ALTERRA
WAGENINGEN UR





Onderzoek weilanddepot Aanen

Gebruiksmogelijkheden voor de landbouw

Alterra-rapport 2442
ISSN 1566-7197

J. Harmsen, R.P.J.J. Rietra en A. van den Toorn

Onderzoek weilanddepot Aanen

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Waterschap Rivierland
Projectcode [5238926]

Onderzoek weilanddepot Aanen

Gebruiksmogelijkheden voor de landbouw

J. Harmsen, R.P.J.J. Rietra en A. van den Toorn

Alterra-rapport 2442

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013

Referaat

Harmsen, J., R.P.J.J. Rietra en A. van den Toorn, 2013. Onderzoek Weilanddepot Aanen: Gebruiksmogelijkheden voor de landbouw. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2442. 48 blz.; 11 fig.; 13 tab.; 16 ref.

Verspreidbare bagger wordt in Nederland verspreid over aanliggende percelen en ook toegepast in weilanddepots. Het weilanddepot Aanen is in 2004 aangelegd onder de Wet Milieubeheer en de kwaliteit van de gerijpte specie voldoet bij de ontmanteling niet aan de nu geldende criteria voor verspreiden van baggerspecie (Besluit Bodemkwaliteit). Alterra heeft onderzocht of desondanks landbouw mogelijk is na ontmanteling van het depot. In 2011 en 2012 is op een deel van het perceel gras verbouwd en op een deel maïs. Uit de metingen is geconcludeerd dat het nieuw ingerichte perceel landbouwkundig kan worden gebruikt. Bij gebruik in de veehouderij (teelt van gras en maïs) zal dit leiden tot voedsel dat aan bestaande kwaliteitscriteria voldoet.

Trefwoorden: bagger, weilanddepot, verspreiden, landbouwkundig gebruik.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

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

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

Alterra-rapport 2442
Wageningen, mei 2013

Inhoud

Samenvatting 7

1 Inleiding 9
1.1 Aanleiding en doelstelling 9
1.2 Parallelle activiteiten 10
1.3 Onderzoeksopzet 11
1.4 Leeswijzer 12

2 Materiaal en methoden 13
2.1 Evaluatie beschikbare gegevens 13
2.2 Veldonderzoek 13

3 Resultaten en discussie 19
3.1 Samenstelling van de bodem 19
3.2 Toetsing van de bodem en baggerkwaliteit 20
3.2.1 Verspreidbaarheid volgens msPAF 20
3.2.2 Gebruiksmogelijkheden als bodem 21
3.2.3 Geschiktheid voor de landbouw 22
3.2.4 Toepasbaarheid gerijpte baggerspecie 25
3.3 Teelt van gewassen 26
3.3.1 Gebruik als maïsland 26
3.3.2 Gebruik als grasland 28
3.3.3 Gevolgen begrazing 31
3.4 Ecologische risico's 32
3.5 Effecten sulfaat 33

4 Conclusies 35
4.1 Huidige situatie 35
4.2 Inspelen op de toekomst 36
4.3 Tot besluit 37

Referenties 39

Bijlage 1 Selectie data oude onderzoeken 41

Bijlage 2 Analyseresultaten 43

Bijlage 3 Analysemethoden 47

Samenvatting

Verspreidbare bagger wordt in Nederland verspreid over aanliggende percelen en ook toegepast in weilanddepots. Het primaire doel hiervan is om baggerspecie direct in het omliggende gebied toe te kunnen passen. Voor een weilanddepot geldt een secundair doel en dit is het verhogen van het perceel en daardoor de bruikbaarheid te vergroten. Het depot Aanen is in 2004 aangelegd onder het regiem Bouwstoffenbesluit van de Wet Milieubeheer (Wm).

Oorspronkelijk voorzag de Wm slechts in verspreiden van kwalitatief verspreidbare baggerspecie, klasse 0 t/m 2. De kwaliteit werd destijds onder regime van de 4e Nota Waterhuishouding geclassificeerd als 'klasse 0 t/m 4' (van schoon naar minder schoon) op het aan de watergang grenzende perceel, binnen 20 meter vanaf de watergang. Grotere hoeveelheden bagger konden tijdelijk worden ondergebracht in baggerdepots ('weilanddepots' bestonden toen nog niet) en waren per definitie vergunningplichtig. Ze voldeden immers niet aan het verspreidingsbeleid. Bevoegd gezag voor depots met inhoud <10.000 m^3 is de gemeente en voor een inhoud >10.000 m^3 de provincie. De baggerspecie in de depots viel onder het regime van het bouwstoffenbesluit (een AMvB op de Wm).

De gerijpte bagger in een weilanddepot moet nu voldoen aan de criteria van het Besluit Bodemkwaliteit. In het weilanddepot Aanen wordt niet voldaan aan de nu geldende achtergrondwaarden (natuur en landbouw) en in tegenstelling tot aanvankelijke verwachtingen ook niet aan bodemkwaliteitsklasse wonen. Achteraf gezien was het misschien beter geweest de gebruikte specie niet toe te passen vanwege de kwaliteit. Het afvoeren van de gerijpte bagger wordt door de ongunstige ligging ten opzichte van de dichtstbijzijnde weg en alle bijkomende materiële en maatschappelijke schade als problematisch ervaren. Het waterschap onderzoekt daarom de mogelijkheden het weilanddepot - binnen aanvaardbare grenzen - haar landbouwkundige bestemming terug te geven.

Onderzocht is de productkwaliteit van gras en maïs op dit depot na de herinrichting tot landbouwperceel. Gebruik voor gras en maïs zijn in het gebied de meest waarschijnlijke landbouwkundige toepassingen. In het voorjaar van 2011 is het depot ontmanteld en is het perceel voor landbouwkundig gebruik ingericht. Het noordelijk deel van het perceel is ingericht voor zes vakken met gras, en het zuidelijk deel van het perceel is ingericht voor zes vakken met maïs. Omdat de pH in gerijpte baggerspecie was verlaagd zijn de vakken om en om bekalkt zodat er per gewas drie vakken zijn bekalkt en drie vakken onbekalkt zijn. Het gras is, twee keer in 2011 en één keer in 2012, geoogst en per vak in plastic balen op het perceel bewaard voor analyse. De maïs is in 2011 en 2012 bemonsterd waarbij onderscheid is gemaakt in de kolf en de rest van het gewas (blad en stengel). Om iets te kunnen zeggen over de loodinname door grazers, en daarmee over de loodgehalten in orgaanvlees, is in 2011 de mest bemonsterd van schapen die het perceel hebben begraasd na de tweede grasoogst. De bodem is in 2011 en 2012 bemonsterd.

De analyses van het gras, de maïskolf en de maïsstengels liggen voor cadmium en lood ruim onder de veevoedernormen. De bodemanalyses geven aan dat de ontmanteling van het depot en kaden, waarbij de kaden zijn gebruikt om de gerijpte baggerspecie af te dekken, heeft geleid tot een schonere bovengrond dan de gerijpte bagger in het depot. Door de menging van de gerijpte baggerspecie bij de herinrichting en de afdekking met grond uit de kaden was de pH in niet bekalkte stroken in de onderzoeksperiode hoger dan voor de herinrichting was gemeten. Door oxidatie van in de baggerspecie aanwezige sulfiden daalt de pH in de niet bekalkte bodem. Dit is een langzaam proces en kan nog enkele jaren doorgaan. De pH-daling moet worden

voorkomen door bekalking, omdat bij lagere pH er meer zware metalen worden opgenomen door gras en de concentratie in het poriewater niet meer zal voldoen aan de streefwaarde.

Uit de metingen is geconcludeerd dat het nieuw ingerichte perceel landbouwkundig kan worden gebruikt. Bij gebruik in de veehouderij (teelt van gras en maïs) zal dit leiden tot voedsel dat aan bestaande kwaliteitscriteria voldoet. Door opmenging kan de kwaliteit van de bovengrond in de toekomst nog iets gaan verslechteren. Er wordt niet verwacht dat dit de gebruiksmogelijkheid zal verminderen. Wel wordt aanbevolen zekerheidshalve de graskwaliteit te volgen en verder kritisch te blijven over begrazing.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doelstelling

Bij het onderhoud van watergangen komt baggerspecie vrij, waarvoor een bestemming moet worden gevonden. De meeste baggerspecie wordt verspreid op aanliggende percelen, maar in veengebieden wordt steeds vaker gebruik gemaakt van weilanddepots. Een belangrijk voordeel hierbij is dat een perceel wordt opgehoogd en dat daardoor de bruikbaarheid wordt verhoogd. Eigenaren van laaggelegen percelen hebben dan ook belangstelling voor deze toepassing van baggerspecie. De hiervoor te gebruiken baggerspecie moet voldoen aan de criteria voor verspreiden. Dat wil zeggen dat de baggerspecie die voldoet aan de achtergrond waarde (AW 2000) in ieder geval gebruikt mag worden en als er licht verhoogde gehalten aan verontreiniging aanwezig zijn, er wordt voldaan aan de msPAF-criteria. Bij aanleg van het weilanddepot moet de $msPAF_{metalen}$ kleiner zijn dan 50% en de $msPAF_{organisch}$ kleiner dan 20% (Besluit Bodemkwaliteit, 2008).

Weilanddepot Aanen te Hoornaar bevat 21.250 ton gerijpte baggerspecie op een oppervlak van 3,67 ha. Het depot is in 2004 aangelegd onder het regiem Bouwstoffenbesluit van de Wet Milieubeheer. Uitgangspunt van de Wm is het stand-still beginsel, wat zoveel inhoud dat een ingreep geen negatieve gevolgen mag hebben voor het milieu. In de vergunning stond opgenomen dat de verwerking van het depotmateriaal (de bagger) diende te voldoen aan het vigerende beleid ten tijde van ontmanteling. Dit betekent dat de baggerspecie (indien sterker verontreinigd dan de ontvangende bodem) na ontwatering weer moest worden verwijderd. Baggerspecie werd bemonsterd en geanalyseerd volgens NEN 5720. Voorafgaand aan de inrichting van een baggerdepot werd de kwaliteit van de ontvangende bodem bepaald met NEN 5740. Na indrogen en rijping van de baggerspecie werd ook van de ontstane bodem de kwaliteit bepaald met een AP-04 onderzoek (bouwstoffenbesluit). De kwaliteit van de oorspronkelijke baggerspecie, en de kwaliteit van de ontwaterde baggerspecie in het depot werden vervolgens vergeleken. Probleem was dat deze onderzoeken weliswaar op elkaar leken, maar niet helemaal één op één vergelijkbaar waren. De kwaliteit van de ontwaterde baggerspecie bleek onverwacht minder goed dan voorzien, en daarnaast ook minder goed dan de ontvangende bodem.

Op basis van het bouwstoffenbesluit en de Wet Milieubeheer zou de ontwaterde baggerspecie daadwerkelijk moeten worden verwijderd. Het bouwstoffenbesluit is inmiddels voor grond en baggerspecie niet meer van toepassing. Er is een nieuw regime gekomen in de vorm van het Besluit Bodemkwaliteit, wederom een AMvB op de Wm. Deze voorziet in een verruiming van het al bestaande verspreidingsbeleid.

Met de msPAF is een ecotoxicologische toets ontwikkeld waarmee een betrouwbaarder beeld ontstaat van (vooral de negatieve) effecten op de bodemkwaliteit. Het Besluit Bodemkwaliteit voorziet in bredere toepassing van verspreidbare baggerspecie met inachtneming van de resultaten van de msPAF-toetsing. Afhankelijk van de kwalificatie zijn er diverse verspreidings- en toepassingsmogelijkheden. Het Besluit Bodemkwaliteit voorziet in de mogelijkheid om verspreidbare baggerspecie zonder Wm-vergunning in permanente weilanddepots te bergen. Deze weilanddepots zijn niet ontheven van de plaatselijk geldende regels in het kader van de ruimtelijke ordening en eventuele andere wetten en regels. Als er in een weilanddepot bijzondere voorzieningen zijn of bewerkingen van de baggerspecie plaatsvindt, wordt het depot gezien als een inrichting en is het depot daarmee alsnog vergunningplichtig onder het regime van de Wm. Door de verandering in wetgeving is een bijzondere situatie ontstaan, aanleg onder de Wet Milieubeheer en ontmanteling na intrede van het Besluit Bodemkwaliteit. In de meeste situaties in het gebied mocht de specie na afloop en in overleg met het bevoegde gezag (Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid) blijven liggen, omdat werd voldaan aan de nieuwe criteria.

Het depot Aanen is een uitzondering en de kwaliteit van de gerijpte bagger in het depot voldoet niet aan achtergrondwaarden (natuur en landbouw) (categorie 1) en de bodemkwaliteitsklasse wonen uit het Besluit Bodemkwaliteit (2008). Bij de beoordeling van de gerijpte bagger met de huidige beoordelingssystematiek is de berekende msPAF voor de metalen hoger dan 50%, zodat deze bagger, achteraf gezien, niet in een depot had moeten komen.

De gehalten aan zware metalen in de gerijpte baggerspecie liggen om en nabij de LAC-waarden, die een indicatie zijn voor gehalten in de bodem waarbij risico's zouden kunnen ontstaan voor diergezondheid en landbouwkundige producten. Het waterschap overweegt of het mogelijk is om het weilanddepot weer een landbouwkundige bestemming te geven waarbij de gerijpte bagger niet hoeft te worden afgevoerd. Het kostenaspect van het afvoeren van de gerijpte bagger en de ongunstige ligging ten opzichte van de dichtstbijzijnde weg wordt als zeer problematisch ervaren en zorgt voor grote overlast in de directe omgeving. Daarom is in september 2010 met de gemeente Giessenlanden en de Milieudienst Zuid-Holland Zuid (tegenwoordig Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid) afgesproken dat het Waterschap Rivierenland een onderzoek zou laten uitvoeren naar de landbouwkundige en ecologische effecten van de verontreinigde baggerspecie. Doel van het onderzoek was te bepalen of de mogelijke negatieve effecten van bodemverontreiniging zoals deze in generieke normen zijn vastgelegd ook daadwerkelijk optreden onder de specifieke omstandigheden die gelden in depot Aanen.

In de omgeving en op de nabij gelegen percelen is grasland voor veeteelt de meest gebruikte landgebruiksvorm. Maïs is door de hoge grondwaterstand niet goed mogelijk op de meeste percelen, maar past wel goed in de bedrijfsvoering. Ophoging door gebruik te maken van baggerspecie waardoor maïsteelt mogelijk wordt is daarom een nuttige toepassing. In dit onderzoek is onderzocht of het weilanddepot Aanen omgezet kan worden in een perceel dat geschikt is voor normaal landbouwkundig gebruik. De hypothese is dat gras en maïs geteeld op dit perceel voldoet aan de eisen (diervoeder) en dat er geen risico's zijn voor diergezondheid. Omdat de gerijpte bagger relatief sterk verzuurd is, en de zuurgraad effect kan hebben op de opname van zware metalen in landbouwgewassen, is ook onderzocht wat het effect is van bekalking (hypothese 2).

De onderzoeksopzet moet leiden tot inzicht in de vraag of er gebruiksbeperkingen zijn. Als die er zijn dan is te overwegen of er maatregelen mogelijk zijn die de toestand kunnen verbeteren. Bijvoorbeeld: een gebruiksbeperking is geen gras telen of geen begrazing met vee of beïnvloeden van de beschikbaarheid van zware metalen door bekalking.

1.2 Parallelle activiteiten

In de voorgaande jaren heeft Alterra een groot onderzoek uitgevoerd naar het verspreiden van baggerspecie (Harmsen et al., 2012). Het weilanddepot Aanen was één van de onderzoeklocaties. Een belangrijke conclusie van het voornoemde onderzoek was dat bij het toepassen van bagger in een weilanddepot geldt, dat de kwaliteit van de bagger bepalend is voor de uiteindelijke bodemkwaliteit. Alleen voor biologisch afbreekbare stoffen als PAK en minerale olie zullen de gehalten langzaam afnemen. Meer specifieke conclusies waren:

1. Voor de zware metalen is de baggerkwaliteit volledig bepalend voor de chemische bodemkwaliteit. Rijping, opname en uitspoeling zorgen niet voor een relevante verlaging van de gehalten. Op basis van deze kwaliteit kan hergebruik worden vastgesteld. Bij landbouwkundig gebruik kan gebruik worden gemaakt van de LAC-waarden.
2. Net als bij verspreiden is in de meeste onderzochte depots baggerspecie toegepast met gehalten iets hoger dan de AW2000-waarde.
3. Bij hogere verontreinigingsniveaus uitgedrukt als $msPAF_{metalen}$ kunnen de LAC-waarden, vooral die voor Cd, Pb en Hg, worden overschreden. Toepassing van dit soort baggerspecie in een weilanddepot zal

dan direct leiden tot beperking in de landbouw (Gewaskwaliteit en mogelijkheid voor begrazing). Een msPAF aan de bovenkant van het criterium is gemeten in één van de depots. ($msPAF_{metalen}$ ca. 50%). In dit depot geeft de bio-assay een net verhoogde respons.

4. Hoge sulfidengehalten in de bagger kunnen de oorzaak zijn van verzuring waardoor de beschikbaarheid van de meeste metalen wordt verhoogd. Controle van de pH is daarom belangrijk bij inrichting van een weilanddepot en het opvolgende gebruik.
5. De fractie snel beschikbaar (=afbreekbaar) PAK in de onderzochte baggerspecie is klein (ca. 10%) en de zeer langzaam afbreekbare PAK relatief hoog (ca. 60%). Hierdoor is er een tiental jaren nodig voor een daling van het gehalte. Aan de andere kant zorgt de kleine fractie snel beschikbaar ook voor weinig toxisch effect.
6. De eventuele verbetering in gebruik van het perceel door de toepassing van baggerspecie is niet in beschouwing genomen bij dit onderzoek, maar kan een overweging zijn bij de keuze voor een depot. De verhoging ten opzichte van het slootpeil als gevolg van het opbrengen van de bagger kan het gebruik van laaggelegen en natte percelen verbeteren.

Het in conclusie 3 vermelde depot was het depot Aanen. Voor deze rapportage is een nadere uitleg van net verhoogde respons van belang. In schone grond is er geen respons en in vervuilde grond is er een duidelijke respons te meten in de vorm van verhoogde sterfte of verlaagde groei en voortplanting van de regenworm als bio-assay. In het depot Aanen werd geen hogere sterfte gemeten, maar leek er een klein effect op groei en voorplanting te bestaan. Effecten waren kleiner dan te verwachten in een vervuilde locatie. Gegevens lagen op de grens (knikpunt) tussen wel en niet waarneembare respons.

1.3 Onderzoeksopzet

Het onderzoek is gericht op het verzamelen van materiaal waarmee eventuele risico's bij toekomstig gebruik kunnen worden geschat. Het onderzoek omvat de onderstaande componenten.

- **Kwaliteitsgegevens toegepaste en gerijpte baggerspecie**. Hierbij is gebruik gemaakt van gegevens van het Waterschap en gegevens afkomstig van het onderzoek naar verspreiden van baggerspecie, waar het depot Aanen één van de onderzochte locaties was (Harmsen et al., 2012). Hiernaast zijn bodemmonsters onderzocht van de bovengrond, ontstaan na herinrichting. Dit deel van het onderzoek omvat chemische analyses naar totaal gehalten en beschikbare gehalten.
- **Gewaskwaliteit**. Hiertoe is op het perceel zowel maïs als gras geteeld. Dit zijn niet alleen gewassen die in aanmerking komen om in de toekomst op het perceel te worden geteeld, maar hebben ook een verschillend wortelstelsel. Gras wortelt ondiep en zal alleen reageren op de kwaliteit van de bovengrond. Maïs wortelt dieper, en zal daarom ook reageren op de kwaliteit van de ondergrond, de gerijpte baggerspecie. In het onderzoek zijn de landbouwkundige producten kuilgras en maïs bemonsterd en geanalyseerd. De producten worden getoetst aan de veevoedernormen. Daarnaast kunnen er risico's zijn voor andere landbouwkundige producten en diergezondheid. De risico's op overschrijding van andere landbouwkundige producten (vlees, melk, orgaanvlees) zijn via kennis uit literatuur beoordeeld op basis van de voerkwaliteit. De risico's voor diergezondheid zijn voor alle in de bagger ten opzichte van de bodem verhoogde elementen beoordeeld op basis van literatuur.
- **Begrazing.** Naast de effecten van begrazing, te berekenen uit bodem- en gewaskwaliteit, is op basis van mestonderzoek van op de locatie grazende schapen nagegaan hoe groot de opname van zware metalen werkelijk kan zijn.
- **Ecotoxicologische effecten.** Met een gevoelige bio-assay, de regenworm, is nagegaan of er ecotoxicologische effecten zijn. Uit eerder onderzoek (Harmsen et al., 2012) is gebleken dat de kwaliteit van de gerijpte baggerspecie op het knikpunt ligt van wel of niet optreden van meetbare effecten.

1.4 Leeswijzer

Na deze inleiding wordt in Materiaal en Methoden (Hoofdstuk 2) weergegeven welke bestaande gegevens zijn gebruikt en wordt het aanvullende onderzoek beschreven op het weilanddepot. In hoofdstuk 3 (Resultaten en discussie) wordt eerst vanuit de bodemkwaliteitsmetingen nagegaan wat de gebruiksmogelijkheden van de bodem zijn. Hierna wordt weergegeven wat de kwaliteit is van de geteelde gewassen gras en maïs. De effecten op organismen zijn onderzocht door analyse van de mest van schapen en toepassing van een bio-assay met regenwormen. Als laatste wordt ingegaan op de effecten van sulfaat, die in grote hoeveelheden kan ontstaan in een weilanddepot door oxidatie van sulfide en dan effect kan hebben op de gezondheid van dieren. Bij de conclusie in hoofdstuk 4 wordt onderscheid gemaakt tussen de huidige situatie en wordt rekening gehouden met veranderingen.

2 Materiaal en methoden

2.1 Evaluatie beschikbare gegevens

Het depot is in 2004 aangelegd en is daarvoor onderzocht door het Waterschap. Onderzocht is de bodem- en grondwaterkwaliteit voordat het depot is aangelegd (nulsituatie), de ingaande baggerspecie, de bodemkwaliteit in het depot en het bodem- en grondwater onder de gerijpte baggerspecie (=eindsituatie).

Het depot is in 2010 door Alterra bemonsterd in kader van het onderzoek 'Verspreiden van bagger'. Daarbij zijn drie mengmonsters van het depot onderzocht, en een referentiemonster van een naastgelegen perceel. Hierbij is ook aandacht besteed aan de biologische beschikbare gehalten. Een bio-assay met regenwormen *(Lumbricus Rubellus)* is uitgevoerd om vast te stellen of de bodem uit het depot effect heeft op het bodemleven.

2.2 Veldonderzoek

Het depot is in het voorjaar 2011 opnieuw ingericht om landbouwkundig gebruik mogelijk te maken. Hiertoe zijn de kaden geslecht en verspreid over het perceel. In figuur 1a is een luchtfoto te zien van het perceel met het depot voordat het ontmanteld is, en in figuur 1b is het perceel te zien na de herinrichting.

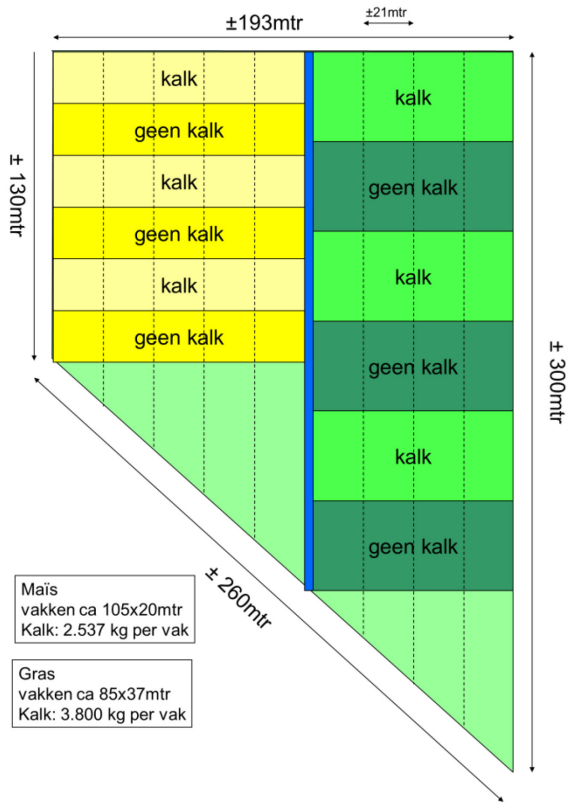


a *b*

Figuur 1

Onderzoek perceel met depot op (a) september 2009 en het perceel na herinrichting in mei 2011 (b). Foto's: Google Earth en Bing Maps.

Het onderzoek is uitgevoerd door het noordelijke stuk van het perceel met gras in te zaaien, en het zuidelijke deel met maïs, en beide delen in zes vakken in te delen. Uit het eerder uitgevoerde onderzoek (Harmsen et al., 2012) is gebleken dat er verzuring in de gerijpte baggerspecie was opgetreden. Voordat werd ingezaaid zijn daarom de vakken om en om wel of niet bekalkt. Hierdoor zijn drie onbekalkte vakken en drie bekalkte vakken ontstaan voor beide gewassen (zie figuur 2).



Figuur 2

Indeling van de vakken in de twee percelen op het voormalige depot na herinrichting in mei 2011. Er zijn mengmonsters gemaakt van elk vak. Daarnaast zijn mengmonsters per perceel (mais en gras), per behandeling (kalk en geen kalk), en diepte (0-20 cm en 20-40 cm -mv) gemaakt. Monstercodering: zie bijlage 4.

De contacten met het loonbedrijf en de eigenaar van het perceel verliepen via Waterschap Rivierenland. Dit bleek zeer effectief en leidde dan ook tot de gewenste resultaten. Door het Waterschap is in april 2011 opdracht gegeven aan een loonbedrijf om het depot in te richten als landbouwkundig perceel. Greppels en sloten zijn hiervoor op dezelfde locaties aangebracht als voor 2004. De kaden die nodig waren bij het vullen van het depot met baggerspecie zijn daarbij verspreid over het perceel. Het is evident dat hierdoor de bodemkwaliteit van het perceel verbetert ten opzichte van de eerdere onderzoeken naar de bodemkwaliteit in het depot (zie 3.1) en dat de mogelijke negatieve effecten van de verontreiniging zullen afnemen. Bij het bepalen van de onderzoeksopzet in 2010 is er van uitgegaan dat er slechts een dunne laag van de kadegrond kon worden verspreid en dat de 'verbetering' van de bodemkwaliteit beperkt zou zijn.

In het voorjaar van 2011 is gras en maïs (figuur 3) via normale landbouwkundige methoden en tijdstippen gezaaid door een loonbedrijf. Het perceel is bemest met dierlijke mest van het bedrijf. Door het droge voorjaar in 2011 kwam er pas laat groei in het gewas en kon het gras twee keer in plaats van de geplande drie keer worden geoogst. De oogst is representatief voor het gehele groeiseizoen. Het gras is apart verwerkt in grasbalen die op het perceel zijn bewaard voordat ze zijn bemonsterd. In 2012 was het bodemgebruik hetzelfde als in 2011. Het gras was nog steeds gras, alleen met een beter ontwikkelde zode in de maisstroken is opnieuw mais ingezaaid (figuur 3).

Tabel 1

Verloop van werkzaamheden in tijd.

Datum	Werkzaamheden	Toelichting
3 maart '11	Bemonstering voor bemestingsadvies	Alterra, bij depot voordat het ontmanteld is
April '11	Ontmanteling depot en inrichting perceel	Uitvoering door loonbedrijf in opdracht van Waterschap
mei11	Gras- en mais gezaaid	Uitvoering door loonbedrijf in opdracht van Waterschap
31 mei '11	Bezoek Waterschap en Alterra	Maïs staat 5 cm hoog.
6 juni '11	Veldcontrole	pH effect op bekalking is in het veld getoetst door Alterra
31 juli '11	1e grasoogst	Oogst door loonbedrijf, gras in balen
22 sept '11	1e bemonstering gras	Bemonstering van gras uit balen door Alterra
22 sept '11	Bemonstering maïs	Kolf en blad zijn apart bemonsterd in het veld
29 sept '11	Maïs oogst	Oogst door loonbedrijf
1okt '11	2e grasoogst	Oogst door loonbedrijf, gras in balen
11 nov'11	2e bemonstering gras	Bemonstering van gras uit balen door Alterra
11 nov'11	Bemonstering schapenmest	Bemonstering van verse mest door Alterra
11 nov'11	Bemonstering bodem	Bemonstering door Alterra
8 okt'12	Bemonstering bodem, gras, mais	Bemonstering door Alterra



Figuur 3

Depot: links na opkomst van maïs (31 mei 2011). In en op de grond liggen resten van riet. Rechts bij de monstername in oktober 2012.

Tabel 2

Bemonsteringen en analyses in 2011 en 2012.

Datum	matrix	Werkzaamheden	Toelichting
3 mrt '11	Grond	Bemonstering bodem	Twee mengmonsters (0-20 cm -mv). Eén van het grasland, en één van het maïsland. Twee typen analyses: *Aqua Regia* en 0,43 M HNO_3 extractie
11 nov'11	Grond	Bemonstering bodem	Aan verse grond van alle vakken (0-10 cm -mv)*. Eén type analyse aan grondmonsters: 0,001 M $CaCl_2$ -extractie
11 nov'11	Grond	Bio-assay	Regenworm assay toegepast op alle vakken
22 sept'11 11 nov '11	Gras	1e en 2e bemonstering gras	Kuilgras bemonsterd per vak. Mengsel van drie kuilmonsters per vak.
22 sept 11	Maïs	Bemonstering van kolf en rest van plant	Vijf planten per vak: kolf en rest van het gewas gescheiden.
11 nov '11	Grond	Bemonstering bodem	0-10 cm -mv
11 nov'11	Faeces	bemonstering verse schapenmest	
8 okt '12	Grond	Bemonstering bodem	Mengmonster per vak (0-20 cm -mv)* geeft twaalf grondmonsters van bovengrond Vier mengmonster van bodemlaag (20-40 cm -mv)
11 okt'12	Mais	Bemonstering van kolf en rest van plant	5 planten per vak: kolf en rest van het gewas gescheiden
11 okt '12	Gras	Bemonstering gras	Gras groeiend op de verschillende stroken afgeknipt met schaar vijf cm boven de grond. Per strook is een mengmonster gemaakt van vijf plaatsen (elke bemonsteringsplaats 10 x 10 cm)

*In 2011 is de bovenste 10 cm bemonsterd omdat er nieuw gras is ingezaaid. In het eerste jaar wortelt gras nog relatief ondiep. In het tweede jaar was de beworteling van het gras dieper en is de bovenste 20 cm bemonsterd.

Het gras is in 2011 op twee tijdstippen gemaaid. Per vak zijn daarbij twee of drie rollen met gras gevuld door de loonwerker. Na de oogst is door Alterra het gras in de balen bemonsterd (zie foto in bijlage 2, figuur 4). De gehalten in het gras worden vergeleken met de veevoedernormen. In 2012 is alleen geoogst in oktober. Het was onzeker of het gras in de balen afkomstig was van de verschillende stroken. Hoogst waarschijnlijk was er gemengd. Om deze reden zijn er monsters genomen van de verschillende stroken. Het gras was op dat moment ca. 20 cm hoog.

Eén week voor de oogst van de maïs is de maïs bemonsterd door Alterra, in zowel 2011 als 2012. Per vak zijn vijf planten geoogst. De kolf is gescheiden van de rest van de plant. Onder de kolf is de stengel doorgesneden. De kolf heeft over het algemeen zeer lage cadmiumgehalten en het blad hoge gehalten. De gehalten in het blad zijn daarmee een goede maat voor de toestand. Het hele product (blad+kolf) moet voldoen aan de veevoedernormen.

De grond is twee keer bemonsterd in 2011 en één keer in 2012. Er is uitgegaan van de door gras bewortelde diepte. Hierdoor is in 2011 de bovenste 10 cm bemonsterd en in 2012 de bovenste 20 cm (zie opmerking in tabel 2). Een tweede reden om de bovenste 20 cm te bemonsteren was de uitgevoerde grondbewerking, waarbij in de maisstroken de bovenste 20 cm was gemengd. In verband met de vergelijkbaarheid van de grondanalyses is voor de grondbemonstering geen onderscheid gemaakt tussen het mais en grasperceel. Allereerst is de grond in het depot bemonsterd voor bemestingsadvies (vooral voor kalk), en na de veldproef is de grond bemonsterd voor analyses van de zuurgraad en de metaalgehalten. Hierbij zijn verschillende analyses gedaan. Van de grond, bemonsterd in 2011 in de twaalf verschillende vakken, is een 0,001 M $CaCl_2$ extractie met verse grond gedaan. Van twee mengmonster van de grond zijn de gehalten bepaald met *Aqua Regia* en 0,43 M HNO_3. In 2012 zijn twee lagen van de bovengrond bemonsterd, de laag 0-20 cm -mv, en de laag 20-40 cm -mv. Zodoende kan vastgesteld worden of de laag direct onder de bouwvoor (20-40 cm -mv) vergelijkbaar

is met de bouwvoor, of dat in de loop van de tijd (onder invloed van intensief ploegen en bioturbatie) veranderingen te verwachten zijn. In 2012 zijn naast de totaalgehalten gemeten met *aqua regia*, ook opnieuw pH-metingen van de bodemmonsters uitgevoerd om te toetsen wat het effect van de bekalking in 2011 is geweest. De totaalmetingen in 2012 waren gericht op de elementen die van belang waren voor de gewaskwaliteit en elementen waarmee inzicht werd verkregen over de menging van de ondergrond en de bovengrond. Bij alle bemonsteringen in het hele perceel en van de vakken wordt een denkbeeldig raster getekend waarop 40 plekken worden bemonsterd met een Edelmanboor. De totaalgehalten zijn nodig om de inname van zware metalen door koeien te berekenen (koeien vreten naast gras ook enige procenten grond doordat ze gras uit de grond trekken). De analyse van de beschikbaarheid maakt het grondmonster vergelijkbaar met andere grond- en gewasonderzoeken waarin deze parameters bepaald zijn.

Na de tweede grasoogst in 2011 is het perceel begraasd met schapen. Verse schapenmest is bemonsterd en geanalyseerd. Hieruit kan ingeschat worden of schapen naast lood van gras ook veel lood innemen via eten van grond. De gezamenlijke inname van lood via gras en grond bepaalt de loodgehalten in het orgaanvlees (producten). Die producten moeten voldoen aan de normen voor dierlijke producten voor menselijke consumptie.

De gebruikte analysemethodieken zijn samengevat in bijlage 3.

3 Resultaten en discussie

3.1 Samenstelling van de bodem

In voorgaande onderzoeken op de locatie van het depot is vastgesteld dat de gemiddelde gehalten aan zware metalen en PAK verhoogd zijn ten opzichte van de situatie voor de aanleg van het depot (nulsituatie). Voor het vaststellen van de bodemkwaliteit in het depot zijn vijf verschillende vakken binnen het depot onderscheiden. De verschillen tussen deze vakken, en dus de variatie binnen het depot, is groot (zie bijlage 1). Bijvoorbeeld de laagste en hoogste meting voor cadmium is 2 en 4,3 mg kg^{-1}, bij koper 70 en 160 mg kg^{-1}en PAK 7 en 28 mg kg^{-1}, bij vrijwel dezelfde lutum- en organische stofgehalten. Opvallend aan de resultaten in 2010 ten opzichte van 2007 is de verlaging van de pH gedurende drie jaar. Dit wordt veroorzaakt door oxidatie van in de baggerspecie aanwezige sulfiden tot sulfaten. Tot voor de herinrichting was de pH verlaagd en varieerde de pH in de mengmonsters van pH 4,2 tot 5,5 (bijlage 2). Na de herinrichting is de pH weer hoger geworden, ook in de niet bekalkte stroken. In 2012 is de pH in de niet bekalkte stroken weer lager geworden. Hierop wordt teruggekomen in hoofdstuk 3.2.3. De resultaten zijn samengevat in tabel 3.

Tabel 3

Samenvatting toetsing van nulsituatie, baggerspecie, ontwaterde baggerspecie en de heringerichte bodem in het depot. Gegeven is een selectie van de gemiddelde metingen. Voor de pH wordt na de herinrichting onderscheid gemaakt in niet-bekalkt en bekalkt.

	Laagdikte (cm)	pH onbekalkt	pH bekalkt	%<2um	%OS	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	PAK
Oorspronkelijke bodem (2004)	0-50			44	14	1	34	0,1	51	48	120	20	0,2
Baggerspecie (2004)	Bagger			41	19	2,3	76	1,1	52	131	540	24	6,4
Depot (2007)[1)]	0-100/110	6,8		38	20	2,2	83	1,2	51	157	638	30	10
Depot (2010)[2)]	0-20	4,8		43	24	2,1	74	1,3	42	183	566	30	
Depot (2011) [3)]	0-20	4,6		35	23								
Heringericht depot (2011)	0-10 [4)]	5,8	5,7 [6]	54	22	0,9	41	0,4	48	72	216	20	
Heringericht depot (2012)[7)]	0-20	5,0	6,2 [6]	49	22	1,2		0,6		104	288	23	
	30-40	5,5	5,8	44	24	1,8		0,9		121	515	24	

[1)] Partijkeuring in 2007 en 2008, zie bijlage 1.
[2)] Harmsen et al. (2012).
[3)] Bemestingsadvies (bijlage 2).
[4)] Huidig onderzoek in 2011(bijlage 2).
[5] Huidig onderzoek in 2012 (bijlage 2).
[6)] pH beïnvloed door de bekalking, zie tekst.
[7)] Cu en Ni niet opnieuw gemeten, resultaten 2011 waren afdoende.

De resultaten van het heringerichte depot in 2011 verschillen aanzienlijk met de analyses van de bodem in het depot. Door het gebruik van de kaden in de nieuwe bovengrond zijn de gehalten in de nieuwe bovengrond een mengsel van de oude bovengrond (die gebruikt is in de kaden) en de gerijpte baggerspecie. Op basis van bovenstaande Cd-, Cu-, Hg-, Pb- en Zn-gehalten (de nulsituatie, depot en heringericht depot) bestaat de nieuwe

bovengrond in 2011 (de bemonsterde laag van 0-10 cm) voor 80% uit de oude bovengrond en 20% gerijpte bagger[1]. In 2012 (bemonsterde laag van 0-20 cm) is het gehalte aan zware metalen in de gemeten monsters hoger en het percentage gerijpte bagger in de bovengrond ook hoger. De Hg-metingen[1] geven een scherp onderscheid tussen de baggerspecie en de oorspronkelijke grond. Op basis van een Hg-concentratie in de oorspronkelijke bagger van 1,2 mg/kg en 0,1 mg/kg in de oorspronkelijke bodem is het percentage oorspronkelijk bagger in de bovengrond van het depot 27% in 2011 (0-10 cm) en 45% in 2012 (0-20 cm -mv). In de laag 20-40 cm werd tweemaal een gehalte van 1,2 mg/kg gemeten en tweemaal een lager gehalte. Dit wordt veroorzaakt door een ruimtelijke verspreiding in de gehalten. Er kan worden geconcludeerd dat door opmenging de bovenlaag meer op de oorspronkelijke specie zal gaan lijken. Uitgaande van de metingen bevat de bovenste 20 cm van de bodem in 2012 ongeveer 50% van de oorspronkelijke bodem en 50% bagger[2]. Het percentage kan gaan toenemen als de bodem dieper wordt bewerkt. Uitgaande van een maximale bewerkingsdiepte van 30 cm kan het percentage bagger toe gaan nemen tot circa 67%. De bovengrond van het heringerichte depot lijkt daarmee steeds meer op de gerijpte baggerspecie in het oorspronkelijke depot.

Voor de herinrichting was er twijfel over het effect van het verspreiden van de kaden over het perceel. Er is er van uitgegaan dat er slechts een dunne laag over het perceel zou worden verspreid. Dit zou een beperkte 'verdunning' geven van de verontreinigingen. De resultaten laten zien dat op dit depot de twijfel onterecht was. De verspreiding van de kaden heeft er voor gezorgd dat de kwaliteit van de bovengrond aanzienlijk beter is dan verwacht.

3.2 Toetsing van de bodem en baggerkwaliteit

3.2.1 Verspreidbaarheid volgens msPAF

Baggerspecie is verspreidbaar als wordt voldaan aan de msPAF-criteria. De $msPAF_{metalen}$ moet kleiner zijn dan 50% en $msPAF_{organisch}$ moet kleiner zijn dan 20%. In het onderzoek van Harmsen et al. (2012) worden een aantal kanttekeningen geplaatst bij het gebruik van de msPAF-criteria, omdat deze criteria kunnen leiden tot het overschrijden van LAC-criteria. Gebaseerd op de partijkeuring uit 2007 met een pH van 6,8 is de berekende $msPAF_{metalen}$ gelijk aan 23% en was de toegepaste baggerspecie verspreidbaar. Bij de standaardinstelling van het rekenprogramma met een pH van 5,5 is $msPAF_{metalen}$ = 64%. Hiermee is de gerijpte baggerspecie ongeschikt voor verspreiding geworden. In 2010 was de pH gedaald tot 4,8 als gevolg van rijping. De $msPAF_{metalen}$ bij pH 4,8 is 84%. De bij de toetsing gebruikte pH is dus kritisch en de toxiciteit neemt toe bij daling van de pH. Koper en zink zijn de bepalende elementen in de msPAF zoals is weergegeven in tabel 4. De msPAF-waarden in deze tabel zijn berekend met een pH van 5,5.

[1]Fractie schone grond = (gehalte heringericht perceel - gehalte depot)/(gehalte nulsituatie - gehalte depot)

[2] Tijdens de bijeenkomst op 18 juni schatte de heer Aanen dat op basis van de uitgevoerde bewerking de bovenste 20 cm voor de helft uit gerijpte baggerspecie zou bestaan.

Tabel 4

Berekende ecologische risico's met de msPAF-methodiek van de gerijpte baggerspecie.

	Depot n=20
	PAF
As	0,02%
Cd	0,3%
Cr	0,3%
Cu	**23**%
Hg	0,7%
Pb	1,4%
Ni	0,5%
Zn	**52**,4%
Gebruikte pH	5,5
msPAF	64%

De $msPAF_{organisch}$ is gelijk aan 10% en voldoet dus aan het $msPAF_{organisch}$ criterium. Door biologische afbraak van PAK in de gerijpte specie zal de kwaliteit van deze parameter langzaam gaan verbeteren.

3.2.2 Gebruiksmogelijkheden als bodem

De gebruiksmogelijkheden van de gerijpte baggerspecie worden op basis van de totaalgehalten geclassificeerd. Door de hoge cadmium-, koper-, zink- en kwikgehalten is de gerijpte baggerspecie geclassificeerd voor 'industrie'. De grond kan daardoor minder geschikt zijn als landbouwgrond en toetsing op basis van de LAC-waarden komt dan aan de orde (zie 3.2.3). Bij beoordeling van de bovengrond na de herinrichting (het mengen met de kaden) valt de beoordeling veel gunstiger uit omdat de kritische parameters (Cd, Cu, Hg, Zn) beneden de achtergrondwaarde zijn komen liggen (tabel 5). In deze tabel is weergegeven hoe het resultaat van de toetsing verschuift als rekening wordt gehouden met de lagere gehalten als gevolg van de herinrichting. In de tabel zijn ook de grenzen voor de verschillende klassen weergegeven.

Tabel 5

Toetsing generieke spoor. Bodemkwaliteitsklasse van bovenste laag grond voor de herinrichting en na de herinrichting in 2011, (bovenste 10 cm) en 2012 (bovenste 20 cm)., respectievelijk eerste, tweede en derde gehalte in de tweede kolom.

Stof	Verandering door herinrichting		Achtergrond waarde (*)	Wonen (*)	Industrie (*)
	gehalte mg/kg	Toetsing aan klassegrens voldoet aan			
Arseen	30 -> 20 -> 23	Wonen -> achtergrondwaarde	26,3	35,6	100
Cadmium	2,2 -> 0,9 -> 1,2	Industrie -> wonen	0,83	1,66	5,95
Chroom (III)	68 -> 68	Achtergrondwaarde	69,3	78,1	227
Koper	83 -> 41	Industrie -> achtergrondwaarde	55,3	75	263
Lood	157 -> 72	Wonen	63,5	267	673
Kwik	1,1 -> 0,4 -> 0,6	Industrie -> wonen	0,18	0,99	5,77
Nikkel	51 -> 48	Wonen	48	53,5	137
Zink	638 -> 216 -> 288	Industrie -> wonen -> industrie	194	277	998

* Klassegrenzen gecorrigeerd voor bodemtype (OS = 20%, lutum = 38%)

Door verdere opmenging van de bovenlaag met de ondergrond worden de gehalten van de zware metalen weer langzaam hoger. Uitgaande van een ratio 1:2 (zie paragraaf 3.1) wordt de bodem dan voor cadmium en zink weer geclassificeerd als industrie met gehalten van respectievelijk 1,8 en 465 mg/kg d.s. (zie ook tabel 6).

3.2.3 Geschiktheid voor de landbouw

Voor gebruik van grond in de landbouw die niet voldoet aan de achtergrondwaarde zijn er criteria opgesteld waarboven er negatieve effecten op de productkwaliteit kunnen optreden. Bij de gerijpte baggerspecie wordt de LAC-waarde voor beweid grasland overschreden door Cd, Cu en Pb (tabel 6). De LAC-waarde voor akkerbouw voor veevoer wordt overschreden door Cu en Zn. De risicotoolbox geeft de volgende risico's voor de gerijpte baggerspecie:

1. Fytotoxiciteit van zink bij snijmaïs (heel onzeker, boven het bereik van bekende gegevens).
2. Overschrijding van productnorm voor Cd in orgaanvlees (nier, lever) bij schapen en runderen.
3. Geringe overschrijding van productnorm voor Pb in orgaanvlees (lever) bij runderen.
4. Overschrijding LAC waarde Cu. Dit is gerelateerd aan kopertoxiciteit bij gevoelige schapen.

De beoordeling op basis van de LAC-waarden verandert sterk doordat tijdens de herinrichting de gerijpte baggerspecie is vermengd met de oorspronkelijke bovengrond. Na de herinrichting in 2011 en bij de meting in 2012 zijn de bovenstaande risico's sterk verminderd. Zoals in 3.1 is aangegeven kan het gehalte in de bovengrond gaan toenemen als er in de toekomst dieper wordt bewerkt. Dit was het geval in 2012 en verdergaande menging is in bouwland mogelijk. Het hierbij behorende berekende gehalte is ook weergegeven in tabel 6. Niet alleen direct na aanleg, waarbij de oorspronkelijke bodemkwaliteit sterk bepalend is maar ook als rekening wordt gehouden met menging met de onderliggende gerijpte bagger voldoet de bodem aan de meeste LAC-criteria. Alleen het kopergehalte is in alle gevallen licht verhoogd. Bij het depot kan gezorgd worden voor een gebruiksbeperking voor gevoelige schapenrassen (Texelaar).

Tabel 6

*Metingen depot Aanen in vergelijking tot LAC-waarden (klei**) (mg/kg).*

Element	LAC-waarde		Depot		Ingericht perceel		
	beweid grasland	akkerbouw voor veevoer	0-100/110 cm 2007 *	0-10 cm 2010	0-10 cm 2011	0-20 cm 2012	0-30 cm**
			n=20	n=3	n=2	n=12	berekend
As	50	50	30 ± 9	30	21	23 ±1.9	27
Cd	2	3	**2,2** ± 0,8	**2,1**	0,9	1,2 ± 0.2	1,8
Cr	180	180	68 ±19	63	68		68
Cu	30/80	80	**83** ±29	**74**	**42**		**67**
Hg	2	2	1,1 ±0,5	1,3	0,36	0,6 ±0.2	0,8
Pb	150	200	**157** ±47	**183**	73	104 ±22	121
Ni	50	50	50 ±13	43	48		48
Zn	660	660	638 ±216	566	216	288 ± 70	465

*Gemiddelde van alle analyses bij AP04 eindonderzoek en second opinion.

** Uitgaande van 67% gerijpte baggerspecie in bovenste 30 cm van de bodem en de gehalten gemeten in 2007 (representatief voor gehele depot) (zie paragraaf 3.1).

Zoals al eerder aangegeven werd, was bij de start van het onderzoek door de onderzoekers niet verwacht dat de bovengrond (0-10 cm) voor een belangrijk deel zou gaan bestaan uit de oude kaden, en dat dit zoveel invloed zou hebben op de gehalten in de bovengrond. Aangenomen werd dat er, door de kwaliteit van de gerijpte baggerspecie, risico's konden zijn op overschrijding van normen in producten voor cadmium en lood, en risico voor diergezondheid door koper. Grasland en maïsteelt zijn in deze streek de meest verbouwde landbouwgewassen. Niet-geteelde gewassen worden daarom verder niet behandeld.

Tabel 7

Grondonderzoek in 2011 (organische stof en lutum in %) en extractie in 0,001 M $CaCl_2$ (elementen uitgedrukt in µg /kg, DOC in mg C kg^{-1} bij 1 gram grond per 10 ml oplossing). Het gaat om de laag 0-10 cm -mv.

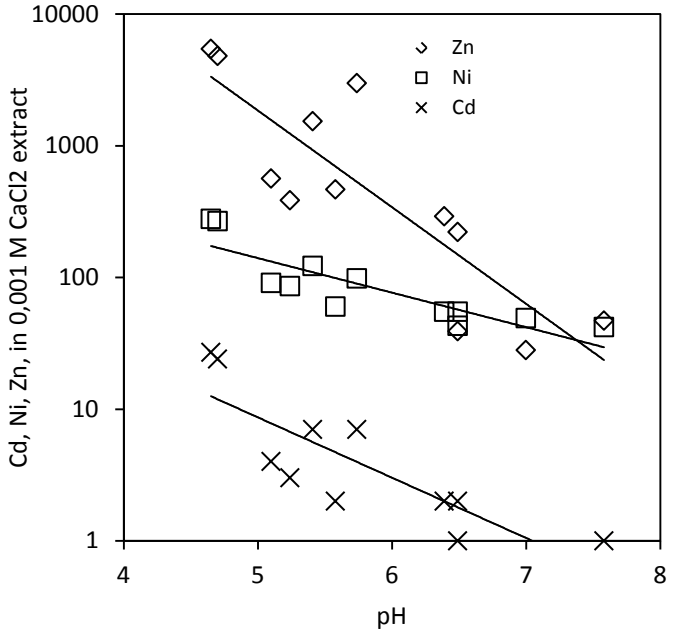
		Bodem		Extract											
Locatie		% lutum	%org	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mo	DOC	pH
G1		56	24	7	685	3	4,9	42	49	86	10	385	1	70	5,24
G2	bekalkt	58	23	9	426	0	2,5	14	46	49	6	28	7	110	7
G3		57	23	7	713	4	2,2	12	37	91	7	563	1	73	5,1
G4	bekalkt	62	21	8	523	1	2,2	14	58	43	8	39	3	86	6,49
G5		59	23	6	490	2	1,7	11	46	60	5	465	1	60	5,58
G6	bekalkt	50	21	6	465	7	1,1	7	52	98	3	2985	1	57	5,74
M1		53	23	7	596	24	22	10	60	267	6	4801	1	96	4,7
M2	bekalkt	50	24	7	683	27	20	10	76	278	6	5413	1	84	4,65
M3		53	22	8	389	2	2,1	10	70	55	6	221	7	114	6,49
M4	bekalkt	48	22	7	350	2	1,9	8	57	55	3	291	6	106	6,39
M5		47	21	13	336	1	1,8	9	65	42	4	47	15	118	7,58
M6	bekalkt	54	19	6	454	7	2	7	48	122	1	1535	1	75	5,41

Bij twaalf grondmonsters zijn in 2011 de potentieel voor planten opneembare zware metalen onderzocht met 0,001 M $CaCl_2$ extractie (tabel 7). De $CaCl_2$-methode is een veelgebruikte methode om de voor planten opneembare zware metalen vast te stellen, enigszins vergelijkbaar met poriewater. In dit geval is een extractie met 0,001 M $CaCl_2$ gebruikt zoals Harmsen et al. (2012) in de plaats van de veelgebruikte 0,01 M, omdat dit beter lijkt op poriewater. Door de herinrichting en bekalking is er een sterke variatie ontstaan in de zuurgraad van de bodem.

In bodem is de pH, na de metaalgehalten, de meest bepalende factor voor het actueel beschikbare gehalte van zware metalen (gemeten met 0,001 M $CaCl_2$). De opneembare hoeveelheid cadmium, nikkel en zink neemt toe naarmate de grond zuurder (= lagere pH) wordt, terwijl de opneembare hoeveelheid molybdeen dan afneemt. Ook in dit onderzoek is dit waargenomen (figuur 4). De spreiding is groter dan in laboratorium-experimenten, hetgeen wordt verklaard door de heterogeniteit in het depot. Figuur 4 laat zien dat de voor planten opneembare fracties van zink, cadmium en nikkel sterker gaan toenemen als de pH kleiner wordt dan 5. Dit is een pH-waarde die in dit onderzoek slechts sporadisch is gemeten. Figuur 5 laat echter zien dat zonder bekalking de pH ruim onder de 5 kan komen. Dus bij de gemeten situatie na de herinrichting in 2011 (pH >5) is er op basis van de resultaten van het $CaCl_2$-extract geen effect te verwachten. Zonder bekalking wordt de pH kleiner dan 5 en dan is er wel effect te verwachten.

Grotere concentraties in 0,001M $CaCl_2$ zijn ook een maat voor de mogelijke uitspoeling en de uitspoeling van de zware metalen (Cd, Ni, Zn) is veel hoger bij de zure grondmonsters. Door de waarden in tabel 7 door tien te delen wordt een schatting van de concentratie in de waterfase verkregen (µg/l). Voor cadmium en zink kan dit in de zuurdere monsters leiden tot overschrijden van de streefwaarde. Onder zure omstandigheden ontstaat

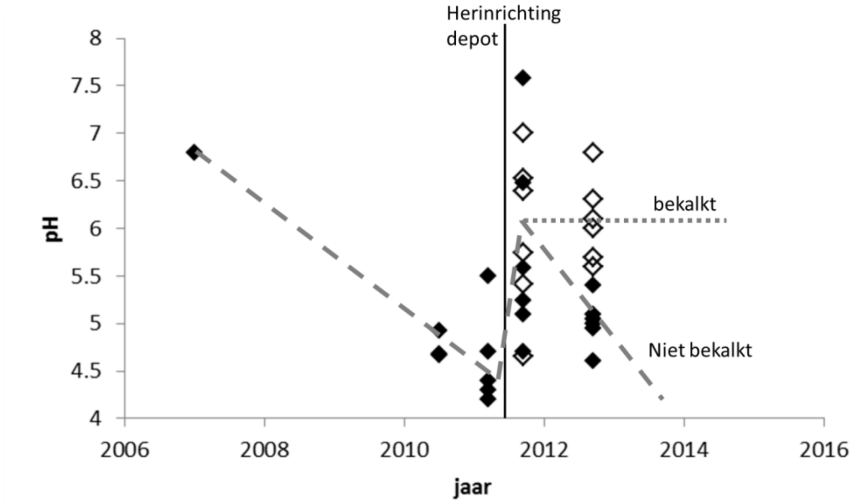
dan verspreiding van zware metalen uit de gerijpte bagger naar de onderliggende bodem en mogelijk afspoeling naar het oppervlaktewater (run-off) (Harmsen et al., 2012). Het meest bepalend voor de verhoogde uitspoeling is de pH, waardoor ook bij grond die voldoet aan de AW2000-waarde, bij lagere pH de concentratie in het poriewater groter kan zijn dan de streefwaarde.



Figuur 4

Effect van pH op de met 0,001 M $CaCl_2$-extraheerbare hoeveelheden zware metalen (Cd, Ni, Zn in µg kg^{-1}) (monsters 0-10 cm, bemonsterd in 2011). De lijnen zijn regressielijnen.

Uit tabel 7 blijkt dat de bekalking niet direct zichtbaar is in alle gegevens van 2011. In de grond, bemonsterd in de bekalkte grasstroken, zijn de gemeten pH waarden wel hoger. Voor maïs echter niet. De pH-metingen in 2012 geven wel een beeld dat aansluit bij de oorspronkelijke verwachtingen Er blijkt nu een significant verschil tussen beide behandelingen te zijn. In de bekalkte vakken is de pH 6,1 ± 0,4 en in de onbekalkte vakken pH 5,0 ± 0,2. De verschillende pH-metingen uitgevoerd in de periode 2007 tot 2012 zijn weergegeven in figuur 5.



Figuur 5

pH waarden in de bovengrond van het depot. Open symbolen zijn de waarden in de bekalkte stroken.

Met figuur 5 zijn de pH-waarnemingen verklaarbaar als rekening wordt gehouden met de snelheid van oxidatie van het sulfide, waarvoor tijd nodig is (Harmsen et al., 2005). Tijdens de rijping van de bagger in het weilanddepot vindt er geen bodembewerking plaats en zal vooral het sulfide in de bovenlaag oxideren en dit resulteert in een verlaagde pH (de dalende lijn vanaf 2007 in figuur 5). Met de herinrichting in 2011 vindt er bodembewerking plaats en zal de al geoxideerde baggerspecie opmengen met de niet of minder ver geoxideerde onderliggende baggerspecie. De onderliggende baggerspecie heeft een hogere pH en de eerdere verlaging in de bovengrond zal hierbij worden gecompenseerd (de stijging in figuur 5 in 2011). Vervolgens zal het omhoog gebrachte sulfide gaan oxideren. In het bekalkte deel blijft de pH gelijk omdat het gevormde zuur wordt gecompenseerd door de kalk (de horizontale lijn in figuur 5) en in het niet bekalkte deel gaat de pH opnieuw dalen en zal verder dalen tot de pH-waarde van voor de herinrichting.

3.2.4 Toepasbaarheid gerijpte baggerspecie

In een *worst case* situatie zou de gerijpte baggerspecie zich aan het oppervlak bevinden. Door verschillende analysemethoden te gebruiken kunnen risico's worden geschat. Voor cadmium en lood zijn er normen voor landbouwgewassen en kan worden getoetst of er overschrijding van de normen optreedt. Een bodemanalyse is aantrekkelijk, omdat het gehalte in de bodem niet snel verandert en daardoor voorspellend is voor de toekomst. Voor deze voorspelling is gebruik gemaakt van de metingen in 2011.

Hoeveel wordt opgenomen hangt af van de milieubeschikbaarheid van deze stoffen. De analyses (tabel 8) geven aan dat 46% van het met *Aqua Regia* extraheerbaar Pb ook met 0,43 M HNO_3 extraheerbaar is. Met *Aqua Regia* wordt het totaal Pb-gehalte gemeten, met HNO_3 het potentieel beschikbare gehalte. Dit is vergelijkbaar met een landelijk cijfer van 69% (Rietra en Römkens, 2007) en suggereert dat het Pb in aanhangende grond bij vraat door koeien net zo beschikbaar is als het Pb in andere studies. In recenter onderzoek (Rietra en Römkens, 2009) naar de loodgehalten in gras en in de faeces van runderen in het toemaakdekgebied zijn geen overschrijdingen in het gras en producten gevonden bij mediane loodgehalten van 400 mg kg^{-1}. Bij de gehalten in het huidige onderzoek mag dus worden verwacht dat er geen problemen ontstaan.

De 0,43 M HNO3-extraheerbare kopergehalten worden bij bemestingsadviezen specifiek gebruikt als een maat voor beschikbaar koper in de bodem. Bij gehalten lager dan 5 mg kg^{-1} kunnen tekorten ontstaan. Het gemeten gehalte van 31 mg kg^{-1} (tabel 8) ligt daar duidelijk boven. Bij hoge kopergehalten kan de opname van koper via gras en vraat van grond problemen geven, vooral bij gevoelige schapenrassen. Vandaar dat de LAC-waarde in tabel 6 twee waarden bevat: 30 en 80 mg kg^{-1}. In dat geval worden totaalgehalten in de bodem gehanteerd *(Aqua Regia)*. Het gemeten gehalte van 74 mg kg^{-1} (tabel 6) overschrijdt alleen de LAC-waarde voor de gevoelige schapenrassen (Texelaar).

De 0,001 M $CaCl_2$-extraheerbare cadmiumgehalten zijn een betere maat voor de opname in gewassen dan de totaalgehalten. Overschrijdingen van de cadmiumnorm in gras zijn aangetroffen bij extraheerbare cadmiumgehalten van 0,07 mg/kg in $CaCl_2$ of 1,5 mg/kg in 0,43 M HNO_3 (Rietra et al., 2006). De gemeten waarden liggen voor cadmium op de grens, maar het gehalte in $CaCl_2$ en dus ook de opname zal verminderen bij een hogere pH die te bereiken is door bekalking.

Voor maïs zijn op basis van de bodemgehalten in tabel 8 geen risico's op overschrijding van de gewasnormen te verwachten.

Tabel 8

Gehalten aan stoffen in gerijpte baggerspecie (0-10 cm, bemonsterd in 2011voor de herinrichting) op basis van drie extractiemethoden.

	Aqua Regia mg/kg	0,43 M HNO_3 mg/kg	0,001 M $CaCl_2$ mg/kg
As	30	16	0,007
Ba	277		0,530
Cd	2,1	1,5	0,076
Co	17	6	0,010
Cr	63	6	0,005
Cu	74	31	0,057
Hg	1,3		
Pb	183	85	0,010
Mo	1,2	0,2	0,001
Ni	43	12	0,646
Zn	566	315	31
pH			4,8

3.3 Teelt van gewassen

In het onderzoek is gebruik gemaakt van gras en maïs. Gras is een oppervlakkig wortelend gewas en zal wortelen in de na herinrichting gecreëerde bovenlaag. Maïs wortelt dieper en zal ook gebruik maken van de onderliggende laag met gerijpte baggerspecie.

3.3.1 Gebruik als maïsland

Bij de oogst van de maïs is geconstateerd dat er een goed gewas stond (figuur 6) en er kon geen onderscheid worden gemaakt tussen de verschillende vakken. De resultaten van de analyses zijn beschrevenin bijlage 2, en voor cadmium en lood (elementen waarvoor criteria voor diervoeders bestaan) in tabel 9.



Figuur 6
De maïs in 2011, net voor de oogst

De cadmiumgehalten in het stengel+blad van de maïs (tabel 9) zijn in 2011 relatief hoog. De gehalten benaderen de norm voor cadmium in diervoeders in 2011. In 2012 zijn de gehalten beduidend lager. De complete maïsplant, zoals die normaal gekuild wordt (silage), voldoet aan de norm doordat de cadmiumgehalten in de kolf heel laag zijn. Omdat de in de regio geteelde mais alleen als snijmais wordt gebruikt (gemengd stengel/blad/kolf) zijn de resultaten voor de silage maatgevend voor de mogelijkheid om het product als diervoeder te gebruiken. De cadmiumgehalten in de silage zijn met gemiddeld 0,42 mg Cd kg^{-1} in 2011 relatief hoog ten opzichte van metingen in onbelaste gebieden (Rietra et al., 2006), maar zijn in 2012 gemiddeld 0,13 mg kg^{-1} Cd.

De loodgehalten in de stengel en het blad, en in de kolf, zijn laag ten opzichte van de norm. De gehalten in 2012 zijn veel lager dan in 2011: dit geldt voor Cd en Pb, in stengel+blad en kolf. Navraag van de heer Aanen bij de loonwerker geeft aan dat in 2011 het maisras Balerik is gebruikt en in 2012 LG30.22. Onderzoek van de cadmiumopname door verschillende maisrassen geeft aan dat er grote verschillen tussen rassen kunnen zijn (Kurz et al., 1999). Er is geen onderzoek bekend over het effect van maisras op de Pb-opname door mais. Omdat de baggerspecie nog niet volledig is gerijpt over de volledige diepte, is het ook mogelijk dat de veranderende redoxcondities van invloed zijn op de beschikbaarheid voor opname door mais. Hierover is nog te weinig kennis aanwezig.

Voor de meeste elementen zijn er in 2011 geen verschillen waarneembaar tussen de bekalkte (M2,4,6) en niet bekalkte delen (M1,3,5). Voor zink zijn de gehalten in stengel+blad in naastgelegen stroken in 2011 in de niet bekalkte stroken hoger (M1>M2, M3>M4 en M5>M6) (bijlage 2: tabel 2.2 en 2.3). In 2012 is echter M2 > M1.

Tabel 9

Cadmium- en loodgehalten in maïs (mg kg^{-1}) van de bemonstering in 2011 en 2012. Silage is het gewichtsgewogen gemiddelde van de stengel+blad en de kolf.

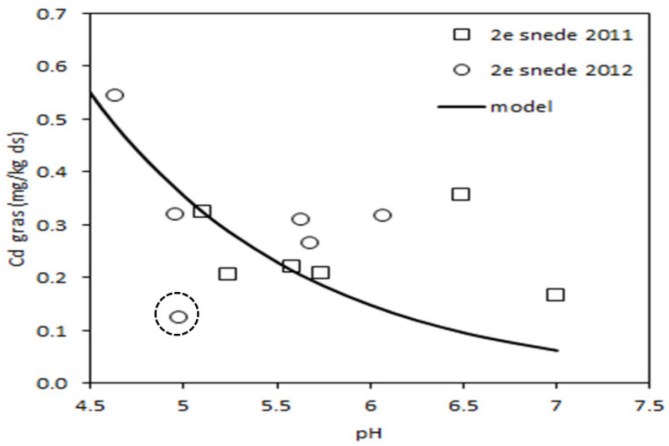
	Stengel en blad				Kolf				Silage			
	Cd		Pb		Cd		Pb		Cd		Pb	
	*1,0**		*10,0**		*1,00**		*10,0**		*1,00**		*10,0**	
jaar	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
M1	0,84	0,15	0,65	0,23	0,14	0,01	0,06	0,04	0,49	0,08	0,35	0,14
M2	0,76	0,35	0,35	0,22	0,13	0,02	0,08	0,02	0,44	0,11	0,21	0,12
M3	0,71	0,20	0,31	0,25	0,15	0,01	0,10	0,03	0,43	0,11	0,20	0,14
M4	0,77	0,20	0,33	0,19	0,13	0,01	0,06	0,02	0,45	0,18	0,19	0,10
M5	0,63	0,21	0,39	0,27	0,09	0,01	0,05	0,03	0,36	0,10	0,22	0,15
M6	0,68	0,15	0,52	0,29	0,09	0,02	0,08	0,02	0,38	0,09	0,30	0,15

*Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed, Regeling Diervoeders 2010.

3.3.2 Gebruik als grasland

Net als voor maïs geldt dat er geen onderscheid kon worden gemaakt tussen de verschillende vakken in 2011. Uiterlijk was er geen verschil te zien en het aantal balen gras was gelijk voor alle vakken in 2011. Het gras is bemonsterd vanuit de balen (figuur 9), omdat dit het gras is dat aan het vee wordt gevoerd. De metingen in gras zijn weergegeven in bijlage 2. Voor cadmium en lood bestaan er normen voor diervoeders en de gegevens van deze elementen staan in tabel 10. De cadmium- en loodgehalten in gras zijn lager dan de norm voor cadmium en lood in diervoeders (groenvoeder). De cadmium- en loodgehalten in het gras zijn wel verhoogd vergeleken met metingen in onbelaste gebieden (Rietra et al., 2006). Opvallend is dat in 2012 de loodgehalten in gras veel lager zijn dan de beide metingen in 2011. Dit wordt verder op in de tekst nog bediscussieerd. De cadmiumgehalten in gras (tabel 10) in 2011 zijn vergelijkbaar met de metingen in 2012. In 2012 is naar verwachting het cadmiumgehalte het hoogst in het monster met de laagste pH. De cadmiumgehalten in gras staan samen met de verwachte cadmiumopname als functie van de pH in figuur 8 De verwachting is een modelberekening op basis van pH en cadmiumgehalte van de bodem (model: Römkens et al., 2007). Het gemarkeerde punt in figuur 8 kan worden beschouwd als uitschieter, omdat het cadmiumgehalte in de grond hier beduidend lager was dan in de andere monsters. De verhoogde opname bij lagere pH wordt goed voorspeld door het model.

Eerder was te zien dat een lagere pH leidt tot hogere met 0,001 M $CaCl_2$ extraheerbare cadmiumgehalten (figuur 4). Dit effect komt terug bij relatie tussen de pH en cadmiumgehalten in gras (figuur 8). Bij lagere pH is de opname groter, maar in het traject tussen pH 5 en pH 7 is de opname van cadmium niet onderscheidbaar. We denken dat het pH-effect in dit traject slecht te zien is, omdat de zuurgraad sterk verschilt tussen dezelfde vlakken, en waarschijnlijk ook binnen de vakken, èn vanwege de genoemde heterogeniteit binnen de vakken.



Figuur 8
Cadmiumgehalten in gras als functie van de bodem pH (model uit Römkens et al., 2007).



Figuur 9
Eerste bemonstering van kuilgras (22 september 2011). Het gras is geoogst op 31 juli 2011.

Tabel 10

Cadmium- en loodgehalten in gras (mg kg^{-1}).

	Cd	Pb	Cd		Pb	
Norm*	*1,0*	*30,0*	*1,0*		*30,0*	
onbelaste gebieden	*0,1*	*0,5*	*0,1*		*0,5*	
	Eerste snede		Tweede snede			
	2011	2011	2011	2012	2011	2012
G0	0,3	3,9	0,3		12,1	
G1	0,4	12,7	0,2	0,1	5,3	0,3
G2	0,3	5,6	0,2	0,3	3,2	0,4
G3	0,4	3,4	0,3	0,3	7,1	0,4
G4	0,3	6,1	0,4	0,3	12,5	0,4
G5	0,3	3,2	0,2	0,5	3,9	0,3
G6	0,4	6,8	0,2	0,3	2,8	0,6

* Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed, Regeling Diervoeders 2010.

De gehalten aan andere zware metalen (tabel 11) wijken af van het gemiddelde Nederlandse gras doordat de aanhangende grond klei-rijk is. Hierdoor zijn de gehalten As, Ba, Co, Cr, Ni en Pb hoog, en komen ze in gelijke verhoudingen voor in verschillende grasmonsters, zoals in figuur 10 is te zien. In deze figuur zijn de Cr-, Fe-, Ni- en Pb-gehalten uitgezet tegen het gehalte aan cobalt. Op basis van deze sterke relatie is aannemelijk dat de verschillen in de gehalten veroorzaakt worden door aanhangende grond in de grasmonsters en niet door opname. Op basis van de gemeten totaalgehalten van de grond kan geschat worden om hoeveel aanhangende grond het gaat. In de twaalf grasmonsters uit 2011 varieert het grondgehalte van 4% tot 17%[3], bemonsterde gras bevat veel minder aas. Omdat het grasmonster in 2012 ook minder Pb bevat kan geconcludeerd worden dat dit grasmonster veel minder vervuild was met grond (0,3 à 0,6%)([3]). Het hogere Zn-gehalte in het gras in 2012 kan worden verklaard door de daling van de pH in 2012 en daardoor de grotere beschikbaarheid en grotere opname.

De kopergehalten van het gras wijken, ondanks de vervuiling van het gras met grond, niet sterk af van de normale kopergehalten in Nederland. Voor schapen wordt wel een kritiek gehalte van 15 mg kg^{-1} in gras gehanteerd (Commissie onderzoek Minerale Voeding, 2005). Het kopergehalte van gras in 2011 ligt daaronder. Voor gevoelige schapenrassen zijn lagere kopergehalten in voer gewenst. Het kritieke kopergehalte is door interactie in het dier, met ijzer, zwavel en molybdeen uit het voer, niet exact te geven. Aangezien de zwavelgehalten in het grasmonster ook verhoogd zijn worden geen risico's verwacht voor gevoelige schapenrassen.

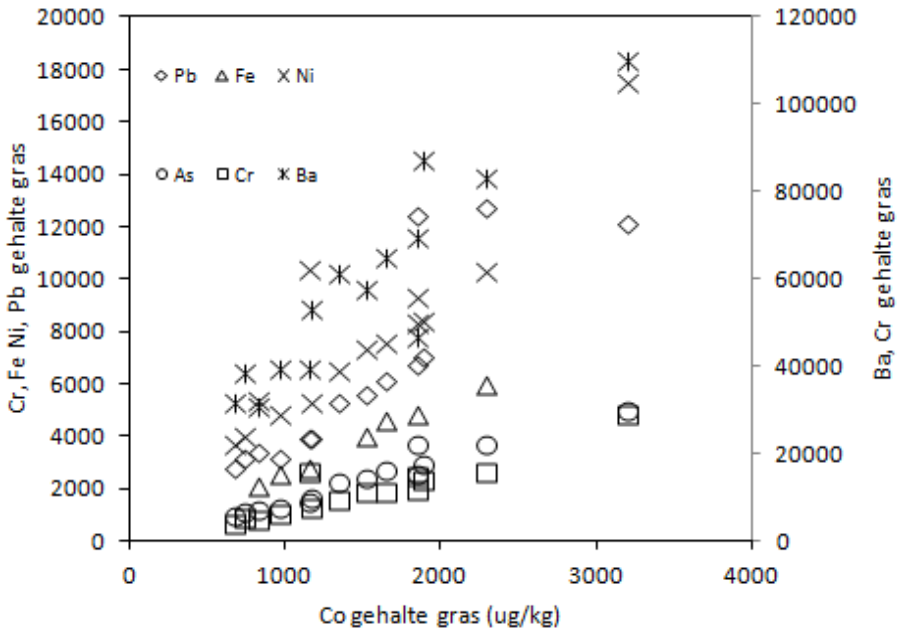
[3] Pb in grasmonster / Pb in grond x100% = % grond in grasmonster.

Tabel 11

Mediane metaalgehalten in gras (mg kg^{-1}). Voor Cd en Pb zie tabel 10.

Grasmonster	Dit onderzoek 2011	2012	Gemiddelde gehalten in Nederlands gras (Blgg)	Norm voor diervoerder*
As	2,3	0,06		2
Ba	55			
Co	1,4		0,16	
Cr	11			
Cu	12		7,8	Zie tekst
Fe	4055		443	
Ni	7,4			
S	5195		2800	
Zn	94	231	42	

* Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council of 7 May 2002 on undesirable substances in animal feed, Regeling Diervoeders 2010.



Figuur 10

Relatie tussen zware metaalgehalten in gras (Fe in mg kg^{-1}, rest in µg kg^{-1})

3.3.3 Gevolgen begrazing

Bij relatief hoge loodgehalten in gras, en hoge loodgehalten in de bodem, is het mogelijk dat de lood-inname bij grazers dusdanig hoog is dat het orgaanvlees te zeer belast wordt en de normen van de producten overschreden wordt. De loodinname kan geschat worden door de loodgehalten van de schapenmest te analyseren. In de onderzoeksperiode hebben schapen op het perceel gegraasd. Er is verse mest bemonsterd van schapen die na de oogst van de tweede snede in 2011 op het perceel graasden. Het gemeten loodgehalte in een mengmonster van verse schapenmest is 12 mg Pb kg^{-1} (bijlage 2, tabel 2.2). Dit wijst op een inname van lood.

Bij een verteerbaarheid van gras van 70% (Alterra rapport 1871) kan berekend worden dat het gras (voer) een loodgehalte heeft van 3,6 mg kg^{-1} ([4]). De mediaan van de tweede snede is 5.3 mg Pb kg^{-1}, dit is van dezelfde grootteorde. Dit betekent dat het voer dat het schaap ingenomen heeft niet meer lood bevatte dan de bemonsterde grasmonsters. Het gemeten en berekende loodgehalte in gras is beduidend lager dan de norm voor groenvoeder van 30 mg kg^{-1}.

3.4 Ecologische risico's

Bio-assays worden gebruikt als indicatie voor ecologische risico's. Een veel gebruikte bio-assay is de assay met regenwormen. Wormen zijn een belangrijke schakel in de voedselketen en een gezonde bodem moet daarom een gezonde populatie wormen hebben. De bio-assay met regenwormen is toegepast op de gerijpte baggerspecie zoals aanwezig voor de herinrichting (najaar 2010) (Harmsen et al., 2012) en na herinrichting en gedeeltelijke bekalking op het moment van de oogst van de gewassen (najaar 2011).

Tabel 12
Groei van de regenworm in de bio-assay 2010

Monster	Groei (mg/worm)	Standaard afwijking
KOBG (controle)	103	144
A1	47	90
A2	-164	97
A3	-226	167
A4	66	104

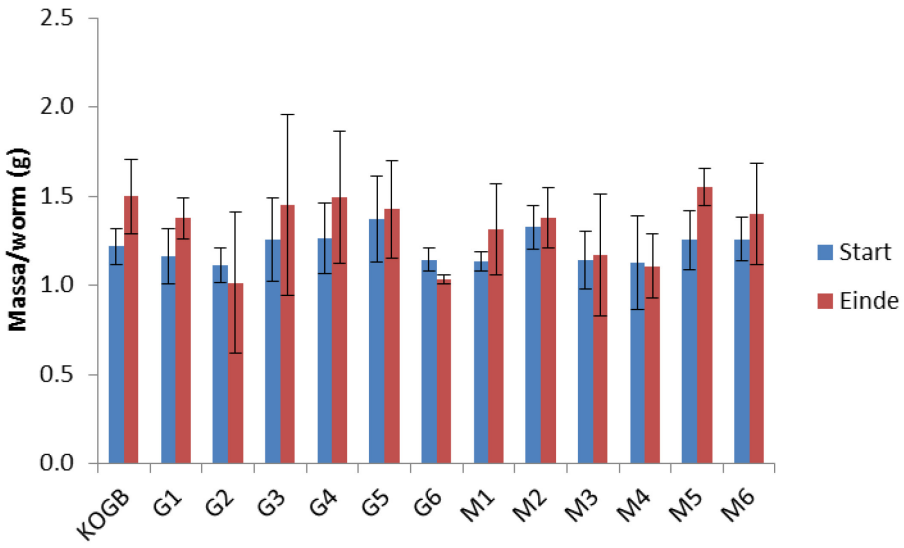
De resultaten voor de herinrichting in 2010 gaven aan dat voor de groei van de regenworm er geen tot net meetbare effecten waren in de specie van Depot Aanen (Harmsen et al., 2012). Enkele van deze resultaten zijn weergegeven in tabel 12. In de tabel zijn resultaten van de groei van vier monsters van het depot Aanen vergeleken met de controle (KOBG). Daarnaast zijn toen ook andere locaties onderzocht, variërend van schoon tot licht verontreinigd, maar verspreidbaar. Geconcludeerd werd dat op de meeste van de onderzochte locaties de gebruikte bio-assay geen significante verhoogde respons hebben laten zien. Pas bij de monsters met de meest verhoogde concentratie aan verontreinigingen, de monsters van het depot Aanen, lijkt er een meetbaar effect te komen, maar de spreiding in resultaten en standaardafwijkingen zijn erg groot. De resultaten, geen tot net meetbare negatieve effecten, waren aanleiding ook in dit onderzoek deze bio-assay toe te passen.

Bij de toetsing van de monsters van het najaar van 2011 is gebleken dat de gebruikte wormen niet in goede conditie waren. De sterfte in de controlegrond (KOBG) was te hoog, namelijk gemiddeld 50%. De reden hiervoor hebben we niet kunnen achterhalen, maar mogelijk heeft het relatief late bemonsteringstijdstip (november 2011) een rol gespeeld of is er een ziekte opgetreden. Volgens de criteria in de toets is de bio-assay ongeldig omdat het criterium van maximaal 10% sterfte in de controle ruim overschreden is. Dit betekent dat eigenlijk geen conclusies getrokken mogen worden uit de gevonden resultaten voor de overige

[4] Berekend is het Pb-gehalte in gras (voer) op basis van de schapenmest (12 mg Pb kg^{-1} d.s. schapenmest) en de standaard verteerbaarheid van gras (70%). Aangenomen wordt dat vrijwel alle Pb uitgescheiden wordt door het dier.

geteste gronden. De sterfte in de geteste bodems varieerde van 34% tot 52% en was in de meeste gevallen iets lager dan in de controlegrond (KOBG).

De overlevende wormen waren echter op het oog nog wel gezond. Om die reden is toch nog gekeken naar de groei uitgedrukt in massa per worm van de overlevende wormen. De parameter groei was in de eerdere bio-assay met de baggerspecie van Depot Aanen en andere locaties de op één na gevoeligste parameter en gaf een significant effect te zien. De metingen zijn weergegeven in figuur 11.



Figuur 11
De massa per worm bij de start en het einde van de bio-assay

De resultaten in figuur 11 laten zien dat de resultaten van de grondmonsters niet afwijken van de controle. Ook is er geen effect te zien van het bekalken. Geconcludeerd is dat de bodemsamenstelling nu zodanig is dat er in plaats van net waarneembare effecten nu geen waarneembare effecten zijn. Gezien de gebleken opmenging met schonere grond is de toets niet herhaald met een nieuwe partij wormen. Door het opmengen is de onderzoekshypothese veranderd van 'misschien net waarneembare effecten' in 'niet meer waarneembare effecten'. De verkregen resultaten zijn hiermee in overeenstemming en een grotere nauwkeurigheid voegt weinig meer toe aan een hypothese dat er geen effect meetbaar zal zijn.

3.5 Effecten sulfaat

Baggerspecie bevat vaak hoge sulfide gehalten. Dit ontstaat doordat in de waterbodem sulfaat afkomstig uit oppervlaktewater en kwel wordt gereduceerd en wordt vastgelegd als ijzersulfide. Bij toepassing in een depot wordt de baggerspecie weer aeroob en worden de sulfiden weer geoxideerd, waarbij weer opnieuw sulfaat ontstaat. In rijpende baggerspecie kunnen net als in de bovengrond van veengronden hoge concentraties sulfaat worden gemeten (Vermaat et al., 2012). Ook de bagger in het depot Aanen bevat veel sulfiden. Begin 2011 bevatte het materiaal nog 3,3 g kg^{-1} d.s. zwavel. Dit is de som van sulfide, sulfaat en een beperkte hoeveelheid organische zwavel. De oorspronkelijke waterbodem zal meer zwavel hebben bevat, omdat al een deel van het gevormde sulfaat zal zijn uitgeloogd. Direct naast het depot is in de waterbodem een zwavelgehalte van 19 g kg^{-1} d.s. gemeten. Het hoge sulfaatgehalte kan in principe leiden tot kopergebrek,

vooral als het molybdeengehalte ook verhoogd is (Counotte, 2010). Hierdoor wordt de benutting van koper (een essentieel element nodig voor een goede diergezondheid) onderdrukt.

Een verhoogd molybdeengehalte is bij toepassing van baggerspecie een reëel gevaar, omdat molybdeen accumuleert in waterbodems (Rietra en Harmsen, 2005). De molybdeengehalten in het materiaal in het depot zijn iets verhoogd (1,6 mg kg^{-1} d.s.) ten opzichte van de achtergrondwaarde (1,5 mg kg^{-1} d.s.). Gras behoort volgens de Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten (CVB, 2005) minder dan 4 g kg^{-1} ds zwavel te bevatten. Bij een gehalte van 4,5 g kg^{-1} d.s. zwavel in gewas en 250 mg L^{-1} sulfaat in het water wordt de maximale zwavelopname overschreden. Het gras dat bemonsterd is in in dit onderzoek bevatte in 2011 gemiddeld 5,26 ± 0,36 g kg^{-1} d.s. zwavel en men moet dus bedacht zijn op secundair kopertekort. De mais bemonsterd in 2011 bevatte 2,0 g/kg d.s. zwavel (bijlage 2, tabel 2.2b). Dat is duidelijk verhoogd ten opzicht van normale zwavelgehalten in mais in Nederland (normaal bereik is 0,8 tot 1,3 g/kg d.s.; Commissie Onderzoek Minerale Voeding (2005). Counotte (2010) adviseert in zo'n situatie 1) toevoegen van een extra koperbron aan de kuil (met als gevolg dat er veel meer koper in het milieu terecht komt), 2) vermindering het effect van een verhoogde opname aan zwavel en ijzer door aankoop van andere gewassen (snijmaïs) en 3) het toevoegen van extra koper structureel op basis van risico-inschatting per bedrijf). Echter, naast de verhoogde S- en Mo-gehalten zijn de kopergehalten (tabel 11) in gras verhoogd. Hierdoor is in deze situatie het toevoegen van koper niet nodig.

Counotte (2010) stelt dat bij verspreiden van een dunne laag bagger, het hoge zwavelgehalte in het gras dat wordt gevonden na opbrengen van bagger na 80 tot 100 dagen is gehalveerd. Hoe lang dit in een weilanddepot met een veel dikkere laag bagger duurt, is niet bekend. Nemen we de recente resultaten van Vermaat et al. (2012) in beschouwing, dan is de oxidatie van sulfiden in rijpende bagger een belangrijke bron van sulfaat en is de kans groot dat gras op een recent ontmanteld depot veel sulfaat opneemt. Nadere analyse van sulfaatgehalte in het bodemprofiel in weilanddepots is daarom gewenst.

4 Conclusies

Bij het trekken van conclusies bij dit onderzoek, moet onderscheid worden gemaakt in wat feitelijk gebeurd is, en gemeten is in dit onderzoek, en wat gebeurt als de omstandigheden veranderen op het nieuw ingerichte depot.

4.1 Huidige situatie

Op basis van de feitelijke metingen in 2011 en 2012 kan worden gesteld dat aanwezige verontreinigingen in het weilanddepot Aanen geen negatieve effecten geven, die landbouwkundig gebruik in de weg staan.

De bodemkwaliteit is minder slecht doordat de oorspronkelijke kade op een effectieve wijze over het perceel is verdeeld. De bovenlaag is hierdoor veel schoner dan bij de opzet van dit onderzoek werd verwacht. Maïs en gras geteeld op deze bodem voldoen aan criteria voor gebruik als veevoeder.

Bij het vergelijken van gras en maïs valt op dat de gehalten in gras hoger zijn dan die in maïs. Bij een hoger beschikbaar gehalte in de bodem zou het cadmiumgehalte in het gras niet meer voldoen aan de criteria. In dit onderzoek wordt het gemeten gehalte in het gras vooral bepaald door de relatief schone bovengrond. Bij handhaving van de pH op een waarde tussen 5,5 en 6 wordt niet verwacht dat de gehalten in mais in de toekomst gaan toenemen, omdat mais ook nu al wortelt in de gerijpte baggerspecie en het gehalte minder wordt bepaald door de schone bovengrond. Uitgaande van een meer verontreinigde situatie heeft de teelt van maïs dus de voorkeur.

De verwachte daling van de pH door oxidatie van sulfiden gaat relatief langzaam. De tot de herinrichting geconstateerde daling van de pH werd weer gecompenseerd door de herinrichting en doorgaande oxidatie was zodanig langzaam dat in 2011 geen verschillen in de pH tussen bekalkte en niet bekalkte delen kon worden waargenomen. Pas in 2012 kon worden waargenomen dat bij niet bekalkte delen de pH daalt, maar de waarde van net voor de herinrichting is nog niet gemeten. Een lage pH, waargenomen in de stroken waar niet is bekalkt, leidt tot een grotere beschikbaarheid van zware metalen en mogelijkheid van opname in vegetatie of uit -en afspoeling via de waterfase. In de stroken waar is bekalkt is de beschikbaarheid van de zware metalen laag.

Het kopergehalte in de huidige bovengrond is verhoogd en op basis van het kopergehalte moet begrazing worden afgeraden. De grond bevat echter grote hoeveelheden sulfaat (zie volgende alinea), wat zorgt voor een verminderde opname van koper. Dit zijn twee tegen elkaar ingaande effecten en er wordt daarom aangeraden in de bedrijfsvoering kritisch te zijn ten aanzien van dit element.

De metingen laten ook effecten zien die los staan van de aanwezigheid van verontreinigingen. Het zwavelgehalte in het geoogste gras is hoog en dit kan leiden tot kopergebrek. Het is van belang de gebruiker van het depot hiervan op de hoogte te stellen, zodat hij compenserende maatregelen kan treffen. Sulfaat wordt gevormd uit sulfiden aanwezig in de baggerspecie. In het westelijke veengebied bevat veen en waterbodem veel sulfiden en het gevormde sulfaat wordt ook al erkend als een probleem voor de waterkwaliteit (Vermaat et al., 2012). Het sulfide in de baggerspecie is van natuurlijke oorsprong. Er wordt aanbevolen onderzoek te doen naar de sulfaatvorming in weilanddepots.

4.2 Inspelen op de toekomst

Bewerken van de bodem, betreding door vee en bioturbatie van de bodem door regenwormen zorgen er voor dat de boven- en ondergrond worden gemengd. Uitgaande van opmenging van de bovenlaag van ca. 10 cm met een laag daaronder van ca. 10 cm worden de gehalten uit tabel 13 verkregen. Als er ook wordt geploegd zal uiteindelijk de bovengrond worden gemengd met 20 cm van de gerijpte baggerspecie en worden hogere gehalten verkregen. Er wordt dan voldaan aan de criteria voor wonen. Er wordt niet voldaan aan de AW 2000 waarde. Landbouwkundig gebruik blijft mogelijk.

Tabel 13

Verwacht gehalte in de bodem na opmenging van de bovengrond met ondergrond in weilanddepot Aanen.

Stof	Gehalte na opmenging 1:1	Gehalte na opmenging 1:2
Arseen	15	27
Cadmium	1,6	1,8
Chroom (III)	68	68
Koper	62	67
Lood	115	121
Kwik	0.8	0.8
Nikkel	50	48
Zink	427	465

Er moet ook rekening worden gehouden met de pH daling als gevolg van oxidatie van sulfiden. Hiervoor moet worden gecompenseerd door bekalken. Zonder bekalken zal de pH dalen tot een waarde tussen pH 4 en 5, Bij een lage pH is de beschikbaarheid van cadmium groter, en daardoor ook de opname in gewassen. Bij lage pH zijn de gehalten van zink en cadmium in het poriewater groter dan de streefwaarde. Dit water kan uitspoelen naar de ondergrond of afspoelen (run-off) naar het oppervlaktewater.

Het door opmenging verhoogde gehalte van de metalen kan er voor zorgen dat de kwaliteit van gras verschuift in de richting van de norm. Dit wordt dan veroorzaakt door zowel opname als aanhangende grond. Aanhangende grond kan sterk bepalend zijn voor de kwaliteit van het gras. Extra opname kan worden voorkomen door de pH op het juiste niveau te houden. Door te bekalken waarbij wordt uitgegaan van een pH tussen 5,5 en 6 wordt de verhoogde opname in gras voorkomen.

Monitoring van de kwaliteit van het geoogste gras blijft daarom ook in de toekomst van belang. Als ondanks het bekalken het gehalte van de zware metalen in het geoogste gras verhoogd raakt[5], moet worden overwogen het perceel niet meer te gebruiken voor begrazing. De verhoging wordt dan waarschijnlijk veroorzaakt door aanhangende grond. Bij grazen wordt meer grond opgenomen door het vee (bijvraat) dan bij het eten van gemaaid gras. De metaalgehalten in maïs zullen minder verhogen, omdat de nu bemonsterde maïs ook al geworteld heeft in de vuilere onderlaag. Bovendien speelt bij maïs aanhangende grond een kleinere rol.

[5] Het toekomstige gehalte in de bodem en uiteindelijk het gras wordt bepaald door de afvoertermen opname in het gras en uitspoeling en de aanvoertermen mest en emissie via de lucht. Al deze termen zijn relatief klein en de resultante is dat de concentratie van de zware metalen constant blijft of langzaam toeneemt. Verspreiden van bagger kan ook tot een toename leiden. (zie ook Harmsen et al., 2012)

Uit sulfiden gevormd sulfaat zal in de toekomst uitspoelen. Door de maaiveldverhoging wordt er in de wortelzone weinig nieuw sulfaat geïntroduceerd, dit in tegenstelling tot de omliggende laag gelegen percelen. De vermelde sulfaatproblematiek zal op dit perceel een kleinere rol gaan spelen.

4.3 Tot besluit

Uitgaande van de wens van een goede bodemkwaliteit voor de landbouwkundige productie van voedsel, is de situatie zoals die is ontstaan bij het depot Aanen, niet de ideale situatie. Recent onderzoek (nog niet beschikbaar toen de keuze voor het depot werd gemaakt) laat zien dat de kwaliteit van de toegepaste bagger zodanig is dat negatieve effecten kunnen optreden. Zou de keuze opnieuw moeten worden gemaakt dan zou schonere baggerspecie zijn toegepast. Een advies van Alterra over de toepasbaarheid van specie met de kwaliteit van depot Aanen in een weilanddepot zou nu vermoedelijk niet positief zijn uitgevallen.

Het weilanddepot Aanen bestaat nu in zijn huidige vorm, met bijbehorende kwaliteit. Voor verdere beslissingen over het depot in haar huidige toestand was het van belang na te gaan of de eventuele negatieve effecten het in gebruik nemen als landbouwgrond ook werkelijk in de weg staan. Dit onderzoek laat zien dat het perceel in gebruik kan worden genomen als landbouwgrond. De afwerking is zodanig geweest dat de uiteindelijke bovengrond schoner was dan verwacht. Wel moet worden ingespeeld op de verlaging van de pH die ook werkelijk optreedt. Het onderzoek heeft laten zien dat het verzuringsproces een langzaam proces is.

Een aantal waarnemingen, zoals de lagere loodgehalten in mais in 2012, konden niet worden verklaard. Vermoed wordt dat de mogelijkheden voor opname van zware metalen gedurende de rijping veranderen. Dit moet in een breder onderzoek worden opgepakt, waarbij de beschikbaarheid van de metalen niet alleen als functie van bodemeigenschappen wordt onderzocht, maar ook als functie van de veranderende redoxpotentiaal en variabiliteit van deze potentiaal.

Het is niet toegestaan de conclusies in deze rapportage te veralgemeniseren en te gaan stellen dat toepassing van baggerspecie met een kwaliteit vergelijkbaar met die van weilanddepot Aanen mogelijk is in weilanddepots in een landbouwgebied. De conclusies van deze rapportage beperken zich tot de situatie als aanwezig op het weilanddepot Aanen.

Referenties

Besluit Bodemkwaliteit, 2008. Ministerie van Innovatie en milieu.

BK Ingenieurs - W. van der Zwaan, 2007. Partijkeuringen grond conform Bouwstoffenbesluit Lage Giessen te Hoornaar (perceel Aanen).

BK Ingenieurs - W. van der Zwaan, 2007. Verkennend bodemonderzoek (eindsituatie).

Commissie Onderzoek Minerale Voeding, 2005. Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten. Centraal Veevoederbureau, Lelystad.

Counotte, G.H.M., 2010. Zwavel als oorzaak van problemen. Gezondheidsdienst voor Dieren, Documentnummer: 20101103-00001385

Harmsen, J., R.P.J.J. Rietra, J. E. Groenenberg, J. Lahr, A van der Toorn en H.J. Zweers, 2012. Verspreiden van bagger op het land in klei- en veengebieden. Alterra rapport 2282, Wageningen.

Ingenieursbureau BCC bv., 2004. Nulsituatie Bodemonderzoek Baggerberging De Giessen.

Kurz, H., R. Schulz en V. Romheld, 1999. Selection of cultivars to reduce the concentration of cadmium and thallium in food and fodder plants J. Plant Nutr. Soil Sci. (1999), 162, 323-328.

Rietra, R. en J. Harmsen, 2005. Geochemie van molybdeen in relatie tot (water)bodemkwaliteit, gewaskwaliteit en diergezondheid. Alterra-rapport 1281, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., J. Japenga, L. Bouwman en P.F.A.M. Römkens, 2006. Effect van bekalken op cadmiumopname door gewassen; resultaten van veldproef in het eerste en tweede jaar. Alterra-rapport 1297, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J. en P.F.A.M. Römkens, 2007. Actief bodembeheer toemaakdekken: risico's van bodemverontreinigingen voor de kwaliteit van veevoer en gehalten aan lood en cadmium in orgaanvlees in het Veenweidegebied. Alterra-rapport 1433. Wageningen.

Rietra, R.P.J.J. en P.F.A.M. Römkens, 2009. De invloed van toemaak op de kwaliteit van veevoer en inname door grote grazers: invloed van bodemverontreiniging op de kwaliteit van veevoer en de gehalten aan lood faeces en orgaanvlees van koeien en schapen in het veenweidegebied. Alterra-rapport 1871, Wageningen.

Römkens P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra en W. de Vries, 2007 Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden. Alterra rapport 1442., Wageningen.

Syncera, 2008. Partijkeuringen AP04 in het kader van de ontmanteling van baggerdepot 'Aanen' te Hoornaar (second opinion). Delft

Vermaat, J., J. Harmsen, H. van der Geest, J. de Klein, S. Kosten, F.Smolders en J. Verhoeven, 2012. Zwaveldynamiek in het West-Nederlandse laagveengebied; Met het oog op klimaatsverandering. Rapport AE-12/01, Vrije Universiteit Amsterdam.

WHAV8201 Giessen II (maart2004). Analysegegevens van Waterschap Rivierenland.

Bijlage 1 Selectie data oude onderzoeken

	$msPAF_{me}$	$msPFA_{org}$	pH	%<2um	%OS	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	PAK
*1. Nulsituatie 1april2004												
MM1 (0-0,5 m- mv)	1			41	14	41	0.5	34	0.12	47	120	
MM2 (0-0,5 m- mv)	0			41	14.4	41	0.5	36	0.12	48	120	0.21
MM3 (0-0,5 m- mv)	1			49	12.7	49	0.5	32	0.11	49	120	
MM4 (0,5-1,5 m- mv)	0			29	33.1	29	0.4	26	0.21	20	78	
MM5 (0,5-1,5 m- mv)	0			13	61.8	13	0.5	33	0.13	25	63	0.52
MM6 (0,5-1,5 m- mv)	0			11	65.7	11	0.4	19	0.11	13	47	
*2. Baggerspecie 2 maart2004												
WHAV8201	55	2,5		41	19	24	2.3	76	1.1	131	540	
*3. Partijkeuring 15jan2007												
Aan 1M1 (0-1,1 m-mv)	73	5.4	6.5	40	19.8	34	2.5	99	1.5	190	770	10
Aan 1M2 (0-1,1 m-mv)	71	8.1	6.8	37	19.5	32	2.3	89	1.3	170	700	12
Aan 2M1 (0-1,1 m-mv)	59	2.7	7.3	36	15.9	26	2.8	72	1	160	590	13
Aan 2M2 (0-1,1 m-mv)	51	3.2	7.2	37	17.2	34	2.9	96	1.3	190	790	14
Aan 3M1 (0-1,1 m-mv)	49	2.6	7.2	37	21.1	31	2	85	1.4	150	630	5.7
Aan 3M2 (0-1,1 m-mv)	54		6.9	35	19	24	1.6	70	1.2	130	520	7.3
Aan 4M1 (0-1,1 m-mv)	52		7.1	37	20.4	28	2	70	0.85	130	520	6.8
Aan 4M2 (0-1,1 m-mv)	51		7	31	21.4	25	1.8	64	0.94	120	500	9
Aan 5M1 (0-1,1 m-mv)	51		6.7	47	21.7	27	1.8	77	1	140	560	7.6
Aan 5M1 (0-1,1 m-mv)	47		7	43	19.6	25	1.6	70	1	130	500	5.7
*4. 2e partijkeuring op maart 2007												
mm16A (0-1 m-mv)	59		6.6	45	19.7	28	2.2	78	1.1	150	640	10
mm16B (0-1 m-mv)	54		6.6	41	19.8	26	2	73	0.99	140	560	9.7
mm17A (0-1 m-mv)	63		6.7	36	18.4	27	2	77	1.1	160	610	13
mm17B (0-1 m-mv)	56		6.7	37	18.6	24	1.8	70	0.96	150	560	28
mm18A (0-1 m-mv)	94		6.6	38	19.4	53	4.3	160	2.4	280	1200	7.5
mm18B (0-1 m-mv)	95		6.7	37	17.6	52	4.3	160	2.3	270	1200	7
mm19A (0-1 m-mv)	59		6.6	35	21.3	27	2	75	0.52	140	580	7.1
mm19B (0-1 m-mv)	45		6.6	31	21.3	22	1.6	60	0.61	110	460	7.6
mm20A (0-1 m-mv)	38		6.6	38	21.3	23	1.6	59	0.79	110	430	9.3
mm20B (0-1 m-mv)	41		6.5	32	22.2	23	1.5	59	0.75	110	430	6.1
*5. Eindsituatie feb2007												
mm1 (1,1-1,5 m –mv)	0			35	15.6	21	0.6	32	0.13	46	110	
mm2 (1,1-1,6 m –mv)	0			23	35.3	14	0.4	27	0.12	25	88	0.54
mm3 (1,1-1,7 m –mv)	8			6.3	64.1	13	0.6	23	0.23	41	170	2.6

*1. Nulsituatie Bodemonderzoek Baggerberging De Giessen, Ingenieursbureau BCC bv. (2004)

*2. WHAV8201 Giessen II (maart2004).

*3.Partijkeuringen grond conform Bouwstoffenbesluit Lage Giessen te Hoornaar (perceel Aanen). BK Ingenieurs- W. van der Zwaan (2007)

*4. Partijkeuringen AP04 in het kader van de ontmanteling van baggerdepot “Aanen” te Hoornaar (second opinion). Syncera, 2008

*5. Verkennend bodemonderzoek (eindsituatie): BK Ingenieurs- W. van der Zwaan (2007)

Bijlage 2 Analyseresultaten

Tabel 2.1

Bemestingsonderzoek aan vijf mengmonsters bemonsterd op 3 maart 2011 (gebaseerd op 0-20 cm) van de gerijpte baggerspecie. Selectie van relevante analyseresultaten uit rapporten van Blgg agroXpertus.*

	1	2	3	4	5	advies
Cu-PAE	126	109	195	181	236	28-57
KZK (% CaCO3)	0.6	1.0	0.5	0.3	0.3	
Lutum (%)	39	31	36	36	33	
Organische stof (%)	21.5	21.6	23.6	23.3	25.7	
pH-CaCl2	4.7	5.5	4.3	4.4	4.2	5,5-5,5
S aanvoer (kg/ha)	70	70	70	70	70	20-30
Zink-getal	170	63	218	202	285	35-45
Bemestingsadvies						
Kalk (nv)	5620	645	8460	7695	6435	

*de locatie 1 t/m 5 betreffen plots verspreid over het depot zoals ingetekend door BK Ingenieurs- W. van der Zwaan (2007) (zie bijlage 1). Locatie 1 ligt daarbij in het zuidoosten, 2 in zuidwesten, 3 in noordwesten, 4 in noorden en 5 in noordoosten van het perceel. Deze volgorde is ook gehanteerd in Harmsen et al., (2012).

Hieruit is berekend dat een gemiddeld bekalkingsadvies 5642 kg nw per ha bedraagt. Bij gebruik van het snelwerkende Ankal Wit (+50) is 12084 kg materiaal per ha nodig. Dit materiaal en deze hoeveelheid is doorgegeven aan het Waterschap voor de loonwerker.

Tabel 2.2a

Gewas- en mestonderzoek 2011 (locaties zijn aangegeven in bijlage 4).

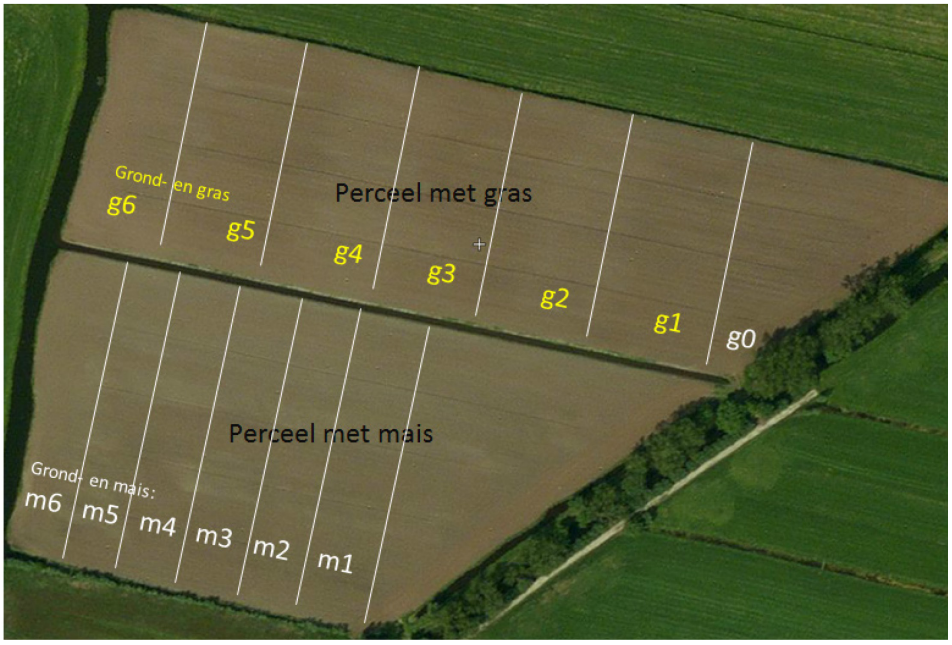
		Locatie	Fe	S	Zn	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb
				mg/kg						µg/kg			
Mais													
Loof		M1	424	1.3	220	251	3453	842	111	1766	8883	1405	648
		M2	233	1.3	181	70	1833	758	38	850	8829	868	351
		M3	153	1.4	203	110	1870	712	32	616	8528	542	305
		M4	172	1.3	174	96	1578	772	37	512	8904	565	328
		M5	154	1.4	159	148	1898	633	42	550	8931	380	392
		M6	164	1.2	127	93	2121	677	46	563	9733	354	516
Kolf		M1	120	1.1	67	4	388	140	19	275	3268	380	60
		M2	124	1.3	62	17	555	131	17	600	3609	430	76
		M3	137	1.2	67	7	605	146	17	622	3817	367	97
		M4	121	1.1	54	10	306	128	11	339	3192	276	56
		M5	127	1.2	50	59	368	86.7	15	389	3168	442	48
		M6	118	1.2	44	-28	468	92.2	16	456	3502	300	78
Gras													
1e	snede	G0	2833	6.2	92	1501	39574	325	1158	15738	13551	10361	3922
		G1	6030	5.3	140	3701	83482	381	2298	16007	14475	10303	12722
		G2	4055	4.7	128	2396	57615	276	1525	11210	11403	7329	5579
		G3	2089	5.5	190	1235	31171	438	830	4882	11965	5418	3447
		G4	4594	5.1	105	2756	65228	302	1656	11339	12140	7564	6128
		G5	2544	5.2	96	1323	39451	261	975	6523	10437	4883	3218
		G6	4868	5.2	100	2597	69693	357	1848	11768	13356	8324	6769
2e	snede	G0		5.1	76	5001	110339	311	3199	29301	14652	17542	12106
		G1		5.2	78	2242	61606	205	1343	9719	12341	6534	5332
		G2		5.5	75	1107	38788	167	742	5329	10709	3991	3161
		G3		4.9	81	2938	87345	324	1887	14031	12193	8420	7065
		G4		5.2	125	3737	47072	356	1854	15177	15660	9338	12471
		G5		5.0	67	1656	53291	220	1176	7587	11942	5297	3926
		G6		5.6	73	1016	32066	207	683	4322	10634	3740	2820
Schapenmest													
				4.9	302	2934	138180	594	3135	37006	39300	20257	11654

G0 is hoek van het perceel die geen deel uitmaakte van het experiment.

Tabel 2.2b

Gewasonderzoek (persoonlijke mededeling van de heer Aanen) van mais bemonsterd in 2011. Het gaat om silage van dezelfde locatie als in tabel 2.2.a.

	Se	Mo	Fe	S	Zn	As	Mn	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Hg
							mg/kg d.s.							
Mais	0,027	0,2	108	2,0	120 153	<3,0	106	0,5	0,046	<10	<5	<3,0	<5	0,05



Figuur 2.1
Bemonsterde locaties.

Tabel 2.3
Gewasonderzoek 2012

	locatie		Zn mg/kg	As µg/kg	Cd µg/kg	Pb µg/kg
Maisloof	M6		42	94	152	287
	M4	Bekalkt	63	80	196	185
	M2		96	87	350	215
	M5		80	116	214	266
	M3	Onbekalkt	85	106	200	253
	M1		60	88	145	231
Maiskolf	M6		26	8	18	18
	M4	Bekalkt	32	7	11	16
	M2		36	7	17	21
	M5		40	10	14	25
	M3	Onbekalkt	34	8	10	28
	M1		31	6	9	40
Gras	G6		219	69	264	558
	G4	Bekalkt	260	59	308	414
	G2		209	51	317	391
	G5		271	45	543	312
	G3	Onbekalkt	338	55	319	392
	G1		89	62	124	333

Tabel 2.4

Grondonderzoek 2011 (lutum in %; elementen uitgedrukt in mg /kg).

Locatie	%lutum	S	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Mo	Ca
Extractie met *Aqua Regia*														
1/3/5*	57	3281	20.4	362	0.9	14	68	42	48	75	203	0.37	1.6	10852
2/4/6*	53	3493	20.4	358	0.91	14	68	41	48	71	228	0.35	1.7	10081
Extractie met 0,43 M HNO_3														
1/3/5*			3.7	106	0.63	2.5	3	20	13	38	64		0.07	
2/4/6*			4.0	80	0.67	2.8	4	21	13	40	89		0.08	

*De locaties zijn steeds mengmonsters: één van locatie g1 en m1, twee van g2 en m2 etc.

Tabel 2.5

Grondonderzoek 2012 (lutum in %; elementen, Aqua Regia uitgedrukt in mg /kg).

Locatie	B= Bekalkt	Diepte	% lutum	% org. stof	As	Cd	Pb	Zn	Hg	pH
g6	B	0-20	42	21	25	1.6	129	319	0.8	5.7
g5		0-20	49	22	25	1.2	130	264	0.8	4.6
g4	B	0-20	46	22	26	1.6	133	458	1.0	5.6
g3		0-20	51	22	25	1.5	120	326	0.8	5.0
g2	B	0-20	55	23	24	1.0	100	216	0.6	6.1
g1		0-20	51	24	22	1.1	97	253	0.6	5.0
m6	B	0-20	56	22	20	0.8	63	181	0.3	6.0
m5		0-20	54	22	22	1.0	81	238	0.5	5.1
m4	B	0-20	48	21	21	1.1	86	276	0.5	6.3
m3		0-20	52	20	21	1.1	89	315	0.5	5.4
m2	B	0-20	41	22	21	1.1	116	298	0.5	6.8
m1		0-20	48	22	23	1.3	100	314	0.6	5.0
g2,4,6	B	30-40	40	24	25	1.8	136	541	1.2	5.7
g1,3,5		30-40	39	25	26	2.1	142	677	1.2	5.1
m2,4,6	B	30-40	49	22	22	1.2	97	314	0.5	5.3
m1,3,5		30-40	47	27	24	2.1	109	528	0.8	4.9

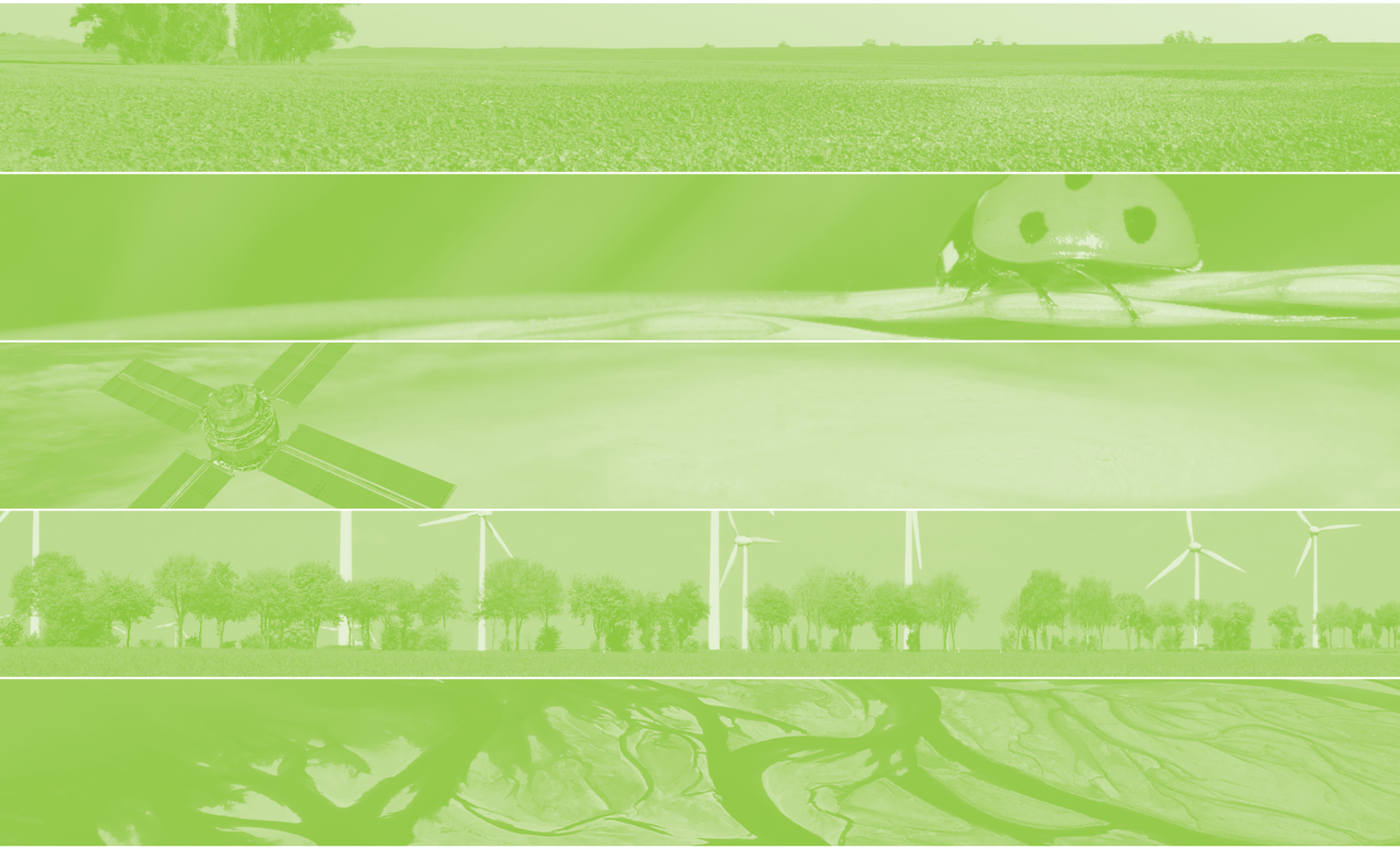
Bijlage 3 Analysemethoden

Tabel 3.1

Methoden gebruikt voor het onderzoek. Alle analyses, behalve die voor het bemestingsadvies, zijn uitgevoerd bij het Chemisch Biologisch Laboratorium van Wageningen University.

Betreft	Matrix	SWV	Apparaat	Q	Element
Grond	Drogen 40°C				
Grond	Zeven 2 mm				
Grond	Destructie HNO_3-HCl *(Aqua Regia)*	E1307 E1314	ICP-AES Thermo ICP-MS AAS koude damp	Q	S, Zn As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb Hg
Grond	Extractie 0,001 M $CaCl_2$ aan verse grond	E0104 E1301 E1317 E2508	pH-meter ICP-AES Varian ICP-MS SFA-TOC	Q	pH Zn As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Mo DOC
Grond	Extractie 0,43 M HNO_3	E1350 E1352	ICP-AES Thermo ICP-MS		Zn As, Ba, Cd, Cu, Co, Cr, Mo, Ni, Pb
Grond	Gloeiverlies	E0100	moffeloven	Q	Organische stof (105-550°C)
Grond	Granulaire samenstelling	E0109	pipet		< 2 μm
Mest, gras en mais	Drogen 70°C				
Mest, gras en mais	Malen				
Mest, gras en mais	Destructie HNO_3/HF/H_2O_2 (magnetron)	E1310 E1320	ICP-AES Varian ICP-MS	Q	Fe, S, Zn As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb
Mest, gras en mais	Vochtbepaling	E0005			

Q: verrichting valt onder de RvA-accreditatie, zie www.rva.nl



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is ‘To explore the potential of nature to improve the quality of life’. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is hèt kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra