

Handelingsperspectieven ecologische risico's

Contents

1	Inleiding	2
2	Ecologische risico's in de Wet Bodembescherming	2
2.1	Algemeen	2
2.2	Stap 2: standaard beoordeling ecologische risico's	3
2.3	Stap 3: locatiespecifieke risicobeoordeling	3
3	Van probleemgestuurde naar oplossingsgerichte risicobeoordeling	3
3.1	Risico's: de bron-pad-receptor-benadering	3
3.2	Gebruiksfunctie, Ecosysteemdiensten en multistress	4
3.3	Conceptual Site Model en Oplossingsgerichte risicobeoordeling	6
3.3.1	Conceptual Site Model - wat weet ik van mijn locatie?	6
3.3.2	Oplossingsgerichte risicobeoordeling - wat is er mogelijk op mijn locatie?	8
4	Risicoreducerende maatregelen	8
4.1	Geschiktheid van maatregelen per situatie	11
5	Toepassen van sanerings- en beheer(s)maatregelen in de praktijk	12
5.1	Casus Broekpolder, Vlaardingen	13
6	Referenties	15
Bijlage 1 Uitleg factsheets en beslistabellen Sanerings- en beheer(s)opties		16
Naam maatregel		16
Korte beschrijving techniek		16
Toepasbaarheid in verschillende situaties		16
Gebruiksfunctie en bodemtype		16
Neveneffecten en risico's en invloed op betrokkenen		20
Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel		20
Nazorg, monitoring en instandhouding		21
Duurzaamheid ingreep		21
Beslistabellen		21

1 Inleiding

De aanwezigheid van bodemverontreiniging kan risico's voor het ecosysteem met zich meebrengen. Als deze risico's als onaanvaardbaar worden beoordeeld, zal actie ondernomen moeten worden. In het geval van ecologische risico's zijn er vaak meerdere mogelijkheden om de risico's weg te nemen of te reduceren. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de verschillende mogelijkheden die beschikbaar zijn om de risico's te verminderen. De sanerings- en beheer(s)opties en hun toepasbaarheid in verschillende situaties worden in summiere factsheets en beslistabellen beschreven. Aan de hand van dit overzicht wordt het eenvoudiger om voor een locatie de juiste optie(s) te selecteren. Hierbij wordt – waar mogelijk – ook rekening gehouden met het concept van ecosysteemdiensten (ESD) en met multistress – het feit dat op een locatie vaak meer dan één verstorende factor aanwezig is die een effect heeft op het functioneren van het (bodem)ecosysteem, zoals betreding door mensen, geluidsoverlast, lichtvervuiling en nutriëntenproblematiek.

2 Ecologische risico's in de Wet Bodembescherming

2.1 Algemeen

Als het vermoeden bestaat of bekend is dat er op een locatie bodemverontreiniging aanwezig is die vóór 1987 is ontstaan (een zogenaamd historisch geval van verontreiniging) dient conform de Wet bodembescherming (Wbb) te worden vastgesteld of sprake is van een geval van ernstige verontreiniging¹. In de Circulaire bodemsanering staat de uitwerking van het saneringscriterium centraal waarmee wordt vastgesteld of een spoedige sanering noodzakelijk is (versie geldend vanaf 1 juli 2013, zoals gepubliceerd in Staatscourant Nr. 16675, 27 juni 2013).

Voor elk geval van ernstige verontreiniging dient te worden vastgesteld of er al dan niet sprake is van onaanvaardbare risico's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in risico's voor de mens, voor het ecosysteem en voor verspreiding. Als is vastgesteld dat er sprake is van onaanvaardbare risico's voor de mens en/of het ecosysteem en/of verspreiding dient met **spoed** te worden gesaneerd. Saneren houdt in dat er maatregelen dienen te worden getroffen die er primair op zijn gericht de onaanvaardbare risico's weg te nemen. Met 'spoed saneren' betekent dat de sanering binnen vier jaar na het afgeven van de beschikking 'ernst en spoed' moet zijn begonnen.

Bepalen of er al dan niet sprake is van spoed gebeurt in drie stappen:

- Stap 1: vaststellen dat er sprake is van een geval van ernstige verontreiniging;
- Stap 2: standaard risicobeoordeling;
- Stap 3: locatiespecifieke risicobeoordeling.

Hierbij zijn stap 1 en stap 2 verplicht en is stap 3 facultatief. Stap 3 wordt alleen uitgevoerd voor die onderdelen waarover onvoldoende zekerheid bestaat over het resultaat van stap 2. Is stap 3 uitgevoerd, dan is het resultaat bindend. De webapplicatie [Sanscrit](#) is beschikbaar om de spoedbepaling te faciliteren. In de volgende paragrafen wordt de invulling van de

¹ Er is sprake van een geval van ernstige verontreiniging indien voor ten minste één stof de gemiddeld gemeten concentratie in de grond binnen een bodemvolume van minimaal 25 m³ en/of in het grondwater binnen een bodemvolume van minimaal 100 m³ de interventiewaarde overschrijdt.

standaard- en locatiespecifieke beoordeling van risico's voor het ecosysteem (stap 2 en stap 3) nader toegelicht.

2.2 *Stap 2: standaard beoordeling ecologische risico's*

De standaard beoordeling van risico's voor het ecosysteem is gebaseerd op drie aspecten:

- de mate van verontreiniging uitgedrukt als Toxische Druk. De Toxische Druk wordt berekend uit de totaalconcentraties aan verschillende stoffen gemeten in de bodem;
- de gevoeligheid van het ecosysteem. Er zijn drie categorieën van gevoeligheid van gebruikstype onderscheiden waarbij natuur het meest gevoelig is en het ecosysteem ter plaatse van industriegebieden of infrastructuur het minst gevoelig;
- het oppervlak waarover de verontreiniging aanwezig is. Hierbij wordt alleen het oppervlak van de onbedekte bodem meegenomen.

Afhankelijk van de Toxische Druk ($>0,25$ of $>0,65$) zijn er oppervlaktecriteria afgeleid voor elke categorie gebruikstypen. Als verontreiniging ter plaatse van de onbedekte bodem het betreffende oppervlaktecriterium overschrijdt is er conform de standaardbeoordeling sprake van onaanvaardbare risico's voor het ecosysteem. Als de standaard risicobeoordeling is uitgevoerd kan worden gekozen om op basis van het resultaat de beschikking 'ernst en spoed' te nemen of om een locatiespecifieke beoordeling uit te voeren.

2.3 *Stap 3: locatiespecifieke risicobeoordeling*

Aan het begin van stap 3 wordt direct een keuze gemaakt voor:

- Stap 3a - een gestructureerde maatschappelijke afweging bedoeld om af te wegen of het zinvol is om vervolgonderzoek uit te voeren en de keuze tussen al dan niet met spoed te gaan saneren te baseren op dit vervolgonderzoek of om de keuze tussen al dan niet met spoed te gaan saneren te baseren op de gegevens van de locatie en omgeving die op dat moment voorhanden zijn;
- Stap 3b - uitvoeren van een locatiespecifiek onderzoek bestaande uit bijvoorbeeld een Triade-onderzoek. Met een Triade-onderzoek worden gegevens van de locatie verzameld betreffende de aanwezige verontreinigingen, de beschikbaarheid van de verontreinigingen voor het ecosysteem, de effecten op organismen die in het veld te zien zijn en de effecten op organismen die de verontreinigingen onder standaard laboratoriumomstandigheden laten zien. Een Triade-onderzoek geeft veel informatie over de daadwerkelijke risico's voor het ecosysteem. Tevens is deze informatie waardevol bij het ontwikkelen van saneringsopties.

3 **Van probleemgestuurde naar oplossingsgerichte risicobeoordeling**

3.1 *Risico's: de bron-pad-receptor-benadering*

Een risico is het product van de kans dat een gebeurtenis zich voordoet en het gevolg van die gebeurtenis. Het reduceren van risico's kan dus gebeuren door de kans op een gebeurtenis te verkleinen, het gevolg van de gebeurtenis te beperken of door beide te verkleinen.

Bij bodemverontreiniging is de Bron-Pad-Receptor-benadering een geschikte manier om de verontreinigingssituatie te beschouwen en te beoordelen (Posthuma et al., 2008). Deze benadering beschouwt de volgende elementen:

- Bron - dit is de verontreiniging zelf: waar komt de verontreiniging vandaan, uit welke stoffen bestaat de verontreiniging en wat zijn de gehalten van deze stoffen?

- Pad – dit is de route van blootstelling aan de verontreiniging (de bron): op welke manier(en) en via welke routes komen de receptoren in contact met de verontreiniging?
- Receptor – dit is het organisme of proces dat in contact komt met de verontreiniging: welke soorten en processen kunnen via het pad in contact komen met de verontreiniging en wat is hun gevoeligheid?

De receptoren zijn degenen die effect kunnen ondervinden van de verontreiniging. Wanneer bron, paden en receptoren duidelijk in beeld zijn, kan een afweging gemaakt worden of de combinatie van bron en pad op een verontreinigde locatie voor risico's op gewenste en/of aanwezige soorten kan leiden. De hoogte van deze risico's bepaalt de onaanvaardbaarheid. Vanuit de bron-pad-receptor-benadering kan dan naar oplossingsrichtingen gekeken worden: door de bron (gedeeltelijk) weg te nemen, het pad (gedeeltelijk) af te sluiten en/of de (wenselijkheid van) aanwezigheid van gevoelige receptoren te bepalen, kunnen risico's gereduceerd worden.

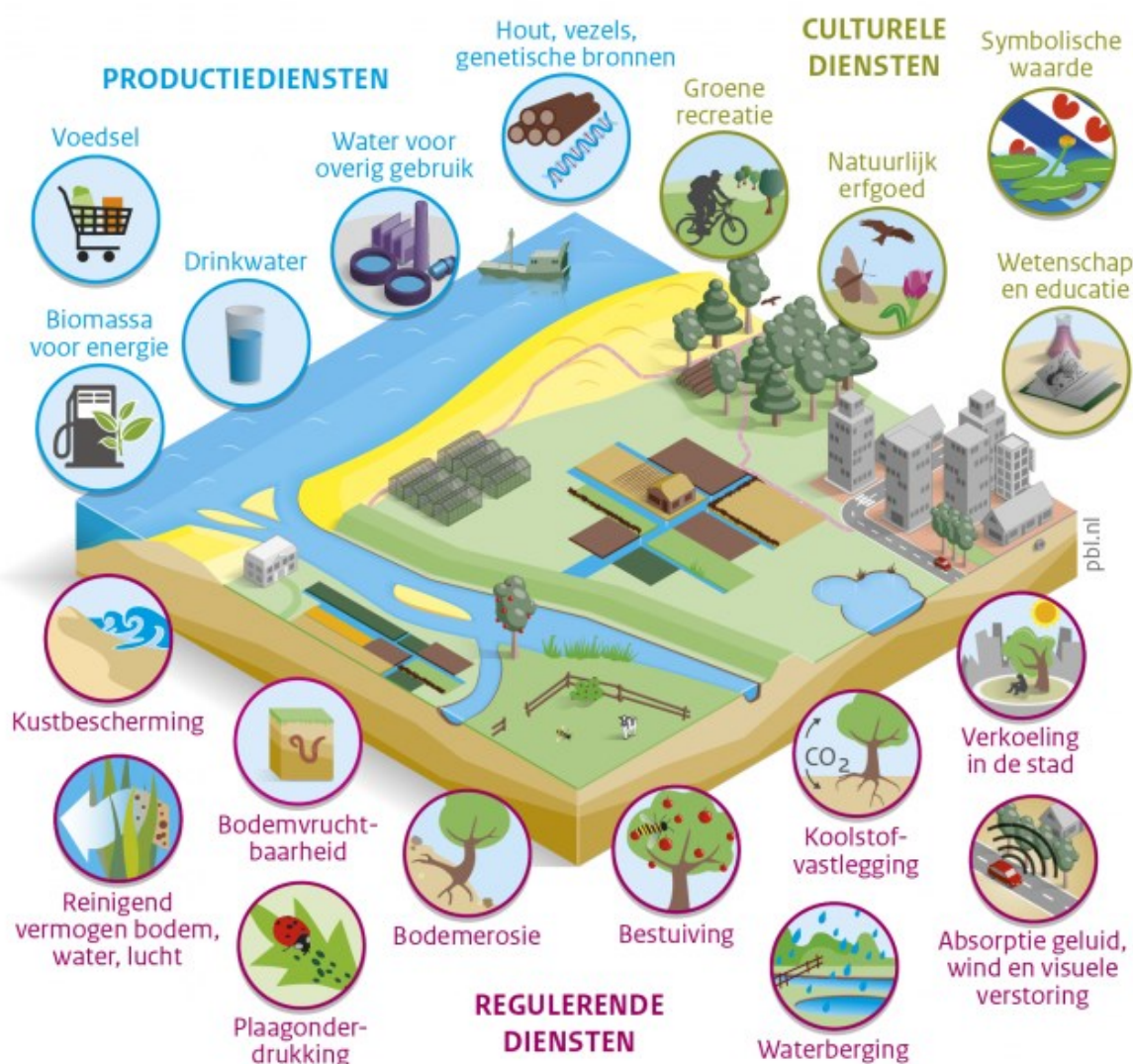
3.2 *Gebruiksfunctie, Ecosysteemdiensten en multistress*

Een verontreinigde locatie heeft altijd een gebruiksfunctie. De gevoeligheid van deze gebruiksfuncties in combinatie met het verontreinigde oppervlak en de verontreinigingsgehalten bepaalt het risico volgens de Wbb. Vanuit de gebruiksfunctie levert de bodem echter ook diensten aan de mens. Dit zijn de zogenaamde ecosysteemdiensten. Ecosysteemdiensten worden ingedeeld in een aantal categorieën (UNEP, 2003: TCB, 2012):

- Toeleverende of productiediensten: dit zijn producten die door de mens uit het ecosysteem worden betrokken, zoals voedsel en vezels, brandstoffen (biomassa), biochemicalïën en medicijnen en zoetwater.
- Regulerende diensten: dit zijn de voordelen die de mens heeft uit de regulering van processen in een ecosysteem, zoals klimaat- en warmteregulatie, plaagbestendigheid, bodemvruchtbaarheid, zaadbankfunctie, waterberging, waterzuivering en bestuiving.
- Culturele diensten: dit zijn de immateriële zaken die de mens uit het ecosysteem verkrijgt, zoals natuurbeleving, recreatie, geestelijke en intellectuele ontwikkeling, cultureel erfgoed, inspiratie en spiritualiteit.
- Ondersteunde diensten: dit zijn de diensten die nodig zijn voor de productie van bovenstaande categorieën en betreffen o.a. primaire productie, vorming en behoud van de bodem, kringloopprocessen (water, nutriënten) en de natuurlijke leefomgeving.

In onderstaande figuur is een aantal ecosysteemdiensten visueel weergegeven.

Voorbeelden van ecosysteemdiensten in Nederland



Bron: PBL, WUR, CICES 2014

www.pbl.nl

Figuur 1. Voorbeelden van ecosysteemdiensten in Nederland, (Bron: [PBL](http://www.pbl.nl), WUR, CICES, 2014).

Naast effecten op het functioneren van het ecosysteem zoals bedoeld in de Wbb heeft bodemverontreiniging ook een invloed op ecosysteemdiensten. Bij het bepalen van de handelingsperspectieven in geval van bodemverontreiniging is het daarom zinvol om ook rekening te houden met de ecosysteemdiensten die een locatie levert. Zo zullen de culturele diensten van een braakliggend terrein in een industriegebied beperkt zijn in vergelijking met een recreatiegebied, maar kan een regulerende dienst als waterberging cruciaal zijn. Bij de afweging van de optimale (combinatie van) risicoreducerende maatregelen voor het ecosysteem is het daarom ook zinvol om aandacht te besteden aan de ecosysteemdiensten op een locatie. Daarbij dient rekening gehouden te worden met het gegeven dat niet alleen de bodemverontreiniging, maar ook de maatregelen zelf effect op de ecosysteemdiensten kunnen hebben. Zo is het verharden van een groot oppervlak op een verontreinigde locatie

waar waterberging een belangrijke ecosysteemdienst is, niet aan te raden, terwijl het voor de reductie van ecologische risico's op een locatie met ecologisch laag gewaardeerde gebruiksfunctie met juist een zinvolle optie kan zijn.

Zowel het ecologisch functioneren van een locatie en de bijbehorende ecosysteemdiensten hangen niet enkel samen met de aan- of afwezigheid van bodemverontreiniging. Ook andere factoren – chemische, fysische en biologische - kunnen voor verstoring van het optimaal functioneren van het ecosysteem en ecosysteemdiensten zorgen. Hierbij kan gedacht worden aan droogte (bijvoorbeeld door onttrekking van (grond)water voor irrigatie), verzuring van de bodem, depositie van nutriënten, geluid- en lichtvervuiling, verzouting, overstroming, verstoring door betreding, aanwezigheid van invasieve soorten, etc. Op de meeste verontreinigingslocaties is meer dan één drukfactor (of stressor) aanwezig. Deze combinatie van factoren wordt ook wel **multistress** genoemd. Bij het bepalen van de optimale sanerings- en beheer(s)opties is het belangrijk om ook in beeld te hebben welke andere stressfactoren aanwezig zijn. In het optimale geval wordt met een maatregel zowel de verontreinigingssituatie als andere stressfactoren aangepakt. Op een locatie waar een voedselarm natuurdoeltype wordt nagestreefd kan bijvoorbeeld gekozen worden om een relatief ingrijpende maatregel als af- en ontgraven in te zetten, omdat daarmee zowel de verontreiniging als de voedselrijke toplaag wordt verwijderd. Andersom kan het ook zo zijn dat de druk van stressfactoren anders dan verontreiniging dusdanig groot is, dat een ingrijpende manier van saneren niet zinvol is. Zonder aanpak van de andere stressfactoren heeft het effect van de saneringsmaatregel maar een minimale invloed op het verbeterd functioneren van het ecosysteem en de ecosysteemdiensten. Dit soort afwegingen moet locatiespecifiek worden bekeken.

3.3 *Conceptual Site Model en Oplossingsgerichte risicobeoordeling*

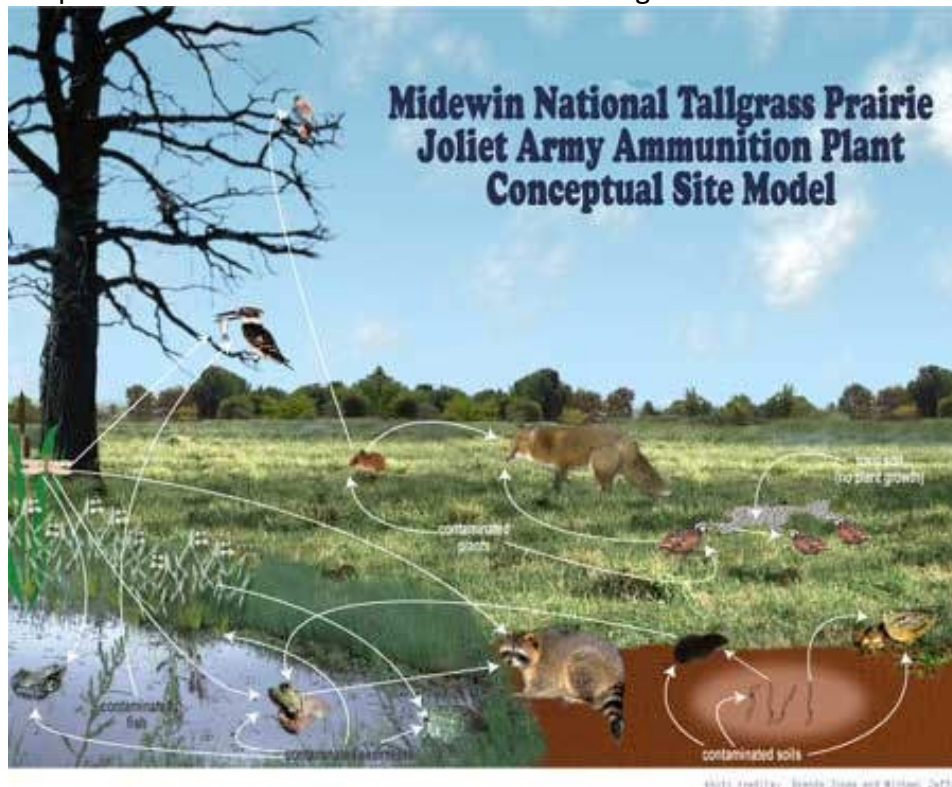
3.3.1 *Conceptual Site Model - wat weet ik van mijn locatie?*

Het Conceptual Site Model (CSM) is een manier om beschikbare informatie over een verontreinigde locatie op een heldere en transparante manier weer te geven (EPA, 2013; SIKB, 2013; ADEC, 2010). Hierbij kan gedacht worden aan informatie over:

- Huidig en beoogd bodemgebruik;
- Bodemopbouw;
- Verontreinigingssituatie – van welke verontreinigingen en gehalten is sprake, is het een homogene verontreiniging, of is er sprake van een gradiënt (de bron);
- Vegetatietype;
- De blootstellingsroutes naar de receptoren;
- Andere stressfactoren;
- Invloed in grond-, kwel- of oppervlaktewater op en van de aanwezige bodemverontreiniging;
- Aanwezigheid van gevoelige situaties, processen en organismen (de receptoren);
- (On)aanvaardbaarheid van ecologische risico's voor de specifieke locatie(s).

Door de gestructureerde manier van weergeven komt uit de beschikbare informatie naar voren welke essentiële informatie mist om een weloverwogen beslissing te kunnen maken over de aanpak van de verontreinigingssituatie. Het CSM is een iteratief model: dat wil zeggen dat door het invullen van de kennisleemtes met nieuw verkregen gegevens het model zal mee veranderen, waardoor steeds duidelijker wordt waar de belangrijkste risico's zijn. Dit geeft de mogelijkheid tot doorkijk naar optimale oplossingsrichtingen.

In onderstaande figuur is een eenvoudig voorbeeld van een CSM weergegeven waarin de blootstellingsroutes van de verontreiniging naar de flora en fauna is weergegeven voor een ecosysteem op een locatie waar een munitiefabriek heeft gestaan.



Figuur 2. Eenvoudig Conceptual Site Model waarin de blootstellingsroutes van de verontreiniging naar de receptoren is weergegeven (Bron: [US-EPA](https://www.epa.gov/assessing-and-managing-ecological-risks/ecotoxicity-assessments)).

Het gebruik van een CSM past in de manier waarop in de Circulaire bodemsanering met het beschouwen van ecologische risico's wordt omgegaan. Veel informatie kan verkregen worden uit stap 1, waar het in kaart brengen en uitkarteren van de verontreinigingssituatie in een nader onderzoek centraal staat. In stap 2 worden de ecologische risico's op een generieke manier in beeld gebracht door ecotoxiciteitsdata uit de literatuur te gebruiken om een indicatie te geven van de effecten op het ecosysteem ter plaatse (de berekening van de Toxische Druk² en toetsing aan oppervlaktecriteria bij de huidige en/of beoogde gebruiksfunctie). In vervolgstappen kan verder worden ingezoomd op de informatie die tot een betere selectie van optimale risicoreducerende maatregelen kan leiden, zoals bepalen van de aanwezige gevoelige soorten en processen en de beschikbaarheid van de verontreinigingen voor organismen en processen. In het CSM kan deze informatie aangevuld worden met extra informatie over de aanwezigheid en omvang van andere stressfactoren en de belangrijkste blootstellingsroutes naar receptoren in het systeem. Met dit soort extra informatie helpt het CSM te bepalen welke specifieke oplossingsrichtingen voor de locatie geschikt zijn, terwijl de onderzoeksinspanning gericht is op de onderdelen die voor de specifieke locatie relevant zijn.

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

3.3.2 Oplossingsgerichte risicobeoordeling - wat is er mogelijk op mijn locatie?

Het in kaart brengen van risico's is het belangrijkste onderdeel in ecologische risicobeoordeling. De 'klassieke' risicobeoordeling heeft het in kaart brengen van risico's van bodemverontreiniging als doel. Bij oplossingsgerichte en cumulatieve risicobeoordeling wordt de risicobeoordeling ook ingezet om de relatieve waarde van verschillende vormen van risicobeheersing te evalueren. De invloed van andere drukfactoren op het ecosysteem en de doelstellingen binnen een gebied hebben daarin ook een rol (o.a. NRC, 2009; Thomas, 2005; EPA, 2003). Deze vorm van risicobeoordeling dwingt betrokkenen en onderzoekers om voorafgaand aan het uitvoeren van onderzoek de locatiespecifieke mogelijkheden om de ecologische risico's te reduceren goed in kaart te brengen en de onderzoeksopties hieraan aan te passen. Hierbij moet dan niet enkel aan de standaard saneringsmogelijkheden als het aanbrengen van een leeflaag of af- en ontgraven van de verontreiniging gedacht worden, maar ook aan minder reguliere risicoreducerende beheer(s)maatregelen of een combinatie van maatregelen, waarvoor mogelijk extra informatie noodzakelijk is. Het instrument van de maatschappelijke afweging uit de Circulaire bodemsanering kan ingezet worden om de opties voor risicoreducerende maatregelen te bespreken. In het volgende hoofdstuk wordt verder ingegaan op mogelijkheden van sanerings- en beheer(s)maatregelen op locaties waar ecologische risico's aanwezig zijn.

4 Risicoreducerende maatregelen

Voor een locatie waar ecologische risico's aanwezig zijn als gevolg van een ernstig geval van bodemverontreiniging en waar een beschikking 'ernst en spoed' voor is afgegeven, moet binnen vier jaar actie worden ondernomen om de risico's weg te nemen of te reduceren. Voor probleembezitters, beheerders, gebruikers en bevoegd gezag is het daarom belangrijk om verschillende opties voor risicoreductie in beeld te hebben. Om deze reden is een lijst met risicoreducerende sanerings- en beheer(s)opties opgesteld voor gevallen waar ecologische risico's leidend zijn.

Bij het samenstellen van de lijst is onder meer gebruik gemaakt van ervaringen uit eerder uitgevoerde risicobeoordelingen en saneringen, van de bibliotheek op www.bodemrichtlijn.nl, (grijze) literatuur, etc. Het betreft een niet-uitputtende lijst met sanerings- en beheer(s)opties die relevant zijn bij risico's voor het bodemecosysteem. Maatregelen die voor de reductie van humane risico's en verspreidingsrisico's gebruikt worden, maar niet relevant zijn voor ecologische risico's, zijn buiten beschouwing gelaten. De techniek ontwikkeld zich in een snel tempo: in de toekomst zullen nieuwe technieken beschikbaar komen waarmee innovatieve saneringen en beheer mogelijk zijn. Ook bij afwezigheid van een maatregel in de lijst kan het zo zijn dat die maatregel geschikt is en goed ingezet kan worden voor reductie van ecologische risico's. De lijst dient als een handvat om inzicht te krijgen in verschillende risicoreducerende maatregelen en kan als inspiratie dienen om innovatieve risicoreducerende oplossingen in te zetten op verontreinigde locaties waar ecologische risico's aanwezig zijn.

Per maatregel is een factsheet opgesteld³. Deze zijn opgenomen in bijlage 2. De opbouw van de factsheets wordt in bijlage 1 uitgelegd en beargumenteerd. De onderstaande tabel geeft de lijst met sanerings- en beheer(s)maatregelen weer:

Tabel 1 Sanerings- en beheersmaatregelen bij ecologische risico's (niet-uitputtende lijst)

Methode		Subvariant	
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken
3	Isoleren	a	Leeflaag
		b	Leeflaag met folie
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen
		b2	Landfarming
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH
		b	Organisch stofgehalte verhogen
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)
		d	Chemisch vastleggen
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen
		b	Vernatting
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)
		d	Leeflaag (zie 3a)
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)
		g	Omslaan van de bodem
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)
		c	Maaibeheer

³ Bij de sanerings- en beheer(s)opties is niet aangegeven wat de kosten per volume- of oppervlakte-eenheid van de verschillende opties zijn. Dit is namelijk sterk afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals verontreinigingsgraad, bodemtype, gebruiksfunctie, verontreinigd oppervlak, etc. Ook is de prijs van bepaalde maatregelen sterk afhankelijk van de stand van techniek: bij de inzet van nieuwe methoden en technieken, kan een bepaalde optie vele malen goedkoper worden.

Impliciet zijn financiële overwegingen meegenomen in de beslistabellen: zo is bijvoorbeeld het diep ontgraven van een oppervlakte van meer dan 5 hectare naast de impact op het aanwezige ecosysteem ook financieel zeer ongunstig. In de beslistabellen zal deze optie bij een dergelijk oppervlak dus ook laag scoren.

De hoofdcategorieën worden hieronder kort toegelicht. Specifieke toelichting per subvariant worden in bijlage 2 behandeld in de factsheets.

1 Af- en ontgraven

Onder Af- en ontgraven wordt verstaan het (meestal machinaal met behulp van een kraan) verwijderen van verontreinigde grond tot elke gewenste diepte. De vrij gekomen grond wordt nabij de locatie verwerkt of met een vrachtwagen of schip afgevoerd naar een locatie voor tijdelijke opslag of voor permanente verwerking. Het is een robuuste maatregel waarbij alle of een groot deel van de verontreiniging wordt verwijderd, maar die ook een grote impact heeft op het aanwezige ecosysteem.

2 Herschikken van grond

Herschikken van grond is het binnen de locatiegrenzen verplaatsen van verontreinigde grond. Hierbij kan de verontreiniging op een kleiner oppervlak geconcentreerd worden en eventueel kan deze geconcentreerde hoeveelheid verontreinigde grond afgedekt worden om de risico's te reduceren. Dit is een aanpak die – afhankelijk van het oppervlak – een behoorlijke impact op het aanwezige ecosysteem kan hebben.

3 Isoleren

Isoleren is het aanbrengen van een barrière die de verontreinigde grond en de bovenkant van de aangebrachte barrière scheidt. Dit kan grond zijn, maar ook een verhardingslaag of bebouwing. Met deze vorm van saneren wordt de verontreiniging niet verwijderd, maar wel moeilijker bereikbaar gemaakt voor organismen. Het is een aanpak die een behoorlijke impact op het bestaande ecosysteem kan hebben.

4 In-situ remediatie

In-situ remediatie is het verwijderen van de verontreiniging op de locatie zelf door bijvoorbeeld afbraak- of opnameprocessen. Het is een saneringsoptie die vaak relatief lang duurt, maar waarbij de verontreiniging wel verwijderd wordt. Vaak is de impact op het bestaande ecosysteem beperkt.

5 Immobiliseren

Verontreinigingen veroorzaken pas risico's in een ecosysteem wanneer deze beschikbaar zijn voor organismen. Stoffen die sterk gebonden zijn aan bodemdeeltjes of in complexen vast liggen vormen geen direct risico voor organismen, omdat ze in die vorm niet opgenomen worden. Het vrije deel van de verontreiniging - dat in het bodemvocht aanwezig is of in het verteringsstelsel van organismen beschikbaar komt - kan voor negatieve effecten zorgen. De beschikbaarheid van een verontreiniging hangt sterk af van de bodemeigenschappen en de eigenschappen van de stof. De beschikbaarheid van de meeste metalen neemt af bij een verhoging van de pH, het lutumgehalte en het organisch stofgehalte en bij verlaging van het zuurstofgehalte in de bodem. Voor arseen neemt de beschikbaarheid juist toe bij een hogere pH en een lager zuurstofgehalte. Voor de meeste organische verontreinigingen, zoals PAK's, PCB's, dioxines en bestrijdingsmiddelen is de beschikbaarheid voornamelijk afhankelijk van het organisch stofgehalte van de bodem. Hoe hoger dit is, hoe lager de beschikbaarheid. Door gebruik te maken van deze eigenschappen en verontreinigingen vast te leggen (immobiliseren), kunnen ecologische risico's gereduceerd worden.

6 Contactmogelijkheden reduceren

Een verontreiniging heeft pas een negatief effect op de ecologie wanneer zij daadwerkelijk in contact komt met de organismen en processen in het (bodem)ecosysteem. Door contactmogelijkheden tussen organisme en/of proces en verontreiniging te beperken, zowel in ruimte als tijd, zal ook het risico dat door de verontreiniging wordt veroorzaakt gereduceerd worden. Binnen de bron-pad-receptor-benadering is dit een aanpak waarbij wordt gefocust op wegnemen van (een deel van) het pad, namelijk, de opnamemogelijkheid van de verontreiniging beperken

7 Bodemgebruik aanpassen

Het bodemgebruik en de (ecologische) doelstelling binnen een gebied bepalen vanaf welke oppervlakten en gehalten onaanvaardbare risico's voor het ecosysteem bestaan. Door doelstellingen en/of bodemgebruik/-functie aan te passen kan de relevantie van de ecologische impact van een bodemverontreiniging op het ecosysteem volgens de Wet Bodembescherming gereduceerd worden.

8 Natuurbeheer

Via natuurbeheer kunnen maatregelen getroffen worden om de risico's van een verontreiniging te reduceren. Hieronder kan een vrij breed kader aan maatregelen geschaard worden, variërend van maaibeheer tot het al dan niet inzetten van grote grazers. Natuurbeheer is meeromvattend dan de drie beheeropties die in de lijst zijn aangegeven, maar is vaak dusdanig locatiespecifiek dat niet alle opties behandeld kunnen worden. Natuurbeheer betreft vaak maatregelen die een beperkt risicoreducerend effect hebben, maar in combinatie met andere maatregelen een relevante risicoreductie op kunnen leveren, waarbij de impact op het bestaande ecosysteem vaak beperkt is.

4.1 Geschiktheid van maatregelen per situatie

De inzet van een maatregel hangt van een aantal zaken af, zoals de gebruiksfunctie van een locatie, het type verontreiniging en de verontreinigingsgehalten (of Toxische Druk), het bodemtype en bodemeigenschappen, de verontreinigingssituatie in de omgeving en het verontreinigd oppervlak.

De lijst met sanerings- en beheersmaatregelen kan gezien worden als een toolbox waaruit de meest geschikte instrumenten voor een specifieke situatie kunnen worden gekozen. Als beslissingsondersteunend instrument voor probleembezitters, beheerders, gebruikers en bevoegd gezag zijn daarom beslistabellen gemaakt waarmee geschikte risicoreducerende maatregelen kunnen worden bepaald voor een specifieke situatie (zie bijlage 3). Hierbij is onderscheid gemaakt in de volgende criteria:

- Gebruiksfunctie (toe te passen wegingsfactor 40%);
- Bodemtype (incl. organische stofgehalte) (gecombineerd met gebruiksfunctie);
- Stofgroep van verontreinigingen (toe te passen wegingsfactor 10%);
- Toxische druk (toe te passen wegingsfactor 20%);
- Oppervlakte van onbedekte verontreiniging (toe te passen wegingsfactor 25%);
- Verontreinigingssituatie in de omgeving (diffuus/hotspot) (toe te passen wegingsfactor 5%).

De verschillende onderdelen binnen deze criteria worden behandeld in de toelichting op de factsheets in bijlage 1. Door de verschillende criteria die op een locatie van toepassing zijn te combineren kan bepaald worden welke (sets van) maatregelen geschikt zijn om in te zetten op een specifieke locatie.

De uitkomsten voor specifieke sanerings- of beheer(s)maatregelen die volgen uit de beslistabellen dienen niet als leidend gezien te worden, maar als handvat voor (discussie over) de te volgen aanpak voor een specifieke locatie. Een locatiespecifieke situatie kan om andere (combinaties van) maatregelen vragen dan uit de beslistabellen volgen, bijvoorbeeld ook om maatregelen die niet vermeld zijn. Het betrekken van terzakekundigen – zoals een eco(toxico)loog, beheerder en saneerder – bij de uiteindelijke beslissing voor het uitvoeren van (een combinatie van) maatregelen op een verontreinigde locatie is altijd aan te bevelen.

In het eerste kwartaal van 2015 zal het RIVM een online beslismodule aanbieden op de Sanscrit-website. Hierin kunnen de verschillende criteria die gelden voor een verontreinigde locatie ingevuld worden. De module geeft aan de hand van deze criteria de optimale sanerings- en beheer(s)opties uit de lijst in tabel 1 voor de specifieke locatie. Uiteraard zijn ook de resultaten die de module aanbiedt niet leidend, maar een startpunt voor overleg over de meest geschikte risicoreducerende maatregelen voor een specifieke verontreinigingslocatie.

5 Toepassen van sanerings- en beheer(s)maatregelen in de praktijk

In de praktijk zijn alle locaties waar bodemverontreiniging voor ecologische risico's zorgt verschillend. Zo zal bijvoorbeeld de invloed van overige stressfactoren, bodemeigenschappen, aan- of afwezigheid van gevoelige objecten of organismen en de bron van de verontreiniging verschillen. Dit maakt dat er niet één eenduidige risicoreducerende oplossing is voor alle locaties, maar dat dit per locatie bepaald dient te worden. De beste aanpak bestaat meestal niet, maar er moet gestreefd worden naar een optimale aanpak. Een optimale aanpak zal – zeker voor grotere gebieden – vaak een combinatie zijn van het toepassen van verschillende maatregelen in ruimte en tijd.

In het geval van grote locaties zijn maatregelen vaak het best in te passen in gebiedsontwikkelingen, zodat ook met andere functies en kwaliteiten van een gebied rekening gehouden kan worden en de andere druk op de bodem ook duidelijk in beschouwing wordt genomen. Dit past binnen de Triple O-benadering van een duurzame gebiedsontwikkeling (Starink et al., 2013), waarbij de verschillende functies en onderdelen binnen een gebied niet afzonderlijk, maar als geheel worden beschouwd:

- Ontdekken: het benutten van de kracht en mogelijkheden van het natuurlijk kapitaal dat in het gebied aanwezig is;
- Overeenkomen: het samen met alle betrokkenen de meerwaarde van het gebied inzichtelijk maken;
- Ontwikkelen: de meerwaarde van het gebied benutten door het ontwikkelen van toekomstbestendig en duurzaam beheer en exploitatie, waarbij gestreefd wordt naar optimale waarde toevoeging.

Het gebruik van de juiste tools (maatregelen in dit geval) om het onderdeel bodemverontreiniging in een gebiedsontwikkeling aan te pakken, draagt bij aan de

maatschappelijke acceptatie en aan het optimaal benutten van de kwaliteiten van de bodem in een gebied. De link met overige drukfactoren waar de bodem aan bloot wordt gesteld in een gebied moet hierin leidend zijn. Bij een gebiedsgerichte benadering kan onderscheid gemaakt worden tussen beheer- en gebiedsontwikkelingsmaatregelen vanuit het perspectief van bodemverontreiniging of vanuit het perspectief van de kwaliteit van de leefomgeving.

5.1 *Casus Broekpolder, Vlaardingen*

Een interessant voorbeeld is de manier waarop om wordt gegaan met een grootschalige bodemverontreiniging in de Broekpolder in Vlaardingen. De Broekpolder is een ruim 350 ha groot groen- en recreatiegebied in het noordwesten van de gemeente Vlaardingen. Van 1958 tot 1976 is een groot gedeelte van de Broekpolder opgespoten met enkele meters baggerspecie uit de Rotterdamse havens. Dit heeft voor een ernstig geval van bodemverontreiniging geleid in het gebied met onaanvaardbare risico's voor het ecosysteem. Vanwege de omvang van het gebied en de verontreiniging is hier een uitgebreid locatiespecifiek ecologisch onderzoek uitgevoerd naar de daadwerkelijke risico's van de bodemverontreiniging in het gebied. Hieruit bleek dat vooral drins – een groep van inmiddels verboden bestrijdingsmiddelen – voor doorvergiftigingsrisico's konden zorgen. Voor de Broekpolder is een visie ontworpen waarin een aantal doelen benoemd zijn die breder waren dan enkel de bodemverontreiniging (zie ook figuur 3):

- het versterken van de natuurwaarden;
- het verbeteren van de belevingswaarde van de natuurkern;
- het verbeteren van de recreatieve mogelijkheden in de natuurkern, en
- saneringsaanpak voor de plekken waar de bodemverontreiniging voor onaanvaardbare risico's zorgt.

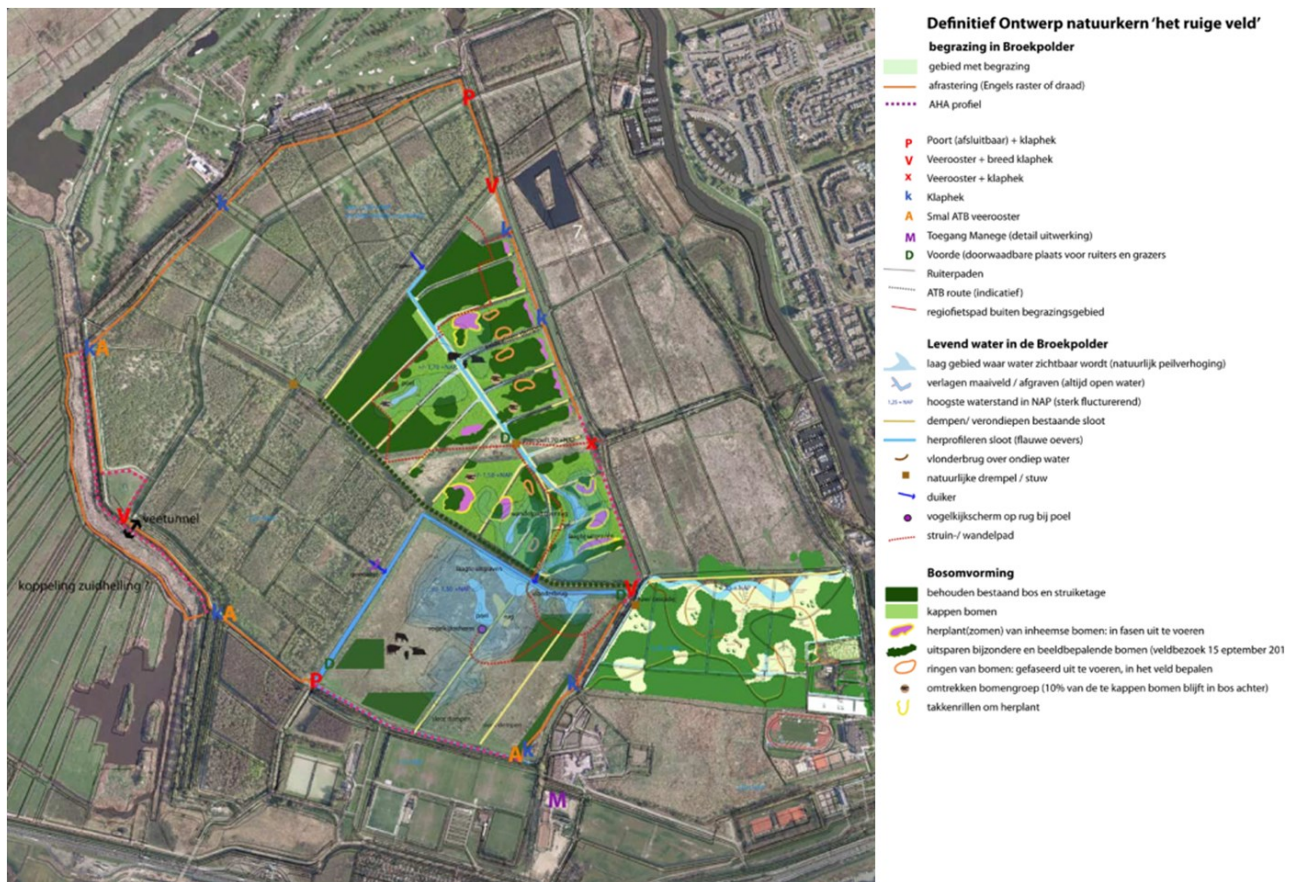
Door niet alle doelen apart aan te pakken, maar in samenhang met elkaar, kan een meerwaarde voor het gebied worden gecreëerd, terwijl de ecologische risico's gereduceerd worden. Zo wordt een batterij aan sanerings- en beheersvarianten ingezet in combinatie met de beoogde gebiedsontwikkeling van natuurwaarden en recreatiemogelijkheden.

Hierbij gaat het o.a. om: ontgraven (factsheet 1a/b), herschikken van grond (factsheet 2), aanbrengen van een leeflaag (factsheet 2a), aanbrengen van verharding (factsheet 2d), bosvorming en aanleg van velden (factsheet 6a), vernatting (factsheet 6b), aanpassen van begrazing (factsheet 6c/f) en bekalking (factsheet 5a).

Deze maatregelen worden slim ingezet om een optimaal resultaat te bewerkstelligen. Zo zijn bijvoorbeeld de verhardingen die worden aangebracht op sterk verontreinigde deellocaties voornamelijk parkeerplaatsen waar recreanten hun auto kunnen parkeren, wordt de leeflaag gefaseerd aangebracht (een aantal centimeter per jaar, uitgesmeerd over tientallen jaren), waardoor de impact op het ecosysteem beperkt blijft, wordt bos aangelegd op locaties waar doorvergiftigingsrisico's met drins het grootst zijn en wordt vernat op plekken waar dit ook het geval is, maar waardoor de natuurbeleving voor de recreant ook toeneemt. Voor het aanbrengen van de leeflaag wordt zoveel mogelijk grond uit de omgeving gebruikt, waar ook andere grondwerkzaamheden plaatshebben waarbij schone grond vrijkomt (bijvoorbeeld de aanleg van een weg).

Het bewust combineren van verschillende gebiedsontwikkelingen en de aanpak van ecologische risico's door bodemverontreiniging biedt – indien goed doordacht – veel kansen

om op een kostenefficiënte manier de leefomgeving voor zowel mens als ecosysteem te verbeteren.



Figuur 3. Deelontwerp van de Broekpolder te Vlaardingen (bron: Bureau Stroming, 2011).

6 Referenties

ADEC, 2010. Policy Guidance on Developing Conceptual Site Models. Alaska Department of Environmental Conservation, Division of Spill Prevention and Response – Contaminated Sites Program rapport, October 2010.

Bureau Strooming, 2011. Toelichting definitief ontwerp 'Het Ruige Veld'- Natuurkern van de Broekpolder.

EPA, 2003. Framework for Cumulative Risk Assessment. US-Environmental Protection Agency rapport EPA/630/P-02/001F, May 2003.

EPA, 2013. Guidance On The Management Of Contaminated Land And Groundwater At EPA Licensed Sites. Environmental Protection Agency rapport 07/13, Ierland.

Grontmij, 2011. Raamsanerings- en beheerplan - Recreatiegebied en voormalige baggerspecieloswal Broekpolder te Vlaarding. Project 294696, rapport ref. 99096513-JS.

NRC, 2009. Science and decisions : advancing risk assessment. Rapport van US National Research Council, Committee on Improving Risk Analysis Approaches Used by the U.S. EPA, Board on Environmental Studies and Toxicology, Division on Earth and Life Studies.

Posthuma, L., R. Westerhof, A. Wintersen, P.F. Otte en S. Lukacs, 2008. Kijk op de Risicoolbox Bodem : Beoordelen van de actuele bodemkwaliteit en kiezen van Lokale Maximale Waarden. RIVM-rapport 711701082/2008.

SIKB, 2013. Voorbereiding en uitvoering van veldwerk voor Triade onderzoek van landbodems. SIKB protocol 2301, juni 2013.

Starink, J., H. Nuiver, S. Keuning, P. Oude Boerrigter, R. Westerhof, M. Rutgers, S. van der Meulen, A. Smit, T. Breure, G. van Eijnden, C. Roghair en T. Winkler, 2013. De Triple-O aanpak. Ecosysteemdiensten in de praktijk van duurzaam bodembeheer en gebiedsontwikkeling. Uitgave van: Consortium Ecosysteemdiensten in de praktijk van duurzaam bodembeheer & gebiedsontwikkeling.

TCB, 2012. Advies Beter besluiten met Ecosysteemdiensten (Red. J. van Wensem). Rapport Technische Commissie Bodem A073 (2012).

Thomas, J.F., 2005. Chapter 7: Codorus Creek: Use of the relative risk model ecological risk assessment as a predictive model for decision-making. In: Regional Scale Ecological Risk Assessment: Using the Relative Risk Model (ed. W.G. Landis), USA.

UNEP, 2003. Ecosystems and human well-being : a framework for assessment. Rapport Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment.

Bijlage 1 Uitleg factsheets en beslistabellen Sanerings- en beheer(s)opties

Per maatregel is een factsheet beschikbaar. De opbouw van de factsheets en de beslistabellen wordt in deze bijlage uitgelegd en beargumenteerd. Een aantal criteria en onderdelen die behandeld worden in de factsheets, komen ook terug in de beslistabellen.

Naam maatregel

In dit onderdeel staat de naam voor de sanerings- en/of beheer(s)maatregel. Deze wordt voorafgegaan door een cijfer- en een lettercodering. Het cijfer komt overeen met de code in de beslistabel voor de hoofdgroep van maatregelen waaronder de specifieke maatregel valt. De lettercodering geeft de specifieke maatregel aan, zoals ook in de beslistabellen opgenomen is. De hoofdgroepen van maatregelen zijn als volgt ingedeeld:

1. Af- en ontgraven
2. Herschikken
3. Isoleren
4. In-situ remediatie
5. Immobiliseren
6. Contactmogelijkheden reduceren
7. Bodemgebruik aanpassen in plaats en tijd
8. Natuurbeheer

Korte beschrijving techniek

Bij dit onderdeel wordt de bewuste risicoreducerende maatregel summier beschreven.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Bij dit onderdeel wordt de toepasbaarheid van de risicoreducerende maatregel summier beschreven aan de hand van onderstaande zaken (waar relevant):

Gebruiksfunctie en bodemtype

Gebruiksfunctie

Er wordt aangegeven bij welk bodemtype, bodemeigenschappen en bodemgebruiksfunctie de maatregel effectief in te zetten is. **Gebruiksfunctie** wordt ingedeeld in de categorieën die ook in de Circulaire bodemsanering (per 1 juli 2013) worden benoemd:

- *Natuur incl. EHS* – dit is het gevoeligste gebiedstype met de hoogste ecologische waarde. Mede door deze hoge gevoeligheid zijn niet alle risicoreducerende maatregelen even goed toepasbaar, omdat een ingreep zelf ook schade toe kan brengen aan de natuurwaarden.
- *Landbouw* – op één na gevoeligste gebiedstype. Dit is een gebiedstype dat sterk gereguleerd en aangepast wordt voor en door de mens. Het grote oppervlak aan landbouwgebied en de vaak grote, aaneengesloten gebieden maakt dat het landbouwgebied ook een ecologische functie en waarde heeft. Ook ecosysteemdiensten – zoals voedselproductie en retentie van hemelwater – spelen een rol bij landbouwareaal. Het is een gebiedstype waar de wisselwerking tussen economische en ecologische doelstellingen bepalend zijn voor welke risicoreducerende maatregelen toepasbaar zijn. Om die reden is bijvoorbeeld onderdeel 8 van de risicoreducerende maatregelen (Natuurbeheer) niet beoordeeld voor het gebiedstype Landbouw.

- *Wonen met tuin en Volks- en moestuinen*: op één na gevoeligste gebiedstypen. Vanwege de vergelijkbaarheid vanuit ecologisch perspectief zijn deze twee gebiedstypen gegroepeerd. Hoewel er sprake is van een door mensen sterk aangepast systeem hebben tuinen een ecologische relevantie, zeker in gebieden met veel bebouwing. Aaneengesloten tuinen kunnen als vluchtplaats, foerageergebied en/of 'stepping stones' dienen voor flora en fauna. Ook levert de bodem in tuinen ecosysteemdiensten, zoals waterretentie en ontspanningsmogelijkheden. Bij het bepalen van de optimale risicoreducerende maatregelen voor tuinen dient er naast het (bodem)ecosysteem ook rekening gehouden te worden met de wensen en eisen van eigenaars en gebruikers.
- *Groen met natuurwaarden*: op één na gevoeligste gebiedstype. Voor dit gebiedstype geldt een lagere ecologische waarde dan voor natuur. Hier kan het bijvoorbeeld gaan om recreatieplekken voor mensen, zoals (stads)parken en buitengebieden of groene stroken tussen landbouwgebieden. Door deze extra functies ten opzichte van het gebiedstype Natuur heersen er ook vaak extra stressfactoren binnen dit gebied. Verontreiniging kan er hier één van zijn. De ecologische relevantie van dit soort gebieden en de ecosysteemdiensten die ze leveren kan groot zijn doordat ze natuur verbinden, voor ontspanningsmogelijkheden zorgen in stedelijk gebied, een leefgebied vormen voor planten en dieren, plaagbufferend kunnen werken in landbouwgebieden en als buffer voor hemelwater kunnen werken. Omdat de ecologische doelstelling lager is dan voor natuur is er wat betreft risicoreducerende maatregelen vaak meer mogelijk, al dient ook rekening gehouden te worden met de wensen van de gebruikers van deze locaties.
- *Ander groen*: minst gevoelige gebiedstype. Voor dit gebiedstype geldt de laagste ecologische waarde. Ander groen is het groen dat niet tot natuur of groen met natuurwaarden behoort. Dit zijn bijvoorbeeld de groenzones in industriegebieden en braakliggende terreinen waarvoor geen ecologische doelstelling bestaat. In dergelijke gebieden biedt de bodem ook ecosysteemdiensten. Zo kan er bijvoorbeeld waterberging plaatsvinden en kan het als waterretentiegebied voor hemelwater dienst doen. Vanwege de lage ecologische waarde en de beperkte natuurbeleving voor de mens is het in dit gebiedstype mogelijk om risicoreducerende maatregelen te nemen die soms een (tijdelijke) negatieve invloed hebben op het aanwezige bodemecosysteem of maatregelen die pas na een langere tijd effect heeft. Dit soort gebieden heeft echter vaak een groot verontreinigd oppervlak, waardoor niet alle maatregelen (economisch) haalbaar zijn.
- *Industrie, Infrastructuur en Bebouwing*: minst gevoelige gebiedstypen. Deze gebiedstypen hebben geen ecologische waarde. De verontreiniging onder deze gebiedstypen/bodemgebruiksfuncties is automatisch geïsoleerd. Deze bodemgebruiksfuncties worden om die reden niet behandeld in dit rapport.

Overige opmerkingen

De bron van de verontreiniging is in een aantal gevallen ook bepalend voor de manier waarop het best met een verontreiniging kan worden omgegaan. Gezien de grote hoeveelheid aan bronnen – zoals diverse soorten storten, wasserijen en diffuse verontreiniging door sedimentatieprocessen - is hier in de factsheets en de beslistabellen geen onderscheid tussen gemaakt. In een aantal gevallen zal de invloed van bron in een factsheet worden benoemd, wanneer dit relevant is voor de toepasbaarheid van een specifieke maatregel.

Bodemtype

Voor het bodemtype is de keuze gemaakt om de drie belangrijkste bodemtypen in Nederland in beschouwing te nemen. Voor deze bodemtypen zijn aannames over de bodemeigenschappen gemaakt:

- *Zand*: zand bestaat uit korrels met een grootte van 50 µm tot 2 mm. Zand is relatief goed waterdoorlatend. De pH van zandgrond is vaak laag (zuurgraad; pH 3,5 – 5,5) wat van invloed kan zijn op de beschikbaarheid van bijvoorbeeld zware metalen.
- *Klei*: klei bestaat voornamelijk uit korrels <2 µm (lutum). De pH van kleigrond is relatief hoog (>6,5), wat van invloed is op de beschikbaarheid van bijvoorbeeld zware metalen. Klei heeft in tegenstelling tot zand een hoge kationenuitwisselingscapaciteit (CEC; cation exchange capacity), waardoor – naast nutriënten – bijvoorbeeld verontreinigingen als zware metalen gebonden kunnen worden. Er ontstaat een dynamisch evenwicht tussen de negatief geladen kleideeltjes en positief geladen deeltjes in de bodem: deze laatste opgenomen kunnen worden en ook weer langzaam vrijkomen in het bodemvocht, terwijl andere positief geladen deeltjes dan weer worden opgenomen.
- *Veen*: veen bestaat voornamelijk uit (deels) vergane plantenresten en is daardoor zeer organisch stofrijk. De pH van veengrond ligt vaak tussen de 4 en 5,5. Wat CEC betreft zit veengrond tussen zand en klei in door het hoge organische stofgehalte.

Overige bodemeigenschappen

Naast de aannames over pH en CEC voor klei, zand en veen, zijn klei en zand onderverdeeld in hoog en laag organische stofgehalte. Het organische stofgehalte is onder andere van belang voor bodemvruchtbaarheid, watervasthoudend vermogen en de binding van nutriënten en verontreinigingen. Er is onderscheid gemaakt in een hoog organisch stofgehalte (>10%) en een laag organisch stofgehalte (≤10%). Deze grens is gekozen op basis van het organische stofgehalte voor standaardbodem in de Circulaire bodemsanering.

Verontreinigingssituatie

Hierbij wordt zowel het type verontreiniging als de verontreinigingssituatie in de omgeving geschetst. Het type verontreiniging is onderverdeeld in een aantal groepen. Deze groepen zijn gebaseerd op hun globale gedrag in de bodem en zijn beperkt tot de meest voorkomende verontreinigingen in de Nederlandse bodem.

- *Zware metalen*: zware metalen zoals koper, lood, zink, cadmium, nikkel, chroom en barium gedragen zich in grote mate vergelijkbaar in het milieu. Hun beschikbaarheid voor organismen hangt in meer of mindere mate af van het organisch stof- en lutumgehalte in de bodem, de zuurstofcondities (en daarmee samenhangend de redoxcondities) en de pH. Om deze reden is de groep van zware metalen gegroepeerd. Zware metalen zijn niet afbreekbaar, maar kunnen wel vastgelegd worden in de bodem, waardoor hun beschikbaarheid beperkt kan worden.
- *Metalloïden*: dit zijn halfmetalen waarvan arseen de bekendste is. Ook de beschikbaarheid van deze groep voor bodemorganismen en bodemprocessen hangt af van bodemeigenschappen als redoxcondities, pH en organische stofgehalte. Echter, de manier waarop deze groep reageert op veranderingen in de bodemeigenschappen kan tegengesteld zijn aan het gedrag van zware metalen. Ook metalloïden zijn niet afbreekbaar, maar kunnen wel vastgelegd worden in de bodem.
- *PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen)*: dit is een groep van organische microverontreinigingen die uit twee of meerdere benzeenringen bestaan. Ze binden in de bodem aan organische stof en kunnen door micro-organismen gedeeltelijk of geheel afgebroken worden onder zuurstofrijke omstandigheden. Over het algemeen geldt dat

hoe langer PAK's in de bodem aanwezig zijn, hoe minder beschikbaar ze zijn voor organismen en bodemprocessen, en hoe lager hun risico.

- *Minerale olie*: minerale olie is de verzamelnaam voor de koolwaterstofverbindingen met ketenlengtes van 10 tot 40 koolstofatomen (C10-C40). Deze groep van stoffen bindt in de bodem aan organische stof en kan door micro-organismen gedeeltelijk of geheel afgebroken worden onder zuurstofrijke omstandigheden. Voor minerale olie zijn er nog geen ecologische risicogrenzen bepaald.
- *Persistente organische verontreinigingen (POP's)*: dit is een brede groep van organische microverontreinigingen die slecht of niet afbreken in het milieu en die over het algemeen kunnen ophopen in organismen (bioaccumuleren en biomagnificeren). Hiertoe behoren veel gehalogeneerde organische verbindingen als dioxines, (organochloor)bestrijdingsmiddelen, furanen en PCB's. Hun beschikbaarheid in de bodem hangt samen met onder andere het organisch stofgehalte van de bodem.

Er is voor gekozen om de sterkst mobiele verontreinigingen, zoals vluchtige koolwaterstoffen en gechloreerde oplosmiddelen buiten beschouwing te laten. Hier zal de aanpak vaak gericht zijn op het voorkomen van verspreiding in plaats van op ecologische risico's van deze groep(en).

Verontreinigingssituatie in de omgeving

De maatregelen die optimaal werken in een bepaalde situatie hangen af van het bodemgebruik, het type verontreiniging, maar ook van de verontreinigingssituatie in de omgeving. Er is daarom onderscheid gemaakt tussen een verontreinigde locatie binnen een gebied dat diffuus verontreinigd is (**diffuus**) en een verontreinigde locatie binnen een gebied waar geen andere verontreinigingen aanwezig zijn (**hotspot**). Bij de eerste (diffuus) kan de gradiënt tussen de verontreinigingssituatie die aangepakt dient te worden en de omgeving vlak zijn: de situatie tussen het sterk verontreinigde deel en de achtergrondconcentraties in de omgeving is relatief beperkt. Bij de tweede situatie (hotspot) is juist sprake van een steile gradiënt tussen de verontreinigingssituatie op de 'hotspot' en de niet-verontreinigde omgeving. Hierdoor zijn bepaalde risicoreducerende maatregelen in de ene situatie kansrijker dan in de andere.

Verontreinigd oppervlak en toxische druk

In de Circulaire bodemsanering zijn grenswaarden aangegeven voor de onaanvaardbaarheid van risico's voor het ecosysteem. Deze zijn gebaseerd op een combinatie van de Toxische druk⁴ en het onbedekte verontreinigde oppervlak. In onderstaande tabel B1.1 is deze relatie weergegeven.

⁴ Het concept 'toxische druk' is een maat om de negatieve ecologische effecten van (een mengsel van) verontreinigingen aan te geven, en is gebaseerd op de msPAF (meerdere stoffen potentieel aangetaste fractie). De msPAF is een theoretisch percentage of fractie organismen in een ecosysteem dat negatieve effecten ondervindt van het mengsel aan verontreinigingen. De msPAF wordt verkregen door de effecten van de verschillende verontreinigingen (en bijbehorende gehalten) te combineren tot één getal. Zo betekent bijvoorbeeld een msPAF van 0,3 of 30% dat theoretisch 30% van de in het ecosysteem aanwezige organismen negatief beïnvloed wordt door de aanwezige verontreiniging.

Tabel B1.1. Indeling van de gebiedstypen en de bijbehorende oppervlaktecontouren, zoals opgenomen in de Circulaire bodemsanering (2013).

Gebiedstype	Oppervlakte onbedekte verontreiniging (toxische druk >25%)	Oppervlakte onbedekte verontreiniging (toxische druk >65%)
Natuur incl. gebieden behorende tot de EHS – onderzoekslocatie buiten hek	500 m ²	50 m ²
Groen met natuurwaarden	5.000 m ²	500 m ²
Landbouw		
Wonen met tuin		
Moestuinen/volkstuinen		
Ander groen – onderzoekslocatie binnen hek	50.000 m ²	5.000 m ²
Bebouwing		
Industrie		
Infrastructuur		

De indeling die gekozen is in de beslistabellen behorende bij de factsheets sluit bij deze tabel aan:

- >50 m² - <500 m²;
- 500 m² – 5.000 m²;
- 5.000 m² – 50.000 m²;
- >50.000 m².

Hetzelfde geldt voor de toxische druk:

- >25%;
- >65%.

De geschiktheid (effectiviteit en haalbaarheid) van een risicoreducerende maatregel hangt af van zowel oppervlakte als toxische druk. Zo is het bijvoorbeeld onrealistisch om te kiezen voor het diep Af- en ontgraven van een verontreiniging met een toxische druk >25% over een gebied >50.000 m². Dit heeft zowel een grote impact op het bestaande ecosysteem op de locatie, de maatschappelijke acceptatie en de kosten.

Neveneffecten en risico's en invloed op betrokkenen

Hier worden overige consequenties van de maatregel benoemd - anders dan het reduceren van de risico's - en eventuele gevolgen voor betrokkenen. Deze betrokkenen bestaan uit directe en indirecte gebruikers van een gebied (recreanten, omwonenden, landbouwers, waterschappen), eigenaren, beheerders en bevoegd gezag.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Bij dit onderdeel wordt kort besproken wat de impact van een maatregel op tijds- en ruimtelijke schaal is op het bestaande ecosysteem en de ecosysteemdiensten van de bodem. Zo kan in sommige gevallen de impact op het ecosysteem of de levering van specifieke ecosysteemdiensten groot zijn, maar kan dit op de langere termijn een grote winst opleveren voor het ecosysteem. Dit blijft vaak een locatiespecifieke afweging waarbij het vooral voor de grote locaties raadzaam is om terzakekundigen te raadplegen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Hier wordt kort behandeld welke maatregelen nodig zijn om de (effectiviteit van de) risicoreducerende maatregel te controleren en te volgen in de tijd.

Duurzaamheid ingreep

Hier wordt aandacht besteed aan de duurzaamheid van de ingreep. Dit betreft zowel duurzaamheid op het gebied van uitvoering van de maatregel (bijvoorbeeld inzet van materieel) als duurzaamheid van de maatregel zelf: wordt bijvoorbeeld de verontreiniging weggenomen of blijft deze aanwezig?

Per risicoreducerende maatregel worden de relevante onderdelen besproken in de factsheets (zie bijlage 2). Voor de leesbaarheid van de factsheets is niet elk onderdeel uitputtend behandeld per maatregel, maar zijn alleen de relevante onderdelen benoemd.

Beslistabellen

Als beslissingsondersteunend instrument voor probleembezitters, beheerders, gebruikers en bevoegd gezag zijn beslistabellen gemaakt waarmee geschikte risicoreducerende maatregelen kunnen worden bepaald voor een specifieke situatie (zie bijlage 3). Hierbij is onderscheid gemaakt in de volgende criteria:

- Gebruiksfunctie (toe te passen wegingsfactor 40%);
- Bodemtype (incl. organische stofgehalte) (gecombineerd met gebruiksfunctie);
- Stofgroep van verontreinigingen (toe te passen wegingsfactor 10%);
- Toxische druk (toe te passen wegingsfactor 20%);
- Oppervlakte van onbedekte verontreiniging (toe te passen wegingsfactor 25%);
- Verontreinigingssituatie in de omgeving (diffuus/hotspot) (toe te passen wegingsfactor 5%).

De verschillende onderdelen binnen deze criteria worden behandeld in bovenstaande tekst over de factsheets. Door de verschillende criteria die op een locatie van toepassing zijn te combineren kan bepaald worden welke (sets van) maatregelen geschikt zijn om in te zetten op een specifieke locatie.

De uitkomsten voor specifieke sanerings- of beheer(s)maatregelen die volgen uit de beslistabellen dienen niet als leidend gezien te worden, maar als handvat voor (discussie over) de te volgen aanpak voor een specifieke locatie. Een locatiespecifieke situatie kan om andere (combinaties van) maatregelen vragen dan uit de beslistabellen volgen. Het betrekken van terzakekundigen – zoals een eco(toxico)loog en saneerder - bij de uiteindelijke beslissing voor het uitvoeren van (een combinatie van) maatregelen op een verontreinigde locatie is altijd aan te bevelen.

In het eerste kwartaal van 2015 zal het RIVM een online beslismodule aanbieden op de Sanscrit-website. Hierin kunnen de verschillende criteria die gelden voor een verontreinigde locatie ingevuld worden. De module geeft aan de hand van deze criteria de optimale sanerings- en beheer(s)opties voor deze locatie.

Bijlage 2 Factsheets

Factsheet 1a: Af- en ontgraven, diep af- en ontgraven met / zonder aanvullen

Korte beschrijving techniek

Onder af- en ontgraven wordt verstaan het (meestal machinaal met behulp van een kraan) verwijderen van verontreinigde grond tot elke gewenste diepte. De vrij gekomen grond wordt nabij de locatie verwerkt of met een vrachtwagen of schip afgevoerd naar een locatie voor tijdelijke opslag of voor permanente verwerking. Indien (een deel van) de afgraving beneden de grondwaterspiegel plaats vindt, zijn bijkomende werkzaamheden van toepassing om de ontgraving in den droge te kunnen uitvoeren. Bij het ontgraven dient grond van verschillende bodemtypes en verontreinigingsgraden en -typen apart opgeslagen te worden. De put die is ontstaan door de ontgraving kan (deels) worden aangevuld. Belangrijk is dat de aanvulgrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en gelaagdheid en dat de voedingstoestand van de aanvulgrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (vooral van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Toepasbaarheid in verschillende situaties

De techniek is geschikt om elke type grond met elk type verontreiniging te verwijderen. Aangezien de kosten voor ontgraven, afvoeren en verwerken niet gering zijn, wordt de techniek vooral ingezet om bronlocaties en hotspots (plekken waar relatief hoge gehalten aan verontreiniging aanwezig zijn) te verwijderen. De gehalten ter plaatse van een bronlocatie of hotspot zijn hoog en daarmee de risico's voor het ecosysteem en voor verdere verspreiding van de verontreiniging, terwijl de omvang van de bronlocatie of hotspot vaak beperkt is. Door bronlocaties/hotspots te verwijderen kan met een relatief beperkte ingreep een groot deel van de vracht aan verontreiniging worden verwijderd en daarmee een groot deel van de risico's ten gevolge van de aanwezigheid van de verontreiniging worden gereduceerd.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn bij het Af- en ontgraven, dat de bodem onder het gewicht van het materiaal kan verdichten en dat de omgeving veel overlast kan ondervinden als een grote hoeveelheid transportbewegingen nodig is terwijl de aanwezige infrastructuur daar niet op is berekend.

Tevens dient er rekening mee te worden gehouden dat de zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig in het biologisch actieve deel van de bodem (de bovenste 0,2 a 0,3 m) (deels) wordt verwijderd. De hersteltijd van de zaadbank is lang en plantensoorten die niet in de omgeving groeien, zullen niet meer in de nieuw te vormen zaadbank terug komen. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) worden opgebracht afkomstig van een

locatie waar de doelvegetatie aanwezig is. Macrofauna en micro-organismen hebben eveneens vele jaren nodig om te herkoloniseren in de toplaag.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na Af- en ontgraven en eventueel aanvullen. De impact op het bodemecosysteem is zeer groot omdat het grootste deel van het biologisch actieve deel van de bodem ter plaatse van de ontgraving wordt verwijderd.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Alleen indien niet alle verontreinigde grond wordt verwijderd is een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om te ontgraven en af voeren zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Hoe dichterbij de locatie de afgegraven grond kan worden toegepast of verwerkt, hoe duurzamer het is.

Saneringsresultaat en nazorg

Het wordt als een duurzame oplossing beschouwd als verontreiniging ter plaatse van bronlocaties en hotspots van een locatie worden verwijderd en verwerkt.

Factsheet 1b: Af- en ontgraven, toplaag verwijderen met/zonder aanvullen

Korte beschrijving techniek

Door middel van Af- en ontgraven (meestal machinaal met behulp van een kraan) wordt de verontreinigde toplaag van de bodem (tot een diepte van 0,5 m –mv) verwijderd. De vrij gekomen grond wordt nabij de locatie verwerkt of met een vrachtwagen of schip afgevoerd naar een locatie voor tijdelijke opslag of voor permanente verwerking. Bij het ontgraven dient grond van verschillende bodemtypes en verontreinigingsgraden en -typen apart opgeslagen te worden. De ondiepe put die is ontstaan door de ontgraving kan (deels) worden aangevuld. Belangrijk is dat de aanvulgrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en dat de voedingstoestand van de aanvulgrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (met name van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Toepasbaarheid in verschillende situaties

De techniek is geschikt om elk type grond met elk type verontreiniging te verwijderen. Aangezien de kosten voor ontgraven, afvoeren en verwerken niet gering zijn, wordt de techniek vooral ingezet om bronlocaties en hotspots (plekken waar relatief hoge gehalten aan verontreiniging aanwezig zijn) uit de toplaag te verwijderen. De gehalten ter plaatse van een bronlocatie of hotspot zijn hoog en daarmee de risico's voor het ecosysteem en verdere verspreiding van de verontreiniging, terwijl de omvang van de bronlocatie of hotspot vaak beperkt is. Door bronlocaties/hotspots uit de toplaag te verwijderen kan met een relatief beperkte ingreep een groot deel van de risico's ten gevolge van de aanwezigheid van de verontreiniging worden gereduceerd.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn bij het Af- en ontgraven en afvoeren, dat de bodem onder het gewicht van het materieel kan verdichten en dat de omgeving veel overlast kan ondervinden als een grote hoeveelheid transportbewegingen nodig is terwijl de aanwezige infrastructuur daar niet op is berekend.

Tevens dient er rekening mee te worden gehouden dat de zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig in het biologisch actieve deel van de bodem (de bovenste 0,2 a 0,3 m) (deels) wordt verwijderd. De hersteltijd van de zaadbank is lang en plantensoorten die niet in de omgeving groeien, zullen niet meer in de nieuw te vormen zaadbank terug komen. Macrofauna en micro-organismen hebben eveneens vele jaren nodig om te herkoloniseren in de toplaag. Dit effect kan voor een deel teniet worden gedaan door her en der kleine oppervlakten toplaag niet af te graven zodat het bodemleven vanuit deze 'eilanden' de nieuwe toplaag kan koloniseren. Om een bepaald

vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) worden opgebracht afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na Af- en ontgraven en eventueel aanvullen. Een uitzondering hierop vormen eventueel de 'eilandjes' toplaag die bewust niet zijn verwijderd. De impact op het bodemecosysteem is zeer groot omdat het grootste deel van het biologisch actieve deel van de bodem wordt verwijderd.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Alleen indien niet alle verontreinigde grond wordt verwijderd is een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om te ontgraven en af te voeren zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Hoe dichterbij de locatie de afgegraven grond kan worden toegepast of verwerkt, hoe duurzamer het is. Vanuit oogpunt van energiegebruik is het ook duurzaam om zo min mogelijk grond af te voeren.

Saneringsresultaat en nazorg

Het wordt als duurzaam beschouwd als verontreinigde grond ter plaatse van bronlocaties en hotspots uit de toplaag van een locatie wordt verwijderd en verwerkt. Het saneringsresultaat is direct bereikt en op de plaatsen waar het grootste deel van de verontreiniging is verwijderd is minder nazorg noodzakelijk.

Factsheet 1c: Af- en ontgraven, Toplaag gefaseerd verwijderen met/zonder aanvullen

Korte beschrijving techniek

Door middel van Af- en ontgraven (meestal machinaal met behulp van een kraan) wordt de verontreinigde toplaag van de bodem (tot een diepte van 0,5 m –mv) verwijderd. De vrijgekomen grond wordt nabij de locatie verwerkt of met een vrachtwagen of schip afgevoerd naar een locatie voor tijdelijke opslag of voor permanente verwerking. Bij het ontgraven dient grond van verschillende bodemtypes en verontreinigingsgraden en -typen apart opgeslagen te worden. De ondiepe put die is ontstaan door de ontgraving kan (deels) worden aangevuld. Belangrijk is dat de aanvulgrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en dat de voedingstoestand van de aanvulgrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (vooral van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Af- en ontgraven kan gefaseerd (met tussenposen van maanden tot jaren) worden uitgevoerd. Fasering kan om verschillende redenen voordeel bieden:

- De kosten en de hoeveelheid werk en transportbewegingen kunnen over een langere periode worden uitgesmeerd;
- Door fasering krijgt het bodemleven de kans om vanuit nog niet afgegraven delen te koloniseren, waardoor het in een kortere tijdspanne weer de juiste soortensamenstelling en dichtheden heeft;
- Als het de bedoeling is dat na het af- en ontgraven van de toplaag natuurontwikkeling plaats zal vinden, ontstaat meer diverse natuur in de verschillende opeenvolgende stadia van ontwikkeling.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

De techniek is geschikt om elk type grond met elk type verontreiniging te verwijderen. Aangezien de kosten voor ontgraven, afvoeren en verwerken niet gering zijn wordt de techniek vooral ingezet als er over een groot oppervlak in de toplaag verontreiniging aanwezig is die onaanvaardbare risico's voor het ecosysteem veroorzaakt. Het aanvullen van de ondiepe put zal alleen gebeuren als er onder de toplaag eveneens verontreiniging aanwezig is in gehalten die risico's voor het ecosysteem veroorzaakt of als om andere redenen de oorspronkelijke maaiveldhoogte hersteld moet worden.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn bij het ontgraven en afvoeren, dat de bodem onder het gewicht van het materieel kan verdichten en dat de omgeving veel overlast kan ondervinden als een grote

hoeveelheid transportbewegingen nodig is terwijl de aanwezige infrastructuur daar niet op is berekend.

Tevens dient er rekening mee te worden gehouden dat de zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig in het biologisch actieve deel van de bodem (de bovenste 0,2 a 0,3 m) (deels) wordt verwijderd. De hersteltijd van de zaadbank is lang en plantensoorten die niet in de omgeving groeien, zullen niet meer in de nieuw te vormen zaadbank terug komen. Macrofauna en micro-organismen hebben eveneens vele jaren nodig om te herkoloniseren in de toplaag. Dit effect zal voor een deel teniet worden gedaan door de gefaseerde aanpak, zodat het bodemleven vanuit nog niet afgegraven delen de nieuwe toplaag kan koloniseren. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is worden opgebracht.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is pas bereikt nadat de verontreinigde grond van de laatste fase is afgegraven en eventueel aangevuld. De impact op het bodemecosysteem is zeer groot omdat het grootste deel van het biologisch actieve deel van de bodem wordt verwijderd.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Alleen indien niet alle verontreinigde grond wordt verwijderd is een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om te ontgraven en af voeren zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Hoe dichterbij de locatie de afgegraven grond kan worden toegepast of verwerkt, hoe duurzamer het is. Vanuit oogpunt van energiegebruik is het ook duurzaam om zo min mogelijk grond af te voeren.

Saneringsresultaat en nazorg

Het wordt als duurzaam beschouwd als zo veel mogelijk vracht aan verontreinig uit de toplaag van een locatie wordt verwijderd en verwerkt. Op de plaatsen waar het grootste deel van de verontreiniging is verwijderd is minder nazorg noodzakelijk.

Factsheet 2: Herschikken van grond, met of zonder afdekken

Korte beschrijving techniek

Onder herschikken wordt verstaan: de verontreinigde grond binnen de grenzen van de locatie verplaatsen. Meestal zal dit machinaal gebeuren. Hierbij kan gedacht worden aan het concentreren van de verontreinigde grond die bijvoorbeeld aanwezig is in de vorm van een verontreinigde top laag, op één locatie met beperkte omvang maar grotere toepassingshoogte (op één hoop). Het voordeel hiervan is dat het contactoppervlak van de verontreiniging kleiner wordt, waardoor de impact van de verontreiniging op het ecosysteem wordt gereduceerd. Door herschikken kan de eventuele invloed op het grondwater eveneens worden beperkt.

Optioneel kan de op één plek geconcentreerde verontreinigde grond aanvullend worden afgedekt met een laag niet verontreinigde grond, waardoor de impact van de verontreiniging op het ecosysteem nog verder wordt gereduceerd.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Binnen de kaders van de Wet bodembescherming (Wbb) is het toegestaan om grond binnen het geval van verontreiniging te herschikken. Dit herschikken moet wel leiden tot voldoende reductie van risico's voor het ecosysteem. Deze techniek is echter alleen geschikt voor niet mobiele verontreinigingen. Een nadeel van deze techniek is dat de verontreiniging op de locatie aanwezig blijft en er altijd een vorm van nazorg nodig zal zijn. Omdat de herschikte grond op de locatie aanwezig blijft zullen de kosten lager zijn dan wanneer de grond zou worden afgevoerd en verwerkt.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn bij het herschikken van de grond en dat de bodem onder het gewicht van het materieel kan verdichten. Tevens dient er rekening mee te worden gehouden dat door herschikken van de bovengrond, de zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen die aanwezig zijn in het biologisch meest actieve deel van de bodem (de bovenste 0,2 a 0,3 m) op een bepaald deel van de locatie worden verwijderd. De hersteltijd van de zaadbank is lang en plantensoorten die niet in de omgeving groeien, zullen niet meer in de nieuwe zaadbank terug komen. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is worden opgebracht. Macrofauna en micro-organismen hebben eveneens vele jaren nodig om te herkoloniseren in de nieuwe top laag.

De verwijderde grond zal na herschikken niet altijd in de bovenste 0,2 a 0,3 m van de bodem terecht komen. Als deze grond op een grotere diepte beneden maaiveld wordt toegepast dan in de

oorspronkelijke situatie, zal de bijdrage van de aanwezige zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aan het ecosysteem kleiner zijn.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na ontgraven en herschikken en eventueel afdekken van de grond. De impact op het bodemecosysteem is afhankelijk van het oppervlak waarover de grond is afgegraven, hoe groter de oppervlakte hoe groter de impact. Indien na het herschikken 'heuvels met grond' zijn gecreëerd is de ruimtelijke impact aanzienlijk omdat de locatie een heel ander aanzien heeft gekregen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat de verontreiniging na herschikken op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en voorkomen dat de verontreinigde grond zich opnieuw over de locatie kan verspreiden.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om grond te ontgraven en herschikken zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Vanuit oogpunt van CO₂-uitstoot geldt: hoe minder grond wordt herschikt, hoe minder brandstof zal worden gebruikt, dus hoe duurzamer het is.

Saneringsresultaat en nazorg

Dat de herschikte grond uiteindelijk op de locatie aanwezig blijft, waardoor de vracht aan aanwezige verontreiniging gelijk blijft en er altijd een vorm van nazorg noodzakelijk zal zijn, wordt vanuit oogpunt van bereikte risicoreductie als minder duurzaam beschouwd.

Factsheet 3a: Isoleren, leeflaag

Korte beschrijving techniek

Onder isoleren wordt verstaan: een laag grond op de verontreinigde grond aanbrengen waardoor de contactmogelijkheden van het ecosysteem met de verontreinigde grond worden beperkt. Hiermee worden de risico's voor het ecosysteem gereduceerd. De laag op te brengen grond zal in de meeste situaties een dikte hebben van 0,5 a 1,0 m. De leeflaaggrond wordt machinaal aangebracht.

Hemelwater kan door de leeflaag heen infiltreren tot in de oorspronkelijke bodem.

Bodemorganismen kunnen zich vrijelijk door de leeflaag en de oorspronkelijke bodem bewegen.

Belangrijk is dat de leeflaaggrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en dat de voedingstoestand van de leeflaaggrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (vooral van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Door het opbrengen van een leeflaag komt het maaiveld hoger te liggen. Als de maaiveldhoogte gelijk dient te blijven zal eerst grond dienen te worden afgegraven, afgevoerd en verwerkt voordat de leeflaag kan worden aangebracht.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Aangezien het meest actieve deel van het ecosysteem zich in de bovenste 0,2 a 0,3 m van de bodem bevindt, worden de risico's voor het ecosysteem substantieel gereduceerd door het aanbrengen van een leeflaag. Randvoorwaarde hierbij is dat de verontreinigingen niet vluchtig zijn of gemakkelijk uitspoelen.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn voor het aanbrengen van de leeflaag. Tevens dient voldoende grond beschikbaar te zijn van het gewenste bodemtype en voedingstoestand. Ook dient er rekening mee te worden gehouden dat de bodem onder het gewicht van het materieel kan verdichten en door het aanbrengen van de leeflaag kan inklinken.

Het biologisch meest actieve deel van het ecosysteem bevindt zich in de bovenste 0,2 a 0,3 m van de bodem en bevat de zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen. Door het aanbrengen van een leeflaag bevinden de zaadvoorraad en de organismen zich niet meer op de voor hun optimale diepte. Ook kunnen in de nieuw aangebrachte leeflaag een zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig zijn die niet de optimale samenstelling hebben voor het beoogde natuurbeheertype.

De oorspronkelijke macrofauna en micro-organismen kunnen vanuit de grotere diepte naar de bovengrond koloniseren. In de nieuwe leeflaag zal zich in de loop van de jaren een nieuwe zaadvoorraad vormen. Planten die niet ter plaatse of nabij de locatie aanwezig zijn, zullen geen deel uit gaan maken van deze zaadvoorraad. Op de leeflaag zal zich nieuwe vegetatie moeten

ontwikkelen. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) worden opgebracht afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is.

Indien een deel van de bovengrond dient te worden afgegraven voordat de leeflaag wordt aangebracht zullen daarmee de zaadvoorraad, de macrofauna en micro-organismen ook worden afgevoerd.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na het aanbrengen van de leeflaag. De impact op het bodemecosysteem is afhankelijk van het oppervlak waarover de leeflaag wordt aangebracht: hoe groter de oppervlakte hoe groter de impact. Indien bij grote oppervlakten wordt gekozen voor een leeflaag, dan heeft het **gefaseerd aanbrengen van een leeflaag** de voorkeur. Hierbij kan over een periode tot tientallen jaren op regelmatige intervallen een klein deel van de leeflaag (2-10 cm/jaar) worden aangebracht, waardoor het ecosysteem de tijd krijgt om te herstellen en natuurwaarden grotendeels behouden blijven.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat (een deel van) de verontreiniging na het aanbrengen van de leeflaag op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het in stand houden van de leeflaag.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om grond aan te brengen en eventueel te ontgraven zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Vanuit oogpunt van CO₂-uitstoot geldt: hoe minder grond wordt aan- en afgevoerd, hoe minder brandstof zal worden gebruikt dus hoe duurzamer de ingreep is.

Saneringsresultaat en nazorg

Omdat (een deel van) de verontreinigde grond uiteindelijk op de locatie aanwezig blijft, waardoor de vracht aan aanwezige verontreiniging gelijk blijft (of slechts deels wordt gereduceerd) is er altijd een vorm van nazorg noodzakelijk. Vanuit oogpunt van bereikte risicoreductie wordt deze saneringsmethode als minder duurzaam beschouwd. De methode is vooral geschikt voor de situatie waarbij er tot een grote diepte (> 1,0 m) verontreiniging aanwezig is.

Factsheet 3b: Isoleren, leeflaag met folie

Korte beschrijving techniek

Onder isoleren door middel van een leeflaag met folie wordt verstaan: een laag grond op een folielaag op de verontreinigde grond aanbrengen waardoor er geen contactmogelijkheden meer zijn tussen het ecosysteem en de verontreinigde grond. Hierdoor worden de risico's voor het ecosysteem weggenomen. De laag op te brengen grond zal in de meeste situaties een dikte hebben van 0,5 a 1,0 m. De leeflaaggrond wordt machinaal aangebracht. Aan de onderkant van de leeflaag, boven de folielaag dienen drainerende voorzieningen aangebracht te worden ten behoeve van de hemelwaterafvoer. Bodemorganismen kunnen niet door de folielaag heen bewegen. Belangrijk is dat de leeflaaggrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en dat de voedingstoestand van de leeflaaggrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (vooral van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Door het opbrengen van een leeflaag komt het maaiveld hoger te liggen. Als de maaiveldhoogte gelijk dient te blijven zal eerst grond moeten worden afgegraven, afgevoerd en verwerkt voordat de leeflaag kan worden aangebracht.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Aangezien het meest actieve deel van het ecosysteem zich in de bovenste 0,2 a 0,3 m van de bodem bevindt, worden door het aanbrengen van een leeflaag met folie alle contactmogelijkheden tussen het ecosysteem en de verontreinigde grond weggenomen. Deze manier van isoleren is voor elk type verontreiniging geschikt.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn voor het aanbrengen van de folielaag en leeflaag. Tevens dient voldoende grond beschikbaar te zijn van het gewenste bodemtype en voedingstoestand. Ook dient er rekening mee te worden gehouden dat de bodem door het gewicht van de leeflaag kan inklinken.

In de nieuw aangebrachte leeflaag kunnen een zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig zijn die niet de optimale samenstelling hebben voor het beoogde natuurbeheertype.

Het kan vele jaren duren voordat de macrofauna en micro-organismen in de leeflaag de juiste samenstelling en dichtheden hebben bereikt. In de nieuwe leeflaag zal zich in de loop van de jaren een nieuwe zaadvoorraad vormen. Planten die niet ter plaatse of nabij de locatie aanwezig zijn, zullen geen deel uitmaken van deze zaadvoorraad. Op de nieuwe leeflaag zal zich vegetatie moeten ontwikkelen. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) worden opgebracht afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is.

Doordat er geen regenwater door de bodem onder de isolatielaag infiltreert, is het risico op uitspoeling van verontreiniging sterk gereduceerd. Alleen stoffen waarbij sprake is van dichtheidsstroming zullen zich nog verder in het grondwater kunnen verspreiden.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na het aanbrengen van de folielaag en leeflaag, waarbij de risico's ten gevolge van de aanwezige verontreiniging volledig worden gereduceerd. De impact op het bodemecosysteem is in principe groot. Het oorspronkelijke bodemecosysteem wordt volledig afgesloten van de omgeving en in de leeflaag dient zich een bodemecosysteem te ontwikkelen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat (een deel van) de verontreiniging na het aanbrengen van de leeflaag op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het in stand houden van de leeflaag inclusief folielaag.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om de leeflaaggrond en folielaag aan te brengen en eventueel verontreinigde grond te ontgraven, zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Vanuit oogpunt van CO₂-uitstoot geldt: hoe minder grond wordt aan- en afgevoerd, hoe minder brandstof zal worden gebruikt dus hoe duurzamer de ingreep is.

Saneringsresultaat en nazorg

Dat de verontreinigde grond uiteindelijk op de locatie aanwezig blijft, waardoor de vracht aan aanwezige verontreiniging gelijk blijft (of slechts deels wordt verwijderd) is er altijd een vorm van nazorg noodzakelijk. Vanuit oogpunt van bereikte risicoreductie wordt deze saneringsmethode als minder duurzaam beschouwd. De methode is vooral geschikt voor de situatie waarbij er tot een grote diepte (> 1,0 m) verontreiniging aanwezig is.

Factsheet 3c: Isoleren, leeflaag met bentoniet/trisoplast

Korte beschrijving techniek

Onder isoleren door middel van een leeflaag met bentoniet/trisoplast wordt verstaan: een laag grond op een laag bentoniet of trisoplast op de verontreinigde grond aanbrengen waardoor er geen contactmogelijkheden meer zijn tussen het ecosysteem en de verontreinigde grond. Hierdoor worden de risico's voor het ecosysteem weggenomen. De laag op te brengen grond zal in de meeste situaties een dikte hebben van 0,5 a 1,0 m. De leeflaaggrond wordt machinaal aangebracht. Aan de onderkant van de leeflaag, boven de bentoniet/trisoplast dienen drainerende voorzieningen aangebracht te worden ten behoeve van de hemelwaterafvoer. Bodemorganismen kunnen niet door de bentoniet/trisoplast heen bewegen. Belangrijk is dat de leeflaaggrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en dat de voedingstoestand van de leeflaaggrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (vooral van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Door het opbrengen van een leeflaag komt het maaiveld hoger te liggen. Als de maaiveldhoogte gelijk dient te blijven zal eerst grond dienen te worden afgegraven, afgevoerd en verwerkt voordat de leeflaag kan worden aangebracht.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Aangezien het meest actieve deel van het ecosysteem zich in de bovenste 0,2 a 0,3 m van de bodem bevindt, worden door het aanbrengen van een leeflaag met bentoniet/trisoplast alle contactmogelijkheden tussen het ecosysteem en de verontreinigde grond weggenomen. Deze manier van isoleren is voor elk type verontreiniging geschikt.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn voor het aanbrengen van de leeflaag. Tevens dient voldoende grond beschikbaar te zijn van het gewenste bodemtype en voedingstoestand. Ook dient er rekening mee te worden gehouden dat de bodem door het gewicht van de leeflaag kan inklinken.

In de nieuw aangebrachte leeflaag kunnen een zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig zijn die niet de optimale samenstelling hebben voor het beoogde natuurbeheertype.

Het kan vele jaren duren voordat de macrofauna en micro-organismen in de leeflaag de juiste samenstelling en dichtheden hebben bereikt. In de nieuwe leeflaag zal zich in de loop van de jaren een nieuwe zaadvoorraad vormen. Planten die niet ter plaatse van of nabij de locatie aanwezig zijn, zullen geen deel uitmaken van deze zaadvoorraad. Vegetatie zal zich moeten ontwikkelen op de leeflaag. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) worden opgebracht afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is.

Doordat er geen regenwater door de bodem onder de bentoniet/trisoplast infiltreert, is het risico op uitspoeling van verontreiniging sterk gereduceerd. Alleen stoffen waarbij sprake is van dichtheidsstroming zullen zich nog verder in het grondwater kunnen verspreiden.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na het aanbrengen van de leeflaag, waarbij de risico's ten gevolge van de aanwezige verontreiniging volledig worden gereduceerd. De impact op het bodemecosysteem is in principe groot. Het oorspronkelijke bodemecosysteem wordt volledig afgesloten van de omgeving en in de leeflaag dient zich een bodemecosysteem te ontwikkelen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat (een deel van) de verontreiniging na het aanbrengen van de leeflaag op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het in stand houden van de leeflaag inclusief bentoniet/trisoplast.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om de leeflaaggrond en de isolatie aan te brengen en eventueel verontreinigde grond te ontgraven, zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Vanuit oogpunt van CO₂-uitstoot geldt: hoe minder grond wordt aan- en afgevoerd, hoe minder brandstof zal worden gebruikt dus hoe duurzamer de ingreep is.

Saneringsresultaat en nazorg

Dat de verontreinigde grond uiteindelijk op de locatie aanwezig blijft, waardoor de vracht aan aanwezige verontreiniging gelijk blijft (of slechts deels wordt verwijderd) is er altijd een vorm van nazorg noodzakelijk. Vanuit oogpunt van bereikte risicoreductie wordt deze saneringsmethode als minder duurzaam beschouwd. De methode is vooral geschikt voor de situatie waarbij er tot een grote diepte (> 1,0 m) verontreiniging aanwezig is.

Factsheet 3d: Isoleren, door afdekken met gebouw en/of verharding

Korte beschrijving techniek

Onder isoleren door middel van afdekken met een gebouw en/of verharding wordt verstaan: de contactmogelijkheden tussen het ecosysteem en de verontreinigde grond wegnemen door het bouwen van een gebouw en/of het aanleggen van verharding op de verontreinigde grond.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Deze methode van het wegnemen van risico's voor het ecosysteem is alleen zinvol als er al plannen bestonden voor het realiseren van een gebouw en/of verharding op of nabij de verontreinigde locatie en als de omvang van het gebouw en/of verharding groter is of ten minste gelijk aan de verontreiniging. Door het gebouw en/of de verharding ter plaatse van de verontreiniging worden de contactmogelijkheden tussen het ecosysteem in de omgeving en de verontreinigde grond weggenomen. Indien er sprake is van een verontreiniging met vluchtige verbindingen dienen maatregelen te worden getroffen om uitdamping naar binnenlucht te voorkomen.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Het ecosysteem ter plaatse van het geplande gebouw en/of verharding wordt nagenoeg volledig vernietigd. De impact daarvan hangt onder andere af van de omvang van het gebouw en/of de verharding ten opzichte van de omvang van de onbedekte bodem in de nabije omgeving en van de eventuele aanwezigheid van zeldzame soorten ter plaatse van het geplande gebouw of de verharding. Doordat er geen regenwater door de bodem onder de bebouwing/verharding infiltreert, is het risico op uitspoeling van verontreiniging sterk gereduceerd. Alleen stoffen waarbij sprake is van dichtheidsstroming zullen zich nog verder in het grondwater kunnen verspreiden.

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens nodig voor de bouw. Door het rijdend materieel kan de bodem ter plaatse worden verdicht.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na het realiseren van de bebouwing/verharding, waarbij de risico's ten gevolge van de aanwezige verontreiniging ter plaatse van de bebouwing/verharding volledig worden gereduceerd, terwijl de verontreiniging niet wordt verwijderd. De impact op het bodemecosysteem ter plaatse van het gebouw/verharding is in principe groot: door het realiseren van het gebouw of de verharding wordt het ecosysteem nagenoeg volledig vernietigd. De impact op het totale ecosysteem is afhankelijk van de omvang van de bebouwing/verharding in relatie tot de omvang van het totale ecosysteem.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat de verontreiniging na het realiseren van het gebouw/de verharding op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het in stand houden van de afdekkende voorziening.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Het materieel dat wordt ingezet om de gebouwen/verharding te realiseren, zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Vanuit oogpunt van CO₂-uitstoot geldt: hoe minder brandstof wordt gebruikt hoe duurzamer de ingreep is.

Saneringsresultaat en nazorg

Omdat de verontreinigde grond uiteindelijk op de locatie aanwezig blijft, waardoor de vracht aan aanwezige verontreiniging gelijk blijft en er altijd een vorm van nazorg noodzakelijk zal zijn, wordt deze saneringstechniek vanuit oogpunt van bereikte risicoreductie als minder duurzaam beschouwd.

Factsheet 4a: In-situ remediatie, natuurlijke afbraak

Korte beschrijving techniek

Onder natuurlijke afbraak wordt verstaan: gebruik maken van het natuurlijke proces waarbij chemische stoffen in de bodem afbreken tot onschadelijke afbraakproducten totdat de oorspronkelijke verontreiniging is verdwenen of is gereduceerd tot aanvaardbare concentraties. De term 'in situ' geeft aan dat de verontreiniging in de bodem aanwezig blijft, er hoeven dan ook geen ingrepen in de bodem te worden gedaan die op zichzelf al negatieve effecten op het ecosysteem hebben.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Alleen organische verbindingen kunnen worden afgebroken. Metalen breken niet af. Sommige stoffen breken gemakkelijker af als er voldoende zuurstof beschikbaar is, andere stoffen juist onder anaerobe omstandigheden. Er dient rekening mee te worden gehouden dat de afbraakcondities niet altijd optimaal zijn op de diepte waar de bodemverontreiniging zich bevindt. Natuurlijke afbraak is een proces dat soms veel tijd (> een jaar tot vele jaren) in beslag neemt. Als er gedurende lange periode verontreiniging in de bodem aanwezig blijft in een gehalte dat risico's voor het ecosysteem met zich mee brengt is de techniek niet geschikt. Deze techniek leent zich goed voor situaties waarbij het aanwezige ecosysteem zeer gevoelig is voor fysieke ingrepen, omdat die bij natuurlijke afbraak niet hoeven te worden toegepast.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Een risico kan zijn dat de afbraakproducten nog schadelijker zijn voor het ecosysteem dan de oorspronkelijke verontreiniging. Voordat deze techniek wordt toegepast dienen de afbraakreacties en de snelheden waarmee deze plaats vinden bekend te zijn.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is niet direct bereikt. Het kan soms jaren duren voordat de gehalten aan verontreiniging voldoende zijn gereduceerd. Het ecosysteem moet deze druk wel aankunnen. Omdat natuurlijke afbraak uit zichzelf optreedt, is het een geschikte methode om in te zetten wanneer sprake is van verontreinigingen met een grootte omvang, mits aan de randvoorwaarden wordt voldaan.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Gedurende de periode die nodig is om de gehalten aan verontreiniging voldoende te laten reduceren is een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van de verontreinigde grond en het monitoren van het verloop van de afbraak.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Omdat de natuurlijke afbraak vanzelf optreedt, is dit een heel duurzame oplossing vanuit oogpunt van energieverbruik.

Saneringsresultaat en nazorg

De duurzaamheid van deze saneringsoplossing is afhankelijk van de mate waarin de eindconcentraties aan verontreiniging voldoende laag zijn en de tijd die nodig is waarin het eindresultaat wordt.

Factsheet 4b1: In-situ remediatie, gestimuleerde natuurlijke afbraak inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen

Korte beschrijving techniek

Onder natuurlijke afbraak wordt verstaan: gebruik maken van het natuurlijke proces waarbij chemische stoffen in de bodem afbreken tot onschadelijke afbraakproducten totdat de oorspronkelijke verontreiniging is verdwenen of is gereduceerd tot aanvaardbare concentraties. Deze natuurlijke afbraak kan onder sommige omstandigheden worden gestimuleerd door bacteriën in de bodem te brengen die speciaal geschikt zijn om de aanwezige verontreiniging af te breken. Soms kan de afbraak worden versneld door extra zuurstof of voedingsstoffen voor de bacteriën in de bodem te brengen als bekend is dat dit beperkend is in het optreden van de afbraakreacties.

De term 'in situ' geeft aan dat de verontreiniging in de bodem aanwezig blijft, er hoeven dan ook geen fysieke ingrepen in de bodem te worden gedaan die op zichzelf al negatieve effecten op het ecosysteem hebben.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Alleen organische verbindingen kunnen worden afgebroken. Metalen breken niet af. Sommige stoffen breken gemakkelijker af als er voldoende zuurstof beschikbaar is, andere stoffen juist onder anaerobe omstandigheden. Er dient rekening mee te worden gehouden dat de afbraakcondities niet altijd optimaal zijn op de diepte waar de bodemverontreiniging zich bevindt. Afhankelijk van de omstandigheden in de bodem (zuurstofgehalte, zuurgraad, grondwaterstand, saliniteit) en de aanwezige verontreinigende stoffen kunnen de omstandigheden worden beïnvloed waardoor de natuurlijke afbraak wordt gestimuleerd. Natuurlijke afbraak is een proces dat soms veel tijd in beslag neemt (> een jaar of vele jaren). Als er gedurende lange periode verontreiniging in de bodem aanwezig blijft in een gehalte dat risico's voor het ecosysteem met zich mee brengt is de techniek niet geschikt. Deze techniek leent zich goed voor situaties waarbij het aanwezige ecosysteem zeer gevoelig is voor fysieke ingrepen, omdat die bij natuurlijke afbraak niet hoeven te worden toegepast.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Een risico kan zijn dat de afbraakproducten nog schadelijker zijn voor het ecosysteem dan de oorspronkelijke verontreiniging. Voordat deze techniek wordt toegepast dienen de afbraakreacties en de snelheden waarmee deze plaats vinden bekend te zijn. Ook dient vooraf bekend te zijn dat het inbrengen van bacteriën, zuurstof of voedingsstoffen geen schadelijke effecten op het aanwezige ecosysteem heeft.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is niet direct bereikt. Het kan soms jaren duren voordat de gehalten aan verontreiniging voldoende zijn gereduceerd. Het ecosysteem moet deze druk wel aan kunnen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Gedurende de periode die nodig is om de gehalten aan verontreiniging voldoende te laten reduceren is een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het monitoren van het verloop van de afbraak.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Omdat er relatief weinig materieel heeft te worden ingezet om de natuurlijke afbraak te stimuleren is dit een heel duurzame oplossing vanuit oogpunt van energieverbruik.

Saneringsresultaat en nazorg

De duurzaamheid van deze saneringsoplossing is afhankelijk van de mate waarin de eindconcentraties aan verontreiniging voldoende laag zijn en de tijd die nodig is waarin het eindresultaat wordt bereikt.

Factsheet 4b2: In-situ remediatie, gestimuleerde natuurlijke afbraak landfarming

Korte beschrijving techniek

Onder natuurlijke afbraak wordt verstaan: gebruik maken van het natuurlijke proces waarbij chemische stoffen in de bodem afbreken tot onschadelijke afbraakproducten totdat de oorspronkelijke verontreiniging is verdwenen of is gereduceerd tot aanvaardbare concentraties. Deze natuurlijke afbraak kan in sommige gevallen worden gestimuleerd door de verontreiniging in contact te brengen met extra zuurstof. Bij de methode, die 'landfarming' wordt genoemd, gebeurt dit door de verontreinigde grond in lagen op maaiveld aan te brengen. Indien nodig kan de grond een of meerdere keren worden omgezet, tot de verontreiniging voldoende is afgebroken. Bij deze methode wordt met de term 'in situ' bedoeld dat de verontreiniging in de grond afbreekt, al is de grond om de afbraak te stimuleren eventueel aan of op maaiveld gebracht en eventueel omgezet. Als de verontreiniging voldoende is afgebroken kan de grond weer op zijn oorspronkelijke of gewenste plaats in de bodem worden aangebracht.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Alleen organische verbindingen kunnen worden afgebroken. Metalen breken niet af. Sommige stoffen breken gemakkelijker af als er voldoende zuurstof beschikbaar is. Voor deze stoffen is landfarming een geschikte manier om de afbraak te versnellen. Natuurlijke afbraak is een proces dat soms veel tijd in beslag neemt (> een jaar of vele jaren). Landfarming is een geschikte techniek voor situaties waarbij er toch al plannen bestonden om de locatie herin te richten waarbij de bovengrond tijdelijk wordt opgepakt of anderszins gerangschikt. Het proces van landfarming is dan eenvoudig te combineren met de overige handelingen met grond. In principe blijven de zaadvoorraad, de macrofauna en micro-organismen in de grond aanwezig. Als het gewenste ecosysteem gevoelig is voor ingrepen in de bovengrond is deze techniek niet geschikt. Als er gedurende lange periode verontreiniging in de bodem aanwezig blijft in een gehalte dat risico's voor het ecosysteem met zich mee brengt is deze techniek eveneens niet geschikt.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Een risico kan zijn dat de afbraakproducten nog schadelijker zijn voor het ecosysteem dan de oorspronkelijke verontreiniging. Voordat deze techniek wordt toegepast dienen de afbraakreacties en de snelheden waarmee deze plaats vinden bekend te zijn.

Het benodigde roeren van de bovengrond kan negatieve effecten op het ecosysteem hebben.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is niet direct bereikt. Het kan soms jaren duren voordat de gehalten aan verontreiniging voldoende zijn gereduceerd. Deze tijd moet wel beschikbaar zijn. Ook moet het ecosysteem bestand zijn tegen de geplande grondwerkzaamheden.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Gedurende de periode die nodig is om de gehalten aan verontreiniging voldoende te laten reduceren is een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het monitoren van het verloop van de afbraak.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Omdat er relatief weinig materieel heeft te worden ingezet om de natuurlijke afbraak te stimuleren is dit een heel duurzame oplossing vanuit oogpunt van energieverbruik.

Saneringsresultaat en nazorg

De duurzaamheid van deze saneringsoplossing is afhankelijk van de mate waarin de eindconcentraties aan verontreiniging voldoende laag zijn en de tijd die nodig is waarin het eindresultaat wordt bereikt.

Factsheet 4c: In-situ remediatie, fytoremediatie in combinatie met maaibeheer

Korte beschrijving techniek

Onder fytoremediatie wordt verstaan: het verwijderen van verontreinigingen uit de bodem door opname in planten. Planten nemen tegelijk met water verontreinigingen op (vooral metalen) waardoor de verontreinigingen verplaatst worden vanuit de bodem naar de plant. Door de planten te maaien en het maaisel af te voeren worden verontreinigingen van de locatie verwijderd. Afhankelijk van de gehalten aan verontreinigingen in het maaisel dient het al dan niet gecontroleerd te worden verwerkt. Er moet rekening mee worden gehouden dat niet alle planten alle typen verontreiniging even goed opnemen. Omdat planten bepaalde stoffen actief kunnen opnemen of juist buiten hun cellen kunnen houden is deze techniek niet voor alle typen verontreinigingen even geschikt. Als het praktisch gezien mogelijk is wordt aanbevolen de combinatie van planten en te verwijderen verontreiniging te optimaliseren. Omdat planten slechts geringe hoeveelheden verontreiniging opnemen zijn meestal vele jaren nodig om gehalten aan verontreinigingen substantieel te laten dalen. De inzet van hyperaccumulatoren (planten die veel van een bepaald type verontreiniging opnemen) kan het fytoremediatieproces iets versneld worden. De verwijderde planten kunnen eventueel als biomassa voor energieproductie worden benut.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

Als verontreinigende stoffen in hoge gehalten in de bodem aanwezig zijn, dient er rekening mee te worden gehouden dat ze toxisch kunnen zijn voor planten. Voordat gekozen wordt voor fytoremediatie dient te worden nagegaan in hoeverre de te verwijderen verontreinigende stoffen toxisch zijn voor de beoogde plantensoort(en). Het is een maatregel die vooral bij verontreinigingen met zware metalen in te zetten is. De maatregel is minder goed toepasbaar voor de gebruiksfunctie Landbouw, omdat de opname van verontreinigingen in planten voor risico's voor mens en dier (vee) kan leiden. Hoe lager de ecologische doelstelling van een gebied, hoe beter deze methode toegepast kan worden: de afname van verontreinigingsgehalten is traag en daarmee de reductie van de risico's ook, maar voor bijvoorbeeld de gebruiksfunctie Ander groen hoeft dit in veel gevallen niet problematisch te zijn.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Bij deze techniek wordt de verontreiniging verplaatst van de bodem naar de plant. Er dient rekening mee te worden gehouden dat grazers of andere dieren die (delen van de) planten eten aan de verontreiniging worden blootgesteld. Ook bij de verwerking van het maaisel moet er rekening mee worden gehouden dat het maaisel verhoogde gehalten aan verontreiniging kan bevatten.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is niet direct bereikt. Het kan jaren duren voordat de gehalten aan verontreiniging voldoende zijn gereduceerd. In sommige gevallen zal het nauwelijks lukken om de gehalten voldoende te reduceren. Het ecosysteem moet deze druk wel aan kunnen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Gedurende de periode die nodig is om de gehalten aan verontreiniging voldoende te laten afnemen is een vorm van nazorg en beheer nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het monitoren van het verloop van de afname van de gehalten. Ook dient maaibeheer te worden toegepast en dient de kwaliteit van het maaisel te worden bepaald om de toepassingen te kunnen bepalen.

Duurzaamheid ingreep

Energiegebruik

Omdat fyto-remediatie vanzelf optreedt, is dit een duurzame oplossing vanuit oogpunt van energieverbruik. De mate van duurzaamheid wordt minder als speciale beplanting wordt aangebracht die bij de definitieve inrichting van de locatie weer wordt verwijderd. Ook als veelvuldig dient te worden gemaaid of gesnoeid, afgevoerd en verwerkt voordat het beoogde saneringsresultaat is bereikt, gebruikt het ingezette materieel fossiele brandstof en wordt de mate van duurzaamheid gereduceerd. Het is mogelijk om het maaisel en snoeisel als biomassa voor de opwekking van energie te gebruiken.

Saneringsresultaat en nazorg

De duurzaamheid van deze saneringsoplossing is afhankelijk van de mate waarin voldoende lage eindconcentraties kunnen worden bereikt binnen een acceptabele tijd.

Factsheet 5a: Immobiliseren, verhogen van de bodem-pH

Korte beschrijving techniek

De pH van de bodem wordt verhoogd door het periodiek op de bodem brengen van een pH-verhogend product. In de meeste gevallen gebeurt dit met een kalkproduct, zoals zeeschelpenkalk, kalkmergel of zeealgenkalk. De kalk wordt op de bodem gebracht waarna het door verwerking in de bodem terechtkomt en de carbonaten uit de kalk reageren met protonen in de bodem tot koolstofdioxide en water. Door de onttrekking van protonen aan de bodem stijgt de pH van de bodem. Ook olivijn¹ kan gebruikt worden om de pH geleidelijk te verhogen. In veenweidegebieden is het ook mogelijk om door het opbrengen van organische meststoffen in de juiste C/N-verhouding de pH geleidelijk omhoog te brengen. De hoeveelheid toe te passen pH-verhogend product is sterk afhankelijk van het bodemtype en de beoogde pH-stijging. Machinaal bekalken werkt het best in gebieden waar relatief weinig bomen en struiken staan (grasvelden, landbouwgronden). In bosgebied is handmatig bekalken (met strooikar) realistischer.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

De methode is toepasbaar voor vrijwel alle gebruiksfuncties waar geen doelstelling is voor zuurminnende flora en fauna. Het is vooral toepasbaar op bodems waar de pH al laag is. Dit zijn over het algemeen zandige bodems of veenbodems. Vooral voor de zandige bodems met lage pH-waarden (<4) is het een goede manier om de biologische beschikbaarheid van zware metalen te verlagen. Bij veenbodems is het sterk verhogen van de pH niet aan te raden, omdat hierdoor de afbraak van veen versneld kan worden. Landbouwbodems en kleibodems hebben vaak al een hogere pH (resp. door actieve bekalking en natuurlijke oorsprong): hiervoor is het geen zinvolle methode.

- Type verontreiniging

Het verhogen van de pH is toepasbaar in geval van de meeste verontreinigingen met zware metalen, zoals cadmium, zink, lood, koper en nikkel. Voor arseen, kwik, chroom en organische verontreinigingen (o.a. PAK's, PCB's, dioxines, organochloorbestrijdingsmiddelen) is het geen geschikte optie, omdat voor deze stoffen de beschikbaarheid weinig of niet beïnvloed wordt door de pH of de beschikbaarheid juist toeneemt bij een toenemende pH.

- Omvang van verontreiniging

De methode is toepasbaar van kleine tot grote verontreinigde oppervlakten.

¹ Bij de toepassing van olivijn dient rekening gehouden te worden met de relatief hoge gehalten nikkel in deze stof (ca. 3 g/kg ds). Bij toepassing van grote hoeveelheden olivijn kan de bodem verontreinigd raken met nikkel.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Kalk kan irriterend zijn bij aanraking met de huid en ogen. Hier dient bij het opbrengen rekening mee gehouden te worden. Omdat er verschuivingen in o.a. vegetatie kunnen optreden, kan dit voor de gebruikers tot een andere natuurbeleving leiden en zal de beheerder mogelijk andere natuurdoelstellingen na moeten streven.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het verhogen van de pH betekent dat er een verschuiving plaats zal vinden in de levensgemeenschap op de locatie. Zuurminnende soorten die in of op de bodem leven zullen plaats maken voor soorten die een bredere pH-tolerantie hebben of die hun optimum bij een hogere pH hebben. Afbraak van organisch stof kan door pH-verhogende maatregelen ook toenemen. Bij bekalken is het veelal aan te raden om met een relatief grove korrelgrootte met een hoge hardheid te werken. Hierdoor zal de pH-stijging geleidelijker gaan waardoor de verschuiving binnen de levensgemeenschap ook geleidelijker zal gaan. Voordeel van de pH-verhogende maatregelen is dat er geen afdekking van de bestaande bodem plaatsvindt, waardoor het aanwezige bodemleven de tijd krijgt zich aan veranderende omstandigheden aan te passen en ook de zaadbank niet verloren gaat. Het is wel noodzakelijk om periodiek de toepassing te herhalen om te voorkomen dat de pH weer daalt. De eerste maal opbrengen zal de grootste impact op het bodemecosysteem hebben. Het onderhoud om de pH op peil te houden zal een beperktere invloed hebben.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Wanneer de pH verhoogd wordt, is het noodzakelijk om te monitoren hoe de pH van de bodem zich ontwikkelt en of de gewenste pH bereikt wordt. Hierna richt de monitoring zich op het behouden van de gewenste bodem-pH. Hiervoor zal periodiek het pH-verhogende product opgebracht moeten worden. Omdat de snelheid waarmee de pH daalt afhankelijk is van de lokale bodemeigenschappen, is het zinvol om de monitoringsinspanning in de beginfase relatief groot te maken. Naarmate een beeld is ontstaan van de snelheid waarmee de pH daalt, kan de monitorings- en instandhoudingsinspanning hierop aangepast worden. Ook dient het organisch stofgehalte gemonitord te worden: wanneer de pH stijgt kan de afbraak van organisch stof toenemen, wat het metaalvastleggende effect van de pH-stijging deels teniet zou kunnen doen. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

Door het verhogen van de pH van de bodem wordt de verontreiniging minder beschikbaar, maar niet weggenomen. Het is een maatregel die daarom periodiek herhaald dient te worden. De manier van opbrengen van pH-verhogende middelen bepaald deels de duurzaamheid. De inzet van zwaar materiaal kan verdichting van de bodem veroorzaken en zorgt voor uitstoot van broeikasgassen: voor kleinere locaties en locaties met veel bomen/struikgewas heeft gebruik van een handstrooikar de voorkeur.

Saneringsresultaat en nazorg

De duurzaamheid van deze saneringsoplossing is afhankelijk van de mate waarin voldoende lage eindconcentraties kunnen worden bereikt binnen een acceptabele tijd.

Factsheet 5b: Immobiliseren, organische stofgehalte verhogen

Korte beschrijving techniek

Het organisch stofgehalte van de bodem wordt verhoogd door de introductie van organisch materiaal in of op de bodem. Dit kan bijvoorbeeld zijn in de vorm van groenbemesting (voorkeur voor gebiedseigen vegetatie), compost, mest, BioChar, etc. Door de introductie van organisch stof aan de bodem wordt de capaciteit van de bodem om o.a. verontreinigende stoffen te binden vergroot.

Machinaal inbrengen van organisch stof werkt het best in gebieden waar relatief weinig dichte begroeiing is (grasvelden, landbouwgronden). In bosgebied is handmatig opbrengen realistischer. Bijkomend voordeel van verrijking met organische stof is dat omzettingsprocessen van bepaalde organische verontreinigingen (PAK's, minerale olie) ook versneld worden door een hogere biologische activiteit in de bodem.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

De methode is toepasbaar voor vrijwel alle locaties waar het organisch stofgehalte van de bodem laag is (<5%). Voor locaties waar het organisch stofgehalte hoog is (bijv. op veenbodems), is het geen zinvolle methode.

- Type verontreiniging

Het verhogen van het organische stofgehalte is toepasbaar in geval van de verontreinigingen met zware metalen en van organische verontreinigingen (o.a. PAK's, PCB's, dioxines, organochloorbestrijdingsmiddelen). Voor arseen is het een minder geschikte methode, omdat de beschikbaarheid van dit metalloïde weinig afhankelijk is van het organisch stofgehalte.

- Omvang van verontreiniging

De methode is toepasbaar van kleine tot grote verontreinigde oppervlakten.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Transport van gebiedseigen organisch materiaal of materiaal van buiten het gebied is noodzakelijk. Door het inbrengen van extra organische stof in het systeem kunnen er verschuivingen in bijvoorbeeld vegetatie optreden, wat de natuurbeleving van gebruikers kan veranderen.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Door het verhogen van het organisch stofgehalte kunnen er verschuivingen in de bodemlevensgemeenschap optreden, omdat een hoger organisch stofgehalte vaak voor een andere waterhuishouding zal zorgen en de inbreng van een koolstofbron in de bodem bepaalde bodemprocessen sneller kan laten verlopen. Ook in de levensgemeenschap van ongewervelde bodemorganismen, als nematoden en regenwormen, kunnen verschuivingen plaatsvinden door de introductie van een voedselbron. Er dient vooral voor gebieden met een doelstelling van een voedselarm vegetatietype een bewuste keus gemaakt te worden voor het op te brengen organisch materiaal, zodat geen ongewenste eutrofiëringseffecten optreden. Voordeel van de organisch stofgehalte verhogende maatregelen is dat er geen afdekking van de bestaande bodem plaatsvindt, waardoor het aanwezige bodemleven de tijd krijgt zich aan veranderende omstandigheden aan te passen en ook de zaadbank niet verloren gaat. Het is mogelijk wel noodzakelijk om periodiek de toepassing te herhalen om te voorkomen dat het organisch stofgehalte daalt. De eerste maal opbrengen zal de grootste impact op het bodemecosysteem hebben. Het onderhoud om het organisch stofgehalte op peil te houden zal een beperktere invloed hebben.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Wanneer het organisch stofgehalte verhoogd wordt is het noodzakelijk om te monitoren hoe dit zich in de bodem zich ontwikkelt en of opbrengen van extra materiaal in de tijd noodzakelijk is. Totdat een beeld is ontstaan van de snelheid waarmee het organisch materiaal afgebroken wordt in de specifieke bodem, is het verstandig om een relatief intensieve onderzoeksinspanning te hebben. Hierna kan de monitorings- en instandhoudingsinspanning hierop aangepast worden. Het periodiek monitoren van de pH kan zinvol zijn, omdat bij een verhoogde hoeveelheid organisch materiaal de pH van de bodem langzaam kan dalen. Dit kan het vastleggingseffect van organisch stof deels teniet doen. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

Door toedienen van extra organische stof in de bodem wordt de verontreiniging minder beschikbaar, maar niet weggenomen. Het is een maatregel die daarom periodiek herhaald dient te worden. Het toepassen van organisch (rest)materiaal uit de omgeving heeft de voorkeur, omdat dit minder vervoer (en bijbehorende uitstoot van broeikasgassen) vergt.

Factsheet 5c: Immobiliseren, zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)

Korte beschrijving techniek

Door het grondwaterpeil te verhogen of een locatie te inunderen (laten overstromen) met oppervlaktewater kan de bodem op een locatie natter worden gemaakt. Deze vernatting zorgt voor andere redoxcondities (en zuurstofbeschikbaarheid) in de bodem, waardoor verontreinigingen een andere (verlaagde) beschikbaarheid kunnen krijgen.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Deze methode is toepasbaar in gebieden waar het grondwaterpeil goed beheerd kan worden en waar constant voldoende water aanwezig is om de vernatting te handhaven. Voor landbouwgebieden is het geen geschikte optie omdat het een negatieve invloed heeft op de productie. Ook in bebouwde gebieden en bij wonen met tuin heeft het een negatieve invloed op de gebruikers/bewoners. Het type bodem is van minder belang voor de toepasbaarheid van deze methode.

- Type verontreiniging

Vernatten is toepasbaar in geval van de meeste verontreinigingen met zware metalen, zoals cadmium, zink, lood, koper, nikkel en chroom. Onder reducerende (zuurstofloze) omstandigheden vormen de meeste metalen onoplosbare complexen met sulfides of organisch materiaal in de bodem die niet opgenomen kunnen worden door bodemorganismen.

Voor arseen is het geen geschikte optie, omdat voor deze stof de beschikbaarheid toeneemt onder reducerende (zuurstofarme/-loze) omstandigheden.

Voor een deel van de organische verontreinigingen (o.a. PAK's, PCB's, dioxines, bepaalde organochloorbestrijdingsmiddelen) is het ook toepasbaar om de biologische beschikbaarheid te verlagen, al is dit beperkter dan bij metalen. Echter, bij veel organische verontreinigingen kan een continu zuurstofloos regime voor een vertraagde natuurlijke afbraak zorgen omdat minimaal een deel van de afbraakstappen onder zuurstofrijke omstandigheden plaatsvindt. Voor gechloreerde en andere gehalogeneerde verbindingen, zoals PCB's, dioxines en organochloorbestrijdingsmiddelen is dechlorinatie/dehalogenatie – één van de stappen in het afbraakproces - onder zuurstofloze omstandigheden mogelijk. Vervolgstappen vragen echter weer om zuurstofrijke omstandigheden.

- Omvang van verontreiniging

De methode is toepasbaar voor grotere verontreinigde oppervlakten, omdat vaak het zeer specifiek vernatten van kleine verontreinigingslocaties of hotspots binnen een gebied niet eenvoudig is.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Het verhogen van de grondwaterspiegel kan op locaties waar locatiespecifiek grondwaterpeilbeheer niet mogelijk is ook op omliggende locaties tot ongewenste vernatting leiden. Vernatting vraagt ook om ander beheer dan een droge locatie en de natuurbeleving en recreatiemogelijkheden zal ook veranderen.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Vernatting betekent dat er een verschuiving plaats zal vinden in de levensgemeenschap op de locatie. Voor soorten die zich niet onder langdurige zuurstofarme condities kunnen handhaven en hogere organismen die hun voedsel betrekken uit de droge bodem (bijv. kleinere worm- en insectenetende vogels en zoogdieren) zal een vernatte locatie minder geschikt zijn. Afbraak van organisch stof kan door vernatting trager verlopen, waardoor ophoping van organisch materiaal in en op de bodem plaats kan vinden. Voordeel van vernatting is dat er geen afdekking van de bestaande bodem plaatsvindt, waardoor de zaadbank niet verloren gaat. Echter, de zaadbank van een oorspronkelijk droge locatie zal vaak soorten bevatten die minder tolerant zijn voor zeer natte omstandigheden. Een potentieel voordeel is dat fosfaten onder gereduceerde condities ook minder beschikbaar zijn en doelen voor voedselarme vegetatietypen dus eenvoudiger te bereiken zijn. De fosfaten zullen echter weer vrijkomen op het moment dat de vernattingsmaatregelen ongedaan worden gemaakt en de bodem verdroogd. Het is een maatregel die vraagt om een aangepast vegetatie-/natuurdoeltype, omdat het proces van vastlegging omkeerbaar is wanneer de locatie wordt verdroogd.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Bij vernatten zal een ander (grond)waterpeilbeheer ingesteld dienen te worden en zal het beheer aangepast moeten worden op onderhoud van natte vegetatie. Het waterpeil dient ook gehandhaafd te blijven, wat vraagt om goede afstemming met (grond)waterpeilbeheerders. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

Door vernatting worden de risico's gereduceerd maar niet volledig weggenomen. Wanneer wordt gestopt met vernatten, zal de oude situatie met bijbehorende risico's weer aanwezig zijn. Vernatten wordt in natuurgebieden vaak ingezet om natuurdoelen te verwezenlijken: in verontreinigde gebieden kan dit een zowel als risicoreducerende als natuurbeheersmaatregel ingezet worden.

Factsheet 5d: Immobiliseren, chemisch vastleggen

Korte beschrijving techniek

Het toevoegen van specifieke chemische verbindingen aan of op de bodem zorgt voor complexatie met in de bodem aanwezige verontreinigingen, waardoor deze niet meer beschikbaar zijn voor organismen in de bodem. Voordeel van deze methode is dat de complexen die gevormd worden vaak weinig gevoelig zijn voor verschuivingen in pH en zuurstofcondities.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

De methode is geschikt voor alle bodemgebruiken. Wel moet met de producten bestaande uit fosfaatverbindingen rekening gehouden dat een deel van het materiaal beschikbaar komt, waardoor eutrofiëring op kan treden. Het is daarmee een minder geschikte methode voor locaties waar een voedselarme situatie wordt nagestreefd. De methode is vooral geschikt voor bodemtypen waar zware metalen sterk biobeschikbaar zijn, zoals zure zandgronden en bodems met een laag organisch stof- en lutumgehalte. Voor bodems met een hoge pH en/of een hoog organische stof- en lutumgehalte is het effect beperkter.

- Type verontreiniging

Vooraf toepasbaar voor verontreinigingen met zware metalen. De meest gangbare producten zijn fosfaatverbindingen die stabiele, onoplosbare – en daarmee voor organismen niet-beschikbare – complexen vormen met metalen. Ook producten met daarin actief kool en kaoline klei worden gebruikt om metalen en organische verontreinigingen als PAK's, PCB's en pesticiden te binden. Dit zijn echter vaak producten die worden gebruikt om afgevoerde grond te behandelen (bijv. RemBind) en hebben zich nog niet in-situ bewezen.

- Omvang van verontreiniging

De methode is toepasbaar van kleine tot grote verontreinigde oppervlakten.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Het materiaal dient aangevoerd te worden. Dit transport kan overlast opleveren voor de omgeving. Bij het opbrengen van het product dienen de bij het product vermelde veiligheidsvoorschriften in acht genomen te worden.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Gezien de relatief beperkte invloed van de stoffen op de bodem-pH en de redoxcondities van de bodem, is de impact in vooral voedselrijke (eutrofe) systemen beperkt. In voedselarme systemen kan het introduceren van fosfaatverbindingen in de bodem instandhoudingsdoelen van voedselarme vegetatie verstoren. Voordeel van de toepassing van fosfaathoudende verbindingen ter immobilisatie van metaalverontreinigingen is dat er geen afdekking van de bestaande bodem plaatsvindt, waardoor het aanwezige bodemleven en de zaadbank niet verloren gaan.

Nazorg, monitoring en instandhouding

De veranderingen in biobeschikbaarheid van de verontreinigingen dient gemonitord te worden in de tijd, bijvoorbeeld door het bepalen van de verhouding tussen totaalgehalten en actueel beschikbare gehalten (0,01M CaCl_2 en/of 0,43M HNO_3 -extractie) van de relevante metaalverontreinigingen in de bodem. Indien door verwerking verontreinigingen langzaam weer vrijkomen, dan is opnieuw opbrengen van het product noodzakelijk. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

Door het opbrengen van chemische immobilisatieproducten wordt de verontreiniging minder beschikbaar, maar niet weggenomen. Het is een maatregel die daarom periodiek herhaald dient te worden, afhankelijk van de verwerkingssnelheid van het gekozen product. De manier van opbrengen bepaalt deels de duurzaamheid. De inzet van zwaar materiaal kan verdichting van de bodem veroorzaken en zorgt voor uitstoot van broeikasgassen: voor kleinere locaties en locaties met veel bomen/struikgewas heeft gebruik van een handstrooikar de voorkeur.

Factsheet 5e: Immobiliseren, aging (vastlegging door verouderingsproces)

Korte beschrijving techniek

Aging is het fysisch-chemisch proces in de bodem waarbij een verontreiniging naarmate deze langer in de bodem aanwezig is, sterker vastgelegd wordt – en daarmee minder beschikbaar komt voor organismen en processen. Onder gelijke omstandigheden zal eenzelfde verontreiniging die pas ontstaan is, meer beschikbaar zijn dan eenzelfde verontreiniging die al tientallen jaren aanwezig is. De snelheid waarmee aging plaatsvindt, is afhankelijk van de bodemeigenschappen, het type verontreiniging en de bron. Een verontreiniging met puur product zal vaak langer en - in verhouding tot het totaalgehalte - sterker beschikbaar zijn dan een verontreiniging in een mengsel van materiaal waaraan binding kan plaatshebben, zoals het geval is bij een stortplaats met o.a. bouw- en slooafval.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

De methode is geschikt voor bodemgebruiken waarbij de grond weinig of niet verstoord wordt. Het agingproces is namelijk (deels) omkeerbaar: indien omstandigheden sterk veranderen, kan dat tot het (deels) beschikbaar komen van de verontreiniging leiden. In de praktijk zal het vaak om de gebruiksfuncties Natuur, Groen met natuurwaarden en Ander groen gaan waarvoor deze maatregel een goede optie is. Bij de gebruiksfuncties Landbouw en Wonen met tuin/Volks- en moestuinen wordt de grond vaak bewerkt, wat het agingproces kan verstoren. Ook locaties met een natuurlijke dynamiek waarbij de bodem verstoord wordt zijn minder geschikt voor deze optie. Hierbij kan gedacht worden aan het omwoelen van de bodem door wild of plekken waar erosieprocessen sterk aanwezig zijn.

De methode is vooral geschikt voor bodemtypen waar voldoende materiaal aanwezig is voor de verontreiniging om aan te binden. Dit zijn vooral plekken met een hoog organisch stof- en/of lutumgehalte. Het type bron waar de kan ook een rol spelen bij de keus voor deze optie: stortlocaties hebben vaak een diverse samenstelling, waarbij vaak ook materiaal aanwezig is dat het bindingsproces van verontreinigingen kan versterken en versnellen. Zo zal (kalkhoudend) puin een bindingsplek kunnen vormen voor zware metalen. Voor locaties waarbij het om verontreiniging met puur product gaat – bijvoorbeeld stort van chemisch afval of industriële lozingen – zal het agingproces vaak trager verlopen. Ook de leeftijd van de verontreiniging speelt een rol: bij een locatie waar een verontreiniging al lange tijd aanwezig is, zal het agingproces vaak al gevorderd zijn, waardoor de beschikbaarheid van de verontreinigingen laag is. In dergelijke gevallen kan het niet-verstoren van de bodem en het door laten lopen van het agingproces de voorkeur hebben boven andere maatregelen waarbij de grond geroerd wordt.

- Type verontreiniging

De maatregel is met name toepasbaar voor verontreinigingen waarvoor (gestimuleerde) natuurlijk afbraak ongeschikt is. Dit zijn bijvoorbeeld zware metalen en persistente organische verontreinigingen. Vastlegging door aging kan de risico's van deze stoffen reduceren. Bij locaties waar een mengsel aan verontreinigingen voorkomt, is het ook een werkbare optie. Voor (relatief) goed afbreekbare stoffen heeft (gestimuleerde) natuurlijke afbraak de voorkeur, al is aging ook een optie. Natuurlijke afbraak en aging zijn in principe opties die naast elkaar gebruikt kunnen worden.

- Omvang van verontreiniging

De methode is toepasbaar van kleine tot grote verontreinigde oppervlakten. Indien beheer aangepast moet worden om verstoring van de bodem te voorkomen, is het een optie die minder geschikt is voor een klein verontreinigd oppervlak in een groter beheergebied.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Aging is een natuurlijk proces waarbij de factor tijd zorgt voor reductie van de risico's. Hiermee zal in de praktijk het aantal neveneffecten beperkt blijven en weinig veranderen voor de bij de locatie betrokken actoren. Voor de beheerder zal mogelijk aanpassing van het beheer noodzakelijk zijn, waarbij het roeren van de grond voorkomen moet worden op de verontreinigde locaties.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Deze maatregel is gericht op het niet verstoren van de liggende bodem. Daarmee is de impact van de ingreep op het ecosysteem en ecosysteemdiensten minimaal. Aangezien aging een voortdurend en relatief traag proces is, dient vooraf afgewogen te worden of de tijdsperiode waarin de geleidelijke reductie van risico's plaatsvindt, aanvaardbaar is qua tijdsduur.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Beheer dient gericht te zijn op het niet verstoren van de bodem op de plekken waar verontreinigingen aanwezig zijn. De veranderingen in biobeschikbaarheid van de verontreinigingen dient gemonitord te worden in de tijd, bijvoorbeeld door het bepalen van de verhouding tussen totaalgehalten en (actueel) beschikbare gehalten van de relevante verontreinigingen in de bodem. Dit geeft een indruk van de snelheid van het agingproces en daarmee de reductie van de risico's. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

De maatregel is in uitvoering duurzaam: er is geen ingreep nodig, anders dan mogelijk aangepast beheer, gericht op niet verstoren van de grond.

Aangezien de maatregel de verontreiniging niet wegneemt, is vervolgmonitoring en instandhouding van de maatregel vereist. Bij veranderende omstandigheden, beheer en/of functie dient de afweging of ecologische risico's in de toekomst relevant worden, weer gemaakt te worden.

Factsheet 6a: Contactmogelijkheden reduceren, vegetatietype aanpassen

Korte beschrijving techniek

In geval van doorvergiftigingsrisico's zijn vooral soorten hoger in de voedselketen kwetsbaar. Door het aanpassen van een vegetatietype kan voorkomen worden dat gevoelige soorten nog verblijven of foerageren (voedsel zoeken) op (een deel van) de verontreinigde locatie. Zo kunnen grote grazers van plekken geweerd worden door bijvoorbeeld stekelgewassen te planten en zullen worm- en muizeneters (bijv. steenuil) weg blijven op plekken waar hoog gras groeit. Bij deze maatregel hoort ook het geschikt maken van de niet-verontreinigde delen van een locatie als foerageer- of begrazingsplekken. Daarnaast kan door het aanpassen van het vegetatietype de beschikbaarheid van een verontreiniging ook veranderen, bijvoorbeeld door de keuze voor een vegetatietype dat voor meer input van organische stof in de bodem zorgt of een vegetatietype waarbij de bodem natter is (zie ook factsheets 7 A, B en C).

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Dit is een toepassing die vooral voor natuur geschikt is, maar ook voor groen met natuurwaarden en ander groen. Voor landbouw is dit een minder geschikte maatregel, omdat het aanpassen van het vegetatietype hier vaak niet mogelijk is. Voor wonen met tuin en volks- en moestuinen is het een maatregel die met de bewoners/gebruikers afgestemd dient te worden. Het is een maatregel die in principe bij alle typen bodem ingezet kan worden, al hebben het bodemtype en de bodemeigenschappen wel invloed op de haalbaarheid van het beoogde vegetatietype.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die vooral geschikt is voor verontreinigingen waarbij doorvergiftiging een risico is. Dit zijn vaak de persistente organische verontreinigingen, zoals PCB's, dioxines en bestrijdingsmiddelen, en zware metalen zoals cadmium en lood.

- Omvang van verontreiniging

Dit is een maatregel die zowel op kleine als grotere schaal toepasbaar is. Het beplanten van een kleine hotspot kan al positieve effecten hebben op doorvergiftigingsrisico's, maar voor grotere oppervlakten kan het effect nog groter zijn. In geval van grotere verontreinigde oppervlakten is dit een maatregel die goed meegenomen kan worden in gebiedsontwikkelingsplannen en is hierbij ook het meest doelmatig.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Het aanpassen van een vegetatietype zorgt ook voor een verandering in de natuurbeleving op een locatie. Het herbepplanten kan gedaan worden door met groot materieel volwassen planten en struiken te plaatsen, of door inzaaien. In dat laatste geval is het een geleidelijkere overgang naar een nieuw vegetatietype en zal het door gebruikers ook als zodanig worden beschouwd. Beheerders zullen het beheer op de locatie aan moeten passen.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Door het vegetatietype aan te passen, zullen ook de flora en fauna – en de daarmee samenhangende bodemprocessen - veranderen. Wanneer voor een geleidelijke overgang naar een nieuw vegetatietype wordt gekozen, zal de verandering in flora, fauna en bodemprocessen ook geleidelijk verlopen. Risico's kunnen door wijziging in vegetatietype gereduceerd worden, maar de verontreiniging blijft in de bodem achter. Afhankelijk van het type verontreiniging dient vooraf goed bepaald te worden of de veranderende processen invloed kunnen hebben op de beschikbaarheid van de verontreiniging. Zo kan bij het omzetten van grasland op klei naar bos de verwachte pH-daling voor een verhoogde beschikbaarheid van metaalverontreinigingen zorgen.

De zaadbank blijft behouden bij deze maatregel en zal diverser worden door het veranderde vegetatietype.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Wanneer voor een bepaald vegetatietype is gekozen, is het noodzakelijk om dit via beheer ook in stand te houden. Dat betekent dat maai- en snoei-beheer mogelijk aangepast moeten worden. Daarnaast is het zinvol om te monitoren of de beschikbaarheid van de verontreiniging niet omhoog gaat door aanpassen van het vegetatietype (m.n. relevant voor zware metalen). De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

De ingreep zorgt voor een reductie van de risico's, maar neemt de verontreiniging niet weg. Natuurwaarden en bodemprocessen zullen veranderen, maar worden niet weggenomen.

Factsheet 6b: Contactmogelijkheden reduceren, vernatting

Korte beschrijving techniek

Vernatten kan door de grondwaterspiegel te verhogen of het gebied met oppervlaktewater te inunderen (onder water laten lopen). In geval van doorvergiftigingsrisico's zijn vooral soorten hoger in de voedselketen kwetsbaar. Door de verontreinigde delen van een leefgebied te vernatten, kan voorkomen worden dat gevoelige soorten nog verblijven of foerageren (voedsel zoeken) op (een deel van) de verontreinigde locatie. Soorten als regenwormen – een stapelvoedsel en daarmee ook een belangrijke route voor doorvergiftiging – zullen niet of in veel lagere dichtheden aanwezig zijn als het waterpeil op of boven maaiveld staat. De toegankelijkheid en geschiktheid van vernatte gebieden voor wormetende vogels en zoogdieren is lager dan voor droge delen. Ook grote grazers hebben over het algemeen een voorkeur voor drogere delen van een terrein. Hierdoor zullen ze beperkter of niet meer in aanraking komen met de verontreiniging.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Dit is een toepassing die vooral voor natuur geschikt is, maar ook voor groen met natuurwaarden en ander groen. Voor landbouw, wonen met tuin en volks- en moestuinen is dit een minder geschikte maatregel, omdat voor bepaald gebruik (teelt van gewassen/planten, begrazing door vee) het verhogen van het (grond)waterpeil nadelige gevolgen kan hebben.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die voor alle typen verontreinigingen bruikbaar is als manier om contact tussen gevoelige soorten en de verontreiniging te beperken. Voor zware metalen komt daarbij dat vernatting voor sterkere vastlegging (lagere beschikbaarheid) in de bodem zorgt (zie factsheet 5C). Bij arseen kan de vernatting juist voor een verhoogde beschikbaarheid in de bodem zorgen. Voor de meeste organische verontreinigingen zal de beschikbaarheid door vernatting iets afnemen, maar ook de afbraak kan geremd worden door zuurstofloze omstandigheden.

- Omvang van verontreiniging

Dit is een maatregel die het meest effectief is voor grootschalige verontreinigingen, omdat peilbeheer pas op grotere oppervlaktes effectief toepasbaar is. Het een maatregel die goed meegenomen kan worden in gebiedsontwikkelingsplannen.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

De betreedbaarheid voor mensen neemt ook af door vernatting. Ook het oorspronkelijke natuurtipe zal naar alle waarschijnlijkheid wijzigen. Het vernatten vraagt om goede afstemming met (grond)waterpeilbeheerders en er dient nagegaan te worden of andere gebruiksfuncties in de omgeving geen nadelige gevolgen ondervinden van een gewijzigd peilbeheer.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Vernatting betekent dat er een verschuiving plaats zal vinden in de levensgemeenschap op de locatie. Voor soorten die zich niet onder langdurige zuurstofarme condities kunnen handhaven en hogere organismen die hun voedsel betrekken uit de droge bodem (bijv. kleinere worm- en insectenetende vogels en zoogdieren) zal een vernatte locatie minder geschikt zijn. Afbraak van organisch stof kan door vernatting trager verlopen, waardoor ophoping van organisch materiaal in en op de bodem plaats kan vinden. Voordeel van vernatting is dat er geen afdekking van de bestaande bodem plaatsvindt, waardoor de zaadbank niet verloren gaat. Echter, de zaadbank van een oorspronkelijk droge locatie zal vaak soorten bevatten die minder tolerant zijn voor zeer natte omstandigheden. Een potentieel voordeel is dat fosfaten onder gereduceerde condities ook minder beschikbaar zijn en doelen voor voedselarme vegetatietypen dus eenvoudiger te bereiken zijn. De fosfaten zullen echter weer vrijkomen op het moment dat de vernattingsmaatregelen ongedaan worden gemaakt en de bodem verdroogd. Het is een maatregel die vraagt om een aangepast vegetatie-/natuurdoeltype, omdat het proces van vastlegging omkeerbaar is wanneer de locatie wordt verdroogd. Voor open weidelocaties waar steltlopers foerageren, kan een vernatte locatie juist geschikter worden als foerageergebied. In dat geval is het zinvol om na te gaan of doorvergiftigingsrisico's voor de verwachte soorten relevant zijn.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Bij vernatten zal een ander (grond)waterpeilbeheer ingesteld dienen te worden en zal het beheer aangepast moeten worden op onderhoud van natte vegetatie. Het waterpeil dient ook gehandhaafd te blijven, wat vraagt om goede afstemming met (grond)waterpeilbeheerders. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

Door vernatting worden de risico's gereduceerd maar niet volledig weggenomen. Wanneer wordt gestopt met vernatten, zal de oude situatie met bijbehorende risico's weer aanwezig zijn. Vernatten wordt in natuurgebieden vaak ingezet om natuurdoelen te verwezenlijken: in verontreinigde gebieden kan dit een zowel als risicoreducerende als natuurbeheersmaatregel ingezet worden.

Factsheet 6c: Contactmogelijkheden reduceren, fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)

Korte beschrijving techniek

Door het opwerpen van fysieke barrières – zoals greppels, rasters, ondoordringbaar struikgewas en hekken – kan voorkomen worden dat grote grazers (bijv. schapen, paarden, koeien) in aanraking komen met verontreinigingen in bodem en in gewassen die op de verontreinigde bodem groeien. In de praktijk blijkt het voornamelijk de verontreinigde grond te zijn die aan het geconsumeerde gewas (vnl. grassen) hangt die voor potentiële risico's zorgt. Door deze route af te sluiten worden risico's voor grote grazers gereduceerd.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Dit is een maatregel die toepasbaar is op alle plekken waar grote grazers worden ingezet in het kader van extensief beheer (natuur, groen met natuurwaarden, ander groen) of voor de veeteelt of hobbydierhouderij (landbouw, wonen met tuin). Het is een maatregel die onafhankelijk van bodemtype ingezet kan worden.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die voor alle typen verontreinigingen bruikbaar is als manier om contact tussen grote grazers en verontreiniging te beperken.

- Omvang van verontreiniging

Dit is een maatregel die zowel op kleine als middelgrote schaal toepasbaar is. Hotspots van verontreinigingen kunnen op deze manier onbereikbaar gemaakt worden voor grote grazers. Voor landbouw is het een manier die relevant is wanneer risico's zich op kleine deelgebieden binnen een groter gebied voordoen, om te voorkomen dat een relatief groot areaal van het beweidingsgebied niet meer gebruikt kan worden. Op middelgrote schaal is het ook toepasbaar binnen gebieden waar geen sprake is van intensieve veehouderij, omdat het beweidbare areaal hier een minder economisch belang dient en daarmee de beperktere beweidbaarheid minder negatieve effecten heeft.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Bij het aanleggen van barrières dient rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van zwaar materieel en alle bijbehorende veiligheidsmaatregelen bij de graaf- en/of plaatsingswerkzaamheden. Bij grotere gebieden dient rekening gehouden worden met de hoeveelheid hekwerk of grondwerk

(bijv. greppels graven) die nodig is om een gebied van een aanzienlijke grootte onbereikbaar te maken voor grazers en de wenselijkheid hiervan. De toegankelijkheid voor mensen zal ook beperkter zijn, maar dit is te ondervangen door het plaatsen van doorgangen (bruggen/poorten) in de barrière.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het plaatsen van barrières kan relatief snel gebeuren en is vanuit bodemecologisch perspectief weinig ingrijpend. Zaadbank en bodemleven blijven behouden, alleen de contactmogelijkheden voor grote grazers worden beperkt. Met de toegankelijkheid voor andere soorten en mensen dient wel rekening gehouden te worden. Op plekken waar grotere zoogdieren aanwezig zijn, zoals vossen en dassen, heeft een fijnmazig hekwerk een grotere impact dan een goed doorgaanbaar grofmazig hekwerk of prikkeldraad. Ook kunnen greppels – zeker deze met steile wanden - een belemmering vormen voor soorten die water mijden. Door het graven van greppels kan de waterhuishouding binnen een gebied wijzigen. De te gebruiken barrière dient dus weloverwogen bepaald te worden.

Nazorg, monitoring en instandhouding

De barrières dienen gecontroleerd en onderhouden te worden. Het beheer in de afgesloten (deel)gebieden dient ook aangepast te worden, vooral op de plekken waar grote grazers worden ingezet als vorm van extensief beheer om successie/vergrassing te voorkomen. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

De maatregel levert tijdens de aanlegwerkzaamheden een korte verstoring op. De maatregel neemt de verontreinigingssituatie niet weg. Bij het opheffen van de maatregel dient nagegaan te worden of de eerder geconstateerde ecologische risico's nog aanwezig zijn.

Factsheet 6d: Contactmogelijkheden reduceren, leeflaag aanbrengen

Korte beschrijving techniek

Onder een leeflaag aanbrengen wordt verstaan: een laag grond op de verontreinigde grond aanbrengen waardoor de contactmogelijkheden van het ecosysteem met de verontreinigde grond worden beperkt. Hiermee worden de risico's voor het ecosysteem gereduceerd. De laag op te brengen grond zal in de meeste situaties een dikte hebben van 0,5 a 1,0 m. De leeflaaggrond wordt machinaal aangebracht. Hemelwater kan door de leeflaag heen infiltreren tot in de oorspronkelijke bodem. Bodemorganismen kunnen zich vrijelijk door de leeflaag en de oorspronkelijke bodem bewegen. Belangrijk is dat de leeflaaggrond qua bodemtype aansluit bij de op de locatie aanwezige bodem en dat de voedingstoestand van de leeflaaggrond voldoet aan de gestelde randvoorwaarden (vooral van belang zijn stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte).

Door het opbrengen van een leeflaag komt het maaiveld hoger te liggen. Als de maaiveldhoogte gelijk dient te blijven zal eerst grond dienen te worden afgegraven, afgevoerd en verwerkt voordat de leeflaag kan worden aangebracht.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Op klei- en zandgrond is dit een maatregel die relatief eenvoudig toegepast kan worden. Hier kan namelijk gebruik gemaakt worden van een vergelijkbaar bodemtype als grond voor de leeflaag. Voor veen is dit een minder geschikte methode, aangezien een leeflaag van veen niet een gebruikelijke toepassing is: hier zal over het algemeen een ander bodemtype worden opgebracht. Op een bodem met hoge ecologische waarde is het een maatregel die ingrijpend kan zijn. In bodems die door hun functie dynamischer beheerd worden (bijv. regelmatig oppervlakkig geroerd worden), heeft het aanbrengen van een leeflaag een beperktere impact.

- Type verontreiniging

De maatregel is in principe toepasbaar om de contactmogelijkheid met elk type verontreiniging te beperken.

- Omvang van verontreiniging

Vanuit kostenperspectief en impact op de ecologie heeft deze maatregel een lagere voorkeur bij grote oppervlakten. Indien bij grote oppervlakten toch wordt gekozen voor een leeflaag, dan is het gefaseerd aanbrengen van een leeflaag de voorkeur.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens die nodig zijn voor het aanbrengen van de leeflaag. Tevens dient voldoende grond beschikbaar te zijn van het gewenste bodemtype en voedingstoestand. Ook dient er rekening mee te worden gehouden dat de bodem onder het gewicht van het materieel kan verdichten en door het aanbrengen van de leeflaag kan inklinken.

Het biologisch meest actieve deel van het ecosysteem bevindt zich in de bovenste 0,2 a 0,3 m van de bodem en bevat de zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen. Door het aanbrengen van een leeflaag bevinden de zaadvoorraad en de organismen zich niet meer op de voor hun optimale diepte. Ook kunnen in de nieuw aangebrachte leeflaag een zaadvoorraad, macrofauna en micro-organismen aanwezig zijn die niet de optimale samenstelling hebben voor het beoogde natuurbeheertype.

De oorspronkelijke macrofauna en micro-organismen kunnen vanuit de grotere diepte naar de bovengrond koloniseren. In de nieuwe leeflaag zal zich in de loop van de jaren een nieuwe zaadvoorraad vormen. Planten die niet ter plaatse of nabij de locatie aanwezig zijn, zullen geen deel uit gaan maken van deze zaadvoorraad. Op de leeflaag zal zich nieuwe vegetatie moeten ontwikkelen. Om een bepaald vegetatietype te herstellen kan maaisel (inclusief zaden) worden opgebracht afkomstig van een locatie waar de doelvegetatie aanwezig is.

Indien een deel van de bovengrond dient te worden afgegraven voordat de leeflaag wordt aangebracht zullen daarmee de zaadvoorraad, de macrofauna en micro-organismen ook worden afgevoerd.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het beoogde saneringsresultaat is direct bereikt na het aanbrengen van de leeflaag. De impact op het bodemecosysteem is afhankelijk van het oppervlak waarover de leeflaag wordt aangebracht: hoe groter de oppervlakte hoe groter de impact.

Indien bij grote oppervlakten wordt gekozen voor een leeflaag, dan heeft het gefaseerd aanbrengen van een leeflaag de voorkeur. Hierbij kan over een periode tot tientallen jaren op regelmatige intervallen een klein deel van de leeflaag (2-10 cm/jaar) worden aangebracht, waardoor het ecosysteem de tijd krijgt om te herstellen en natuurwaarden grotendeels behouden blijven. Vanuit het oogpunt van het reduceren van contactmogelijkheden voor grote grazers dient vooraf bepaald te worden of een dergelijke manier van het aanbrengen van een leeflaag snel genoeg tot een risicoreductie leidt.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat (een deel van) de verontreiniging na het aanbrengen van de leeflaag op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het in stand houden van de leeflaag.

Duurzaamheid ingreep

Het materieel dat wordt ingezet om grond aan te brengen en eventueel te ontgraven zal in de meeste gevallen fossiele brandstof als energiebron gebruiken. Vanuit oogpunt van CO₂-uitstoot geldt: hoe minder grond wordt aan- en afgevoerd, hoe minder brandstof zal worden gebruikt dus hoe duurzamer de ingreep is. Omdat (een deel van) de verontreinigde grond uiteindelijk op de locatie aanwezig blijft, waardoor de vracht aan aanwezige verontreiniging gelijk blijft (of slechts deels wordt gereduceerd) is er altijd een vorm van nazorg noodzakelijk. Vanuit oogpunt van bereikte risicoreductie wordt deze saneringsmethode als minder duurzaam beschouwd. De methode is vooral geschikt voor de situatie waarbij er tot een grote diepte (> 1,0 m) verontreiniging aanwezig is.

Factsheet 6e: Contactmogelijkheden reduceren, verharding van verontreinigd oppervlak

Korte beschrijving techniek

Onder reduceren door middel van afdekken met een gebouw en/of verharding wordt verstaan: de contactmogelijkheden tussen het ecosysteem en de verontreinigde grond wegnemen door het bouwen van een gebouw en/of het aanleggen van verharding op de verontreinigde grond.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en –eigenschappen

Deze methode om de contactmogelijkheden met de verontreiniging te reduceren is alleen zinvol als er al plannen bestonden voor het realiseren van een gebouw en/of verharding op of nabij de verontreinigde locatie en als de omvang van het gebouw en/of verharding groter is of ten minste gelijk aan de verontreiniging. Door het gebouw en/of de verharding ter plaatse van de verontreiniging worden de contactmogelijkheden tussen het ecosysteem in de omgeving en de verontreinigde grond weggenomen.

- Type verontreiniging

De maatregel is geschikt voor alle typen verontreinigingen.

- Omvang van verontreiniging

De geschiktheid neemt af met de grootte van het verontreinigd oppervlak.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Er dient rekening mee te worden gehouden dat de locatie bereikbaar is voor machines en vrachtwagens nodig voor de bouw. Door het rijdend materieel kan de bodem ter plaatse worden verdicht. Doordat er geen regenwater door de bodem onder de bebouwing/verharding infiltreert, is het risico op uitspoeling van verontreiniging sterk gereduceerd. Voor gebruikers zal de natuurgebeving op de locatie sterk gereduceerd worden.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het ecosysteem ter plaatse van het geplande gebouw en/of verharding wordt nagenoeg volledig vernietigd. De impact daarvan hangt onder andere af van de omvang van het gebouw en/of de verharding ten opzichte van de omvang van de onbedekte bodem in de nabije omgeving en van de eventuele aanwezigheid van zeldzame soorten ter plaatse van het geplande gebouw of de

verharding. Het waterbergend vermogen van de bodem wordt weggenomen door het afdekken van de bodem met een verharding. Zaden uit de in de bodem aanwezige zaadbank hebben geen mogelijkheid om succesvol te ontkiemen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Omdat de verontreiniging na het realiseren van het gebouw/de verharding op de locatie aanwezig blijft, is er altijd een vorm van nazorg nodig. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het in stand houden de afdekkende voorziening.

Duurzaamheid ingreep

Het aanleggen van een verharding zorgt dat het bodemecosysteem op die locatie vernietigd wordt. Het aanbrengen van de verharding zorgt ook voor een tijdelijke verstoring. Het materieel dat gebruikt wordt voor de aanleg van de verharding zal over het algemeen broeikasgassen uitstoten. De maatregel neemt de verontreinigingssituatie niet weg. Bij het opheffen van de maatregel dient nagegaan te worden of de eerder geconstateerde ecologische risico's nog aanwezig zijn.

Factsheet 6f: Contactmogelijkheden reduceren, blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)

Korte beschrijving techniek

Door het inzetten van grote grazers¹ die ongevoelig zijn voor de verontreiniging, het rouleren van de beweiding op verontreinigde en schone percelen, het rouleren van de grazende populatie, het op stal zetten gedurende delen van het jaar en bijvoeren kan het contact tussen grote grazer en verontreiniging beperkt worden. De mate waarin deze maatregel ingezet kan worden is afhankelijk van het type verontreiniging en de hoogte van de gehalten aan verontreinigingen. Door de blootstelling in ruimte en tijd te beperken wordt voorkomen dat de acceptabele dagelijkse inname voor grote grazers wordt overschreden.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Dit is een maatregel die toepasbaar is op alle plekken waar grote grazers worden ingezet in het kader van extensief beheer (natuur, groen met natuurwaarden, ander groen) of voor de veeteelt of hobbydierhouderij (landbouw, wonen met tuin). Het is een maatregel die onafhankelijk van bodemtype ingezet kan worden.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die voor vrijwel alle typen verontreinigingen bruikbaar is als manier om de blootstellingsperiode tussen grote grazers en verontreiniging te beperken. De voorkeur geniet het om de maatregel in te zetten voor stoffen die in het lichaam van de soort gereguleerd of afgebroken worden. Dit zijn bijvoorbeeld essentiële stoffen als koper, zink en mangaan. Voor deze stoffen hebben grote grazers een opname- en uitscheidingsmechanisme, waardoor tijdens de niet-blootgestelde periode de gehalten in het lichaam van het dier kunnen dalen. Voor bioaccumulerende stoffen zoals cadmium, lood en persistente organische verontreinigingen dient er rekening mee gehouden te worden dat het overgrote deel van de opgenomen verontreiniging niet uitgescheiden wordt, maar in organen en weefsels zal ophopen. Aan de hand van het biologisch beschikbare gehalte van de verontreiniging in de bodem en de gehalten in de voedselgewassen voor de grazers dient afgewogen te worden wat de acceptabele blootstellingsperiode voor een grote grazer is.

¹ In geval van bijvoorbeeld een koperverontreiniging is het inzetten van bepaalde schapenrassen af te raden, omdat deze gevoelig zijn voor kopervergiftiging. In een dergelijk geval kan beter voor een ander type grote grazer worden gekozen.

- Omvang van verontreiniging

De geschiktheid neemt toe met de grootte van het verontreinigd oppervlak, omdat de relatieve inspanning hiermee afneemt (zie: Nazorg, monitoring en instandhouding).

Neveneffecten en bijbehorende risico's

De risico's voor het publiek zijn niet anders dan inzet van grote grazers in niet-verontreinigde gebieden. De beheerder en/of eigenaar van de dieren zal met enige regelmaat de dieren moeten verplaatsen en/of bijvoeren. Dit kan een extra inspanning betekenen ten opzichte van de inzet van grote grazers in een niet-verontreinigd gebied.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

De maatregel levert geen verstoring voor het ecosysteem op ten opzichte van de inzet van grote grazers in een niet-verontreinigd gebied. Alle ecosystemendiensten en de natuurwaarden blijven behouden bij deze maatregel.

Nazorg, monitoring en instandhouding

De eigenaar van de ingezette grote grazers is verantwoordelijk voor het welzijn van de dieren. Deze zal in samenspraak met een terzakekundige en de beheerder af moeten stemmen welke blootstellingsperiode aanvaardbaar is voor de dieren en hier de inzet van de grote grazers op afstemmen. Op plekken waar grote grazers beperkt ingezet kunnen worden, zal mogelijk het maaibeheer aangepast dienen te worden. De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

De maatregel levert geen verstoring voor het ecosysteem op ten opzichte van de inzet van grote grazers in een niet-verontreinigd gebied. De maatregel neemt de verontreinigingssituatie niet weg. Bij het opheffen van de maatregel dient nagegaan te worden of de eerder geconstateerde ecologische risico's nog aanwezig zijn.

Factsheet 6g: Contactmogelijkheden reduceren, omslaan van de bodem

Korte beschrijving techniek

Bij deze maatregel wordt de verontreinigde top laag van de bodem machinaal in de ondergrond gebracht en de niet-verontreinigde of minder verontreinigde diepere laag wordt naar boven gebracht. Aangezien organismen die op de bodem leven het meeste contact hebben met de top laag en de hoogste ecologische activiteit en bodemprocessen zich voltrekken in de bovenste 30 cm van de bodem, worden de contactmogelijkheden tussen organismen en processen met de verontreiniging met deze maatregel gereduceerd. De bodemverontreiniging dient beperkt te zijn tot de top laag van de bodem om deze methode effectief in te kunnen zetten.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Dit is een maatregel die toepasbaar is op zand- en kleigronden. Op veen is het een minder geschikte maatregel omdat het omslaan van een veenbodem minder eenvoudig is en het de oxidatie van veen kan versnellen. Het is een toepassing die gemakkelijk toepasbaar is in open gebieden met weinig struiken en bomen. In gebieden waar bomen en struiken staan, is het omslaan van de bodem minder geschikt.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die voor vrijwel alle typen verontreinigingen bruikbaar is als manier om de contactmogelijkheden te beperken. De natuurlijke afbraak van veel organische verontreinigingen zal vertraagd worden vanwege een beperktere beschikbaarheid van zuurstof in de diepere bodemlaag.

- Omvang van verontreiniging

De methode is goed toepasbaar op locaties met een kleine tot middelgrote oppervlakte. Bij grote oppervlakten is de inspanning en de impact van het omslaan dusdanig groot, dat andere opties te prefereren zijn.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Bij het omslaan van de bodem dient rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van zwaar materieel en alle bijbehorende veiligheidsmaatregelen bij de graafwerkzaamheden. Door het omslaan van de bodem zal de natuurbeleving tijdelijk minder zijn.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Door het omslaan van de bodem zal een tijdelijke verstoring van het bodemecosysteem ontstaan. Op de locatie zal eerst successie op moeten treden voordat het oude systeem weer op orde is. De duur en mate waarin dit het geval is, is sterk afhankelijk van het gewenste vegetatietype en de diepte van het omslaan. Een herstel van een open grasvlakte met een ondiep omgeslagen bodem zal sneller gaan zijn dan het herstel van een dieper omgeslagen bodem op een locatie waar struikgewas en bomen aanwezig zijn. Voordeel van deze methode boven het aanbrengen van een leeflaag is dat de lokale bodemorganismen en –processen en de lokale zaadbank nog aanwezig zijn in de bodem. Hierdoor kan een relatief snel herstel van de top laag met gebiedseigen soorten plaatshebben. Door het omslaan gefaseerd uit te voeren waarbij een deel van het gebied of kleine eilandjes in het gebied behouden blijven, kan het herstel van het bodemecosysteem bespoedigd worden. Vanuit het onverstoorde systeem kan versneld herkolonisatie plaatsvinden van de omgeslagen bodem.

Nazorg, monitoring en instandhouding

De maatregel neemt de niet verontreiniging niet weg, maar verplaatst deze naar een diepere bodemlaag waar de biologische activiteit beperkter is. Er dient daarom nazorg te zijn. Nazorg houdt ten minste in: registratie van de aanwezigheid van verontreinigde grond en het bepalen of de verontreiniging in de diepere laag aanwezig en niet migreert naar de top laag.

Duurzaamheid ingreep

De maatregel levert een tijdelijke verstoring voor het ecosysteem op. Voordeel ten opzichte van een conventionele leeflaag is dat gebruik wordt gemaakt van gebiedseigen grond (ondergrond). Hierdoor kan het herstel sneller verlopen en is de aanvoer van materiaal van buiten het gebied niet noodzakelijk. De graafwerkzaamheden die bij deze maatregel ingezet dienen te worden zullen de uitstoot van broeikasgassen veroorzaken.

Factsheet 7a: Bodemgebruik aanpassen, lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie

Korte beschrijving techniek

De ecologische doelstelling op een locatie kan van dusdanige aard zijn dat deze door verschillende factoren niet haalbaar is. Verontreiniging kan er daar één van zijn. Indien het wegnemen van de verontreiniging maatschappelijk niet verantwoord is (impact van maatregelen, onaanvaardbare verhouding tussen kosten en baten van de ingreep) dan kan ervoor gekozen worden om de ecologische doelstelling te verlagen. Hetzelfde geldt indien er andere significante stressfactoren aanwezig zijn dat het wegnemen van de verontreiniging geen of een zeer beperkte invloed heeft op het (niet) behalen van de ecologische doelstelling. Zo kan een deel van een gebied dat verontreinigd is en de functie 'Natuur' heeft ook intensief voor recreatie worden gebruikt. Deze verstoring door mensen kan mogelijk een groter effect hebben op het ecosysteem dan de aanwezigheid van een verontreiniging. In een dergelijk geval zou een functie als 'Groen met natuurwaarden' beter bij een dergelijk gebied passen. Het is mogelijk dat bij deze lager gewaardeerde gebruiksfunctie de risico's van een ernstige bodemverontreiniging voor het ecosysteem niet onaanvaardbaar zijn. Daarnaast kan er gekozen worden om op een verontreinigde locatie een natuur(doel)type te realiseren dat minder gevoelig is voor verontreiniging. Zo zal een metaalverontreiniging in een moeras met een dikke organische laag op de bodem over het algemeen minder risico's opleveren voor het ecosysteem dan dezelfde verontreiniging op een droge, organische stof-arme, zandige bodem. Het nastreven van een natuur(doel)type waarbij het risico van een bepaald type verontreiniging beperkt is, geniet dan de voorkeur (zie ook factsheet 6A).

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Het is maatregel die voor alle bodemtypes en –eigenschappen inzetbaar is. De bodemgebruiksfunctie kan bij het aanpassen van de gebruiksfunctie niet al dusdanig laag zijn dat een lagere gebruiksfunctie niet haalbaar is. In geval van 'Natuur' is er de mogelijkheid voor verlaging van de bodemgebruiksfunctie naar alle andere gebruiksfuncties, terwijl bij 'Ander groen' voor bebouwing, industrie of infrastructuur op de locatie gekozen moeten worden: dit zijn vanuit de Circulaire bodemsanering gebruiksfuncties zonder ecologische waarde. Voor het aanpassen van het natuur(doel)type naar een natuur(doel)type met een lagere gevoeligheid voor (specifieke) verontreinigingen dient de omzetting naar dit andere natuurdoeltype wel haalbaar te zijn. Zo is bijvoorbeeld het nastreven van een moeras op een helling geen realistisch doel.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die onafhankelijk is van het type verontreiniging.

- Omvang van verontreiniging

Bij het aanpassen van het natuur(doel)type is vaak beheer nodig dat pas vanaf een matig grote schaal (500 – 5000 m²) effectief is. Hetzelfde geldt voor een andere gebruiksfunctie: het is onwaarschijnlijk dat voor een oppervlakte van < 500 m² binnen een gebied een andere functie onderbouwd kan worden.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Het aanpassen van een natuur(doel)type zorgt ook voor een verandering in de natuurbeleving op een locatie. Beheerders zullen bij een ander natuur(doel)type het beheer aan moeten passen op de locatie. Het aanpassen naar een andere gebruiksfunctie vraagt om een goed onderbouwde uitleg, waarbij de druk van verontreiniging en andere stressfactoren inzichtelijk wordt gemaakt: een dergelijke functiewijziging zal via het bevoegde gezag moeten gaan.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Door het natuur(doel)type aan te passen, zullen ook de flora en fauna – en de daarmee samenhangende bodemprocessen - veranderen. Wanneer voor een geleidelijke overgang naar een nieuw vegetatietype wordt gekozen, zal de verandering in flora, fauna en bodemprocessen ook geleidelijk verlopen. Risico's kunnen door wijziging in natuur(doel)type gereduceerd worden, maar de verontreiniging blijft in de bodem achter. Afhankelijk van het type verontreiniging dient vooraf goed bepaald te worden of de veranderende processen invloed kunnen hebben op de beschikbaarheid van de verontreiniging. De zaadbank blijft behouden bij deze maatregel en kan diverser worden door een ander natuur(doel)type na te streven. Bij de aanpassing van functie verandert in wezen niets op de locatie, anders dan dat de risico's lager ingeschat worden in geval van een minder gevoelig gebiedstype.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Er dient daarom vooraf bepaald te worden of er daadwerkelijk sprake is van risicoreductie bij aanpassen en/of verlagen van ecologische doelen en/of gebruiksfuncties. Wanneer voor een bepaald natuur(doel)type is gekozen, is het noodzakelijk om dit via beheer ook in stand te houden. Dat betekent dat maai- en snoei-beheer mogelijk aangepast moeten worden. Daarnaast is het zinvol om te monitoren of de beschikbaarheid van de verontreiniging niet omhoog gaat door het aanpassen van het vegetatietype (m.n. relevant voor zware metalen). De aanwezigheid van verontreinigde grond dient geregistreerd te worden, aangezien de verontreiniging niet weggenomen wordt.

Duurzaamheid ingreep

De ingreep zorgt voor een reductie van de risico's, maar neemt de verontreiniging niet weg. Bij de omzetting naar een andere gebruiksfunctie dient nagegaan te worden of de risico's binnen die bewuste functies als niet onaanvaardbaar beoordeeld worden.

Factsheet 7b: Bodemgebruik aanpassen, uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied

Korte beschrijving techniek

Deze maatregel richt zich op het uitwisselen van functies en (ecologische) doelen in een gebied. Het is een maatregel die vooral past binnen gebiedsontwikkelingen. Wanneer een verontreiniging op een bepaalde locatie voor onaanvaardbare risico's voor het ecosysteem zorgt, kan overwogen worden om de functie die op deze locatie bestaat (bijvoorbeeld natuur) te verplaatsen naar een niet-verontreinigd gebied met een andere functie (bijvoorbeeld landbouw of groen met natuurwaarden). De verontreinigde locatie kan dan gebruikt worden voor een minder gevoelig bodemgebruik (in dit voorbeeld bijvoorbeeld landbouw, groen met natuurwaarden of ander groen). Eenzelfde benadering geldt voor de ecologische doelen die gesteld worden. Het uitwisselen van doelen binnen een gebied op die manier dat beide doelen bereikt worden en het nagestreefde oppervlak van een bepaald natuurdoel of vegetatietype kan door uitruil van locaties. Door bij gebiedsplanung en –ontwikkeling bodemverontreiniging te betrekken kan op deze manier een win-winsituatie bereikt worden: gereduceerde ecologische risico's en optimale benutting van het gebied waarbinnen beoogde gebruiksfuncties en natuurdoelen haalbaar zijn.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Dit is een toepassing die vooral in de plan- en gebiedsontwikkelingsfase inzetbaar is. Hierbij kunnen doelen en gebruiksfuncties optimaal op elkaar afgestemd worden. Het is vooral goed inzetbaar voor de gebruiksfuncties natuur, landbouw, groen met natuurwaarden en ander groen.

- Type verontreiniging

Het is een maatregel die voor alle typen verontreinigingen bruikbaar is. Voorwaarde hierbij is dat vooraf met een terzakekundige goed wordt bepaald welke doelen bij een bepaald verontreinigingstype optimaal en haalbaar zijn.

- Omvang van verontreiniging

Dit is een maatregel die het meest effectief is voor grootschalige gebieden, omdat uitruil tussen doelen en gebruiksfuncties optimaal is wanneer op voldoende grote schaal wordt gekeken. Dit neemt niet weg dat ook op kleinere schaal mogelijkheden zijn: zo kan bijvoorbeeld gekozen worden om een verharde parkeerplaats en bijbehorende ontsluitingsweg in een recreatiegebied te plannen en aan te leggen op een verontreinigd deel van de locatie.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Voorwaarde voor deze methode van risicoreductie is dat er een integrale gebiedsaanpak moet zijn. Dit vraagt om goed en vroegtijdig overleg tussen alle betrokkenen. Het aanpassen en uitruilen van functies en doelen binnen een gebied kan de omgeving veranderen en de beleving van de omgeving voor gebruikers (tijdelijk) veranderen. Bepaalde uitwisselingen kunnen om de inzet van groot materieel vragen om een deelgebied geschikt te maken voor het beoogde gebruik. Hier dienen dan veiligheidsmaatregelen voor getroffen te worden.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

De impact op het ecosysteem kan tijdelijk groot zijn, zeker in geval grote ingrepen noodzakelijk zijn om de uitruil van doelen en/of gebruiksfuncties mogelijk te maken. Echter, wanneer voor een optimale uitruil en verdeling van gebruiksfuncties en/of doelen wordt gekozen is er winst voor het ecosysteem, de geleverde ecosysteemdiensten en gebruiker op de langere termijn. In de planningsfase dient rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van gevoelige soorten en situaties. Een gefaseerde aanpak van mogelijke werkzaamheden verdient de voorkeur. Op die manier krijgt het ecosysteem de kans om zich het snelst te herstellen.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Door uitruil van functies en doelen wordt de verontreiniging niet weggenomen. Er dient daarom vooraf bepaald te worden of er daadwerkelijk sprake is van risicoreductie bij uitruil van doelen en/of functies. Nazorg dient zich te richten op het registreren van de aanwezige bodemverontreiniging(en) en het monitoren van het feitelijke gebruik van een locatie.

Duurzaamheid ingreep

Door uitruil van functies en doelen worden de risico's gereduceerd maar niet volledig weggenomen. Wanneer de functie of het doel aangepast wordt, zal bepaald moeten worden wat de toekomstige risico's zijn van de bodemverontreiniging.

Factsheet 8a: Natuurbeheer, successie tegengaan (voorkomen van verzuring)

Korte beschrijving techniek

Bij deze maatregel is het de bedoeling om de vegetatie zich niet te laten ontwikkelen tot een climaxvegetatie (bos). Bosbodems, zeker wanneer het naaldbomen betreft, hebben over het algemeen een lagere bodem-pH dan bijvoorbeeld graslanden. Deze lage pH kan voor mobilisatie van bijvoorbeeld zware metalen in de bodem zorgen. De ontwikkeling tot climaxvegetatie voorkomen kan variëren van het handmatig rooien van opschot van bomen en struiken tot het inzetten van grote grazers tot het machinaal maaien van een locatie.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en –eigenschappen

Dit is een optie voor vrijwel alle bodemgebruiken op landbouw na, maar zal vooral geschikt zijn voor natuur, groen met natuurwaarden en ander groen. Bij natuur wordt in Nederland vaak gestreefd naar een bepaald natuur(doel)type. Beheer is hier op afgestemd en is in veel gevallen al gericht op het in stand houden van een specifiek vegetatietype, waarbij successie wordt tegengegaan. Voor gebieden waar al een climaxvegetatie aanwezig is, is het geen geschikte optie. Het aanpassen van het vegetatietype (factsheet 6A) is dan aan te bevelen. Wat betreft bodemtype kan het op alle locaties toegepast worden, maar voor locaties waar de bodem-pH hoog is (m.n. kleibodems) is, is de maatregel het meest effectief.

- Type verontreiniging

De maatregel is van toepassing op verontreinigingen met zware metalen. Dit is de groep waarbij de beschikbaarheid het sterkst toeneemt bij een daling van de pH.

- Omvang van verontreiniging

Het is een maatregel die het best werkt voor (middel)grote oppervlakten. Wanneer oppervlakten te klein zijn, is de verhouding tussen inspanning en effectiviteit ongunstiger dan bij (middel)grote verontreinigde oppervlakten. Dit geldt niet wanneer dit wordt meegenomen in reguliere beheersmaatregelen op een locatie.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

De maatregel kan vragen om de inzet van zwaar materieel. Hierbij dient rekening gehouden te worden met bereikbaarheid en veiligheidsmaatregelen. Het inzetten van vrijwilligers bij het handmatig verwijderen van opschot of het inzetten van grote grazers kan bijdragen aan de beleving van een gebied.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Het vegetatietype zal gelijk blijven: daarmee is de impact van de maatregel op het ecosysteem en de ecosysteemdiensten minimaal. Het beheer dat noodzakelijk is om de successie tegen te gaan kan voor een tijdelijke verstoring zorgen. Met gevoelige perioden (bijvoorbeeld broedseizoen) dient in het beheer rekening gehouden te worden. Bij de inzet van grote grazers dient rekening gehouden te worden met de mogelijke aanwezigheid van bodembroedende vogels.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Beheer dient zich te richten op het tegengaan van successie. In veel natuurgebieden – vooral veen(weide)gebieden – is dit al het gebruikelijke beheer. Het is zinvol om te monitoren hoe de pH van de bodem zich ontwikkelt, omdat dit van invloed is op de beschikbaarheid van zware metalen in de bodem.

Duurzaamheid ingreep

De ingreep zorgt voor een reductie van de risico's, maar neemt de verontreiniging niet weg. Natuurwaarden en bodemprocessen zullen gelijk blijven.

Factsheet 8b: Natuurbeheer, type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)

Korte beschrijving techniek

Dit is een maatregel voor plekken waar (in de toekomst) begrazing voorzien is. Verschillende soorten (grote) grazers worden op verschillende manieren blootgesteld aan verontreinigingen. Hierdoor zijn sommige grazers minder gevoelig voor bodemverontreiniging dan andere. Grazers die gewassen 'knippen' (kort boven de grond afbijten, zoals paarden doen) zullen minder aanhangende grond innemen dan grazers die 'scheuren' (tong om het gewas heenslaan en uit de grond trekken, zoals runderen). Wanneer een verontreiniging niet sterk in het gewas wordt opgenomen, zal een 'knippende' grazer minder nadelige invloed van een verontreiniging ondervinden dan een 'scheurende' soort. Daarnaast zijn bepaalde soorten gevoeliger voor specifieke verontreinigingen: zo zijn een aantal schapenrassen duidelijk gevoeliger voor koper dan bijvoorbeeld runderen.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en -eigenschappen

Deze maatregel kan overwogen worden voor locaties waar grote grazers als beheermaatregel ingezet worden of waar men dit van plan is. Dit zal over het algemeen op plekken met de functie Natuur, Groen met natuurwaarden en Ander groen zijn.

- Type verontreiniging

Het type verontreiniging waar deze aanpak geschikt voor is hangt af van het soort grote grazer, de opname van de verontreiniging in de voedselgewassen en de aanwezigheid en hoogte van het verontreinigingsgehalte in de bovengrond (die potentieel als aanhangende grond opgenomen kan worden). Zo is bijvoorbeeld het inzetten van kopergevoelige schapenrassen op een terrein waar een oppervlakkige koperverontreiniging aanwezig is, af te raden.

- Omvang van verontreiniging

Dit is een maatregel die vooral geschikt is voor de (middel)grote oppervlakten. Voor oppervlakten tot 500 m² is dit een maatregel die niet voldoende effectief kan worden ingezet: in zulke gevallen zijn contact-beperkende maatregelen voor grote grazers effectiever.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Indien een gebied met grote grazers toegankelijk is voor publiek, dient rekening gehouden te worden met veiligheid voor het publiek bij de keuze voor het type grote grazer. Het is af te raden om in een

dergelijk gebied een agressieve soort te laten grazen, enkel omdat deze soort minder gevoelig is voor een verontreiniging.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Dit is een maatregel die ingezet zal worden in gebieden waar al grote grazers aanwezig zijn. In die zin is er weinig impact van de maatregel op het ecosysteem. Het type grote grazer kan wel van invloed zijn op de vegetatie die ontstaat: zo eten paarden graag jong gras. Hierdoor verruigen delen waar ouder gras staat en worden delen met jong gras intensiever begraasd. Hierdoor kan een lappendeken van ruige delen en kort grasland ontstaan. Runderen en schapen zijn als herkauwers minder selectief en grazen zowel op jong als oud gras. Hierdoor zal een landschap begraasd door deze soorten er eenduidiger uitzien.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Vooraf zal inzichtelijk moeten zijn welke verontreinigingsgehalten aanwezig zijn in de bodem en in gewassen die als voedsel dienen voor de grazers. Aan de hand hiervan kan de afweging worden gemaakt of inzet van grote grazers aanvaardbaar is, en zo ja, welke grote grazers het meest geschikt zijn. De gezondheid van de dieren dient gecontroleerd te worden, o.a. door naar gedrag te kijken maar eventueel ook met lichamelijk onderzoek (bijvoorbeeld met jaarlijks bloedonderzoek naar verontreinigingen in het bloed of afwijkende bloedwaarden die op vergiftigingsverschijnselen duiden).

Duurzaamheid ingreep

De ingreep zorgt voor een reductie van de risico's voor grazers, maar neemt de verontreiniging niet weg.

Factsheet 8c: Natuurbeheer, maaibeheer

Korte beschrijving techniek

Met gericht maaibeheer kunnen verschillende doelen nagestreefd worden. Het relatief hooghouden van gras en kruiden op verontreinigde locaties kan zorgen voor een beperking van contactmogelijkheden van wormeters met de bodem en regenwormen die verontreinigingen opgenomen hebben. Met het afvoeren van maaisel dat verontreinigingen heeft opgenomen (fytoremediatie) kan een deel van de verontreinigingen van de locatie verwijderd worden en met het opbrengen van (locatie-eigen) schoon maaisel op verontreinigde locaties kan het organische stofgehalte van de bodem verhoogd worden.

Toepasbaarheid in verschillende situaties

- Beoogd bodemgebruik en bodemtype en –eigenschappen

Deze maatregel is inzetbaar op locaties waar actief beheer plaatsvindt in het kader van natuurontwikkeling. Dit zal over het algemeen op plekken met de functie Natuur, Groen met natuurwaarden en Ander groen zijn. Het is geschikt voor locaties waar maaien eenvoudig is, zoals open (gras)landschappen met relatief weinig bomen en struikgewas.

- Type verontreiniging

Afhankelijk van de inzet van het maaibeheer is het geschikt voor verschillende typen verontreinigingen. Vanuit het perspectief van contactmogelijkheden voor doorvergiftiging reduceren, is het in te zetten voor bioaccumulerende en biomagnificerende verontreinigingen (cadmium, lood, PCB's, dioxines, gechloreerde bestrijdingsmiddelen). Vanuit het perspectief van fytoremediatie zijn vooral de verontreinigingen met zware metalen relevant: deze worden vaak beter door gewassen opgenomen dan organische microverontreinigingen. Wanneer aanvoer van maaisel als manier van verhoging van organische stof in de bodem wordt gebruikt, is dit voor vrijwel alle typen verontreinigingen relevant.

- Omvang van verontreiniging

Dit is een maatregel die vooral geschikt is voor de (middel)grote oppervlakten. Voor oppervlakten tot 500 m² is dit een maatregel die niet voldoende effectief kan worden ingezet, hoogstens voor de afzet van (een deel van het) maaisel uit de omgeving als organisch stof-verhogende maatregel.

Neveneffecten en bijbehorende risico's

Dit is een maatregel die ingezet kan worden in een gebied waar al maaibeheer voorzien is. Indien het maaibeheer aangepast wordt, kan het zijn dat de natuurbeleving van de gebruiker veranderd.

Tijdschaal en schaal ruimtelijke impact maatregel

Dit is een maatregel voor een gebied waar veelal al maaibeheer wordt gevoerd. De verschillen in maaibeheer zullen kunnen zorgen voor een iets veranderend vegetatietype, maar dit zal relatief beperkt blijven. De risico's worden gereduceerd door reductie van contactmogelijkheden, fyto-remediatieprocessen of beide. Afvoer van maaisel kan een langzame afname van de organische laag op de bodem veroorzaken, wat tot (beperkte) verschuivingen in de bodemgemeenschap en bodemprocessen kan leiden. Dit zal echter een zeer traag proces zijn en de impact hiervan zal in de meeste gevallen beperkt zijn.

Nazorg, monitoring en instandhouding

Vooraf zal inzichtelijk moeten zijn welke verontreinigingsgehalten aanwezig zijn in de bodem en in gewassen die als voedsel dienen voor de grazers. Aan de hand hiervan kan de afweging worden gemaakt of inzet van grote grazers aanvaardbaar is, en zo ja, welke grote grazers het meest geschikt zijn. De gezondheid van de dieren dient gecontroleerd te worden, o.a. door naar gedrag te kijken maar eventueel ook met lichamelijk onderzoek (bijvoorbeeld met jaarlijks bloedonderzoek naar verontreinigingen in het bloed of afwijkende bloedwaarden die op vergiftigingsverschijnselen duiden).

Duurzaamheid ingreep

De ingreep zorgt voor een reductie van de risico's, maar neemt de verontreiniging niet weg. De verschillen in duurzaamheid tussen het reguliere maaibeheer en aangepast maaibeheer zullen over het algemeen beperkt zijn.

Bijlage 3 Beslistabellen

Natuur incl EHS (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		Zand (lage pH)		Veen	Klei (hoge pH)	
				laag OS	hoog OS	lage pH/hoog OS	laag OS	hoog OS
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	3	2,5	1	2	2
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	4,5	4	2,5	4	4
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	6,5	6	4	6	6
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	7	7	3,5	6,5	6,5
3	Isoleren	a	Leeflaag	5	4,5	4	5	4,5
		b	Leeflaag met folie	2	2	1	2	3
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	3	3,5	3	3	3,5
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	1	1,5	0,5	1	1,5
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	8,5	9	9	8,5	9
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak					
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	5,5	4,5	3,5	5,5	4,5
		b2	Landfarming	6	6,5	3	6	6,5
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	4,5	5	3,5	3	3,5
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	6	5	4	3,5	4,5
		b	Organisch stofgehalte verhogen	6,5	4,5	1,5	7	5
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	7,5	6	8	7,5	6
		d	Chemisch vastleggen	5,5	5,5	5	6	5,5
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	5,5	6,5	6	6,5	7,5
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	7,5	7,5	4,5	7,5	7,5
		b	Vernatting	7,5	6,5	8	7,5	6,5
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	6	7	6	6	7
		d	Leeflaag (zie 3a)	5	4,5	4	5	4,5
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	1	1,5	0,5	1	1,5
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	7	6,5	6,5	7	6,5
		g	Omslaan van de bodem	6	6	3	6	6
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	7,5	7,5	6,5	7,5	7,5
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	8	8,5	7	8	8,5
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	8	8	5	7,5	7,5
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	8,5	8,5	8	8,5	8,5
		c	Maaibeheer	8	8,5	7,5	8	8,5

Ander groen (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		Zand (lage pH)		Veen	Klei (hoge pH)	
				laag OS	hoog OS	lage pH/hoog OS	laag OS	hoog OS
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	6	5,5	4	5,5	5
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	6,5	6	5	6	5,5
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	7	6,5	5	6,5	6
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	8,5	8,5	7,5	8,5	8,5
3	Isoleren	a	Leeflaag	8	8	6,5	8	8
		b	Leeflaag met folie	7,5	7,5	5,5	7,5	7,5
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	8	8	6	8	8
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	7	6,5	4,5	7	6,5
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	9	9	9	9	9
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak					
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	7	7,5	6	7	7,5
		b2	Landfarming	8	8	6,5	8	8
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	9	9	7,5	9	9
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	8	7,5	6	5	4,5
		b	Organisch stofgehalte verhogen	7,5	5	2	7,5	5
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	7,5	7,5	8,5	7,5	7,5
		d	Chemisch vastleggen	7,5	7,5	6,5	7,5	7,5
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	9	9	9	9	9
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	9	9	8	9	9
		b	Vernatting	7,5	7,5	8,5	7,5	7,5
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		d	Leeflaag (zie 3a)	8	8	6,5	8	8
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	7	6,5	4,5	7	6,5
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		g	Omslaan van de bodem	8,5	8,5	6,5	8,5	8,5
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	6	6	6	6	6
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	8	8	8	9	9
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		c	Maaibeheer	8	8	8	8	8

Groen met natuurwaarden (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		Zand (lage pH)		Veen	Klei (hoge pH)	
				laag OS	hoog OS	lage pH/hoog OS	laag OS	hoog OS
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	4	3,5	2	3,5	3
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	5,5	5	4	5	4,5
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	6,5	6	4,5	6	5,5
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	7,5	7,5	6	7,5	7,5
3	Isoleren	a	Leeflaag	7	7	5,5	7	7
		b	Leeflaag met folie	4	4	2,5	4	4
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	5,5	5,5	3	5,5	5,5
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	3	3	1,5	3,5	3
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	8,5	9	9	8,5	9
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak					
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	5,5	6	5	5,5	6
		b2	Landfarming	6,5	7	5,5	6,5	7
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	6,5	7	5,5	6,5	7
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	7,5	7	5,5	5	4,5
		b	Organisch stofgehalte verhogen	7,5	4,5	2	7,5	4,5
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	7,5	7	8,5	7,5	7
		d	Chemisch vastleggen	6,5	6	5	6,5	6
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	7	7,5	7,5	7	7,5
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	8	8	7	8	8
		b	Vernatting	7,5	7	8,5	7,5	7
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	8	8	8	8	8
		d	Leeflaag (zie 3a)	7	7	5,5	7	7
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	3	3	1,5	3,5	3
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	8	8	8	8	8
		g	Omslaan van de bodem	8	7,5	5,5	7,5	7
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	7	7	7	7	7
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	7	7,5	7	8,5	8
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		c	Maaibeheer	8,5	8	8	8,5	8

Landbouw (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		Zand (lage pH)		Veen	Klei (hoge pH)	
				laag OS	hoog OS	lage pH/hoog OS	laag OS	hoog OS
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	5,5	4,5	2,5	5	4
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	6	4,5	3,5	5,5	4
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	6	5	3,5	5,5	4,5
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	8	7	5	8	7
3	Isoleren	a	Leeflaag	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5
		b	Leeflaag met folie	2	1,5	1	2	1,5
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	1,5	1	1	1,5	1
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	1,5	1,5	1	1,5	1,5
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak					
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	6	6,5	5	6	6,5
		b2	Landfarming	8	8,5	6,5	8	8,5
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	4	4	3	4	4
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	8	7,5	5,5	8	7,5
		b	Organisch stofgehalte verhogen	7,5	5	2,5	7,5	5
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	3	2,5	4	3	2,5
		d	Chemisch vastleggen	5,5	5	4	5,5	5
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	3	3	2,5	3	3
		b	Vernatting	2,5	2,5	4,5	2,5	2,5
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
		d	Leeflaag (zie 3a)	5,5	5,5	4,5	5,5	5,5
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	1,5	1,5	1	1,5	1,5
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		g	Omslaan van de bodem	7	7	5,5	6,5	6,5
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	7	7	7	7	7
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
		c	Maaibeheer	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Wonen met tuin / Moes- en volkstuinen (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		Zand (lage pH)		Veen	Klei (hoge pH)	
				laag OS	hoog OS	lage pH/hoog OS	laag OS	hoog OS
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	5	4,5	3	4,5	4
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	6,5	6	4,5	6	5,5
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	6	6	4,5	5,5	5,5
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	5,5	6	4,5	5,5	6
3	Isoleren	a	Leeflaag	8	8	7	8	8
		b	Leeflaag met folie	5	4,5	3,5	5	4,5
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	5,5	5,5	4,5	6,5	6,5
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	4	4,5	4	4,5	4,5
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	8,5	9	8,5	8,5	9
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak					
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	7	7,5	5,5	7	7,5
		b2	Landfarming	7,5	8	6,5	7,5	8
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	7	7	6	7	7
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	7,5	7,5	6	6	5,5
		b	Organisch stofgehalte verhogen	8	5	2	8	5
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	6	5,5	7,5	6	5,5
		d	Chemisch vastleggen	7	6,5	5,5	7	6,5
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	6	6,5	7	6	6,5
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	8,5	8,5	7	8,5	8,5
		b	Vernatting	6	5,5	7,5	6	5,5
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
		d	Leeflaag (zie 3a)	8	8	7	8	8
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	4	4,5	4	4,5	4,5
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	7	7	7	7	7
		g	Omslaan van de bodem	8	8	6	7,5	7,5
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	5	5	5	5	5
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	7,5	7,5	7	8	8
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
		c	Maaibeheer	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5

Oppervlakte (schaal 0-10)

Methode		Subvariant	>50 m ² / <500 m ²	>500 m ² / <5.000 m ²	>5.000 m ² / < 50.000 m ²	>50.000 m ²
1	Af- en ontgraven	a Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	9	6	3	1
		b Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	10	7	5	2
		c Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	6	8	7	5
2	Herschikken van grond	a Herschikken van grond - met en zonder afdekken	6	8	9	7
3	Isoleren	a Leeflaag	7	9	7	5
		b Leeflaag met folie	4	7	4	2
		c Leeflaag met bentoniet/trisoplast	6	7	5	2
		d Door afdekken met gebouw en/of verharding	9	6	2	1
4	In-situ remediatie	a Natuurlijke afbraak	9	9	10	10
		b Gestimuleerde natuurlijke afbraak				
		b1 Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	7	9	7	6
		b2 Landfarming	6	9	8	8
		c Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	2	6	9	7
5	Immobiliseren	a Verhogen van de bodem-pH	7	9	9	8
		b Organisch stofgehalte verhogen	8	10	10	9
		c Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	1	5	8	10
		d Chemisch vastleggen	9	9	7	6
		e Aging (vastlegging door verouderingsproces)	9	9	10	10
6	Contactmogelijkheden reduceren	a Vegetatietype aanpassen	6	9	10	10
		b Vernatting	3	6	8	10
		c Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	6	8	7	4
		d Leeflaag (zie 3a)	7	9	7	5
		e Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	9	6	2	1
		f Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	4	6	8	9
		g Omslaan van de bodem	7	8	7	4
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	5	9	9	9
		b Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	2	6	9	10
8	Natuurbeheer	a Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	3	8	9	8
		b Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	3	6	9	9
		c Maaibeheer	3	7	9	10

Toxische Druk (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		25%<Toxische Druk<65%	Toxische Druk >65%
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	3	6
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	5	7
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	6	8
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	8	10
3	Isoleren	a	Leeflaag	8	8
		b	Leeflaag met folie	5	6
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	6	7
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	7	9
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	9	7
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak		
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	6	8
		b2	Landfarming	7	6
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	7	6
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	8	5
		b	Organisch stofgehalte verhogen	8	5
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	8	5
		d	Chemisch vastleggen	8	5
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	8	5
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	9	8
		b	Vernatting	9	8
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	7	7
		d	Leeflaag (zie 3a)	8	8
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	7	9
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	6	8
		g	Omslaan van de bodem	7	7
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	8	8
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	9	7
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	6	6
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	7	4
		c	Maaibeheer	6	5

Verontreinigingen (schaal 0-10)				Metalen/metalloïden		Organische microverontreinigingen		
Methode		Subvariant		Zware metalen - koper, lood, zink, cadmium, barium, chroom, nikkel, kwik (molybdeen, thallium, tin, vanadium, zilver, beryllium)	Metalloïden - arseen (antimoon, boor, seleen)	PAK's	(Minerale) olie	Persistente organische verontreinigingen - PCB's, gechloreerde bestrijdingsmiddelen (dioxines, furanen)
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	9	9	9	9	9
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	10	10	10	10	10
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	10	10	10	10	10
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	10	6	8	8	8
3	Isoleren	a	Leeflaag	9	8	9	9	9
		b	Leeflaag met folie	10	9	9	10	10
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	10	9	9	10	10
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	10	10	10	10	10
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	0	0	8	9	6
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak					
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	0	0	9	10	7
		b2	Landfarming	0	0	10	10	7
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	7	7	8	8	4
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	9	1	3	4	3
		b	Organisch stofgehalte verhogen	7	5	7	7	8
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	7	1	4	3	3
		d	Chemisch vastleggen	8	6	6	6	7
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	7	7	8	8	8
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	8	8	8	8	8
		b	Vernatting	7	4	3	3	4
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	8	8	6	6	6
		d	Leeflaag (zie 3a)	9	8	9	9	9
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	10	10	10	10	10
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	8	8	8	8	8
		g	Omslaan van de bodem	8	8	8	8	8
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	9	9	9	9	9
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	9	9	9	9	9
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	9	3	3	3	3
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	8	7	4	4	4
		c	Maaibeheer	8	7	5	5	5

Verontreinigingssituatie (schaal 0-10)

Methode		Subvariant		Diffuus: Locatie binnen gebied met diffuse verontreiniging	Hotspot: Locatie binnen onverontreinigd gebied
1	Af- en ontgraven	a	Diep af- en ontgraven - met/zonder aanvullen	2	7
		b	Toplaag verwijderen - met/zonder aanvullen (tot 50 cm-mv)	4	9
		c	Toplaag gefaseerd verwijderen - met/zonder aanvullen	5	10
2	Herschikken van grond	a	Herschikken van grond - met en zonder afdekken	5	9
3	Isoleren	a	Leeflaag	5	8
		b	Leeflaag met folie	4	8
		c	Leeflaag met bentoniet/trisoplast	5	9
		d	Door afdekken met gebouw en/of verharding	6	9
4	In-situ remediatie	a	Natuurlijke afbraak	10	8
		b	Gestimuleerde natuurlijke afbraak		
		b1	Inbrengen van bacteriën/voedingsstoffen	7	7
		b2	Landfarming	8	6
		c	Fytoremediatie i.c.m. maaibeheer	7	5
5	Immobiliseren	a	Verhogen van de bodem-pH	7	7
		b	Organisch stofgehalte verhogen	7	6
		c	Zuurstofverzadiging van bodem aanpassen (door vernatting)	7	8
		d	Chemisch vastleggen	6	8
		e	Aging (vastlegging door verouderingsproces)	10	7
6	Contactmogelijkheden reduceren	a	Vegetatietype aanpassen	6	7
		b	Vernatting	6	8
		c	Fysieke barrière creëren (toepasbaar voor grote grazers)	6	9
		d	Leeflaag (zie 3a)	5	8
		e	Verharding van verontreinigd oppervlak (zie 3d)	6	9
		f	Blootstelling in ruimte en tijd beperken (toepasbaar voor grote grazers)	7	9
		g	Omslaan van de bodem	5	6
7	Bodemgebruik veranderen (in de tijd)	a	Lagere/andere ecologische doelstelling/gebruiksfunctie	6	8
		b	Uitwisselen van doelen/gebruiksfuncties binnen een gebied	5	10
8	Natuurbeheer	a	Successie tegengaan (voorkoming van verzuring)	6	7
		b	Type grazers dat ingezet wordt (toepasbaar bij grote grazers)	7	7
		c	Maaibeheer	6	7