

Natural attenuation en voormalige stortplaatsen

NA-Toetsingsmethodiek en set van
kenmerkende NA-Parameters
Integraal hoofdrapport, eindrapportage

25 juni 2002

DUIV-kerngroep NAVOS
IPO-publicatienummer 141





HASKONING NEDERLAND BV
MILIEU

Kantoor 's-Hertogenbosch
Boschveldweg 21
Postbus 525
5201 AM 's-Hertogenbosch
+31 (0)73 687 41 11 Telefoon
+31 (0)73 612 07 76 Fax
info@den-bosch.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Amhem 09122561 KvK

Documenttitel **Natural attenuation en voormalige
stortplaatsen
NA-Toetsingsmethodiek en set van
kenmerkende NA-Parameters**

Status Integraal hoofdrapport

Datum 25 juni 2002

Projectnummer 3368480

Opdrachtgever DUIV-kerngroep NAVOS
IPO-publicatienummer 141

Referentie 3368480/R0202/WvV/DenB

Opgesteld door ir. W.J. van Vossen

Mede auteurs dr. G. Frapporti (Royal Haskoning)
dr. ir. T.J. Heimovaara (Royal Haskoning)
drs. M.A. de Jong (Royal Haskoning)
ir. N.J.P. van Ras (Bioclear)
ir. J.L.A. Slenders ((TNO-MEP)
dr. H.W. van Verseveld (VU Amsterdam)
drs. J.J. van der Waarde (Bioclear)

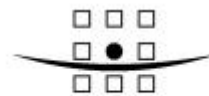
Gecontroleerd door drs. M.A. de Jong

Datum/paraaf controle

Goedgekeurd door drs. E.H. Smidt

Datum/paraaf

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING

VOORWOORD

In Nederland bevinden zich ca. 3800 voormalige stortplaatsen. Maatschappelijke ontwikkelingen als woningbouw, natuurontwikkeling en landinrichting kunnen door de aanwezigheid van deze stortplaatsen stagneren en extra kosten opleveren.

In het recente verleden zijn enkele initiatieven genomen om de problematiek van de voormalige stortplaatsen in beeld te brengen. Naast de studie Financiële Omvang Nazorg Stortplaatsen (FONS) zijn begin jaren '90 in het Verkennend Onderzoek Stortplaatsen (VOS) gegevens verzameld over o.m. ligging, omvang en inhoud.

In 1995 is onderzoek gestart naar de aard en verontreinigingsgraad van grond en grondwater op en rond de voormalige stortplaatsen in het kader van het project Nazorg Voormalige Stortplaatsen (NAVOS). Verantwoordelijk voor dit project is een stuurgroep, waarin vertegenwoordigers van het ministerie van VROM, het IPO (Interprovinciaal Overleg) en de VNG (Vereniging van Nederlandse gemeenten) zitting hebben. Met de feitelijke uitvoering van het project is een kerngroep belast.

Het NAVOS-project heeft als doel het inschatten van de kosten van de aanpak en het ontwikkelen van voorstellen voor de financiering en organisatie van de nazorg.

In de periode 2000-2003 worden op de locaties jaarlijks in ieder geval de grondwaterkwaliteit onderzocht. Bovendien wordt in deze periode éénmalig de deklaag onderzocht.

Op basis van de grote hoeveelheid gegevens die op deze wijze wordt verzameld, zal de aanpak in de toekomst in beeld worden gebracht. Daarbij wordt gedacht aan een indeling in drie categorieën: het curatieve spoor die volgens de Wet Bodembescherming moeten worden aangepakt, het preventieve spoor voor gevallen die onder de Wet Bodembescherming vallen, maar waar wel maatregelen noodzakelijk zijn en stortplaatsen waar niets aan de hand blijkt te zijn.

Parallel aan de jaarlijkse monitoring is in de jaren 1999 en 2000 onderzoek naar natuurlijke afname-processen (NA) uitgevoerd. Op grond van eerdere onderzoeken waren er duidelijke aanwijzingen dat door NA de emissies uit stortlichamen lager zijn dan werd aangenomen en dat derhalve ook de risico's kleiner zijn. Het NA-onderzoek had tot doel inzicht te krijgen in de mate waarin en op welke stortplaatsen dit verschijnsel optreedt en de mogelijke consequenties voor de risico's van voormalige stortplaatsen.

Het onderzoek heeft aangetoond dat in en buiten vrijwel alle voormalige stortplaatsen NA-processen een belangrijke rol spelen. De representativiteit van de 80 onderzochte stortplaatsen is voldoende om deze conclusie te rechtvaardigen. Daardoor treden verontreinigingen niet of in relatief lage concentraties uit het stortlichaam; de concentraties nemen in het grondwater buiten het stortlichaam verder af. Overigens is op 30% van de onderzochte stortplaatsen de NA onvoldoende gebleken om overschrijding van de interventiewaarde voor verontreinigende stoffen in het grondwater te voorkomen; op 70% is dit wel het geval.

In dit rapport is een methode gepresenteerd die kan worden gebruikt om op individuele stortplaatsen de NA-potentie van het grondwater in te schatten. Dit is van belang voor het bepalen van de maatregelen die moeten worden genomen.

In het rapport wordt de verwachting uitgesproken dat mede als gevolg van NA-processen de belasting van de bodem vanuit stortplaatsen in de toekomst nog verder zal afnemen. Hierover bestaat naar de mening van de stuurgroep geen zekerheid: daarvoor is nog te weinig informatie beschikbaar over de ontwikkeling van de verontreiniging van de bodem en de dynamiek van het proces. Een grondige analyse van de gegevens die worden verkregen via de jaarlijkse monitoring zal hierover definitief uitsluitel moeten geven.

Het rapport stelt voor om nader onderzoek uit te voeren naar de oorzaken van het onvoldoende optreden van NA op een deel van de voormalige stortplaatsen en naar de oorzaken van de verhoogde concentraties zware metalen bij stortplaatsen waar die in het stortlichaam niet verhoogd zijn. De stuurgroep heeft vooralsnog besloten via een grondige analyse van de jaarlijkse monitoringsgegevens hierover opheldering te krijgen. Het toevoegen van specifiek op NA gericht chemisch en biologisch onderzoek aan de lopende monitoring acht de stuurgroep niet zinvol. Wel wordt dit aanbevolen bij het onderzoek naar de aanpak van individuele stortplaatsen. Uitbreiding van de 80 stortplaatsen waar de NA wordt onderzocht zoals in dit rapport beschreven, acht de stuurgroep niet noodzakelijk.

Tot slot: naar verwachting zal de belangrijkste conclusie van dit rapport -NA-processen zijn een belangrijke oorzaak van de relatief lage concentraties waarmee verontreinigende stoffen uit het stort treden- worden bevestigd door de resultaten van de jaarlijkse monitoring. Daardoor zal de inhoud van dit rapport medebepalend zijn voor de voorstellen voor de (financiering van de) aanpak die in het kader van dit project worden ontwikkeld. Als vaststaat dat de risico's en dus de kosten van de aanpak lager zijn dan weleens werd aangenomen, worden de mogelijkheden om deze voormalige stortplaatsen weer een nieuwe maatschappelijke bestemming te geven, aanzienlijk verruimd.

T.A. Musschenga
Voorzitter stuurgroep NAVOS

SAMENVATTING

Achtergrond en aanleiding

De nazorgmaatregelen van de circa 3.800 voormalige stortplaatsen in Nederland zullen vooral bestaan uit het aanbrengen van afdekklagen van voldoende dikte en het beperken van de risico's van verontreinigd grondwater afkomstig van de stortplaats. Uit de praktijk blijkt dat de emissies vanuit stortplaatsen lager zijn dan aanvankelijk werd verondersteld. Een mogelijke verklaring voor deze lagere emissie is het optreden van natuurlijke processen in de stort die leiden tot verminderde uitspoeling naar het grondwater, samengevat onder de term 'Natural attenuation' (NA). Onduidelijk is voornamelijk of NA inderdaad een rol van belang speelt bij voormalige stortplaatsen en als dat het geval is, wat de mogelijke implicaties zijn voor het NAVOS programma. De DUIV-kerngroep NAVOS heeft het initiatief genomen tot een landelijk onderzoek naar het optreden van NA op voormalige stortplaatsen.

Het landelijk NA-onderzoek is gestart eind 1998 en is in opdracht van de DUIV-kerngroep NAVOS uitgevoerd door ROYAL HASKONING (voorheen IWACO) in samenwerking met Bioclear uit Groningen, de Vrije Universiteit van Amsterdam en TNO-MEP uit Apeldoorn.

Doelstellingen

Doel van het onderzoek was antwoord te vinden op de volgende vragen:

- Treedt NA op bij voormalige stortplaatsen en hoe kan het worden aangetoond?
- Is NA een algemeen verschijnsel bij voormalige stortplaatsen of is het beperkt tot een bepaald type stortplaatsen?
- Bestaan er relaties tussen oorsprong van de stort, ligging van de stort en type microverontreiniging en het optreden van NA?
- Wat zijn de consequenties van NA voor de risico's van voormalige stortplaatsen?
- Leidt NA tot een andere indeling in klassen van voormalige stortplaatsen dan zoals gehanteerd door NAVOS (curatief spoor, preventief spoor en exit spoor)?

Verder diende het project de volgende twee concrete resultaten op te leveren:

- een set van voor NA kenmerkende gidsparameters (de NA meetset);
- een toetsingsmethodiek voor het optreden van NA op basis van de set NA gidsparameters.

Onderzoeksopzet

Centraal in de onderzoeksopzet staat de hypothese dat het optreden van NA afhankelijk is van de aard en opbouw van zowel de stort als de onderliggende bodem. Dientengevolge is een keuze gemaakt voor onderzoek op stortplaatsen met een verschillend karakter en zijn chemische en microbiologische metingen en analyses geselecteerd, waarmee de stortplaatsen met betrekking tot Natural Attenuation kunnen worden gekarakteriseerd. Het onderzoek heeft zich gericht op de drie meest dominante NA-processen:

- biologische afbraak van organische verbindingen, onderverdeeld in onder aërobe condities afbreekbare verbindingen (olie-, teer- en benzineachtigen) en onder anaërobe condities afbreekbare verbindingen (gechloreerde verbindingen zoals tri/per en bestrijdingsmiddelen);
- precipitatie: chemische vastlegging van zware metalen onder sterk anaërobe condities als metaalsulfiden;
- sorptie: door sorptie aan onder andere organisch materiaal en lutum kan de concentratie van een verontreiniging in de waterfase worden verlaagd en verspreiding worden vertraagd.

Selectie stortplaatsen

Het NA-onderzoek is uitgevoerd op een representatieve steekproef op 80 van de circa 3.800 voormalige stortplaatsen. De selectiekenmerken spitsen zich toe op:

- het type stortmateriaal in de stort, onderverdeeld in 4 typen met een afnemend percentage aan huishoudelijk afval;
- het bodemtype waarop en/of waarin is gestort, onderverdeeld in 3 typen met betrekking tot toenemende grondwaterstromingssnelheden en afnemend percentage organisch stof.

Bemonsterings- en analyseprogramma

Op elke stortplaats zijn monsters genomen in 4 compartimenten: stortmateriaal en percolaat in de stort (bron) en bodem en grondwater buiten de stort (pluim). De monsters buiten de stort zijn genomen zowel boven- als benedenstrooms van de stort en ook direct onder de stort.

Voor het analyseprogramma is een selectie gemaakt van parameters die geschikt zijn voor het bepalen van NA op voormalige stortplaatsen. Het analyseprogramma is opgesplitst in 2 onderdelen:

- basis NA-metingen op alle 80 stortplaatsen;
- specialistische NA-metingen, om kostentechnische redenen op 11 van de 80 stortplaatsen.

Interpretatiekaders

De interpretatie was gericht op het vinden van correlaties binnen het totaal van alle data van alle 80 stortplaatsen samen teneinde voldoende aanwijzingen voor het optreden van NA te vinden. Het onderzoek had niet tot doel voor alle 80 individuele stortplaatsen een uitspraak te doen over het optreden van NA.

Het optreden van NA werd telkens ingeschat door vergelijking van analyses op monsters bovenstrooms, in de stort en benedenstrooms van de stort. Het idee hierachter is dat de samenstelling van het 'natuurlijke grondwater' bepaald kan worden in bovenstroomse peilbuizen en dat de beïnvloeding van dit water door de stort alsmede NA-processen kan worden gemeten in de stort en benedenstrooms van de stort. Voor het bepalen van NA werden 3 onafhankelijke routes van bewijs gebruikt:

- Overschrijding van de interventiewaarde. Binnen de saneringsregeling Wbb is sprake van een geval van ernstige bodemverontreiniging indien concentraties van microverontreinigingen de zogenaamde I-waarde overschrijden en aan het volume criterium wordt voldaan. Het percentage stortplaatsen waar de I-waarde wordt overschreden is een indicatie voor de mate waarin NA onvoldoende optreedt. De mate en aard van de I-waarde overschrijding zijn vervolgens richtinggevend voor relevantie (of tekortkomingen) van de afzonderlijke NA-processen;
- Zijn de milieucondities (en de situering) gunstig voor het optreden van NA. Hiervoor is gebruik gemaakt van statistische analyses op de geochemische analyseresultaten (basis NA-pakket). Deze analyses bestonden uit het vaststellen van statistische correlaties met behulp van het softwarepakket SPSS en een indeling in watertypen met behulp van clusteranalyse;
- Actuele metingen aan NA middels specifieke biologische en chemische analyses. Diverse specialistische NA-metingen en analyses zijn uitgevoerd, die direct of indirect de biologische activiteit, de aanwezigheid van biologische groepen, afbraakproducten of andere NA relevante parameters aantonen. Deze metingen betroffen GC-MS screening, batchproeven, Biologs, uitloogproeven, fermentatietesten, OXC-metingen en DNA;

Beoordeling NA

Om te beoordelen of NA een structureel voorkomend proces is op voormalige stortplaatsen werd in dit onderzoek gebruik gemaakt van een combinatie van bovenstaande 3 bewijsvoeringen. NA is een belangrijk proces op voormalige stortplaatsen als:

- er geen I-waarde overschrijding plaatsvindt buiten de stort of de concentraties buiten de stort lager zijn dan in de stort en;
- de statistische analyses uitwijzen dat de milieucondities voor NA gunstig zijn en de gemeten samenstelling van het grondwater wijzen op het optreden van NA en/of;
- de aanvullende specialistische metingen en analyses op meerdere stortplaatsen actieve biologische en/of fysisch/chemische NA-processen aantonen.

Onderzoekresultaten en discussie

Overschrijding interventiewaarden

Samenvattend kan worden gesteld dat op de meeste onderzochte stortplaatsen NA optreedt en dat in slechts 30% van de stortplaatsen onvoldoende NA optreedt om te voorkomen dat buiten de stortplaats een I-waarde overschrijding optreedt. Het merendeel van deze I-waarde overschrijdingen wordt veroorzaakt door zware metalen, waarbinnen arseen en barium de belangrijkste componenten zijn. Mogelijk zijn deze componenten ook in het natuurlijke grondwater aanwezig waardoor er sprake is van een verhoogde achtergrond en geen invloed vanuit de stort. Dit kon op basis van de huidige set data niet worden hard gemaakt en verdient nader onderzoek. De resultaten staan samengevat in onderstaande tabel.

Overschrijdingen I waarden in % aantal stortplaatsen

Stofgroep	Bovenstrooms	Stort	Benedenstrooms
VOH	0,0%	1,3%	2,5%
VAK	1,3%	11,3%	2,5%
PAK	0,0%	20,0%	1,3%
Zware metalen	12,5%	30,0%	18,8%

Bepalen NA milieucondities middels statistische analyse en watertype karakteristiek

De statistische analyse leidde tot de volgende waarnemingen:

- vrijwel alle stortplaatsen zijn reducerend, met name de stortplaatsen met brak/zout percolaat;
- de vooraf gestelde hypothese over verband tussen de redoxpotential en het percentage (%) huishoudelijk afval of het % bouw- en sloopafval is niet bevestigd;
- de temperatuur van het grondwater in de stortplaatsen is in het algemeen hoger (ongeveer 2 °C) dan buiten de stort, dit duidt op verhoogde biologische activiteit;
- de aanwezigheid van BTEX gaat in het algemeen gepaard met de aanwezigheid van het omzettingsproduct alkylfenolen (som) en wordt vooral in het stortlichaam waargenomen. Deze alkylfenolen worden slechts in een paar gevallen stroomafwaarts aangetroffen. Blijkbaar vindt voldoende afname plaats van de zeer mobiele fenolen;
- als in het percolaat microverontreinigingen werden aangetroffen waren dat met name BTEX, PAK, alkylbenzenen en (mono)chloorbenzenen. Deze stoffen zijn moeilijk afbreekbaar in het reducerende milieu in de stortplaats. Deze stoffen worden niet aangetroffen het oxiderend grondwater stroomafwaarts, waar ze wel goed afbreekbaar zijn;
- de pH-range is voor percolaat kleiner dan voor grondwater buiten de stort en schommelt, enkele uitschieters daargelaten tussen 6,5 en 7,0. Dit is in overeenstemming met de theorie dat de verzurende fase die ingaat kort na het storten, overgaat in een fase waarin de pH langzaam stijgt.

De clusteranalyse van alle grondwaterdata resulteerde in een onderverdeling in 6 watertypen op grond van macrochemische watersamenstelling. Het ligt voor de hand deze watertypen te koppelen aan de plaats waar ze ten opzichte van een stort worden verwacht. Deze watertypen en hun verwachte aanwezigheid ten opzichte van de stort staan in onderstaande tabel.

	Watertype	ligging t.o.v. de stort
1	Zure regen, natuurlijk grondwater	bovenstrooms
2	Anoxisch kalkbufferend, natuurlijk grondwater	bovenstrooms
3	Licht stortbeïnvloed grondwater	benedenstrooms
4	Matig stortbeïnvloed grondwater	onder de stort
5	Sterk stortbeïnvloed grondwater	in de stort
6	Brak, natuurlijk grondwater of licht stort beïnvloed grondwater	benedenstrooms/bovenstrooms

Op basis van deze koppeling is geverifieerd of de in de peilbuizen aangetroffen watertypen overeenkomen met de vooraf beoogde positie van de geplaatste peilbuizen. Geconcludeerd kon worden dat de peilbuizen derhalve goed zijn geplaatst en conclusies kunnen worden getrokken op basis van de veronderstelde stroombanen.

Aanvullende specifieke NA metingen

Deze metingen hebben een wisselend resultaat opgeleverd, maar een aantal metingen leverde zeer bruikbare informatie op en is gebruikt bij het afleiden van een getalsmatige indicatie voor het optreden van NA. Bijvoorbeeld: indien in batchproeven afbraak van VOH of VAK werd aangetoond op een bepaalde stortplaats, is dit als indicatie voor het optreden van NA gescoord, hetgeen het geval was in de meerderheid (90%) van de 11 onderzochte stortplaatsen. In onderstaande tabel zijn de resultaten van de aanvullende specifieke metingen weergegeven.

Resultaten aanvullende specifieke metingen

Meting	Toelichting	percentage (%) stortplaatsen	
		binnen de stort	buiten de stort
GC-MS screening	Vinylchloride (biologisch afbraakproduct)	7.5%	6.25%
	Alkylfenolen (biologische afbraakproduct)	31.25%	5%
AVS	Verhoogd AVS (verhoogd AVS duidt op NA)	62.5%	12.5%
OXC	De meting bleek niet geschikt	-.-	-.-
BIOLOG	De meting bleek niet geschikt	-.-	-.-
H2-metingen	De meting bleek niet geschikt	-.-	-.-
DNA/RNA	De meting bleek niet geschikt	-.-	-.-
Batch-proeven	Biologische afbraak aangetoond van VOCl	87%	45%
	Biologische afbraak aangetoond van VAK	75%	91%
Uitloogtesten	Geen uitloging van zware metalen	82%	Niet getest
Fermentatietest	maat voor de stabilisatiegraag (omzetting organisch materiaal) van de stort	vergaand gestabiliseerd organisch materiaal	n.v.t.

Locatiespecifieke beoordeling

Een beperkte set stortplaatsen (11 stuks) is locatiespecifiek beoordeeld op de aanwezigheid van NA. Deze actuele beoordeling op locatieniveau is een geïntegreerde beoordeling van de 3 gebruikte bewijslijnen. Door alleen onderscheid te maken tussen geen NA-potentie of NA-potentie aanwezig wordt de beoordeling vereenvoudigd. Daarnaast is gesteld dat een stortplaats NA-potentie bezit als tenminste 1 van de bepaalde processen (afbraak VOH, VAK, PAK en minerale olie of vastlegging van zware metalen) optreedt. Onder deze condities wordt duidelijk dat NA-processen optreden in 90-100% voor een of meerdere groepen van verontreinigingen. Eventuele risico's worden met name bepaald door zware metalen (zie onderstaande tabel).

Locatiespecifieke beoordeling van NA-potentie op set van 11 stortplaatsen

Stofgroep	NA potentie aanwezig
VAK	100%
PAK en minerale olie	88%
VOH	89%
Zware metalen	64%

Indeling voormalige stortplaatsen in risicoklassen op basis van NA

In het merendeel van de bemonsterde stortplaatsen zijn aanwijzingen gevonden voor het optreden van NA. De gecombineerde bewijslast uit I-waarde overschrijding, aanvullende NA metingen en de toetsing op locatieniveau laten overtuigend zien dat NA bij de meeste (70%) van de stortplaatsen in voldoende tot hoge mate optreedt om ontoelaatbare emissies te voorkomen. Op basis van de gemeten concentraties microverontreinigingen is een indeling gemaakt van stortplaatsen op basis van risico's van verspreiding. Als concentratiegrens is de I-waarde gehanteerd, die conform de saneringsregeling Wbb wordt gehanteerd als grens, waarboven sprake is van een geval van ernstige bodemverontreiniging, waarvoor een aanleiding tot verder onderzoek aanwezig is. Tevens is aangegeven de mate van NA-potentie in termen van hoog, voldoende en onvoldoende. De volgende klassen zijn gedefinieerd:

Indeling in categorieën op basis van I-waarde overschrijdingen in en/of buiten de stort

Buiten de stort		Micro's in stort > I-waarde	NA potentie	Categorie	% NA-pilot
Macropluim	Micropluim > I-waarde				
Nee	n.v.t.	nee	hoog	A	20%
Ja	nee	nee	hoog	B	25%
ja	nee	ja	voldoende	C	25%
ja	ja	ja	onvoldoende	D	15%
ja	ja	nee	onvoldoende	E	15%

Eindproducten

De eindproducten bestaan uit:

- Gidsparameters voor NA-onderzoek
- Stappenplan NA-informatiebehoefte
- NA-toetsingsmethodiek

Gidsparameters voor NA-onderzoek

Op grond van de interpretatie van de meetresultaten, zijn NA-relevante gidsparameters gedestilleerd, die zijn onderverdeeld in een:

- NA-basis pakket, bestaande uit zowel macro- als microparameters. Toepassing van dit pakket op een individuele stortplaats stelt een deskundige in staat om in een eerste stap goed inzicht te verkrijgen in de al dan niet aanwezige NA-potentie;
- NA-specifiek pakket, bestaande uit 3 relevante specialistische metingen (batchproeven, uitloogtesten en fermentatietesten). Deze metingen geven een extra zekerheid over de daadwerkelijke aanwezigheid en mate van NA-potentie en NA-capaciteit. Ze moeten als aanvullend worden gezien op het NA-basis pakket en per individuele stortplaats zal moeten worden afgewogen of deze extra informatiebehoefte noodzakelijk is.

Stappenplan NA-informatiebehoefte

Zowel voor het vaststellen van de aanwezigheid van NA op een stortplaats als voor het toepassen van een NA-monitoringsprogramma in het kader van nazorgmaatregelen is op verschillende momenten informatie nodig. Om hierin enige structuur te brengen is de NA-informatiebehoefte in een stappenplan geschematiseerd. Het stappenplan is opgesteld op basis van de huidige praktijk als het gaat om de volgorde van beschikbare gegevens uit bestaande NAVOS-meetprogramma's. Het plan kent twee verschillende trajecten:

- NA-onderzoekstraject: metingen ten behoeve van het vaststellen van NA op een stortplaats;
- NA-uitvoeringstraject: metingen ten behoeve van het opstellen van een NA-nazorgplan.

NA-toetsingsmethodiek

De kern van de toetsingsmethodiek bestaat uit de beoordeling of er al dan niet sprake is van gunstig NA-condities. De beoordeling van de NA-condities wordt gemaakt op grond van een interpretatie van een grote hoeveelheid aan gegevens, waarin de NA-gidsparameters als de belangrijkste input moeten worden gezien. De 'Richtlijn NA-toetsingsmethodiek' is in de vorm van een stroomschema gepresenteerd. Bij de opzet van de richtlijn en het stroomschema is uitgegaan van minimale informatiebehoefte op ieder beslispunt. Het schema kan worden doorlopen op basis van informatie uit alleen metingen **buiten** de stort. De methodiek is opgebouwd uit 6 stappen:

- Het vaststellen of een macropluim aanwezig is;
- Het vaststellen of een micropluim aanwezig is;
- Vaststellen of de stoffen voldoen aan de NA-modelstort (afbreekbaar onder oxiderende omstandigheden);
- Vaststellen of de redox milieus overeenkomen met de NA-modelstort;
- NA specifiek, is de omgeving zo dat NA toch van toepassing kan zijn;
- Het beoordelen of NA als nazorgoptie mogelijk is.

Conclusies

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- NA is een structureel voorkomend proces op voormalige stortplaatsen en leidt tot lagere emissies; NA is daarmee bepalend voor het risicoprofiel van deze stortplaatsen nu en in de toekomst;
- het is mogelijk gebleken om een methodiek op te stellen voor het bepalen en beoordelen van NA op de individuele voormalige stortplaats;
- op 70% van de 80 onderzochte stortplaatsen treedt geen overschrijding op van I-waarden buiten de stort, mede dankzij NA processen;
- op 30% van de 80 onderzochte stortplaatsen treedt wel overschrijding op van I-waarden buiten de stort, ondanks de aanwezigheid van NA processen. Het gaat in de meeste gevallen (20%) om zware metalen en maar in een klein aantal om organische microverontreinigingen;
- het is niet duidelijk wat de bepalende factoren zijn voor het onvoldoende optreden van NA op een deel (30%) van de 80 onderzochte stortplaatsen;

- Het onderzoek heeft zich toegespitst op de rol van NA op de aan- en afwezigheid van microverontreinigingen. Geconcludeerd moet worden dat in 80% van de onderzochte gevallen sprake is van een benedenstrooms beïnvloedingsgebied met macroparameters, de zogenaamde macropluim. Afhankelijk van de ligging van de stortplaats (bijvoorbeeld kwetsbaar natuurgebied en/of benedenstrooms gebruik van het grondwater bijvoorbeeld drinkwatervoorziening en veedrenking), moeten de risico's hiervan niet worden onderschat;
- op basis van het optreden van NA is een nieuwe indeling van voormalige stortplaatsen in risicoklassen opgesteld;

in stort		buiten stort		NA-klassen (%) ⁽¹⁾	NA-potentie
Concentratie	stofgroep >I ⁽²⁾	concentratie	stofgroep >I ⁽²⁾		
< I-waarde	.-	nul-emissie	.-	A (20%)	hoog
< I-waarde	.-	< I-waarde	.-	B (25%)	hoog
> I-waarde	zware metalen (36%) VAK (18%) PAK (34%) VOH (2%) minerale olie (8%) monochloorbenzeen (2%)	< I-waarde	.-	C (25%)	voldoende
> I-waarde	zware metalen (86%) VAK(14%)	> I-waarde	zware metalen (86%) VAK(14%)	D (15%)	Onvoldoende
< I-waarde	.-	> I-waarde	zware metalen (72%) VOH (9%) VAK (9%) PAK (5%) minerale olie (5%)	E (15%)	Onvoldoende

(1) op basis van metingen in en buiten de stort

(2) % stortplaatsen met de aangetroffen stofgroep >I in categorie A, B, C, D of E

- De hierboven weergegeven NA-klasse-indeling is gebaseerd op het feit dat afwezige ontoelaatbare concentratieniveaus van verontreinigende stoffen nu en in de toekomst het gevolg is van NA. De bewijslast hiervoor is echter gebaseerd op een momentopname bij 80 stortplaatsen en bevat bovendien een aantal onzekerheden, zoals hierboven geschetst. Het oplossen van die onzekerheden draagt bij aan een beter onderbouwde en meer betrouwbare indeling van stortplaatsen in het curatieve, preventieve en exit-spoor. Dit zal naar verwachting leiden tot hogere percentages in het exit-spoor en lagere in het curatieve spoor.

Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden voorgesteld:

- nader onderzoek naar de oorzaken voor het onvoldoende optreden van NA op een deel van de voormalige stortplaatsen (NA-klasse D en E). Indien duidelijk wordt welke deze factoren zijn, kunnen mogelijke risico-stortplaatsen sneller worden geïdentificeerd en kan de indeling van stortplaatsen naar risico van verspreiding beter worden onderbouwd;
- nader onderzoek naar de oorzaken van verhoogde concentraties zware metalen bij stortplaatsen waar in de stort geen verhoogde concentraties zware metalen zijn aangetroffen (NA-klasse E);
- het verdient aanbeveling om het NA-basis pakket, waarmee een indeling van stortplaatsen naar NA-potentie beter kan worden onderbouwd, mee te nemen in de lopende monitoringsronden van het NAVOS-traject;
- bij gebleken NA-potentie dient een locatiespecifieke beoordeling van NA als beheersvariant te worden gemaakt door middel van meer specifieke NA-metingen (NA-specifiek pakket). Dit dient als voorbereiding van een NA-nazorgplan ten behoeve van het NAVOS-uitvoeringstraject;
- centrale dataverzameling van alle daarbij vrijkomende NA-gegevens in de bestaande NA-projectdatabank ten behoeve van de validatie en aanscherping van zowel de NA-toetsingsmethodiek als de indeling van stortplaatsen (risico-indeling NA-klassen);
- uitbreiding van het bestand van 80 stortplaatsen teneinde afwezigheid van de relatie NA-potentie met het type stortmateriaal op basis van een kwantitatief voldoende representatieve steekproef al dan niet te kunnen bevestigen.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond onderzoek	1
	1.2 Bestaande informatie NA	1
	1.3 Probleemstelling	3
	1.4 Doelstelling onderzoek	4
	1.5 Hypothesen	4
2	OPBOUW RAPPORTAGE	5
3	ONDERZOEKSOPZET	6
	3.1 Idee achter onderzoeksopzet	6
	3.2 Selectie en representativiteit stortplaatsen	7
	3.3 Wijze van uitvoering	9
	3.4 Interpretatiekaders	11
	3.5 Toetsing optreden NA op een selectie van stortplaatsen	13
	3.6 Beoordeling NA	13
4	ONDERZOEKSRESULTATEN	14
	4.1 Overschrijdingen interventiewaarden	14
	4.2 Bepalen NA milieufacties middels statistische analyse en watertype karakterisatie	16
	4.2.1 Statistische analyse	16
	4.2.2 Watertype karakterisatie	17
	4.3 Aanvullende specifieke NA metingen op 11 stortplaatsen	19
	4.4 Locatiespecifieke beoordeling	21
5	INTERPRETATIE EN DISCUSSIE	23
	5.1 Algemeen	23
	5.2 Indeling voormalige stortplaatsen in risicoklassen op basis van NA	26
	5.3 Toetsing hypothesen	27
	5.4 Geschiktheid NA gidsparameters	28
	5.4.1 Geschiktheid A-pakket	29
	5.4.2 Geschiktheid B-pakket	30
6	EINDPRODUCTEN	32
	6.1 Gidsparameters voor NA-onderzoek	32
	6.1.1 NA-basis pakket	32
	6.1.2 NA-specifiek pakket	32
	6.2 Stappenplan NA-informatiebehoefte	34
	6.3 NA-toetsingsmethodiek	36
7	EINDCONCLUSIES	37
	7.1 Technische inhoudelijke conclusies	37
	7.2 Strategische conclusies	38

8	AANBEVELINGEN	41
9	BEGRIPPENLIJST	42
▪	LITERATUUR	43

BIJLAGEN

1. Theorie Natural Attenuation bij stortplaatsen
2. Overzicht 80 geselecteerde stortplaatsen
3. Overzicht chemische analyseparameters van pakket A
4. Waarom meten we wat: welk doel hebben de analyses
5. Statistische evaluatie
6. Richtlijn NA-toetsingsmethodiek
7. Stappenplan NA-informatiebehoefte

FIGUREN

1. Natuurlijke processen in en onder een stortplaats
2. Inhoud en opbouw van de volledige verslaglegging

TABELLEN

1. Overzicht geselecteerde stortplaatsen over de categorieën in aantallen en percentages
2. Waar passen we welke analyses toe en waarom
3. Uitvoering specialistische metingen en interpretatie
4. Interventiewaarden overschrijding per parameter
5. Interventiewaarden overschrijdingen in % stortplaatsen
6. Indeling in watertypen op basis van macrochemie
7. Verdeling watertype per peilbuispositie (546 peilbuizen)
8. Resultaten GC-MS screening met stortmateriaal (binnen de stort) en sedimentmateriaal (buiten de stort) uitgedrukt in percentage stortlocaties, waar biologische afbraakproducten (vinylchloride en alkylfenolen) zijn aangetoond
9. Resultaten AVS metingen met stortmateriaal (binnen de stort) en sedimentmateriaal (buiten de stort) uitgedrukt in percentage stortlocaties met een verhoogd AVS gehalte
10. Resultaten van batchproeven met stortmateriaal (binnen stort) en sedimentmateriaal (buiten stort)
11. Resultaten uitloogproeven zware metalen met stortmateriaal
12. Locatiespecifieke beoordeling van NA-parameters op set van 11 stortplaatsen
13. Aanwijzingen voor het optreden van NA op voormalige stortplaatsen middel 4 lijnen van bewijs
14. Indeling in klasse op basis van interventiewaarde overschrijdingen in en/of buiten de stort
15. Gidsparameters NA-basis pakket

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond onderzoek

De nazorgmaatregelen van de circa 3.800 voormalige stortplaatsen in Nederland zullen vooral bestaan uit het aanbrengen van afdekklagen van voldoende dikte en het beperken van de risico's van verontreinigd grondwater afkomstig van de stortplaats. De huidige ramingen van de totale nazorgkosten (honderden miljoenen per jaar gedurende de komende 10-20 jaar) bestaan voor meer dan 80% uit kosten voor de aanpak van verontreinigd grondwater door middel van beheersing en/of sanering. In de praktijk blijkt uit onderzoek op circa 200 voormalige stortplaatsen in de provincie Noord-Brabant (1998), dat slechts bij 10% van de stortplaatsen een ernstige grondwaterverontreiniging aanwezig is (concentraties > interventiewaarde (I-waarde) uit de wet bodembescherming (Wbb)). Een mogelijke verklaring voor deze lage aantallen is het optreden van natuurlijke processen in de stort die leiden tot verminderde uitspoeling naar het grondwater, samengevat onder de term 'Natural attenuation', (NA). Onduidelijk is voornamelijk of NA inderdaad een rol van belang speelt bij voormalige stortplaatsen en als dat het geval is, wat de mogelijke implicaties zijn voor het NAVOS programma (NAzorg VOormalige Stortplaatsen). De DUIV-kerngroep NAVOS (DUIV is een afkorting van DGM, Unie van Waterschappen, Interprovinciaal Overleg en Vereniging van Nederlandse Gemeenten) heeft het initiatief genomen tot een landelijk onderzoek naar het optreden van NA op voormalige stortplaatsen. De DUIV-kerngroep NAVOS heeft tot taak de problematiek rond voormalige stortplaatsen in kaart te brengen en oplossingen voor de aanpak ervan te ontwikkelen.

Het landelijk NA-onderzoek is gestart eind 1998 en is in opdracht van de DUIV-kerngroep NAVOS uitgevoerd door ROYAL HASKONING (voorheen IWACO) in samenwerking met Bioclear uit Groningen, de Vrije Universiteit van Amsterdam en TNO-MEP uit Apeldoorn. Dit rapport bevat de resultaten van dit onderzoek

1.2 Bestaande informatie NA

Uit recente ontwikkelingen [1, 2, 4] komt naar voren dat processen in het stortlichaam en ook in de bodem daaronder, een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het verminderen van de verspreiding van verontreinigende stoffen uit het stortlichaam naar het grondwater. Dit wordt aangeduid met de term "Natural Attenuation", een verzamelnaam voor alle natuurlijke processen in en onder de stort, die leiden tot een verlaging van de concentratie van een stof in het grondwater. Deze processen zijn:

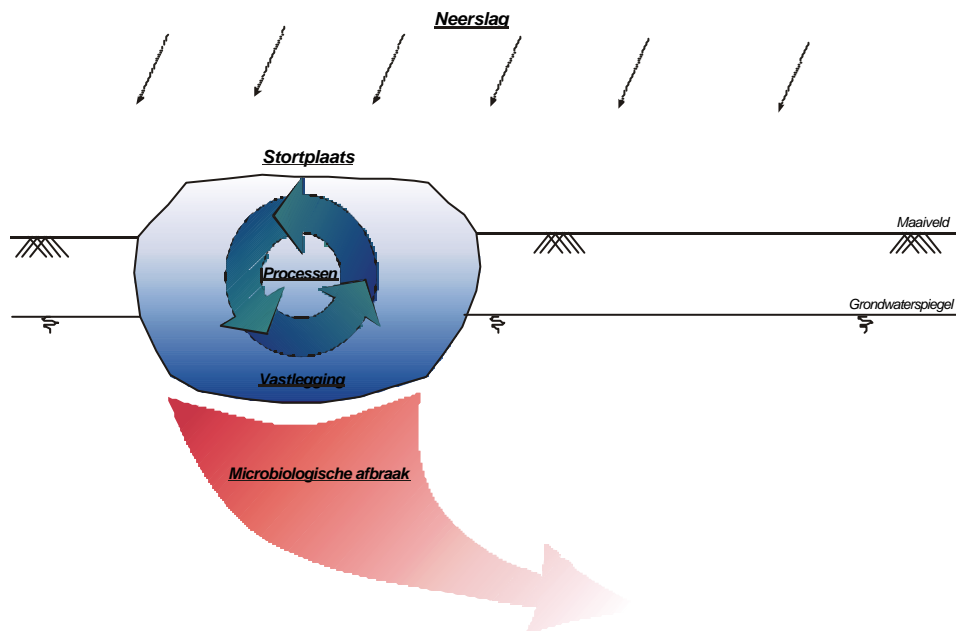
- microbiologische afbraak: organische verbindingen kunnen ruwweg worden ingedeeld in oxiderende condities (oxisch, ijzer/mangaan reducerend en nitraat reducerend) afbreekbare verbindingen (olie- en teerachtige en BTEX-en) en onder reducerende condities (sulfaatreducerend en methanogeen) afbreekbare verbindingen (gechloreerde verbindingen zoals per/tri en bestrijdingsmiddelen). In het complexe systeem van de stortplaats en zijn omgeving kunnen zowel oxiderende als reducerende condities voorkomen;
- precipitatie: het merendeel van de zware metalen wordt onder sulfaatreducerende condities vastgelegd door precipitatie als sulfiden. De neiging hiertoe is mede afhankelijk van de chemische eigenschappen van de individuele zware metalen,

- concentraties (o.a. zware metalen, sulfiden, organisch stof) en pH. De als sulfiden vastgelegde metalen kunnen door oxidatie weer vrijkomen;
- sorptie: door sorptie aan onder andere organisch materiaal en lutum kan de concentratie van een verontreiniging in de waterfase worden verlaagd en wordt verspreiding vertraagd;
 - chemische omzetting: van een aantal micro-verontreinigingen is bekend dat deze ook door chemische processen kunnen worden omgezet. Zo kunnen gechloreerde componenten reageren met ijzerverbindingen tot lager gechloreerde componenten. De snelheid van chemische omzettingen is echter over het algemeen lager dan microbiologische omzettingen en zijn daarom minder van belang voor NA;
 - verdunning: in principe kan de concentratie van iedere wateroplosbare verontreiniging door verdunning worden verlaagd. Het proces is sterk afhankelijk van de geohydrologische omstandigheden. Verdunning is geen vrachtverwijdering;
 - vervluchtiging: op het grensvlak van de verzadigde en onverzadigde zone kan vervluchtiging optreden van vluchtige verontreinigingen zoals benzeen of vinylchloride. Dit proces levert, als het optreedt, naar verwachting slechts een geringe bijdrage aan de verlaging van concentraties in het grondwater.

Naar verwachting spelen al deze processen een rol bij voormalige stortplaatsen maar zijn drie processen dominant:

- biologische afbraak;
- precipitatie;
- sorptie.

Een duidelijk onderscheid kan worden gemaakt tussen natuurlijke processen in het stortlichaam (bron) en die in het stroomafwaartse grondwater (pluim). Ter illustratie van NA is dit in figuur 1 geschetst.



H:\ekstraz.prj\BOB\3364370\figuur.doc

Figuur 1 Natuurlijke processen in en onder een stortplaats

In de stort (bron)

Als gevolg van microbiologische processen in het stortlichaam worden organisch materiaal en microverontreinigingen afgebroken. Rottingsprocessen van in de stort aanwezig organisch materiaal zorgen voor een sterk reducerend milieu, zodat elektronenacceptoren als nitraat en sulfaat worden verbruikt. Toxische metalen kunnen worden gebonden aan humusverbindingen en onder sterk reducerende omstandigheden precipiteren als metaalsulfiden. Ook gechloreerde verbindingen breken in dit milieu goed af. Deze processen (microbiologische afbraak, sorptie en precipitatie) kunnen leiden tot verminderde verspreiding van deze verontreinigingen uit het stortlichaam.

Buiten de stort (pluim)

Vervolgens vinden in de grondwaterpluim ook processen plaats die leiden tot een afname van de hoeveelheid verontreinigende stof in het grondwater [4]. Onder invloed van de elektronenacceptoren zuurstof, nitraat, ijzer etc. kunnen bepaalde verontreinigingen microbiologisch worden omgezet. Of omzetting daadwerkelijk optreedt, is afhankelijk van de redoxcondities in de pluim. Deze redoxcondities verlopen van de stort af over het algemeen van sterk reducerend (als gevolg van uit de stort tredend percolaat) tot de natuurlijk heersende omstandigheden. Deze natuurlijke achtergrond kan variëren van (in volgorde van sterk gereduceerd naar geoxideerd): methanogeen, sulfaatreducerend, ijzerreducerend, nitraatreducerend tot oxiderend.

Afhankelijk van de snelheid van deze processen en de zelfreinigende capaciteit van de bodem, beide in relatie tot de mate, waarin vanuit de stort materiaal wordt aangevoerd, zal het volume van een verontreinigingspluim in het grondwater groeien, stabiel zijn of zelfs afnemen. De beperkte omvang van grondwaterverontreiniging bij onderzochte stortplaatsen [1,2,3] geeft aan dat wellicht in veel gevallen stabilisatie of afname van het volume van de pluim optreedt. Meer achtergrondinformatie over NA is weergegeven in bijlage 1.

1.3 Probleemstelling

Het onderliggende probleem bij dit onderzoek is dat het voorsnog onduidelijk is of NA een belangrijk proces is bij voormalige stortplaatsen en of NA in beschouwing moet worden genomen binnen het NAVOS programma. Indien NA een belangrijk proces is bij voormalige stortplaatsen zal dit consequenties kunnen hebben voor de volgende activiteiten:

- het monitoren van voormalige stortplaatsen;
- het opstellen van alternatieven van nazorgmaatregelen;
- de uiteindelijke selectie en uitvoering van nazorgmaatregelen;
- de herijking van de kostenraming van nazorgmaatregelen.

1.4 Doelstelling onderzoek

Doel van het onderzoek was antwoord te vinden op de volgende vragen:

1.
 - Treedt NA op bij voormalige stortplaatsen?
 - Hoe kan het optreden van NA bij voormalige stortplaatsen worden aangetoond?
2.
 - Is NA een algemeen verschijnsel bij voormalige stortplaatsen of is het beperkt tot een bepaald type stortplaatsen?
 - Bestaan er relaties tussen oorsprong van de stort, ligging van de stort en type microverontreiniging en het optreden van NA?
3.
 - Wat zijn de consequenties van NA voor de risico's van voormalige stortplaatsen?
 - Leidt NA tot een andere indeling in klassen van voormalige stortplaatsen zoals gehanteerd door NAVOS (curatief en preventief en exit spoor)?

Verder diende het project de volgende twee concrete resultaten op te leveren:

- een set van voor NA kenmerkende gidsparameters (de NA meetset);
- een toetsingsmethodiek op basis van de set NA gidsparameters, om te bepalen in welke mate NA optreedt.

1.5 Hypothesen

Bij aanvang van het onderzoek zijn een aantal hypothesen gepostuleerd. Deze hypothesen waren de volgende:

1.
 - het is mogelijk om het optreden van NA op voormalige stortplaatsen middels analyses vast te stellen;
 - NA is een structureel voorkomend proces op voormalige stortplaatsen;
2.
 - het optreden van NA is afhankelijk van het type stortmateriaal, bodemtype onder de stort en type microverontreinigingen;
 - de aard van het oorspronkelijk gestorte materiaal bepaalt het actuele organisch stofgehalte in de stortplaats;
 - op stortplaatsen met veel huishoudelijk materiaal is het organisch stofgehalte hoog en is de potentie voor NA hoog;
 - op stortplaatsen met veel bouw- en sloopafval is het organisch stofgehalte laag en is de potentie voor NA laag;
 - onder reducerende condities in de stort treedt vastlegging van zware metalen en biologische afbraak van vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen (VOH) op;
 - onder oxiderende condities benedenstrooms van de stort treedt biologische afbraak van vluchtige aromatische koolwaterstoffen (VAK) en minerale olie op;
 - een bodemtype met hoog organische stofgehalte onder de stort is gunstig voor NA in het grondwater;

- er kan alleen sprake zijn van I-waarde overschrijdingen buiten de stort (micropluim) als er uitspoeling plaatsvindt van macroparameters (macropluim)¹;

3.

- NA leidt tot lagere emissies;
 - het huidige percentage I-waarde overschrijdingen in het grondwater buiten de stort zal aanzienlijk lager zijn dan de huidige inschattingen van 50% [3];
 - de toekomstige percentage I-waarde overschrijdingen in het grondwater buiten de stort zal aanzienlijk lager zijn dan de huidige inschatting van 25% [3].
- NA leidt tot een andere indeling van klassen zoals gehanteerd door NAVOS, waardoor minder stortplaatsen in het curatieve spoor belanden.

2 OPBOUW RAPPORTAGE

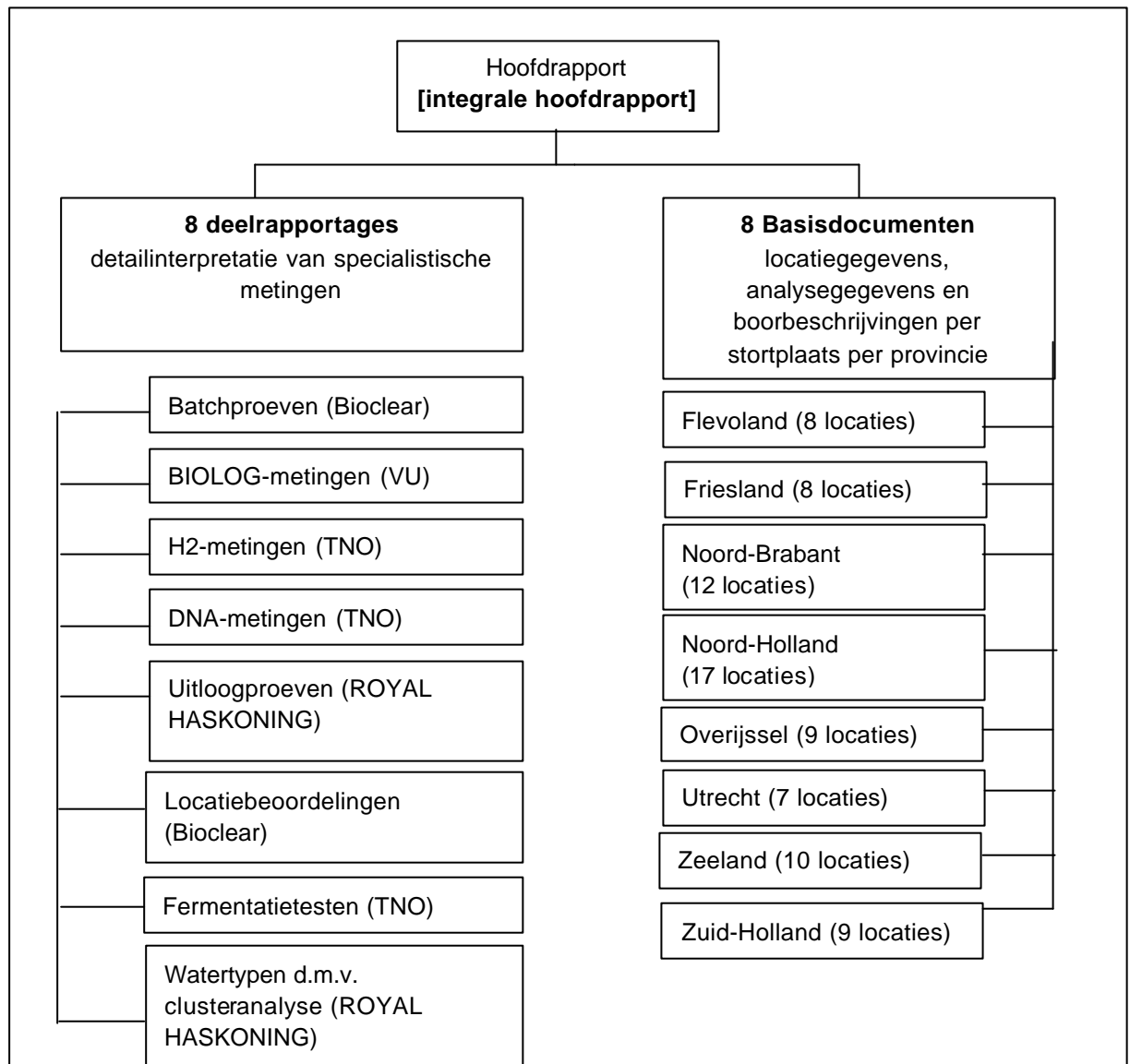
De rapportage van het project bestaat uit meerdere rapporten. Het voorliggende rapport is het hoofddocument met bijlagen. Hierin staan de uitkomsten van het onderzoek samengevat. De volledige verslaglegging van de resultaten van het landelijke NA-onderzoek op 80 stortplaatsen in 8 provincies (hoofdstuk 3.2) is omwille van helderheid en hanteerbaarheid opgesplitst in de volgende rapportageniveaus:

1. hoofdrapport + bijlagen (dit document);
2. onderliggende deelrapportages;
3. basisdocumenten.

Inhoud en opbouw van de volledige verslaglegging is schematisch weergegeven in figuur 2.

¹ Macropluim: beïnvloedingsgebied op grond van gemeten macroparameters, macroparameters zijn die parameters die de karakteristieken van het grondwater bepalen, deze stoffen komen in natuurlijk grondwater voor en kunnen door natuurlijke processen in de stort verhoogd of verlaagd worden (o.a. NH₄, Ba, Ca, Cl, Fe, K, Mg, Na, NO₃, SO₄)

Micropluim: een "sigaar"-pluim in de macropluim waar organische en/of anorganische verontreinigingen voorkomen



Figuur 2 Inhoud en opbouw van de volledige verslaglegging

3 ONDERZOEKSOPZET

3.1 Idee achter onderzoeksopzet

Centraal in de onderzoeksopzet staat de hypothese dat het optreden van NA afhankelijk is van de aard, opbouw en onderliggende bodem van de stort. Dientengevolge is een keuze gemaakt voor onderzoek op stortplaatsen met een verschillend karakter, en zijn analyses geselecteerd, waarmee de stortplaatsen kunnen worden gekarakteriseerd. Er zijn ook analyses opgenomen die direct bewijs opleveren voor het optreden van NA: dit zijn niet alleen directe metingen aan afbraakproducten en neerslagen van zware metalen, maar ook metingen aan de microbiologische activiteit.

Bij de interpretatie van de gegevens is vervolgens via 3 bewijslijnen gezocht voor het optreden van NA, deze worden besproken in paragraaf 3.5. Het onderzoek heeft zich gericht op de drie naar verwachting belangrijkste componenten voor NA bij stortplaatsen: biologische afbraak, precipitatie en sorptie. Deze aanpak is in lijn met andere protocollen en richtlijnen voor onderzoek naar NA zoals bijvoorbeeld het US-EPA protocol voor natural attenuation van gechloreerde oplosmiddelen [7]. Ook in Nederland zijn enkele soortgelijke protocollen in gebruik (bv SKB stoplichtenmodel) [6].

3.2 Selectie en representativiteit stortplaatsen

Het onderzoek is uitgevoerd op een representatieve steekproef uit een totaal van 3.800 voormalige stortplaatsen. De 3.800 voormalige stortplaatsen zijn eerst ingedeeld in categorieën op basis van een aantal selectiekenmerken, die van belang zijn voor het mogelijk optreden van Natural Attenuation in en rond stortplaatsen [3]. De selectiekenmerken spitsen zich toe op:

- het type materiaal in de stort;
- het bodemtype waarop en/of waarin is gestort;

De stortinhoud is onderverdeeld in de volgende 4 typen met een afnemend percentage aan huishoudelijk afval:

- de huishoudelijke stortplaatsen, gekarakteriseerd door meer dan 80% huishoudelijk afval en dus een hoog gehalte organisch materiaal;
- stortplaatsen met 50%-80% huishoudelijk afval en een deel bedrijfs- en chemisch afval;
- stortplaatsen met voornamelijk bedrijfs- en chemisch afval met maar 20%-50% huishoudelijk afval;
- de bouw- en sloopafval stortplaatsen, gekarakteriseerd door minder dan 20% huishoudelijk afval.

Door te werken met stortplaatsen met verschillend stortmateriaal kon de hypothese worden getoetst of NA afhankelijk is van de hoeveelheid organisch materiaal (m.n. huishoudelijk afval) in de stort.

Het bodemtype is onderverdeeld in:

- type “polder”, poldergebied of beekdalgebied: natuurlijke kwelsituatie; grondwaterstroming gering; organisch stofgehalte hoog (>5%);
- type “deklaag”, zandgebied met klei- en/of leemhoudende zandige deklaag. Het grondwater infiltreert en verplaatst zich horizontaal met 5-15 m/jaar; organisch stofgehalte 3%;
- type “aquifer”, zandgebied met geen of zeer dunne deklaag, infiltratie en een snelle grondwaterstroming van 15-50 m/jaar; organisch stofgehalte 1%.

Door te werken met stortplaatsen op bodemtypen met verschillende geo(hydro)logische kenmerken kon de hypothese worden getoetst of NA afhankelijk is van de ligging van de stort. Met betrekking tot de stortinhoud is de landelijke indeling gebaseerd op de gegevens van de landelijk uitgevoerde VOS-onderzoeken (Verkenkend Onderzoek

Stortplaatsen). Voor de verdeling van de 3.800 stortplaatsen over de 3 bodemtypes, zijn de bodemtypen als volgt gekoppeld aan de provincies:

- type polder: Groningen, Friesland, Noord-Holland, Zuid-Holland, Zeeland en Flevoland;
- type deklaag: Noord-Brabant, Limburg en Overijssel;
- type aquifer: Drenthe, Gelderland en Utrecht.

Daarna is per stortplaats gecontroleerd of inderdaad het verwachte bodemtype aanwezig was. Bij aanvang van het project bleken slechts 8 van de 12 provincies mee te doen aan het project, waardoor het daadwerkelijk aantal stortplaatsen dat is onderzocht niet op 150 maar op 80 uitkwam.

Uiteindelijk zijn 80 stortplaatsen geselecteerd, verdeeld over 8 deelnemende provincies. Een overzicht van de 80 stortplaatsen is gepresenteerd in bijlage 2. In tabel 1 is weergegeven hoe de 80 stortplaatsen zijn verdeeld over 4 storttypen en de 3 bodemtypen.

Tabel 1 Overzicht geselecteerde stortplaatsen over de categorieën in aantallen en percentages

	Percentage huishoudelijk afval				Totaal	%	Landelijk beeld
	> 80%	50%-80%	20%-50%	< 20%			
Polder	22	7	7	5	41	50%	35%
Deklaag	6	4	1	2	13	15%	35%
Aquifer	9	9	5	3	26	35%	30%
Totalen	37	20	13	10	80		
%	47%	26%	15%	12%			
<i>Landelijk beeld</i>	<i>42%</i>	<i>20%</i>	<i>20%</i>	<i>17%</i>			

De verdeling van de 80 geselecteerde stortplaatsen over de categorieën komt wat betreft het type stortinhoud goed overeen met het landelijk beeld. Dit geldt in iets mindere mate voor de verdeling over de bodemtypen. Per saldo kan worden geconcludeerd dat de verdeling van de 80 stortplaatsen een redelijke (kwantitatief en kwalitatief) tot goede representativiteit vertoont ten opzichte van het landelijke beeld.

Op 11 van de 80 geselecteerde stortplaatsen zijn specialistische metingen verricht (zie paragraaf 3.3). Deze 11 zijn geselecteerd in overleg met de provinciale VOS-coördinatoren.

Voor de locatiespecifieke toetsing (zie paragraaf 3.5) zijn aselect 11 stortplaatsen geselecteerd. Voor de voortgang van het project, betrof het die locaties waar reeds de NA-metingen waren verricht. Deze 11 komen niet overeen met de 11 stortplaatsen die geselecteerd zijn voor de specialistische metingen.

3.3 Wijze van uitvoering

Bemonstering

Op elke stortplaats zijn monsters genomen in 4 compartimenten: stortmateriaal en percolaat in de stort (bron), bodem en grondwater buiten de stort (pluim). De monsters buiten de stort zijn genomen zowel boven- als benedenstreams van de stort, en onder de stort.

Het bemonsteringsprogramma wat betreft de vaste fase (grondmonsters en monsters van stortmateriaal) is om kostentechnische redenen gekoppeld aan de uitvoering van het lopende boorprogramma, dat in het kader van de aanleg van de monitoringssystemen (NAVOS-traject) reeds in uitvoering was. Om die reden zijn voor het NA-onderzoek alleen stortplaatsen geselecteerd, waar in het kader van het NAVOS-traject nog boringen moesten worden verricht. De monsters van grond en stortmateriaal ten behoeve van NA zijn dan ook genomen door boorfirma's, die deze NAVOS-boringen in opdracht van de provincies hebben uitgevoerd. Deze bemonsteringen zijn uitgevoerd op basis een speciaal voor dit onderzoek opgesteld NA-bemonsteringsprotocol en onder milieukundige begeleiding van ROYAL HASKONING [5]. Grondwater en percolaat uit de stort zijn bemonsterd uit de binnen het NAVOS-traject reeds geplaatste peilbuizen, de bemonstering is uitgevoerd door ROYAL HASKONING.

Analyses

Het analyseprogramma is opgesplitst in 2 onderdelen:

- basis NA-metingen (A-pakket) op alle 80 stortplaatsen;
- specialistische NA-metingen (B-pakket), om kostentechnische redenen op 11 van de 80 stortplaatsen.

Chemische analyses zijn met name noodzakelijk voor de karakterisatie van de redoxomstandigheden. Er zijn diverse relaties tussen het redoxmilieu en de geochemische samenstelling van percolaat- en grondwater enerzijds en de mate van optreden van natuurlijke processen (microbiologische afbraak, sorptie en chemische vastlegging) anderzijds. Deze relaties zijn afhankelijk van de aard van de aanwezige microverontreiniging. Hiervoor is een uitgebreid pakket aan chemische analyses uitgevoerd, verder genoemd onder de naam pakket A (zie bijlage 3).

Pakket B vertegenwoordigt een aantal specialistische metingen met betrekking tot biologische omzettingen en uitloging van zware metalen. Deze metingen zijn telkens gericht op een specifieke parameter of proces dat van belang is voor NA. Deze informatie kan worden gebruikt ter bevestiging dat de waargenomen veranderingen in concentraties bij de geochemische analyses inderdaad worden veroorzaakt door NA. In bijlage 4 is een gedetailleerd overzicht gegeven van nut en doel van deze metingen. In tabel 2 is hiervan een korte samenvatting weergegeven.

Tabel 2 Waar passen we welke analyses toe en waarom

Wat willen we weten?	BRON		PLUIM	
	<i>Stortmateriaal</i>	<i>Percolaat</i>	<i>Sediment</i>	<i>Grondwater</i>
Zijn de (redox) condities geschikt voor microbiologische afbraak (omgevings condities)?	Geochemische karakterisatie;	Geochemische karakterisatie (oa OXC metingen); Redoxparameters; H2-metingen.	Geochemische karakterisatie.	Geochemische karakterisatie (oa OXC metingen); Redoxparameters; H2-metingen.
Welke micro-organismen zijn er?	DNA-karakterisatie.		DNA-karakterisatie.	
Wat kunnen/doen deze micro-organismen?	Batchproeven op monsters gespiked met VAK, en VOH; BIOLOG's.	Afbraakproducten (GC-MS screening).	Batchproeven op monsters gespiked met VAK, en VOH; BIOLOG's.	Afbraakproducten (GC-MS screening).
Wat is de huidige bronsterkte m.b.t. zware metalen?	Uitloogtesten; AVS*.		AVS*.	
Heeft de stort zijn stabiele eindfase bereikt (stabilisatiegraad)?	Fermentatietesten.			

*AVS: acid volatile sulfide

De analyses van het A-pakket zijn uitgevoerd door het milieulaboratorium van Royal Haskoning. De uitvoering van de specialistische metingen en interpretatie is verdeeld over de consortiumleden zoals in tabel 3 is weergegeven.

Tabel 3 Uitvoering specialistische metingen en interpretatie

Type meting/interpretatie	Uitvoerende
Batchproeven	Bioclear
Biolog's	Vrije Universiteit Amsterdam
H2-metingen	TNO-MEP
DNA-metingen	TNO-MEP
Uitloogproeven	ROYAL HASKONING
Fermentatietesten	TNO-MEP

Uitvoeringsperiode

De bemonsteringen op alle 80 stortplaatsen, verdeeld over 8 provincies, zijn uitgevoerd in de periode van april 1999 tot juni 2000. Per stortplaats zijn de bemonsteringen van de vaste fase en de waterfase binnen een zo kort mogelijk tijdsbestek uitgevoerd om daarmee interpretatieruis als gevolg van seizoensinvloeden zo veel mogelijk te beperken. Hierbij zijn uiteraard wel de vanuit kwaliteitsoogpunt vereiste wachttijden, tussen aanleg van de peilbuizen en de bemonstering, in acht genomen.

Het onderzoeksprogramma werd in totaal uitgevoerd op de volgende monsters:

- 80 stortplaatsen, verdeeld over 8 provincies;
- 584 watermonsters (percolaat en grondwater);
- 160 grondmonsters;
- 240 monsters van stortmateriaal;
- meer dan 120.000 analyseparameters.

3.4 Interpretatiekaders

De interpretatie was gericht op het vinden van correlaties tussen het totaal van alle data van alle 80 stortplaatsen samen teneinde voldoende aanwijzingen voor het optreden van NA te vinden. Het onderzoek had niet tot doel voor alle 80 individuele stortplaatsen een uitspraak te doen over het optreden van NA.

Het optreden van NA werd telkens bepaald door vergelijking van de resultaten van de analyses op monsters bovenstrooms, in de stort en benedenstrooms van de stort. Het idee hierachter is dat de samenstelling van het 'natuurlijke' grondwater bepaald kan worden in peilbuizen bovenstrooms en dat beïnvloeding van dit water door de stort en NA processen kan worden gemeten in de stort en benedenstrooms van de stort.

Voor het bepalen van NA werden 3 onafhankelijke bewijslijnen gebruikt:

1. Overschrijding van de interventiewaarde

Binnen de saneringsregeling Wbb is sprake van een ernstig geval van bodemverontreiniging indien concentraties van microverontreinigingen de zogenaamde I-waarde overschrijden. Binnen het NAVOS-traject wordt dit criterium aangehouden om de 3.800 voormalige stortplaatsen te verdelen in een curatief spoor (> I-waarde) en een preventief spoor (< I-waarde). In dit onderzoek is dit criterium ook gebruikt door onderscheid te maken tussen overschrijding van I-waarde in grondwater binnen en buiten de stort. Buiten de stort is ook gekeken of er sprake is van een beïnvloedingsgebied op grond van gemeten macroparameters. Hierbij is de volgende aanname gehanteerd: indien er geen sprake is van uitloging van macroparameters (bijvoorbeeld ionen), is er ook geen sprake van een uitloging van microverontreinigingen.

Het percentage stortplaatsen waar de I-waarde wordt overschreden is een indicatie voor de mate waarin NA onvoldoende optreedt. De mate en aard van de I-waarde overschrijding zijn vervolgens richtinggevend voor relevantie (of tekortkomingen) van de afzonderlijke NA-processen.

2. NA milieucondities middels statistische analyse en watertype kwarakterisatie

Om deze vraag te beantwoorden zijn statistische analyses uitgevoerd op de resultaten van de geochemische analyses (pakket A). Op deze gegevens zijn bewerkingen uitgevoerd, die zich in de 2 volgende onderdelen laten opsplitsen:

- vaststellen van statistische correlaties met behulp van het softwarepakket SPSS;
- indeling in watertypen met behulp van clusteranalyse.

De eerste evaluatie van gegevens vond plaats door te kijken naar verschillen van grond- en grondwatersamenstelling in de stort en buiten de stort. Hiertoe zijn de meetfilters ingericht en ingedeeld op hydrologische plaatsingsaspecten (boven- en benedenstreams). De data zijn daarna verder onderworpen aan een statistisch onderzoek. Vermeende correlaties tussen de samenstelling van grond en grondwater en het al of niet optreden van NA zijn middels 18 stellingen (zie bijlage 5) getoetst.

Naast de algemene analyse is een statistische techniek gebruikt (clusteranalyse) waarmee alle peilbuisdata zijn ingedeeld in verschillende watertypen op grond van een aantal macroparameters. Dit is gedaan met een tweeledig doel, te weten:

- vaststellen van een relatie tussen de macrochemische samenstelling van het water en de aan- of afwezigheid van natuurlijke processen dan wel microverontreinigingen;
- beoordeling of de positie van peilbuizen bovenstreams, benedenstreams, in de stort en onder de stort op basis van hun macrochemische samenstelling wordt bevestigd (validatie beoogde positie peilbuizen).

Multivariabele statistische methoden zijn speciaal ontwikkeld om in datasets met meerdere variabelen (i.d.g. waterkwaliteitsparameters) de variabelen tegelijk te evalueren. Eén van die technieken is fuzzy c- means cluster analyse. Deze techniek gaat op basis van meerdere waterkwaliteitsparameters tegelijk 'op zoek' in de dataset naar groepen van watersamenstellingen die sterk op elkaar lijken, dus bv. zout water, verontreinigd water etc.

3. Actuele metingen aan NA middels specifieke biologische en chemische analyses

Diverse analyses zijn uitgevoerd die direct of indirect biologische activiteit, de aanwezigheid van biologische groepen, afbraakproducten of andere NA relevante parameters meten. Deze metingen dienen ter bevestiging van waarnemingen uit bovenstaande analyses dat er verlaging van concentratieniveaus optreden en deze worden veroorzaakt door NA. De aanvullende NA metingen werden op de volgende wijze beoordeeld:

- afbraakproducten (gaschromatografie massaspectrum (GC-MS) screening): komen verbindingen zoals vinylchloride (afbraakproduct van tri en per) en alkylfenolen (product van VAK afbraak) voor in het percolaat? Zo ja, dan is dat een sterke aanwijzing voor het optreden van NA;
- acid volatile sulfide (AVS): is er een relatie tussen de concentratie aan zware metalen (in het percolaat van de stortplaats, bovenstreams en benedenstreams) en de gemeten AVS? En zo, ja, is de gemeten AVS verhoogd in de stort ten opzichte van buiten de stort?
- oxidatiecapaciteit (OXC): is de OXC binnen de stort hoger dan buiten de stort? Zo ja, dan is er nog capaciteit om verontreinigingen af te breken;
- BIOLOGS: vertoont het vastgestelde patroon van de BIOLOG een relatie met andere NA parameters, bijvoorbeeld microverontreinigingen. Zo ja, dan bevestigt een bepaald BIOLOG patroon het optreden van NA;
- DNA karakterisatie: hoe divers is de aanwezige microbiologische populatie en vertoont deze diversiteit een relatie met de aan- of afwezigheid van bijvoorbeeld microverontreinigingen of met de plaats van het monster ten opzichte van het stortlichaam? Een zeer divers DNA profiel betekent een grote NA potentie;
- batchproeven: treedt afbraak van de microverontreinigingen (referentiegroepen VAK en VOH) op? Zo ja, dan is NA waarschijnlijk;

- uitloogproeven: treedt uitloging van zware metalen of andere microverontreinigingen op en kan hieruit de potentiële bronsterkte worden afgeleid? Als uitloging niet optreedt, treedt NA waarschijnlijk op;
- fermentatietesten: vertoont het stortmateriaal nog residuele activiteit (bepaald op basis van gasproductie) of is het materiaal volledig gestabiliseerd? Als er slechts geringe fermentatieactiviteit is dan is het stortmateriaal grotendeels gestabiliseerd, en is toekomstige uitloging van verontreinigende stoffen onwaarschijnlijk;
- H₂-metingen: als er verhoogde H₂ concentraties worden gemeten zijn, dat biologisch actieve zones en is het optreden van NA waarschijnlijk.

3.5 Toetsing optreden NA op een selectie van stortplaatsen

Tenslotte is op een beperkt aantal (11) stortplaatsen een toetsing gedaan op het niveau van de individuele stortplaats om een uitspraak te doen over het al of niet optreden van NA op deze locatie en de mate waarin deze potentie voldoende is om uitloging van microverontreinigingen te voorkomen. Deze analyse diende ter bevestiging van de gevonden relaties in de voorgaande drie lijnen van bewijs. Er is een analyse gemaakt van alle beschikbare gegevens van deze stortplaatsen. Bij de interpretatie van deze stortplaatsen zijn de gegevens per stortplaats volgens een bepaald schema gerangschikt en geïnterpreteerd. Het gebruikte afwegingskader bestond uit de volgende onderdelen:

- het bepalen of de bemonsterde peilbuizen inderdaad bovenstrooms, in en onder de stort en benedenstrooms van de stortplaats zijn geplaatst (op basis van geleidbaarheid, concentraties van bepaalde macroparameters (chloride, sulfaat);
- welke redoxcondities zijn dominant in de stort en benedenstrooms en duiden deze op een opeenvolging van biologische processen?
- welke microverontreinigingen zijn in verhoogde concentraties aanwezig in de stort (potentiële bronsterkte);
- is er potentie voor biologische afbraak (zijn de redoxcondities gunstig voor afbraak, worden tussenproducten aangetoond, nemen de concentraties af in de stroombaan);
- wat is de reële bronsterkte in de stort (potentiële bronsterkte minus potentie voor biologische afbraak).

Op deze wijze is per stortplaats en per stofgroep bepaald of NA optrad en NA voldoende was om verdere uitloging te voorkomen.

3.6 Beoordeling NA

Om te beoordelen of NA een structureel voorkomend proces is op voormalige stortplaatsen werd in dit onderzoek gebruik gemaakt van een combinatie van onderstaande 3 bewijslijnen. NA is een belangrijk proces op voormalige stortplaatsen als:

- er geen I-waarde overschrijding plaatsvindt buiten de stort of de concentraties buiten de stort lager zijn dan in de stort en;
- de statistische analyses uitwijzen dat de milieucondities voor NA gunstig zijn en de gemeten samenstelling van het grondwater wijzen op het optreden van NA en/of;
- de aanvullende actuele NA metingen op meerdere stortplaatsen actieve biologische en of fysisch/chemische NA processen aantonen.

Middels een toetsing op 11 stortplaatsen op locatiespecifiek niveau is het optreden van NA vastgesteld om verdere onderbouwing te geven aan bovenstaande lijnen van bewijs.

Geen van deze lijnen van bewijs alleen is voldoende om aan te geven dat NA een belangrijk proces is op voormalige stortplaatsen maar de combinatie van de 3 lijnen van bewijs maakt het wel mogelijk om conclusies te trekken omtrent de structurele aard van NA op voormalige stortplaatsen.

4 ONDERZOEKRESULTATEN

4.1 Overschrijdingen interventiewaarden

Het voorkomen van verschillende microverontreinigingen zoals gemeten door middel van pakket A, binnen en buiten de stortplaatsen wordt hieronder samengevat:

- er zijn geen verhoogde gehalten aan HCH's (hexachloorcyclohexaan) en PCB's (polychloorbifenolen) aangetroffen (ten opzichte van de streefwaarde (S-waarde)). Monochloorbenzeen (afbraakproduct) is in licht verhoogde gehalten aangetroffen (slechts één I-waarde overschrijding);
- minerale olie wordt alleen aangetroffen boven de I-waarde in het stortlichaam. De aangetroffen gehalten aan minerale olie betreffen voornamelijk de lagere ketenlengtes (vnl. C10-C14 en C14-C20).
- PAK, VAK en minerale olie zijn, indien aangetoond, bijna uitsluitend binnen de stort aangetroffen;
- Bij de zware metalen wordt I-waarde overschrijding met name gevonden voor arseen, barium en nikkel;
- Van alle I-waarde overschrijdingen komen zware metalen het meeste voor;
- Ook bij peilbuizen die zijn gekarakteriseerd als bovenstrooms worden I-waarde overschrijdingen gevonden, zeker bij zware metalen lijkt dit deels te kunnen worden verklaard door verhoogde achtergrondwaarden (tabel 4).

Als de gegevens van alle peilbuizen worden gegroepeerd naar het voorkomen van bepaalde microverontreinigingen, ontstaat een globaal beeld van de verontreinigingssituaties op voormalige stortplaatsen.

- Bij 80% van de stortplaatsen is sprake van een beïnvloedingsgebied (pluim) op grond van aangetroffen macroparameters; dit betekent dat er in principe ook microverontreinigingen uit de stort hebben kunnen treden;
- Bij ruim 43% van de stortplaatsen zijn I-waarde overschrijdingen in de stort gemeten (tabel 4);
- Bij 30% van de stortplaatsen zijn buiten de stort (zowel bovenstrooms, benedenstrooms als direct onder de stortplaats) microverontreinigingen > I-waarde aangetroffen. Zware metalen zijn de meest voorkomende verontreiniging boven de I-waarde. Dit beeld komt overeen met het landelijke beeld. Het is gebaseerd op die stortplaatsen, waarvan bij het ter perse gaan van dit document analyseresultaten uit de eerste NAVOS-monitoringsronde m.b.t. microverontreinigingen bekend zijn;
- Indien buiten de stort microverontreinigingen in hoge concentraties (> I-waarde) werden aangetroffen, betrof het in 90% van de gevallen stortplaatsen op het bodemtype "aquifer" (zandige bodem met relatief hoge grondwaterstromingssnelheden);

Tabel 4 Interventiewaarden overschrijding per parameter

	Totaal locaties		Bovenstrooms	Benedenstrooms	In het stortlichaam	Onder het stortlichaam
	Aantal	%	%	%	%	%
locatieniveau	48	60	23	38	73	25
VOH						
1,1-Dichloorethaan	1	1,25	0	0	100	0
1,1-Dichlooretheen	1	1,25	0	0	100	0
cis-1,2-Dichlooretheen	2	2,5	0	50	50	0
trans-1,2-Dichlooretheen	1	1,25	0	0	100	0
Vinylchloride	3	3,75	0	67	33	33
PAK						
Naftaleen	8	10	0	0	100	38
Anthraceen	6	7,5	0	0	100	50
Fenanthreen	12	15	0	8	92	33
Fluoranthreen	13	16,25	0	8	92	31
Benzo(a)anthraceen	6	7,5	17	0	100	50
Benzo(a)pyreen	8	10	0	0	100	50
Benzo(ghi)perylene	6	7,5	0	0	100	50
Chryseen	7	8,75	0	0	100	57
Indeno(123cd)pyreen	5	6,25	0	0	100	60
Zware metalen						
Arseen	14	17,5	21	29	79	21
Barium	21	26,25	5	10	76	19
Cadmium (ICP-USV)	3	3,75	33	67	0	0
Chroom	7	8,75	43	29	86	57
Koper	3	3,75	0	33	67	67
Kwik	1	1,25	0	100	0	0
Lood	3	3,75	0	0	100	67
Nikkel (ICP-USV)	8	10	25	50	50	0
Molybdeen (ICP-USV)	1	1,25	0	100	100	0
Zink	9	11,25	11	44	44	22
VAK						
Benzeen	8	10	50	25	75	50
Ethylbenzeen	2	2,5	0	0	100	50
Tolueen	1	1,25	0	100	0	0
Xylenen	10	12,5	0	10	90	40
Styreen	1	1,25	0	0	100	0
Gehalogeneerde aromaten						
Monochloorbenzeen	1	1,25	0	0	100	100
Min. olie (GC)	5	6,25	0	20	80	60

Noot: In de kolom totaal locaties staat het aantal locaties vermeld, waar de interventiewaarde wordt overschreden, op parameterniveau. Indien een parameter niet in de lijst voorkomt, is deze niet boven de interventiewaarde aangetroffen. Het is mogelijk dat meerdere parameters op 1 locatie worden overschreden.

Om inzicht te krijgen waar de overschrijding zich t.o.v. het stortlichaam zich voordoet (bovenstrooms, benedenstrooms, in het stortlichaam of onder het stortlichaam), zijn in de overige kolommen de percentages weergegeven waar deze overschrijding plaatsvindt. Bijvoorbeeld arseen, op 14 locaties (17,5% van de totale locatie) wordt de interventiewaarde overschreden. Op 21% van deze locaties komt de overschrijding bovenstrooms voor, op 29% van die locaties benedenstrooms, op 79% van die locaties in het stortlichaam en 21% van die locaties onder het stortlichaam. Tevens blijkt dat op een locatie deze overschrijding zowel bovenstrooms, benedenstrooms, onder het stortlichaam en in het stortlichaam kan voorkomen.

- In circa 15% van alle stroomafwaartse peilbuizen zijn zware metalen > I-waarde aangetroffen, terwijl deze noch stroomopwaarts noch in de stort zijn gemeten;
- Locaties met I-waarde overschrijdingen komen regionaal gezien relatief het meest in de provincies Overijssel, Fryslân, Noord-Holland en Zeeland voor;
- De I-waarde overschrijdingen door met name PAK komen vooral voor in de provincie Fryslân, door zware metalen met name in Noord-Brabant en Overijssel, door BTEXN (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen en naftaleen) en zware metalen in Zeeland en door barium met name in Zuid-Holland.

De resultaten van de I-waarde overschrijdingen staan samengevat in tabel 5.

Tabel 5 Interventiewaarden overschrijdingen in % stortplaatsen

	Bovenstrooms	Stort	Benedenstrooms
VOH	0,0%	1,3%	2,5%
VAK	1,3%	11,3%	2,5%
PAK	0,0%	20,0%	1,3%
Zware metalen	12,5%	30,0%	18,8%

4.2 Bepalen NA milieuecondities middels statistische analyse en watertype karakterisatie

4.2.1 Statistische analyse

De statistische analyse van de gegevens uit pakket A (zie bijlage 3) leidde tot de volgende waarnemingen:

- vrijwel alle stortplaatsen zijn reducerend, met name de stortplaatsen met brak/zout percolaat (percolaat afkomstig uit de stortplaats). Deze laatst genoemde stortplaatsen bevatten van nature meer nutriënten waardoor mogelijk sprake is van een grotere activiteit van de door micro-organismen veroorzaakte redoxprocessen (o.a. afbraak van organisch materiaal en verontreinigingen). Slechts bij twee stortplaatsen zijn alle geanalyseerde peilbuizen oxiderend (dwz bovenstrooms, benedenstrooms en onder de stortplaats). Dit betreft de stortplaatsen FR/051/002 en UT/015/025;
- er is geen duidelijke verband tussen de redoxpotentiaal en het percentage (%) huishoudelijk afval of het % bouw- en sloopafval. De redoxpotentiaal varieert globaal tussen de + 100 en - 150 mV. Een toename van het percentage aan huishoudelijk afval heeft niet geleid tot een lagere redoxpotentiaal. Ook met het % chemisch afval is geen verband met de redoxpotentiaal gevonden. Het opgelost organisch koolstof (DOC) gehalte vertoont eveneens geen duidelijke relatie met zowel het % huishoudelijk afval, het % bouw- en sloopafval en het % chemisch afval;
- de temperatuur van het grondwater in de stortplaatsen is in het algemeen hoger (ongeveer 2 °C) dan buiten de stort, dit duidt op verhoogde biologische activiteit. Overige indicaties voor biologische activiteit zijn: verhoogde alkaliteit, verlaging van sulfaatconcentratie, lage tot zeer lage biologisch zuurstof verbruik (BZV). Dit bevestigt de overige verschillen in macro-parameters (zoals redoxpotentiaal, nitraat, ijzer, sulfaat, etc.) die eveneens duiden op de aanwezigheid van een biologisch actieve zone in de stortplaatsen;

- de aanwezigheid van benzeen, toluen, ethylbenzen en xylenen (BTEX) gaat in het algemeen gepaard met de aanwezigheid van alkylfenolen (som) en wordt vooral in het stortlichaam waargenomen. Alkylfenolen worden onder andere gevormd bij omzetting van toluen, ethylbenzeen of xylenen in een gereduceerd milieu. Opvallend is dat de alkylfenolen (som) slechts in een paar gevallen stroomafwaarts van de stort zijn aangetroffen. Blijkbaar vindt voldoende afbraak plaats van de zeer mobiele fenolen (die overigens ook als verontreiniging gestort kunnen zijn);
- als in het percolaat microverontreinigingen werden aangetroffen waren dat met name BTEX, PAK, alkylbenzenen en (mono)chloorbenzenen. Deze stoffen zijn reducerend moeilijk of niet afbreekbaar. In oxiderend grondwater stroomafwaarts van stortlichamen worden deze stoffen niet aangetroffen, deze stoffen zijn onder oxiderende condities goed afbreekbaar;
- de pH-range is voor percolaat kleiner dan voor grondwater buiten de stort en schommelt, enkele uitschieters daargelaten tussen 6,5 en 7,0. Kennelijk convergeert de pH in de stort naar waarden binnen deze range. Dit is in overeenstemming met de theorie dat de verzurende fase, die ingaat kort na het storten overgaat in een fase waarin de pH langzaam stijgt.

4.2.2 Watertype karakterisatie

Er is getracht om op basis van de 18 stellingen (bijlage 5) te komen tot een voorspellende methodiek voor het optreden van NA, gebaseerd op de aanwezigheid van bepaalde verhoudingen van chemische parameters. Dit bleek binnen de beschikbare dataset niet mogelijk door de te grote spreiding binnen de gegevens.

Clusteranalyse van alle grondwaterdata (bijlage 5) resulteerde wel in 6 watertypen op grond van macrochemische watersamenstelling. Elk watertype is geclassificeerd naar een bandbreedte van concentraties van een vaste set van macroparameters, zoals gemeten bij de 80 stortplaatsen. In tabel 6 is de indeling gegeven met vermelding van de belangrijkste chemische kenmerken.

Het ligt voor de hand de watertypes te kunnen koppelen aan de plaats waar ze ten opzichte van een stort worden verwacht. Deze ideale koppeling ziet er dan als volgt uit:

- watertype 1, 2 en 6: bovenstrooms;
- watertype 3 en 6: benedenstrooms;
- watertype 4: onder de stort;
- watertype 5: in stort.

Op basis van deze koppeling is een kruistabel opgesteld van de vooraf beoogde positie van de geplaatste peilbuizen op de 80 stortplaatsen versus daarin aangetroffen watertype. Het resultaat hiervan is weergegeven in tabel 7. De grijs gearceerde cellen geven aan dat het weergegeven percentage van de watertypen voldoet aan het gestelde ideaalbeeld.

Tabel 6 Indeling in watertypen op basis van macrochemie

	<i>Watertype</i>	<i>Belangrijkste kenmerken</i>	<i>Opmerkingen</i>
1	Zure regen, natuurlijk grondwater	PH < 6; geen ijzer; lage concentraties macro's bevat nitraat; relatief veel zuurstof;	regenwater dat is geïnfiltreerd in kalkarme zandgebieden; komt m.n. voor in Noord-Brabant, Overijssel en Utrecht;
2	Anoxisch kalkbufferend, natuurlijk grondwater	pH > 6; veel ijzer; geen nitraat; geen zuurstof;	o.a. kalkrijke zandgronden in Noord-Brabant;
3	Licht stortbeïnvloed grondwater	verhoogd NH ₄ , DOC, ijzer; geen zuurstof en nitraat; geen zware metalen; licht verhoogde BTEX;	komt in alle Provincies voor;
4	Matig stortbeïnvloed grondwater	zeer veel NH ₄ , DOC, CZV; sterk gereduceerd water; anaëroob slecht afbreekbare stoffen aanwezig (BTEX, PAK, fenolen); hoge AVS; hoog organisch stofgehalte; nauwelijks zware metalen; hoog ijzer;	
5	Sterk stortbeïnvloed grondwater	overtreffende trap van watertype 4;	
6	Brak, natuurlijk grondwater of licht stort beïnvloed grondwater	hoogste concentraties macro-ionen;	vooral aangetroffen in Zeeland en Flevoland;

Tabel 7 Verdeling watertypen per peilbuispositie (546 peilbuizen)

Werkelijke positie peilbuizen	Beoogde positie peilbuizen						Percentage (%) ideaalbeeld c.q. verklaarbaar
	bovenstrooms		in stort	onder stort	benedenstrooms		
	watertype 1 natuurlijk grondwater	watertype 2 natuurlijk grondwater	watertype 5 sterk stort beïnvloed	watertype 4 matig stort beïnvloed	watertype 3 licht stort beïnvloed	watertype 6 brak natuurlijk grondwater of licht stort beïnvloed	
Bovenstrooms	37%	25%	1%	3%	8%	25%	62-95%
In stort	0%	0%	48%	38%	7%	7%	86%
Onder stort	10%	13%	16%	29%	12%	20%	77%
Benedenstrooms	21%	21%	0%	14%	20%	24%	58%

Interpretatie van de tabel levert de volgende toelichting op:

- bovenstrooms geplaatste peilbuizen kunnen zo dicht bij de stort zijn geplaatst dat - met name in geval van alzijdige afstroming- het daarin aangetroffen watertype ook als licht stortbeïnvloed kan worden gekarakteriseerd (watertype 3 en 6 met totaal 33%). In dat geval zou het totaalpercentage bovenstrooms dat voldoet aan het ideaalbeeld worden verhoogd tot 95%;
- peilbuizen onder de stort kunnen natuurlijk ook een sterk of licht stortbeïnvloed watertype bevatten. Om die reden vallen watertype 3, 5 en 6 ook onder het ideaalbeeld;
- bij de benedenstroomse peilbuizen valt op dat ook wordt gescoord op bij watertype 1 en 2. Dit betekent dat deze stroomafwaartse peilbuizen wel benedenstrooms staan, echter in het natuurlijk grondwater buiten het beïnvloedingsgebied (macropluim) van de stortplaats en dus niet meegeteld worden in de NA-beoordeling.

Geredeneerd vanuit het geschetste ideaalbeeld (de grijs gearceerde cellen) en rekening houdend met bovenstaande opmerkingen, kan worden geconcludeerd dat de geplaatste peilbuizen redelijk tot goed corresponderen met de daar verwachte watertypes. Geconcludeerd kan worden dat de peilbuizen goed zijn geplaatst en conclusies getrokken kunnen worden op basis van de veronderstelde stroombaan.

4.3 Aanvullende specifieke NA metingen op 11 stortplaatsen

- In de GC-MS screening zijn de producten van biologische afbraak vinylchloride en alkylfenolen aangetroffen. Vinylchloride wordt gevormd bij de afbraak van perchloorethyleen in een sterk reducerend milieu en het is zeer onwaarschijnlijk dat vinylchloride is gestort. Alkylfenolen zijn producten van de microbiologische afbraak van BTEX in een reducerend milieu en zijn ook geen algemeen gebruikte chemicaliën die gestort zouden kunnen zijn. Het voornamelijk voorkomen van producten van natuurlijke afbraak in de stort en in veel mindere mate buiten de stort, gaat gepaard met gunstige condities voor natuurlijke afbraak van gechlorideerde verbindingen (o.a. sulfaatreducerend tot methanogeen milieu, hoge DOC, pH tussen 6 – 8). Hetgeen een directe aanwijzing is voor het optreden van NA. De verschillende typen afbraakproduct komen niet allemaal even veel voor en over het algemeen is het aantal stortplaatsen waar deze producten kunnen worden aangetroffen laag (tabel 8). Het percentage stortplaatsen waar een of meer producten van biologische afbraak is aangetroffen bedraagt 39%.

Tabel 8 Resultaten GC-MS screening met stortmateriaal (binnen de stort) en sedimentmateriaal (buiten de stort) uitgedrukt in percentage stortlocaties, waar biologische afbraakproducten (vinylchloride en alkylfenolen) zijn aangetoond.

	binnen de stort	buiten de stort
Vinylchloride	7.5%	6.25%
Alkylfenolen	31.25%	5%

- Op basis van de vastgestelde AVS-waarden in het stortmateriaal/ sediment blijkt een duidelijke relatie met de concentratie aan zware metalen in zowel het percolaat als het grondwater onder de stort. Hoe hoger de AVS-waarde, hoe lager de concentratie aan zware metalen in het grondwater. De vastgestelde AVS-gehalten vertonen in het

algemeen de trend van hoge waarden in de stort en lage waarden stroomafwaarts in het sediment. De AVS in stortlichamen is verhoogd ten opzichte van de omgeving (achtergrondwaarde van 40 mg/L bepaald in bovenstroomse peilbuizen). Hetgeen betekent dat de neiging tot vorming van metaalsulfiden in de stort hoog is en dus zware metalen geïmmobiliseerd kunnen worden. Meer dan de helft van alle monsters genomen in de stort vertoont een verhoogd AVS gehalte hetgeen duidt op potentie tot vastlegging van zware metalen (tabel 9);

Tabel 9 Resultaten AVS metingen met stortmateriaal (binnen de stort) en sedimentmateriaal (buiten de stort) uitgedrukt in percentage stortlocaties met een verhoogd AVS gehalte

	binnen de stort	buiten de stort
Verhoogd AVS	62.5%	12.5%

- In de meeste stortplaatsen blijkt een verhoogde OXC aanwezig te zijn. De OXC neemt in het algemeen af, onder de stort is de OXC hoger dan stroomafwaarts van de stort. De OXC meting bleek tijdens het project toch geen maat voor oxidatiecapaciteit te zijn, omdat de meting geen verschil maakt tussen geoxideerd en gereduceerd ijzer. Geoxideerd ijzer heeft wel oxidatiecapaciteit, gereduceerd ijzer heeft geen oxidatiecapaciteit. Om die reden wordt verder niet op deze meting ingegaan;
- De BIOLOG meting geeft een beeld van de omzettingspotentie van een bodem- of stortmonster voor een aantal vooraf geselecteerde substraten. Daarmee wordt een indruk verkregen van de diversiteit van afbraakcapaciteit. Dit is een maat voor de biodiversiteit, omdat verwacht wordt dat verschillende substraten door verschillende bacteriestammen worden afgebroken. Een enkele bacteriestam kan mogelijk ook meerdere substraten omzetten. Als alle data tegelijk statistisch werden geanalyseerd door middel van data reductie met behulp van Principle Component Analysis (PCA), trad echter geen clustering op van verwachte vervuilde en onvervuilde monsters. Op het niveau van de individuele stort werd duidelijk dat de geohydrochemie feitelijk een van de belangrijkste bepalende componenten voor de uitkomst van de BIOLOG meting is. Geohydrochemisch ingewikkelde plaatsen, zoals Coupepolder te Alphen a/d Rijn [2] en hoogstwaarschijnlijk de Penningsveer stortplaats te Haarlem, kunnen door het ontbreken van een duidelijke pluim en de heterogeniteit van de ondergrond moeilijk worden geanalyseerd. Daarentegen kunnen geohydrochemisch meer homogene plaatsen zoals Banisveld te Boxtel en mogelijk de stortplaats de Tolweg in Sprang Capelle goed worden geanalyseerd met BIOLOG. In dit project bleek de BIOLOG meting bij de meeste stortplaatsen niet te kunnen worden geïnterpreteerd als een aanwijzing voor het optreden van NA;
- Op grond van de resultaten van de DNA/RNA metingen is bij de 11 onderzochte stortplaatsen duidelijk een grote microbiële biodiversiteit in zowel het stortmateriaal als het sediment aanwezig. De meerderheid van het stortmateriaal is onder te verdelen in drie clusters van DNA-profielen, terwijl de meeste sedimentmonsters in twee clusters zijn in te delen. Vanwege de hoge diversiteit blijkt het erg lastig om deze clusters te vertalen naar specifieke biologische processen en NA;
- Uit de batchproeven blijkt dat in monsters van de stortplaatsen afbraak van extra toegevoegde VOH (perchloorethyleen) of BTEX optreedt. In sommige gevallen wordt volledige afbraak van VOH gevonden (ethen gemeten). Onder deze condities is afbraak van BTEX juist geremd. Afbraak van BTEX is daarentegen vooral met

sedimentmonsters van buiten de stortplaats aangetoond, waarbij afbraakproducten zoals fenolen en benzoaten zijn aangetroffen. In deze monsters is afbraak van perchloorethyleen en dechloreringsproducten juist weer geremd. De microbiologische populaties op de meeste onderzochte (75-85%) stortplaatsen hebben daarom daadwerkelijk een potentie tot biologische afbraak van VAK en VOH (tabel 10);

Tabel 10 Resultaten van batchproeven met stortmateriaal (binnen de stort) en sedimentmateriaal (buiten de stort).

	binnen de stort	buiten de stort
Biologische afbraak aangetoond van VOH	87%	45%
Biologische afbraak aangetoond van BTEX	75%	91%

- In de uitloogtesten is in monsters van twee van de 11 onderzochte stortplaatsen in het percolaat van de kolomtesten, gevuld met stortmateriaal, een I-waarde overschrijding aangetroffen (tabel 11). De modelberekeningen laten zien dat de concentraties in het percolaat binnen 2 jaar tot beneden de I-waarde dalen. Op basis van dezelfde modelberekeningen duurt het 10 tot ruim 1000 jaar voordat de concentraties in het percolaat beneden de streefwaarde zijn gedaald. In de overige monsters werd geen uitloging tot boven de interventiewaarde aangetroffen hetgeen aantoont dat de zware metalen in het stortmateriaal over het algemeen weinig mobiel zijn;

Tabel 11 Resultaten uitloogproeven zware metalen met stortmateriaal

	binnen de stort	buiten de stort
Geen uitloging van zware metalen	82%	Niet getest

- Op grond van de resultaten van de fermentatietesten volgt onder meer dat de onderzochte stortplaatsen vergaand gestabiliseerd organisch materiaal bevatten. De aanwezige organische fractie is moeilijk afbreekbaar (laag gasvormingspotentieel). De concentraties zware metalen nemen, waarschijnlijk door vastlegging, af tijdens de incubatie. De toekomstige bronsterkte van deze stortplaatsen is dus als laag te beschouwen;
- Op basis van de resultaten van de H₂-metingen is geconcludeerd dat de meerwaarde van deze metingen zeer wisselend is per stortplaats. De H₂-meting is een waardevolle aanvulling in die situaties waarde redox-condities zeer complex zijn, en meer informatie gewenst is om het redoxmilieu te kunnen karakteriseren.

4.4 Locatiespecifieke beoordeling

Op een willekeurige selectie van 11 stortplaatsen is een locatiespecifieke beoordeling van de beschikbare data gedaan om te komen tot een inschatting van het NA potentieel. Dit NA potentieel is ingeschat per groep van componenten. Uit de uitwerking van deze onderdelen is de volgende informatie afgeleid:

- indien blijkt dat de bemonsterde peilbuizen niet in een stroombaan staan is de waarde van de conclusies beperkt; eventueel dient het onderzoek uitgebreid te worden met aanvullende peilbuizen die zich wel in een stroombaan bevinden;

- als er stroomafwaarts van het stortlichaam geen pluim aanwezig is dan is de verspreiding en dus het risico van eventueel aanwezige verontreinigingen gering;
- als de redoxchemie in of stroomafwaarts van het stortlichaam duidelijk verschilt van de redoxchemie in het instromende grondwater is de stortplaats biologisch actief;
- zijn de aanwezige verontreinigingen onder de heersende omstandigheden biologisch afbreekbaar, dan treedt deze afbraak ook op (aan de hand van aanwezige afbraakproducten).

Op basis van deze informatie kunnen de stortplaatsen ingedeeld worden. Deze indeling is gebaseerd op het (potentiële) risico, die deze stortplaatsen hebben voor hun directe omgeving.

BTEX/naftaleen

Op de stortplaatsen waar BTEX en naftaleen zijn aangetroffen, is de afbraakpotentie voor deze stoffen overal aanwezig. De reële bronsterkte (resultante van interventiewaarde overschrijdingen in het stortlichaam en afbraakpotentie) is daarom voor BTEX en naftaleen op de bij de interpretatie betrokken stortplaatsen laag.

PAK's en minerale olie

Voor PAK's en minerale olie is de NA-potentie op 7 van de 8 stortplaatsen (88%) aanwezig. Slechts op één stortplaats wordt de NA-potentie als onvoldoende ingeschat. De reële bronsterkte voor PAK's en minerale olie is echter voor alle stortplaatsen laag omdat of de potentiële bronsterkte laag is, de NA-potentie voldoende hoog is of een combinatie hiervan.

Gehalogeneerde koolwaterstoffen

De NA-potentie voor gehalogeneerde koolwaterstoffen is op 8 van de 9 stortplaatsen (89%) waar deze verbindingen aanwezig zijn voldoende, waardoor de reële bronsterkte laag is. Slechts op 1 stortplaats is de NA-potentie onvoldoende en is de potentiële bronsterkte hoog. Hierdoor is de reële bronsterkte hoog en is deze stortplaats een risico wat betreft gehalogeneerde koolwaterstoffen inhoudt.

Zware metalen

De potentiële bronsterkte voor zware metalen is op 8 van de 11 stortplaatsen hoog (overschrijding interventiewaarde in het stortlichaam). Dit is veel hoger dan in de totale dataset van 80 stortplaatsen in het NA onderzoek, waardoor duidelijk wordt dat deze 11 stortplaatsen geen representatieve steekproef vormen binnen de dataset. Doordat de NA-potentie op 4 van deze 8 stortplaatsen voldoende is, wordt de reële bronsterkte op deze 4 stortplaatsen als laag ingeschat en is de reële bronsterkte voor zware metalen op 4 van de 11 stortplaatsen (36%) hoog.

Samenvatting

Op basis van de resultaten is de NA-potentie voor de elf stortplaatsen samengevat in cijfers van 0 tot 3. Een score van 0 staat voor de afwezigheid van NA-processen (afbraak en vastlegging) en een score van 3 staat voor een hoge NA-potentie. Van de 11 stortplaatsen krijgt één stortplaats een score van 0, 3 stortplaatsen een score van 1, 5 stortplaatsen een score van 2 en twee stortplaatsen een score van 3.

Door alleen onderscheid te maken tussen geen NA potentie of NA potentie aanwezig, wordt deze score vereenvoudigd. Daarnaast is gesteld dat een stortplaats NA potentie bezit als minstens 1 van de bepalende processen (afbraak VOH, VAK, PAK en minerale

olie of vastlegging van zware metalen) optreedt. Onder deze condities wordt duidelijk dat NA-processen optreden in 10 tot 11 van de 11 stortplaatsen (90-100%) voor één of meerdere te onderscheiden groepen van verontreinigingen. Eventuele risico's worden met name bepaald door zware metalen (tabel 12).

Tabel 12 Locatiespecifieke beoordeling van NA potentie op set van 11 stortplaatsen

	NA potentie aanwezig
VAK	100%
PAK en minerale olie	88%
VOH	89%
Zware metalen	64%

5 INTERPRETATIE EN DISCUSSIE

5.1 Algemeen

In kwantitatieve zin vertegenwoordigen de 80 stortplaatsen slechts 2% van het totaal aantal van 3.800 stortplaatsen. Statistisch gezien moet dit worden gekwalificeerd als een kleine steekproef. Dit betekent dat de resultaten van het NA-onderzoek niet zonder meer kunnen worden geëxtrapoleerd naar de landelijke situatie.

In dit onderzoek zijn vier lijnen van bewijsvoering gebruikt om het optreden van NA aan te tonen op voormalige stortplaatsen. Het is gebleken dat op basis van de gemeten milieucondities verwacht kan worden dat op vrijwel alle onderzochte stortplaatsen sprake is van NA-potentie voor een of meerdere microverontreinigingen. Onder NA-potentie wordt verstaan dat de noodzakelijke (chemische) condities waarin NA kan plaatsvinden gunstig zijn (circumstantial evidence).

Biologische afbraak organische verbindingen

Bijna alle storten zijn organisch gedichteerd (aanwezigheid van organisch materiaal als katalysator voor het optreden van rottingsprocessen), waardoor het milieu in de stort reducerend is en er sprake is van een voor NA gunstige opeenvolging van redox milieus. In een gereduceerd milieu in de stort slaan zware metalen neer en treedt afbraak op van gechloreerde oplosmiddelen en bestrijdingsmiddelen. In het minder gereduceerde milieu aan de randen van de stort breken de BTEX en PAK af. Hiervoor zijn zowel indirecte bewijzen gevonden, zoals de aanwezigheid van een sterk gereduceerd milieu (redoxparameters, geochemische karakterisatie) als directe aanwijzingen, zoals de aanwezigheid van unieke producten van biologische afbraak in de stort en de biologische afbraakpotentie in batchproeven. De reducerende omstandigheden worden verder bevestigd door de afwezigheid van gemakkelijk anaëroob afbreekbare stoffen (VOH) en de aanwezigheid van moeilijk anaëroob afbreekbare stoffen (benzeen, PAK, alkylbenzeen, monochloorbenzeen). Verdere aanwijzingen van de biologische activiteit waren o.a.: de alkaliteit in het stortlichaam is hoog, er vindt ijzer en sulfaatreductie plaats en de temperatuur van het grondwater in de stort is hoger dan erbuiten. Dit zijn allemaal redenen om aan te nemen dat er biologische afbraakprocessen optreden.

Deze conclusies kunnen worden getrokken mede doordat de veronderstelde positie van peilbuizen ten opzichte van de stort en de stroombaan kon worden gevalideerd middels een innovatieve statistische analyse: karakterisatie van watertypen.

Precipitatie zware metalen

De aanwezigheid van een relatief hoge AVS in combinatie met de aanwezigheid van sulfaat geeft aan dat de condities in de stort gunstig zijn voor de vastlegging van zware metalen (dit heeft dus ook al plaatsgevonden) en dat voldoende buffercapaciteit aanwezig is. Een hoge AVS-waarde van het stortmateriaal/sediment, voorraad aan $\text{SO}_4(\text{s})$ én aanvoer van SO_4 in het grondwater wijzen erop dat de stortcondities duidelijk de potentie hebben tot vorming van metaalsulfides, plus dat voldoende buffercapaciteit in de toekomst aanwezig is.

Macroparameters

Andere componenten die uitlogen zijn ionen en anionen, samengevat onder de noemer macroparameters. Voor NA zijn macroparameters van belang als indicator voor uitloging. De hypothese dat alleen microverontreinigingen uit kunnen logen als ook macroparameters uitlogen, bleek in dit onderzoek correct. Dit betekent dat stortplaatsen waar geen macroparameters uitlogen geen verspreidingsrisico's kennen. Voor het NA onderzoek bleek dit een minder bruikbaar instrument, omdat in bijna alle (80%) stortplaatsen uitloging van macroparameters optreedt. Deze componenten zijn niet bepalend voor het risicoprofiel van een stortplaats, maar kunnen wel via kwel ecologische effecten hebben op het ecosysteem rond stortplaatsen.

Afhankelijk van de ligging van de stortplaats (bijvoorbeeld kwetsbaar natuurgebied) en/of het stroomafwaartse gebruik van het grondwater (bijvoorbeeld drinkwatervoorziening en veedrenking), verdient het aanbeveling risico's hiervan nader te bepalen.

Zware metalen benedenstrooms

Bij een kleine groep stortplaatsen zijn zware metalen (boven de I-waarde) stroomafwaarts aangetroffen, terwijl deze niet verhoogd zijn in het percolaat in de stort. Een verklaring voor deze waarneming is dat als gevolg van verspreiding van water met een verhoogd gehalte aan an- en kationen er buiten de stort mobilisatie van natuurlijk aanwezige zware metalen optreedt. Dit laatste proces is te verklaren als gevolg van verdringing van de zware metalen van adsorptieplaatsen (an- en kationenuitwisselingsprocessen aan o.a. kleimineralen en ijzer- en mangaanoxides). In welke mate anorganische liganden zoals chloride en ammonium een rol spelen bij de mobiliteit van de zware metalen (complexen), is nog onbekend. Daarnaast kan mogelijk de natuurlijke variatie van deze componenten een rol spelen bij de aangetroffen concentratie.

Invloed hoeveelheid organisch materiaal

Er is geen correlatie gevonden tussen de hoeveelheid huishoudelijk afval (organisch materiaal) en de mate van NA-potentie. In alle onderzochte storten zijn redelijk gelijkmatige concentraties van verhoogd totaal organisch koolstof (TOC) gemeten. Deze stortplaatsen bevinden zich allen in een sulfaatreducerende tot methanogene eindfase. Dit betekent dat de onderzochte storten als gevolg van hun leeftijd (ouder dan 30 jaar) chemisch-biologisch allemaal op elkaar lijken en dat het onderscheidend vermogen met betrekking tot de mate van NA-potentie op grond van de initiële samenstelling van het gestorte materiaal in loop der tijd door verouderingsprocessen teniet is gedaan.

In de stortlichamen is het organisch stofgehalte (zowel TOC in grond als DOC in water) wel verhoogd ten opzichte van de omgeving, wat betekent dat organisch stof uitloopt uit de stort.

Bewijslast NA-potentie

De resultaten van de drie lijnen van bewijsvoering zijn gecombineerd om een goede onderbouwing te kunnen geven van de relevantie van het optreden van NA op voormalige stortplaatsen.

De eerste bewijslijn, het aantal I-waarde overschrijdingen, is een eenvoudig te bepalen parameter. De gebruikte parameter is “het aantal stortplaatsen waar geen I-waarde overschrijding van geen enkele microverontreiniging optreedt buiten de stortplaats”. Het feit dat geen I-waarde overschrijding plaats vindt, kan veroorzaakt worden doordat er geen verontreiniging aanwezig was op de stort. Het kan ook betekenen, dat NA processen hebben geleid tot afname beneden I-waarde. Dit bleek het geval op 70% van de stortplaatsen, zodat geconcludeerd kan worden dat op die stortplaatsen sprake is van een voldoende tot hoge NA-potentie.

De tweede bewijslijn, de statistische analyse, bleek niet goed bruikbaar als getalsmatige onderbouwing van het optreden van NA. Het was wel mogelijk om bepaalde milieucondities goed te karakteriseren middels statistische analyses. Deze zijn gebruikt om watertypen te karakteriseren. Deze watertypen zijn weer gebruikt om aannemelijk te maken dat peilbuizen inderdaad op de beoogde positie ten opzichte van de stort en de grondwaterstroming stonden. Deze controle was essentieel om de andere metingen te kunnen interpreteren.

De derde bewijslijn, de actuele NA metingen (pakket B, zie ook tabel 2) hebben wisselend resultaat opgeleverd. Een aantal metingen leverde zeer bruikbare informatie op. Deze informatie is gebruikt bij het afleiden van een getalsmatige indicatie voor het optreden van NA. Indien in batchproeven afbraak van VOH of VAK werd aangetoond op een bepaalde stortplaats is dit als indicatie voor het optreden van NA gescoord. Dit was het geval in de meerderheid (tot. 90%) van de stortplaatsen. Indien een verhoogd gehalte AVS werd gemeten werd dit gescoord als een indicatie voor NA. Dit was het geval in 64% van de stortplaatsen. Ook de aanwezigheid van afbraakproducten werd gescoord als aanwijzing voor NA. Dit was het geval in 39% van de stortplaatsen. Tenslotte werden deze percentages nogmaals getoetst in een locatie specifieke beoordeling bij een beperkte set stortplaatsen. Deze actuele beoordeling op locatieniveau, is een geïntegreerde beoordeling van zowel I-waarde overschrijdingen als interpretatie van chemische analyses (Pakket A) en aanwezigheid producten (Pakket B). Ook hier was de meerderheid van de stortplaatsen, afhankelijk van de stofgroep tussen 64 en 100%, actief en trad NA op.

De bewijslijnen voor het optreden van NA worden vergeleken in tabel 13.

Tabel 13 Aanwijzingen voor het optreden van NA op voormalige stortplaatsen

	Aantal stortplaatsen	In het stortlichaam (bron)	Buiten de stort (pluim)
Geen I-waarde overschrijding	80	41%	70%
Conditie gunstig voor NA (statistiek)	80	Nvt	Nvt
Afbraak in batchproeven	12	75-87%	45-91%
Afbraakproducten (GC-MS)	80	10%	34%
Verhoogd AVS	80	62.5%	12.5%
Geen uitloging van zware metalen	11	82%	Nvt
Actuele beoordeling NA (pakket B)	11	64-100%	64-100% ¹⁾

¹⁾ Beoordeeld op locatieniveau, geen onderscheid tussen stort en pluim

Uit tabel 13 kan worden afgeleid dat alle bewijslijnen duidelijke indicaties geven voor het optreden van NA. Afhankelijk van de gebruikte methode treedt op 40-90% van de geanalyseerde stortplaatsen NA op. Alleen de aanwezigheid van afbraakproducten geeft een afwijkend beeld. Waarschijnlijk zijn deze afbraakproducten in de praktijk dermate instabiel dat ze vrij snel worden afgebroken en dus niet boven detectielimiet aanwezig zijn. Buiten het stortlichaam wordt ook in de meeste gevallen (70%) geen pluim met microverontreinigingen geconstateerd. Waarschijnlijk komt dit door de actieve NA processen in de stort en de hoge potentie tot afbraak buiten de stort waardoor eventueel uitgelogde microverontreinigingen snel worden afgebroken. Samenvattend kan worden gesteld dat op de meeste onderzochte stortplaatsen NA optreedt. In slechts 30% van de stortplaatsen treedt onvoldoende NA op, om te voorkomen dat buiten de stortplaats een I-waarde overschrijding optreedt. Het merendeel van deze I-waarde overschrijdingen wordt veroorzaakt door zware metalen, waarbinnen arseen en barium de belangrijkste componenten zijn. Mogelijk zijn deze componenten ook in het natuurlijke grondwater aanwezig, waardoor er sprake is van een verhoogde achtergrond en geen sprake van invloed vanuit de stort. Dit kon op basis van de huidige set data niet worden hard gemaakt en verdient nader onderzoek.

5.2 Indeling voormalige stortplaatsen in risicoklassen op basis van NA

Op basis van de gemeten concentraties microverontreinigingen is een indeling gemaakt van stortplaatsen, daarbij is gekeken naar de risico's van verspreiding. Als concentratiegrens is de I-waarde gehanteerd, die conform de saneringsregeling Wbb wordt gehanteerd als grens. Boven deze grens is sprake van een ernstig geval van bodemverontreiniging, waarvoor een aanleiding tot verder onderzoek aanwezig is. Tevens is de mate van NA-potentie in termen van hoog, voldoende en onvoldoende aangegeven. De volgende klassen zijn gedefinieerd:

Klasse A, geen emissie van macroparameters of microverontreinigingen. Bij deze stortplaatsen treedt geen enkele emissie op en er bestaan dus geen risico's van verspreiding. De afwezigheid van microverontreinigingen in de stortplaats kan mogelijk toegeschreven worden aan een hoge NA-potentie.

Klasse B, emissie van macroparameters en aanwezigheid van microverontreinigingen zowel binnen als buiten de stort. Het feit dat de microverontreinigingen de I-waarde niet overschrijden wordt toegeschreven aan een hoge NA-potentie. De benedenstroomse macroparameters kunnen wel ecologische effecten veroorzaken.

Klasse C, emissie van macroparameters, microverontreinigingen > I-waarde in de stort. Echter geen I-waarde overschrijdingen van microverontreinigingen buiten de stort. Op deze stortplaatsen is sprake van voldoende NA-potentie om I-waarde overschrijdingen buiten de stort te voorkomen.

Klasse D, emissie van macroparameters en microverontreinigingen > I-waarde zowel in als buiten de stort. In deze stortplaatsen is sprake van onvoldoende NA-potentie om benedenstroomse I-waarde overschrijdingen te voorkomen. Deze stortplaatsen brengen directe risico's met zich mee en komen in het curatieve spoor. NA is nog steeds relevant omdat zonder NA de verspreiding nog groter zou kunnen zijn.

Klasse E, stortplaatsen waar geen microverontreinigingen > I-waarde in de stort zijn waargenomen maar wel buiten de stort (m.n. zware metalen). Een mogelijke verklaring kan zijn dat mobilisatie van (natuurlijke achtergrond) zware metalen plaats ten gevolge van interactie van bodemmateriaal met grondwater belast met macroparameters uit de stort.

De klassen zijn met hun relatieve aandeel op het totaal aantal onderzochte stortplaatsen hieronder in tabelvorm weergegeven.

Tabel 14 Indeling in klasse op basis van interventiewaarde overschrijdingen in en/of buiten de stort

<i>Buiten de stort</i>		<i>Micro's in stort > I-waarde</i>	<i>NA potentie</i>	<i>Klasse</i>	<i>% NA-pilot</i>
<i>Macropluim</i>	<i>Micropluim > I-waarde</i>				
Nee	n.v.t.	nee	hoog	A	20%
Ja	nee	nee	hoog	B	25%
ja	nee	ja	voldoende	C	25%
ja	ja	ja	onvoldoende	D	15%
ja	ja	nee	onvoldoende	E	15%

5.3 Toetsing hypothesen

De vooraf gestelde onderzoekshypothesen zijn getoetst aan de resultaten van dit onderzoek en leiden tot de volgende conclusies:

- het is goed mogelijk gebleken om een methodiek op te stellen voor het bepalen van NA-potentie op voormalige stortplaatsen. Deze methodiek wordt in paragraaf 6.3 toegelicht;
- NA is een structureel voorkomend proces op voormalige stortplaatsen. In het merendeel van de bemonsterde stortplaatsen zijn aanwijzingen gevonden voor het optreden van NA. De gecombineerde bewijslast uit I-waarde overschrijding, aanvullende NA metingen en de toetsing op locatieniveau laten overtuigend zien dat NA bij de meeste (70%) van de stortplaatsen in voldoende tot hoge mate optreedt om ontoelaatbare emissies te voorkomen;
- het organisch stofgehalte en het optreden van NA bleek in tegenstelling tot wat verwacht werd niet afhankelijk van het type stortmateriaal. Mogelijk waren de oorspronkelijke verschillen tussen de diverse stortplaatsen door de ouderdom van de stortplaatsen grotendeels verdwenen. Het kan echter niet worden uitgesloten dat de bepalende factoren voor de mate van optreden van NA niet worden beïnvloedt door het type stortmateriaal. Voor dit onderzoek is de belangrijkste conclusie dat de kans

op het optreden van NA niet kan worden ingeschat op basis van kennis over de samenstelling van het gestorte materiaal. NA trad zowel in stortten met huishoudelijk afval als in stortten met bouwafval op. Het is in dit onderzoek niet duidelijk geworden wat de bepalende factoren waren voor het onvoldoende optreden van NA op een deel (30%) van de stortplaatsen. Hiervoor dient nader onderzoek te worden uitgevoerd;

- de ligging van de stort blijkt inderdaad wel relevant voor het optreden van voldoende NA. Vooral op aquifers was vaker sprake van I-waarde overschrijding. Dit wil zeggen dat de natuurlijke geohydrologische omstandigheden wel onderscheidend zijn voor de risico-categorisering van een stortplaats, voor zover er in de stort sprake is van microverontreinigingen. Overigens betekent dit niet dat er in geval van een aquifer automatisch sprake is van microverontreinigingen buiten de stort. Bij die stortplaatsen met gemeten microverontreinigingen in de stort en gelegen op een aquifer, is in 40% sprake van een microverontreiniging buiten de stort;
- met name het type polder (klei, kwel) lijkt vaak gunstige condities voor NA te kennen, terwijl het type aquifer (zand, stromend grondwater) minder vaak NA potentie bezit;
- bij een hoog organisch stof gehalte en gereduceerd redoxmilieu in het stortlichaam treedt inderdaad vastlegging van zware metalen (uit AVS) en afbraak van VOH op. Helaas ontbreekt een negatieve controle, d.w.z. het ontbreken van NA op stortplaatsen met laag organisch stof gehalte is niet aangetoond. Zonder deze controle kan niet met zekerheid worden gesteld dat de waargenomen NA potentie wordt veroorzaakt door het hoge organisch stof gehalte;
- conform verwachting is aangetoond dat buiten het stortlichaam afbraak optreedt van VAK en minerale olie;
- NA leidt in principe tot lagere emissies (afbraak is aangetoond) en ook in dit onderzoek kan worden gesteld dat NA tot verminderde emissie van verontreinigingen leidt (vastlegging aangetoond). Ondanks dat op de meeste stortplaatsen voldoende NA potentie is aangetoond, blijft het lastig het aandeel van NA in deze reductie vast te stellen. Het ontbreekt aan een negatieve controle, voldoende stortplaatsen die geen NA vertonen en waar emissies duidelijk optreden;
- NA kan inderdaad tot een andere indeling van klassen leiden, dan gehanteerd in het NAVOS-programma. Deze indeling (klasse A t/m E) is sterk gewijzigd ten opzichte van de 3 klassen zoals NAVOS die in eerste instantie had vastgesteld. Een belangrijke consequentie van deze indeling zou zijn dat in 30% van de stortplaatsen emissies van microverontreinigingen (groter dan I-waarde) optreedt, waardoor deze stortplaatsen in het curatieve spoor belanden.

5.4 Geschiktheid NA gidsparameters

Op basis van de interpretatie van de analyseresultaten in dit project is een selectie gemaakt van parameters die geschikt zijn voor het bepalen van NA op voormalige stortplaatsen. De geochemische analyses (gidsparameters NA) in deze selectie worden hieronder toegelicht.

5.4.1 Geschiktheid A-pakket

Organische microverontreiniging

Fenolindex: bij de biologische afbraak van o.a. vluchtige aromaten ontstaan alkylfenolen. Deze zijn dan ook verhoogd in de stortlichamen aangetroffen en vertonen een dalende trend naar een stroomafwaartse positie. De fenolindex is als somparameter zeer geschikt om als indicator voor de ontstane afbraakproducten te gebruiken.

Anorganische microverontreiniging

Ammonium: deze parameter geeft inzicht in de hoeveelheid stikstof die van organische afkomst is (gereduceerde vorm van stikstof zoals bijvoorbeeld bij de afbraak van eiwitten). Dankzij de aanwezigheid van biologische processen wordt deze sterk verhoogd in stortlichamen aangetroffen en is door zijn chemische eigenschappen een goede tracer voor stortbeïnvloed grondwater (de verhouding nitraat/ammonium is tevens indicatief voor reducerende omstandigheden).

Redox parameters

Zuurstof: een parameter die als een belangrijke elektronenacceptor bij biologische afbraakprocessen op kan treden en daarnaast een duidelijk verschil vertoont tussen grondwater in en buiten het stortlichaam. Zuurstof is nagenoeg nooit aanwezig in het stortlichaam, omdat dit door biologische afbraakprocessen volledig is verbruikt. Omdat de meting zeer gevoelig is voor verstoring is de zuurstof meting een goede controle op de anaerobe bemonstering. Dit is van belang is voor een groot aantal redox metingen en metingen van labiele of vluchtige verbindingen.

Nitraat/nitriet: nitraat is een parameter welke net als zuurstof als een elektronenacceptor bij tal van biologische processen fungeert. Deze parameter is in het algemeen afwezig in de stortplaatsen en neemt toe stroomafwaarts. Door reductie van nitraat kan afhankelijk van de condities nitriet ontstaan. Tezamen zijn ze als redoxkoppel te beschouwen,

IJzer (totaal)/Fe II: het gehalte aan ijzer(II) (product van ijzerreductie) een maat voor het optreden van ijzerreductie. De interpretatie van ijzergehalten is lastig, omdat ijzer (II) met o.a. sulfiden neer kan slaan en dan niet meer wordt gemeten.

Sulfaat: wordt door micro-organismen verbruikt als elektronenacceptor en is bij een zeer lage concentratie in het stortlichaam een duidelijke indicatie voor het optreden van sulfaatreductie. Door de verhoging van de concentratie aan sulfide vindt een toename van precipitatie van (zware) metalen plaats. Sulfaat vertoont een duidelijke toenemende trend. In het stort-beïnvloed grondwater is de concentratie lager dan benedenstrooms. Dit kan worden veroorzaakt door oxidatie van sulfides, aanwezig in het stort-beïnvloed grondwater en door menging van met onbeïnvloed (natuurlijk) grondwater wat sulfaat bevat.

Sulfide: deze parameter ontstaat bij sulfaatreductie. Daarnaast wordt het gehalte sterk beïnvloed door de precipitatie van (zware) metalen. Het gehalte aan sulfide vertoont een duidelijk verband tussen de plaats van monsternamen (in de stort hoog, buiten de stort laag).

Methaan: is een afbraakproduct onder methanogene omstandigheden en is dus indicatief voor methanogene afbraakcondities. Daarnaast is methaan mogelijk een goede tracer voor de omvangsbepaling van een pluim.

N-kjeldahl: het totaal gehalte aan stikstof (N). Dit is een indicator voor macroverontreinigingen en een nutriënt voor biologische afbraak.

Redoxpotentiaal: een indicatieve parameter van de mate waarin redoxprocessen optreden. Bij de stortplaatsen vertoont deze parameter duidelijke verschillen voor grondwater in en buiten het stortlichaam.

Macroparameters (afbraak processen)

TOC vormt een algemene somparameter voor de totaal aanwezige hoeveelheid organisch koolstof. De analyse vertoont bij de stortplaatsen duidelijke verschillen in de stroombaan (stroomopwaarts, in de stort en stroomafwaarts) en is daarom geschikt voor toepassing als NA parameter.

DOC: de hoeveelheid opgeloste organische koolstof, een maat voor de potentieel aanwezige hoeveelheid koolstofbron ("voedsel" voor micro-organismen).

Het DOC bestaat onder andere uit humus- en fulvazuren en (a)polaire afbraakproducten van minerale olie en BTEXN zoals alifatische zuren, aromatische zuren en vluchtige vetzuren. Met deze parameter kan ondermeer worden vastgesteld of het grondwater/percolaat arm of rijk is aan koolstofbronnen. Een rijke voorraad aan koolstofbronnen is gunstig voor het NA-mechanisme van biologische afbraak.

Als indicatieve parameter voor het totaal in en buiten de stort aanwezige organische stof wordt meting van alleen de TOC als voldoende geacht. Uit de resultaten blijkt dat er een vaste correlatie tussen DOC en TOC bestaat. Dit wil zeggen, indien de concentratie TOC bekend is, kan de concentratie DOC berekend worden.

Macroparameters (transport)

Barium: de uitloging van barium wordt hoogstwaarschijnlijk gecontroleerd door het slecht oplosbare bariet (bariumsulfaat). Dankzij het optreden van sulfaatreducerende processen in stortplaatsen komt barium hierin veelal sterk verhoogd voor. Dankzij de chemische eigenschappen van barium is dit als een goede tracer voor stortbeïnvloed grondwater te gebruiken.

Natrium, kalium, calcium en magnesium: macro-parameters (kationen) die noodzakelijk zijn voor een algemene karakterisatie van het grondwater (tevens voor controle kat- en anionenbalans).

Overige parameters

Zuurgraad: als gevolg van biologische afbraakprocessen in stortplaatsen vindt na de verzuringsfase door productie van bicarbonaat een pH stijging tot > 7 (basisch) plaats.

EC: geleidbaarheid van het grondwater (maat voor totaal aanwezige ionen). Indicatie voor aanwezige verontreinigingsvracht (an- en kationen).

CZV: Evenals de BZV is de CZV een somparameter die een indicatie geeft van de totaal aanwezige vracht aan oxideerbare componenten. De CZV heeft de voorkeur boven BZV-5 omdat deze bepaling beter reproduceerbaar is dan BZV-5, maar geeft geen indicatie over de mate van biologische afbreekbaarheid oftewel de NA-potentie voor verontreiniging met zuurstofconsumerende verbindingen.

Bicarbonaat: als gevolg van biologische afbraak van organisch materiaal vindt productie van koolstofdioxide plaats, wat leidt tot een verhoogde concentratie bicarbonaat.

5.4.2 Geschiktheid B-pakket

De GC-MS screening is geschikt voor identificatie van unieke producten van biologische afbraak maar kan vervangen worden door normale GC-analyse op specifieke afbraakproducten zoals cis-dichlooretheen en vinylchloride.

Met betrekking tot de meeste zware metalen is vastlegging/precipitatie als metaalsulfiden een NA-mechanisme. De hoeveelheid zware metalen (inclusief ijzer) dat op deze wijze in het stortmateriaal of sediment is vastgelegd, correleert met het gehalte aan de somparameter AVS (acid volatile sulfide). Op basis van de AVS-waarden kan worden beoordeeld of de stortplaats voldoende potentie heeft voor vorming van metaalsulfiden. Deze parameter vertoont op grond van de resultaten duidelijke verschillen in de stroombaan is daarom geschikt als NA parameter.

De batchproeven geven een direct bewijs dat de organismen aanwezig zijn die afbraak van vluchtige aromatische koolwaterstoffen en vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen onder reducerende of oxyderende condities kunnen uitvoeren. De batchproeven zijn daarom geschikt voor het bepalen van het actuele NA potentieel.

De modelberekeningen uit de uitloogproeven laten, in samenhang met de metingen in het grondwater stroomafwaarts van de stortplaatsen, zien dat de geringe uitspoeling die voorspeld wordt (geringe bronsterkte) in slechts enkele gevallen een onderschatting geeft van de werkelijke bronsterkte. De meerwaarde van deze uitloogtesten zit in het feit dat ze leiden tot een bruikbare indicatie van de bronsterkte.

De fermentatietesten hebben waardevolle informatie opgeleverd over de mate van stabilisatie van de gesloten stortplaatsen. Deze testen zijn met name nuttig bij het bepalen van de stabilisatiegraad van relatief jonge stortplaatsen, waarbij op voorhand weinig zekerheid bestaat over de mate van eindstabiliteit. Daarnaast zijn de fermentatietesten belangrijk voor het verkrijgen van inzicht in de effecten voor stortplaatsen waarbij risico's op drooglegging (sterke verandering van de redoxcondities) een rol spelen. Hiervoor dient dan een fermentatietest te worden uitgevoerd onder oxyderende omstandigheden.

De volgende NA specifieke metingen worden niet meegenomen in verder onderzoek:

Op grond van de hoeveelheid ijzer-hydroxylamine (OXC) wordt het aanwezige oxidatiecapaciteit vastgesteld (totale voorraad electronenacceptoren). Echter, de meting maakt geen onderscheid tussen geoxideerd en gereduceerd ijzer en is dus niet geschikt als NA parameter. Hiervoor is de analyse van ijzer totaal en gereduceerd ijzer (Fe-II) wel geschikt.

Het is niet mogelijk gebleken de resultaten van de BIOLOG metingen te interpreteren in termen van het wel of niet optreden van NA. De BIOLOG meting wordt daarom niet als geschikt instrument voor het bepalen van het NA potentieel beschouwd.

Het is niet mogelijk gebleken om directe relaties tussen de DNA/RNA (PCR en TGGE)-analyses en het stortplaatstype of de aanwezige hydrogeochemische condities vast te stellen. De DNA/RNA meting wordt daarom niet als geschikt instrument voor het bepalen van het NA potentieel beschouwd.

H₂-metingen kunnen een meerwaarde opleveren voor die locaties waar de redox-situatie onduidelijk is. Op locaties waar de redoxparameters een helder beeld opleveren, levert de waterstofmeting doorgaans onvoldoende meerwaarde op.

6 EINDPRODUCTEN

6.1 Gidsparameters voor NA-onderzoek

Als eerste eindproduct zijn op grond van de interpretatie van de meetresultaten NA-relevante gidsparameters gedestilleerd, die zijn onderverdeeld in:

- NA-basis pakket;
- NA-specifiek pakket.

6.1.1 NA-basis pakket

Het NA-basis pakket omvat een set van basisparameters, die zowel macro- als microparameters bevatten. Toepassing van dit pakket op een individuele stortplaats stelt een deskundige in staat om in een eerste stap een goed inzicht te verkrijgen in de al dan niet aanwezige NA-potentie op die stortplaats. De wijze waarop tot die uitspraak kan worden gekomen, geschiedt door toepassing van de NA-toetsingsmethodiek (zie volgende paragraaf). In tabel 15 worden de gidsparameters (NA-relevant) weergegeven, waarbij onderscheid gemaakt is tussen de reeds in het NAVOS-pakket aanwezige parameters en toegevoegde parameters op grond van het NA-onderzoek.

6.1.2 NA-specifiek pakket

Op grond van de interpretatie van de specialistische metingen kan worden geconcludeerd dat de volgende specialistische metingen een meerwaarde hebben voor het in kaart brengen van de NA-potentie en NA-capaciteit. Het betreft alleen metingen op monsters van de vaste fase (grond en stortmateriaal):

- batchproeven;
- uitloogtesten;
- fermentatietesten.

Het NA-specifiek pakket omvat biologische metingen waarmee de activiteit van micro-organismen kan worden aangetoond. Daarnaast omvat het pakket 2 metingen, waarmee een uitspraak kan worden gedaan over de uitloging van zware metalen op korte en lange termijn. Deze metingen moeten in eerste instantie als aanvullend worden gezien op het NA-basis pakket. Ze geven een extra zekerheid over de daadwerkelijke aanwezigheid en mate van NA-potentie en NA-capaciteit. Per individuele stortplaats zal moeten worden afgewogen of deze extra informatiebehoefte noodzakelijk is.

Tabel 15 Gidsparameters NA-basis pakket

ANALYSEPARAMETERS NA-BASIS PAKKET (*)			
BRON		PLUIM	
Percolaat	Stortmateriaal	grondwater	sediment
Organische microverontreiniging			
Fenolindex		Fenolindex	
VAK (1)		VAK (1)	
Naftaleen		Naftaleen	
EOX		EOX	
Anorganische micro- en macroverontreinigingen			
Ammonium		Ammonium	
Arseen		Arseen	
Cadmium		Cadmium	
Chroom		Chroom	
Koper		Koper	
Kwik		Kwik	
Lood		Lood	
Nikkel		Nikkel	
Zink		Zink	
Redoxparameters (macro én micro)			
Zuurstof		Zuurstof	
Nitrat/nitriet		Nitrat/nitriet	
IJzer (totaal)		IJzer (totaal)	
Mangaan (totaal)		Mangaan (totaal)	
Sulfaat		Sulfaat	
Sulfide		Sulfide	
Methaan		Methaan	
Stikstof Kjeldahl		Stikstof Kjeldahl	
Redoxpotentiaal		Redoxpotentiaal	
Microparameters (afbraakproducten)			
VOH-totaal (2)		VOH-totaal (2)	
Ethaan/etheen (3)		Ethaan/etheen (3)	
Macroparameters (afbraakprocessen)			
	TOC		TOC
Macroparameters (transport)			
Barium		Barium	
Natrium		Natrium	
Kalium		Kalium	
Calcium		Calcium	
Magnesium		Magnesium	

Overige parameters			
Zuurgraad (pH)	AVS	Zuurgraad (pH)	AVS
EC	Droge stof	EC	Droge stof
Chloride		Chloride	
CZV		CZV	
HCO ₃		HCO ₃	
TOC		TOC	

(*) grijs gearceerd deel zijn de parameters van het huidige NAVOS-pakket, bestaande uit het NEN-grondwaterpakket plus enkele macroparameters.

- (1) Onder de vluchtige aromatische koolwaterstoffen vallen benzeen, toluen, ethyleen en xyleen
 (2) Onder de vluchtige organische gechloreerde koolwaterstoffen vallen dichloormethaan, trichloormethaan, tetrachloormethaan, 1,1-dichloorethaan, 1,2-dichloorethaan, 1,1,1-trichloorethaan, 1,1,2-trichloorethaan, vinylchloride, *cis*-dichlooretheen, *trans*-dichlooretheen, trichlooretheen, tetrachlooretheen.
 (3) dit zijn afbraakproducten van VOH, alleen meenemen indien VOH's zijn gemeten.

6.2 Stappenplan NA-informatiebehoefte

Indien een NA nazorgplan wordt geschreven, is het nodig om (extra) gegevens te verzamelen. Om hierin enige structuur te brengen, is de NA-informatiebehoefte in een stappenplan geschematiseerd (bijlage 7). Stap 1 en 3 van dit schema (NAVOS- en NAMetingen buiten de stort wordt in bijlage 6 in detail uitgewerkt (richtlijn NA-toetsingsmethodiek). Volledigheidshalve zijn ze toch in het schema van bijlage 7 gepresenteerd. Het stappenplan is opgesteld op basis van de huidige praktijk als het gaat om de volgorde van beschikbare gegevens uit bestaande meetprogramma's. Op dit moment worden in het kader van landelijke NAVOS-monitoringsronde over het algemeen alleen metingen buiten de stort uitgevoerd (uitzonderingen daargelaten) met uitsluitend het NAVOS-analysepakket. Er worden dus op dit moment nog geen NA-metingen uitgevoerd (NA-basis pakket).

Iedere stap heeft input van informatie, resulterend uit een bepaald meetprogramma, op grond waarvan een besluit kan worden genomen als output. Hoe meer informatie wordt verzameld, des te zekerder kan de rol van NA in beeld worden gebracht. In bijlage 7 staat onder iedere stap aangegeven welk type metingen de input moet leveren. Hierin hebben het opgestelde NA-basis pakket en het NA-specifiek pakket ook hun plaats gekregen.

In het schema van bijlage 7 is een tweedeling gemaakt in:

- NA-onderzoekstraject: metingen ten behoeve van het vaststellen van NA op een stortplaats;
- NA-uitvoeringstraject: metingen ten behoeve van het opstellen van een NA-nazorgplan.

Het NA-specifiek pakket (stap 4) kan in beide trajecten worden ingezet:

- in het onderzoekstraject, indien op basis van het NA-basis pakket nog onvoldoende zekerheid bestaat over de rol van NA en meer informatie gewenst is;
- in het uitvoeringstraject, als eerste stap in de verdere uitwerking van een NA-nazorgplan.

Het schema is opgebouwd uit de volgende stappen:

1. Eerste indeling van stortplaatsen in categorie NA-relevantie op basis van NAVOS-metingen **buiten** de stort; deze metingen worden thans uitgevoerd in het kader van de NAVOS-monitoringsronden.
2. Definitieve indeling van stortplaatsen in categorie NA-relevantie op basis van NAVOS-metingen **in** de stort; deze metingen zijn deels reeds uitgevoerd en deels geprogrammeerd in een volgende ronde van de landelijke NAVOS-monitoringsronden.
3. Aantonen van NA-condities op voorlopig alleen NA-urgente stortplaatsen (categorie C en D, hier vinden we I-waarde overschrijding buiten de stort) door middel van uitvoering van het NA-basis pakket. Conform de NA-toetsingsmethodiek worden in eerste instantie alleen NA-metingen buiten de stort voorgesteld. Afhankelijk van het doorlopen van het stappenplan van de NA-toetsingsmethodiek uit bijlage 6, kan het nodig en/of nuttig zijn om NA-metingen in het stortlichaam uit te voeren;
4. Deze stap betreft naast de mogelijke uitvoering van uitloog- en/of fermentatietesten, ook de uitvoering van biologische NA-metingen, betrekking hebbend op de microbiologische afbraak als onderdeel van NA. Het geeft antwoord op de vraag of er daadwerkelijk biomassa aanwezig is, en zo ja of deze nog actief is. Uitvoering van stap 4 wordt alleen aanbevolen indien in het onderzoekstraject de NA-conditie op basis van alleen het NA-basis pakket onvoldoende zekerheid biedt en/of een NA-oplossing in het kader van de uitvoering van de nazorg een optie is. De resultaten worden locatiespecifiek beoordeeld om het NA-proces in kaart te brengen en een afweging te maken in hoeverre NA leidt tot voldoende risicoreductie, om als NA-oplossing te worden ingezet. Modelleren van grondwater (stroombaanalyse) en inzicht in aanwezige afbraakproducten in het veld (zoals etheen en ethaan in geval van vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen) maken hiervan onderdeel uit.
5. Deze stap bestaat uit periodieke NA-metingen met een voor de betreffende locatie specifiek vastgesteld NA-pakket (basis en specifiek) teneinde inzicht te krijgen in de snelheid van NA-processen op die locatie. Gezien de traagheid van de NA-processen is het weinig zinvol deze metingen jaarlijks uit te voeren. De frequentie is afhankelijk van de lokale situatie en wordt derhalve locatie specifiek vastgesteld.
6. De informatie uit stap 5 geeft de input voor een inschatting wanneer de concentraties zodanig zijn verminderd dat kan worden overgegaan op extensivering c.q. beëindiging van de NA-monitoring. Uiteindelijk leidt dit derhalve tot eindige in plaats van eeuwigdurende nazorg.

Iedere stap heeft zijn eigen criteria, waaraan het te nemen besluit in die stap kan worden getoetst. Het is niet noodzakelijk om altijd alle stappen te doorlopen met dezelfde onderzoeksintensiteit. Afhankelijk van de locatiespecifieke omstandigheden kunnen stappen worden overgeslagen of juist worden geïntensiveerd.

6.3 NA-toetsingsmethodiek

In bijlage 6 is de “Richtlijn NA-toetsingsmethodiek” in de vorm van een NA-stroomschema gepresenteerd. Bij de opzet van de richtlijn en het stroomschema is uitgegaan van minimale informatie op ieder beslispoint om tot een besluit te kunnen komen. Het schema kan worden doorlopen op basis van informatie uit alleen metingen **buiten** de stort.

De kern van de toetsingsmethodiek bestaat uit de beoordeling of er al dan niet sprake is van gunstig NA-condities. De beoordeling van de NA-condities wordt gemaakt op grond van een interpretatie van een grote hoeveelheid aan gegevens, waarin NA-gidsparameters (tabel 15) als de belangrijkste input moeten worden gezien.

De methodiek is opgebouwd uit 6 stappen, namelijk:

1. Het vaststellen of een macropluim aanwezig is;
2. Het vaststellen of een micropluim aanwezig is;
3. Vaststellen of de stoffen voldoen aan de NA-modelstof (afbreekbaar onder oxyderende omstandigheden);
4. Vaststellen of de redox milieus overeenkomen met de NA-modelstort;
5. NA specifiek, zijn de condities in de omgeving gunstig, zodat NA toch van toepassing is;
6. Het beoordelen of NA als nazorgoptie mogelijk is.

Tenslotte is een koppeling gemaakt naar de NA-potentie en mogelijke nazorgoplossingen, bestaande uit:

- Extensieve monitoring (controlemetingen bij afwezigheid macropluim buiten stort);
- Nader NA onderzoek (eventueel boren in de stort);
- Extensieve NA monitoring (opstellen monitoringsplan, indien gewenst nader NA onderzoek);
- Intensieve NA-monitoring (opstellen en uitvoeren van een NA-nazorgplan);
- Klassieke saneringsoplossing (beheersen, saneren).

7 EINDCONCLUSIES

7.1 Technische inhoudelijke conclusies

De technische conclusies staan in onderstaande de tabel weergegeven. In de eerste kolom staat de hypothese (zie tevens paragraaf 1.5) in de tweede kolom de bijbehorende conclusie.

Hypothese	Conclusie
Het is mogelijk om het optreden van NA op voormalige stortplaatsen middels analyses vast te stellen.	Het is mogelijk gebleken om een methodiek op te stellen voor het bepalen en beoordelen van NA op de individuele voormalige stortplaats. Het NA-onderzoek is een momentane steekproef op 80 van de circa 3.800 voormalige stortplaatsen. Opschaling van het NA-onderzoek met een specifiek NA-meetpakket naar een deel van de circa 3.800 stortplaatsen verhoogt de indirecte bewijslast (circumstantial evidence), dat de afwezigheid van microverontreinigen buiten een stort, nu en in de toekomst, kan worden toegeschreven aan NA.
NA is een structureel voorkomend proces op voormalige stortplaatsen.	NA is een structureel voorkomend proces op voormalige stortplaatsen en leidt tot lagere emissies dan de veronderstelde 50% I-waarde overschrijding [lit 3].
<p>Het optreden van NA is afhankelijk van het type stortmateriaal, bodemtype onder de stort en type microverontreinigingen;</p> <ul style="list-style-type: none"> - de aard van het oorspronkelijk gestorte materiaal bepaalt het actuele organisch stofgehalte in de stortplaats; - op stortplaatsen met veel huishoudelijk materiaal is het organisch stofgehalte hoog en is de potentie voor NA hoog; - op stortplaatsen met veel bouw- en sloopafval is het organisch stofgehalte laag en is de potentie voor NA laag; - onder reducerende condities in de stort treedt vastlegging van zware metalen en biologische afbraak van VOH op; - onder oxiderende condities benedenstrooms van de stort treedt biologische afbraak van VAK en minerale olie op; - een bodemtype met hoog organische stofgehalte onder de stort is gunstig voor NA in het grondwater; - er kan alleen sprake zijn van I-waarde overschrijdingen buiten de stort (micropluim) als er uitspoeling plaatsvindt van 	<ul style="list-style-type: none"> - er is geen verband aangetoond tussen de mate van NA-potentie en het type stortmateriaal. Dat wil niet zeggen dat deze relatie niet bestaat. Deze relatie is niet aangetoond, omdat het bestand van 80 stortplaatsen in kwantitatieve zin onvoldoende representatief is; - de ligging van de stort is relevant voor het optreden van NA. Bij stortplaatsen op zandgrond (type aquifer) treedt minder NA op als gevolg van het feit, dat 90% van de gemeten benedenstroomse I-waarde overschrijdingen daar voorkomt; - bij een hoog organisch stofgehalte, beneden grondwaterniveau en/of in het stortlichaam ontstaat een gereduceerd milieu en treedt vastlegging van zware metalen en afbraak van VOH op; - buiten het stortlichaam treedt afbraak op van VAK en minerale olie; - men dient alert te zijn voor de risicogroep stortplaatsen met anaëroob slecht afbreekbare verbindingen (BTEX, PAK, fenolen) in een stortlichaam met een reducerende omgeving

macroparameters (macropluim).	met relatief grotere doorlatendheden.
NA leidt tot lagere emissies; <ul style="list-style-type: none"> - het huidige percentage interventiewaarde (I-waarde) overschrijdingen in het grondwater buiten de stort zal aanzienlijk lager zijn dan de huidige inschattingen van 50% [3]; - de toekomstige percentage I-waarde overschrijdingen in het grondwater buiten de stort zal aanzienlijk lager zijn dan de huidige inschatting van 25% [3]. 	<ul style="list-style-type: none"> - op 70% van de 80 onderzochte stortplaatsen treedt geen overschrijding op van I-waarden buiten de stort, mede dankzij NA processen; - op 30% van de 80 onderzochte stortplaatsen treedt overschrijding op van I-waarden buiten de stort, ondanks de aanwezigheid van NA processen. Het gaat in de meeste gevallen (16 locaties van de 24, 67%) om zware metalen en maar in een klein aantal (8 van de 24, 33%) om organische microverontreinigingen; - het is niet duidelijk wat de bepalende factoren zijn voor het onvoldoende optreden van NA op een deel (30%) van de 80 onderzochte stortplaatsen. Mogelijk wordt een deel van de I-waarde overschrijdingen niet veroorzaakt door de stort, maar zijn deze verontreinigingen aanwezig in het locale grondwater. Vooral voor het grote aantal zware metalen verontreinigingen (met name arseen, barium) kan dit een belangrijke verklaring zijn.
NA leidt tot een andere indeling van klassen zoals gehanteerd door NAVOS waardoor minder stortplaatsen in het curatieve spoor belanden.	<ul style="list-style-type: none"> - op basis van het optreden van NA is een nieuwe indeling van voormalige stortplaatsen in risicoklassen opgesteld; - indien deze indeling wordt toegepast, blijkt vooralsnog dat 30% stortplaatsen in het curatieve spoor belandt.

Het project heeft twee concrete resultaten opgeleverd:

- een methodiek voor het bepalen en beoordelen van NA op de individuele voormalige stortplaats;
- een set van NA kenmerkende gidsparameters, NA-basis pakket.

7.2 Strategische conclusies

- ✓ *NA is een structureel voorkomend fenomeen op voormalige stortplaatsen en is bepalend voor het risicoprofiel van deze stortplaatsen nu en in de toekomst. De 5 NA-klassen A t/m E kunnen worden gekoppeld aan 3 te onderscheiden categorieën op basis van optredende NA-potentie (hoog, voldoende, onvoldoende), zoals gepresenteerd in onderstaande tabel.*

in stort		buiten stort		NA-klassen (%) ⁽¹⁾	NA-potentie
Concentratie	stofgroep >I ⁽²⁾	concentratie	stofgroep >I ⁽²⁾		
< I-waarde	.-	nul-emissie	.-	A (20%)	hoog
< I-waarde	.-	< I-waarde	.-	B (25%)	hoog
> I-waarde	zware metalen (36%) VAK (18%) PAK (34%) VOH (2%) minerale olie (8%) monochloorbenzeen (2%)	< I-waarde	.-	C (25%)	voldoende
> I-waarde	zware metalen (86%) VAK(14%)	> I-waarde	zware metalen (86%) VAK(14%)	D (15%)	Onvoldoende
< I-waarde	.-	> I-waarde	zware metalen (72%) VOH (9%) VAK (9%) PAK (5%) minerale olie (5%)	E (15%)	Onvoldoende

(1) op basis van metingen in en buiten de stort

(2) % stortplaatsen met de aangetroffen stofgroep >I in categorie A, B, C, D of E

Met behulp van bovenstaande tabel kunnen verder de volgende conclusies worden getrokken:

- ✓ *De aangetroffen concentraties van stoffen in en buiten de stort in de NA-klassen A, B en C (samen 70%) zullen naar de toekomst toe alleen maar afnemen als gevolg voortgaande NA-processen. Echter de mate waarin en de snelheid waarmee is in onderhavig onderzoek niet onderzocht en dus onbekend.*
Belangrijkste argumenten voor de verwachte afname van concentraties zijn de feiten dat er geen negatieve veranderingen zullen optreden in de heersende gunstige NA-condities (storten verkeren in stabiele eindfase) en dat er voldoende NA-buffercapaciteit is aangetoond. Op den duur zullen de aangetroffen concentraties de risiconormen niet overschrijden en zullen deze stortplaatsen in het exit-spoor van NAVOS belanden. In die zin kan NA als een nazorgmaatregel functioneren.
- ✓ *De oorzaak van de aangetroffen I-waarde overschrijdingen buiten de stort van de NA-klassen D en E (samen 30%) is niet eenduidig aangetoond.*
Opvallend is wel dat het m.n. gaat om de stofgroep zware metalen bij stortplaatsen gelegen op het bodemtype aquifer. Mogelijke verklaringen voor deze I-waarde overschrijdingen zijn (in willekeurige volgorde):
 - aanbod van verontreiniging is groter dan de NA-potentie?

- de verblijftijd van de verontreiniging in de stort is te kort, waardoor NA onvoldoende zijn werk kan doen?
 - er is toch sprake van een achtergrondconcentratie?
 - de I-waarde overschrijdingen benedenstrooms zijn een restant van uitspoeling van zware metalen in de aërobe beginfase van de stort? In dat geval wordt door de stortplaats een extra probleem gecreëerd.
 - Buiten de stort vindt uitspoeling plaats van natuurlijke aanwezige gebonden zware metalen door uit de stort tredend gereduceerd percolaat?
- ✓ Het onderzoek heeft zich toegespitst op de rol van NA op de aan- en afwezigheid van microverontreinigingen. Geconcludeerd moet worden dat in 80% van de onderzochte gevallen sprake is van een benedenstrooms beïnvloedingsgebied met macroparameters, de zogenaamde macropluim. De risico's van een macropluim moeten niet worden onderschat. Hierbij kan gedacht worden aan de ligging van de stortplaats in bijvoorbeeld kwetsbaar natuurgebied en/of benedenstrooms gebruik van het grondwater bijvoorbeeld drinkwatervoorziening en veedrenking;
- ✓ De hierboven geschetste NA-klasse-indeling is gebaseerd op het feit, dat afwezige, ontoelaatbare concentratieniveaus van verontreinigende stoffen nu en in de toekomst het gevolg is van het optreden van NA. De bewijslast hiervoor is echter gebaseerd op een momentopname bij 80 stortplaatsen en bevat bovendien een aantal onzekerheden, zoals hierboven geschetst. Het oplossen van die onzekerheden draagt bij aan een beter onderbouwde en meer betrouwbare indeling van stortplaatsen in curatief, preventief en exit-spoor. Dit zal naar verwachting leiden tot hogere percentages in het exit-spoor en lagere percentages in het curatieve spoor. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende aanvullende onderzoeken:
- validatie van de percentages van de NA-klassen en/of verdere differentiatie van de NA-klassen door middel van het hanteren van andere concentratiegrenzen dan de I-waarde uit de Wbb (bijvoorbeeld: de in BOSVOS gehanteerde normen, de tussenwaarde (T) of 10x de I-waarde uit het toetsingskader);
 - periodieke NA-monitoring van de stortplaatsen uit klasse A, B en C ter bevestiging van de afname van concentraties;
 - nader onderzoek ter verificatie/falsificatie van de hypothesen over de benedenstroomse I-waarde overschrijdingen in de NA-klassen D en E.

8 AANBEVELINGEN

De volgende aanbevelingen worden voorgesteld:

- het verrichten van nader onderzoek, naar de oorzaken voor het onvoldoende optreden van NA op een deel van de voormalige stortplaatsen (NA-klasse D en E). Indien duidelijk wordt welke deze factoren zijn kunnen mogelijke risico stortplaatsen sneller worden geïdentificeerd en kan de indeling van stortplaatsen naar risico van verspreiding beter worden onderbouwd;
- het verrichten van nader onderzoek naar de oorzaken van verhoogde concentraties zware metalen bij stortplaatsen, waar in de stort geen verhoogde concentraties zware metalen zijn aangetroffen (NA-klasse E);
- het meenemen van het NA-basis pakket, waarmee een indeling van stortplaatsen naar NA-potentie beter kan worden onderbouwd, in de lopende monitoringsronden van het NAVOS-traject;
- het opstellen van een locatiespecifieke beoordeling van NA als beheersvariant bij gebleken NA-potentie, door middel van meer specifieke NA-metingen (NA-specifiek pakket). Dit dient als voorbereiding van een NA-nazorgplan ten behoeve van het NAVOS-uitvoeringstraject;
- centrale dataverzameling van alle daarbij vrijkomende NA-gegevens in de bestaande NA-projectdatabank ten behoeve van de validatie en aanscherping van zowel de NA-toetsingsmethodiek als de indeling van stortplaatsen (risico-indeling NA-klassen);
- uitbreiding van het bestand van 80 stortplaatsen teneinde afwezigheid van de relatie NA-potentie met het type stortmateriaal op basis van een kwantitatief voldoende representatieve steekproef al dan niet te kunnen bevestigen.

9 **BEGRIPPENLIJST**

Aquifer:	watervoerend pakket
AVS:	acid volatile sulfide, analysemethode om het vermogen te bepalen van het geanalyseerde materiaal om in een reducerend milieu zware metalen vast te leggen
Benedenstroomse peilbuizen:	peilbuizen die stroomafwaarts van de stortplaats zijn geplaatst, in het NAVOS-traject zijn het tevens de B-peilbuizen
Bovenstroomse peilbuizen:	peilbuizen die stroomopwaarts van de stortplaats zijn geplaatst, in het NAVOS traject zijn het tevens de A-peilbuizen, of de referentie-peilbuizen
BTEXN:	bezeen, toluen, ethylbenzeen, xyleen en naftaleen
BZV:	biologisch zuurstof verbruik
DOC:	dissolved organic carbon totaal opgelost organisch koolstof
HCH's:	hexachloorcyclohexaan (chloorpesticiden)
I-waarde:	interventiewaarde (voor deze rapportage zijn de resultaten getoetst aan de toetsingswaarde die gelden voor grond- en grondwater zoals vermeld in de circulaire 'Streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering', gepubliceerd in de staatscourant van 24 februari 2000)
Metabolisme:	stofwisseling
NA:	natural attenuation
NA-potentie:	de natural attenuation condities van een stortplaat (hoog, voldoende of onvoldoende)
NAVOS:	nazorg voormalige stortplaatsen
Oxiderende condities:	suboxisch, nitraatreducerend, ijzer-mangaan reducerend
OXC:	oxidatie capaciteit in het sediment
PAK:	polyaromatisch koolwaterstoffen
PCB's:	polychloorbifenolen
PER:	perchlooretheen, tetrachlooretheen
reducerende condities:	sulfaat reducerend, methanogeen
S-waarde:	streefwaarde(voor deze rapportage zijn de resultaten getoetst aan de toetsingswaarde die gelden voor grond- en grondwater zoals vermeld in de circulaire 'Streefwaarden en interventiewaarden bodemsanering', gepubliceerd in de staatscourant van 24 februari 2000)
TOC:	totaal organisch koolwaterstof (zowel in de vaste fase als in de opgeloste fase)
TRI:	trichlooretheen
VAK:	vluchtige aromatische koolwaterstoffen
VOH:	vluchtige gechloreerde koolwaterstoffen
Wbb:	wet bodembeheer

▪ **LITERATUUR**

1. Cristensen T.H., Cossu R., and Stegman R., (1997) Landfill processes and waste pretreatment, proceedings of the Sixth international landfill Symposium, Sardinia 1997.
2. IWACO, 1998, Natural attenuation at the Coupepolder landfill. Hydrological, geochemical and biological characterization, report phase 2, report 1073200.
3. IWACO, 1998, Natural Attenuation (NA) en voormalige stortplaatsen: consequenties voor de monitoringsstrategie, eindrapportage, rapport 336.4370.
4. IWACO, 1998, Onderzoek naar het zelfreinigend vermogen van de bodem t.p.v. de stortplaats Banisveld in Boxtel, rapport 335.5960.
5. IWACO, 1999, Bemonsteringsprotocol Natural Attenuation onderzoek bij voormalige stortplaatsen, rapport 336.8480, herziene versie 3 juni 1999.
6. IWACO, 2000, NOBIS 96-3-04 Stappenplan beoordeling natuurlijk afbraak, rapport
7. Wiedemeier, T.H., M.A. Swanson, D.E. Moutoux, E. Kinzie Gordon, J.T. Wilson, B.H. Weilson, D.H. Kampbell, P.E. Haas, R.N. Miller, J.E. Hanssen, F.H. Chapelle. 1998. Technical protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in groundwater. US EPA, Ohio, USA.