



**Advies
Eindig beheer grote
voormalige bodemsanerings-
locaties met IBC regime**

TCB A108(2015)

De TCB is een onafhankelijke adviescommissie die in 1987 bij wet is ingesteld. De TCB adviseert hoofdzakelijk de ministers van Infrastructuur en Milieu en Economische Zaken over technisch-wetenschappelijke aspecten van milieubeleid voor de bodem. Het gaat daarbij om het vertalen en toepasbaar maken van wetenschappelijke kennis voor het beleid.

De leden van de TCB zijn afkomstig uit disciplines zoals bodemkunde, chemie, geohydrologie, ecologie en toxicologie. Zij adviseren vanuit een brede oriëntatie.

De TCB adviseert onder meer over bodemnormstelling en risicobeoordeling van bodemverontreiniging, bodembeheer in de landbouw, beheer van het bodemwatersysteem inclusief grondwater, en ruimtelijke ordening in relatie tot bodemkwaliteit. De duurzaamheid van het bodemgebruik en het bodembeheer is daarbij het uitgangspunt.

Contactgegevens

Technische commissie bodem

Postbus 30947

2500 GX Den Haag

T 070 – 456 6596

E info@tcbodem.nl

W www.tcbodem.nl

Aan
De Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu
Mevrouw S.A.M. Dijkema
Postbus 20901
2500 EX Den Haag

TCB A108(2015)

Den Haag, 16 december 2015

Betreft: advies Eindig beheer grote voormalige bodemsaneringslocaties met IBC regime

Mevrouw de Staatssecretaris,

Dit advies naar aanleiding van uw vraag¹ bevat een verkenning naar kansen voor aanpassing van het huidige beheer van grote voormalige bodemsaneringslocaties met IBC-regime (Isoleren, Beheersen, Controleren). Voor veel van deze locaties is er momenteel 'eeuwigdurend beheer' met nazorg afgesproken. Dit is zowel financieel als ruimtelijk een maatschappelijke belasting waarover het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) en andere betrokkenen zich de vraag stellen of dit inmiddels beter kan. In de periode vanaf de totstandkoming van het bodemsaneringsbeleid tot nu heeft de kennis over de processen en de risico's samenhangend met onderhavige systemen zich ontwikkeld. Daardoor kan de nazorgregeling mogelijk aangepast en misschien op termijn wel gestopt worden: van oneindig naar eindig beheer. In dit advies worden deze mogelijkheden verkend. Het uitgangspunt hierbij is dat de humane en ecologische risico's bij deze locaties minimaal blijven, en de verspreiding van de verontreiniging beperkt blijft.

De TCB brengt in dit advies een aantal ontwikkelingen op het gebied van kennis en techniek in beeld die gebruikt kunnen worden bij een herziening van het beheer van IBC-locaties. De TCB bouwt hierbij onder andere voort op haar eerdere adviezen over IBC-locaties of vergelijkbare problematiek². Een nadere onderbouwing van het advies wordt gegeven in bijlage 2. De technische maatregelen die genoemd worden in het advies of de nadere onderbouwing zijn beschreven in bijlage 3.

De schatting is dat er in Nederland 100 á 200 verontreinigde locaties met een IBC-regime (Isoleren, Beheersen, Controleren) zijn waarbij sprake is van een substantiële inspanning in verband met de nazorgregeling, en waarbij blijvende zorg bestaat over het bestaan van onacceptabele risico's door

1 Bijlage 1.

2 TCB A090/01 (1990). Advies toetsingskader en IBC-criteria lokale bodemverontreiniging.

TCB A090/02 (1990). Advies IBC-voorzieningen baggerspeciedepots.

TCB A77 (2012); A78 (2013); A87 (2013); A90 (2013): Adviezen duurzaam stortbeheer.

bodemverontreiniging. Dit zijn de zogenoemde 'klassieke IBC-locaties'. De TCB is gevraagd om inzichten, onderzoeksresultaten en andere ideeën te bundelen over het verminderen van deze milieuhygiënische risico's, met name richting het grondwater, uitgaande van de chemische, biologische en/of fysische processen die zich in of om deze locaties afspelen (vraag 1). Ook is de TCB gevraagd aan te geven om welke termijnen het gaat bij het verminderen van de risico's (vraag 2) en hoe de kennis hierover kan worden gebruikt om de beheersnoodzaak die nu als eeuwigdurend is bestempeld, eindig te maken (vraag 3). Tenslotte ligt de vraag voor wat eventuele kennislacunes zijn en welk onderzoek nodig of wenselijk zou zijn (vraag 4).

De antwoorden op deze vragen zijn hieronder samengevat.

Inzichten en onderzoeksresultaten (vraag 1)

De TCB ziet vanuit (vooral) technisch-wetenschappelijk perspectief de volgende ontwikkeling. Het bodembeleid en de aanpak van verontreinigde locaties hebben de afgelopen 25 jaar een ontwikkeling doorgemaakt die ook relevant is voor IBC-locaties. Deze locaties zijn vaak geruime tijd geleden beschikt en sindsdien vooral beheersmatig onder controle. De kansen om tot een eindoplossing te komen zijn daardoor mogelijk gemist. De kennis over het fysieke systeem is toegenomen, namelijk het inzicht in mechanismen van *natural attenuation* (NA)³, transportprocessen, veranderingen in de tijd, de ruimtelijke heterogeniteit, kritische aspecten in de risicobeoordeling, *et cetera*. De kennis om het systeem te beïnvloeden is ook toegenomen, wat resulteerde in de (verdere) ontwikkeling van gestimuleerde NA (gNA)⁴ door innovatieve *in-situ* saneringstechnieken gebaseerd op biologische afbraak, sorptie, stabilisatie, fixatie, chemische oxidatie en reductie, fyto-remediatie en reactieve schermen. Ter ondersteuning van deze technieken is het aantal instrumenten om te monitoren ook sterk toegenomen (niet-destructieve snelle analysemethoden, passieve samplers, *on-line* monitoren *et cetera*). Daarnaast zijn instrumenten ontwikkeld om de processen te modelleren in ruimte en tijd. Hierdoor kan inzicht worden verkregen in cruciale processen ten aanzien van het gedrag en het lot van de verontreiniging bij IBC-locaties, die voorheen onbekend waren.

Heel specifiek voor IBC-locaties is de isolatie. Er is weinig bekend over het gedrag en het lot van stoffen wanneer de isolatie (deels) wordt opgeheven, behalve uiteraard het algemene principe dat de verspreiding zal toenemen. Dit bemoeilijkt het serieus overwegen van dit type ingrepen, met de bedoeling om gNA maatregelen mogelijk te maken. De inzichten die worden verkregen in de pilotprojecten duurzaam stortbeheer⁵ kunnen deze kennislacune wellicht verkleinen. NA kan geactiveerd worden door isolerende maatregelen bij IBC-locaties deels op te heffen.

gNA maatregelen hebben naar de mening van de TCB een relatief grote potentie om bij te dragen aan een effectieve aanpak van IBC-locaties en aanpassing van de nazorgmaatregelen. Een gebiedsbenadering biedt hierbij kansen. Belangrijke voorwaarde is dat de beïnvloeding van de

3 'Natural attenuation' (NA) is de afname in massa of concentratie van een stof in bodem of grondwater in de tijd of in de afstand tot de bron als gevolg van natuurlijk optredende fysische, chemische of biologische processen zoals: (bio)degradatie, transformatie, verspreiding, verdunning, adsorptie, inkapseling of vervluchtiging. Het begrip is daarmee breder dan het Nederlandse begrip 'natuurlijke afbraak' dat alleen de biologische processen beschouwt (SKB, 2007, Natuurlijk afbraak – het is niet niks. SKB Cahier, Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda).

4 In dit advies wordt gesproken van gestimuleerde NA (gNA) als de genoemde fysische, chemische of biologische processen met maatregelen worden gestimuleerd. Vergelijkbare begrippen zijn gestimuleerde *in-situ* afbraak en *enhanced natural attenuation*.

5 <http://duurzaamstortbeheer.nl/>.

omgeving niet de tevoren vastgestelde beschermingsniveaus overschrijdt. Voor een werkende benadering zal meestal gekeken moeten worden naar toepassing van een pakket van elkaar aanvullende maatregelen, in plaats van een enkelvoudige (technologische) ingreep.

Termijnen (vraag 2)

Over de termijn waarbinnen de nazorg verminderd, dan wel beëindigd, kan worden is geen nauwkeurige uitspraak te doen. Wel kan gesteld worden dat natuurlijke processen langzamer verlopen dan processen die in modelsystemen in het laboratorium bestudeerd worden. Bij IBC-locaties zullen processen nog langzamer verlopen dan in natuurlijke systemen, omdat de isolatie de dynamiek en verspreiding inperkt. Bij complexe mengsels met organische en anorganische stoffen gaat het om een scala aan processen zoals transformatie, biodegradatie, sorptie, aggregatie, immobilisatie, verdunning en transport. De transformatie- en biodegradatiesnelheden verschillen per stof en zijn ook sterk afhankelijk van de milieucondities. De diverse processen kunnen elkaar uitsluiten of juist versterken. Een inschatting van de snelheden van *NA* vergt goed inzicht in de processen in de geïsoleerde zone⁶ met daarin de bron. De monitoring op IBC-locaties is in het algemeen niet gericht geweest op processen in de geïsoleerde zone, waardoor kennis hierover vaak nog beperkt is. Dit betekent dat de inschatting per locatie gedaan moet worden, waarbij gebruik gemaakt kan worden van het stappenplan dat de TCB adviseert (zie volgende paragraaf).

Hoe is de kennis te gebruiken (vraag 3)

Deze vraag behelst de procesmatige kant van de aanpak van IBC-locaties. Hierbij is onderscheid gemaakt in de prioritering van de bestaande 'klassieke' IBC-locaties in Nederland en de maatwerkaanpak per IBC-locatie.

Prioritering

De TCB adviseert om op centraal niveau (het samenstel van bevoegde gezagen: provincie, rijk en gemeenten) de regie te nemen en inspanning te leveren om alle 'klassieke' IBC-locaties te ordenen naar de te verwachten mogelijkheden voor een toekomstige aanpak. Dit kan aan de hand van een set eenvoudige indicatoren, op basis van het onderscheid tussen locaties met relatief goede mogelijkheden voor aanpassing van het IBC-regime en locaties met relatief weinig mogelijkheden. De set indicatoren kan onder meer gebaseerd worden op:

- 1) door monitoren toegenomen inzicht in het gedrag en lot van de stoffen op de locatie,
- 2) innovatie bij nieuwe en bestaande technieken om verontreinigingen aan te pakken,
- 3) mogelijkheden om van een gevalbenadering naar een gebiedsbenadering te bewegen,
- 4) maatschappelijke vraag naar de ruimte,
- 5) nadere analyse van de bedreigde objecten,
- 6) inzichten in het lot en het gedrag van stoffen in het algemeen, en
- 7) effecten van beleidsveranderingen.

Maatwerk per locatie

De maatwerkaanpak per IBC-locatie behelst een stappenplan voor een analyse naar de effectiviteit en noodzaak van de nazorgregeling, en de mogelijkheden om de verontreiniging aan te pakken en te beheersen. Het is essentieel om alle betrokken partijen (belanghebbenden, beslissingsbevoegden en onafhankelijke deskundigen) in een vroeg stadium bij dit proces te betrekken. De volgende richtinggevende stappen bieden een structuur voor een transparante en grondige analyse van de IBC-

⁶ Het terrein binnen de isolatievoorziening.

locatie. In het advies wordt dit stappenplan in meer detail toegelicht met verwijzing naar de relevante kennis en maatregelen.

Stap 1. Inventariseer locatie- en gebiedsinformatie.

Stap 2. Bepaal het milieurisico en het beschermingsniveau.

Stap 3. Verken en analyseer de oplossingsrichtingen:

- a) Bepaal in hoeverre volledige, brongerichte isolatie noodzakelijk blijft,
- b) Verken potentiële maatregelen inclusief mogelijkheden voor een gebiedsgerichte aanpak,
- c) Bepaal de noodzaak of meerwaarde van het verzamelen van aanvullende gegevens,
- d) Analyseer verschillende oplossingsrichtingen.

Stap 4. Stel een plan van aanpak op.

Het stappenplan beschrijft een proces waaraan in principe elke IBC-locatie onderworpen kan worden. Het leidt tot een analyse van de noodzaak en effectiviteit van de nazorgregeling en tot inzichten hoe de verontreiniging aangepakt kan worden om uiteindelijk tot een eindige nazorg te komen. De TCB vindt dat voor locaties waar weinig mogelijkheden zijn om de verontreiniging aan te pakken, het advies moet luiden om deze bovenstaande exercitie over enige jaren te herhalen. Naarmate de ervaring met de aanpak van IBC-locaties groeit, ontstaan er weer nieuwe mogelijkheden die kansen bieden voor andere locaties.

Vraag 4: waar is sprake van kennislacunes?

Ontwikkeling in kennis over de processen die leiden tot vermindering van de risico's en informatie over de variatie in ruimte en tijd is omvangrijk geweest. Toch is deze kennis en informatie nog niet vaak toegepast bij IBC-locaties. De TCB adviseert om de informatievergaring bij IBC locaties, veel meer dan tot op heden gebruikelijk is, te richten op de natuurlijke processen die leiden tot vermindering van de risico's, en daarvoor de nieuwe technieken en kennis in te zetten en de ervaringen te delen.

Omdat vooraf moeilijk is in te schatten hoe snel en hoe effectief een combinatie van technieken voor een IBC-locatie is, zal een flexibele aanpak inclusief voorzorgsmaatregelen gevolgd moeten worden. De TCB adviseert om dit mogelijk te maken, bijvoorbeeld in pilot-projecten, waarbij geleerd kan worden van de effectiviteit van de ingezette technieken.

Met de meeste hoogachting,

Het ondertekende exemplaar is verstuurd aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu

Ali Edelenbosch
Voorzitter Technische commissie bodem

Bijlage 1: De adviesaanvraag



> Retouradres

Technische commissie bodem
de voorzitter, mevr. A. Edelenbosch
Postbus 30947
2500 GX Den Haag

Bestuurskern

Dir. Water en Bodem
Afdeling BoDEM

Contactpersoon

drs. A. Oostra
Senior beleidsmedewerker
M +31(0)6-50748077
auke.oostra@minienm.nl

Kenmerk: IenM/BSK-
2015/105938

Datum 28 mei 2015
Betreft Adviesaanvraag: eindig beheer grote voormalige
bodemsaneringlocaties met IBC regime

Geachte voorzitter,

Hierbij verzoek ik u mij te adviseren over nieuwe technische mogelijkheden om milieuhygiënische risico's te verminderen van grote gesaneerde locaties waarvoor al jarenlang een IBC-beheerregime geldt.

Aanleiding

Bij de bodemsanering kan gekozen worden uit het verwijderen van de verontreinigende stoffen uit de bodem of het isoleren, beheersen en controleren (IBC) daarvan. De afweging vindt plaats op basis van locatiespecifieke omstandigheden. Vanaf het begin van de bodemsaneringsoperatie in 1980 tot op heden is op tientallen locaties gekozen voor IBC-maatregelen. Te denken valt aan locaties zoals de voormalige stortplaats Volgermeerpolder in Amsterdam en het voormalige gasfabrieksterrein Griftpark in Utrecht.

Het beheer en de organisatie van deze grote IBC locaties gaat in principe uit van eeuwigdurende nazorg en dan met name richting de risico's voor het grondwater. Dat is een maatschappelijke belasting waarover wij ons de vraag stellen of dit beter kan vanwege mogelijk hernieuwde technische inzichten van de afgelopen jaren. Ook binnen het convenant bodem en ondergrond 2016-2020 is de vraag gesteld of nazorgmaatregelen mogelijk via extra inzet verminderd of zelfs beëindigd kunnen worden.

Achtergrond daarbij is dat door een hernieuwde afweging tussen kosten en baten op basis van de huidige technische inzichten er mogelijkheden zijn voor een andere aanpak van deze locaties.

Adviesaanvraag

Vanuit deze achtergrond stelt het ministerie u daarom de volgende vraag:

Bestuurskern
Dir. Water en Bodem
Afdeling BoDEM

Zijn u inzichten/onderzoeksresultaten bekend of heeft u anderszins ideeën omtrent maatregelen ten behoeve van het op termijn verminderen van de milieuhygenische risico's, met name richting het grondwater, van de grote IBC-locaties, uitgaande van de chemische, biologische en/of fysische processen die zich in of om deze locaties afspelen? En aan welke termijn en maatregelen denkt de TCB ?

Datum
28 mei 2015

Zo ja, hoe kan kennis hierover worden gebruikt om de beheernoodzaak die nu als eeuwigdurend is bestempeld, eventueel eindig te maken? Wat zijn de eventuele kennislacunes? Welk onderzoek zou nodig/wenselijk zijn?

Het gaat om een verkennend technische advies gericht op de beheeraspecten van de grote IBC-locaties. Met IBC-locaties bedoelen we locaties waarbij na sanering van de bodemverontreiniging (rest) verontreiniging is achtergebleven en waarvoor nazorgmaatregelen zijn getroffen in de vorm van Isoleren, Beheren en Controleren.

Om u inzicht te geven in de aantallen locaties en een mogelijke classificatie van de IBC-locaties bijvoorbeeld naar type verontreiniging is opdracht verleend aan een adviesbureau. De resultaten van dit onderzoek zullen worden nagezonden.

Op basis van het advies kan ingeschat worden in welke richting het kansrijk en zinvol is om verder onderzoek te verrichten en kennis te ontwikkelen, eventueel binnen het kader van de Kennisagenda Bodem en Ondergrond. Het advies kan tevens dienen voor eventuele bijstellingen in de aanpak van het beheer van grote IBC bodemsaneringlocaties.

Hoogachtend,



drs. E.B. Alwayn
DIRECTEUR WATER EN BODEM

Bijlage 2: Onderbouwing van het advies

STAND VAN ZAKEN IBC-LOCATIES

Uit een recente korte studie⁷ uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) blijkt dat het aantal locaties dat isoleren, beheersen en controleren (IBC) als beheersregime heeft alleen zeer indicatief is in te schatten. Dit heeft te maken met het gedecentraliseerd bijhouden van gegevens over deze locaties. In de korte studie is het totale aantal IBC-locaties aan de hand van twee databases geschat op 2388⁸ en het aantal 'klassieke' IBC-locaties⁹ op 100 á 200. Bij deze laatste locaties is de aanpak gebaseerd op fysieke isolatie door afdekken en/of damwanden, soms een permanente beheersing door grondwater beïnvloeding en behandeling van onttrokken water, en een intensieve controle op de effectiviteit van de maatregelen (monitoring). Mede in combinatie met de hoge jaarlijkse kosten en de impact op de omgeving is het verantwoord om voor deze locaties te onderzoeken of een aanpassing van de huidige aanpak mogelijk en gewenst is.

De studie onderscheidt drie typen IBC-locaties:

a. Scherp begrensde bronlocaties

Deze locaties voldoen het meest aan het algemene beeld van een 'klassieke' IBC-locatie¹⁰: een diepe damwand en een robuuste bovenafdichting isoleren de verontreiniging van de omgeving.

b. Bronlocaties met omvangrijke verontreinigingspluimen

Deze locaties worden vaak met een geohydrologische beheersing aangepakt: de verontreiniging zit vaak te diep om aan te pakken. Het betreft hier vrijwel altijd verontreinigingen met chloorkoolwaterstoffen. De aanpak van deze verontreinigingen is lang uitgesteld of met behulp van tijdelijke beheersmaatregelen vormgegeven. Deze locaties kunnen en zullen vaak in het kader van een gebiedsgerichte benadering worden aangepakt.

7 Alphenaar A., Van de Velde A. (2015). Quickscan/karakterisering IBC-locaties. TTE projectnummer C15022, 30 juli 2015.

8 Dit aantal is gebaseerd op een eerdere inventarisatie door Bodem+ en een analyse van de spoedlocaties genoemd in de Midterm review van het Uitvoeringsprogramma van het Convenant Bodemontwikkelingsbeleid en aanpak spoedlocaties 2010-2015.

9 'Klassieke' IBC-locaties: gebaseerd op het afwegingskader en de kennis ten tijde van het multifunctioneel bodembeleid. In het begin van de bodemsaneringsoperatie is de IBC-aanpak (Isoleren, Beheersen, Controleren) ontwikkeld als alternatief voor situaties waarin de gewenste multifunctionele sanering technisch en/of financieel niet mogelijk was. De nadruk kwam daarbij op het isoleren van de zone met de bron van de verontreiniging te liggen.

10 Beschrijving van het begrip IBC-locatie (uit: www.bodemrichtlijn.nl): "Niet altijd wordt bij een bodemsanering de verontreiniging (volledig) verwijderd. In een aantal gevallen wordt de bodemverontreiniging geïsoleerd. Dit is aan de orde als de verontreiniging fysiek onbereikbaar is voor de inzet van verwijderingstechnieken en verspreiding niet anders kan worden tegengegaan dan door het treffen van isolatiemaatregelen. Voor deze gevallen van bodemsanering zijn de zogenaamde IBC criteria van toepassing: Isoleren, Beheersen, Controleren. Ter controle van de werking van deze isolatiemaatregelen zal actieve nazorg moeten worden uitgevoerd. De controle omvat metingen die periodiek moeten worden verricht zodat gecontroleerd kan worden of de isolatiemaatregelen nog goed werken. Indien hierbij afwijkingen worden geconstateerd dient actie te worden ondernomen (bijvoorbeeld bijsturing)."

c. Uitzonderlijke situaties

Ook nu kan er (al dan niet tijdelijk) worden besloten om een nog niet oplosbaar probleem te isoleren, beheersen en controleren. Net als ten tijde van de multifunctionele afweging gaat het dan om situaties waar nog kennis ontbreekt om een andere aanpak te kiezen. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de grondwaterverontreiniging met PFOS¹¹ op Schiphol.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat stortplaatsen in principe niet gerekend worden tot het domein van de bodemverontreiniging, maar onder de wet Milieubeheer vallen, tenzij er sprake is van bodem- en of grondwaterverontreiniging. Voor deze locaties kunnen IBC maatregelen zijn ingesteld (bijvoorbeeld Volgermeerpolder). Uit de enquête blijkt juist dat bevoegde gezagen (voormalige) stortplaatsen bij uitstek zien als IBC-locaties, ongeacht de wet. Feitelijk zijn de IBC-locaties van type a vaak industriële complexen (bijvoorbeeld voormalige gasfabrieken) die op eigen terrein afval hebben gestort.

Volgens de korte studie van TTE liggen de jaarlijkse kosten voor de 'klassieke' IBC-locaties per locatie in de orde grootte van € 50.000 tot € 300.000. Er is grote onzekerheid in de exacte bandbreedte en aantallen, vanwege het ontbreken van gecentraliseerde databanken waarin dit type gegevens opgezocht kan worden. Ondanks deze onzekerheid kan wel gesteld worden dat een investering in economische zin lonend kan zijn wanneer de nazorg daarmee (op termijn) beëindigd kan worden, maar dat het afhangt van de specifieke omstandigheden. In milieuhygiënische zin zal in principe elke maatregel om de verontreiniging aan te pakken het risico verlagen en lonend zijn zolang de milieu-impact van de maatregelen zelf relatief gering is.

WAAROM HERORIËNTATIE IBC-LOCATIES?

Er zijn naar de mening van de TCB veel invalshoeken die een heroriëntatie op de nazorgmaatregelen rechtvaardigen, met een vooruitzicht tot aanpassing, misschien wel tot eindige nazorg. Elke invalshoek kan informatie opleveren die afzonderlijk of in combinatie toegepast kan worden:

- a. Gedurende de nazorgfase zijn gegevens beschikbaar gekomen die ten tijde van de beschikking niet voorhanden waren en die een heroriëntatie op de IBC situatie kunnen rechtvaardigen. De meeste gegevens zullen niet naar processen in de bron terug te voeren zijn omdat monitoring gericht op bescherming van bedreigde objecten vaak (maar niet altijd) buiten de bron plaatsvindt. Volgens de TCB werd hier een kans gemist omdat het met relatief beperkte aanpassingen wel mogelijk is om veel meer over processen in de bron te weten te komen, waardoor zicht op een eindoplossing kan ontstaan. Vaak zijn er wel indirecte verbanden te leggen, en die kunnen ook nuttig zijn voor een nieuwe analyse. De conclusie kan ook zijn dat de benodigde gegevens ontbreken, en dat er inspanning nodig is om ze boven water te halen (bijv. door een set aanvullende waarnemingen en metingen, zoals bij het EMK-terrein is gedaan).^{12,13}
- b. Er is de afgelopen twintig jaar kennis beschikbaar gekomen en er zijn saneringstechnieken en andere innovatieve technieken ontwikkeld die mogelijkterwijs ingezet kunnen worden om de potentiële problemen als gevolg van de verontreiniging aan te pakken. In het vervolg van dit advies worden verschillende kansrijke ontwikkelingen genoemd. Tevens kunnen technieken goedkoper zijn geworden waarmee de inzetbaarheid beter haalbaar is geworden.

11 Perfluorooctaansulfonaat.

12 Van de Velde, A., van der Sterren, G., Vreugdenhil, R., Schmidt, G., Meijer, D.J., Edelman T. (2012). Nieuw leven voor het EMK-terrein: over de aanpak van een complex project. *Bodem* 22(1): 20-22.

13 Bijeenkomst werkgroep Herziening IBC-locaties, Bodembreed Forum, 21 mei 2015, Krimpen aan den IJssel.

- c. Voor de trend om te bewegen van een gevalsbenadering naar een gebiedsbenadering zijn specifieke gegevens en informatie nodig die deels al beschikbaar zijn, maar nog niet toegepast werden. Ze zijn daarmee ook relevant voor de heroriëntatie op de nazorgregeling. Het betreft hier alle typen informatie die nodig zijn om een gebiedsbenadering in een gebiedsproces van de grond te krijgen. De (geo)hydrologie en reactiviteit van de ondergrond in het gebied maken daar onderdeel van uit.
- d. Er is een maatschappelijke drijfveer (bijvoorbeeld een toegenomen vraag naar de schaarse ruimte in het gebied) om de gebruiksmogelijkheden van de locatie te verbeteren (herontwikkeling). De vraag naar schaarse ruimte kan ook leiden tot heroverweging van het IBC-regime en aanpak van de verontreiniging waarbij de aspecten elders in dit advies van belang zijn. Herontwikkeling en verandering van gebruik zullen ook zelf van invloed zijn op de inschatting van de beschermingsniveaus voor bedreigde objecten.
- e. De analyse van bedreigde objecten en de risico's van bodemverontreiniging kunnen op dit moment een andere uitkomst vertonen dan ten tijde van de beschikking. Er is een flink aantal IBC-locaties dat in de onmiddellijke nabijheid van een drinkwaterwingebied ligt. Voor een aantal IBC-locaties zal indertijd een multifunctionele sanering het beoogde uitgangspunt zijn geweest. Sinds enige tijd kan gekozen worden voor functiegerichte sanering, waarbij andere saneringsdoelen gelden dan in de oude regelgeving.
- f. Over het lot en de toxiciteit van stoffen is kennis ontwikkeld, bijvoorbeeld op het gebied van biobeschikbaarheid, (bio)degradatie, mengseltoxiciteit en uitloggedrag. In het beheer wordt soms een tijdspanne van maximaal 30 jaar gehanteerd, maar een geïsoleerde verontreiniging kan in theorie eeuwig aanwezig blijven. Een focus op ecosystemen, naast de mens, rechtvaardigt ook langere planningshorizonten, en beheerssystemen. De risicogrenzen voor het grondwater en de mens zijn streng en liggen vast (ook in verband met Europese regelgeving).

RANGORDENING VAN IBC-LOCATIES

Naar de mening van de TCB loont het in principe de moeite om 'klassieke' IBC-locaties aan een nieuw onderzoek te onderwerpen. Omdat geen enkele IBC-locatie identiek is zal in de praktijk blijken dat voor de ene locatie reële mogelijkheden voor maatregelen zijn en voor andere locaties de opties beperkt blijven. Bovendien is het onmogelijk om alle locaties tegelijk aan te pakken, en vanuit efficiëntie-overwegingen is dit zelfs onwenselijk. De TCB beveelt daarom aan om eerst een rangordening te maken van de reële mogelijkheden en het geschatte milieurendement, op basis van een set eenvoudige indicatoren. Deze kunnen bijvoorbeeld gebaseerd zijn op generieke uitgangspunten die elders in dit advies worden genoemd, zoals de mate van afbreekbaarheid van de aanwezige mix van verontreinigende stoffen en de maatschappelijke behoefte aan beschikbare ruimte voor gebiedsontwikkeling. Zo'n inventarisatie en rangordening kan met een relatief kleine studie worden uitgevoerd, zodat efficiënt aan een brede en praktische kennisbasis gebouwd kan worden. Hiervoor is regie nodig op een hoger bestuurlijk niveau (een samenstel van alle bevoegde gezagen) dan die waarop het beheer van individuele IBC-locaties wordt gevoerd. In Vlaanderen wordt een centrale faciliteit onderhouden met informatie over de bodem zodat geharmoniseerd en efficiënt met bestaande gegevens kan worden omgesprongen: het bodemattest¹⁴. Daarnaast levert de OVAM centrale ondersteuning bij de aanpak van grote verontreinigde locaties.

¹⁴ <http://www.ovam.be/bodem-saneren-beheren/bodemattesten-en-overdrachten/het-bodemattest>.

STAPPENPLAN

De TCB adviseert bevoegde gezagen, gebiedsontwikkelaars en terreineigenaren om per IBC-locatie onderstaand proces toe te passen, bestaande uit vier stappen. Een dergelijk proces is al voor verschillende werkterreinen gedefinieerd, zoals de *Water safety plans* van de WHO en de locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling in de NEN-norm 5737. In een vroeg stadium, voordat besloten wordt om een nieuwe analyse van een IBC-locatie uit te voeren, dienen alle betrokkenen uitgenodigd te worden om deel te nemen aan het proces. Voor de rollen en verantwoordelijkheden van de betrokken partijen (belanghebbenden, beslissingsbevoegden en onafhankelijke deskundigen) kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van de beschrijving in NEN-norm 5737 voor locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling. Volledige transparantie is belangrijk, omdat in het verleden IBC-locaties meestal ruime media aandacht hebben gehad, veel (publiek) onderzoeksgeld hebben gekost, en omdat de toen gekozen oplossingsrichtingen nu ter discussie worden gesteld. Zonder transparantie en draagvlak kan zo'n proces uitmonden in polarisatie van standpunten, waardoor de zoektocht naar een optimale oplossing wordt bemoeilijkt.

De concrete technische en beheersmatige maatregelen die genoemd worden in het stappenplan zijn beschreven in bijlage 3. De vier stappen in kort bestek:

Stap 1. Inventariseer locatie- en gebiedsinformatie

Inventariseer kenmerken van de verontreinigde locatie die van belang zijn voor een (her)oriëntatie op de verontreiniging en de aspecten van isolatie, beheer en controle in verband met de nazorgregeling. Betrek daarbij ook het onderzoek en de analyse die ten grondslag liggen aan het huidige beheer en de informatie die tijdens de nazorgfase beschikbaar is gekomen. Een inventarisatie van het huidige en toekomstige gebruik van de locatie en de nabije omgeving met potentieel bedreigde objecten is hier ook onderdeel van, naast alle relevante aspecten van de fysieke leefomgeving.

Van sommige IBC-locaties is relatief veel informatie beschikbaar, vanwege de omvang en de maatschappelijke commotie die destijds ontstond. Als echter in een vroeg stadium besloten is om de verontreiniging te isoleren dan verviel de noodzaak om de ernst van de verontreiniging nauwkeurig vast te stellen en is er wellicht weinig bekend. In beide gevallen zullen tijdens de nazorgfase potentieel bruikbare gegevens over de locatie beschikbaar zijn gekomen.

Stap 2. Bepaal het milieurisico en het beschermingsniveau

Bepaal welke beïnvloeding van de omgeving en bedreigde objecten acceptabel is (wat zijn kritische blootstellingsroutes en eventueel gebiedspecifieke normen). Het kan van belang zijn om te bewegen van een situatie met een maximale isolatie naar een situatie waar (enige) verspreiding is toegestaan, of zelfs aangemoedigd wordt. Dit creëert namelijk dynamiek waardoor op termijn de nazorgregeling mogelijk beëindigd kan worden. In dat geval dient een bron-pad-object benadering gevolgd te worden. Dit is van invloed op de analyse van de bedreigde objecten en de bijbehorende ijkpunten in het gebied (gebiedspecifieke normen).

Bodemverontreiniging houdt een risico in zich voor bedreigde objecten en kan ongewenst verspreidingsgedrag vertonen. Beiden zijn in het geval van IBC-locaties beteugeld met behulp van isolerende maatregelen. Bij een heroriëntatie op de nazorg dient informatie over bedreigde objecten en ongewenste verspreiding opnieuw geanalyseerd te worden. Wanneer bijvoorbeeld overwogen wordt om van een gevalsbenadering naar een gebiedsbenadering over te stappen, dan is de vraag in welke mate het gebied alsnog belast kan worden met enige bodemverontreiniging zonder dat er onacceptabele risico's optreden. Eventuele acceptatie kan bepaald worden aan de hand van kritische blootstellingsroutes, preferente verspreidingspatronen en gebiedspecifieke drempelwaarden of

locatiespecifieke normen (*points of compliance*), zodat het effect als gevolg van de verontreiniging en de verspreiding ervan voor bedreigde objecten kwantitatief geduid kan worden.

Stap 3. Verken en analyseer de oplossingsrichtingen

Dit is de fase waarin de mogelijkheden voor de IBC-locatie verkend worden en een uitwerking krijgen naar een optimale beheersvariant om op termijn tot verminderde of eindige en/of goedkopere nazorg te komen. Tevens wordt de informatiebehoefte (monitoring en modellering) en de effectiviteit van potentiële maatregelen, alleen en in combinatie met elkaar, geanalyseerd. Er worden vier deelstappen onderscheiden (3a tot en met 3d).

3a: Bepaal aan de hand van de beschermingsniveaus in hoeverre volledige, brongerichte isolatie noodzakelijk blijft

Bepaal of het (deels) verwijderen van de brongerichte isolatie leidt tot een potentiële emissie die groter of kleiner is dan de geldende beschermingsniveaus voor de omgeving en leidt daaruit af of brongerichte isolatie (voorlopig) noodzakelijk blijft.

Het beheer gericht op isolatie van (delen van) de bron is blijvend noodzakelijk zolang de potentiële emissie (of 'bronsterkte') groter is dan de beschermingsniveaus voor de omgeving. Het is theoretisch mogelijk dat de bronsterkte van de verontreiniging is afgenomen in de tijd. Bijna alle organische stoffen kunnen onder natuurlijke omstandigheden worden omgezet, maar de transformatie- en afbraaksnelheden verschillen per stof en zijn ook sterk afhankelijk van de condities waarin de stoffen zich bevinden. In 1995 was al veel bekend over deze processen, inclusief transformatieroutes. Minder bekend was hoe snel deze processen verlopen onder natuurlijke of beheerste omstandigheden. Sleutelfactoren zijn de aanwezigheid van electronendonoren en -acceptoren en transportprocessen. Het blijkt dat onder natuurlijke omstandigheden de afbraak van veel organische stoffen in de verontreinigingszones vaak beperkt wordt door één of meer van deze fysische en chemische factoren. Een voorbeeld is het ontbreken van voldoende menging en transport waardoor afbraakprocessen die de totale vracht verminderen veel trager verlopen dan in laboratoria¹⁵. Door de isolatie bij IBC-locaties percoleert in principe weinig water en zuurstof naar de zone met de bron. Daarnaast is er een relatief beperkte voorraad aan essentiële nutriënten en liggen de concentraties van de probleemstoffen vele ordes van grootte buiten de range waarin normale systemen opereren. Deze aspecten laten afbraakprocessen nog langzamer verlopen dan in de literatuur is beschreven.

De TCB komt daarom tot de conclusie dat natuurlijke afbraak in de geïsoleerde zone met de bron kan bijdragen aan beëindiging van de nazorg in het geval van organische contaminanten, maar dat naar verwachting de tijdwinst vaak gering is, waardoor de praktische betekenis klein zal zijn. Inzicht in de snelheid van natuurlijke afbraak kan overigens verkregen worden met gerichte metingen en aan de hand van geëigende monitoring. Een overweging bij de lange tijdhorizon is dat het vaak gaat om grote, zeer ernstige verontreinigingslocaties en dat natuurlijke processen zonder extra maatregelen traag zijn.

Om te stimuleren dat de verontreiniging 'versneld' onschadelijk wordt gemaakt, zullen één of meer maatregelen ingesteld dienen te worden. Ook als de focus op maximale isolatie van de verontreiniging gehandhaafd blijft, bestaat de mogelijkheid om met gerichte maatregelen processen in de bron te beïnvloeden zonder nadelige invloed op de nabije omgeving (zie onder), om zodoende te

15 Barth, J.A.C., et al. (2009). *Mobility, turnover and storage of pollutants in soils, sediments and waters: Achievements and results of the EU project AquaTerra. A review. Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1), pp. 161-173.

streven naar eindige nazorg. Voor beide situaties (maximale isolatie of enige verspreiding) zal dezelfde maatregel een andere uitwerking kunnen hebben.

Het is ook mogelijk dat beide situaties, isoleren of enige verspreiding, elkaar opvolgen in de tijd, of ruimtelijk gespecificeerd worden, om maximaal milieuhygiënisch rendement na te streven. Dit geldt uiteraard ook voor de samenstelling van de set van maatregelen. Het beheer gericht op isolatie van (delen van) de zone met de bron is echter blijvend noodzakelijk zolang de potentiële emissie (of 'bronsterkte') groter is dan het niveau dat acceptabel is voor de beïnvloeding van de omgeving.

3b. Verken potentiële maatregelen inclusief mogelijkheden voor gebiedsgerichte aanpak

Stel een groslijst samen van potentiële technische ingrepen (innoverende maatregelen) met opties voor het beheer en te verwachten rendementen per ingreep. Een dergelijke lijst is locatiespecifiek: het terrein van een voormalige gasfabriek zal anders aangepakt moeten worden dan een oude stortplaats, waarbij tevens rekening gehouden wordt met onder andere verschillen in het bodemgebruik, de bodemtextuur (klei, zand, veen) en de grondwatersituatie (diep en ondiep).

Hoewel bodem en ondergrondssystemen complex zijn, is de afgelopen 20 jaar veel vooruitgang geboekt met de wijze waarop ingegrepen kan worden zodat stoffen versneld worden afgebroken, getransporteerd, of juist gebonden. Bij een IBC-locatie zal het in veel gevallen de moeite waard zijn om een set maatregelen en technieken opnieuw tegen het licht te houden. Argumenten om destijds voor de IBC-variant te kiezen, zullen nu misschien minder of geen gewicht hebben. Een cruciaal nieuw punt bij IBC-locaties is of het beheer gericht moet zijn op maximale isolatie van de verontreiniging, zoals indertijd bij de beschikking het uitgangspunt was, of dat enige verspreiding wordt toegestaan of zelfs wordt aangemoedigd. Dit leidt tot vergroting van de dynamiek waardoor de verontreiniging versneld kan worden afgebroken of op een andere wijze onschadelijk wordt.

De afgelopen decennia is kennis beschikbaar gekomen over specifieke maatregelen, inclusief het meten van de effectiviteit van de maatregelen¹⁶. Een vereiste hierbij is dat duidelijk is welke beïnvloeding van de omgeving acceptabel is (beschermingsniveau) en hoe dit gekoppeld kan worden aan het voorspelde gedrag van de verontreiniging. Overwegingen hierbij zijn bijvoorbeeld dat de buffercapaciteit van de omgeving onaangetaast blijft (geen onomkeerbare processen) en dat er geen sprake is van onaanvaardbare risico's. Sommige maatregelen zoals toepassing van sorptiematerialen (bijv. bentoniet) kunnen onomkeerbaar zijn. Andere toevoegingen zijn wel tijdelijk, zoals pyriet en gepyroliseerde plantenresten (Biochar).

De TCB heeft de maatregelen gesorteerd naar het te verwachten potentiële effect op de nazorgregeling. De eerste tien maatregelen zijn¹⁷:

1. sanering (fysieke verwijdering),
2. herontwikkeling van de locatie,
3. gebiedsbenadering,

16 Slenders, H., Haselhoff, A., Leenaers, H., Nijboer, M., Sinke, A., Volkens, B. (2005). Praktijkdocument ROSA: handreiking voor het maken van keuzes en afspraken bij mobiele verontreiniging. Rapport SKB-project PP04-102. SKB, Gouda.

17 De TCB heeft op basis van de gegevens over IBC-locaties (zie inleiding) en haar eigen kennis en visie een eerste schatting gemaakt van het te verwachten effect op de nazorgregeling van IBC-locaties (een 'standaard' IBC-locatie). Ze beoogt niet om een volledig (met wetenschappelijke literatuur onderbouwd) overzicht te geven van alle mogelijke opties. Ook moet bedacht worden dat de optimale rangordening uiteindelijk een maatwerkbenadering behoeft en dus per IBC-locatie zal verschillen. Deze rangordening is dus slechts een 'eerste schot voor de boeg'.

4. ruimtelijk specifieke ondergrondmodellering,
5. toepassen van actuele monitoringsgegevens,
6. gNA met reactieve schermen,
7. gNA met overige biologische ingrepen,
8. gNA met chemische ingrepen,
9. monitoring van de microbiologische activiteit en afbraakpotentieel,
10. gNA door fyto-remediatie.

In bijlage 3 van dit advies zijn alle maatregelen in meer detail beschreven.

gNA heeft naar de mening van de TCB een grote potentie om bij te dragen aan een effectieve aanpak van IBC-locaties en aanpassing van de nazorgmaatregelen bij grote IBC-locaties. NA kan gestimuleerd worden door de isolerende maatregelen bij IBC-locaties deels op te heffen en maatregelen te treffen die effect hebben op NA in navolging van de pilotprojecten die momenteel onder het concept 'Duurzaam stortbeheer' opgestart worden¹⁸. Het vergroten van de dynamiek en heterogeniteit biedt kansen voor gNA, omdat er dan ergens en op enig moment de goede condities zijn om afbraakprocessen te laten verlopen. Dit laatste pleit voor het gecontroleerd opheffen van de stringente isolatie bij een aantal IBC-locaties.

De gebiedsbenadering biedt nieuwe mogelijkheden voor kleinere IBC locaties of dicht bij elkaar liggende IBC-locaties. Door de gevalsbenadering voor deze locaties te verlaten en slechts de gebiedsgrenzen te beschouwen ontstaan er mogelijkheden om dynamiek te creëren met een grotere kans op verspreiding, maar ook met mogelijkheden om via natuurlijke afbraak en sorptieprocessen de potentiële risico's in het gebied als geheel terug te dringen. Voor een werkende gebiedsbenadering zal meestal gekeken moeten worden naar toepassing van een pakket van elkaar aanvullende maatregelen, in plaats van een enkelvoudige (technologische) ingreep. De TCB heeft eerder adviezen gegeven over grondwaterbeheer en de gebiedsbenadering voor het beheer van grootschalige grondwaterverontreiniging¹⁹. Mits een aantal principes worden gehanteerd zoals maatregelen bij de bron, netto afname van de risico's en geen afwenteling, staat de TCB hier positief tegenover.

De hydrologie, natuurlijke ondergrondprocessen en de reactiviteit van de Nederlandse bodem zijn inmiddels nauwkeuriger en in meer dimensies in kaart gebracht, onder andere via het Geotop systeem van TNO. Daarnaast zijn uit de monitoring als onderdeel van de nazorgmaatregelen additionele locatie- en gebiedsspecifieke gegevens beschikbaar gekomen die gebruikt kunnen worden om de hydrologie en reactiviteit in en rond de bronzone nauwkeurig te modelleren.

3c. Bepaal de noodzaak of meerwaarde van het verzamelen van aanvullende gegevens

Geef aan waar de informatiebehoefte nog te groot is voor een betrouwbare onderbouwing van de analyse in stappen en of dit met slimme aanpassingen in de monitoring en modellering alsnog gedeeltelijk of helemaal gedekt kan worden. Stel modellen op om de processen in de bron en bij de verspreiding te beschrijven, waar een nazorgregeling op gebaseerd kan worden. Houd rekening met onzekerheden in gegevens, modellen en scenario's.

In stap 1 is beschikbare informatie verzameld die gebruikt kan worden voor de analyse van de optimale nazorgregeling en de maatregelen die eventueel tot eindige nazorg kunnen leiden. Het kan zijn dat cruciale informatie ontbreekt om te kunnen beoordelen welke maatregelen tot een optimaal

¹⁸ <http://duurzaamstortbeheer.nl/>.

¹⁹ TCB A055 (2009) Advies gebiedsgerichte aanpak grootschalige grondwaterverontreiniging en TCB A074 (2012) Advies grondwater.

resultaat leiden voor de betreffende IBC-locatie. De informatie kan alsnog verkregen worden, door bijvoorbeeld beperkte aanpassingen in de bestaande monitoring. Hierdoor kan beter inzicht ontstaan over de processen in de verontreinigde bron, zodat het lot van de stoffen beter gemodelleerd kan worden. Ook is het aantal instrumenten om te monitoren sterk toegenomen (niet-destructieve snelle analysemethoden, passieve *samplers*, *on-line* monitoren, *et cetera.*). Hierdoor kan volgens de TCB meer inzicht worden verkregen in cruciale processen ten aanzien van het verdere gedrag van de bodemverontreiniging. Dit kan een stevige basis zijn voor de onderbouwing van de aanpassing van de nazorgregeling. Zoals voor alle informatie gebaseerd op meetgegevens en modellen is het van belang om rekening te houden met onzekerheid (variatie, veranderingen in de tijd en heterogeniteit in de ruimte- en modelonzekerheid²⁰). Dit geldt ook voor scenario-analyses (zie volgende stap).

3d. Analyseer verschillende oplossingsrichtingen

Gebruik data, modellen en informatie om de maatregelen te analyseren, individueel en in combinatie met elkaar, en bepaal de technische en financiële haalbaarheid van het maatregelenpakket. Stel verschillende varianten op voor maximale rendementen met verschillende inspanningsniveaus. Stel dan vast of er perspectief is om de 'bronsterkte' voldoende te verminderen om de IBC-locatie aan te pakken, de nazorg te verminderen en op termijn te beëindigen.

In deze fase komt het er op aan om verschillende scenario's met elkaar te vergelijken, om het optimale samenstel van maatregelen te kunnen selecteren. Een *screening* kan gedaan worden om een eerste rangordening van kansrijke maatregelen en slimme combinaties te vinden die in een tweede fase nader geëvalueerd worden op rendement, technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid.

Stap 4: Stel een plan van aanpak op

Maak een plan voor de aanpak voor de IBC-locatie met ontwikkelrichtingen, een nazorgregeling en het gebruik van ijkpunten (points of compliance) voor het bijstellen en afbouwen van de nazorg of hoe de nazorg in het beheer geïncorporeerd kan worden. Een herhaalde of regelmatige uitvoering van dit stappenplan zelf is een logisch onderdeel van het plan, om op termijn tot een eindige nazorg te komen en maatschappelijk verantwoord met de erfenis uit het verleden om te gaan.

Het stappenplan levert als eindresultaat een voorstel op voor de aanpak van de IBC-locatie en een op maat gemaakte nazorgregeling, inclusief aanbevelingen hoe dit in het beheer van de locatie of het gebied kan worden ingepast. Het beheer zal tenminste moeten leiden tot een situatie waarin nazorg verminderd wordt of eindig is zonder dan risiconiveaus (voor mens en ecosysteem) worden overschreden. Vaak zal net als in de oude situatie een monitoring worden aanbevolen, om eventueel de nazorg met behulp van toekomstige nieuwe informatie over processen in de zone met de bron, transport van de vracht met stoffen en het lot van de stoffen bij te sturen. De kosten voor monitoring als onderdeel van de nazorg zullen kunnen dalen, maar niet heel snel. Een scenario met diverse varianten over de aanpak met een eindig nazorgregeling, kan één van de uitwerkingen zijn.

²⁰ Bij afwegingen in het beheer van complexe systemen zoals IBC-locaties hebben twee typen onzekerheid een belangrijk effect op de totale onzekerheid, namelijk onzekerheid in de objectieve meet- en modelgegevens als gevolg van variatie in tijd en ruimte, en onzekerheid in de veronderstelde (vermijding van) effecten en risico's door een gebrek aan systeemkennis (bij verontreiniging zijn dat effecten op het ecosysteem en gezondheidsrisico's). Beide typen worden idealiter apart geadresseerd, met eigen instrumenten.

AANBEVELINGEN VOOR ONDERZOEK

Op het vlak van modelleren, meten en monitoren valt veel winst te behalen door de monitoring bij IBC-locaties meer te richten op het begrip van de processen die leiden tot vermindering van de risico's. Naast het inzicht in de mechanismen is hiervoor tevens informatie nodig over de variatie in de ruimte en tijd met behulp van 3D ondergrondmodellen en datasets. Hoewel de ontwikkelingen op beide fronten omvangrijk zijn geweest, zijn ze nog niet vaak toegepast bij IBC-locaties. De TCB adviseert om de informatievergaring bij IBC locaties, veel meer dan tot op heden gebruikelijk is, te richten op de natuurlijke processen die leiden tot vermindering van de risico's en daarvoor de nieuwe technieken en kennis in te zetten en de ervaringen te delen.

Er zijn veel innovatieve saneringstechnieken ontwikkeld, die momenteel een verschillend stadium van praktijkrijpheid hebben. Voor de meeste IBC-locaties is nog niet eerder overwogen om deze technieken toe te passen. De te verwachten optimale combinatie van technieken zal steeds per situatie geanalyseerd moeten worden. Omdat vooraf moeilijk in te schatten is hoe snel en hoe effectief de combinatie van technieken is, zal een flexibele aanpak inclusief voorzorgsmaatregelen gevolgd moeten worden. De TCB adviseert om dit mogelijk te maken, bijvoorbeeld in *pilot*-projecten, waarbij geleerd kan worden van de werkzaamheid van de ingezette technieken.

BIJLAGE 3 – Aanvullende informatie over processen en maatregelen

In het advies is een niet-uitputtende set potentiële maatregelen opgenomen. Deze zijn hieronder weergegeven in een door de TCB aangebrachte volgorde van aflopende betekenis voor aanpassingen in de nazorg bij veel IBC-locaties. Maatwerk blijft echter noodzakelijk en zal in veel gevallen leiden tot een andere volgorde van kansrijke maatregelen:

- a. **Sanering door fysieke verwijdering.** Diverse saneringsopties met fysieke verwijdering van de bron: afgraven met of zonder uitmijnen, afpompen en behandelen, *et cetera*. Feitelijk zijn dit 'buitencategorie maatregelen'²¹, omdat hiermee de bron wordt verwijderd en er geen sprake meer is van een (status quo) IBC situatie. De haalbaarheid van deze optie wordt overigens gering geacht, want anders was dit in het verleden al gebeurd. Wel zijn *in situ* technieken sterk verbeterd en mogelijk te heroverwegen, na de eerste niet-succesvolle pogingen om bijvoorbeeld het Griftpark met stoomsanering aan te pakken²². Daarnaast kan functiegericht in plaats van multifunctioneel saneren wat meer ruimte bieden om dit type saneringsmaatregelen toe te passen. (zie punt m.).
- b. **Herontwikkeling van de locatie.** Afhankelijk van de uitvoering kan hier sprake zijn van zowel verzwaring als verlichting van de nazorg, afhankelijk van het pad en nieuwe, potentieel bedreigde, objecten. Dit is overigens ook een buitencategorie, omdat er niet *a priori* naar de verontreiniging wordt gekeken, maar alleen naar het huidige (beperkte) gebruik. Als gevolg van de toegenomen vraag om ruimte lijkt deze optie belangrijker te zijn geworden en kan daarmee een *trigger* zijn voor nieuwe nazorgregelingen. Bij herontwikkeling is de ruimtelijke context vaak belangrijk en dat kan ook van invloed zijn op de nazorg (in combinatie met punt d hieronder).
- c. **Gebiedsbenadering.** IBC-locaties beschouwen als onderdeel van een gebied (gebiedsbenadering) waardoor mogelijk enige verspreiding buiten de bronzone kan worden toegestaan (beheer).
- d. **Ruimtelijk specifieke ondergrondmodellering.** Toepassing van ruimtelijke data en modellen van de ondergrond, toegespitst op de locatie, om transport en blootstelling nauwkeuriger en met minder onzekerheid te modelleren.
- e. **Toepassen van actuele monitoringsgegevens.** Toepassen van bestaande en nieuwe data en slimmer monitoren van stoffen, vrachten en fluxen, zodat biodegradatie en sorptie nauwkeuriger en met minder onzekerheid gemodelleerd kunnen worden.
- f. **gNA met reactieve schermen.** Gestimuleerde *natural attenuation* (gNA) met behulp van reactieve schermen (chemisch en/of biologisch, eventueel gecombineerd met een '*funnel and gate*' aanpak).
- g. **gNA met overige biologische ingrepen.** Het betreft hier alle overige biologische ingrepen, zoals beïnvloeding van de bioenergetische toestand en toevoeging van (voeding)stoffen. Uitgezonderd hier is fyto-remediatie; zie j.

21 De technische expertise van de TCB is hierbij van minder belang. De TCB hecht er aan om dit toch te benoemen om de relaties tussen beleid, beheer en technische ontwikkelen te kunnen hanteren.

22 Hilberts, B. (1985). *In situ steam stripping*. Assink, J. W., Van Den Brink, W. J., Eds. *Contaminated Soil, Proc. of First Intern. TNO Conf. on Contaminated Soil, Utrecht, The Netherlands, pp. 680-687.*

- h. gNA met chemische ingrepen. gNA door chemische ingrepen, zoals bekalking, vernatting, *in-situ* oxidatie, *et cetera*. Chemische en biologische beïnvloeding gaan vaak hand in hand (punten g. en h. gecombineerd); het scheiden van beide typen maatregelen is artificieel en past niet goed in een systeembenadering, maar zij worden wel vaak apart ontwikkeld.
- i. Microbiologische activiteit en afbraakpotentieel. De microbiologische activiteit (al dan niet geassocieerd met planten) kan met een gerichte monitoring worden bepaald. Deze dient gericht te zijn op activiteiten van micro-organismen die in verband gebracht kunnen worden met NA of gNA.
- j. gNA via fytoremediatie. Fytoremediatie wordt steeds vaker toegepast als maatregel om verontreinigingen sneller onschadelijk te maken. Fytoremediatie is altijd gekoppeld aan microbiologische activiteit in de rhizosfeer (organische stoffen) en/of aan transportprocessen (opname anorganische stoffen door de plant).
- k. Toepassen kennis (mengsel)toxiciteit. Toepassen van aanvullende en nieuwe toxiciteitsgegevens en mengseltoxiciteitmodellering. IBC-locaties bevatten vaak complexe mengsels van verontreinigende stoffen en niet genormeerde stoffen.
- l. Natural attenuation. NA kan nauwkeuriger ingeschat worden op basis van nieuwe generieke kennis over processen (afbraak, sorptie en transport) en praktijkervaringen met verontreinigde locaties.
- m. Wijziging beleid. Een voorbeeld is het BEVER-proces, wat leidde tot een aanpassing van het multifunctioneel saneren naar functiegerichte sanering. Wijzigingen in het normenbouwhuis (bijvoorbeeld zink, koper en lood) kunnen ook van invloed zijn op de schatting van effecten voor bedreigde objecten (mens en ecosysteem) en de risicobeoordeling.
- n. Sorptie, uitlooggedrag en biobeschikbaarheid. Toegenomen generieke inzichten in sorptie, uitlooggedrag en biobeschikbaarheid, geëxtrapoleerd naar de betreffende locatie.
- o. Verwijderen isolatie. gNA door het opheffen van de isolatie, zodat regenwater en zuurstof kunnen toetreden, maar waardoor waarschijnlijk de verontreiniging zich zal verspreiden, naar de (nabije) omgeving (bodem, oppervlaktewater en grondwater). Als enkele maatregel is deze weinig kansrijk, maar in combinatie met een of meerdere maatregelen in bovenstaande punten zijn er goede mogelijkheden.

Bovenstaande maatregelen worden in deze bijlage verder uitgewerkt in mogelijke (kansrijke) beheeropties voor IBC-locaties, waarbij een indeling is gehanteerd volgens: bron – pad – bedreigd object. In de kantlijn kan via de grijze tekstblokjes opgezocht worden waar welke maatregel terug te vinden is volgens bovenstaande indeling.

1 Het gedrag en het lot van stoffen in de zone met de bron

Inzicht in de processen in de bron: locatiespecifieke gegevens door monitoring en modellering

De regeling van nazorg bij IBC-locaties voorziet van tijd tot tijd in een monitoring om de effectiviteit van de isolerende maatregelen te evalueren en eventueel de verspreiding van verontreiniging te kunnen voorkomen. Echter, in de meeste gevallen zal de monitoring slechts gericht zijn op verspreiding en/of het bedreigde object en geen of weinig inzicht verschaffen in de processen die in de zone met de bron zelf optreden.



Sommige processen zullen onherroepelijk leiden tot *natural attenuation* (NA; het geheel aan processen dat ten grondslag ligt aan de afbraak en het onschadelijk maken van probleemstoffen in het milieu²³). Voor organische stoffen is biodegradatie een belangrijke route. Voor alle stoffen geldt dat ze gebonden kunnen worden aan deeltjes, of ingekapseld kunnen worden zodat bedreigde objecten verminderd blootgesteld worden. Voor alle stoffen geldt ook dat ze verdund kunnen worden, bijvoorbeeld tot onder schadelijke drempels.

Kansen worden gemist als bovenstaande kennis niet wordt verzameld en gebruikt om uiteindelijk tot een oplossing te komen voor IBC-locaties en de nazorg nauwkeuriger af te stemmen op de actuele situatie in en rond de geïsoleerde zone met de bron. Als die informatie er wel is, of ontwikkeld kan worden door de monitoring (iets) anders in te richten, en op basis daarvan een beter model voor de processen op de locatie samen te stellen, dan is een andere nazorgregeling in principe op een transparante wijze te onderbouwen. Een belangrijk aspect van het gebruik van meet- en modelgegevens is de onzekerheid in de voorspellingen van het gedrag en lot van de stoffen als gevolg van variatie, veranderingen in de tijd, en heterogeniteit. Voorkomen dient te worden dat bijvoorbeeld onverantwoorde extrapolaties door puntenwolken worden toegepast om de nazorg te verminderen. Het verdisconteren van onzekerheid in combinatie met de toepassing van het voorzorgsprincipe (bij onzekerheid de veilige kant kiezen) kan dit voorkomen.

Natural attenuation (inclusief natuurlijke afbraak)

Over de afbraak van organische contaminanten is in het vorige deel geschreven dat processen van nature traag zijn, met halfwaardetijden van 10 tot 100 jaar of nog langer, en mogelijk verder vertraagd worden door de isolatie van de bron^{24,25}. Metalen kunnen niet worden afgebroken, maar wel via andere processen in het spectrum van NA worden betrokken, zoals verspreiding (uitloging), precipitatie als mineraal en sorptie. Vanwege de isolatie is juist deze dynamiek in IBC-locaties beperkt en is de verwachting dat deze processen niet sterk kunnen bijdragen aan aanpassing van de nazorg.

|
Natural
attenuation

23 'Natural attenuation' is de afname in massa of concentratie van een stof in bodem of grondwater in de tijd of in de afstand tot de bron als gevolg van natuurlijk optredende fysische, chemisch of biologische processen, zoals: (bio)degradatie, transformatie, verspreiding, verdunning, adsorptie, inkapseling of vervluchtiging. Het begrip is daarmee breder dan het Nederlandse begrip 'natuurlijke afbraak' dat alleen de biologische processen beschouwd (SKB, 2007, Natuurlijk afbraak – het is niet niks. SKB Cahier, Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda).

24 Barth, J.A.C., et al. (2009). *Mobility, turnover and storage of pollutants in soils, sediments and waters: Achievements and results of the EU project AquaTerra. A review. Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1), pp. 161-173. *Abstract: AquaTerra is one of the first environmental projects within the 6th Framework program by the European Commission. It began in June 2004 with a multidisciplinary team of 45 partner organizations from 13 EU countries, Switzerland, Serbia, Romania and Montenegro. Results from sampling and modeling in 4 large river basins (Ebro, Danube, Elbe and Meuse) and one catchment of the Brévilles Spring in France led to new evaluations of diffuse and hotspot input of persistent organic and metal pollutants including dynamics of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons, as well as metal turnover and accumulation. While degradation of selected organic compounds could be demonstrated under controlled conditions in the laboratory, turnover of most persistent pollutants in the field seems to range from decades to centuries. First investigations of long-term cumulative and degradation effects, particularly in the context of climate change, have shown that it is also necessary to consider the predictions of more than one climate model when trying to assess future impacts. This is largely controlled by uncertainties in climate model responses. It is becoming evident, however, that changes to the climate will have important impacts on the diffusion and degradation of pollutants in space and time that are just at the start of their exploration.*

25 Swartjes, F.A., ed. (2011). *Dealing with contaminated sites, from theory towards practical application*. Springer. Dordrecht.

De kennis over *NA* heeft wel geresulteerd in een ontwikkeling naar praktische maatregelen en saneringstechnieken (zie hieronder; gestimuleerde *NA*), maar die zijn vooral gebaat bij een dynamischere en eventueel gemanipuleerde omgeving omdat dan processen optreden die vervolgens gestimuleerd kunnen worden. De toegenomen kennis over *NA an sich* draagt dus waarschijnlijk weinig bij aan mogelijkheden voor een ander regeling van nazorg bij IBC-locaties, tenzij er een koppeling gemaakt wordt met bepaalde sanerings- of beheertechnieken (zie hieronder). Er valt veel te verwachten van de praktische toepassing van deze kennis. Hierbij is het van belang om naast een voorspelling over de snelheid van de processen ook uitspraken te doen over de mate voorspelbaarheid (onzekerheid; zie vorige paragraaf).

Houdbaarheid, onderhoud en aanpassing isolerende maatregelen

Onder- en/of bovenafdekking en/of damwanden behoren tot de standaardmaatregelen om een verontreiniging te isoleren, en is ook bij grote locaties vaak toegepast (voorbeelden: Griftpark, Volgermeerpolder, EMK-terrein, *et cetera*). In de praktijk blijkt dat isolerende maatregelen ook bij niet-falen soms tot niet-volledige beheersing van het geval leiden (bijvoorbeeld Diemerzeedijk, Merwedepolder)²⁶. Bij (niet-gepland) falen kunnen de IBC-maatregelen tot kostbaar extra onderhoud leiden. De gebruikte materialen zijn bijvoorbeeld minder inert dan vooraf verwacht of de damwanden zijn minder waterdicht en zwakker dan in het ontwerp. In die gevallen kan dit zelfs leiden tot een intensievere nazorg en kostbare reparaties.

Aan de andere kant lijkt het mogelijk om processen te beïnvloeden door manipulatie van de isolerende maatregelen, waardoor op termijn de nazorg verminderd kan worden. In Denemarken dekt men stortplaatsen af met een waterdoorlatende leeflaag (zie onder) en wordt enige verspreiding juist toegelaten. Vanwege de belangrijke positie van de isolerende voorzieningen als onderdeel van de nazorg verdient het aandacht bij een heroriëntatie.

Gestimuleerde NA en andere actieve maatregelen

NA kan gestimuleerd worden door de isolerende maatregelen bij IBC-locaties (deels) op te heffen, in navolging van de pilotprojecten die momenteel onder het concept 'Duurzaam stortbeheer' opgestart worden²⁷. Zoals hierboven vermeld is Denemarken een van de weinige westerse landen waar stortplaatsen aan het einde van de actieve



26 Crul, R.A., Meurs, G.A.M. (2008). Nazorg in de praktijk: onderzoek naar aantasting damwand op de nazorglocatie Merwedepolder. *Bodem* 18(3): 40-41.

27 Duurzaam stortbeheer (TCB advies A077); Het doel van deze methode is om het emissiepotentieel van de verontreinigingen in stortplaatsen naar bodem en grondwater zodanig terug te brengen, dat de eeuwigdurende nazorg en nazorgkosten substantieel kunnen worden verminderd of geminimaliseerd. De hypothese hierbij is dat, door water in het afvalpakket te infiltreren en/of door het afvalpakket te beluchten, de afbraak van organisch materiaal in de stort wordt gestimuleerd en de afbraak, chemische vastlegging en aanhechting (sorptie) van verontreinigingen wordt bevorderd, waardoor het emissiepotentieel van verontreinigingen afneemt. Het experiment richt zich op toetsing van deze hypothese. De huidige werkwijze conform het Stortbesluit gaat uit van Isoleren, Beheersen en Controleren (IBC). Hierbij vindt geen infiltratie van water en beluchting plaats, wat het veronderstelde gevolg heeft dat het emissiepotentieel nagenoeg ongewijzigd blijft en dat langdurige nazorg nodig is. Er zijn drie pilotprojecten gepland, namelijk in de provincies Noord-Brabant (Bergen op Zoom, stortplaats Kragge II), Noord-Holland (Hollands Kroon, stortplaats Wieringermeer) en Flevoland (Almere, stortplaats Braambergen). In oktober 2015 is deze aanpak met een proefperiode geformaliseerd in een Green Deal (zie <http://duurzaamstortbeheer.nl>).

gebruiksperiode niet afgedekt worden; wellicht heeft men daar kennis en ervaring over de processen die optreden in niet-afgedekte stortplaatsen.²⁸

Echter, ook over de stortplaatsen in Denemarken is er te weinig informatie om de veilige duur van de nazorg, die momenteel op 30 jaar is gesteld op basis van Europese regelgeving, nauwkeurig te bepalen. Onderzoek heeft aangetoond aan dat na 30 jaar, overschrijding van veilige concentraties (van bijvoorbeeld cadmium) in het percolaat mogelijk is.²⁹ Bij een doorlatende leeflaag is de keuze van de vegetatie van grote invloed op de hoeveelheid en de vorm van het percolerende water en dus van belang voor de verspreiding van de stoffen rond de bron, of zelfs voor de aanzuiging van stoffen (fytoremediatie)³⁰. Ook de begrazing heeft invloed op de stabiliteit, vegetatieontwikkeling en percolerende eigenschappen van een leeflaag op de stort of de bron, en kan zo bijdragen aan het beheer³¹.

Specifieke in situ maatregelen (chemische oxidatie, chemische reductie, gestimuleerde biologische afbraak, sorptie, stabilisatie, fixatie, reactieve schermen, fytoremediatie, *et cetera*) kunnen belangrijke effecten hebben op het gedrag en het lot van stoffen in en nabij de bron. Ter gedachtevorming wordt hieronder een niet uitputtende selectie kort beschreven, met het veronderstelde effect op de eisen waaraan de nazorg dient te voldoen:

- Chemische processen (bijvoorbeeld oxidatie en reductie). Het betreft specifieke in situ saneringstechnieken, die als doel hebben om via chemische methoden probleemstoffen weg te nemen of onschadelijk te maken. Opgemerkt dient te worden dat in sommige complexe situaties er rekening gehouden dient te worden met het complete mengsel van verontreiniging, namelijk metalen (en andere anorganische stoffen) en organische stoffen. Dit kan een enkelvoudige oplossing met chemische processen bemoeilijken. Immobilisatie van loodverontreiniging bij schietbanen door bekalken leidt bijvoorbeeld tot mobilisatie van antimoon - een andere stof die bij schietbanen wordt aangetroffen.
- Gestimuleerde biologische afbraak. Hier wordt onder verstaan: specifieke saneringstechnieken met behulp van toevoegingen (voedingsstoffen, substraten en/of organismen; fytoremediatie wordt hieronder apart beschreven) met als doel probleemstoffen biologisch af te breken. In Nederland is veel ervaring opgedaan met gestimuleerde biologische afbraak van aromaten (BTEX), lichte polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), minerale olie, en kleine gechlorideerde koolwaterstoffen (VOCI)³².
- Additieven zoals actieve kool en Biochar (gepyroliseerde gewasresten) worden steeds vaker toegepast³³. Recent is zelfs geopperd om nanomaterialen in te zetten bij sanering³⁴. Om

h
gNA
chemisch

gg
gNA
biologisch

28 Rosendal, R.M. (2014). *Country report – Denmark landfilling practices and regulation, situation in Denmark. Version 06-5-2014, Danish Waste Association, Frederiksberg Denmark.*

29 Antonellis, D., VerLee, N. (2011). *Estimation of the Aftercare Period of Danish Landfills. BSc report Worcester Polytechnic Institute, UK.*

30 Rock S., Myers B., Fiedler L. (2012). *Evapotranspiration (ET) Covers, International Journal of Phytoremediation, 14:sup1, 1-25.*

31 Hoebeke, R. (2014) *Onderhoud van stortplaatsen en IBC-saneringslocaties - hoe kan de landbouw hieraan bijdragen? Bodem 24(6): 29-31.*

32 SKB (2008) *In-situ gestimuleerde biologische afbraak; een natuurlijke oplossing. SKB Cahier, Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.*

33 Mahtab, A., Rajapakshaa, A.U., Lima, J.E., Zhang, M., Boland, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., Yong Oka, S. (2014). *Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. Chemosphere 99: 19-33.*

gestimuleerde biologische afbraak effectief te laten zijn, is een nauwkeurige inventarisatie van het stoffenmengsel en de matrix (bodempopbouw, bodemkenmerken, kationen, hydrologie) waarin deze stoffen zich bevinden, noodzakelijk. Gestimuleerde biologische afbraak zal kunnen bijdragen aan verlichting van de nazorg. Echter, ook bij gestimuleerde biologische afbraak kunnen complexe mengsels de enkelvoudige benadering in de weg zitten; organische contaminanten dienen te worden afgebroken terwijl metalen alleen geïmmobiliseerd kunnen worden, of via verdunning en transport kunnen worden verwijderd. Hoge concentraties metalen kunnen remmend werken op afbraakprocessen.

- Fytoremediatie. Dit is gestimuleerde biologische afbraak waarbij planten worden ingezet. Met planten kunnen omstandigheden worden gecreëerd die de biologische afbraak versnellen ten opzichte van de situatie zonder vegetatie.³⁵ Dit komt tot stand door de werking van wortels die een omgeving creëren (rhizosfeer) waarin water wordt getransporteerd (aanzuigende werking van opgeloste verontreiniging), zuurstof wordt ingebracht (stimulatie van aerobe processen) en wortellexudaten worden uitgescheiden (opties voor cometabolisme).³⁶ Dit geheel kan een gemeenschap met organismen ondersteunen met een koolstof- en energiebron, zuurstof en dynamiek (vaak bacteriën en schimmels) die de probleemstoffen versneld afbreken. Populieren en wilgen zijn veel gebruikte soorten die bij fytoremediatie worden ingezet omdat ze goed accumuleren, geen hoge eisen stellen aan hun habitat, en zelfs tot in het grondwater kunnen wortelen en daar de omstandigheden voor natuurlijke afbraak kunnen verbeteren.³⁷ Ook voor fytoremediatie geldt dat anorganische stoffen niet via degradatie onschadelijk kunnen worden gemaakt, maar er bestaan wel metaal-opnemende en hyper-accumulerende planten (bijvoorbeeld wilg).³⁸

j
gNA
fyto-remediatie

Fysische verwijdering (eventueel in combinatie met uitmijnen)

Het fysiek verwijderen van de bron door afgraven of afpompen is uiteraard altijd een optie om te streven naar beëindiging van de nazorg bij IBC-locaties. Afpompen en behandelen in heterogene bodems levert overigens meestal niet het gewenste resultaat op en de rendementen zijn onbevredigend, omdat vrijwel altijd sprake is van preferentiële stroming. Het probleem is dat veel verontreiniging in slecht doorlatende lagen blijft zitten die zich later door diffusie verspreid naar de mobiele fase. Dit heet het rebound effect³⁹. Ten tijde van de beoordeling en behandeling van het betreffende geval is niet voor actieve fysische verwijdering gekozen. Echter, de afgelopen jaren zullen er mogelijk ontwikkelingen zijn geweest die deze keuze hadden kunnen doen beïnvloeden, bijvoorbeeld een toegenomen ruimtevrage, innovatie in saneringstechnieken, gewijzigde regelgeving, een andere gevoeligheid van

a
saneren door
verwijderen

34 Van Gaans, P.F.M., Bardos, P., Braun, J., Černík, M., Mackenzie, K. (2015). Nanotechnologie voor bodemsanering; hoera voor nano-deeltjes. *Bodem* 24(5): 25-27.

35 Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Ruttens, A., Thewys, T., Vassilev, A., Meers, E., Nehnevajova, E., van der Lelie, D., Mench, M. (2009). *Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. Environmental Science and Pollution Research*, 16 (7), pp. 765-794.

36 Compennolle, T., van Passel, S., Weyens, N., Vangronsveld, J., Lebbe, L., Thewys, T. (2012). *Groundwater remediation and the cost effectiveness of phytoremediation. International Journal of Phytoremediation*, 14 (9): 861-877.

37 Weyens, N., Van der Lelie, D., Artois, T., Smeets, K., Taghavi, S., Newman, L., Carleer, R., Vangronsveld, J. (2009). *Bioaugmentation with engineered endophytic bacteria improves contaminant fate in phytoremediation. Environmental Science and Technology*, 43 (24): 9413-9418.

38 Truu, J., Truu, M., Espenberg, M., Nõlvak, H., Juhanson, J. (2015). *Phytoremediation and plant-assisted bioremediation in soil and treatment wetlands: A Review. The Open Biotechnology Journal, Volume 9, 2015*

39 US-EPA (1996). *Pump-and-treat ground-water remediation: a guide for decision makers and practitioners. Centre for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio.*

bedreigde objecten, kostenontwikkeling bij de nazorg en eventuele terugwinning van waardevolle stoffen (uitmijnen van een stort).

Een recent voorbeeld is het EMK-terrein in Krimpen aan de IJssel waar in het verleden een strikte IBC variant is toegepast, maar waar onlangs een plan is gemaakt om delen van het afgedekte terrein te saneren en een andere bestemming te geven.^{40,41} Voor het terugwinnen van stoffen uit stortlichamen ('uitmijnen') is in Nederland en Vlaanderen onlangs belangstelling ontstaan⁴², mede onder invloed van uitputting van kostbare grondstoffen, toenemende druk op de beperkte ruimte, en toekomstige beheer van verontreinigde locaties. De terugwinning van grondstoffen of de toepassing van vrijkomende energie is overigens meestal onvoldoende om dit economisch gezien een aantrekkelijke optie te laten zijn. De combinatie met additionele problemen zoals de aanwezigheid van asbest maakt afvalmining erg kostbaar, omdat alles onder specifieke regimes aangepakt moet worden.

b
herontwikkelen

2. Pad: Gedrag en lot van stoffen buiten het brongebied

Sorptie, uitloging en transport van stoffen

Metalen en organische stoffen binden zich aan deeltjes in de bodem. Hydrofobe organische moleculen binden zich sterk aan de bodemmatrix. Voor metalen heeft men lang gedacht dat beperkte biobeschikbaarheid een doorslaggevende factor kan zijn voor de risicobeoordeling, maar vaak is er nog steeds een flinke opgeloste metaalfraction in de bodemmatrix aanwezig. Hierdoor zijn metalen toch relatief mobiel (bijv. koper, zink en cadmium) en zelfs het relatief slecht oplosbare lood is in verhoogde concentraties in bodemvocht op verontreinigde locaties aanwezig, zoals bij kleiduivenschietbanen, schietbanen van Defensie⁴³ en in zogenoemde toemaakdekken⁴⁴. Factoren zoals pH en het gehalte aan opgelost organisch materiaal bepalen de ligging van het evenwicht in de opgeloste en vaste fase, en het te verwachte uitlooggedrag. Deze aspecten en de toevoeging dat metalen niet-afbreekbaar zijn en hoogstens geïmmobiliseerd of verdund (verspreid) kunnen worden, geven aan dat sorptieprocessen in tegenstelling tot eerdere verwachtingen, slechts een beperkt deel van de risico's weg zullen nemen^{45,46}.

n
sorptie en uitloging

40 Van de Velde, A., van der Sterren, G., Vreugdenhil, R., Schmidt, G., Meijer, D.J., Edelman T. (2012). Nieuw leven voor het EMK-terrein: over de aanpak van een complex project. *Bodem* 22(1): 20-22.

41 Bijeenkomst werkgroep Herziening IBC-locaties, BodemBreed Forum, 21 mei 2015, Krimpen aan de IJssel.

42 Behets, L.T., Bal, N., Van den Bossche, P. (2013). *Landfill Mining* in Vlaanderen. *Bodem* 23(3): 19-20.

43 Mesman, M., Rutgers, M., Schouten, A.J., Bogte, J.J., Dirven-van Breemen, E.M. (2014) Evaluatie van Triade-onderzoeken op schietterreinen van Defensie. Rapport 2014-0077, RIVM, Bilthoven.

44 Een groot NWO-programma getiteld 'Stimuleringsprogramma Systeemgericht Ecotoxicologisch Onderzoek (SSEO)' heeft laten zien dat in Toemaakdekken de loodconcentratie in de waterfase verhoogd is, ondanks het hoge organische stofgehalte en de relatief hoge pH (voor laagveen). Door het grote oppervlak zijn de waargenomen effecten ecologisch gezien betekenisvol, bijvoorbeeld via een veranderend voedselaanbod en doorvergiftiging van regenwormen naar weidevogels (grutto). De overkoepelende resultaten zijn gepubliceerd in een special issue van *Science of the Total Environment* (volume 405, 2008).

45 Brand E, Smedes F, Jonker MTO, Harmsen J, Peijnenburg WJGM, Lijzen JPA (2012). *Advice on implementing bioavailability in the Dutch soil policy framework: User protocols for organic contaminants. Report 711701102*. RIVM, Bilthoven.

46 Otte, P., Bakker, M.I., Lijzen J.P.A., Versluijs, C.W., Zeilmaker, M.J. (2015). Diffuse loodverontreiniging in de bodem: Advies voor een gemeenschappelijk beleidskader. Rapport 2015-0204 in voorbereiding, RIVM, Bilthoven.

Opgeloste organische stoffen zijn per definitie relatief mobiel en deze dienen gemonitord te worden. Ze zijn daardoor in principe beschikbaar voor biodegradatie, mits de omstandigheden dit toelaten (redoxcondities en andere bioenergetische randvoorwaarden). De mobiliteit van hydrofobe organische stoffen is relatief gering en goed voorspelbaar, wat mogelijkheden biedt om een genuanceerde visie op de nazorg te ontwikkelen. Bovendien kan de beschikbaarheid beïnvloed worden via specifieke beheers- en saneringstechnieken, die hieronder behandeld worden.

NA, hydrologie en modellen van de ondergrond

Een deel van de IBC maatregelen is er op gericht om verspreiding via grondwaterstroming te voorkomen. Dichte schermen en (onder- en/of boven)afdekking van de bron zijn de meest voorkomende maatregelen in dit opzicht⁴⁷. Meestal wordt grondwater of percolaat opgevangen en behandeld voordat het geloosd wordt. Voor het zicht op eventuele verspreiding als gevolg van lekkage uit de bron is monitoring vaak een onderdeel van het pakket⁴⁸.

Bij het ontwerp van de nazorgmaatregelen is rekening gehouden met de beperkte kennis van de hydrologie en ondergrondprocessen van toen. Momenteel zijn er meer gegevens beschikbaar en zijn de inzichten toegenomen. De hydrologie, natuurlijke ondergrondprocessen en de reactiviteit van de bodem zijn nauwkeuriger en in meer dimensies in kaart gebracht, onder andere via het Geotop systeem van TNO, voor Nederland met een resolutie van 100x100x0,5 m.⁴⁹ Daarbij zijn uit de monitoring als onderdeel van de nazorgmaatregelen additionele locatie- en gebiedspecifieke gegevens beschikbaar gekomen die gebruikt kunnen worden om de hydrologie en reactiviteit in en rond de bronzone nauwkeurig te modelleren, bijvoorbeeld in een grid van 10x10x0,2 m. In en rond de oude stortplaats in het Banisveld (N-Brabant) is NA nauwkeurig onderzocht. Enerzijds blijkt de situatie zeer heterogeen te zijn in ruimte en tijd, en daardoor lastig te modelleren, anderzijds levert de dynamiek en complexiteit juist kansen op voor NA, omdat er dan ergens en op enig moment de goede condities zijn om afbraakprocessen te laten verlopen.^{50,51,52} Dit laatste pleit voor het gecontroleerd opheffen van de stringente isolatie bij een aantal IBC-locaties, om NA te stimuleren.

d

ruimtelijk
specificeren

i

microbiologische
activiteit

Gebiedsgericht grondwaterbeheer en andere beïnvloeding van het systeem

Hoewel bodem- en ondergrondsysteem complex zijn, is de afgelopen 20 jaar veel vooruitgang geboekt met de wijze waarop ingegrepen kan worden, zodat stoffen versneld worden afgebroken, getransporteerd, of juist gebonden. De volgende technieken hebben zich verder kunnen ontwikkelen, omdat ze daadwerkelijk zijn toegepast:

g, h, j

gNA biologisch
+ chemisch; gNA
fytoremediatie

47 Van de Velde, A., Van der Sterren, G., Vreugdenhil, R., Schmidt, G., Meijer, D.J., Edelman, T. (2012). Nieuw leven voor het EMK-terrein : over de aanpak van een complex project. *Bodem* 22(1): 20-22.

48 Manders, B., van Lit, A., Leurink, G. (2009). Griftpark: van eeuwigdurende nazorg naar no-zorg. *Bodem* 19(3): 6-8.

49 <https://www.tno.nl/en/focus-area/energy/geological-survey-of-the-netherlands/geological-survey-of-the-netherlands/geotop/>.

50 Brad, T., Obergfell, C., Van Breukelen, B.M., van Straalen, N.M., Röling, W.F.M. (2013). *Spatiotemporal variations in microbial communities in a landfill leachate plume. Groundwater Monitoring and Remediation* 33 (4): pp. 69-78.

51 Staats, M., Braster, M., Röling, W.F. (2011). *Molecular diversity and distribution of aromatic hydrocarbon-degrading anaerobes across a landfill leachate plume. Environmental Microbiology*, 13 (5): 1216-1227.

52 Brad, T., Van Breukelen, B.M., Braster, M., Van Straalen, N.M., Röling, W.F.M. (2008). *Spatial heterogeneity in sediment-associated bacterial and eukaryotic communities in a landfill leachate-contaminated aquifer. FEMS Microbiology Ecology* 65 (3): 534-543.

- Chemische en biologische afbraak en fyto-remediatie: zie hiervoor de paragrafen onder het kopje 'bron'. De mechanismen en principes zijn vaak ook toepasbaar op het gebied net buiten de bron. Ver buiten de bron zijn intensieve ingrepen vaak niet kosteneffectief.
- Reactieve schermen: in sommige gevallen worden reactieve schermen toegepast om ongewenste verspreiding van verontreiniging tegen te gaan. Reactieve schermen zijn aangelegde water-doorlaatbare (permeabele) barrières in de bodem die in staat zijn om via biologische of chemische processen (of een combinatie) verontreiniging tegen te houden en eventueel onschadelijk te maken.⁵³ De biologische processen worden meestal gekatalyseerd door bacteriën, in aerobe of anaerobe schermen. De chemische processen worden bijvoorbeeld gestimuleerd met ijzerschermen of actieve koolschermen. Om de schermen optimaal te laten werken, wordt soms ingegrepen in lokale grondwaterstromingen (*funnel and gate* techniek). Hoewel schermen niet zijn bedoeld om de bron te saneren, kunnen ze wel invloed hebben om het totale beheer van een IBC-locatie, als onderdeel van de isolerende maatregelen.

f
gNA reactieve
schermen

Wanneer overwogen wordt om deze inzichten toe te passen op de huidige IBC- en andere nazorglocaties, dan mag verondersteld worden dat de complete nazorgregeling beperkter van omvang zal zijn en uiteindelijk wellicht kan worden afgebouwd. Enige tijdelijke intensivering van de nazorg kan nodig zijn om zicht te houden op het gewenste effect van de ingrepen. Dit kan een onderdeel zijn van de sanering, of van de nazorgregeling, als onderdeel van het complete beheerpakket.

Gebiedsgericht grondwaterbeheer biedt goede mogelijkheden om nazorgregelingen, vooral voor relatief kleine locaties, opnieuw tegen het licht te houden. Immers, bij een gebiedsgerichte benadering gelden andere beoordelingsprincipes dan bij de gevalsgesichte benadering. Er ontstaat ruimte voor verspreiding binnen het plangebied, zolang over het geheel genomen de verontreiniging niet toeneemt, en verder niet buiten het gebied treedt. In deze context ontstaat dus ook de mogelijkheid om de nazorg van een geval te beëindigen, maar daar staat dan tegenover dat het beheer wordt voortgezet op gebiedsniveau, eventueel ook met monitoren van de gebiedsgrenzen, om te voorkomen dat verontreinigingen buiten het gebied treden. Een duidelijke meerwaarde kan gerealiseerd worden door meerdere kleinere locaties met nazorg te beschouwen in een groter beheersgebied. De TCB heeft eerder adviezen gegeven over grondwaterbeheer en de gebiedsbenadering voor het beheer van grootschalige grondwaterverontreiniging^{54,55}. Mits een aantal principes worden nagestreefd zoals maatregelen bij de bron, staat de TCB hier positief tegenover.

C
gebieds-
benadering

d
ruimtelijk
specificeren

Monitoring en locatiespecifieke informatie

Nazorgmaatregelen zijn ingericht om de risico's beheersbaar te houden, omdat de verontreiniging niet wordt verwijderd maar wordt geïsoleerd. Wanneer de isolatie faalt, dan zal de monitoring dat op tijd zichtbaar moeten maken. Toch kunnen gegevens van

i
microbiologische
activiteit

53 SKB (2007). Reactieve schermen. SKB cahier. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.

54 TCB A055 (2009). Advies gebiedsgerichte aanpak grootschalige grondwaterverontreiniging.

55 TCB A074 (2012). Advies grondwater. De TCB benoemt in dit advies de volgende uitgangspunten voor een toetsingskader voor de beïnvloeding van grondwater: betrek bij afwegingen alle relevante ecosysteemdiensten; gebruik de bestaande kennis over het bodem- en watersysteem maximaal, waaronder inzicht in de hydrologie en geochemie van het grondwater; beschouw de kwaliteits- en kwantiteitsaspecten van bodem, grond- en oppervlaktewater in samenhang; vul de kwaliteitsaspecten breed in: chemisch, biologisch en fysisch.

de monitoring impliciet informatie opleveren over de toestand in de bron. Zo zullen stoffen worden gemonitord (bijvoorbeeld in het percolaat of in het grondwater) of worden afbraakproducten waargenomen (bijvoorbeeld in het grondwater of in de ontluuchting).

De afwezigheid van stoffen geeft slechts aan dat er op het moment van de meting geen 'pad' voor de bedreiging is, vanwege een goede isolatie of vanwege een natuurlijke inperking, maar niet veel meer. Zulks kan aanleiding geven om het monitoringsplan aan te passen om meer over de processen van afbraak, binding en transport te weten te komen via monitoring^{56,57}. De aanwezigheid van afbraakproducten in het percolaat- of grondwater is indicatief voor processen die zich in de bron of in de pluim afspelen.

De aanwezigheid van te hoge concentraties van probleemstoffen is een indicatie dat de isolerende maatregelen niet waterdicht zijn en dat misschien corrigerende maatregelen nodig zijn.

Een bron en een pluim met verontreiniging, in een bepaalde matrix, onder bepaalde hydrologische omstandigheden in een drie-dimensionale structuur is een dynamisch geheel, waarvan de kennis toeneemt met het vrijkomen van gegevens, mits met een voldoende ruimtelijke resolutie en herhaling en gesommeerd in de tijd. Er zijn steeds meer instrumenten beschikbaar om dit type gegevens te monitoren, zoals passieve *samplers*. Naarmate de monitoringsinspanning vordert, kunnen het inzicht en de modellen van het geval op een iteratieve wijze verbeterd worden.

e.
monitorings-
gegevens

3. Bedreigde objecten: biobeschikbaarheid, verspreiding en toxiciteit van stoffen(mengsels), beleidsperspectief

Biobeschikbaarheid, toxiciteit en mengsels

De kennis over biobeschikbaarheid en toxiciteit van (mengsels van) stoffen neemt gestaag toe. Grote uitdagingen liggen voor een deel bij de snelheid waarmee nieuwe stoffen in het milieu terechtkomen; de klassieke procedure om stoffen te normeren schiet voor dit aspect te kort. Bij IBC-locaties gaat het niet zozeer om nieuwe stoffen, maar om de biobeschikbaarheid/ blootstellingsroutes, de niet-genormeerde stoffen en de mengsels van stoffen. Maar juist op die terreinen zijn de ontwikkelingen relatief gezien beperkt. Derhalve is het niet de verwachting dat voor dit aspect de nazorg heel anders zal uitpakken. In de beoordeling van de verontreinigde locaties is de verspreiding van stoffen vaak een bepalende factor en juist deze factor motiveert de keuze voor IBC. Wanneer enige verspreiding wel een optie is, dan is het van belang zijn om de twee eindpunten (mens en ecosysteem) apart te analyseren. Concluderend is dit aspect vooral van belang in combinatie met andere maatregelen, zoals het toestaan van enige verspreiding door de isolatie te verminderen.

k
(mengsel -)
toxiciteit

n
biobeschik-
baarheid

Beleidsontwikkelingen

Ten tijde van de beschikking is gekozen voor een IBC-oplossing, in plaats van bodemsanering. Bij veel IBC-locaties was alleen sprake van een perspectief op multifunctionele sanering, in plaats van een functiegerichte sanering. Dat kan hogere eisen aan de eventuele saneringsopgave gesteld hebben. In dit licht bezien is er een kans dat met het beleid van nu, de beschikking toen op een andere wijze zou zijn genomen, namelijk wel (functiegericht) saneren. Mogelijk is het verschil in inspanning tussen

m
wijziging
beleid

56 De TCB heeft in eerdere advisering het belang van een centrale organisatie voor monitoren bepleit: TCB S34(2007) Advies Monitoren.

57 Westerhof, R., Passier H., Busink R., Tamis W. (2006). Slim monitoren van bodemkwaliteit. TNO, Royal Haskoning en Centrum Milieukunde Leiden. TNO-rapport 2007-U-R0051/A.

multifunctionele en functiegerichte sanering in het geval van 'klassieke' IBC locaties gering en minder relevant dan op het eerste gezicht lijkt vanwege de ernst van de verontreiniging.

De invoering van de functiegerichte benadering (BEVER: beleidsvernieuwing bodemsanering) heeft in de jaren 90 van de vorige eeuw overigens niet geleid tot een andere beoordelingsystematiek voor verontreinigde locaties, mogelijk omdat in de toenmalige SUS (Sanerings Urgentie Systematiek) al rekening werd gehouden met verschillende functies van de bodem. De functiegerichte benadering was feitelijk al een onderdeel van de beoordeling (maar niet van de saneringsdoelen). De afgelopen 20 jaar is er een trend naar minder strenge risicobeoordeling zichtbaar, onder andere om een zinvolle prioritering van verontreinigde locaties ('spoed' versus 'niet-spoed') te bewerkstelligen, en een trend om andere overwegingen ruimte te geven (bijvoorbeeld de habitat-richtlijn, of het instrument van de 'lokale maximale waarden' en de 'maatschappelijke afweging'). Dit geldt in sterkere mate voor de risico's voor het ecosysteem, dan voor humane risico's. Toch hebben principes zoals *stand still*, gebiedsgericht afwegen, voorzorgprincipe, ALARA, *et cetera* hun uitwerking gekregen. Dit kan van belang zijn voor de IBC- en andere nazorgmaatregelen. Voor ecologische risico's is bijvoorbeeld de mogelijkheid geboden om via een Maatschappelijke Afweging andere aspecten bij de beoordeling en het beheer te betrekken (Saneringscriterium in de Circulaire Bodemsanering). De verantwoordelijkheden en de keuzes die hieruit voortvloeien zijn momenteel deels decentraal belegd bij het bevoegd gezag (lokale autoriteit).

Gebiedsgerichte benaderingen: van individuele locaties naar beheer van gebieden

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven ontstaat er een nieuwe situatie als één of meerdere (kleinere) IBC-locaties in een grotere ruimtelijke context (gebied) beschouwd worden. Voor grotere beheersgebieden is onder voorwaarden bestuurlijke ruimte gemaakt om enige verspreiding van verontreiniging toe te staan, mits de gebiedsgrens wordt gerespecteerd. Dit betekent automatisch een ander nazorgsysteem; van een focus op de isolatie van een individuele bron naar een gebiedsfocus, met interne verspreiding, maar met strenge grenzen.

C.
gebieds-
benadering

TCB publicaties gerelateerd aan dit advies:

Adviezen Duurzaam stortbeheer: A77(2012); A78(2013); A87(2013); A90(2013)

Advies Gebiedsgerichte aanpak grootschalige grondwaterverontreiniging, A55(2009)

Advies Toetsingskader en IBC-criteria lokale bodemverontreiniging, A090/01(1990)

Advies IBC-voorzieningen baggerspeciedepots, A090/02(1990)

De commissieleden van de TCB zijn:

Mevr. A. Edelenbosch, voorzitter TCB, openbaar bestuur

Prof.dr. A.P. van Wezel, vicevoorzitter TCB, hoogleraar *Water Quality and Human Health* in de faculteit Geowetenschappen aan de Universiteit Utrecht en *principle scientist* bij KWR *Watercycle Research Institute*, Nieuwegein

Prof.dr. M.A.P.A. Aerts, hoogleraar systeemecologie aan de Vrije Universiteit Amsterdam en directeur van de afdeling Ecologische Wetenschappen van de VU

Prof.dr. J. Griffioen, hoogleraar waterkwaliteitsbeheer in de faculteit Geowetenschappen aan de Universiteit Utrecht en onderzoeker milieugeochemie, Deltares, Utrecht

Prof.dr.ir. T. J. Heimovaara, hoogleraar *geo-environmental engineering*, aan de Technische Universiteit Delft

Dr.ir. J.J. Neeteson, manager business unit Agrosysteemkunde van Plant Research International, Wageningen UR

Prof.dr. A.M. de Roda Husman, hoogleraar *global changes* en milieuoverdraagbare infectieziekten in het *Institute of Risk Assessment Sciences* (IRAS) aan de Universiteit Utrecht en afdelingshoofd Milieu bij het RIVM, Bilthoven

Prof.dr. J.C.H.M. Vangronsveld, hoogleraar biologie en milieukunde aan de universiteit van Hasselt en directeur van het Centrum voor Milieukunde van de Universiteit Hasselt, België

Prof.dr. J.A. van Veen, emeritus hoogleraar microbiële ecologie aan de Universiteit Leiden en onderzoeker bij het KNAW-Nederlands Instituut voor Ecologie, Wageningen

Prof.dr.ir. A. Veldkamp, hoogleraar ruimtelijke omgevingskwaliteit en decaan van de faculteit Geo-observatie en aardobservatie (ITC) aan de Universiteit Twente, Enschede

Mevr. drs. E.B. Alwayn, ministerieel vertegenwoordiger, directeur Water en Bodem, Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Het secretariaat van de TCB:

Dr. J. van Wensem, algemeen secretaris/ directeur

Drs. J. Tuinstra, adviseur

Dr. M. Rutgers, adviseur, gedetacheerd vanuit het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)

Drs. M. ten Hove, adviseur

Drs. C.C.M. Gribling MPA, adviseur

J.A. Oudshoorn, ondersteuner

Dit advies is opgesteld door Michiel Rutgers en Jaap Tuinstra