fluorantheen	0,04	<0,05	0,06	<0,03	15,59	11,00	13,26	5,00	12,00	51,43	0,13
Indeno(1,2,3-cd)pyreen	0,04	<0,05	0,04	<0,03	18,53	13,00	15,35	6,00	12,00	64,29	0,13
Benzo(ghi)peryleen	<0,04	<0,05	0,04	<0,03	22,06	16,50	21,40	6,50	17,00	81,43	0,13
PAK 10 van VROM	<0,38	<0,53	0,41	<0,31	188,24	145,00	188,05	65,00	150,00	700,00	1,27
Minerale olie	<38	<53	<37	<31	118	100	233	<100	<100	686	<67

Bijlage 6 Gemeten gehalten incl. toetsingswaarden

Vegetatietype Bos

Monstercode	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)		BH Bos - buiten hek (vak 12)		BH Bos - buiten hek (vak 14)		BH Bos - buiten hek (vak 18)	
droge stof(gew.-%)	85.5	--	85.9	--	85.4	--	88.0	--
organische stof (gloeiverlies)(% vd DS)	6.4	--	5.3	--	3.8	--	5.4	--
lutum (bodem)(% vd DS)	1.7	--	2.0	--	4.8	--	3.3	--
temperatuur t.b.v. pH(°C)	19.4	--	19.5	--	19.5	--	19.4	--
pH-grond (CaCl ₂)(-)	3.3	--	3.4	--	3.4	--	3.6	--
Metalen (mg/kg ds)								
arsen	<4		6.1		6.5		11	
cadmium	<0.4		<0.4		<0.4		<0.4	
chrom	<15		<15		<15		<15	
koper	<5		<5		<5		<5	
kwik	<0.05		<0.05		<0.05		<0.05	
lood	39	*	2400	***	1300	***	1800	***
nikkel	<3		<3		<3		<3	
zink	<20		<20		<20		<20	
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (mg/kg ds)								
naftaleen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
acenaftyleen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
acenafteen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
fluoreen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
fenantreen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
antracene	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
fluoranteen	0.03	--	0.03	--	0.03	--	0.04	--
pyreen	0.03	--	0.03	--	<0.02	--	0.04	--
benzo(a)antracene	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	0.03	--
chryseen	0.03	--	0.03	--	<0.02	--	0.03	--
benzo(b)fluoranteen	0.05	--	0.05	--	0.03	--	0.06	--
benzo(k)fluoranteen	<0.02	--	0.02	--	<0.02	--	0.03	--
benzo(a)pyreen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	0.03	--
dibenz(a,h)antracene	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--
benzo(ghi)peryleen	<0.02	--	<0.02	--	<0.02	--	0.02	--
indeno(1,2,3-cd)pyreen	<0.02	--	0.02	--	<0.02	--	0.02	--
pak totaal (10 van VROM)	<0.2	--	<0.2	--	<0.2	--	0.22	--
pak totaal (16 van EPA)	<0.32	--	<0.32	--	<0.32	--	0.33	--
EOX (mg/kg ds)								
EOX	0.59	--	0.26	--	0.25	--	0.77	--
Minerale olie (mg/kg ds)								
fractie C10 - C12	<5	--	<5	--	<5	--	<5	--
fractie C12 - C22	<5	--	<5	--	<5	--	<5	--
fractie C22 - C30	<5	--	<5	--	<5	--	<5	--
fractie C30 - C40	<5	--	<5	--	<5	--	<5	--
totaal olie C10 - C40	<20	--	<20	--	<20	--	<20	--
De resultaten zijn voor de interventiewaarde getoetsd aan de toetsingswaarden zoals vermeld in de Circulaire Bodemsanering 2009, Staatscourant 67, 7 april 2009 en voor de achtergrondwaarden aan het Besluit Bodemkwaliteit, Staatscourant 20 december 2007, Nr. 247, incl. de wijziging in de Staatscourant 67 van 7 april 2009.								
De gehalten die de betreffende toetsingswaarden overschrijden zijn als volgt geïnclassificeerd:								
*	het gehalte is groter dan de achtergrondwaarde en kleiner dan of gelijk aan het gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde							
**	het gehalte is groter dan het gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde en kleiner dan of gelijk aan de interventiewaarde							
***	het gehalte is groter dan de interventiewaarde							
--	geen toetsingswaarde voor opgesteld							

Vegetatietype Gras

Monstercode	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)		BH Gras baan 3 (vak 2)		BH Gras baan 4 (vak 6)		BH Gras baan 5 (vak 9)	
droge stof(gew.-%)	95.8	--	90.4	--	94.2	--	87.3	--
organische stof (gloeiverlies)(% vd DS)	0.7	--	3.4	--	1.3	--	4.3	--
lutum (bodem)(% vd DS)	1.0	--	3.6	--	2.9	--	7.1	--
temperatuur t.b.v. pH(°C)	19.6	--	19.4	--	19.5	--	19.4	--
pH-grond (CaCl ₂)(-)	4.6	--	6.9	--	6.9	--	6.8	--
Metalen (mg/kg ds)								
arsen	<4		<4		<4		7.8	
cadmium	<0.4		<0.4		<0.4		<0.4	
chrom	<15		<15		<15		<15	
koper	<5		5.9		<5		12	
kwik	<0.05		<0.05		<0.05		0.08	
lood	120	*	800	***	230	**	7400	***
nikkel	3.2		<3		3.6		9.0	
zink	<20		<20		<20		47	
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (mg/kg ds)								
naftaleen	0.04	--	0.21	--	0.11	--	0.39	--
acenaftyleen	<0.02	--	0.10	--	0.09	--	0.14	--
acenafteen	0.22	--	1.3	--	0.63	--	3.1	--
fluoreen	0.08	--	0.63	--	0.33	--	1.4	--
fenantreen	0.94	--	5.0	--	2.8	--	8.8	--
antraceen	0.27	--	1.2	--	0.62	--	2.4	--
fluoranteen	2.1	--	9.8	--	4.4	--	12	--
pyreen	2.1	--	10	--	5.4	--	15	--
benzo(a)antraceen	2.2	--	8.7	--	4.1	--	11	--
chryseen	1.8	--	9.4	--	4.3	--	12	--
benzo(b)fluoranteen	2.4	--	12	--	5.0	--	13	--
benzo(k)fluoranteen	1.0	--	5.3	--	2.2	--	5.7	--
benzo(a)pyreen	2.0	--	10	--	4.5	--	12	--
dibenz(a,h)antraceen	0.40	--	1.5	--	0.95	--	1.7	--
benzo(ghi)peryleen	1.3	--	7.5	--	3.3	--	9.2	--
indeno(1,2,3-cd)pyreen	1.2	--	6.3	--	2.6	--	6.6	--
pak-totaal (10 van VROM)	13	*	64	***	29	**	80	***
pak-totaal (16 van EPA)	18	--	90	--	41	--	110	--
EOX (mg/kg ds)	<0.1	--	1.5	--	0.11	--	0.84	--
Minerale olie (mg/kg ds)								
fractie C10 - C12	<5	--	5	--	<5	--	5	--
fractie C12 - C22	<5	--	15	--	10	--	50	--
fractie C22 - C30	<5	--	10	--	5	--	30	--
fractie C30 - C40	<5	--	5	--	<5	--	15	--
totaal olie C10 - C40	<20		40		20		100	*
De resultaten zijn voor de interventiewaarde getoetst aan de toetsingswaarden zoals vermeld in de Circulaire Bodemsanering 2009, Staatscourant 67, 7 april 2009 en voor de achtergrondwaarden aan het Besluit Bodemkwaliteit, Staatscourant 20 december 2007, Nr. 247, incl. de wijziging in de Staatscourant 67 van 7 april 2009.								
De gehalten die de betreffende toetsingswaarden overschrijden zijn als volgt geclassificeerd:								
*	het gehalte is groter dan de achtergrondwaarde en kleiner dan of gelijk aan het gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde							
**	het gehalte is groter dan het gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde en kleiner dan of gelijk aan de interventiewaarde							
***	het gehalte is groter dan de interventiewaarde							
--	geen toetsingswaarde voor opgesteld							

Vegetatietype Ruitge

Monstercode	BH Ruitge referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)		BH Ruitge Kogel- vanger baan 4 (W3voor)		BH Ruitge Kogelvanger baan 5 (W1)	
droge stof(gew.-%)	93.5	--	97.0	--	88.2	--
organische stof (gloeiver- lies)(% vd DS)	3.0	--	1.3	--	7.0	--
lutum (bodem)(% vd DS)	3.0	--	<1	--	8.0	--
temperatuur t.b.v. pH(°C)	19.4	--	19.3	--	19.5	--
pH-grond (CaCl ₂)(-)	3.8	--	6.4	--	6.8	--
Metalen (mg/kg ds)						
arsen	<4		<4		29	*
cadmium	<0.4		<0.4		<0.4	
chrom	<15		<15		<15	
koper	<5		<5		18	
kwik	<0.05		<0.05		0.08	
lood	71	*	150	*	7100	***
nikkel	<3		3.0		12	
zink	<20		<20		59	
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (mg/kg ds)						
naftaleen	<0.02	--	0.11	--	1.8	--
acenafyleen	<0.02	--	0.06	--	0.80	--
acenafteen	<0.02	--	0.54	--	9.7	--
fluoreen	<0.02	--	0.25	--	4.5	--
fenantreen	0.03	--	2.7	--	51	--
antraceen	<0.02	--	0.82	--	12	--
fluoranteen	0.07	--	4.9	--	77	--
pyreen	0.05	--	5.1	--	99	--
benzo(a)antraceen	0.05	--	4.2	--	72	--
chryseen	0.05	--	4.4	--	65	--
benzo(b)fluoranteen	0.09	--	5.5	--	83	--
benzo(k)fluoranteen	0.04	--	2.4	--	36	--
benzo(a)pyreen	0.05	--	4.7	--	77	--
dibenz(a,h)antraceen	<0.02	--	0.78	--	13	--
benzo(ghi)peryleen	0.04	--	3.4	--	57	--
indeno[1,2,3-cd]pyreen	0.04	--	2.4	--	45	--
pak-totaal (10 van VROM)	0.38		30	**	490	***
pak-totaal (16 van EPA)	0.55	--	42	--	700	--
EOX (mg/kg ds)						
EOX (mg/kg ds)	0.18	--	0.32	--	5.6	--
Minerale olie (mg/kg ds)						
fractie C10 - C12	<5	--	<5	--	15	--
fractie C12 - C22	<5	--	<5	--	260	--
fractie C22 - C30	<5	--	<5	--	150	--
fractie C30 - C40	<5	--	<5	--	60	--
totaal olie C10 - C40	<20		<20		480	*
De resultaten zijn voor de interventiewaarde getoetst aan de toetsingswaarden zoals vermeld in de Circulaire Bodemsanering 2009, Staatscourant 67, 7 april 2009 en voor de achtergrondwaarden aan het Besluit Bodemkwaliteit, Staatscourant 20 december 2007, Nr. 247, incl. de wijziging in de Staatscourant 67 van 7 april 2009.						
De gehalten die de betreffende toetsingswaarden overschrijden zijn als volgt geclassificeerd:						
*	het gehalte is groter dan de achtergrondwaarde en kleiner dan of gelijk aan het gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde					
**	het gehalte is groter dan het gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde en kleiner dan of gelijk aan de interventiewaarde					
***	het gehalte is groter dan de interventiewaarde					
--	geen toetsingswaarde voor opgesteld					

Toetsingswaarden voor grond (VROM-toetsingskader). Het betreft gehalten in mg/kgds, tenzij anders aangegeven

AW	achtergrondwaarde
1/2(AW+I)	gemiddelde van de achtergrond- en interventiewaarde
I	interventiewaarde
AS3000	laboratoriumanalyses voor grond-, waterbodemp- en grondwateronderzoek; grondprotocollen 3010 t/m 3090 versie 4,25 juni 2008.

De achtergrond- en interventiewaarden zijn afhankelijk van de bodemgesteldheid.

De genoemde toetsings waarden zijn van toepassing op het volgende bodem type:

9) BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)

1: lutum 3%; humus 3%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	12	29	46	12
cadmium	0,37	4,2	8,0	0,37
chrom	31	66	101	31
koper	21	59	98	21
kwik	0,11	13	25	0,11
lood	33	191	349	33
nikkel	13	25	37	13
zink	64	195	327	64
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	57	778	1500	57

10) BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)

2: lutum 1%; humus 1,3%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	11	27	44	11
cadmium	0,35	4,0	7,6	0,35
chrom	30	63	97	30
koper	19	56	92	19
kwik	0,10	13	25	0,10
lood	32	184	337	32
nikkel	12	23	34	12
zink	59	181	303	59
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	38	519	1000	38

11) BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)

3: lutum 8%; humus 7%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	14	35	55	14
cadmium	0,46	5,2	10,0	0,46
chrom	35	78	119	35
koper	27	77	127	27
kwik	0,12	14	29	0,12
lood	38	222	405	38
nikkel	18	35	51	18
zink	84	260	435	84
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	133	1816	3500	133

5) BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)

4: lutum 1%; humus 0.7%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	11	27	44	11
cadmium	0,35	4,0	7,6	0,35
chrom	30	63	97	30
koper	19	56	92	19
kwik	0,10	13	25	0,10
lood	32	184	337	32
nikkel	12	23	34	12
zink	59	181	303	59
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	38	519	1000	38

7) BH Gras baan 4 (vak 6)

5: lutum 2.9%; humus 1.3%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	12	28	44	12
cadmium	0,35	4,0	7,7	0,35
chrom	31	66	100	31
koper	20	57	95	20
kwik	0,11	13	25	0,11
lood	32	187	342	32
nikkel	13	25	37	13
zink	62	190	317	62
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	38	519	1000	38

6) BH Gras baan 3 (vak 2)

6: lutum 3.6%; humus 3.4%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	12	29	47	12
cadmium	0,38	4,3	8,2	0,38
chrom	31	67	103	31
koper	21	61	101	21
kwik	0,11	13	26	0,11
lood	34	194	355	34
nikkel	14	26	39	14
zink	66	202	339	66
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	65	882	1700	65

8) BH Gras baan 5 (vak 9)

7: lutum 7.1%; humus 4.3%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	13	32	51	13
cadmium	0,41	4,7	8,9	0,41
chrom	35	75	116	35
koper	24	70	115	24
kwik	0,11	14	28	0,11
lood	36	209	383	36
nikkel	17	33	49	17
zink	78	239	400	78
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	82	1116	2150	82

1) BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)

8: lutum 1.7%; humus 6.4%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	13	30	48	13
cadmium	0,42	4,8	9,1	0,42
chrom	30	63	97	30
koper	22	64	105	22
kwik	0,11	13	25	0,11
lood	34	199	354	34
nikkel	12	23	34	12
zink	66	201	337	66
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	122	1661	3200	122

2) BH Bos - buiten hek (vak 12)

9: lutum 2%; humus 5.3%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	12	30	47	12
cadmium	0,40	4,6	8,7	0,40
chrom	30	63	97	30
koper	22	62	102	22
kwik	0,11	13	25	0,11
lood	34	195	357	34
nikkel	12	23	34	12
zink	64	196	329	64
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	101	1375	2650	101

3) BH Bos - buiten hek (vak 14)

10: lutum 4.8%; humus 3.8%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	13	31	48	13
cadmium	0,39	4,4	8,5	0,39
chrom	33	70	107	33
koper	22	64	105	22
kwik	0,11	13	27	0,11
lood	34	200	355	34
nikkel	15	29	42	15
zink	70	215	361	70
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	72	986	1900	72

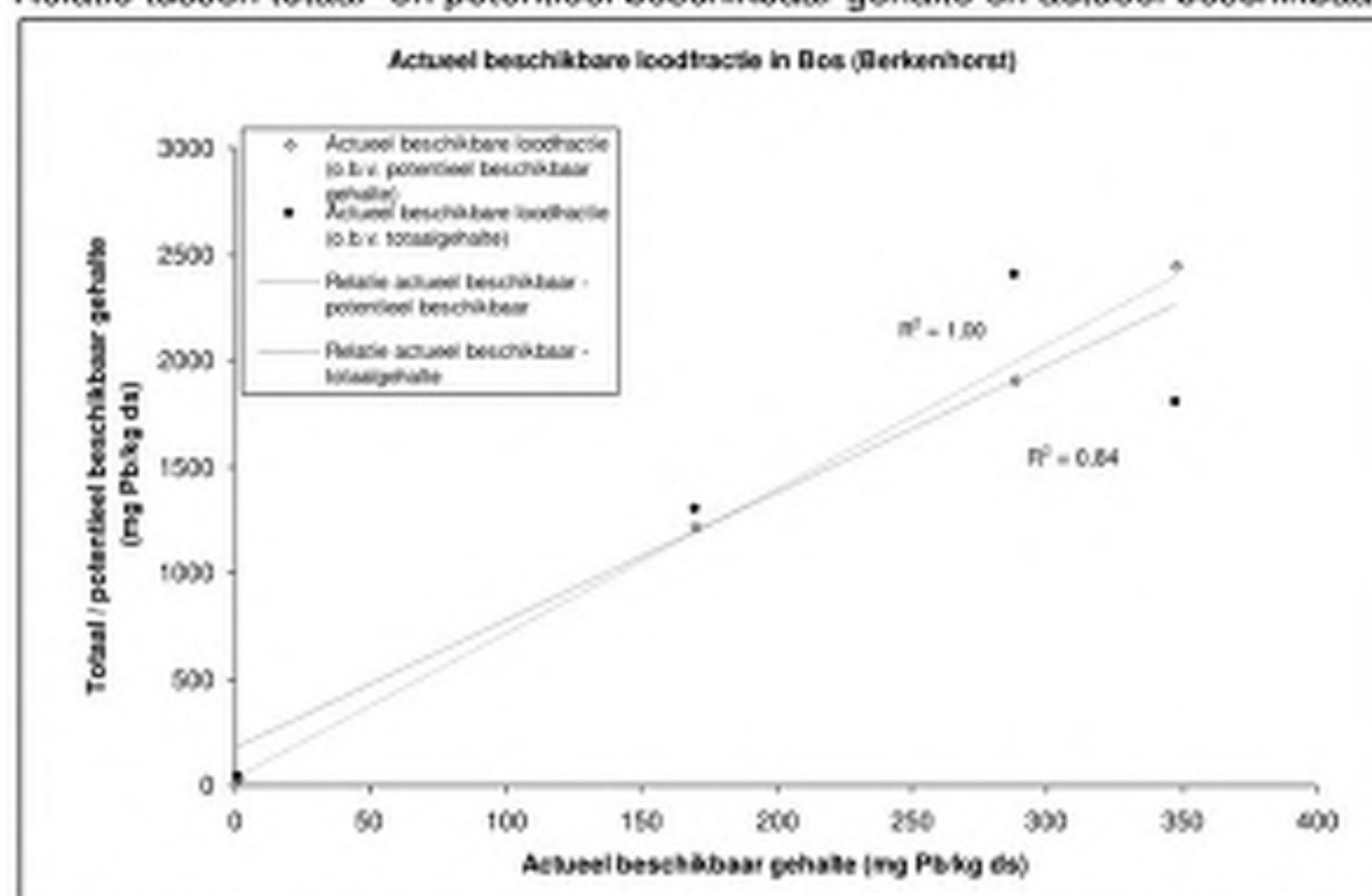
4) BH Bos - buiten hek (vak 18)

11: lutum 3.3%; humus 5.4%				
Toetsingswaarden ¹⁾	AW	1/2(AW+I)	I	AS3000 eis
METALEN				
arsen	13	31	48	13
cadmium	0,41	4,6	8,9	0,41
chrom	31	67	102	31
koper	22	65	107	22
kwik	0,11	13	26	0,11
lood	35	200	366	35
nikkel	13	26	38	13
zink	68	209	350	68
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN				
pak-totaal (10 van VROM)	1,5	21	40	1,5
MINERALE OLIE				
totaal olie C10 - C40	103	1401	2700	103

A) Beschikbare gehalten: Lood

	Extrahiemethode	extractie 0,01M CaCl ₂	extractie 0,43M HNO ₃	vochtbepaling (VEP)	extractie 0,01M CaCl ₂	extractie 0,43M HNO ₃
	Analysemethode	ICP-MS	ICP-AES Thermo	droogstof	ICP-MS	ICP-AES Thermo
Lab-code	Monsternummer	Pb	Pb	vocht (20-105°C)	Pb	Pb
		[µg/kg]	[mg/kg]	[% o.b.v. veldvochtig]	[µg/kg ds]	[mg/kg ds]
	aantoonbaarheidsgrens	20	0,3	0,3		
1	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	787	27,2	14,2	917	32
2	BH Bos - buiten hek (vak 12)	255083	1682	11,6	288555	1903
3	BH Bos - buiten hek (vak 14)	151498	1082	11,0	170222	1216
4	BH Bos - buiten hek (vak 18)	308502	2167	11,3	347804	2443
5	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	7149	105	2,5	7332	109
6	BH Gras baan 3 (vak 2)	136	685	9,9	151	761
7	BH Gras baan 4 (vak 6)	81	303	4,4	85	317
8	BH Gras baan 5 (vak 9)	139	642	11,7	157	727
9	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	5082	73,1	6,2	5418	78
10	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	108	138	3,5	112	143
11	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	6592	8563	11,8	7474	9709

Relatie tussen totaal- en potentieel beschikbaar gehalte en actueel beschikbaar gehalte lood



Figuur bijlage 7.1 Relatie tussen actueel beschikbaar gehalte en totaal- en potentieel beschikbaar (of reactieve) gehalte lood. Door het actueel beschikbare gehalte te vergelijken met het totaalgehalte of het potentieel beschikbare gehalte, kan je een beeld krijgen van de hoeveelheid lood die daadwerkelijk voor organismen beschikbaar is in het bodemvocht. Ongeveer 15% van de totale hoeveelheid lood blijkt actueel beschikbaar op de boslocaties.

B) Beschikbare gehalten: PAKS

(zie bijlage 12, bijgevoegd analysecertificaat IRAS – Universiteit Utrecht)

Bijlage 7 Toxische druk/msPAF

Op basis van de resultaten van de totaalgehalten en het organische stof- en lutumgehalte van de monsters kan de acute toxische druk (TD) op een locatie berekend worden. Hiervoor is in dit project gebruik gemaakt van de van het RIVM afkomstige rekentool Toxische Druk. De toxische druk vormt een *theoretische* schatting van het ecologische effect van een complex mengsel aan verontreinigingen in de bodem op basis van de gehalten aan deze verontreinigingen. De toxische druk wordt uitgedrukt in de fractie of het percentage organismen en processen dat (theoretisch) wordt aangetast door het aanwezige mengsel van verontreinigingen: de msPAF (meer stoffen potentieel aangetaste fractie). In de hieraan onderliggende formule wordt rekening gehouden met de verschillende werkingsmechanismen van diverse verontreinigingen in een organisme. Voor een uitgebreidere uitleg over dit concept en achtergronden bij de berekeningen verwijzen wij naar De Nijs et al. (2008), Posthuma et al. (2002) en Van de Meent (1999). Met deze berekening wordt een groot, maar eindig, aantal metalen en organische verontreinigingen meegenomen. De berekeningen zijn gebaseerd op acute effecten (sterfte, immobilisatie e.d.). Chronische, meer gevoelige ecologische parameters, zoals bijvoorbeeld reproductie, worden in deze berekening niet meegenomen.

Bijlage 8 Resultaten Bioassays

Methode

De toxiciteitstest met de lichtuitzeggende (bioluminescerende) bacterie *Vibrio fischeri* is uitgevoerd conform ISO 11348-3 met elutriaat van elf monsters van de onderzoekslocatie Berkenhorst. Het elutriaat is verkregen door gehomogeniseerde, vochtverzadigde bodemonsters 24 uur uit te schudden met een gelijk volume aan 0,001M Ca(NO₃)₂-oplossing, toegevoegd in twee stappen om een naleveringseffect mee te nemen. Hierna is het bovenstaande vocht gedecanteerd en met deze oplossing – het elutriaat – zijn de effecten op de Microtox getest. In deze test wordt met een lichtmeter (Microtox[®]) de afname van de bioluminescentie bij de bacterie beoordeeld na 5, 15 en 30 minuten blootstelling bij 15°C aan een concentratiereeks (90%, 45%, 22,5% en 11,25%¹⁹). Het effect wordt uitgedrukt als een EC₂₀ en EC₅₀-waarde. Dit is de concentratie testoplossing, waarbij na een gegeven blootstellingsduur een afname van resp. 20% en 50% van de bioluminescentie ten opzichte van de blanco (verdunningsmedium) kan worden waargenomen. De laagste van de op de 3 tijdstippen bepaalde EC-waarden, wordt gebruikt om de toxiciteit van het monster weer te geven. Dit wordt gedaan om geen onderschatting van de toxiciteit van het monster te geven: bij veel stoffen zal de gevoeligheid na een langere periode (30 minuten) sterker zijn dan bij een kortere periode (5 minuten).

Resultaten Microtox

Analyselijst				
304080 - Triade Berkenhorst - bos				
Ecolimonnummer:	800266	800267	800268	800269
Monstercode opdrachtgever:	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	BH Bos - buiten hek (vak 12)	BH Bos - buiten hek (vak 14)	BH Bos - buiten hek (vak 18)
Soort materiaal:	bodem	bodem	bodem	bodem
Monsternummer:	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11
Aanleverdatum:	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11
Microtox elutriaat (ISO 11348-3)				
Inzetdatum	24-jun-11	24-jun-11	24-jun-11	24-jun-11
EC ₂₀ (95% b.i.) vol% elutriaat (Ca(NO ₃) ₂)	>90	<11,25	<11,25	<11,25
EC ₅₀ (95% b.i.) vol% elutriaat (Ca(NO ₃) ₂)	>90	<11,25	61,5 (55,0 - 68,9)	<11,25
Handvoorwaardenoverschrijding	Nee	Nee	Nee	Nee
Opmerkingen	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl in demiwater
		Geïnterpoleerde EC ₂₀ : 1,4 (1,0 - 2,2) Geïnterpoleerde EC ₅₀ : 7,0 (5,6 - 8,6)	Geïnterpoleerde EC ₂₀ : 4,1 (3,2 - 5,3)	Geïnterpoleerde EC ₂₀ : 0,2 (0,0 - 0,8) Geïnterpoleerde EC ₅₀ : 1,3 (0,5 - 3,3)

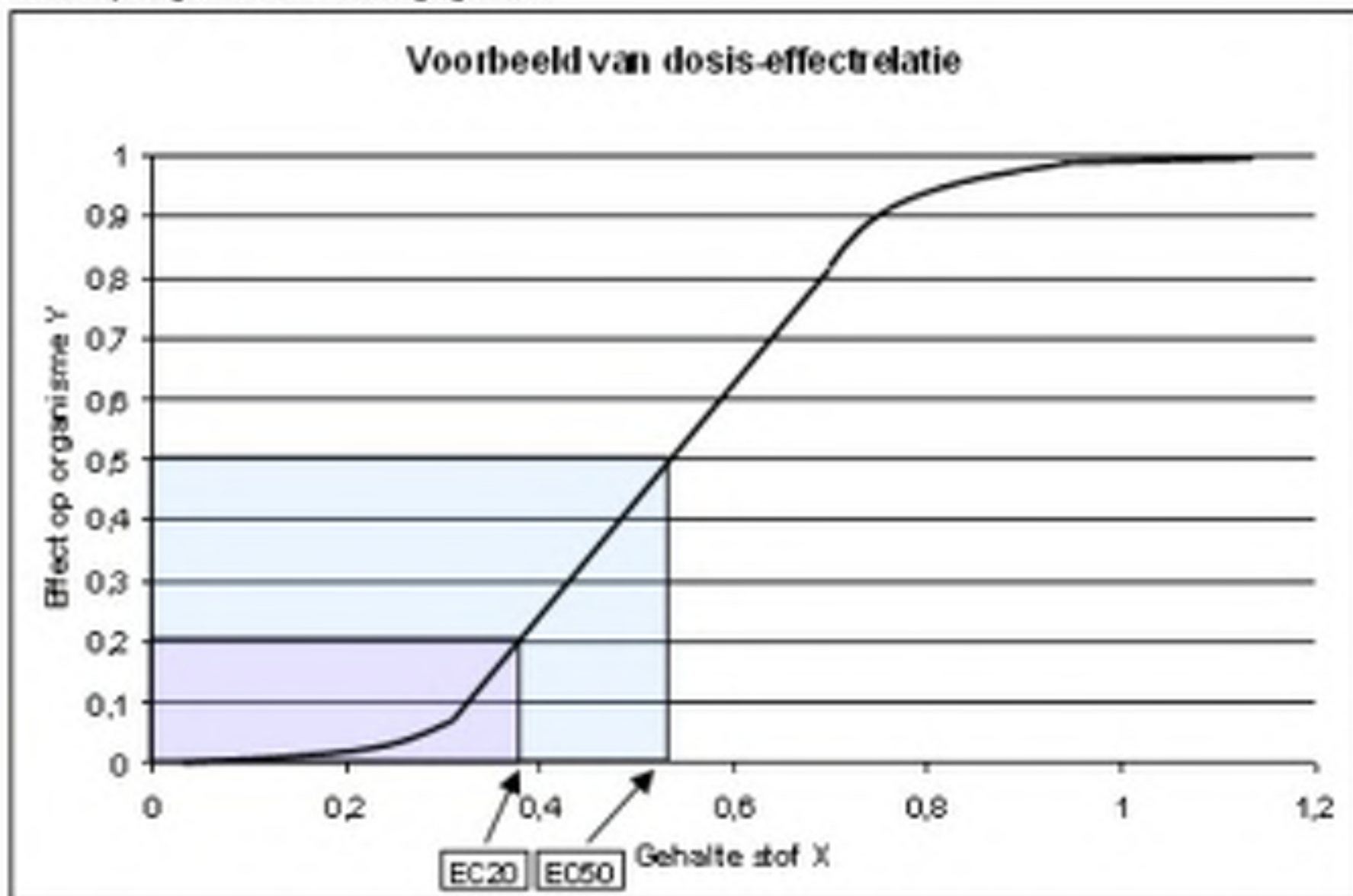
¹⁹ Een 100% concentratie kan niet getest worden omdat er ook een bepaalde hoeveelheid medium met de testbacterie toegevoegd wordt.

Analyselijst				
304080 - Triade Berkenhorst - bos				
Ecolimsnummer:	800270	800271	800272	800273
Monstercode opdrachtgever:	BH Gras referentie (na bij vak 6 en 7)	BH Gras baan 3 (vak 2)	BH Gras baan 4 (vak 6)	BH Gras baan 5 (vak 9)
Soort materiaal:	bodem	bodem	bodem	bodem
Monsterdatum:	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11
Aanleverdatum:	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11
Microtox elutriaat (ISO 11348-3)				
Inzetdatum	24-jun-11	24-jun-11	24-jun-11	24-jun-11
EC ₅₀ (95% b.i.) vol% elutriaat (Ca(NO ₃) ₂)	>90	hormesis	hormesis	>90
EC ₅₀ (95% b.i.) vol% elutriaat (Ca(NO ₃) ₂)	>90	hormesis	hormesis	>90
Randvoorwaardenoverschrijding	Nee	Nee	Nee	Nee
Opmerkingen	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater
		Hormesis (stimulerend effect)	Hormesis (stimulerend effect)	

Analyselijst				
304080 - Triade Berkenhorst - bos				
Ecolimsnummer:	800274	800275	800276	
Monstercode opdrachtgever:	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	
Soort materiaal:	bodem	bodem	bodem	
Monsterdatum:	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11	
Aanleverdatum:	19-mei-11	19-mei-11	19-mei-11	
Microtox elutriaat (ISO 11348-3)				
Inzetdatum	24-jun-11	24-jun-11	24-jun-11	
EC ₅₀ (95% b.i.) vol% elutriaat (Ca(NO ₃) ₂)	>90	hormesis	>90	
EC ₅₀ (95% b.i.) vol% elutriaat (Ca(NO ₃) ₂)	>90	hormesis	>90	
Randvoorwaardenoverschrijding	Nee	Nee	Nee	
Opmerkingen	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater	Diluent: 0,001M Ca(NO ₃) ₂ + 20 g NaCl/l in demiwater	
		Hormesis (stimulerend effect)		

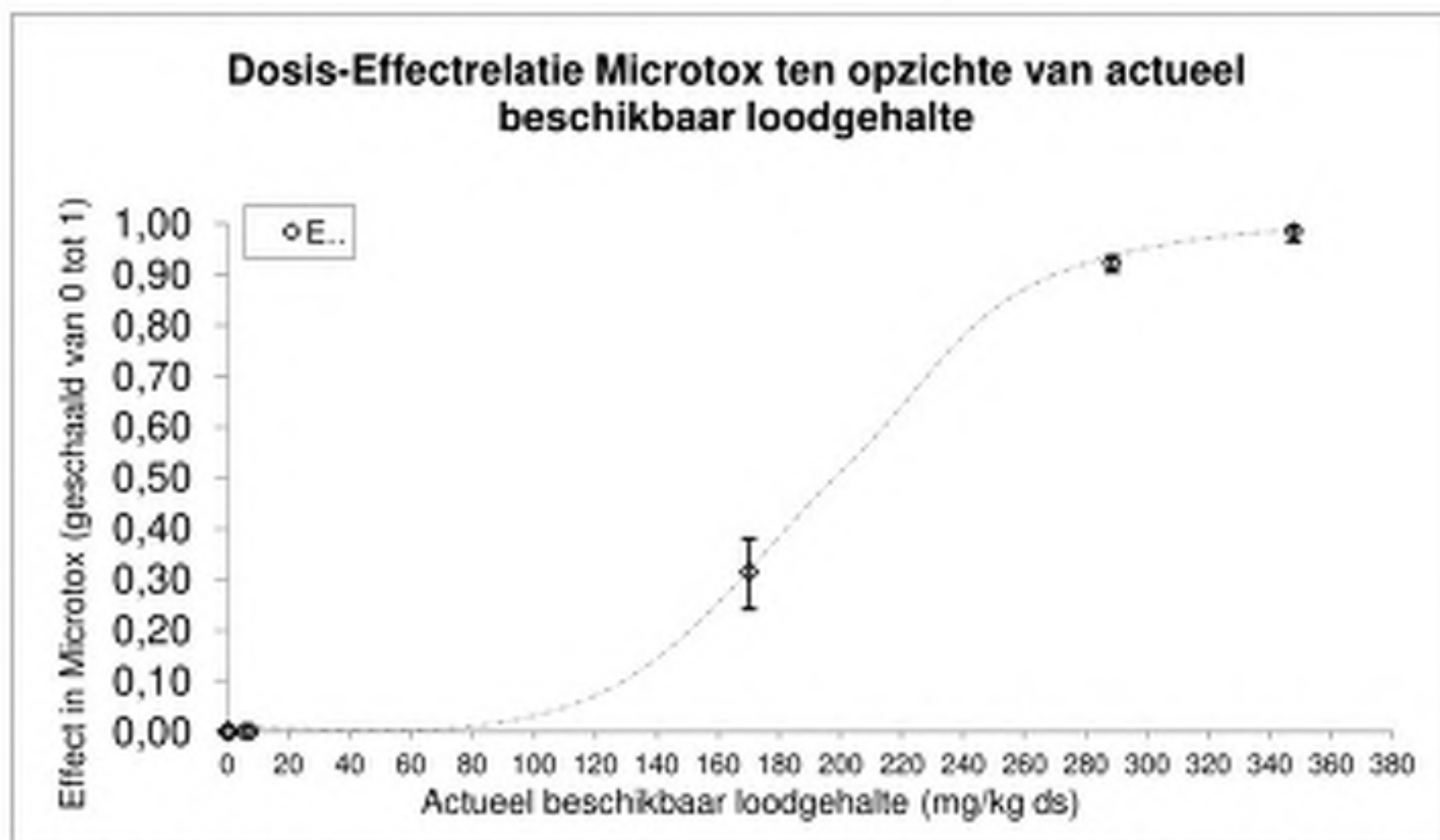
Achtergrond Dosis-Effectrelatie en EC-waarden

Organismen reageren op verontreinigingen. Het gehalte waarbij een reactie optreedt is afhankelijk van de verontreinigende stof en het organisme. De mate waarin een organisme op een stof reageert wordt een dosis-effectrelatie genoemd. De dosis is het gehalte van de bewuste stof of de toxische druk en het effect is de reactie van het organisme op de stof (schaal van 0 (0% = geen effect) tot 1 (100% = maximaal effect)). Dit kan bijvoorbeeld sterfte zijn, maar ook groei of voortplanting. In onderstaande figuur is een voorbeeld van een dosis-effectrelatie van stof X op organisme Y weergegeven.



Met een dosis-effectrelatie kan ook een concentratie worden aangegeven waarbij het organisme bijvoorbeeld 20% effect laat zien: bijv. 20% van de individuen van het organismen gaan dood bij deze concentratie, of er zijn 20% minder nakomelingen. Dit wordt de EC₂₀ (20%-effectconcentratie) genoemd. De EC₅₀ is de concentratie van de stof waarbij het organisme 50% effect laat zien. Hoe lager het getal achter EC, hoe lager het gehalte waarbij een effect optreedt.

Dosis-effectrelatie van de Microtox-assay t.o.v. beschikbaar lood



Effect in de Microtoxtest (EC_{50}) uitgezet tegen het beschikbaar gehalte. Om het verband tussen de het beschikbaar gehalte en de effecten in de test inzichtelijk te maken, is er een geschatte dosis-effectcurve ingetekend op basis van de EC_{50} . De EC_{50} wordt ook gebruikt in de RIVM Triade methodiek.

Bijlage 9 Veldwerk: locatiebeschrijving en waarnemingen

Locatiecode	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	BH Bos - buiten hek (vak 12)	BH Bos - buiten hek (vak 14)	BH Bos - buiten hek (vak 18)
Ecolims	800266	800267	800268	800269
Monsternamedatum	19-mei	19-mei	19-mei	19-mei
Rd-coördinaten				
X	181378	181385	181392	181344
Y	479558	479394	479425	479460
WGS84	N52.30336° E5.77394°	N52.30189° E5.77403°	N52.30216° E5.77414°	N52.30248° E5.77344°
barcode potten chemie	Y1785256	Y1785252	Y1785259	Y1785258
Vegetatietype	Gemengd bos op scheidslijn met naaldbos	gemengd bos	gemengd bos	bos, vnl. naaldbomen
Schaduwrijkheid	halfopen tot dicht	Dicht (lokaal halfopen)	Dicht (lokaal halfopen)	halfopen tot dicht
Waarnemingen (niet uit-pullend)	boskakerlak, mestkever	rode bosmier, L.cas in strooisellaag (1 stuk)	bloedmijt	pisbed (div. soorten)
Flora	o.a. berk, spar, mos, grassen, bosbes, grove den	o.a. grove den, berk, grassen, lijsterbes, eik, mos	o.a. grove den, bosbes, mos, grassen, berk, lijsterbes, eik, beuk, braam	o.a. grove den, bosbes, eik, gras, mos
Bodemtype	fijn zand	fijn tot matig fijn zand	fijn tot matig fijn zand	fijn tot matig fijn zand
Bijmengingen	grind, hout	hout, deels loodhagel-korreltjes en kleidulframenten	hout	hout, loodhagel
Grondkleur	donkergrijs met uitspoellaag van humus (roodachtig) van ca. 20 cm	loodgrijs, deels humushoudende uitspoellaag	grijs, met toplaag humus (ca. 3 cm)	donkergrijs, plaatselijk roodachtig
Strooisellaag	gem. 3 cm, naald- en bladmateriaal	gem. 7 cm, wordt humusachtig; naald- en bladmateriaal, dennenappels en hout	gem. 7 cm, wordt humusachtig; naald- en bladmateriaal	gem. 5 cm, wordt humusachtig; naaldmateriaal en hout
Vochtigheid	matig	matig	matig	matig - droger dieper in de bodem
Uitwerpselen in omgeving?	nee	nee	nee	nee
Kadavers in omgeving?	nee	nee	nee	1x plukplaats met resten van duif (in nabijheid hiervan niet bemonsterd)
Hoeveelheid verzameld materiaal	15 liter	15 liter	15 liter	15 liter
Weersomstandigheden tijdens bemonstering	droog, halfbewolkt	bewolkt, droog, ca. 20°C	bewolkt, droog, ca. 20°C	halfbewolkt, droog, ca. 19°C
Opmerkingen	Referentie gekozen bij met overige locaties vergelijkbaar deel -> niet in dichte naaldbos	GPS minder nauwkeurig onder bladerdek: Locatie medebepaald aan de hand van kaartmateriaal en ligging hek/weg	GPS minder nauwkeurig onder bladerdek: Locatie medebepaald aan de hand van kaartmateriaal en ligging hek/weg	bovenste laag strooisel verwijderd en ca. 1 cm humusachtige laag meegenomen. Plaatselijk veel loodhagel aanwezig. Relatief beperkte ondergroei en dode bomen aanwezig.

Locatiecode	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	BH Gras baan 3 (vak 2)	BH Gras baan 4 (vak 6)	BH Gras baan 5 (vak 9)
Ecolims	800270	800271	800272	800273
Monsternamedatum	19-mei	19-mei	19-mei	19-mei
Rd-coördinaten				
X	181268	181225	181244	181323
Y	479290	479281	479345	479332
WGS84	N52.30096° E5.77231°	N52.30088° E5.77168°	N52.30145° E5.77196°	N52.30133° E5.77312°
barcode potten chemie	Y1785260	Y1785263	Y1785248	Y1785265
Vegetatietype	gras en mosbedekking	gras en mosbedekking	gras en mosbedekking	gras en mosbedekking
Schaduwrijkheid	zeer matig	geen	geen	beperkt
Waarnemingen (niet uitputtend)				enkele regenwormen (L. rub/A. cal)
Flora	grassen en mos, met verspreide kruiden (madelief, brede weegbree, etc.)	grassen en mos, met verspreide kruiden (madelief, paardenbloem, ereprijs, etc.)	grassen en mos, met verspreide kruiden	gras en mos, verspreide kruiden en bloemen (boterbloem, paardenbloem, madelief)
Bodemtype	lijn zand	lijn tot matig fijn zand	fijn zand	lijn tot matig fijn zand
Bijmengingen	lokaal grind, 2 steken met klein aantal kleiduffragmenten, 1 steek met ijzerhoudende grond	grind, kleiduffragmenten	grind, kleiduffragmenten, plastic hulzen	zeer lokaal grind en puin, kleiduffragmenten, plaatselijk kleibrokken
Grondkleur	ca. 3 cm met humusuitspoellaag, daarna geel	ca. 5 cm met humusuitspoellaag, daarna bruin/zwartigeel	geel/grijs met donkere uitspoellaag (ca. 3 cm)	bruin (humusrijk)
Strooisellaag	geen	geen	nee	nee
Vochtigheid	matig	matig	matig	matig in bovenste 15 cm, daarna droger
Uitwerpselen in omgeving?	nee	plaatselijk konijnenkuiltels	nee	nee
Kadavers in omgeving?	nee	nee	nee	nee
Hoeveelheid verzameld materiaal	15 liter	15 liter	15 liter	15 liter
Weersomstandigheden tijdens bemonstering	bewolkt, droog, ca. 20°C	afwisselend regen en droog, ca. 22°C	bewolkt, droog, ca. 20°C	bewolkt, pas geregend, ca. 20°C
Opmerkingen		deels licht/slecht begroeid		

Locatiecode	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
Ecolims	800274	800275	800276
Monsternamedatum	19-mei	19-mei	19-mei
Rd-coördinaten			
X	181274	181227	181322
Y	479305	476355	479339
WGS84	N52.30109° E5.77240°	N52.30154° E5.77200°	N52.30139° E5.77310°
barcode potten chemie	Y17852272	Y1785266	Y1785264
Vegetatietype	Rugte / bos	Rugte	Rugte
Schaduwrijkheid	hoog	hoog	grotendeels
Waarnemingen (niet uitputtend)	Pissebedden, springstaarten	2 juveniele vossen, pissebed, springstaarten	rode bosmier, gewone pad, bruine kikker
Flora	o.a. braam, eik, grove den, lijsterbes, diverse grassen, Amerikaanse vogelkers, beuk, berk, klimop	o.a. braam, berk, diverse grassen, bospest (Amerikaanse vogelkers), eik, grove den	o.a. braam, brandnetel, lijsterbes, bospest, braam, grassen, eik, berk
Bodemtype	fijn tot matig fijn zand	matig fijn tot matig grof zand	fijn zand
Bijmengingen	geen	grind, plastic hulzen, kleiduffragmenten	lokaal grind en hout, plastic hulzen, kleiduffragmenten, plaatselijk kleibrokken
Grondkleur	bovenste 10 cm: bruin (humusrijk); 10-25 cm mv: lichtbruin/geel	geel, met plaatselijk humeuze delen	geel en humusrijk (tot ca. 10 cm)
Strooisellaag	Dikte gem. 2 cm (tussen 0 - 4 cm); vnl bestaande uit blad en naalden	ca 0 tot 2 cm, vnl. blad- en naaldmateriaal	ca. 3 cm, vnl. (braam)blad
Vochtigheid	matig	matig	matig in humusrijke deel, droger in geel zand
Uitwerpselen in omgeving?	nee	plaatselijk	nee
Kadavers in omgeving?	nee	nee, wel veren van geplukt duif	nee
Hoeveelheid verzameld materiaal	15 liter	15 liter	15 liter
Weersomstandigheden tijdens bemonstering	droog en bewolkt	bewolkt, afwisselend regen en droog, ca. 20°C	bewolkt, afwisselend regen en droog, ca. 18°C
Opmerkingen	Aan onderzijde van wal dikkere strooisellaag aanwezig	plaatselijk zeer veel kleiduffresten en plastic hulzen op de bodem, plaatselijk geen vegetatie of onderontwikkelde vegetatie, plaatselijk hertensporen en uitwerpselen; niet bemonsterd bij uitwerpselen en plukplaats	plaatselijk zeer veel plastic hulzen en kleiduffragmenten op bodem (top van de kogelvanger), plaatselijk worteldoek aanwezig

Bijlage 10 Achtergrond Nematodenanalyses

De nematodenanalyses, alsmede de extractie van de nematoden uit de bodem, zijn uitbesteed aan het daarin gespecialiseerde Bedrijfs Laboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (BLGG) in Oosterbeek.

De 25 steken zijn als één monster in behandeling genomen. De nematoden zijn van de grond gescheiden met behulp van een Oostenbrinktrechter. Deze scheidingsmethode maakt gebruik van het verschil in dichtheid tussen nematoden en grond, waardoor in een vloeistofkolom gronddeeltjes sneller zakken dan nematoden (van Bezooijen, 1999).

De nematoden zijn in duplo geteld in 10 ml suspensie. Bij een afwijking van meer dan 10% is het monster opnieuw in duplo geteld. Het gemiddelde van deze twee tellingen is gebruikt om de aantallen per 100 g grond te berekenen. De monsters zijn gefixeerd met formaline. Van elk monster zijn 2 preparaten gemaakt, waarin met behulp van een lichtmicroscop circa 75 nematoden in willekeurige volgorde zijn gedetermineerd tot op geslachtsniveau. Voor de naamgeving is het boek van Bongers (1988) aangehouden. In een aantal gevallen zijn de nieuwe inzichten gevolgd aan de hand van recente artikelen.

De volgende resultaten zijn vermeld:

- Totale aantallen nematoden per 100 g veldnatte grond;
- Aantallen individuen per geslacht;
- Aantallen per voedselgroepen
- Aantallen per cp-groep
- De Maturity Index (MI)

De indeling in voedselgroepen is gedaan aan de hand van Yeates *et al.* (1993).

De Maturity Index is berekend volgens Bongers (1990). Nematoden kunnen op basis van hun levensstrategie ingedeeld worden in zogenaamde 'colonizer – persister' groepen (cp-groepen). Deze indeling kent een schaal van 1 tot 5 (cp-waarde). De uitersten van deze schaal vertonen eigenschappen van 'colonizers' (cp-waarde 1 en 2) of 'persisters' (cp-waarde 5). Nematoden met een cp-waarde van 1 hebben een zeer korte generatietijd en een zeer hoge reproductiesnelheid. Ze komen vooral voor onder voedselrijke omstandigheden en worden ook wel verrijkingsoportunisten genoemd. Nematoden met een cp-waarde van 2 hebben een iets langere generatietijd en een hoge reproductiesnelheid. Ze komen vooral voor onder voedselarme omstandigheden en kunnen goed verstoringen en verontreinigingen doorstaan. Deze groep kolonizers worden ook wel algemene opportunisten genoemd. 'Persisters' (cp-groep 5) hebben een lange generatietijd en een lage reproductiesnelheid. Deze soorten zijn bovendien gevoelig voor chemische vervuiling. Cp-groepen 3 en 4 vormen intermediairen tussen 2 en 5.

De verdeling over de verschillende cp-groepen kan uitgedrukt worden in een getal, de zogenaamde Maturity Index (MI) (Bongers, 1990), die gebruikt kan worden voor de beoordeling van bodems. De MI wordt als volgt berekend:

$$MI = \sum_{i=1}^n v(i) \cdot f(i)$$

met:

v(i) = cp-waarde van de familie;

f(i) = frequentie van de familie in een monster.

Bij de MI-berekening zijn de plantenparasieten buiten beschouwing gelaten, omdat hun relatie met stressfactoren (nog) onduidelijk is.

Onder voedselrijke omstandigheden kunnen bacterie-etende nematoden uit de cp-1 groep zeer sterk toenemen. Hierdoor daalt de Maturity Index, niet zozeer vanwege een stressfactor maar vanwege het voedselaanbod. Om onderscheid te kunnen maken tussen effecten van voedsel en van stress wordt daarom ook wel de MI2-5 berekend, waarbij de cp-1 groep buiten beschouwing wordt gelaten bij de berekening.

In het algemeen kan gesteld worden dat hoe hoger de Maturity Index is, hoe gezonder de bodem is. Dit geldt met name voor de MI2-5. Een lage Maturity Index duidt op verstoring van de bodem, mogelijk veroorzaakt door verontreinigingen.

In onderstaande tabel zijn indicatieve beoordelingscriteria weergegeven waarmee de mate van verstoring van een nematodengemeenschap kan worden beoordeeld. Hierbij moet in acht genomen worden dat er ten opzichte van een referentie vergeleken moet worden. Dichtheden kunnen beïnvloed worden door bijvoorbeeld droogte of pH van een bodem, waardoor een parameter als dichtheid niet veel zegt zonder naar een lokale (schone) referentie te kijken.

Tabel 1 Beoordelingscriteria voor nematodeninventarisatie in het veld (uit: Bosveld et al., 2003)

Parameter	Geen effect	Matig effect	Ernstig effect
Dichtheid (n/100g veldnatte grond)	≥800	200-800	<200
Aantal soorten	≥15	15 - 5	<5
Aantal soorten uit cp 3-5	≥5	1 - 4	0
carnivoren	≥2%	0,5% - 2%	<0,5%
omnivoren	≥3%	1% - 3%	<1%

Bijlage 11 Resultaten nematodenanalyse

	monsternaam	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	BH Bos - buiten hek (vak 12)	BH Bos - buiten hek (vak 14)	BH Bos - buiten hek (vak 18)	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	BH Gras baan 3 (vak 2)	BH Gras baan 4 (vak 6)	BH Gras baan 5 (vak 9)	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)	
	aantal/100 g	158	261	183	236	561	692	336	1062	459	203	706	
santallen per 100 g grond	Ditylenchus	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	
	Aphelenchoides	18	28	19	11	8	0	12	7	15	5	7	
	Aphelenchus	0	0	0	0	0	0	0	7	0	5	22	
	Diphtherophora	6	0	0	0	8	7	0	7	0	5	15	
	Tyloaimophorus	0	0	0	54	0	0	12	0	0	0	0	
	Tylencholaimellus	6	0	0	0	34	14	0	0	38	16	0	
	Tylencholaimus	0	9	0	0	0	14	0	0	7	0	0	
	(Neodiplogasteridae)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Panagrolaimus	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	RHABDITIDAE	0	9	0	0	0	0	41	0	62	7	0	37
	Dauerlarve	0	19	13	11	0	27	6	28	0	0	0	112
	Acrobeles	0	0	0	0	8	14	0	0	0	0	10	0
	Acrobeloides	15	0	0	11	8	41	0	7	15	0	0	0
	Cervidellus	6	9	13	11	8	7	0	0	80	5	0	0
	Eucpehalobus	15	0	0	0	0	0	31	263	29	10	45	0
	MONHYSTERIDAE	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	7
	Eumonhystera	0	0	0	0	8	7	0	0	0	0	0	0
	Anaplectus	3	0	0	0	0	0	8	14	0	0	0	15
	PLECTIDAE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Plectus	3	9	0	0	42	21	75	28	7	5	7	0
	Wilsonema	9	0	13	0	0	21	12	0	22	0	0	0
	Bastania	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Prismatolaimus	0	0	0	0	34	7	6	14	29	10	7	0
	Metateratocephalus	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
	Teratocephalus	12	28	6	0	42	0	19	0	73	0	7	0
	Alaimus	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	7	0
	Paramphidelus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82
	Clarkus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
	Mononchus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
	Myonchus	0	0	0	0	17	0	8	0	0	0	0	0
	QUADRIANEMATIDAE	12	19	0	0	0	14	0	14	51	0	7	0
	Eudorylaimus	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
	Aporcelaimellus	0	0	0	0	25	21	0	0	0	10	0	0
	Achromadora	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	7
	DORYLAIMOIDEA	0	9	13	0	25	41	0	55	22	5	22	0
	THORNENEMATINAE	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	7
	Prodoxylaimus	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0
Heteroderidae j	0	0	0	0	8	7	6	7	0	0	0	0	
Meloidogyne	0	0	0	0	17	98	8	28	0	0	0	15	
Pratylenchus	0	0	0	0	17	0	8	55	0	0	0	15	
Helicotylenchus	0	0	0	0	92	75	37	90	0	16	0	0	
Rotylenchus	0	0	0	0	0	21	6	0	0	31	15	0	
Paratylenchus	0	0	6	0	0	27	12	7	0	0	45	0	
CRICONEMATIDAE	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	7	0	
Hemicyclophora	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	
DOLICHODORIDAE	0	0	0	0	8	62	6	0	15	0	0	0	
Tylenchorhynchus	0	0	0	0	17	68	12	104	0	10	0	0	
Paratrichodorus	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	7	
Trichodorus	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	22	
Longidorus	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	

	monsternaam	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	BH Bos - buiten hek (vak 12)	BH Bos - buiten hek (vak 14)	BH Bos - buiten hek (vak 18)	BH Gras referentie (na bij vak 6 en 7)	BH Gras baan 3 (vak 2)	BH Gras baan 4 (vak 6)	BH Gras baan 5 (vak 9)	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	BH Ruigte Kogelvranger baan 4 (W3voor)	BH Ruigte Kogelvranger baan 5 (W1)
	TYLENCHIDAE	50	112	88	140	109	7	19	168	44	36	128
	Aglencus	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Filencus	0	0	6	0	17	0	0	21	0	0	0
	Tylencus	0	0	0	0	0	0	0	28	0	5	15
Voedselgroepen	schimmeleter	29	37	19	64	50	41	25	21	58	31	45
	bacterieter	67	56	31	21	151	158	168	387	270	42	230
	dauerlarve	0	19	13	11	0	27	6	28	0	0	112
	carnivoor	12	19	0	0	42	34	6	28	51	26	7
	algeter	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	7
	omnivoor	0	9	13	0	25	41	0	69	22	5	30
	planteter	50	121	107	140	293	363	131	519	58	99	275
CP-groepen	cp1	6	9	0	0	0	41	0	62	7	0	37
	cp2	67	47	44	32	84	116	149	325	168	42	112
	cp3	18	28	6	54	84	41	44	21	102	16	45
	cp4	18	37	13	0	75	82	6	83	124	36	119
	cp5	0	0	0	0	25	21	0	14	0	10	7
	Totaal cp groepen	108	121	63	86	268	301	199	505	401	104	320
Maturity index	Maturity index (1-5)	2,43	2,77	2,50	2,63	3,16	2,75	2,28	2,33	2,85	3,15	2,84
	Maturity index (2-5)	2,51	2,92	2,50	2,63	3,16	3,03	2,28	2,52	2,89	3,15	3,08
	Maturity index (1d-5)	2,43	2,53	2,25	2,44	3,16	2,60	2,24	2,26	2,85	3,15	2,36

Tabel bijlage 12.2 Toetsing aan beoordelingscriteria voor afwijkende nematodengemeenschap: lichtgrijs betekent geen afwijking, middengrijs een matige afwijking en donkergrijs een grote afwijking (Bosveld et al., 2003).

Locatiecode	Chemie		Nematoden-inventarisatie					Duidelijke relatie met verontreiniging?
	msPAF	beschikbaar lood (mg/kg ds)	totaal aantal per 100 g grond	aantal taxa per 100 g grond	Aantal soorten uit cp 3-5	% carnivoren	% omnivoren	
BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)	0%	0,92	158	14	4	7,4%	0,0%	Nee
BH Bos - buiten hek (vak 12)	43%	288,6	261	11	4	7,1%	3,6%	Nee
BH Bos - buiten hek (vak 14)	31%	170,2	183	10	3	0,0%	6,9%	Nee
BH Bos - buiten hek (vak 18)	37%	347,8	236	6	1	0,0%	0,0%	Waarschijnlijk
BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)	7%	7,3	561	22	14	7,5%	4,5%	Nee
BH Gras baan 3 (vak 2)	59%	0,2	692	25	14	5,0%	5,9%	Nee
BH Gras baan 4 (vak 6)	33%	0,1	336	23	14	1,9%	0,0%	Nee
BH Gras baan 5 (vak 9)	84%	0,2	1052	25	13	2,6%	6,6%	Nee
BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)	0%	5,4	459	16	8	11,1%	4,8%	Nee
BH Ruigte Kogelvang- ger baan 4 (W3voor)	30%	0,1	203	18	10	12,8%	2,6%	Nee
BH Ruigte Kogelvang- ger baan 5 (W1)	95%	7,47	706	29	16	1,1%	4,2%	Nee

*Vergeleken ten opzichte van vegetatiespecifieke referentielocatie

Een afwijkende nematodengemeenschap kan door verschillende factoren worden veroorzaakt. De bodemeigenschappen (vochtgehalte, organische stofgehalte, pH) spelen een belangrijke rol bij afwijkingen. Ook verontreinigingen kunnen – indien deze biologisch beschikbaar zijn – tot duidelijke afwijkingen leiden. Het is van belang om de combinatie van afwijkende waarden in ogenschouw te nemen, en niet een enkele parameter.

Bijlage 12 Analysecertificaten

Analysecertificaten ALcontrol en IRAS (Universiteit Utrecht) zijn hierna bijgevoegd.



Analyserapport

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort
Postbus 95125
1090 HC AMSTERDAM

Blad 1 van 12

Uw projectnaam : 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Uw projectnummer : 304080 - Triade Berkenhorst
ALcontrol rapportnummer : 11677150, versie nummer: 1

Rotterdam, 01-06-2011

Geachte heer/mevrouw,

Hierbij ontvangt u de analyse resultaten van het laboratoriumonderzoek ten behoeve van uw project 304080 - Triade Berkenhorst. Het onderzoek werd uitgevoerd conform uw opdracht. De gerapporteerde resultaten hebben uitsluitend betrekking op de geteste monsters. De door u aangegeven omschrijvingen voor de monsters en het project zijn overgenomen in dit analyserapport.

Het onderzoek is, met uitzondering van eventueel door derden uitgevoerd onderzoek, uitgevoerd door ALcontrol Laboratories, gevestigd aan de Steenhouwerstraat 15 in Rotterdam (NL).

Dit analyserapport bestaat inclusief bijlagen uit 12 pagina's. In geval van een versienummer van '2' of hoger vervallen de voorgaande versies. Alle bijlagen maken onlosmakelijk onderdeel uit van het rapport. Alleen vermenigvuldiging van het hele rapport is toegestaan.

Mocht u vragen en/of opmerkingen hebben naar aanleiding van dit rapport, bijvoorbeeld als u nadere informatie nodig heeft over de meetonzekerheid van de analyseresultaten in dit rapport, dan verzoeken wij u vriendelijk contact op te nemen met de afdeling Customer Support.

Wij vertrouwen er op u met deze informatie van dienst te zijn.

Hoogachtend,



R. van Duin
Laboratory Manager



Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
 Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
 Rapportnummer 11677150 - 1

Orderdatum 20-05-2011
 Startdatum 20-05-2011
 Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Eenheid	Q	001	002	003	004	005
droge stof	gew.-%	Q	83.5	87.0	88.2	85.8	94.2
organische stof (globaalverlies)	% vd DS	Q	3.0	1.3	7.0	0.7	1.3
KORREL GROOTTEVERDELING							
lutum (bodem)	% vd DS	Q	3.0	<1	8.0	1.0	2.9
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	3.8	6.4	6.8	4.6	6.9
temperatuur t.b.v. pH	°C		19.4	19.3	19.5	19.6	19.5
METALEN							
arsen	mg/kgds	Q	<4	<4	29	<4	<4
cadmium	mg/kgds	Q	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
chrom	mg/kgds	Q	<15	<15	<15	<15	<15
koper	mg/kgds	Q	<5	<5	18	<5	<5
kwik	mg/kgds	Q	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05
lood	mg/kgds	Q	71	150	7100	120	230
nikkel	mg/kgds	Q	<3	3.0	12	3.2	3.6
zink	mg/kgds	Q	<20	<20	59	<20	<20
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN							
naftaleen	mg/kgds	Q	<0.02	0.11	1.8	0.04	0.11
acenaftyleen	mg/kgds	Q	<0.02	0.06	0.80	<0.02	0.09
acenafteen	mg/kgds	Q	<0.02	0.54	9.7	0.22	0.63
fluoreen	mg/kgds	Q	<0.02	0.25	4.5	0.08	0.33
fenantreen	mg/kgds	Q	0.03	2.7	51	0.94	2.8
anticeen	mg/kgds	Q	<0.02	0.62	12	0.27	0.62
fluoranteen	mg/kgds	Q	0.07	4.9	77	2.1	4.4
pyreen	mg/kgds	Q	0.06	5.1	99	2.1	5.4
benzo(a)anticeen	mg/kgds	Q	0.05	4.2	72	2.2	4.1
chryseen	mg/kgds	Q	0.05	4.4	65	1.8	4.3
benzo(b)fluoranteen	mg/kgds	Q	0.09	5.5	83	2.4	5.0
benzo(k)fluoranteen	mg/kgds	Q	0.04	2.4	36	1.0	2.2
benzo(a)pyreen	mg/kgds	Q	0.06	4.7	77	2.0	4.5
dibenz(a,h)anticeen	mg/kgds	Q	<0.02	0.78	13	0.40	0.95
benzo(ghi)perylene	mg/kgds	Q	0.04	3.4	57	1.3	3.3
indeno(1,2,3-cd)pyreen	mg/kgds	Q	0.04	2.4	45	1.2	2.6
pak-totaal (10 van VROM)	mg/kgds	Q	0.58	30	490	13	29
pak-totaal (16 van EPA)	mg/kgds	Q	0.55	42	700	18	41

De met 5 gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000 erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
001	Grond	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)
002	Grond	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)
003	Grond	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
004	Grond	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)
005	Grond	BH Gras baan 4 (vak 6)

Paraaf: 



Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
Rapportnummer 11677150 - 1

Orderdatum 20-05-2011
Startdatum 20-05-2011
Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Eenheid	Q	001	002	003	004	005
EOX	mg/kgds	Q	0.18	0.32	5.6	<0.1	0.11
MINERALE OLIE							
fractie C10 - C12	mg/kgds		<5	<5	15	<5	<5
fractie C12 - C22	mg/kgds		<5	<5	260	<5	10
fractie C22 - C30	mg/kgds		<5	<5	150	<5	5
fractie C30 - C40	mg/kgds		<5	<5	60	<5	<5
totaal olie C10 - C40	mg/kgds	Q	<20	<20	480	<20	20

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000 erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
001	Grond	BH Ruigte referentie - wal nabij baan 4 (deel vak 7)
002	Grond	BH Ruigte Kogelvanger baan 4 (W3voor)
003	Grond	BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)
004	Grond	BH Gras referentie (nabij vak 6 en 7)
005	Grond	BH Gras baan 4 (vak 6)

Paraaf : 



Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
 Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
 Rapportnummer 11677150 - 1

Orderdatum 20-05-2011
 Startdatum 20-05-2011
 Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Eenheid	Q	006	007	008	009	010
droge stof	gew.-%	Q	90.4	87.3	85.5	85.9	88.4
organische stof (globaalverlies)	% vd DS	Q	3.4	4.3	6.4	5.3	3.8
KORREL GROOTTEVERDELING							
lutum (bodem)	% vd DS	Q	3.6	7.1	1.7	2.0	4.8
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	6.9	6.8	3.3	3.4	3.4
temperatuur t.b.v. pH	°C		19.4	19.4	19.4	19.5	19.5
METALEN							
arsen	mg/kgds	Q	<4	7.8	<4	6.1	6.5
cadmium	mg/kgds	Q	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
chrom	mg/kgds	Q	<15	<15	<15	<15	<15
koper	mg/kgds	Q	5.9	12	<5	<5	<5
kwik	mg/kgds	Q	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05
lood	mg/kgds	Q	800	7400	39	2400	1300
nikkel	mg/kgds	Q	<3	9.0	<3	<3	<3
zink	mg/kgds	Q	<20	47	<20	<20	<20
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN							
naftaleen	mg/kgds	Q	0.21	0.39	<0.02	<0.02	<0.02
acenaftyleen	mg/kgds	Q	0.10	0.14	<0.02	<0.02	<0.02
acenafteen	mg/kgds	Q	1.3	3.1	<0.02	<0.02	<0.02
fluoreen	mg/kgds	Q	0.63	1.4	<0.02	<0.02	<0.02
fenantreen	mg/kgds	Q	5.0	8.8	<0.02	<0.02	<0.02
anticeen	mg/kgds	Q	1.2	2.4	<0.02	<0.02	<0.02
fluoranteen	mg/kgds	Q	9.8	12	0.03	0.03	0.03
pyreen	mg/kgds	Q	10	15	0.03	0.03	<0.02
benzo(a)anticeen	mg/kgds	Q	8.7	11	<0.02	<0.02	<0.02
chryseen	mg/kgds	Q	9.4	12	0.03	0.03	<0.02
benzo(b)fluoranteen	mg/kgds	Q	12	13	0.05	0.05	0.03
benzo(k)fluoranteen	mg/kgds	Q	5.3	5.7	<0.02	0.02	<0.02
benzo(a)pyreen	mg/kgds	Q	10	12	<0.02	<0.02	<0.02
dibenz(a,h)anticeen	mg/kgds	Q	1.5	1.7	<0.02	<0.02	<0.02
benzo(ghi)perylene	mg/kgds	Q	7.5	9.2	<0.02	<0.02	<0.02
indeno(1,2,3-cd)pyreen	mg/kgds	Q	6.3	6.6	<0.02	0.02	<0.02
pak-totaal (10 van VROM)	mg/kgds	Q	64	80	<0.2	<0.2	<0.2
pak-totaal (16 van EPA)	mg/kgds	Q	90	110	<0.32	<0.32	<0.32

De met 5 gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000 erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
006	Grond	BH Gras baan 3 (vak 2)
007	Grond	BH Gras baan 5 (vak 9)
008	Grond	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)
009	Grond	BH Bos - buiten hek (vak 12)
010	Grond	BH Bos - buiten hek (vak 14)

Paraaf: 

Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
Rapportnummer 11677150 - 1Orderdatum 20-05-2011
Startdatum 20-05-2011
Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Eenheid	Q	006	007	008	009	010
EOX	mg/kgds	Q	1.5	0.84	0.59	0.26	0.25
MINERALE OLIE							
fractie C10 - C12	mg/kgds		5	5	<5	<5	<5
fractie C12 - C22	mg/kgds		15	50	<5	<5	<5
fractie C22 - C30	mg/kgds		10	30	<5	<5	<5
fractie C30 - C40	mg/kgds		5	15	<5	<5	<5
totaal olie C10 - C40	mg/kgds	Q	40	100	<20	<20	<20

De met 5 gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000 erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
006	Grond	BH Gras baan 3 (vak 2)
007	Grond	BH Gras baan 5 (vak 9)
008	Grond	BH Bos referentie - buiten hek (vak 17)
009	Grond	BH Bos - buiten hek (vak 12)
010	Grond	BH Bos - buiten hek (vak 14)

Paraaf : 



Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
 Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
 Rapportnummer 11677150 - 1

Orderdatum 20-05-2011
 Startdatum 20-05-2011
 Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Eenheid	Q	011
droge stof	gew.-%	Q	88.0
organische stof (globaalverlies)	% vd DS	Q	5.4
KORREL GROOTTEVERDELING			
lutum (bodem)	% vd DS	Q	3.3
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	3.8
temperatuur t.b.v. pH	°C		19.4
METALEN			
arsen	mg/kgds	Q	11
cadmium	mg/kgds	Q	<0.4
chrom	mg/kgds	Q	<15
koper	mg/kgds	Q	<5
kwik	mg/kgds	Q	<0.05
lood	mg/kgds	Q	1800
nikkel	mg/kgds	Q	<3
zink	mg/kgds	Q	<20
POLYCYCLISCHE AROMATISCHE KOOLWATERSTOFFEN			
naftaleen	mg/kgds	Q	<0.02
acenaftyleen	mg/kgds	Q	<0.02
acenafteen	mg/kgds	Q	<0.02
fluoreen	mg/kgds	Q	<0.02
fenantreen	mg/kgds	Q	<0.02
anticeen	mg/kgds	Q	<0.02
fluoranteen	mg/kgds	Q	0.04
pyreen	mg/kgds	Q	0.04
benzo(a)anticeen	mg/kgds	Q	0.03
chryseen	mg/kgds	Q	0.03
benzo(b)fluoranteen	mg/kgds	Q	0.06
benzo(k)fluoranteen	mg/kgds	Q	0.03
benzo(a)pyreen	mg/kgds	Q	0.03
dibenz(a,h)anticeen	mg/kgds	Q	<0.02
benzo(ghi)perylene	mg/kgds	Q	0.02
indeno(1,2,3-cd)pyreen	mg/kgds	Q	0.02
pak-totaal (10 van VROM)	mg/kgds	Q	0.22
pak-totaal (16 van EPA)	mg/kgds	Q	0.33

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000 erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
011	Grond	BH Bos - buiten hek (vak 18)

Paraaf: 



Gronmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

Blad 7 van 12

Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
Rapportnummer 11677150 - 1

Orderdatum 20-05-2011
Startdatum 20-05-2011
Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Eenheid	Q	011
EOX	mg/kgds	Q	0.77
MINERALE OLIE			
fractie C10 - C12	mg/kgds		<5
fractie C12 - C22	mg/kgds		<5
fractie C22 - C30	mg/kgds		<5
fractie C30 - C40	mg/kgds		<5
totaal olie C10 - C40	mg/kgds	Q	<20

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000 erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie
011	Grond	BH Bos - buiten hek (vak 18)

Paraaf: 



Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
 Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
 Rapportnummer 11677150 - 1

Orderdatum 20-05-2011
 Startdatum 20-05-2011
 Rapportagedatum 01-06-2011

Analyse	Monstersoort	Relatie tot norm
droge stof	Grond	Grond; gelijkwaardig aan NEN-ISO 11465, conform OVAM-methode CMA 2/IIA.1 Grond (AS3000); conform AS3010-2
organische stof (gloeiverlies)	Grond	Grond/Puin; gelijkwaardig aan NEN 5754, Grond (AS3000); conform AS3010
lutum (bodem)	Grond	Conform AS3010-4
pH-grond (CaCl ₂)	Grond	Conform AS3010, NEN-ISO 10390
arsen	Grond	conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966) eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform ISO 22036).
cadmium	Grond	idem
chrom	Grond	idem
koper	Grond	idem
kwik	Grond	Conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN-ISO 16772)
lood	Grond	conform NEN 6950 (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform NEN 6966) eigen methode (ontsluiting conform NEN 6961, meting conform ISO 22036).
nikkel	Grond	idem
zink	Grond	idem
naftaleen	Grond	Eigen methode, aceton-hexaan-extractie, analyse m.b.v. GC-MS
acenaftyleen	Grond	idem
acenafteen	Grond	idem
fluoreen	Grond	idem
fenantreen	Grond	idem
anticeen	Grond	idem
fluoranteen	Grond	idem
pyreen	Grond	idem
benzo(a)antraceen	Grond	idem
chryseen	Grond	idem
benzo(b)fluoranteen	Grond	idem
benzo(k)fluoranteen	Grond	idem
benzo(a)pyreen	Grond	idem
dibenz(a,h)antraceen	Grond	idem
benzo(ghi)peryleen	Grond	idem
indeno(1,2,3-cd)pyreen	Grond	idem
EOX	Grond	Eigen methode, aceton-hexaan-extractie, analyse m.b.v. micro-coulometer
totaal olie C10 - C40	Grond	Eigen methode, aceton-hexaan-extractie, clean-up, analyse m.b.v. GC-FID

Monster	Barcode	Aanlevering	Monsternamen	Verpakking
001	Y1785272	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
002	Y1785268	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
003	Y1785264	20-05-2011	20-05-2011	ALC201
004	Y1785260	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
005	Y1785248	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
006	Y1785263	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
007	Y1785265	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
008	Y1785256	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
009	Y1785252	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
010	Y1785259	20-05-2011	19-05-2011	ALC201
011	Y1785258	20-05-2011	19-05-2011	ALC201

Paraaf: 



Analyserapport

Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
 Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
 Rapportnummer 11677150 - 1

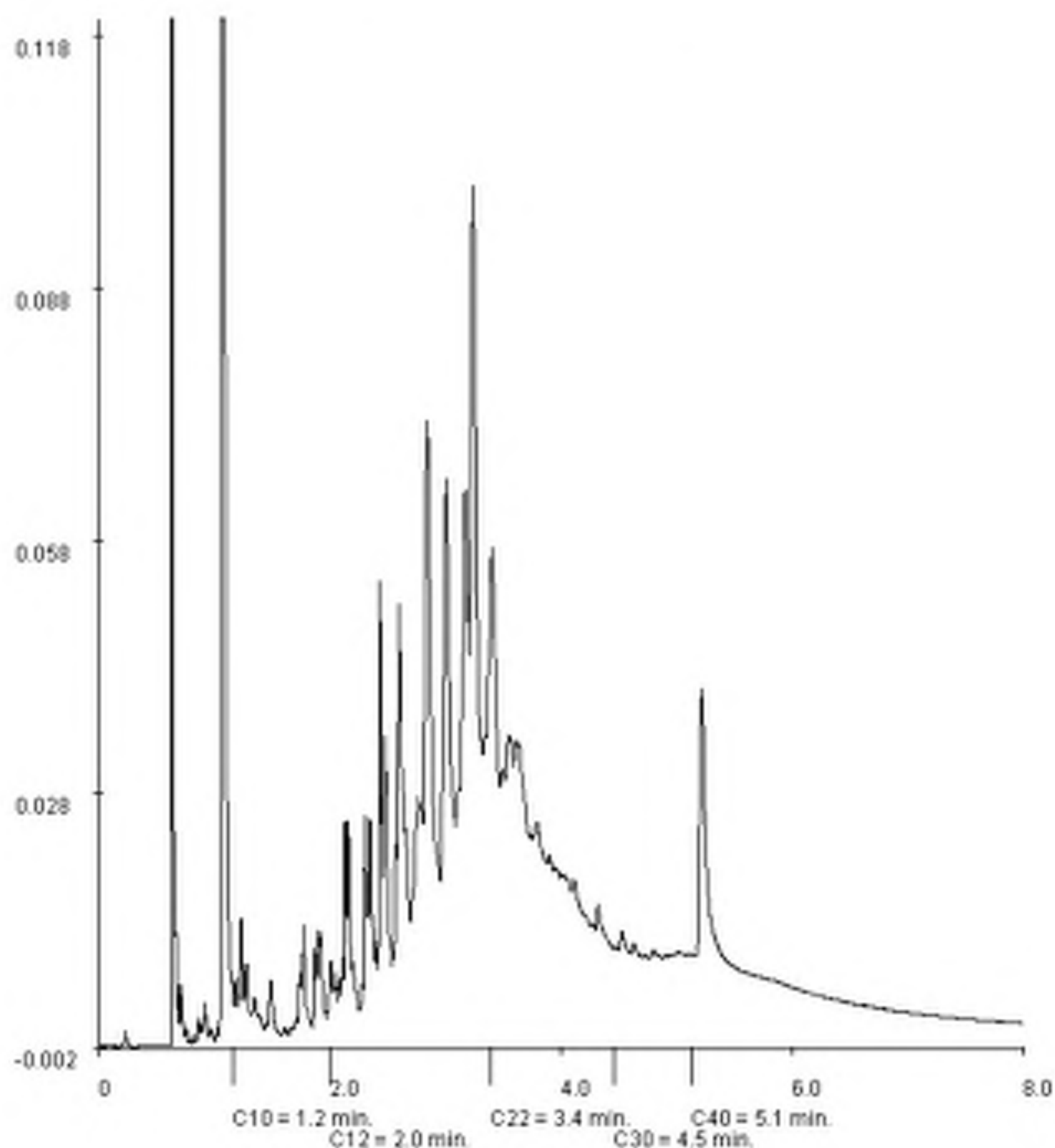
Orderdatum 20-05-2011
 Startdatum 20-05-2011
 Rapportagedatum 01-06-2011

Monsternummer: 003
 Monster beschrijvingen: BH Ruigte Kogelvanger baan 5 (W1)

Karakterisering naar alkaantraject

benzine	C9-C14
kerosine en petroleum	C10-C16
diesel en gasolie	C10-C28
motorolie	C20-C36
stockolie	C10-C36

De C10 en C40 pieken zijn toegevoegd door het laboratorium en worden gebruikt als interne standaard.

Paraaf: 

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

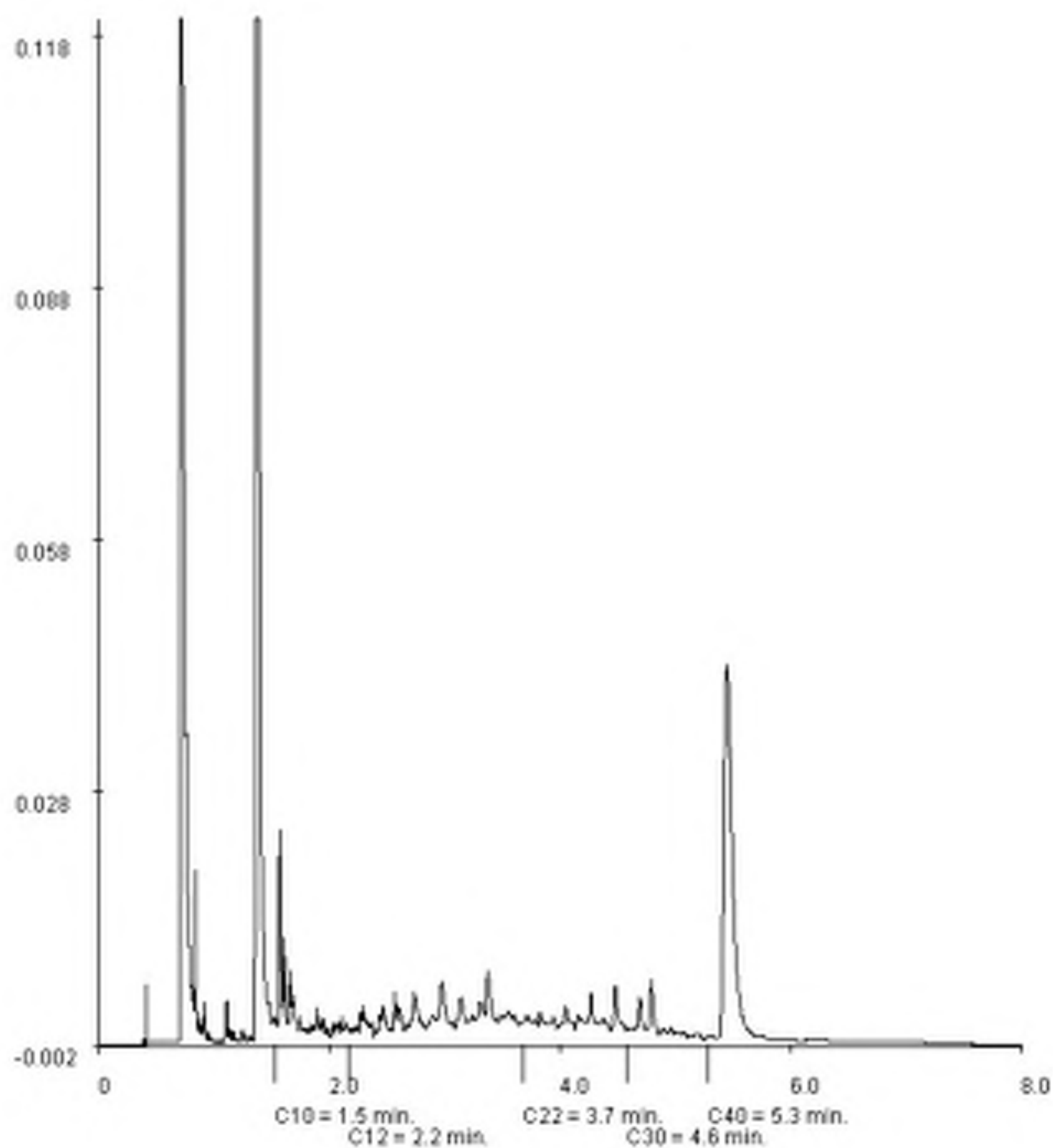
Blad 10 van 12

Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
Rapportnummer 11677150 - 1Orderdatum 20-05-2011
Startdatum 20-05-2011
Rapportagedatum 01-06-2011Monsternummer: 005
Monster beschrijvingen: BH Gras baan 4 (vak 6)

Karakterisering naar alkaantraject

benzine	C9-C14
kerosine en petroleum	C10-C16
diesel en gasolie	C10-C28
motorolie	C20-C36
stockolie	C10-C36

De C10 en C40 pieken zijn toegevoegd door het laboratorium en worden gebruikt als interne standaard.



Paraaf:

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

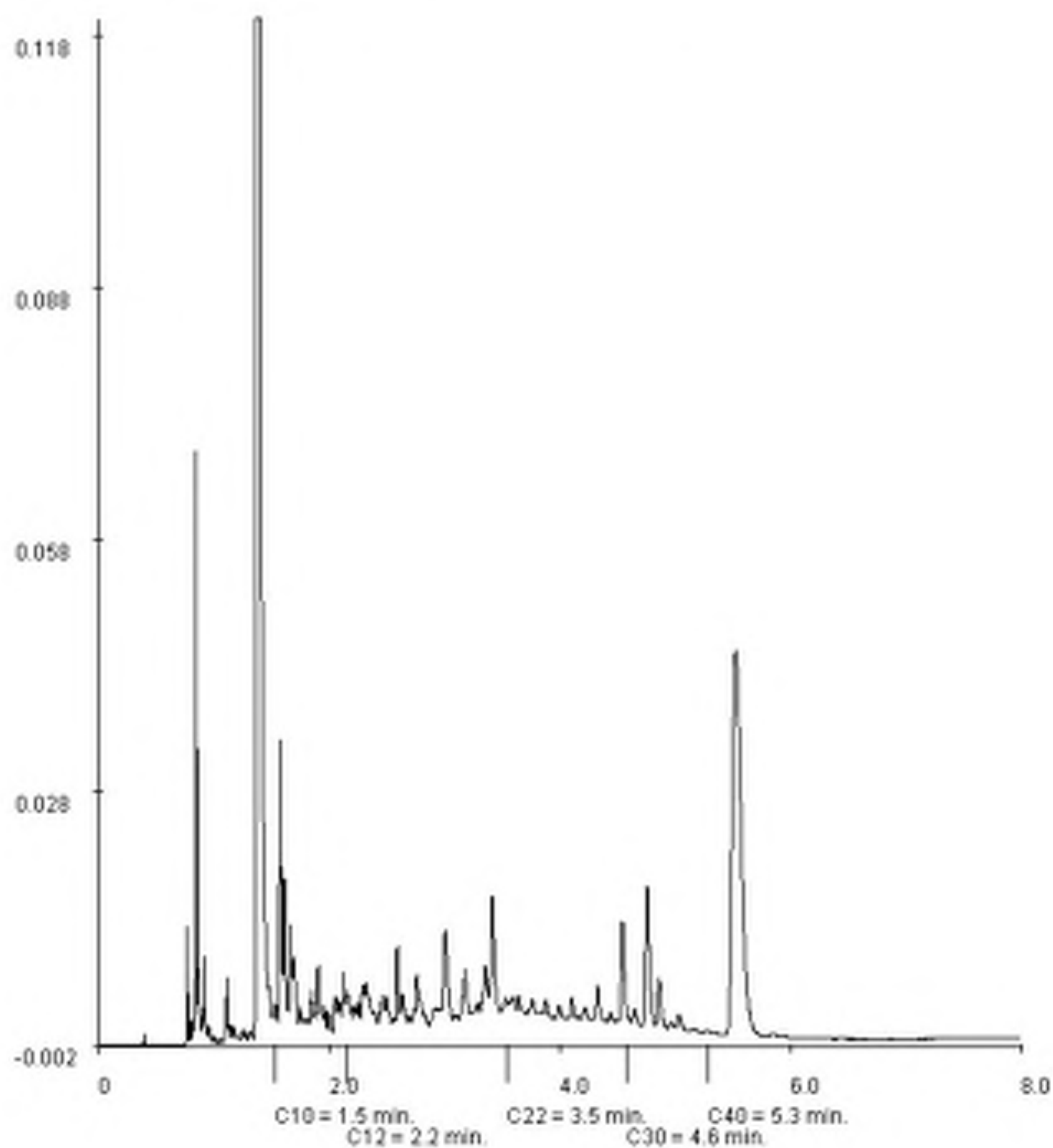
Blad 11 van 12

Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
Rapportnummer 11677150 - 1Orderdatum 20-05-2011
Startdatum 20-05-2011
Rapportagedatum 01-06-2011Monsternummer: 006
Monster beschrijvingen: BH Gras baan 3 (vak 2)

Karakterisering naar alkaantraject

benzine	C9-C14
kerosine en petroleum	C10-C16
diesel en gasolie	C10-C28
motorolie	C20-C36
stockolie	C10-C36

De C10 en C40 pieken zijn toegevoegd door het laboratorium en worden gebruikt als interne standaard.

Paraaf: 

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

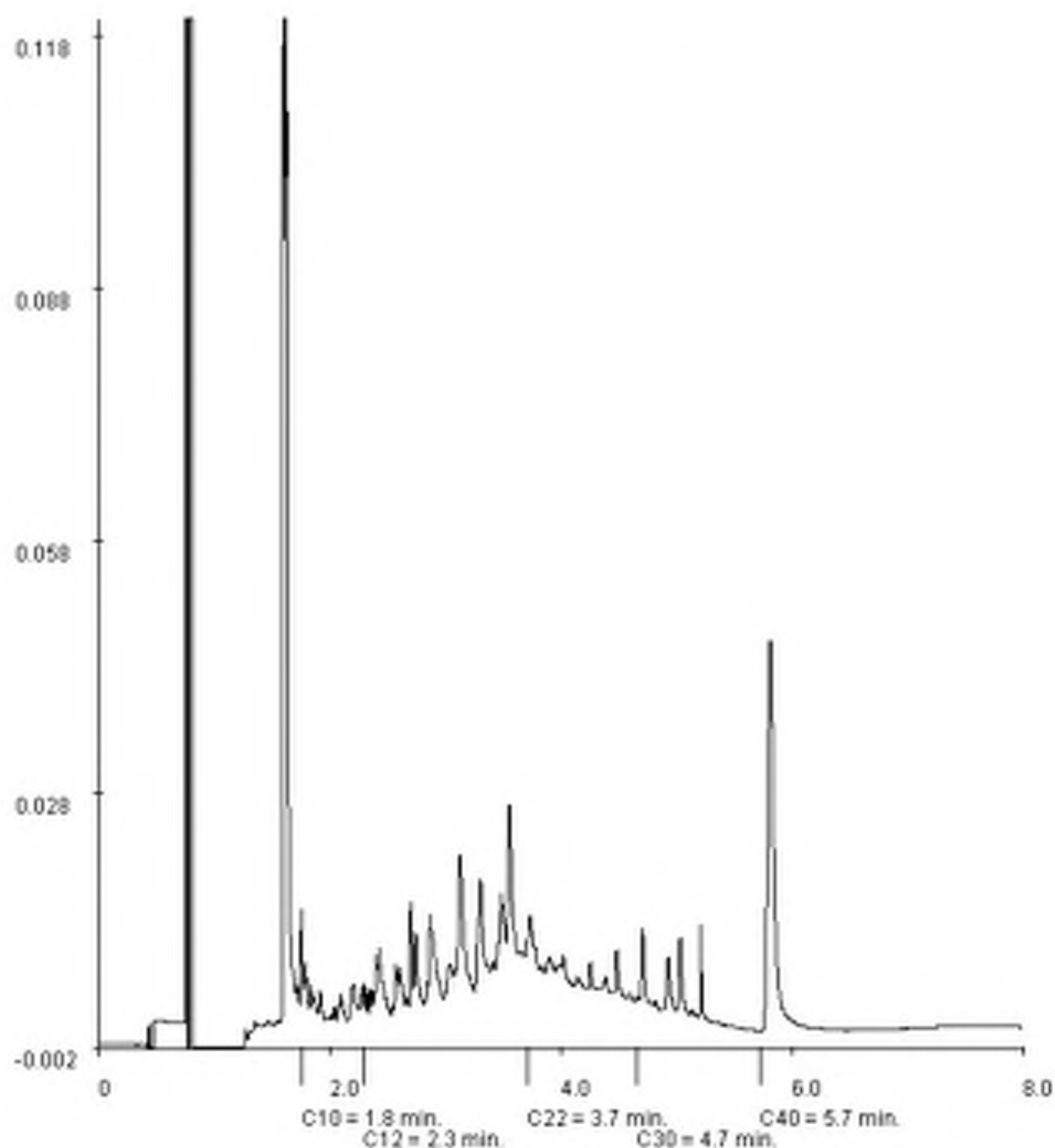
Blad 12 van 12

Projectnaam 304080 - Triade Berkenhorst, Elspeet - Totaalgehalten
Projectnummer 304080 - Triade Berkenhorst
Rapportnummer 11677150 - 1Orderdatum 20-05-2011
Startdatum 20-05-2011
Rapportagedatum 01-06-2011Monsternummer: 007
Monster beschrijvingen: BH Gras baan 5 (vak 9)

Karakterisering naar alkaantraject

benzine	C9-C14
kerosine en petroleum	C10-C16
diesel en gasolie	C10-C28
motorolie	C20-C36
stockolie	C10-C36

De C10 en C40 pieken zijn toegevoegd door het laboratorium en worden gebruikt als interne standaard.



Paraaf:

Biologische beschikbaarheid van PAKs in bodems

POM-SPE metingen in bodems van Grontmij, juni 2011

Dr. ir. M.T.O. Jonker
Drs. S.A. van der Heijden

juli 2011
Institute for Risk Assessment Sciences/IRAS
Universiteit Utrecht



Institute for Risk Assessment Sciences

Universiteit Utrecht



Inleiding

De huidige risicobeoordeling van bodems en sedimenten is gebaseerd op totale concentraties van organische verontreinigingen (bijvoorbeeld polycyclische aromatische koolwaterstoffen – PAKs) in de vaste fase. De te beoordelen bodems en sedimenten worden hiertoe geëxtraheerd met een oplosmiddel en de resulterende concentraties worden getoetst aan vastgestelde risicowaarden. Deze risicowaarden zijn in het verleden afgeleid uit toxiciteitsexperimenten waarbij toxische concentraties in de waterfase zijn doorvertaald naar bijbehorende “toxische concentraties” in de vaste fase, gebruik makend van organisch koolstof-genormaliseerde sediment/bodem-water verdelingscoëfficiënten (K_{oc}) uit de literatuur. Recent onderzoek heeft echter uitgewezen dat deze K_{oc} waarden (sorptie) in veel gevallen een onderschatting zijn van de actuele waarden. Met andere woorden, in het veld optredende K_{oc} 's zijn vaak hoger, en de toetsingswaarden weerspiegelen daarmee niet de actuele blootstellingsconcentraties en effecten. Een inschatting van de mate waarin actuele effecten afwijken van de aangenomen effecten kan worden gemaakt door vrij opgeloste concentraties van de betreffende stoffen in poriewater te meten en deze te vergelijken met poriewaterconcentraties die behoren bij de aannamen binnen de huidige risicobeoordeling. Een goede manier om poriewaterconcentraties te meten, is met behulp van de Polyoxymethylene- Solid Phase Extraction (POM-SME) methode¹.

¹ POM is een polymeer waarin vrij opgeloste hydrofobe stoffen zoals PAKs absorberen, welke zodanig ten behoeve van kwantitatieve analyse uit een waterfase worden geëxtraheerd. Zie bijvoorbeeld Jonker, M.T.O. & Koelmans, A.A. 2001, *Environ. Sci. Technol.* 35, 3742 of Van der Heijden, S.A. & Jonker, M.T.O. 2009, *Environ. Sci. Technol.* 43, 3757.

Materiaal & Methoden

Chemicaliën

De volgende chemicaliën zijn gebruikt: methanol (Super Gradient grade; Lab Scan, Dublin, Ierland), acetonitrile (HPLC grade; Lab Scan), millipore water, calciumchloride (p.a.; Merck, Darmstadt, Duitsland), natriumazide (extra zuiver; Merck) en 2-methylchryseen (99.2%; BCR, Geel, België).

POM

De gebruikte POM strips waren op gewicht geknipte stukjes van een 76 µm dik POM vel (CS Hyde company, Lake Villa, IL, USA). Voor gebruik werden alle strips gewassen met achtereenvolgens hexaan (1x30 min) en methanol (3x30 min), waarna ze aan de lucht gedroogd werden.

Bodems

Door Grontmij werden elf bodems aangeleverd, gecodeerd als BH Bos/vak12, BH Bos/vak14, BH Bos/vak18, BH Bos ref/vak17, BH Gras/baan3/vak2, BH Gras/baan4/vak6, BH Gras/baan5/vak9, BH Gras ref/vak6-7, BH Ruigte/KVbaan4/W3voor, BH Ruigte/KVbaan5/W1 en BH Ruigte ref/wal baan4/MM7. De bodems werden zonder verdere behandeling gebruikt.

POM-SPE metingen

Van iedere bodem werd in een amberkleurig 50 ml vol-glas flesjes circa 10 gram materiaal ingewogen. Vervolgens werd hieraan 45 ml Millipore water toegevoegd, met daarin opgelost 50 mg/l natriumazide en 1.47 g/l calciumchloride. Daarna werd in ieder flesje een POM strip met bekend gewicht gebracht en werden de flesjes gesloten. Voor ieder bodemmonster werden vier bepalingen ingezet. Daarnaast werden vier blanco bepalingen gedaan. Alle flesjes werden vervolgens op een schudapparaat gelegd en gedurende 28 dagen geslut bij 20 °C. Hierna werden de POM strips uit de flesjes gehaald, schoongeveegd met in Millipore water gedrenkte tissues, en overgebracht naar HPLC vials, waarin zich een bekende

hoeveelheid acetonitril bevond. Als laatste werd aan alle vials interne standaard oplossing (2-methylchryseen) toegevoegd en werden de vials gedurende 1 minuut gemengd op een vortex apparaat. Voorafgaande aan de analyses werden de vials opnieuw 30 seconden gevortexed.

PAK analyses

PAKs werden geanalyseerd op een HPLC systeem, bestaande uit de combinatie van een Varian Prostar 420 autosampler, een Gynkotec P580 HPLC pomp, een Shimadzu DGU-14A degasser, een Phenomenex TS130 kolomoven en een Jasco FP-2020 plus fluorescentie detector. De gebruikte kolom was een Vydac 201TP reverse phase C_{18} kolom. Er werd gedraaid bij 27 °C met een methanol:water mengsel (flow en mengsel gradiënt) en iedere run werd afgesloten met een acetonitrile spoelstap. Kwantificering geschiedde op basis van een vierpunts ijklijn waarvan alle punten in viervoud werden geanalyseerd. Relatieve standaarddeviaties van deze analyses waren voor alle PAKs lager dan 1.3 %.

Dataverwerking

Alle piekhoogten voortvloeiend uit de integraties (Chromcard versie 1.21, CE instruments, Milaan, Italië) werden met behulp van Microsoft Excel omgerekend naar PAK concentraties in POM (C_{pom} ; in mg individuele PAK per kg POM). Deze concentraties werden vervolgens doorberekend naar concentraties in de poriewaterfase (C_w), met behulp van bekende (eerder in het lab bepaalde) POM-water verdelingscoëfficiënten (K_{pom}) ($C_w = C_{pom}/K_{pom}$).

Resultaten

In Tabel 1 zijn de concentraties in het poriewater van de bodems weergegeven zoals die bepaald zijn na de 28-daagse blootstelling (C_w -gemeten). Tevens zijn poriewaterconcentraties gegeven, zoals die zijn ingeschat op basis van de huidige risicobeoordeling (C_w -model). Het verschil tussen beide C_w waarden (de opgegeven factor) geeft aan in welke mate de actuele risico's worden overschat, uitgaande van de huidige beoordelingssystematiek.

Tabel 1. PAK concentraties gemeten in poriewater van elf bodems (C_w gemeten; ng/l; \pm standaard deviatie)^a. Ter vergelijking zijn de poriewaterconcentraties gegeven die behoren bij de inschatting op basis van de huidige risicobeoordeling van deze bodems (C_w model; ng/l; alleen gegeven voor die PAKs waarvoor concentraties in de vaste fase zijn opgegeven door Grontmij), alsmede de ratio tussen beide concentraties (dit is de factor waarmee het risico binnen de huidige beoordeling wordt overschat). Voor de bodems waarvoor de gemeten C_w waarden onder de detectielimiet liggen, is geen factor gegeven, omdat voor deze bodems de totaalgehalten al ver onder de risicowaarden liggen.

	BH Bos/vak12			BH Bos/vak14			BH Bos/vak18		
	C_w gemeten	C_w model	factor	C_w gemeten	C_w model	factor	C_w gemeten	C_w model	factor
Phenanthrene	<dl			<dl			<dl		
Anthracene	<dl			<dl			<dl		
Fluoranthene	<dl			<dl			<dl		
Pyrene	<dl			<dl			<dl		
Benz[<i>a</i>]anthracene	<dl			<dl			<dl		
Chrysene	<dl			<dl			<dl		
Benzo[<i>e</i>]pyrene	<dl			<dl			<dl		
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	<dl			<dl			<dl		
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	<dl			<dl			<dl		
Benzo[<i>a</i>]pyrene	<dl			<dl			<dl		
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	<dl			<dl			<dl		
Dibenz[<i>ah</i>]anthracene	<dl			<dl			<dl		
Indeno[123, <i>cd</i>]pyrene	<dl			<dl			<dl		

Tabel 1. Vervolg.

	BH Bos ref/vak17			BH Gras/baan3/vak2			BH Gras/baan4/vak6		
	C _w gemeten	C _w model	factor	C _w gemeten	C _w model	factor	C _w gemeten	C _w model	factor
Phenanthrene	<dl			32.3 ± 1.32	37850	1173	29.4 ± 8.43	55435	1885
Anthracene	<dl			7.67 ± 0.65	9084	1185	7.03 ± 1.17	12275	1747
Fluoranthene	<dl			25.9 ± 2.33	24228	935	22.9 ± 5.30	28450	1244
Pyrene	<dl			21.2 ± 1.89	24723	1166	18.9 ± 5.03	34916	1847
Benz[<i>a</i>]anthracene	<dl			3.86 ± 0.26	5829	1510	3.57 ± 0.89	7185	2012
Chrysene	<dl			3.50 ± 0.24	7590	2167	3.66 ± 0.97	9080	2479
Benzo[<i>e</i>]pyrene	<dl			1.11 ± 0.03			0.93 ± 0.23		
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	<dl			1.13 ± 0.05	9689	8576	0.87 ± 0.26	10558	12147
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	<dl			0.52 ± 0.02	2029	3890	0.31 ± 0.10	2203	7037
Benzo[<i>a</i>]pyrene	<dl			0.99 ± 0.04	3829	3855	0.54 ± 0.18	4507	8381
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	<dl			0.29 ± 0.01	778	2714	0.16 ± 0.05	896	5728
Dibenz[<i>ah</i>]anthracene	<dl			0.04 ± 0.00	129	3245	0.02 ± 0.01	214	12780
Indeno[123, <i>cd</i>]pyrene	<dl			0.19 ± 0.01	543	2802	0.07 ± 0.04	586	1885

Tabel 1. Vervolg.

	BH Gras/baan5/vak9			BH Gras ref/vak6-7			BH Ruigte/KVbaan4/W3voor		
	C _w gemeten	C _w model	factor	C _w gemeten	C _w model	factor	C _w gemeten	C _w model	factor
Phenanthrene	80.9 ± 3.58	52673	651	52.9 ± 4.20	34562	654	91.1 ± 30.3	53456	587
Anthracene	17.9 ± 0.43	14365	803	9.22 ± 0.73	9927	1076	29.3 ± 4.62	12275	418
Fluoranthene	20.6 ± 0.96	23458	1139	37.5 ± 2.19	25217	672	58.6 ± 13.9	31683	540
Pyrene	23.4 ± 0.52	29322	1255	28.5 ± 1.76	25217	886	42.2 ± 11.0	32976	781
Benz[<i>a</i>]anthracene	3.05 ± 0.09	5828	1912	5.01 ± 0.26	7160	1430	6.28 ± 2.24	7360	1172
Chrysene	2.93 ± 0.07	7661	2619	4.70 ± 0.22	7059	1502	6.21 ± 2.34	9291	1496
Benzo[<i>e</i>]pyrene	1.01 ± 0.01			0.97 ± 0.04			1.22 ± 0.44		
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	0.86 ± 0.01	8299	9606	1.34 ± 0.05	9412	7020	1.22 ± 0.47	11614	9520
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	0.27 ± 0.01	1726	6327	0.53 ± 0.03	1860	3532	0.46 ± 0.18	2403	5262
Benzo[<i>a</i>]pyrene	0.54 ± 0.02	3633	6727	0.67 ± 0.04	3720	5574	0.82 ± 0.32	4707	5709
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	0.20 ± 0.01	755	3746	0.09 ± 0.01	655	7624	0.19 ± 0.06	923	4859
Dibenz[<i>ah</i>]anthracene	0.02 ± 0.00	116	5240	0.02 ± 0.00	167	7332	0.02 ± 0.01	176	9362
Indeno[123, <i>cd</i>]pyrene	0.10 ± 0.01	449	4643	0.09 ± 0.00	502	5750	0.08 ± 0.04	541	6420

Tabel 1. Vervolg.

	BH Ruigte/KVbaan5/W1			BH Ruigte ref/wal baan4/MM7		
	C _w gemeten	C _w model	factor	C _w gemeten	C _w model	factor
Phenanthrene	84.9 ± 35.2	187519	2208	<dl		
Anthracene	15.0 ± 5.17	44122	2944	<dl		
Fluoranthene	47.2 ± 16.6	92462	1960	<dl		
Pyrene	47.4 ± 16.8	118880	2510	<dl		
Benz[<i>a</i>]anthracene	8.55 ± 2.37	23432	2740	<dl		
Chrysene	8.31 ± 2.13	25491	3066	0.04 ± 0.004	45.8	1239
Benzo[<i>e</i>]pyrene	3.92 ± 0.59			<dl		
Benzo[<i>b</i>]fluoranthene	3.06 ± 0.58	32550	10648	<dl		
Benzo[<i>k</i>]fluoranthene	1.44 ± 0.23	6695	4641	<dl		
Benzo[<i>a</i>]pyrene	2.93 ± 0.54	14321	4882	<dl		
Benzo[<i>ghi</i>]perylene	1.29 ± 0.13	2873	2228	<dl		
Dibenz[<i>ah</i>]anthracene	0.12 ± 0.02	544	4392	<dl		
Indeno[123, <i>cd</i>]pyrene	0.65 ± 0.11	1882	2890	<dl		

^a : *n* = 4 voor elk systeem. Elke waarde is gecorrigeerd voor de blanco bepalingen.

<dl: waarde ligt onder de detectielimiet. Detectielimieten (in poriewater) zijn voor de opeenvolgende PAKs: 0.20, 0.20, 0.11, 0.08, 0.02, 0.02, 0.01, 0.005, 0.005, 0.003, 0.002, 0.002 en 0.002 ng/L.

Discussie & Conclusies

De gemiddelde standaardafwijking van de POM-SPE metingen bedroeg 17.2 %. Dit is een relatief grote fout, maar de waarde is niet ongebruikelijk voor dit soort metingen in bodems. Oorzaak is de heterogeniteit van de monsters. Voor sedimenten, welke doorgaans veel homogener zijn dan bodems, wordt doorgaans een veel lagere fout gevonden. Verder was de spreiding in de huidige metingen sterk afhankelijk van de doorgemeten bodem. De grootste spreidingen werden gemeten in de bodems BH Gras/baan4/vak6, BH Ruigte/KVbaan4/W33voor en BH Ruigte/KVbaan5/W1 (30.1, 33.6 en 24.1 %, respectievelijk). In de bodems BH Gras baan3/vak2, - baan5/vak9 en - rel/vak6-7 waren de standaardafwijkingen echter respectievelijk slechts 5.8, 3.4 en 6.3%. Deze laatste waarden geven duidelijk aan dat de metingen goed zijn uitgevoerd.

Actuele poriewaterconcentraties zijn 418 tot circa 13,000 maal (gemiddeld 3816 maal) zo laag als in feite wordt verondersteld in de huidige risicobeoordeling. De "C_w model" waarden zijn berekend op basis van de volgende formule: $C_w(\text{model}) = C_s / [K_{oc} \cdot f_{oc}]$, met daarin gesubstitueerd de door Grontmij opgegeven concentraties in de bodems (C_s), het organisch koolstofgehalte (f_{oc}; aannemende dat 58 % van het organisch materiaal bestaat uit organisch koolstof), en de K_{oc} (waarvoor gebruik is gemaakt van de vergelijking $\log K_{oc} = 0.81 \log K_{ow} + 0.1$ ²).

Sorptie van PAKs aan deze bodems is bijzonder sterk. Het gedrag van de PAKs is daarmee vergelijkbaar aan het gedrag dat ook vaak in bijvoorbeeld gasfabriekbodems wordt gezien. Actuele K_{oc} waarden (niet getoond) lopen uiteen van 10^{6.5} voor anthracene tot 10^{9.9} voor dibenz[ah]anthracene. De bodems vertonen verder zeer vergelijkbare sorptiekaracteristieken; de actuele logK_{oc} waarden voor de bodems liggen voor iedere stof zeer dicht bij elkaar. Zo is voor de zes verschillende bodems (degene waarin concentraties boven de detectielimiet

² Sabljic, A.; Gusten, H. QSARs for soil sorption. In: Overview of structure-activity relationships for environmental endpoints. Report prepared within the framework of the project "QSAR for Prediction of Fate and Effects of Chemicals in the Environment", an international project of the Environmental Technologies RTD Programme (DG XII/D-1) of the European Commission under contract number EV5V-CT92-0211. 1995.

liggen) de actuele $\log K_{oc}$ waarde voor bijvoorbeeld benzo[*b*]fluoranthene 8.77 ± 0.08 , wat als een zeer constante waarde mag worden beschouwd (zeer kleine variatie).

Op basis van de bovenstaande data mag worden geconcludeerd dat in de geteste bodemmonsters sprake is van zeer sterk verminderde biologische beschikbaarheid van PAKs.



Analyserapport

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort
Postbus 95125
1090 HC AMSTERDAM

Blad 1 van 8

Uw projectnaam : 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Uw projectnummer : 330888
ALcontrol rapportnummer : 11905165, versienummer: 1

Rotterdam, 28-06-2013

Geachte heer/mevrouw,

Hierbij ontvangt u de analyse resultaten van het laboratoriumonderzoek ten behoeve van uw project 330888. Het onderzoek werd uitgevoerd conform uw opdracht. De gerapporteerde resultaten hebben uitsluitend betrekking op de geteste monsters. De door u aangegeven omschrijvingen voor de monsters en het project zijn overgenomen in dit analyserapport.

Het onderzoek is, met uitzondering van eventueel door derden uitgevoerd onderzoek, uitgevoerd door ALcontrol Laboratories, gevestigd aan de Steenhouwerstraat 15 in Rotterdam (NL).

Dit analyserapport bestaat inclusief bijlagen uit 8 pagina's. In geval van een versienummer van '2' of hoger vervallen de voorgaande versies. Alle bijlagen maken onlosmakelijk onderdeel uit van het rapport. Alleen vermenigvuldiging van het hele rapport is toegestaan.

Mocht u vragen en/of opmerkingen hebben naar aanleiding van dit rapport, bijvoorbeeld als u nadere informatie nodig heeft over de meetonzekerheid van de analyseresultaten in dit rapport, dan verzoeken wij u vriendelijk contact op te nemen met de afdeling Customer Support.

Wij vertrouwen er op u met deze informatie van dienst te zijn.

Hoogachtend,



R. van Duin
Laboratory Manager



Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

Blad 2 van 8

Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Projectnummer 330888
Rapportnummer 11905165 - 1

Orderdatum 22-06-2013
Startdatum 24-06-2013
Rapportagedatum 28-06-2013

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie					
001	Grond	301pH					
002	Grond	302pH					
003	Grond	303pH					
004	Grond	304pH					
005	Grond	305pH					

Analyse	Eenheid	Q	001	002	003	004	005
droge stof	gew.-%	Q	91.9	87.2	80.6	90.2	92.4
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	3.7	3.7	3.6	3.8	4.9
temperatuur t.b.v. pH	°C		20.6	20.6	21.1	22.1	20.6

De met 5 gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Paraaf :



Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

Blad 3 van 8

Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Projectnummer 330888
Rapportnummer 11905165 - 1Orderdatum 22-06-2013
Startdatum 24-06-2013
Rapportagedatum 28-06-2013

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie						
006	Grond	306pH						
007	Grond	307pH						
008	Grond	308pH						
009	Grond	309pH						
010	Grond	310pH						

Analyse	Eenheid	Q	006	007	008	009	010
droge stof	gew.-%	Q	82.8	87.7	88.5	82.4	86.8
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	3.8	3.6	4.0	3.2	3.3
temperatuur t.b.v. pH	°C		20.5	20.7	22.0	21.4	21.4

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Paraaf : 

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

Blad 4 van 8

Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Projectnummer 330888
Rapportnummer 11905165 - 1Orderdatum 22-06-2013
Startdatum 24-06-2013
Rapportagedatum 28-06-2013

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie					
011	Grond	801pH					
012	Grond	802pH					
013	Grond	803pH					
014	Grond	804pH					
015	Grond	805pH					

Analyse	Eenheid	Q	011	012	013	014	015
droge stof	gew.-%	Q	84.2	82.6	88.5	86.9	87.5
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	4.0	3.9	4.0	3.6	4.0
temperatuur t.b.v. pH	°C		20.5	20.6	20.4	20.5	22.0

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Paraaf :





Gronmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

Blad 5 van 8

Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Projectnummer 330888
Rapportnummer 11905165 - 1

Orderdatum 22-06-2013
Startdatum 24-06-2013
Rapportagedatum 28-06-2013

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie						
016	Grond	806pH						
017	Grond	807pH						
018	Grond	808pH						
019	Grond	809pH						
020	Grond	810pH						

Analyse	Eenheid	Q	016	017	018	019	020
droge stof	gew.-%	Q	81.9	85.6	88.2	88.5	88.6
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	4.0	4.0	3.8	3.9	3.8
temperatuur t.b.v. pH	°C		22.1	20.8	22.2	22.0	20.6

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Paraaf :





Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Projectnummer 330888
Rapportnummer 11905165 - 1

Orderdatum 22-06-2013
Startdatum 24-06-2013
Rapportagedatum 28-06-2013

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie						
021	Grond	1901pH						
022	Grond	1902pH						
023	Grond	1903pH						
024	Grond	1904pH						
025	Grond	1905pH						

Analyse	Eenheid	Q	021	022	023	024	025
droge stof	gew.-%	Q	88.9	83.6	90.9	90.2	90.0
pH-grond (CaCl ₂)	-	Q	3.5	3.3	3.9	3.6	3.8
temperatuur t.b.v. pH	°C		20.9	21.3	22.1	20.7	22.0

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Paraaf :

Grontmij Aquasense
Thijs de Kort

Analyserapport

Blad 7 van 8

Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
Projectnummer 330888
Rapportnummer 11905165 - 1Orderdatum 22-06-2013
Startdatum 24-06-2013
Rapportagedatum 28-06-2013

Nummer	Monstersoort	Monsterspecificatie						
026	Grond	1906pH						
027	Grond	1907pH						
028	Grond	1908pH						
029	Grond	1909pH						
030	Grond	1910pH						

Analyse	Eenheid	Q	026	027	028	029	030
droge stof	gew.-%	Q	87.2	85.3	80.8	88.7	87.4
pH-grond (CaCl2)	-	Q	3.7	3.5	3.5	4.0	3.4
temperatuur t.b.v. pH	°C		20.6	22.1	20.5	22.2	21.5

De met S gemerkte analyses zijn geaccrediteerd en vallen onder de AS3000-erkenning. Overige accreditaties zijn gemerkt met een Q.

Paraaf :





Projectnaam 330888 Aanvullend pH-onderzoek NJC Berkenhorst
 Projectnummer 330888
 Rapportnummer 11905165 - 1

Orderdatum 22-06-2013
 Startdatum 24-06-2013
 Rapportagedatum 28-06-2013

Analyse	Monstersoort	Relatie tot norm
droge stof	Grond	Grond: gelijkwaardig aan NEN-ISO 11465, Grond (AS3000): conform AS3010-2
pH-grond (CaCl2)	Grond	Conform AS3010, NEN-ISO 10390

Monster	Barcode	Aanlevering	Monstername	Verpakking
001	Y4215579	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
002	Y4215580	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
003	Y4215572	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
003	Y4388731	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
004	Y4388827	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
005	Y4388831	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
006	Y4388823	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
007	Y4388792	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
008	Y4388829	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
009	Y4389134	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
010	Y4389132	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
011	Y4388109	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
012	Y4388492	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
013	Y4388100	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
014	Y4388104	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
015	Y4388110	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
016	Y4387908	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
017	Y4389133	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
018	Y4388105	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
019	Y4387905	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
020	Y4388107	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
021	Y4389137	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
022	Y4388825	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
023	Y4388822	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
024	Y4388097	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
025	Y4388722	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
026	Y4388094	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
027	Y4388106	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
028	Y4389127	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
029	Y4388824	21-06-2013	21-06-2013	ALC201
030	Y4388718	21-06-2013	21-06-2013	ALC201

Paraaf :