



Ontwikkeling van de Bodemkwaliteit in Gelderland

Trends in het Meetnet Bodemkwaliteit (1997-2010)

Alterra-rapport 2231
ISSN 1566-7197

R.P.J.J. Rietra en J.C. Voogd

Ontwikkeling van de Bodemkwaliteit in Gelderland

Dit onderzoek is uitgevoerd voor provincie Gelderland
Projectcode [5234081]

Ontwikkeling van de Bodemkwaliteit in Gelderland

Trends in het Meetnet Bodemkwaliteit (1997-2010)

R.P.J.J. Rietra en J.C. Voogd

Alterra-rapport 2231

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

Rietra, R.P.J.J. en J.C. Voogd, 2011. *Ontwikkeling van de Bodemkwaliteit in Gelderland*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2231. 44 blz.; 4 fig.; 4 tab.; 26 ref.

Het rapport geeft een analyse van de toestand en trends in het meetnet bodemkwaliteit van de provincie Gelderland in de periode 1997-2010. Bij aanvang van het meetnet was het bodembeleid erop gericht dat de bodemkwaliteit niet verder verslechterde. De doelstelling van het meetnet was daarom het volgen van de trends. Het beleid heeft later vorm gekregen in wetten (KRW, Natura 2000, nitraatrichtlijn) die kwaliteitseisen stellen aan grond- en oppervlaktewater, en die maatregelen vragen als aan de eisen niet wordt voldaan. Conform de verwachting is geconstateerd dat de concentraties van stoffen die door de bodem sterk gebufferd worden niet veranderd zijn. Maatregelen in mestwetgeving hebben wel succes gehad want in het meetnet wordt al een daling van de kaliumconcentratie gevonden op zandgrond. Verder wordt een consistente daling van de cadmiumconcentratie gevonden wat een gevolg is van de verlaagde luchtverontreiniging met cadmium. Het rapport geeft suggesties voor toepassingsmogelijkheden van het meetnet voor het huidige beleid. Het huidige meetnet bodemkwaliteit heeft de functie van een 'early warning system' dat aangeeft dat bepaalde verbeteringen plaatsvinden maar dat de bodem nog heel lang stoffen zal blijven naleveren aan het grond- en oppervlaktewater.

Trefwoorden: bodem, meetnet, Gelderland

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (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.

© 2011 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 2231

Wageningen, november 2011

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Probleemstelling	9
1.2 Achtergrond	9
1.3 Doelstelling	9
1.3.1 Projectafbakening	9
2 Meetnet	11
2.1 Beschrijving van het meetnet	11
2.2 Opzet van huidige rapportage	12
2.3 Bepaling van de toestand en trend	12
3 Resultaten	15
3.1 Vermesting	15
3.2 Verontreiniging	19
3.3 Verzuring	24
3.4 Gelderse data in relatie tot andere meetnetten	25
3.5 Aandachtspunten voor de toekomst	27
4 Conclusies	29
Literatuur	31
Bijlage 1 Databehandeling	33
Bijlage 2 Achtergrondgegevens	39
Bijlage 3 Trendanalyse	43

Samenvatting

Achtergrond. Verzuring, vermesting en verontreiniging gaven in de jaren negentig aanleiding om de toestand van de bodem in Gelderland te beschrijven en de ontwikkeling hiervan te willen volgen. In 1997 is gestart met het Gelderse meetnet bodemkwaliteit. Hierin wordt om de tien jaar de bovengrond en bijna jaarlijks het bodemvocht of bovenste grondwater bemonsterd. Het huidige rapport geeft een analyse van de toestand en trends.

De toestand in 1997 bleek in Gelderland vergelijkbaar met de rest van Nederland, met verzuring in de bossen, en een hoge bemesting van vooral maïsakkers op zandgronden maar ook van de kleiakkers in het rivierengebied. In dezelfde periode waarin voor het bodemmeetnet gegevens zijn verzameld werden veel maatregelen genomen om de toestand op termijn te verbeteren.

Toestand en trends. De gehalten aan verontreinigingen (cadmium, koper, zink) en de overmaat aan meststoffen (fosfaat) zijn in deze periode in Gelderland niet verder toegenomen, en soms zelfs gedaald, na een stijging in de voorgaande periode (1950-1990). De stikstofdepositie, en daarmee de stikstofconcentratie in het bodemvocht van de bossen, overschrijdt echter nog ruimschoots de waarde die nodig is om kwetsbare natuur te beschermen. De concentratie is in Gelderland sinds 2004 niet verder gedaald. De toestand van nitraat volgt de landelijke trend, de ingezette daling stopt de laatste jaren als gevolg van de blijvend hoge stikstofdepositie. De bodem is echter voor veel stoffen een buffer die stoffen lange tijd vasthoudt en ook lange tijd kan blijven afgeven. Geconstateerd is dat concentraties aan fosfaat, koper en zink onder de wortelzone nog steeds even hoog zijn en daarmee een bron blijven van verontreiniging van het grond- en oppervlaktewater. Het blijkt dat de concentraties van stoffen die minder gebufferd worden, zoals kalium en cadmium op zandgronden, consequent dalen in het bodemvocht onder de wortelzone. Deze zijn dus deels al uitgespoeld.

Toepassingsmogelijkheden. De aandacht voor bovenstaande ver-thema's heeft vorm gekregen in de Kaderrichtlijn Water en de Nitraatrichtlijn, en maatregelen zijn geïnitieerd om te komen tot verbeteringen. Door de verminderde aanvoer naar de bodem van de probleemstoffen (stikstof, fosfaat, koper en zink) moeten de gehalten in de bodem en vervolgens in het bovenste grondwater en oppervlaktewater dalen. Het bodemmeetnet heeft op dit moment de functie van een 'early warning system' dat duidelijk maakt dat een aantal KRW-doelen (fosfaat, koper en zink), ook in de volgende periode 2015-2027, niet overal haalbaar zijn. Additionele, regionaal toegespitste maatregelen en de wens van het rijk om delen van het land als 'niet-gevoelig' aan te wijzen conform de nitraatrichtlijn, vragen in de toekomst om provinciale bodeminformatie.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Met het oog op de problematiek rondom vermesting, verzuring en verontreiniging van de Gelderse bodem worden sinds 1997 data verzameld in het meetnet bodemkwaliteit. De laatste rapportage behelst de data tot 2000 (Rietra et al., 2003). Inmiddels zijn gegevens verzameld voor de jaren tot en met 2010 waardoor een nieuwe rapportage gewenst is. Daarnaast vragen nieuwe provinciale taken voor natuur om een evaluatie van de bestaande gegevens zodat duidelijk wordt in hoeverre de nieuwe vragen beantwoord kunnen worden.

1.2 Achtergrond

Het bodemmeetnet omvat een reeks gegevens van 1997 t/m 2010. Voor de vaste fase zijn gegevens beschikbaar uit 1997, 1999, 2005 en 2009. Bodemvochtgegevens zijn beschikbaar uit alle jaren behalve 1998 en 2005 t/m 2007. De data zijn opgenomen in de landelijke database voor bodem- en grondwatergegevens DINO.

1.3 Doelstelling

Het doel van het huidige onderzoek is het beschrijven van de toestand en trends van de bodemkwaliteit op basis van de resultaten van het meetnet bodemkwaliteit. Daarnaast worden de gegevens vergeleken met landelijke gegevens zodat duidelijk wordt of het meetnet vergelijkbare, aanvullende, of nieuwe inzichten biedt vergeleken met de toestand en trends in andere meetnetten.

1.3.1 Projectafbakening

Nieuwe provinciale taken voor natuur vragen om bodemgegevens. Het gaat om de milieucondities die aanwezig zijn in de huidige natuurgebieden per habitat- en beheertype. Binnen de huidige tekst wordt geen ontwerp geleverd van een verbeterd bodemmeetnet waarin getoetst wordt of de bodem voldoet aan de abiotische randvoorwaarden vanuit de gestelde natuurdoelen. Wel wordt er een korte beschouwing gegeven. De beleidsmatige evaluatie van het meetnet (nut en noodzaak) wordt door de provincie zelf uitgevoerd.

2 Meetnet

2.1 Beschrijving van het meetnet

De eisen aan de bemonstering-, de analysemethoden en de rapportage zijn gegeven in het handboek van het Platform meetnetbeheerders bodem- en grondwaterkwaliteit (2008). Elke meetronde is apart gerapporteerd aan de provincie. De opzet van het meetnet is eerder beschreven door Japenga et al. (2000) en wordt hier vanwege enige toevoegingen en voor de leesbaarheid van het rapport kort beschreven.

De ontwikkeling van de bodemkwaliteit wordt bepaald door de bemonstering van de bovenste laag grond (0-10 cm -mv) en het bovenste grondwater. In bodems waar het grondwater diep staat wordt bodemvocht (60-90 cm -mv) bemonsterd. Van de bovenste laag grond worden de totaalgehalten aan milieu-kritische stoffen bepaald. Bij de opzet van het meetnet was het doel minimaal één keer per tien jaar een bemonstering van de bovengrond, en éénmaal per jaar voor het grondwater en bodemvocht, uit te voeren. Van het bovenste grondwater en bodemvocht wordt de concentratie milieukritische stoffen in het water bepaald. Naast de bovengrond en het bovenste grondwater/bodemvocht onder de wortelzone is ook de fosfaatverzadiging bepaald conform het protocol fosfaatverzadigde gronden. Hierbij wordt voor kalkloze gronden de bodem boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) bemonsterd. Dat is over het algemeen de bovenste meter of minder.

De bemonsteringslocaties zijn geselecteerd op basis van homogene combinaties van landgebruik, bodemtype en hydrologie. Deze combinaties worden verder in rapport aangeduid als 'gebieden'. De op basis van voorkomen belangrijkste vormen van elk gebied zijn opgenomen in het meetnet. Het betreft de droge naaldbossen op kalkloze zandgronden (naaldbos), natte graslanden op kalkloze zandgronden (grasland), maïs op enkeerdgronden (zandakker), akkerbouw op kalkhoudende rivierkleigronden (kleiakker), en natte graslanden op rivierkleigronden (komklei). Dat laatste gebied is pas vanaf 2004 bemonsterd. Het aantal monsters door de jaren heen is weinig veranderd (zie onderstaande tabel). Bij de overweging om bepaalde gebieden te selecteren, en andere niet, heeft meegewogen dat de provincie destijds in haar milieubeleid prioriteiten legde bij zogenaamde milieu-actieggebieden. Deze gebieden zijn niet meer actueel. Verder woog mee dat locaties in de nabijheid lagen van andere meetnetten zoals het grondwatermeetnet. Elk bemonsteringsjaar zijn dezelfde locaties bemonsterd. De bemonsteringsperiode is in het vroege voorjaar (februari-april).

Tabel 1

Opzet van bemonsterde gebieden in het bodemmeetnet.

	Aantal locaties*	Jaarlijks bemonsterd	Drie keer bemonsterd	Vanaf	Bemonsterde eenheid
Naaldbos	19	Bodemvocht op 60-90 cm -mv	bovengrond 0-10 cm	1997	perceel
Gras	27	Bovenste grondwater	bovengrond 0-10 cm	1997	Perceel
Zandakker	49	Bodemvocht op 60-90 cm -mv	bovengrond 0-10 cm	1997	Perceel
Kleiakker	17	Bodemvocht op 60-90 cm -mv **	bovengrond 0-10 cm	1997	Perceel
Komklei	15	Bovenste grondwater	bovengrond 0-10 cm	2004	Plot 10 x 10 m

*in 2010 **vanaf 2003

Binnen de geselecteerde gebieden zijn door de provincie percelen gekozen voor de bemonstering. De te bemonsteren eenheden zijn steeds percelen, behalve bij het later toegevoegde gebied (komklei). De natte graslanden op komkleigronden zijn geloot en de bemonsterde eenheid is steeds een vierkant van 10 x 10 m, identiek aan het landelijk onderzoek Achtergrondwaarden 2000 (Brus et al., 2009).

2.2 Opzet van huidige rapportage

De gegevens uit het bodemmeetnet worden vergeleken met de beleidsdoelstellingen die golden bij de oprichting van het meetnet, en voor zover mogelijk met het huidige beleid. Tot 2008 was het landelijke beleid dat de bodemkwaliteit niet achteruit mocht gaan ten opzichte van de situatie in het voorgaande jaar (Milieubalans, 2009 p. 111). Dit doel van het beleid was ingegeven door de toename van diffuse verontreiniging van zware metalen, organische verontreinigingen en overmaat aan nutriënten: de ver-thema's: verzuring, vermesting en verontreiniging¹. Een dergelijk doel van beleid is toetsbaar aan de hand van de monitoringgegevens van verschillende jaren uit het meetnet. In het huidige rapport wordt daarom vastgesteld of er veranderingen zijn in de gehalten in de bovengrond tussen de drie bemonsteringsjaren (tussen 1997 en 2009), en of er trends zijn in het bodemvocht of bovenste grondwater.

Het beleid dat erop gericht is dat de toestand rondom de ver-thema's niet verder achteruit mocht gaan heeft sinds 1997 vorm gekregen in wetten. Voor het huidige bodembeleid zijn de Kaderrichtlijn Water (KRW), de Nitraatrichtlijn, het Besluit Bodemkwaliteit, en de wetgeving rond Natura 2000 het meest relevant omdat dit beleid is ingesteld in de periode dat het meetnet loopt, en omdat het moet leiden tot belangrijke verbeteringen van de kwaliteit van de bodem. Voor de uitvoering van die wetten zijn specifieke databehoeften ontstaan (bijvoorbeeld monitoring van het diepere grondwater en oppervlaktewater) die buiten het huidige bodemmeetnet liggen. Binnen het genoemde beleid heeft de provincie de verantwoordelijkheid over de bodem en het grondwater: voor de bodem is dat in het kader van Natura 2000 en voor het diepere grondwater in kader van de KRW. De provinciale verantwoordelijkheden zijn verwoord in het Gelders Milieuplan, het Waterplan Gelderland en de provinciale Milieuverordening.

Per ver-thema (paragraaf 3.1 t/m 3.3) worden in de huidige rapportage de volgende onderwerpen beschreven:

- Het probleem, zoals dat actueel was bij de oprichting van het meetnet.
- Welke doelen heeft het huidige beleid?
- Wat is de toestand in Gelderland? Zijn de problemen groot, en is er verbetering in de periode (1997-2010) dat het meetnet loopt?
- Mogelijkheden om de meetnetgegevens te gebruiken voor huidige databehoeften.

2.3 Bepaling van de toestand en trend

In het kort wordt hier toegelicht hoe de toestand is beschreven en hoe trends worden waargenomen. De techniek die hiervoor gebruikt is, en de resultaten die hieruit voortkomen, zijn weergegeven in de bijlagen. In hoofdstuk 3 worden alleen de voor de provincie relevante resultaten toegelicht.

¹ De term *verzuring* wordt in de rapportage gebruikt voor de negatieve effecten van zure en eutrofiërende depositie op natuur. De term *verontreiniging* wordt in deze rapportage gebruikt voor verspreiding van milieucontaminerende stoffen.

De toestand wordt beschreven door gemiddelde gehalten per gebied, en indien er normen zijn het aantal overschrijdingen van die norm. Trends zijn vastgesteld via Mann-Kendall test (zoals trendyector, Broers en Van der Grift, 2004). Berekening van de zogenaamde Theil's helling in een tijdsreeks per parameter en locatie (zie: Rietra et al., 2007; Broers en Van der Grift, 2004). De Theil's helling berekent de helling van alle mogelijke puntenparen en neemt daarvan de mediaan. Dit geeft in combinatie met de Kendall-tau correlatie coëfficiënt zicht op trends op locaties. De trends van individuele locaties worden geaggregeerd door de mediaan te nemen van de verzameling en het betrouwbaarheidsinterval daarvan. Getoetst is de hypothese dat er geen verandering optreedt per parameter per gebied. Bovenstaande methoden zijn gekozen na bestudering van Helsel en Hirsch (2002).

3 Resultaten

3.1 Vermesting

Achtergrond

Overmatig gebruik van mest leidt tot te hoge nitraatgehalten in het grondwater, en tot het uit- en afspoelen van fosfaat en stikstof naar het oppervlaktewater. Te hoge nitraatgehalten in het grondwater zijn een probleem bij de productie van drinkwater. Uit- en afspoeling van fosfaat en nitraat hebben negatieve effecten op het oppervlaktewater: zowel via de voor mensen giftige blauwalgen als via ongewenste effecten op de biodiversiteit. Bij aanvang van het Gelderse bodemmeetnet (tot 1998) was het Nederlandse beleid gericht op het terugdringen van het overmatig gebruik van mest via gebruiksnormen en het verminderen van de emissie naar het oppervlaktewater. Hierna heeft Nederland zich via de Europese *Nitraatrichtlijn* verplicht om te komen tot nitraatconcentraties lager dan 50 mg L⁻¹ in het bovenste grondwater. Om dat te bereiken is er een maximale gift aan stikstof via dierlijke mest door de Europese Commissie geformuleerd. Nederland heeft van de Europese Commissie toestemming tot 2013 om meer dierlijke mest te gebruiken op grasland, onder voorwaarde dat het stikstof en fosfaat dat de wortelzone verlaat wordt gemeten (derogatie). Een belangrijk deel van het Gelderse grasland (≈80%²) viel in 2010 onder de derogatie. Voor de toetsing is een derogatiemetnet ingesteld (www.invloket.nl). Om de doelen te bereiken gelden er gebruiksnormen voor stikstof die in de periode van de *Meststoffenwet* (vanaf 1 januari 2006) jaarlijks naar beneden zijn bijgesteld, en moet de fosfaataanvoer in 2015 kleiner of gelijk zijn aan de fosfaatafvoer via de oogst. De jaarlijkse ophoping van fosfor was in 1986 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Bij aanvang van het bodemmeetnet in 1997 was de ophoping 65 kg P₂O₅ ha⁻¹ en in 2007 nog maar 40 kg P₂O₅ ha⁻¹. Omdat er nog steeds sprake is van een overschot is de verwachting dat tussen 1997 en 2010 de fosfaattoestand in de bodems niet is gedaald. Naast de *Nitraatrichtlijn* en *Meststoffenwet* is in de periode van het meetnet de *Kaderrichtlijn Water* ingesteld. Deze stelt eisen aan de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. Bij de beoordeling van een goede ecologische toestand geven hoge concentraties van stikstof en fosfaat problemen (Puijenbroek et al., 2010). De provincie Gelderland maakt deel uit van het stroomgebiedbeheerplan Rijndelta (VenW, 2009). De beoordeling van het grondwater in Gelderland is goed (VenW, 2009). De beoordeling van de ecologische toestand van het oppervlaktewater in Gelderland is vaak matig (62%), en soms ontoereikend of slecht. De beoordeling van de fysische-chemische toestand en specifieke verontreinigingen voldoen voor stikstof, fosfaat, koper, zink en ammonium vaak niet (25-50%). In het stroomgebiedplan worden maatregelen genoemd om te komen tot verbetering. De bronnen van de verontreiniging zijn in veel gevallen de landbouwgronden.

Toestand en trends in het meetnet

De toestand en verandering van de vermessing in Gelderland kan afgelezen worden aan de nitraat- en fosfaatgehalten in het bodemvocht en grondwater binnen het meetnet. De overmaat aan fosfor kan lange tijd gebufferd worden door de bodem maar deze geeft het weer af aan het grondwater bij verzadiging. De toestand van de vermessing kan daarom goed afgelezen worden aan de hand van de fosforverzadigingsgraad van de bodem. In tabel 2 is te zien dat een groot deel van de landbouwbodems in Gelderland is verzadigd met fosfaat. Dit past in veel gevallen bij de waarderingsklasse voor de bovengrond zoals die voor bemestingsadviezen geldt (zie tabel 2): het percentage bovengrondmonsters met fosfaattoestand 'voldoende'

² Op basis van % graasdierenmest t.o.v. totale hoeveelheid mest per gemeente van het invloket.nl, gewogen gemiddelde op basis van aantal hectare grasland per gemeente van CBS.

en 'hoog', en met een hoge fosfaatverzadiging (>30) is het hoogste bij de zandakker, laag bij komklei, en het laagste bij naaldbos.

Tabel 2

Percentage monsters per waarderingsklasse van fosfaattoestand per gebied (gemiddeld over periode 1997-2009 ¹).

	Fosfaattoestand bovengrond ²					Fosfaatverzadiging ³						
	laag	vrij laag	voldoende	ruim voldoende	vrij hoog	hoog	<10	10-30	30-40	40-55	55-100	>100
Naaldbos	95	5	0	0		0	90	5	5	0	0	0
Gras	16	19	17	26		22	2	46	19	22	11	1
Zandakker	0	0	0	7	15	78	0	14	17	35	34	0
Kleiakker	1	11	15	31		42	0	46	35	11	0	0
Komklei	59	20	18	4		0	16	84	0	0	0	0

¹ bij fosfaatverzadiging de monsters van 1998 en later, omdat die van 1997 alleen bovengrond betreffen.

² bij naaldbos, gras en komklei op basis van P-Al, en bij zandakker en kleiakker op basis van Pw. Bij P-Al, en dus bij gras, komklei en naaldbos is er geen klasse 'vrij hoog'. Klassen conform Adviesbasis bemesting.

³ P-verzadiging conform protocol voor kalkloze zandgronden.

Opvallend is dat er soms fosfaathoudende bodems in het naaldbos zijn (zie fosfaatverzadiging 30-40 naaldbos). Dit komt overeen met de analyse dat natuurterreinen soms bemest zijn geweest of liggen op voormalige landbouwpercelen (Wamelink, 2009).

De hoge bemesting heeft geleid tot hoge fosfaat- en nitraatconcentraties in het bodemvocht en grondwater. Hoewel er geen normen voor fosfaat in het bodemvocht en het bovenste grondwater zijn, is die concentratie gerelateerd aan de fosfaatverzadiging en is het fosfaat in de bodem de bron voor het fosfaat dat via het bovenste grondwater naar sloten en beken vloeit. Bij een hoge fosfaatverzadiging bestaat het risico dat de fosfaatconcentratie in het bodemvocht beneden de wortelzone 'doorschiet' tot boven 0,2 mg L⁻¹. De fosforconcentratie onder de wortelzone is ook een belangrijke toets voor het langdurig verlagen van de fosforbalans. Het huidige beleid om vanaf 2015 te komen tot een evenwichtsbemesting (aanvoer = afvoer) moet op den duur leiden tot lagere fosfaatconcentraties in het bovenste grondwater.

Tabel 3

Fosforconcentraties (fosfor en ortho-fosfaat) in bodemvocht of bovenste grondwater per gebied (gemiddeld over periode 1997-2009 in mg P L⁻¹)

	P-PO₄ mediaan	P-PO₄ gemiddelde
Naaldbos	0,01	0,02
Gras	0,03	0,27
Zandakker	0,13	0,69
Kleiakker	0,02	0,13
Komklei	0,02	0,06

Er zijn gebiedspecifieke normen voor fosfaat in oppervlaktewater opgesteld: bijvoorbeeld voor zwak gebufferde sloten MEP³ <0,06 en GEP P <0,22 mg L⁻¹. In bovenstaande tabel is te zien dat de gemiddelde fosfaatconcentratie van het bodemvocht van de zandakkers, en het bovenste grondwater bij gras veel hoger is. De zandakkers en gras vormen daarmee een bron van fosfaat richting het oppervlaktewater (via uitspoeling). De fosfaatconcentraties van het oppervlaktewater in het zandgebied van Gelderland, vooral in Vallei en Eem, zijn vaak matig (hoger dan GEP; provincie Gelderland, 2009). Bij de komklei en de kleiakkers zijn de gemiddeld fosfaatconcentraties in het bodemvocht en bovenste grondwater minder hoog, en de meeste KRW-oppervlaktewateren in rivierenland voldoen dan ook aan de GEP's voor P (goed). De relatie is echter niet eenvoudig omdat in de kleigebieden een deel van de belasting van het oppervlaktewater een gevolg is van oppervlakkige afspoeling.

De gemiddelde fosforconcentraties zoals bepaald in het bodemvocht van de kleigebieden (0,15 en 0,06 mg L⁻¹, resp. kleiakker en komklei) lijken op de gemeten fosforconcentraties zoals bepaald in het Derogatiemetnet van RIVM (Zwart et al., 2010) (0,25 mg L⁻¹). De gemiddelde fosforconcentratie bepaald bij de zandakkers (0,83 mg L⁻¹) en het gras (0,36 mg L⁻¹) zijn veel hoger dan in het Derogatiemetnet (0,16 mg L⁻¹). De metingen in het Derogatiemetnet zijn metingen in 2008 en 2009. De oorzaak van de verschillen is waarschijnlijk dat de metingen voor het bodemmeetnet altijd ondiep genomen worden (bodemvocht op 60-90 cm -mv., of bovenste grondwater bij natte graslanden), terwijl in het derogatiemetnet het bovenste grondwater soms ook dieper ligt.

Nitraat is relevant vanwege de uitspoeling naar het grondwater. Hiervoor geldt een doelstelling van 50 mg L⁻¹ nitraat. Deze doelstelling, en het verbeteren van de toestand, zijn heel belangrijke doelstellingen omdat de derogatie daar van af hangt. De nitraatconcentraties zijn zeer hoog in de zand- en kleiakkers. Het zijn hier vooral maïspcerelen. De gevonden gemiddelde concentratie lijkt de laatste tien jaren sterk op de door RIVM gepubliceerde cijfers (daling van 120 naar 74 mg L⁻¹ nitraat in 1997 en 2006 (Milieubalans, 2009) voor de zandregio. Een daling is in de zandakkers de laatste jaren niet meer waarneembaar. In het Derogatiemetnet (Zwart et al., 2010) zijn in 2008 en 2009 de nitraatconcentraties gemiddeld 26 en 49 mg L⁻¹ op resp. klei- en zandgronden (onder de wortelzone). Landelijk gezien voldoen de kleigronden daarmee aan de grens van 50 mg L⁻¹ uit de Nitraatrichtlijn. Dat zien we ook bij de Gelderse komklei. Als we kijken naar de nitraatconcentraties in het bodemvocht van de Gelderse kleiakkers, dan zien we dat die vergelijkbaar hoog zijn als onder de zandakkers. De Gelderse zandakkers zijn vergelijkbaar met de zandgronden in andere provincies, maar de kleiakkers hebben dus duidelijk hogere concentraties dan de landelijke kleigronden. De oorzaak is waarschijnlijk dat de relatief hoog gelegen Gelderse kleiakkers intensiever gebruikt en bemest worden dan de meestal laag gelegen kleigronden elders in Nederland.

Tabel 4

Gemiddelde nitraatconcentraties (NO₃) in bodemvocht of bovenste grondwater per gebied. De norm voor nitraat in grondwater is 50 mg L⁻¹

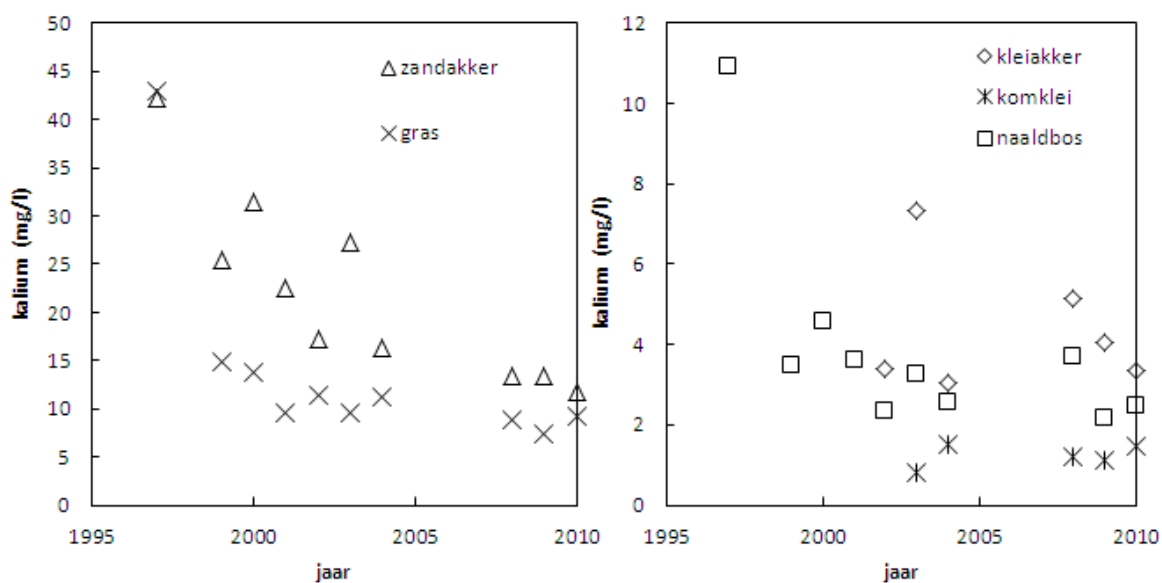
	1997	1999	2000	2002	2003	2004	2008	2009	2010
Gras	106	21	56	24	21	44	18	34	33
Zandakker	228	148	108	90	204	83	90	105	82
Kleiakker	x	x	X	172	520	147	141	103	78
Komklei	x	x	x	x	20	26		9	10

* voor de extractie van bodemvocht wordt bij droge grondmonsters water toegevoegd tot 20% vocht. De hier gegeven concentraties betreffen de nitraatconcentraties na terugrekening tot het oorspronkelijk vochtgehalte. In bijlage 2 staan de gemeten vochtgehalten.

³ Doelen in KRW voor oppervlaktewater: MEP en GEP, Maximaal- en Goed Ecologisch Potentieel

De nitraatconcentraties in het bovenste grondwater van de natte graslandpercelen op zand zijn lager dan in de zandakkers. De grondwaterstand bij deze bodems is over het algemeen relatief hoog waardoor het bovenste grondwater in contact staat met bodemorganische stof waarbij nitraat afgebroken wordt.

Stikstof in de bodem is soms moeilijk te monitoren omdat meerdere bodemprocessen invloed hebben op de gehalten. Om het niveau van bemesting te traceren kan ook gekeken worden naar kalium. De gehalten aan stikstof en kalium zijn in mest grofweg hetzelfde (= aanvoer). Hetzelfde geldt voor de gehalten aan stikstof in gewassen (= afvoer). In figuur 1 is te zien dat de hoge gemiddelde kaliumconcentraties in de zandakkers en bij gras sterk zijn gedaald sinds 1997. Dat is een duidelijke aanwijzing voor een verminderde aanvoer van dierlijke meststoffen. De daling in de kaliumconcentraties passen bij de door het CBS berekende daling van het kaliumoverschot op landbouwgrond in Nederland van 140 naar 50 mln. kg in de periode 1997-2010 (CBS, statline). Dit is een belangrijke uitkomst van het meetnet: het toont aan dat het landelijk beleid om te komen tot een verlaagde aanvoer van dierlijke mest op het land gelukt is.



Figuur 1

Gemiddelde kaliumconcentraties per gebied in bodemvocht en bovenste grondwater. De kalium in zandgronden wordt niet gebufferd zoals in de kleigronden en vertoont een sterke daling.

Dergelijke trends zijn moeilijker te zien bij de meeste andere stoffen of bodems omdat processen in de bodem zorgen voor buffering (fosfaat, contaminanten en kalium in kleigronden) of afbraak (nitraat). In het jaar 1997 en 2003 was het gemiddelde vochtgehalte het laagste zodat die jaren opvallen door hun hogere concentraties (zie vochtgehalten in bijlage 1).

Tabel 5

Significante afname (↓) of toename (↑) in bodemvocht, bovenste grondwater, en bovengrond# voor de periode 1997-2010\$.

Element	Gras	Kom klei	Klei akker	Naald bos	Zand akker
	grondwater		bodemvocht		
K	↓	≈	≈	↓	↓
NH4	≈	≈	↓	↓	↓
NO3	↓	≈	↓	↓	↓
P	≈	≈	≈	≈	↑
P04-P	≈	≈	≈	≈	≈
	bodem				
Pverzadiging	≈	≈	↓	≈	↓

Bij komklei betreft het de periode 2004-2010, bij kleiakker de periode 2002-2010. Bij P in de bovengrond betreft het de fosfaatverzadiging in de laag boven het gemiddeld hoogste grondwater (GHG).

De herhaalde bemonstering van de fosfaatverzadiging in 1999 en 2009 laat geen verandering zien bij grasland, maar wel een daling van de fosfaatverzadiging bij zand- en kleiakkers (bijlage 2). Dit is heel verrassend omdat er een ophoping zou zijn van fosfaat in het bodemprofiel waarbij de fosfaattoestand van de bovengrond ongewijzigd lijkt tot 2000 (Reijneveld et al., 2011). Mogelijk is hier sprake van een dermate hoge uitspoeling dat de gehalten in het profiel niet meer toenemen en soms afnemen.

Toepassingsmogelijkheden

Actueel relevant voor de provincie Gelderland is de wens van de Tweede Kamer om te komen tot regionalisering van het mestbeleid door delen van Nederland niet meer aan te merken als kwetsbaar gebied in het kader van de Nitraatrichtlijn. Zoals eerder gezegd, volgens het Derogatiemetnet voldoen de veengebieden en sinds kort kleigebieden, aan het doel dat de gemiddelde nitraatconcentratie in het bovenste grondwater lager is dan 50 mg L⁻¹.

Actueel zijn ook de verlagingen van de gebruiksnormen in de meststoffenwet. Met ingang van 1 januari 2010 zijn de gebruiksnormen voor fosfor afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem⁴. De fosfaatgebruiksnormen voor bouwland zijn gedaald van 95 in 2006, tot 75 in 2010, en gaan nu bij percelen met een hoge fosfaattoestand naar 55 kg P₂O₅ ha⁻¹ in 2013. Dergelijke bodems komen in Gelderland, en in het meetnet (zie tabel 3), heel veel voor. Op deze bodems is de toepassing van dierlijke mest verminderd en zal het nog verder moeten verminderen. De effecten van het nieuwe beleid zullen dus op deze bodems op den duur merkbaar moeten worden aan alle stoffen die gerelateerd zijn aan dierlijke mest: dat zijn naast fosfaat, ook nitraat en kalium. Het bodemmeetnet is hiervoor heel geschikt.

3.2 Verontreiniging

Achtergrond

De in de vorige eeuw toenemende verontreiniging van het milieu met zware metalen en organische contaminanten (gewasbeschermingsmiddelen, PAK, PCB) gaf risico's voor de ecologie in bodem en water,

⁴ Als agrariërs gebruik willen maken van een hogere fosfaatgebruiksnorm dan dienen ze in hun jaarlijkse gecombineerde opgave het aantal hectaren met de fosfaatstatus laag, neutraal of hoog aan te geven.

voor het drinkwater en voor de kwaliteit van gewassen. Enkele voorbeelden hiervan zijn het gebruik van veel koper in varkensvoer dat leidde tot verhoogde kopergehalten in de bodem en dat problematisch is voor de hiervoor gevoelige schapen, en het gebruik van cadmiumhoudende fosfaatkunstmest, en depositie van cadmium, wat leidde tot verhoogde cadmiumgehalten in de bodem en vervolgens in landbouwgewassen. Bij aanvang van het Gelderse meetnet voor bodemkwaliteit in 1997 was het Nederlandse beleid erop gericht om de gehalten in de bodem en water niet verder toe te laten nemen. Het doel van het meetnet was het meten van de achtergrondgehalten in Gelderland en de ontwikkeling van de gehalten aan verontreinigingen (Japenga et al., 2000). Om bodems met een verontreiniging te kunnen onderscheiden van de rest van de bodems zijn streefwaarden voor bodem en grondwater, en vervolgens achtergrondwaarden voor bodem, ontwikkeld (Besluit Bodemkwaliteit).

Voor het huidige beleid zijn voor Kaderrichtlijn Water (KRW) doelstellingen geformuleerd voor het diepere grondwater (>10 m) en het oppervlaktewater. Op dit moment is de kwaliteit van het diepere grondwater goed (Waterplan Gelderland 2010-2015), maar de kwaliteit van het oppervlaktewater in veel gevallen niet (Milieubalans, 2009). Bij de beoordeling van een goede ecologische toestand geven hoge concentraties van koper en zink vaak een overschrijding (De Nijs et al., 2008), ook in de provincie Gelderland (2009). Een hardnekkig knelpunt is de verontreiniging vanuit de landbouw die gaat via de bodem, afspoeling of drainage en het bovenste grondwater. Omdat het niet waarschijnlijk is dat de doelstellingen in 2015 gehaald worden, moet geprobeerd worden ze in de periode tot 2027 te halen.

Een ander belangrijk aspect van het huidige beleid is de toepassing van grond op de bodem. Vanaf 2009 is het mogelijk om binnen de Besluit Bodemkwaliteit Lokale Maximale Waarden te formuleren. Bij de toepassing van grond en baggerspecie op de bodem bestaat er zo voor gemeenten de mogelijkheid om strenger of minder streng te zijn dan het generieke beleid. Als randvoorwaarde geldt dat er sprake is van een 'stand-still' op gebiedsniveau. Het is daarom relevant om te weten wat de normale 'achtergrondgehalten' in de bodem zijn. De gegevens uit het bodemmeetnet geven aan of de achtergrondgehalten afwijken van de landelijk bepaalde achtergrondgehalten.

Toestand en trends in het meetnet

De toestand en verandering van de verontreiniging in Gelderland kan afgelezen worden aan de gehalten in de bovengrond, en de concentraties in het bodemvocht en bovenste grondwater onder de wortelzone. De achtergrondwaarden uit Besluit Bodemkwaliteit geven een ijkwaarde voor de gehalten in gebieden zonder puntbronverontreinigingen. Het onderzoek naar de achtergrondwaarden bevatte echter maar 100 locaties verspreid over heel Nederland zodat mogelijk bepaalde bodemtypen niet goed vertegenwoordigd zijn geweest. In de onderstaande tabel zijn de achtergrondwaarden gegeven zoals bepaald in het bodemmeetnet. Waarden groter of kleiner dan 1 geven aan of de bemonsterde Gelderse bodems afwijken van de landelijke achtergrondwaarden.

Tabel 6

Gehalte in de Gelderse bodem vergeleken landelijke achtergrondgehalten (groter dan 1 boven achtergrondwaarde, kleiner dan 1 is beneden achtergrondwaarde).*

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Ba	Mo	Se [#]	V
Naaldbos	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.4	0.7	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3
Gras	1.3	1.1	0.5	0.6	1.0	1.2	0.6	1.0	0.8	0.8	0.4	0.7	0.7
Zandakker	0.9	0.7	0.4	0.5	1.5	0.8	0.5	0.8	0.7	0.6	0.4	0.8	0.5
Kleiakker	0.8	1.0	0.8	0.8	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	0.8	0.3	1.0	0.3
Komklei	1.1	1.4	0.6	0.9	0.6	0.8	1.2	1.2	0.8	0.9	0.6		

*95-percentielwaarden van gehalte/achtergrondwaarden per gebied

[#]geen achtergrondwaarde in Besluit Bodemkwaliteit: gebruikt is de streefwaarde

De Gelderse gebieden hebben achtergrondgehalten die sterk overeenkomen met de landelijke achtergrondgehalten, behalve koper in de zandakkers, en cadmium, arseen en kwik in grasland. Deze verhogingen zijn gerelateerd aan het hoge gebruik aan dierlijke mest, deels uit het verleden. Opvallend is dat het naaldbos beduidend lagere achtergrondgehalten hebben dan de landelijke waarden. Dit kan betekenen dat, bij gebruik van de achtergrondwaarden als referentie, een verontreiniging niet als dusdanig herkend zou worden. Bovenstaande gegevens geven aan dat het niet eenvoudig mogelijk is om voor heel Gelderland of grote regio's (zoals rivierenland) lokale maximale waarden te formuleren.

De achtergrondconcentraties in het bodemvocht en het bovenste grondwater zijn relevant omdat concentraties in grondwater vaak gebruikt worden om verontreinigingen van puntbronnen aan te wijzen in grondwater. Het aanwijzen van verontreinigingen is moeilijk als de achtergrondconcentraties door diffuse verontreiniging ook al verhoogd zijn. De concentratie chroom is steeds hoger dan de streefwaarde maar vaak ook de concentratie barium. De concentratie van cadmium, nikkel en zink zijn in de naaldbossen boven de streefwaarde. Dit is waarschijnlijk een gevolg van depositie en de verzuring van de bodems waardoor deze zware metalen deels in water oplossen.

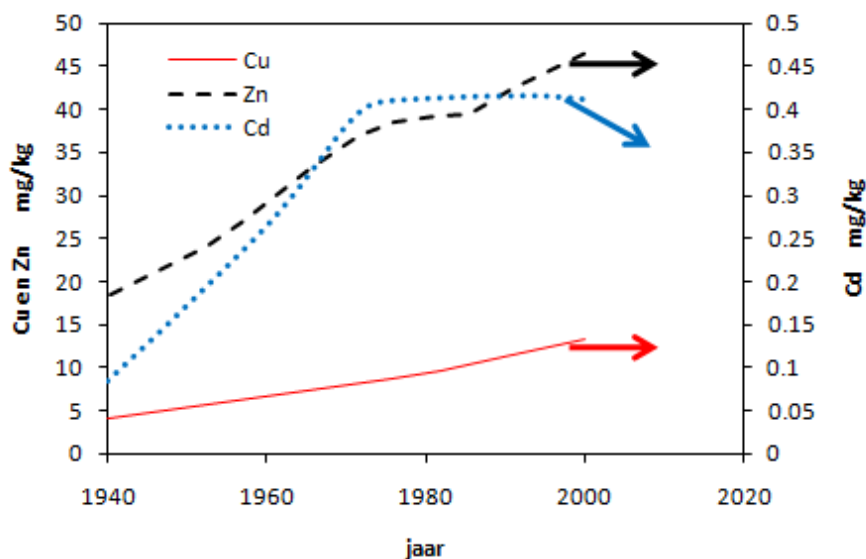
Tabel 7

Percentage monsters dat streefwaarde overschrijdt in bodemvocht of bovenste grondwater/streefwaarden bovenste grondwater per gebied (>50% =vetgedrukt).

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Ba	Mo
Naaldbos	1	95	6	91	38	52	8	91	48	4
Gras	26	16	1	93	22	38	6	40	65	1
Zandakker	11	42	0	97	91	13	4	61	2	8
Kleiakker	2	5	0	95	47	6	0	2	5	0
Komklei	18	5	10	56	10	23	0	37	65	0
Streefwaarde⁵	10	0,40	20	1	15	15	15	65	50	5

⁵ KRW-normen oppervlaktewater lijken op de streefwaarden grondwater: As (15), Ba (9,3), Cd (0,5), Cr (3,4), Cu (3,8), Mo (7,2), Ni (30), Pb (11), Zn (7,8) in µg L⁻¹. Sterk afwijkend: Ba, Cu en Zn zijn lager, Cr en Ni zijn hoger

Te hoge concentraties van koper en zink bevestigen het beeld dat landbouwbodems een bron zijn voor verontreiniging van het oppervlaktewater. Overschrijdingen van de streefwaarde voor koper en zink zijn vooral normaal bij de zandakkers. De KRW-normen voor koper en zink in oppervlaktewater zijn zelfs nog lager dan de streefwaarde in bovenstaande tabel³. De hoge koper- en zinkconcentraties in het bodemvocht, en de grote voorraad in de bodem, wijzen de oorzaak aan voor het niet behalen van de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water voor koper en zink in oppervlaktewater. De bodem vormt het doorgeefluik van het koper en zink uit de landbouw. Modelberekeningen op basis van de meest recente depositie en mestgegevens duiden op constante cadmiumgehalten in de bouwvoor van landbouwgronden, een toename van Cu-gehalten van 0,2 mg kg⁻¹ en een toename van 0,4 mg kg⁻¹ voor Zn in de periode 1990-2000 (Bonten et al., 2010). Er zijn geen andere bodemgegevens in Nederland dan het bodemmeetnet die deze modelberekeningen kunnen bevestigen.

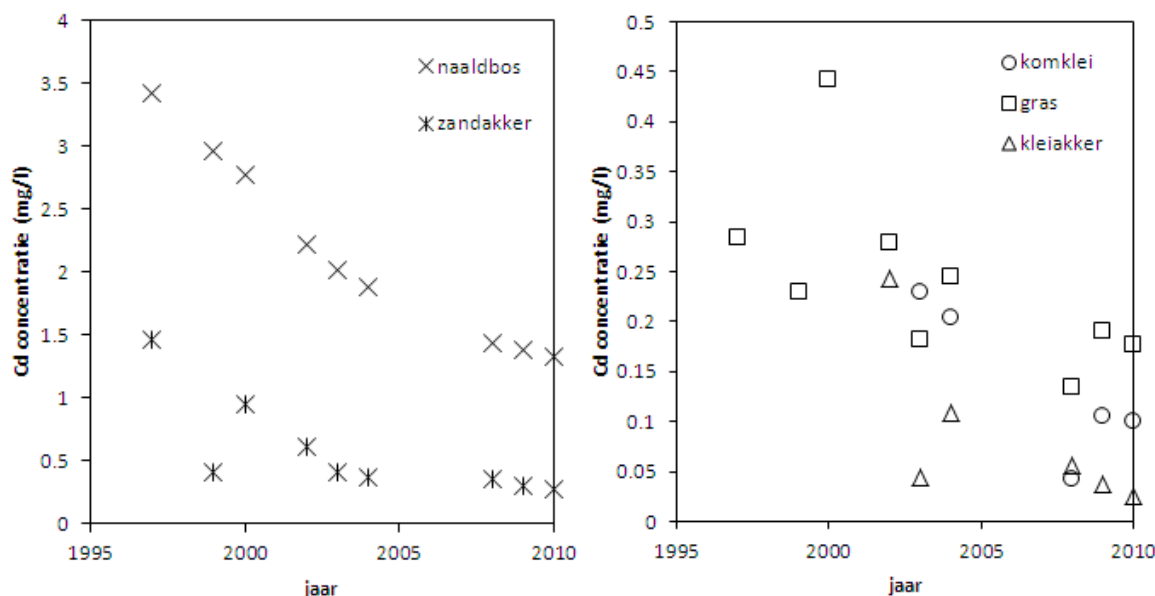


Figuur 2

Trendbreuk: landelijke gemodelleerde trends in de periode tussen 1940-2000 (stippellijnen Bonten et al., 2010) versus gemeten trend in Gelderland in periode 1997-2009 (pijlen) voor drie belangrijke contaminanten.

Aan de cadmiumgehalten in de bovengrondmonsters uit het meetnet is te zien dat er is een significante daling is van de cadmiumgehalten tussen 1997 en 2009 (0,06 mg kg⁻¹)(tabel 2 in bijlage 2). De meetnetgegevens wijzen echter op een geringe toename van Cu bij de zandakkers en Zn in de kleiakkers: deze trendbreuk is goed te zien in de onderstaande figuur. Dat is een belangrijk resultaat uit het meetnet.

In onderstaande figuur is te zien dat de cadmiumconcentratie in het bodemvocht onder de wortelzone consequent daalt bij naaldbos en de zandakker. De daling van de hoge cadmiumconcentratie in het bodemvocht onder de wortelzone in naaldbos gaat samen met de daling van de cadmiumgehalten in de bovengrond. Cadmium is in deze bodems relatief mobiel. De relatief hoge cadmiumgehalten in de bosbodems zijn veroorzaakt door luchtverontreiniging in het verleden. De luchtverontreiniging in Nederland is succesvol terug gedrongen en is in de periode 1990-2009 sterk gedaald (www.emissieregistratie.nl). De daling van de cadmiumconcentratie in het bodemvocht onder in de bodem is een belangrijk resultaat van het beleid.



Figuur 3

Gemiddelde cadmiumconcentraties per gebied in bodemvocht en bovenste grondwater.

Naast diffuse verontreiniging van zware metalen is er verontreiniging van organische verontreinigingen. Deze verontreiniging is deels een overblijfsel van industriële uitstoot die via depositie op de bodem is terechtgekomen (bijvoorbeeld PAK: polycyclische aromatische koolwaterstoffen), en deels via het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. In 1997 en 2009 zijn de PAK's, stikstof- en chloorbestrijdingsmiddelen bepaald in de bovengrondmonsters. In onderstaande tabel staat het percentage van de locaties waarvoor twee keer de analyses zijn uitgevoerd, en waarbij een aantal stoffen aangetoond kon worden. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de gebieden.

De gehalten aan organische contaminanten is in alle gevallen laag. De gewasbeschermingsmiddelen zijn middelen die al lang niet meer gebruikt mogen worden maar nog steeds aangetroffen kunnen worden. De resultaten geven aan dat het aantal locaties waarin de stoffen nog terug te vinden zijn is afgenomen. Dit suggereert dat de stoffen worden afgebroken.

Tabel 8

Percentage monsters (%) waarin stof aangetoond kon worden (totaal aantal locaties is 140) #.

	PAK *	p,p-DDE	o,p-DDT	p,p-DDT	Dieldrin	Gamma HCH
1997	40%	33%	18%	32%	17%	8%
2009	32%	27%	9%	27%	8%	1%

*som 10 PAK.

gehalte boven de rapportagegrens: rapportagegrens voor PAK 0,2 mg kg⁻¹, en 1 mg kg⁻¹ voor andere stoffen.

Toepassingsmogelijkheden

Naast fosfaat en nitraat vormt de uitspoeling van koper en zink uit landbouwgronden een hardnekkig knelpunt voor de volledige realisering van de doelen van de KRW in de provincie Gelderland (provincie Gelderland, 2009). Modellen geven aan dat de concentratie van koper en zink in de komende decennia nog verder zal toenemen als gevolg van de eerder opgebouwde voorraden in landbouwgronden, en de ongewijzigde aanvoer via dierlijke mest. De bodem en het grondwater vormen de bron en doorgeefluik van koper en zink (Bonten et al., 2010). Sterk regionaal georiënteerde aanvullende maatregelen zijn nodig en hiervoor is onder andere kennis van de bodem en het ondiepe grondwater nodig. Metingen van de toestand en trends zijn hard nodig vanwege een kennistekort op dit gebied. Terwijl cijfers van CBS een daling van de zware metaalaanvoer aangeeft, geven analyse van de gehalten aan koper en zink in dierlijke mest geen daling aan (Römkens en Rietra, 2008). Het meetnet geeft aan dat het gehalte aan koper en zink in de bovengrond, en het bodemvocht en bovenste grondwater, niet zijn veranderd in de laatste tien jaren. Op dit moment geeft alleen het meetnet dergelijke belangrijke meetgegevens.

Om locaties aan te wijzen waar regionale maatregelen genomen zouden kunnen worden geeft het meetnet inzicht in de regio's waar die kansrijk zijn. Regionale verschillen zijn er binnen Gelderland (zie Alterra rapport 725) voor o.a. fosfaat in het bodemvocht van zandakkers. De fosfaatconcentraties zijn het hoogste in het westen (Gelderse Vallei) en het laagste in het oosten. Problemen met fosfaat in een KRW-oppervlaktelichaam in het oosten zijn daarmee dus veel eenvoudiger op te lossen zijn dan in de Gelderse Vallei. In combinatie met de hydrologie kunnen potentiële locaties voor maatregelen het beste gezocht worden.

3.3 Verzuring

Achtergrond

Hoge emissies van verzurende stoffen naar de lucht zorgden tot in de jaren tachtig voor een verzuring van het milieu: bossen, vennen maar ook schade aan gebouwen. Uit studies blijkt dat de bodem-pH in de periode 1950-2000 significant zuurder is geworden en vooral in matige zure bodems het aantal zuurgevoelige bodemfauna en flora is afgenomen (Mira, 2006). Ook is duidelijk dat het aantal planten- en diersoorten in Nederlandse natuur vermindert (Milieubalans, 2009). Een belangrijke oorzaak van deze verminderde biodiversiteit is de hoge stikstofdepositie in de natuur. Bij aanvang van het meetnet was het doel van het beleid om de emissies drastisch te verminderen. Sinds 1990 zijn de emissies sterk verlaagd, met ruim 65% en 45% van de verschillende zwavel- en 45% stikstofoxiden (Milieubalans, 2009).

Het huidige beleid om de daling in de biodiversiteit een halt toe te roepen is vormgegeven in de bescherming van de natuur via o.a. de Ecologische Hoofdstructuur en Natura 2000. Verder moet de stikstofdepositie worden verminderd door verminderde emissies bij het uitrijden van dierlijke mest (mestwetgeving) en verminderde emissies bij de huisvesting van dieren.

Toestand en trends in het meetnet

De toestand in Gelderland is af te lezen aan de nitraatconcentraties in het bodemvocht in het bos. Als ijkpunt gelden de kritische drempelwaarden. Voor zeer gevoelige ecosystemen zijn de drempelwaarden kleiner dan 20 kg N ha⁻¹ j⁻¹ en bij gevoelige systemen kleiner dan 34 kg N ha⁻¹ j⁻¹ (Van Dobben en Hinsberg, 2008). Dergelijke waarden komen overeen met bodemvochtconcentraties van 30 tot 50 mg NO₃ L⁻¹ als de bosbodem stikstofverzadigd is. In tabel 3 is te zien dat de gemiddelde bodemvochtconcentraties in de laatste vijf jaren varieerde van 25 tot 39 mg NO₃ L⁻¹. Dit geeft duidelijk aan dat er te hoge depositieniveaus zijn in het bos.

Tabel 9

Gemiddelde nitraatconcentraties (NO₃) in bodemvocht van naaldbos. De norm voor nitraat in grondwater is 50 mg L⁻¹.

	1997	1999	2000	2002	2003	2004	2008	2009	2010
Naaldbos	67	63	36	29	59	25	32	39	36

* voor de extractie van bodemvocht wordt bij droge grondmonsters water toegevoegd tot 20% vocht. De hier gegeven concentraties zijn de nitraatconcentraties na terug rekening tot het oorspronkelijk vochtgehalte. In bijlage 2 staan de gemeten vochtgehalten

De hoge depositie van stikstof is landelijk sinds 2002 niet verbeterd. Hetzelfde lijkt het geval te zijn in Gelderland. Bovendien vormt de hoge nitraatconcentratie een continue bron voor bodemverzuring omdat de zure depositie voornamelijk hieruit bestaat. De zuurgraad van de bodem (0-10 cm -mv) en het bodemvocht (60-90 cm -mv) is niet gedaald in de periode van het meetnet (1997-2010) (bijlage 3). Dit geeft aan dat de zure bodems op dit moment voldoende in staat zijn om de verzuring te bufferen. Mogelijk geldt dat niet voor de meer gevoelige minder zure zwak gebufferde bodems. Naast stikstof bestaat de zure depositie uit zwavel. Ook de zwavelconcentratie is in de periode 1997-2010 niet significant veranderd.

Toepassingsmogelijkheden

Binnen de Natura 2000-gebieden dienen ongunstige aspecten, zoals de hoge stikstofdepositie, gerapporteerd te worden door de beheerder. De zeer hoge stikstofdepositie zorgt voor eutrofiering van het bos en verzuring van de bosbodem, en is schadelijk voor andere natuurtypen die gebonden zijn aan voedselarme en zwakgebufferde standplaatsen (die niet in het meetnet vertegenwoordigd zijn). Sterk regionaal aangestuurde maatregelen moeten leiden tot voldoende verbetering. Bij onvoldoende verbetering van de stikstofdepositie kunnen ook maatregelen tegen verdroging of ter verbetering van de waterkwaliteit bijdragen aan een algemene verbetering. In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) wordt gezocht naar dergelijke maatregelen om de schade door stikstofdepositie te compenseren. Daarnaast zullen bij onvoldoende kwaliteit van de abiotische factoren in Natura 2000-gebieden plannen gemaakt moeten worden om te komen tot verbetering. De verbeteringen moeten voornamelijk komen uit landelijk maatregelen zoals emissiearme stallen.

Om op termijn aan te tonen dat het probleem van de hoge stikstofdepositie in natuur is verbeterd zijn metingen nodig. Op dit moment worden er landelijk nauwelijks metingen gedaan van de depositie in de natuur en zijn de landelijke gegevens gebaseerd op een vertaling van de gemeten gehalten in de lucht⁶ naar depositie in bos. Het bodemmeetnet levert weliswaar geen directe depositiemetingen, maar vormt wel een waardevol uitgangspunt waaraan potentiële verbeteringen in de Gelderse natuurgebieden in de toekomst getoetst kunnen worden.

3.4 Gelderse data in relatie tot andere meetnetten

Geëvalueerd wordt of de resultaten uit het Gelderse bodemmeetnet ook afgeleid kunnen worden uit de landelijke meetnetten (bv. Landelijk meetnet bodemkwaliteit, Trendmeetnet verzuring). Het nut en noodzaak van het bodemmeetnet kan hiermee beschreven worden. De beleidsvelden waarvoor het bodemmeetnet relevant zijn worden door de provincie zelf beschreven.

⁶ Op drie locaties in de provincie Gelderland voert het RIVM metingen uit van de achtergrondconcentraties in de lucht

Tabel 10

Landelijke Meetnetten en andere onderzoeken met vergelijkbare parameters als het Meetnet Bodemkwaliteit van de provincie Gelderland.

Naam	Bemonsterd	Parameters	Aantal in Nederland (en Gelderland)	Meetjaren
Landelijk Meetnet effecten mestbeleid (LMM)¹	Grondwater, drain- en slootwater (bodemvocht bij loss) bij landbouwbedrijven	EC, O ₂ , NO ₃ .	346 (55) bedrijven	1 à 4 keer per jaar vanaf 1992
onderdeel hiervan: Derogatiemetnet ¹	Bovenste grondwater, en slootwater (drainagewater) bij melkveebedrijven	NO ₃ , NH ₄ , tot. N en tot. P	Selectie van bovenstaande bedrijven	2007, 2008, 2009, 2010
TrendMeetnet Verzuring¹	Bovenste grondwater in natuurgebieden op zandgrond	Vergelijkbaar met bodemmeetnet Gelderland	150 (8) locaties	1989, 2001, 2002, 2003, 2004, 2007, 2008 per twee jaar
Landelijk meetnet Bodemkwaliteit ¹	Bovengrond	Vergelijkbaar met BM Gelderland	200 (28) locaties	Vanaf 1993
Forest Focus (LNV/EU)²	Verskillende bodemlagen, en bodemvocht in bos	Vergelijkbaar met BM Gelderland	14 (2)	Vanaf 1990 tot 2001 1x jaar, in, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010 maandelijks. Meetnet beëindigd
Landelijke steekproef kaartenheden (LSK)	Bovengrond en hele profielen	Totaalgehalten en extracties afhankelijk van bodemtype	2483 locaties	Eénmalig
Achtergrondwaarden2000		Contaminanten	100 locaties	
Proefschrift Mol (2002)	Onder- en bovengrond	Totaalgehalten en bodemvocht	92	
Proefschrift Van der Veer (2006)		Totaalgehalten	358 boringen	

¹www.rivm.nl/milieuportaal/dossier/meetnetten ²Leeters et al., 2007 ³Lamé (2004)

Welke gegevens kan de provincie ook uit andere meetnetten of datasets verkrijgen?

- Voor nitraat in het bovenste grondwater van landbouwgebieden kan de provincie ook gebruik maken van gegevens van het LMM. Voor nitraat en fosfaat kan gebruik gemaakt worden van het derogatiemetnet dat een onderdeel is van het LMM.
- Voor stoffen in het bovenste grondwater van natuurgebieden kan de provincie gebruik maken van het trendmeetnet verzuring. Dit meetnet is gesitueerd in relatief natte natuurgebieden die nu niet in het meetnet bodemkwaliteit aanwezig zijn. Dus gebruik maken van die gegevens is eerder aanvullend.
- Voor totaalgehalten in de bovengrond kan de provincie gebruik maken van veel datasets (proefschrift Mol, proefschrift Van der Veer, en AW 2000). Die datasets bevatten geen informatie over de fosfaatverzadiging en stikstofgehalten.
- Wel kan de provincie gebruik maken van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Het aantal locaties in de provincie Gelderland is echter heel beperkt (≈28).

Welke gegevens kan de provincie niet uit andere meetnetten of datasets verkrijgen?

- Voor stoffen in bodemvocht van droge natuurgebieden (geen grondwater in eerste twee meter), zoals het Natura 2000-gebied de Veluwe, bieden landelijke meetnetten geen gegevens. Hetzelfde geldt voor stoffen in het bodemvocht van landbouwgebieden die relatief hoog gelegen zijn, zoals de zwaar bemeste maispercelen op zandgronden (zandakkers). Dat terwijl landelijke maatregelen juist hier veranderingen moeten

bewerkstelligen. Van dergelijke gebieden kan dus alleen iets afgelezen worden aan het diepere grondwater (bijvoorbeeld nitraat) via het provinciale meetnet grondwaterkwaliteit.

- Fosfaatverzadiging (is slechts éénmalig landelijk vastgesteld via LSK).
- Geen trends voor alle stoffen (behalve stikstof en fosfaat) in het bovenste grondwater.
- Geen trends voor alle stoffen in de bodem.
- Gegevens van persistente organische contaminanten in de bodem.

Aangezien de overheid sinds 2010 de analyse van de stikstof- en fosfaattoestand van derogatie-percelen verplicht heeft gesteld zijn er veel gegevens beschikbaar bij de agrariërs zelf. Dienst Regelingen kan geaggregeerde gegevens aan de provincie verstrekken. Opgemerkt moeten worden dat dergelijke gegevens, indien ze geaggregeerd worden, ook gekocht kunnen worden van laboratoria. Blgg geeft de mogelijkheid om geaggregeerde data van particuliere opdrachtgevers (geaggregeerd = anoniem) samen te stellen (bijvoorbeeld per gemeente). Dit is ook mogelijk voor organische stof, zuurgraad en fosfaattoestand van de bovengrond van landbouwpercelen.

3.5 Aandachtspunten voor de toekomst

Huidig gebruik van bodemgegevens

De gegevens uit het bodemmeetnet vormen de basis van landelijke kaartbeelden voor zware metalen in de bodem en voor de berekende zware metaaluitspoeling door de emissieregistratie (www.emissieregistratie.nl). Deze gegevens en de gemodelleerde uitspoeling naar het oppervlaktewater zijn gebruikt om inzicht te krijgen in de verontreiniging van het oppervlaktewater en de bijdrage van de bodem daaraan. De bodemgegevens geven in combinatie met andere gegevens van de emissieregistratie (rwzi's etc.) aan dat de zware metaalconcentraties in het oppervlaktewater voor een belangrijk deel bepaald worden door uitspoeling uit de bodem. De bron van de zware metalen is in sommige gevallen voornamelijk depositie (cadmium) en in andere gevallen dierlijke mest (koper en zink). De resultaten (Bonten et al., 2010) geven aan dat bij ongewijzigd beleid de aanvoer van koper en zink naar het oppervlaktewater alleen nog maar toeneemt in de periode tot 2027, de periode waarop KRW betrekking heeft. In het uitvoeringsprogramma diffuse bronnen, en de stroomgebiedsplannen, zijn maatregelen voorgesteld om te komen tot lagere aanvoer van Cu en Zn. Scenariomodellerings hiervan laten zien dat een *stand-still* (geen verder verhoging van de afvoer vanuit bodem naar oppervlaktewater) mogelijk is voor cadmium en zink maar dat zelfs bij alle maatregelen de koperaanvoer naar het oppervlaktewater via de bodem nog toeneemt (Bonten et al., 2009). De huidige statistiek van CBS (zware metalen naar de bodem) geeft als gevolg van een verouderde berekeningsmethode aan dat de koper- en zink-gehalten in bodem moeten dalen omdat de diervoedernormen voor deze stoffen zijn verlaagd. De huidige metingen (in figuur 3) geven echter aan dat de bodemgehalten niet zijn veranderd. Het meetnet heeft daarmee de functie van een 'early warning system': het geeft via waarnemingen aan dat het beleid om de verontreiniging met Cu en Zn terug te dringen niet zijn gehaald.

Toekomstig gebruik van bodemgegevens

De recente maatregelen die onder invloed van de Kaderrichtlijn (uitvoeringsprogramma diffuse bronnen verontreiniging) en Nitraatrichtlijn (verlaging gebruiksnormen in de meststoffenwet) zijn genomen kunnen op korte termijn (<10 jaar) leiden tot effecten op de gehalten in de bodem en het grond- en oppervlaktewater. Via monitoring moet geverifieerd worden of de maatregelen effectief zijn. Voor stikstof en fosfaat is dat mogelijk via het Landelijke Meetnet effecten Mestbeleid (LMM). Voor andere stoffen is dat alleen mogelijk via de provinciale meetnetten bodemkwaliteit omdat daar ondiep wordt gemeten. De monitoring van het grondwater voor de KRW vindt momenteel alleen plaats op grotere diepte. Omdat het van groot belang is voor de overheid om zo spoedig mogelijk effecten van de maatregelen waar te nemen, is het bodemmeetnet in de toekomst

nodig. De maatregelen hebben vooral bij de fosfaatverzadigde gronden belangrijke effecten. Degelijke locaties komen veel voor in het huidige meetnet.

Relevant voor de provincie Gelderland is de wens van de Tweede Kamer om te komen tot regionalisering van het mestbeleid door delen van Nederland niet meer aan te merken als kwetsbaar gebied in het kader van de Nitraatrichtlijn. Bij het opstellen van het nieuwe actieprogramma kan de regering dus vragen aan de provincie of er regio's zijn waar de milieukwaliteit dusdanig is dat het niet als kwetsbare zone aangemerkt kan worden (EL&I, 2010). Het bodemmeetnet laat zien dat het verminderd gebruik van dierlijke mest al heeft geleid tot lagere kaliumconcentraties in het bodemvocht en bodemgrondwater bij zandakkers en de natte graslanden. Deze verbeteringen hier zijn echter nog onvoldoende. De komklei in Gelderland heeft voldoende lage nitraat en fosfaatconcentraties in het bovenste grondwater. De beoordeling van de ecologische toestand van het oppervlaktewater is hier volgens het stoomgebiedsplan Rijn nog ontoereikend, met name voor doorzicht, overige waterflora en koper⁷ (provincie Gelderland, 2009). Nieuwe inzichten zouden dit deels kunnen veranderen. Zo is recentelijk onderzocht of verhoogde koperconcentraties tot verhoogde toxische druk kunnen leiden. Uit de berekeningen met *biotic ligand*-modellen blijkt dat er geen ecologische risico's zijn van koper (Bonten et al., 2011).

In de KRW wordt gesignaleerd dat er een betere afstemming nodig is tussen de meetnetten voor grond- en oppervlaktewater, en tussen de monitoring voor de Nitraatrichtlijn en de KRW. Diverse studies tonen namelijk aan dat het grondwater uit landbouwgebieden een belangrijke bijdrage levert aan de belasting van het oppervlaktewater. Het grondwater is dan niet de bron, maar de route waarlangs de verontreinigende stoffen het oppervlaktewater bereiken. Het monitoren van het relatief diepe grondwater, zoals dat nu gebeurt voor de KRW, geeft daarbij weinig zicht op de problemen of verbeteringen die op het oppervlaktewater af komen. Daarentegen wordt door de Nitraatrichtlijn wel het bovenste grondwater gemonitord voor fosfaat en nitraat. De Milieubalans 2009 stelt dan ook (pagina 119) dat het wenselijk is om in KRW-verband de operationele monitoring te richten op de bovenste meters van het grondwater omdat de huidige toestand- en trendmonitoring geen goed beeld geeft van de mate waarin grondwater een bedreiging vormt voor het oppervlaktewater. Vooralsnog zijn dergelijke gegevens alleen af te leiden voor fosfaat en stikstof uit de monitoring voor de Nitraatrichtlijn, en voor andere stoffen uit de monitoring in het provinciale meetnet bodemkwaliteit.

Om in de toekomst de doelen in de KRW voor het oppervlaktewater te halen zijn innovatieve maatregelen nodig. Onderzoeken hiernaar lopen op dit moment (nationaal innovatieprogramma KRW). De maatregelen zullen waarschijnlijk regionaal toegespitst zijn of zelfs per waterlichaam. Het is te verwachten dat ook hierbij aan de provincie om regionale bodemgegevens van de probleemstoffen gevraagd zal worden.

Voor *Natura 2000*-gebieden in Gelderland is gesignaleerd dat er problemen zijn met een aantal abiotische randvoorwaarden (Wamelink et al., 2009). Indien mogelijk moeten verbeteringen voorgesteld worden. Het monitoren van bepaalde verbeteringen is nodig, maar om verbeteringen in de tijd waar te nemen moeten ook referentielocaties gemonitord worden. Hiervoor kunnen de bodemmeetnet-gegevens gebruikt worden. De kostbare landelijke en lokale maatregelen om te komen tot emissievrije stalinrichtingen hebben in de toekomst effect op de stikstofdepositie in *Natura 2000*-gebieden en andere natuurgebieden. In het bodemmeetnet is aan de nitraatconcentraties in het bodemvocht af te lezen dat de depositie op dit moment te hoog is. Het bodemmeetnet is op dit moment het enige meetnet dat deze regionale gegevens verzamelt en is bij uitstek geschikt om in de toekomst te toetsen of de maatregelen effect hebben gehad.

⁷ Als de biologische parameters als matig of slechter zijn beoordeeld spelen andere parameters geen rol meer bij de beoordeling

4 Conclusies

Verzuring, vermesting en verontreiniging gaven in de jaren negentig aanleiding om de toestand van de bodem in Gelderland te beschrijven en de ontwikkeling hiervan te willen volgen. In 1997 is gestart met het Gelderse meetnet bodemkwaliteit. Hierin wordt om de tien jaar de bovengrond en bijna jaarlijks het bodemvocht of bovenste grondwater bemonsterd. De toestand in 1997 bleek in Gelderland vergelijkbaar met de rest van Nederland, met verzuring in de bossen, en een hoge bemesting van vooral maïsakkers op zandgronden maar ook van de kleiakkers in het rivierengebied. In dezelfde periode waarin voor het bodemmeetnet gegevens zijn verzameld, zijn veel maatregelen genomen om de toestand op termijn te verbeteren. De gehalten aan verontreinigingen (cadmium, koper, zink) en de overmaat aan meststoffen (fosfaat) zijn in deze periode in Gelderland niet verder toegenomen, en soms zelfs gedaald, na een stijging in de voorgaande periode (1950-1990). De stikstofdepositie, en daarmee de stikstofconcentratie in het bodemvocht van de bossen, overschrijdt ruimschoots de waarden die nodig zijn om kwetsbare natuur te beschermen. De concentratie is in Gelderland sinds 2004 niet verder gedaald.

De bodem is echter voor veel stoffen een buffer die stoffen lange tijd vasthoudt en ook lange tijd kan blijven afgeven. Geconstateerd is dat concentraties aan fosfaat, koper en zink onder de wortelzone nog steeds even hoog zijn en daarmee een bron blijven van verontreiniging van het grond- en oppervlaktewater. De concentraties van stoffen die minder gebufferd worden, zoals kalium en cadmium op zandgronden, blijken consequent te dalen in het bodemvocht onder de wortelzone. Deze zijn dus deels al uitgespoeld. De toestand van nitraat volgt de landelijke trend, de ingezette daling stopt de laatste jaren als gevolg van de blijvend hoge stikstofdepositie.

De aandacht voor bovenstaande ver-thema's heeft vorm gekregen in wettelijk vastgelegde monitoringsprogramma's voor diep grondwater, oppervlaktewater (*KRW*) en natuur (*Natura 2000*). Door de *KRW* en *Nitraatrichtlijn* zijn maatregelen geïnitieerd om te komen tot verbeteringen. Door de verminderde aanvoer naar de bodem van de probleemstoffen (stikstof, fosfaat, koper, zink) moeten de gehalten in de bodem en vervolgens in het bovenste grondwater en oppervlaktewater dalen. Het bodemmeetnet heeft op dit moment de functie van een 'early warning system' die duidelijk maakt dat een aantal KRW-doelen (fosfaat, koper en zink), ook in de volgende periode 2015-2027, niet overal haalbaar zijn. Additionele, regionaal toegespitste maatregelen en de wens van het rijk om delen van het land als 'niet-gevoelig' aan te wijzen conform de nitraatrichtlijn, zullen vragen om provinciale bodeminformatie. Maatregelen uit de meststoffenwetgeving om te komen tot een sterk verminderde aanvoer van dierlijke mest op fosfaatverzadigde bodem leidt in de komende tien jaar tot veranderingen die alleen door het bodemmeetnet aangetoond kunnen worden.

Literatuur

- Bonten, L.T.C., J.E. Groenenberg, G.F. Koopmans, P.F.A.M. Römkens, J.P.M. Vink en A. Verschoor, 2010. *Uitspoeling van zware metalen uit bodems naar het oppervlaktewater; Ecologische risico's van metalen in het oppervlaktewater en bronnen van metaaluitspoeling*. Alterra-rapport 2024, Wageningen.
- Bonten, L.T.C., P.F.A.M. Romkens, 2008. *Kennisbehoefte en kennisbeschikbaarheid over de rol van uitspoeling van zware metalen uit de bodem in het landelijk gebied*. Alterra-rapport 1701, Wageningen
- Bonten, L.T.C., J.E. Groenenberg en P.F.A.M. Römkens, 2009. *Mogelijkheden voor maatregelen en invloed van voorgenomen beleid m.b.t. nutriënten op de uitspoeling van zware metalen naar het oppervlaktewater*. Alterra-rapport 1818, Wageningen.
- Bonten, L.T.C., J. Vink en A. Verschoor, 2011. *Ecologische risico's van koper en zink in het oppervlaktewater*. H₂O 10, 27-29
- Broers, H.P. en B. Van der Grift 2004 *Regional monitoring of temporal changes in groundwater quality*. Journal of Hydrology 296, 192-220.
- Brus, D.J., F.P.J. Lamé en R.H. Nieuwenhuis, 2009. *National baseline survey of soil quality in the Netherlands*. Environmental Pollution 157 (7) 1-10.
- Van Dobben, H. en A. van Hinsberg, 2008. *Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en Natura 2000-gebieden*. Alterra-rapport 1654, Wageningen.
- ELI, 2010. *Reactie op cijfers CBS over gebruik van stikstof en fosfaat*. Brief aan de Tweede Kamer der Staten-Generaal, 13 december 2010, Den Haag.
- Helsel, D.R. en R.M. Hirsch 2002. *Statistical Methods in Water Resources, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation Chapter A3.USGS, available at: <http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/>
- Klijn, de, A., J.W. Reijs, B. Fraters, J. de Hoop en T.C. van Leeuwen, 2011. *Eindrapport van de evaluatie van het LMM. Scenario's voor het programma vanaf 2011*. RIVM rapport 680717012, Bilthoven.
- Knotters, M. (ed.), 2008. *Een blik op monitoring van de natuurlijke leefomgeving*. WOT-studies 6, Wageningen.
- Lamé, F.P.J., D.J. Brus, R.H. Nieuwenhuis, G.B. Derksen en M.E. van Vliet, 2004. *Hoofdrapport AW2000 fase 1*. TNO-NITG rapport 04-242-A. Utrecht.
- Leeters, E.E.J.M., W. de Vries, T. Hoogland, B. van Delft, R. Wieggers, D. J. Brus, A.F.M. Olsthoorn, H. van Dobben en A. Bleeker, 2006. *What happened to our forests in the last decades? Results of more than ten years of forest ecosystem monitoring in the Netherlands*. Alterra-rapport 1528, Wageningen.
- Mira, 2006. Milieurapport Vlaanderen. Achtergronddocument 2006. Verzuring. Vlaamse Milieumaatschappij. www.milieurapport.be

Nijs, A.C.M. de et al., 2008. *Risico's van toxische stoffen in de Nederlandse oppervlaktewateren*. RIVM rapport 607340001, Bilthoven.

Provincie Gelderland, 2009. *Waterplan Gelderland 2010-2015*. 11 nov 2009. Provinciale Staten Gelderland.

Platform meetnetbeheerders bodem- en grondwaterkwaliteit, 2008. *Handboek voor de provinciale en landelijke meetnetten bodem- en grondwaterkwaliteit*, Utrecht, 29 februari 2008.

Japenga, J., J. Bril en W. Schuurmans, 2000. *Het bodemmeetnet van provincie Gelderland. Opzet en resultaten 1997-1999*. Alterra-rapport 138, Wageningen.

Reijneveld J.A., P.A.I. Ehlert, A.J. Termorshuizen en O. Oenema, 2011. *Changes in the soil phosphorus status of agricultural land in the Netherlands during the 20th century*. Soil Use & Management 26, 399–411.

Rietra, R.P.J.J., J. Bril, J. Japenga, W. Schuurmans, O.H. Boersma en P.R. Bolhuis, 2003. *Relaties tussen nutriënten en zware metalen in bovengrond en grondwater*. Alterra-rapport 725, Wageningen.

Römkens, P.F.A.M. en R.P.J.J. Rietra, 2008. *Zware metalen en nutriënten in dierlijke mest in 2008; gehalten aan Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As, N en P in runder-, varkens-, en kippenmest*. Alterra-rapport 1729, Wageningen.

VenW, 2009. *Stroomgebiedbeheerplan Rijndelta*. Nederland. 2009-2015. Ministerie van VenW, Den Haag.

Wamelink, G.W.W., M.H.C. van Adrichem en H.F. van Dobben, 2009. *Milieutekorten in Gelderse habitatgebieden; nulmeting op basis van vegetatieopnamen*. Alterra-rapport 1892, Wageningen.

Van der Veer, G., 2006. *Geochemical soil survey of the Netherlands. Atlas of major and trace elements in topsoil and parent material; assessment of natural and anthropogenic enrichment factors*. Netherlands Geographical Studies 347, 248 pp.

Zwart, M.H., C.H.G. Daatselaar, L.J.M. Boumans en G.J. Doornewaard, 2010. *Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie. Resultaten meetjaar 2008 in het derogatiemetnet*. RIVM rapport 680717014, Bilthoven.

www.hetInVloket.nl *Het percentage landbouwgrond op graslandbedrijven die gebruik maken van een individuele derogatie ten opzichte van landbouwgrond op alle bedrijven* (ingezien op 23 mei 2011).

Bijlage 1 Databehandeling

Databehandeling: aantal monsters

Tabel 1

Aantal voor bovengrond (0-10 cm -mv) bemonsterde locaties per gebied per jaar .

	1997	1999	2005	2009
Kleiakker¹	20		20	20
Naaldbos²	25	25	28	27
Zandakker³	49		49	49
Gras⁴	44	44	44	43
Komklei⁵			18	16

1. akkerbouw op kalkhoudende rivierkleigronden, 2. droge naaldbossen op kalkloze zand, 3. mais op enkeerdgronden, 4. natte graslanden op kalkloze zand en 5. natte graslanden op rivierklei

Het aantal te bemonsteren locaties is in principe elk jaar hetzelfde. In 1997 zijn bovengrond monsters genomen in alle gebieden behalve de natte graslanden op rivierklei (=komklei) omdat die locaties pas later gekozen zijn. In 1999 is herbemonsterd op 0-10 cm nadat in 1997 bemonsterd is op 0-25 cm. Bij de bouwlandpercelen is in 1999 niet herbemonsterd omdat verondersteld wordt dat de keuze van 10 of 25 cm diep door het ploegen niet relevant is. Een beperkt aantal locaties is gedurende de jaren 1997 t/m 2010 afgefallen: enerzijds omdat eigenaren geen toestemming meer gaven of omdat percelen een andere bestemming hebben gekregen. Het aantal bemonsteringen (zie tabel 1) is een aantal jaren minder door de volgende redenen: in 2001 vanwege mond- en klauwzeer, soms omdat er geen grondwater was binnen 2 m - mv, en soms omdat er pas een gewas was ingezaaid. Het aantal bemonstering voor de bovengrond is iets lager dan het aantal voor bodemvocht/bovenste grondwater: een aantal locaties is tot 2003 wel bemonsterd voor het bovenste grondwater maar niet op totaalgehalten.

Tabel 2

Aantal voor bodemvocht of bovenste grondwater bemonsterde locaties per stratum per jaar.*

	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2008	2009	2010
Kleiakker¹					20	20	18	20	20	19
Naaldbos²	28	28	28	2	28	28	28	28	27	27
Zandakker³	50	52	52	7	51	50	50	49	49	49
Gras⁴	50	49	46	7	46	46	45	44	44	44
Komklei⁵							18	17	16	15

1. akkerbouw op kalkhoudende rivierkleigronden, 2. droge naaldbossen op kalkloze zand, 3. mais op enkeerdgronden, 4. natte graslanden op kalkloze zand en 5. natte graslanden op rivierklei

De bemonstering is van 1997 tot en met 2010 uitgevoerd door medewerkers van de provincie Gelderland en Alterra. De meeste analyses zijn gedurende de hele periode gedaan door Alterra (en haar voorganger IB (Haren) in 1997). Een uitzondering betreft de analyse van As en Hg in grondmonsters door Analytico in 1998. De analyse van de organische contaminanten in grondmonsters zijn uitgevoerd door verschillende laboratoria (Analytico in 1998, en Alcontrol in 2003 en 2008). De analyse van lutum en kalk is uitgevoerd door Blgg (Oosterbeek).

Databehandeling: bodemvocht en grondwatergegevens

In deze bijlage wordt beschreven hoe de data zijn behandeld, en vooral de data beneden de rapportagegrens. Bij het bepalen van trends met relatief weinig jaren (in dit geval zes jaren bovenste grondwater en bodemvocht) kan het weglaten dan wel meenemen van data beneden de rapportagegrens veel invloed hebben. Als bijvoorbeeld in 1997 een concentratie beneden de rapportagegrens 3 wordt aangetroffen en in de jaren daarna er een dalende trend lijkt te zijn van 5, 4,4, 3,3, dan heeft het wel of niet meenemen van 0 of 3 in het eerste jaar veel invloed. Broers (2004) hanteerde daarom de hoogste rapportagewaarde uit een tijdreeks bij een waarde beneden de rapportagegrens. In de huidige studie gebruiken we bij cijfers beneden de rapportagegrens de werkelijk gemeten waarden omdat dat de beste inschatting geeft. Beneden de aantoonbaarheidsgrens hanteren we de aantoonbaarheidsgrens. Alleen in gevallen dat de rapportagegrens sterk veranderd is (zoals in het geval van ICP-MS metingen i.p.v. AES metingen) dan is het cijfer met de hoge aantoonbaarheidsgrens weggelaten.

In 2000 zijn alle arseenmetingen bij bodemvocht lager dan de rapportagegrens van 16 ug/L omdat de arseenconcentraties bepaald zijn met ICP-AES. In de jaren daarna is ICP-MS gebruikt. Voor het bepalen van de toestand en voor de trends wordt deze waarde weggelaten omdat in de jaren daarna de aantoonbaarheidsgrens bij 0.01 ug/l ligt. Ook de cadmium (<0,69 ug/L), chroom (<0,97 ug/L) en loodmetingen (13 ug/L) in 2000 zijn verwijderd vanwege de hoge rapportagegrens. Van 2000 zijn de fosfaatgegevens beneden de rapportagegrens niet bekend. Deze gegevens zijn daarom weggelaten (de rapportagegrens is niet gebruikt om hier te schatten) omdat bij andere jaren wel de meting beneden de rapportagegrens bekend was.

In 1997 is de oven-AAS gebruikt voor Cd, Pb, Cu. Vanaf 2002 is ICP-MS gebruikt. In het jaar 2000 (en 2001) is alleen ICP-AES gebruikt met een veel hogere rapportagegrens. Het is niet de bedoeling dat dat effect heeft op de analyse.

Eén extreme Cu-meting (4335 ug/l) is verwijderd (locatie 509 in 2010) omdat alle andere Cu-metingen lager dan 70 ug/l zijn.

De hieronder gegeven aantoonbaarheidsdetectiegrenzen zijn niet identiek aan de rapportagegrenzen. Rapportagegrenzen worden door een laboratorium gehanteerd binnen hun accreditatie. In een aantal gevallen ligt de aantoonbaarheidsgrens veel lager. Het is in dit geval de aantoonbaarheidsgrens die de beste inschatting geeft bij het vaststellen van trends in een reeks waarbij een cijfer beneden de rapportagegrens ligt.

Bij het berekenen van de gemiddelde concentratie (in jaren dat meerdere metingen per locaties zijn gedaan) is ook gebruik gemaakt van de werkelijk gemeten concentratie, en indien niet beschikbaar, de aantoonbaarheidsgrens.

In 1999 zijn de Pb-concentraties in het grondwater erg hoog. Er zijn hiervoor geen oorzaken aan te wijzen, anders dan reductie waarbij bodemdeeltjes waaraan Pb geadsorbeerd was in oplossing gaan. De data zijn in de trendanalyse niet weggelaten.

Tabel 3

Gehanteerde aantoonbaarheidsgrenzen (allen in mg/L behalve As, Cd, Cr, Cu, Pb in µg/L). *Italic=inschatting. Nb=element niet bepaald in dat jaar. On=onbekend. Opvallende cijfers zijn dikgedrukt.*

	1997	1999	2000	2002	2003	2004	2008	2009	2010
TC	1	1	1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
IC	0.3	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
NH4	?	0.05	0.05	0.08	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05
NO3	2	0.05	0.05	0.16	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1
P04-P	0.01	0.02	0.02	0.05	0.014	0.014	0.02	0.02	0.02
Cl-	?	0.5	0.5	0.3	0.1	0.1	0.6	0.6	0.6
Al	0.18	0.03	0.03	0.06	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
As		20	20	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Ca	0.08	0.08	0.08	2.3	0.2	0.2	0.13	0.13	0.13
Cd	?	0.7	0.7	0.003	0.003	0.003	0.01	0.01	0.01
Cr	2	2	2	0.01	0.01	0.01	0.1	0.1	0.1
Cu	?	0.76	0.76	0.03	0.03	0.03	0.1	0.1	0.1
Fe	0.02	0.08	0.08	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K	17	2	2	0.5	0.17	0.17	0.6	0.6	0.6
Mg	0.01	0.01	0.01	0.3	0.1	0.1	0.02	0.02	0.02
Mn	0.02	0.002	0.002	0.01	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
Na	0.4	0.4	0.4	1	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2
Ni		4	4	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
P	<i>0.04</i>	0.04	0.04	0.06	0.03	0.03	0.02	0.001	0.001
Pb	?	28	28	0.04	0.04	0.04	1	1	1
S	0.2	0.2	0.2	0.8	0.23	0.23	0.04	0.04	0.04
Zn	0.02	1	1	0.005	0.002	0.002	0.1	0.1	0.1

Tabel 4

Gehanteerde analyse-apparatuur voor bodemvocht en grondwater.

	1997	1999	2000	2002	2003	2004	2008	2009	2010
TC, IC	Shimadzu								
NH4, NO3 P04-P	SFA-CaCl2 (Segmented flow analysis)								
Cl	FIA (Flow injection analysis)								
Al, Ca, Fe, K Mg, Mn, Na P, S	ICP-AES								
As	-	Grafiet-oven AAS	ICP-AES	ICP-MS					
Cd									
Cu									
Pb									
Cr, Ni	-								
Zn	ICP-AES						ICP-MS		
Ba, Mo, Co	-						ICP-MS		

Databehandeling: vaste fase analyses

Tabel 5

Geanalyseerde parameters in verschillende jaren van vaste fase met de bemonsterde diepten: a = 0-10 cm, c = 0-25 cm, p= volgens P-protocol. Onderstreept zijn de parameters per jaartal die goed vergeleken kunnen worden tussen de verschillende bemonsteringsjaren (in 2010 herbemonsterd)¹.

Parameter	Kalkloze klei		Grasland				Naaldbos				Kleiakker			Zandakker			
	03	09	97/98	99	05	09	97/98	99	05	09	97/98	05	09	97/98	99	05	09
Lutum	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c		a	a
Org. stof	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c		a	a
pH KCl	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c	a	a	a
kalk	a	a	c		a	a	c		a	a	c	a	a	c		a	a
Cd	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c		a	a
Cu	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c		a	a
Pb	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c		a	a
Zn	a	a	c	a	a	a	c	a	a	a	c	a	a	c		a	a
As	a	a	c		a	a	c		a	a	c	a		c		a	
Co	a	a			a	a			a	a		a	a			a	a
Cr	a	a			a	a			a	a		a	a			a	a
Hg		a	c			a	c			a	c		a	c			a
Ni	a				a				a			a				a	
Se					a				a			a				a	
V					a				a			a				a	
Ba						a				a			a				a
Mo						a				a			a				a
PAK			a			a	a			a	a		a	a			a
PCB		a	a			a	a			a			a	a			a
Pw			c	a			c	a			c	a	a	c		a	a
P-Al	a	a		a	a	a		a		a			a				a
Al ox	a	a ¹		p	p			p	p	p		p	p		p	p	p
Fe ox	a	a ¹		p	p	a		p	p	p		p	p		p	p	p
P ox	a	a ¹		p	p	p		p	p	p		p	p		p	p	p
Mn ox	a				p				p			p				p	
Al	a				a				a			a				a	
Ca	a	a		a	a			a	a			a	a		a	a	
Fe	a			a				a				a			a		
Mg	a	a		a	a			a	a			a	a		a	a	
Mn	a			a				a				a			a		
Na	a			a				a				a			a		
S	a			a				a				a			a		
N			c		a		c		a		c	a	a	c		a	a
P	a	a	c		a	a	c		a	a	c	a	a	c		a	a
CEC			c						p								
K	a	a		a	a			a	a			a	a		a	a	
N-min									p								
Basenverzadiging									p								

Er zijn enige verschillen tussen de bemonsteringen in 1997/1998, 1999, 2005 en 2009. Verder zijn enkele bewerkingen gedaan aan de data voor een juiste vergelijking tussen de jaren:

1. In 1997/98 zijn de monsters bij de kleiakkers en zandakkers genomen bij een diepte van 0-25 cm. De data van 1997/98 kunnen vergeleken worden met de data van 2005 ondanks het verschil in bemonsteringsdiepte als verondersteld wordt dat akkers door het ploegen tot minimaal 25 cm -mv gemengd zijn.
2. Uitgesloten zijn de data van locatie 288 van 2009, omdat in 2009 een ander deel van het perceel is bemonsterd dan in 1997 en 2005.
3. De bemonstering voorde fosfaatverzadiging bij de 'kalkloze klei' (komklei) is 2009 is bij een verkeerde diepte gedaan (0-GLG i.p.v. GHG). Hiervoor zijn in 2010 opnieuw bodemonsters genomen. De bodemonsters van 2010 worden vergeleken met die van 2003.
4. Pw- en Pal-waarden wijken af in 1997. Dit is eerder beschreven in 2005. Bewaarde monsters van 1997 zijn toen opnieuw geanalyseerd en is een afwijking geconstateerd die niet traceerbaar is. Hierdoor zijn de absolute cijfers van Pw en PAI 1997 niet betrouwbaar.
5. De analyse van gehalten aan arseen in 2003 (komklei) en 2005 (rest) is foutief met ICP-MS gedaan en niet met ICP-AES. De ICP-MS kon in 2003 en 2005 nog niet goed corrigeren voor de effecten van CL op de As-metingen.
6. De dataset bevat een aantal opvallende data die mogelijk fout zijn. De data zijn niet vervangen of weggelaten in de analyse. Nulwaarde P-tot 1997 locatie 444. Hoge Cu-totaal in 2005 locatie 208 (gras). Hoge Cu-totaal in 2008 locatie 229 (gras). Hoge kalk in 2009 op locatie 443 (zandakker) (wijkt af van hele reeks, en bevat ook geen calcium), en lage kalk bij locatie 299 (hoge pH en hoge Ca in 05 en 09). Hoge Pb in locatie 48 in 2009 (naaldbos). Cd in 37, 69, 114 zijn 0 in 2009 (naaldbos). Zn in 16, 32, 37, 48, 103 is heel laag in 2005.

Bijlage 2 Achtergrondgegevens

De vochtgehalten van de grondmonsters (60-90 cm) uit de drie gebieden geven aan dat 2003 het droogste jaar was.

Tabel 1

Gemiddelde vochtgehalten in bodemmonsters waaruit vocht geëxtraheerd is bij 20% vocht.

	1997	1999	2000	2002	2003	2004	2008	2009	2010
Naaldbos				17.8	16.6	18.1	18.7	18.0	17.9
Zandakker	7.3	8.9	8.0	8.6	6.6	6.8	7.4	7.7	7.4
Kleiakker	12.0	12.7	12.6	12.8	11.2	12.4	13.1	12.1	13.2

* Voor de extractie van bodemvocht wordt bij droge grondmonsters water toegevoegd tot 20% vocht.

Tabel 2

Verschillen in genormaliseerde totaalgehalten per gebied voor de periode 1999-2009 (genormaliseerde gehalten: gehalte/achtergrondwaarde voor zware metalen)#. Alleen significante verschillen zijn gegeven (tweezijdige gepaarde t-test: $P < 0.001$): positieve getallen geven een toename.*

	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	org. stof %	P _{verz} & %	pH
Naaldbos		-0,06					-0,4	-	0,1
Gras		-0,07			0,07				
Zandakker			0,14		-0,11			-4,5	
Kleiakker					-0,01	-0,12	-2	-11	
Komklei		-0,2							
Landbouw	0,05	-0,06			-0,05				

Data van 1997 zijn gebruikt als er geen data van 1999 zijn

& P_{verz} = fosfaatverzadiging, Pw en P-Al zijn niet gegeven omdat her-analyses van monsters uit 1997 significant andere cijfers lieten zien dan in 1997

Tabel 3

*Gemiddelde concentraties mg L⁻¹ of ug L⁻¹ *) in bodemvocht en bovenste grondwater# voor de periode 1997-2010\$.*

Element	Gras	Komklei	Kleiakker	Naaldbos	Zandakker
	grondwater		bodenvocht		
As*	11.2	7.2	1.4	1.1	4.9
Cd*	0.2	0.1	0.1	2.2	0.5
Cr*	4.6	2.8	3.5	2.8	5.1
Cu*	10.7	7.5	20.3	15.7	39.8
Ni*	16.7	12.7	7.9	21.3	11.2
Pb*	5.5	1.2	0.7	4.9	5.2
Zn	0.11	0.09	0.01	0.29	0.13
K	13	1	4	4	22
NH4	0.8	0.8	0.2	1.3	8.5
NO3	40	13	149	21	76
P	0.36	0.15	0.16	0.05	0.82
PO4P	0.27	0.06	0.13	0.02	0.69
S	14	41	14	10	11
Al	0.56	0.28	0.24	2.08	1.41
Ca	61	102	83	9	28
Cl	23	30	21	10	13
DOC_C	32	19	16	20	59
Ec	444	605	546	165	312
Fe	6	6	0	0	1
IC	36	47	21	1	1
Mg	11	13	8	2	6
Mn	1	1	0	2	0
Na	16	20	13	8	11
pH	6.4	6.8	7.8	4.7	5.3

#in procenten: 100% x mediane hellingen per jaar/mediaan per eenheid, bij pH jaarlijkse verandering

*mg L⁻¹ per jaar en voor As, Cd, Cr, Cu, Ni Pb en Zn in ug L⁻¹ per jaar). \$ Bij komklei betreft het de periode 2004-2010, bij kleiakker de periode 2002-2010

De significante 'trends' van de geleidbaarheid van Na, Cl, Ca en Mg (van 4 à 7%) bij bodenvocht in naaldbos is te verklaren door de verdunning van het vochtgehalte in de bodemmonsters tot 20% vocht. Als de verdunning wordt meegerekend is er geen verandering van deze parameters.

Tabel 4

Jaarlijkse verandering (mg L⁻¹ of ug L⁻¹ *) in bodemvocht en bovenste grondwater# voor de periode 1997-2010\$. Significante veranderingen zijn onderstreept.

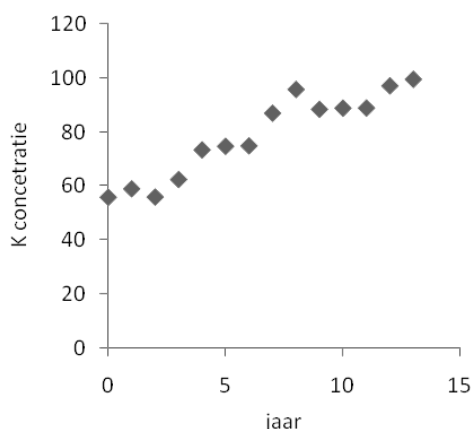
Element	Gras	Komklei	Kleiakker	Naaldbos	Zandakker
	grondwater			bodemvocht	
As*	-0.14	-0.11	-0.04	0.00	0.01
Cd*	<u>-0.01</u>	0.00	<u>-0.01</u>	-0.11	0.00
Cr*	<u>-0.14</u>	<u>-0.23</u>	<u>-0.19</u>	0.03	0.09
Cu*	-0.12	-0.20	<u>-2.04</u>	<u>-0.18</u>	0.25
Ni*	<u>-0.28</u>	0.44	<u>-0.25</u>	<u>-1.29</u>	0.38
Pb*	<u>-0.17</u>	<u>-0.17</u>	0.02	<u>-0.27</u>	<u>-0.20</u>
Zn	0.00	<u>-0.01</u>	0.00	<u>-0.02</u>	<u>-0.01</u>
K	<u>-0.21</u>	0.05	-0.06	<u>-0.16</u>	<u>-1.05</u>
NH4	0.00	-0.02	-0.03	-0.10	-0.05
NO3	<u>-0.33</u>	-0.11	<u>-12.79</u>	<u>-1.58</u>	<u>-3.56</u>
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
PO4P	<u>0.00</u>	0.00	<u>0.00</u>	0.00	0.01
S	<u>-0.29</u>	-0.20	-0.46	<u>-0.25</u>	<u>-0.32</u>
Al	-0.01	<u>-0.04</u>	0.02	0.00	0.01
Ca	-0.51	-0.15	-0.05	<u>-0.28</u>	<u>-1.26</u>
Cl	-0.14	-1.48	<u>-1.30</u>	<u>-0.40</u>	-0.14
DOC_C	0.36	0.15	<u>-1.60</u>	<u>0.65</u>	1.27
Ec	-3.64	9.91	-9.80	<u>-9.76</u>	<u>-15.06</u>
Fe	0.00	-0.12	0.02	0.00	0.02
IC	0.32	1.19	<u>3.24</u>	<u>0.06</u>	<u>0.03</u>
Mg	0.01	0.00	0.10	<u>-0.08</u>	<u>-0.23</u>
Mn	-0.01	0.01	0.00	<u>-0.04</u>	<u>-0.01</u>
Na	0.16	<u>-1.05</u>	-0.55	<u>-0.29</u>	0.02
pH	<u>0.04</u>	<u>0.06</u>	<u>0.07</u>	0.00	<u>0.05</u>

in procenten: 100% x mediane hellingen per jaar/mediaan per eenheid, bij pH jaarlijkse verandering

*mg L⁻¹ per jaar en voor As, Cd, Cr, Cu, Ni Pb en Zn in ug L⁻¹ per jaar). \$ Bij komklei betreft het de periode 2004-2010, bij kleiakker de periode 2002-2010

Bijlage 3 Trendanalyse

Bijvoorbeeld: de concentratie van kalium (K) vertoont hieronder een op het oog duidelijke trend.



De Mann-Kendall toets geeft aan of er een significante trend is. In bovenstaand voorbeeld is voor kalium de S-waarde significant afwijkend van nul (in de tabel staat de S-waarde en de standaarddeviatie): dit wijst op een significante trend.

Om de grootte van de trend te schatten wordt gebruik gemaakt van de Kendall-Theil robuuste lijn. Die berekent de helling tussen alle mogelijke puntenparen. De mediane helling is de Kendall-Theil helling. Kalium (K) laat een redelijk consistente toename als functie van de tijd zien: een toename van bijna 50 mg/l in 14 jaren, oftewel een Kendall-Theil helling van 3,5 mg/l per jaar.

Tot slot is de Kendall-tau correlatiecoëfficiënt berekend. Deze correlatiecoëfficiënt ligt dicht bij 1 naarmate de punten meer op één lijn liggen. Kalium laat een consistente toename zien: de correlatiecoëfficiënt is daarom hoog.

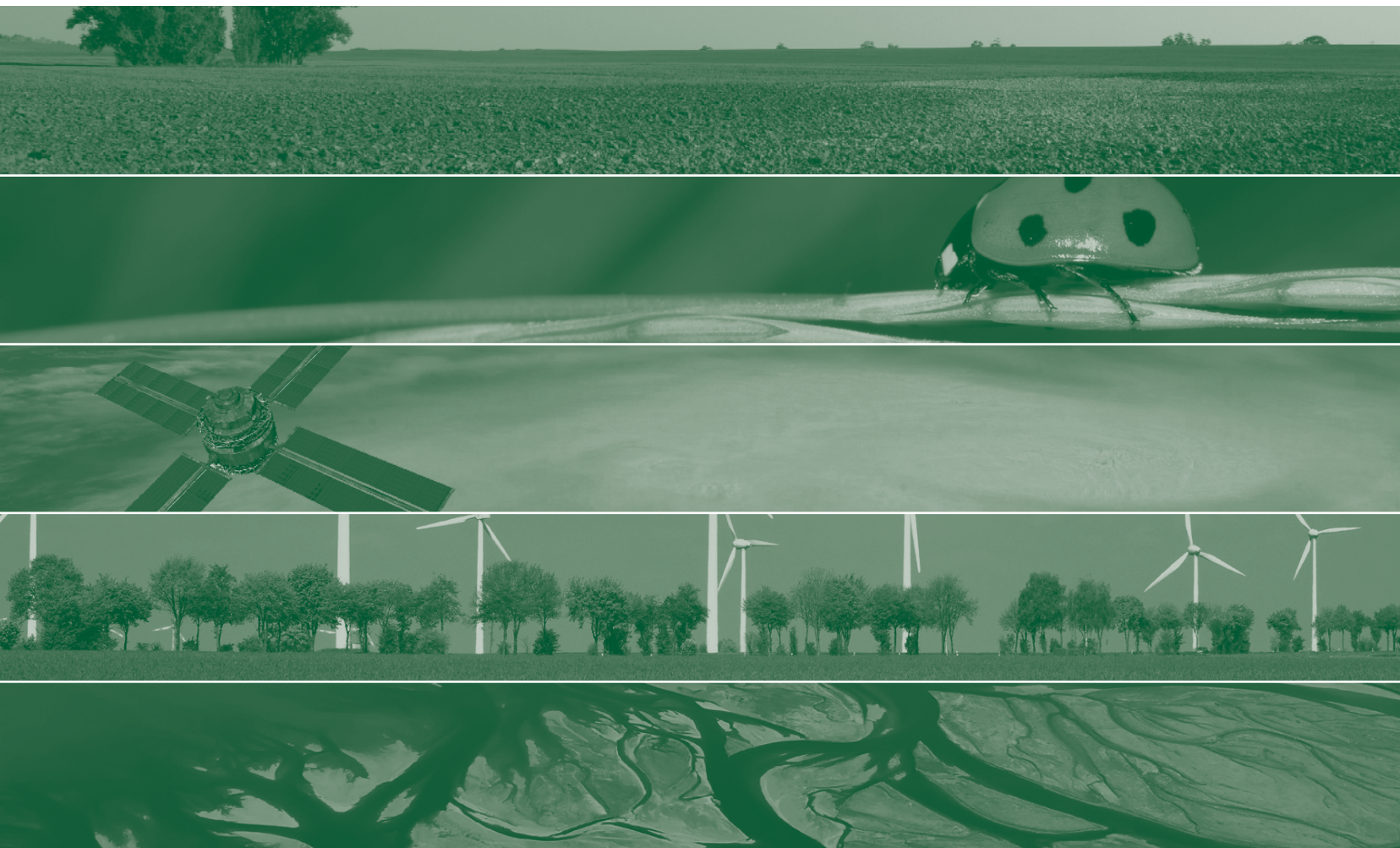
Mann-Kendall trend toets: $S = 83 \pm 18$.

Kendall-Theil helling: 3,5 mg/L per jaar

Kendall-tau correlatie coëfficiënt: 0,91

Vervolgens worden de trends in individuele locaties geaggregeerd per landgebruik-bodem-hydrologie (LBH)-eenheid. Gegeven wordt de mediane helling met het 95% betrouwbaarheidsinterval. Dit resulteert in een tabel van alle parameters (aluminium t/m zink) per LBH-eenheid. Indien deze mediane helling significant afwijkt van nul (95 betrouwbaarheidsinterval boven of onder nul) dan wordt die onderstreept in de tabel.

Parameter	LBH-eenheid	Mediaan van Kendall-Theil hellingen	Mediaan van Kendall correlatie coëfficiënt
K	zandakker	-1,1	-0,6
K	gras	-0,2	-0,3
K	naaldbos	-0,2	-0,5



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 het 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.