



Bodemverontreiniging in het militair oefenterrein 'De Dellen'

Beschikbaarheid van lood, koper en antimoon in de bodem van de schietbanen en kogelvangers in relatie tot ecologische en verspreidingsrisico's

Paul Römken en Jack Faber



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Bodemverontreiniging in het militair oefenterrein 'De Dellen'

Beschikbaarheid van lood, koper en antimoon in de bodem van de schietbanen en kogelvangsters in relatie tot ecologische en verspreidingsrisico's

Paul Römken en Jack Faber

Wageningen Environmental Research
Wageningen, augustus 2021

Gereviewd door:

Dr. Ir. R.P.J.J. Rietra, Onderzoeker Bodemchemie Team Duurzaam Bodembeheer

Akkoord voor publicatie:

Dr. Ir. G.J. Reinds, teamleider van team Duurzaam Bodemgebruik

Rapport 3105
ISSN 1566-7197

Römken, P.F.A.M. en J.H. Faber, 2021. *Bodemverontreiniging in het militair oefenterrein 'De Dellen'; Beschikbaarheid van lood, koper en antimoon in de bodem van de schietbanen en kogelvangers in relatie tot ecologische en verspreidingsrisico's*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3105. 46 blz.; 10 fig.; 7 tab.; 27 ref.

Trefwoorden: Schietterrein, beschikbaarheid, lood, koper, antimoon, ecologische risico's, verspreidingsrisico's, bodem.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/553244> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2021 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3105 ISSN 1566-7197

Foto omslag: Voormalige schietbaan militair oefenterrein de Dellen (Paul Römken)

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Samenvatting	9
1	Inleiding	11
	1.1 Aanleiding	11
	1.2 Visie op de opdracht	12
	1.3 Doel en onderzoeksvragen	12
2	Materiaal en Methoden	13
	2.1 Monstername	13
	2.2 Voorbehandeling en uitgevoerde analyses	14
3	Resultaten bemonstering juli 2020	15
	3.1 Metaalgehalten in de onderzochte monsters	17
4	Verspreidingsrisico's en ecotoxicologische risico's van lood, koper en antimoon	22
	4.1 Modelmatige evaluatie van verspreidingsrisico's	22
	4.2 Evaluatie van eerder ecotoxicologisch onderzoek	26
5	Ecologische Risico's	28
	5.1 "Natuurlijke" uitgangssituatie	28
	5.2 Bestaande situatie	28
	5.3 Ecologische Risico's, in het bijzonder doorvergiftiging	30
	5.3.1 Bioturbatie	31
	5.3.2 Doorvergiftiging	31
	5.3.3 Specifieke natuurdoelen en natuurwaarden	33
6	Conclusies en Aanbevelingen	35
	Literatuur	40
	Bijlage 1 Overzicht chemische bodemanalyses	42

Verantwoording

Rapport: 3105

Projectnummer: 5200046480

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Onderzoeker Bodemchemie

naam: Dr. Ir. R.P.J.J. Rietra

datum: 15 Februari 2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. Ir. G.J. Reinds

datum: 15 Februari 2021

Woord vooraf

In de bodem van het voormalige Oefenterrein de Dellen is sprake van bodemverontreiniging. Verhoogde gehalten aan lood, koper en antimoon zijn aangetoond in de bodem in en rondom de voormalige schietbanen. Deze verontreiniging is afkomstig van munitie gedurende de periode dat dit terrein actief in gebruik was als oefenterrein voor het Ministerie van Defensie.

Op verzoek van het Rijksvastgoedbedrijf is door Wageningen Environmental Research, onderdeel van Wageningen Universiteit en Research aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de chemische beschikbaarheid van deze stoffen en de mate waarin de chemische beschikbaarheid zou kunnen leiden tot (eco)toxicologische effecten en/of kunnen uitspoelen naar diepere bodemlagen of grondwater.

Door specifieke bodemmetingen uit te voeren die in standaardbodemonderzoek niet uitgevoerd worden is meer inzicht verkregen in de variatie van de chemische beschikbaarheid in de bodem van de schietbanen en directe omgeving. De in dit rapport gepresenteerde data zijn ook vergeleken met die afkomstig uit andere vergelijkbare oefenterreinen van Defensie. Aan de hand van literatuur en data uit andere terreinen is op basis daarvan een inschatting gemaakt van de ecotoxicologische risico's en de mate waarin deze stoffen kunnen uitspoelen naar diepere bodemlagen en of het grondwater. Rekening houdend met een aantal andere factoren als bodemopbouw en de huidige ecologische waarde van het terrein kan dit een basis vormen voor een afweging door het bevoegd gezag met betrekking tot ecologische risico's.

Daartoe eindigt dit rapport met een voorbeeldevaluatie waarin een zestal factoren inclusief ecologische effecten, kosten en verspreidingsrisico's van de onderzochte metalen naar het grondwater opgenomen zijn en beoordeeld voor een viertal mogelijke maatregelen variërend van niet ingrijpen tot grootschalig saneren van het gebied. Dit kan dienen als leidraad bij de uiteindelijke beoordeling van de risico's en het nut en/of noodzaak van al dan niet te nemen maatregelen. Bij elk van de vier mogelijke maatregelen geven we op basis van data en expert judgement een oordeel over de kansrijkdom van de maatregel. Ook dit dient als voorbeeld aangezien het belang van individuele factoren uiteindelijk door het bevoegd gezag ingevuld moet worden.

Samenvatting

In de bodem van het voormalige oefenterrein de Dellen nabij Meerssen, Provincie Limburg, komen sterk verhoogde gehalten voor aan onder meer lood, koper en antimoon als gevolg van het gebruik als schietbaan. Onderzoek door Geonius (2018) toonde aan dat er sprake is van ernstige bodemverontreiniging die kan leiden tot effecten op het aanwezige ecosysteem. In een aanvullend rapport gericht op de evaluatie van ecologische risico's (Bureau Verbeek, 2019) wordt gesteld dat er een noodzaak tot sanering is, maar dat het nut niet evident is. Aan de andere kant geeft het rapport ook argumenten om toch (gedeeltelijk) te saneren. De Provincie Limburg heeft voor een beschikking als reactie op dat rapport gevraagd om meer inzicht te verschaffen over het actuele risico van de aanwezige bodemverontreiniging voor opname in de aanwezige natuurlijke voedselketens omdat in het Natura-2000 gebied Geuldal, waar 'De Dellen' deel van uitmaakt, een nagenoeg compleet voedselweb aanwezig is met inbegrip van soorten die in de bodem wroeten en hun predatoren.

Hiertoe zijn in de zomer van 2020 bodemmonsters genomen van de bovengrond rondom de voormalige schietbanen, waarbij zowel de minder als ook sterker verontreinigde delen bemonsterd zijn (geselecteerd aan de hand van kennis uit voorgaand onderzoek). Daarbij is gebruik gemaakt van aanvullende analyses waarbij zowel een aantal bodemeigenschappen (zuurgraad en organische stof) zijn bepaald als ook twee aanvullende extracties gedaan die meer inzicht geven in de actuele en potentiële beschikbaarheid van de onderzochte stoffen. Daaruit blijkt dat de beschikbaarheid van lood en in mindere mate ook koper en antimoon zeer hoog is. Een groot (72-98%) van het in de bodem aanwezige lood is potentieel beschikbaar, wat wil zeggen dat het beschikbaar kan zijn of komen voor planten en foeragerende dieren (die grond 'eten'). Voor koper (33 – 85% beschikbaar) en antimoon (4 – 19% beschikbaar) is de beschikbaarheid lager. De directe beschikbaarheid, d.w.z. die hoeveelheid die nu in het bodemvocht aanwezig is, gesimuleerd door een extractie met een verdunde zoutoplossing (0.01 M CaCl_2) van lood is ook hoog tot zeer hoog en bedraagt in de bodem op de kogelvangers tot 10% van de totale loodconcentratie in de bodem. Dergelijke concentraties zijn extreem hoog te noemen, maar wijken niet af van eerder aangetroffen gehalten in vergelijkbare (lees: zure) bodems van schietterreinen zoals eerder gerapporteerd door Mesman et al. (2014).

Een belangrijke factor die bijdraagt aan de zeer hoge concentraties is de extreem lage pH (hoge zuurgraad). Deze varieert in de onderzochte monsters van 3.3 tot 4.1. Deze zeer lage pH waarden, die overigens wel vaker in de bovengrond van zure bosbodems aangetroffen worden, ook in lössbodems die niet verontreinigd zijn (Hommel et al., 2016) zorgen ervoor dat lood, koper en antimoon in hoge concentraties in het bodemvocht aanwezig zijn. Ook spoelen ze daardoor gemakkelijk uit naar diepere bodemlagen.

Gebruik makend van de data is een model gemaakt dat de uitspoeling van de drie elementen kan voorspellen rekening houdend met onder meer de zuurgraad van de bodem. Dat maakt het mogelijk om ook effecten van maatregelen zoals bekalken te simuleren. De modelberekeningen tonen aan dat onder de huidige omstandigheden (lage pH) lood en in mindere mate ook antimoon en koper ook in de 25 – 50 cm laag terecht zullen komen. Bekalken zal deze verplaatsing verminderen maar draagt ertoe bij dat de gehalten in de 0- 25 cm daarom hoog blijven. Rekening houdend met de eigenschappen van de diepere bodemlagen tonen de modelresultaten dat de kans klein is dat er binnen 50 jaar grote effecten op de kwaliteit van grondwater zullen optreden. Ook als er niet bekalkt wordt is de uitspoeling naar lagen dieper dan 10 meter beperkt. Deze voorspellingen zijn verder niet gevalideerd door metingen van actuele gehalten aan lood in de bodem in diepere lagen of in het grondwater.

Op basis van eerder uitgevoerde Triade studies aan andere militair oefenterreinen is een indicatieve terugsaneerwaarde afgeleid. Deze varieert van 65 mg kg^{-1} (lage criterium) tot 200 mg kg^{-1} (hoge criterium) voor lood. Het lage criterium wordt in 14 van de 32 monsters overschreden terwijl het hoge criterium in 5 monsters overschreden wordt; deze laatste liggen zonder uitzondering op de kogelvangers als meest verontreinigde plekken.

De resulterende kritische gehalten gebaseerd op de potentiële beschikbaarheid komt in dat geval uit op 800 mg kg^{-1} voor lood. Dergelijke waarden worden ook alleen rond de kogelvangers en in de monsters in de schietbanen zelf gevonden. Als generieke terugwaneerwaarde met betrekking tot ecologische risico's is een generieke HC50-eco afgeleid. Deze bedraagt afgerond 900 mg kg^{-1} . Dat betekent dat voor de OT 'De Dellen' deze HC50-ecowaarde in een deel van de kogelbanen en de kogelvangers overschreden wordt. Dit komt ruwweg overeen met 0,6 ha zoals eerder ook door Geonius (2018) is berekend als zijnde het de omvang van het gebied met een toxische druk van meer dan 25%. Humane risico's zijn veelal beperkt vanwege de geïsoleerde ligging van de terreinen en de gebruiksfunctie. In geval van 'De Dellen' is de gebruiksfunctie 'groen met natuurwaarde' maar is er ook sprake van een recreatief gebruik door wandelaars en mountainbikers. In beide gevallen blijft de conclusies uit Mesman et al. (2014) overeind dat dit niet leidt tot een significante humane blootstelling aan lood uit de bodem.

Risico's op doorvergiftiging voor kleine zoogdieren worden als gering ingeschat, dit is overigens gebaseerd op de resultaten van eerder uitgevoerde evaluaties (Mesman et al., 2014). Voor grote grazers die wellicht (zeer) incidenteel in de schietbanen of op de kogelvangers foerageren rapporteren Mesman et al. (2014) grenswaarden van 1800 tot 3000 mg kg^{-1} . Dergelijke concentraties worden in 'De Dellen' alleen op de kogelvangers en de daaraan grenzende voet (binnen een straal van ongeveer 5 meter, en dan met name aan de kant van de schietbanen) bereikt of overschreden. De bijdrage aan de totale blootstelling van grazers uit deze specifieke plekken (kogelvangers en voet) waar deze grenswaarden overschreden worden zal daarom beperkt zijn. Niet in de laatste plaats omdat grazers het hele gebied als foerageergebied gebruiken, en daarin worden deze grenswaarden niet overschreden. Los daarvan lijkt ook de toegankelijkheid van de schietbanen voor grote grazers minder dan het omliggende (laag gecontamineerde) terrein door de aanwezigheid van dichte struiken en lage bomen. In welke mate dit een rol speelt bij het foerageergedrag en/of blootstelling is verder niet onderzocht.

Voor de beoordeling van de ecologische risico's blijkt dat er weinig gedetailleerde soortenlijsten van flora en vooral fauna voorhanden zijn; de algehele indruk is die van een suboptimale biodiversiteit voor dit type terrein. Er lijken soorten afwezig die er wel thuishoren, zonder dat de oorzaak daarvan duidelijk is. Het kan niet worden uitgesloten dat dit effecten zijn van de bodembodemverontreiniging ofschoon de standplaatsfactoren, onder andere bodemgesteldheid, zijn vaak suboptimaal. Zo is in een groot deel van de schietbanen de bodem zeer sterk verdicht en zeer sterk grindhoudend wat de doorwortelbaarheid voor planten, en de habitatkwaliteit voor bodemfauna (wormen, maar ook grotere organismen zoals konijnen) sterk beperkt.

Gezien de hoge beschikbaarheid van met name lood (effecten van koper en antimoon worden minder relevant ingeschat) is doorvergiftiging op soortniveau aan de orde. Maar gezien het beperkte oppervlak van hotspots kan de vraag gesteld worden of dit een risico voor aanwezige flora en fauna vormt. Gezien de kleine omvang in verhouding tot leefgebied van de meeste fauna zijn effecten van schietbanen op zich nauwelijks op populatieniveau te verwachten.

Uiteindelijk zijn 4 typen van maatregelen beoordeeld waarbij de keuze van de criteria en het gewicht wat daar aan toegekend wordt dient als voorbeeld. Hier zijn de volgende maatregelen meegenomen: 1. niets doen; 2. beheersen middels bekalken; 3. hotspots saneren (kogelvangers), en 4. contour saneren waarbij het te saneren gebied begrensd wordt op basis van de verontreinigingsgraad danwel de ondergrens van de toxische druk. De analyse toont aan dat er in dat geval een verschuiving optreedt van geringe ecologische standplaatsverstoring, maar potentieel grotere kans op ecotoxicologische en verspreidingsrisico's in geval van optie 1 en 2 naar een grote mate van ecologische standplaatsverstoring maar ook een effectieve reductie van verspreidings- en ecotoxicologische risico's in geval van optie 3 of 4.

Daarbij moet wel bedacht worden dat ook onder de huidige condities de kwaliteit van het ecologische systeem beperkt lijkt te zijn in dat deel van het gebied dat in deze studie onderzocht is. Op basis van dit onderzoek is niet eenduidig te oordelen of dit komt door de aanwezige verontreiniging of de bodemeigenschappen waarbij zowel de zeer lage pH als ook de bodemopbouw (aanwezigheid grind en hoge mate van verdichting) beperkende factoren zijn.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Op basis van het actualiserend bodemonderzoek is vastgesteld dat op het voormalig oefenterrein 'De Dellen' te Meerssen sprake is van sterk verhoogde gehalten aan lood, antimoon en koper (Geonius, 2018). Deze verhoogde gehalten komen vooral voor in, en rond, de kogelvangers die nog steeds op het terrein aanwezig zijn in de vorm van wallen van 2 tot 4 meter hoog. Deze zijn inmiddels overgroeid met (jonge) bomen en er is ook een strooisellaag gevormd. Ook in de nog aanwezige schietbanen is inmiddels een struik- en bos vegetatie ontstaan (Figuur 1). Bovenop de kogelvangers staan dikwijls eikenbomen.



Figuur 1 Kogelvanger (links) en wal van een van de voormalige schietbanen (rechts) in het terrein van 'De Dellen' te Meerssen (foto's: P. Römkens).

Aan de hand van visuele waarnemingen (veldbezoek d.d. 18-10 j.l.) lijkt het er op dat deze wallen, evenals de begrenzing van de schietbanen, voornamelijk bestaan uit gebiedseigen grond, waarbij de baanzoom van drie schietbanen is ingegraven beneden maaiveld en de vergraven grond is gebruikt om zijwallen en kogelvanger op te werpen. De verhoogde gehalten aan stoffen overschrijden in en rond deze wallen de interventiewaarden voor de genoemde drie stoffen (Geonius, 2018).

Het Rijksvastgoedbedrijf heeft in het kader van de overweging om de voormalige kogelvangers en baanzoomen te saneren ook aanvullend onderzoek laten uitvoeren naar de aanwezigheid van geselecteerde beschermde natuurwaarden (fauna) in het gebied (Bureau Verbeek, 2017), en een afweging laten opstellen van nut en noodzaak van sanering (Bureau Verbeek, 2019) op basis van het afwegingskader voor ecologische risico's van bodemverontreiniging volgens de richtlijn van de Provincie Limburg (Provincie Limburg, 2015). Het faunaonderzoek wees uit dat er in het gebied geen eekhoorns en hazelwormen voorkomen maar dat er wel een aantal holtebomen op de geweerbaan aanwezig is dat mogelijk als verblijfplaats voor vleermuizen kan dienen, wat sanering volgens de Wet Natuurbescherming zou bemoeilijken.

In het rapport (Bureau Verbeek, 2019) met de afweging van nut en noodzaak van sanering wordt gesteld dat er een noodzaak tot sanering is, maar dat het nut niet evident is. Aan de andere kant geeft het rapport ook argumenten om toch (gedeeltelijk) te saneren. De Provincie Limburg heeft voor een beschikking als reactie op dit rapport gevraagd om meer inzicht te verschaffen over het actuele risico van de aanwezige bodemverontreiniging voor opname in de aanwezig natuurlijke voedselketen omdat in het Natura-2000 gebied Geuldal, waar 'De Dellen' deel van uitmaakt, een nagenoeg complete voedselketen aanwezig is met inbegrip van soorten die in de bodem wroeten en hun predatoren.

1.2 Visie op de opdracht

Hoewel er op schietbanen vaak sprake is van verontreinigingen met diverse metalen wordt lood als gidsstof gezien voor het onderzoek naar ecologische effecten (Mesman e.a., 2014).

Risico's van doorvergiftiging door lood vanuit de bodem via de voedselketen zijn in principe wel mogelijk. De opname van lood in gewassen en (bodem)organismen is echter niet goed te modelleren (Mesman e.a., 2014; pers. mededeling RIVM). Bestaande doorvergiftigingsmodellen als BERISP en OMEGA bevatten geen rekenmethoden voor het bepalen van de risico's van lood (Brand en Mesman, 2015). Om deze reden is hier gekozen voor een benadering op basis van metingen van de biologisch beschikbare metaalconcentraties in de bodem, eventueel aangevuld met metingen van metalen in voedsel van grazers en predatoren, en niet voor een aanpak met modellering (zie ook Mesman e.a., 2014).

Het risico van doorvergiftiging is sterk afhankelijk van de voedselkeuze en het ruimtegebruik. Methoden waarbij aangenomen wordt dat alle voedsel van de meest verontreinigde deellocaties komt zijn 'worst case' en kunnen een overschatting van het risico geven. Bij het bepalen van de risico's zal daarom rekening worden gehouden met de verspreiding van de verontreinigingen in het gebied en het foerageergebied van grazers en predatoren.

1.3 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van het voorgestelde onderzoek is om de actuele risico van de aanwezige bodemverontreinigingen te kwantificeren middels gerichte metingen in de bovengrond. Deze gegevens alsmede de omgevings- en standplaatsfactoren dienen als basis om risico's voor de natuurlijke voedselketens in 'De Dellen' en de kans op effecten door doorvergiftiging in te schatten. De resultaten van het onderzoek moeten de Provincie Limburg als bevoegd gezag in staat stellen een onderbouwde beschikking af te geven over de ernst en spoed voor de locatie. Dit onderzoek bouwt daarmee voort op eerder uitgevoerd werk door Geonius (2018)

Bij het beoordelen van de actuele risico's van opname in de voedselketen en doorvergiftiging staan drie deelvragen centraal:

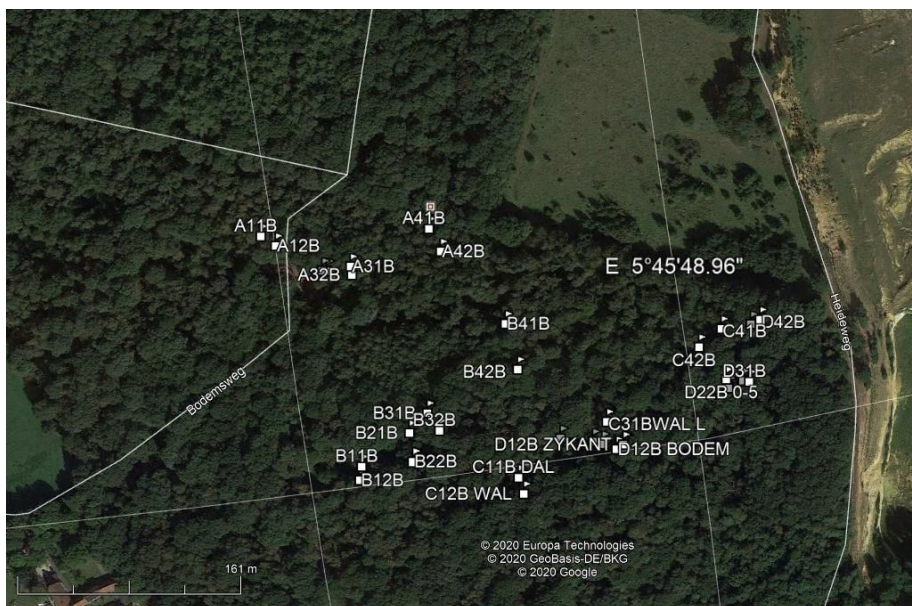
1. Wat is de beschikbaarheid van de metalen in de meest verontreinigde delen en in hoeverre wijkt dit af van de beschikbaarheid van deze stoffen in nabij gelegen (onvervuilde) referentieplekken? Als er sprake is van verhoogde beschikbaarheid, in welke mate zouden deze dan kunnen leiden tot directe ecologische effecten (ecotoxiciteit) via opname door planten en (bodem)fauna?;
2. In welke mate kan de beschikbaarheid leiden tot effecten in de voedselketen? In het terrein lopen grote grazers rond die gras, strooisel en deels ook grond binnen krijgen. Er komen ook wilde zwijnen en dassen voor. Aanwezige regenwormen en andere bodemfauna kunnen dienen als voedsel voor vogels en kleine zoogdieren die weer worden gegeten door predatoren. Daarnaast zijn er ook konijnen waargenomen, evenals roofvogels die daarop jagen;
3. Wat is de invloed van de sanering op de aanwezige ecologische standplaatsfactoren? Ingrijpen in een dergelijk kleinschalig gebied kan leiden tot vrij forse verstoring van de lokale leefgebieden van bijvoorbeeld reptielen, vogels en zoogdieren. Bij de besluitvorming, die geen deel uitmaakt van dit rapport, dient dit te worden afgewogen tegen de opbrengst van de sanering (Provincie Limburg, 2015).

Daarnaast maken we aan de hand van de chemische bepalingen in de onderzochte bodemmonsters een evaluatie van de verspreidingsrisico's en de mate waarin dat te sturen is indien de verontreiniging niet verwijderd wordt. Dit met het oog op de mogelijk uitloging naar grondwater en verspreiding in de bodem zelf.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Monstername

Op 14 augustus 2020 zijn in totaal 32 mengmonsters van de bovengrond genomen; daarbij is aanwezig strooisel en aanwezige planten niet bemonsterd (eerst verwijderd van de boorplek). Voorafgaand aan de bemonstering zijn daarvoor in het terrein 4 raaien (A, B, C en D) uitgezet overeenkomstig met de 4 voormalige schietbanen waar eerdere metingen (Geonius, 2018) uitwezen dat er sprake is van hoge gehalten aan lood (Pb), koper (Cu), antimoon (Sb). Per raai zijn vervolgens 4 plekken geselecteerd en in elk van deze vier plekken per raai (A1 t/m A4, B1 t/m B4, C1 t/m C4 en D1 t/m D4) zijn steeds 2 monsters genomen op korte afstand van elkaar (maximaal 5 a 10 meter. A1.1 en A1.2 etc.). Elk van deze 32 mengmonsters bestaat uit een aantal (5 a 10) steken van de bovengrond (0-20 cm). In het merendeel van de monsterplaatsen was sprake van hoge gehalten aan grind en/of stenen in het profiel. In geval van de meest stenige locaties in raaien B, C en D in monster 1, 2 en 3 was het niet altijd mogelijk om tot 20 cm diep te bemonsteren vanwege de grote hoeveelheid grind in de bovengrond.



Figuur 2 Overzicht van de 32 monsters uit de bovengrond genomen op 14 augustus 2020 (foto: Google Earth).

Monsterpunt 1 (A1, B1, C1 en D1) in elke raai is genomen op pm 30 tot 50 meter vóór de kogelvanger van de betreffende raai. In raai B, C en D liggen deze in de duidelijk aanwezige dalgang van de schietbaan. Daarbij is in deze raaien (B, C en D) steeds 1 monster in het 'dal' genomen en 1 monster in de helling die de overgang naar het omliggende bos markeert (pm 2 meter hoog).

In raai A is op dit moment geen dalvormige schietbaan waarneembaar en liggen de monsterpunten A1 en A2 beide in een vlak terrein voor de kogelvanger.

Monsterpunten A2, B2, C2 en D2 liggen op ongeveer 5 a 10 meter voor de kogelvanger, deels al in de voethelling van de kogelvanger (raai B, C en D). Monsterpunten A3, B3, C3 en D3 liggen steeds op de kogelvanger. Monsterpunten A4, B4, C4 en D4 liggen 30 tot 50 achter de kogelvanger in vlak terrein. Deze monsters (A4 t/m D4) lijken wat vegetatie betreft gelijk aan de rest van de bos buiten de schietbanen (gemengd bos, ondergroei van bramen en varens).

De bodem was ten tijde van de bemonstering zeer droog. Het weer tijdens de bemonstering was droog en warm.

Een aantal waarnemingen die ten tijde van de bemonstering opvielen zijn:

1. In de raaien B, C en D is de bodem ter hoogte van monsterpunten 2 en 3 en deels ook 1 zeer stenig. Deels kon daar niet de volledige laag van 0 tot 20 cm bemonsterd worden (deels 0-10 monster genomen);
2. Verschillen in vegetatie (soorten en dichtheid) lijken deels bepaald door de ligging (hoogte). Wel lijkt de vegetatie ter hoogte van de kogelvangens (vooral de ondergroei) minder dicht dan elders en is ook beperkt in soortensamenstelling (vooral braam);
3. Er zijn weinig of geen resten van munitie aangetroffen, de bodem lijkt grotendeels 'normaal' d.w.z. niet vermengd of verstoord (afgezien van het kunstmatige hoogteprofiel langs de schietbanen en ter plekke van de kogelvanger).

2.2 Voorbehandeling en uitgevoerde analyses

Na vervoer van de monsters naar Wageningen zijn deze bij 4 graden gekoeld bewaard totdat ze, binnen 3 dagen, gedroogd (48 uur bij 40 graden) en gezeefd (zeefgrootte < 2 mm) zijn. De op deze manier gedroogde en gezeefde monsters zijn vervolgens gebruikt in de verschillende analyses.

Voor het bepalen van de geochemische en biologische beschikbaarheid, zijn naast de totaalgehalten aan metalen met Koningswater (Aqua Regia), twee aanvullende metingen gedaan, namelijk een 1:10 extractie met verdund salpeterzuur (0,43N HNO₃; Rodrigues et al., 2018) en een 1:10 extractie met een verdunde zoutoplossing (0,01 M CaCl₂; Houba et al., 1996). Van beide methoden is aangetoond (referentie) dat deze zowel een goede schatting maken van de fractie van zware metalen die potentieel beschikbaar is (0,43 N HNO₃; Groenenberg et al., 2017) als die fractie die werkelijk door organismen kan worden opgenomen (0.01 M CaCl₂) danwel kan uitspoelen naar dieper gelegen bodemlagen. De hoeveelheid metalen in de extractie in CaCl₂ wordt ook wel als redelijke benadering voor de concentratie in het bodemvocht beschouwd (Degryse et al., 2003). Het verkrijgen van een in-situ bodemvocht monster is namelijk zeer tijdrovend en niet altijd mogelijk (bijvoorbeeld in droge omstandigheden) waardoor vaak deze extractie als benadering gebruikt wordt. In aanvulling op de drie elementen die in verhoogde gehalten aangetroffen zijn (lood, koper en antimoon) zijn ook de totaalgehalten aan chroom, kobalt en vanadium gemeten als indicatoren van mogelijke andere bronnen van verontreiniging. Voor de bepaling van de concentraties in de extracten is gebruik gemaakt van ICP-OES (Aqua Regia voor Co, Cr, Cu en Pb; HNO₃ voor Co, Cr, Cu en Pb; CaCl₂ voor Cu en Pb) of ICP-MS (Aqua Regia voor Sb en V; HNO₃ en CaCl₂ voor Sb extracten).

Daarnaast zijn ook zuurgraad (pH gemeten in een 1:10 m/v extract met 0.01 M CaCl₂), organische stof (LOI, Loss on Ignition: massaverlies na gloeien van een monster bij 550 graden), en opgelost koolstof (DOC, Dissolved Organic Carbon) bepaald. Deze laatste is gemeten in het CaCl₂ extract dat ook gebruikt is om de biobeschikbare concentratie ('bodemvocht') te meten.

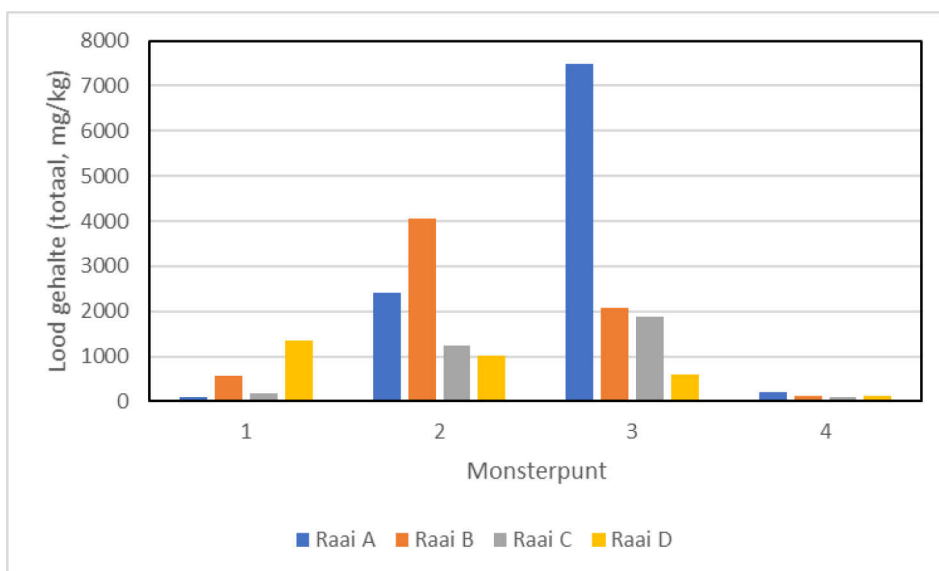
Zowel de voorbehandeling (drogen, zeven) als de extracties en metingen zijn verricht door medewerkers van het CBLB (Chemisch Biologisch Laboratorium) van Wageningen University volgens de daar gehanteerde protocollen en werkvoorschriften.

3 Resultaten bemonstering juli 2020

Een overzicht van de meetresultaten in alle monsters is opgenomen in Bijlage 1. Als voorbeeld van de variatie aan gemeten gehalten voor de onderzochte metalen staat in Figuur 3 het verloop van de gehalten aan lood in de onderzochte raaien. Dit betreft de gemiddelde gehalten per monsterpunt. Monsterpunt is steeds op pm 50 van de kogelvanger gelegen, monsterpunt 4 is de referentie gelegen achter de kogelvanger (pm 50 – 75 meter). Monsterpunt 2 is de voet van de kogelvanger en monsterpunt 3 is op de kogelvanger gelegen. Elke balk in Figuur 3 is daarbij het gemiddelde van twee aparte mengmonsters genomen op pm 3 tot 5 meter van elkaar.

Dit beeld bevestigt de eerdere waarnemingen (Geonius, 2018) namelijk dat er sprake is van zeer grote verschillen aan de gehalten aan lood, koper en antimoon op (zeer) korte afstand. Daarbij worden in alle raaien de hoogste concentraties aangetroffen op of aan de voet van de kogelvallers (monsterpunten 2 en 3). Voor alle raaien geldt dat de gehalten in monsterpunt 4 en deels in monsterpunt 1 veel lager zijn ($100 - 200 \text{ mg kg}^{-1}$) ofschoon dergelijke gehalten nog steeds hoger zijn dan normale gehalten aan lood in lössgronden (Mol et al., 2012). Ook het actualiserend onderzoek (Geonius, 2018) toont aan dat in monsterpunten buiten de hier onderzochte raaien gemiddeld lagere gehalten ($10 - 50 \text{ mg kg}^{-1}$) in de bovengrond voorkomen die meer in lijn liggen met normale achtergrondgehalten van lood. Dit suggereert daarmee dat de aangetroffen gehalten in monsterpunten 4 nog steeds in meer of mindere mate beïnvloed zijn door depositie van metalen afkomstig van de schietbaan. Tot waar deze invloed strekt, is op basis van beschikbare data niet vast te stellen.

De hier gerapporteerde verhoogde totaalgehalten voor lood, koper en antimoon bij en op de kogelvallers komen goed overeen met de gehalten zoals gerapporteerd in het actualiserend bodemonderzoek (Geonius, 2018).



Figuur 3 Verloop van loodgehalten in monsterpunt 1 t/m 4 van de raaien A t/m D.

In Tabel 1 staat een overzicht van de gemeten gehalten (totaal, reactief en biobeschikbaar) alsmede de bodemeigenschappen pH, organisch stof en DOC. Tevens is daarbij de ratio tussen de reactieve (gemeten in 0.43 N HNO_3) en de totale (Aqua Regia) hoeveelheid metaal opgenomen. Dit is een maat voor de hoeveelheid van de metalen die uiteindelijk kunnen uitspoelen of beschikbaar kunnen zijn voor planten.

Tabel 1 Overzicht van de meetwaarden per monsterpunt in de raaien A t/m D.

Raai #	Plek	Lood				Antimoon				Koper							
		pH	DOC	SOM	Totaal	Reactief	Ratio ¹	Bio ²	Totaal	Reactief	Ratio ¹	Bio ²	Totaal	Reactief	Ratio ¹	Bio ²	
		-	mg C L ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-	µg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-	mg kg ⁻¹	
A	1	baan	3.4	37	15.5	101	81	81%	1.5	2.4	0.1	4%	9.0	23	9.5	42%	0.2
	2	voet vanger	4.1	15	4.8	2407	2328	98%	239.1	70.7	12.4	15%	589.5	145	119.4	85%	10.1
	3	vanger	4.2	12	4.8	7486	6273	83%	493.0	201.5	39.0	19%	1475.0	297	180.5	61%	13.5
	4	referentie	3.3	34	16.0	203	146	72%	3.4	3.9	0.2	5%	20.0	25	11.5	47%	0.2
B	1	baan	3.7	18	5.0	582	444	78%	51.3	15.7	1.4	9%	164.0	35	21.3	60%	1.7
	2	voet vanger	4.1	18	5.9	4044	3784	91%	369.8	126.2	13.1	8%	317.0	146	100.1	67%	10.1
	3	vanger	3.7	26	8.8	2063	1668	79%	145.1	91.5	8.4	9%	252.5	111	68.9	60%	6.6
	4	referentie	3.6	20	10.2	122	97	80%	2.4	2.0	0.1	5%	7.0	19	12.2	55%	0.4
C	1	baan	3.5	22	11.3	178	143	80%	4.4	5.2	0.2	3%	11.0	22	8.0	36%	0.2
	2	voet vanger	3.8	16	5.5	1234	990	79%	81.7	34.3	3.9	12%	290.5	57	31.9	56%	2.1
	3	vanger	3.8	15	5.3	1871	1846	98%	190.0	75.3	10.3	13%	327.5	71	51.8	72%	4.6
	4	referentie	3.5	27	13.2	110	80	73%	1.5	2.2	0.1	4%	8.5	11	3.7	33%	0.1
D	1	baan	3.5	24	10.8	1344	1140	84%	49.3	44.6	5.9	11%	293.5	85	52.3	59%	1.9
	2	voet vanger	3.6	29	10.9	1025	949	90%	40.5	29.6	2.7	7%	210.5	75	50.7	59%	2.3
	3	vanger	3.6	27	9.4	599	493	86%	25.1	18.3	1.3	6%	216.0	34	22.0	58%	1.0
	4	referentie	3.6	32	10.4	117	98	81%	2.3	3.0	0.2	7%	23.5	10	4.5	44%	0.1

¹ ratio van reactief t.o.v. totaal.

² meting met 0.01 M CaCl₂ in mg.kg (of µg.kg voor Sb). Voor omrekenen naar concentratie in µg.L de waarde voor koper en lood vermenigvuldigen met 100, die voor Sb delen door 10.

De data in Tabel 1 tonen aan dat de pH-CaCl₂ zeer laag is, de bodems zijn zonder uitzondering zeer zuur, met meetwaarden tussen 3.3 en 4.5 (gemiddeld 3.7). Daarbij is er geen verschil te zien tussen monsters 1, 2 en 3 (schietbanen) en monster 4 (referenties).

Dergelijke lage pH waarden komen overeen met metingen in het Wijlrebos, eveneens een ontcalcite lössbodem (Hommel et al., 2016) en kunnen daarom als 'normaal' beschouwd worden voor deze hellingbossen, gepaard gaande met een lage productie (zie Hoofdstuk 5) en relatief soortenrijke vegetatie.

De gehalten aan organische stof (OS) variëren aanzienlijk van 3 tot 15%. Hogere waarden werden gemeten in monsters waarbij de bodem alleen vrij oppervlakkig bemonsterd kon worden (ondoordringbaar, grond bestond grotendeels uit grind); hier is dus relatief veel humusrijkere top laag bemonsterd. De hoeveelheid organische stof in oplossing (DOC) is laag tot normaal voor lössgronden (15 – 35 mg C L⁻¹). Op basis van deze beperkte dataset kan geen uitspraak gedaan worden of de afbraak van organisch materiaal tot opgelost koolstof door de bodemverontreiniging is aangetast.

Wel tonen de data dat dat de variatie in organische stof in de bodem een verband vertoont met de mate van verontreiniging, waarbij erg lage waarden aan organische stof gemeten zijn in monsterpunten 2 en 3 (de schietbanen en kogelvangsters) en gemiddeld hogere gehalten aan organische stof in de referenties (monster 4).

Dit lijkt echter niet het gevolg van een verstoorde opbouw van organische stof als gevolg van de verontreiniging maar waarschijnlijk het gevolg van het vergraven bodemprofiel in en rondom de schietbanen. Door de aanleg van deze banen zijn de van nature wat hogere gehalten aan organische stof in de bovengrond in monsterpunten 2 en 3 vermengd geraakt met ondergrondmateriaal met lage gehalten aan organische stof.

Tot slot kan ook de variatie van de monsterdiepte nog van invloed zijn, in sommige monsters waarbij sprake was van een zeer stenige ondergrond en varieert de monsterdiepte. In geval van oppervlakkige monsters kan het aandeel organische stof groter zijn dan wanneer een dikkere laag bemonsterd is. In het algemeen was de organische stof rijke bovengrond vrij dun (< 5 cm). Voor de meeste monsters in de referentiemonsters geldt dat deze wel van 0 tot 25 cm bemonsterd zijn en dus representatief voor de hele laag.

De invloed van organische stof op de pH van de monsters is groot en de gehalten aan OS zijn gecorreleerd aan de pH, waarbij de laagste pH waarden gevonden worden in de gronden met het hoogste gehalten aan OS. Ook al zijn de gemeten waarden van de zuurgraad pH in de bodem van de Dellen zeer laag, voor bosgronden en dan met name in de minerale bodemlaag net onder de strooisellaag zijn pH-waarden van 4 of lager niet uitzonderlijk en niet noodzakelijk gerelateerd aan de verontreiniging. Ook in niet verontreinigde bosgronden kunnen zeer lage (pH < 4) waarden in de strooisellaag voorkomen, zoals voor lössgronden is aangetoond door Hommel et al. (2016). Daarbij werkt de strooisellaag vaak sterk verzurend voor de daaronder gelegen bodemlagen. Onder meer doordat organische zuren (DOC) uit het organisch materiaal de daaronder liggende laag doen verzuren.

3.1 Metaalgehalten in de onderzochte monsters

Het loodgehalte (totaal, gemeten met Koningswater of Aqua Regia) varieerde van 100 tot 200 mg kg⁻¹ in de referenties (monsterpunten 4 in raai A – D) tot incidenteel meer dan 7000 mg kg⁻¹ op een kogelvangster. De sterk verhoogde bodemgehalten zijn in overeenstemming met die gevonden in andere schietterreinen van Defensie, zoals vermeld in Mesman et al. (2014). De variatie in gehalten komt ook overeen met de onderzoeksresultaten van Geonius voor het gebied. Dit betekent onder meer dat er geen reden is om de door Geonius (2018) berekende contourplots van de omvang van de verontreiniging ter discussie te stellen voor de schatting van de omvang van de verontreiniging. Uiteraard geldt daarbij het voorbehoud dat zowel de monsterstrategie als monsterdiepte die in de voorliggende studie is gevolgd afwijken van die van Geonius (2018).

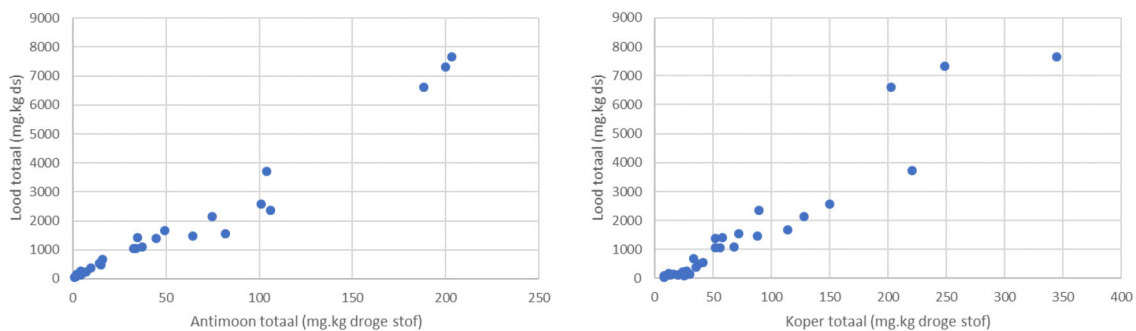
De totaalgehalten aan lood in de referentieplekken zijn twee tot vijf keer hoger dan de mediane waarden voor lössgronden van Nederland (40 mg kg^{-1} , Mol et al., 2012; noot: het aantal monsters uit lössgronden in Mol et al. (2012) is minder dan 10, er kan daarom geen 95-percentiel waarde afgeleid worden). Ook eerdere metingen aan lood in lössgronden in gebruik als akkerbouwgrond nabij Wijnandsrade laten lagere gehalten aan lood in de bovengrond zien (Römkens et al., 2004). Verder gegevens over 'normale' gehalten aan lood in niet belaste bodems zijn op dit moment niet beschikbaar bij het opstellen van het rapport.

Deze hogere waarden in de referentieplots (monsters A4, B4, C4 en D4) lijken te duiden op een herkomst van de schietbanen. Dit is echter indirect afgeleid van de veelal lagere totaalgehalten zoals gerapporteerd door Geonius (2018) in een ander deel van het gebied (boringen uit de 100 serie uit het rapport uit 2018). Tot waar de invloed van de schietbanen op de loodgehalten buiten de baan zelf reikt kan op grond van deze data of die van het Geonius onderzoek niet afgeleid worden. Daarvoor zouden monsters op grotere afstand van de schietbanen en ook buiten de begrenzing van het voormalig OT genomen moeten worden. Wellicht beschikt ook de Provincie over aanvullende metingen in niet specifiek belaste lössgronden.

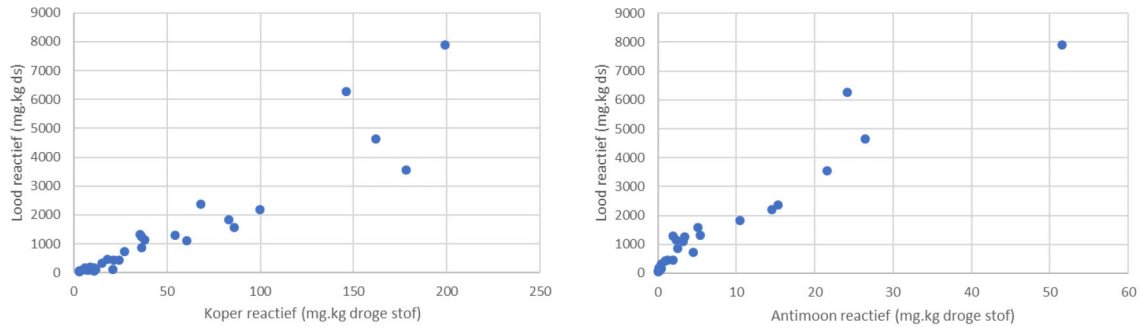
In twee schietbanen (raai A en C) lijkt de verontreiniging vooral geconcentreerd in en rondom de kogelvanger en de voet daarvan), terwijl in raai B en D ook verhoogde gehalten in monsterplek 1 zijn gevonden.

De variatie in de twee afzonderlijke monsters per monsterplek in alle schietbanen kan op korte afstand zeer groot zijn (zie Bijlage 1 voor de meetresultaten van alle afzonderlijke monsters). Zo varieert het loodgehalte in monsterplek A2 en B2 van 1100 tot 3700 (A2) en van 1500 tot 6600 (B2). Dezelfde mate van variatie wordt ook gevonden voor koper en antimoon en is dus duidelijk gerelateerd aan de variatie van de hoeveelheid munitieresten die in de bodem aanwezig zijn. In de referentiemonsters is deze variatie veelal klein.

In vrijwel alle monster is de relatie tussen lood, koper en antimoon overigens zeer sterk zoals weergegeven in Figuur 4 voor het totaalgehalte en Figuur 5 voor het reactieve gehalte.



Figuur 4 Relatie tussen totaalgehalten aan antimoon en lood (links) en die tussen koper en lood (rechts).



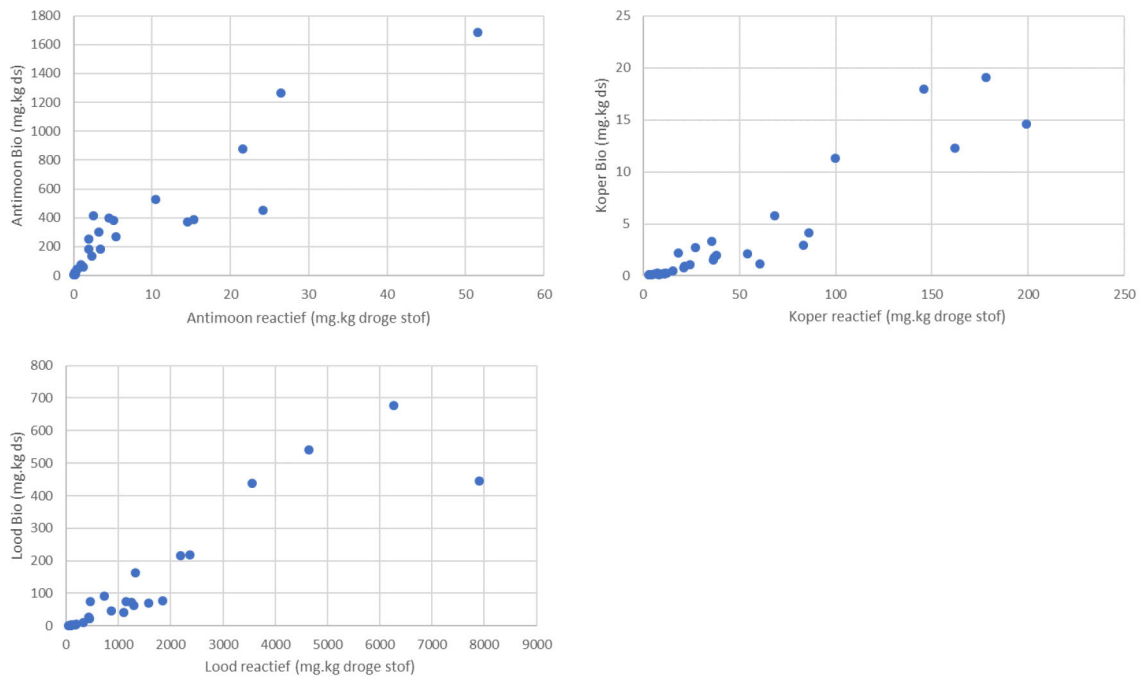
Figuur 5 Relatie tussen reactieve gehalten aan antimoon en lood (links) en die tussen koper en lood (rechts).

In de schietbanen en op de kogelvangsters is de chemische (potentiële) beschikbaarheid van lood (gemeten in verdund salpeterzuur) zeer hoog. In Tabel 1 is dit aangeduid met 'ratio' en is de verhouding tussen de hoeveelheid lood (of andere metalen) gemeten in verdund salpeterzuur ten opzichte van die in koningswater (Aqua Regia). In de meeste monsters (monsterpunten 1, 2 en 3 van de raaien) ligt deze ratio tussen 80 en 100%. De metalen in de bodem zijn daarom zodanig beschikbaar dat deze op termijn kunnen uitspoelen en/of opgenomen kunnen worden door biota (zie verder hieronder). In de referenties (monsterpunt 4) is het aandeel reactief 70–80% van het totaalgehalte lood. Dit komt overeen met de landelijk standaard gehanteerde correctiefactor van 74% voor gronden met een aantoonbare loodverontreiniging zoals stadsbodems (Hagens et al., 2008).

De hoeveelheid lood geëxtraheerd met CaCl_2 is een veel gehanteerde maat voor het inschatten van effecten op organismen en de concentratie in het water dat uitspoelt. In de onderzochte monsters is deze concentratie hoog tot zeer hoog en varieert van 2 tot 15% van de totale of reactieve hoeveelheid daar waar dat in niet belaste gronden veelal minder dan 0.1% is (Mol et al., 2012). Dit betekent dat het lood biologisch zeer beschikbaar is en zeer mobiel, en met regenwater naar dieper gelegen lagen zal uitspoelen.

Ofschoon dergelijke waarden voor de beschikbaarheid van lood in niet belaste gronden en zelfs in stedelijke bodems niet vaak aangetroffen wordt, zijn dergelijke waarden aan CaCl_2 extraheerbaar lood door Mesman et al. (2014) eerder gerapporteerd in andere schietterreinen. Deze waarden zijn daarmee typerend voor de hoge mate van chemische en biologische beschikbaarheid van lood in schietterreinen op (zeer) zure bodems.

Uit de relatie tussen de reactieve hoeveelheid lood en de biologisch beschikbare hoeveelheden lood, maar ook antimoon en koper, blijkt dat een groot deel van de variatie in de hoeveelheid gemeten in CaCl_2 verklaard wordt door de hoeveelheid reactief metaal (zie Figuur 6). In niet belaste bodems is deze relatie veelal zwakker en wordt de beschikbaarheid bepaald door de combinatie van bodemeigenschappen (m.n. zuurgraad (pH), textuur (kleigehalte) en organische stof) en reactief metaalgehalte (Römkens et al., 2004). Omdat in de onderzochte monsters de zuurgraad en textuur (noot: niet bepaald maar veelal lössgrond met een beperkte range in kleigehalte) niet heel verschillend zijn, bepaalt de grote variatie in reactief lood (extraheerbaar met 0.43 N HNO_3) in hoge mate de beschikbaarheid.



Figuur 6 Relatie tussen reactief metaalgehalte voor antimoon, koper en lood en biobeschikbare fractie.

Toch draagt de variatie in pH en organische stof bij aan de variatie aan biobeschikbaar lood. In Dat kan deels verklaard worden door de zeer lage pH waarden in deze bodems. DOC gedraagt zich namelijk als een zwak zuur en met name bij pH waarden boven 5 neemt daardoor de binding van lood en koper aan DOC sterk toe. Bij lagere pH waarden is een groot deel van de lading van DOC bezet met H⁺ ionen en binden koper en lood daarom minder aan DOC.

In Tabel 2 staan de modelcoëfficiënten voor de voorspelling van de biobeschikbare hoeveelheden aan lood, koper en antimoon volgens onderstaande vergelijking:

$$\text{Log}[\text{Metaal}_{\text{biobeschikbaar}}] = A + b * [\text{Metaal}_{\text{AR of HNO}_3}] + c * \text{pH}_{\text{CaCl}_2} + d * \text{log}[\text{organische stof}] \quad [\text{Verg. 1}]$$

Daarbij gebruiken we zowel het totaalgehalte (AR) als het reactieve gehalte (HNO₃) als maat voor de hoeveelheid metalen in de bodem.

Met deze parameters kan in totaal tussen 93 en 99% van de variatie in lood verklaard worden. Daarbij is het model voor lood gebaseerd op AR vrijwel gelijk aan dat voor HNO₃. Dat is op zich niet vreemd aangezien bijna 100% van de hoeveelheid gemeten met AR ook in HNO₃ gemeten wordt. Dit is in niet belaste gronden vaak niet het geval (Römkens et al., 2004).

Voor koper en antimoon is het model gebaseerd op HNO₃ iets beter dan dat gebaseerd op AR ofschoon de verschillen zeer klein zijn. Ook voor koper en antimoon geldt in deze monsters dat de hoeveelheid gemeten met AR zeer sterk gecorreleerd is aan die gemeten met HNO₃ hetgeen verklaart dat de modellen vrijwel identiek zijn.

In deze studie zijn ook de gehalten aan opgelost koolstof (DOC) gemeten omdat DOC in veel gevallen medebepalend is voor de beschikbaarheid van met name lood en koper (Römkens et al., 2004). Omdat koper en lood sterk binden aan DOC neemt in veel gronden de concentratie gemeten met CaCl₂ toe met DOC.

Uit de resultaten van de modelanalyse blijkt echter dat DOC in deze gronden geen significante bijdrage levert aan de verklaring van de variatie aan de gemeten gehalten aan lood, koper en antimoon in CaCl₂. Dat kan deels verklaard worden door de zeer lage pH waarden in deze bodems.

DOC gedraagt zich namelijk als een zwak zuur en met name bij pH waarden boven 5 neemt daardoor de binding van lood en koper aan DOC sterk toe. Bij lagere pH waarden is een groot deel van de lading van DOC bezet met H⁺ ionen en binden koper en lood daarom minder aan DOC.

Tabel 2 Parameters voor de voorspelling van biobeschikbaar lood, koper en antimoon op basis van totaal (AR) of reactief (HNO₃) gehalte met pH en organische stof gehalte volgens vergelijking 1.

		Int (A)	Metaal (b)	pH (c)	SOM (d)	correlatie-coëfficiënt	se(Y) ¹	F ²
Pb	AR	-0.07	1.32	-0.36	-0.99	0.99	0.10	899
	HNO ₃	0.44	1.27	-0.41	-1.08	0.99	0.10	817
Cu	AR	-0.44	1.46	-0.27	-1.04	0.96	0.15	238
	HNO ₃	-0.15	1.20	-0.18	-0.91	0.97	0.13	324
Sb	AR	2.66	1.02	-0.35 ³	-0.77	0.93	0.21	133
	HNO ₃	2.93	0.85	-0.22	-0.28	0.95	0.18	198

¹ standaard fout van de voorspelde waarde (op log getransformeerde schaal).

² significantie van het model, een hogere waarde duidt op een sterkere significantie.

³ ofschoon antimoon als anion in de bodemoplossing aanwezig is en daardoor verwacht wordt dat de adsorptie afneemt bij hogere pH, blijkt dit niet uit de data en gedraagt Sb in deze bodems zich hetzelfde als lood en koper wanneer de pH verandert.

Naast de gehalten aan koper, antimoon en lood zijn ook de totaalgehalten van chroom, kobalt, en vanadium bepaald. Geen van deze elementen blijkt in verhoogde gehalten aanwezig te zijn (zie Bijlage 1). De gehalten aan kobalt, chroom of vanadium zijn ook niet gecorreleerd met die van lood, antimoon of koper.

4 Verspreidingsrisico's en ecotoxicologische risico's van lood, koper en antimoon

4.1 Modelmatige evaluatie van verspreidingsrisico's

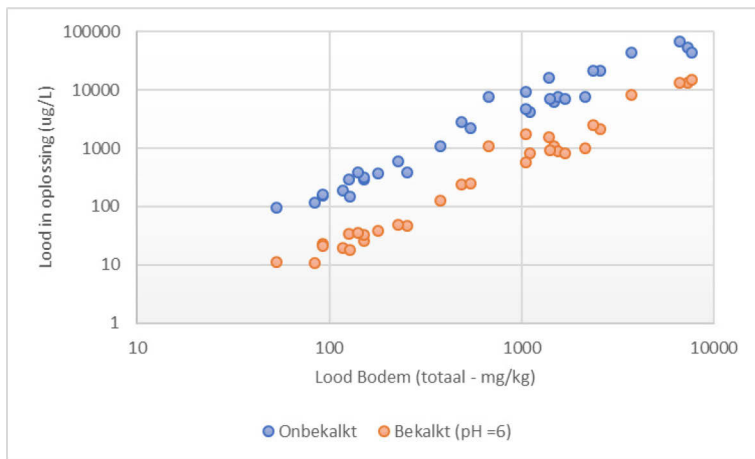
Vanwege de sterk verhoogde gehalten aan koper, lood en antimoon in het bodemvocht (CaCl₂ metingen) is de beschikbaarheid voor organismen en de kans op uitspoeling van deze metalen groot. In dit hoofdstuk passen we de modellen (conform vergelijking 1 en coëfficiënten in Tabel 2) toe om de verspreiding van de drie metalen naar dieper gelegen bodemlagen te voorspellen onder de huidige condities. Dat geeft inzicht in de kans dat, op termijn, verhoogde gehalten aan lood, koper of antimoon in diepere bodemlagen of zelfs het grondwater aangetroffen kunnen worden.

Voor veel kationische (positief geladen) metalen zoals koper en lood geldt dat beheer van de zuurgraad door bekalken een manier is om de beschikbaarheid te verlagen. Bij een hogere pH neemt de binding van positief geladen metalen aan de negatief geladen vaste bodemdelen (klei, organische stof) toe en zal er minder in het bodemvocht aanwezig zijn.

Voor anionen als antimoon werd verwacht dat de concentratie in oplossing zou toenemen met een stijging van de pH maar de data in Tabel 2 laten zien dat de coëfficiënt voor de pH net zoals bij lood en koper negatief is wat suggereert dat de concentratie in oplossing afneemt bij hogere pH. Dat betekent dat bekalken in dat geval juist leidt tot een verhoging van de concentratie in het bodemvocht. Omdat bij de scenario's sprake is van extrapolatie van de pH buiten de range van de gemeten waarden moeten daarom de (afwijkende) modelresultaten van met name antimoon met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Op basis van de afgeleide modellen die de beschikbaarheid van lood beschrijven zou een verhoging van de pH van 3.5 naar 6.5 een daling van de beschikbaarheid van lood met een factor 8 a 10 kunnen betekenen. Hierbij moet wel bedacht worden dat het model zoals gegeven in Tabel 2 afgeleid is van data waarbij de pH varieert van 3.3 tot 4.5. Extrapolatie naar pH 6.5 om een concentratie te berekenen is, valt buiten het bereik van dit gevalideerde omrekeningstraject en is daarom methodologisch onjuist zonder te evalueren of de coëfficiënt voor de pH ook buiten dit bereik geldig is.

Bestaande modellen die afgeleid zijn van een veel groter bereik aan pH waarden (Römkens et al., 2004) laten echter ook zien dat het effect van het verhogen van de pH van 3.5 naar 6.5 in de orde van grootte van een factor 10 ligt. Dat wil zeggen dat de te verwachten gehalten in het bodemvocht met een factor 10 zullen dalen bij pH 6.5 t.o.v. pH 3.5. Op basis van deze evaluatie van de coëfficiënt voor de pH concluderen we vooralsnog dat het model afgeleid van de monsters uit 'De Dellen' toepasbaar is om pH effecten te simuleren. In Figuur 7 is het effect van bekalken op de concentratie aan lood in het bodemvocht voor alle individuele monsters weergegeven. Daarbij zijn de blauwe symbolen de gemeten gehalten in CaCl₂ en de oranje de berekende waarden voor diezelfde monsters waarbij de pH op 6.5 is gesteld. Gemiddeld daalt het gehalte aan lood in het bodemvocht dan met een factor 8, maar deze daling varieert van een factor 3 tot een factor 12 (noot: de waarden op de X- en de Y-as zijn op een logaritmische schaal weergegeven vanwege de grote range in de metingen).



Figuur 7 Effect van bekalken op de concentratie aan lood in het bodemvocht (extractie met CaCl_2).

Ondanks deze duidelijke verlaging van de beschikbaarheid van lood bij bekalken, zijn de berekende concentraties die dan bereikt zouden worden nog steeds zeer hoog wanneer we deze vergelijken met data. Zo rapporteert de Geochemische Bodematlas van Nederland (Mol et al., 2012) voor lood in lössgronden een maximale concentratie in CaCl_2 van 3 microgram per liter. De berekende loodconcentraties in de monsters van 'De Dellen' bij een pH van 6.5 variëren van 10 tot ruim $1600 \mu\text{g L}^{-1}$ (mediaan $250 \mu\text{g L}^{-1}$) wat aantoont dat na bekalken de concentraties nog ver boven normaal zullen zijn. Voor blootstelling betekent dit weliswaar dat de absolute concentraties een factor 8 lager zouden komen liggen (maar deze zijn extreem hoog) waardoor organismen die voornamelijk in contact staan via poriewater minder blootgesteld zullen worden. Organismen die ook via consumptie van grond lood binnenkrijgen zullen geen effect ondervinden van bekalken anders dan dat de pH van de grond hoger is.

Risicobeheer m.b.t. uitspoeling:

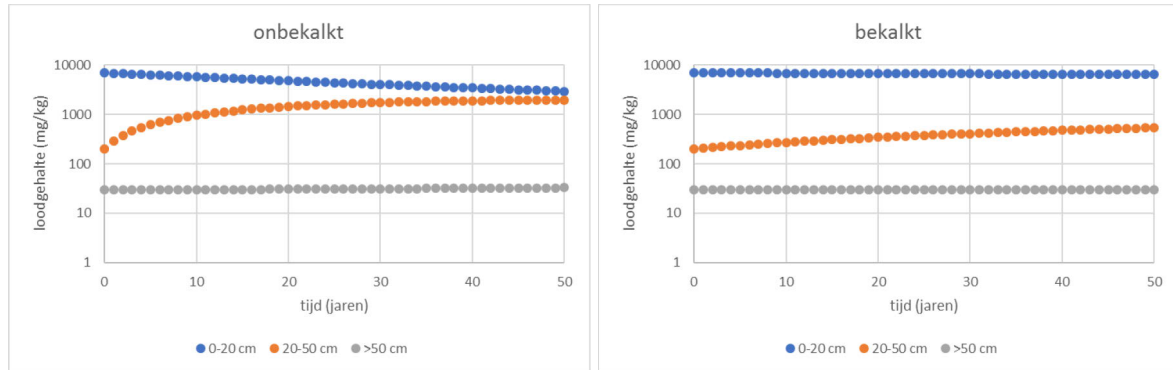
Door de hoge beschikbaarheid kan lood (en ook antimoon en koper) makkelijk met regenwater uitspoelen naar dieper gelegen bodemlagen. Om de effecten van bekalken op beschikbaarheid en mobiliteit van lood op voorhand te kunnen inschatten zijn modelberekeningen uitgevoerd. Op basis van een theoretisch bodemprofiel bestaande uit drie lagen en er van uitgaande dat er geen nieuwe aanvoer van lood is (o.a. vanuit de lucht), kunnen we de uitspoeling van lood als functie van de tijd simuleren. Daarbij kunnen we dan ook de effecten van bekalken simuleren met het oog op verspreiding en emissie naar diepere bodemlagen of grondwater (noot: grondwater staat in dit gebied zeer laag, waarschijnlijk (veel) dieper dan 10 meter beneden maaiveld. Het op geologische tijdschaal optredende bodemvormend proces van oppervlakkige ontkalking en verzuring van de löss in de bovengrond als gevolg van infiltrerende neerslag is sinds de laatste ijstijd naar verwachting tot 2-3 meter beneden maaiveld gevorderd. Beneden dat front is de pH van het oorspronkelijke moedermateriaal hoger, en zal de mobiliteit van opgelost lood e.a. metalen verminderen, cq. stagneren. Uitspoeling naar het grondwater op grotere diepten zal daarom naar verwachting nauwelijks optreden). De modelscenario's geven de resultaten van bekalken zoals die zich na verloop van 50 jaar zouden kunnen manifesteren.

In Tabel 3 staan de bodemeigenschappen weergegeven zoals we die hebben aangenomen m.b.t. het kunstmatig bodemprofiel, naar realiteit gebaseerd op gemeten gehalten in de kogelvangsers. Daarbij is aangenomen dat de pH in de ondergrond (> 50 cm) iets toeneemt, maar nog steeds ontkalkt is (pH 5). Verder nemen we gemakshalve aan dat deze derde laag homogeen is tot een diepte van 10 meter.

Het effect van bekalken simuleren we door de pH van de laag van 0 – 50 cm op 6.5 vast te zetten. Daarbij blijft de pH van de laag > 50 hetzelfde (5).

Tabel 3 Bodemeigenschappen zoals gebruikt in een scenariostudie voor de effecten van bekalken.

Laag	diepte vanaf (cm)	diepte tot (cm)	Lood gehalte (mg kg ⁻¹)	pH CaCl ₂	SOM (%)
Top	0	20	7000	3.5	5
Midden	20	50	200	4	2
Onder	50	1000	30	5	0.5



Figuur 8 Verandering in loodgehalte in de vaste fase van de drie bodemlagen zonder bekalken (links) en in een scenario met bekalken waarbij de 0-50 cm laag naar pH 6.5 gebracht wordt.

In onderstaande tabel staan de verwachte loodgehalten in de bodem voor beide scenario's na 50 jaar.

Tabel 4 Overzicht van de verandering in de gehalten aan lood in de drie bodemlagen met en zonder bekalken voor een bodem met 7000 en 1000 mg kg⁻¹ lood op t=0.

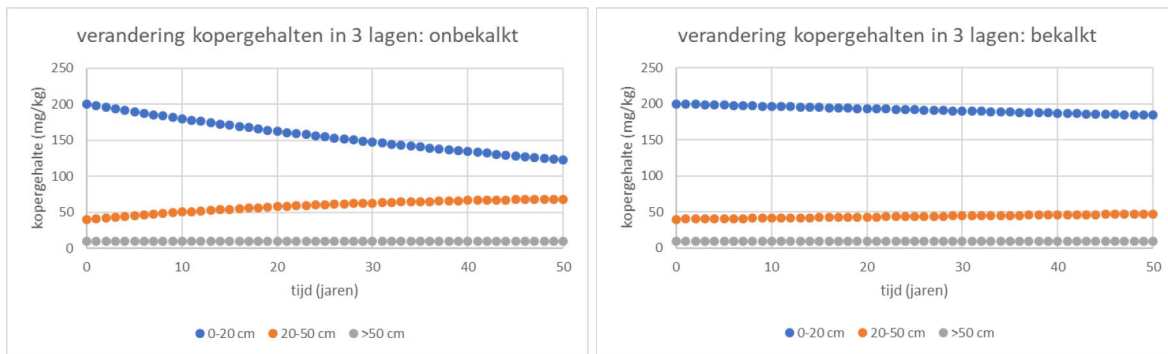
Diepte (cm)	t=0	t=50		t=0	t=50	
		Pb t=0: 7000 Niet bekalkt	Pb t=0: 7000 0-50 cm bekalkt		Pb t=0: 1000 Niet bekalkt	Pb t=0: 1000 0-50 cm bekalkt
0-20	7000	2955	6462	1000	611	957
20-50	200	1953	539	200	345	219
>50	30	33	30	30	30	30

Een voorzichtige conclusie op basis van deze analyse is dat door bekalken vooral de gehalten in de bovenste lagen beïnvloed worden. Door de hoge beschikbaarheid zal in geval van de lage pH (niet bekalkt) het gehalte zeer sterk dalen (van 7000 naar ongeveer 3000 mg kg⁻¹ in 50 jaar) maar zal als gevolg hiervan het gehalte in de 20-50 laag sterk toenemen, van 200 naar bijna 2000 mg kg⁻¹.

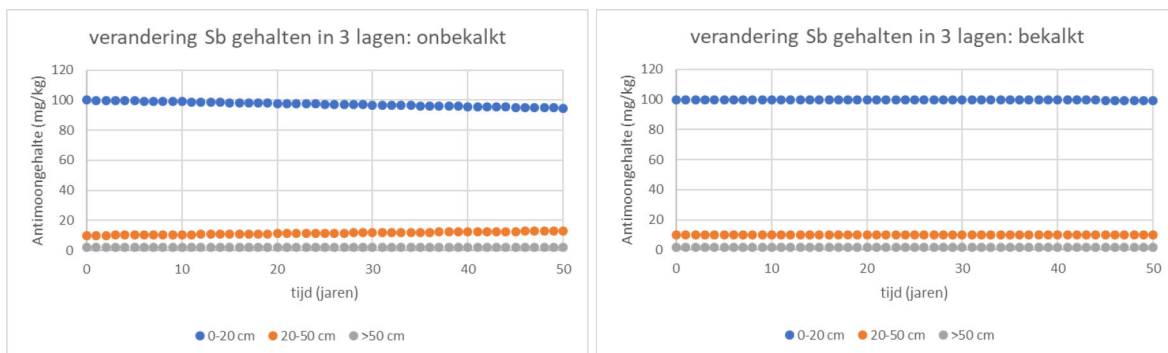
Bekalken vermindert de uitspoeling uit de 0-20 cm laag sterk, maar dat betekent dus automatisch dat de gehalten in de bovengrond (0-20 cm) hoog blijven (pm 6500 mg kg⁻¹) maar ook zonder bekalken zijn ze na 50 jaar nog steeds extreem te noemen. Voor de ondergrond (> 50 cm) maakt bekalken niet heel veel uit, wat suggereert dat emissie naar (nog dieper) grondwater zeer beperkt zal blijven.

Voor koper en antimoon gelden feitelijk dezelfde conclusies waarbij geldt dat voor zowel koper als antimoon de verspreiding naar diepere lagen minder sterk is dan voor koper. Dat komt grotendeels omdat de gehalten voor beide metalen minder extreem zijn en ook de beschikbaarheid (concentratie in bodemvocht) minder hoog is. Voor Sb en Cu zijn dezelfde scenarioberekeningen uitgevoerd (met en zonder bekalken).

De resultaten staan in Figuur 9, en Figuur 10 en Tabel 5, samengevat.



Figuur 9 Verandering van kopergehalte in de bodem zonder bekalken (links) en met bekalken (rechts).



Figuur 10 Verandering van antimoongehalte in de bodem zonder bekalken (links) en met bekalken (rechts).

Tabel 5 Gehalten aan koper en antimoon na 50 jaar met en zonder bekalking.

Diepte (cm)	Koper			Antimoon		
	t=0	t=50 Niet bekalkt	t=50 0-50 cm bekalkt	t=0	t=50 Niet bekalkt	t=50 0-50 cm bekalkt
0-20	200	123	187	100	94.7	99.5
20-50	40	68	49	10	13.0	10.3
>50	10	10.1	10.0	2	2.2	2.0

Voor zowel koper als antimoon geldt dat de belasting van de ondergrond als gevolg van uitspoeling vrij gering zal zijn, de veranderingen in de laag > 50 zijn vrijwel verwaarloosbaar. Voor koper geldt, net als voor lood dat er wel een verschuiving naar de 20-50 cm laag optreedt waar dat voor antimoon veel minder het geval is.

De aanname in al deze berekeningen is dat de opgeloste metalen zich steeds in evenwicht bevinden met de bodem zelf. Dat wil zeggen dat de voorspelde vracht uit laag 1 zich in laag 2 opnieuw herverdeelt conform het evenwicht volgens de adsorptie isotherm (model). Met eventueel niet evenwicht (bijvoorbeeld metalen die met water tijdens extreme condities dieper in de bodem spoelen) wordt hier geen rekening gehouden.

De uitkomsten van de modellen voor wat betreft de uitspoeling van lood, koper en antimoon suggereren dat wanneer de grondwaterstand gemiddeld gedurende het jaar meer dan 20 a 30 meter -mv bedraagt, er binnen de gehanteerde termijn van 50 jaar weinig tot geen risico is voor emissie van metalen naar het grondwater.

4.2 Evaluatie van eerder ecotoxicologisch onderzoek

Door Mesman et al. (2014) is een uitvoerige evaluatie gemaakt van eerder uitgevoerd ecotoxicologisch onderzoek in verontreinigde terreinen van Defensie. Hier vatten we de belangrijkste kenmerken en conclusies samen die voor de interpretatie van de data en het inschatten van ecologische effecten voor OT 'De Dellen' relevant kunnen zijn.

Kenmerken van de 8 onderzochte terreinen in de studie van Mesman et al. (2014):

- Het bodemtype in De Dellen wijkt af van de andere locaties: waar dit elders overal zandgrond is, ligt De Dellen in een lössgebied met leemgrond en een duidelijk afwijkende textuur;
- In de meeste gevallen is ook in de acht terreinen alleen de 0-20 cm laag bemonsterd en zijn de resultaten daarom direct vergelijkbaar met de data in de studie in De Dellen;
- In 4 van de 8 terreinen is ook de zuurgraad bepaald. Deze varieert van (gemiddeld) 3.8 tot 5.1. Een groot deel van de monsters in deze 4 terreinen kent daarmee eenzelfde hoge zuurgraad als de grond in 'De Dellen';
- Het organische stof gehalte in de meeste monsters in 'De Dellen' is iets hoger (mediaan 8.5%) dan in de monsters in de 8 onderzochte terreinen;
- De totaalgehalten aan lood in de bovengrond aangetroffen in 'De Dellen' (range: 53 – 7650 mg kg⁻¹, mediaan: 600 mg kg⁻¹) gerapporteerd liggen in dezelfde range als die van 8 onderzochte terreinen (hoogste waarde voor lood varieert van 1400 tot 14000 mg kg⁻¹), ook qua oppervlakte dat verontreinigd is en waar sprake is van spoed komt overeen;
- De biobeschikbare gehalten (CaCl₂) aan metalen liggen in 'De Dellen' in dezelfde orde van grootte, dat wil zeggen, net als in de andere onderzochte terreinen varieert deze van waarden tussen 0 en 10 mg kg⁻¹ in de laag belaste delen (referenties) tot meer dan 600 mg kg⁻¹ in de monsters van de kogelvanger in raai B. Gebaseerd op de relatie tussen CaCl₂ extraheerbaar lood in een van de terreinen (DEF2) kon een indicatieve terugsaneerwaarde van pm 65 mg kg⁻¹ (lage criterium) tot ongeveer 200 mg kg⁻¹ (hoge criterium). Het lage criterium wordt in 14 van de 32 monsters overschreden, het hoge in 5 (uitsluitend monsters op en rond de kogelvangers in raai A, B en (één monster) C. Ook in terrein DEF 4 werd een vergelijkbaar kritisch gehalte (gerelateerd aan effect) in CaCl₂ van 55 mg kg⁻¹ gevonden, overeenkomend met een reactief (0.43 N HNO₃) gehalte van 635 mg kg⁻¹ bij pH 3.8 tot 1360 mg kg⁻¹ bij pH 4.9. Wanneer we de relatie tussen lood in 0,43 N HNO₃ en CaCl₂ gebaseerd op de monsters uit 'De Dellen' gebruiken, levert een kritisch gehalte van 55 mg kg⁻¹ in CaCl₂ een kritisch gehalte in 0.43 N HNO₃ van 775 mg kg⁻¹ op. Dit is daarmee goed vergelijkbaar met de kritische waarden uit Mesman et al. 2014.

Evaluatie van risico's gebaseerd op de vergelijking met de acht Defensie terreinen:

- Humane risico's zijn veelal beperkt vanwege de geïsoleerde ligging van de terreinen ofwel de gebruiksfunctie. In geval van 'De Dellen' is de gebruiksfunctie 'groen met natuurwaarde' maar is er ook sprake van een recreatief gebruik door wandelaars en mountainbikers. In beide gevallen blijft de conclusies uit Mesman et al. (2014) overeind dat dit niet leidt tot een significante humane blootstelling aan lood uit de bodem. Wat wellicht afwijkend is ten opzichte van de terreinen in het rapport van Mesman et al. (2014) is dat in 'De Dellen' een aantal wandel- en fietsroutes dwars over en langs de meest verontreinigde plekken komen namelijk de kogelvangers en de voet daarvan. Ook de aanwezigheid van touw in een van de eiken (schommel?) doet vermoeden dat deze plekken gebruikt worden (of werden) door spelende jeugd. Ofschoon de verblijftijd op dergelijke locaties waarschijnlijk niet lang is en daarmee de kans op blootstelling gering, kan het een overweging zijn om de bestaande routes om te leiden indien de kogelvangers in hun huidige vorm aanwezig blijven. Voor de meeste kogelbanen geldt dat deze overgroeid zijn met braamstruiken en niet erg toegankelijk zijn;
- Ecologische risico's van koper en antimoon worden als niet urgent beschouwd, voor de beoordeling van de risico's is daarom alleen lood van juridisch belang;
- Als generieke terugsaneerwaarde met betrekking tot ecologische risico's is een generieke HC50-eco afgeleid. Deze bedraagt 1.6 x 580 mg kg⁻¹ (voor de standaardbodem), ofwel 928 mg kg⁻¹. Dat betekent dat voor de OT 'De Dellen' een deel van de kogelbanen en het gebied rondom de kogelvangers deze waarde overschrijden. Dit komt ruwweg overeen met 0,6 ha zoals eerder ook door Geonius (2018) is berekend als zijnde het gebied met een toxische druk van meer dan 25%;

-
- De zeer hoge biobeschikbaarheid van lood zoals gemeten in de extractie met CaCl_2 is ook in andere schietterreinen gemeten. Op basis van de biobeschikbaarheid (de gemeten gehalten in CaCl_2) kan voorsnog echter geen eenduidig criterium voor ecologische risico's afgeleid worden, deels omdat de waarden sterk afwijken van die waarop bestaande risicogrenzen zijn afgeleid en dit in veel gevallen aquatische organismen betreft. Toch komt de ecologische grenswaarde gerelateerd aan 55 mg kg^{-1} lood in CaCl_2 extracten omgerekend naar reactief of totaal lood goed overeen met de eerder berekende 928 mg kg^{-1} ;
 - Effecten zoals bepaald met Microtox bioassays laten zien dat er in deze gronden veelal een directe relatie is tussen totaalgehalte en effect die in andere bodems veelal niet gevonden wordt. Ook dit komt overeen met de resultaten in deze studie waar een directe relatie tussen reactieve en biobeschikbare fractie (zie Figuur 6) is aangetoond (noot: deze laatste wordt weer geacht te correleren met effect zoals bepaald met o.a. een Microtox test) en is blijkbaar typerend voor dit soort gronden belast met lood;
 - Risico's op doorvergiftiging voor kleine zoogdieren worden als gering ingeschat (Mesman et al., 2014). Voor grote grazers die wellicht (zeer)incidenteel in het gebied foerageren rapporteren Mesman et al. (2014) grenswaarden van 1800 tot 3000 mg kg^{-1} . Dergelijke concentraties worden in 'De Dellen' alleen op de kogelvangs en de direct (< 10 meter) daaraan grenzende voet bereikt. De actuele blootstelling uit delen waar deze waarden overschreden worden van grazers die het hele gebied als foeragegebied gebruiken zal daarom beperkt zijn.

5 Ecologische Risico's

5.1 "Natuurlijke" uitgangssituatie

Wat valt te verwachten op deze plek, hoe zou het er uitzien zonder geschiedenis van militair gebruik? - flora en vegetatie, fauna, bodemleven; specifieke natuurwaarden.

Van origine bevat lössgrond veel kalk en heeft de bodem een pH waarde van ongeveer 7 a 7.5. Sinds de laatste ijstijd is de bovenlaag van dit lösspakket echter ontkalkt en vooral op de plateaus leidde dit tot een verzuring van de bovengrond. In de onderzochte monsters van het OT 'De Dellen' varieert de pH op dit moment tussen de 3.5 en 4.1. Deze range in pH waarden is voor veel bodemorganismen suboptimaal of ligt zelfs voorbij de ondergrens van ecologische reikwijdte. Bij pH 3,5 worden bijvoorbeeld niet veel soorten regenwormen meer aangetroffen, en zijn de aantallen individuen ook laag: het is de ondergrens van zelfs de meeste zuur-tolerante soorten (Bouché 1972). In dergelijk zure bodems is niet veel macrofauna meer te vinden, en worden belangrijke processen zoals regulatie van bodemstructuur en opbouw en afbraak van organische stof vormgegeven door mesofauna (potwormen, aaltjes, springstaarten en mijten) en microfauna (protozoen). De microflora wordt hierbij gekenmerkt door een relatieve dominantie van schimmels over bacteriën, waarmee ook de rol van schimmelgrazers relatief belangrijker is dan in minder zure en neutrale bodems.

5.2 Bestaande situatie

Wat is de realiteit? Wat ontbreekt er t.o.v. verwachting?

Het voormalig militair oefenterrein 'De Dellen' is een natuurgebied en onderdeel van het Natura2000 gebied Geuldal. In het terrein zijn oude vergravingen aanwezig: een kleine voormalige groeve, diverse loopgraven en vijf schietbanen met een (meestal) uitgegraven baanzool en opgeworpen kogelvanger. De kogelvangers zijn bij aanleg beplant met eiken, die inmiddels dominante structuurelementen vormen in het relatief jonge bos dat vooral na de Tweede Wereldoorlog werd aangeplant of spontaan is opgeslagen.

Het bosbeheer heeft gedurende de laatste drie decennia bestaan uit extensieve begrazing door Galloway runderen, en verspreid in het terrein zijn bomen geringd of gekapt waardoor lokaal vrij veel dood hout aanwezig is. Lokaal zijn beuken aangeplant. Als beheertype kent het grootste deel van het terrein Dennen-, Eiken en Beukenbos (N15.02), terwijl kleine delen worden beheerd als Kruiden- en faunarijk grasland (N12.02) en Ruigteveld (N12.06). Delen van de vervuiling op de Mitrailleurbaan en de korte schietbaan liggen binnen het beheertype Kruiden- en faunarijk grasland (NL12.02). Het grootste deel van de schietbanen ligt echter in het als bos beheerde deel (Geonius 2018, Bureau Verbeek 2019).

In 1998 heeft een inventarisatie van natuurwaarden plaatsgevonden (vegetatie, broedvogels, dagvlinders en libellen), en zijn toevallige waarnemingen geregistreerd van amfibieën, reptielen en zoogdieren (Pahlplatz en Haveman 1998). Sinds 2007 worden natuurwaarden gemonitord (Hornman en De Ronde 2008, De Ronde en Braam 2019).

Vegetatie

Eikenbos met berken, esdoorn, robinia en jonge beuken (lokale aanplant), met in de ondergroei veelal braamstruweel of varens. De eiken zijn weinig vitaal, met dunne kronen en veel sint-janslot. In twee van vijf permanente kwadranten nemen de eiken af door natuurlijke sterfte, en nemen bramen toe (De Ronde en Braam 2019). De robinia's zijn op hun retour. Door de relatief grote lichtinval is de struiklaag in het bos vaak goed ontwikkeld. Monitoringonderzoek vegetatie en fauna in 2013-2014

noemt onder meer aanwezigheid van Sierlijke woudbraam en voorjaarssoorten als Muskuskruid, Bosanemoon en Bosklimopereprijs in het Grote muur-Essenbos (De Ronde en Braam 2019), maar de plantengemeenschap is minder soortenrijk dan hellingbossen kunnen zijn. Floristisch vermeldenswaard zijn drie zeldzame tot uiterst zeldzame soorten bramen en de kwetsbare Rode Lijst soort aardbeiganzerik (De Ronde en Braam 2019). Op het plateau komen dagzomen voor van arme zandlagen met veel grind, met op nog enkele open plaatsen restanten van oorspronkelijke heidevegetaties. In deze kiezelkopvegetatie (Thero-Airion) kwamen vroeger bijzondere soorten voor die in de successie naar opgaand bos zijn verdwenen.

Bodemleven

De macrofauna in de bodem is weinig abundant, tijdens onze bemonstering van de bodem hebben we -overigens zonder gericht te zoeken- slechts een enkele regenworm, pissebed en miljoenpoot waargenomen. Er zijn ons geen gegevens bekend van lokale inventarisaties van het bodemleven, hoewel hieruit veel informatie zou kunnen worden verkregen over het functioneren van de bodem en het bovengrondse ecosysteem. Een interessante groep om te bestuderen zouden de microarthropoden zijn, waarbij de belangstelling vooral zou gaan naar mijten die schimmelcelwanden begrazen ('browsers'), omdat deze groep van soorten kwetsbaar is voor lood dat door schimmels in de celwand wordt opgeslagen. Uit onderzoek aan kleiduienschietbanen en industrieel met lood verontreinigde bodems is bekend dat browsers uit de gemeenschap verdwijnen (Siepel 1995), en dit kan leiden tot verminderde begrazing en daardoor immobilisatie van nutriënten in verminderd actief schimmelmycelium. Effectief vermindert daarmee de circulatie van nutriënten en wordt het bodemecosysteem minder productief, en is er daarmee ook minder voedselaanbod voor plantengroei en fauna. Zonder directe waarneming is dit speculatief, maar het draagt misschien bij aan een verklaring voor de lage en teruglopende aantallen broedvogels, zoogdieren en reptielen die voor 'De Dellen' zijn vastgesteld (Bureau Verbeek 2017, De Ronde en Braam 2019).

Entomofauna

Bij gerichte inventarisatie en monitoring konden geen waarnemingen worden gedaan van te verwachten soorten als vliegend hert en boswitje, hoewel die wel voorkomen in de nabije omgeving (De Ronde en Braam 2019). Andere inventarisaties zijn ons niet bekend.

Bodem-gebonden fauna

In de beschikbare studies worden weinig faunistische natuurwaarden vermeld voor het terrein. Hoewel het terrein geschikt werd bevonden, zijn bij inventarisatie geen hazelwormen aangetroffen in het plangebied; wel zijn in de periode 2007-2017 meermalen waarnemingen gedaan in het naastgelegen bosgebied ten noorden (Bureau Verbeek, 2017). Dit onderzoek heeft evenmin waarnemingen opgeleverd van andere bijzondere of beschermde bodem-gebonden soorten). In een andere studie worden voor 2013 wel twee waarnemingen van hazelworm vermeld in de westelijke bosrand, en er is een grote dassenburcht aanwezig in het zuidelijk deel van het terrein (De Ronde en Braam 2019). Het OT 'De Dellen' en zijn omgeving behoren tot het leefgebied van wilde zwijnen. Deze komen in van jaar tot jaar wisselende aantallen in het terrein voor.

Boom-bewonende fauna

Er is geen melding van een aanwezigheid van vleermuizen, maar op en langs de schietbanen zijn holtebomen aangetroffen waarvan de functie als vleermuisverblijf niet altijd kon worden uitgesloten (Bureau Verbeek, 2017). Eveneens werden bij deze veldstudie geen nesten van eekhoorns gevonden.

Broedvogels

De soortenrijkdom in de avifauna was in 2013 nauwelijks veranderd ten opzichte van 2007, met een totaal aantal broedvogels van 21 respectievelijk 19. Het aantal territoria is in dezelfde periode echter sterk teruggelopen van 86 naar 44, en het aantal Rode Lijst soorten nam af van vier (9 territoria) naar drie (3 territoria). Voor zover dit een werkelijke afname vormt (slechts twee monitoringsjaren) betreft het een achteruitgang in territoria van Rode Lijst soorten, holenbroeders en zanglijster. Vooral de holenbroeders doen het slechter dan elders in het land, en de achteruitgang zou maar gedeeltelijk kunnen worden toegeschreven aan verminderd nestaanbod (De Ronde en Braam 2019). Opvallend is de komst van oehoe, die in de naastgelegen Curfsgroeve tot broeden is gekomen; de adulte vogels en de jongen worden in het OT waargenomen.

5.3 Ecologische Risico's, in het bijzonder doorvergiftiging

Welke risico's kunnen concreter worden benoemd, en welke zijn te kenschetsen als kennislacune ten behoeve van maatschappelijke afweging?

Stadium van besluitvorming

De bestemming van het terrein is natuurgebied binnen de begrenzing van het Natura2000-gebied Geuldal en binnen de provinciale Goudgroene Natuurzone. Uit diverse uitgevoerde bodemonderzoeken daterend van vóór de eeuwwisseling is een ernstige bodemverontreiniging gebleken, ofschoon er geen urgent humaan risico is vastgesteld (Geonius, 2018), en is het voornemen ontstaan om de locatie te gaan saneren. Naar aanleiding van het recentelijk uitgevoerde actualiserend nader bodemonderzoek is geconcludeerd dat sprake is van een geval van ernstige bodemverontreiniging die spoedeisend is op grond van onaanvaardbare ecologische risico's die zijn veroorzaakt vóór 1987, en zijn contouren van de verontreiniging over het terrein in kaart gebracht (Geonius 2018). In een volgende stap werd de ecologische noodzaak van een bodemsanering onderzocht aan de hand van het Provinciaal afwegingskader, waarbij werd geconcludeerd dat "sanering mogelijk noodzakelijk is vanwege te behalen natuurdoelen" op grond van de status van Habitatrictlijngebied (Natura2000) en bestaand goudgroene natuurzone en als belangrijk foerageergebied voor toppredatoren (Bureau Verbeek 2019). Daarna werd het ecologische nut van een bodemsanering vastgesteld, ook weer met als leidraad het Provinciaal afwegingskader. Hierbij worden argumenten genoemd om (gedeeltelijk) te saneren, maar is het ecologische nut per saldo niet evident. Aan de ene kant werd geen nut gezien voor aanwezige waardevolle bos- en struweel en bloemrijk grasland ecotopen met hoge natuurwaarde, anderzijds werd sanering mogelijk ecologisch nuttig bevonden daar waar natuurwaarden kunnen worden verhoogd in ecotopen met beperkte waarde (Bureau Verbeek 2019). De Provincie Limburg heeft nu behoefte aan meer inzicht omtrent het actuele risico voor opname van contaminanten in het lokale voedselweb, omdat complete ketens aanwezig zijn met inbegrip van soorten die in de bodem wroeten en hun predatoren.

Tweesporenbeleid

Zoals vastgelegd in het Provinciaal afwegingskader ecologische risico's bodemverontreiniging (Provincie Limburg 2015) kunnen bij het beoordelen van het ecologisch nut van een sanering de actuele en potentiële natuurwaarden een juridische basis geven voor besluitvorming. Op basis van het beschermingsregime van natuurwet- en regelgeving (Natura 2000/NB-wet, het bestaand provinciaal natuurbeleid omtrent de goud- en zilvergroeene natuurzone en Flora- en faunawet) is niet tot een eenduidige slotsom gekomen betreffende het ecologisch nut van sanering op basis van natuurwaarden. Dit opent het alternatief spoor voor een maatschappelijke afweging in het kader van Circulaire Bodemsanering en Sanscrit, waarbij mogelijk een Triade onderzoek wenselijk of noodzakelijk wordt. Bij een locatie-specifiek triade onderzoek kan in samenspraak met bevoegd gezag, eigenaar en andere relevante stakeholders een bredere afweging worden gemaakt van gebruiksdoelen en risico's, en de aanvaardbaarheid van effecten (cf NEN5737 en SIKB beoordelingsrichtlijn BRL 2300). De maatschappelijke afweging kan zich hiermee verbreden met betrekking tot deelnemende partijen en achterliggende gebruikswensen voor het terrein, en geeft inzicht in de ongewenstheid van effecten, d.w.z. de negatieve waardering van risico's in het licht van de bestemming van het terrein en specifieke doelstellingen van eigenaar, gebruikers en stakeholders in de omgeving, en een daaruit voortvloeiende bereidheid tot het nemen van passende risico reducerende maatregelen.

Locatie-specifieke ecologische risico's

Het milieuchemisch onderzoek zoals gepresenteerd in dit rapport kan worden gezien als één van de drie sporen in een locatie-specifiek Triade onderzoek. De resultaten van ons onderzoek maken eens te meer inzichtelijk dat ecologische risico's in termen van doorvergiftiging heel waarschijnlijk zijn vanwege de bijzonder hoge biologische beschikbaarheid van de contaminanten. Deze bevindingen onderstrepen de ecologische noodzaak tot sanering, maar dragen op zich niet bij aan een afweging van het nut. Beschikbare gegevens uit ecologische monitoring van flora en fauna door Defensie in de laatste decennia kan hieraan worden gekoppeld als het ecologisch onderzoek van een tweede Triade spoor; een aanstaande nieuw monitoring ronde van zou hier nog aan kunnen worden toegevoegd, cq. naar behoefte op kunnen worden aangepast. Het derde spoor van een Triade heeft betrekking op ecotoxicologische aspecten (directe toxiciteit, bioaccumulatie en doorvergiftiging). Hieromtrent zijn

geen locatie-specifieke gegevens voorhanden. Voor een verdere onderbouwing van de ecologische noodzaak zijn dergelijk onderzoek ook niet meer zo urgent, maar gericht locatie-specifiek onderzoek zou wel kunnen bijdragen aan een afweging van het ecologisch nut bij een gedeeltelijke sanering en de bestekmatige planvorming hiertoe. Naast bioaccumulatie en doorvergiftiging zouden ook andere ecosysteemprocessen, zoals bioturbatie, nutriëntencycli en bodemvorming, in ogenschouw kunnen worden genomen om de actuele en potentiële kosten en baten vóór en na sanering inzichtelijk te krijgen en tegen elkaar af te wegen.

Aanvaardbare natuurschade door sanering

Het Provinciaal afwegingskader stelt dat aantasting van beschermde natuurwaarden als gevolg van sanering is (alleen) aanvaardbaar vanuit natuurwet- en regelgeving indien sprake is van gebrek aan betere alternatieven en zwaarwegend maatschappelijk belang en afdoende natuurcompensatie (Provincie Limburg 2015). Naast natuurwaarden kan ook aan andere ecologische waarden betekenis worden gehecht, voor zover het functioneren van het ecosysteem in relatie tot natuurdoelen en natuurwaarden kan worden onderbouwd. Hieronder brengen wij enkele van dergelijke ecosysteem aspecten aan de orde.

5.3.1 Bioturbatie

De ogenschijnlijk (want niet onderzocht) lage dichtheid aan regenwormen en andere macrofauna in de bodem heeft tot gevolg dat bioturbatie activiteit laag zal zijn, en vermenging van het bodemprofiel en de verontreiniging dus beperkt blijft. Mollen, voor zover in het terrein aanwezig, kunnen aan dit proces ook flink bijdragen, maar bij verondersteld gebrek aan voldoende stapelvoedsel (regenwormen) zal het aantal territoria waarschijnlijk niet groot zijn. Woelactiviteiten van zwijnen worden af en toe ook waargenomen, maar waren beperkt tot zoeken bij een laagte wanneer daar water in staat. In het zuidelijk deel van het terrein is een flinke dassenburcht aanwezig en een aparte pijp.

De omvang van bioturbatie en de betekenis voor herverdeling en mobilisatie van de verontreiniging valt zonder gericht onderzoek niet verder te duiden; gezien de al zeer hoge beschikbaarheid en oplosbaarheid van metalen als gevolg van de hoge zuurgraad van de bodem zal meer of minder bioturbatie weinig betekenis hebben voor de mobiliteit en ecologische risico's op systeemniveau. Bioturbatie lijkt daarmee voor 'De Dellen' geen prioritaire kennislacune.

5.3.2 Doorvergiftiging

Bioaccumulatie en doorvergiftiging worden in de Circulaire bodemsanering expliciet benoemd bij het beoordelen van ecologische risico's, maar er is geen uniforme methode om effecten van bioaccumulatie en doorvergiftiging mee te nemen in locatie specifiek onderzoek. Er is ons geen onderzoek bekend voor 'De Dellen', maar gezien de extreem hoge biologische beschikbaarheid van metalen gemeten in de CaCl₂ extractie kan het risico van doorvergiftiging op voorhand niet uitgesloten worden, maar dit is hier niet vastgesteld (geen veldmetingen). Een belangrijke factor bij het beoordelen van het risico op doorvergiftiging is het oppervlak aan terrein waar bodemgehalten boven kritische waarden uit komen. Voor 'De Dellen' betekent dit enerzijds een beperkt aantal 'hotspots' rond de kogelvallers met soms aangrenzende delen van de schietbanen (samen ca 0,6 ha met een toxische druk van meer dan 25%, Geonius, 2018). Daarnaast is er in delen van het terrein, met name in het verlengde van de schietbanen (10 – 100 meter achter de banen) een deken van lichte diffuse verontreiniging aanwezig, de precieze omvang daarvan is op grond van de monsters uit dit onderzoek en het onderzoek van Geonius (2018) niet vast te stellen. Het is daarmee tevens onduidelijk of en waar de lichte verontreiniging overgaat in een hoog natuurlijk achtergrondgehalte. Hotspots en lichte verontreiniging dragen beide bij aan het potentieel risico, maar met betrekking tot het tweede aspect dient terdege onderscheid gemaakt te worden tussen een natuurlijk hoog achtergrondgehalte (waarvan buiten het terrein ook sprake zou kunnen zijn) of een door landgebruik verhoogd gehalte.

Er zijn geen concrete gegevens beschikbaar die het risico voor doorvergiftiging in 'De Dellen' kunnen kwantificeren en daarom kan hier alleen een theoretische beschouwing worden gegeven. Wat betreft doorvergiftiging via opname door planten en herbivoren lijken risico's beperkt tot de hotspots van het terrein met bodemgehalten boven 2000 mg Pb/kg ds grond (Evangelou et al. 2012), omdat planten

maar beperkt lood opnemen en transporteren naar de bovengrondse delen. In deze keten zijn het de oude eiken op de kogelvangsers zèlf die te lijden hebben, en mogelijk ook de in principe soortenrijke entomofauna die op eik leeft, met de daaraan geassocieerde insectivore avifauna. Met de eiken gaat het duidelijk niet goed, over de insecten is weinig tot niets bekend, en het aantal territoria van insectivore zangvogels lijkt achteruit te gaan (zie 5.2). De directe oorzaak dat de eiken het niet goed doen is onduidelijk: het kan liggen aan vrachtschade door verminderde plaagresistentie of een nutriëntengebrek door verminderde bezetting van mycorrhiza op de wortels. Het voert te ver om zonder onderzoek dit alles toe te schrijven aan directe blootstelling aan lood of doorvergiftiging, maar zonder onderzoek kan dit ook niet worden uitgesloten.

Voor voedselketens die aanvangen met bodemdieren die via het poriewater in de bodem en door consumptie van grond worden blootgesteld kunnen risico's ook bij lagere bodemgehalten al optreden. Zo hebben wij aangetoond dat spitsmuizen in de buurt van de zinkfabriek bij Budel-Dorplein toch dusdanig veel lood binnen krijgen dat gehalten in hun nieren schadelijke concentraties bereiken (Ma et al. 1991). Woelmuizen en gewone muizen accumuleren aanzienlijk op dezelfde locaties vanwege hun voornamelijk plantaardig dieet. Mollen kunnen net als spitsmuizen via een dieet van wormen en andere ongewervelden aanzienlijke bioaccumulatie bereiken, maar lijken daar relatief ongevoelig voor: mollen gevangen nabij metallurgische industrie of met loodhagel verontreinigde terreinen vertoonden lood gehalten in de nieren van $400 \mu\text{g g}^{-1} \text{ds}$ (Ma, 1987); dergelijke gehalten zijn dodelijk gebleken voor ratten en koeien (Ma et al., 1991). Verdere bioaccumulatie in topcarnivoren is minder aannemelijk, omdat lood niet in spierweefsel accumuleert. Alleen uilen kunnen hierop een uitzondering vormen, omdat zij kleine zoogdieren in geheel doorslikken. Maar spitsmuizen (carnivoren) staan alleen op het menu wanneer woelmuizen en gewone muizen (overwegend herbivoren of omnivoren) weinig voorhanden zijn.

In geval van vogels lijkt er niet veel nodig te zijn om bij chronische blootstelling aan licht verhoogde gehalten aan lood toch bioaccumulatie, toxiciteit en mortaliteit te krijgen in tal van situaties. Er is in de vorm van publicaties uit de vorige eeuw heel veel kennis beschikbaar, bijvoorbeeld over duiven in stedelijke omgeving (Johnson et al. 1982), fazanten in bejaagd terrein (Hunter en Rosen 1965), vogels rond metaalverwerkende industrie (Beyer et al. 1985). Uit review van de literatuur is duidelijk dat jonge vogels gevoeliger zijn dan adulten, en dat organische loodverbindingen in oplossing meer toxisch zijn dan vrije ionen of metallisch lood (Eisler, 1988). Bij veel vogelsoorten treedt mortaliteit op bij concentraties lood in lever of nieren tussen $10\text{-}50 \mu\text{g g}^{-1}$ vers gewicht; sublethale effecten kunnen optreden m.b.t. immuno-suppressie, enzymregulatie en haemsynthese bij concentraties in het bloed vanaf $<5 \mu\text{g dL}^{-1}$ (ca. $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$) (Franson en Pain, 2011).

Samenvattend kan worden gesteld dat doorvergiftiging als potentieel ecologisch risico niet kan worden uitgesloten, en zelfs aannemelijk is gezien de aangetoonde verhoogde gehalten (ten opzichte van normale gehalten aan lood in löss) over een gebied van tenminste 20 ha, gepaard gaande met hotspots boven de interventiewaarde (pm 0.6 ha). In deze studie is verder niet onderzocht of de verhoogde gehalten in de referentiemonsters door belasting van de schietbanen veroorzaakt is of dat er sprake zou zijn van een van nature verhoogd gehalte. Op basis van een beperkt aantal metingen van lood in onbelaste lössgronden (Römkens et al., 2004) lijkt de eerste verklaring aannemelijker dan dat er sprake zou zijn van verhoogde achtergrondgehalten. Dit zou verder onderzocht kunnen worden om uitsluitsel te geven op de vraag in hoeverre er sprake is van doorvergiftiging in die delen van het terrein die buiten de direct invloedssfeer van de schietbanen liggen. Variatie in natuurlijk achtergrondgehalten, en de daarbij horende mate van bio-accumulatie en doorvergiftiging vormen daarom naar ons inzicht prioritaire en urgente kennislacunes.

Al naar gelang de precieze vraagstelling kunnen verschillende benaderingen worden aangewend om een risico op doorvergiftiging beter te kwantificeren:

- a. Directe bepaling van lichaamsbelasting in biota en vergelijking met kritieke waarden vermeld in de literatuur; dieren actief vangen of dood gevonden exemplaren. Deze optie vereist aanmelding en goedkeuring als dierproef voor zover het vangen van gewervelde soorten betreft. Voorbeeld: loodgehalten in regenwormen e.a. bodemdieren, in organen kleine zoogdieren;
- b. Gebruik van biochemische biomarkers, bijvoorbeeld bepaling van enzymactiviteiten in dierlijk bloed. Daartoe gevangen dieren kunnen weer worden teruggezet in het veld. Deze optie vereist

-
- aanmelding en goedkeuring als dierproef voor zover het gewervelde soorten betreft. Voorbeeld: stuitklierolie en bloedmonsters te verzamelen tijdens het ringen van oehoe kuikens;
- c. Niet-invasieve bepalingen aan haren, veren, skeletdelen en gebitresten kunnen worden gebruikt als alternatieve mogelijkheid om een beeld te verkrijgen van de lichaamsbelasting met lood van bepaalde soorten. Vooral voor beschermde en zeldzame soorten een aantrekkelijk alternatief, voor zover niet kan worden beschikt over dood gevonden exemplaren. Voorbeeld: veren van oehoe, sperwer;
 - d. Gedeeltelijk in plaats van metingen aan biologische monsters uit het lokale voedselweb kunnen ook rekenmodellen worden gebruikt, waarbij van metingen van loodconcentraties in de bodem en eventueel gehalten van planten of bodemdieren op de locatie worden gebruikt om een schatting te geven van mogelijke risico's van doorvergiftiging op selecte groepen hoger in het voedselweb, bijvoorbeeld voor carnivore zoogdieren en roofvogels, of grote grazers (als "wildernisvlees" voor menselijke consumptie). Voorbeeld: doorrekening bodemgehalten naar orgaangehalten in runderen.

5.3.3 Specifieke natuurdoelen en natuurwaarden

Natuurdoelen zijn doelstellingen voor natuurgebieden ten aanzien vegetatie, planten en dieren vanuit Natura 2000 en/of provinciale goud- en zilvergroene natuur bestemmingen. De Dellen classificeren niet voor een beschermd habitatype, omdat het niet gaat om een oude boslocatie. Landschappelijk maakt het terrein deel uit van een groot complex hellingbossen Geuldal. Met name kleine delen in het terrein zijn interessant als Kruiden- en faunarijk grasland (N12.02). Delen van de vervuiling op de Mitrailleurbaan en de korte schietbaan liggen binnen dit beheertype.

Natuurwaarden zijn wettelijk beschermde natuurgebieden, planten en dieren. Floristisch zijn 'De Dellen' in dit opzicht minder rijk dan landschapsecologisch mag worden verwacht, maar er komen drie zeldzame tot uiterst zeldzame soorten bramen voor, en de kwetsbare Rode Lijst soort Aardbeiganzerik. Kiezelkopvegetaties zijn nagenoeg verdwenen, maar zijn wellicht met gericht beheer weer te herstellen, al dan niet in combinatie met een bodemsanering. In het oog springende faunistische natuurwaarden zijn beschermde soorten als Oehoe, Das (en burcht), Hazelworm, en Wild zwijn. Er is verder geen systematisch onderzoek gedaan naar het voorkomen van beschermde soorten op eventuele saneringslocaties en de relevante directe omgeving.

Bij een afweging voor sanering moet niet alleen bekeken worden welke natuurdoelen en -waarden direct kunnen worden geschaad door de werkzaamheden op de saneringslocatie zelf, maar moeten ook uitstralende effecten naar de directe omgeving, als gevolg van verstoring en betreding worden meegenomen. Dieren kunnen door lawaai en aanwezigheid van mensen en machines verstoord worden, en het is niet ondenkbaar dat de dassenburcht om die reden blijvend wordt verlaten. Ook andere effecten zouden blijvend kunnen zijn, vooral wanneer geen voorzorgsmaatregelen zouden worden getroffen: bodemverdichting door zware machines, bomenkap en terreinvereffening t.b.v. aanleg van een afvoerroute.

Grote grazers vormen een aparte groep waarvoor een ecologisch risico op in ogenschouw moet worden genomen, niet alleen omdat zij incidenteel ingezet worden bij het bosbeheer en blootgesteld worden aan lood via consumptie van planten en aanhangende grond, maar ook omdat het vlees in de menselijke voedselketen kan komen en er dan humane risico's in het geding zijn.

Tabel 6 Overzicht van natuurwaarden van OT 'De Dellen' met een nadere indicatie van ecologische risico's al dan niet onder risicobeheer van de bodemverontreiniging.

Groep	Soort / proces	Potentieel risico
Roofvogels	Oehoe	Toppredator, risico doorvergiftiging naar verwachting groot
	Sperwer, buizerd	Predatoren in verschillende voedselketens met specifieke risico's
Roofdieren	Marterachtigen, vos	Hooggeplaatste predatoren met doorvergiftigingsrisico
Kleine zoogdieren, insecteneters	Spitsmuizen, egels	Intermediaire predatoren, kritische voedselketen door blootstelling via wormen en slakken aan poriewater
Reptielen en amfibieën	Hazelworm	Geen; doorgaan met bosrandenbeheer
Insecten	Onbekend	
Grote grazers	Galloway runderen	Humaan risico bij consumptie orgaanvlees
Botanische natuurwaarden	Bloeiende kruiden, zeldzame soorten	Zaadkieming geremd? Verwijdering zaadbank bij afgraven toplaag buiten de schietbanen
	Oude eiken op kogelvangsers	Beperkte mycorrhiza bezetting? Vatbaar voor insectenplagen?
	Kiezelkopvegetatie	Geen perspectief bij doorgaande bossuccessie; Verlies zaadbank bij afgraven; anderzijds is herstel wellicht mogelijk bij gericht kappen
Landschappelijke natuurwaarden	Natuurlijke bosverjonging	Zaadkieming geremd? Mycorrhiza schimmels geremd?
	Oude eiken op kogelvangsers	Verminderde plaagresistentie? Structuurbepalend boselement gaat verloren bij sanering kogelvangsers; habitatverlies boom(holte)bewoners

6 Conclusies en Aanbevelingen

Het bodem-chemisch onderzoek leidt tot een aantal conclusies ten aanzien van de omvang van de bodemverontreiniging, beschikbaarheid en het verspreidingsrisico naar grondwater:

In de bodem op de kogelvangs en de voet daarvan is sprake van zeer hoge totaalgehalten aan lood, en in mindere mate vanadium en koper in de bodem (0-25 cm); de gemeten totaalgehalten en de variatie op korte afstand komen overeen met de eerder gedane waarnemingen in hetzelfde gebied (Geonius, 2018). Andere metalen zijn niet in afwijkende gehalten (ten opzichte van niet belaste lössgronden) aangetroffen.

De chemische én biologische beschikbaarheid is, mede door de lage pH, groot. Vrijwel 100% van het lood is chemisch reactief en tot wel 15% van het totaalgehalte is actueel biologisch beschikbaar. Dergelijke waarden -met name de actuele biologische beschikbaarheid- gelden als extreem afwijkend ten opzichte van andere met lood belaste bodems. Dit is wellicht het gevolg van de lage pH daar waar die in andere belaste bodems veelal hoger is. Deze extreme waarden van de beschikbaarheid zijn overigens vergelijkbaar met die gemeten in andere schietterreinen van Defensie (Mesman et al., 2014).

In de in dit onderzoek opgenomen referentiemonsters (monsterpunt 4 van elke raai) van de onderzochte schietbanen is nog steeds sprake van verhoogde gehalten in de 0-25 cm laag; data van het Actualiserend Nader Onderzoek (Geonius, 2018) suggereren dat deze verhoogde waarden gerelateerd zijn aan dezelfde bron (schietbanen). Dat deze verhoogde gehalten voornamelijk aan het gebruik als schietterrein te wijten zijn en niet zozeer aan lokale verhoogde achtergrondgehalten wordt versterkt door de normale gehalten van een aantal andere metalen. Als er sprake zou zijn van verhoogde achtergrondgehalten dan is de kans groot dat ook deze metalen (o.a. chroom, kobalt en vanadium) in verhoogde gehalten aanwezig zouden zijn. Het is niet duidelijk tot waar de invloed van de schietbanen op deze meer diffuse verhoging van de gehalten reikt, dit valt ook buiten het bestek van de opdracht.

Door de zeer lage pH is ook in de referentiemonsters de biologische beschikbaarheid van lood afwijkend hoog ten opzichte van niet belaste bodems.

De hoge chemische beschikbaarheid in combinatie met lage pH leidt tot een sterke potentiële verplaatsing van lood naar diepere bodemlagen. Modellsimulaties tonen dat dit binnen een termijn van 50 jaar echter geen invloed heeft op de kwaliteit van het grondwater (onder de aanname dat dit (veel) dieper aanwezig is dan 10 meter min maaiveld; noot: Geonius (2018) rapporteert een diepte van het grondwater van 40 m -mv).

Het verhogen van de pH door bekalken zal niet veel effect hebben op diepere bodemlagen (dieper dan 50 cm), alleen blijft het gehalten in de toplaag (0-25cm) in dat geval hoger en zal er -dus- minder ophoping in de 25-50 cm laag optreden.

De gemeten gehalten in de bovengrond van de kogelvangs en de voet daarvan als ook de gesimuleerde gehalten in de 0-25 en deels ook 25-50 cm laag gedurende de komende 50 jaar overschrijden de ecologische risicogrenzen zoals vastgesteld in eerder onderzoek in vergelijkbare bodems. Dit geldt dus voor een vrij klein deel van het gebied nl alleen de kogelvangs en de voet daarvan.

De compilatie van ecologische studies laat zien dat:

Er weinig gedetailleerde soortenlijsten van flora en vooral fauna voorhanden zijn; de algehele indruk is die van een suboptimale biodiversiteit voor dit type terrein. Er lijken soorten afwezig die er wel

thuishoren, zonder dat de oorzaak daarvan duidelijk is. Het kan niet worden uitgesloten dat dit effecten zijn van de bodembodemverontreiniging.

Op basis van de extreme gemeten chemische beschikbaarheid en uit de literatuur afgeleide risicogrenswaarden zijn bioaccumulatie en doorvergiftiging aan de orde. De omvang van de effecten op populatieniveau lijken echter beperkt te zijn, met name door de relatief kleine omvang van het sterk verontreinigde deel van het terrein ten opzichte van het niet specifiek belaste deel. Ook in dit niet specifiek belaste deel is de beschikbaarheid door de diffuus verhoogde gehalten en zeer lage pH hoog, maar overschrijdt de risicogrenswaarden niet.

Beter inzicht in doorvergiftiging en de voedselketens die het betreft zou wel kunnen bijdragen aan een verdere maatschappelijke afweging van het ecologisch nut van een sanering, en hoe en waar een eventuele sanering uit te werken in bestek.

In de projectformulering zijn de volgende specifieke vragen opgenomen:

Wat is de beschikbaarheid van de metalen in de meest verontreinigde delen en in hoeverre wijkt dit af van de beschikbaarheid van deze stoffen in nabij gelegen (schone) referentieplekken? Als er sprake is van verhoogde beschikbaarheid, in welke mate kan deze dan leiden tot directe effecten (ecotoxiciteit) en opname door lokale planten en (bodem)fauna?

Resultaat

De beschikbaarheid van lood en in mindere mate koper en antimoon is hoog tot zeer hoog maar vergelijkbaar met die in andere terreinen bij dezelfde zuurgraad. Op de kogelvangs overschrijdt de actuele beschikbaarheid (gemeten in CaCl_2) een indicatieve risicogrenswaarde van 200 mg kg^{-1} (hoge druk) en is de kans dat (bodem)organismen hier negatief worden beïnvloed groot. Daarbuiten is er weliswaar sprake van een hoge beschikbaarheid van lood maar overschrijdt deze de lage drukgrens (55 mg kg^{-1} lood extraheerbaar met CaCl_2) niet (noot: deze grenswaarden zijn als indicatie bedoeld, want afgeleid van andere schietbanen met vergelijkbare loodgehalten en zuurgraad). De kans dat er in 'De Dellen' als geheel op grote schaal directe toxiciteit op bodemfauna en flora zal optreden wordt daarom als klein ingeschat.

In welke mate kan de beschikbaarheid leiden tot effecten in de voedselketen? In het terrein lopen grote grazers rond die gras, strooisel en deels ook grond binnenkrijgen. Er komen ook wilde zwijnen en dassen voor. Aanwezige regenwormen en andere bodemfauna kunnen dienen als voedsel voor kleine zoogdieren zoals muizen die weer worden gegeten door predatoren. Daarnaast zijn er ook konijnen waargenomen, evenals roofvogels die daarop jagen.

Resultaat

De kans dat deze hoge loodgehalten effecten hebben op de gezondheid van hogere soorten (inclusief zwijnen, grote grazers) wordt, op grond van vergelijkbaar onderzoek en literatuur als klein ingeschat. Deels omdat de meest verontreinigde stukken niet grazig zijn, anderzijds omdat het deel van het gebied als geheel waar deze hoge gehalten voorkomen relatief klein is ten opzichte van het gebied dat als foerageergebied voor deze soorten dient.

Wat is de invloed van de sanering op de aanwezige ecologische standplaatsfactoren? Ingrijpen in een dergelijk kleinschalig gebied kan leiden tot vrij forse verstoring van de lokale leefgebieden van bijvoorbeeld reptielen, vogels en zoogdieren. Dit dient te worden afgewogen tegen de opbrengst van de sanering (Provincie Limburg, 2015).

Resultaat

Deze studie heeft zich in eerste instantie gericht op het bepalen van de chemische bodemkwaliteit en daaraan gerelateerde risico's. Er werd geen onderzoek gedaan naar de invloed van de verontreiniging in de mate waarin deze de ecologie beïnvloedt. Gebaseerd op een aantal waarnemingen lijkt de kwaliteit van de habitat in ecologische zin in eerste instantie gering (noot: dit zou verder gericht onderzoek vergen om te verifiëren). Deze waarnemingen zijn:

1. De zeer lage bodem-pH is op zichzelf al een beperkende factor die een ontwikkeling van een divers bodemecosysteem beperkt. Bij de aangetroffen pH waarden (veelal lager dan 4) is er sprake van

-
- een geremd systeem waarbij onder meer regenwormen en andere mesofauna maar beperkt functioneren of afwezig zijn. Deze lage pH waarden zijn kenmerkend voor het hele (onderzochte) terrein en deels ook overeenkomstig met de lage pH waarden in andere plateau bodems in Zuid Limburg. Dit suggereert dat dit ingrijpen in het hele terrein vergt om dit op te lossen;
2. De bodemkwaliteit in een groot deel van het gebied is slecht wat betreft fysieke toestand: veelal is deze zeer grindrijk en sterk verdicht, zeker in en rondom de schietbanen. Voor de vegetatie en onder andere macrofauna in en rondom de schietbanen is de bodem als standplaats maar beperkt doorwortelbaar of te gebruiken als habitat. Dit zal onder natuurlijke condities (lees: niet ingrijpen) niet verbeteren;
 3. De huidige vegetatie in en rond de voormalige schietbanen is zeer beperkt in natuurwaarden. De dominante elementen, nl de oudere eiken op de kogelvangers, zijn van waarde zijn als bijzonder habitat element. De conditie waarin deze bomen verkeren is matig en de levensverwachting lijkt beperkt. Dit betekent dat niet ingrijpen op termijn ook al zal leiden tot het verdwijnen van deze elementen.

Deze drie waarnemingen maken dat, ofschoon er sprake is van een zeer hoge potentiële en actuele beschikbaarheid van lood (en in mindere mate koper en antimoon), de bijdrage van deze chemische verontreiniging aan mogelijke (want niet gemeten) ecologische effecten minder groot is dan op basis van de gemeten waarden geschat kan worden. Dit komt vooral vanwege de sterk beperkte ecologische kwaliteit (verdichting, lage zuurgraad) van de bodem in die delen van het terrein die ook het meest belast zijn met metalen. Die worden veelal gekenmerkt door een zeer sterke verdichting, lage pH (hoge zuurgraad) en schrale vegetatie. Op basis van de data uit dit onderzoek kan verder geen uitspraak gedaan worden over welke factor nu het meest bepalend is.

Om een aantal van deze en andere argumenten in samenhang te beoordelen staat op de volgende twee pagina's een inschatting van de gevolgen van de vier voor de hand liggende opties:

1. Niets doen;
2. Beheersen middels bekalken;
3. Hotspots saneren (kogelvangers);
4. Contour saneren (begrenzing matig-licht verontreinigd; of ondergrens toxische druk?).

We maken hierbij een inschatting van de effecten op ecologie, bodemkwaliteit, verspreidingsrisico's, ecotoxicologische effecten/doorvergiftiging, ecologische standplaatseffecten/verstoring, en financiële kosten, waarbij we deze effecten dan afwegen tot een aanbeveling. Een specifieke weging van afzonderlijke aspecten kan leiden tot een andere uitkomst. Dit is daarom alleen als handreiking bedoeld en niet als sluitend beoordelingsinstrument.

Tot slot zien we dat er voor verschillende onderzoeksmatige aspecten nog lacunes zijn die de beoordeling van effecten bemoeilijken. Samengevat kan dit tot een aantal aanbevelingen leiden die wellicht in de toekomst ook van nut zijn in geval van andere terreinen die met deze problematiek te maken hebben. Dit zijn:

- Nagaan in welke mate er buiten de schietbanen sprake is van diffuse beïnvloeding door de schietbanen wat leidt tot verhoogde gehalte aan lood buiten de direct invloedssfeer van de schietbanen en mogelijk zelfs buiten het terrein 'OT 'De Dellen';
- Ontwerp een Triade onderzoek dat zich richt op het lenigen van prioritaire kennislacunes die een gedegen, wetenschappelijk onderbouwde en breed geaccepteerde afweging van het ecologisch nut van bodemsanering en de besluitvorming en planvorming hieromtrent nu nog belemmeren. Ontwerp dit onderzoek als co-creatie in samenspraak tussen bevoegd gezag, landeigenaar, relevante stakeholders en wetenschappelijk onderzoekers en adviseurs;
- Onderzoek naar bioaccumulatie en doorvergiftiging t.b.v. saneringsplan.

Tabel 7

Overzicht van maatregelen en inschatting van effecten. (Groen: positief of geen verstoring, geel: onduidelijk, oranje: wellicht negatief of verstoring).

Actie	Ecologische effecten	Effect Bodemkwaliteit	Verspreidingsrisico's	Ecotoxicologische effecten/doorvergifting	Ecologische standplaatseffecten/verstoring	Kosten	Beoordeling ¹
Niet ingrijpen	Geen. Kwaliteit blijft laag. Soortenarme vegetatie blijft intact	Geen, bodem blijft slecht van kwaliteit (grind)	Hoog, maar beperkt tot bovenste meter. Erosie van kogelvallers leidt tot verspreiding zwaar verontreinigd materiaal naar de voet en omliggende bodem. Effect op grondwaterkwaliteit zeer beperkt (> 40 meter)	Beperkt tot flora en bodemfauna. Geringe kans op effecten hogere voedselketen op basis van beperkte omvang hotspots, maar toch onduidelijk vanwege onbekende precieze omvang verontreiniging in relatie tot habitatroote van predatoren	Geen. Oudere Eiken op de kogelvallers blijven in matige conditie of gaan verder achteruit	Geen	Op grond van beperkte ecologische risico's en verspreidingsrisico's is niet ingrijpen verdedigbaar
Beheersen middels bekalken van schietbanen en kogelvallers	Verstoring organische stofhuishouding (versneld afbreken van organische stof), kans op verruiging. Verschuiving in bodemvoedselweb te verwachten, meer regenwormen en bioturbatie	Zeer beperkt. Uitloging bovengrond neemt af, gehalten blijven daardoor wel hoog. Totale voorraad potentieel beschikbaar blijft zwaar hoog. Bioturbatie neemt toe	Uitspoeling uit 50 cm neemt af maar zal geen effect hebben op grondwater (te diep)	Blootstelling lokale bodemfauna blijft hoog, beschikbaarheid lood ook bij hogere pH nog steeds hoger dan gewenst. Kans op doorvergifting neemt wel verder af	Verruiging van vegetatie. Beperkt voor hogere fauna. Alleen invloed op bodemorganismen (bewerking grond en verminderde zuurgraad)	Beperkt, bekalken zal mogelijk lastig blijken (zwaar materieel nodig)	Lijkt niet zinvol, risico's niet wezenlijk verlaagd. Verspreiding bodemmateriaal gaat door. Praktisch lastig uitvoerbaar op kogelvallers (zeker voor 25-50 cm laag)

¹ de beoordeling is gedaan op basis van een combinatie van data/metingen en expert judgement/literatuur. Omdat een uiteindelijk oordeel afhangt van de weging van de 6 factoren is dit niet van een kleur voorzien.

Table 7 vervolg *Overzicht van maatregelen en inschatting van effecten. (groen: positief of geen verstoring, geel: onduidelijk, oranje: wellicht negatief of verstoring).*

Actie	Ecologische effecten	Effect	Bodemkwaliteit	Verspreidingsrisico's	Ecotoxicologische effecten/doorvergiftiging	Ecologische standplaatseffecten/verstoring	Kosten	Beoordeling
Hotspots saneren (m.n. kogelvaarders en direct omliggende schietbanen)	Beperkte verbetering, kwaliteit bodem omliggende terrein is nog steeds matig tot slecht. Klein deel van het terrein kan opnieuw ontwikkelen maar wijkt mogelijk af van omliggende bodem (pH)	Groot, grootste deel van bronmateriaal wordt weggenomen	Hot spots worden verwijderd waardoor 90-95% van het bronmateriaal weg is. Erosierisico van zwaar verontreinigd materiaal is dan weg	Grotendeels weggenomen; diffuse verontreiniging blijft mogelijk risico geven	Tijdelijk (jaren) grote verstoring lokaal. Kenmerkende oude elken met boomholtes gaan verloren; habitatverlies voor vogels en vleermuizen. Kwaliteit van schietbanen als habitat blijft matig tot slecht. Kansrijkdom gebied dus nog steeds klein	Matig		Vanuit ecologisch en bodemchemisch risico oogpunt effectief. Tijdelijk groot ecologisch effect waar dit onder natuurlijke omstandigheden geleidelijk zou optreden (eiken zullen sterven)
Grootschalig saneren (schietbanen + vangers + achterliggend terrein)	Kansrijkdom voor nieuw ecosysteem nog steeds beperkt als de onderliggende bodem als nieuwe bodem dient is deze arm en sterk verzuurd (dit laatste is te corrigeren door bekalen)	Groot. Verontreiniging weggenomen	Afwezig	Afwezig	Zeer groot, feitelijk moet zich in een aantal jaren een nieuw ecosysteem ontwikkelen. Wellicht in dat geval meteen bekalen om pH op gewenst niveau te krijgen. Gelegenheid voor herstel van kiezelkopvegetatie	Hoog		De huidige bodemsamenstelling en ecologisch kwaliteit van het gebied is gering en de hoge kosten wegen wellicht niet op tegen de beperkte kansen voor het gebied dat nu al (ook buiten het verontreinigde gebied) als soortenarm geldt; potentie natuurwaarden op lange termijn is groter dan bestaand

Literatuur

- Beyer, W. N., O. H. Pattee, L. Sileo, D. J. Hoffman en B. M. Mulhern, 1985. Metal contamination in wildlife living near two zinc smelters. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological* 38: 63-86.
- Bouché, M.B. 1972. *Lombriciens de France: écologie et systématique*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.
- Bureau Verbeek, 2017. Nader onderzoek vlemmuizen, eekhoorn, hazelworm voor: sanering baanzolen en kogelvangers 'De Dellen'. Project nr. ME-701.002, Bureau Verbeek, Gulpen.
- Bureau Verbeek, 2019. Afweging ecologisch nut en noodzaak sanering voor: sanering baanzolen en kogelvangers De Dellen. Project nr. ME-701.003, Bureau Verbeek, Gulpen.
- Brand, E. en M. Mesman, 2015. Doorvergiftiging in de voedselketen door bodemverontreiniging: toepassing in bodembeleid. Inventarisatie van knelpunten, praktijkervaringen en oplossingen. Rapport nr. 2015-0037, RIVM, Bilthoven.
- Degryse, F., K. Broos, E. Smolders, and R. Merckx. 2003. Soil solution concentration of Cd and Zn can be predicted with a CaCl₂ soil extract. *European Journal of Soil Science*, Volume 54, Issue 1 p. 149-158.
- Eisler, R. (1988). Lead hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. US Fish and Wildlife Service, Biological Reports 85(1.14), 134 pp.
- Evangelou M.W.H., K. Hockmann, R. Pokharel, A. Jakob, R. Schulin, 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.
- Franson, J. C. en D. J. Pain, 2011. Lead in birds. In: W. N. Bonten. *Contaminants in Biota: Interpreting Tissue Concentrations*. CRC, Boca Raton. Pp. 563-593.
- Geonius, 2018. Actualiserend nader bodemonderzoek. Voormalige schietbanen op oefenterrein "De Dellen" gelegen aan de Bodemsweg te Meerssen (object 62A02). Rapport nr. MA170667.R01.v1.0., Geonius, Geleen.
- Groenenberg, J.E., Römkens, P.F.A.M., Zomeren, A.V., Rodrigues, S.M. en Comans, R.N.J., 2017. Evaluation of the Single Dilute (0.43 M) Nitric Acid Extraction to Determine Geochemically Reactive Elements in Soil. *Environmental Science and Technology* 51: 2246-2253.
- Hagens, W.I., A.J.A.M. Sips, J.P.A. Lijzen, en A.G. Oomen. 2008. Richtlijn: bepalen van de orale biobeschikbaarheid van lood in de bodem. RIVM Rapport 711701081/2008.
- Hommel, P.W.F.M., R.J. Bijlsma, K.A.O. Eichhorn, J. den Ouden, R.W. de Waal, M.F. Wallis de Vries. 2016. Mogelijkheden voor herstelbeheer in hellingbossen op kalkrijke bodem in Zuid-Limburg Resultaten praktijkproeven: omvorming van voormalig middenbos naar gevarieerd opgaand bos. Vereniging van Bos-en Natuurterreineigenaren. Rapport nr. 2016/OBN206-HE Driebergen, 2016.
- Houba, V.J.G., Th.M. Lexmond, I. Novozamsky, and J.J. van der Lee. 1996. State of the art and future developments in soil analysis for bioavailability assessment. *Science of The Total Environment*, Volume 178, Issues 1-3, Pages 21-28.

-
- Hunter, B. en M. Rosen, 1965. Occurrence of lead poisoning in a wild pheasant (*Phasianus colchicus*). Calif. Fish Game (United States) 51.
- Johnson, M., H. Pluck, M. Hutton en G. Moore, 1982. Accumulation and renal effects of lead in urban populations of feral pigeons, *Columba livia*. Archives of environmental contamination and toxicology 11: 761-767.
- Ma, W.C., 1987. Heavy metal accumulation in the mole, *Talpa europaea*, and earthworms as an indicator of metal bioavailability in terrestrial environments. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 39: 933-938.
- Ma, W.C., W. Denneman, en J. Faber, 1991. Hazardous exposure of ground-living small mammals to cadmium and lead in contaminated terrestrial ecosystems. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 20: 266-270. <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1007/BF01055914>.
- Mesman, M., A.J. Schouten, A.J. en M. Rutgers. 2011. Handreiking Triade 2011. Locatiespecifiek ecologisch onderzoek in stap 3 van het Saneringscriterium. RIVM rapport 607711003/2011. RIVM, Bilthoven.
- Mesman, M., M. Rutgers, A.J. Schouten, J.J. Bogte en E.M. Dirven-van Breemen, 2014. Evaluatie van Triade-onderzoeken op schietterreinen van Defensie. Rapport nr. 2014-0077, RIVM, Bilthoven.
- Mol, G., P. van Gaans, J. Spijker, en P.F.A.M. Römkens. 2012. Bodemgeochemische Atlas van Nederland. Wageningen Academic Publishers.
- Pahlplatz, R. en R. Haveman, 1998. De Dellen; Inventarisatie natuurwaarden 1998. Ministerie van Defensie, Dienst Gebouwen, Werken en Terreinen, Wageningen.
- Provincie Limburg, 2015. Provinciaal afwegingskader ecologische risico's bodemverontreiniging. Provincie Limburg, Maastricht.
- Rodrigues, S.M., Cruz, N., Carvalho, L., Duarte, A.C., Pereira, E., Boim, A.G.F., Alleoni, L.R.F. en Römkens, P.F.A.M., 2018. Evaluation of a single extraction test to estimate the human oral bioaccessibility of potentially toxic elements in soils: Towards more robust risk assessment. Science of the Total Environment 635: 188-202.
- Römkens, P.F.A.M., J. E. Groenenberg, J. Bril, and W. de Vries. 2004. Derivation of partition equations to calculate heavy metal speciation and solubility in soils. ALTERRA report no. 305.
- Ronde, I. de en A. Braam 2019. OT De Dellen; Monitoring vegetatie en fauna 2013/2014. Rijksvastgoedbedrijf Rapport R200-19/012.
- Siepel, H. 1995. Are some mites more ecologically exposed to pollution with lead than others? Experimental en Applied Acarology 19:391-398.

Bijlage 1 Overzicht chemische bodemanalyses

Tabel B1 Zuurgraad (pH CaCl₂), organische stof (SOM), opgelost koolstof in bodemvocht (DOC) en totaalgehalten (DOC) op basis van droge stof.

Raai	Monsterpunt	Submonster	pH	DOC mg kg ⁻¹	SOM [%]	Sb mg kg ⁻¹	V mg kg ⁻¹	Totaalgehalten				
								Co mg kg ⁻¹	Cr mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	
A	1	1	3.4	346	14.4	3.14	21.8	16	19.9	20	118	
A	1	2	3.4	385	16.5	1.63	19.2	11	16.5	25	84	
A	2	1	3.8	231	6.5	37.4	19.0	18	15.8	68	1101	
A	2	2	4.5	68	3.1	104	14.0	10	12.7	221	3712	
A	3	1	4.2	174	4.7	203	11.0	12	9.8	345	7652	
A	3	2	4.3	59	4.9	200	15.3	19	14.3	249	7319	
A	4	1	3.3	320	16.7	4.41	14.0	21	9.8	27	254	
A	4	2	3.3	355	15.3	3.39	15.2	14	11.8	22	152	
B	1	1	3.8	114	2.5	16.1	9.32	11	8.4	33	677	
B	1	2	3.7	239	7.5	15.3	22.8	13	19.7	37	487	
B	2	1	4.2	51	4.3	188	26.0	20	24.6	203	6609	
B	2	2	4.0	309	7.4	64.4	29.6	13	26.5	88	1479	
B	3	1	3.7	219	7.9	101	34.3	17	30.6	150	2570	
B	3	2	3.7	309	9.6	81.9	34.8	12	32.4	72	1555	
B	4	1	3.7	219	8.4	1.92	19.7	22	15.6	8	92	
B	4	2	3.5	183	11.9	2.14	19.6	37	15.9	30	151	

Tabel B1 Vervolg Zuurgraad (pH CaCl₂), organische stof (SOM), opgelost koolstof in bodemvocht (DOC) en totaalgehalten (Aqua Regia) op basis van droge stof.

Raai	Monsterpunt	Submonster	pH	DOC	SOM	Totaalgehalten (Aqua Regia)						
						CaCl ₂	mg kg ⁻¹	[%]	Sb	V	Co	Cr
C	1	1	3.44	187	13.9	7.21	37.8	28	29	24	229	
C	1	2	3.64	257	8.6	3.28	34.8	16	32.5	20	126	
C	2	1	3.86	123	2.8	33.8	11.8	12	11.6	56	1057	
C	2	2	3.77	188	8.2	34.7	29.3	16	25.5	58	1410	
C	3	1	3.92	143	4.6	44.6	21.5	14	19.7	52	1383	
C	3	2	3.77	162	5.9	106	18.6	13	17.2	89	2358	
C	4	1	3.35	332	17	2.38	20.9	22	15.6	13	128	
C	4	2	3.59	205	9.3	1.96	19.1	21	15.3	9	92	
D	1	1	3.6	249	13.3	74.7	27.9	18	24.9	128	2147	
D	1	2	3.46	221	8.2	14.4	31.8	10	25.7	41	540	
D	2	1	3.59	264	10.3	9.88	33.4	17	30.8	35	377	
D	2	2	3.56	318	11.5	49.3	26.5	20	24.6	114	1673	
D	3	1	3.49	326	9.9	4.13	24	15	21.7	16	141	
D	3	2	3.71	209	8.8	32.5	23.7	18	21	52	1056	
D	4	1	3.52	371	12.5	5.08	19.9	14	15.8	12	180	
D	4	2	3.68	265	8.2	1	20.9	10	16.8	8	53	

Tabel B2 Reactieve (0.43N HNO₃) en beschikbare (CaCl₂) metaalgehalten (op basis van droge stof) en ratio reactief t.o.v. totaal.

Raai	Monsterpunt		Reactief (0.43 N HNO ₃)							Beschikbaar (0.01 M CaCl ₂)							Ratio reactief t.o.v. Totaal								
	Duplo		Sb	Co	Cr	Cu	Pb	Cu	Pb	Sb	Cu	Pb	Cu	Pb	Sb	Co	Cr	Cu	Pb	Sb	Co	Cr	Cu	Pb	
			mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	µg kg ⁻¹	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A	1	1	0.14	0.31	0.79	8	91.8	0.13	1.89	10	4%	2%	4%	40%	78%										
A	1	2	0.07	0.26	0.66	11	70.5	0.27	1.17	8	4%	2%	4%	44%	84%										
A	2	1	3.24	0.72	0.34	60.7	1099	1.14	41.1	301	9%	4%	2%	89%	100%										
A	2	2	21.6	0.6	0.41	178	3556	19.1	437	878	21%	6%	3%	81%	96%										
A	3	1	51.6	0.37	0.37	199	7900	14.6	445	1685	25%	3%	4%	58%	103%										
A	3	2	26.4	0.28	0.42	162	4646	12.3	541	1265	13%	1%	3%	65%	63%										
A	4	1	0.15	0.16	0.36	11	180	0.21	3.9	23	3%	1%	4%	41%	71%										
A	4	2	0.19	0.13	0.58	11.9	112	0.26	2.9	17	6%	1%	5%	54%	74%										
B	1	1	1.97	0.13	0.2	18.2	459	2.23	75	254	12%	1%	2%	55%	68%										
B	1	2	0.91	0.5	0.69	24.3	428	1.12	27.6	74	6%	4%	4%	66%	88%										
B	2	1	24.2	0.87	0.37	146	6268	18	677	452	13%	4%	2%	72%	95%										
B	2	2	1.94	1.06	0.45	54.2	1300	2.15	62.5	182	3%	8%	2%	62%	88%										
B	3	1	14.5	0.46	0.53	99.6	2190	11.3	215	370	14%	3%	2%	66%	85%										
B	3	2	2.28	0.57	0.53	38.1	1146	1.99	75.1	135	3%	5%	2%	53%	74%										
B	4	1	0.09	0.72	0.77	3.2	72	0.08	1.55	7	5%	3%	5%	40%	78%										
B	4	2	0.1	0.26	0.71	21.1	122	0.8	3.19	7	5%	1%	4%	70%	81%										

Tabel B2 Vervolg Reactieve (0.43N HNO₃) en beschikbare (CaCl₂) metaalgehalten (op basis van droge stof) en ratio reactief t.o.v. totaal.

Raai	Monsterpunt	Duplo	Reactief (0.43 N HNO ₃)					Beschikbaar (0.01 M CaCl ₂)					Ratio reactief t.o.v. Totaal				
			Sb mg kg ⁻¹	Co mg kg ⁻¹	Cr mg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Sb µg kg ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹	Pb mg kg ⁻¹	Sb %	Cu %	Cr %	Co %	Sb %	Cu %	Pb %
C	1	1	0.24	0.69	0.83	8.8	189	0.22	5.99	13	3%	2%	3%	37%	83%		
C	1	2	0.11	0.91	0.62	7.2	97.3	0.23	2.87	9	3%	6%	2%	36%	77%		
C	2	1	4.5	0.31	0.25	27.2	727	2.71	91.8	399	13%	3%	2%	49%	69%		
C	2	2	3.37	0.75	0.52	36.5	1253	1.52	71.5	182	10%	5%	2%	63%	89%		
C	3	1	5.39	1.01	0.74	35.5	1323	3.33	162	267	12%	7%	4%	68%	96%		
C	3	2	15.3	0.54	0.6	68.1	2369	5.77	218	388	14%	4%	3%	77%	100%		
C	4	1	0.09	0.52	0.67	4.5	93	0.09	1.49	8	4%	2%	4%	35%	73%		
C	4	2	0.1	0.38	0.72	2.9	66.8	0.08	1.6	9	5%	2%	5%	32%	73%		
D	1	1	10.5	1.38	1.46	83.2	1838	2.96	76.3	529	14%	8%	6%	65%	86%		
D	1	2	1.21	0.16	0.3	21.4	442	0.9	22.2	58	8%	2%	1%	52%	82%		
D	2	1	0.41	1.28	0.44	15.2	321	0.5	11	41	4%	8%	1%	43%	85%		
D	2	2	5.07	1.08	0.68	86.1	1576	4.13	70	380	10%	5%	3%	76%	94%		
D	3	1	0.19	0.48	0.69	7.4	127	0.25	3.79	19	5%	3%	3%	46%	90%		
D	3	2	2.48	0.92	0.67	36.6	859	1.72	46.4	413	8%	5%	3%	70%	81%		
D	4	1	0.39	0.51	0.79	5.8	155	0.15	3.71	42	8%	4%	5%	48%	86%		
D	4	2	0.06	0.44	0.82	3.1	40.5	0.11	0.97	5	6%	4%	5%	39%	76%		

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3105
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 3105
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

