



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Sulfaat in grondwater en oppervlaktewater in Nederland

Overzicht van meetresultaten van nationale
meetnetten

RIVM Briefrapport 2014-0120
B. Fraters | A. de Goffau



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Sulfaat in grondwater en oppervlaktewater in Nederland

Overzicht van meetresultaten van nationale meetnetten

RIVM Briefrapport 2014-0120

B. Fraters | A. de Goffau

Colofon

© RIVM 2014

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

B. Fraters, RIVM
A. de Goffau, RIVM

Contact:
Dico Fraters
Centrum voor Milieukwaliteit
dico.fraters@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van het project Ondersteuning Mestbeleid (projectnummer 680716)

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Sulfaat in grondwater en oppervlaktewater in Nederland. Overzicht van meetresultaten van nationale meetnetten.

Het RIVM heeft een overzicht gemaakt van de sulfaatconcentraties in het grond- en oppervlaktewater en welke ontwikkelingen daarin door de tijd hebben plaatsgevonden. Dit is gebeurd op verzoek van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet, die een advies voorbereidt over het gebruik van zwavelhoudende meststoffen. Het gebruik van zwavelhoudende meststoffen is een actueel vraagstuk omdat zwavel een belangrijke voedingsstof voor planten is en de afgelopen jaren de depositie van zwavel gedaald is dankzij milieumaatregelen bij industrie en energiebedrijven.

Zwavel komt in grond- en oppervlaktewater meestal voor als sulfaat. In de Klei- en de Veenregio, in het westen en noorden van het land, is de sulfaatconcentratie van nature op veel locaties hoger dan de geldende milieukwaliteitsnormen. De concentraties liggen in deze delen op ongeveer 40 procent van de meetlocaties hoger dan de normen; dat zijn een streefwaarde van 150 milligram per liter voor grondwater en een MTR-waarde van 100 milligram per liter voor oppervlaktewater. Door de van nature hogere sulfaatconcentraties hebben andere factoren relatief minder invloed op de concentraties. In de Zand- en de Lössregio (het oosten en zuiden van het land) zijn de concentraties duidelijk lager dan de normen (rond de 50 milligram per liter voor landbouw-beïnvloed water en rond de 30 milligram per liter in natuurgebieden). In de Zandregio is de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater in de afgelopen 20 tot 25 jaar met ongeveer 1 milligram per liter per jaar gedaald.

Trefwoorden: sulfaatconcentratie, landelijk gebied, water, uitspoeling

Abstract

Sulphate in groundwater and fresh surface waters in the Netherlands. Overview of results from national monitoring networks.

RIVM has made an overview of sulphate concentrations in groundwater and fresh surface waters and which developments have occurred in these concentrations in time. This research was carried out at request of the Scientific Committee of the Manure Act (CDM) that is preparing an advice about the use of sulphur containing fertilisers. The use of sulphur containing fertilisers is a topical issue as sulphur is an important plant nutrient and sulphur depositions have decreased dramatically in recent years due to environmental measures in industry and at power plants.

Sulphur usually occurs as sulphate in groundwater and fresh surface waters. In the Clay and the Peat region –the western and northern part of the Netherlands – the sulphate concentration often exceeds the current environmental quality standards under natural conditions. The concentrations in these regions exceed quality standards – a target value of 150 milligram per litre for groundwater and a maximum acceptable risk level 100 milligram per litre for fresh waters – at about 40 percent of the sample locations. As a consequence of these natural high concentrations, other factors have relatively less effect on concentrations. In the Sand and the Loess region – the eastern and southern part of the country – sulphate concentrations are clearly lower than the standards (about 50 milligram per litre in agricultural areas and about 30 milligram per litre in nature areas). The sulphate concentrations in shallow groundwater in the Sand region decreased with about 1 milligram per litre per year during the last 20 to 25 years, i.e. during the period monitoring has been carried out.

Key words: sulphate concentration, rural areas, water, leaching

Voorwoord

Dit rapport is gemaakt in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) en op verzoek van de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM). De auteurs danken het Informatiehuis Water voor het beschikbaar stellen van de gegevens voor oppervlaktewater. Dank is verder verschuldigd aan Gerard Velthof (Alterra) en Sandra Boekhold (TCB) voor het doornemen van een eerdere versie van het rapport en voor hun suggesties voor verbetering, als ook aan onze collega's Leo Boumans, voor zijn commentaar en het uitvoeren van enkele aanvullende analyses met de gegevens van het Trendmeetnet Verzuring (TMV), Emile Schols en Julika Vermolen, beiden voor hun suggesties voor het verbeteren van de samenvattingen.

Inhoudsopgave

Samenvatting – 11

1 Inleiding – 13

2 Materialen en methoden – 17

- 2.1 Gegevensverzameling – 17
- 2.1.1 Waterkwaliteit op landbouwbedrijven – 17
- 2.1.2 Kwaliteit van het diepere grondwater – 18
- 2.1.3 Kwaliteit van het oppervlaktewater – 20
- 2.2 Methoden voor gegevens verwerking en analyse – 21
- 2.2.1 Algemeen – 21
- 2.2.2 Verwerking LMM-gegevens – 21
- 2.2.3 Verwerking LMG-gegevens – 22
- 2.2.4 Verwerking IHW-gegevens – 22

3 Sulfaat in water op landbouwbedrijven – 25

- 3.1 Verschillen tussen regio's en watertypen – 25
- 3.2 Verschillen tussen bedrijfstypen, watertypen en seizoenen – 26
- 3.3 Ontwikkeling in de tijd – 28

4 Sulfaat in het diepere grondwater – 33

- 4.1 Verschillen tussen regio's en meetdiepte – 33
- 4.1.1 Periode 1986- 2011 – 33
- 4.1.2 Periode 2008-2011 – 34
- 4.2 Invloed van landgebruik – 34
- 4.3 Ontwikkeling in de tijd – 35

5 Sulfaat in het oppervlaktewater – 41

- 5.1 Verschillen tussen regio's en seizoenen – 41
- 5.1.1 Periode 1991- 2011 – 41
- 5.1.2 Periode 2008 - 2011 – 42
- 5.2 Ontwikkeling in de tijd – 43
- 5.3 Landbouw beïnvloed oppervlaktewater – 45
- 5.3.1 Volledige meetperiode – 45
- 5.3.2 Periode 2008 - 2011 – 47
- 5.3.3 Ontwikkelingen in de tijd – 47

6 Synthese en conclusies – 49

- 6.1 Toestand (2007-2010) – 49
- 6.2 Trend – 52

Referenties – 55

Bijlage 1 Overzichten van meetlocaties – 59

Bijlage 2 Percentielwaarden voor data LMM, TMV, LMG en IHW, gehele meetperiode en periode 2007-2010. – 65

Bijlage 3 Trendfiguren met alle LMM-waarnemingen – 77

Bijlage 4 Sulfaat in het grondwater (LMG) – 81

Bijlage 5 Sulfaat in het oppervlaktewater (IHW) – 87

Bijlage 6 Aggregatie van de bodemgebruikskarakteristieken in LMG – 90

Bijlage 7 Toelichting bij boxplots – 91

Bijlage 8 Overzichtstabel gemiddelde en mediane sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater 2008-2011 – 93

Bijlage 9 Effect van ligging in Nederland op de gemeten sulfaatconcentraties op landbouwbedrijven – 95

Samenvatting

Voorliggend rapport behandelt het voorkomen in Nederland van sulfaat in grondwater en oppervlaktewater en de veranderingen daarin over de afgelopen 20 tot 25 jaar. Zwavel is een onmisbare nutriënt, maar te hoge concentraties in grond- en oppervlaktewater kunnen het water minder geschikt maken voor drinkwater of (indirect) leiden tot eutrofiëring van oppervlaktewater.

De atmosferische depositie van zwavel is sinds eind jaren '70 gedaald en de huidige depositie is lager dan die begin 1900. Hierdoor is het bemesten met zwavel voor sommige gewassen weer nodig. Daarnaast wordt het aanzuren van mest met onder andere zwavelzuur overwogen om de emissies van ammoniak uit mest tegen te gaan. Om de mogelijke gevolgen van zwavelhoudende meststoffen in beeld te brengen is eerst dit overzicht van de huidige sulfaatconcentraties en de ontwikkeling daarvan gemaakt.

De huidige sulfaatconcentraties in het water op landbouwbedrijven in de Zand- en de Lössregio zijn rond de 50 mg/l (uitspoeling uit de wortelzone en het slootwater). Onder natuurgebieden in de Zandregio is de sulfaatconcentratie lager, zowel in het water dat uitspoelt uit de wortelzone (circa 30 mg/l) als in het ondiepe grondwater op circa 10 m (circa 40 mg/l). De sulfaatconcentraties in de Zandregio nemen toe met de diepte. De lagere concentraties in het ondiepe grondwater worden waarschijnlijk veroorzaakt door de afgenomen zwaveldeposities. De ouderdom van het grondwater neemt toe met de diepte; het bovenste grondwater is 1-2 jaar oud, het water op 10 meter ongeveer 10 jaar en het water op 25 m tussen de 25 en 100 jaar. Daardoor reflecteert de hogere sulfaatconcentratie in het diepere grondwater (10-30 m) de grotere atmosferische depositie uit het verleden. Processen als pyrietoxidatie, waarbij sulfaat vrijkomt, en sulfaatreductie, waarbij sulfaat verdwijnt, kunnen uiteraard ook een rol spelen. De sulfaatconcentraties in de Klei- en de Veenregio zijn duidelijk hoger dan in de Zand- en Lössregio en liggen gemiddeld tussen de 100 en 150 mg/l. Het grond- en oppervlaktewater wordt hier beïnvloed door de aanwezigheid van mariene afzettingen met hoge zwavelgehalten. De sulfaatconcentraties in grondwater in het diepere watervoerende pakket in de Kleiregio zijn in dezelfde orde van grootte als in het bovenste grondwater. In de Veenregio zijn de concentraties in het diepere watervoerende pakket echter veel lager (circa 20 mg/l).

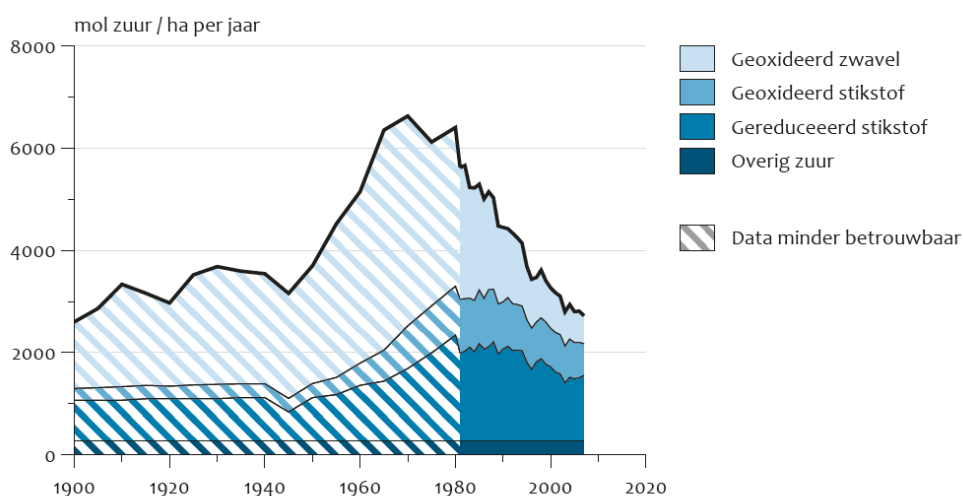
Er zijn voor sulfaat in grond- en oppervlaktewater alleen normen die bedoeld zijn voor de beoordeling van de milieukwaliteit en de formulering van beleid om normoverschrijding terug te dringen. Er is een streefwaarde voor grondwater (150 mg/l als SO_4) en een maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) voor oppervlaktewater (100 mg/l als SO_4) (RIVM, 2014). Bij de norm voor grondwater staat vermeld dat in marien beïnvloede gebieden van nature hogere gehalten voorkomen (zout en brak grondwater). In de Zand- en Lössregio komt overschrijding van de norm voor grondwater beperkt voor (<5%), alleen in het diepe grondwater komt de overschrijding iets vaker voor (<10%). In de Klei- en Veenregio komt overschrijding van deze norm veelvuldig voor in het uitspoelingswater (40-45%), maar in het ondiepe en diepe grondwater veel minder vaak (<15% in de Kleiregio en <1% in de Veenregio). Voor oppervlaktewater is het beeld vergelijkbaar, weinig overschrijdingen in de Zand- en Lössregio (<15%) en veelvuldig in de Klei- en Veenregio (30-45%).

De sulfaatconcentraties in het water dat uitspoelt uit de wortelzone en in het slootwater lijken de afgelopen 10 tot 20 jaar (de lengte van de meetreeksen verschillen) in bijna alle regio's te zijn afgenomen. Deze afname treedt op zowel bij locaties onder landbouw als onder natuur. De sulfaatconcentraties in het ondiepe grondwater lijken eveneens te zijn afgenomen, maar die in het diepere grondwater blijven gelijk (Klei- en Veenregio) of nemen toe (Zandregio). De sulfaatconcentraties in de regionale oppervlaktewateren dalen, behalve in de Lössregio. Die daling is echter niet duidelijk in de sterk door landbouw beïnvloede regionale oppervlaktewateren.

1 Inleiding

Dit briefrapport geeft een overzicht van de sulfaatconcentraties zoals die voorkomen in het grondwater en het oppervlaktewater in Nederland met specifieke aandacht voor het agrarisch gebied. Het overzicht laat tevens de ontwikkeling zien van de sulfaatconcentraties vanaf begin jaren negentig van de vorige eeuw (vanaf midden jaren tachtig voor het grondwater). Deze studie is uitgevoerd op verzoek van een adhoc werkgroep van de Commissie van Deskundige Meststoffen ter voorbereiding op een advies over het gebruik van zwavelhoudende meststoffen (CDM, 2014). Een zeer beperkt overzicht van sulfaatconcentratie was eerder opgenomen in een rapport van Ehlert en Chardon (2014, blz. 19). Het overzicht in dit rapport is niet alleen uitgebreider het bevat ook gegevens van recentere jaren.

Zwavel is net als stikstof, fosfor en kalium een belangrijke voedingsstof voor planten. Tot midden jaren tachtig van de vorige eeuw hoefde men echter nauwelijks na te denken over zwavelbemesting, omdat via atmosferische depositie en als bijproduct van andere meststoffen voldoende zwavel op de bodem kwam (Finck, 1992, blz. 91). De atmosferische depositie van zwavel is in Nederland in de periode 1980-1990 sterk afgenomen (41 naar 23 kg zwavel per ha) door de overschakeling van kolen op gas door raffinaderijen en energiecentrales (PBL, 2014; Buisman et al., 2010); zie Figuur 1.1. Daarna is door maatregelen als rookgasontzwaveling de depositie verder gedaald tot rond de 7 kg zwavel per ha in 2012 (PBL, 2014); een niveau dat lager is dan begin 1900 (Figuur 1.1). Dit heeft geleid tot vernieuwde aandacht voor de bemesting van gewassen met zwavel (Darwinkel en Kusters, 1999; BLGG, 2011; PPP Agro Advies, 2012). Er zijn zowel voor grasland, maïs en andere voeder gewassen (Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2012) als voor akkerbouw (De Haan en Van Geel, 2013) bemestingsadviezen voor zwavel.



Figuur 1.1 Ontwikkeling van de zuurdepositie in Nederland (Buisman et al., 2010).

De verminderde atmosferische zwaveldepositie heeft geleid tot een afname van de sulfaatconcentratie in de periode 1988-2010 in het regenwater met 73% (Boumans et al, 2012, blz. 10). Onder natuurterreinen constateerde Boumans et

al. (2012, blz. 10) een duidelijke afname van de sulfaatconcentratie in de bovenste meter van het grondwater (59%). De sulfaatconcentratie in het diepere grondwater (10 m diepte) onder deze gebieden nam ook af, maar de afname was minder duidelijk. Deze studie gaat na of een vergelijkbare trend zichtbaar is in het water op agrarische bedrijven, in het grondwater en in het oppervlaktewater.

Er zijn niet alleen externe bronnen voor het sulfaat in het grondwater zoals bemesting en atmosferische depositie, maar ook bronnen in de bodem zelf, zoals mineralisatie van organische stof en omzetting van zwavelhoudende mineralen, zoals pyriet (FeS_2) (Paulissen et al., 2007, blz. 23). Pyriet kan oxideren als zuurstof toetreedt in lagen die van nature anaeroob zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij verdroging (Paulissen et al., 2007, blz. 23). Bij de oxidatie van pyriet, waarbij sulfaat vrijkomt, kan nitraat een belangrijke rol spelen als oxidator in plaats van zuurstof. In dergelijk gevallen neemt de nitraatconcentratie af en de sulfaatconcentratie toe (Ehlert en Chardon, 2014, blz. 29). Als het grondwater sterk anaeroob wordt kan het omgekeerde proces optreden, dat wil zeggen dat sulfaat gereduceerd wordt waarbij H_2S ontstaat dat soms voor problemen kan zorgen als het grondwater wordt opgepompt (Boukes et al., 2014). Voor details over de sulfaatchemie in grondwater verwijzen we naar Boukes et al. (2014) en Zhang (2012). Het oppervlaktewater wordt gevoed door het grondwater en regenwater. In polders kan, vooral in de zomer, de waterkwaliteit tevens worden beïnvloed door water dat is aangevoerd van elders. Processen die een rol spelen in het grondwater kunnen ook optreden in het oppervlaktewater.

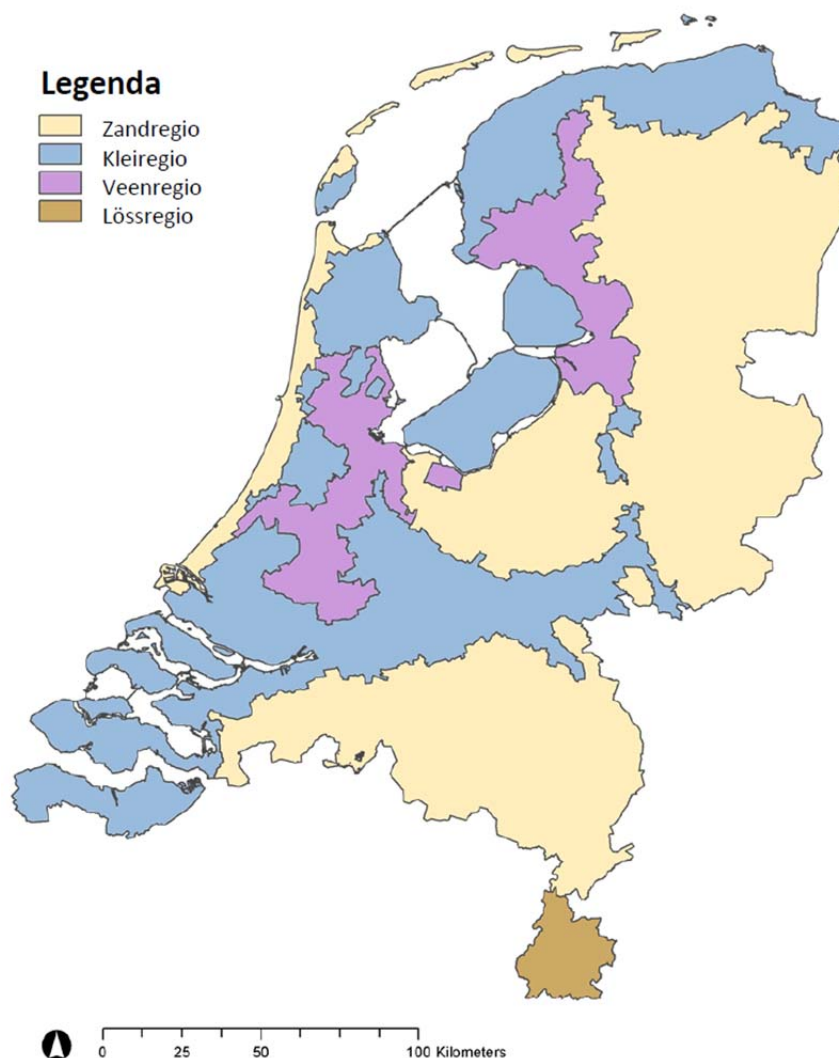
De oppervlaktewaterkwaliteit is onderhevig aan seizoeninvloeden, onder andere als gevolg van schommelingen in temperatuur, hoeveelheid opgelost zuurstof en biologische activiteit. In uitspoelingswater en grondwater zijn deze variaties afwezig of van minder groot belang.

Het voorliggende rapport besteedt aandacht aan het water op landbouwbedrijven (Hoofdstuk 3), het diepere grondwater (Hoofdstuk 4) en het oppervlaktewater (Hoofdstuk 5). Voor elk van deze watertypen is onderscheid gemaakt tussen vier hoofdgrondsoortregio's, verder regio's genoemd, dit zijn de Zand-, de Löss-, de Klei- en de Veenregio (zie Figuur 1.2). De reden voor deze indeling is dat gronden die onder mariene invloed zijn afgezet of gevormd (veelal klei- en veengronden) sulfaatconcentraties kunnen hebben die meer beïnvloed zijn door deze mariene invloed dan door menselijke activiteiten.

Bij het water op landbouwbedrijven (hoofdstuk 3) is verder gekeken naar verschillen tussen bedrijfstypen (akkerbouw, melkveehouderij, hokdierbedrijven en overige dierbedrijven) en tussen verschillende watertypen (bovenste grondwater, drainwater, bodemvocht, greppelwater en slootwater). De bedrijfstypen verschillen onder andere in de mate waarin zij dierlijke mest produceren. In de Zandregio, bijvoorbeeld, neemt het gemiddelde aantal dieren per bedrijf, uitgedrukt in grootvee-eenheden (GVE), toe in de volgorde akkerbouw < melkvee < overig dier < hokdier (De Goffau et al., 2013, Tabel A1.1). Watertypen kunnen onderling verschillen door de samenhang met verschillen in bodems en grondwaterstroming. Voor slootwater is onderscheid gemaakt tussen water dat is bemonsterd in de winter en in de zomer. In de winter vindt meestal afvoer plaats van water uit het gebied, in de zomer zijn er gebieden (polders) waar soms water wordt aangevoerd van elders. De meetgegevens zijn gekoppeld aan het jaar waarin de landbouwpraktijk naar verwachting de grootste invloed heeft op de gemeten waterkwaliteit, dit om een

betere onderlinge samenhang te hebben tussen de meetgegevens (zie paragraaf 2.2.2).

Bij het diepere grondwater (Hoofdstuk 4) is gekeken naar de effecten van verschillende vormen van landgebruik (agrarisch, natuur, overig landgebruik) en verschillen tussen diepteniveaus van het grondwater (10, 15 en 25 m). Bij het oppervlaktewater (Hoofdstuk 5) is, net als bij sloten op landbouwbedrijven, gekeken naar verschillen in waterkwaliteit tussen de winter en de zomer. Daarnaast is een aparte analyse gemaakt voor de oppervlaktewateren waarvan het water voornamelijk beïnvloed is door landbouw. Het rapport sluit af met een synthese en conclusies (Hoofdstuk 6). De verantwoording van de gebruikte gegevens en analysemethoden is gegeven in Hoofdstuk 2.



Figuur 1.2 LMM-regio-indeling.

2 Materialen en methoden

2.1 Gegevensverzameling

2.1.1 Waterkwaliteit op landbouwbedrijven

Voor het maken van het overzicht van sulfaatconcentraties in water op landbouwbedrijven zijn de gegevens gebruikt van de bedrijven die deelnemen in het basismetnet van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) (De Goffau et al., 2012; Fraters en Boumans, 2005). Deze zijn voor de jaren vanaf 2006 aangevuld met gegevens van aselekt gekozen bedrijven die deelnemen in het derogatiemetnet van het LMM (Hooijboer et al., 2013; Fraters et al., 2007). Deze selectie wordt ook gebruikt voor de vierjaarlijkse voortgangsrapportages voor de Nitraatrichtlijn (Baumann et al., 2012). Het gebruikte bestand is versie 08042014 van het LMM-bestand (plattematrix). Voor dit onderzoek is gekeken naar concentraties per watertype, bedrijfstype en regio. Voor een beschrijving van de gebruikte methoden voor monsterneming verwijzen we naar hoofdstuk 3 in het rapport van De Goffau et al. (2012). Een overzicht van de gebruikte chemische analysemethode is gegeven door Wattel-Koekkoek et al. (2008, blz. 35).

In totaal zijn 2988 bedrijfsgemiddelde waarden voor grondwater beschikbaar, 2098 voor slootwater, 1030 voor drainwater, 356 voor bodemvocht en 47 voor greppelwater. Grondwatercijfers zijn vooral afkomstig uit de Zandregio, bodemvochtcijfers uit de Lössregio, drainwater en slootwatercijfers uit de Kleiregio en greppelwatercijfers uit Veenregio (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Aantal bedrijfsgemiddelde waarnemingen per watertype in het basismetnet LMM per bedrijfstype per regio in de gehele meetperiode.

Regio	Watertype	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
Zand	Bodemvocht	3	3	1	16
	Drainwater	69	161	13	31
	Grondwater	393	1343	170	260
	Greppelwater	0	0	0	0
	Slootwater	137	303	20	60
Löss	Bodemvocht	105	164	0	64
	Drainwater	4	0	0	0
	Grondwater	15	32	0	12
	Greppelwater	0	0	0	0
	Slootwater	3	0	0	0
Klei	Bodemvocht	0	0	0	0
	Drainwater	327	352	0	73
	Grondwater	74	271	4	31
	Greppelwater	0	5	0	0
	Slootwater	346	568	0	121
Veen	Bodemvocht	0	0	0	0
	Drainwater	0	0	0	0
	Grondwater	0	382	0	1
	Greppelwater	0	42	0	0
	Slootwater	0	539	0	1

In de zandregio zijn in totaal 2983 bedrijfsbemonsteringen uitgevoerd in de periode 1992-2011 (landbouwpraktijkjaren 1991-2010, zie paragraaf 2.2.2). De meeste bedrijven zijn melkveebedrijven; hokdier- en overige dierbedrijven zijn pas vanaf 1997 formeel opgenomen in het meetnet in de Zandregio (Bijlage 1, Tabel B1.1). In de Lössregio zijn 399 bemonsteringen uitgevoerd sinds 2002 (landbouwpraktijkjaar 2001). In deze regio worden geen hokdierbedrijven bemonsterd (Bijlage 1, Tabel B1.2). In de Kleiregio zijn sinds de winter van 1996/1997 (landbouwpraktijkjaar 1996) 2170 bemonsteringen uitgevoerd; exclusief het kleibedrijf dat in winter 1995/1996 als veenbedrijf is bemonsterd. Ook in deze regio worden formeel geen hokdierbedrijven bemonsterd, maar door wijzigingen in de bedrijfsvoering komen deze bedrijven soms voor (Bijlage 1, Tabel B1.3). In de Veenregio zijn sinds de winter van 1995/1996 (landbouwpraktijkjaar 1995) 964 bedrijfsbemonsteringen uitgevoerd; exclusief het veenbedrijf dat in 1992 als 'zandbedrijf' is bemonsterd. In de Veenregio worden alleen melkveebedrijven bemonsterd in het basismeetnet, echter in het derogatiemeetnet komen ook 'overige graasdierbedrijven' voor (Bijlage 1, Tabel B1.4).

2.1.2 *Kwaliteit van het diepere grondwater*

De gegevens voor het diepere grondwater zijn afkomstig van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) (Van Vliet et al., 2010; Van Duijvenbouden, 1987). Het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) is opgebouwd tussen 1979 en 1984 en bestaat momenteel uit ongeveer 345 meetlocaties verspreid over heel Nederland. De belangrijkste selectiecriteria voor de keuze van locaties waren de grondsoort, het landgebruik en de hydrogeologische toestand. Voor een beschrijving van de gebruikte methoden voor monsterneming en chemische analyses verwijzen we naar hoofdstuk 2 van het rapport van Van Vliet et al. (2010).

De LMG-database omvat 23.262 records. Deze records bevatten gegevens over de periode 1979 tot 2012. Dit aantal records betreft 398 unieke bemonsteringslocaties. In de meeste gevallen is een locatie uitgerust met 3 filters op verschillende diepte. Grosso modo heeft elke meetlocatie een 'ondiep filter' op ongeveer 10 m beneden maaiveld (-mv), een 'midden filter' op omstreeks 15 m-mv en een diep filter tussen 20 en 25 m-mv. De meeste meetgegevens hebben betrekking op het 'ondiepe' en 'diepe' filter (zie Tabel 2.2). Gegevens zijn beschikbaar voor 394 'ondiepe' filters en 386 'diepe' filters. Het water uit de bemonsterde filters is verder gekarakteriseerd op basis van watertype en bodemgebruik. Voor dit onderzoek is aan elk van de meetlocaties een grondsoortregio toegekend op basis van de in het LMM gebruikte indeling in hoofdgrondsoortregio's (Tabel 2.3). Voor het 'midden filter' zijn te weinig meetgegevens beschikbaar om een uitsplitsing per regio per jaar te kunnen maken (zie Bijlage 1, Tabel B1.5).

Tot 1998 werden alle put-filtercombinaties jaarlijks bemonsterd. Daarna is op basis van een evaluatie (Wever en Bronswijk, 1997) de bemonsteringsfrequentie aangepast. Ondiepe filters in de zandregio worden één maal per jaar bemonsterd, ondiepe filters met een hoge chlorideconcentratie (>1000 mg/l) één maal de in de vier jaar en de overige ondiepe filters één maal in de twee jaar. Alle diepe filters worden één maal in de vier jaar bemonsterd.

Tabel 2.2 Uitsplitsing van beschikbare gegevens in het LMG per filter.

Filter	Records aanwezig	SO ₄ gemeten
Ondiep filter	9.769	9.504
Midden filter	5.056	898
Diep filter	8.440	7.001

Tabel 2.3 Aantal LMG-locaties bemonsterd per regio per jaar, voor het 'diepe' en 'ondiepe' filter.

Jaar	Ondiep Filter				Diep Filter			
	Zand	Löss	Klei	Veen	Zand	Löss	Klei	Veen
1979	20		5	3	19		5	3
1980	95		71	25	90		66	25
1981	141	1	73	32	139	1	70	31
1982	84	1	63	19	79	1	59	19
1983	145	5	88	41	133	2	83	40
1984	198	6	113	42	188	3	106	40
1985	198	6	110	40	187	3	106	41
1986	199	6	115	41	186	2	107	40
1987	200	6	114	39	188	2	106	39
1988	198	10	115	40	190	3	108	40
1989	189	10	93	33	178	3	90	34
1990	209	11	128	42	196	3	119	46
1991	202	12	111	39	190	3	104	40
1992	198	11	111	40	187	3	104	40
1993	196	2	112	39	184	1	105	39
1994	194	9	65	21	185	4	61	20
1995	200	10	114	40	188	4	105	40
1996	197	10	84	32	182	2	75	33
1997	193	9	91	34	48		22	2
1998	187	1	27	13	111	2	39	11
1999	190	9	79	33	5		32	14
2000	179		15	12	123		11	6
2001	189	5	94	32	8		16	2
2002	179		18	12	70	1	28	13
2003	189	9	75	32	7		36	14
2004	144	1	13	11	80		6	6
2005	227	8	93	35	35		16	2
2006	213		20	14	93	1	29	16
2007	193	6	74	33	4		31	17
2008	194		21	12	122		10	6
2009	200	9	87	34	29		16	5
2010	214		24	18	109	1	33	20
2011	190	9	70	32	20		28	15
2012	181		18	16	111		9	8
Unieke Locaties	214	13	122	45	199	5	114	43

2.1.3 *Kwaliteit van het oppervlaktewater*

De gegevens voor oppervlaktewater zijn verstrekt door het Informatiehuis Water (IHW) te Amersfoort op 5 juni 2014 (data tot 2011) en 18 juni 2014 (data 2011). Het Informatiehuis Water inventariseert jaarlijks via de Landelijke Enquête Waterkwaliteit waterkwaliteitsgegevens van een groot aantal monitoringlocaties van regionale waterbeheerders en Rijkswaterstaat. In het geleverde bestand is geen onderscheid gemaakt tussen landbouw- en niet-landbouw beïnvloedde wateren. Wel is het mogelijk om uit dit gegevensbestand de sulfaatmetingen van de locaties in het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifieke Oppervlaktewateren (MNLISO; Klein et al., 2012a en 2012b) te selecteren.

Het Informatiehuis Water beschikt over een groot en meerjarig bestand met gevalideerde meetgegevens. IHW heeft in haar databeleid vastgelegd dat gegevenslevering plaatsvindt 'as is', dit wil zeggen dat IHW verder geen berekeningen uitvoeren op deze data. Dat betekent dat berekening van jaargemiddelden door de gebruiker zelf dient te gebeuren. De bestanden uit de Landelijke Enquête Waterkwaliteit bevatten van een groot aantal locaties (gespecificeerd met X- en Y-coördinaten) gegevens van sulfaat, nitraat en totaal stikstof. De monsterpunten zijn meerder malen per jaar bemonsterd. Voor de huidige analyse zijn de gegevens van alle beschikbare bemonsteringslocaties gebruikt (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Aantal beschikbare gegevens per jaar en per seizoen, en de overeenkomstige aantallen uniek bemonsteringslocaties).

Meetjaar	Aantal data			Unieke locaties		
	Jaar	Winter	Zomer	Jaar	Winter	Zomer
1991	7.119	3.226	3.893	830	807	758
1992	7.531	3.728	3.803	945	882	839
1993	8.960	3.907	5.053	1.106	897	973
1994	8.967	3.938	5.029	1.048	849	1.025
1995	9.313	4.419	4.893	1.030	953	1.017
1996	9.389	4.295	5.094	1.052	991	1.010
1997	8.653	3.800	4.853	1.013	920	981
1998	7.819	3.501	4.318	944	774	934
1999	7.945	3.367	4.578	1.009	770	997
2000	8.863	4.002	4.861	1.055	833	1.028
2001	9.257	4.164	5.093	1.141	875	1.117
2002	10.002	4.361	5.641	1.268	967	1.251
2003	10.221	4.534	5.687	1.343	1.050	1.328
2004	9.842	4.453	5.389	1.328	948	1.305
2005	11.673	5.431	6.242	1.556	1.111	1.533
2006	12.876	6.031	6.845	1.584	1.189	1.571
2007	19.173	9.121	1.052	2.119	1.790	2.103
2008	22.072	10.651	11.421	2.322	2.065	2.288
2009	22.322	10.540	11.782	2.731	2.265	2.613
2010	26.406	11.763	14.643	3.318	2.640	3.245
2011	25.614	11.942	13.672	3.055	2.447	2.953
Totaal	264.016	121.174	142.842	7.701	6.389	7.483

In de periode 1991 tot 2000 bedroeg het aantal bemonsterde locaties circa 1.000 punten. Vanaf 2000 is het aantal bemonsteringspunten gestegen tot meer dan 3.000 in de afgelopen jaren (Tabel 2.4). In de zomer worden over het algemeen meer punten bemonsterd (gemiddeld 18% meer) dan 's winters.

Gemiddeld worden de meetlocaties iets meer dan acht maal per jaar bemonsterd.

2.2 Methoden voor gegevens verwerking en analyse

2.2.1 Algemeen

De gegevensverwerking en analyses van de gegevens zijn uitgevoerd met het programma R-studio versie 0.98.157 en R versie 3.1.0 onder Windows 7. Bij de analyses naar trends is 'jaar' een keer als numerieke waarde meegenomen en een keer als factor. Analyses voor LMM zijn uitgevoerd met zowel lineaire regressie (lm-commando) als met lineaire gemengde-effecten modellen (lmer-commando met REML = TRUE). De analyse is ook uitgevoerd met log-getransformeerde sulfaatconcentraties om na te gaan of die zou leiden tot andere uitspraken.

2.2.2 Verwerking LMM-gegevens

De LMM-gegevens zijn gemiddeld per bedrijf per watertype per jaar. De waarden kleiner dan de detectiegrens zijn op nul (0) gezet; ter controle op de mogelijk invloed van deze keuze, is de trendanalyse ook uitgevoerd met een dataset waarbij de waarden kleiner dan de detectiegrens zijn gelijk gesteld aan de detectiegrens. Voor dit overzicht zijn de gegevens van drainwater, grondwater en bodemvocht zowel apart beschouwd als samengevoegd tot de categorie 'uitspoeling'. Voor de gescheiden beschouwing van deze watertypen geldt dat voor bedrijven waar meer dan één watertype is bemonsterd, het gemiddelde per watertype niet representatief is voor het gehele bedrijf maar alleen voor dat deel van het bedrijf het betreffende watertype voorkomt. Indien het aantal waarnemingen in een groep minder was dan 7, dan zijn geen karakteristieke gegevens in tabellen of figuren.

Om de watergegevens op een logische manier per jaar te groeperen is gebruik gemaakt van het zogenaamde landbouwpraktijkjaar. Dit wil zeggen dat alle waterkwaliteitsmetingen zijn gekoppeld aan het jaar dat in de regel de gemeten waterkwaliteit het sterkst heeft beïnvloed (zie Tabel 2.8). Het betreft het jaar waarin gedurende de zomer de landbouwpraktijk heeft plaatsgevonden.

Voor het slotwater en voor het grondwater in de Zandregio zijn twee seizoenen onderscheiden (1) de winter, dit betreft de maanden oktober tot en met maart en (2) de zomer, dit betreft de maanden april tot en met september.

Tabel 2.8 Bemonsteringsperioden voor de waterkwaliteit behorende bij eenzelfde landbouwpraktijkjaar, per regio en voor de Zandregio per programma. Het landbouwpraktijkjaar is het jaar waarin de eerste bemonstering in laag Nederland in oktober heeft plaatsgevonden.

maand	Okt ¹	Nov ¹	Dec	Jan	Feb	Mrt	Apr ¹	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Zand, totaal															
Zand laag NL															
Löss ²															
Klei															
Veen															

^[1] De precieze start en eind is afhankelijk van de start en eind van het drainageseizoen (afvoeren van water door de drainagebuizen). De richtlijn is dat uiterlijk wordt gestart op 1 december en gepland wordt eind maart te stoppen met de grondwaterbemonstering.

^[2] De bemonstering kan door weersomstandigheden (regen, vorst) in het najaar en de eerste helft van de winter doorlopen tot in het eerst kwartaal van het volgende jaar.

2.2.3 Verwerking LMG-gegevens

Alle bemonsteringslocaties in het LMG zijn op basis van hun x- en y-coördinaat ingedeeld in regio's (zie Figuur 1.2). In de beschikbare dataset is aan ieder punt een bodemgebruik toegekend. Deze karakteristieken zijn gebruikt en geaggregeerd tot drie hoofdkarakteristieken: 'landbouw', 'natuur' en 'overig landgebruik' (zie Bijlage 6 voor een overzicht van de koppeling van bodemgebruikskarakteristieken aan de drie hoofdkarakteristieken). De gegevens zijn geanalyseerd als functie van de regio en bodemgebruik. Voor de Veen- en de Lössregio zijn het aantal waarnemingspunten te gering om een uitspraak te doen over de waterkwaliteit in de relatie tot de bodemgebruikskarakteristieken 'natuur' en 'overig' (Tabel 2.3).

Voor de trendanalyse zijn de gegevens gegroepeerd per periode van vier jaar, wegens de verschillen in bemonsteringsfrequentie tussen putten (zie paragraaf 2.1.2).

Bij het berekenen van gemiddelde waarden zijn de waarden kleiner dan de detectiegrens zijn op nul (0) gezet.

2.2.4 Verwerking IHW-gegevens

De IHW-gegevens zijn per meetlocatie gemiddeld tot een jaargemiddelde seizoenswaarde (winter en zomer). De waarden kleiner dan de detectiegrens zijn gesteld op half de detectielimietwaarde. Dit is gedaan omdat gegevens afkomstig zijn van heel verschillende organisaties, die vaak verschillende (soms hoge) detectielimieten hanteren.

Op basis van hun x- en y-coördinaten zijn de IHW-gegevens gekoppeld aan de LMM-regio's. Sommige locaties konden niet worden gekoppeld aan een LMM-regio. Dit wordt veroorzaakt doordat sommige punten buiten de LMM-regio-indeling liggen (bijvoorbeeld in een groot open water, zie Figuur 1.1), of doordat coördinaten van een punt niet beschikbaar zijn. Het grootste aantal monsterpunten ligt in de Zand- en de Kleiregio, het kleinste aantal in de lössregio (Bijlage B1.6).

Verder is een koppeling gemaakt tussen het IHW-bestand en het bestand met landbouw beïnvloede wateren opgenomen in het Meetnet Nutriënten Landbouw Specifieke Oppervlaktewateren (MNLSO; Klein et al., 2012a en 2012b) op basis van corresponderende locatienummers. Het gaat hier om 161 meetlocaties. Voor deze 161 locaties zijn 11.565 metingen beschikbaar, verspreid over de Zand-, Klei- en Veenregio.

Er zijn twee seizoenen onderscheiden (1) de winter, dit betreft de maanden oktober tot en met maart en (2) de zomer, dit betreft de maanden april tot en met september. Voor de trendanalyse zijn de gegevens gegroepeerd per periode van drie jaar.

3 Sulfaat in water op landbouwbedrijven

3.1 Verschillen tussen regio's en watertypen

Sulfaatconcentraties in het water op de landbouwbedrijven in de Zandregio en de Lössregio zijn meestal lager dan 50 mg/l (zie mediaan in Tabel 3.1) en de concentraties zijn bijna altijd lager dan 150 mg/l (circa 95% van de waarnemingen, zie Bijlage 2). In de Kleiregio (mediaan is circa 125 mg/l) en Veenregio (mediaan is circa 150 mg/l) zijn de sulfaatconcentraties hoger dan in de Zand- en Lössregio met uitschieters tot boven de 500 mg/l (Bijlage 2). De sulfaatconcentratie in de sloten in de Zandregio is significant lager (48 mg/l) dan die in de sloten van de andere twee regio's ($p < 0,01$). Dit wordt veroorzaakt doordat nauwelijks mariene afzettingen voorkomen in de bovengrond in de Zandregio.

Tabel 3.1 Sulfaatconcentraties (mg/l als SO_4), karakteristieken¹ en aantal waarnemingen² per regio en watertype (gehele meetperiode).

Regio	watertype	25p	Mediaan	Gemiddeld ³	75p	Aantal
Zand	bodemvocht	23	47	47 ± 10	57	19
	drainwater	36	49	58 ± 10	69	274
	grondwater	34	46	54 ± 10	62	1885
	slootwater	26	41	48 ± 10	63	520
Löss	bodemvocht	25	31	52 ± 6	44	310
	grondwater	23	31	42 ± 15	50	59
Klei	drainwater	78	126	189 ± 7	213	752
	grondwater	56	96	194 ± 11	226	380
	slootwater	47	81	127 ± 9	138	1035
Veen	grondwater	67	142	186 ± 7	237	382
	greppelwater	75	169	178 ± 22	286	42
	slootwater	37	62	89 ± 9	103	540

- ¹ Karakteristieken zijn de 25-percentielwaarde (25p; dit is de concentratie waarvoor geldt dat 25% van de waarnemingen een concentratie lager of gelijk heeft aan deze concentratie), mediaan (is 50-percentiel), gemiddelde en 75-percentiel (75p).
- ² Een waarneming is de gemiddelde sulfaatconcentratie van alle individuele monsters per watertype per bedrijf per jaar.
- ³ Gemiddelde en standaard fout. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde is ongeveer gelijk aan het gemiddelde ± 2 * de standaard fout. Voorbeeld, 95%-bthi voor grondwater (gd) in de zandregio is 34-74 mg/l ($54 \pm 2 * 10$). Aangezien het gemiddelde van alle andere watertypen in de Zand- en Lössregio binnen dit 95%-bthi vallen zijn ze niet significant verschillend.

Per regio zijn de verschillen in de concentraties klein tussen de watertypen die worden gebruikt om de mate van uitspoeling uit de wortelzone te karakteriseren (bodemvocht, bovenste meter grondwater en drainwater). De sulfaatconcentratie in het slootwater is lager dan de concentratie in het uitspoelingswater (Tabel 3.1); in de lössregio wordt geen slootwater bemonsterd. De sulfaatconcentratie in greppelwater, dat alleen wordt bemonsterd in de veenregio, wijkt niet duidelijk af van die in het bovenste grondwater.

Een probleem dat mogelijk speelt bij de analyse van bovenstaande cijfers is dat de sulfaatconcentraties kunnen zijn veranderd in de tijd (zie paragraaf 3.3). De metingen in de Zandregio zijn in 1992 gestart, terwijl die in de Lössregio pas in 2002 zijn begonnen. In de Kleiregio is in de winter van 1996/1997 gestart met metingen aan drainwater. De bemonstering van de bovenste meter van het grondwater in deze regio, op bedrijven met geen of weinig drainagebuizen, is pas systematisch opgepakt vanaf winter 2002/2003. Verschillen in sulfaatconcentraties tussen regio's en watertypen, of het ontbreken ervan, kunnen daarom samenhangen met een veranderde concentraties in de tijd. Om die reden en om een referentieperiode vast te stellen, is de dataset vervolgens beperkt tot de periode 2008-2011 ofwel de landbouwpraktijkjaren 2007-2010; dat wil zeggen de metingen van de waterkwaliteit die gekoppeld worden aan de landbouwpraktijk van de jaren 2007-2010 (zie paragraaf 2.2.2 voor details).

3.2 Verschillen tussen bedrijfstypen, watertypen en seizoenen

In de Zandregio en Kleiregio zijn er significante verschillen tussen bedrijfstypen in sulfaatconcentraties in de periode 2008-2011 in zowel uitspoelingswater als slootwater (winter en zomer)(Tabel 3.2). In de Zandregio neemt de concentratie toe in de volgorde akkerbouw \geq melkvee $>$ overig dier $>$ hokdier, terwijl in de Kleiregio (geen hokdierbedrijven) de volgorde precies omgekeerd is.

In de Zandregio komt de toename in sulfaatconcentratie overeen met een toename in intensiteit van de landbouw, lees dierlijke mestproductie. Indien rekening wordt gehouden met de ligging van de bedrijven binnen de Zandregio (Zand Noord, Centraal en Zuid), dan zijn de verschillen tussen de bedrijfstypen niet meer significant, met uitzondering van 'Dier overig' (Bijlage 9). De sulfaatconcentraties in Zand Zuid zijn duidelijk hoger dan in de twee andere zandgebieden (circa 30 mg/l; Bijlage 9). In dit gebied zijn ook de nitraatconcentraties hoger; die verschillen tussen de zandgebieden zijn volgens Schoumans et al. (2012) voor een groot deel te verklaren uit het N-overschot en bodemgebruik (die per bedrijfstype verschillen) en de verdeling van de grondwatertrappen en grondsoorten die voorkomen en het neerslagoverschot. Voor sulfaat zullen deze factoren eveneens een rol kunnen spelen, hoewel grondsoort en grondwatertrap in de voor deze sulfaatstudie uitgevoerde analyse geen verklaring geven.

In de Kleiregio speelt de mate waarin de sulfaatconcentratie wordt beïnvloed door mariene afzettingen en veenafbraak waarschijnlijk een belangrijkere rol dan mestgebruik. Indien rekening wordt gehouden met de ligging van de bedrijven binnen de Kleiregio (Noordelijk zeeklei, Hollandse droogmakerijen en IJsselmeerpolders, Zuidwestelijk zeeklei, Rivierklei), dan zijn de verschillen tussen de bedrijfstypen niet meer significant (Bijlage 9), net als in de Zandregio. Grondsoort en grondwatertrap verklaren, naast ligging (kleigebied), ook nog een deel van de verschillen.

In de Lössregio zijn de verschillen tussen bedrijfstypen niet-significant. In de Veenregio zijn er alleen melkveebedrijven in het basismetnet van het LMM.

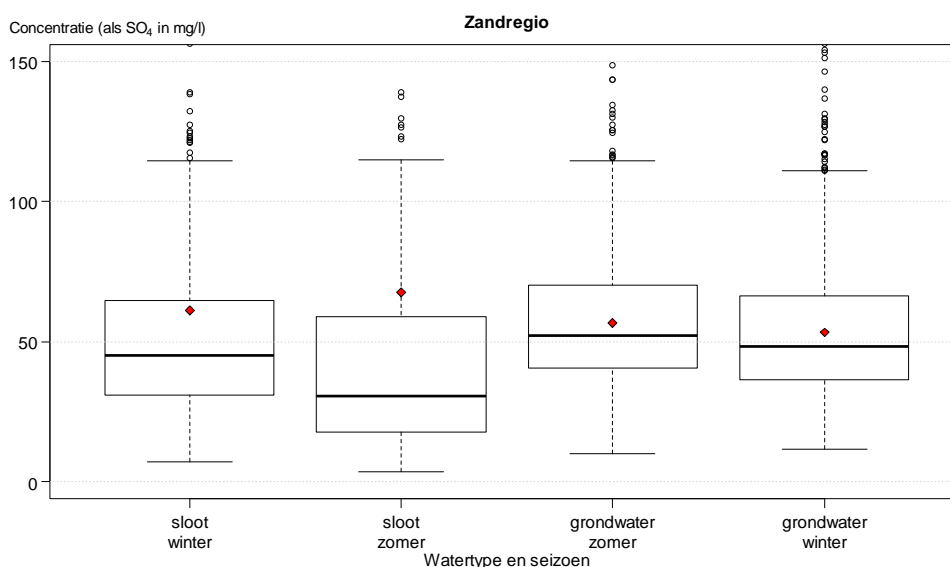
Tabel 3.2 Sulfaatconcentratie (mg/l als SO₄) per bedrijfstype per regio voor uitspoeling en slootwater in de winter en de zomer; gemiddelde en standaard fout³ voor de periode 2008-2011 (landbouwpraktijkjaren 2007-2010).

Regio ¹	Watertype	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
Zand	Uitspoeling ²	48 ±2,4	48 ±2,7	62 ±4,1	52 ±3,4
	Sloot – winter	43 ±3,6	49 ±4,3	87 ±9,7	56 ±6,7
	Sloot – zomer	33 ±4,0	42 ±5,0	82 ± 12	47 ±7,6
Löss	Uitspoeling ²	45 ±5,4	36 ±7,3	–	43 ±8,6
Klei	Uitspoeling ²	190 ± 15	146 ± 18	–	111 ± 28
	Sloot – winter	156 ± 13	135 ± 16	–	76 ± 23
	Sloot – zomer	130 ± 11	86 ± 14	–	57 ± 21
Veen	Uitspoeling ²	–	178 ± 23	–	–
	Greppel	–	168 ± 22	–	–
	Sloot – winter	–	104 ± 24	–	–
	Sloot – zomer	–	53 ± 24	–	–

- ¹ In de veenregio komen in het basismetnet alleen melkveebedrijven voor.
- ² Uitspoeling betreft gemiddelde van concentraties gemeten in bovenste meter grondwater, drainwater en/of bodemvocht.
- ³ Zie voetnoot 3 bij Tabel 3.1.

De verschillen in sulfaatconcentraties tussen de regio's zijn significant voor het grondwater en het slootwater bemonsterd in de winter, met uitzondering van het verschil tussen de Zand- en Lössregio. In het slootwater in de zomer is er geen verschil tussen Kleislotten (136 mg/l) en Veensloten (134 mg/l).

De sulfaatconcentraties in sloten gemeten in de zomer zijn duidelijk lager dan in de winter (Tabel 3.2). Het verschil is het grootst bij de melkveebedrijven in de Veenregio (halvering). In de Zandregio zijn de verschillen tussen winter en zomer klein (Tabel 3.2 en Figuur 3.1). Voor grondwater zijn er geen verschillen tussen zomer en winter in de sulfaatconcentratie (Figuur 3.1).

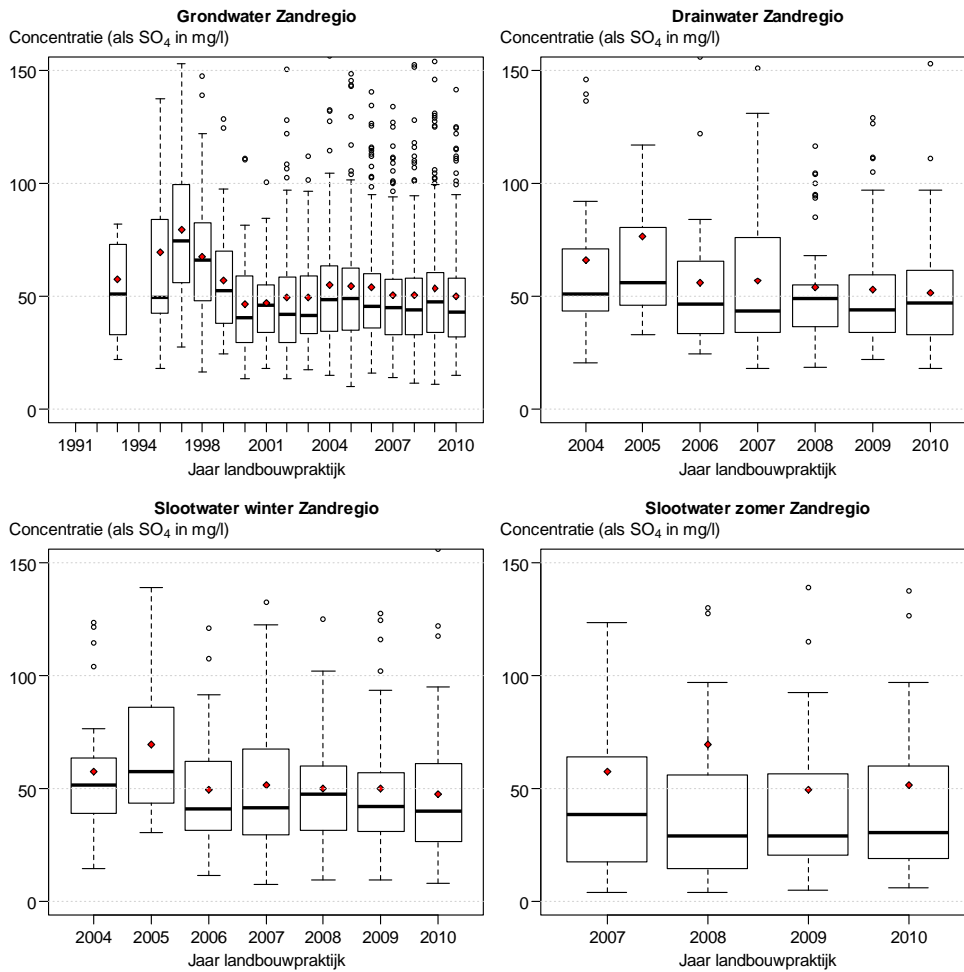


Figuur 3.1 Sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in grond- en slootwater op landbouwbedrijven in de natte delen van de Zandregio; metingen in de zomer en de winter vanaf winter 2004/2005 (landbouwpraktijkjaar 2004). De Y-as is beperkt waardoor niet alle hoge waarnemingen zichtbaar zijn, zie Figuur B3.5 in Bijlage 3 voor volledige weergave.

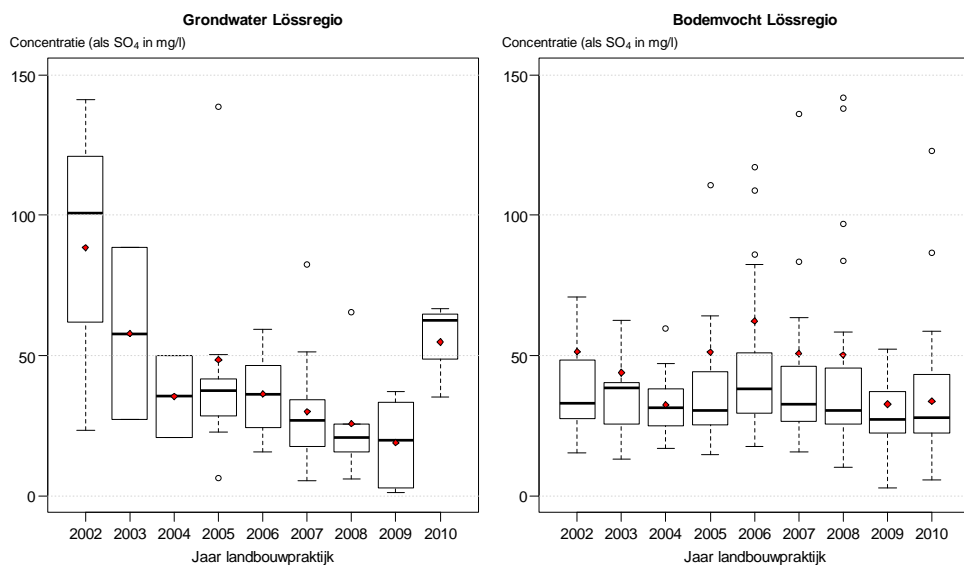
3.3 Ontwikkeling in de tijd

In het grondwater in de Zandregio is de sulfaatconcentratie gemiddeld met 1,0 mg/l per jaar afgenomen (Figuur 3.2; $p < 0,001$), maar er zijn geen significante verschillen tussen de jaren onderling. Ook het drainwater (4 mg/l per jaar; $p < 0,001$) en het slootwater in de winter (2 mg/l per jaar; $p = 0,01$) geven een dalende trend in sulfaat te zien, ondanks de korte meetperiode (2004-2010). De zomermetingen, die een nog kortere tijdsreeks hebben, laten een niet-significante dalende trend zien (3 mg/l per jaar; $p = 0,13$).

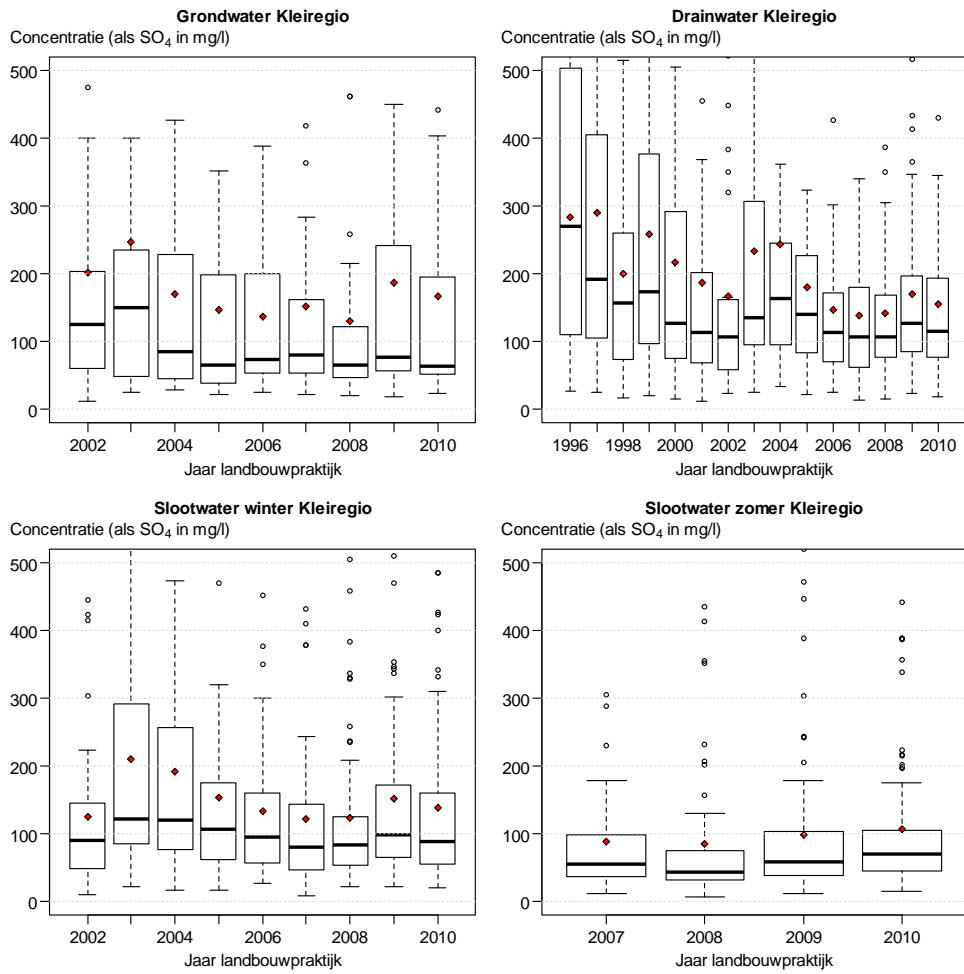
In de Lössregio is er een niet-significante daling van de sulfaatconcentratie in het bodemvocht (Figuur 3.3; 2 mg/l per jaar, $p = 0,40$). Veranderingen in het grondwater in de Lössregio (Figuur 3.3) hangen samen met wijzigingen in meetlocaties en het beperkte aantal grondwatermetingen per jaar (Tabel 2.1). Ditzelfde geldt waarschijnlijk voor de dalende trend in het grond- en drainwater in de kleiregio (Figuur 3.4; 8-12 mg/l per jaar, $p < 0,01$). In het slootwater in de zomer en de winter is er een niet-significante dalende trend in sulfaat (4-7 mg/l per jaar, $0,05 < p < 0,10$), net als in het grondwater en het greppelwater in de Veenregio (Figuur 3.5; 3-5 mg/l per jaar, $p > 0,20$). De sulfaatconcentratie in het slootwater in de zomer in de Veenregio neemt niet-significant toe (4 mg/l per jaar; $p = 0,10$; er zijn maar vier meetrondes) en de concentratie in het slootwater in de winter verandert niet (0,0 mg/l per jaar; $p = 0,98$). Een uitgebreidere analyse is nodig om na te gaan in welke mate steekproef wijzigingen van invloed zijn op het al dan niet aanwezig zijn van trends in vooral de Klei- en de Veenregio. Een eerste aanzet tot een dergelijk analyse, waarbij rekening wordt gehouden met wisselende bedrijven door het meenemen van bedrijfstype, grondsoort, grondwatertrap en gebied, lijkt aan te geven dat er zowel in de Klei- als de Veenregio sprake is van een daling in de sulfaatconcentratie in het uitspoelingswater die niet veroorzaakt wordt door steekproefeffecten.



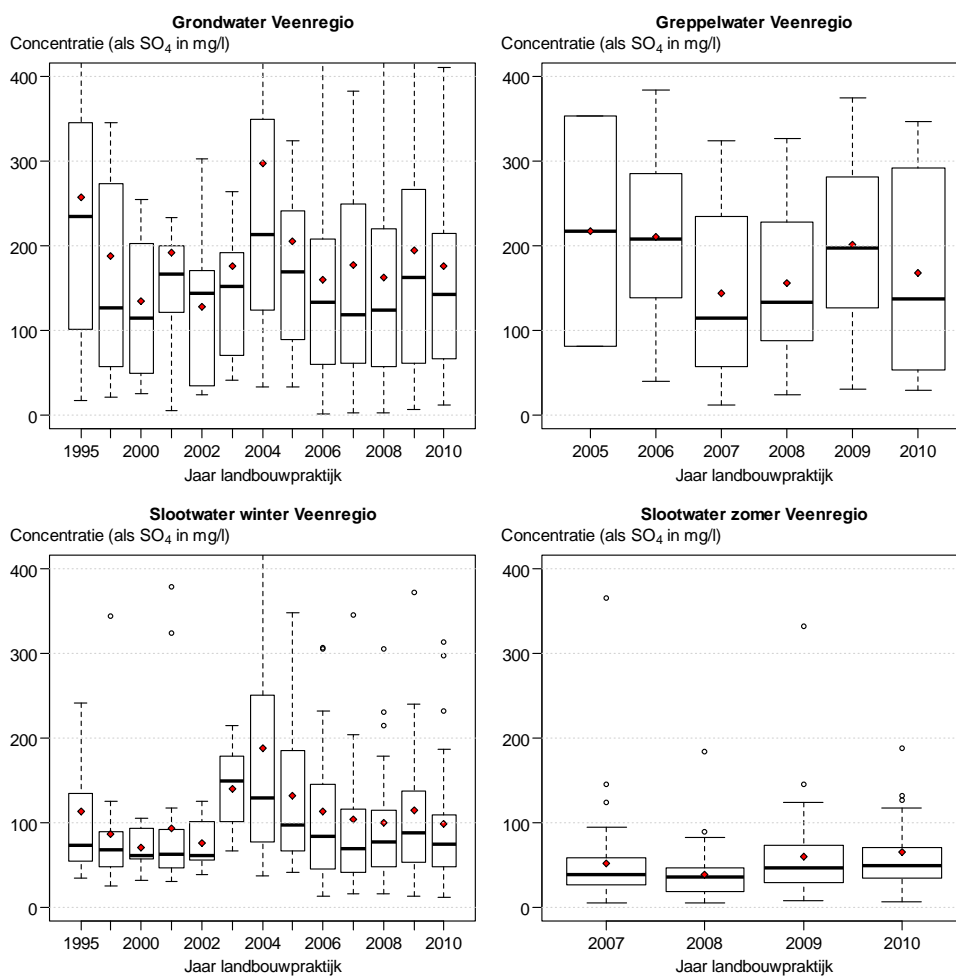
Figuur 3.2 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen en seizoenen (voor slootwater) in de Zandregio. Y-as beperkt, zie Figuur B3.1 in Bijlage 3 voor volledige weergave.



Figuur 3.3 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen in de Lössregio. Y-as beperkt, zie Figuur B3.2 in Bijlage 3 voor volledige weergave.



Figuur 3.4 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen en seizoenen (voor slootwater) in de Kleiregio. Y-as beperkt, zie Figuur B3.3 in Bijlage 3 voor volledige weergave.



Figuur 3.5 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen en seizoenen (voor slootwater) in de Veenregio. Y-as beperkt, zie Figuur B3.4 in Bijlage 3 voor volledige weergave.

4 Sulfaat in het diepere grondwater

4.1 Verschillen tussen regio's en meetdiepte

4.1.1

Periode 1986- 2011

De gemiddelde sulfaatconcentraties in zowel het ondiepe (circa 10 m) als het diepere grondwater (circa 25 m) zijn het laagst in de Veenregio en het hoogst in de Kleiregio. De concentraties in de Zandregio en de Lössregio zitten daar tussenin (Tabel 4.1). De gemiddelde waarden in de Kleiregio worden sterker beïnvloed door 'uitschieters' dan in de andere regio's, aangezien de mediane concentratie in de Kleiregio lager is dan in de Zand- en Lössregio.

In de Lössregio zijn de meeste concentraties lager dan 60 mg/l en in de Zandregio lager de 50 mg/l (medianen; Tabel 4.1). In bijna alle gevallen zijn de concentraties lager dan 320 mg/l in de Lössregio, en onder 160 mg/l in de Zandregio (95%, zie Bijlage 2). In de Klei- en Veenregio zijn de meeste concentraties lager dan respectievelijk 35 en 8 mg/l (medianen), terwijl in 95% van de gevallen de concentraties lager zijn dan 1,100 en 140 mg/l (de hoge waarde in de Kleiregio wordt veroorzaakt doordat ook zout/brak grondwater bemonsterd is).

Tabel 4.1 Karakteristieken¹ van de sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) en het aantal waarnemingen per regio en diepte³.

Regio	Diepte	25p	Mediaan	Gemiddeld ²	75p	Aantal
Zand	ondiep	24	49	60 ± 0,7	81	6.125
	middeldiep	20	47	61 ± 3,7	78	354
	diep	10	31	53 ± 1,5	68	3.864
Löss	ondiep	41	59	82 ± 5,4	94	182
	middeldiep	41	51	89 ± 13	63	56
	diep	2	25	33 ± 5,0	57	45
Klei	ondiep	2	35	103 ± 5,0	77	2.504
	middeldiep	5	21	148 ± 22	100	227
	diep	1	17	156 ± 9,2	76	1.941
Veen	ondiep	0	7	31 ± 1,7	43	981
	middeldiep	1	8	28 ± 4,0	47	90
	diep	0	4	23 ± 1,6	29	767

¹ Karakteristieken zijn de 25-percentielwaarde (25p; dit is de concentratie waarvoor geldt dat 25% van de waarnemingen een concentratie lager of gelijk heeft aan deze concentratie), mediaan (is 50-percentiel), gemiddelde en 75-percentiel (75p).

² Gemiddelde en standaard fout (zie Tabel 3.1, voetnoot 3)

³ Ondiep <15 m-mv (filter 1); middeldiep 10-20 m-mv (filter 2); diep >15 m-mv (filter 3).

Voor elk van de vier regio's geldt dat de mediane sulfaatconcentratie het hoogst is in het ondiepe grondwater (filter 1), en het laagst in het diepe grondwater (filter 3). Deze vaststelling geldt niet voor de gemiddelde waarden; de gemiddelde waarden worden te zeer beïnvloed door extreem hoge waarden in brak of zout grondwater (vooral in de Kleiregio). In het algemeen neemt de sulfaatconcentratie af met de diepte.

In de Zandregio is er geen significant verschil tussen de sulfaatconcentratie in het ondiepe en het middeldiepe grondwater; het verschil tussen het ondiepe en middeldiepe grondwater enerzijds en het diepe grondwater anderzijds is wel significant. Ditzelfde geldt voor de Lössregio. In de Kleiregio is het verschil tussen het middeldiepe en diepe grondwater gering (niet significant). In deze regio wijkt de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater significant af van de het middeldiepe en diepe grondwater. In de Veenregio zijn de verschillen in concentratie tussen de verschillende dieptes in absolute zin klein en niet significant.

4.1.2 Periode 2008-2011

De mediane waarden voor sulfaat in het ondiepe grondwater in de recente jaren (2008-2011) zijn lager dan die voor de volledige meetperiode (Tabel 4.2; zie paragraaf 4.3 voor trends). Het beeld tijdens de recente periode is hetzelfde als voor de gehele meetperiode: een toename van de gemiddelde concentratie in de volgorde Veenregio < Zandregio < Lössregio < Kleiregio en een mediane sulfaatconcentratie in de Kleiregio die lager is dan de mediane concentratie in de Zand- en de Lössregio. Er waren voor het middeldiepe grondwater (filter 2) te weinig gegevens voor een uitsplitsing naar regio.

Tabel 4.2 Karakteristieken¹ van de sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) en het aantal waarnemingen per regio en per diepte³ in de periode 2008 t/m 2011.

Regio	Diepte	25p	Mediaan	Gemiddeld ²	75p	Aantal
Zand	ondiep	19	39	49 ± 1,5	65	798
	diep	11	37	61 ± 5,6	78	280
Löss	ondiep	53	62	86 ± 14	118	18
	diep					1
Klei	ondiep	2	28	84 ± 15	59	202
	diep	0,3	18	164 ± 44	73	87
Veen	ondiep	0,2	3	22 ± 3,8	27	96
	diep	0,2	0,5	15 ± 4,4	22	46

^{1,2,3} Zie toelichting voetnoten Tabel 4.1.

4.2 Invloed van landgebruik

In het ondiepe grondwater onder natuurgebieden in de Zandregio is de sulfaatconcentratie significant lager dan in gebieden met landbouw (Tabel 4.3). Het verschil is niet significant voor het diepe grondwater (filters 3). De concentraties bij een landgebruik in de categorie 'overig' is hoger dan in gebieden met landbouw. Voor de gehele meetperiode is dit verschil significant, maar voor de recente meetperiode is het verschil minder duidelijk. Voor het diepere grondwater zijn de verschillen tussen bodemgebruikstypen gelijksoortig.

Ook in de Kleiregio zijn in het ondiepe grondwater de concentraties in gebieden met landbouw significant hoger dan in natuurgebieden. Voor het diepere grondwater zijn de verschillen minder duidelijk en consistent (voor de volledige meetperiode is de concentratie onder natuur hoger en voor de recente periode onder landbouw), dit als gevolg van het voorkomen van hoge extreme waarden. Net als voor het water op landbouwbedrijven (vorige hoofdstuk) geldt dat verschillen tussen landgebruik kunnen samenhangen met verschillen in de mate waarin de bodem is beïnvloed door de ontstaansgeschiedenis (wel of geen afzetting in een zoutwatermilieu).

In de Lössregio zijn te weinig waarnemingen om betrouwbare uitspraken te doen over verschillen in waterkwaliteit per bodemgebruikstype. Alleen voor bodemgebruikstype 'Landbouw' zijn voldoende punten beschikbaar.

In natuurgebieden in de Veenregio zijn de sulfaatconcentraties bijzonder laag, significant lager dan in gebieden met landbouw of overig landgebruik.

Tabel 4.3 Sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) per type bodemgebruik, per regio en per diepte³. Waarden (gemiddelde en standaard fout²) zijn gebaseerd op de volledige meetperiode (boven) en de meetjaren 2008-2011 (landbouwpraktijkjaren 2007-2010) onder.

Volledige meetperiode

Regio	Diepte	Bodemgebruik ¹		
		Landbouw	Natuur	Overig
Zand	ondiep	62 ± 1	41 ± 1	74 ± 2
	diep	52 ± 2	40 ± 3	77 ± 3
Löss	ondiep	66 ± 1	-	-
	diep	-	-	-
Klei	ondiep	112 ± 7	42 ± 3	92 ± 10
	diep	151 ± 12	250 ± 39	134 ± 16
Veen	ondiep	20 ± 2	1 ± 1	53 ± 4
	diep	14 ± 1	1 ± 1	44 ± 5

Meetjaren 2008-2011

Regio	Diepte	Bodemgebruik ¹		
		Landbouw	Natuur	Overig
Zand	ondiep	53 ± 2,1	34 ± 1,6	60 ± 4,5
	diep	62 ± 7,3	55 ± 15	65 ± 5,9
Löss	ondiep	-	-	-
	diep	-	-	-
Klei	ondiep	94 ± 20	34 ± 9,2	72 ± 30
	diep	168 ± 55	118 ± 63	172 ± 98
Veen	ondiep	17 ± 4,2	-	39 ± 8,2
	diep	15 ± 5,5	-	16 ± 6,0

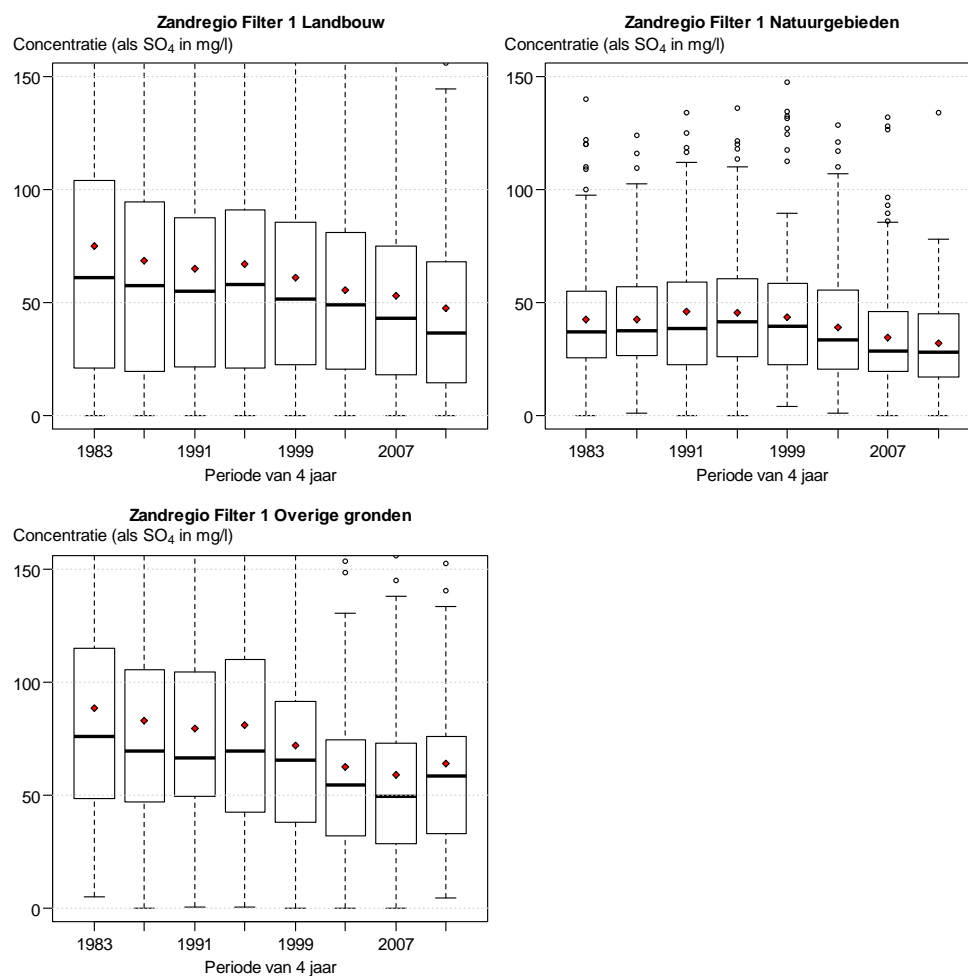
¹ Voor klassen bodemgebruik zonder waarden (-), zijn onvoldoende waarnemingen beschikbaar (<8 waarnemingen).

^{2,3} Zie toelichting Tabel 4.1.

4.3 Ontwikkeling in de tijd

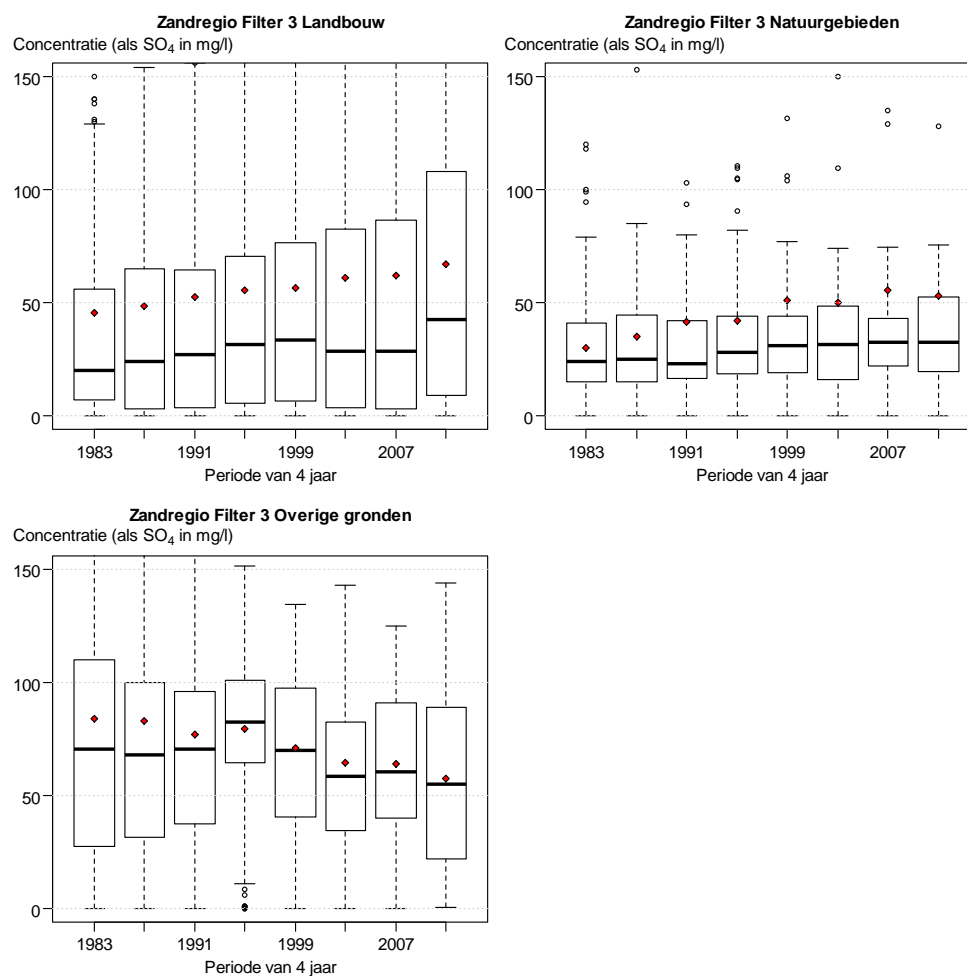
Voor het analyseren van de veranderingen van sulfaatconcentratie in het grondwater in de loop van de tijd zijn, wegens de geringe beschikbaarheid van gegevens voor de Löss- en de Veenregio, alleen de gegevens van het ondiepe en diepe grondwater in de Zand- en de Kleiregio beschouwd (Figuur 4.1 tot en met Figuur 4.4).

De sulfaatconcentraties in het ondiepe grondwater in de Zandregio (Figuur 4.1) vertonen een significante daling ($p < 0,001$). Deze daling bedraagt circa 1 mg/l per jaar (zowel voor de mediane waarden als voor het gemiddelde), gemeten in landbouwgebieden en in gebieden met een bodemgebruik gekarakteriseerd als 'overig'. In natuurgebieden is deze daling kleiner (ongeveer 0,45 mg/l per jaar) maar nog steeds significant ($p < 0,001$).



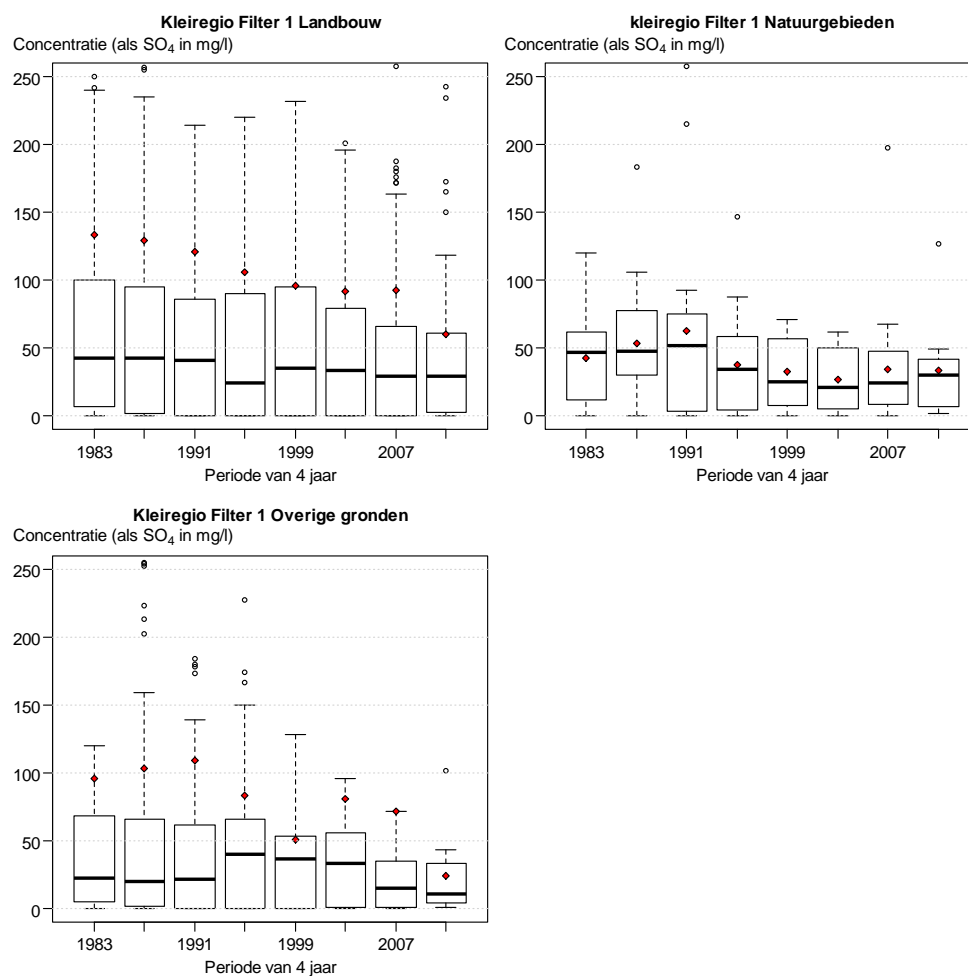
Figuur 4.1 Ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater (filter 1) in de Zandregio. Data geclusterd tot periodes van 4 jaar. Figuren met een grotere range aan gemeten concentraties zijn opgenomen in Bijlage 4.

In het diepe grondwater in de Zandregio zien we een tegengestelde trend (Figuur 4.2). De mediane en gemiddelde sulfaatconcentraties nemen toe in de tijd met een snelheid van 0,8 tot 1,0 mg/l per jaar voor de gemiddelde waarde, en 0,4 tot 1,0 mg/l/jaar voor de mediane waarde. De stijging is significant; het meest onder natuurgebieden ($p = 0,003$) maar ook onder landbouwgebieden ($p = 0,01$) en overige gebieden ($p = 0,007$).



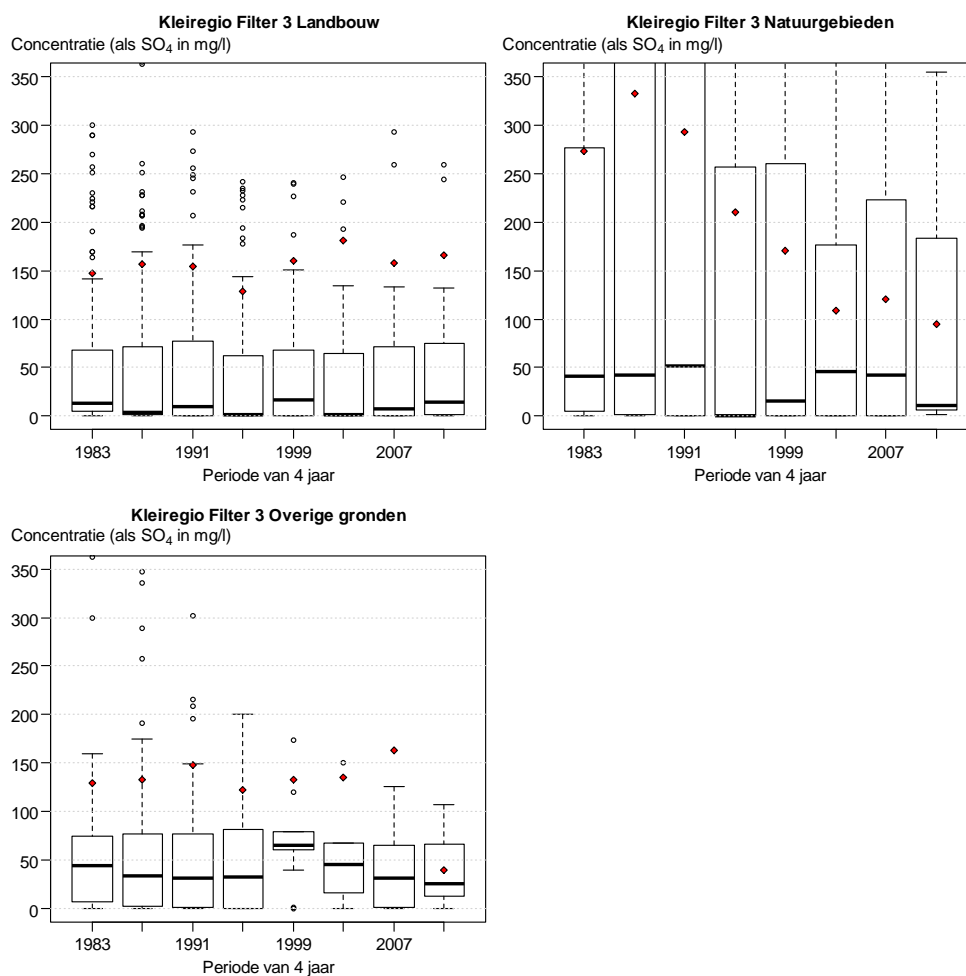
Figuur 4.2 Ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het diepe grondwater (filter 3) in de Zandregio. Data geclusterd tot periodes van 4 jaar. Figuren met een grotere range aan gemeten concentraties zijn opgenomen in Bijlage 4.

In de Kleiregio zijn deze trends minder duidelijk te onderkennen. Met name de gemiddelde waarden worden hier vertekend, c.q. beïnvloed door de aan- of afwezigheid van uitschieters in monsters van zout/brak grondwater. In het ondiepe grondwater is een tamelijk coherent beeld te zien van dalende sulfaatconcentraties, ongeveer 2 à 3 mm/jaar (Figuur 4.3). Deze daling is significant onder landbouwgebieden ($p = 0,005$), en niet significant onder natuurgebieden ($p = 0,012$) en overige gebieden ($p = 0,2$).



Figuur 4.3 Ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater (filter 1) in de Kleiregio. Data geclusterd tot periodes van 4 jaar. Figuren met een grotere range aan gemeten concentraties zijn opgenomen in Bijlage 4.

In het diepe grondwater in de kleiregio laten vooral de gemiddelde waarden een dalende trend zien. Maar de veranderingen zijn niet-significant ($p = 0,1$) in natuurgebieden, bij een daling in gemiddelde waarde van 6 à 7 mg/l per jaar). In het grondwater onder landbouwgebieden en overige gebieden blijven de concentraties vrijwel gelijk ($p=0,75$ en $p = 0,95$).



Figuur 4.4 Ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het diepe grondwater (filter 3) de Kleiregio. Data geclusterd tot periodes van 4 jaar.

5 Sulfaat in het oppervlaktewater

5.1 Verschillen tussen regio's en seizoenen

5.1.1 Periode 1991- 2011

De hoogste sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater worden gemeten in de Kleiregio, de laagste concentraties in de Zand- en de Lössregio. In de Kleiregio zijn de concentraties meestal lager dan 75 à 85 mg/l (mediane waarde); Tabel 5.1. In de Zand- en de Lössregio is de corresponderende waarde circa 55 mg/l. De mediane waarden gemeten in de Veenregio liggen in tussen de niveaus van de Kleiregio en Zand-/Lössregio. Voor de gemiddelde waarden zijn de regioverschillen gelijksoortig als bij de mediane waarden, met uitzondering van de Lössregio, waar de gemiddelde waarden significant hoger zijn dan de gemiddelde waarden aangetroffen in de Zandregio

Tabel 5.1 Karakteristieken¹ van sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in oppervlaktewateren en aantal waarnemingen, per regio en seizoen voor alle meetjaren.

Regio	Seizoen	25p	Mediaan	Gemiddeld ²	75p	Aantal ³
Zand	winter	38	57	65 ± 1	78	48.070/10.393
	zomer	33	54	62 ± 1	74	54.392/11.486
Löss	winter	45	55	71 ± 4	79	1.494/449
	zomer	46	54	84 ± 9	80	2044/522
Klei	winter	53	84	145 ± 2	164	45.926/9.387
	zomer	51	73	133 ± 2	133	52.991/10.864
Veen	winter	38	68	85 ± 1	114	18.434/4.223
	zomer	36	60	71 ± 1	95	24.325/5.087

¹ Karakteristieken zijn de 25-percentielwaarde (25p; dit is de concentratie waarvoor geldt dat 25% van de waarnemingen een concentratie lager of gelijk heeft aan deze concentratie), mediaan (is 50-percentiel), gemiddelde en 75-percentiel (75p).

² Gemiddelde en standaard fout (zie Tabel 3.1, voetnoot 3)

³ Aantal waarnemingen / aantal waarnemingsjaren (jaargemiddelde waarden)

De grote verschillen tussen mediane en gemiddelde waarden in de Veenregio en vooral de Kleiregio worden veroorzaakt door invloed van zout water; dit zout kan afkomstig zijn van kwel vanuit de ondergrond, of er is zout of brak oppervlaktewater bemonsterd. In de lössregio kan geen sprake zijn van invloed van zout water. In deze regio wordt het verschil tussen mediane en gemiddelde waarden waarschijnlijk veroorzaakt door het relatief kleine aantal bemonsteringen.

De sulfaatconcentraties gemeten in de zomer zijn gemiddeld lager dan de 's winters gemeten concentraties. Dit is het meest duidelijk in de Klei- en de Veenregio; zomerconcentraties zijn hier circa 10% lager dan 's winters gemeten waarden. In de Lössregio treffen we juist 's zomers hogere sulfaatconcentraties aan. In de Zandregio zijn de verschillen tussen de seizoenen beperkt. Dit verschil tussen de regio's kan het gevolg zijn van de aard van de bemonsteringslocaties (variabiliteit in zuurstofcondities in de loop van het jaar,

aard van wateraanvulling), effect van verdunning ('s winters in Klei- en Veenregio) en aantal bemonsteringspunten.

5.1.2 Periode 2008 - 2011

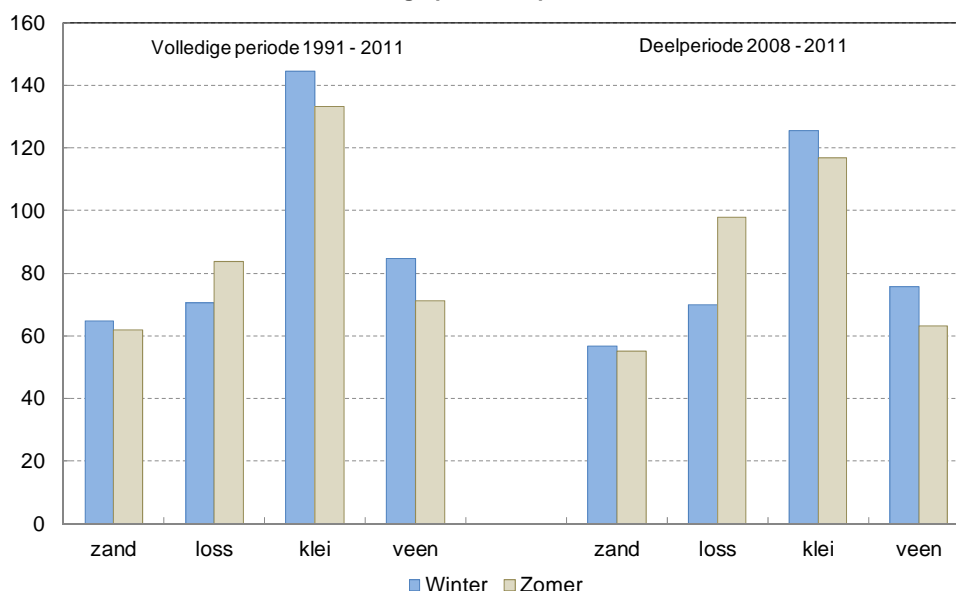
In de recente meetjaren 2008-2011 is de aard van de verschillen tussen de regio's en tussen de seizoenen (Tabel 5.2) gelijk aan de verschillen gevonden voor de volledige meetperiode (Tabel 5.1). De absolute waarde van de gemiddeldes en mediaan-waarden verschilt tussen de twee deelverzamelingen (Figuur 5.1 en Figuur 5.2)

Tabel 5.2 Karakteristieken¹ van sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in oppervlaktewateren en aantal waarnemingen, per regio en seizoen voor de periode 2008 t/m 2011.

Regio	Seizoen	25p	Mediaan	Gemiddeld ²	75p	Aantal ³
Zand	winter	30	51	57 ± 1	72	15.174/3.310
	zomer	27	50	55 ± 1	68	17.160/3.619
Löss	winter	35	48	70 ± 12	69	318/110
	zomer	39	54	98 ± 19	78	775/184
Klei	winter	48	72	126 ± 3	136	16.733/3.343
	zomer	45	62	117 ± 3	104	18.008/3.602
Veen	winter	37	67	76 ± 1	101	8.365/1.762
	zomer	34	55	63 ± 1	82	10.084/1.914

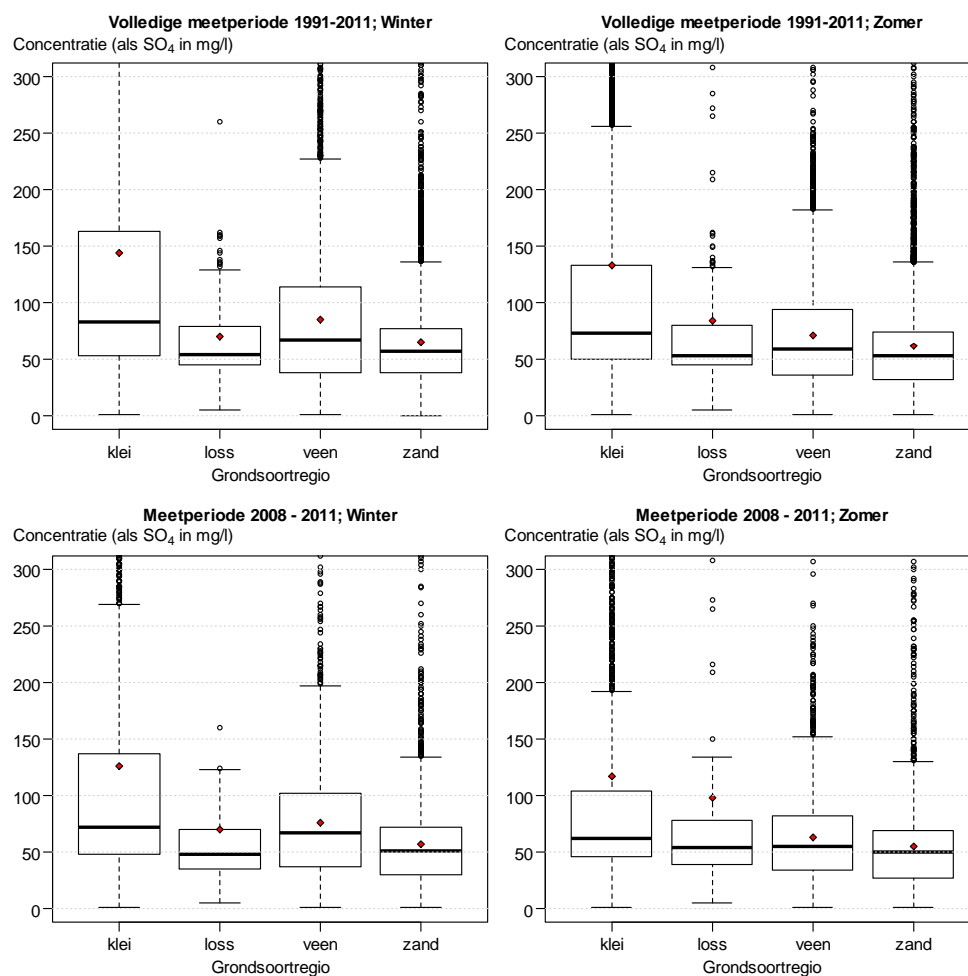
^{1,2,3} Zie toelichting voetnoten Tabel 5.1.

Gemiddelde SO₄-concentratie: volledige periode + periode 2008-2011



Figuur 5.1 Gemiddelde sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater als functie van grondsoortregio en seizoen; voor de volledige meetperiode 1991-2011 en voor de deelperiode 2008-2011.

Afgezien van de zomergemiddelde waarden in de Lössregio, zijn alle regio- en seizoensgemiddelden in de recente jaren 2008-2011 lager dan voor de volledige meetperiode.

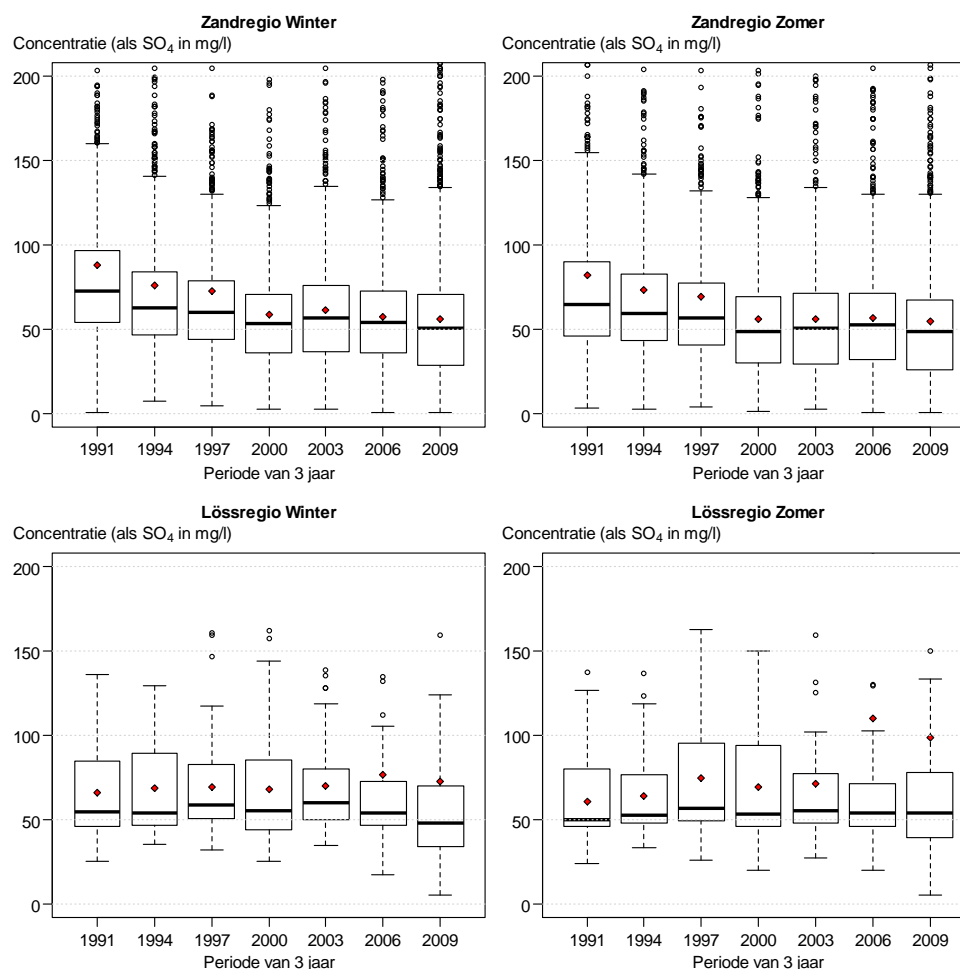


Figuur 5.2 Sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in oppervlaktewater voor volledige meetperiode 1991-2011 (boven) en voor deelperiode 2008-2011 (onder); metingen in winter en zomer. Y-as beperkt.

5.2 Ontwikkeling in de tijd

In de Zandregio is er een geleidelijke, significante daling van de sulfaatconcentratie sinds 1991 ($p < 0,001$); dit geldt voor zowel de zomer- als de winterwaarnemingen. De daling betreft de gemiddelde en de mediane waarden. De daling bedraagt ongeveer 1 mg/l per jaar (zie Figuur 5.3 boven en Tabel B5.1 in Bijlage 5). De daling treedt vooral op in de periode 1991-2002 (de eerst vier perioden van 3 jaar); in deze periode is de daling ruim 2 mg/l per jaar. Sinds 2003 is de daling vrijwel gestopt.

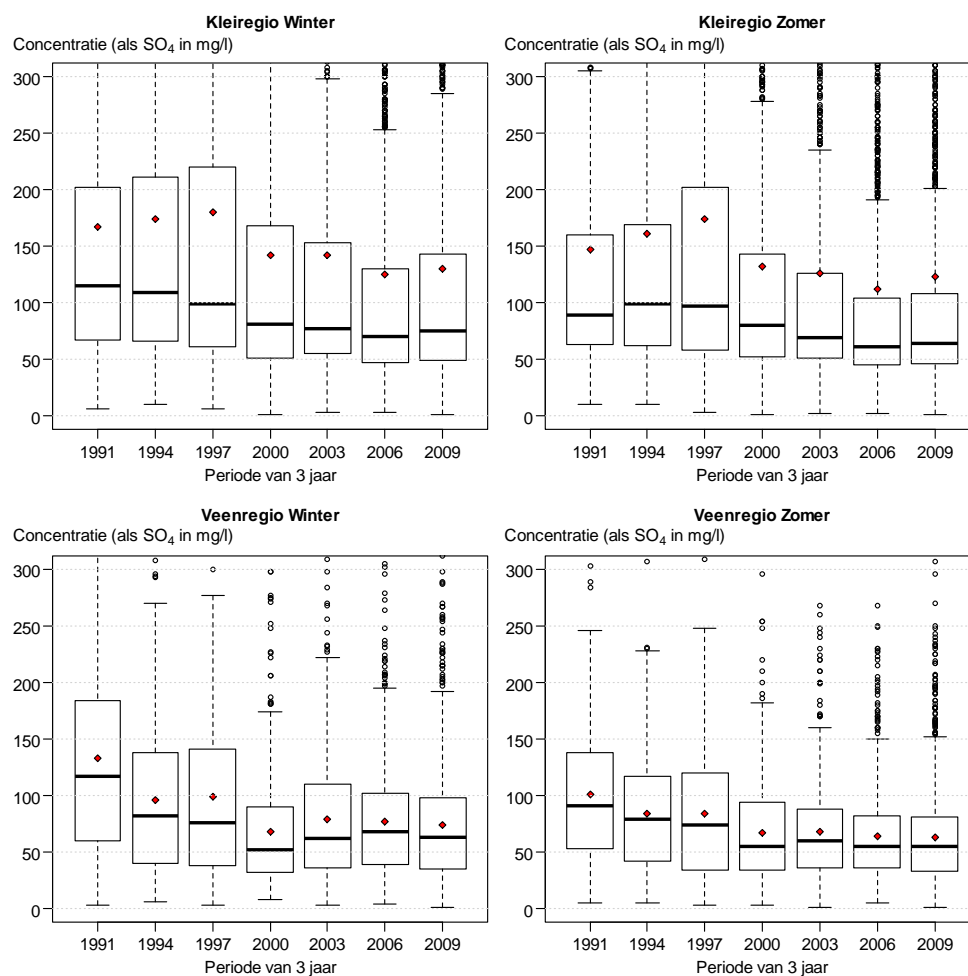
De Lössregio vertoont een heel ander en meer variabel beeld (Figuur 5.3 onder). Er is in deze regio een niet-significant ($p \geq 0,1$) toename van de gemiddelde sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater.



Figuur 5.3 Trends in de sulfaatconcentratie (in mg/l als SO₄) in het oppervlaktewater in de Zandregio (boven) en de Lössregio (onder); gemiddelde over periodes van 3 jaar per seizoen (links winter en rechts zomer).

In de Kleiregio is er over de gehele periode 1991-2011 sprake van een daling; van de mediane waarden (Figuur 5.4 boven). Echter, voor de eerste zes jaar stijgt de gemiddelde waarde (een stijging 2 tot 4 mg/l per jaar). De mediane waarde voor de zomerperiode stijgt eveneens, gevolgd door een 'steile' daling (ruim 2 mg/l per jaar). De mediane winterwaarden dalen gestaag van 115 mg/l in 1991-1993 tot 70 à 75 mg/l rond 2010. De geconstateerde netto dalingen zijn statistisch significant ($p < 0,001$). De variatie in gemiddelde waarden wordt bepaald door 'hoge uitschieters', gemeten in brak of zout water.

In de Veenregio wordt, net als in de Zandregio, een vrijwel consistente en significante ($p < 0,001$) daling gevonden voor zowel de mediane en gemiddelde sulfaatconcentraties; dit geldt voor de zomer- en winterwaarnemingen (Figuur 5.4 onder). Gemiddeld bedraagt de daling 2 mg/l per jaar. Evenals in de Zandregio is vooral de eerste 10 jaar verantwoordelijk voor de daling. In de jaren vanaf 2003 zet de daling nog wel door maar veel zwakker.



Figuur 5.4 Trends in de sulfaatconcentratie (mg/l als SO₄) in het oppervlaktewater in de Kleiregio (boven) en Veenregio (onder); gemiddelde over periodes van 3 jaar per seizoen (links winter en rechts zomer).

5.3 Landbouw beïnvloed oppervlaktewater

Een aantal meetlocaties in het oppervlaktewater in de IHW-dataset maakt deel uit van het MNLSO (161 locaties; zie paragraaf 2.2.4). Dit zijn locaties waarvoor geldt dat het water in belangrijke mate afkomstig is van gronden in agrarisch gebruik.

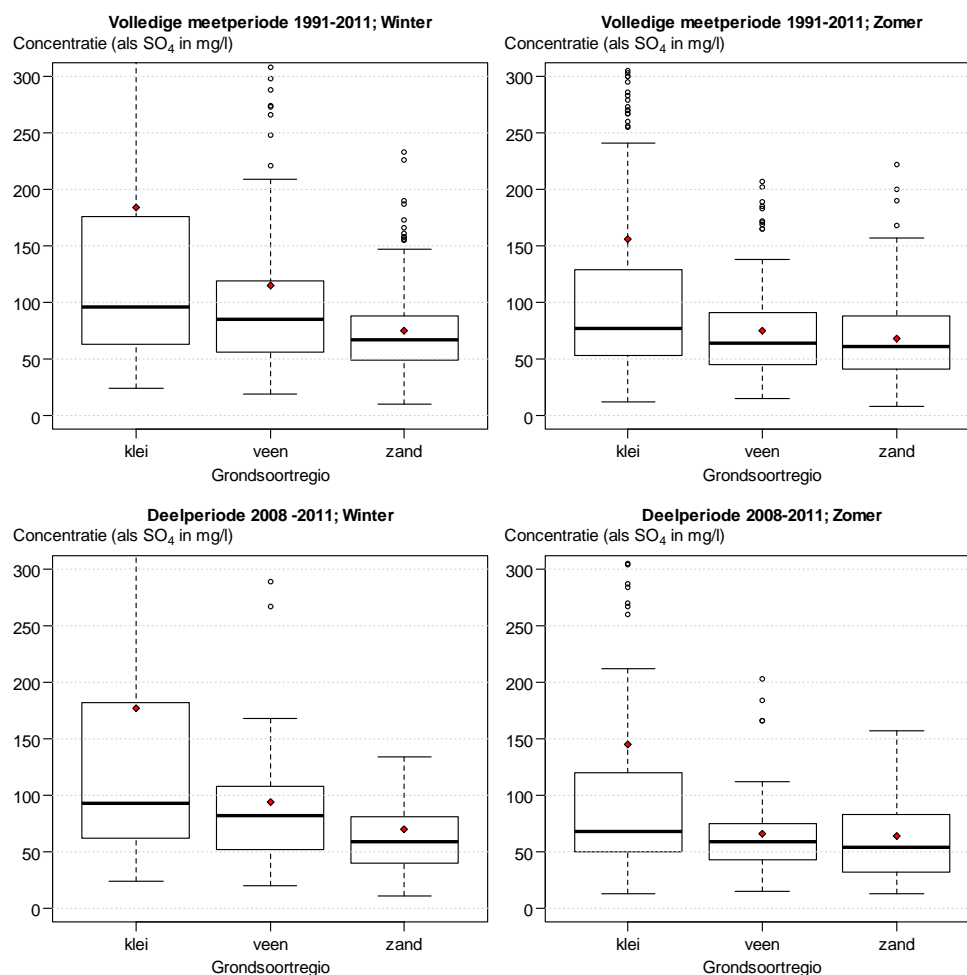
5.3.1 Volledige meetperiode

De mediane en gemiddelde sulfaatconcentraties op deze locaties liggen hoger dan de waarden in de volledige dataset (vergelijk Tabel 5.3 met Tabel 5.1 en Figuur 5.4 met Figuur 5.2)

Tabel 5.3 Karakteristieken¹ van sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in landbouw beïnvloede oppervlaktewateren en aantal waarnemingen, per regio en seizoen voor alle meetjaren.

Regio	Seizoen	25p	Mediaan	Gemiddeld ²	75p	Aantal ³
Zand	winter	48	64	72 ± 2	85	494
	zomer	34	55	62 ± 2	79	538
Klei	winter	61	93	159 ± 9	158	374
	zomer	53	76	140 ± 10	121	455
Veen	winter	67	89	124 ± 11	137	99
	zomer	41	65	73 ± 4	93	113

^{1,2,3} Zie toelichting voetnoten Tabel 5.1.



Figuur 5.5 Sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in landbouw beïnvloed oppervlaktewater (MNL50-locaties) voor volledige meetperiode 1991-2011 (boven) en voor deelperiode 2008-2011 (onder); metingen in winter en zomer. Y-as beperkt.

De verschillen tussen de regio's en de seizoenen komen overeen met de aard van de verschillen van de gehele IHW-dataset.

5.3.2 Periode 2008 - 2011

De meetresultaten op de MNLSO-locaties voor de periode 2008-2011 (Tabel 5.4) verschillen in beperkte mate van de resultaten voor de totale meetperiode. Dit is niet zo vreemd omdat het leeuwendeel van de beschikbare gegevens afkomstig is van de recente meetperiode.

Tabel 5.4 Karakteristieken¹ van sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in landbouw beïnvloede oppervlaktewateren en aantal waarnemingen, per regio en seizoen voor de meetjaren 2008-2011.

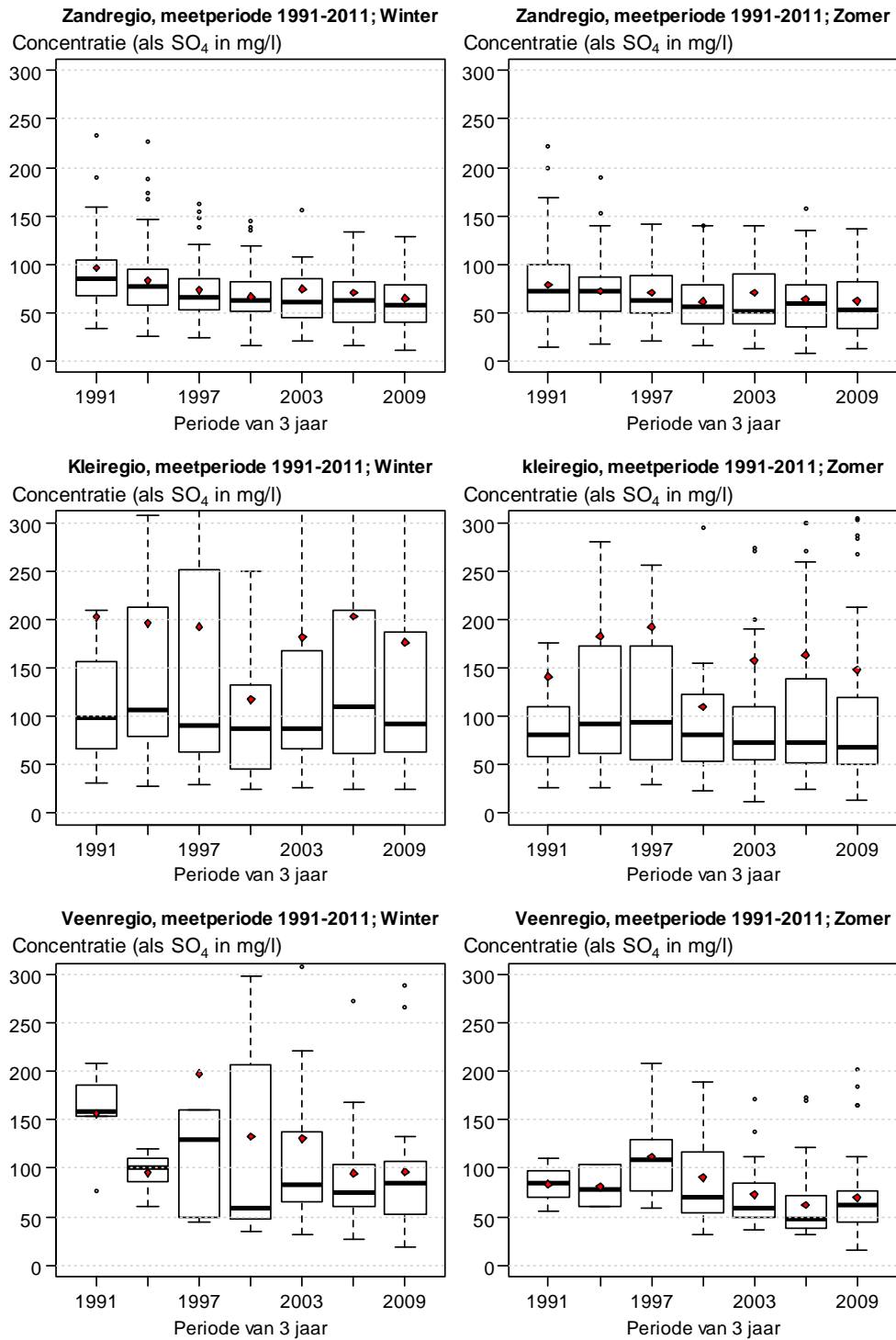
Regio	Seizoen	25p	Mediaan	Gemiddeld ²	75p	Aantal ³
Zand	winter	42	62	74 ± 6	85	139
	zomer	30	54	63 ± 5	84	150
Klei	winter	60	92	164 ± 17	158	111
	zomer	50	68	138 ± 19	116	129
Veen	winter	52	85	96 ± 10	108	49
	zomer	38	59	64 ± 6	75	53

^{1,2,3} Zie toelichting voetnoten Tabel 5.1.

5.3.3 Ontwikkelingen in de tijd

In het landbouw beïnvloede oppervlaktewater (de MNLSO-locaties) vertonen de metingen, zowel qua gemiddelde als qua mediane waarde, een dalende trend (Figuur 5.6). Voor de Zand- en Kleiregio blijkt de daling niet significant ($p > 0,1$). In de Veenregio is de daling wel significant ($p = 0,01$).

De gemiddelde en de mediane sulfaatconcentraties op de MNLSO-locaties zijn hoger dan die voor alle oppervlaktewaterlocaties. Voorzichtigheid bij het beoordelen van de resultaten is op zijn plaats, wegens het beperkte aantal gegevens voor de landbouw beïnvloede wateren in vergelijking van de volledige IHW-data set.

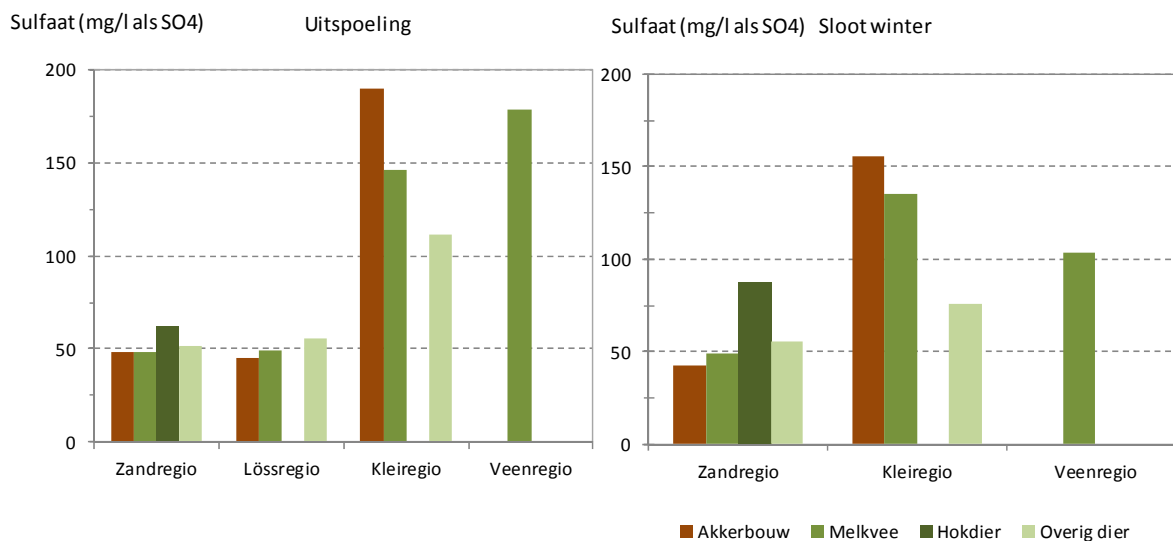


Figuur 5.6 Trend in sulfaatconcentratie (mg/l als SO₄) in het landbouw beïnvloede oppervlaktewater in de periode 1991-2001, berekend per periode van 3 jaar per regio en seizoen. Y-as beperkt.

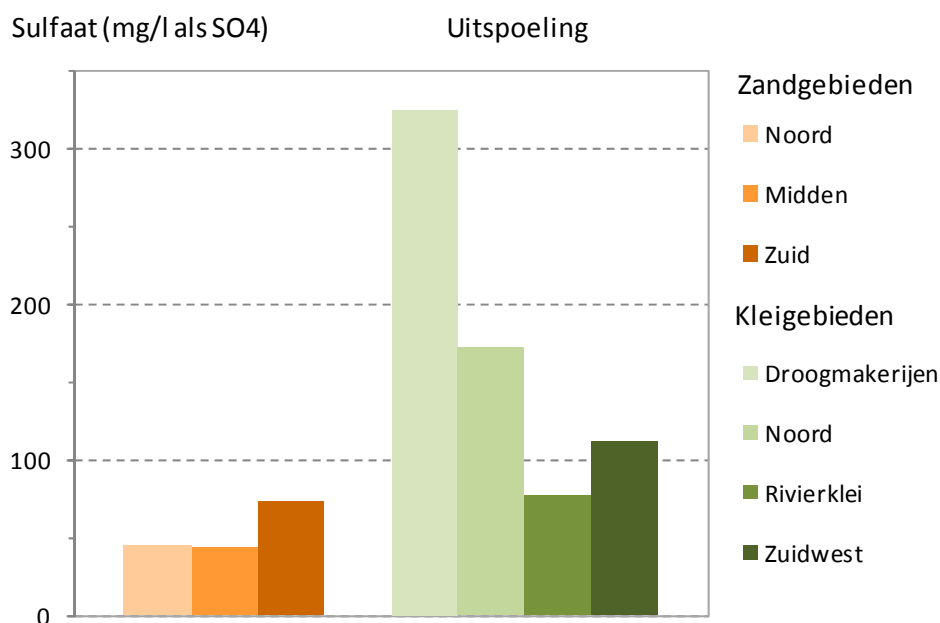
6 Synthese en conclusies

6.1 Toestand (2007-2010)

De sulfaatconcentratie in het water op landbouwbedrijven laat duidelijk verschillen zien tussen regio's en bedrijfstypen. De concentraties zijn lager in de Zand- en Lössregio's dan in de Klei- en Veenregio's (Figuur 6.1). Verschillen tussen bedrijfstypen hangen samen met verschillen tussen gebieden binnen regio's en verschillen in bodems. In de Zandregio is de sulfaatconcentratie hoger in het Zuidelijke Zandgebied dan in de overige zandgebieden (Figuur 6.2). In dit gebied zijn ook de nitraatconcentraties hoger; die verschillen tussen de zandgebieden zijn volgens Schoumans et al. (2012) voor een groot deel te verklaren uit het N-overschot en bodemgebruik (die per bedrijfstype verschillen) en de verdeling van de grondwatertrappen en grondsoorten die voorkomen en het neerslagoverschot. In de Kleiregio zijn de verschillen het gevolg van verschillen in grondsoort (invloed marine afzettingen); de hoogste concentraties worden gevonden in de Hollandse droogmakerijen en IJsselmeerpolders (Figuur 6.2). In de Zandregio is de concentratie op landbouwbedrijven (49 mg/l) hoger dan die in natuurgebieden (29 mg/l; Boumans et al., 2012, blz. 34)



Figuur 6.1 Sulfaatconcentraties (gemiddelden in mg/l) in uitspoelingswater (links) en in slootwater (rechts) in de winter op landbouwbedrijven in Nederland; gegevens behorende bij de landbouwpraktijk van de periode 2007-2010.



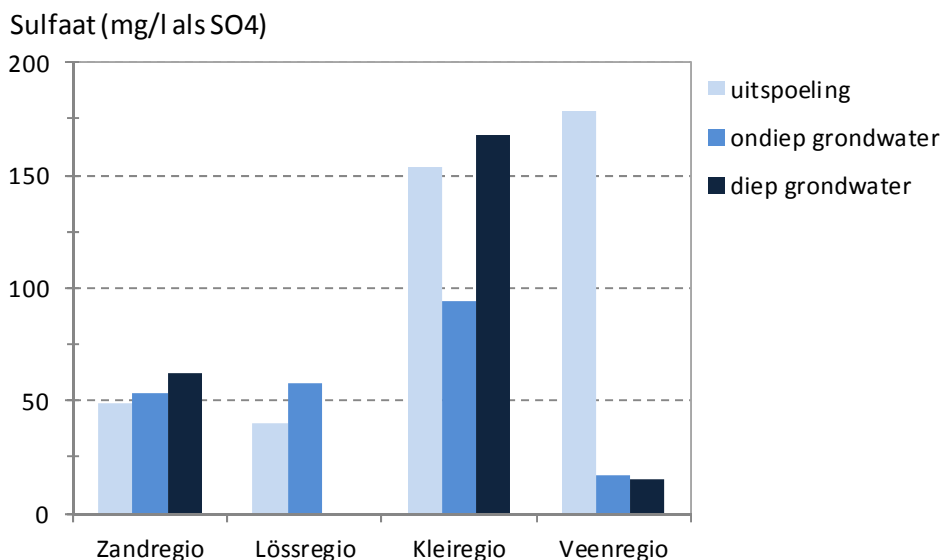
Figuur 6.2 Sulfaatconcentraties (gemiddelden in mg/l) in uitspoelingswater op landbouwbedrijven in de verschillende gebieden binnen de Zand- en Kleiregio; gegevens behorende bij de landbouwpraktijk van de periode 2007-2010.

De sulfaatconcentratie in het grondwater onder landbouwgrond neemt toe met de diepte, met uitzondering van de veenregio waar de concentratie in de watervoerende lagen onder het veenpakket veel lager is dan in het veenpakket (Figuur 6.3 en Bijlage 8). De sulfaatconcentratie in de diepe watervoerende laag onder het kleipakket is iets hoger dan die boven in het kleipakket, echter de ondiepe watervoerende laag heeft juist een duidelijk lagere concentratie. De reden voor dit verschil is onduidelijk. De toename in concentratie met de diepte in de Zandregio, die ook voorkomt onder natuur, weerspiegelt waarschijnlijk de afname van de zwaveldepositie in de tijd (PBL, 2014; Boumans et al., 2012) en de daarmee samenhangende afname van de sulfaatconcentratie in het bovenste grondwater (zie volgende paragraaf voor landbouw en Boumans et al., 2012, voor natuur).

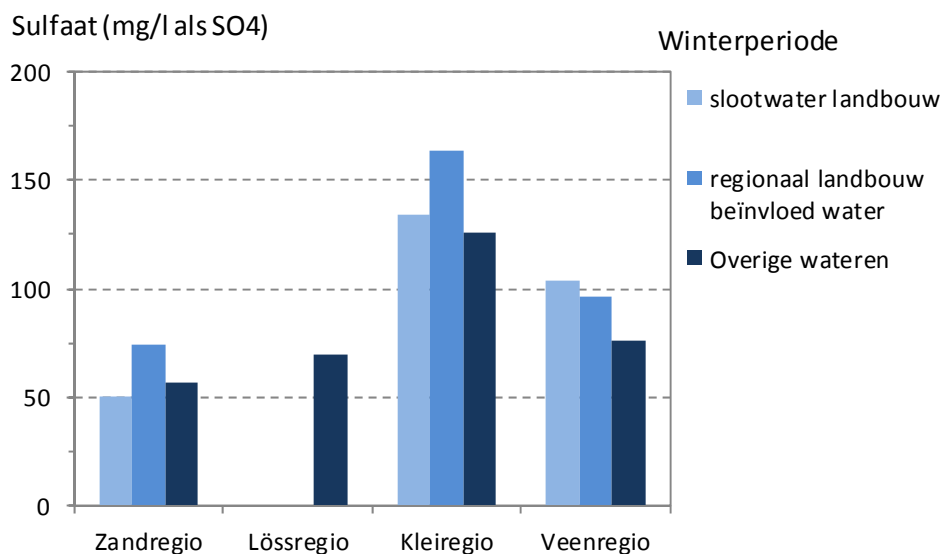
De ouderdom van het grondwater neemt toe met de diepte. Het water dat uitspoelt uit de wortelzone is meestal 1 tot 4 jaar geleden als regenwater geïnfiltreerd in de bodem (zie bijvoorbeeld Verloop et al., 2006). Het freatische grondwater in de Zandregio op 10 m diepte is gemiddeld 10 jaar oud en op 25 m tussen de 25 en 100 jaar (zie kaart 7.16 en 7.17 in Meinardi, 1994). Een deel van het grondwater in de Zandregio is niet freatische (geheel of deels afgeschermd door bijvoorbeeld een in de ondergrond voorkomende kleilaag) en is nog ouder. De zwavelemissies nemen af sinds midden jaren 1970, hierdoor weerspiegelt de sulfaatconcentratie in het uitspoelingswater de zwavelemissies en deposities van de laatste vier jaar, terwijl de concentraties op 25 m diep samenhangen met de emissies/deposities van tussen de 25 en 100 jaar geleden

Het beeld van de sulfaatconcentraties in de verschillende typen oppervlaktewater is niet duidelijk (Figuur 6.4 en Bijlage 8). De concentraties in de regionale landbouw beïnvloede oppervlaktewater zijn gemiddeld hoger dan in het slootwater op landbouwbedrijven. De concentratie in de overige regionale wateren is ongeveer gelijk aan die in het slootwater op landbouwbedrijven, behalve voor de Veenregio waar de concentratie lager is dan die in slootwater

(verschillen zijn niet significant). Mogelijk spelen verschillen in de ligging van meetlocaties hierbij een rol.

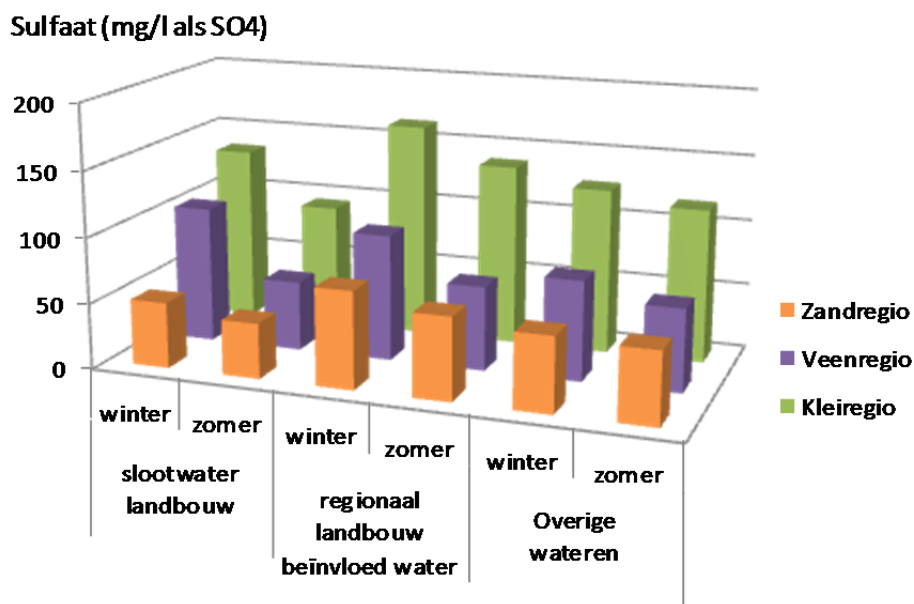


Figuur 6.3 Sulfaatconcentraties (gemiddelden in mg/l) in uitspoelingswater en grondwater onder landbouwgronden in Nederland behorende bij de landbouwpraktijk van de periode 2007-2010.



Figuur 6.4 Sulfaatconcentraties (gemiddelden in mg/l) in oppervlaktewater in de winter in Nederland behorende bij de landbouwpraktijk van de periode 2007-2010.

In de zomer zijn de sulfaatconcentraties in alle typen oppervlaktewater in alle drie de regio's lager dan in de winter. Dit kan veroorzaakt zijn door vastlegging van zwavel in bodemsediment (reductie bij lagere zuurstofconcentraties) en opname door organismen in de zomer. De oorzaken verschillen mogelijk tussen regio's.



Figuur 6.4 Sulfaatconcentraties (gemiddelden in mg/l) in oppervlaktewater in de winter in Nederland behorende bij de landbouwpraktijk van de periode 2007-2010.

Vergelijking met normen

Voor sulfaat in grond- en oppervlaktewater zijn er alleen normen die bedoeld zijn voor de beoordeling van de milieukwaliteit en de formulering van beleid om normoverschrijding terug te dringen. Er is een streefwaarde voor grondwater (150 mg/l als SO₄) en een maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) voor oppervlaktewater (100 mg/l SO₄) (RIVM, 2014). Bij de norm voor grondwater staat vermeld dat in marien beïnvloede gebieden van nature hogere gehalten voorkomen (zout en brak grondwater).

In de Zand- en Lössregio komt overschrijding van de norm voor grondwater beperkt voor (<5%), alleen in het diepe grondwater komt de overschrijding iets vaker voor (< 10%). In de Klei- en Veenregio komt overschrijding van deze norm veelvuldig voor in het uitspoelingswater (40-45%), maar in het ondiepe en diepe grondwater veel minder vaak (<15% in de Kleiregio en <1% in de Veenregio). Voor oppervlaktewater is het beeld vergelijkbaar, weinig overschrijdingen in de Zand- en Lössregio (<15%) en veelvuldig in de Klei- en Veenregio (30-45%).

6.2 Trend

De sulfaatconcentraties in het water op landbouwbedrijven is de afgelopen jaren gedaald, hoewel deze daling niet overal even groot is en evenmin overal significant is (Tabel 6.1). Een uitzondering vormt het slootwater in de Veenregio waar geen daling optreedt. Een uitgebreidere analyse is vooral in de Klei- en Veenregio nodig om na te gaan of er sprake is van een werkelijke trend en dus niet een trend als gevolg van wijzigingen in de steekproef. Dit laatste is een reële mogelijkheid omdat in deze regio's de aanwezigheid van mariene afzettingen een grote invloed hebben op de sulfaatconcentratie. Een eerste analyse (Bijlage 9) wijst uit dat er sprake lijkt van een daling die niet beïnvloed is door steekproefeffecten.

Tabel 6.1 Trend in de sulfaatconcentraties (mg/l per jaar als SO₄) in verschillende typen wateren en significantie¹.

Watertype	Periode	Zandregio	Lössregio	Kleiregio	Veenregio
Uitspoeling	-	-1 ^{***}	-2	-8/-12 ^{**}	-3
Ondiep gw ²	-				
landbouw		-1 ^{***}		-2 ^{***}	
natuur		-0,4 ^{***}		-2	
overig		-0,7 ^{***}		-3	
Diep gw	-				
landbouw		+1 ^{**}		0	
natuur		+1 ^{**}		-7	
overig		+0,7 ^{**}		-1	
Slotwater	winter	-2 ^{**}		-4	0
landbouw	zomer	-3		-7	+4
Regionaal	winter	-1		-2	-2 ^{**}
landbouw	zomer	-1		-1,5	-2 [*]
Regionaal	winter	-1 ^{***}		-3 ^{***}	-3 ^{***}
overig	zomer	-1 ^{***}		-1,5 ^{***}	-3 ^{***}

¹ Significantie: *** p < 0,001; ** 0,01 < p < 0,001; * 0,05 < p < 0,01

² gw = grondwater

In de Zandregio daalt de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater, net als in het bovenste grondwater (uitspoeling), maar stijgt in het diepe grondwater. De kwaliteit van het bovenste en ondiepe grondwater is waarschijnlijk beïnvloed door de afname van de emissies en depositie van zwavel in de afgelopen 35 à 40 jaar. Dit komt overeen met de door Boumans et al. (2012) geconstateerd daling van de sulfaatconcentratie in het grondwater in natuurgebieden.

De stijgende concentratie in het diepe grondwater hangt waarschijnlijk samen met de historische toename van de zwavelbelasting tot midden jaren zeventig van de vorige eeuw. Als dat zo is, dan zou in de toekomst ook in het diepe grondwater de sulfaatconcentraties moeten gaan afnemen (na-ijleffect).

In het oppervlaktewater, dat mede-gevoed wordt door het grondwater, vinden we in drie van de vier grondsoortregio's een daling in sulfaatconcentratie. Alleen in de Lössregio is er geen significante verandering in de concentratie.

Referenties

- Baumann, R.A., Hooijboer, A.E.J., Vrijhoef, A., Fraters, B., Kotte, M., Daatselaar, C.H.G., Olsthoorn, C.S.M., Bosma, J.N. (2012) Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland, periode 1992-2010. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680716007.
- BLGG (2011) S-advies aangepast op geringe depositie. Webpagina bezocht 18 augustus 2014, <http://blgg.agroxpertus.nl/expertise/bemesting/artikelen/s-advies-aangepast-op-geringe-depositie>.
- Boumans, L., Wattel-Koekkoek, E.J.W., van der Swaluw, E. (2012) Veranderingen in regen- en grondwaterkwaliteit als gevolg van atmosferische emissiereducties : Verzuring en vermesting 1989-2010. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM rapport 680720005.
- Boukes, H., Rietjens, I.M.C.M., Smolders, A.J.P. (2014) Zwavel, zware metalen en grondwater in Deurne. 's Hertogenbosch, In opdracht van: Waterschap Aa en Maas, Provincie Noord-Brabant, Gemeente Deurne.
- Buijsman, E., Aben, J.J.M., Hettelingh, J.P., Van Hinsberg, A., Koelemeijer, R.B.A. & R.J.M. Maas (2010). Zure regen, een analyse van 30 jaar verzuringsproblematiek in Nederland. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven, PBL-rapport 500093007.
- CDM (2014). Bemesting met zwavelhoudende meststoffen. Advies Commissie van Deskundige Meststoffenwet, kenmerk: 14/N&M0175, datum: 10 oktober 2014.
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2012). Bemestingadvies. p.a. Animal Sciences Group, Lelystad. Webpagina bezocht 8 oktober 2014, <http://www.bemestingsadvies.nl/bemestingsadvies/Adviesbasis%20januari%202014%20def.pdf>
- Darwinkel, A., Kusters, E. (1999) Zwavelgebrek ligt op de loer : symptomen in tarwe moeilijk te onderscheiden van stikstoftekort. Oogst : weekblad voor de agrarische ondernemer. 12(7): 42-43.
- De Goffau, A., Doornewaard, G.J., Buis, E. (2013). Landelijk meetnet effecten mestbeleid. Resultaten 2009 en 2010. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 680717030.
- De Goffau, A., Van Leeuwen, T.C., Van den Ham, A., Doornewaard, G.J., Fraters, B. (2012). Minerals Policy Monitoring Programme Report 2007 - 2010. Methods and Procedures. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands, Bilthoven, RIVM Report 680717018.
- De Haan J.J., Van Geel, W. (2013) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen – secundaire hoofdelementen. Kennisakker.nl; Webpagina bezocht 8 oktober 2014, <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/adviesbasis-voor-de-bemesting-van-akkerbouwgewassen-secundaire-hoofdelem>
- 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 & Research centre), Alterra-rapport 2516. 48 blz.
- Finck, A. Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Zweite neubearbeitete Auflage. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim.

- Fraters, B., Van Leeuwen, T.C., Reijs, J., Boumans, L.J.M., Aarts, H.F.M., Daatselaar, C.H.G., Doornewaard, G.J., De Hoop, D.W., Schroder, J.J., Velthof, G.L., Zwart, M.H. (2007) Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie. Beschrijving van de meetnetopzet voor de periode 2006-2009 en de inhoud van de rapportages vanaf 2008. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680717001.
- Fraters, B., Boumans, L.J.M. (2005) De opzet van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid voor 2004 en daarna. Uitbreiding van LMM voor onderbouwing van Nederlands beleid en door Europese monitorverplichtingen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680100001.
- Hooijboer, A.E.J., De Koeijer, T.J., Boumans, L.J.M., Van den Ham, A., Daatselaar, C.H.G., Doornewaard, G.J., Buis, E. (2014). Landbouwpraktijk en waterkwaliteit op landbouwbedrijven aangemeld voor derogatie. Resultaten meetjaar 2012 in het derogatiemeetnet. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 680717037.
- Klein, J., Rozemeijer, J.C., Broers, H.P. (2012a) Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater Deelrapport A: Opzet Meetnet. Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Deltares rapport 1202337-000-BGS-0007, Utrecht.
- Klein, J., Rozemeijer, J.C., Broers, H.P., Van der Grift, B. (2012b) Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Deelrapport B: Toestand en trends. Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2012. Deltares rapport 1202337-000-BGS-0008, Utrecht.
- Meinardi, C.R. (1994) Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands. Proefschrift VU Amsterdam. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 715501004.
- Paulissen, M.P.C.P., Nijboer, R.C., Verdonschot, P.F.M. (2007) Grondwater in perspectief. Een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 1447.
- PPP Agro Advies (2012) Pas op met zwavelbemesting. Melkvee.nl, webpagina bezocht 18 augustus 2014, <http://www.melkvee.nl/nieuws/1587/pas-op-met-zwavelbemesting>.
- PBL (2014) Compendium voor de leefomgeving. Verzurende depositie, 1981-2012. Webpagina bezocht 18 augustus 2014, <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0184-Verzurende-depositie.html?i=14-66>.
- RIVM (2014) Risico's van Stoffen, milieukwaliteitsnormen voor sulfaat. Webpagina bezocht 24 september 2014, http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Eindresultaat?groep=normen&waarde=sulfaat&lijst=milieukwaliteit&veld=substancename_tagged.
- Schoumans, O.F., Groenendijk, P., Renaud, L.V., Van Dijk, W., Schröder, J.J., Van den Ham, A., Hooijboer, A.E.J. (2012) Verhoogde nitraatconcentraties in het Zuidelijke zandgebied. Analyse van de mogelijke oorzaken. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2319.
- Van Duijvenbooden, W. (1987). Groundwater quality monitoring networks: design and results. In: Van Duijvenbooden, W. en Van Wageningh, H.G. (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Notulen van de internationale conferentie, Noordwijk aan Zee, 30 maart – 3 april 1987, pp. 179-191.
- Van Vliet, M.E., Vrijhoef, A., Boumans, L.J.M., Wattel-Koekkoek, E.J.W. (2010) De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland : In het jaar 2008 en de verandering daarvan in 1984-2008. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680721005.

- Verloop, J., Boumans, L.J.M., Van Keulen, H., Oenema, J., Hilhorst, G.J., Aarts, H.F.M., Sebek, L.B.J. (2006) Reducing nitrate leaching to groundwater in an intensive dairy farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74 (1), pp. 59-74.
- Wattel-Koekkoek E.J.W., Reijs J.W., Leeuwen T.C. van, Doornewaard G.J., Fraters B., Swen H.M., Boumans L.J.M. (2008) Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid. LMM-jaarrapport 2003. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 680717003.
- Wever, D., Bronswijk, J.J.B. (1998) Optimalisatie van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM rapport 714851002.
- Zhang, Y. (2012) Coupled biogeochemical dynamics of nitrogen and sulfur in a sandy aquifer and implications for groundwater quality [De biogeochemische dynamiek van stikstof en zwavel in een zandige aquifer en de gevolgen voor de grondwaterkwaliteit]. Universiteit Utrecht, proefschrift.

Bijlage 1 Overzichten van meetlocaties

B1.1 Aantal LMM-bedrijven per regio per bedrijfstype per jaar

In onderstaande tabellen B1.1 tot en met B1.4 is per regio het aantal landbouwbedrijven vermeld per bedrijfstype per jaar dat heeft deelgenomen aan het LMM.

Tabel B1.1 Aantal landbouwbedrijven in het basismetnet LMM in de Zandregio waarvoor gegevens beschikbaar zijn per bedrijfstype per landbouwpraktijkjaar.

Jaar	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
1991	18	67	0	7
1992	19	65	0	5
1993	0	32	0	3
1994	18	63	0	3
1995	0	0	0	0
1996	10	14	0	3
1997	11	17	6	6
1998	8	18	11	5
1999	8	25	4	7
2000	8	29	3	2
2001	10	30	7	8
2002	17	38	12	13
2003	14	59	11	8
2004	23	73	17	14
2005	17	121	14	20
2006	29	122	16	26
2007	31	112	19	29
2008	30	118	20	23
2009	29	114	16	29
2010	29	111	5	28

Tabel B1.2 Aantal landbouwbedrijven in het basismetnet LMM in de Lösregio waarvoor gegevens beschikbaar zijn per bedrijfstype per landbouwpraktijkjaar.

Jaar	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
2001	6	13	0	4
2002	7	13	0	3
2003	8	11	0	2
2004	6	12	0	2
2005	14	23	0	8
2006	13	19	0	7
2007	12	18	0	10
2008	12	18	0	10
2009	12	18	0	10
2010	15	19	0	8

Tabel B1.3 Aantal landbouwbedrijven in het basismetnet LMM in de Kleiregio waarvoor gegevens beschikbaar zijn per bedrijfstype per landbouwpraktijkjaar.

Jaar	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
1995	0	1	0	0
1996	4	2	0	0
1997	11	20	0	3
1998	26	22	0	4
1999	27	25	0	4
2000	25	27	0	4
2001	31	37	0	7
2002	16	34	0	3
2003	38	44	1	4
2004	29	27	0	4
2005	28	29	1	6
2006	22	60	1	13
2007	25	59	1	14
2008	30	60	0	11
2009	28	63	0	12
2010	28	61	0	10

Tabel B1.4 Aantal landbouwbedrijven in het basismetnet LMM in de Veenregio waarvoor gegevens beschikbaar zijn per bedrijfstype per landbouwpraktijkjaar.

Jaar	Akkerbouw	Melkvee	Hokdier	Overig dier
1991	0	1	0	0
1995	0	17	0	0
1997	0	1	0	0
1998	0	16	0	0
2000	0	9	0	0
2001	0	20	0	1
2002	0	8	0	0
2003	0	13	0	0
2004	0	19	0	0
2005	0	20	0	0
2006	0	52	0	0
2007	0	52	0	0
2008	0	51	0	0
2009	0	52	0	0
2010	0	51	0	0

B1.2 Aantal meetpunten in het LMG waarvoor meetgegevens beschikbaar zijn

Tabel B1.5 Aantal meetpunten in het LMG waarvoor gegevens beschikbaar zijn.

Jaar	Ondiep filter Filter1	Midden filter Filter 2	Diep filter Filter 3
1979	28	28	27
1980	191	151	181
1981	247	118	241
1982	167	38	158
1983	279	43	258
1984	359	32	337
1985	354	15	337
1986	361	13	335
1987	359	13	335
1988	363	22	341
1989	325	14	305
1990	390	22	364
1991	364	20	337
1992	360	23	334
1993	349	18	329
1994	289	12	270
1995	364	12	337
1996	323	19	292
1997	327	3	72
1998	228	9	163
1999	311	5	51
2000	206	5	140
2001	320	3	26
2002	209	8	112
2003	305	8	57
2004	169	3	92
2005	363	2	53
2006	247	19	139
2007	306	5	52
2008	227	7	138
2009	330	4	50
2010	256	21	163
2011	301	4	63
2012	215	8	128
Totale periode	394	380	361

B1.3 Aantal meetpunten in oppervlaktewater per regio

In Tabel B.1.6 is het aantal meetpunten in regionale wateren en aantal beschikbare gegevens vermeld zoals verstrekt door het Informatiehuis Water per regio, volgens de LMM-indeling, en per jaar. Voor minder dan 10% van de locaties was het niet mogelijk deze aan een LMM-regio te koppelen. Voor bijna een derde van de locaties bemonsterd in 2011 was het door het ontbreken van voldoende informatie niet mogelijk een koppeling te maken.

Tabel B1.6 Aantal oppervlaktewaterkwaliteitsgegevens (IHW-data) en bemonsteringslocaties per jaar, uitgesplitst naar LMM-regio

Jaar	Aantal data						Aantal bemonsteringlocaties					
	Totaal	Zand	Klei	Veen	Löss	NN*	Totaal	Zand	Klei	Veen	Löss	NN*
1991	7.119	3.472	2.207	995	206	239	830	368	250	160	24	28
1992	7.531	3.578	2.707	832	199	215	945	408	339	149	24	25
1993	8.960	4.140	3.120	1308	156	236	1.106	447	436	177	19	27
1994	8.967	3.886	3.220	1480	137	244	1.048	450	361	195	13	29
1995	9.313	3.653	4.014	1253	87	294	1.030	433	413	138	12	34
1996	9.389	4.211	3.117	1610	109	342	1.052	468	353	178	16	37
1997	8.653	3.411	3.110	1684	145	303	1.013	363	356	245	16	33
1998	7.819	3.286	2.941	1130	149	313	944	361	376	149	23	35
1999	7.945	3.306	2.887	954	120	354	1.009	438	388	123	16	44
2000	8.863	4.154	2.941	1293	145	330	1.055	476	351	173	21	34
2001	9.257	4.018	3.363	1344	112	420	1.141	469	414	200	15	43
2002	10.002	4.106	3.920	1307	117	552	1.268	476	511	196	15	70
2003	10.221	3.806	4.320	1481	161	453	1.343	513	497	208	33	92
2004	9.842	4.168	3.439	1447	155	633	1.328	519	422	209	27	151
2005	11.673	4.125	5.430	1578	104	436	1.556	522	634	232	17	151
2006	12.876	5.650	4.901	1688	169	468	1.584	625	553	231	32	143
2007	19.173	6.837	8.551	2927	163	695	2.119	728	863	341	25	162
2008	22.072	7.171	9.538	4193	184	986	2.322	759	940	428	34	161
2009	22.322	8.328	9.655	3098	282	959	2.731	989	1.047	346	52	297
2010	26.406	10.291	9.856	5003	394	862	3.318	1.244	1.161	550	67	296
2011	25.614	6.544	5.692	6155	233	6.990	3.055	743	580	616	43	1.073
Totaal	264.016	102.465	98.929	42.760	3.538	16.324	7.701	2.410	2.544	1.125	126	1.496

* Regio-indeling niet beschikbaar, omdat punt niet binnen één van de LMM-regio's ligt (open water) of omdat coördinaten niet beschikbaar zijn.

Bijlage 2 Percentielwaarden voor data LMM, TMV, LMG en IHW, gehele meetperiode en periode 2007-2010.

In Tabel B2.1 staan de percentiel-waarden per regio en watertype (wt) van de gegevens van alle beschikbare jaren, in Tabel 2 is het overzicht beperkt tot de meest recente jaren (2007-2010). Voor meerdere combinaties zijn geen of weinig gegevens beschikbaar. De lage (<25%) of hoge (>75%) percentielwaarden zijn minder betrouwbaar bij minder dan 100 waarnemingen¹.

Tabel B2.1 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en watertype (wt) in het LMM. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de gehele meetperiode.

Zand																								
wt ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal		
bv	15	16	18	19	21	23	24	24	31	45	47	49	52	54	56	57	60	62	70	106	124	19		
dr	20	26	29	31	33	36	39	40	44	46	49	51	54	57	61	69	78	89	104	124	184	274		
gd	16	22	26	29	32	34	36	38	41	44	46	49	52	54	58	62	68	77	89	109	165	1885		
gp	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0		
sl	6	11	15	19	23	26	28	30	35	38	41	45	49	53	57	63	69	77	90	115	153	520		
Löss																								
wt ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal		
bv	10	16	19	22	24	25	26	27	29	30	31	33	35	37	40	44	48	53	63	137	425	310		
dr	45	46	46	46	46	46	46	46	47	47	47	47	47	47	48	48	48	48	49	49	49	4		
gd	2	6	11	16	20	23	23	24	27	29	31	35	37	39	42	50	61	68	85	110	152	59		
gp	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0		
sl	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50	51	51	51	3		
Klei																								
wt ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal		
bv	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0		
dr	20	36	51	59	70	78	86	91	103	114	126	141	158	172	192	213	256	310	411	627	902	752		
gd	19	29	34	40	46	56	61	66	76	85	96	112	129	152	192	226	250	314	419	791	1457	380		
gp	64	64	65	65	65	65	66	67	68	70	71	75	79	83	88	92	102	112	122	132	140	5		
sl	13	23	32	37	43	47	53	58	64	71	81	90	98	107	120	138	163	202	298	431	731	1035		

¹ A clear indication concerning the minimum number of observations necessary to estimate a given percentile cannot be found in the literature. Different options can be used, none of them being a widely accepted standard. A very simple option is to require that the calculated percentile must at least be different from the maximum value within the sample. This means that at least 20 observations are needed to identify the single observation at the 95th percentile and 100 observations are needed for the 99th percentile. Bron: EFSA (2011) @ <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2097.pdf>

Veen	wt ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
bv	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
dr	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
gd	7	21	33	40	52	67	80	92	114	130	142	157	180	199	219	237	264	302	376	508	864	864	382	
gp	17	29	40	49	71	75	87	106	137	155	169	175	191	219	235	286	305	326	334	353	380	380	42	
sl	11	18	24	28	32	37	42	46	51	57	62	68	74	84	93	103	118	144	184	237	513	513	540	

1 Watertypen (wt) zijn: bv = bodemvocht, dr = drainwater, gd = grondwater, gp = greppelwater en sl = slootwater

2 Een waarneming is de gemiddelde sulfaatconcentratie van alle individuele monsters per watertype per bedrijf per jaar.

Tabel B2.2 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en watertype (wt) in het LMM. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de periode 2007-2010.

Regio	wt ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
zand	bv	17	17	18	19	21	23	24	24	25	27	36	45	47	48	50	54	57	59	60	62	62	62	14
	dr	19	26	28	30	33	34	36	39	40	43	45	49	51	54	56	63	73	85	97	111	136	136	179
	gd	16	22	26	29	31	33	35	37	40	42	45	48	50	53	55	59	63	72	85	103	153	153	900
	gp	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
	sl	6	9	13	17	20	24	26	28	31	35	38	42	47	51	55	61	66	75	86	110	136	136	418
löss	bv	8	16	18	21	23	24	25	26	27	28	30	31	33	35	38	43	47	50	59	122	226	226	162
	dr	45	46	46	46	46	46	47	47	47	47	47	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	3
	gd	2	4	6	9	15	16	19	20	23	24	25	28	29	31	34	37	39	54	64	66	78	78	26
	gp	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
	sl	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50	51	51	51	51	3
klei	bv	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
	dr	19	36	48	53	67	77	82	87	94	104	110	125	146	158	169	184	200	220	259	373	748	748	275
	gd	20	24	30	38	45	51	57	59	62	66	70	82	95	106	141	195	227	264	392	556	965	965	134
	gp	65	66	67	68	68	69	70	71	75	78	81	85	88	91	97	104	112	120	127	135	141	141	4
	sl	13	22	30	34	39	44	48	51	58	64	70	80	89	97	108	124	142	182	235	387	712	712	713
veen	bv	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
	dr	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0
	gd	7	15	29	37	45	61	73	85	101	117	138	155	173	189	218	240	261	295	370	473	861	861	206
	gp	16	27	32	45	65	73	75	89	109	152	162	170	176	193	225	280	297	313	326	338	366	366	32
	sl	8	16	21	25	28	32	37	40	45	48	52	59	66	71	82	91	104	121	151	204	486	486	379

1 Watertypen (wt) zijn: bv = bodemvocht, dr = drainwater, gd = grondwater, gp = greppelwater en sl = slootwater

2 Een waarneming is de gemiddelde sulfaatconcentratie van alle individuele monsters per watertype per bedrijf per jaar.

Tabel B2.3 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en filter in het LMG. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de gehele meetperiode.

Zand																						
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
1	0	1	7	13	19	24	28	33	38	43	49	55	60	65	72	81	91	104	127	162	250	6,125
2	1	3	5	9	14	20	24	27	34	39	47	52	58	64	70	78	89	102	123	163	290	354
3	0	0	1	3	6	10	15	18	22	26	31	37	42	49	57	68	78	91	113	160	360	3,864
Löss																						
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
1	2	6	15	34	39	41	45	50	53	56	59	64	73	80	89	94	102	122	182	258	358	182
2	2	6	31	33	36	41	44	47	48	50	51	51	51	53	56	63	130	191	265	322	379	56
3	1	1	1	2	2	2	2	3	11	21	25	30	32	38	50	57	63	74	86	98	106	45
Klei																						
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
1	0	0	0	0	1	2	4	7	13	24	35	42	49	56	65	77	98	135	202	521	1523	2504
2	0	0	0	2	3	4	6	8	11	14	21	29	56	62	77	100	174	205	456	919	1274	227
3	0	0	0	0	0	1	2	4	7	11	17	27	40	50	65	76	93	149	363	1100	1984	1,941
Veen																						
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
1	0	0	0	0	0	0	1	1	3	5	7	10	17	24	31	43	55	65	82	137	254	981
2	0	0	0	0	0	1	2	4	6	7	8	11	13	25	42	47	56	71	84	90	123	90
3	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	4	5	6	9	16	29	40	51	71	101	249	767

¹ Filter1: ondiep filter (5-15 m-mv), Filter 2: midden filter (10-20 m-mv) en Filter 3: diep filter (15-30 m-mv).

Tabel B2.4 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en filter in het LMG. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor meetperiode 2008-2011.

Zand																							
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
1	0	0	5	10	14	19	23	26	30	34	39	43	49	55	60	65	73	89	114	133	183	798	
3	0	0	0	1	5	11	15	22	26	31	37	42	47	53	63	78	93	123	144	173	352	280	
Löss																							
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
1	7	7	33	45	49	53	54	55	58	59	62	70	86	109	111	118	124	133	155	191	216	18	
3																						1	
Klei																							
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
1	0	0	0	0	1	2	3	8	11	21	28	33	40	44	51	59	69	100	163	454	1083	202	
3	0	0	0	0	0	0	1	2	3	10	18	35	48	67	69	73	80	145	398	897	1873	87	
Veen																							
Filter ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	34%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	9	16	19	23	27	31	38	68	127	137	96	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	6	22	31	35	43	47	133	46	

¹ Filter1: ondiep filter (5-15 m-mv), Filter 2: midden filter (10-20 m-mv) en Filter 3: diep filter (15-30 m-mv)

Tabel B2.5 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en seizoen volgens de gegevens oppervlaktewaterkwaliteit van het IHW. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de gehele meetperiode.

Zand																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	5	16	23	28	33	38	43	47	50	54	57	61	64	68	72	78	83	91	103	126	203	10393
Zomer	5	13	19	23	28	33	38	43	47	50	54	57	61	65	69	74	81	89	100	121	232	11486
Löss																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	5	32	36	39	43	45	48	49	50	53	55	57	61	67	74	79	87	98	110	122	161	449
Zomer	12	29	35	38	43	46	48	49	50	52	54	55	58	66	75	80	84	92	101	131	626	522
Klei																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	13	29	39	45	49	53	58	62	68	74	84	94	106	120	138	164	195	239	320	472	904	9387
Zomer	10	25	36	42	47	51	54	57	62	67	73	82	91	101	115	133	157	200	270	440	1094	10864
Veen																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	10	17	22	27	32	38	44	49	55	61	68	75	84	93	103	114	128	143	165	212	307	4223
Zomer	9	16	20	25	30	36	42	46	50	55	60	65	71	77	86	95	106	118	132	163	230	5087

¹ Winterseizoen betreft de maanden oktober t/m maart; het zomerseizoen de maanden april t/m september

Tabel B2.6 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en seizoen volgens de gegevens oppervlaktewaterkwaliteit van de MNLISO meetpunten binnen het IHW. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de gehele meetperiode.

Zand																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	22	29	34	39	43	48	51	55	59	61	64	69	73	77	81	85	90	100	112	128	175	494	
Zomer	12	17	21	25	30	34	38	44	48	51	55	60	65	71	74	79	89	99	107	123	157	538	
Klei																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	26	34	42	48	54	61	66	74	81	88	93	105	115	126	140	158	199	282	397	518	901	374	
Zomer	23	29	39	45	49	53	57	61	65	68	76	81	88	96	103	121	140	175	284	524	1243	455	
Veen																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	23	28	34	48	52	67	70	74	83	86	89	101	109	115	119	137	163	207	273	340	431	99	
Zomer	11	15	19	32	37	41	44	50	57	61	65	67	70	76	83	93	104	112	136	172	201	113	

¹ Winterseizoen betreft de maanden oktober t/m maart; het zomerseizoen de maanden april t/m september

Tabel B2.7 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en seizoen volgens de gegevens oppervlaktewaterkwaliteit van het IHW. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor meetperiode 2008-2011.

Zand																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	3	9	17	22	26	30	35	40	44	54	51	55	58	62	66	72	78	85	97	119	205	3310
Zomer	3	8	15	19	23	27	31	37	42	50	50	54	57	60	64	68	75	83	94	113	254	3619
Löss																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	5	5	25	32	34	35	38	41	46	53	48	51	53	58	62	69	73	87	101	115	839	110
Zomer	7	22	30	34	37	39	45	48	49	52	54	55	57	63	73	78	82	89	106	147	1393	184
Klei																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	9	24	33	40	44	48	51	55	59	74	72	82	92	104	117	136	162	195	255	390	853	3343
Zomer	7	19	29	36	41	45	49	52	54	67	62	68	76	84	94	104	120	145	214	400	1100	3602
Veen																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	9	14	21	25	31	37	43	49	54	61	67	72	78	85	92	101	111	122	140	169	282	1762
Zomer	8	14	18	23	29	34	39	43	47	55	55	59	64	68	74	82	89	97	112	136	225	1914

¹ Winterseizoen betreft de maanden oktober t/m maart; het zomerseizoen de maanden april t/m september

Tabel B2.8 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en seizoen volgens de gegevens oppervlaktewaterkwaliteit van de MNLISO meetpunten binnen het IHW. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor periode 2008-2011.

Zand																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	18	24	29	31	37	42	46	49	52	58	62	64	70	75	78	85	91	108	120	133	434	139
Zomer	13	17	19	22	26	30	33	36	44	49	54	59	64	69	75	84	95	99	108	121	271	150
Klei																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	26	38	45	48	56	60	64	73	80	88	92	107	120	130	140	158	215	298	395	574	804	111
Zomer	22	30	42	45	48	50	53	59	63	65	68	70	77	85	100	116	129	172	290	533	1193	129
Veen																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	21	26	28	36	51	52	67	69	72	78	85	87	89	96	102	108	110	115	140	280	345	49
Zomer	13	17	22	31	36	38	43	45	50	54	59	63	65	67	68	75	84	90	94	165	193	53

¹ Winterseizoen betreft de maanden oktober t/m maart; het zomerseizoen de maanden april t/m september

Tabel B2.9 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en seizoen volgens de gegevens oppervlaktewaterkwaliteit van het IHW exclusief de MNLSO-meetpunten. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de gehele meetperiode.

Zand																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	4	15	22	27	32	38	43	47	50	53	57	60	64	68	72	77	83	91	102	126	205	9902
Zomer	4	13	19	23	28	33	38	43	46	50	54	57	61	64	69	74	81	89	100	121	236	10952
Löss																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	5	32	36	39	43	45	48	49	50	53	55	57	61	67	74	79	87	98	110	122	161	449
Zomer	12	29	35	38	43	46	48	49	50	52	54	55	58	66	75	80	84	92	101	131	626	522
Klei																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	13	28	38	45	49	53	57	62	67	73	83	93	105	120	138	163	194	237	315	468	903	9034
Zomer	10	24	36	42	47	51	54	57	61	66	73	82	91	102	116	133	158	200	270	436	1075	10437
Veen																						
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal
Winter	10	17	22	27	31	38	43	49	54	60	67	74	83	92	102	113	127	142	163	208	300	4107
Zomer	9	16	20	25	30	36	42	46	50	55	59	65	71	78	86	95	106	118	132	163	230	4950

¹ Winterseizoen betreft de maanden oktober t/m maart; het zomerseizoen de maanden april t/m september

Tabel B2.10 Sulfaatconcentraties (mg/l) per regio en seizoen volgens de gegevens oppervlaktewaterkwaliteit van het IHW exclusief de MNLSO-meetpunten. Percentielwaarden en aantal waarnemingen² voor de periode 2008-2011.

Zand																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	3	9	17	22	26	30	34	39	44	48	51	54	58	61	66	71	78	84	97	118	205	3174	
Zomer	3	8	14	19	22	27	31	37	42	46	50	53	57	60	63	68	74	82	94	112	255	3472	
Löss																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	5	5	25	32	34	35	38	41	46	47	48	51	53	58	62	69	73	87	101	115	839	110	
Zomer	7	22	30	34	37	39	45	48	49	51	54	55	57	63	73	78	82	89	106	147	1393	184	
Klei																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	9	24	33	39	44	47	51	55	59	64	71	81	90	102	116	135	162	192	248	373	854	3231	
Zomer	7	19	29	36	41	45	48	51	54	57	61	68	76	84	93	104	120	145	213	397	1086	3473	
Veen																							
Seizoen ¹	1%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	99%	aantal	
Winter	9	14	20	25	31	37	42	48	53	59	66	71	78	85	92	100	110	122	138	168	266	1718	
Zomer	8	14	18	23	29	34	39	43	47	50	55	59	64	68	74	82	89	97	112	135	227	1866	

¹ Winterseizoen betreft de maanden oktober t/m maart; het zomerseizoen de maanden april t/m september

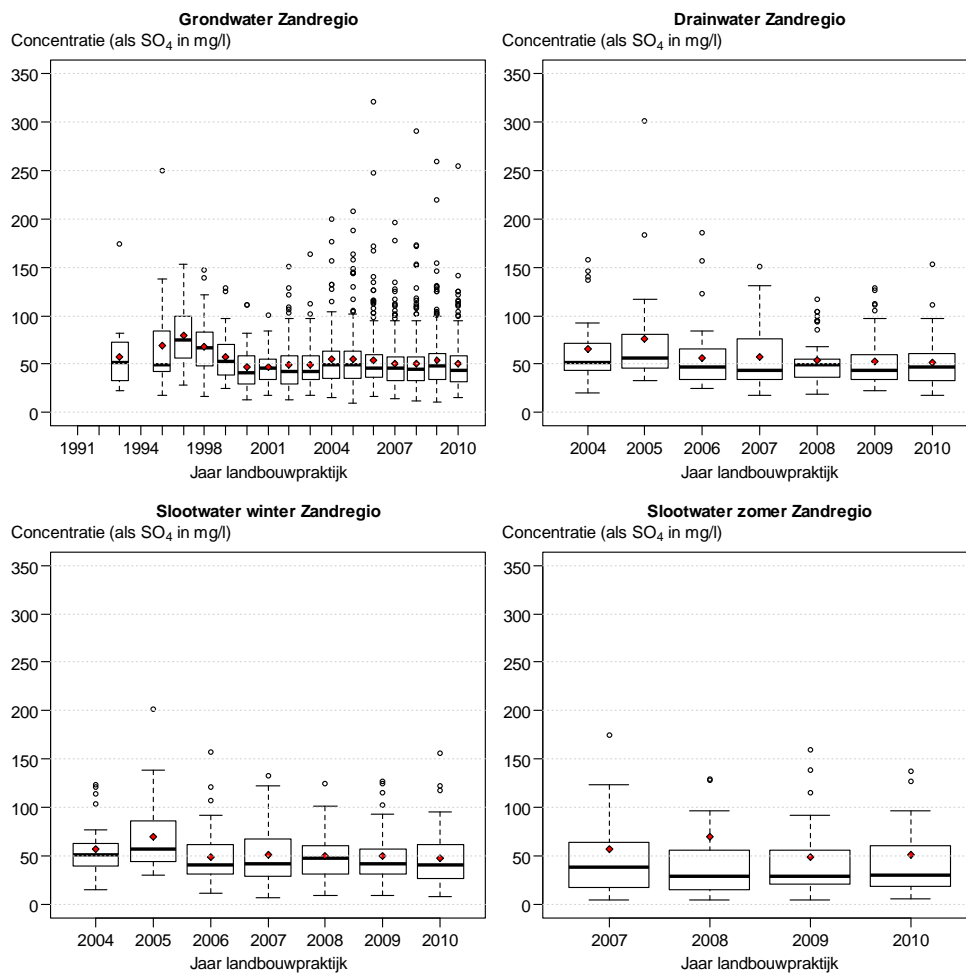
Tabel B2.11 Sulfaatconcentraties¹ (mg/l) in de bovenste meter van het grondwater onder natuurgebieden in de Zandregio per meetronde.

Ronde	aantal	gem	staf	min	5%	15%	30%	50%	70%	85%	95%	max	nov
1989/1990	152	61	4	9	17	28	37	49	65	98	137	351	3
2000/2002	147	42	3	5	10	13	19	27	43	70	120	277	3
2003/2004	145	43	4	4	9	12	17	27	48	78	122	325	3
2006/2008	137	37	4	4	7	11	16	24	36	64	101	396	1
2009/2011	145	37	3	3	6	11	16	20	35	72	114	250	3

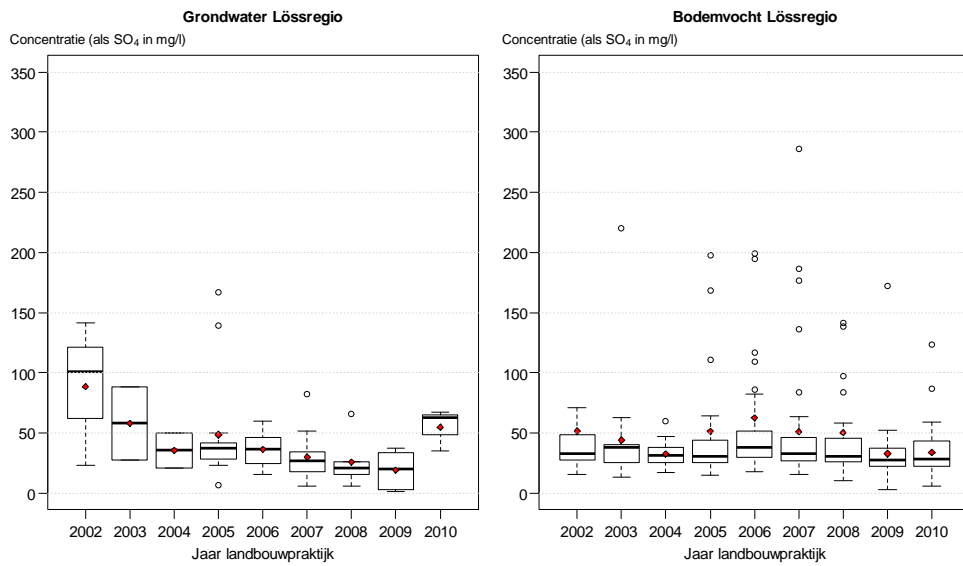
¹ Aantal waarnemingen, gemiddelde (gem), standaard fout (staf), minimum (min) percentielwaarden, maximum (max) en aantal overschrijdingen van de norm (nov) (norm = 150 mg/l).
 Gemiddelde en standaard fout: het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde is ongeveer gelijk aan het gemiddelde ± 2 * de standaard fout (zie voor voorbeeld Tabel 3.1 in hoofdtekst).

Bron: Trendmeetnet Verzuring (TMV) (Boumans, 2014, persoonlijke communicatie)

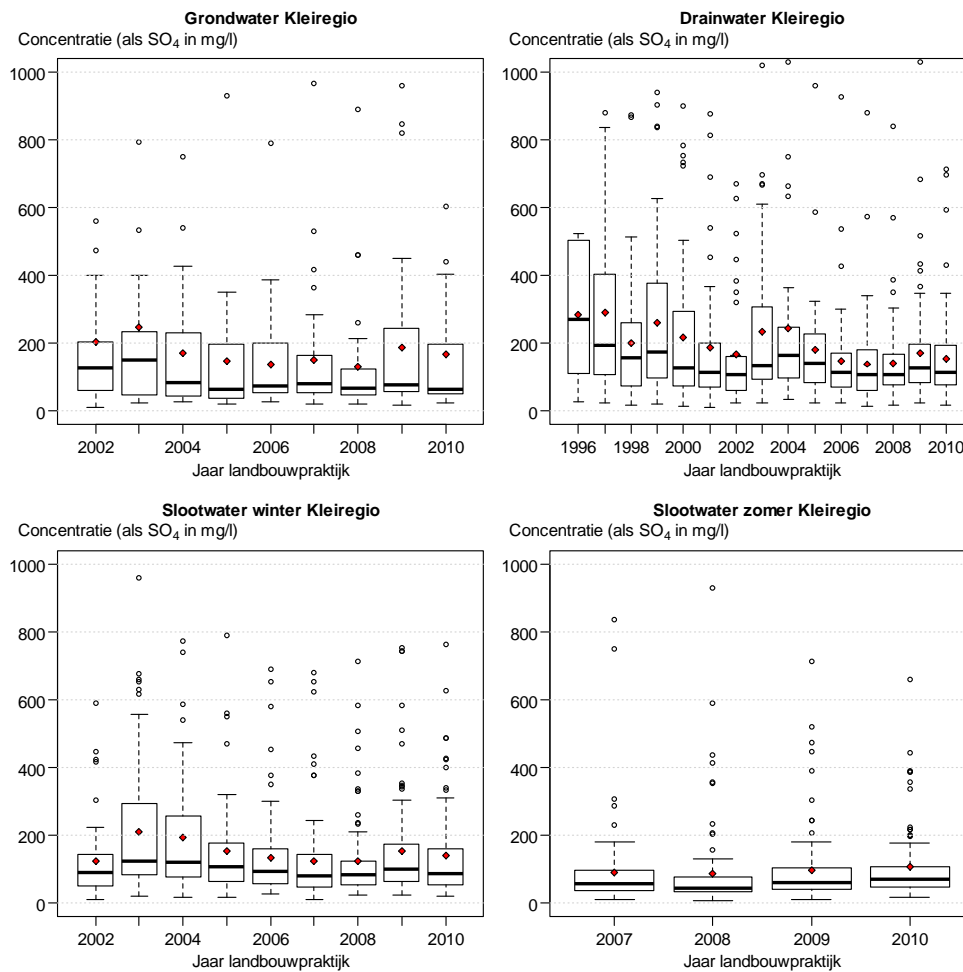
Bijlage 3 Trendfiguren met alle LMM-waarnemingen



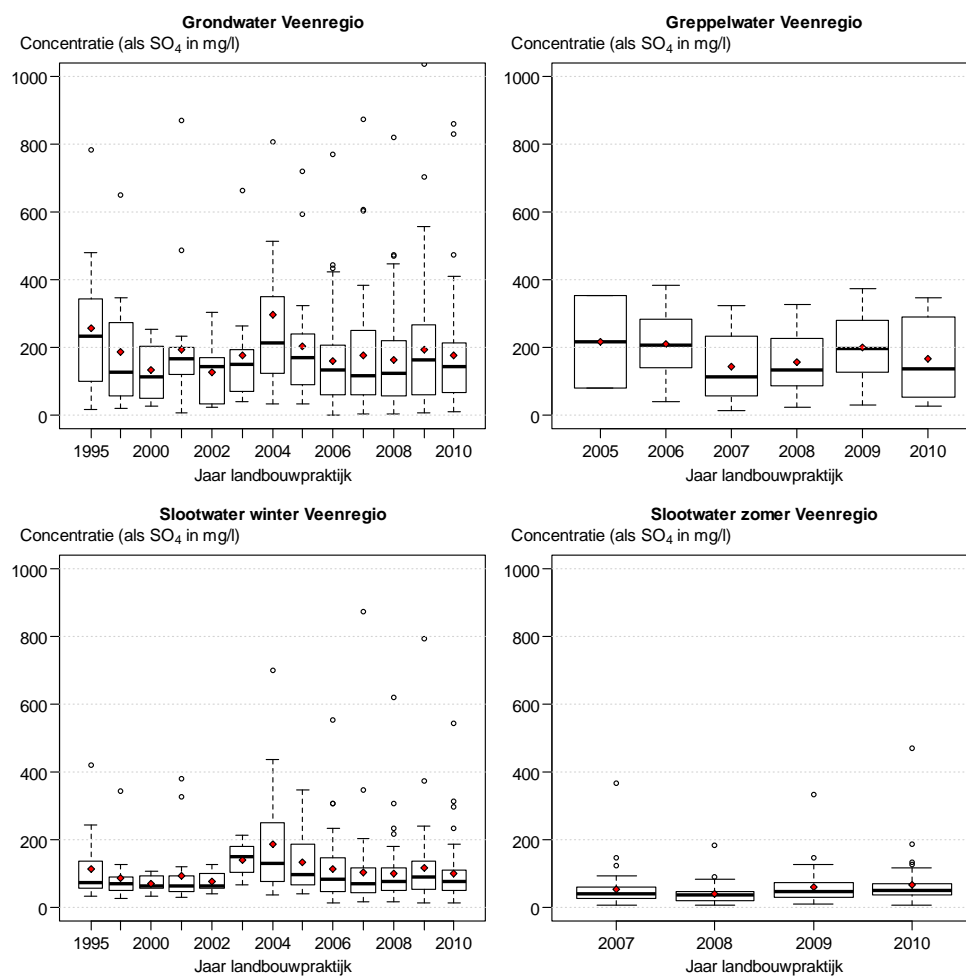
Figuur B3.1 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen en seizoenen (voor slootwater) in de Zandregio.



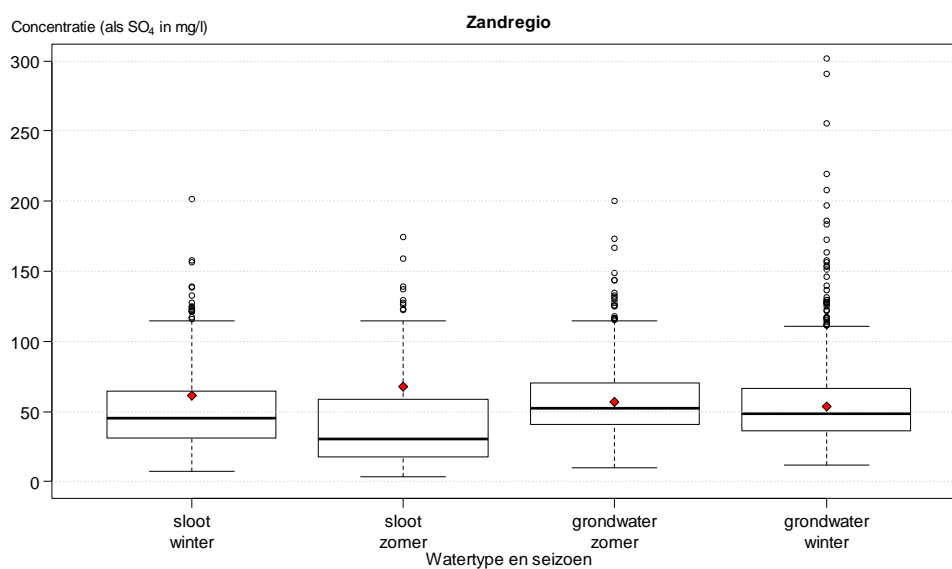
Figuur B3.2 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen in de Lössregio.



Figuur B3.3 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen en seizoenen (voor slootwater) in de Kleiregio. Acht uitschieters in grondwater en vier in drainwater van boven de 1000 mg/l zijn niet zichtbaar.



Figuur B3.4 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in verschillende watertypen en seizoenen (voor slootwater) in de Veenregio. Twee uitschieters in grondwater van boven de 1000 mg/l zijn niet zichtbaar.



Figuur B3.5 Sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in grond- en slootwater op landbouwbedrijven in de natte delen van de Zandregio; metingen in de zomer en de winter vanaf winter 2004/2005 (landbouwpraktijkjaar 2004).

Bijlage 4 Sulfaat in het grondwater (LMG)

Tabel B4.1a Ontwikkeling¹ van de sulfaatconcentratie (mg/l als SO₄) in het ondiepe grondwater (filter 1) als functie van landgebruik.

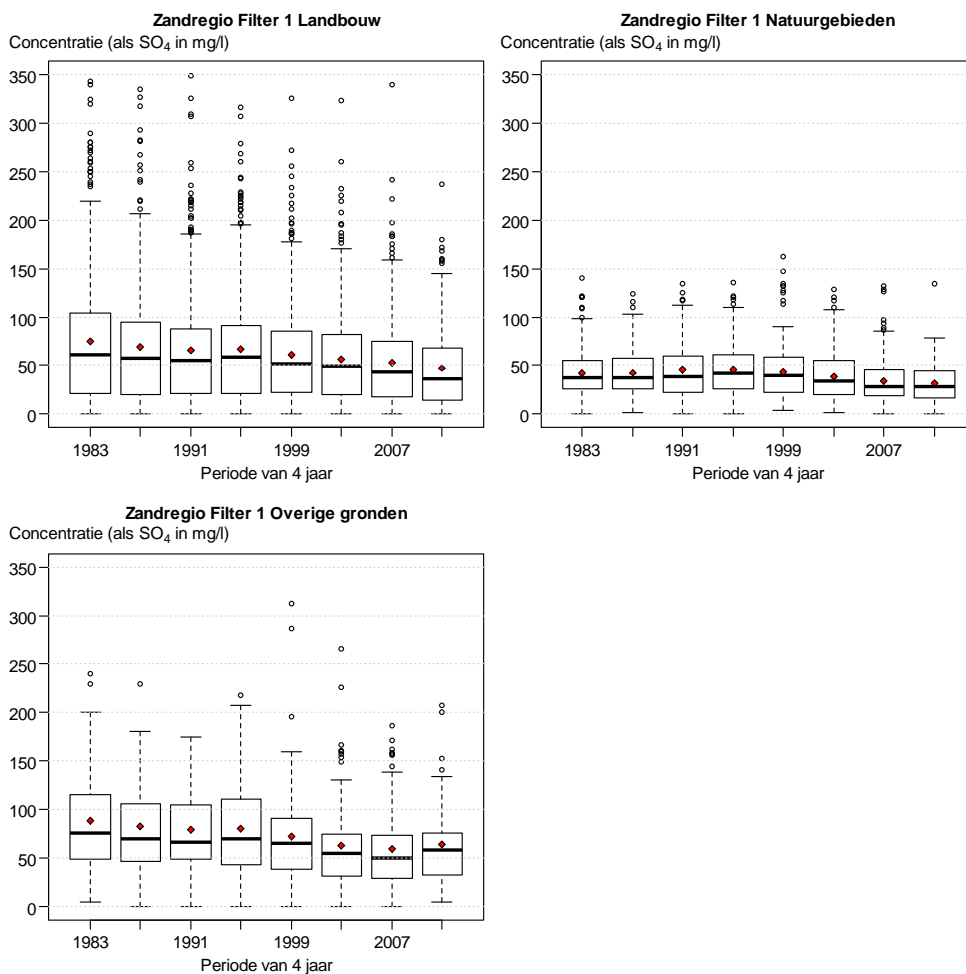
Periode	landbouw			natuur			overig		
	N	Med.	Gemid.	N	Med.	Gemid.	N	Med.	Gemid.
Zandregio									
1983-86	437	61	75	187	37	43	116	76	88
1987-90	478	58	69	203	38	43	115	70	83
1991-94	468	55	65	202	39	46	120	67	79
1995-98	469	58	67	199	42	45	109	69	81
1999-02	444	52	61	193	40	44	100	66	72
2003-06	464	49	56	204	34	39	105	54	63
2007-10	492	43	53	207	28	34	102	50	59
2011-	223	37	48	99	28	32	49	59	64
Kleiregio									
1983-86	268	43	134	30	47	43	128	23	96
1987-90	288	42	129	30	48	54	132	19	103
1991-94	249	41	121	30	52	63	120	22	109
1995-98	226	25	106	25	35	37	65	40	83
1999-02	146	35	96	23	25	32	37	36	50
2003-06	147	34	92	23	21	26	31	33	80
2007-10	148	29	93	25	24	34	33	14	71
2011-	66	29	60	11	30	33	11	10	24

¹ N = aantal waarnemingen; Med. = mediaan (50-percentiel);
Gemid. = gemiddelde

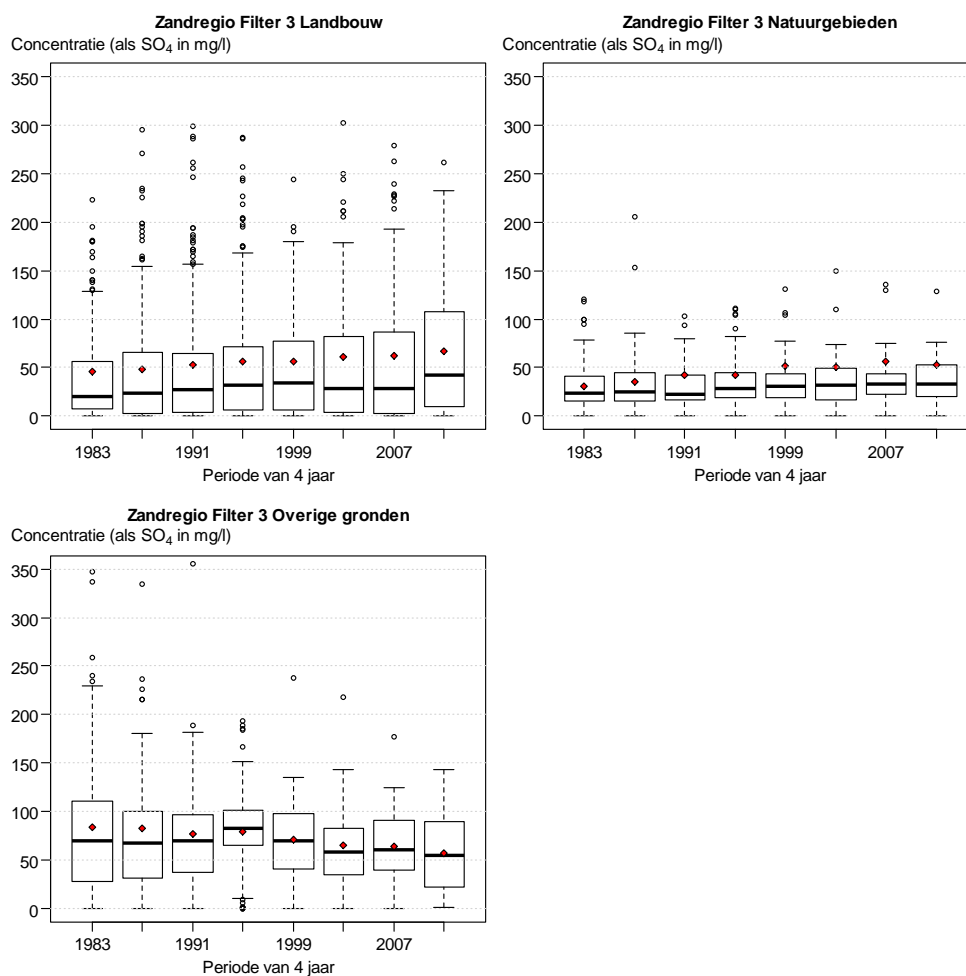
Tabel B4.1b Ontwikkeling¹ van de sulfaatconcentratie (mg/l als SO₄) in het diepe grondwater (filter 3) als functie van landgebruik.

Periode	landbouw			natuur			overig		
	N	Med.	Gemid.	N	Med.	Gemid.	N	Med.	Gemid.
Zandregio									
1983-86	402	20	46	178	24	30	114	70	84
1987-90	442	24	49	192	25	35	118	68	83
1991-94	434	27	53	192	23	42	120	70	77
1995-98	316	32	56	141	28	42	72	82	79
1999-02	118	34	57	59	31	51	29	70	71
2003-06	130	29	61	54	32	50	31	58	64
2007-10	168	29	62	58	32	56	38	60	64
2011-	72	43	67	30	33	53	29	54	57
Kleiregio									
1983-86	255	13	147	27	41	273	120	45	129
1987-90	272	4	157	26	43	333	125	34	133
1991-94	235	10	154	26	52	293	113	31	148
1995-98	175	2	129	15	0,3	210	51	32	122
1999-02	67	17	160	7	16	170	13	65	133
2003-06	69	2	181	8	46	108	10	46	135
2007-10	69	8	158	8	42	121	13	31	164
2011-	29	14	166	4	11	95	4	26	40

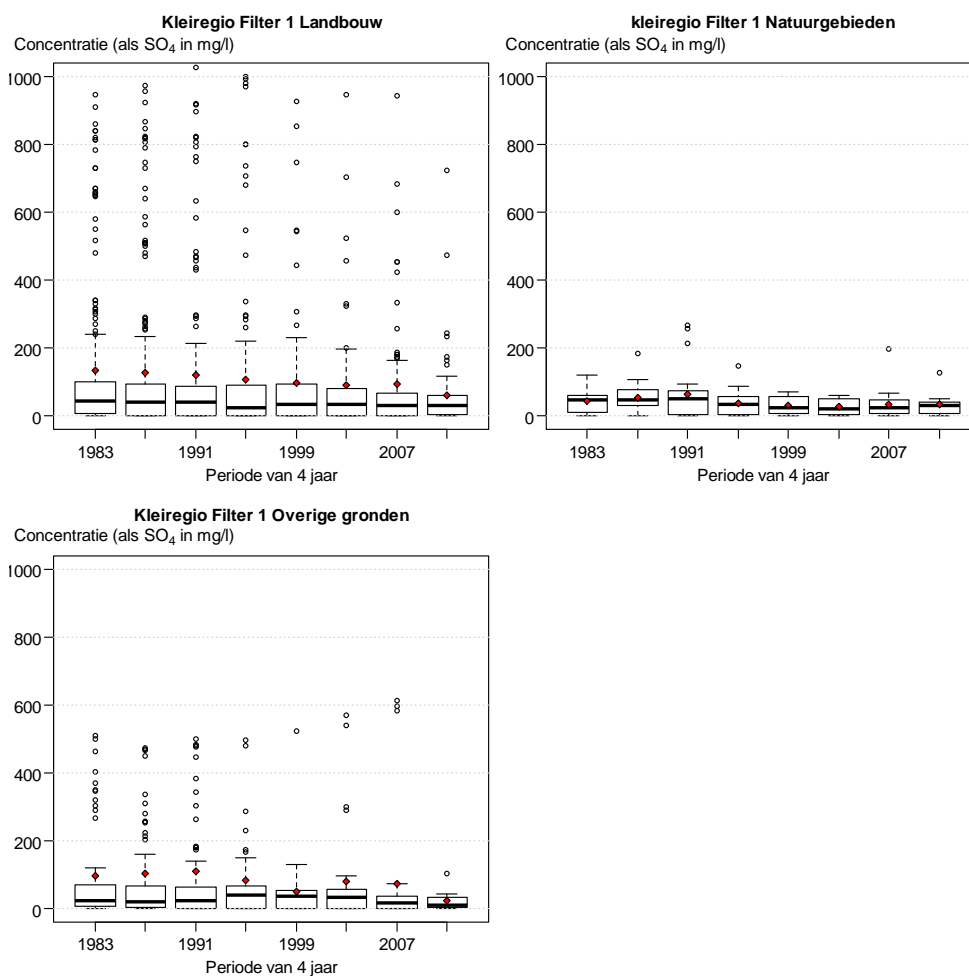
¹ N = aantal waarnemingen; Med. = mediaan (50-percentiel);
Gemid. = gemiddelde



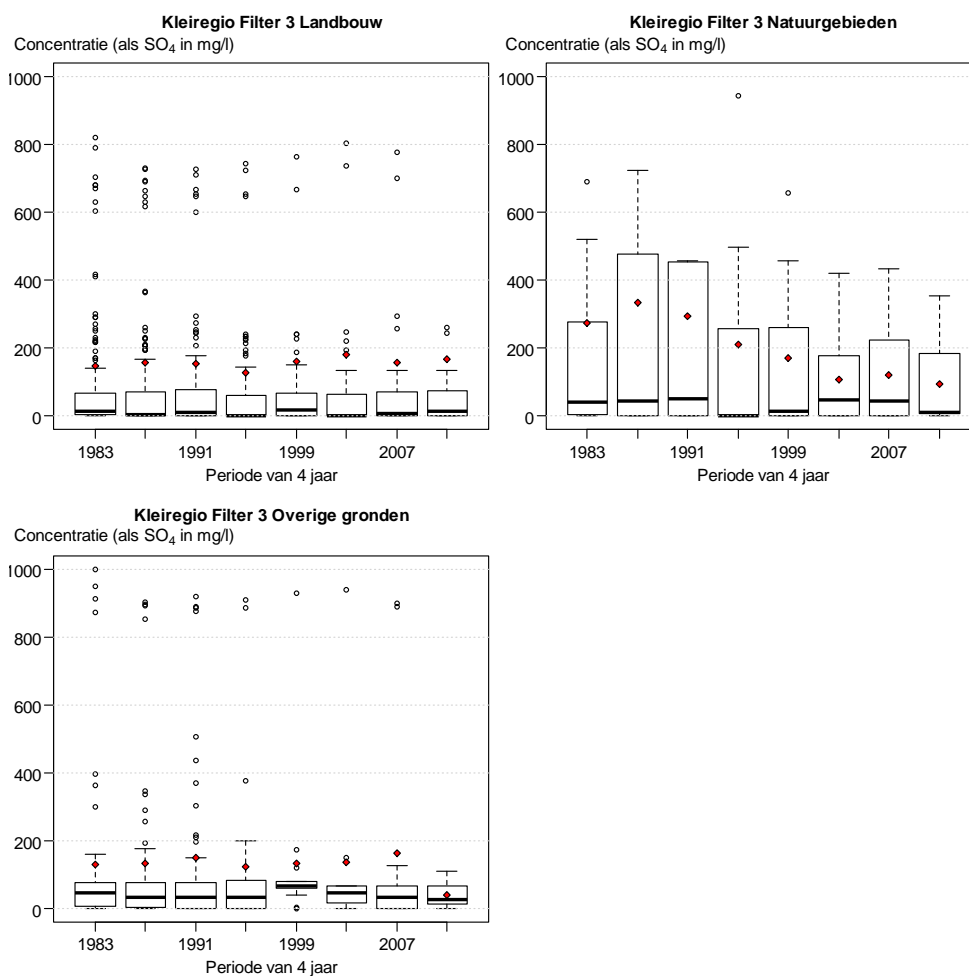
Figuur B4.1 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater in de Zandregio als functie van bodemgebruik. Bovenstaande figuren laten een aantal waarden boven de 350 mg/l niet zien (3 in gebieden met landbouw en 2 in gebieden met 'overig' bodemgebruik).



Figuur B4.2 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het diepe grondwater in de Zandregio als functie van bodemgebruik. Bovenstaande figuren laten een aantal waarden boven de 350 mg/l niet zien (21 in gebieden met landbouw, 13 in natuurgebieden en 6 in gebieden met 'overig' bodemgebruik).



Figuur B4.3 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het ondiepe grondwater in de Kleiregio als functie van bodemgebruik. Bovenstaande figuren laten een aantal waarden boven de 1000 mg/l niet zien (25 in gebieden met landbouw en 13 in gebieden met 'overig' bodemgebruik).

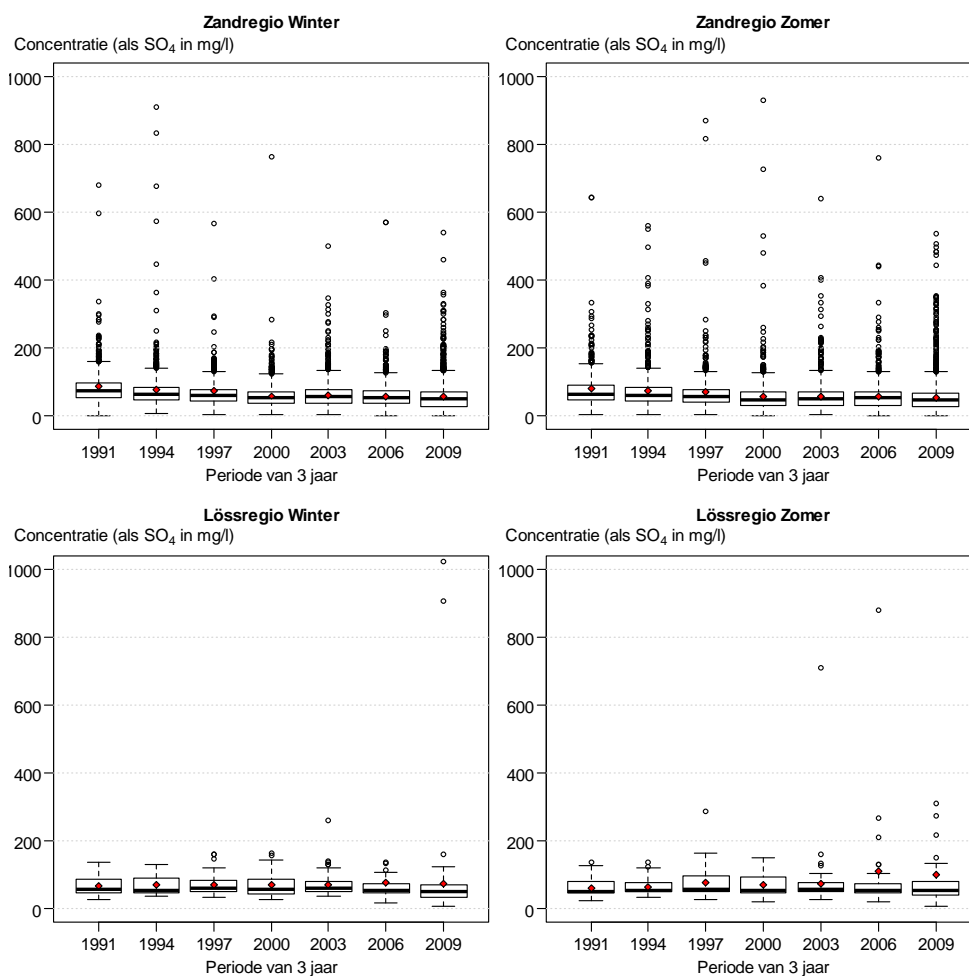


Figuur B4.4 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het diepe grondwater in de Zandregio als functie van bodemgebruik. Bovenstaande figuren laten een aantal waarden boven de 1000 mg/l niet zien (71 in gebieden met landbouw, 13 in natuurgebieden en 14 in gebieden met 'overig' bodemgebruik).

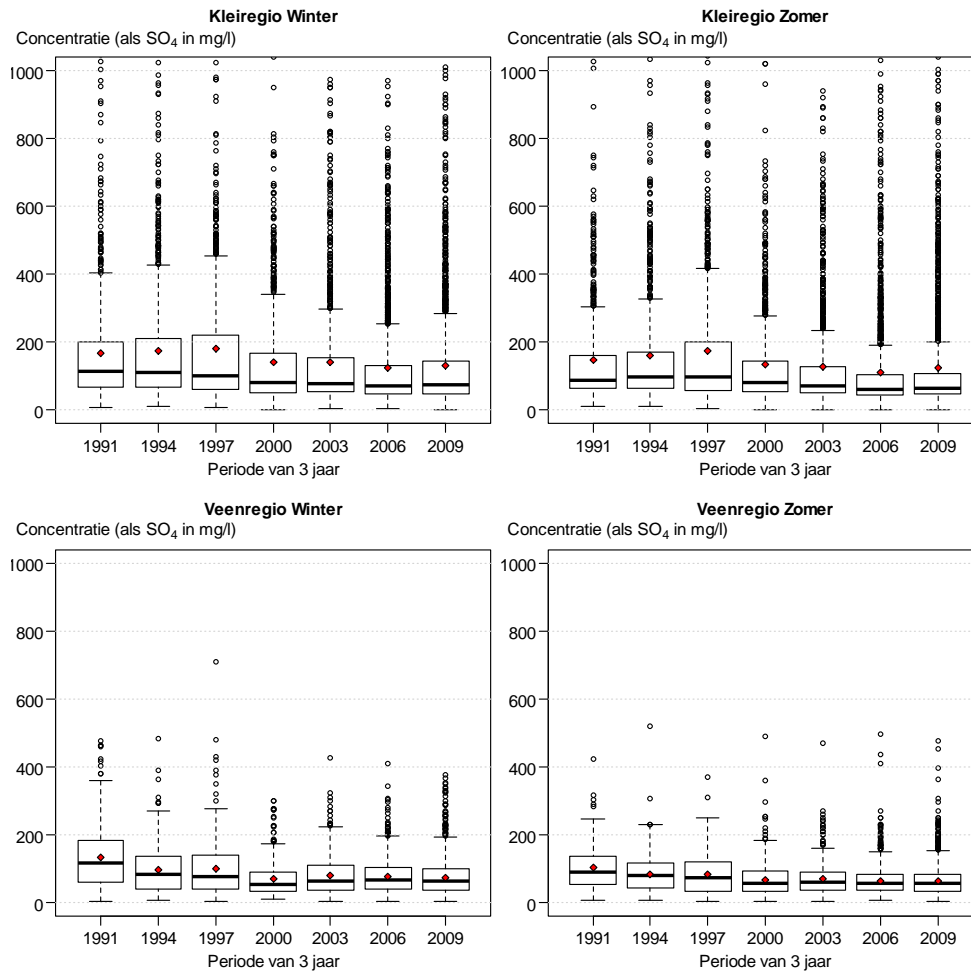
Bijlage 5 Sulfaat in het oppervlaktewater (IHW)

Tabel B5.1 Ontwikkeling van de sulfaatconcentratie (mg/l als SO₄) in de tijd in het oppervlaktewater. Aantal waarnemingen, mediane en gemiddelde concentratie in winter en zomer per regio en per periode.

Periode	Winter			Zomer		
	Aantal	Mediaan	Gemiddeld	Aantal	Mediaan	Gemiddeld
Zandregio						
1991-93	1.123	73	88	1.152	65	82
1994-96	1.208	63	76	1.317	60	73
1997-99	1.021	60	73	1.139	57	69
2000-02	1.230	53	59	1.384	49	56
2003-05	1.287	57	61	1.532	51	56
2006-08	1.923	54	58	2.080	53	57
2009-11	2.601	51	56	2.882	49	55
Lössregio						
1991-93	67	54	66	67	50	60
1994-96	41	54	68	39	53	64
1997-99	52	58	69	53	56	74
2000-02	49	55	68	49	53	69
2003-05	75	60	70	76	55	71
2006-08	70	54	77	86	54	110
2009-11	95	48	73	152	54	99
Kleiregio						
1991-93	894	115	167	874	89	147
1994-96	1.013	109	174	1.100	99	161
1997-99	851	99	181	1.108	97	174
2000-02	900	81	142	1.259	80	133
2003-05	1.192	78	142	1.520	70	127
2006-08	2.069	70	125	2.333	61	112
2009-11	2.468	75	131	2.670	64	123
Veenregio						
1991-93	422	116	133	397	91	101
1994-96	432	82	96	499	79	84
1997-99	428	76	99	501	73	84
2000-02	358	52	68	558	55	67
2003-05	410	62	79	646	60	68
2006-08	801	67	77	998	55	64
2009-11	1.372	63	73	1.488	54	63



Figuur B5.1 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater in de Zand- en Lössregio als functie van het seizoen. 27 uitschieters in het oppervlaktewater in de Zandregio (12 in de winter en 15 in de zomer) van boven de 1000 mg/l zijn niet zichtbaar. Voor de Lössregio zijn dit 6 uitschieters (2 in de winter en 4 in de zomer)



Figuur B5.2 Trends in de ontwikkeling van de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater in de Klei- en Veenregio als functie van het seizoen. 194 uitschieters in het oppervlaktewater in de kleiregio (64 in de winter en 130 in de zomer) van boven de 1000 mg/l zijn niet zichtbaar.

Bijlage 6 Aggregatie van de bodemgebruikskarakteristieken in LMG

In de LMG-database wordt voor elk meetpunt het bodemgebruik in de directe omgeving aangegeven. De oorspronkelijke typering van het bodemgebruik, en de vereenvoudigde kwalificaties zoals gebruikt in dit onderzoek staan vermeld in onderstaande tabel.

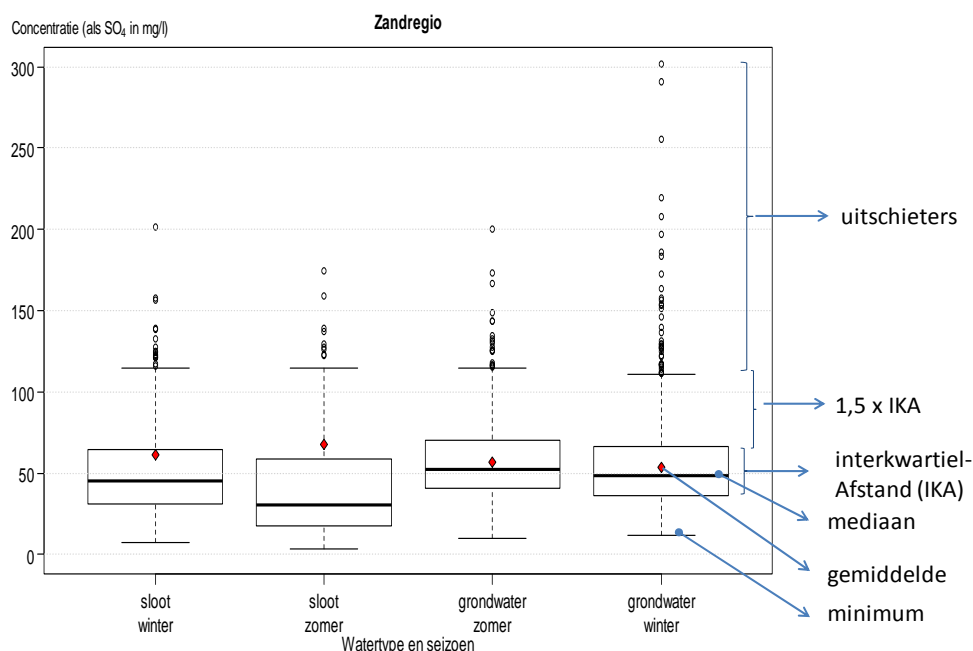
Typering bodemgebruik volgens LMG-database		Typering bodemgebruik gebruikt in dit onderzoek
BOO	Boomgaarden	Landbouw
BOU	Bouwland	
GRA	Grasland	
LAN	Grasland + bouwland	
GBO	Grasland + boomgaard	
IVH	Intensieve veehouderij	
TUI	Tuinbouw	
DUI	Duinen	Natuur
BOS	Natuurgebied, bos, heide	
BEB	Bebouwd	Overig
NSP	Niet gespecificeerd	
IRR	Niet relevant	

Bijlage 7 Toelichting bij boxplots

In dit rapport worden boxplots of doosdiagrammen gebruikt om de meetgegevens te presenteren, zoals de onderstaande figuur met sulfaatconcentraties (mg/l als SO₄) in grond- en slootwater op landbouwbedrijven in de natte delen van de Zandregio met metingen in de zomer en de winter (dit is Figuur B3.5 in Bijlage 3).

De 'doos' of rechthoek geeft de 25- en 75-percentielwaarden. De (dikkere) horizontale lijn in de doos is de mediaan, ofwel 50-percentielwaarde. De gestippelde verticale lijnen eindigend in een horizontale lijn ('whiskers') geven het traject aan tussen de 25-percentiel en de minimumwaarde en de 75-percentiel en de maximumwaarde. Als het minimum kleiner of het maximum groter is dan 1,5 keer de interkwartielafstand tot de betreffende percentielwaarde, dan geeft de lijn 1,5 keer de interkwartielafstand weer. De interkwartielafstand (IKA) is het verschil (de afstand) tussen de 75-percentiel- en 25-percentielwaarde. Alle waarnemingen die op grotere afstand van de doos liggen dan 1,5 keer de interkwartielafstand worden apart weergegeven als uitschieters.

In de figuren is aanvullend ook de gemiddelde waarde weergegeven als rode ruit.



Bijlage 8 Overzichtstabel gemiddelde en mediane sulfaatconcentraties in grond- en oppervlaktewater 2008-2011

Tabel B8.1 Gemiddelde sulfaatconcentratie en standaard fout (mg/l als SO₄) in de periode 2008-2011 bij landbouw en natuur per watertype, periode, locatie en regio.

Watertype	Periode	Locatie	Zand		Löss		Klei		Veen	
			Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur
Grondwater	Jaar	uitspoeling	49 ± 1	37 ± 3	40 ± 3	-	154 ± 8	-	178 ± 12	-
		ondiep	53 ± 2	34 ± 2	82 ± 5 ^{1,2}	-	94 ± 20	34 ± 9	17 ± 4	1 ± 1 ²
		diep	62 ± 7	55 ± 15	33 ± 5 ^{1,2}	-	168 ± 55	118 ± 63	15 ± 6	1 ± 1 ²
Oppervlakte-water	Winter	Sloot	50 ± 2	-	-	-	134 ± 7	-	104 ± 8	-
		MNLSO	74 ± 6	-	-	-	164 ± 17	-	96 ± 10	-
		Overig ¹	57 ± 1	-	70 ± 12	-	126 ± 3	-	76 ± 1	-
	Zomer	Sloot	42 ± 2	-	-	-	94 ± 6	-	53 ± 4	-
		MNLSO	63 ± 5	-	-	-	138 ± 19	-	64 ± 6	-
		Overig ¹	55 ± 1	-	98 ± 19	-	117 ± 3	-	63 ± 1	-

¹ Alle landgebruikstypen.

² Alle meetjaren.

Tabel B8.2 Mediane sulfaatconcentratie (50-percentiel) (mg/l als SO₄) in de periode 2008-2011 bij landbouw en natuur per watertype, periode, locatie en regio.

Watertype	Periode	Locatie	Zand		Löss		Klei		Veen	
			Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur	Landbouw	Natuur
Grondwater	Jaar	uitspoeling	44		29	-	100	-	138	-
		ondiep	41	29	59 ^{1,2}		32	24	1	-
		diep	29	32	25 ^{1,2}		14	31	1	-
Oppervlakte- water	Winter	Sloot	43	-	-	-	88	-	75	-
		MNLSO	62	-	-	-	92	-	85	-
		Overig ¹	51		48		72		67	
	Zomer	Sloot	31	-	-	-	56	-	41	-
		MNLSO	54	-	-	-	68	-	59	-
		Overig ¹	50		54		62		55	

¹ Alle landgebruikstypen.

² Alle meetjaren.

Bijlage 9 Effect van ligging in Nederland op de gemeten sulfaatconcentraties op landbouwbedrijven

Sulfaatconcentratie per gebied in de zandregio

In onderstaande tabel zijn de sulfaatconcentraties gegeven in het water dat uitspoelt uit de wortelzone bij landbouwbedrijven in de Zandregio (mengmonsters). De resultaten zijn gegeven per gebied en binnen een gebied ook per provincie.

Tabel B9.1 Sulfaatconcentratie¹ (in mg/l als SO₄) in uitspoelingswater bij landbouwbedrijven in de Kleiregio in de periode 2008-2011 (landbouwpraktijk 2007-2010); aantal metingen (mengmonsters) en bedrijven, gemiddelde en standaard fout.

Gebied	Provincie	Monsters	Bedrijven	Gemiddeld	St.fout
Noord	-	888	64	45,3	1,1
	Drenthe	596	41	39,8	0,7
	Friesland	152	11	59,7	4,1
	Groningen	140	12	53	4,0
Midden	-	1388	91	44,3	0,6
	Gelderland	508	38	45,6	1,1
	N-Holland	4	1	- ¹	-
	Overijssel	808	49	41,9	0,7
	Utrecht	68	4	-	-
Zuid	-	946	67	73,6	2,8
	Limburg	210	15	80,6	2,4
	N-Brabant	736	52	71,6	3,5

¹ Bij minder dan 7 bedrijven is geen gemiddelde gegeven.

Sulfaatconcentratie per gebied in de kleiregio

In onderstaande tabel zijn de sulfaatconcentraties gegeven in het water dat uitspoelt uit de wortelzone bij landbouwbedrijven (mengmonsters). De resultaten zijn gegeven per gebied en binnen een gebied ook per provincie.

Tabel B9.2 Sulfaatconcentratie¹ (in mg/l als SO₄) in uitspoelingswater bij landbouwbedrijven in de Kleiregio in de periode 2008-2011 (landbouwpraktijk 2007-2010); aantal metingen (mengmonsters) en bedrijven, gemiddelde en standaard fout.

Gebied	Provincie	Monsters	Bedrijven	Gemiddeld	St.fout
Polders ²	-	212	20	325	22
	Flevoland	115	11	368	37
	N-Holland	84	8	277	21
	Z-Holland	13	1	- ¹	-
Noord	-	565	45	172	6
	Friesland	244	22	159	6
	Groningen	321	23	183	9
Rivierklei	-	312		77	5
	Gelderland	46	17	59	5
	N-Brabant	204	4	-	-
	Overijssel	6	1	-	-
	Utrecht	48	4	-	-
	Z-Holland	8	1	-	-
Zuidwest	-	299	23	112	4
	N-Brabant	84	5	-	-
	Z-Holland	58	4	-	-
	Zeeland	157	14	110	5

¹ Bij minder dan 7 bedrijven is geen gemiddelde gegeven.

² Hollandse droogmakerijen en IJsselmeerpolders

Effect van gebied op relatie bedrijfstype - sulfaatconcentratie

De analyse is uitgevoerd met de zogenaamde REML-analyse (restricted/residual/reduced maximum likelihood); hierbij wordt rekening gehouden met het feit dat vaker op hetzelfde bedrijf is bemonsterd. Uit de analyse blijkt dat verschillen tussen bedrijfstypen afwezig zijn als rekening wordt gehouden met de ligging en de grondsoort op het bedrijf; hieronder zijn 2 voorbeelden opgenomen van een dergelijk analyse.

Zandregio

rzg = 3 zandgebieden op basis van provinciale grenzen, Zand midden in intercept;

cle = 4 bedrijfstype; hokdier, melkvee, overig dier, en akkerbouw (in intercept)

```
> summary(lmer(xso4 ~ rzg + cle + (1 | nr), data = rz, REML = TRUE)) #, start = c(-1.))
```

Linear mixed model fit by REML [EigenMod]

Formula: xso4 ~ rzg + cle + (1 | nr)

Data: rz

REML criterion at convergence: 34168.9

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-8.127	-0.219	-0.052	0.137	44.424

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std. Dev.
nr	(Intercept)	826.8	28.75
Residual		2041.5	45.18

Number of obs: 3222, groups: nr, 362

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	44.8955	5.2215	8.598
rzg noord	-0.4649	4.6608	-0.100
rzg zuid	33.5356	4.3621	7.688
cle hokdier	-11.3415	6.5812	-1.723
cle melkvee	1.1932	5.0012	0.239
cle overig	11.1065	5.6674	1.960

Kleiregio

rlm = gebied, 4 gebieden:

nzek: Noordelijk zeelei

riek : Rivierklei

zwzk: Zuidwestelijk zeelei

(in intercept): Polders (Hollandse droogmakerijen en IJsselmeerpolders)

cle = bedrijfstype, vier bedrijfstype:

hokdier, melkvee, overig dier, en akkerbouw (in intercept)

mnat = fractie Gt IV, V en V*

mdroog = fractie Gt VI

zand = fractie zandgronden

moerige = fractie veen- en moerige gronden

```
> summary(lmer(xso4 ~ rlm + mnat + mdroog + zand + moerig + cle + (1 | nr), data = rk, REML = TRUE)) #, start = c(-1.))
Linear mixed model fit by REML [EigenMod]
Formula: xso4 ~ rlm + mnat + mdroog + zand + moerig + cle + (1 | nr)
Data: rk
```

REML criterion at convergence: 16217.6

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-7.6101	-0.2758	-0.0308	0.1909	11.4661

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std. Dev.
nr	(Intercept)	16422	128.15
Residual		5653	75.19

Number of obs: 1388, groups: nr, 113

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	450.1527	45.7920	9.830
rlm nzek	-172.3437	39.5206	-4.361
rlm riek	-267.7266	41.8422	-6.398
rlm zwzk	-213.9022	43.3502	-4.934
mnat	-140.7042	40.6531	-3.461
mdroog	-103.1671	40.8917	-2.523
zand	-180.9833	58.9740	-3.069
moerig	188.1638	79.8049	2.358
cle hokdier	-0.2849	146.1086	-0.002
cle melkvee	-39.7058	29.4739	-1.347
cle overig	-29.1972	29.8548	-0.978

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag