



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Evaluatie van Triade-onderzoeken op schietterreinen van Defensie**

RIVM rapport 2014-0077

M. Mesman et al.





Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

## **Evaluatie van Triade-onderzoeken op schietterreinen van Defensie**

RIVM Rapport 2014-0077

## Colofon

© RIVM 2014

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

M. Mesman  
M. Rutgers  
A.J. Schouten  
J.J. Bogte  
E.M. Dirven-van Breemen

Contact:  
Miranda Mesman  
Milieu-effecten en ecosystemen  
[miranda.mesman@rivm.nl](mailto:miranda.mesman@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Defensie, Commando Dienstencentra.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

Tussen 1998 en 2011 is op acht schietterreinen onderzocht of de bodem is vervuild door stoffen uit kogels die het doel missen en die in zogeheten kogelvangers terechtkomen. Centraal staat de vraag of de vervuiling die hierdoor ontstaat, vooral door lood, een risico vormt voor het ecosysteem. Als daar sprake van is, moet vervolgens worden bepaald of de bodem met spoed moet worden gesaneerd. Het RIVM heeft deze risicobeoordelingen geanalyseerd en reikt enkele verbeterpunten aan om toekomstige onderzoeken op vergelijkbare terreinen efficiënter uit te voeren.

Bij een verontreiniging wordt stapsgewijs bepaald of wel of niet met spoed moet worden gesaneerd. Hiervoor worden onder andere modelberekeningen gemaakt van de effecten van een vervuiling op het ecosysteem op basis van de concentraties van stoffen in de grond. Een volgende, optionele, stap is het zogeheten Triade-onderzoek, waarbij de vervuiling gelijktijdig via drie 'sporen' wordt beoordeeld: chemisch, ecotoxicologisch en ecologisch. Uit een evaluatie blijkt dat met deze stap een genuanceerder beeld van de verontreiniging wordt verkregen dan met een standaard risicobeoordeling. De Triade-onderzoeken op de schietbanen laten in bijna alle gevallen zien dat de risico's kleiner zijn.

De aanbevelingen betreffen de opzet van de risicobeoordelingen, een optimale bemonsteringsstrategie, de keuze van indicatoren, en de integratie van de gegevens. Zo wordt aanbevolen om een toets met bacteriën (Microtox-toets) in te zetten, en tevens een andere bioassay. Bioassays zijn laboratoriumtesten waarin organismen worden blootgesteld aan monsters van de schietbanen om de effecten van verontreiniging te meten. Een andere aanbeveling is om de bemonsteringsstrategie af te stemmen op veelvuldig voorkomende factoren die de relatie tussen de vervuiling en de effecten op het ecosysteem verstoren.

Kernwoorden: schietterreinen, ecologische risicobeoordeling, Triade-onderzoek, lood, evaluatie



## Abstract

Between 1998 and 2011, eight shooting ranges have been assessed for soil contamination caused by bullets that missed the target and ended in the stop-butt. The central question was if this contamination, primarily by lead, poses a risk for the ecosystem. In that case, it needs to be determined whether there is urgency to remediate the soil. The RIVM has analysed these risk assessments and indicates points of improvement for more efficient future research at similar terrains.

In case of a contaminated site, one uses a tiered approach to determine the urgency of remediation. First, model calculations based on the concentrations of the substances in the soil predict the effects on the ecosystem. In the next - optional - step, the so-called Triad approach, uses three lines of evidence; chemical, ecotoxicological and ecological. The evaluation shows that this step provides a more nuanced view of the contamination compared to the first step. The Triad researches at the shooting ranges show, in almost all cases, that the risks are smaller.

The recommendations regard the design of the risk assessments, an optimal sampling strategy, the selection of indicators, and the integration of the results. Thus it is recommended to use a bacteria assay (Microtox) and another bioassay. Bioassays are laboratory tests that expose organisms to samples of the shooting range to measure the effects of the contamination. Another recommendation is to adjust the sampling strategy to frequently occurring confounding factors, which disturb the relation between the contamination and effect on the ecosystem.

Keywords: shooting ranges, ecological risk assessment, Triad approach, lead, evaluation





## Inhoudsopgave

### **Dankwoord – 9**

### **Uitgebreide samenvatting – 11**

#### **1 Inleiding – 19**

- 1.1 Doel – 19
- 1.2 Leeswijzer – 20

#### **2 Opzet van de evaluatie – 21**

- 2.1 De terreinen – 21
- 2.2 Welke gegevens zijn gebruikt? – 21
- 2.3 Wijze van evaluatie – 21
- 2.4 Afbakening – 22

#### **3 Overzicht van de gegevens – 23**

- 3.1 Terreinen – 23
- 3.2 Bodemkenmerken en vegetatie – 23
- 3.3 Bodemverontreiniging en risicobeoordeling – 23
- 3.4 Selectie van monsterpunten voor het Triade-onderzoek – 29
- 3.5 Chemie – 29
- 3.6 Ecotoxicologie – 35
- 3.7 Ecologie – 35
- 3.8 Integratie – 36
- 3.9 Eindbeoordeling – 36
- 3.10 Terugsaneerwaarden – 37
- 3.11 Resultaten interviews – 42
  - 3.11.1 Locatie – 43
  - 3.11.2 Onderzoeksopzet – 43
  - 3.11.3 Chemische methoden – 44
  - 3.11.4 Ecotoxicologische methoden – 44
  - 3.11.5 Ecologische methoden – 45

#### **4 Evaluatie onderzoeken – 47**

- 4.1 Locatiekenmerken van schietterreinen – 47
- 4.2 Opzet locatiespecifiek onderzoek – 49
- 4.3 Monsterstrategie – 49
- 4.4 Chemie – 50
- 4.5 Ecotoxicologie – 54
- 4.6 Ecologie – 55
- 4.7 Integratie – 57
- 4.8 Eindbeoordeling – 57
- 4.9 Doorvergiftiging – 58
- 4.10 Terugsaneerwaarden – 62

#### **5 Quickscan wetenschappelijke literatuur – 63**

- 5.1 Inleiding – 64
- 5.2 Beschikbaarheid, uitloging, mobiliteit en vastlegging van metalen – 64
- 5.3 Bioassays – 64
- 5.4 Ecologische (veld)waarnemingen – 65
- 5.5 Risicobeoordeling en maatregelen – 65

5.6 Vergelijking literatuur met de Triade-onderzoeken in Nederland – 66

**6 Synthese en voorstellen voor optimalisatie – 67**

6.1 Locatie- en de onderzoeksopzet – 67

6.2 Chemie – 69

6.3 Ecotoxicologie – 69

6.4 Ecologie – 70

6.5 Bioaccumulatie en doorvergiftiging – 71

6.6 Realistische versus conservatieve beoordeling – 72

6.7 Contouren – 72

6.8 Terugsaneerwaarden – 74

**7 Conclusies – 75**

**8 Literatuur – 79**

**Bijlage 1 Wet- en regelgeving ecologische risicobeoordeling – 83**

Terugsaneerwaarde – 83

Onaanvaardbare ecologische risico's – 84

**Bijlage 2 Relatie tussen Toxische Druk van het mengsel en de Triade-Effectwaarde – 85**

**Bijlage 3 Nematodenanalyse als indicator voor veldeffecten van lood – 87**

## Dankwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Commando DienstenCentra van het Ministerie van Defensie. We danken dhr. Henry Silooy voor het verstrekken van alle benodigde informatie.

Naast de informatie uit de onderzoeksrapporten hebben we voor dit onderzoek ook de uitvoerders van de onderzoeken geïnterviewd. We danken alle betrokkenen voor hun tijd en inzet. Door de interviews kregen we meer inzichten in de achtergronden van de onderzoeken. Ook dachten de geïnterviewden mee over de optimalisatie van het locatiespecifieke ecologische onderzoek van verontreinigde schietterreinen.



## Uitgebreide samenvatting

### Conclusies

Vanaf 1998 zijn er acht Triade-onderzoeken op schietterreinen uitgevoerd, in opdracht van het Ministerie van Defensie. Een integrale evaluatie van deze onderzoeken laat een logische ontwikkeling in de aanpak zien en de onderzoeken vullen elkaar goed aan. Alle Triade-onderzoeken zijn geschikt om lessen te trekken en voorstellen te ontwikkelen voor toekomstig onderzoek. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- De bemonsteringsstrategie goed in te richten op frequent voorkomende *confounding*-factoren in het veld (dit zijn omgevingsfactoren die de interpretatie van de onderzoeksresultaten voor de risicoschatting bemoeilijken).
- Een onderbouwde keuze te maken voor de aanpak via een verontreinigingsgradiënt of een zogenaamd laag-hoogonderzoek. Daarbij is het voorstel om minimaal het door SIKB aanbevolen aantal monsters toe te passen, als praktische ondergrens.
- De ervaringen met betrekking tot de beschikbaarheid van lood uit het verleden mee te nemen in het onderzoek, en voor de berekening van de toxische druk het rekeninstrument Sanscrit toe te passen.
- Microtox in te zetten als bioassay, en daarbij minstens één of twee andere bioassays toe te passen, om een breed beeld van ecotoxicologische effecten te verkrijgen.
- Meer aandacht te richten op de vegetatie op de locatie en effecten op individuele planten, en nematodenanalyse toe te passen. Andere groepen bodemorganismen zijn ook een optie als indicator (micro-arthropoden, potwormen) maar daar is relatief weinig ervaring mee opgedaan.
- Voor transparante integratie van informatie een Triade-tabel samen te stellen, en op basis van de resultaten een Triade-effectwaarden-ijklijn af te leiden.
- Conform de systematiek in het Saneringscriterium voor de risicobeoordeling, en in afwijking van de Circulaire bodemsanering voor wat betreft de saneringsdoelstelling in overleg met het bevoegd gezag, twee terugsaneerwaarden voor lood af te leiden (een hoge en een lage).
- De contouren voor spoed kunnen efficiënt worden samengesteld op basis van Triade-effectenwaarden en de metaalconcentraties in het veld. Deze worden verkregen uit het nader onderzoek, of door screening met een veld-metaalanalyseredetector (bijvoorbeeld XRF) plus een laboratoriumvalidatie.
- De Triade-methode is nog steeds de best beschikbare methode om op systematische en transparante manier ecologische risico's in beeld te brengen, ook voor schietbanen. De kogelvangsters die nog in gebruik zijn, of die dat tot voor kort zijn geweest, zijn dusdanig verstoord, verontreinigd en onbegroeid dat er nauwelijks sprake is van een (bodem)ecosysteem. Voor die specifieke plekken zou met een 'duade' (chemisch en ecotoxicologisch methoden) kunnen worden volstaan. In dat geval krijgen het chemische en ecotoxicologische spoor meer gewicht en kan overwogen worden om voor die sporen een aanvullende toets toe te passen.

### Inleiding

Het RIVM heeft acht Triade-onderzoeken geanalyseerd in opdracht van het ministerie van Defensie. Deze acht onderzoeken zijn uitgevoerd om de spoed voor sanering te bepalen van schietterreinen die verontreinigd zijn met lood, koper en antimoon, en enkele andere stoffen. De vraag aan het RIVM was om de

ervaringen te bundelen, zodat toekomstig onderzoek aan andere verontreinigde schietbanen efficiënt uitgevoerd kan worden.

Lood, koper en antimoon zijn de stoffen die relatief het vaakst een interventiewaarde-overschrijding laten zien, en die de trigger vormen voor een locatiespecifieke risicobeoordeling in stap twee van het Saneringscriterium. Door de vaak afgelegen ligging van schietbanen in een groene omgeving met natuurwaarden (of dichtbij een natuurgebied), is de blootstelling van de mens aan lood en antimoon gering en zijn humane risico's gering of afwezig. Bij de voor schietbanen typerende verhouding tussen lood en koper, blijkt dat het niveau van verwachte ecologische effecten voor lood groter is dan voor koper. De interventiewaarde voor antimoon is gebaseerd op een humane risicobeoordeling; risico's van antimoon voor het ecosysteem treden pas op bij veel hogere concentraties. Om deze redenen wordt lood meestal als de gidsstof gezien voor locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling van schietbanen met behulp van een Triade-onderzoek.

Triade-onderzoek is in drie sporen onderverdeeld, aangeduid als chemie, ecotoxicologie en ecologie, en omvat tevens een stap waar onderzoeksresultaten worden geïntegreerd. Achtereenvolgens worden de onderzoeksopzet, de aparte Triade-sporen, de integratie en mogelijkheden voor optimalisatie behandeld. De acht geanalyseerde onderzoeken zijn uitgevoerd van 1998 tot 2011 in een periode waarbij de kennis over locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling zich sterk ontwikkelde. Bij de evaluatie is hiermee rekening gehouden, en het voorstel voor optimalisatie is gebaseerd op een combinatie van de huidige state-of-the-art in locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling, en op de gebundelde ervaring van de acht Triade-onderzoeken.

#### Onderzoeksaanpak

Voor de opzet van het Triade-onderzoek is steeds ruime aandacht besteed aan de selectie van monsterlocaties, inclusief referentielocaties. In alle gevallen is uitgegaan van een aanpak met een representatieve gradiënt van verontreiniging, om de relatie tussen het niveau van verontreiniging en de ecologische effecten vast te kunnen stellen. Dit is nodig om de zogenoemde 'terugsaneerwaarde' (saneringsdoelstelling) op een goede manier af te leiden. De in te zetten methoden dienen in dat geval voldoende gevoelig te zijn voor de drukfactor (hier: lood) over een groot deel van de loodgradiënt (>50%), en bij voorkeur niet erg gevoelig te zijn voor *confounding*-factoren (om de signaal-ruisverhouding zo hoog mogelijk te laten zijn).

Als de verontreinigingsgradiënt betrekkelijk kort is (de hoogste concentraties lood hebben volgens verwachting ongeveer dezelfde orde van grootte als de in het onderzoek af te leiden terugsaneerwaarden), en als de potentiële methoden aan de grens zitten van hun gevoeligheid voor lood over een groot deel van de gradiënt, en er zijn potentiële *confounding*-factoren aanwezig (bijvoorbeeld een pH-gradiënt), dan wordt aanbevolen om het onderzoek in te richten volgens een laag-hoogstrategie. Dit betekent dat de selectie van monsterlocaties gericht wordt op de uiteinden van de verontreinigingsgradiënt (lood).

Het aantal onderzochte monsters in de acht locatiebeoordelingen varieerde van 6 tot 17. In een recent opgesteld SIKB-protocol voor de opzet van Triade-onderzoek worden aanbevelingen gedaan voor het minimum aantal monsters, namelijk minimaal 8 voor een gradiëntonderzoek, en 8 voor een laag-hoogonderzoek. De voorwaarde bij beide typen onderzoek is dat *confounding*-factoren voldoende beheerst blijven of zijn. Wanneer verwacht wordt dat *confounding*-factoren onvoldoende uitgesloten kunnen worden, dient het

onderzoek in twee delen uitgevoerd te worden om het effect van *confounding*-factoren te verkleinen, of dienen minimaal 20 monsters ingezet te worden (SIKB 2013). In theorie is met statistische methoden (permutaties) het effect van *confounding*-factoren in de risicobeoordeling te beheersen, maar daarvoor zijn veel monsters nodig.

Bij een onderzoek in twee delen worden de monsters in het ecotoxicologische en ecologische spoor met een subset van alle monsters uitgevoerd, waarbij de subset is samengesteld op basis van een minimaal effect van *confounding*-factoren en een maximaal effect voor een lood-gradiënt of een laag-hoogonderzoek. Deze wijze van werken maakt het mogelijk om (beperkt) budget efficiënter in te zetten.

Voor toekomstig Triade-onderzoek op schietbanen van Defensie lijken de aanbevelingen in het SIKB-protocol en de gebundelde ervaringen in de acht Triade-onderzoeken afdoende.

Een bijzondere situatie omtrent het beheersen van *confounding*-factoren is de beoordeling van de kogelvangers zelf. Op één locatie zijn de kogelvangers gemaakt (opgeworpen) van gebiedsvreemde bodem (zeezand). Voor alle kogelvangers geldt dat de toplaag 'kapot'geschoten is; het zand is verpulverd tot stof. Dit gebruik is zo uniek, dat er geen goede referentiemonsters genomen kunnen worden in de omgeving. Voor die gevallen is het moeilijk om voor alle drie de Triade-sporen een geschikte set indicatoren te selecteren; het ecologische spoor van de Triade is hier het meest gevoelig voor. Er zijn dan twee opties: 1. De kogelvangers zelf worden niet meegenomen in het Triade-onderzoek, maar worden op een alternatieve manier beoordeeld. 2. De kogelvangers worden via een aparte 'duade' (= twee van de drie sporen) beoordeeld, namelijk chemie en ecotoxicologie.

#### Chemisch spoor

Voor het chemische spoor in het Triade-onderzoek wordt als basis tegenwoordig gebruikgemaakt van het standaard rekeninstrument (Sanscrit) voor toxische druk van het mengsel van verontreiniging, zoals dit beschikbaar is in de tweede stap van het Saneringscriterium. De drempelniveaus voor de toxische druk in stap twee van het Saneringscriterium zijn gebaseerd op een gemiddeld mengsel van verontreinigde stoffen en de voorspelde ecologische effecten. In het geval van schietbanen van Defensie is het mengsel verontreinigde stoffen relatief simpel. Dit heeft als implicatie dat als lood wordt beschouwd als de enige stof die ecologische effecten veroorzaakt, de trigger voor spoed ongeveer ligt op een niveau van  $1,6 \times$  de  $HC_{50eco}$  (het ecologische risiconiveau dat ten grondslag ligt aan de interventiewaarde) voor lood ( $1,6 \times 580$  mg/kg ds standaardbodem).

In alle Triade-onderzoeken is de relatie onderzocht tussen het totale loodgehalte en een biobeschikbare fractie. De meest toegepaste methode is milde extractie met  $0,01$  M  $CaCl_2$ . Opvallend is de soms grote fractie lood die met deze milde extractie in de 'beschikbare fase' wordt aangetroffen (maximaal 27% van het totaal aanwezige lood). Dit is ook in overeenstemming met de literatuur. De volgende bevindingen kunnen worden opgemaakt uit een evaluatie van alle Triade-onderzoeken en uit de wetenschappelijke literatuur:

- De biobeschikbaarheid van lood in bodem van schietbanen is relatief groot, vanwege de eigenschappen van lood en locatiespecifieke kenmerken, zoals een relatief lage pH en lage lutum- en organische stofgehalten.
- De acht Triade-onderzoeken versterken elkaar in de opheldering van de relatie tussen totaal en opgelost lood in  $0,01$  M  $CaCl_2$  en het effect van de bodem-pH. In de toekomst kan dit efficiënter worden uitgevoerd, met behoud

van locatiespecifieke informatie voor de risicobeoordeling (zie ook laatste punt). Deze relatie tussen pH en lood wordt ook in de literatuur aangetroffen.

- De verwerking van looddeeltjes, en transport van opgelost lood, vormen een factor waarmee rekening moet worden gehouden, bij toekomstig gebruik.
- Wanneer via toevoegingen de mobiliteit van lood wordt beperkt, dan kan de mobiliteit van andere stoffen juist toenemen (onder andere koper en antimoon).
- Er is geen adequaat rekeninstrument om de ecologische effecten op basis van de concentratie van lood in  $\text{CaCl}_2$ -extracten te voorspellen:
  - het adagium dat de risico's beperkt zijn als gevolg van een geringe biobeschikbaarheid moet voor deze terreinen met terughoudendheid worden toegepast (uitzondering: terreinen met een hoge bodem pH, zoals duingebieden);
  - de betekenis voor de risicobeoordeling van het toepassen van aquatische toxiciteitscriteria op de gehalten die voorspeld worden voor poriewater, lijkt voor schietbanen beperkt.

Bioaccumulatie met kans op doorvergiftiging is een aspect dat bij drie Triade-beoordelingen is onderzocht. Hoewel lood aantoonbaar accumuleert in organismen en de voedselketen, worden de risico's relatief laag ingeschat; met andere woorden: dit spoor is niet bepalend voor afleiding van terugaanvaardwaarden. Deze conclusie volgt ook uit de (beperkte) wetenschappelijke literatuur, en is mogelijk van belang voor toekomstig onderzoek.

#### Ecotoxicologisch spoor

In het ecotoxicologische spoor van de Triade-onderzoeken zijn diverse bioassays toegepast, waarbij organismen werden voorgekweekt of geconditioneerd, die vervolgens werden blootgesteld aan grondmonsters of aan extracten van monsters van de verontreinigde locatie. Het betreft bioassays met bacteriën (Microtox), regenwormen en planten, met meerdere eindpunten (kieming, overleving, groei, reproductie, etc.).

De optie in de Triade om bioassays te selecteren is beperkt, doordat er niet veel gestandaardiseerde tests bruikbaar zijn bij schietbanen van Defensie met loodverontreiniging op zandige en zure bodems. Door het geringe aantal onderzoeken dat op commerciële basis uitgevoerd wordt, is het moeilijk om nieuwe testen te ontwikkelen en valideren.

Een verrassende uitkomst is dat de resultaten van Microtox-bioassay in bijna alle gevallen (vijf keer toegepast) een goede correlatie laten zien met de loodconcentratie (totaalconcentratie, maar soms ook met extraheerbaar lood, maar die zijn onderling ook gecorreleerd). Dit is ook eerder gepubliceerd voor een kleiduivenschietbaan.

In de wetenschappelijke literatuur is relatief vaak met succes gebruikgemaakt van regenwormen-bioassays, en dit wordt bevestigd bij twee Triade-onderzoeken in deze studie. Bij regenwormen is het van belang om de bodempH te betrekken in de selectie van de bioassays, want een lage pH overleven sommige wormensoorten niet.

De testen met planten (kieming, groei, en overleving) lieten wisselende resultaten zien, mede als gevolg van het optreden van *confounding*-effecten. Wanneer deze aspecten in de proefopzet beheerst worden, zijn planten bruikbaar in een bioassay.



De conclusie is dat de Microtox, regenwormen en planten (mits de *confounding*-factoren worden beheerst), bruikbare bioassays zijn voor schietbanen van Defensie. Overwogen kan worden om een vermijdingstest voor regenwormen toe te passen, want die wordt met succes in de literatuur beschreven.

#### Ecologisch spoor

In het ecologische spoor worden waarnemingen gedaan aan biologische componenten in de veldsituatie. Het is het meest realistische onderdeel van de Triade, maar ook het lastigste om zo uit te voeren dat de resultaten kunnen worden gebruikt in de integrale afweging. De oorzaak is dat het ecosysteem wordt gevormd door alle habitatcomponenten, bodemkenmerken, beheer, klimaat én verontreiniging, terwijl de invloed van deze factoren afzonderlijk niet goed bekend is. Uit de literatuur blijkt dat er over het geheel genomen goede correlaties worden waargenomen tussen eigenschappen van het ecosysteem en bodemverontreiniging, maar dat die slechts via een uitgebreide monsteranalyse tot significante verschillen kunnen leiden.

In de acht Triade-onderzoeken is gebruikgemaakt van de volgende veldindicatoren: micro-arthropodengemeenschap, nematodengemeenschap en diverse microbiële procesparameters. Tevens zijn bij enkele Triade-onderzoeken op ad-hocbasis waarnemingen gedaan aan de vegetatie en de gezondheid van planten (chlorose), pissebedden, vogels en kleine zoogdieren.

De ervaringen met microbiële parameters in de Triade-onderzoeken zijn wisselend. Potentiële nitrificatie (drie keer toegepast) lijkt een minder geschikte indicator te zijn, in verband met de gevoeligheid voor de bodem-pH. Daarentegen gaven andere indicatoren voor microbiële activiteit, zoals thymidine- en leucine-inbouwsnelheid, wel een respons, maar die zijn slechts bij één Triade-onderzoek toegepast.

Opvallend is dat uit de gesprekken met onderzoekers is gebleken dat men veel waarde hecht aan een analyse van de nematodengemeenschap, terwijl de relatie met de verontreiniging meestal niet duidelijk uit de waarnemingen te destilleren was. Op basis van ervaringen met loodeffecten uit het verleden, de literatuur en eigenschappen van vrijlevende nematoden, is het aannemelijk dat er effecten van loodverontreiniging optreden.

Herbestudering van de resultaten van het nematodenonderzoek leidt tot de conclusie dat verbetering van de monstermethodiek nodig is, en dat voldoende monsters geanalyseerd dienen te worden (meer dan in sommige geanalyseerde Triade-onderzoeken). Hoewel het voor de Triade niet strikt noodzakelijk is om voor een individuele indicator naar statistisch significante verschillen te streven, draagt een betrouwbaar beeld van de variatie in het veld ook bij aan de betrouwbaarheid van de risicobeoordeling op basis van een *weight of evidence*-methode (meervoudige bewijsvoering).

De micro-arthropodengemeenschap is één keer geanalyseerd. De onderzoekers veronderstellen dat er een plausibele relatie met de loodverontreiniging is. Dit maakt de micro-arthropodengemeenschap een potentieel geschikte indicator voor Triade-onderzoek op deze locaties. Uitbreiding en herhaling van ervaringen in het veld moeten uitwijzen of de verwachting correct is.

In de literatuur worden potwormen- en regenwormengemeenschappen genoemd als geschikte indicator voor loodverontreiniging. Omdat deze groepen niet zijn meegenomen in de Nederlandse Triade-studies, kan dat niet worden bevestigd of ontkend. Het is aan te bevelen om vaker in het veld onderzoek op potwormen

te betrekken. Onder zure omstandigheden en in bossen komen ze voor op plekken die van nature niet of nauwelijks door regenwormen worden bevolkt.

Vanuit praktische en prijstechnische overwegingen is een nematodenanalyse een geschikte indicator ten opzichte van de micro-arthropoden en de potwormen; er zijn meerdere commerciële aanbieders voor specifieke nematodenanalyses. Mede daarom zijn de resultaten van het nematodenonderzoek nog eens extra tegen het licht gehouden, en is er een aanvullende literatuurscan gedaan (zie bijlage 3). Regenwormen lijken minder geschikt te zijn als veldindicator doordat ze vaak afwezig zijn bij dit type locaties (zand, droog, zuur). Het kan echter per locatie opnieuw worden overwogen, of uit vooronderzoek blijken.

#### Integratie van resultaten uit Triade-onderzoek

Integratie van resultaten van de verschillende Triade-sporen is een essentieel, maar wel complex onderdeel van de risicobeoordeling. Op dit punt lieten de acht Triade-onderzoeken een divers palet van oplossingen zien, die niet allemaal goed vergelijkbaar waren. De verklaring is dat op dit punt de meeste ontwikkeling in risicobeoordelingsmethodologie is geweest; het integreren van diverse ongelijksoortige informatie is niet waarde vrij te realiseren, transparantie en homogene berekeningsmethoden zijn het maximale wat nagestreefd kan worden. Veelbelovend is dat de acht Triade-onderzoeken in de tijd laten zien dat men mee-ontwikkelt met het vakgebied; de onderzoekers zijn dus in het algemeen goed op de hoogte van de relevante wetenschappelijke en 'grijze' literatuur. Als voorbeeld kan gerefereerd worden naar het jongste Triade-onderzoek, waar men twee terugsaneerwaarden afleidde, conform de structuur in de systematiek van het Saneringscriterium.

Defensie en de onderzoekers (en soms bevoegd gezag) hebben afgesproken om een zogenoemde terugsaneerwaarde af te leiden, die gelijk is aan de grenswaarde voor spoed. Dit wijkt af van de saneringsdoelstelling in de Circulaire bodemsanering en het Saneringscriterium. Bij dit onderzoek is het beoordelingscriterium gelijk aan de saneringsdoelstelling, met andere woorden: wanneer tot sanering wordt overgegaan, dan zullen gesaneerde oppervlakken even schoon (maar niet schoner) worden als de nabije omgeving. Omdat er twee criteria zijn in het Saneringscriterium (hoog en laag criterium voor de TD) voor spoed, dienen er ook twee terugsaneerwaarden te worden afgeleid.

De terugsaneerwaarden (kunnen als 'laag' criterium worden beschouwd) in de acht Triade-onderzoeken varieerden van 360 tot 1360 mg lood/kg ds grond (standaardbodem). Er is één keer een hoge terugsaneerwaarde afgeleid van 1780 mg lood/kg ds grond (standaardbodem). Op basis van de systematiek in de 2<sup>e</sup> stap van het Saneringscriterium, kan een terugsaneerwaarde voor lood (het lage criterium) worden afgeleid, die ongeveer 1,6 x HC<sub>50</sub> waarde is, namelijk 928 mg/kg ds standaard bodem. Toepassing van deze waarde kan effectief zijn, maar dan dient wel de afwezigheid van significante effecten van andere metalen plausibel gemaakt te worden, of deze effecten dienen te worden meegenomen via een berekening van de toxische druk.

Op basis van Triade-onderzoek kunnen terugsaneerwaarden worden afgeleid, waarbij informatie uit alle drie sporen wordt toegepast. De waargenomen respons in de verschillende sporen wordt hierbij gekoppeld aan de gemeten loodconcentraties in (extracten van) grondmonsters via een zogenoemde Triade-effectwaarden-ijklijn. Deze ijklijnen, inclusief afleiding van de terugsaneerwaarden voor lood, zijn in drie recente Triade-onderzoeken opgesteld. Omdat de onzekerheid in de risicobeoordeling afneemt vanwege de toegenomen systeemkennis, kunnen de criteria voor spoed omhoog (minder

'streng') worden bijgesteld. Bij het meest recente onderzoek is het hoge beslis criterium voor spoed (Triade-effectwaarde 0,75), hoger dan in stap twee van het Saneringscriterium (toxische druk 0,65). Bijstelling van het 'hoge' beslis criterium voor het Triade-onderzoek is een optie voor toekomstige risicobeoordelingen, zulks in afstemming en na goedkeuring van het bevoegd gezag.

Het definitieve oordeel over 'spoed' is gekoppeld aan de toepassing van de Triade-effectwaarde-contouren op basis van de Triade-effectwaarde-ijklijnen en de loodconcentraties in het veld. Deze loodconcentraties dienen met voldoende nauwkeurigheid bekend te zijn en een ruimtelijk beeld te geven van de verontreiniging op de locatie, volgens de eisen die aan het nader onderzoek gesteld worden. Omdat het nader onderzoek een generiek instrumentarium omvat, is in principe een efficiëntere aanpak mogelijk, die een vergelijkbaar of betrouwbaarder beeld oplevert, bijvoorbeeld door toepassing van een veld-XRF-apparaat in combinatie met een laboratoriumvalidatie. Uitwerking van deze optie was geen onderdeel van deze opdracht, en is ook niet nader onderbouwd.



# 1 Inleiding

Het ministerie van Defensie heeft op diverse (voormalige) oefen- en schietterreinen acht locatiespecifieke ecologische onderzoeken uit laten voeren. Op een deel daarvan is dit gedaan volgens de Triade-methodiek. Op de meeste terreinen bleek lood de stof te zijn die de grootste bijdrage leverde aan de ecologische risico's, naast sommige andere metalen (koper en nikkel), antimoon en PAK. De aanpak en de uitkomsten van deze onderzoeken waren verschillend; in sommige gevallen is aangetoond dat er geen onaanvaardbare ecologische risico's zijn op de locatie, bij andere terreinen geldt dit voor een deel van het terrein. Ook de wijze waarop de zogenoemde 'terugsaneerwaarde voor lood' werd bepaald, verschilde per onderzoek.

In de toekomst zal het ministerie andere verontreinigde terreinen moeten beoordelen op ecologische risico's. Voor het ministerie is het van belang om te weten wat men kan verwachten van locatiespecifiek ecologisch onderzoek, al dan niet gebaseerd op de Triade-methodiek. Waardoor worden de verschillen tussen de uitgevoerde onderzoeken veroorzaakt? Komen deze verschillen door locatiespecifieke omstandigheden (kenmerken van de bodem, het ecosysteem en de verontreiniging), of komen ze door de keuze voor bepaalde methoden? Is het mogelijk om de ervaring te bundelen, om zo tot een geoptimaliseerde beoordelingsmethodiek te komen?

Een integrale evaluatie van de ervaringen in de onderzoeken kan licht werpen op deze vragen en kan op deze wijze bijdragen aan een zo efficiënt mogelijke inzet van Triade-onderzoek bij ecologische risicobeoordelingen van schietbanen op (voormalige) Defensieterreinen. Daarnaast kunnen de resultaten van de evaluatie bijdragen aan de dialoog tussen de opdrachtgever (ministerie van Defensie) en de bevoegde overheid (Wet bodembescherming (Wbb) bevoegd gezag; gemeente of provincie) over het opzetten, uitvoeren en interpreteren van locatiespecifiek ecologisch onderzoek.

Wanneer overwogen wordt om in het kader van stap 3 van het Saneringscriterium een maatschappelijke afweging uit te voeren, kan het waardevol zijn om de resultaten van Triade-onderzoek van de betreffende locatie of van andere locaties (Defensie schietbanen) in te brengen bij de afweging. Hieruit kan de meerwaarde van ecologisch onderzoek voor een latere afweging blijken en kan de informatie gebruikt worden om eventueel aanvullend onderzoek aan andersoortige aspecten zo efficiënt mogelijk op te zetten.

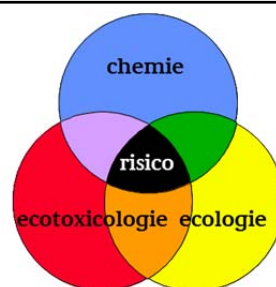
## 1.1 Doel

De evaluatie van de afgeronde onderzoeken moet leiden tot optimalisatie van het toekomstige locatiespecifiek ecologisch onderzoek, volgens de Triade-methodiek, van verontreinigde schietbanen op Defensieterreinen. In de meeste onderzoeken zijn voorstellen gedaan voor saneringsdoelstellingen, zogenoemde terugsaneerwaarden. Dit valt strikt genomen niet onder het locatie specifieke ecologische onderzoek, maar is wel onderdeel van de evaluatie.

Deze rapportage is primair bedoeld voor het ministerie van Defensie en de onderzoeksbureaus die voor het ministerie locatiespecifiek ecologisch onderzoek uitvoeren.

## 1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de opzet van de evaluatie uiteengezet. Hoofdstuk 3 biedt een overzicht van alle relevante gegevens van de acht uitgevoerde locatiespecifieke ecologische onderzoeken van verontreinigde schietbanen op Defensieterrinen. In hoofdstuk 4 worden de bevindingen van het vorige hoofdstuk geëvalueerd. Voor de evaluatie is ook een beknopt literatuuronderzoek uitgevoerd en een samenvatting daarvan staat in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 richt zich op voorstellen voor optimalisatie van het locatiespecifieke ecologische onderzoek van verontreinigde schietbanen op Defensieterrinen. In hoofdstuk 7 volgen de conclusies van deze evaluatie.



### Triade-onderzoek

Een risicobeoordeling van verontreinigde locaties met de Triade-methodiek combineert **drie sporen** van onderzoek: **chemie, ecotoxicologie en ecologie (zie figuur; Mesman et al., 2011, Rutgers en Jensen 2011, Bijlage 2 van dit rapport)**. De drie sporen dragen onafhankelijk van elkaar bij aan de bewijsvoering volgens een *'weight of evidence'*. In elk spoor wordt gestreefd naar het aantonen van een plausibele relatie tussen de verontreiniging en de ecologische effecten, met behulp van gegevens (uit metingen en/of modellen) van verontreinigde monsters (met verhoogde loodconcentraties) en referentiemonsters (zonder verontreiniging).

De Triade-methodiek wordt stapsgewijs opgebouwd. In de eerste **laag** worden snelle en grove methoden ingezet om kosteneffectief tot een beoordeling te kunnen komen. Wanneer dit niet leidt tot een eenduidig oordeel, kan besloten worden om meer onderzoek in te zetten in de hogere lagen van de Triade-methodiek.

De resultaten van alle methoden worden gecombineerd tot een eindoordeel. Daarbij worden eerst de resultaten van een test of een waarneming **geschaald** van 0 – 1 (0 = geen effect en 1 = maximaal effect). Deze schaling is relatief, omdat de resultaten vergeleken worden met een **referentielocatie**. Deze referentielocatie is bij voorkeur zo vergelijkbaar mogelijk met de verontreinigde locatie en verschilt alleen in de aanwezigheid van verontreiniging.

Na deze schaling worden binnen een spoor (bijvoorbeeld chemie) alle resultaten **geïntegreerd** tot één getal. Tot slot worden de drie getallen van de drie sporen geïntegreerd tot een getal, de **Triade-effectwaarde** (TE-waarde). Er kan gekozen worden of er een **weging** binnen of over de sporen wordt toegepast, waardoor bepaalde resultaten zwaarder meewegen dan anderen. Standaard wordt er geen weging toegepast.

Daarnaast wordt berekend in hoeverre de sporen overeenkomen, door de deviatie (onzekerheidsmaat) te bepalen. Wanneer de deviatie groter is dan 0,4 wordt dit beschouwd als een onzeker eindresultaat. Er kan besloten worden om vervolgonderzoek in te zetten om de onzekerheid terug te dringen.

De TE-waarde kan vervolgens gebruikt worden om **TE-contouren** te bepalen voor het vaststellen van ernst en spoed van de verontreiniging op de locatie, voor zowel het hoge als het lage criterium.

## 2 Opzet van de evaluatie

### 2.1 De terreinen

Het ministerie van Defensie heeft terreinen in beheer die verontreinigd zijn door het gebruik als schietterrein en soms ook in de periode daarna door het gebruik als kleiduivenschietterrein. Op deze terreinen is munitie op schietbanen en in kogelvangsters terechtgekomen. Deze kogelvangsters zijn hierdoor verontreinigd met lood en in sommige gevallen ook met andere zware metalen, zoals antimoon, koper, nikkel en zink.

Daarnaast zijn sommige terreinen ook verontreinigd met Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK). De herkomst van de PAK is terug te leiden tot oude typen kleiduiden die PAK bevatten, of tot olie/asfaltresten die op het terrein aanwezig waren.

Voor de meeste verontreinigde terreinen geldt dat ze naast het gebruik als schietterrein ook de functie hebben of krijgen als recreatie- en natuurgebied. Voor een deel van deze natuurgebieden geldt dat ze onderdeel uitmaken van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS).

De onderzoeken zijn geanonimiseerd, zowel qua locatie als qua onderzoeksbureau/instituut dat het onderzoek heeft uitgevoerd. De locaties hebben de naam DEF-1 t/m DEF-8 gekregen.

Locatie DEF-5 is inmiddels gesaneerd, DEF-6 wordt gemonitord, voor DEF-2, -3 en -4 worden saneringsplannen gemaakt en binnenkort uitgevoerd. DEF-7 is niet meer in eigendom van Defensie. DEF-8 is deels niet meer in eigendom van Defensie. Voor DEF-1 dient nog een saneringsaanpak vastgesteld te worden.

### 2.2 Welke gegevens zijn gebruikt?

Voor de evaluatie van de uitgevoerde onderzoeken is gebruikgemaakt van de bijbehorende onderzoeksrapporten waarin het locatiespecifieke onderzoek is beschreven. Voor sommige locaties zijn ook de rapporten van het nader onderzoek (NO) geraadpleegd. Het NO is uitgevoerd voorafgaand aan het locatiespecifieke ecologische onderzoek en beschrijft de historie van de locatie en de verontreinigingssituatie.

Na een eerste analyse van de gegevens is contact gezocht met de uitvoerders van de onderzoeken. We hebben hun gevraagd toelichting te geven op de aanpak en de resultaten van hun onderzoek. Ook hebben we gevraagd welke mogelijkheden voor verbetering zij zien voor locatiespecifiek ecologisch onderzoek op verontreinigde schietbanen van Defensie.

### 2.3 Wijze van evaluatie

De eerste fase van de evaluatie besloeg het samenbrengen van alle gegevens van de acht onderzoeken. De volgende gegevens zijn op een rij gezet:

- informatie over de locatie (achtergrond, huidig gebruik, etc.);
- betrokken partijen bij het onderzoek;
- onderzoekopzet en wijze van bemonsteren;
- per Triade-spoor (chemie, ecotoxicologie, ecologie):
  - toegepaste methoden;

- resultaten methoden;
- schaling van resultaten;
- integratie gegevens per spoor.
- integratie van de resultaten over de sporen:
  - weging van de resultaten;
  - eindbeoordeling;
  - onzekerheid.
- eindbeoordeling:
  - vertaling naar de locatie;
  - doorvergiftiging.
- afleiding terugsaneerwaarde:
  - methode;
  - resultaat.

In de volgende fase is bekeken welke overeenkomsten en verschillen de onderzoeken vertoonden. Bij onduidelijkheden hebben we contact gezocht met de uitvoerders van het onderzoek.

## **2.4 Afbakening**

Op de locaties was naast loodverontreiniging soms ook een PAK-verontreiniging aanwezig. Dit als gevolg van het gebruik als kleiduivenschietterrein of vanwege andere activiteiten. In de evaluatie is alleen het onderzoek met focus op loodverontreiniging en de daarbij behorende stoffen (antimoon, koper, zink en nikkel) in beschouwing genomen. Zo werd de analyse zo eenvoudig mogelijk gehouden, met het vooruitzicht op een compleet beeld voor optimaliseringsmogelijkheden voor onderzoek op dit type locatie. Voor locatie DEF-3 betekent dit dat alle gegevens over (de ecologische effecten van) PAK buiten beschouwing zijn gelaten.



## 3 Overzicht van de gegevens

In dit hoofdstuk worden alle gegevens van de afzonderlijke onderzoeken gepresenteerd. Naast een eerste algemene beschrijving van de locaties, wordt vervolgens de opzet en uitwerkingen van de locatiespecifieke ecologische onderzoeken toegelicht. Daarin komen de verschillende onderdelen van de Triade-methodiek aan de orde, zoals die kort beschreven zijn in de inleiding. De evaluatie van de onderzoeken is beschreven in hoofdstuk 4.

### 3.1 Terreinen

Alle onderzoeken hebben plaatsgevonden op (voormalige) schietterreinen van Defensie, variërend van 30 tot 140 hectare in grootte. Sommige terreinen zijn niet meer in eigendom van Defensie. Veel van de terreinen zijn in gebruik als natuurgebied, waarbij een aantal deel uitmaakt van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Zie Tabel 1 voor een overzicht van alle terreinen.

Naast de Rijksoverheid/Defensie zijn bij de locaties de gemeenten betrokken als stakeholder, voor een deel vanuit hun rol als bevoegd gezag. Ook natuurorganisaties, als eigenaar of als beheerder, hebben een rol bij sommige terreinen. Van de locaties DEF-7 en DEF-8 is minder achtergrondinformatie bekend over de terreinen.

### 3.2 Bodemkenmerken en vegetatie

De bodems van de terreinen zijn voornamelijk zandig van aard, zowel humus-arm als humeus en hebben een lage pH. Op sommige terreinen is ook veen, klei of leem aanwezig. Soms zijn de kogelvangers opgetrokken uit gebiedsvreemd materiaal ('kogelvangersond'). Op de meeste terreinen is heide (ook gras: pijpenstrootje, zwenkgras en bochtige smele) de kenmerkende vegetatie, maar ook bos (naald- en loofbos) en duinvegetatie komen voor (zie Tabel 2).

### 3.3 Bodemverontreiniging en risicobeoordeling

De terreinen zijn verontreinigd als gevolg van het gebruik van munitie: lood, koper, antimoon (dit wordt als verhardingselement toegevoegd aan munitie). Op twee locaties is met kleiduiven geschoten, dit heeft gezorgd voor verontreiniging met lood en PAK (oude typen kleiduiven bevatten PAK). Ook op andere locaties is PAK aangetroffen; dit is terug te leiden tot olieverontreiniging vanuit installaties in gebouwen of van start- en landingsbanen.

De hoogste concentraties van verontreiniging werden gevonden in de kogelvangers. De baanvelden en omliggende terreinen zijn ook verontreinigd met metalen. De hoogste concentraties lood lagen in een range van 2700 mg/kg droge stof (ds) tot 16000 mg/kg ds. Bij die laatste vermoedt men dat er een loden kogel is gemeten in de analyse. Een overzicht van de verontreiniging op de verschillende locaties is weergegeven in Tabel 3.

Op alle terreinen was sprake van een ernstig geval van bodemverontreiniging<sup>1</sup> (een overschrijding van de interventiewaarde voor lood, en soms ook voor andere stoffen) en diende een vervolgonderzoek plaats te vinden. Afhankelijk van de periode waarin het onderzoek werd uitgevoerd gebeurde dat met de Sanerings Urgentie Systematiek (SUS) of met het rekenmodel in het Saneringscriterium (Sanscrit). Alle onderzoeken zijn uitgevoerd om de noodzaak voor sanering te bepalen en indien nodig om terugsaneerwaarden (zie tekstkader voor een toelichting op het begrip terugsaneerwaarde) te bepalen. In Tabel 4 wordt een overzicht gepresenteerd van de uitgevoerde risicobeoordelingen.

### Terugsaneerwaarden

De **terugsaneerwaarde** is de uitwerking van de saneringsdoelstelling voor immobiele verontreinigingen. **Terugsaneerwaarden** dienen volgens de Circulaire bodemsanering (2013) aan te sluiten op het Besluit bodemkwaliteit. De bodemfunctieklassering is daarbij bepalend voor het afleiden van de **terugsaneerwaarde**. Indien er lokale maximale waarden gelden op de locatie, dan dienen zij als **terugsaneerwaarde** voor de locatie.

Het bevoegd gezag Wet bodembescherming mag gemotiveerd kiezen voor een hiervan afwijkende **terugsaneerwaarde**, bijvoorbeeld op basis van de toekomstige bestemming of de daadwerkelijke functie in plaats van de functie op de functiekaart. Voor meer informatie zie Bijlage 1 in dit rapport of hoofdstuk 4 van de Circulaire bodemsanering (2013).

Indien een bevoegd gezag voor de Wet bodembescherming (Wbb) overweegt om andere **terugsaneerwaarden** te hanteren, die niet direct op de functie zijn gebaseerd (bijvoorbeeld gebaseerd op een bestaande bodemkwaliteitskaart), dan is het van belang om voor de gekozen waarden na te gaan wat de risico's zijn van de actuele bodemkwaliteit op het huidige of toekomstige gebruik (functie) van een gebied of locatie. Hiervoor kan het bevoegd gezag een onderdeel uit de Risicotoolbox bodem (RTB, [www.risicotoolbox.nl](http://www.risicotoolbox.nl)) gebruiken. Zo kan een bevoegd gezag op grond van de beoogde **terugsaneerwaarde** (bijvoorbeeld zone/omgevingskwaliteit) bepalen of dit gezien het specifieke gebruik een goed gekozen **terugsaneerwaarde** is (bron: [www.rwsleefomgeving.nl](http://www.rwsleefomgeving.nl)).

<sup>1</sup> "Er is sprake van een geval van ernstige verontreiniging indien voor ten minste één stof het gemiddelde gemeten concentratie van minimaal 25 m<sup>3</sup> bodemvolume in het geval van bodemverontreiniging, of 100 m<sup>3</sup> poriënverzadigde bodemvolume in het geval van een grondwaterverontreiniging, hoger is dan de interventiewaarde." [Circulaire bodemsanering \(2013\)](#).

Tabel 1. Overzicht van kenmerken van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

Locatie	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Eigenaar/ beheerder</b>	Deel Rijksoverheid (Defensie), deel gemeente	Rijksoverheid (Defensie)	Rijksoverheid (Defensie)	Natuurorganisatie (sinds 2000). Rijksoverheid (Defensie) is gebruiker	Natuurorganisatie	Rijksoverheid (Defensie)	Rijksoverheid (Defensie)	Rijksoverheid (Defensie), deels gemeente
<b>Stakeholders betrokken bij locatie</b>	Rijksoverheid (Defensie), gemeentes, provincie	Rijksoverheid (Defensie), gemeente	Rijksoverheid (Defensie), Natuurorganisatie, gemeente	Rijksoverheid (Defensie), Natuurorganisatie, gemeentes	Rijksoverheid (Defensie), gemeente, natuurorganisatie	Rijksoverheid (Defensie), gemeentes	Rijksoverheid (Defensie), gemeentes	Rijksoverheid (Defensie), gemeentes, natuurorganisatie
<b>Oppervlakte terrein totaal (ha)</b>	Niet aangegeven (~100 ha schatting)	140	50,8	Niet aangegeven (~ 49 ha schatting)	41	30	Onbekend	Niet aangegeven
<b>Huidig gebruik</b>	Schietterrein en natuurgebied (droge heide)	Natuur (EHS)/ openbaar groen, braakliggend terrein, schietterrein en kazerne	Schietterrein en natuurgebied (binnen EHS)	Schietterrein en natuurgebied (deels EHS).	Natuurgebied	Schietterrein, drinkwater-beschermingszone en natuurgebied (EHS), recreatie en openbaar groen.	Voormalig schietterrein, huidig gebruik onbekend	Natuurgebied (EHS)
<b>Toekomstig gebruik</b>	Schietterrein en natuurgebied (droge heide)	Natuur, recreatie, woningen, atletiekbaan	Natuur-/recreatiegebied	Schietterrein en natuur- (EHS) en recreatiegebied	Natuurgebied (EHS)	Natuur- (EHS)/ recreatiegebied, openbaar groen	Onbekend	Natuurgebied (EHS)

Tabel 2. Overzicht van kenmerken van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

Locatie	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Grondsoort</b>	Zand (onder andere)	Matig fijn, humeus zand	Arme zandgrond	Fijn tot matig fijn zand, met plaatselijk klei, leem en veen	Zand	Kalkhoudend zand	Zand en bosgrond	Niet aangegeven (lutum < 2% --> zand?)
<b>Vegetatie</b>	Droge heide, zandverstuiving, droog schraalland, dennen, eiken en beukenbos	Heide en bos, enkele vennetjes aanwezig	Heide en bos	Dennenbos en loofbos	Bos	Duingebied	Onbekend	Braam, heide, pijpenstrootje, bochtige smele, eik, krent, beuk
<b>Verontreinigde locaties</b>	Schietbanen/ kogelvangers/ handgranatenbaan	Schietbanen/ kogelvangers	Schietbanen/ kogelvangers	4 schietbanen van Defensie en 1 schietbaan van een kleiduivenschietvereniging, alle inclusief kogelvangers.	Kogelvanger/ handgranatenbaan/loopgraven	Voormalige kleiduivenschietbaan	Schietbanen/ kogelvangers	Baanzool, afwateringszone/ kogelvanger/ onveilige zone

Tabel 3. Overzicht van verontreinigingskenmerken van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

Locatie	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Verontreiniging(en)</b>	Lood, koper, antimoon, nikkel	Lood, antimoon	Lood, koper, antimoon	Lood, koper, antimoon, PAK	Lood, koper, antimoon, PAK	Lood en PAK	Lood, koper, antimoon	Lood, koper, antimoon
<b>Verontreinigd oppervlak (ha)^</b>	Onbekend	2,8 ha boven streefwaarde lood	0,34	Schietbaan 1: 0,20 Schietbaan 4: 0,27	1,3-1,5	15 (lood), waarvan 7 (PAK)	0,47	0,36
<b>Verontreinigd volume (m<sup>3</sup>)</b>	Onbekend	13000 m <sup>3</sup> boven interventiewaarde lood	1200 (metalen) waarvan 710 sterk verontreinigd	Schietbaan 1: 2560 Schietbaan 4: 3030 'Twijfelgrond': 2700	62500	Onbekend	Onbekend	Onbekend
<b>Diepte verontreiniging (m)</b>	max. 1 m	0.6 - 2 m	Onbekend	max. 1 m	3	Onbekend	Onbekend	
<b>Is verontreiniging ernstig?</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>Overschreden interventiewaarde(n)</b>	Lood, koper, antimoon (Sb < SRCeco <sup>#</sup> )	Lood	Lood, koper	Lood, koper, antimoon, PAK	Lood	Lood, PAK	Lood, koper, antimoon (laatste 2 stoffen < IW)	Lood 29x, antimoon (19x), koper (7x)
<b>Hoogste gehalte lood</b>	14000 mg/kg ds	1400 mg/kg ds*	16000 mg/kg ds	16000 mg/kg ds	5600 mg/kg ds	2700 mg/kg ds	7200 mg/kg ds	7500 mg/kg ds

^ Het verontreinigd oppervlak is overgenomen uit de rapportages; het is niet in alle gevallen duidelijk hoe dit gedefinieerd is.

<sup>#</sup>De interventiewaarde wordt bepaald aan de hand van twee componenten: een risicogrens voor het ecosysteem en voor de mens. De laagste risicogrens bepaalt de hoogte van de interventiewaarde. Voor antimoon (Sb) geldt dat de interventiewaarde gebaseerd is op een humane risicogrens en dat de ecologische risicogrens (Serious Risk Concentration, SRC) veel hoger ligt dan de concentraties die gemeten zijn op de locatie.

\* Dit is niet de hoogst gemeten concentratie. Men vermoedde dat die concentratie, 21000 mg/kg ds, werd veroorzaakt door het vermalen van metallische looddeeltjes in het monster. Daarom heeft men gekozen om deze waarde buiten beschouwing te laten.

Tabel 4. Overzicht van de resultaten van de risicobeoordeling(en) op de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

Locatie	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Generieke risico-beoordeling</b>	Geval van ernstige bodemverontreiniging met lood, onaanvaardbare ecologische risico's	Geval van ernstige bodemverontreiniging met lood, resulterend in onaanvaardbare ecologische risico's. Sanering spoedeisend. Geen risico humaan en verspreiding	Ecologisch risico en potentieel humaan risico vastgesteld	Geval van ernstige bodemverontreiniging met lood, onaanvaardbare ecologische risico's. Sanering spoedeisend. Geen risico humaan en verspreiding	Ecologisch risico lood en PAK vastgesteld	Ecologisch risico vastgesteld	Ecologisch risico vastgesteld	Potentiële ecologische en humane risico's
<b>Beoordelingsmethode</b>	Sanscrit	SUS en Sanscrit	Sanscrit	SUS en Sanscrit	Sanscrit	Sanscrit	SUS	Geen beoordeling, alleen nader onderzoek
<b>(Deel)sanering uitgevoerd?</b>	Nee	Ja, eind 2007/begin 2008	Wordt in 2014 opgestart.	Wordt in 2014 gesaneerd.	Sanering is uitgevoerd.	Nee, monitoring (zal in 2014 starten)	Onbekend, geen eigendom meer van Rijksoverheid	Onbekend, deel van het terrein niet meer in eigendom van Rijksoverheid
<b>Jaar onderzoek</b>	2011	2011	2009	2010	2008	2008	1998	2004
<b>Terugsaneerwaarden bepaald</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Nee
<b>Reden Triade-onderzoek</b>	A en B	A en B	A en B	A en B	A en B	A en B	A	A

A = Bepalen of de op basis van de generieke risicobeoordeling voorspelde onaanvaardbare ecologische risico's op de locatie aanwezig zijn.

B = Indien nodig het bepalen van terugsaneerwaarden.

### 3.4 Selectie van monsterpunten voor het Triade-onderzoek

Bij alle Triade-onderzoeken is gebruikgemaakt van eerder uitgevoerd onderzoek (het nader onderzoek) voor de selectie van monsterpunten, zoals in Tabel 5 is weergegeven. Bij een deel van de onderzoeken is eerst nog een voorbemonstering uitgevoerd, waarna een definitieve selectie is gemaakt. Hierbij is vooral gebruikgemaakt van XRF (Röntgen fluorescentie; een snelle niet-destructieve methode) om in het veld de metaalgehalten in de grond te bepalen.

In alle onderzoeken zijn monsterpunten geselecteerd in een gradiënt met een oplopende loodconcentratie. Het aantal monsterpunten verschilt per onderzoekslocatie en ligt tussen 6 en 17. Alleen bij het oudste onderzoek (DEF-7) is er geen referentielocatie meegenomen in het onderzoek; bij de andere onderzoeken zijn één of meerdere referentielocaties geselecteerd.

De monsters voor de methoden zijn genomen van de bovenste 30 cm van de bodem, waarbij soms de strooisellaag (toplaag) buiten beschouwing is gelaten. Bij alle onderzoeken, behalve DEF-7, is gebruikgemaakt van mengmonsters van bodemmateriaal voor het onderzoek. Voor een aantal ecologische waarnemingen zijn mengmonsters gemaakt, passend bij de methoden die in het ecologische spoor zijn gedaan (bijvoorbeeld een nematodenanalyse). Bepaald ecologisch onderzoek kan alleen uitgevoerd worden aan complete boorkernen die uit de bodem worden gehaald (bijvoorbeeld micro-arthropodenanalyse).

### 3.5 Chemie

In Tabel 6 zijn de karakteristieken weergegeven van het chemisch onderzoek op de locaties. Uit deze tabel blijkt dat de bodem op de meeste locaties een lage pH heeft, en een laag lutumgehalte en organische stofgehalte, passend bij (arme) zandgronden. Een aantal vrij hoge pH-waarden wordt ook gerapporteerd (bijvoorbeeld DEF-1). Het betreft dan meestal aangevoerde grond die toegepast is op de schietbaan om de kogelvangsters in te richten.

Bij alle onderzoeken zijn de totaalgehalten van lood en enkele andere metalen bepaald met een koningswaterontsluiting. Lood is zonder uitzondering de stof met de hoogste concentratie (Tabel 6), en vertoont de meeste interventiewaarde-overschrijdingen. De interventiewaarde wordt bepaald aan de hand van twee componenten: een risicogrens voor het ecosysteem en voor de mens. De laagste risicogrens wordt voorgesteld voor de interventiewaarde. Voor lood werden beide grenzen overschreden. De onderbouwing van de interventiewaarde voor antimoon is gebaseerd op humaan toxische overwegingen: de ecologische risico's op de terreinen worden waarschijnlijk verklaard door effecten van lood, en niet van antimoon.

Voor de berekening van de risico's (toxische druk; TD) door het mengsel van metalen op basis van totaalconcentraties, zijn formules ontwikkeld die vrij beschikbaar zijn ([www.sanscrit.nl](http://www.sanscrit.nl)) en die toegepast worden in stap 2 van het Saneringscriterium. Bij drie Triade-onderzoeken is de TD op deze wijze berekend, voor een onderzoek is door het RIVM achteraf deze berekening gemaakt. De maxima van de TD's bij deze onderzoeken zijn: 0,8 (RIVM-berekening); 0,52; 0,97; en 0,47. Bij de andere onderzoeken is de informatie van het chemische spoor niet gebruikt of zijn andere berekeningen en schattingen gedaan.

Daarnaast zijn in alle onderzoeken aanvullende metingen gedaan aan de beschikbaarheid van lood. Vooral de milde extractie (0,01 M  $\text{CaCl}_2$ ) werd hierbij ingezet als maat voor de loodconcentratie waaraan planten en dieren kunnen worden blootgesteld (alle onderzoeken, behalve DEF-7). Bij DEF-4 en 5 heeft men daarnaast een extractie met 0,43 M  $\text{HNO}_3$  gedaan om te bepalen hoeveel lood er in potentie vrij kan komen. Bij DEF-7 heeft men het poriewater geëxtraheerd en daarin het loodgehalte bepaald, en heeft men lood bepaald in een extract met EDTA (ethyleendiaminetetra-azijnzuur).



Tabel 5. Overzicht van kenmerken op het gebied van monsterselectie en het aantal monsterpunten per onderzoek op de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Monstername op basis van nader onderzoek (NO)</b>	Ja, eerder onderzoek en inspectie locatie	Ja	Ja, 10 monsterpunten	Ja, uitgevoerd in 2000	Ja, 7 locaties inclusief referentie	Ja, 6 monsterpunten geselecteerd op basis van gehalte lood en in mindere mate PAK uit het NO	Ja	O.O. op 9 banen, nader ondz. aan >90 monsterpunten bij 2 schietbanen
<b>Vorbemonstering</b>	Nee	Ja	Ja, 10 locaties	Nee	Ja, 14 monsterpunten inclusief referentie	Nee	Nee	Nee
<b>Methode vorbemonstering</b>	Geen	Loodgehalte bepaald via XRF	Loodgehalte bepaald via XRF	Geen	Loodgehalte bepaald via chemische analyse	Geen	Geen	Geen
<b>Keuze monsterlocaties</b>	Gradiënt	Gradiënt	Gradiënt	Gradiënt	Gradiënt: hoog, midden, laag	Gradiënt	Gradiënt zonder referentie	Gradiënt
<b>Verontreinigd oppervlak (ha)</b>	Onbekend	2,8 ha boven streefwaarde lood	0,34	Schietbaan 1: 0,20 Schietbaan 4: 0,27	1,3-1,5	15 (lood), waarvan 7 (PAK)	0,47	0,36
<b>Totaal aantal monsterpunten</b>	17	6	7	14 (7 per schietbaan)	7	6	6	7
<b>Mengmonsters</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja
<b>Diepte bemonsteren</b>	Bovenste 20 cm (exclusief strooisel)	Bovenste 20 cm	10 – 30 cm	Bovenste 20 cm	Bovenste 10 cm (excl. strooisel)	Bovenste 20 cm	Bovenste 20 cm	Bovenste 20 cm
<b>Aantal referentie-locaties</b>	2	1	2	2	1	1	Geen	1
<b>Locatie referenties</b>	2 x heide (op afstand)	Bij schietbaan	1 in bosgebied, 1 in heide	2 (1 per schietbaan)	1 baanzoom	In het duingebied, maar buiten bereik schietbaan	Geen	Onbekend

O.O. = Oriënterend onderzoek, XRF = X-ray fluorescence, Röntgen fluorescentie

Tabel 6. Karakteristieken van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Range (mediaan) pH-H<sub>2</sub>O</b>			4,6 - 5,9 (4,8)		2,8 - 3,5	7,4 - 7,6 (7,5)	pH CaCl <sub>2</sub> : 3,4 - 5,8	
<b>Range (mediaan) pH-KCl</b>	3,6 - 8,9 (4,4)	3,6 - 5,4 (4,3)		Schietbaan 1: 3,0 - 4,4 (3,8) Schietbaan 4: 3,5 - 5,4 (4,9)				4,9 - 5,1 (KCl of H <sub>2</sub> O)
<b>Range (mediaan) droge stof (%)</b>	Niet bepaald	89,3 - 98,7 (96,5)	76 - 93 (87)	Schietbaan 1: 88,3-98,5 (95,2) Schietbaan 4: 89,0-98,9 (92,7)	49,8 - 80,9	79,4 - 98,85 (98,20)	Niet bepaald	Onbekend
<b>Range (mediaan) organisch stof (%)</b>	0,3 - 5,9 (2,9)	1,1 - 4,4 (2,8)	4,8 - 9,7 (5,7)	Schietbaan 1: 1,3 - 6,9 (3,9) Schietbaan 4: 2,3 - 4,7 (4,1)	3,8 - 21	0,5 - 5,6 (1,15)	Niet bepaald	Onbekend
<b>Range (mediaan) lutum (%)</b>	Niet bepaald	<1 - 2 (<1)	<1,0 - 4,5 (2,5)	Schietbaan 1: <2,0 - 3,4 (2,0) Schietbaan 4: <2,0 - 2,7 (2,2)	1,0 - 3,8	Niet bepaald	Niet bepaald	<2%
<b>Range (mediaan) lood (mg/kg ds)</b>	14 - 5672 (250) biobes. CaCl <sub>2</sub> : 0,05 - 33 (4,3)	48 - 1400 (200) biobes. CaCl <sub>2</sub> : 3,4 - 133 (41)	15 - 16000 (800) biobes. CaCl <sub>2</sub> : <13 - 580 (55)	Schietbaan 1: 13-16000 (170) Schietbaan 4: 30-2800 (220) Biobeschikbaar CaCl <sub>2</sub> : Schietbaan 1: 0,4 - 154 (8,6) Schietbaan 4: 0,3 - 175 (1) Biobeschikbaar HNO <sub>3</sub> : Schietbaan 1: 11 - 1738 (181) Schietbaan 4: 29 - 4505 (238)	49 - 5600 (520) biobes. CaCl <sub>2</sub> 2,2 - 281 (53,6) HNO <sub>3</sub> 56 - 3689 (424)	<13 - 2700 (58,5) biobes. CaCl <sub>2</sub> : <0,5 - 12 (<0,5)	340 - 7200 (1100) Biobes. poriewater (µg/l) 1350 - 29000 (5350), tevens extractie met EDTA uitgevoerd	22 - 3300 (405) Biobeschik. Poriewater (µg/l) 270 - 7200 (990)
<b>Range (mediaan) Toxische Druk (TD)</b>	0,0 - 0,80 (RIVM- berekening)	0,0 - 0,52 (0,075)	0 - 0,97 (0,289)	Geselecteerd 6 locaties (3 van schietbaan 1 en 3 van schietbaan 4): 0 - 0,47 (0,14)	Niet berekend	Diverse andere bepalingen gedaan (TU, msPAF modelberekening , bioaccumulatie)	Niet berekend	Niet berekend

Tabel 7. Ecotoxicologische onderzoeken van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Toegepaste bioassays</b>	Regenworm <i>L. rubellus</i> (overleving, groei, cocons); gras (kieming, overleving, necrose, biomassa)	Microtox, plantenkieming en -groei	Microtox	Microtox bij de 6 geselecteerde locaties	Planten kiem- en groeitest: Engels raaigras	Microtox	Bioaccumulatie en overleving compostworm ( <i>Eisenia andrei</i> ), Microtox	Geen
<b>Schaling per bioassay</b>	Geen schaling toegepast	Schaling bij Triade-eindtabel	Geschaald naar 0 -1, maar niet duidelijk hoe	Schaling bij Triade-eindtabel	Score + en -	Schaling pas bij de Triade-eindtabel, maar niet duidelijk hoe	Geen schaling toegepast	
<b>Resultaat bioassay 1</b>	EC <sub>50</sub> <sup>#</sup> bepaald regenwormen (3x)	Microtox EC <sub>20</sub> : 0 - 0.79 (med. 0.79). En EC <sub>50</sub> : 0 - 0.79 (med. 0.52)	0 - 0.88 (mediaan: 0.63) - Microtox EC <sub>20</sub>	Microtox EC <sub>20</sub> en EC <sub>50</sub> : 0 - 0.86 (med. 0.24)		>50 - <6.25 (mediaan: 23) uitgedrukt als Vol%, Microtox EC <sub>20</sub>	Overleving wormen nagenoeg 0	
<b>Resultaat bioassay 2</b>	EC <sub>50</sub> gras kieming (1x), EC <sub>50</sub> andere eindpunten gras via biobeschikbare gehalten lood (3x)	Plantenkiemings- en groeitest met Engels raaigras: geen afname kiemingspercentage, wel verminderde groei bij toenemend loodgehalte.	0 - 0.88 (mediaan: 0) - Microtox EC <sub>50</sub>			>50 - <6.25 (mediaan: 50) uitgedrukt als Vol%, Microtox EC <sub>50</sub>	Goede correlatie luminescentie en Pb in elutriaat (schatting EC <sub>50</sub> ± 2x IW)	
<b>BAF*</b>	Niet bepaald	21 - 133 mg/kg ds in pijpenstrootje, BAF 0.13-0.67		Niet bepaald	Pb-gehalte in strooisel, en in pijpenstrootje	Interne gehalten pissebedden aangetroffen op de locatie bepaald	0 - 9 mg/kg ds in potworm; onbetrouwbaar	
<b>Doorvergiftiging</b>	Niet bepaald	Geringe opname lood in pijpenstrootje.	Benoemd bij aanbevelingen, indicatie van een risico voor grote grazers.	Niet bepaald	Ecologische risico's plantenetende zoogdieren vanaf 177 mg/kg ds lood	Bioaccumulatie data pissebedden als modelorganisme, risico niet uitgesloten		

<sup>#</sup>EC = Effect Concentration; dit zijn gehalten van een stof die tot effecten bij organismen leiden. Het getal achter LC of EC geeft aan hoe groot het percentage van de organismen in een test is dat effecten ondervindt. EC50 = de concentratie van een stof waarbij 50% van de organismen een effect ondervindt.

\* Een bioaccumulatiefactor geeft de verhouding aan tussen de concentratie van een stof in een organisme en de concentratie in het milieu. Het organisme kan de stof opnemen via het voedsel, maar ook door direct contact met de stof. Een waarde boven de 1 geeft aan dat er bioaccumulatie plaatsvindt.

Tabel 8. Ecologische onderzoeken van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4	DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
<b>Range (en mediaan) geïntegreerd risico Ecologie</b>	Niet berekend	0.0 - 0.23 (mediaan: 0.06)	0.0 - 0.35 (mediaan: 0.06)	0.0 - 0.39 (mediaan: 0.04)	Niet berekend	0.0 - 0.0 (mediaan: 0.0) Nematoden 0.077 - 0.12 (mediaan: 0.086) Nitrificatietest	Niet berekend	Niet berekend
<b>Beoordeelde organismen</b>	Potentiële N-nitricatie, microarthropodengemeenschap (soorten, taxa, voedselgildes, levensstrategieën)	Nematoden (aantal taxa, dichtheid, MI2-5)	Nitrificatietest, nematoden (totaal, aantal soorten, MI2-5)	Nematoden (aantal taxa, dichtheid, MI2-5)	Bacterie groeisnelheid, nematoden (aantal taxa, dichtheid, MI2-5), bacterie groeisnelheid, thymidine- en leucine-inbouw	Nematoden (aantal taxa, dichtheid, MI2-5), Nitrificatietest	Geen veldwaarneming of analyses uitgevoerd	Nematoden (aantal taxa, dichtheid, MI2-5)
<b>Visuele waarnemingen</b>	Verwijzing naar eerder uitgevoerde flora- en fauna-inventarisaties	Flora en fauna op vervuilde locaties wijkt niet af van schone locaties	Geen pissebedden en weinig macrofauna aanwezig	Flora en fauna op vervuilde locaties wijkt niet af van schone locaties	Verwijzing naar eerder uitgevoerde flora- en fauna-inventarisaties	n.v.t.	n.v.t.	Begroeiing (bomen, kruidachtigen)

### 3.6 Ecotoxicologie

De Microtox bioassay, een toxiciteitstest met een mariene bacterie, is bij vijf onderzoeken toegepast. Daarnaast is gekeken naar de kieming, groei, biomassa en necrose van Engels raaigras, de groei, reproductie en overleving van de wormen *Lumbricus rubellus* en *Eisenia andrei* (zie Tabel 7).

De regenwormen die de bioassay overleefden, zijn gebruikt om de interne gehalten lood te bepalen om zo een bioaccumulatie factor (BAF)<sup>2</sup> af te leiden. Deze resultaten zijn door de geringe overlevingspercentages niet betrouwbaar.

Bij de DEF-2 en DEF-5 zijn in het veld verzamelde planten (pijpenstrootje) en het strooisel onderzocht op de aanwezigheid van lood om een BAF af te kunnen leiden. Via deze factor kunnen modelberekeningen gemaakt worden om risico's voor hogere organismen te bepalen, bijvoorbeeld voor kleine zoogdieren, vogels of grote grazers. Bij DEF-6 zijn ook interne gehalten van pissebedden bepaald. Hierbij is geen BAF afgeleid, maar zijn de concentraties gebruikt in het OMEGA-model. Via dit model is met toxiciteitswaarden voor hogere organismen (vogels en kleine zoogdieren) uit de wetenschappelijke literatuur berekend welk percentage van de hogere organismen potentieel aangetast zou worden bij het eten van deze pissebedden.

De informatie uit het bioaccumulatie-onderzoek is gebruikt om te beoordelen of er risico's op doorvergiftiging aanwezig zijn. In alle gevallen is er geen gedetailleerd doorvergiftigingsonderzoek uitgevoerd, maar verwijst men naar relevante literatuur en doet men aannamen over mogelijke scenario's en risico's.

Bij locatie DEF-8 zijn geen ecotoxicologische onderzoeken uitgevoerd.

### 3.7 Ecologie

Op zes van de acht locaties zijn de dichtheid en de samenstelling van de nematodengemeenschap geanalyseerd (zie Tabel 8) tot op het niveau van het aantal taxa (soort of geslacht). De Maturity Index (een typering van de nematodengemeenschap op basis van de levensstrategie) is toegepast om het effect van de verontreiniging te kunnen beoordelen.

Bij DEF-1 is de micro-arthropodengemeenschap geanalyseerd op een soortgelijke wijze als de nematodengemeenschap. Daarnaast is bij twee onderzoeken bekeken of de loodverontreiniging effecten veroorzaakte op de nitrificatie (nitrificerende bacteriën). In een ander onderzoek was de groeisnelheid van bacteriën het uitgangspunt.

Op locatie DEF-7 zijn geen ecologische veldwaarnemingen uitgevoerd.

Tijdens het veldwerk zijn bij vier locaties flora- en faunawaarnemingen uitgevoerd. Op twee andere locaties wordt hiervoor verwezen naar eerder onderzoek.

<sup>2</sup> Een bioaccumulatiefactor geeft de verhouding aan tussen de concentratie van een stof in een organisme en de concentratie in het milieu. Het organisme kan de stof opnemen via het voedsel, maar ook door direct contact met de stof. Een waarde boven de 1 geeft aan dat er bioaccumulatie plaatsvindt.

### **3.8 Integratie**

De resultaten van de verschillende methoden, gegroepeerd in de onderzoekssporen chemie, ecotoxicologie, ecologie, zijn geïntegreerd en verwerkt in de eindbeoordeling van het onderzoek. Vier onderzoeken (DEF-2, DEF-3, DEF-4 en DEF-6) hanteerden hierbij methodes die door het RIVM zijn voorgesteld. Deze methoden zijn in de loop der tijd aangepast op basis van nieuwe inzichten.

Bij de andere onderzoeken werden alternatieve methoden toegepast. Voor locatie DEF-1 is in overleg met de opdrachtgever en de stakeholders afgesproken om een voorzichtige ('conservatieve') aanpak te volgen bij de beoordeling; deze werd gebaseerd op het meest gevoelige en significante eindpunt van de verschillende onderzoeksmethoden.

In het onderzoek van DEF-7 en DEF-8 zijn slechts twee in plaats van drie onderzoekssporen gevolgd; bij DEF-7 zijn geen ecologische waarnemingen gedaan en bij DEF-8 zijn geen ecotoxicologische toetsen uitgevoerd. De eindresultaten van deze twee onderzoeken en het onderzoek van DEF-5 zijn tekstueel of via een tabel (bijvoorbeeld met +/- symbolen) samengevat in de onderzoeksrapportages.

### **3.9 Eindbeoordeling**

De doelstelling van de meeste onderzoeken was het beantwoorden van de vraag of de eerder vastgestelde (modelmatige) ecologische risico's bevestigd dan wel weerlegd konden worden met locatiespecifiek onderzoek. Daarnaast moesten er, indien nodig, terugsaneerwaarden afgeleid worden (in paragraaf 3.10 wordt verder toegelicht hoe dit heeft plaatsgevonden). In sommige onderzoeken werden aanbevelingen gedaan voor sanerings- en/of beheermaatregelen, zoals bij DEF-6, waar voorgesteld is de locatie te monitoren. In Tabel 9 zijn de eindbeoordelingen van alle onderzoeken samengevat.

Tabel 9. Overzicht van de eindbeoordeling van de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8.

DEF-1	DEF-2	DEF-3a	DEF-4
Aanbevelingen voor beoordeling van de locatie gedaan en een terugsaneerwaarde bepaald. Geen concrete uitspraak over onaanvaardbaarheid ecologische risico's op de locatie.	Bij 2 onderdelen op de locatie risico niet onaanvaardbaar, bij 3 onderdelen van de locatie overschrijding lage Triade-effectwaardecriterium.	3 onderdelen op de locaties hebben een Risicogetal >0.35, waarvan 2 >0.5. Deze onderdelen hebben ook een te hoge deviatie (D). Dit betekent dat de lijnen van bewijsvoering niet eenduidig zijn (onzekerheid); de resultaten in het ecologiespoor duiden nauwelijks op effecten, bij de andere 2 sporen is dit wel zo.	Voor twee onderdelen van de locatie is het risico onaanvaardbaar, voor drie onderdelen van de locatie is het risico niet onaanvaardbaar.
DEF-5	DEF-6	DEF-7	DEF-8
Ernstige effecten op de kogelvanger, matige effecten op diverse baanzolen.	In deelgebied 1 geen ecologische risico's, in deelgebied 2 matige ecologische risico's. Er is 1 hotspot (35 m <sup>2</sup> ) met ernstige ecologische risico's (Risicogetal, vergelijkbaar met de Triade-effectwaarde >0.5). Voorstel om te saneren bij functiewijziging, daarnaast voorstellen voor monitoring/beheer voor de overige gebieden.	Ecologische risico's op het gehele terrein (ook bij lagere concentraties i.v.m. hoge biobeschikbaarheid van het lood).	Geen ecologische risico's. Aanbeveling om pH te monitoren i.v.m. invloed op de beschikbaarheid van de verontreiniging.

### 3.10 Terugsaneerwaarden

In Bijlage 1 is beschreven hoe volgens de Circulaire bodemsanering (2013) de saneringsdoelstelling voor een locatie kan worden afgeleid. Hiervoor wordt ook wel de term terugsaneerwaarde gebruikt. In principe geldt dat de (lokale) Maximale waarde voor de locatie als terugsaneerwaarde wordt gezien. Er kan van deze standaard handelswijze door het bevoegde gezag gemotiveerd worden afgeweken.

Voor vijf onderzoeken van de acht onderzoeken zijn terugsaneerwaarden voor lood bepaald (zie Tabel 10) op basis van de resultaten van het Triade-onderzoek. Bij onderzoek DEF-6, DEF-7 en DEF-8 zijn geen terugsaneerwaarden bepaald. Per onderzoek is een toelichting gegeven op de wijze van afleiden van deze waarden. Hiervoor zijn in sommige gevallen ook teksten en figuren uit de rapportages overgenomen. Ook wat betreft de visie op de afleiding van

terugsaneerwaarden past de constatering dat recentere onderzoeken meer in lijn zijn met meer recente opvattingen betreffende het vaststellen van een saneringsdoelstelling.

#### DEF-1 (2011)

In de volgende tekst, deels overgenomen uit de rapportage van DEF-1, wordt toegelicht hoe men de terugsaneerwaarde heeft bepaald.

Vooraf is in overleg met de stakeholders en de opdrachtgever vastgelegd dat:

- alleen LCx<sup>3</sup>- of ECx-waarden van statistische significante en relevante dosis-effectrelaties worden gebruikt. De terugsaneerwaarde is in dit onderzoek gelijk aan:
  - de LC<sub>50</sub> of EC<sub>50</sub> voor lood voor de meest gevoelige parameter van de meest gevoelige bioassay;
  - of, indien deze waarde lager is, LC<sub>20</sub> of EC<sub>20</sub> voor lood voor de meest gevoelige parameter van de op één na meest gevoelige bioassay. Dit hangt samen met de steilheid van de specifieke dosis-responserelaties van de verschillende bioassays.

Aan de hand van deze voorwaarden zijn de resultaten van de bioassays beoordeeld. De gevoelige potentiële nitrificatie-test en de bioassay met Engels raagrass vielen af. De waarde is uiteindelijk gebaseerd op een regenwormen-bioassay (gemiddelde van de eindpunten groei en coconproductie): 360 mg/kg ds.

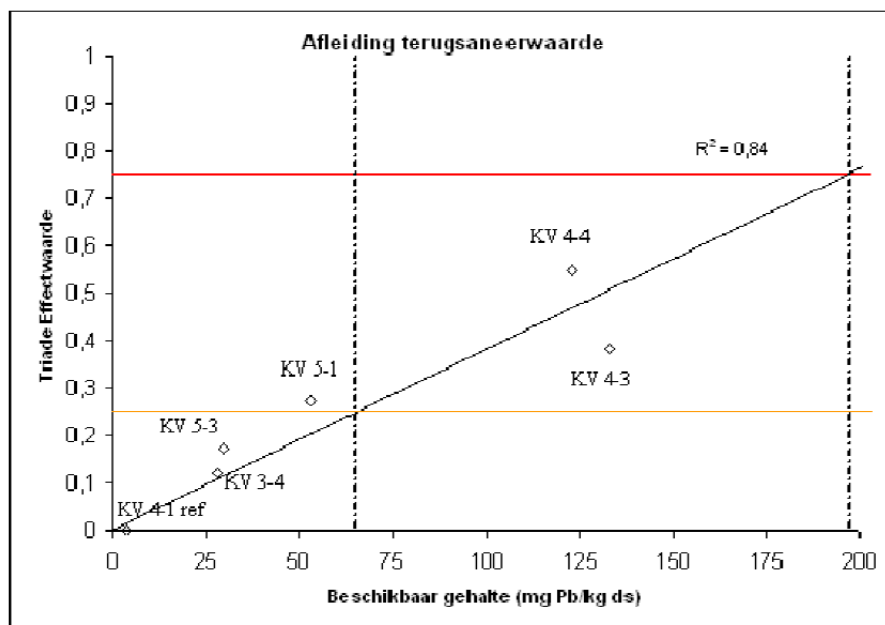
Hierbij zijn wel beperkende voorwaarden gesteld, namelijk dat deze waarde niet geldig is voor de handgranatenbaan en de schelpenzandlocaties (vanwege diverse redenen).

#### DEF-2 (2011)

Bij dit onderzoek zijn de beoordelingscriteria van het Saneringscriterium (het hoge (0,75) en lage (0,25) Triade-effectwaarde-criterium (TE-criterium)) gebruikt om terugsaneerwaarden te bepalen. De Triade-effectwaarden van het onderzoek zijn uitgezet tegen de actueel beschikbare gehalten lood (0,01 M CaCl<sub>2</sub>) (in mg/kg ds) (zie Figuur 1). Dit actueel beschikbare gehalte lood wordt vervolgens omgerekend naar totaalgehalten via de daarvoor beschikbare relatie uit het onderzoek. De terugsaneerwaarden zijn op basis van het lage TE-criterium: 593 mg/kg ds; op basis van het hoge TE-criterium: 1779 mg/kg ds. Deze methode komt in grote mate overeen met de methode zoals die door het RIVM is voorgesteld (Mesman et al. 2011).

<sup>3</sup> LC = Lethal Concentration, EC = Effect Concentration; dit zijn gehalten van een stof die tot (dodelijke) effecten bij organismen leiden. Het getal achter LC of EC geeft aan hoe groot het percentage van de organismen in een test is dat effecten ondervindt. LC50 = de concentratie van een stof waarbij 50% van de organismen sterft.

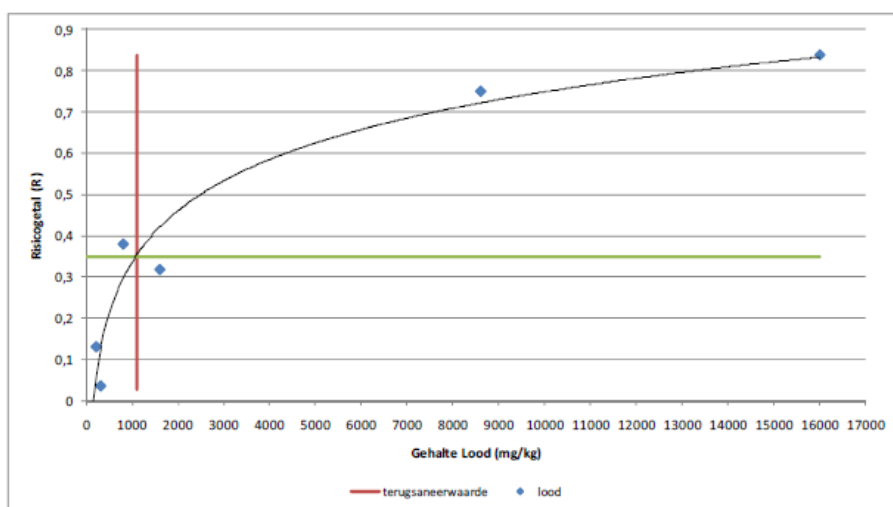




Figuur 1. Figuur uit onderzoeksrapportage DEF-2, waarmee de terugsaneerwaarden zijn afgeleid. Hierin is de relatie tussen TE-waarden en het beschikbaar loodgehalte weergegeven. De rode lijn geeft het hoge TE-criterium van 0,75 aan, de oranje lijn het lage TE-criterium van 0,25.

### DEF-3 (2009)

De terugsaneerwaarde is bepaald door het risicogetal R (NB: R is hetzelfde als de Triade-effectwaarde, de term die vanaf 2011 gebruikt wordt) uit te zetten tegen de loodconcentraties op de monsterlocaties (zie Figuur 2). Het snijpunt met de y-as bij 0,35 (de voor deze locatie vastgestelde grens voor het aanvaardbaar risico), levert de concentratie van de terugsaneerwaarde op van 1100 mg/kg ds.



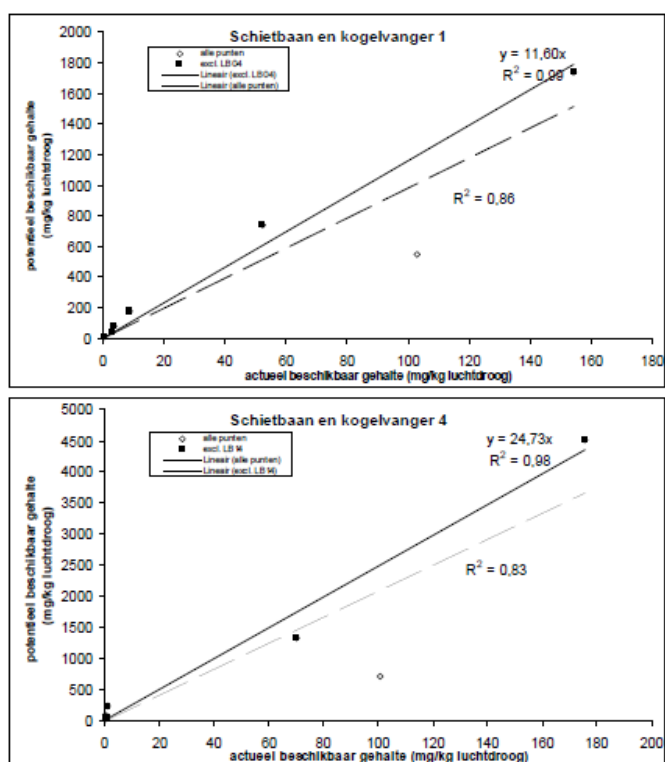
Figuur 2. Risicogetal (R) uitgezet tegen de loodconcentratie in mg/kg ds bij DEF-3. Het snijpunt met de y-as bij 0,35 levert de terugsaneerwaarde op. Figuur ongewijzigd overgenomen uit de rapportage.

### DEF-4 (2010)

De terugsaneerwaarde wordt in dit onderzoek gedefinieerd als de hoogste verontreinigingsgraad waarbij geen risico's aanwezig zijn. Oftewel dat deel van de locatie met een loodconcentratie waarbij het geïntegreerde risicogetal R (in latere Triade-rapporten Triade-effectwaarde genoemd) kleiner of gelijk is aan 0,25.

In het onderzoek bleek dat de loodverontreiniging het grootste deel van de toxiciteit verklaarde; daarom is besloten om lood als gidsstof te gebruiken. De ecologische risico's van koper en antimoon zouden daarbij ook ondervangen worden.

Het gehalte op de locatie met een niet-onaanvaardbaar risico was: 55 mg/kg ds (actueel beschikbaar gehalte (0,01 M CaCl<sub>2</sub>), bij de Microtox-assay; het meest kritische risico). Dit gehalte werd als meest relevant gezien (i.p.v. totaal of potentieel beschikbaar (0,43 HNO<sub>3</sub>)). Via een grafiek waarin de actuele beschikbare gehalten zijn uitgezet tegen de potentieel beschikbare gehalten (0,43 M HNO<sub>3</sub>) zijn vervolgens de terugsaneerwaarden afgeleid. Voor schietbaan 1 en 4 zijn twee aparte grafieken gemaakt (vanwege het verschil in pH van ongeveer 1 eenheid). Het snijpunt in de grafiek bij 55 mg/kg ds met de ij-as levert de terugsaneerwaarde voor de locatie op (zie Figuur 3). Schietbaan 1 (pH-KCl is 3.8): 635 mg/kg ds, schietbaan 4 (pH-KCl is 4.9): 1360 mg/kg ds.



Figuur 3. Bijlage uit onderzoeksrapportage DEF-4, waarmee de terugsaneerwaarden zijn afgeleid. De onderbroken lijnen zijn gebaseerd op alle punten, bij de andere lijnen zijn de uitbijters weggelaten.

#### DEF-5 (2008)

In dit onderzoek is niet direct gebruikgemaakt van de resultaten van het onderzoek zelf. Aan de hand van aannames is een terugsaneerwaarde voorgesteld:

*“Bij de bepaling van de terugsaneerwaarde is een aantal aandachtspunten van belang:*

- In het eindoordeel is het indirecte risico voor plantenetende zoogdieren bepalend, met name het berekende risico voor begrazing door Schotse Hooglanders. Het indirecte risico zal in de praktijk echter lager zijn, omdat plantenetende zoogdieren nooit al hun voedsel uit het sterk verontreinigde deel zullen halen. De berekening vormt dus een overschatting van het werkelijk risico.*
- De hoogste gehalten zijn onder de bomen en op het pad aangetroffen. Hier zijn de omstandigheden voor lage plantengroei overigens toch al ongunstig door de schaduw, verharding of droge omstandigheden.*
- Indien het terrein begraasd gaat worden door Schotse Hooglanders, kunnen beheersmaatregelen overwogen worden om blootstelling te voorkomen, bijvoorbeeld door het meest vervuilde deel van het terrein af te zetten.*
- De generieke norm voor actuele humane risico's bij natuurterreinen (MTRhumaan natuur) is 2370 mg/kg ds.*
- In eerder onderzoek is voor humane risico's een locatiespecifieke terugsaneerwaarde voor lood vastgesteld (DHV, 2001). Afhankelijk van de gevolgde methode ligt deze tussen de 2025 en 4720 mg/kg ds.*
- Het terrein heeft op dit moment al een zekere natuurwaarde, waaraan door het nemen van maatregelen wellicht ongewenste schade kan ontstaan.*
- Gezien de onzekerheden in de bepaling van de indirecte risico's kan overwogen worden de MTRhumaan natuur als terugsaneerwaarde aan te houden. Deze concentratie ligt dicht in de buurt bij de concentratie vanaf welke directe ecologische effecten aangetoond zijn.”*

Tabel 10. Ranges in loodconcentraties en bodemkenmerken van vijf onderzoeken (tussen haakjes de mediaan), en de voorgestelde terugsaneerwaarden voor lood. Resultaten van DEF-4 zijn gesplitst, vanwege het verschil in de pH van de schietbanen en het veronderstelde effect van pH op de risico's.

	DEF-1	DEF-2	DEF-3	DEF-4 baan 1	DEF-4 baan 4	DEF-5
Lood (mg/kg ds)	14 - 5672 (250)	48 - 1400 (200)	15 - 16000 (800)	13-16000 (170)	30-2800 (220)	49 - 5600
pH KCl	3.6 - 8.9 (4.4)	3.6 - 5.4 (4.3)		3.0 - 4.4 (3.8)	3.5 - 5.4 (4.9)	
pH H <sub>2</sub> O			4.6 - 5.9 (4.8)			2,8 -3,5
Organisch stof	0.3 - 5.9 (2.9)	1.1 - 4.4 (2.8)	4.8 - 9.7 (5.7)	1.3 - 6.9 (3.9)	2.3 - 4.7 (4.1)	3,8 - 21
Lutum	-	<1 - 2 (<1)	<1.0 - 4.5 (2.5)	<2.0 - 3.4 (2.0)	<2.0 - 2.7 (2.2)	1,0 - 3,8
Terugsaneerwaarde	360	TE laag: 593, TE hoog: 1779	1100	635	1360	2370*
RIVM eindtabel	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
TE-waarde of R-waarde bepaald	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
TE-hoog en TE-laag bepaald	Nee	Ja	Nee	Nee	Nee	Nee
Basis voor terug-saneerwaarde	Gevoeligste assay	TE-waarden	R-waarde	Gevoeligste assay	Gevoeligste assay	MTR humaan voor natuur

(Waarde) = mediaan, \* = MTRnatuur humaan, TE-waarden = Triade-effectwaarden = R-waarde, MTR = Maximaal Toelaatbaar Risico

### Samenvatting

In de vijf onderzoeken varieert de terugsaneerwaarde van 360 mg/kg ds tot 2370 mg/kg ds (zie Tabel 10). Deze variatie kan gedeeltelijk verklaard worden door de verschillende methodes waarmee deze waarden zijn afgeleid. De laagste waarde bijvoorbeeld (DEF-1) is mede het gevolg van de relatief conservatieve benadering in de beoordeling.

### 3.11 Resultaten interviews

Van alle onderzoeken, behalve DEF-7, zijn de uitvoerders geïnterviewd. DEF-7 is buiten beschouwing gelaten omdat dit onderzoek 16 jaar geleden is uitgevoerd en het geen volledig Triade-onderzoek betreft (er is geen ecologisch onderzoek uitgevoerd).

Tijdens de interviews is gevraagd naar aanvullende details van de onderzoeken, maar ook naar optimalisering van toekomstige onderzoeken. In deze paragraaf wordt per onderwerp een samenvatting van de interviews gegeven.

### 3.11.1 *Locatie*

Alle locaties bestaan uit drie elementen, namelijk kogelvangers, baanzolen en omliggende terreinen. De kogelvangers zijn grofweg in drie typen te onderscheiden:

- kunstmatig gemaakte heuvel met gebiedseigen bodem;
- kunstmatig gemaakte heuvel met gebiedsvreemd bodem;
- bestaande heuvel/duin.

De kogelvangers onderscheiden zich in vele opzichten sterk van de baanzolen en omliggende terreinen (behalve bij DEF-6, waar de kogelvanger een bestaand duin is). De kogelvangers liggen hoger, kennen een zon- en schaduwzijde, en werden in het (recente) verleden veel betreden/verstoord. Vanwege dit onnatuurlijke karakter van de kogelvanger is het lastig om een referentielocatie te vinden.

In diverse gesprekken kwam naar voren dat kogelvangers die nog recent in gebruik zijn geweest, dusdanig afwijkend zijn, dat het niet zinvol is om een ecologisch spoor van de Triade uit te voeren (wel andere sporen: chemie en ecotoxicologie). Kogelvangers die vele jaren uit gebruik zijn en inmiddels weer een begroeiing hebben, zouden misschien wel ecologisch onderzocht kunnen worden.

### 3.11.2 *Onderzoeksopzet*

De geëvalueerde onderzoeken zijn in een periode van 13 jaar uitgevoerd. Gedurende die periode zijn de inzichten voor beoordeling van ecologische risico's van bodemverontreiniging geëvolueerd en dat is terug te vinden in de onderzoeksopzet en -uitvoering. Het gaat hierbij om aspecten als de monsterstrategie, integratie van informatie uit verschillende Triade-sporen, de mate van conservatisme in de beoordeling, en extrapolatie van waargenomen effecten naar ruimtelijk expliciete informatie.

In alle gesprekken kwam naar voren dat bij het opzetten van het onderzoek steeds een afweging gemaakt moest worden tussen de relevante ecologische aspecten, de beschikbare methoden voor chemie, ecotoxicologie en ecologie, en het budget. Dit werkt door naar het aantal monsterpunten dat uiteindelijk gebruikt wordt voor het uitvoeren van bioassays en ecologische veldwaarnemingen. Onderzoeksbureaus kunnen in het vervolg gebruikmaken van het recent verschenen SIKB Protocol 2301 (2013) bij het maken van een onderzoeksopzet.

De locaties maken soms deel uit van natuur- en recreatiegebieden. In alle gevallen liggen de schietbanen ver weg van de bewoonde wereld in een groene ('natuurlijke') omgeving. Hoewel de in gebruik zijnde Defensieterreinen in de minst gevoelige gebruikscategorie worden ingedeeld ('industrie', groen zonder natuurwaarden) is de beoordeling gericht op ecologische risico's en op risico's voor planten en dieren die op deze locaties voor kunnen komen. Door diverse oorzaken is het niet altijd mogelijk om het onderzoek hier goed op af te stemmen:

- Beperkte beschikbaarheid van praktische en geschikte ecotoxicologische methoden (bioassays), vanwege onder andere de zuurgraad (lage pH) en bodemtype (zand).
- Beperkte beschikbaarheid van relevante ecologische methoden, vanwege onder andere relatief klein oppervlak (onderzoek aan mobiele organismen minder relevant), of relatief grote *confounding*-factoren (dit zijn

omgevingsfactoren die de interpretatie van de onderzoeksresultaten voor de risicoschatting bemoeilijken) op verontreinigde plekken van de schietbanen.

In de meeste onderzoeken is waar mogelijk gebruikgemaakt van eerdere onderzoeksgegevens om een selectie te maken voor de plek en het aantal monsterpunten. Door het beschikbaar komen van (draagbare) XRF-apparatuur, kunnen nu eenvoudiger voorselecties gemaakt worden in het veld van geschikte monsterpunten. Het vooraf meten van de pH helpt bij de selectie van de juiste bioassay.

### 3.11.3 *Chemische methoden*

Totaalgehalten van metalen geven een beeld van al het aanwezige lood. Echter omdat de grond vooraf gezeefd wordt, worden hierbij de kogels en fragmenten niet meegenomen. De potentiële beschikbaarheid van metalen kan bepaald worden met een ontsluiting met 0,43 M HNO<sub>3</sub>. Deze fractie is representatief voor het deel van het nu nog aan de grond gebonden lood wat in de toekomst kan vrijkomen. Organismen worden blootgesteld aan lood in het poriewater. Deze fractie is via een milde extractie met 0,01M CaCl<sub>2</sub> te benaderen, als maat voor de actuele biobeschikbaarheid. Een aantal onderzoeken heeft deze fracties bepaald.

Op dit moment is er nog geen gestandaardiseerde en geaccepteerde methode beschikbaar om deze gemeten fracties uit te drukken in een maat die het risico aangeeft, zoals dat voor totaalconcentraties wel het geval is. Er zijn wel voorstellen gedaan hoe dit eventueel zou kunnen (Schouten et al., 2003; Jensen en Mesman, 2006; TCB, 2008). De huidige normstelling is gebaseerd op totaalconcentraties, waarbij onder meer een niveau van 50% NOEC<sup>4</sup>-overschrijdingen wordt gebruikt voor ecologische onderbouwing van de interventiewaarde. Vanuit de onderzoeksbureaus wordt de bepaling van risico's op basis van gemeten biobeschikbare fracties als een ontwikkelpunt benoemd.

In sommige onderzoeken is ook gekeken naar de ophoping van lood in organismen, bijvoorbeeld in het strooisel, in pissebedden, regenwormen en het pijpenstrootje. Ook voor deze methoden bestaat nog geen gestandaardiseerde wijze om de resultaten mee te nemen in de eindbeoordeling (Mesman et al., 2007; Mesman et al., 2011). De resultaten van bioaccumulatie-metingen kunnen wel gebruikt worden om de eindbeoordeling verder te duiden of te nuanceren; bijvoorbeeld door ze te vergelijken met literatuurgegevens.

### 3.11.4 *Ecotoxicologische methoden*

De lage pH en zandgrond op de (meeste) locaties zorgen ervoor dat de keuze voor bioassays beperkt is. Bij de geëvalueerde onderzoeken zijn de volgende methoden met succes gebruikt:

- microtox (ondanks het feit dat het soms als screeningsinstrument beschouwd wordt);
- nitrificatie (lijkt relatief ongevoelig voor lood, en gevoelig voor pH);
- bacterie-activiteit (thymidine- en leucine-inbouwsnelheid);
- kieming, groei zuurminnende planten;
- regenwormen (waarbij rekening gehouden moet worden met de voorkeur voor een bepaalde zuurgraad (pH) van de regenwormensoort).

<sup>4</sup> NOEC = No Observed Effect Concentration, dit is de concentratie van een stof waarbij in een toxiciteitsexperiment nog geen effecten op een organisme worden waargenomen.

Veel methoden vallen af vanwege incompatibiliteit met de abiotische omstandigheden, het *confounding*-effect (sterke correlatie met andere variërende bodemkenmerken) of vanwege de tijdsduur en/of kosten.

Door het geringe aantal onderzoeken dat uitgevoerd wordt, rendeert het niet om nieuwe testen te ontwikkelen en valideren. Er is echter behoefte aan meer en beter passende testen. Via samenwerking met universiteiten wordt hier wel aan gewerkt, maar dit zal niet op de korte termijn leiden tot meer bruikbare testen. Methoden op het gebied van moleculairbiologisch onderzoek (DNA-technieken) van organismen lijken veelbelovend, maar deze zijn nog niet klaar voor routinematig gebruik.

### 3.11.5 *Ecologische methoden*

Ook in dit spoor dienen geschikte instrumenten voor onderzoek naar de effecten op schietbanen met zorg ingezet te worden. De kogelvangers zijn relatief klein, waardoor waarnemingen aan mobiele organismen (insecten, kleine zoogdieren, vogels) waarschijnlijk geen relevante informatie opleveren. Vegetatie-opnamen zijn niet altijd geschikt voor een kwantitatieve effectmaat, niet altijd mogelijk door het jaar heen (seizoensafhankelijkheid) en daarnaast kostbaar vanwege de expertise die vereist wordt.

In Nederland is analyse van de nematodengemeenschap (vrijlevende 'aaltjes' in de bodem) goed gestandaardiseerd en relatief goedkoop. Vanwege de praktische voordelen als voorkomen, dichtheid, soortenrijkdom en functionele diversiteit, is deze veelvuldig toegepast bij verschillende soorten van ecologisch/ecotoxicologisch onderzoek in de bodem. Het werk van Bongers (1990) en de door hem geïntroduceerde Maturity Index heeft daar een stimulerende rol in gespeeld.

In de acht geëvalueerde Triade-studies zijn de volgende ecologische veldwaarnemingen toegepast om effecten te meten (zie ook Tabel 8):

- 1 x potentiële stikstof mineralisatiecapaciteit;
- 1 x microarthropoden-gemeenschap (= mijten en springstaarten);
- 6 x nematoden-samenstelling;
- 2 x nitrificatiesnelheid (microbiologisch);
- 1 x bacteriële groeisnelheid;
- (5 x) vegetatie-samenstelling, deels in ouder onderzoek;
- (5 x) fauna-samenstelling, deels in ouder onderzoek;
- 2 x pissebedden (bioaccumulatie).

De meting van nitrificatiesnelheid wordt vaak aangeduid als 'nitrificatietest', maar betreft een waarneming van de biologische activiteit in veldmonsters (= ecologische veldwaarneming). De methode wordt in een andere vorm ook ingezet om bijvoorbeeld de remming van activiteit in zuiveringsslib te meten. Voor een aantal microbiologische bepalingen is incubatie van het veldmonster in het laboratorium nodig voordat de waarde van een parameter/proces kan worden bepaald.

Metingen aan monsters/organismen uit het veld worden hier onder het spoor ecologie geschaard, ondanks het feit dat er meer of minder kunstmatige stappen kunnen zitten tussen de monsternamen in het veld en de uiteindelijke meting van biologische activiteit.

Het beperkte aantal ecologische metingen in de Triade-studies is voor een aantal locaties aangevuld met gegevens uit eerdere inventarisaties van flora en fauna, die al dan niet in relatie tot de verontreiniging waren uitgevoerd. In het

overzicht lijken ecologische waarnemingen dus vaak te zijn toegepast in het Triade-onderzoek. Dat geldt echter alleen voor de nematodenanalyse die op zes van de acht locaties is uitgevoerd.

Op basis van de samenstelling van de nematodenfauna kunnen indicatoren worden afgeleid voor diversiteit en voor functies en processen, en voor de specifieke soortensamenstelling.

In de bestudeerde Triade-onderzoeken zijn de nematodenanalyses meestal geïntegreerd tot de Maturity Index, c-p-groepen of voedselgroepen. Soms is de soortenlijst nader onderzocht op gedetailleerde effecten.

De Maturity Index is door Bongers (1990) geïntroduceerd, om taxonomische beschrijvingen (soortenlijsten) van een ecologische interpretatie te voorzien. Hiervoor worden de nematoden ingedeeld in 5 klassen. Dit zijn de zogenaamde colonizer-persister groepen, die een combinatie van levensstrategiekenmerken vertegenwoordigen. In de cp1-groep worden bijvoorbeeld dieren ingedeeld die snel kunnen reageren op voedselrijke omstandigheden en die nieuwe substraten kunnen koloniseren. Aan de andere kant van het spectrum worden nematoden ingedeeld, in cp-groep 5. Dit zijn meestal de grotere soorten die langzaam groeien, die zich gespecialiseerd hebben maar een trage voortplantingssnelheid hebben.

Naast de indeling in c-p-groepen, kunnen nematoden ook worden ingedeeld in voedingstypen. De c-p-groepenindeling is in principe niet van toepassing op de plantparasitaire soorten. Het voordeel van diversiteits- c.q. ecologische indexen is dat informatie sterk wordt vereenvoudigd, gecondenseerd, en in een andere context wordt geplaatst. Dat is tevens een nadeel, omdat tegelijk veel detailinformatie verloren gaat, en subtiele effecten daardoor over het hoofd kunnen worden gezien.

In de verschillende locatiestudies werden wisselende resultaten verkregen uit het nematodenonderzoek. Effecten waren volgens de betreffende rapporten niet duidelijk gerelateerd aan de mate van verontreiniging. Er kwamen echter ook onverwachte en tegengestelde effecten voor bij hogere metaalconcentraties, mede als gevolg van grote verschillen in bodemeigenschappen, vegetatie, gebruik en herkomst van het bodemmateriaal.

Er waren uitzonderingen voor de groep van de plantenetende aaltjes. Hiervoor werd vaker een negatief effect gevonden. Deze werden mogelijk ook indirect beïnvloed door de dichtheid en kwaliteit van de plantenwortels ter plekke.

Uit de resultaten van de ecologische waarnemingen in de bestudeerde Triade-onderzoeken komt het beeld naar voren dat de heterogeniteit van de bodem en het geclusterde voorkomen van organismen is onderschat. Het SIKB Triade-protocol geeft hier wel aanwijzingen voor, maar deze zijn van latere datum dan de locatiebeoordelingen. De manier van monsternamen (aantal, en diepte) is niet gestandaardiseerd en vaak niet optimaal. Doordat een Triade-onderzoek niet ingericht is om per individuele indicator de variatie in beeld te brengen, zijn er geen herhaalde waarnemingen ingebouwd en is statistische toetsing niet mogelijk.



## 4 Evaluatie onderzoeken

In dit hoofdstuk worden de bevindingen van hoofdstuk 3 geëvalueerd. Dit leidde tot voorstellen voor aanpassing van de onderzoeksmethoden, om ze beter toepasbaar te maken bij toekomstige Triade-onderzoek op schietterreinen. In Tabel 11 staat een overzicht van de uitgevoerde methoden in alle onderzoeken. Voor de ecotoxicologische en ecologische waarnemingen is daarbij aangegeven of het aannemelijk is dat de loodverontreiniging tot ecologische effecten leidt. De methoden zijn beoordeeld op hun geschiktheid voor het onderzoeken van schietterreinen met loodverontreinigingen. In de volgende paragrafen worden de beoordelingen verder toegelicht, waarbij dezelfde volgorden van onderwerpen wordt aangehouden als in hoofdstuk 3.

### 4.1 Locatiekenmerken van schietterreinen

De schietterreinen hebben voornamelijk zand als bodemtype, en de begroeiing rondom de schietbaan bestaat uit bos, heide (en bij DEF-6 uit duinvegetatie). Over het algemeen is de pH laag (<5), behalve bij DEF-6 waar het zand veel kalk bevat. Lood is de belangrijkste verontreinigende stof op deze locaties.

De terreinen zijn grofweg op te delen in drie onderdelen:

- baanzoom;
- kogelvanger;
- overschietterreinen.

Uit de onderzoeken en interviews komt duidelijk naar voren dat het niet zinvol is om de drie onderdelen van de locatie als geheel te beoordelen in het onderzoek. De onderdelen verschillen daarvoor te veel van elkaar. De kogelvanger is een kunstmatig element in het landschap (behalve bij DEF-6 waar dit een duin is), dat in sommige gevallen ook uit gebiedsvreemd materiaal bestaat. Bij de kogelvangers spelen er naast de loodverontreiniging ook andere elementen (microklimaat vanwege zon/schaduw, hoogteverschil ten opzichte van de omgeving, verstoring door het gebruik als kogelvanger) een rol, en die invloed hebben op het ecosysteem. De baanzoom verschilt van zijn omgeving vanwege het soort begroeiing (gras) en het onderhoud en gebruik daarvan (maaieren). De overschietterreinen maken meestal deel uit van de bestaande omgeving (heide/bosgebied). Voor DEF-6 gelden deze bezwaren minder, doordat daar gebruik is gemaakt van de natuurlijke elementen in het terrein.

De baanzoom en de kogelvanger zouden elk met een eigen referentielocatie vergeleken moeten worden. In het geval van de kogelvanger kan het moeilijk zijn om een geschikte referentielocatie te vinden. Als alternatief kan een punt op de kogelvanger gezocht worden dat een zo laag mogelijke concentratie lood bevat.

Tabel 11. Overzicht van de uitgevoerde methoden op schietbanen DEF-1 t/m DEF-8. Ranking van de geschiktheid van zeer geschikt (++) tot ongeschikt (-). In kleur is aangegeven in welk spoor de methode wordt gebruikt; het chemische spoor (blauw), het ecotoxicologische (roze), het ecologische (geel).

	Aantal onderzoeken toegepast	Gemiddeld aantal monsters per onderzoek	Hoogste lood concentratie (mg/kg ds)	Plausibele respons t.o.v. verontreiniging	Geschiktheid
XRF-meting	2	14	16000		(++)
Bepaling totaal-gehalte lood (aqua regia)	8	10	16000		(++)
Bepaling reactieve fractie (extractie HNO <sub>3</sub> )	1	14	16000		(++)
Bepaling poriewater-concentratie	2	6	1400		(+/-)
Bepaling bio-beschikbare fractie (extractie CaCl <sub>2</sub> )					(++)*
EDTA	1	6	16000		(-)
pH H <sub>2</sub> O	3	9	7200		(-)*
pH KCl	4	12	16000		(++)
pH CaCl <sub>2</sub>	1	6	7200	Weinig gebruikt en daardoor moeilijk vergelijkbaar met andere resultaten	(-)
Bepaling lutum, organisch stof	7	11	16000		(++)
Toxische druk	4	12	16000		(++)
Bioaccumulatie-meting	4	8	16000	Ja, gehalten in organismen namen toe met toenemende loodconcentratie (tot., biobes.)	(+)
Microtox: EC <sub>20</sub> , EC <sub>50</sub>	5	6	16000	Ja	(++)
Engels raaigras ( <i>Lolium perenne</i> ): kieming, groei	3	9	5672	Kieming hooguit tijdelijk effect, lage pH storend bij groei, biomassa droog, wel correlatie	(+)
Regenworm ( <i>Lumbircus rubellus</i> /Eisenia andrei): overleving, groei, aantal cocons	2*	12	7200	Ja	(++)

Micro-arthropoden-gemeenschap: aantallen, soorten	1	17	5672	Ja, maar wel mijten, niet springstaarten	(+/-)
Nematodengemeenschap: aantal soorten, MI	6	8	16000	Geen duidelijke correlatie met loodverontreiniging, waarschijnlijk door het beperkt aantal onderzochte monsters	(+/-)
Bacteriën nitrificatietest	3	10	16000	Lage pH werkt ook remmend op nitrificatie	(-)
Bacteriën: groeisnelheid (inbouw thymidine en leucine)	1	6	5600	Lage pH werkt ook remmend	(+/-)
Beschrijving planten en vegetatiekenmerken	5	n.v.t.	16000	Toepassing divers	(+/-)

#### 4.2 Opzet locatiespecifiek onderzoek

Zowel uit de rapportages als uit de interviews blijkt dat de onderzoeksopzet afgestemd werd op de:

- ecologische aspecten van belang op de locatie;
- onderzoeksvragen van de opdrachtgever en/of bevoegd gezag;
- beschikbaarheid van relevante methoden;
- tijdsduur van methoden;
- kosten van methoden.

Bij die afweging zijn naast de opdrachtnemer en opdrachtgever ook andere stakeholders betrokken. In sommige gevallen hebben de onbekendheid met dit type onderzoek en de perceptie van het belang van ecologische risico's ten opzichte van humane risico's bij bijvoorbeeld het bevoegd gezag gevolgen gehad voor de onderzoeksopzet.

#### 4.3 Monsterstrategie

In alle gevallen wordt waar mogelijk gebruikgemaakt van eerder uitgevoerd onderzoek (nader of oriënterend onderzoek) om een keuze te maken voor monsterpunten op de locatie. Het aantal monsterpunten verschilt per onderzoek. Deze verschillen worden bepaald door de doelstelling van het onderzoek (wel of niet gebruikmaken van een gradiënt, de onderzoeksvragen), de omvang van de locatie en de verontreiniging en deels ook kosten voor onderzoek.

De wijze van monsternamen (mengmonsters, diepte, rasters, etc.) is in de onderzoeken afgestemd op de methoden. Monsters waar nog kogelfragmenten aanwezig waren, werden gezeefd. Uit deze fragmenten komt door verwerking nog lood vrij, via een geleidelijk en langdurig proces (orde grootte: 1 – 100 jaar).

Om de resultaten van de monsters van de verontreinigde locatie goed te kunnen beoordelen, zijn één of meerdere referentiemonsters nodig. Voor deze schietbanen betekent dit minimaal een referentielocatie voor de kogelvanger (voor de chemische en ecotoxicologische methoden, zie ook paragraaf 6.1) en de baanzool (voor alle drie de sporen). Indien er geen goede referentielocatie is te vinden die vergelijkbaar is met de verontreinigde locatie, dan kan ook gekozen worden om een locatie te zoeken die een minimale hoeveelheid lood bevat. Voor de kogelvangers is het belangrijk om daarbij ook rekening te houden met de ligging (hoogte, zon/schaduw).

In de meeste onderzoeken is voorafgaande aan de definitieve bemonstering een extra stap gedaan om de monsterlocaties beter te kunnen selecteren volgens een gradiënt in de loodverontreiniging. Dit kan op diverse manieren:

- XRF-metingen in het veld (metalen);
- chemische analyse van monsters (metalen en eventueel andere bodemkenmerken) in het laboratorium, daarna verdere selectie en inzet definitieve methoden (ecotoxicologie, ecologie).

Een andere optie is om op basis van de resultaten van het nader onderzoek monsterlocaties te selecteren. Het is dan wel van belang dat de coördinaten voldoende nauwkeurig zijn vastgelegd om de monsterlocaties in het veld terug te kunnen vinden.

Inzicht in de *confounding*-factoren (dit zijn versturende factoren die de risicoschatting bemoeilijken, in dit geval de zuurgraad in de eerste plaats, maar ook het organische stof- en lutumgehalte) is van belang voor de definitieve bemonstering. Dit voorkomt bijvoorbeeld dat in een bioassay dat pH-effecten een sterk *confounding*-effect hebben op de beoordeling.

#### 4.4 Chemie

##### Inleiding

In alle onderzoeken werd de uitvoering gericht op het specifieke probleem bij schietbanen van Defensie, soms met een uitbreiding voor de specifieke situatie. Lood is de belangrijkste aandachtstof vanwege de relatief hoge concentraties, de relatief hoge blootstelling (bij de vigerende bodem pH) en de ecotoxiciteit. Lood is ook een aandachtstof voor de beoordeling van de risico's voor de mens, maar de actuele blootstelling is meestal relatief beperkt. Koper kan ook ecologische effecten veroorzaken, maar de effectniveaus liggen lager dan voor lood. Antimoon is bij de aangetroffen concentraties niet heel erg toxisch voor ecosystemen. Bij enkele onderzoeken zijn ook PAK's geanalyseerd, maar die zijn niet het gevolg van het gebruik als schietbaan door Defensie, en hebben een andere bron.

Voor het chemische spoor in het Triade-onderzoek wordt als basis tegenwoordig gebruikgemaakt van het standaard rekeninstrument (Sanscrit) voor toxische druk van het mengsel van verontreiniging. De drempelniveaus voor de toxische druk in stap twee van het Saneringscriterium zijn gebaseerd op een gemiddeld mengsel van verontreinigde stoffen en de voorspelde ecologische effecten. In het geval van schietbanen van Defensie is het mengsel verontreinigde stoffen relatief simpel. Dit heeft als implicatie dat wanneer lood wordt beschouwd als de enige stof die ecologische effecten veroorzaakt, de trigger voor spoed ongeveer ligt op een niveau van 1,6 x de HC50eco (het ecologische risiconiveau dat ten grondslag ligt aan de interventiewaarde) voor lood ( $1,6 \times 580 = 928$  mg lood/kg ds standaardbodem).

Om de effecten ten gevolge van lood in bodemmonsters beter te kunnen beoordelen, is naast de totaalconcentratie aanvullende informatie nodig, zoals bodemkenmerken, biobeschikbaarheid en bioaccumulatie en informatie over de aanwezigheid van gevoelige soorten. Om de informatie ten slotte toepasbaar te maken voor de risicobeoordeling, is schaling van de informatie nodig, bijvoorbeeld via een berekening van de toxische druk. Een en ander wordt hieronder toegelicht.

#### Bepaling van totale loodconcentraties

De totale loodconcentratie in het veld en in bodemmonsters is de meest basale informatie voor het in beeld brengen van de verontreinigde locatie, bijvoorbeeld om te toetsen aan de interventiewaarde (gecorrigeerd voor lokale bodemkenmerken). Alle onderzoeken rapporteren de waarden voor totale loodconcentratie, op basis van standaard protocollen (*aqua regia*), en/of bijvoorbeeld op basis van de non-destructieve en in het veld toepasbare XRF-methode. Tevens zijn vaak de resultaten van het nader onderzoek beschikbaar, met uitwerking naar een ruimtelijke representatie van de verontreiniging, inclusief lood. Voor een Triade-onderzoek is niet alle informatie nodig die via het nader onderzoek beschikbaar is (zie hoofdstuk 6).

#### Bodemkenmerken

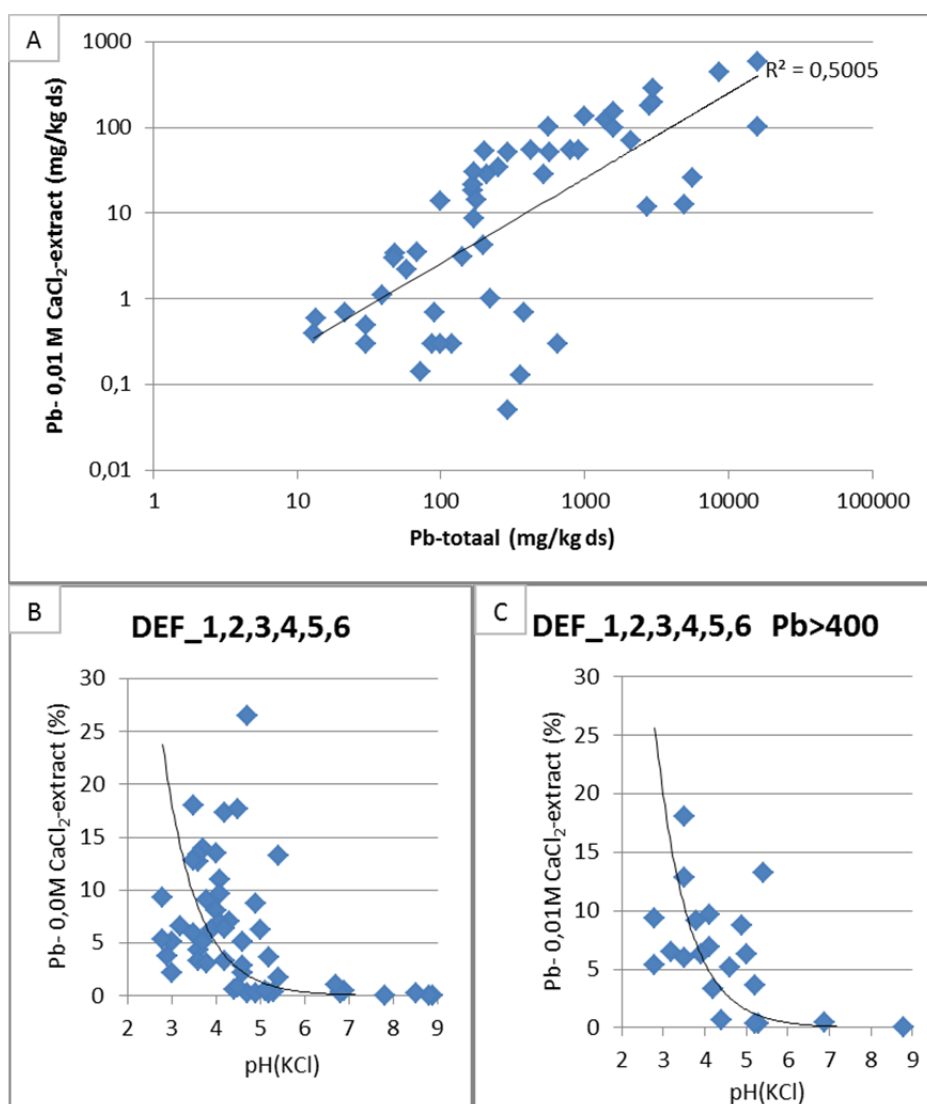
Om een bodemtypecorrectie uit te voeren is het nodig om enkele bodemkenmerken te kennen, namelijk het lutum- en organische stofgehalte. Deze kenmerken zijn soms aan alle monsters bepaald, en soms geschat op basis van ander onderzoek. Niet altijd waren de onderzoeksresultaten voor deze kenmerken gemakkelijk en eenduidig in de rapportages terug te vinden, terwijl de tekst wel de indruk gaf dat ze bepaald waren.

Ook de bodem-pH is een kenmerk dat het gedrag van lood (sterk) beïnvloedt, maar is geen onderdeel van de bodemtypecorrectie. Soms werd de bodem-pH vermeld zonder dat was aangegeven via welke methode de analyse was uitgevoerd. De pH(H<sub>2</sub>O) en de pH(KCl) (de twee meest gebruikte methodes) geven een verschillende uitkomst; pH-KCl is de meest toegepaste methode. Om de onderzoeken te vergelijken, is de volgende vuistregel toegepast:  $\text{pH(KCl)} = \text{pH(H}_2\text{O)} - 0,7$  (op basis van 872 gepaarde waarnemingen in het Meetnet Bodemkwaliteit; Rutgers et al., 2009).

#### Loodconcentraties in extracten

Biobeschikbaarheid, doorvergiftiging en bioaccumulatie worden bij lood vaak in verband gebracht met verminderde blootstelling of juist met effecten hogerop in de voedselketen. Om informatie voor deze aspecten in de risicobeoordeling op te nemen is bij alle onderzoeken het loodgehalte geanalyseerd in bodemextracten en/of in biota, maar niet altijd op vergelijkbare wijze. Het meest toegepast (zes keer; Tabel 11) is de bepaling van de loodconcentratie in 0.01M CaCl<sub>2</sub>-extracten, want dit wordt beschouwd als een redelijk robuuste maat voor 'actueel biobeschikbaar lood' (Figuur 4). In de meeste gevallen kan lood in deze extracten goed worden aangetoond. Over het geheel genomen is er een correlatie met de totaalconcentratie (Figuur 4A), maar deze wordt ook beïnvloed door de pH (Figuur 4B). De meetresultaten geven geen aanleiding om te veronderstellen dat het nuttig is om een onderscheid te maken tussen loodverontreiniging en het van nature aanwezige lood; Figuur 4B en 4C lijken op elkaar, waarbij in Figuur 4C alleen die meetpunten zijn afgebeeld waarvan met zekerheid gezegd kan worden dat het grootste deel van het lood het gevolg is van verontreiniging (>400 mg/kg ds). De vier monsters in Figuur 4A met een relatief lage actuele biobeschikbaarheid bij hoge totaalconcentratie hebben een hoge pH (>5,2). Ook het organische stofgehalte blijkt in één onderzoek een significante predictor te zijn voor de hoeveelheid lood in CaCl<sub>2</sub> extracten.

Bij enkele onderzoeken zijn alternatieve fracties bepaald (Tabel 11), namelijk lood in het poriewater, in 0,43M HNO<sub>3</sub>-extracten en in een EDTA-extract die beide beschouwd worden als sterkere extractiemiddelen dan 0.01M CaCl<sub>2</sub> (Brand et al., 2009). De informatie afkomstig van deze bepalingen is grofweg in lijn met de resultaten van totale loodconcentratie, lood in CaCl<sub>2</sub>-extracten en de bodem-pH. De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat lood een enigszins mobiele stof is in de bodem, vooral bij de relatief lage bodem-pH van de meeste schietbanen van Defensie. Desondanks is er niet op grote schaal grondwaterverontreiniging aangetoond (persoonlijke mededeling Defensie), mogelijk omdat de grondwaterspiegel vaak ver beneden het maaiveld ligt.



Figuur 4. Loodconcentraties in bodemonsters van schietbanen van Defensie (data van Triade-onderzoeken):

- Relatie tussen de totale loodconcentratie en de extraheerbare loodconcentratie (0,01M CaCl<sub>2</sub>) op basis van alle metingen bij zes Triade- onderzoeken. De concentratie in de opgeloste fase (extract) is teruggerekend naar de 'actueel beschikbare concentratie' in de bodem;
- Relatie tussen de bodem pH(KCl) en de verhouding tussen actueel beschikbaar lood in extracten en totale loodconcentratie, voor alle metingen;
- Voor alle monsters waarbij het totale loodgehalte groter is dan 400 mg/kg ds).

### Loodaccumulatie in biota en strooisel

Bioaccumulatie van lood is bij vier onderzoeken bepaald, bij pijpenstrootje (twee keer), in Engels raaigras, in pissebedden en in regenwormen. In het algemeen kon een relatie met de loodconcentratie aangetoond worden. In die zin is deze analyse van betekenis voor de risicobeoordeling. Het is wel lastig om de bioaccumulatie, al dan niet aan de hand van een bioaccumulatiefactor, te gebruiken voor het schatten van de ecologische effecten (zie onder paragraaf 'schalen'), dit omdat er weinig literatuurgegevens beschikbaar zijn: geaccumuleerde gehalten *an sich*, waar wel veel literatuur voor beschikbaar is, geven geen directe informatie over ecologische effecten. Door het ontbreken van robuuste kwantitatieve informatie over deze relatie is de conclusie dat de resultaten van deze bepaling alleen gebruikt kunnen worden als er geen of weinig, of juist heel veel, lood bioaccumuleert.

### Schaling

De informatie die in elk spoor van een Triade-onderzoek geproduceerd wordt, dient te worden geschaald naar een gelijk 'effectniveau' voor het ecosysteem. Voor het chemische spoor kan dat voor een deel gebeuren aan de hand van algemeen geaccepteerde rekenregels voor het toepassen van informatie over effecten in dosis-respons relaties die in de literatuur beschreven zijn. Deze rekenregels – met de SSD (*Species Sensitivity Distribution*) als centraal model – worden ook toegepast bij de afleiding van bodemkwaliteitsnormen (interventiewaarden, maximale waarden). Het effectniveau voor deze fase in de beoordeling is de No-Observed Effect Concentration (NOEC); de concentratie waarbij juist geen effecten worden waargenomen.

Voor een ernstig verontreinigde locatie is het effectniveau van de NOEC te laag, voor ecologische risico's is er dan al sprake van meer dan 50% ecologische effecten (EC50). In stap 2 van het Saneringscriterium wordt daarom de schaal van de beoordeling op het effectniveau van de EC<sub>50</sub> gebracht (concentratie waarbij voor 50% van de organismen effecten optreden; Rutgers et al., 2008). De uitkomsten worden meestal gerapporteerd in een maat voor de Toxische Druk. Voor de eenduidigheid wordt bij de toepassing van de Triade voorgesteld om ook dit effectniveau toe te passen (Mesman et al., 2011). De berekening van de Toxische Druk in stap 2 is dus direct bruikbaar in de vervolgfases van de beoordeling. Bij vier Triade-onderzoeken is een berekening van de Toxische Druk toegepast, bij één van deze vier is het minder bruikbare NOEC-niveau toegepast.

Beoordelingen waarbij transparant geschaalde informatie afkomstig van beschikbare gehalten, of biogeaccumuleerde gehalten, wordt toegepast, zijn nog niet courant en algemeen geaccepteerd. In andere Triade-onderzoeken (Schouten et al., 2003; Jensen en Mesman, 2006) zijn poriewatergehalten gebruikt in combinatie met een analyse van de aquatische toxiciteit (bijvoorbeeld grondwaternormen).

Informatie over het poriewatergehalte van lood was bij slechts één Triade-onderzoek beschikbaar (DEF-7; 1350 – 29000 µg/l): in alle monsters was er een grote overschrijding van de grondwaternorm voor lood (75 µg/l). De verwachting is dat een beschouwing op basis van aquatische toxiciteit in het geval van deze met lood verontreinigde schietbanen de beoordeling van het risico omhoog zal bijstellen (de risico's zijn aanmerkelijk groter dan berekend werd in stap 2 van het Saneringscriterium), vergelijkbaar met de uitkomsten van eerder Triade-onderzoek (Schouten et al., 2003). Het blijft een open vraag of aquatische informatie over ecologische risico's bruikbaar is voor een risicobeoordeling van bodemverontreiniging.

Bij verschillende onderzoeken is opgemerkt dat het ontbreken van een beoordelingskader voor beschikbare gehalten in bodem en bioaccumulatie in biota, het optimaal benutten van deze informatie in de weg staat (zie ook: Brand et al. 2009).

## 4.5 Ecotoxicologie

### Inleiding

De toepassing van bioassays in het ecotoxicologische spoor van de Triade is bij bijna alle onderzoeken gedaan. Een bioassay in deze context (Triade) kan gedefinieerd worden als het blootstellen van organismen, die onder gecontroleerde condities (in het laboratorium) zijn opgekweekt, aan een grondmonster of deel daarvan (extract). Deze grondmonsters (of extracten) zijn afkomstig van de verontreinigde locatie. Een ecologische waarneming voor de Triade betreft de waarneming aan een biologisch aspect afkomstig van de verontreinigde locatie. In twee onderzoeken zijn methoden ingezet in het ecotoxicologische spoor, terwijl het volgens bovenstaande inkadering ecologische waarnemingen betrof. Het zijn potentiële nitrificatie (DEF-1) en de thymidine/leucine inbouwsnelheid (DEF-5). Deze testen worden uitgevoerd in het laboratorium, maar het betreft waarnemingen aan de bacteriegemeenschap van de locatie. In deze evaluatie zijn daarom de testresultaten verplaatst.

### Microtox

De test met de lichtgevende bacterie *Vibrio fischeri* (Microtox) is vaak toegepast bij de schietbanen, namelijk bij zes onderzoeken. In de meeste gevallen was de respons sterk gecorreleerd met lood, namelijk met de totaalconcentratie of met de 0.01M CaCl<sub>2</sub> geëxtraheerde concentratie in grondmonsters. In eerder onderzoek is ook een sterke relatie met lood gevonden bij een kleiduivenschietbaan (Van der Waarde et al., 2001, Rutgers et al., 2001). De Microtox lijkt dus een zeer geschikte bioassay voor Triade-onderzoek bij schietbanen van Defensie. Een bekend bezwaar van de Microtox is dat het toetsorganisme exotisch is uit een marien milieu (maar zie: Rutgers en Jensen 2011, Mesman et al., 2011). Zolang er geen ander breed toegepaste bioassay met bacteriën beschikbaar is, is de Microtox een bruikbaar alternatief. Een voordeel van de Microtox is dat ze relatief ongevoelig is voor het versturende effect van de pH, omdat de pH voor de toets gesteld wordt op een voor de bacteriën gunstige waarde.

Ondanks het feit dat de test met de lichtgevende bacterie *Vibrio fischeri* (Microtox) in de literatuur wordt beschouwd als een screeningstest met weinig locatiespecifieke waarde vanwege het exotische toetsorganisme, is deze toch vaak toegepast bij de schietbanen.

### Regenwormen

Een andere bioassay is een toets van overleving, groei en reproductie van regenwormen op complete grondmonsters. In de literatuur wordt vaak de toets met *Eisenia fetida* of *E. andrei* toegepast (hoofdstuk 5). Bij één Triade-onderzoek is een bioassay met de regenworm *Lumbricus rubellus* (DEF-1) en bij een ander onderzoek is *E. andrei* (DEF-8) toegepast; bij het laatste onderzoek was de toets slechts ingezet om de bioaccumulatie te bepalen, maar bleken de wormen bij de drie monsters met de hoogste concentratie de test niet te overleven. Regenwormen zijn gevoelig voor de pH; deze dient dus in beschouwing te worden genomen. Onder een pH (KCl) van 3,7 zijn sommige gekweekte regenwormen niet bruikbaar. Bij ISO/OECD-testen met regenwormen (ISO, 2008) is het gebruikelijk om ook een standaardgrond (LUF4, OECD, etc.)



mee te nemen in de bioassay. Zo wordt duidelijk of de gebruikte regenwormen op een schone en gestandaardiseerde grond overleven, groeien en reproduceren.

#### Planten

De kiemings- en groeitest met planten is een standaardtest (OECD, 2003; ISO, 2005). In de onderzoeken DEF-1, -2 en -5 is voor Engels raaigras, *Lolium perenne*, gekozen als plant. Deze plant is bestand tegen zuurdere gronden (pH 5,2), maar het optimum ligt tussen pH 5,75 en 7,5

([http://forages.oregonstate.edu/php/fact\\_sheet\\_print\\_grass.php?SpecID=6](http://forages.oregonstate.edu/php/fact_sheet_print_grass.php?SpecID=6)).

Naast de standaard eindpunten groei en kieming, is bij DEF-1 ook gekeken naar necrose, biomassa (droog en nat), ontwikkeling. Bij dit onderzoek werd alleen een tijdelijk effect van de loodverontreiniging gevonden (kieming met 4 dagen is minder dan bij 7 dagen). In het onderzoek van DEF-5 lijkt het effect van de lage pH 2,8 tot 3,5 ervoor te zorgen dat er geen effecten door de loodverontreiniging op de groei zijn. Bij de kieming is er geen effect gemeten van zowel pH als loodverontreiniging. Het onderzoek op locatie DEF-2 toont eveneens geen effect op kieming, maar wel duidelijke effecten op de groei. De pH op de referentielocatie is het laagste van alle monsterpunten, zodat effectief uitgesloten kan worden dat de pH hier een *confounding*-effect heeft; op de referentielocatie was de kieming relatief hoog. Volgens de auteurs kan de lage pH wel zorgen voor een stress-op-stresseffect en in dit geval dus op een onderschatting van het risico.

Het type bodem, de daarin aanwezige schimmels (mycorrhiza-schimmels) en de pH zijn belangrijke factoren voor de groei van het Engels raaigras. Wanneer er op een locatie grote verschillen zijn bij deze parameters, dan is de kans groot dat die verstoringen werken op de bioassay (*confounding*-factoren).

## **4.6 Ecologie**

### Inleiding

Het ecologische spoor van de Triade stelt hogere eisen aan de selectie van referentielocaties dan het ecotoxicologische spoor, om de waargenomen veranderingen plausibel aan de verontreiniging toe te kunnen schrijven. Bij alle onderzoeken (bij één onderzoek is geen ecologisch onderzoek uitgevoerd, namelijk DEF-8) heeft men zorg besteed aan de selectie van de referentielocaties.

Het is van belang om voldoende referentielocaties te selecteren: afhankelijk van de opzet dienen twee tot vier referentielocaties geselecteerd te worden (zie de paragrafen 4.3 Monsterstrategie en 6.1. Locatie en onderzoeksopzet).

Alle onderzoekers geven aan dat met ecologisch onderzoek een verdieping kan worden bereikt die met alleen chemisch-gericht onderzoek niet haalbaar is. Tevens is duidelijk dat de ervaring en mogelijkheden (nog) beperkt zijn, want het is een relatief nieuw onderdeel van een locatiespecifieke risicobeoordeling. Een belangrijk aspect van het toepassen van de informatie afkomstig van ecologisch veldonderzoek betreft de schaling; oftewel het projecteren van de gegevens op een effectschaal. Dit is in een aantal gevallen niet gebeurd (vijf van de acht onderzoeken). Een ander aspect is het beoordelen of, en de mate waarin, de verontreiniging verantwoordelijk is voor de waargenomen afwijkingen in de ecologische parameters. Alle onderzoeken besteden hier aandacht aan, maar alleen in een kwalitatief beschrijvende zin. De filosofie achter de Triade (en achter alle andere *weight-of-evidence* methoden) geeft mogelijkheden om hier een kwantitatieve onderbouwing aan te geven (Rutgers en Jensen 2011). De

optie om in de Triade-methodiek minder gewicht (maar niet 0) toe te kennen aan de resultaten van bepaald ecologisch veldonderzoek in het eindoordeel (inclusief een gevoeligheidsanalyse), is niet toegepast.

#### Nematoden

Een analyse van de abundantie (dichtheid) en samenstelling van de nematodengemeenschap in de bodem is bij zes van de acht onderzoeken uitgevoerd, en is daarmee de meest populaire methode. De verklaring is dat nematoden gevoelig zijn voor metaalverontreiniging en dat nematodenanalyse op commerciële basis wordt aangeboden door bedrijven in het agrarische advies, waardoor prijs-prestatieverhouding van deze indicator relatief goed is. Bovendien is er relatief veel ervaring met nematodenanalyses.

Hoewel bij veldonderzoeken soms een verband zichtbaar was tussen eigenschappen van de nematodengemeenschap en de loodverontreiniging, was deze relatie niet consistent. Over de breedte van de evaluatie bezien, lijkt daardoor het beeld te ontstaan dat de nematodenanalyse niet zo geschikt is om ecologische effecten van loodverontreiniging op schietbanen te indiceren. Dit is wellicht een verkeerd beeld, zoals uit de literatuur en uit de gesprekken met de onderzoekers naar voren is gekomen. De argumentatie om de nematodenanalyse toch in toekomstig onderzoek te blijven gebruiken, wordt verder uitgewerkt in Bijlage 3. Samengevat zijn er drie argumenten:

- In de bovenste bodemlagen in Nederland komen overal en door het hele jaar heen nematoden voor, in groten getale en met een hoge diversiteit.
- In de wetenschappelijke literatuur is aangetoond dat nematoden in het veld reageren op lood in de bodem, ook bij (kleidruiven)schietbanen, en dus dat de nematodenanalyse een geschikte methode is.
- Nematodenanalyse wordt veelvuldig toegepast, ook op commerciële basis, en de prijs-prestatieverhouding is goed te noemen.

#### Micro-arthropoden

In één Triade-onderzoek is een analyse uitgevoerd van de abundantie en samenstelling van een andere gemeenschap bodemorganismen, namelijk micro-arthropoden. De onderzoekers veronderstelden een effect van lood, maar hebben dit resultaat niet toegepast in de locatiebeoordeling. Uit de literatuur lijkt het beeld naar voren te komen dat zowel de nematoden als de micro-arthropodengemeenschappen niet de meest gevoelige indicatoren zijn bij de bepaling van loodeffecten op verontreinigde schietbanen (zie hoofdstuk 5), maar dat ze wel een seizoensafhankelijke loodrespons vertonen. Het is niet per se noodzakelijk om een gevoelige methode te selecteren; andere factoren zijn ook belangrijk (bijvoorbeeld toepasbaarheid en interpreteerbaarheid).

#### Bacteriën (nitrificatie)

Nitrificatie is een proces dat door bacteriën wordt gekatalyseerd. Dit proces is sterk afhankelijk van de pH in de bodem (*confounding*-factor) en is bij lage pH zelfs onderdrukt, wat de interpretatie vaak bemoeilijkte.

#### Bacteriën (activiteit)

De activiteit van bacteriën is bij één onderzoek (DEF-5) gemeten als de assimilatiesnelheid van leucine (bouwsteen voor eiwitsynthese) en thymidine (bouwsteen voor DNA-synthese). Op basis van expertbeoordeling (vergelijkbare resultaten aan gerepliceerde monsters uit ander onderzoek) werd door de onderzoeker een plausibel effect van lood gevonden. De pH van deze set monsters was beter vergelijkbaar.

### Vegetatie

Eén onderzoek rapporteerde chlorose bij sommige grassen (op een handgranatenbaan, niet bij de baanzoom of kogelvanger van een schietbaan). Het ontbreken van vegetatie en slechte kolonisatie werd bij meerdere onderzoeken in verband gebracht met de loodverontreiniging. De vegetatiekenmerken zijn in de meeste onderzoeken niet op een gestructureerde manier verzameld, en niet kwantitatief toegepast bij de berekening van de effecten.

## **4.7 Integratie**

Het integreren van de resultaten uit de drie Triade-sporen is op verschillende manieren uitgevoerd. De onderzoeken bestrijken een periode van dertien jaar. In die periode is de Triade-methodiek verder ontwikkeld en heeft zij ook haar verankering gekregen in wet- en regelgeving (Circulaire bodemsanering 2013). De optie om een Triade-onderzoek toe te passen volgens de Handreiking Triade (Mesman et al., 2011) wordt hierbij aangegeven. Vier onderzoeken (DEF-2, -3, -4 en -6) hebben de Triade-resultaten integraal toegepast in de lijn van de Handreiking (of daaraan voorafgaande rapporten).

Hierbij worden per spoor de afzonderlijke resultaten geschaald, waarbij de referentielocatie verondersteld wordt geen effecten te vertonen (0), en 1 het maximale (theoretische) effect weergeeft. Het schalen van 0 tot 1 maakt het mogelijk om de resultaten, met diverse eenheden/effectmaten, te integreren (Mesman et al., 2011; Rutgers en Jensen 2011). Binnen één Triade-spoor (dus niet over de drie Triade-sporen heen) worden alle resultaten geïntegreerd tot één getal.

De resultaten van DEF-5 zijn niet geschaald, maar vergeleken met de referentielocatie en vervolgens gekarakteriseerd (ernstig ( $\geq 50\%$  effect); matig ( $< 50\%$ ); geen betekenisvol verschil met referentiemonsters ( $< 20\%$ )). Ook wordt er een score toegekend voor de verklaarbaarheid van de resultaten. Daarnaast is nog een onderscheid gemaakt tussen directe effecten (resultaten uit de methoden) en indirecte effecten (modelberekeningen van het risico van begrazing door Schotse Hooglanders).

Zoals beschreven in paragraaf 3.8 is het uitgangspunt van het onderzoek DEF-1 afwijkend. Men wilde bij deze beoordeling de terugsaneerwaarde baseren op het meest gevoelige en statistisch significante eindpunt in de batterij van verschillende onderzoeksmethoden. Om die reden was het niet nodig om de resultaten te schalen of te integreren tot één waarde voor elk Triade-spoor. De keuze om de locatie-specifieke beoordeling te baseren op een gevoelig eindpunt wordt niet gevolgd in de Handreiking Triade (Mesman et al. 2011). De onderzoeken DEF-7 en -8 zijn uitgevoerd in een periode waarbij het locatiespecifieke ecologische onderzoek nog in ontwikkeling was. Bij beide onderzoeken zijn de resultaten niet geïntegreerd.

## **4.8 Eindbeoordeling**

Het doel van het locatiespecifieke ecologische onderzoek is in de loop van de tijd uitgebreid. Voor de eerste onderzoeken was het doel het vaststellen van eventuele locatiespecifieke ecologische risico's. De latere onderzoeken hadden ook tot doel om, in geval van onacceptabele risico's, een terugsaneerwaarde af te leiden.

De kracht van de Triade-methodiek ligt in de meerdere lijnen van bewijsvoering (*'weight of evidence'*; zie tekstbox blz. 15). Wanneer alle Triade-sporen dezelfde richting uit wijzen, dan zijn de onzekerheden voldoende weggenomen om een

oordeel te kunnen vellen. Een belangrijk hulpmiddel daarbij is de deviatie. Deze maat geeft aan in hoeverre de Triade-sporen in overeenstemming zijn. Wanneer de sporen uiteenlopen, zal de deviatie hoog zijn. Bij een te hoge deviatie is de onzekerheid te groot om een duidelijke conclusie (wel of geen risico) te kunnen trekken uit de resultaten. Het kan nodig zijn om stapsgewijs meer onderzoek in te zetten in opvolgende fasen en de onzekerheden verder te verkleinen (voorbeeld in Rutgers et al., 2001).

Het meewegen van modelberekeningen voor doorvergiftiging van Schotse Hooglanders bij locatie DEF-5 heeft grote invloed op het eindoordeel. Dit wordt ook erkend door de onderzoekers. Dit oordeel wordt daarom genuanceerd, omdat de modelberekening diverse onzekerheden kent en de modelberekening als zeer conservatief wordt beschouwd (het voedsel zal niet voor 100% bestaan uit gewassen met de hoogste concentratie lood). Dit onderzoek brengt een algemeen punt naar voren (dat voor alle onderzoeken geldt waar men doorvergiftiging heeft onderzocht), namelijk het meewegen van doorvergiftiging in de eindbeoordeling. Er bestaan nog geen methoden om dit op een uniforme wijze te doen. Dit geldt ook voor het meewegen van biobeschikbaarheidsgegevens, hoewel daar al wel voorstellen voor zijn gedaan (Schouten et al., 2003; Jensen en Mesman, 2006).

Voor alle onderzoeken geldt dat naast een overzicht van de resultaten (al dan niet in de vorm van een tabel met Triade-effectwaarden, zie ook Tabel 10) ook een duiding van de resultaten plaatsvindt. In deze duiding is ruimte voor expertbeoordeling en nuance, bijvoorbeeld ter verklaring van bepaalde waarden als gevolg van de biobeschikbaarheid van lood of een verstoring pH-effect. Ook wordt daarbij aandacht besteed aan de deviatie en aan waarom een waarde ondanks een hoge deviatie toch tot een eenduidige conclusie kan leiden.

De meeste onderzoeken zijn langs een gradiënt van loodverontreiniging uitgevoerd. Een dergelijke gradiënt kan gebruikt worden om een ijklijn te maken van de Triade-effectwaarden (TE) en de loodconcentratie. Deze ijklijn kan gebruikt worden om TE-contouren te bepalen voor de locatie. Op deze wijze kunnen de Triade-effectwaarden gekoppeld worden aan de ruimtelijke gegevens van de verontreinigde locatie en is het mogelijk om TE-contouren vast te stellen. De basis van de ijklijn vormen de geselecteerde monsterpunten van het Triade-onderzoek. In het geval van een gradiënt, dienen voldoende monsters geselecteerd te worden en moeten deze monsters gelijk verdeeld worden over de gradiënt (zowel bij de relatief schone als verontreinigde delen van gradiënt). Bij onderzoeken DEF-3 en DEF-4 (Figuur 2 en Figuur 3) blijkt dat er veel monsterpunten bij het begin van de gradiënt zijn geselecteerd; dit heeft grote invloed op de helling van de ijklijn.

Met behulp van de ijklijn kunnen TE-contouren voor het hoge en het lage beoordelingscriterium worden afgeleid (zie hiervoor Bijlage 2 van de Handreiking Triade 2011, Mesman et al., 2011). Alleen het onderzoek op locatie DEF-2 heeft deze methode toegepast, de andere onderzoeken zijn van eerdere datum waarbij deze methode nog niet beschikbaar was.

#### **4.9 Doorvergiftiging**

Eén van de mogelijke effecten van bodemverontreiniging kan via doorvergiftiging tot uiting komen (zie Bijlage 1). Doorvergiftiging speelt mogelijk een rol wanneer stoffen accumuleren in de voedselketen.

### Inleiding

In essentie zijn er twee manieren van blootstelling van organismen aan verontreinigende stoffen, namelijk via direct contact met de bodem via het bodemvocht, of via de inname van voedsel. Via het voedsel zijn er drie routes waarbij bioaccumulatie en doorvergiftiging een rol kan spelen, namelijk via het eten van bodemfauna, bodemdeeltjes of planten. Regenwormen, arthropoden en insecten zijn bijvoorbeeld voer voor vogels en kleine zoogdieren. Gras is voer voor grazende zoogdieren. Beide doorvergiftigingsroutes zijn in diverse onderzoeken bij schietbanen onderzocht. Kogels en munitiefragmenten kunnen risico's opleveren voor vogels die ze oppikken als maalsteentjes. Deze blijven dan vervolgens in de maag achter, waarbij het lood oplost.

### Lood in de normstelling; directe blootstelling versus doorvergiftiging

Om de risico's van doorvergiftiging te kunnen bepalen, zijn naast generieke risicogrenzen voor directe blootstelling aan lood ook risicogrenzen afgeleid voor doorvergiftiging. De norm voor directe blootstelling is lager dan de norm voor doorvergiftiging, zie Tabel 12.

*Tabel 12. Ecologische risicogrenzen voor lood voor directe blootstelling en doorvergiftiging. MTT = Maximaal Toelaatbare Toevoeging, ER = Ernstig Risiconiveau. Bron: Dirven-Van Breemen et al., 2007, zie Tabel 5a en 5b.*

	<b>MTT (mg/kg ds)</b>	<b>MTT doorvergiftiging (mg/kg ds)</b>	<b>ER (mg/kg ds)</b>	<b>ER doorvergiftiging (mg/kg ds)</b>
<b>lood</b>	55	55	540	515

### Doorvergiftiging van dieren

Het risico op doorvergiftiging is sterk afhankelijk van voedselkeuze en ruimtegebruik, en is dus soortspecifiek. Regenwormen accumuleren lood en zijn stapelvoedsel voor vogels en kleine zoogdieren, maar regenwormen zijn niet of slechts minimaal aanwezig op de arme zanderige bodem op de schietterreinen. Door het eten van gras en aanhangende grond kunnen grote grazers worden blootgesteld.

### Evaluatie doorvergiftiging diverse terreinen

Bij drie onderzoeken zijn organismen in het veld verzameld en is bepaald hoeveel lood ze bevatten. Op basis van deze gehalten zijn via diverse methoden/modellen berekeningen uitgevoerd om te bepalen of er risico's ten gevolge van doorvergiftiging aanwezig zijn (zie Tabel 13). Voor de meeste van deze berekeningen geldt dat ze een worst-case-inschatting van de risico's geven. In de berekeningen wordt aangenomen dat het voedsel van de hogere organismen alleen bestaat uit de planten of dieren die onderzocht zijn. In de meeste gevallen is het voedselpakket breder en bij grote grazers is ook het leefgebied veel groter dan dat deel van de locatie waar het risico op doorvergiftiging het grootst is. Dit maakt dat dit type onderzoek naar doorvergiftiging geen duidelijk uitsluitsel kan geven over ecologische risico's op de locatie.

In andere onderzoeken werd gebruikgemaakt van literatuur- en/of monitoringsgegevens om een inschatting van risico's op doorvergiftiging te maken. Voor vleesetende zoogdieren worden de risico's laag geschat, omdat door het bodemtype zand en de lage pH bijvoorbeeld regenwormen niet of beperkt voorkomen.

In een aantal onderzoeken wordt genoemd dat zaadetende vogels mogelijk loden kogeltjes kunnen gebruiken als maalsteentjes en dat zij op deze manier aan lood worden blootgesteld. Op basis van het voorkomen van deze vogels en hun foerageergebied, worden ook deze risico's laag geschat (zie Tabel 13).

Tabel 13. Overzicht van de resultaten van de risicobeoordeling(en) op de schietterreinen DEF-1 t/m DEF-8 voor bioaccumulatie en doorvergiftiging.

	Meting	Model	Theoretisch: literatuur of monitoring gegevens
<b>DEF-1</b>	-	-	-
<b>DEF-2</b>	Bioaccumulatie pijpenstrootje ( <i>Molinia caerulea</i> ); verhoogde gehalten met toenemende biobeschikbare loodconcentratie.	Geringe risico's voor kleine herbivore zoogdieren op basis van gehalten in pijpenstrootje (berekend via BAF uit ander onderzoek). Dit is een worst-case-scenario, omdat deze zoogdieren in werkelijkheid niet uitsluitend pijpenstrootje zullen eten.	De gehalten in pijpenstrootje op alle monsterpunten (inclusief referentie) liggen hoger (gemiddeld 4x) dan voor natuurgebieden. Dit wordt mede verklaard met de hoge beschikbaarheid van lood.
<b>DEF-3</b>	Bioaccumulatie pissebedden niet uitgevoerd, omdat er geen pissebedden gevonden werden op de locatie.	-	Grove berekening doorvergiftiging (niet in rapport opgenomen) voor aanhangende grond bij begrazing. Mogelijke effecten voor schapen worden niet uitgesloten.
<b>DEF-4</b>	Planten wel verzameld, maar geen metingen uitgevoerd.	-	Risico's voor kleine vleesetende zoogdieren worden klein geacht, vanwege het ontbreken van regenwormen (zandgrond, lage pH). Ook wordt benoemd dat zangvogels de kogeltjes mogelijk als maalsteentjes kunnen gebruiken; hier is geen verder onderzoek naar uitgevoerd.
<b>DEF-5</b>	Bioaccumulatie pijpenstrootje ( <i>Molinia caerulea</i> ); verhoogde gehalten met toenemende loodconcentratie	Geringe kans op effecten vanaf: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 mg/kg ds Pb voor kleine planten etende zoogdieren.</li> <li>• 177 mg/kg ds begrazing Schotse Hooglanders.</li> </ul>	De gehalten in pijpenstrootje op alle monsterpunten (inclusief referentie) liggen hoger (gemiddeld 3x) dan voor natuurgebieden.
	Bioaccumulatie strooisel; verhoogde gehalten met toenemende loodconcentratie, gehalten hoger dan bij pijpenstrootje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ernstige risico's vanaf: 3000 mg/kg ds voor kleine zoogdieren</li> <li>• 1776 mg/kg ds begrazing Schotse Hooglanders</li> </ul>	Risico's voor vleesetende zoogdieren worden klein geacht vanwege het ontbreken van voedsel, bodemfauna (onder andere door de lage pH). Risico's voor plantenetende zoogdieren zijn een overschatting; hun voedsel bestaat ook uit ander voedsel en de plantengroei op de meest verontreinigde locaties is beperkt.

	Meting	Model	Theoretisch: literatuur of monitoring gegevens
<b>DEF-6</b>	Bioaccumulatie pissebedden: verhoogde gehalten bij toenemende loodconcentraties.	OMEGA-model, op basis van gehalten pissebed; ernstig risico op doorvergiftiging op twee monsterpunten.	Zandhagedis; alleen risico wanneer de hagedis zich tot een kleiner dan normaal foerageergebied beperkt. Er zijn nog geen populatie-effecten waargenomen ter plaatse.
			Vogels, opname kogels als maalsteentjes; in het gebied komen maar beperkt vogels voor die dit gedrag vertonen (referentie naar monitoringgegevens).
<b>DEF-7</b>	Bioaccumulatie regenwormen ( <i>Eisenia andrei</i> ). De bioaccumulatie is gemeten in potwormen die de bioassay overleefden. Echter, door de beperkte overleving zijn de bioaccumulatiegegevens niet betrouwbaar.		
<b>DEF-8</b>	-	-	-

In de bovenstaande analyse, ervaringen uit het verleden en de literatuur, komen de volgende algemene aandachtspunten naar voren:

- Er zijn geen standaardmethoden/modellen voor onderzoek aan bioaccumulatie en doorvergiftigingsrisico's.
- Er zijn geen standaardmethoden om resultaten van bioaccumulatie en doorvergiftiging toe te passen in de beoordeling (zoals een schalingsmethode).
- Modellen voor doorvergiftiging gaan ervan uit dat al het voedsel afkomstig is van de meest verontreinigde locatie. Zo wordt de modelberekening in veel gevallen onrealistisch. Het foerageergebied van de meeste grotere (zoog)dieren is groter dan de verontreinigde schietbanen, waar de kans op doorvergiftiging het grootst is. Dit veroorzaakt een overschatting van de inname van verontreinigd voedsel in de modellen.
- Organismen die lood zouden kunnen opnemen als eerste stap in de doorvergiftigingsketen komen niet of in zeer lage aantallen voor op de meest verontreinigde schietterreinen (regenwormen, planten). Dit maakt de kans klein dat een zoogdier wordt blootgesteld via doorvergiftiging.

Wanneer bovenstaande punten in ogenschouw genomen worden, dan kan gesteld worden dat onderzoek naar doorvergiftiging op schietbanen van Defensie alleen gebruikt kan worden om doorvergiftiging uit te sluiten voor een locatie. Voor toekomstige locaties is het van belang om vooraf te bepalen aan de hand de verontreinigingssituatie, type begroeiing/ aanwezigheid van voedsel, het voorkomen van organismen (uit monitoringsgegevens) en het foerageergebied van dieren (literatuur) of doorvergiftigingsrisico's onderzocht moeten worden. Deze afweging behoort vastgelegd te worden in de rapportage. Wanneer

toekomstige locaties vergelijkbaar zijn met de eerder onderzochte locaties, lijkt het onderzoeken van doorvergiftigingsrisico's weinig zinvol.

#### **4.10 Terugsaneerwaarden**

Bij vijf van de acht onderzoeken is door Defensie gevraagd om een terugsaneerwaarde af te leiden. Hierbij zijn drie verschillende methoden gebruikt.

Bij DEF-1 zijn vooraf met de stakeholders afspraken gemaakt waarop de terugsaneerwaarde zou worden gebaseerd (de meeste gevoelige en significante bioassay). Het nadeel van deze methode is dat de overige informatie uit het locatiespecifieke ecologische onderzoek niet meegenomen wordt.

Bij onderzoek DEF-5 zijn de resultaten van het Triade-onderzoek niet direct gebruikt en zijn diverse aannames gedaan, en is uiteindelijk gekozen voor een generieke norm die gebaseerd is op humane risico's. Ten tijde van dit onderzoek waren nog geen vastgestelde methoden beschikbaar om een terugsaneerwaarde af te leiden.

De drie overige onderzoeken hebben de resultaten van het Triade-onderzoek gebruikt via het bepalen van een ijklijn (TE-waarden uitgezet tegen de loodconcentratie). Voor deze laatste methode geldt dat het aantal punten en de verdeling van de punten op de ijklijn grote gevolgen kan hebben voor de terugsaneerwaarde. Wanneer een gradiënt onderzocht wordt, dan dienen de monsterpunten gelijkelijk verdeeld te zijn over de gradiënt.

Om aan te kunnen sluiten bij het huidige Saneringscriterium (Circulaire bodemsanering 2013) waarbij twee verontreinigingscontouren worden bepaald, (het hoge en lage TD-criterium in stap 2 en het hoge en lage TE-criterium in stap 3), zullen er ook twee terugsaneerwaarden moeten worden afgeleid die bij deze contouren horen.

De terugsaneerwaarden (deze kunnen als het 'lage' criterium worden beschouwd) in de acht Triade-onderzoeken varieerden van 360 tot 1360 mg lood/kg ds grond (standaardbodem). In één geval is een hoge terugsaneerwaarde afgeleid van 1780 mg lood/kg ds grond (standaardbodem). Op basis van de systematiek in de 2<sup>e</sup> stap van het Saneringscriterium kan een terugsaneerwaarde voor lood (laag criterium) worden afgeleid, die ongeveer 1,6 x HC<sub>50</sub> waarde is, namelijk 928 mg/kg ds standaard bodem. Toepassing van deze waarde kan effectief zijn, maar dan dient wel de afwezigheid van significante effecten van andere metalen plausibel gemaakt te worden of deze effecten moeten worden meegenomen via een berekening van de toxische druk.



## 5 Quickscan wetenschappelijke literatuur

Om de ervaringen met het Triade-onderzoek bij schietbanen van Defensie beter te kunnen duiden en gebruiken, is een quickscan van de wetenschappelijke literatuur gedaan. De zoektermen waren (drie of meer hits): military shooting range; small arms firing range; firing range; skeet range; outdoor firing range; ecological risk assessment; environmental risks; Pb; lead; Pb, Cu, Sb; lead, copper, antimony; metal availability; speciation and mobility; toxicity; ecotoxicity. Er werden 41 Artikelen met een relevante titel aangetroffen: deze werden geheel of gedeeltelijk (alleen abstract) gelezen. 21 Artikelen zijn in het resultaat van deze quickscan verwerkt.

Samengevat leverde dat de volgende resultaten op hoofdlijnen op:

- Alle schietbanen bevatten ongeveer dezelfde mengsels van contaminanten tot hoge concentraties (>10.000 mg/kg ds Pb; gezeefde en ongezeefde grond).
- Lood loogt uit onder alle omstandigheden, maar het sterkst bij lage pH; significante correlaties treden op tussen het lood in de opgeloste fractie en de totale loodconcentratie bij zuurdere bodems. Het uitloogproces is langzaam: totale uitloging duurt meer dan 100 jaar.
- Koper en antimoon zijn meestal mobieler dan lood, maar de ecologische effecten worden waarschijnlijk toch vooral door lood veroorzaakt.
- Er is veel onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om lood te immobiliseren via toevoegingen (bijvoorbeeld met fosfaatmineralen, char of klei). Wanneer lood geïmmobiliseerd wordt, dan mobiliseert juist een aantal andere stoffen, zoals koper en antimoon. Bij hoogste loodconcentraties lijken er positieve effecten van immobilisatie op te treden.
- De wormen *Eisenia andrei* en *E. fetida* lijken geschikt als bioassay. Dit is in meerdere publicaties gerapporteerd waar een positieve correlatie tussen lood en effecten in de bioassay is waargenomen.
- Er is fytoxiciteit in de Lemna bioassay aangetoond (een test met elutriaat van grondmonsters).
- Blootstelling aan lood via planten wordt voor een groot deel verklaard door de depositie van stofdeeltjes met lood op de bladeren, en niet via de wortelopname van lood in de plant.
- In het veld werden bij Fins onderzoek sterke ecologische effecten van lood aangetoond op regenwormen, potwormen en micro-organismen. Ecologische effecten op de nematoden en micro-arthropodengemeenschap bleken er ook te zijn, maar waren seizoensafhankelijk.
- Lood kan zich verspreiden naar naastgelegen landbouwpercelen, en kan zodoende een relevante blootstellingsroute voor de mens vormen.
- In Zwitserland is onderzoek gedaan met als uitkomst dat lood op schietbanen tot 2000 mg/kg ds geen groot risico voor grote grazers vormt.

In deze quickscan van de wetenschappelijke literatuur is specifiek gezocht naar artikelen waarbij effecten van metalen aan de hand van metingen met bioassays of met waarnemingen in het veld plausibel werden gemaakt. Tevens zijn de artikelen gericht op ecologische risicobeoordeling, op welke wijze dan ook, bestudeerd. Relatief weinig aandacht is geschonken aan de grote hoeveelheid literatuur naar de mobiliteit, biobeschikbaarheid, uitspoeling en vastlegging van de drie metalen bij schietbanen en kogelvangsters, want dit zou een onevenredig beslag leggen op de beperkte tijd die voor deze quickscan beschikbaar was. In

de volgende paragrafen worden de aangetroffen artikelen wat betreft de verschillende aspecten van de risicobeoordeling samengevat.

Het resultaat van deze quickscan kan niet beschouwd worden als een volwaardig literatuuronderzoek. Wel is ze bruikbaar om de grote lijnen in de wetenschappelijke literatuur te vergelijken met de grote lijnen uit de Triade-onderzoeken die in dit rapport zijn geëvalueerd. Dit hoofdstuk eindigt met die vergelijking.

## 5.1 Inleiding

Alle schietbanen en kogelvangsters die in de literatuur worden beschreven bevatten ongeveer hetzelfde mengsel van stoffen in hoge concentraties, namelijk lood, koper en antimoon (bijvoorbeeld Evangelou et al., 2012; Sorvari et al., 2006, Sorvari, 2007), en soms nog arseen, zink en nikkel. Bij kleiduivenschietbanen zijn er ook nog polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) aangetroffen. De totale concentratie lood is in absolute zin het hoogst, ook bij gezeefde grond, en bedraagt soms meer dan 10.000 mg/kg ds grond (Rantalainen et al., 2006; Sanderson et al., 2012; Selonen et al., 2012). Lood bij schietbanen wordt wereldwijd aangemerkt als een significant milieuprobleem, vanwege de grote aantallen locaties, de mogelijke effecten op ecosystemen en de schade aan gezondheid van mensen (Sorvari, 2007; Luo et al., 2014a).

## 5.2 Beschikbaarheid, uitloging, mobiliteit en vastlegging van metalen

De rode draad in de literatuur is dat lood onder alle omstandigheden uit kan logen, maar dat het sterkst doet bij lage pH. De correlatie tussen opgelost en totaal loodgehalte is bij lage pH het hoogst (Sanderson et al., 2012). Complete uitloging van lood uit de bodem duurt lang, namelijk in de orde grootte van 100 tot 1000 jaar (Sorvari, 2007). Verwerking van metallisch lood afkomstig van kogelfragmenten is een voortdurend proces (Cao et al., 2003; Hardison et al., 2004). Wanneer een schietbaan niet meer gebruikt wordt, gaat de loodconcentratie in de bovenste (strooisel)laag langzaam omlaag, als gevolg van de aanvoer van vers organisch materiaal (Selonen et al., 2014). Het is mogelijk om de mobiliteit en uitloging van lood met behulp van toevoegingen aan de bodem te verminderen (bijvoorbeeld ijzer- en fosfaathoudende mineralen, klei, kalk, biochar; dit laatste is een materiaal dat bijvoorbeeld ontstaat bij pyrolyse van organische reststromen, en bijvoorbeeld wordt toegepast als bodemverbeteraar). Antimoon en koper zijn meestal mobieler dan lood. Die mobiliteit neemt zelfs nog toe wanneer lood door toevoegingen geïmmobiliseerd wordt (Spuller et al., 2007; Sanderson et al., 2012; Ahmad et al., 2012, 2014). Deze toevoegingen hebben bij de hoogste concentraties enig effect en verlagen de toxiciteit van de grond (Sanderson et al., 2014). De blootstelling van de grazende dieren aan lood lijkt voor een belangrijk deel via met lood verrijkte bodemdeeltjes te verlopen die aan de planten en gras gehecht zitten (Robinson et al., 2008; Evangelou et al., 2012).

## 5.3 Bioassays

De regenwormen *Eisenia andrei* en *E. fetida* worden regelmatig toegepast als bioassay voor meting van de toxiciteit in grondmonsters afkomstig van schietbanen (Berthelot et al., 2008; Booth et al., 2003; Laurel, 2004, Luo et al., 2014a; 2014b). Bij deze bioassays zijn verschillende eindpunten toegepast, zoals overleving, groei, vermijding en de Neutral Red Retention Time assay (meting van de membraan stabiliteit van lysosomen in organismen). In al het in

de literatuur beschreven onderzoek worden effecten waargenomen die aan de loodverontreiniging kunnen worden toegeschreven. Spuller et al. (2007) hebben fytotoxiciteit aangetoond in elutriaten met behulp van de bioassay *Lemna minor* (eendenkroos). Ahmed et al. (2012) hebben effecten aangetoond op de kieming en groei van *Lactuca sativa* (sla).

Er is geen literatuur gevonden met een beschrijving van de toepassing van Microtox assay (met *Vibrio fischeri*) bij schietbanen en kogelvangers, terwijl deze test veelvuldig voor metaalverontreinigde bodems wordt toegepast (bijvoorbeeld Alvarenga et al., 2012).

#### 5.4 Ecologische (veld)waarnemingen

Er is relatief weinig literatuur gevonden met een beschrijving van effecten van lood op het ecosysteem ter plaatse. Loodverontreinigingen komen voor in mijnbouwgebieden, toepassing van rioolzuiveringslib, sommige industriële complexen, rangeerterreinen, oude binnensteden, en uiteraard schietbanen. In Bijlage 3 is een aantal publicaties besproken in relatie tot de effecten die bij nematoden kunnen optreden. Deze zouden ook in deze paragraaf kunnen worden beschouwd. Twee van die onderzoeken komen hieronder nogmaals aan de orde, omdat er een bredere systeemanalyse is gedaan met meerdere groepen bodemorganismen, vegetatie of processen.

Rantalainen et al. (2006) hebben effecten van metaalverontreiniging van Finse schietbanen gevonden bij een belangrijk bodemproces, namelijk de compositie van organisch materiaal en dus op de nutriëntenkringloop. Deze waarneming werd ondersteund door effecten op de microbiële biomassa (verlaging van bacterie- en schimmelbiomassa), de samenstelling van de microbiële gemeenschap (op basis van profielen van de fosfolipide- vetzuursamenstelling van de microbiële populatie), en de biomassa van de potwormen (*Enchytraeidae*). In dit onderzoek vertoonden de samenstelling en abundantie van de nematoden en de micro-arthropoden geen effecten door aanwezigheid van lood. Het niveau waarop de taxa werden gedetermineerd was echter niet gedetailleerd tot soorten. Tevens leek de bosopstand gezond te zijn (geen waargenomen effecten op dennen en coniferen), maar verminderde groei van naalden kon niet worden uitgesloten.

Selonen et al. (2012; 2014) hebben vervolgens uitgebreidere analyses gedaan aan het ecosysteem van verontreinigde Finse schietbanen die het onderzoek van Rantalainen et al. (2006) aanvulden en ondersteunden. De effecten op de potwormengemeenschap waren het sterkst, maar er werden ook sterke, maar seizoensafhankelijke effecten gevonden op de nematoden- en micro-arthropodengemeenschap. Tevens zijn er aanwijzingen gevonden dat er een (gedeeltelijk) herstel is bij het bodemleven in de toplaag van het bodemprofiel na het stoppen van het gebruik als schietbaan. In de diepere bodemlagen waren de ecologische effecten bij de verlaten schietbanen juist groter dan in de diepere lagen van de in gebruik zijnde schietbanen, doordat oude loodverontreinigingen langzaam oplossen en beschikbaar komen in de zure bosgrond.

Selonen et al. (2012; 2014) hebben tevens de bioaccumulatie van metalen aangetoond in biota, namelijk dennennaalden, gras, enchytraeïen, en oribatide en predatore mijten (micro-arthropoden).

#### 5.5 Risicobeoordeling en maatregelen

In het mengsel van metalen dat wordt aangetroffen op schietbanen wordt verondersteld dat lood de meeste ecologische effecten veroorzaakt. Antimoon, koper, arseen en eventueel zink zijn niet zo toxisch of zijn niet in die mate verhoogd, dat er een risico te verwachten is. In deze quickscan is niet gekeken

naar de effecten van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) die op kleiduivenschietterreinen een potentieel verontreinigingsrisico vormen.

Effecten van lood op het ecosysteem worden vaak aangetroffen in de bodem van de in gebruik zijnde en verlaten schietbanen, maar zijn niet bij alle aspecten van het bodemleven aanwezig. Effecten van lood afkomstig van schietbanen op de humane gezondheid lijken er niet te zijn indien de mogelijke blootstelling beperkt is. Tot 2000 mg Pb/kg ds grond lijkt doorvergiftiging naar grazers en weidevogels in veel gevallen beperkt te zijn (Evangelou et al., 2012), vanwege het feit dat de bioaccumulatie in planten beperkt is, in combinatie met het vaak geringe oppervlak van de schietbanen met een sterke verontreiniging. Bij grote oppervlakken kan lood wel een actueel risico vormen voor grote grazers, zoals bij de zilvermijnen in Ierland (Aslibekian en Moles, 2003).

In de literatuur worden veel opties onderzocht om met behulp van toevoegingen lood te immobiliseren en daarmee de negatieve effecten te verminderen. Deze informatie is in deze quickscan niet systematisch geanalyseerd. Toevoegingen hebben in algemene zin, behalve het gewenste effect op de toxische effecten van verontreiniging, vaak ook onbedoelde effecten op andere aspecten van het ecosysteem. Een verandering van de pH bijvoorbeeld heeft een sterk effect op bijna alle soorten organismen.

## 5.6 Vergelijking literatuur met de Triade-onderzoeken in Nederland

In de wetenschappelijke literatuur ligt de nadruk op het onderzoek naar het gedrag en de biobeschikbaarheid van lood. Dit is te verklaren uit het feit dat in de ecotoxicologie de focus nog traditioneel ligt op de oorzaak van de problemen. Dit wordt de stofgerichte benadering genoemd (Jensen en Mesman, 2006; Rutgers en Jensen, 2011). Bij een goed uitgevoerde Triade is de aandacht voor de verschillende sporen in balans, zoals dat ook bij deze quickscan is geprobeerd. Bij de Triade wordt de stofgerichte benadering aangevuld met de effectgerichte benadering.

De concentraties lood en andere verontreinigde stoffen die in Nederland zijn aangetroffen op schietbanen en in kogelvangsters laten zich, op een paar hoge uitzonderingen in andere landen, zoals Finland, na, goed vergelijken: de hoogste concentraties liggen in de range 1000 - 5000 mg Pb/kg ds grond. Het gedrag van lood – snelle uitloging onder zure omstandigheden, verwerking van metallisch lood, etc. – is in Nederland niet wezenlijk verschillend van die in andere landen. In het algemeen liggen schietbanen relatief ver van de bewoonde wereld in afgelegen gebied (natuur en semi-natuurgebied) in verband met geluidsoverlast en de beschikbare ruimte.

Opvallend is dat er geen literatuur is gevonden met een beschrijving van de toepassing van de Microtox bioassay (*Vibrio fischeri*), terwijl deze met succes relatief vaak is toegepast bij de Triade-onderzoeken van Defensieterreinen. Een deel van de mogelijke verklaring is dat deze bioassay wordt gezien als een screeningsinstrument, terwijl de in de wetenschappelijke literatuur beschreven onderzoeken veel uitgebreidere risicobeoordelingen omvatten en ook academischer van aard zijn. Dit komt ook tot uiting in de toepassing van regenwormen in bioassays en met de analyse van potwormen (enchytraeïen) in het veld. Deze lijken een goede potentie te hebben voor de risicobeoordeling van verontreinigde schietterreinen (schietbanen).

## 6 Synthese en voorstellen voor optimalisatie

Dit hoofdstuk bevat een synthese van de voorgaande hoofdstukken. In iedere paragraaf wordt een onderdeel van het locatiespecifieke ecologische onderzoek besproken en tevens worden voorstellen voor optimalisatie gedaan.

### 6.1 Locatie- en de onderzoeksopzet

Het SIKB-protocol 2301 (2013) doet aanbevelingen voor het aantal monsters dat benodigd is voor het uitvoeren van een Triade-onderzoek. Het minimum is 8 bij een eenvoudige en homogene verontreinigingssituatie.

De kogelvangsters op de locaties zijn divers in samenstelling en leeftijd. Over het algemeen zijn ze zeer afwijkend ten opzichte van de baanzolen en de omliggende (overschiet-)terreinen. Daardoor is een onderdeel van de Triade, namelijk het ecologisch onderzoek, niet zinvol in te zetten op kogelvangsters die nog recent in gebruik zijn geweest. Wel kan er ecotoxicologisch onderzoek worden gedaan, als tenminste de respons in de bioassays op een plausibele wijze aan de verontreiniging kan worden toegeschreven. Om dit te illustreren: de Microtox-assay is bijvoorbeeld geschikt om een monster met een afwijkende pH te beoordelen, omdat de pH wordt ingesteld. Planten- en bacterietesten stellen hogere eisen aan de bodemonsters, want die reageren op verschillen in bijvoorbeeld de bodem-pH.

Wanneer de loodconcentratie voldoende hoog is in monsters die zich goed met monsters van de referentielocaties laten vergelijken, dan is de te verwachten respons in de methoden te verklaren aan de hand van het aanwezige lood. De onderzoeksstrategie moet dan gericht zijn op het zo nauwkeurig mogelijk vaststellen van de relatie tussen locatiespecifieke Triade-effecten en de totale loodconcentratie in de grond. Deze relatie, de 'Triade-effect-ijklijn' of regressielijn (Mesman et al., 2011), kan in de derde stap van het Saneringscriterium gebruikt worden om de oppervlaktecontouren op de betreffende locatie vast te stellen, waarbinnen een bepaald criterium voor ecologische effecten wordt overschreden. Een dergelijke contour kan gebruikt worden om de omvang van het gebied te bepalen waarvoor maatregelen getroffen moeten worden, of om de omvang van de sanering te bepalen. Het vaststellen van de relatie tussen loodverontreiniging en Triade-effecten kan het beste aan de hand van een gradiënt-onderzoek worden uitgevoerd. Om voldoende resolutie (statistisch robuuste relatie; een betrouwbare ijklijn) te verkrijgen, kan 8 (volgens SIKB-protocol) tot 10 als richtgetal voor het aantal monsterpunten genomen worden, gelijkelijk verdeeld over de hele gradiënt, dus inclusief enkele relatief schone monsters.

Wanneer de loodconcentraties niet erg hoog zijn, dan is de respons op lood mogelijk niet groot, en soms kleiner dan de variatie. In dat geval is het onverstandig om een gradiënt-onderzoek na te streven, omdat veel resultaten niet te koppelen zijn aan de verontreiniging, en dus niet bijdragen aan de locatiespecifieke relatie tussen Triade-effecten en lood. In dat geval verdient het de aanbeveling om het onderzoek te richten op de uiteinden van de gradiënt, namelijk schoon (referentiekwaliteit) en matig-sterk verontreinigd. 8 monsters, 4 referentielocaties en 4 matig-sterk verontreinigde locaties vormen samen een richtgetal bij deze aanpak (SIKB 2301). De gemeten respons moet in de buurt liggen van de criteria voor wel of niet acceptatie van de effecten. Alleen dan zijn

de resultaten bruikbaar voor het afleiden van Triade-effectwaarden als basis voor het hoge en lage criterium, en daarmee voor het bepalen van hoge en lage Triade-effectcontouren (zie Bijlage 2 in dit rapport of Handreiking Triade 2011 voor een toelichting; Mesman et al., 2011) en de beoordeling van spoed, en eventuele voorstellen voor een saneringsdoel. Het bepalen van Triade-effectcontouren gaat op een soortgelijke wijze als het bepalen van Toxische Druk-contouren bij stap 2 van het Saneringscriterium.

Een aanwijzing voor de te volgen tactiek (gradiëntonderzoek, of een focus op alleen de lage en hoge loodconcentraties; de uiteinden van de ijklijn) is alleen indicatief te geven, op basis van reeds uitgevoerde onderzoeken op de schietbanen van Defensie. Als de hoogste loodconcentraties ongeveer in de buurt van de te verwachten terugsaneerwaarde liggen (het 'hoge' criterium), en er onder, dan is het verstandig om af te zien van een gradiëntonderzoek. 1000 mg/kg ds (standaard bodem) is een ruwe schatting voor een praktische waarde voor deze grens; boven deze grens lijken *confounding*-factoren minder invloed te hebben en kan er een relatie gevonden worden tussen de effecten en de toenemende loodconcentratie.

Bij de onderzoeksopzet is het belangrijk om naast de ecologische aspecten die van belang zijn ook rekening te houden met mogelijke toekomstige ontwikkelingen op de locatie. Eisen aan toekomstig gebruik van de locatie, vormen van sanering en/of beheer, zullen implicaties hebben voor het gewenste ecosysteem op de locatie. De opzet van het onderzoek zou bij voorkeur hierop afgestemd moeten worden (zie voor tips bij deze afweging NEN, 2010, en [hoofdstuk drie van de toelichting Maatschappelijke Afweging](#)). Bijvoorbeeld:

- Wanneer de kogelvanger als cultuur-historisch element in stand wordt gehouden, in plaats van deze af te graven voor sanering of op te hogen met een leeflaag, is het belangrijk om te weten hoe snel en hoeveel lood er in de toekomst nog vrij kan komen uit de kogelvanger (uitloging). Een bepaling van de beschikbaarheid (extractie met HNO<sub>3</sub>) in plaats van de totaalconcentratie (destructie met *aqua regia*) en het bepalen van pH, organisch stofgehalte en lutumgehalte bij de chemische analyses, kunnen hierbij zinvol zijn. Op basis van deze gegevens kan het vrijkomen van lood gemodelleerd worden.
- Het gebruik van de locatie, waarbij andere negatieve effecten dan bodemverontreiniging op het ecosysteem blijven voortduren. Denk hierbij aan intensieve betreding/verstoring (kogelvanger).

In het Saneringscriterium wordt onderscheid gemaakt in drie categorieën groen, op basis van de gevoeligheid van ecosystemen: natuur, groen met natuurwaarden, ander groen (Circulaire bodemsanering 2013). De Defensieterreinen vallen onder het gebiedstype ander groen, maar liggen in veel gevallen in een omgeving die het gebiedstype natuur heeft. Het locatiespecifieke onderzoek dient bruikbaar te zijn voor het huidige bodemgebruik, maar ook voor het toekomstige gebruik. Het is van belang dit mee te nemen in de onderzoeksopzet.

De NEN-procesnorm 5737 (2010) geeft aan hoe een Triade-onderzoek opgezet en uitgevoerd kan worden. Het SIKB-protocol 2301 (SIKB 2013) doet technische aanbevelingen. De bovenstaande aspecten komen daarbij uitgebreid aan de orde.

Uit de onderzoeken kwam naar voren dat andere factoren dan lood soms een *confounding*-effect hadden op de resultaten. De ligging van een monsterpunt (hoogte, lichtinval), de begroeiing, de bodem-pH, het vochtgehalte, andere bodemkenmerken, etc. hebben allemaal invloed op het microklimaat en de habitat ter plekke. Wanneer de geselecteerde monsterpunten onderling te veel verschillen op deze punten, dan is de kans groot dat dit de interpretatie van de resultaten van het locatiespecifieke ecologische onderzoek zal beïnvloeden. Het is een uitdaging om hier in de praktijk verantwoord en transparant mee om te gaan. Een pragmatische oplossing is om het onderzoek en de bemonstering in twee stappen te doen, bijvoorbeeld door vooraf in beeld te brengen waar de optimale bemonsteringslocaties zich bevinden, of door veel meer monsters (>20) te nemen, en later een selectie te maken voor monsters die geanalyseerd worden. Deze werkwijze maakt het mogelijk om een beperkte set monsters te verkrijgen (subset), die een maximale spreiding in loodconcentraties demonstreren, en een minimaal spreiding in overige habitatkenmerken (*confounding*-factoren). Een aandachtspunt hierbij vormen de houdbaarheid/bewaaromstandigheden van grondmonsters en organismen in de grond.

## 6.2 Chemie

Om een goed beeld te krijgen van de loodverontreiniging is het van belang om naast de totaalconcentraties ook inzicht te hebben in de pH-KCl, het organisch stof- en lutumgehalte. Deze kenmerken geven inzicht in de (potentiële) beschikbaarheid van lood en kunnen gebruikt worden om het gedrag van lood in de bodem te modelleren.

De meting van totaalconcentraties en bodemkenmerken kan daarnaast aangevuld worden met metingen aan biobeschikbare concentraties. De resultaten beschreven in hoofdstuk 4, maar ook in vele wetenschappelijke publicaties (onder anderen Peijnenburg et al., 2007, Groenenberg en Bonten, 2012) tonen aan dat extractie met 0.01 M CaCl<sub>2</sub> een robuuste maat kan zijn voor biobeschikbaar lood; echter dit bevestigt bij een lage pH het beeld dat verkregen wordt met metingen aan totaalconcentraties. Bij een bodem-pH rond 5 kunnen biobeschikbaarheidsmetingen toegevoegde waarde hebben. Bij een hogere of lagere pH kunnen resultaten uit eerdere onderzoeken naar de loodverontreiniging op schietbanen van Defensie gebruikt worden.

De metingen van totaalconcentraties kunnen eenvoudig worden geschaald via een berekening van de Toxische Druk ([www.sanscrit.nl](http://www.sanscrit.nl), Handreiking Triade, 2011). De resultaten van biobeschikbare concentraties zijn daarentegen niet op een soortgelijke eenvoudige wijze te schalen via een standaard rekenprogramma en uit te drukken in een uniforme maat, zoals de Toxische Druk. In het verleden zijn biobeschikbare gehalten gerelateerd aan aquatische toxiciteitsgegevens om zo een Toxische Druk te bepalen. Deze methode is niet uitgebreid gevalideerd. Daarnaast is het de vraag of een soortgelijke berekening een ander beeld zal opleveren. In het geval dat de biobeschikbaarheid heel laag is, dan kan dit als expertbeoordelingsinformatie meegenomen worden in de eindbeoordeling. Het kan dan het beeld, dat op basis van de totaalgehalten wordt geschetst, nuanceren.

## 6.3 Ecotoxicologie

De keuze van geschikte toetsten voor dit type terreinen in combinatie met loodverontreiniging is te beperkt, maar er zijn weinig mogelijkheden tot innovatie. Een oorzaak is onder andere de geringe vraag naar Triade-onderzoeken.

Voor veel van de bioassays die zijn toegepast geldt dat *confounding*-factoren, vooral pH, een grote rol speelden bij de uitkomsten van de bioassays. Om die reden is de Microtox de enige bioassay waarbij de effecten goed te relateren zijn aan de loodverontreiniging, omdat bij deze test de pH wordt gesteld.

De regenwormen- en planten-bioassay zijn alleen bruikbaar als goed gekeken wordt naar de pH van de bodem en de voorkeuren van het organisme voor pH (Luo et al., 2014). Er kan voor gekozen worden om een vooronderzoek uit te voeren met enkele monsters van de locatie met een vergelijkbare pH, maar zonder de loodverontreiniging. Wanneer blijkt dat de bioassay voldoet aan de kwaliteitseisen, dan kan deze ook toegepast worden met verontreinigde monsters.

Een te verkennen optie wordt gevormd door verminderingstesten met regenwormen. Regenwormen worden daarbij twee dagen blootgesteld aan grond zonder verontreiniging en aan grond mét verontreiniging. De regenwormen kunnen kiezen in welke grond ze willen verblijven. Deze testmethode wordt bijvoorbeeld ingezet voor het testen van gewasbeschermingsmiddelen (ISO 17512-1). Mogelijk kunnen springstaarten (bijvoorbeeld *Folsomia candida*) ook ingezet worden als testorganismen, omdat zij ook op zure zandgronden voorkomen en er standaard testprotocollen voor beschikbaar zijn (ISO 11267: 1999).

Bij het uitvoeren van de bioassays is het belangrijk dat er naast referentiemonsters van de locatie ook standaarden (bijvoorbeeld OECD- of LUFA-grond voor regenwormen bioassay) worden meegenomen. De resultaten van standaarden geven inzicht in de prestatie van de bioassay.

De resultaten van de bioassays worden bij voorkeur geschaald ten opzichte van de referentielocatie. Indien de bodemkenmerken te veel verschillen, kunnen er meerdere referentielocaties ingezet worden om de resultaten mee te vergelijken. Deze schaling is nodig om de bioassays te kunnen integreren tot één getal voor het ecotoxicologie spoor. Jensen en Mesman (2006) en Mesman et al. (2011) laten diverse methoden voor schaling zien.

## 6.4 Ecologie

Nog sterker dan voor bioassays geldt voor ecologische indicatoren dat de respons soms moeilijk te relateren is aan de verontreiniging, indien de bodemkenmerken en andere ecosysteemattributen (bijvoorbeeld de vegetatie) variëren. Met andere woorden: het ecologische spoor in de Triade is het meest gevoelig voor *confounding*-factoren. Daar staat tegenover dat ecologische indicatoren wel indirecte effecten van de verontreiniging aan het licht kunnen brengen, en dat de modelonzekerheid kleiner is dan bij de andere sporen in de Triade. Er wordt namelijk direct gekeken naar effecten op de doelorganismen c.q. eindreceptoren (zoals de samenstelling nematodengemeenschap op de locatie). Dit ter vergelijking met het ecotoxicologische spoor, waarbij de Microtox-bioassay, met een mariene bacterie, wordt gebruikt. Reële veldeffecten zijn ook gemakkelijker te communiceren met de stakeholders (persoonlijke communicatie Triade-onderzoekers).

In de Triade-onderzoeken was het aantal geanalyseerde monsters vaak beperkt, en was het optreden van *confounding*-factoren bij de interpretatie van ecologische waarnemingen aannemelijk. Onderzoekers gaven desondanks aan op basis van ervaring vertrouwen te hebben in de toegepaste indicatoren voor bodemorganismen, namelijk micro-arthropoden (een keer) en nematoden (zes keer). Toepassing van impliciete kennis van deze organismen (literatuur,



ervaring, en de resultaten van ander onderzoek) gaf aan dat effecten van de metaalverontreiniging (*in casu* lood) plausibel zijn, in verschillende onderzoeken. Om statistisch robuuste informatie over bodemorganismen te verkrijgen in relatie tot bodemverontreiniging, bijvoorbeeld voor een wetenschappelijke studie, zijn meer monsters nodig, in combinatie met een effectievere inperking van *confounding*-factoren, en uitgebreide statistische analyse, zoals samengevat door Rutgers (2008). Triade-onderzoek is deels gebaseerd op de aannemelijkheid van effecten via plausibele relaties en kan volstaan met een minder intensieve bemonstering (Mesman et al., 2007; 2011). Dit houdt in dat het aantal monsters minder zal zijn dan bij een wetenschappelijke studie, maar wel zodanig dat *confounding*-factoren voldoende ingeperkt zijn.

Het functioneren van micro-organismen kan een andere indicator zijn, maar potentiële nitrificatie lijkt minder geschikt vanwege de gevoeligheid voor lage pH. Andere microbiologische veldindicatoren zijn onvoldoende ingezet voor een goed onderbouwd advies, maar microbiële activiteiten (thymidine- en leucine-inbouwsnelheid) zijn met succes toegepast in één van de locatiestudies. Uit ander bodembioologisch onderzoek lijken "heet water extraheerbaar koolstof" (een indicator voor de hoeveelheid bacterie biomassa, Ghani et al., 2003) en "potentieel mineraliseerbaar stikstof" (PMN is een maat voor gemakkelijk afbreekbare stikstof en correleert met de totale hoeveelheid microbiële biomassa, Ghani et al., 2003) goed toepasbaar.

Informatie over de vegetatie op de verontreinigde locatie is in beperkte mate verzameld. Tevens is gesuggereerd dat herkolonisatie van niet meer in gebruik zijnde kogelvallers met vegetatie langzamer gaat dan verwacht mag worden bij een normale ontwikkeling. Directe of indirecte loodeffecten op planten zouden dus plausibel kunnen zijn, maar de beoordeling daarvan is lastig vanwege het ontbreken van begroeiing op de kogelvallers en verstoring van de overige delen van de schietbaan. Het meten van bioaccumulatie van metalen in het veld kan inzicht geven in de beschikbaarheid van lood voor organismen en kan eventueel gebruikt worden voor het inschatten van risico's op doorvergiftiging, hoewel voor het inschatten van doorvergiftigingsrisico's is gebleken dat de meest verontreinigde onderdelen van de locatie meestal onbegroeid zijn of dat de planten er minder goed groeien.

## 6.5 Bioaccumulatie en doorvergiftiging

Bioaccumulatie en doorvergiftiging worden in de Circulaire bodemsanering expliciet benoemd bij het beoordelen van ecologische risico's. Er zijn voor locatiespecifieke ecologische onderzoeken geen uniforme methoden om effecten op bioaccumulatie en doorvergiftiging mee te nemen, zoals ook is aangegeven door de Technische Commissie Bodem (TCB 2008). In de onderzoeken wordt in sommige gevallen gebruikgemaakt van modelberekeningen voor kleine zoogdieren en grote grazers. Meetgegevens van interne loodgehalten van planten of dieren aangetroffen op de locatie en loodconcentraties in de bodem worden gebruikt om een schatting te geven van mogelijke risico's van doorvergiftiging. Een beperking van deze modellen zit in de aannames die gedaan moeten worden over het voedselpatroon en de kans dat organismen daadwerkelijk foerageren op het gedeelte van de verontreinigde locatie. Dit maakt deze berekeningen conservatief (een organisme moet al zijn voedsel vergaren op de meest verontreinigde locatie en vervolgens alleen maar het gewas eten met de hoogste concentratie lood). Deze modellen zijn hierdoor bruikbaar om risico's uit te sluiten; voor het bevestigen van risico's blijft het van belang om de effecten van de aannames mee te wegen in het oordeel. Het RIVM

zal eind 2014 een rapportage uitbrengen over doorvergiftiging en ecologische risicobeoordeling; mogelijk biedt dit nog aanknopingspunten voor locatiespecifiek ecologisch onderzoek (Brand en Mesman, in druk).

## 6.6 Realistische versus conservatieve beoordeling

Het saneringscriterium is gebaseerd op de klassieke risicobeoordelingsmethodologie, waarbij men bij de eerste stappen in het onderzoek uitgaat van grote onzekerheden in de beschikbare informatie, en daarom dus 'streng' (conservatieve, 'veilige') criteria hanteert bij de beoordeling. Bij de volgende stappen, waarbij er steeds meer locatiespecifieke informatie beschikbaar komt, en de onzekerheden in de risicoschatting afnemen, kunnen de criteria voor de beoordeling minder 'streng' gemaakt worden (realistische criteria). Dit principe ligt aan de wieg van de twee eerste stappen in het Saneringscriterium (Rutgers et al., 2008), en bij de toepassing van de Triade (Mesman et al., 2011).

Bij elke locatiespecifieke risicobeoordeling, ook die met de Triade, moet de balans gezocht worden tussen conservatisme en realisme. Vooraf dient daarom door de onderzoekers in samenspraak met de stakeholders vastgesteld te worden hoe de beoordelingscriteria (hier ook: terugsaneerwaarden) afgeleid zullen worden. De deviatiefactor (Mesman et al., 2011) is hierbij één van de hulpmiddelen. Hoe kleiner de deviatiefactor, maar ook: hoe meer verschillende methoden zijn ingezet, hoe plausibeler de relatie met de verontreiniging is, hoe meer herhalingen zijn toegepast; dit zijn allemaal factoren die een realistischere benadering verantwoord maken. Het generieke uitgangspunt voor een verantwoord niveau van conservatisme is opgenomen in het Saneringscriterium, met de beoordelingscriteria in stap 2, namelijk twee niveaus voor de Toxische Druk (0,25 en 0,65), vier grenzen voor verontreinigd oppervlak (50, 500, 5.000 en 50.000 m<sup>2</sup>) en drie niveaus van gevoeligheid van het ecosysteem voor bodemverontreiniging ([www.sanscrit.nl](http://www.sanscrit.nl); Circulaire bodemsanering 2013, Rutgers et al., 2008).

Bij het Triade-onderzoek worden de resultaten van meerdere methoden, minimaal één per spoor (chemie, ecotoxicologie en ecologie), gebruikt voor de beoordeling en de bepaling van de Triade-effectwaarde.

## 6.7 Contouren

In paragraaf 3.10 en 4.8 is beschreven hoe de resultaten van het Triade-onderzoek vertaald kunnen worden naar een beoordeling van de gehele locatie. Dit is nodig omdat bij het Triade-onderzoek maar een beperkt aantal monsters van de locatie wordt onderzocht. De resultaten van het Triade-onderzoek worden daarbij gebruikt om een ijklijn op te stellen tussen de loodconcentratie en de Triade-effectwaarden (zie ook Handreiking Triade, Mesman et al., 2011, Bijlage 2 of Bijlage 2 in dit rapport).

### Vaststelling

De ijklijn van Triade-effectwaarden en de loodconcentratie kan vervolgens gebruikt worden om voor de locatie contouren te bepalen. Hierbij worden twee criteria aangehouden; een laag TE criterium (0,25) en een hoog criterium (0,75) (NB: dit zijn voorgestelde waarden in tegenstelling tot het hoge en lage criterium dat voor Toxisch Druk contouren wordt gebruikt (Circulaire bodemsanering 2013)). Afhankelijk van het gebiedstype hoeft de sanering van een geval niet met spoed te worden uitgevoerd indien de oppervlakte van de

onbedekte bodemverontreiniging binnen een contour voor de Triade-Effectwaarde (TE) kleiner is dan de aangegeven oppervlakte. Beide contouren dienen beoordeeld te worden. In Tabel 14 zijn de hoge en lage criteria voor de TE-waarden per gebiedstype aangegeven. Uit Tabel 14 blijkt dat het hoge besliscriterium in stap 3 van het Saneringscriterium hoger is dan in stap 2 (resp. 0,75 en 0,65). Bijstelling van het 'hoge' besliscriterium voor Triade-onderzoek is een optie voor toekomstige risicobeoordelingen, zulks in afstemming en na goedkeuring van het bevoegd gezag.

Tabel 14. Voorgestelde besliscriteria voor de beoordeling van locatiespecifieke ecologische risico's, gedifferentieerd naar gebiedstypen in combinatie met de deviatie uit de Triade (Mesman et al., 2011).

Gebiedstype <sup>B</sup>	Oppervlakte-onbedekte bodemverontreiniging (TE <sup>A</sup> >0,25;D<0,4)	Oppervlakte-onbedekte bodemverontreiniging (TE <sup>A</sup> >0,75;D<0,4)
• Natuur inclusief gebieden behorende tot de EHS <sup>C</sup>	500m <sup>2</sup>	50m <sup>2</sup>
• landbouw • wonen met tuin • moestuinen/volkstuinen • groen met natuurwaarden	5.000m <sup>2</sup>	500m <sup>2</sup>
• ander groen • bebouwing • industrie • infrastructuur	50.000m <sup>2</sup>	5.000m <sup>2</sup>

A. TE is de Triade-Effectwaarde. Deze waarde is het resultaat van de integratie van de drie Triadesporen, chemie, ecotoxicologie en ecologie. Naast deze waarde wordt ook de deviatie (D) bepaald bij de integratie. Een lage deviatie (< 0,4) geeft aan dat de Triadesporen met elkaar in overeenstemming zijn. Vergelijkbaar met stap 2 van het Saneringscriterium waarin TD-contouren worden afgeleid, worden hier TE-contouren afgeleid voor TE> 0,25 en TE>0,75.

B. De indeling in gebiedstypen is gerelateerd aan de 'ecologische waarde' van gebieden en is aangepast aan de bodemgebruikscategorieën die de werkgroep NOBOWA heeft gedefinieerd (NOBO-rapport; VROM, 2008). Indien een locatie in meerdere typen ingedeeld kan worden, dient voor het gevoeligste type te worden gekozen.

C. EHS =Ecologische hoofdstructuur.

In de huidige praktijk van het Saneringscriterium worden de contouren vastgesteld aan de hand van gegevens uit het nader onderzoek. In hoofdstuk 4 is aangegeven dat voor de beoordeling met een Triade-onderzoek niet alle gegevens uit het nader onderzoek nuttig en nodig zijn. Het betreft enerzijds informatie van andere stoffen dan lood, koper en antimoon, die niet behoren tot de typische verontreiniging op schietbanen, en anderzijds de gedetailleerde ruimtelijke informatie voor alle gemeten stoffen. Voor schietbanen van Defensie kan een efficiëntere kartering van de verontreiniging worden bereikt met behulp van veldmetingen (bijvoorbeeld met een XRF), plus een laboratoriumvalidatie aan een beperkt aantal monsters. In theorie kan zo op (duur) nader bodemonderzoek worden bespaard.

## 6.8 Terugsaneerwaarden

Het afleiden van een saneringsdoel kan een onderdeel uitmaken van het vaststellen van TE-contouren, maar dat is geen onderdeel van het Saneringscriterium. In generieke zin (Wbb) wordt het saneringsdoel bepaald door de (lokale) Maximale waarden (zie Bijlage 1 voor een uitgebreide toelichting). Bij sanering dient men dus tot op dat niveau te saneren. Voor natuur en overige groene functies zijn de Maximale waarden lager dan voor groen zonder natuurwaarden (industrie). In bepaalde gevallen wordt afgeweken van de Maximale waarden, en wordt het beoordelingscriterium gelijkgesteld aan het saneringsdoel, in de onderzoeken van Defensie 'terugsaneerwaarde' genoemd. Het lijkt of in het geval van de Defensieterreinen ook op deze wijze afgeweken wordt van de Circulaire bodemsanering. Een saneringsdoel gelijk aan het beoordelingscriterium impliceert automatisch dat gesaneerde gebieden niet schoner zullen worden dan de nabije omgeving, die niet gesaneerd hoeft te worden, maar wel (licht) verontreinigd is. Bij een saneringsdoel op het niveau van de Maximale waarde zal het gesaneerde gebied vaak schoner zijn dan de nabije omgeving.

Wanneer men kiest voor een terugsaneerwaarde gelijk aan een beoordelingscriterium (hoge en lage TE-waarden) als onderdeel van een Triade-onderzoek (Mesman et al., 2011), dan dient men in vergelijkende zin ook een hoge en een lage terugsaneerwaarde af te leiden, en die toe te passen bij de twee contouren voor het afleiden van het saneringsdoel. Wordt het lage criterium overschreden voor een te groot oppervlak, dan geldt de lage terugsaneerwaarde voor het grote oppervlak. Wordt slechts het hoge criterium overschreden, dan geldt slechts het hoge saneringscriterium voor een relatief klein oppervlak. In één van de meer recentere Triade-onderzoeken van Defensie is dit principe al toegepast.

## 7 Conclusies

Het ministerie van Defensie heeft Triade-onderzoek uit laten voeren naar de ecologische effecten van lood, koper en antimoon op acht schietterreinen. In alle gevallen hebben de onderzoeken locatiespecifieke informatie opgeleverd voor de beoordeling of er sprake is van spoed. In de meeste gevallen nuanceerde deze informatie de uitkomst van het standaard instrumentarium in stap 2 van het Saneringscriterium.

Naast deze algemene conclusie volgen hieronder voor de verschillende onderdelen van het Triade-onderzoek deelconclusies en aanbevelingen.

### Opzet onderzoek

Het aantal monsters dat minimaal onderzocht moet worden, hangt samen met de hoogte van de bodemgehalten en de verdeling van de loodverontreiniging. Het minimum aantal is acht monsters bij een hoog-laagverdeling van de loodverontreiniging, waarbij de hoge concentratie rond de 1000 mg Pb/kg ds (standaardbodem) moet liggen. Wanneer de concentraties op de locatie hoger zijn dan 1000 mg Pb/kg ds, dan kan gekozen worden voor een gradiënt-onderzoek, waarbij minimaal acht à tien monsters nodig zijn, die gelijkelijk over de gradiënt verdeeld moeten worden (voldoende relatief schone monsters). Op deze wijze is het mogelijk om een robuuste ijklijn op te stellen voor de relatie tussen lood in de bodem en Triade-effectwaarden, ten behoeve van het afleiden van Triade-effectcontouren.

Het uitvoeren van vooronderzoek, waarbij meer dan twintig monsters genomen worden en waarvan vervolgens de loodconcentratie (via XRF) en de pH bepaald wordt, kan een goed middel zijn om tot een optimalere selectie van monsters voor het onderzoek te komen.

### Chemie

Het meten van totaalconcentraties van lood, koper en antimoon en bodemkenmerken (pH, organisch stofgehalte en lutumgehalte) voldoet voor zandige schietbanen van Defensie. Op basis van eerdere uitgevoerd Triade-onderzoek op schietbanen van Defensie zijn relaties te leggen tussen totaalgehalten en diverse beschikbare gehalten (0,43 M HNO<sub>3</sub>, 0,01 M CaCl<sub>2</sub>). Indien een locatie een pH heeft lager dan 3 of hoger dan 5, dan is het mogelijk zinvol om beschikbare gehalten te bepalen of om gebruik te maken van een speciatiemodel.

### Ecotoxicologie

De Microtox-assay is goed toepasbaar voor het aantonen van effecten van loodverontreiniging, omdat deze bioassay niet afhankelijk is van de bodem-pH. Voor andere bioassays is het belangrijk om de pH-voorkeur van het organisme mee te wegen bij de keuze voor de bioassay. Diverse soorten regenwormen (*Lumbricus rubellus*, *Eisenia andrei*), planten (*Lolium perenne*), en springstaarten (*Folsomia candida*) komen voor bij lage pH's op zandgronden. Ook kan gekozen worden voor een vooronderzoek waarbij de bioassay wordt uitgevoerd op enkele grondmonsters van de locatie met een lage pH, maar zonder of met minimale loodverontreiniging.

### Ecologie

Ecologisch onderzoek op de baanzoom is zinvol, maar op de kogelvangers zelf vaak niet, vanwege het feit dat ze op veel onderdelen sterk kunnen afwijken van de omgeving (steilheid kogelvanger, aantasting van het zand door het gebruik, onderhoud aan de kogelvanger, zon/schaduw omstandigheden, etc.). Hierdoor is het vaak niet mogelijk om een representatieve referentielocatie te vinden.

Chemisch en ecotoxicologisch onderzoek is wel mogelijk bij monsters van de kogelvanger.

Bij de selectie van locaties voor ecologische waarnemingen is het van belang dat de pH bekend is en vergelijkbaar is.

### Doorvergiftiging

Doorvergiftiging is een specifiek onderdeel van de risicobeoordeling dat aandacht behoeft. Bij de opzet van het Triade-onderzoek is het van belang om op basis van beschikbare monitoringsgegevens van planten en dieren, en het huidig dan wel het toekomstig gebruik van de locatie, te bepalen of risico op doorvergiftiging aan de orde is. Voor het vaststellen van risico's op doorvergiftiging, zal kritisch gekeken dienen te worden naar de aannamen die gedaan worden in de toegepaste modellen of relaties; op basis daarvan kan beoordeeld worden of onaanvaardbare risico's uitgesloten kunnen worden (onwaarschijnlijk zijn).

### Beoordeling resultaten

De resultaten van de methoden in de drie sporen dienen geschaald te worden ten opzichte van de referentielocatie(s). De resultaten van de drie sporen worden vervolgens geïntegreerd tot één getal, de Triade-effectwaarden. Voor kogelvangers zou bij toekomstig onderzoek de beoordeling bestaan uit twee sporen (chemie en ecotoxicologie).

Het is van belang om bij het bepalen van de Triade-effectwaarden ook de deviatie te beschouwen. Een deviatie groter dan 0,4 is een praktische grenswaarde (Mesman et al., 2011) om de resultaten in de drie sporen kritisch te bekijken, en om te zien of deze hoge deviatie verklaard kan worden of dat er aanvullend onderzoek nodig is om de deviatie te verlagen.

Deze Triade-effectwaarden (TE) kunnen vervolgens gebruikt worden voor het bepalen van een ijklijn, die de relatie tussen de Triade-effectwaarden en de loodconcentratie weergeeft.

Met deze ijklijn kunnen TE-contouren, voor het hoge en lage beoordelingscriterium, bepaald worden voor de locatie. Hieruit volgt welk deel van de locatie met spoed gesaneerd en/of beheerd dient te worden.

### Terugsaneerwaarden

Terugsaneerwaarden, ofwel saneringsdoelstellingen, zijn volgens de Circulaire bodemsanering (2013) gelijk aan de (lokale) Maximale waarden. Het is mogelijk om de terugsaneerwaarden op een andere wijze te bepalen, indien daar gronden voor zijn. Het hoge en lage TE-criterium, die bepaald worden voor het kader van het Saneringscriterium als de grenswaarden voor de risicobeoordeling, kunnen voor dit doel ingezet worden indien het bevoegd gezag hiermee instemt.

(Lokale) Maximale waarden als saneringsdoelstelling betekenen ook voor de schietbanen van Defensie, dat de concentratie na sanering lager zal zijn de omliggende (licht verontreinigde) terreinen. Bij het toepassen van het hoge en lage TE-criterium als saneringsdoelstellingen (terugsaneerwaarden), zal na sanering de loodconcentratie in het gesaneerde deel gelijk zijn aan de direct omliggende terreinen.

## Resumé

Vanwege het feit dat de acht geëvalueerde locaties een set generieke kenmerken hebben die ze als groep onderscheidt van alle andere verontreinigde locaties in Nederland, komen de volgende overkoepelende vragen op:

1. Heeft het Triade-onderzoek voor dergelijke locaties (maatschappelijke) meerwaarde gehad boven de standaard locatiespecifieke risicobeoordeling in stap 2 van het Saneringscriterium?
2. Zal Triade-onderzoek meerwaarde hebben bij toekomstig onderzoek aan vergelijkbare locaties?
3. Hoe dient een toekomstige Triade-onderzoek aan een vergelijkbaar terrein ingericht te worden voor optimaal resultaat?
4. Kunnen de (locatiespecifieke) resultaten uit de al uitgevoerde Triade-onderzoeken geëxtrapoleerd worden naar vergelijkbare toekomstige beoordelingen?

### Ad 1. Meerwaarde uitgevoerde Triade-onderzoek

De acht Triade-onderzoeken bij schietterreinen hebben in alle gevallen extra informatie opgeleverd, die gedeeltelijk of geheel tot een andere beoordeling van de risico's heeft geleid. In die zin heeft het onderzoek meerwaarde gehad. Vanwege het feit dat alle Triade-onderzoeken op zichzelf stonden (qua locatie-eigenschappen en qua tijdstip van uitvoering) is de inbreng van elk onderzoek ook uniek geweest. Dit bemoeilijkt het trekken van algemene lessen uit de onderzoeken, maar de teneur is dat de omvang van het gebied wat voor 'spoedige sanering en/of beheer' in aanmerking komt, kleiner is geworden dan bij de standaardbeoordeling. In dit rapport is een aantal aanvullende lessen getrokken, op basis van een geïntegreerde analyse van de acht onderzoeken.

### Ad 2. Meerwaarde van de Triade-methode bij toekomstig onderzoek

Een Triade-onderzoek heeft meerwaarde voor toekomstig onderzoek aan schietterreinen. Er kunnen effectieve lessen getrokken worden uit het al uitgevoerde onderzoek, bijvoorbeeld door het vertalen van resultaten uit eerder onderzoek naar toekomstig onderzoek. Maar ook bij toekomstige onderzoeken zijn er nog voldoende locatiespecifieke kenmerken die bepaald dienen te worden aan de hand van een Triade-onderzoek.

### Ad 3. Inrichting van toekomstig Triade-onderzoek

Dit aspect is in de bovenstaande paragrafen besproken. De belangrijkste bevindingen zijn een aantal te prefereren indicatoren (chemisch, ecotoxicologisch en ecologisch), een zorgvuldige bemonsteringsstrategie in een of meer stappen (met specifieke aandacht voor *confounding*-factoren), en een verwerking van de informatie volgens de aanwijzingen in de literatuur (Handreiking Triade, NEN en SIKB protocollen; Mesman et al., 2011; NEN, 2010; SIKB 2013).

### Ad 4. Extrapolatie van gegevens uit voorgaand Triade-onderzoek aan vergelijkbare terreinen.

Op basis van de integrale analyse van de acht Triade-onderzoeken en de wetenschappelijke literatuur is een aantal patronen tevoorschijn gekomen, waarvan de veronderstelling is dat ze specifiek is voor dit type verontreinigingsgevallen (zie vorige hoofdstuk). De cocktail en het gedrag van de stoffen (lood, koper en antimoon) in de bodem kan voorspeld worden. Vooral de pH is sturend voor de beschikbaarheid van lood. Nog niet goed voorspeld kunnen worden wat de ecotoxiciteit is en wat de ecologische veldeffecten zijn op deze locaties, maar de risico's manifesteren zich waarschijnlijk niet via doorvergiftiging en bioaccumulatie bij gewervelden. Het beperkte aantal monsters en de gevoeligheid voor *confounding*-factoren (vooral de ecologische waarnemingen) zijn daar debet aan.





## 8 Literatuur

- Ahmad M, Soo Lee S, Lim JE, Lee S, Cho JS, Moon DH, Hashimoto Y, Sik Ok Y (2014) Speciation and phytoavailability of lead and antimony in a small arms range soil amended with mussel shell, cow bone and biochar: EXAFS spectroscopy and chemical extractions. *Chemosphere* 95: 433-441.
- Ahmad M, Soo Lee S, Yang JE, Ro H-M, Han Lee Y, Sik Ok Y (2012) Effects of soil dilution and amendments (mussel shell, cow bone, and biochar) on Pb availability and phytotoxicity in military shooting range soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 79: 225-231.
- Alvarenga P, Palm P, De Varennes A, Cunha-Queda AC (2012) A contribution towards the risk assessment of soils from the São Domingos Mine (Portugal): Chemical, microbial and ecotoxicological indicators. *Environmental Pollution* 161: 50-56.
- Aslibekian O, Moles R (2003) Environmental risk assessment of metals contaminated soils at silvermines abandoned mine site, Co Tipperary, Ireland. *Environmental Geochemistry and Health* 25: 247-266.
- Berthelot Y, Valton E, Auroy A, Trottier B, Robidoux PY (2008) Integration of toxicological and chemical tools to assess the bioavailability of metals and energetic compounds in contaminated soils. *Chemosphere* 74: 166-177.
- Bongers, T (1990) The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Booth L, Palasz F, Darling C, Lanno R, Wickstrom M (2003) The effect of lead-contaminated soil from Canadian prairie skeet ranges on the neutral red retention assay and fecundity in the earthworm *Eisenia fetida*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 22: 2446-2453.
- Brand E, Peijnenburg W, Goenenberg B, Vink J, Lijzen J, ten Hulscher D, Jonker C, Romkens P, Roex E (2009) Towards implementation of bioavailability measurements in the Dutch regulatory framework. RIVM rapport 711701084, RIVM, Bilthoven.
- Brand E, Mesman M (2014) Doorvergiftiging in beleid. Een inventarisatie van de knelpunten, praktijkervaringen en mogelijke oplossingen. RIVM Briefrapport 2015, RIVM Bilthoven, in druk.
- Cao X, Ma LQ, Chen M, Hardison Jr DW, Harris WG (2003) Weathering of lead bullets and their environmental effects at outdoor shooting ranges. *Journal of Environmental Quality* 32: 526-534.
- Chrastný V, Komárek M, Hájek T (2010) Lead contamination of an agricultural soil in the vicinity of a shooting range. *Environ Monit Assess* 162: 37-46.
- Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013 (2013). Gepubliceerd op 27 juni 2013, Staatscourant Nr. 16675. <https://zoek.officiëlebezoekingen.nl/stcrt-2013-16675.html>
- Dirven-Van Breemen EM, Lijzen JPA, Otte PF, van Vlaardingen P, Spijker J, Verbruggen EMJ, Swartjes FA, Groenenberg JE, Rutgers M (2007) Landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid. RIVM rapport 711701053, RIVM, Bilthoven.
- Ekschmitt K, Korthals, GW (2006) Nematodes as sentinels of heavy metals and organic toxicants in the soil. *Journal of Nematology* 38 (1): 13-19.
- Evangeliou MWH, Hockmann K, Pokharel R, Jakob A, Schulin R (2012) Accumulation of Sb, Pb, Cu, Zn and Cd by various plants species on two

- different relocated military shooting range soils. *Journal of Environmental Management* 108: 102-107.
- Ghani, A, Dexter, M, Perrott, KW (2003) Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* Volume 35, Issue 9, September 2003, Pages 1231–1243. DOI: 10.1016/S0038-0717(03)00186-X.
- Groenenberg, BJ en Bonten L (2012) Geochemie en beschikbaarheid van metalen: van concept naar model. In *Geochemische bodematlas van Nederland*, red. Mol, G, Spijker, J, Van Gaans, P, Römkens, P. Wageningen Academic Publishers, Nederland. ISBN: 978-90-8686-743-1, DOI: 10.3920/978-90-8686-743-1.
- Hardison Jr. DW, Ma LQ, Luongo T, Harris WG (2004) Lead contamination in shooting range soils from abrasion of lead bullets and subsequent weathering. *Science of the Total Environment* 328: 175–183.
- ISO (1999) ISO 11267: 1999 Soil quality - Inhibition of reproduction of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil pollutants. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- ISO (2005) ISO 11269-2 Soil quality. Determination of the effects of pollutants on soil flora. Part 2: effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- ISO (2008) ISO 17512-1 Soil Quality—Avoidance Test for Determining the Quality of Soils and Effects of Chemicals on Behaviour—Part 1: Test with Earthworms (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*). International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- Jensen J, Mesman M, editors (2006) LIBERATION, Ecological risk assessment of contaminated land, decision support for site specific investigations. ISBN 90-6960-138-9, Report 711701047, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Laurel MD (2004) Ecological Risk Assessment For Range 17 (Trap and Skeet Range) Patuxent Research Refuge. March 2004. U.S. Fish and Wildlife Service Chesapeake Bay Field Office, Annapolis, MD, Division of Environmental Quality, Edison, NJ U.S. Environmental Protection Agency Environmental Response Team, Edison, NJ
- Luo W, Verweij RA, Van Gestel CAM (2014a) Determining the bioavailability and toxicity of lead contamination to earthworms requires using a combination of physicochemical and biological methods. *Environmental Pollution* 185: 1-9.
- Luo W, Verweij RA, Van Gestel CAM (2014b) Contribution of soil properties of shooting fields to lead bioavailability and toxicity to *Enchytraeus crypticus*. *Soil Biology and Biochemistry* 76: 235-241.
- Mahmoudi E, Essid N, Beyrem H, Hedfi A, Boufahja F, Vitiello P, Aïssa P (2007) Individual and combined effects of lead and zinc on a free-living marine nematode community: Results from microcosm experiments *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 343: 217–226.
- Martín JAR, Gutiérrez C, Escuer M, García-González MT, Campos-Herrera R, Águila N (2014). Effect of mine tailing on the spatial variability of soil nematodes from lead pollution in La Union (Spain). *Science of the Total Environment* 473-474: 518-529.
- Mesman M, Spijker J, Schouten AJ, Rutgers M (2007) Ecologische risicobeoordeling depotterrein gemeente Epe. RIVM rapport 607035001, RIVM, Bilthoven.

- Mesman M, Schouten AJ, Rutgers M, Dirven-Van Breemen EM (2007) Handreiking TRIADE: locatiespecifiek ecologisch onderzoek in stap drie van het Saneringscriterium. Rapport 711701068, RIVM, Bilthoven
- Mesman M, Schouten AJ, Rutgers M (2011) Handreiking Triade 2011; Locatiespecifiek ecologisch onderzoek in Stap 3 van het Saneringscriterium. Rapport 607711003, RIVM, Bilthoven.
- NEN (2010) NEN 5737: 2010 nl Bodem - Landbodem - Proces van locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging.
- OECD (2003) OECD guidelines for the testing of chemicals. Proposal for updating Guideline 208. Terrestrial plant test: seedling emergence and seedling growth test. OECD, Paris.
- Peijnenburg, WJGM, Zablotskaja M, Vijver, MG (2007) Monitoring metals in terrestrial environments within a bioavailability framework and a focus on soil extraction. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 67, 163-179, 2007.
- Rantalainen M, Torkkeli M, Strömmer R, Setälä H (2006) Lead contamination of an old shooting range affecting the local ecosystem — A case study with a holistic approach. *Science of the Total Environment* 369: 99–108.
- RIVM (2013) Toelichting Maatschappelijke Afweging. <http://www.risicotoolboxbodem.nl/sanscrit/maatschappelijkeafweging/>
- Robinson BH, Bischofberger S, Stoll A, Schroer D, Furrer G, Roulier S, Gruenwald A, Attinger W, Schulin R (2008) Plant uptake of trace elements on a Swiss military shooting range: Uptake pathways and land management implications. *Environmental Pollution* 153: 668-676.
- Rutgers M (2008) Field effects of pollutants at the community level - experimental challenges and significance of community shifts for ecosystem functioning. *Science of the Total Environment* 405: 469-478.
- Rutgers M, Bogte JJ, Dirven-Van Breemen EM, Schouten AJ (2001) Locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling – praktijkonderzoek met een Triade-benadering. Rapport 711701026, RIVM, Bilthoven.
- Rutgers M, Tuinstra J, Spijker J, Mesman M, Wintersen A, Posthuma L (2008) Risico's voor het ecosysteem in stap twee van het Saneringscriterium. Rapport 711701072, RIVM, Bilthoven.
- Rutgers M, Schouten AJ, Bloem J, Van Eekeren N, De Goede RGM, Jagers op Akkerhuis GAJM, Van der Wal A, Mulder C, Brussaard L, Breure AM (2009) Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. *European Journal of Soil Science* 60: 820-832.
- Rutgers M, Jensen J (2011) Site-specific ecological risk assessment. Chapter 15, in: F.A. Swartjes (Ed.), *Dealing with Contaminated Sites – from Theory towards Practical Application*, Springer, Dordrecht. pp. 693-720
- Sanderson P, Naidu R, Bolan N, Bowman M, Mclure S (2012) Effect of soil type on distribution and bioaccessibility of metal contaminants in shooting range soils. *Sci Tot Environ* 438: 452-462.
- Sanderson P, Naidu R, Bolan N (2014) Ecotoxicity of chemically stabilized metal(loid)s in shooting range soils. *Ecotox Environ Saf* 100: 201–208
- Schouten, AJ, Dirven-Van Breemen, EM, Bogte, JJ, Rutgers, M (eds.) (2003) Locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling Praktijkonderzoek met de TRIADE-benadering: deel 3. RIVM rapport 711701036, RIVM, Bilthoven.
- Selonen S, Liiri M, Strömmer R, Setälä H (2012) The fate of lead at abandoned and active shooting ranges in a boreal pine forest. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31: 2771–2779.

- Selonen S, Liiri M, Setälä H (2014) Can the soil fauna of boreal forests recover from lead-derived stress in a shooting range area? *Ecotoxicology* 23: 437-448.
- SIKB (2013) BRL SIKB 2301 Voorbereiding en uitvoering van veldwerk voor Triade onderzoek van landbodems. <http://www.sikb.nl/11370>
- Sorvari J, Antikainen R, Pyy O (2006) Environmental contamination at Finnish shooting ranges-the scope of the problem and management options. *Science of the Total Environment* 366: 21-31.
- Sorvari J (2007) Environmental Risks at Finnish Shooting Ranges—A Case Study. *Human and Ecological Risk Assessment* 13: 1111–1146.
- Spuller C, Weigand H, Marb C (2007) Trace metal stabilisation in a shooting range soil: Mobility and phytotoxicity. *Journal of Hazardous Materials* 141: 378–387.
- Staatscourant(2013) Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. Nr. 16675 27 juni 2013.[http://wetten.overheid.nl/BWBR0033592/1/11/Tekst/geldigheidsdatum\\_18-08-2014](http://wetten.overheid.nl/BWBR0033592/1/11/Tekst/geldigheidsdatum_18-08-2014)
- TCB (2008) Advies Ecologische onderbouwing bodemnormstelling TCB A045 (2008), Den Haag, Technische Commissie Bodem.
- Van der Waarde JJ, Derksen JGM, Peekel AF, Keidel H, Bloem J, Siepel H (2001) Risicobeoordeling van bodemverontreiniging met behulp van een TRIADE benadering met chemische analyses, bioassays en biologische veldinventarisaties. Rapport 98-1-28, NOBIS, Gouda.

## Bijlage 1 Wet- en regelgeving ecologische risicobeoordeling

### Terugsaneerwaarde

Circulaire bodemsanering (2013), hoofdstuk 4 Saneringsdoelstelling, artikel 38  
Wet bodembescherming, 4.1.2, Saneringsdoelstelling immobiele  
Verontreinigingen:

“Bij immobiele verontreinigingen wordt de saneringsdoelstelling primair bepaald door de geschiktheid van de bodem voor de aanwezige of voorgenomen functie, c.q. het gebruik van de bodem. Bij voorkeur wordt daarbij door het bevoegd gezag Wbb aangesloten bij het Besluit bodemkwaliteit (Bbk). De bodemfunctieklasse is dan leidend voor het bepalen van de **terugsaneerwaarde** in geval van verwijderen, herschikken en/of bewerken (zoals zeven) op de saneringslocatie. Als er lokale maximale waarden zijn vastgesteld voor het gebied waarbinnen de saneringslocatie is gelegen, dan gelden deze als **terugsaneerwaarde**. Zo niet, dan geldt hiervoor de normwaarde (Achtergrondwaarde, Maximale Waarde Wonen of Maximale Waarde Industrie) die hoort bij de bodemfunctieklasse. De bodemfunctieklasse wordt bepaald op basis van de functiekaart en als deze er niet is of als het gebied niet is ingedeeld, wordt teruggevallen op de Achtergrondwaarde. Het bevoegd gezag Wbb mag gemotiveerd kiezen voor een hiervan afwijkende **terugsaneerwaarde**, bijvoorbeeld op basis van de toekomstige bestemming of de daadwerkelijke functie in plaats van de functie op de functiekaart. De reden voor een afwijkende saneringsdoelstelling kan ook liggen in gebiedsspecifieke omstandigheden, zoals in het geval van omvangrijke verontreinigingen als De Kempen.

Voor de invulling van de saneringsdoelstelling is ook van belang of er sprake is van aanvoer van grond van elders. Indien hiervan sprake is (aanvulgrond, aanbrengen leeflaag), is het Bbk van toepassing. Voor de aangevoerde grond gelden de volgende eisen:

- Indien de saneringslocatie is gelegen in een gebied waarvoor conform het Besluit bodemkwaliteit lokale maximale waarden zijn vastgesteld, dan gelden deze als kwaliteitseis.
- Zo niet, dan is het generieke beleid conform het Bbk van toepassing. De kwaliteitseis wordt bepaald op basis van de bodemfunctieklasse en op basis van de bodemkwaliteitsklasse. De strengste eis van deze twee geeft de doorslag. De bodemfunctieklasse wordt bepaald op basis van de functiekaart en als deze er niet is of als het gebied niet is ingedeeld, wordt teruggevallen op de Achtergrondwaarde als kwaliteitseis. De bodemkwaliteitsklasse wordt bepaald op basis van de bodemkwaliteitskaart. Als deze er niet is, dan wordt de locatie ingedeeld op basis van de bodemkwaliteit van de omgeving van de saneringslocatie.

Idealiter komt de saneringsdoelstelling dus overeen met de eisen van het Besluit bodemkwaliteit. Er kan dan worden gesproken van een duurzame geschiktheid voor de functie. Indien in bijzondere situaties uit een afweging op basis van kosteneffectiviteit blijkt dat een functiegerichte saneringsdoelstelling niet haalbaar is, dan kan hiervan gemotiveerd worden afgeweken.”

Bron: Staatscourant. 27 juni 2013. Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. Nr. 16675.

### **Onaanvaardbare ecologische risico's**

Saneringscriterium: Bijlage 2, Hoofdstuk 5. Risico's voor het ecosysteem 5.1

Algemeen:

"Er is sprake van onaanvaardbare risico's voor het ecosysteem indien bij het huidige of voorgenomen gebruik van de locatie er dusdanige effecten op het ecosysteem zijn, dat deze maatschappelijk onaanvaardbaar worden gevonden.

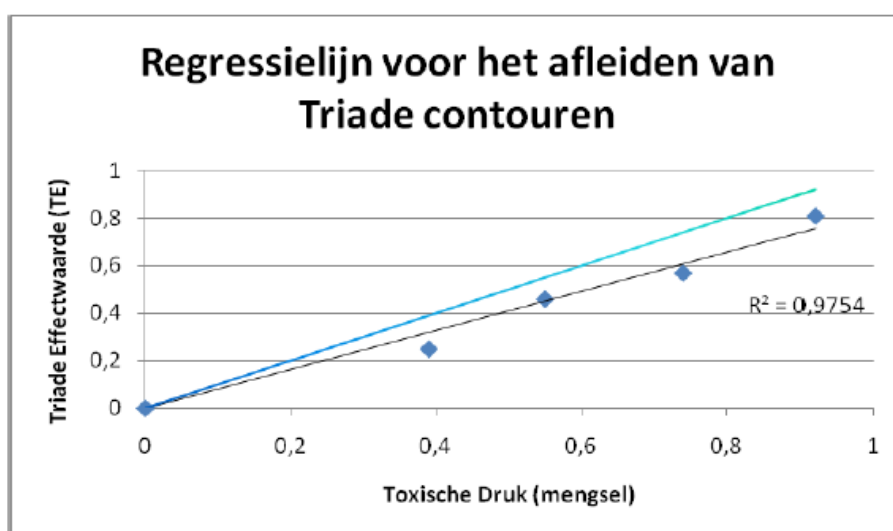
Met effecten op het ecosysteem worden bedoeld:

- aantasting van de biodiversiteit (bescherming van soorten);
- verstoring van kringloopfuncties (bescherming van processen);
- bio-accumulatie en **doorvergiftiging**."

Bron: Staatscourant. 27 juni 2013. Circulaire bodemsanering per 1 juli 2013. Nr. 16675.

## Bijlage 2 Relatie tussen Toxische Druk van het mengsel en de Triade-Effectwaarde

Om de resultaten van het Triade-onderzoek toe te passen in de ruimtelijke context van de locatie dient er een koppeling gemaakt te worden tussen de Toxische Druk (TD) van het complete mengsel van stoffen en de Triade-Effectwaarde (TE). In Figuur B1 is deze relatie afgebeeld. De regressielijn kan vervolgens gebruikt worden om Triade-Effectwaarden te berekenen op basis van de Toxische Drukwaarden uit het nader onderzoek. Hiermee kan een ruimtelijk beeld worden gemaakt van de te verwachten effecten op basis van Triade-onderzoek.



*Figuur B1: Relatie tussen de Toxische Druk (TD) van het mengsel en de Triade-Effectwaarde voor de waarnemingen in Tabel B2.3. De regressielijn (zwart) is een hulpmiddel om de resultaten van het Triadeonderzoek te extrapoleren naar andere plaatsen op de locatie op basis van de gemeten concentraties in het nader onderzoek. De blauwe lijn geeft de regressielijn weer bij een een-op-een relatie tussen de TD en de TE. In dit voorbeeld levert het Triade-onderzoek ongeveer 20% lagere effectwaarnemingen op dan de berekening van de TD.*

Bron: Handreiking Triade, 2011, Bijlage 2.





## Bijlage 3 Nematodenanalyse als indicator voor veldeffecten van lood

Onderzoek aan vrijlevende nematoden is veelvuldig toegepast in de Triadebeoordelingen. De verkregen resultaten leverden echter weinig informatie over effecten van lood in de bodem op de dichtheid en soortensamenstelling van nematoden. Voordat hier conclusies uit worden getrokken voor toekomstige Triadestudies op schietbanen, is het zinvol om zowel de resultaten als praktische en theoretische aspecten (sterke en zwakke punten) op een rij te zetten.

### 1) Indicatorwaarden van vrijlevende bodemnematoden.

Nematoden hebben binnen de bodemorganismen een aantal eigenschappen, dat ze bij uitstek geschikt maakt (zou moeten maken) als indicatoren voor de kwaliteit van de bodem en verstoring daarvan. Om er kort een paar te noemen:

- Nematoden komen, in soms zeer grote aantallen en diversiteit, voor in vrijwel elk habitat op aarde. Daar zijn voorbeelden van onder zeer extreme omstandigheden.
- Ze zijn plaatsgebonden, leven in het poriewater van de bodem, en hebben een centrale positie in het bodemvoedselweb.
- Er is een differentiatie in meerdere voedingstypen en ecologische strategieën.
- De nematodenfauna behoort tot de best onderzochte van de Nederlandse bodem. Er is veel bekend over de verspreiding, gevoeligheid en relaties met bodemkenmerken.
- Bemonstering, transport, extractie en analyse is eenvoudig, goedkoop en kan steunen op een lange historie in landbouwkundig onderzoek.

Een aantal voordelen heeft echter ook een nadelige kant. Zo zijn nematoden met het blote oog niet zichtbaar, zodat bijvoorbeeld het voorkomen en de verspreidingspatronen in het veld niet kunnen worden waargenomen. De aantallen en de soortensamenstelling kunnen alleen in het laboratorium worden vastgesteld. Deze nadelen gelden overigens voor de meeste groepen bodemorganismen.

Ondanks de hoeveelheid ecologische kennis over nematoden, is er nog weinig vergelijkingsmateriaal voor speciale plekken als de bodems van schietbanen en kogelvangers met de loodverontreiniging hierin. De wetenschappelijke literatuur geeft echter een aantal handreikingen.

### 2) Literatuur over effecten van lood op nematoden.

Bruikbaar vergelijkingsmateriaal over de effecten van loodverontreiniging op bodemorganismen zijn er met name uit onderzoek in (voormalige) mijnbouwgebieden. Sporadisch is er onderzoek gepubliceerd over schietbanen. In het kader van deze evaluatie heeft geen uitputtend literatuuronderzoek kunnen plaatsvinden. Onderstaande voorbeelden laten echter zien dat er (significante) effecten van lood zijn aangetoond, en dat het aannemelijk is dat die kunnen optreden in de onderzochte Defensie terreinen.

a) Korthals en Ekschmitt (2006) maakten een evaluatie van zes langdurige veldexperimenten waarin effecten van zware metalen en organische verontreinigingen werden onderzocht. Binnen de nematodenfauna zijn verschillende maten van gevoeligheid, fysiologische mechanismen en de ontwikkeling van tolerantie gevonden. Van de 70 nematodentaxa in het gecombineerde onderzoek vertoonde 16 stuks een positieve correlatie met de

verontreiniging en 35 een negatieve. In het totaal waren 34 correlaties significant. Korthals en Ekschmitt wijzen erop dat het voorkomen van tolerante soorten een veel sterkere indicatorwaarde heeft dan het ontbreken van gevoelige soorten. Uit het onderzoek bleek verder dat resistentie voor een bepaald metaal niet automatisch leidt tot een tolerantie voor meerdere stoffen. Ondanks het feit dat lood wel voorkwam in een mengsel van verontreinigingen, zijn er geen gegevens over de gevoelige soorten of specifieke effecten van dit metaal alleen. Langdurige blootstelling kan leiden tot het ontstaan van tolerantiemechanismen of een selectieproces waarin directe en indirecte effecten simultaan een rol spelen.

b) Een fraai voorbeeld van een grootschalig veldonderzoek naar de effecten van lood komt uit een publicatie van Martín et al. (2014). Zij beschrijven de gevolgen van (historische) mijnbouwactiviteiten in het Cartagena-La Union district aan de zuidoostkust van Spanje. Het beslaat een gebied van 100 km<sup>2</sup>. Er werden 193 mengmonsters gemaakt in verschillende typen grondgebruik. De effecten van omgevingsfactoren op de nematoden in deze monsters werd geanalyseerd met multivariate geostatistische methoden. Er werden 81 taxa onderscheiden uit 38 families. In gebieden met hoge metaalgehalten werd een dominantie van schimmelelers aangetroffen. Verschillende genera worden aangemerkt als 'gevoelig voor mijnbouw' als complex van factoren. Martín et al. bediscussiëren ook de verschillen of tegenstellingen met andere publicaties. Verschillende eigenschappen van de nematodenfauna vertoonden een negatieve correlatie met het loodgehalte, waaronder de abundantie, trofische groepen en c-p-groepen. Er werd een positieve correlatie gevonden met organische stof en de nutriënten N, P, K. In de eindconclusie van de publicatie wordt gesteld dat de nematodengemeenschap goed geadapteerd is aan de langdurige blootstelling en de verschillen in bodemgebruik. Daardoor zijn organische stof en gehalten aan nutriënten meer dominant sturende factoren in landbouwgronden en graslanden dan het gehalte aan lood.

c) Mahmoudi et al. (2007) onderzochten de gevoeligheid van mariene nematoden in bodemslib in een microcosmosexperiment. Hoewel de relevantie hiervan voor schietbanen niet zo groot lijkt, maakt dit onderzoek wel duidelijk dat een groot aantal soorten binnen de groep van de nematoden zeer gevoelig is voor zink of lood in een acute blootstelling. Bovendien was er in dit geval een antagonistisch effect van de combinatie van metalen. Hiervan was de invloed juist kleiner.

d) In het voormalige Stimuleringsprogramma Systeemgericht Ecotoxicologische Onderzoek (SSEO) zijn op drie locaties studies gedaan naar langetermijneffecten van (licht) verhoogde metaalgehalten in de bodem. Rutgers (2008) geeft een samenvattend overzicht van het onderzoek in de Demmerikse polder. Het is een laagveengebied dat is verontreinigd met lood, koper en zink door historische stort van stadsafval (toemaakdek). Het werd destijds gebruikt om het veen te verstevigen, op te hogen en te bemesten. Op de locatie is het loodgehalte (plaatselijk) verhoogd tot boven de interventiewaarde. In de Demmerikse polder konden veranderingen in bodembacteriën en de nematodensamenstelling significant worden gerelateerd aan metaalconcentraties, ontkoppeld van andere bodemeigenschappen.

De evaluatie van het onderzoek in de Demmerikse polder bracht naar voren dat bij de speurtocht naar ecologische effecten in een kleine gradiënt, twee problemen moeten worden opgelost: de selectie van gevoelige eindpunten is van belang, en er moet een aanzienlijke inspanning worden gedaan om een maximale gradiënt vast te stellen bij zo constant mogelijke

bodemeigenschappen. Dit laatste is in de praktijk vaak een probleem (zoals al meerder keren is aangehaald in deze evaluatie) De vertroebeling van effecten, door de invloed van andere factoren die een gelijke gradiënt vertonen (de *confounding*-factoren), kan worden aangepakt door meerdere eindpunten te analyseren en multivariate statistische technieken toe te passen. Een lage signaal-ruisverhouding bemoeilijkt echter het vaststellen van ecologische effecten.

Verschuivingen in de nematodensamenstelling in Demmerik traden op in de vorm van een positieve relatie tussen metaalgehaltenes en een aantal soorten uit de families *Rhabditidae*, *Diplogasteridae* en een groter aantal zogenoemde dauerlarven. Er zijn nog drie voorbeelden te geven van onderzoek op voormalige schietbanen, de eerste twee komen uit Finland.

e) Rantalainen et al. (2006) beschrijven een onderzoek op een voormalig schietterrein dat tussen 1967 en 1987 in gebruik is geweest. Hierbij wordt een bredere bodemvoedselwebanalyse gemaakt en wordt gekeken naar processen. Het onderzoek was ingedeeld naar een zwaar en matig verontreinigd terrein. Na het uit gebruik nemen heeft er een natuurlijke bosontwikkeling plaatsgevonden. De nematodenanalyses in dit onderzoek waren niet diepgaand en waren beperkt tot het tellen van het aantal aaltjes. Er werden geen negatieve effecten van lood gevonden op de dichtheid van nematoden, maar wel op microbiologische parameters, potwormen. De auteurs suggereren dat de beperkte effecten op het ecosysteem als geheel te danken kunnen zijn aan verschuiving in de soortensamenstelling (functionele redundantie) en de ontwikkeling van lood-tolerantie bij bodemorganismen.

f) Selonen et al. (2014) hebben vergelijkend onderzoek gedaan tussen een in gebruik zijnde schietbaan, een nabij gelegen verlaten schietterrein en een controle in hetzelfde bosgebied. In Finland zijn er naar schatting meer dan 2000 schietterreinen. Een kwart hiervan wordt gebruikt voor de jacht en in de hagel wordt nog steeds lood gebruikt. De belasting met loodkorrels kan oplopen tot 4 kg/m<sup>2</sup>. In het terrein dat sinds 1986 buiten gebruik is gesteld zijn herstelprocessen onderzocht. In de loop van de tijd wordt de verontreiniging als het ware afgedekt door een nieuwe organische strooisellaag. Bodemorganismen die het nieuwe substraat bevolken, ondervinden minder blootstelling en vertonen gelijkenis met de controle. Deze processen waren het meest duidelijk bij mijten en springstaarten (samen micro-arthropoden genoemd). Ook de aantallen van potwormen en nematoden vertoonden een negatieve respons met lood in de bodem. De effecten varieerden echter in de tijd en met het seizoen, daarnaast was er ook een verticale verdeling van effecten over de organische lagen (strooiselhorizonten) in de bodem. Effecten waren het grootst onder in het strooiselpakket.

De omnivore en predatore van nematoden waren lager in aantal in de loodverontreinigde bodems. De negatieve reactie van de andere voedselgroepen op lood varieerde echter per seizoen. Op basis van de "Indicator Species Analysis" werd predatore nematode *Mononchus spec.* aangewezen als kenmerkend voor de controle. Selonen et al. wijzen er tot slot op dat er in de loop van de tijd een gradiënt in beschikbaarheid van lood kan ontstaan (met name in een zure strooisellaag). Boven in het organische pakket treedt herstel op, maar onderin nemen de effecten juist toe.

De les die uit dit onderzoek kan worden getrokken, is dat er veel zorg moet worden besteed aan de wijze, en aan de nauwkeurigheid van monsternamen. Eenmalige bemonstering en het mengen van verschillende bodemlagen kan gemakkelijk leiden tot een grofstoffelijke onderzoeksopzet waarmee effecten niet kunnen worden waargenomen.

g) Ook uit de Nederlandse situatie is vergelijkingsmateriaal aanwezig. In het kader van het onderzoekprogramma NOBIS is aan het eind van de jaren 90 een serie locatiestudies uitgevoerd om ervaring op te doen met de Triade-methode voor landbodems, en om deze verder te ontwikkelen. In het eindrapport over dit project (Van der Waarde et al. 2001) wordt een overzicht van alle locatiestudies gegeven.

In dit verband is het onderzoek op de voormalige kleiduivenschietbaan Bornia te Driebergen-Zeist van belang. De locatie bestond voor een groot deel uit een dennenbos met open plekken en grasvegetatie. De strooisellaag werd niet meegenomen in het onderzoek. Achteraf bleek dat hiermee waarschijnlijk ook een aanzienlijk deel van de verontreiniging buiten beschouwing was gelaten. Op de Bornia-locatie is de nematodenfauna in detail onderzocht en zijn de resultaten statistisch bewerkt. Er werden significante effecten gevonden op het aantal nematoden, op voedselgroepen en de Maturity Index. Plantenetende aaltjes nemen af met de loodconcentratie, terwijl het aandeel schimmeleeters juist toeneemt. Het is niet duidelijk of dat wordt veroorzaakt door directe of indirecte effecten. Veranderingen in de soortensamenstelling veroorzaakten hier juist een toename van de Maturity Index. Dat is onverwachts maar indicatief en goed te verklaren uit een gedetailleerde analyse van de nematodensoorten.

De studies en publicaties die hierboven zijn aangehaald, **leiden niet tot de conclusie** dat nematoden ongevoelig zijn voor loodverontreiniging of veranderingen in het bodemecosysteem die daar het gevolg van zijn. Anders geformuleerd: de literatuur geeft niet aan dat er nooit effecten van lood op nematoden zijn gevonden, en het dus tevergeefs is om daar naar te gaan zoeken.

Aan de andere kant geeft een nematodenanalyse niet per definitie garantie om de ecologische effecten van lood te kunnen kwantificeren. In een bodemecosysteem spelen processen op verschillende ruimte- en tijdschalen. Ze kunnen direct en indirect van invloed zijn op de nematodensamenstelling. De onderzoeksoepzet dient daaraan te worden aangepast, wat vaak een wat ruimere investering in het veldonderzoek en de uitwerking daarvan zal vergen.

### 3) Onderzoekstechnische en statistische aspecten van nematodenanalyses.

Zowel het geringe aantal waarnemingen, als het effect van *confounding*-factoren (pH, organische stof, andere verstoringen) bemoeilijkt bij vrijwel alle geëvalueerde Triade-onderzoeken de interpretatie van het nematodenonderzoek.

Het is opvallend dat er weinig nematodenmonsters zijn genomen, en waarvan meerdere keren slechts een deel verder is uitgewerkt.

Daarnaast is er geen uniformiteit in de gebruikte monsterdiepte, geen onderscheid in lagen (vooral ondiep en strooisellaag), of het aantal bodemkernen waaruit een mengmonster wordt samengesteld. Vanuit recent onderzoek in landbouwgronden zijn nieuwe inzichten beschikbaar over de optimalisatie van monstertechnieken (mondelijke mededeling H. Keidel). Hier kan in de toekomst meer gebruik van worden gemaakt.

Voor arme, verstoorde en heterogene bodems zou de monsterintensiteit een stuk hoger moeten liggen dan in de Triade-studies is toegepast. De sterk geclusterde verspreidingspatronen van bodemorganismen leiden ertoe dat een kleine steekproef uitmondt in een zeer 'scheve verdeling' van waarnemingen. Het geeft een grote variatie in de resultaten die eigenlijk niet met een standaard regressie mogen worden geanalyseerd, omdat niet kan worden voldaan aan de (controle op) noodzakelijke voorwaarden van lineariteit, normaliteit en onafhankelijkheid van de zogenoemde error-termen.

Het (nu gangbare) nematodenonderzoek in een Triade-onderzoek wordt niet volgens een wetenschappelijke statistische opzet uitgevoerd. Bemonstering van een gradiënt lijkt op een snelle manier te kunnen leiden tot een regressie-benadering waarmee de relatie tussen een verontreiniging en een biologische respons kan worden bepaald. Enkelvoudige waarnemingen bij een paar punten in de concentratiereeks geven echter geen inzicht in de mate van spreiding of afwijking (uitbijter) in het resultaat. Een uitkomst met veel variatie blijft hierdoor onzeker en moeilijk te interpreteren. Met andere woorden: zijn het ongelukkige toevalstreffers of zijn er werkelijk geen verschillen tussen de punten op de gradiënt?

Als het verkregen figuur van de regressie past in de verwachting, wordt dat gemakkelijk als 'goed resultaat' geaccepteerd, terwijl er geen zicht is op de reproduceerbaarheid of de mate van variatie (zowel in de tijd als de ruimte). Wetenschappelijk gezien kan het alleen als trend of indicatie worden gebruikt, niet als een 'bewezen resultaat'. Anderzijds kan er aan de afwezigheid van een lineair verband onder deze condities ook geen harde conclusie worden verbonden. Wanneer er naast nematodenonderzoeken ook andere ecologische waarnemingen gedaan worden binnen het ecologiespoor, dan is het minder bezwaarlijk dat er alleen trends waargenomen kunnen worden. De bewijslast komt dan van diverse waarnemingen, een kernwaarde van het Triade onderzoek.

Het aantal herhalingen en monsterpunten blijft ook onderbelicht bij andere waarnemingen (sporen) in de Triade.

Als vuistregel kan ervan worden uitgegaan dat aantallen van organismen een zogenaamde lognormale verdeling volgen. Dat geldt in het bijzonder voor kleine organismen als bacteriën en nematoden, die in hoge(re) dichtheden voorkomen. De soortensamenstelling van nematoden, en afgeleide indicatorwaarden, volgen vaak een ander type frequentieverdeling, doordat de abundantie hiervan als het ware minder groot is. Om tot een noodzakelijk normale verdeling te komen waarop statistische methoden kunnen worden toegepast, is voor het aantal soorten of indices een ander type transformatie nodig. De ervaring leert dat hiervoor een vierkantsworteltransformatie vaak geschikt is.

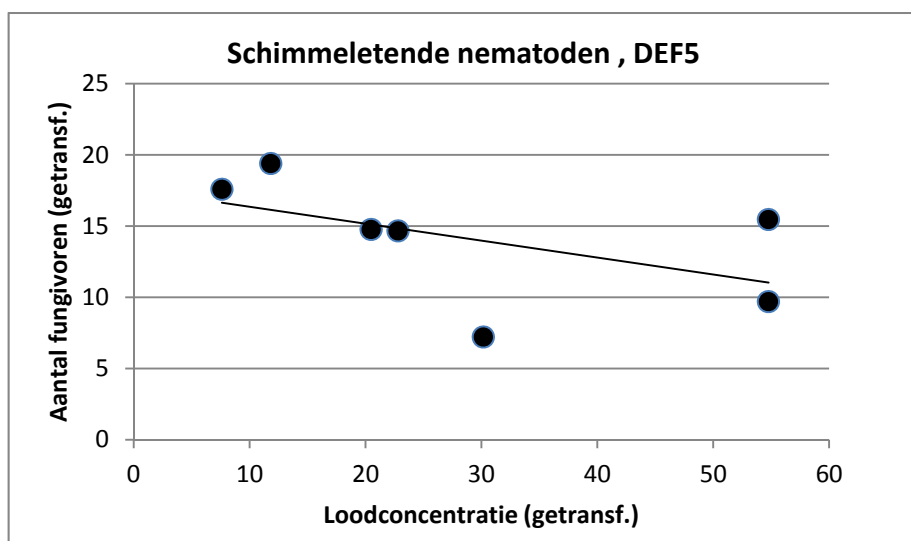
Als voorbeeld zijn gegevens uit DEF5 in Figuur 5 op een andere manier weergegeven. In het betreffende Triade-onderzoek werd geconcludeerd dat er, afgezien van enkele plantenetende soorten, geen verband lijkt te zijn tussen voedselgroepen van nematoden en lood in de bodem.

Als de variatie in de gegevens wordt gereduceerd door een 'worteltransformatie', ontstaat een ander beeld voor de voedselgroepen en dauerlarven.

Schimmeletende nematoden zijn in dit geval interessant, omdat ze veel voorkomen in zure bodems en er weinig invloed van de pH wordt verwacht als *confounding*-factor. De kans dat effecten veroorzaakt zijn door de verontreiniging is hierdoor groter.

In de literatuur komen schimmeleters vaker naar voren als groep die effecten laat zien bij verontreiniging met lood of zware metalen.

Een andere kijk op resultaten door het verkleinen van de spreiding in de meetgegevens, verandert niets aan het gebrek aan waarnemingen of de kwaliteit er van. Er is geen aanvullende controle uitgevoerd op de best passende frequentieverdeling van deze gegevens, of op de randvoorwaarden voor het toepassen van een regressie. Het voorbeeld laat zien dat een afname in de spreiding van de gegevens een andere blik op de resultaten kan werpen.



*Figuur 5. Schimmel-etende nematoden in een loodgradiënt van locatie DEF-5. De gemeten waarden van loodgehaltes en nematoden zijn weergegeven in de figuur na wortel-transformatie.*

**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*