BIJLAGE 4
Bij de oplegnotitie: Natuurbegraven in Gelderland
Verkennend onderzoek naar effecten op water, bodem en natuur.

KENNISNOTITIE

Effecten van natuurbegraven op vegetatie, bodemchemie & grondwaterkwaliteit

Datum: 2 november 2017
Opgesteld door: A.J.P. Smolders en B.P. van de Riet
Opdrachtgever: Provincie Gelderland

Samenvatting

Voor de effecten van natuurbegraven op vegetatie zijn verschillende aspecten van belang:

1. De bodemchemische uitgangspositie op de natuurbegraafplaats en dan met name de nutrietenrijkdom en de basenverzadiging zijn het meest bepalend voor welke vegetatie zich ontwikkeld. Op zichzelf hoeft natuurbegraven, zeker op droge, zure zandgrond, niet te leiden tot een verslechtering van de bodemchemische toestand en de vegetatieontwikkeling. Deels komt dit omdat de te verwachten biodiversiteit in dit soort terreinen overwegend laag is en ook omdat op dit soort terreinen spontaan geen zeldzame natuurdoeltypen tot ontwikkeling kunnen komen.
2. Vrijkomen van nutriënten en zware metalen uit stoffelijke resten en risico op uitspoeling naar het grondwater:
    a. De stikstofbelasting van een natuurbegraafplaats is beduidend lager is dan de belasting uit een even groot landbouwperceel zolang het aantal begravingen lager blijft dan enkele tientallen (ca. 50) per hectare per jaar
    b. De landschappelijke context (hydrologische ligging van het gebied), voormalig landgebruik (heide, bos of landbouw) en de intensiteit van begraven zullen bepalend zijn voor het potentiële effect van stikstof op de grondwaterkwaliteit.
    c. Voor fosfor geldt dat de belasting via begraven zeer laag zal zijn omdat het meest fosfor in de botten voorkomt en hieruit maar langzaam of niet vrijkomt.
    d. Voor de overige elementen (kalium, calcium, zwavel, zware metalen etc.) geldt dat de hoeveelheden die vrijkomen uit een menselijk lichaam niet kunnen leiden tot een noemenswaardige belasting van het grondwater in die zin dat het leidt tot een significante verhoging van de concentraties die toch al in het grondwater aanwezig zijn.
3. Het verkennend veldonderzoek op reguliere begraafplaatsen (met een hoge grafdichtheid van >1000 graven per hectare) is in lijn met bovenstaande resultaten uit het literatuuronderzoek/de expertbeoordeling. Hoewel op basis van de beperkte set meetresultaten geen harde conclusies kunnen worden getrokken lijkt in ieder geval niet uitgesloten te kunnen worden dat vanuit de begraafplaatsen nitraat uitspoelt naar het grondwater. Uitspoeling van fosfor vanuit begraafplaatsen lijkt daarentegen niet plaats te vinden en de concentraties van zware metalen in het grondwater lijken vooral bepaald te worden door lokale geohydrologische en geochemische condities en niet door de aanwezigheid van de begraafplaats.

Vragen van de Provincie Gelderland

1. Wat is het effect van een graf op de vegetatie? Maak onderscheid in korte en lange termijn.
2. Wat is het effect van een graf op de grondwaterkwaliteit ten aanzien van nutriënten.

Aanpak

Deze kennisnotitie is gebaseerd op literatuuronderzoek en een verkennend veldonderzoek op een drietal natuurbegraafplaatsen, aangevuld met expert beoordeling. Om bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden worden verschillende aspecten besproken. Te weten: (1) de bodemchemische toestand op een drietal natuurbegraafplaatsen in Gelderland en de potenties voor vegetatieontwikkeling, inclusief mogelijke effecten van het graven van een graf; (2) effecten van begraven op grondwaterkwaliteit.

1. Bodemchemisch onderzoek op Gelderse natuurbegraafplaatsen

Op de droge delen van de zandgronden van de Veluwe waar natuurbegraafplaatsen zijn of worden ontwikkeld zijn de buffering van de bodem en de beschikbaarheid van nutriënten bepalend voor de vegetatie die zich ontwikkeld. Op basis van een verkennend veldonderzoek is op een aantal natuurbegraafplaatsen bodemchemisch onderzoek verricht naar de basenverzadiging, nutriënten en zware metaalconcentraties in de bodem. In deze notitie worden de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd en geïnterpreteerd.

Op drie (potentiële) natuurbegraafplaatsen op de Veluwe zijn bodemmonsters verzameld van de toplaag (0-20) en de diepere bodemlaag (100-120 cm diepte) waarna de bodemchemie in kaart is gebracht. De resultaten worden gegeven in de figuren 1, 2 en 3). Allereerst kijken we naar de natuurpotenties van de drie onderzochte gebieden. Hiervoor maken we gebruik van tabel 1 waarin wordt aangegeven welke natuurdoeltypes we kunnen verwachten op grond van de buffering en nutriëntenbeschikbaarheid van de bodems. Buffering en nutriëntenbeschikbaarheid zijn naast de hydrologie, het meest sturend voor de vegetatieontwikkeling (Smolders e.a., 2011).

***Tabel 1**. Overzicht van de verschillende bufferranges (11 categorieën) en fosfaatconcentraties (tussen haakjes de uitloop als een suboptimale concentratie) waarbij diverse natuurbeheertypen voorkomen (INDICATIEF). Voor Dotterbloemhooilanden en Elzenbroekbossen zijn hoge ijzerconcentraties vereist. Van Blauwgrasland tot Elzenbroekbos kunnen de totaal-P concentraties relatief hoog zijn als gevolg van ijzer- en/of calciumrijke omstandigheden. De fosfaatbeschikbaarheid voor planten (Olsen-P) is echter relatief beperkt. Naast de mate van buffering zijn de hydrologische omstandigheden essentieel voor de ontwikkeling van de natuurbeheertypen (niet in deze tabel). Het herstellen van de grondwaterinvloed kan bijdragen aan het opladen van het kationuitwisselingscomplex en daarmee het herstel van de buffercapaciteit. Het betreft een indicatieve tabel op basis van expert judgement en referentiemetingen. Bron: van Mullekom & Smolders (2012).*

											N14.02
						N07.01	N11.01				N14.01
			Codes natuurbeheertypen			N06.04	N06.04	N10.01	N10.01	N10.02	N10.02
					Olsen-P (µmol/l)	< 500 (800)	< 300 (600)	< 500 (700)	< 500 (700)	< 600 (900)	< 800 (1000)
					Totaal-P (mmol/l)	< 2,5 (6)	< 3 (7)	< 6 (10)	< 10 (20)	< 15 (35)	< 20 (50)
Categorie	Ca-NaCl (µmol/l)		Totaal calcium (mmol/l)		Basenverzadiging	Droge heide Natte heide	Droog heischraal grasland Vochtig heischraal grasland	Kleine zeggen vegetatie	Blauwgrasland	Veldrusschraalland	Dotterbloemhooiland & Elzenbroekbossen
1	<500	en/of	<10	en/of	<30%						
2	500-1000	en/of	10-15	en/of	30-70%						
3	1000-2000	en	15-20	en	>70%						
4	>2000	en	15-20	en	>70%						
5	2000-4000	en	20-30	en	>70%						
6	>4000	en	20-30	en	>70%						
7	8000-14000	en	30-60	en	>90%						
8	>14000	en	30-60	en	>90%						
9	>14000	en	60-100	en	>90%						
10	20000-30000	en/of	>100	en	>90%						
11	>30000	en/of	>100	en	>90%						
						soortenarm		normaal		soortenrijk	

Autonome vegetatieontwikkeling op natuurbegraafplaatsen

De autonome vegetatieontwikkeling die je mag verwachten op de onderzochte terreinen zal op basis van de lage fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P overwegend < 500 µmol/ l_{bodem}; figuur 1B) en de lage totaal-Ca concentratie (overwegend < 5 mmol/l_{bodem}; figuur 2A) en relatieve lage basenverzadiging (overwegend < 30 %; figuur 2F) gaan richting soortenarme droge heide, met een dominantie van stuikheide. Dit is een natuurdoeltype dat niet heel erg kwetsbaar is. In die zin is het risico dat natuurbegraven leidt tot een verslechtering van de vegetatieontwikkeling gering.

We zien ook verschillen tussen de drie locaties. Op de locatie Heidepol bestaat een deel uit voormalige landbouwgrond waarvan de toplaag deels is verwijderd. We zien dat in ieder geval voor locatie 2 de toplaag nog steeds erg rijk is aan fosfor en plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P)(figuur 1ABC). Hier is duidelijk nog (een deel van) de voedselrijke bouwvoor blijven zitten. Op deze locatie is ook de bodembuffering veel beter (figuur 2F). Dit komt omdat de landbouwgronden worden bekalkt om de productiviteit op peil te houden. Met het verwijderen van de voedselrijke toplaag wordt ook calcium verwijderd, waardoor de bodems gemakkelijk verzuren. Wanneer de toplaag niet wordt verwijderd blijft de bodem voedselrijk waardoor er een ruig vegetatietype tot ontwikkeling zal komen. Ook dit is een vegetatietype dat weinig bijzonder is.

De zure bodems worden tevens gekenmerkt door een verhoogde Al/Ca ratio (figuur 2C). Een verhoogde beschikbaarheid van aluminium ten opzichte van calcium maakt planten gevoeliger voor het giftige aluminium. Veel bijzondere plantensoorten kunnen hier niet tegen, maar algemene soorten zoals als Struikheide (*Calluna vulgaris*) en Pijpestrootje (*Molinia caerulea*) bijvoorbeeld wel (Roelofs et al., 1993). Daarnaast kan kalium beperkend worden voor de groei van soorten. Bij een verlaagde beschikbaarheid van kalium kunnen bomen gevoelig worden voor ziekten. Zo is de sterfte van Zomereik gecorreleerd met de kaliumconcentratie van de bodem. Bij totaal-kaliumconcentraties lager dan 5000 µmol/l_{bodem} neemt de kans op de sterfte van zomereik sterk toe (Lucassen e.a., 2014). Kalium komt vooral voor in de lutumfractie van de bodem, waaruit het door verwering vrijkomt. In deze lutumdeeltje komen aluminium, magnesium en kalium in een vaste verhouding voor. Hierdoor is de totaal-kalium concentratie van de bodem dan ook gecorreleerd met de totaal-magnesium en totaal-aluminiumconcentratie (zie figuur 3B). We zien dat vrijwel alle bodems worden gekenmerkt door relatief lage kaliumgehaltes (zowel totaal als CEC-gebonden; figuur 3A). Een uitzondering vormen de diepere bodems van de locatie van Heiderust. Deze diepere bodems bevatten meer lutum en hierdoor ook meer kalium.

Ammonium blijkt de dominante stikstofvorm te zijn in de bodems (figuur 1D). Alleen op de locatie 4 en 5 van Heiderust meten we nitraat terug in het waterextract. Deze dominantie van ammonium kan duiden op een geremde nitrificatie onder de overwegend zure omstandigheden die heersen in de kalkarme bodems. Dit laatste is van belang omdat ook bij de afbraak van stoffelijke overschotten de nitrificatie van ammonium dat weglekt in de bodem kan worden geremd.

Effecten van het delven van graven op vegetatieontwikkeling

Het delven van graven kan verschillende effecten hebben op de vegetatie:

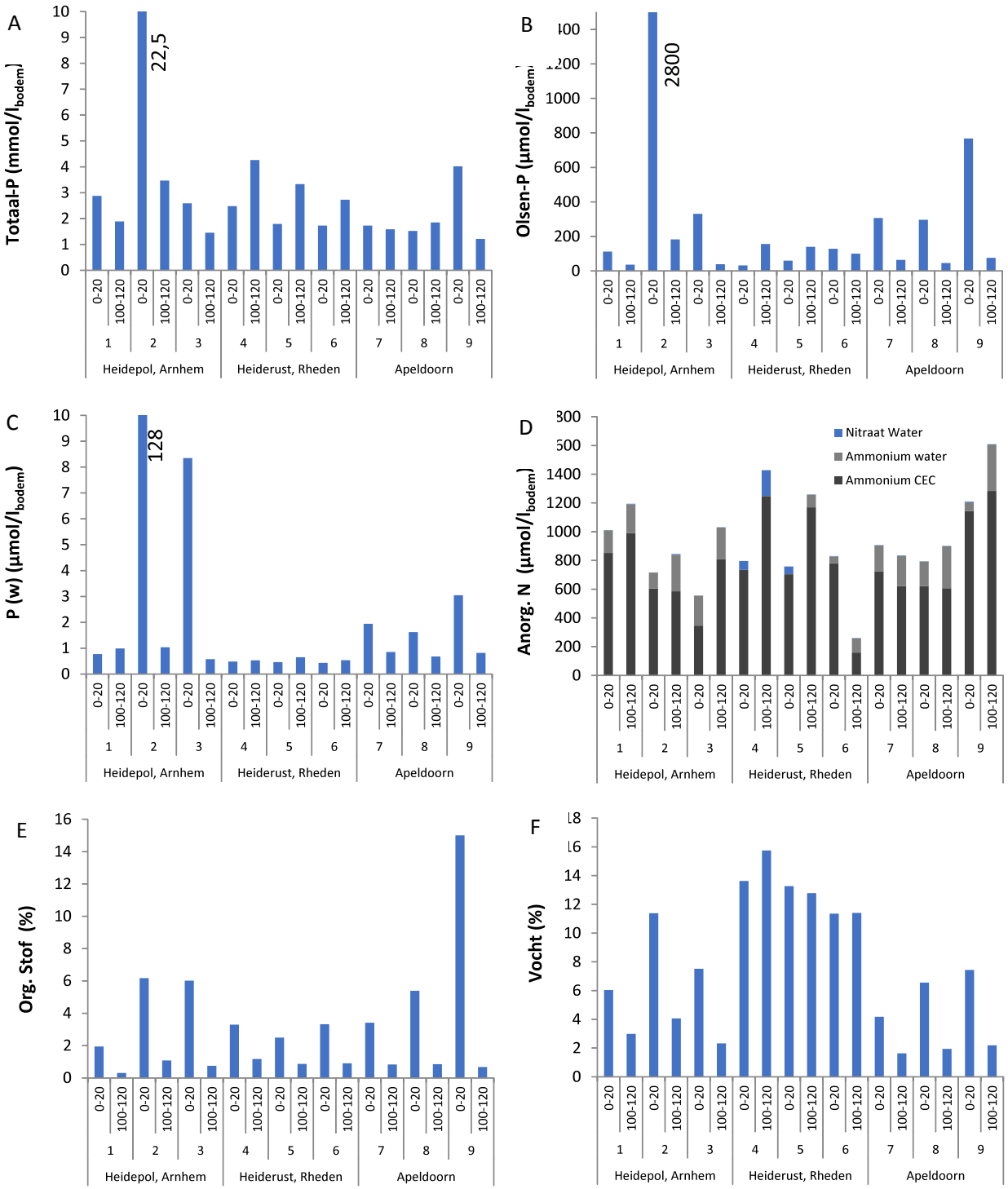
(1) Het graven zelf zorgt voor verstoring van de bodem en de bestaande vegetatie. Recent is onderzoek uitgevoerd in verschillende terreindelen op natuurbegraafplaats De Heidepol (De Vries et al., 2017). Het onderzoek is beperkt van omvang en het is dan ook lastig om algemeen geldende conclusies aan te verbinden. In geval van de Heidepol zijn er in ieder geval geen significante verschillen in vegetatiesamenstelling als gevolg van het delven van graven: de vegetatie op recente graven (<5 jaar) in bos en jong grasland was vergelijkbaar met die van de bijbehorende controleplots.

(2) Door menging van de bodem van diepe en ondiepe lagen kan de bodemchemie in het wortelmilieu veranderen. Uit het eerder genoemde onderzoek op de Heidepol (De Vries et al., 2017)

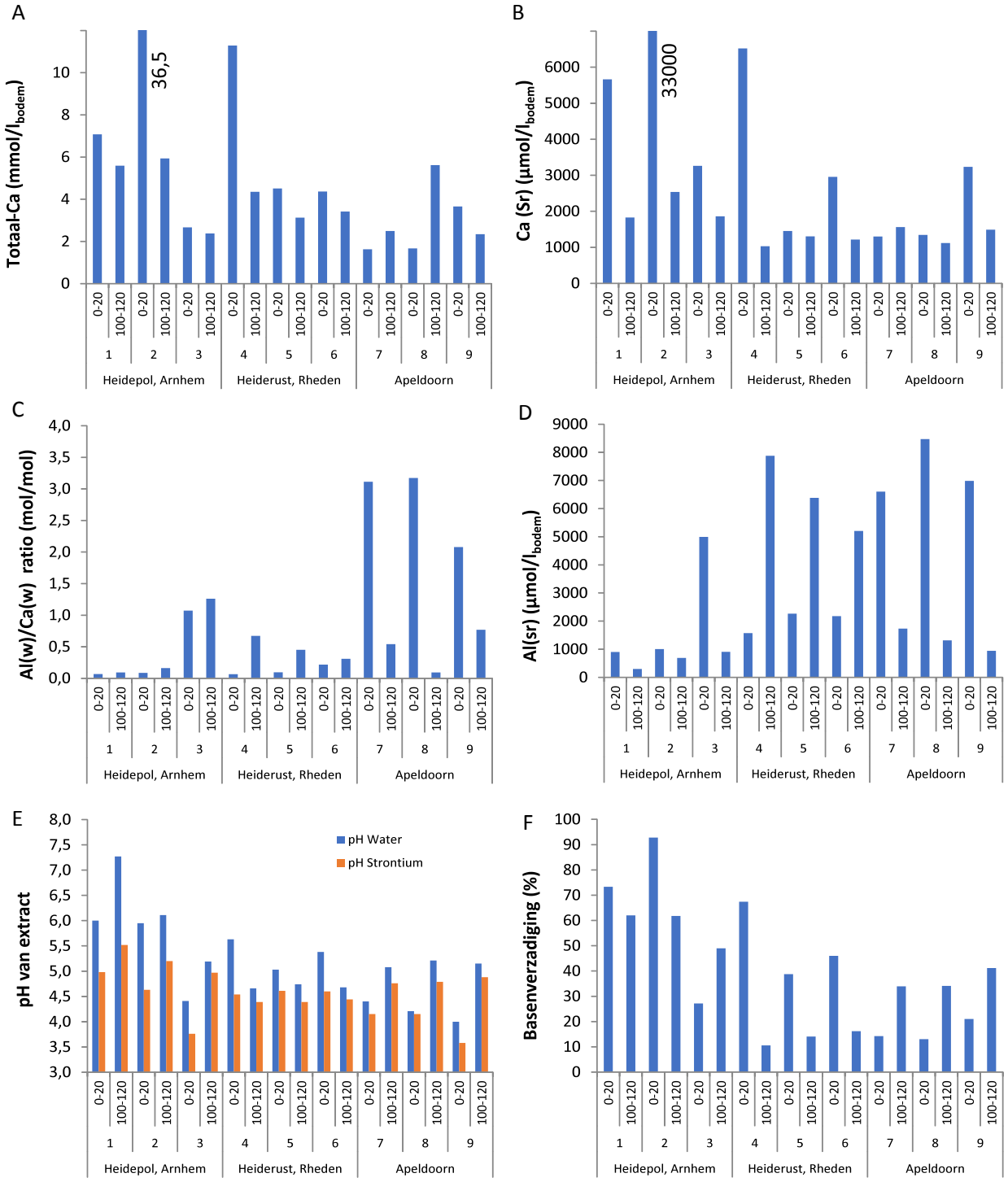
blijkt dat de door middel van gerichte maatregelen (terugstorten van in volgorde van het delven en het terugplaatsen van plaggen) de effecten op de bodemchemie minimaal blijven. In bepaalde gevallen kan het echter juist gunstig zijn om bodems te keren, bijvoorbeeld in geval van voormalige landbouwgrond waarbij een voedselrijkere toplaag wordt gewisseld met voedselarme grond dieper uit het profiel; of wanneer een meer gebufferde diepe bodemlaag aan het oppervlak wordt gebracht. In dit laatste geval kan dit er voor zorgen dat bodemcondities gunstiger worden voor specifieke soorten van meer gebufferde, zwak zure omstandigheden. Voor bossen gaat dat bijvoorbeeld om Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Witte klaverzuring (*Oxalis acetocella*) en Bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*)); en voor heischrale soorten gaat dat bijvoorbeeld om Hondsviooltje (*Viola canina*), Stijve ogentroost (*Euphrasia stricta*), Valkruid (*Arnica montana*) en Tandjesgras (*Danthonia decumbens*) (Van der Zee et al, 2017).

In hoeverre dit 'keren van de bodem' gunstig dan wel ongunstig is hangt uiteraard af van de bodemchemie van de toplaag en de bodemchemie van de diepere bodem die eventueel naar boven wordt gehaald. In het veldonderzoek op drie natuurbegraafplaatsen komt de nutriëntenbeschikbaarheid met uitzondering van de rijke (voormalige) landbouwlocatie bij De Heidepol overeen tussen de diepe en ondiepe bodem. Wel is de diepere bodem van de locatie heiderust rijker aan kalium (bevat meer lutum) dit kan in principe gunstig zijn omdat door het delven kalium naar boven kan worden gehaald. Het calciumgehalte van de diepere bodems is hier echter lager waardoor deze zuurder is en ook de basenverzadiging veel lager is. Voor de bodems uit Apeldoorn zien we dat het calciumgehalte en de basenverzadiging juist hoger is in de diepere bodems. Hier zou grond uit diepere lagen gunstig kunnen zijn voor plantensoorten van meer gebufferde omstandigheden. Per locatie kan het effect van het omhoog brengen van diepere bodems en het vermengen van oppervlakkige bodems met diepere bodems dus verschillen.

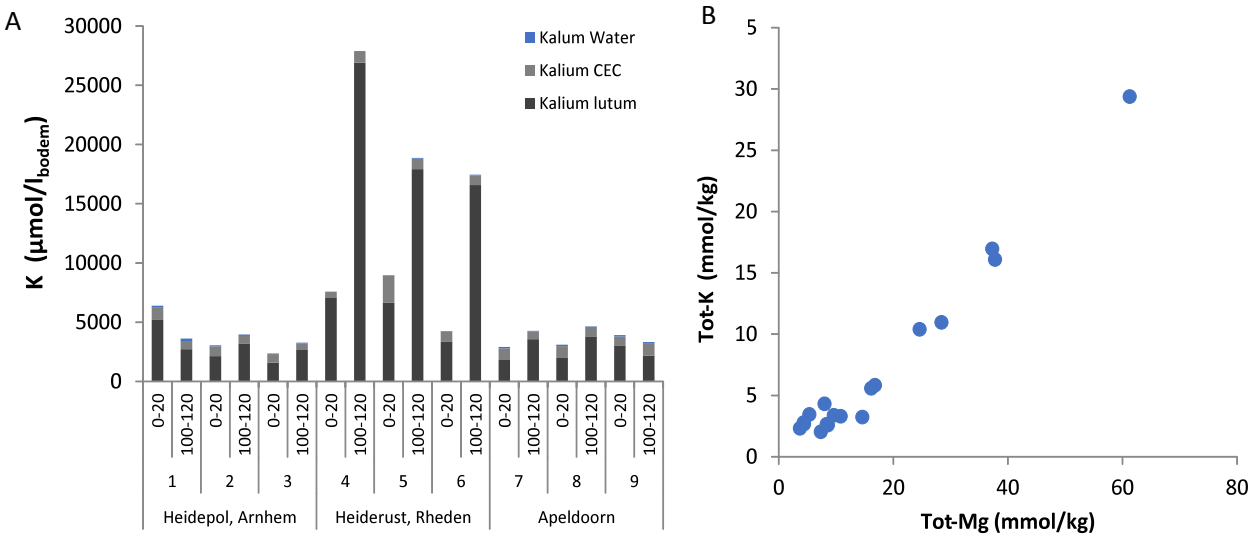
Omdat het bij het begraven niet gaat om een gespreide belasting maar om een puntbelasting ontstaan lokaal hotspots van voedingstoffen. De beïnvloeding vanuit het ontbindende lichaam naar hoger gelegen bodem lagen zal er zeker zijn, maar zal beperkt blijven wanneer er sprake is van een hydrologische inzijgsituatie. Niet te min kunnen plantenwortels die dicht bij een puntbron komen meer voedingstoffen opnemen. Voor struikheide geldt dat deze meestal niet dieper dan 10-20 cm, soms tot maximaal 50 cm, wortelt. De meeste kruiden wortelen nog ondieper. Voor bomen geldt echter dat ze meters diep kunnen wortelen. Het effect voor de bomen is tweeledig. Enerzijds hebben veel bomen die nu op zure zandbodem groeien te lijden van nutriëntentekorten (o.a fosfaat, kalium, calcium en magnesium) als gevolg van de uitloging van deze elementen uit de verzuurde bodems (Lucassen e.a., 2014). Deze uitloging is het gevolg is geweest van verzurende depositie sinds de tweede helft van de vorige eeuw (Roelofs e.a., 1993; Lucassen e.a., 2014). In die zin kunnen bomen profiteren van de lokale verhoogde beschikbaarheid van nutriënten. De eventuele verhoogde concentraties in vallend blad van deze bomen zouden nog niet meteen een probleem hoeven te zijn, het zou juist positief kunnen uitpakken voor uitgeloogde bodems. Er kan echter niet worden uitgesloten dat nutriëntenverrijking via bladval lokaal kan leiden tot een verruiging.



Figuur 1 A t/m F: Bodemchemie op een drietal natuurbegraafplaatsen in Gelderland (Arnhem, Rheden en Apeldoorn). Weergegeven zijn fosfor (als Totaal-P, plantbeschikbaar Olsen-P en vrij beschikbaar P in een waterextract), anorganisch stikstof, organisch stof gehalte en het vochtpercentage.



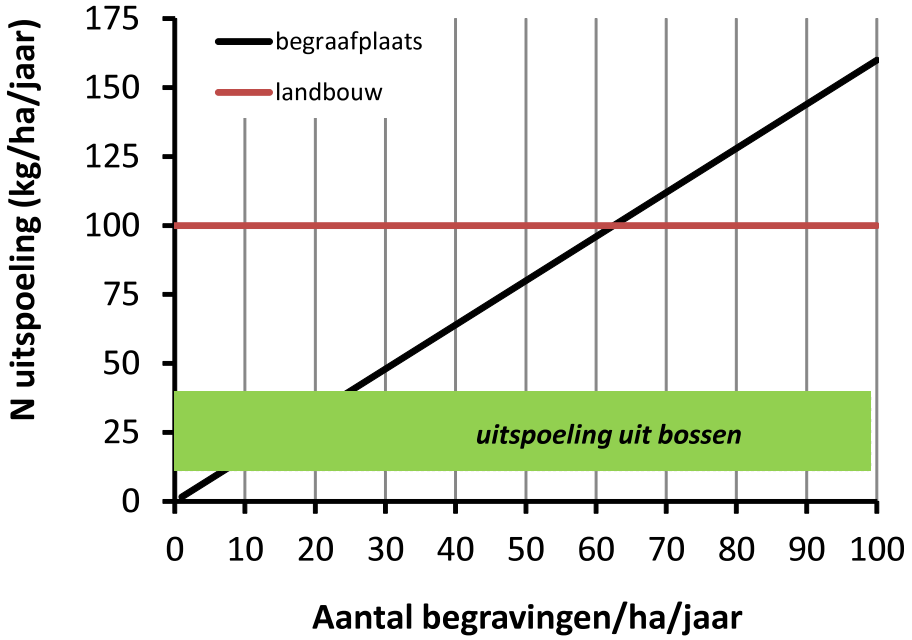
Figuur 2 A t/m F: Bodemchemie op een drietal natuurbegraafplaatsen in Gelderland (Arnhem, Rheden en Apeldoorn). Weergegeven zijn calcium (als Totaal-Ca en uitwisselbaar Ca-sr), de verhouding tussen uitwisselbaar aluminium en calcium, de pH in het extract (water en strontium) en de basenverzadiging.



Figuur 3 A en B: Bodemchemie op een drietal natuurbegraafplaatsen in Gelderland (Arnhem, Rheden en Apeldoorn). Weergegeven is de concentratie kalium (in verschillende fracties) en de relatie tussen totale concentratie kalium en magnesium.

2. Effecten van begraven op grondwaterkwaliteit

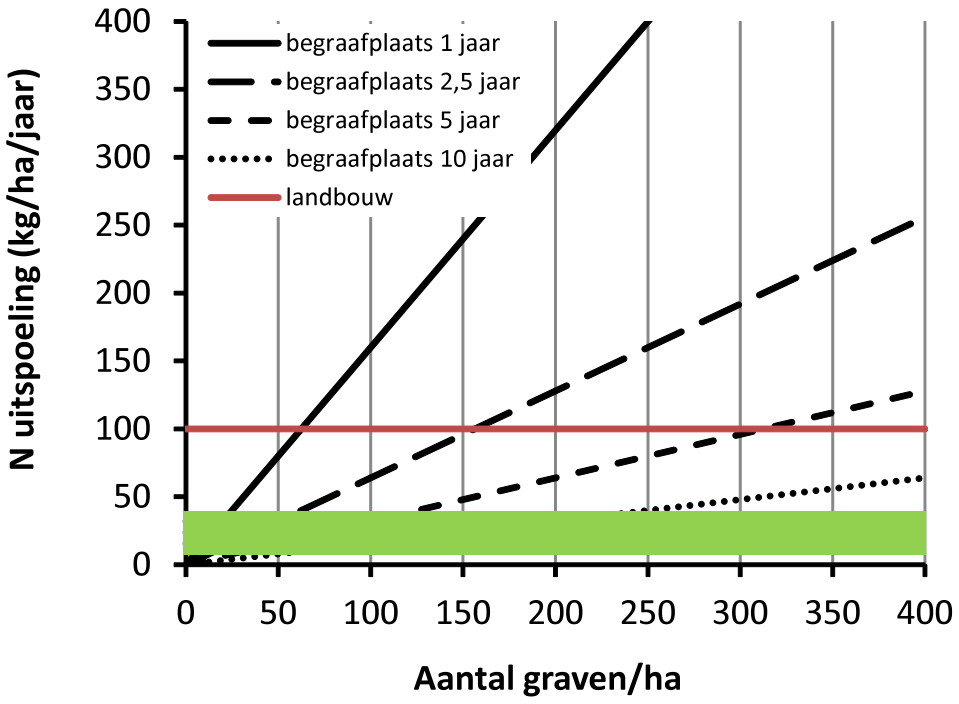
Volgens Molenaar e.a. (2009) leidt een begraving tot het vrijkomen van 1,6 kg N/jaar (gemiddeld lichaamsgewicht van 70 kg). Volgens Fraters e.a. (2007) varieert de uitspoeling van N naar het grondwater vanuit zandgronden tussen de 100 en 150 kg/ha/jaar voor akkerbouwbedrijven en 100 en 200 kg/ha/jaar voor melkveebedrijven. Overigens is er wel sprake van een dalende trend voor de N uitspoeling vanuit landbouwbodems. Wanneer we voor het gemak rekenen met een N uitspoeling van 100 kg/ha/jaar voor landbouwgrond op zand, dan kunnen we grofweg het verband berekenen tussen het aantal begravingen per hectare per jaar en de N belasting t.o.v. een landbouwperceel (figuur 4)



Figuur 4: indicatie van de potentiële uitspoeling van stikstof (N) naar het grondwater in relatie tot het aantal begravingen per hectare per jaar. De rode lijn geeft aan hoeveel N uitspoelt vanuit landbouwbodems en het groene vlak is indicatief voor de hoeveelheid N die uitspoelt onder bossen. Voor verdere toelichting zie tekst).

Hierbij moet opgemerkt wordt dat we er dan vanuit gaan dat alle stikstof uiteindelijk vrijkomt als het gemakkelijk uitspoelbare nitraat. In werkelijkheid zal een deel ook vrijkomen in de vorm van ammoniak en andere stikstofverbindingen. Het is duidelijk dat de stikbelasting van een begraafplaats beduidend lager is dan de belasting uit een even groot landbouwperceel zolang het aantal begravingen lager blijft dan enkele tientallen per hectare per jaar. Pas wanneer er per hectare meer dan 50 begravingen per jaar plaatsvinden wordt de beïnvloeding vergelijkbaar. Overigens hangt de vorm waarin stikstof vrijkomt ook af van de beschikbaarheid van zuurstof en de bodem pH (Dent e.a., 2003). In eerste instantie komt het stikstof vrij als ammoniak dat in relatief zure bodems gemakkelijk oplost als ammonium dat weer relatief goed bindt aan het bodemadsorbtiecomplex (CEC) en langzaam uitspoelt. Ammonium kan door nitrificerende bacteriën worden omgezet naar nitraat dat juist gemakkelijk uitspoelt. Hiervoor is zuurstof nodig en ook mag de bodem pH niet te laag zijn (Dent e.a., 2013; Paczkowski & Schütz, 2011). Een deel van het nitraat dat vrijkomt kan in anaerobe niches ook weer worden gedenitrificeerd tot stiktofgas (Dent

e.a., 2003; Paczkowski & Schütz, 2011). Kortom zeer waarschijnlijk zal de uitspoeling van nitraat naar het grondwater lager zijn en zal ook een deel van het stikstof als ammonium uitspoelen.



Figuur 5: indicatie van de potentiële uitspoeling van stikstof (N) naar het grondwater in relatie tot het uiteindelijke aantal graven per hectare. De verschillende zwarte lijnen geven het aantal jaren aan waarover dit aantal graven wordt bereikt De rode lijn geeft aan hoeveel N uitspoelt vanuit landbouwbodems en het groene vlak is indicatief voor de range van de hoeveelheid N die uitspoelt onder bossen. Voor verdere toelichting zie tekst).

We kunnen het aantal begravingen ook op een andere manier visualiseren (figuur 5). Hier is op de x-as het aantal graven per hectare uitgezet en met verschillende lijnen het aantal jaren waarin deze dichtheid wordt bereikt. Wanneer wordt uitgegaan van een maximale dichtheid van 50 graven dan blijft de uitspoeling in kg N per hectare per jaar binnen het bereik dat ook wordt gevonden voor bossen indien deze dichtheid over een periode van tenmiste 2,5 jaar wordt bereikt. Wanneer een begraafplaats het maximaal aantal graven over een periode van 5 jaar mag bereiken dan geldt dit zelfs voor een dichtheid van 100 graven per hectare. Indien een begraafplaats over een periode van 10 jaar wordt opgevuld dan geldt dit zelfs voor een dichtheid van 200/250 graven per hectare per jaar.

In hoeverre de uitspoeling van stikstof bijdraagt aan een verslechtering van de kwaliteit van het grondwater hangt sterk af van de vigerende grondwaterkwaliteit. Wanneer de begraafplaats aan de rand van een natuurgebied ligt zal de beïnvloeding minder zijn dan wanneer deze midden in een natuurgebied ligt. Ook moet rekening worden gehouden met de ligging van de begraafplaats. Wanneer deze in het inzijggebied van een met lokaal grondwater gevoed systeem ligt, dan kan een zeer lokale verslechtering van de grondwaterkwaliteit leiden tot een verslechtering van dit lokale grondwaterafhanklijke systeem. Overigens kunnen met name dichte dennenbossen ook veel atmosferische depositie invangen. Dit kan leiden tot de uitspoeling van nitraat waarbij ook enkele tientallen kg N/ha/jaar kunnen uitspoelen naar het grondwater. Door bos te dunnen of te kappen wordt de stikstofdepositie lager (2 tot 3 maal lager, Van Mullekom et al, 2007). Wanneer

natuurbegraven plaatsvindt in een gekapt bos dat wordt omgevormd naar open heide terrein dan zal het netto effect op de N uitspoeling dus minder groot zijn dan wanneer in een bestaand open heide terrein wordt begraven. In versterkte mate geldt dit voor de situatie waarin landbouwgrond wordt omgevormd naar een natuurbegraafplaats. De landschappelijke context (hydrologische ligging van het gebied), voormalig landgebruik (heide, bos of landbouw) en de intensiteit van begraven zullen dus bepalend zijn voor het potentiële effect op de grondwaterkwaliteit.

Voor de overige elementen, kalium, calcium, fosfor, zwavel, zware metalen etc. geldt dat de hoeveelheden die vrijkomen uit een menselijk lichaam niet kunnen leiden tot een noemenswaardige belasting van het grondwater in die zin dat het leidt tot een significante verhoging van de concentraties die toch al in het grondwater aanwezig zijn. Voor zwavel geldt dat er ongeveer 177 gram zwavel kan vrijkomen uit een menselijk lichaam. Dit zwavel komt in eerste instantie vrij als sulfide maar zal snel worden geoxideerd tot sulfaat (Dent e.a. 2003). Volgens Ehlert en Chardon (2014) spoelde er in 2012 gemiddeld ongeveer 9 kg/ha/jaar aan zwavel uit cultuurbodems in Nederland. Overigens kan deze uitspoeling lokaal veel hoger zijn en was deze in het verleden meer dan 80 kg/ha/jaar ((bijvoorbeeld in de jaren ‘80 van de vorige eeuw) als gevolg van de atmosferische zwaveldepositie. Deze depositie is inmiddels sterk afgenomen als gevolg van emissie-beperkende maatregelen. Sulfaat in het grondwater is een probleem omdat het kan leiden tot interne eutrofiering in grondwater gevoede natte natuurgebieden (Smolders e.a., 2006). Als gevolg van de ontbinding van een menselijk lichaam kan er indirect waarschijnlijk meer sulfaat vrijkomen wanneer nitraat dat uitspoelt in de diepere bodemlagen reageert met eventueel aanwezige pyriethoudende afzettingen (Smolders e.a., 2010).

Voor fosfor geldt dat de belasting via begraven zeer laag zal zijn omdat het meest fosfor in de botten voorkomt en hieruit maar langzaam of niet vrijkomt. Volgens Molenaar e.a. (2009) leidt een begraving tot het vrijkomen 0,0065 kg (6,9 gram) P/jaar (gemiddeld lichaamsgewicht van 70 kg). Hierbij wordt ervan uit gegaan dat het stoffelijk overschot binnen één jaar volledig verteerd en dat hierbij 10 % van het fosfor dat in de botten aanwezig is vrijkomt. Dit laatste is volgens Molenaar e.a. (2009) waarschijnlijk al een overschatting. We kunnen dus in het slechtste geval uitgaan van een belasting van 6,9 gram per begraving (Molenaar e.a., 2009). Dit is weinig. Zo bedraagt het huidige P overschot op landbouwbodems in de orde van kilogrammen P per hectare per jaar en in het verleden tot tientallen kg per hectare per jaar. Het P-overschot is de hoeveelheid fosfor die achterblijft in de bodem en jaarlijks accumuleert (bron: compendium voor de leefomgeving). Wel is het zo dat het fosfaat in landbouwbodems goed wordt gebonden en dat het fosfor dat vrijkomt in de diepe zandbodems minder goed bindt aan de bodem en gemakkelijker kan uitspoelen naar het grondwater.

Conclusies

- Op zichzelf hoeft natuurbegraven, zeker op zure zandgrond, niet te leiden tot een verslechtering van de bodemchemische toestand en de vegetatieontwikkeling. Deels komt dit omdat de te verwachten biodiversiteit in dit soort terreinen overwegend laag is en ook omdat op dit soort terreinen spontaan geen zeldzame natuurdoeltypen tot ontwikkeling kunnen komen. Het is niet te min erg interessant om de ontwikkelingen te monitoren. Het is zeker niet uit te sluiten dat de lokale biodiversiteit van het terrein er juist op vooruitgaat.

- Het is duidelijk dat de stikstofbelasting van een begraafplaats beduidend lager is dan de belasting uit een even groot landbouwperceel zolang het aantal begravingen lager blijft dan enkele tientallen per hectare per jaar. Pas wanneer er per hectare meer dan 50 begravingen per jaar plaatsvinden wordt de beïnvloeding vergelijkbaar.

- Voor de overige elementen, kalium, calcium, fosfor, zwavel, zware metalen etc. geldt dat de hoeveelheden die vrijkomen uit een menselijk lichaam niet kunnen leiden tot een noemenswaardige belasting van het grondwater in die zin dat het leidt tot een significante verhoging van de concentraties die toch al in het grondwater aanwezig zijn.

- De landschappelijke context (hydrologische ligging van het gebied), voormalig landgebruik (heide, bos of landbouw) en de intensiteit van begraven zullen bepalend zijn voor het potentiële effect op de grondwaterkwaliteit.

- Hoewel op basis van het verkennende veldonderzoek op drie reguliere begraafplaatsen geen harde conclusies kunnen worden getrokken lijkt in ieder geval niet uitgesloten te kunnen worden dat vanuit de begraafplaatsen nitraat uitspoelt naar het grondwater. Uitspoeling van fosfor vanuit begraafplaatsen lijkt daarentegen niet plaats te vinden en de concentraties van zware metalen in het grondwater lijken vooral bepaald te worden door lokale geohydrologische en geochemsische condities.

Aanbevelingen

- Het gebruik van de natuurbegraafplaats zou gepaard kunnen gaan met het nemen van maatregelen die de bodemchemie kunnen verbeteren, zoals het aanbrengen van steenmeel, en het inbrengen van diasporen van doelsoorten (via zaden of maaisel).

- Het meest gunstige is om de natuurbegraafplaats, na verwijderen van de voedselrijke toplaag, te ontwikkelen vanuit voormalige landbouwgrond. Dit zal t.o.v. de landbouwkundige situatie vrijwel altijd leiden tot een verlaging van stikstofbelasting van het grondwater en per definitie tot een hogere biodiversiteit van het in te richten nieuwe natuurgebied.

- Wij adviseren in ieder geval om de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit onder een natuurbegraafplaats te monitoren.

Literatuur

Dent B.B., Forbes S.L. & Stuart B.H. (2003). Review of human decomposition processes in soil. Environmental Geology 45: 576–585.

Vries, B. de, W. Wamelink, W. de Haas, J. Frissel, M. van Adrichem, 2017. Effecten van natuurbegraven op de vegetatie op Natuurbegraafplaats Heidepol; Natuurbegraven in praktijk. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2846.

Ehlert, P.A.I. en W.J. Chardon, 2014. *Veranderingen van de zwavelbalans van de Nederlandse bodem.Beantwoording van een helpdeskvraag*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Researchcentre), Alterra-rapport 2516. 48 blz.; 7 fig.; 6 tab.; 59 ref.

Fraters B., L.J.M. Boumans, T.C. van Leeuwen, J.W. Reijs, 2007. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. RIVM Rapport 680716002/2007.

Lucassen E., van den Berg L., Smolders A., Aben R., Roelofs J. & Bobbink R. **2014**. Bodemverzuring en achteruitgang zomereik. *Landschap* 31(4) 185-193.

Molenaar, J.G. de, M.G. Mennen & F.H. Kistenkas, 2009. Terug naar de natuur. Mogelijke effecten en juridische aspecten t.a.v. natuurbegraven, asverstrooien en urnbijzetting in natuurgebieden. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1789. 103 blz.; 6 fig.; 17 tab.; 42 ref.; 3 bijlagen.

Paczkowski S. & Schütz S. 2011. Post-mortem volatiles of vertebrate tissue. Applied Microbiology and Biotechnology 91:917–935.

Roelofs J.G.M., de Graaf M.C.C, Verbeek PJ.M. & Cals MJ.R. (1993) Methodieken voor herstel van verzuurde en geeutrofieerde heiden en schraallanden. In: Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in natuurterreinen / red.: M. Cals, M. de Graaf en J. Roelofs. - Nijmegen : Katholieke Universiteit Nijmegen, Werkgroep Milieubiologie.

Smolders A.J.P., Lamers L.P.M., Lucassen E.C.H.E.T., Van der Velde G. & Roelofs J.G.M. 2006. Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. Chemistry and Ecology 22: 93-111.

Smolders A.J.P., Lucassen E.C.H.E.T., Bobbink R., Roelofs J.G.M. & Lamers L.P.M. 2010. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. *Biogeochemistry* 98: 1-7.

Smolders A., Lucassen, E., & Roelofs J. 2011. Goede grond voor natuur. *Bodem, tijdschrift voor duurzaam bodembeheer*. 21(2): 11-13.

Van der Zee, F., R. Bobbink, R. Loeb, M. Wallis de Vries, G. Oostermeijer, S. Luijten & M. De Graaf (2017). Naar een Actieplan Heischrale Graslanden. Hoe behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland? Wageningen University & Research. Rapport 2812.

Van Mullekom M., Smolders A.J.P., Brouwer E., Geraedts W. & Roelofs J.G.M. 2009. Herstel van schraalgraslanden in het Hierdense beekdal. Vakblad voor Natuur, Bos en Landschap 6 (8): 2-7.

Van Mullekom M. , & F. Smolders (2012). Bodem- en hydrochemisch onderzoek naar de natuurontwikkelingskansen in de randzone van het Korenburgerveen. Onderzoekcentrum B-WARE rapportnummer 2011.39.