

De vermestingstoestand van het grondwater in Natura 2000-gebied De Lemselermaten

KWR 09.040
Mei 2009

KWR Watercycle Research Institute

KWR Watercycle Research Institute

De vermestingstoestand van het grondwater in Natura 2000-gebied De Lemselermaten

KWR 09.040
Mei 2009

© 2009 KWR
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein T 030 606 95 11 F 030 606 11 65 E info@kwrwater.nl I www.kwrwater.nl

Colofon

Titel
De vermestingstoestand van het grondwater in Natura 2000-gebied De Lemselermaten

Projectnummer
A308231

Projectmanager
H. van Oene

Opdrachtgever
Provincie Overijssel en Grontmij

Kwaliteitsborger
C.J.S. Aggenbach

Auteurs
H. Hunneman en C.J.S. Aggenbach

Verzonden aan
Provincie Overijssel en Grontmij

Dit rapport is alleen verstrekt aan de opdrachtgevers van het adviesproject.
Eventuele verspreiding vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Inhoud

Inhoud		**1**
1	**Inleiding**	**3**
1.1	Aanleiding	3
1.2	Doel	4
1.3	Opbouw van het rapport	4
2	**Ecohydrologische systeembeschrijving**	**5**
2.1	Ligging en landschappelijke typering	5
2.2	Geologie, hydrologie en geohydrochemie	5
2.3	Aanwezige habitattypen in relatie tot milieucondities	6
3	**Methode**	**9**
3.1	Studiegebied	9
3.2	Werkwijze	10
4	**Resultaten**	**13**
4.1	Welke chemische paremeters zijn belangrijk?	13
4.2	Kwaliteit van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo	13
4.3	Kwaliteit van het grondwater in de peilbuizen van het Westelijke en Oude Maatje	17
4.4	Vergelijk van de grondwaterkwaliteit tussen de pompputten bij winning Weerselo en de peilbuizen van het Westelijke en Oude Maatje	25
5	**Discussie en conclusie**	**29**
5.1	Kwaliteit van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo	29
5.2	Kwaliteit van het grondwater in de peilbuizen van het Westelijke en Oude Maatje	29
5.3	Eindconclusie en aanbevelingen	30
6	**Literatuur**	**33**
I	**Analyseresultaten van het lab in 2009**	**35**
II	**Trends in chemische parameters per meetpunt**	**41**

© KWR

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Natuurgebied Lemselermaten ligt ten zuidoosten van Weerselo in Twente. Het gebied maakt deel uit van een beekdalsysteem in de oostelijke helft van Nederland. Het centrale deel van het gebied bestaat uit een dekzandrug, die in noordelijke en zuidelijke richting overgaat in de dalvormige laagten van respectievelijk de Weerselerbeek en Dollandbeek. Het natuurgebied is aangewezen als Natura 2000-gebied. Dit betekent dat er in het gebied kwetsbare natuurtypen (zogenaamde habitattypen) voorkomen, die beschermd zijn krachtens de Europese Habitatrichtlijn (Ministerie van LNV, 2006). De Lemselermaten zijn aangewezen voor de volgende habitattypen (Ministerie van LNV, 2006b,c) (tabel 1):

Tabel 1: Tabel met habitattypen waarvoor het Natura 2000-gebied is aangewezen. Per habitattype worden in de kolommen achtereenvolgens de gebiedsdoelen (opgesplitst naar oppervlakte en kwaliteit), de hydrologische potentie, de huidige en potentiële relatieve bijdrage weergegeven (Ministerie van LNV, 2006b,c; Kiwa Water Research, EGG-consult & Unie van Bosgroepen, 2007). Zie tabel 2 voor een verklaring van de gebruikte tekens.

Code	Habitatnaam	Opper-vlakte	Kwaliteit	Hydro-logische potentie	Huidige relatieve bijdrage	Potentiële relatieve bijdrage
H3130	Zwakgebufferde vennen	=	=	●●●	+	+
H4010A	Vochtige heiden (hogere zandgronden)	↑	↑	●●●	+	+
H4030	Droge heiden	↑	↑	N/B	-	+
H7140A	Overgangs- en trilvenen (trilvenen)	↑	↑	●●●	-	+
H7230	Kalkmoerassen	↑	=	●●●●	++	++
H91E0C	Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)	= (↓)	↑	●●●	+	+

De Lemselermaten vormen een belangrijk beekdalgebied binnen Natura 2000 met verbeterdoelen voor habitattypen en er zijn – vanuit landelijk perspectief bezien – hoge potenties aanwezig voor sterke uitbreiding van habitattype H7230 kalkmoerassen. Ook zijn er hoge potenties voor kwaliteitsverbetering en uitbreiding van habitattype H7140A overgangs- en trilvenen (trilvenen).

De aanwezige habitattypen op de overgang van de hooggelegen dekzandrug naar de beekdalen weerspiegelen een onvolledig ontwikkelde gradiënt in vochttoestand en basenrijkdom. De gradiënt loopt van habitattype H4010A vochtige heiden (hogere zandgronden) hoog op de beekdalflank, via habitattype H6410 blauwgraslanden en habitattype H7230 kalkmoerassen, naar habitattype H7140A overgangs- en trilvenen (trilvenen) in de laagste delen van het gebied. In de directe nabijheid van beide beken is habitattype H91E0C vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) aanwezig.

Bovenstaande gradiënt is momenteel niet overal en op alle plaatsen goed ontwikkeld aanwezig. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn verdroging, eutrofiëring en bosvorming door staken van het hooilandbeheer. Ook is een deel van de graslandpercelen nog in agrarisch gebruik.

Op dit moment wordt er een beheerplan opgesteld voor het Natura 2000-gebied De Lemselermaten. Hierin staat wat er moet gebeuren om de natuurdoelen voor dat gebied te halen. Voor het opstellen van het beheerplan was het nodig om een beter beeld te krijgen van het knelpunt eutrofiëring en meer specifiek de vermestingstoestand van het toestromende grondwater. Dit was voor Provincie Overijssel en Grontmij aanleiding om KWR Watercycle Research Institute opdracht te verlenen voor het uitvoeren van onderzoek naar de grondwaterkwaliteit in de Lemselermaten.

Tabel 2: Verklaring van gebruikte tekens.

Oppervlakte	
=	Behoud oppervlak
↑	Uitbreiding oppervlak
= (↓)	Behoud, enige afname oppervlak is 'ten gunste van' toegestaan
Kwaliteit	
=	Behoud kwaliteit
↑	Verbetering kwaliteit
Hydrologische potentie	
•	Klein: uitbreiding oppervlak of verbetering kwaliteit is nauwelijks mogelijk
••	Matig: enige uitbreiding oppervlak of zwak herstel kwaliteit is mogelijk
•••	Groot: uitbreiding oppervlak of herstel kwaliteit is goed mogelijk
••••	Zeer groot: sterke uitbreiding oppervlak is goed mogelijk en plaatselijk verbetering kwaliteit goed mogelijk
N/B	Onbekend
Huidige/ Potentiële relatieve bijdrage	
++	Zeer grote oppervlakte (> 15%) en grotendeels goede kwaliteit en/of bijzondere kwaliteit en/of geografische ligging in combinatie met goede kwaliteit
+	Zeer grote oppervlakte (> 15%) en grotendeels matige kwaliteit of grote oppervlakte (2-15%) of geringe oppervlakte (< 2%) met grotendeels goede kwaliteit
-	Geringe oppervlakte (< 2%) en grotendeels matige kwaliteit

1.2 Doel

In het voorliggende rapport zijn de resultaten van het onderzoek naar de grondwaterkwaliteit in de Lemselermaten beschreven. Het doel van het onderzoek is:

- om inzicht te krijgen in de huidige vermestingstoestand van het toestromende grondwater om te kunnen beoordelen of dit een knelpunt vormt voor de nagestreefde natuurdoelen;
- of sinds begin jaren '90 een trend waarneembaar is in de vermestingstoestand van het toestromende grondwater.

Op basis daarvan kan door de betrokken partijen in het beheerplantraject worden bepaald welke maatregelen met betrekking tot vermesting van grondwater nodig zijn om dit knelpunt weg te nemen en hoe urgent die maatregelen zijn. Het hier beschreven onderzoek vormt daarmee belangrijke input voor het Natura 2000-beheerplan van de Lemselermaten.

1.3 Opbouw van het rapport

Voor een goede interpretatie van de onderzoeksresultaten is het nodig om meer te weten over de geologie, hydrologie en geohydrochemie van het gebied. Daarom begint het rapport met een globale beschrijving van het ecohydrologisch systeem van de Lemselermaten (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt de wijze waarop het grondwaterkwaliteitonderzoek is uitgevoerd besproken. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van het onderzoek en in hoofdstuk 5 volgen de conclusies en aanbevelingen. Tot slot zijn een aantal bijlagen met basisinformatie aan het rapport toegevoegd.

2 Ecohydrologische systeembeschrijving

2.1 Ligging en landschappelijke typering

Het Natura 2000-gebied De Lemselermaten ligt in een inham aan de noordwestelijke zijde van de stuwwal van Oldenzaal. De Weerselerbeek en Dollandbeek ontspringen oostelijk van de Lemselermaten op de stuwwal en stromen respectievelijk aan de noord- en zuidzijde door het gebied. Iets ten westen van de Lemselermaten komen beide beken samen en daarna vormen ze één waterloop. Het gebied wordt omgeven door intensief gebruikte landbouwgronden. De Lemselermaten zijn gelegen in een landschap dat op grotere schaal bezien van oost naar west afhelt (Jansen, 1991; AHNhoogtekaart).

Het centrale deel van het gebied bestaat uit een dekzandrug met (voormalige) landbouwgronden, die een uitloper vormt van een oostelijk gelegen dekzandplateau. In noordelijke en zuidelijke richting gaat deze dekzandrug over in de dalvormige laagten van de Weerselerbeek en Dollandbeek (Aggenbach & Jansen, 2004). De noordelijke helling van de dekzandrug kent een flauw verloop naar de Weerselerbeek. De zuidelijke helling naar de Dollandbeek is een stuk steiler. De overgangen van de dekzandrug naar de laagtes bestaan voornamelijk uit schraallanden, voedselrijke graslanden en elzenbroekbos (Tolman & Pranger, 2001). De elzenbroekbossen zijn grotendeels ontstaan uit hooilanden die in de jaren '40 en '50 door boeren werden verlaten (Jansen, 1991). Op de zuidflank van de Weerselerbeek ligt een aantal voormalige hooilanden (maten). Het maatje dat het langst in beheer is bij Staatsbosbeheer wordt 'Oude Maatje' genoemd. Direct ten westen daarvan ligt het 'Nieuwe Maatje' of 'Westelijke Maatje' dat sinds 1988 eigendom is van Staatsbosbeheer. Daarvoor bestond het 'Westelijke Maatje' deels uit landbouwgrond en deels uit broekbos. Sinds dit maatje bij Staatsbosbeheer in beheer is, zijn een aantal OBN maatregelen uitgevoerd. Het broekbos is gekapt en een groot deel van het terrein is geplagd. In 1990 is een akker op de dekzandrug aan de oostzijde van het oorspronkelijke reservaat aangekocht. Van dit 'Oostelijke Maatje' is de bouwvoor afgegraven en zijn de buisdrains verwijderd (Aggenbach & Jansen, 2004).

2.2 Geologie, hydrologie en geohydrochemie

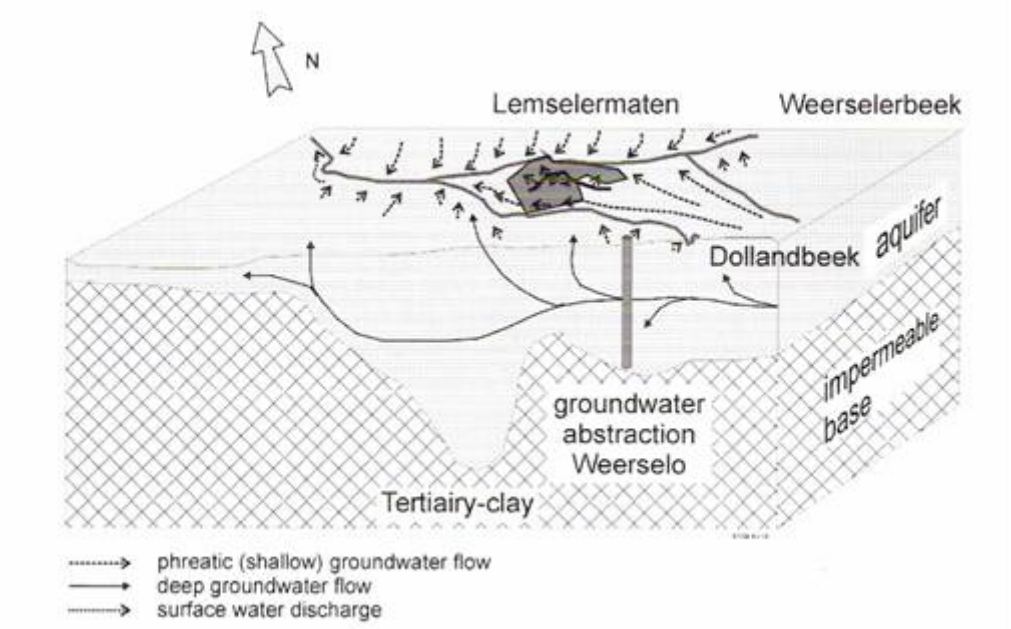
In het gebied is sprake van een subregionaal grondwatersysteem, waarop een aantal lokale grondwatersystemen zijn gesuperponeerd (Jansen, 1991). De lage beekdalgronden van de Lemselermaten worden gevoed door basenrijk grondwater dat afkomstig is uit het watervoerende pakket boven de slechtdoorlatende keileem en Tertiaire kleilaag, die samen de geohydrologische basis vormen. Dit watervoerende pakket bestaat uit dekzand (bovenin) en fluvio-glaciale zanden, waarvan de bovenkant zich in de beekdalen ondiep onder maaiveld bevindt (Kiwa Water Research, EGGconsult & Unie van Bosgroepen, 2007). Het pakket wordt in noordwestelijke richting van het terrein dunner, wegens een drempel in de slecht doorlatende Tertiaire basis. Het van oost naar west, onder verhang vanaf de stuwwal, stromende grondwater komt hier als het ware in een trechter terecht. Aan de benedenstroomse zijde van het watervoerende pakket is de doorlatendheid kleiner dan aan de bovenstroomse zijde. Hierdoor ontstaat een opwaartse stroming van grondwater en kwel (volumeverlies). Dit grondwater treedt uit in het westelijke deel van de Lemselermaten (Jansen, 1991; Geerlink & Witteveen, 1988). Het intrekgebied van deze subregionale kwelstroom bevindt zich in landbouwgebied op de flank van de stuwwal van Oldenzaal. De grootte en precieze ligging van dit intrekgebied is onbekend (Kiwa Water Research, EGG-consult & Unie van Bosgroepen, 2007).

De aanwezige dekzandruggen en geïsoleerde zandkopjes zijn de infiltratiegebieden van de lokale systemen. Door het geïnfiltreerde regenwater kan in de dekzandruggen 'opbolling' van de grondwaterspiegel plaatsvinden (Geerlink & Witteveen, 1988). Dit zorgt voor korte stroombanen vanuit de dekzandrug naar de aangrenzende laagtes. De kwelzone van deze lokale systemen bevindt zich aan

de voet van de aanwezige dekzandruggen en koppen. De lokale systemen werken alleen zolang de freatische grondwaterstand is opgebold. In de winterperiode (neerslagoverschot) is de opbolling groter, dus in die periode vindt ook meer lokale grondwaterstroming plaats. De lokale systemen zetten overigens ook het diepere grondwater, dat van verder weg komt, onder druk, waardoor het in de laagtes kan uittreden. De dynamiek van de kwelstroom, zowel de lokale als de meer regionale, wordt dus gereguleerd door de lokale systemen. In de zomer verdwijnt de opbolling grotendeels.

De in het centrum gelegen dekzandrug bestaat uit veldpodzolgronden van fijn lemig zand. Door de basenrijke, (zeer) natte omstandigheden zijn langs de Weerselerbeek en aan de zuidzijde van de Dollandbeek beekeerdbodems ontstaan en in de laagtes venige bodems. De bovenkant van de kalkhoudende afzettingen bevindt zich in het gebied op ca. 2 tot 4 m onder maaiveld (boorstaten uit DINO, TNO). Het grondwater van het watervoerende zandpakket dat met een kalkhoudende laag in het watervoerende pakket in contact komt is basenrijk. Zowel het grondwater van het regionale systeem als het grondwater van de diepere stroombanen in de lokale grondwatersystemen zal de kalkhoudende laag doorstromen en daardoor basenrijk worden. Daardoor zijn vrij hoog op de flank nog basenrijke omstandigheden aanwezig. In de lage delen van de Lemselermaten is plaatselijk ondiep kalk in de bodem aanwezig. Mogelijk is deze kalk hier secundair afgezet door het neerslaan van kalk in uittredend grondwater. Het grondwater in de lokale systemen wordt via ondiepe stroombanen door het bovenste kalkarme deel van het watervoerende pakket getransporteerd. Dit water komt dus niet in contact met de diepere kalkhoudende laag.

Door bemesting in het intrekgebied is het sulfaatgehalte van het diepe, basenrijke grondwater toegenomen. Vanuit de (voorheen) agrarisch gebruikte dekzandrug stroomt ook recent geïnfiltreerd regenwater toe. Dit water heeft een lagere basenrijkdom, en is ook rijk aan sulfaat (Aggenbach & Jansen, 2004).



Figuur 1: Geohydrologie en grondwaterstroming in de Lemselermaten en omgeving (uit Jansen, 2000).

2.3 Aanwezige habitattypen in relatie tot milieucondities

De aanwezige habitattypen op de overgang van de hooggelegen dekzandrug naar de beekdalen weerspiegelen een onvolledig ontwikkelde gradiënt in vochttoestand en basenrijkdom. Habitattype H4010A vochtige heiden (hogere zandgronden) komt voor op vochtige tot natte, voedselarme bodems hoog op de beekdalflank. De begroeiing is bijzonder gevoelig voor verlaging van de grondwaterstand en grote fluctuaties in waterpeil. Lager op de beekdalflank is onder natte, basenrijke en mesotrofe

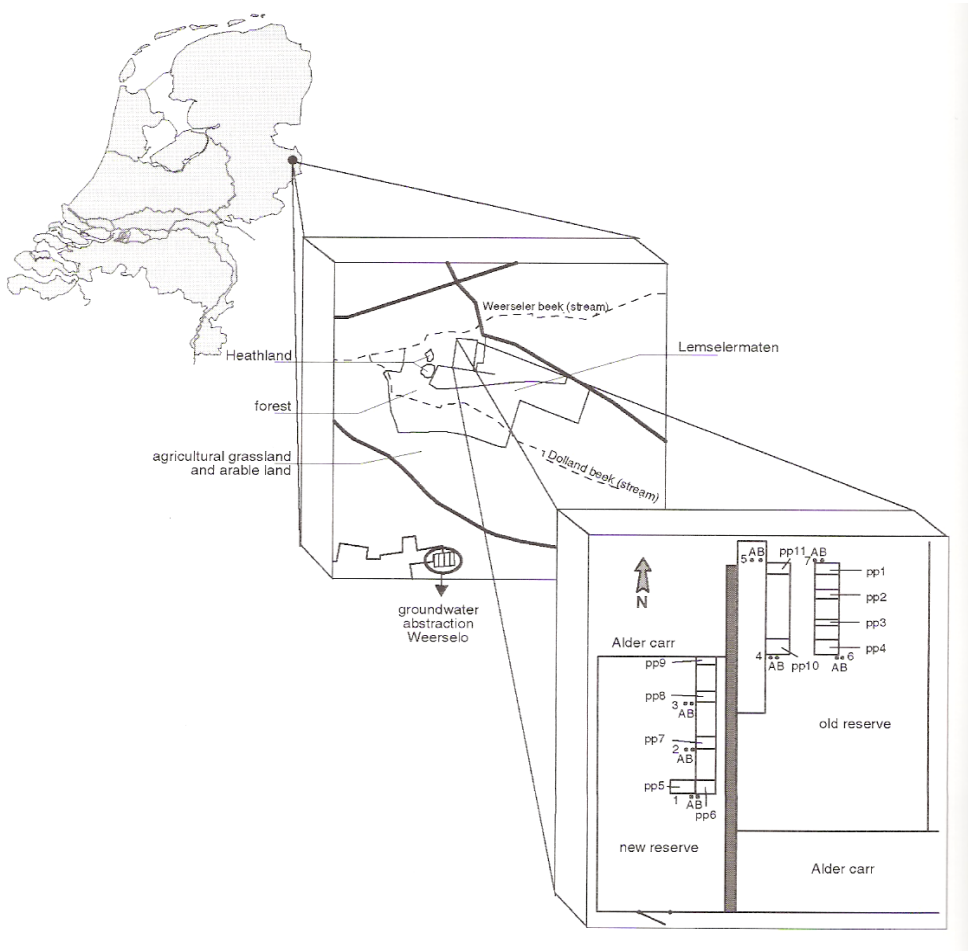
omstandigheden blauwgrasland (Cirsio-Molinietum typicum) aanwezig. Nog weer lager op de zuidflank van de Weerselerbeek komt habitattype H7230 kalkmoerassen voor. De begroeiing is afhankelijk van hoge grondwaterstanden die 's winters plaatselijk tot boven het maaiveld stijgen. Ook dit habitattype is uiterst gevoelig voor eutrofiëring en verdroging. Het voorkomen van habitattype H7230 kalkmoerassen en blauwgraslanden hangt samen met natte, basenrijke condities die in stand worden gehouden door kwel van basenrijk grondwater uit het intrekgebied op de stuwwalflank van Oldenzaal en lokale grondwatersystemen. Op de venige bodems in de laagste delen van het gebied kan zich onder mesotrofe omstandigheden habitattype H7410A overgangs- en trilvenen (trilvenen) ontwikkelen. Dit habitattype heeft in beekdalen een sterke toevoer van nutriëntenarm, sulfaatarm, basenrijk grondwater nodig. Het habitattype is sterk afhankelijk van een constant waterpeil, waaronder veenvorming kan plaatsvinden (dus zomerstanden hooguit iets (10 cm) onder maaiveld). Op voedselrijke en basenrijke bodems in de directe nabijheid van beide beken is habitattype H91E0C vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) aanwezig. Het elzenbroekbos komt hier voor op plekken met periodieke tot langdurige kwel van basenrijk grondwater en waar deels de afvoer van oppervlaktewater stagneert. De best ontwikkelde vormen staan langdurig onder invloed van basenrijke kwel.

Deze gradiënt is momenteel niet overal en op alle plaatsen goed ontwikkeld aanwezig. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn verdroging, eutrofiëring en bosvorming door staken van het hooilandbeheer. Ook is een deel van de graslandpercelen nog in agrarisch gebruik.

3 Methode

3.1 Studiegebied

Het onderzoek richt zich op 7 bestaande locaties met peilbuizen met minifilters in een tweetal percelen van de Lemselermaten, waar in het verleden eerder onderzoek is gedaan naar de grondwaterkwaliteit ten behoeve van onderzoek in het kader van effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en eutrofiëring. Het betreft daarom onderzoek in een beperkt deel van de Lemselermaten. Deze percelen liggen op de zuidelijke helling en in de dalbodem van de de laagte met de Weerselerbeek. De peilbuizen zijn gelegen in het 'Oude Maatje' (twee transecten) en 'Nieuwe Maatje' (één transect) (zie figuren 2 en 3). In het 'Westelijke Maatje' is sinds begin jaren '90 uitbreiding en herstel van habitattype H7230 kalkmoerassen opgetreden door OBN maatregelen (kappen en plaggen van broekbos en plaggen van het aangrenzende agrarisch perceel, extensief hooilandbeheer met lichte maaiapparatuur). Dit kalkmoeras is van hoge kwaliteit. Er komen bijzondere soorten in voor, zoals Armbloemige waterbies, Bleke zegge, Blonde zegge, Breed wollegras, Vetblad en Vlozegge. In het 'Oude Maatje' kwam halverwege de 20e eeuw nog trilveen (habitattype H7140A) voor. Door verdroging en eutrofiëring is deze begroeiing overgegaan in zwak eutroof blauwgrasland. Er zijn nog slechts relicten aanwezig van de oorspronkelijke trilveenvegetatie en veenvorming treedt niet meer op. Het blauwgrasland verruigt geleidelijk met Gewone wederik, Hennegras en Moerasspirea als gevolg van voortschrijdende eutrofiëring. Voor trilveen zijn de zomergrondwaterstanden veel te laag en is de voedselrijkdom te hoog. Zonder maatregelen tegen verdroging en eutrofiëring zal de degradatie door interne eutrofiëring zich hier voortzetten (Aggenbach & Jansen, 2004).



Figuur 2: Ligging van het studiegebied. pp = permanent kwadraat voor vegetatie-opnamen; zwarte stippen = globale positie van de peilbuizen; A = peilbuis met filter op 50 cm-mv; B = peilbuis met filter op 150 cm-mv.



Figuur 3: Ligging van de locaties met peilbuizen in Natura 2000-gebied De Lemselermaten.

3.2 Werkwijze

De bemonsterde peilbuizen hebben een ondiep filter (0,4-0,5 m-mv) en een dieper filter (1,4-1,5 m-mv). De peilbuizen zijn eerder in 1991, 1992, 1993, 1995, 1996 en 1997 bemonsterd op macro-ionen, pH en EGV. Daarnaast zijn in 1995, 1996 en 1997 NH_4, NO_3 en PO_4-ortho bepaald en in de twee laatstgenoemde jaren ook Fe. Voor het hier beschreven onderzoek zijn de peilbuizen opnieuw bemonsterd op 8 april 2009. De verzamelde grondwatermonsters zijn geanalyseerd op pH, EGV, redoxpotentiaal, O_2, gehaltes aan macro-ionen, NO_3, NH_4, PO_4-ortho, DOC, Fe en sporenelementen. Het pakket aan chemische parameters waarop wordt bemonsterd is vergelijkbaar met het pakket dat in de laatste bemonsteringsjaren (1996 en 1997) werd gehanteerd. In tabel 3 worden de bemonsteringsdata weergegeven. De analyseresultaten van PO_4 en Fe uit voorgaande jaren worden niet gebruikt, omdat

destijds een andere voorbehandeling heeft plaatsgevonden, waardoor de resultaten niet vergelijkbaar zijn met die van dit jaar.

Tabel 3: Data waarop alle peilbuizen zijn bemonsterd en geanalyseerde chemische parameters. X= geanalyseerd, 1= metingen niet bruikbaar wegens toegepaste voorbehandeling van het watermonster.

	pH	EGV	macro-ionen	NH_4	NO_3	PO_4-ortho	Fe
15-11-1991	x	x	x				
03-04-1992	x	x	x				
09-07-1993	x	x	x				
05-05-1995	x	x	x	x	x	x, 1	
06-05-1996	x	x	x	x	x	x, 1	x, 1
18-02-1997	x	x	x	x	x	x, 1	x, 1
08-04-2009 (+19-03-2009)	x	x	x	x	x	x	x

Bij de bemonstering in het veld bleek meetpunt Pb_5a niet meer aanwezig. In totaal zijn dus 6 peilbuizen bemonsterd met elk twee filters (a = ondiep en b = dieper). In tabel 4 staan de coördinaten van de locaties van de peilbuizen en de gebruikte coderingen.

Tabel 4: Coderingen en coördinaten van de geanalyseerde peilbuizen in het 'Oude Maatje' en 'Nieuwe Maatje'.

Peilbuis	Locatie	Externe aanduiding (DINO-codering)	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maaiveldhoogte (m+NAP) o.b.v. peilbuisdata	Vegetatietype
Pb_1a+b	B28H0717	28HP7021	256360	485240	19,61	kalkmoeras
Pb_2a+b	B28H0718	28HP7022	256360	485250	19,50	kalkmoeras
Pb_3a+b	B28H0719	28HP7023	256360	485265	19,26	kalkmoeras
Pb_4a+b	B28H0720	28HP7024	256390	485270	19,34	zwak eutroof blauwgrasland
Pb_5a+b	B28H0709	28HP7014	256390	485300	19,37	zwak eutroof blauwgrasland
Pb_6a+b	B28H0721	28HP7025	256395	485270	19,34	zwak eutroof blauwgrasland
Pb_7a+b	B28H0712	28HP7016	256395	485300	19,39	zwak eutroof blauwgrasland

De voorbehandeling en bemonstering in maart/april 2009 bestonden uit de volgende activiteiten:
- Het zeer goed schoonpompen van de peilbuizen een week voor aanvang van de bemonstering (de buizen waren namelijk lange tijd niet gebruikt);
- Het schoonpompen van de peilbuizen op de dag van de bemonstering;
- Monsters nemen van het grondwater en filtreren (0,45 µ filter);
- pH, EC, redoxpotentiaal, O_2 in het veld meten;
- Monsters gekoeld aanleveren bij het laboratorium.
- Alle monsters zijn binnen 24 uur geanalyseerd. De monsters die de ICP-AES-analyse hebben ondergaan, zijn vlak voor de analyse aangezuurd. Voor de andere bepalingen zijn de monsters niet aangezuurd.

De verzamelde monsters hebben in het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem van Wageningen Universiteit de volgende analyses ondergaan:

Analyse apparaat	Element / Analyse / Fractie
SFA-CaCl2	NO_3 + NO_2 NH_4 PO_4
SFA-TOC	DOC
FIA	Cl
ICP-AES	Al As Ca Cd Cr Cu Fe K Mg Mn Na Ni P Pb S Zn
TOC-analyser	IC TC TN

De resultaten van een eerdere bemonstering op 18 maart 2009 bleken helaas onbetrouwbaar voor de ICP-AES analyse (ter bepaling van de gehaltes aan macro-ionen), omdat de monsters in het laboratorium niet waren aangezuurd. Daarom heeft een herbemonstering plaatsgevonden op 8 april 2009. De resultaten van de IC/TC analyse (ter bepaling van de concentraties aan anorganisch en organisch koolstof) van de tweede bemonsteringsronde (8 april) zijn voor de helft van de verzamelde monsters niet bruikbaar, omdat ze te laat zijn geanalyseerd vanwege problemen met het analyse-apparaat. Gelukkig zijn voor deze analyse de resultaten van de eerste bemonsteringsronde (18 maart) goed bruikbaar. Het laboratorium heeft een vergelijking gemaakt tussen de monsters van de eerste en tweede bemonsteringsronde (voor zover beschikbaar van de tweede bemonsteringsronde) en de waarden stemmen goed overeen (het verschil valt binnen de foutenmarge die het laboratorium voor deze analyse hanteert). Ook voor de pH, EGV en ORP-metingen in het veld wordt teruggegrepen op die van de eerste bemonsteringsronde, omdat de meter de resultaten van de tweede bemonsteringsronden niet heeft opgeslagen. De verwachting is dat de waarden tussen de eerste en tweede bemonsteringsronde niet sterk zullen verschillen, gezien het korte interval ertussen en het stabiele weer in die periode (dit blijkt ook uit de grondwaterstanden, die vrijwel gelijk waren voor beide bemonsteringsdagen).

Om een indruk te krijgen van de huidige chemische kwaliteit van het diepere grondwater van het regionale systeem dat het studiegebied voedt, zijn ook een aantal pompputten van waterbedrijf Vitens geanalyseerd. Dit zijn pompputten van de waterwinning bij Weerselo, ruim 1 km ten zuiden van de Lemselermaten. In tabel 5 wordt aangegeven welke putten van Vitens zijn geanalyseerd en op welke diepte zich de filters bevinden.

Tabel 5: Coderingen en diepte van de filters van de pompputten van Vitens bij waterwinning Weerselo.

Pompput	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maaiveldhoogte (m+NAP) o.b.v. peilbuisdata	Diepte van het filter
Put 66-01	256211	484015	21,25	30-45 m-mv
Put 67-02	256258	483939	21,01	30-48 m-mv
Put 68-03	256270	483837	21,43	31-53 m-mv
Put 76-04	256281	483727	21,79	26-55 m-mv

4 Resultaten

4.1 Welke chemische paremeters zijn belangrijk?

Vermesting van grondwater treedt op door inspoeling van meststoffen met het infilterende regenwater in intrekgebieden. Meststoffen worden aangevoerd met mest en kunstmest in landbouwgebied (NO_3, NH_4, PO_4 en K) en ook door atmosferische depositie (NO_3, NH_4). In landbouwgebieden treedt vooral inspoeling op van nitraat en en in mindere mate kalium. Ammonium denitrificeert naar nitraat en fosfaat wordt doorgaans sterk gebonden in de bodem. Atmosferische depositie zorgt vooral in dichte naaldbossen voor een hoge bijdrage aan de stikstofbelasting. Het bovenste grondwater is daarom nitraatrijk. Onder invloed van redoxprocessen wordt het nitraat in de verzadigde zone omgezet door reactief organische stof en sulfides naar stikstofgas (N_2). Bij oxidatie van sulfides komt gereduceerd ijzer vrij (Fe^{2+}) en sulfaat. Omdat deze reacties ook zuurvormend zijn neemt de hardheid (Ca+Mg) toe door extra oplossing van kalk of uitloging van het kationadsorbtiecomplex. Afhankelijk van het grondwaterssysteem (verblijftijd) en de geochemie (gehalte reactief organische stof en aanwezigheid van sulfides, waaronder pyriet) wordt het nitraat weinig tot geheel omgezet. Omdat in de ondergrond vaak pyriet aanwezig is, ontstaat bij de inzijging van nitraatrijk water vaak sulfaat. Vermest grondwater wordt daarom gekenmerkt door ofwel een hoog nitraatgehalte, ofwel een hoog sulfaatgehalte of zowel een hoog nitraat- als sulfaatgehalte. Toestroming van nitraatrijk water in een kwelgebied draagt bij aan de stikstofbelasting van het ecosysteem. De effecten van aanvoer van veel sulfaat zijn echter veel nadeliger, omdat in organische stofrijke bodems van kwelgebieden het sulfaat door reductie wordt omgezet in sulfides. Daarbij wordt ook ijzer vastgelegd (FeS, FeS_2). Er is dan minder ijzer beschikbaar voor de vastlegging van fosfaat (Smolders et al., 2006). Toestroming van sulfaatrijk grondwater leidt daarom tot eutrofiëring met fosfaat. In hoeverre dit proces optreedt, hangt niet alleen af van de sulfaatrijkdom (grenswaarde 100-200 umol/l), maar ook van de verhouding van sulfaat en ijzer. Als er meer sulfaat dan ijzer in het toestromende grondwater aanwezig is (in mmol/l) dan treedt sneller uitputting op van het vrije ijzer. Omdat in organisch stofrijke bodems van kwelgebieden reductie van nitraat en sulfaat optreedt, zijn de nitraat- en sulfaatgehaltes hier lager dan die in het toestromende vermeste grondwater dat nog niet in contact is geweest met de bodem. Daarnaast zorgt toestroming van sulfaat- en nitraatrijk grondwater in venige kwelgebieden ook voor de anaerobe afbraak van veen. Deze afbraak gaat gepaard met een verhoging van de alkaniteit (HCO_3) (Smolders et al., 2006).

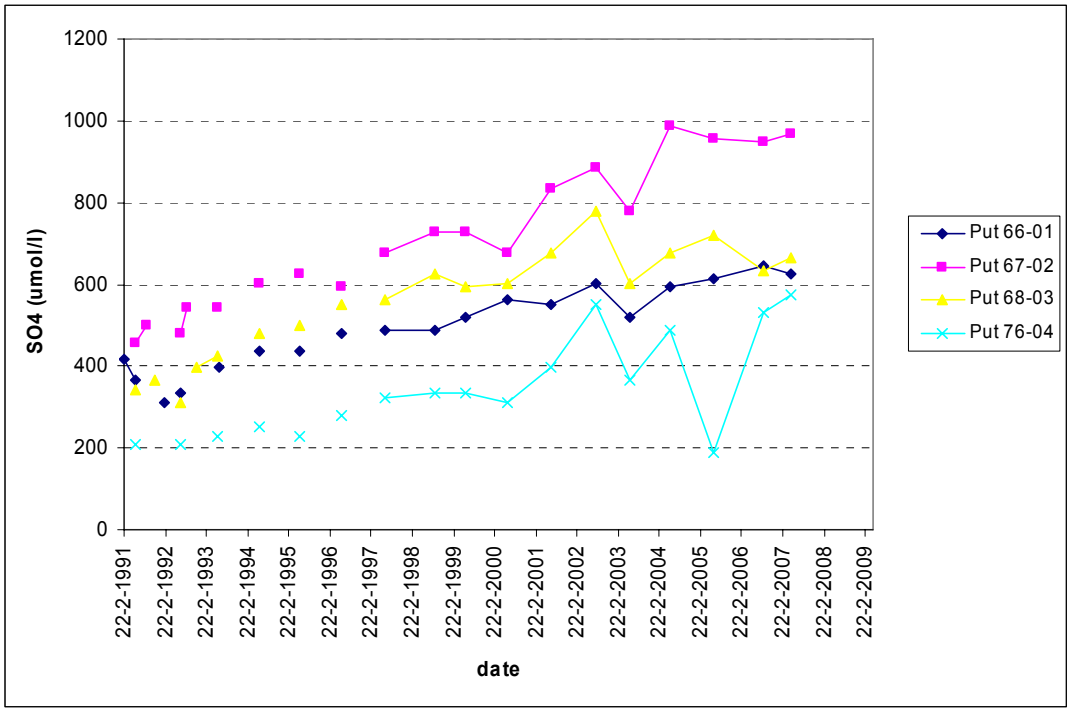
Samenvattend: de vermestingstoestand van grondwater kan worden afgelezen aan NO_3, SO_4, Fe, PO_4, hardheid (Ca+Mg) en alkaliniteit (HCO_3).

4.2 Kwaliteit van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo

Het grondwater dat door de pompputten bij waterwinning Weerselo wordt aangetrokken is indicatief voor het water dat op termijn uittreedt in de Lemselermaten. Hieronder zal voor een aantal relevante chemische parameters worden gekeken naar de trend in concentratie over de meetjaren.

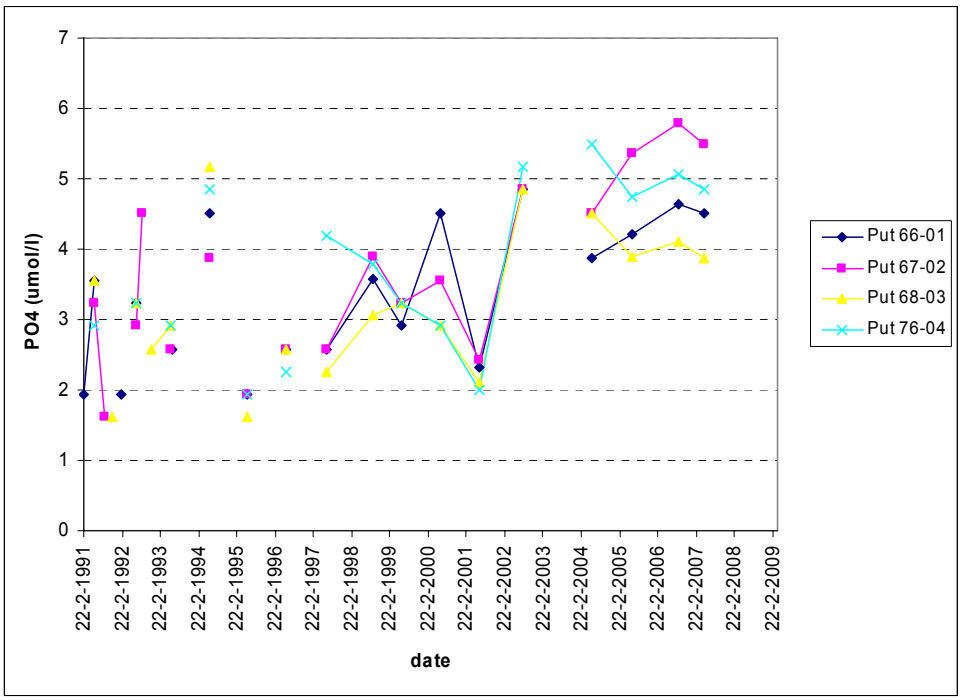
Nitraat
Het water in de pompputten is arm aan nitraat. De concentraties bevinden zich vrijwel allemaal beneden de detectiegrens van de gehanteerde analysetechniek in het laboratorium. De nitraatgehaltes zijn laag, omdat door de lage redoxpotentiaal van het diepere grondwater het ingespoelde nitraat volledig wordt omgezet.

Sulfaat
Het water in de pompputten is sulfaatrijk. In figuur 4 wordt de trend over de meetjaren getoond. Hieruit blijkt dat de SO_4-concentratie sinds de jaren '90 is toegenomen. Voor drie pompputten lijkt er vanaf 2002 sprake van een afvlakkende concentratie SO_4. Alleen voor put 67-02 lijkt het gehalte sulfaat in het diepe grondwater nog steeds toe te nemen. De laatst gemeten concentraties (3-5-2007) bevinden zich tussen 573 en 968 umol/l. De hoge sulfaatgehaltes worden veroorzaakt door oxidatie van sulfides door nitraat.



Figuur 4: Trends in sulfaat-concentratie (umol/l) in het grondwater van de pompputten bij waterwinning Weerselo.

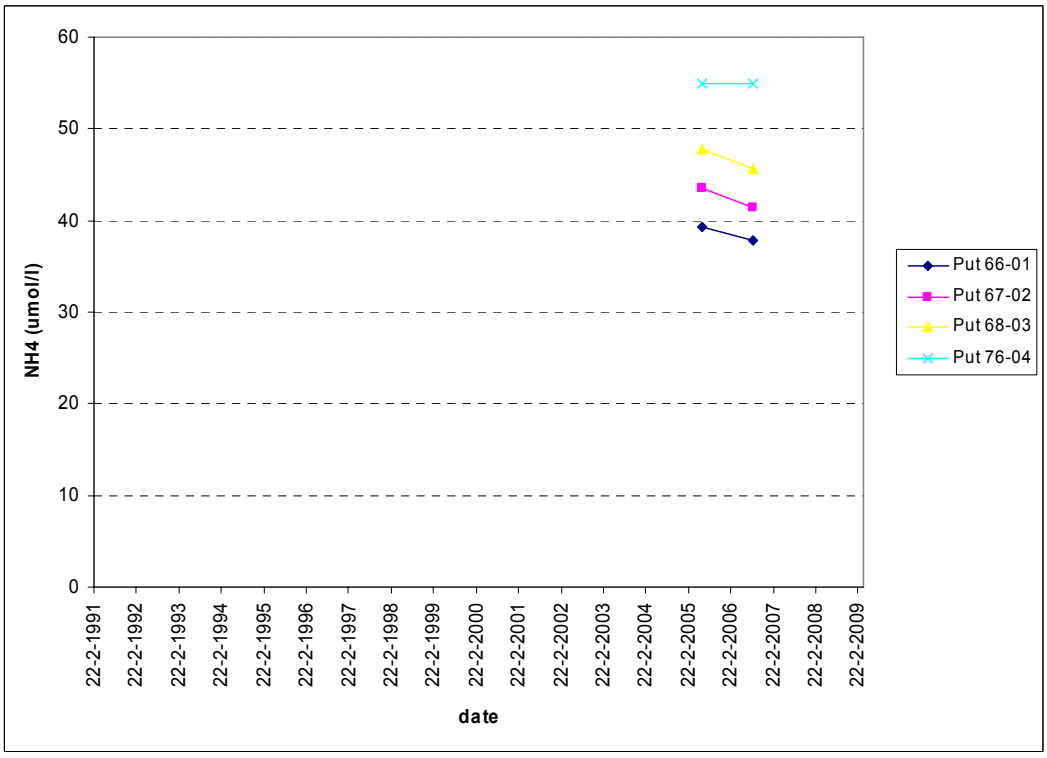
Fosfaat
Figuur 5 toont de trend in gehalte aan fosfaat over de meetjaren. De concentratie fosfaat in het diepe grondwater van de pompputten fluctueert sterk. Alhoewel de trend niet statitisch significant is, lijken de PO_4-concentraties geleidelijk toenemen. De oorzaak van deze eventuele toename is niet duidelijk. Mogelijk speelt mineralisatie uit organisch materiaal een rol, omdat het ingespoelde nitraat ook organische stof afbreekt. Onbekend is echter of verandering in voorbehandeling van de grondwatermonsters van invloed is.



Figuur 5: Trends in fosfaat-concentratie (umol/l) in het grondwater van de pompputten bij waterwinning Weerselo.

Ammonium

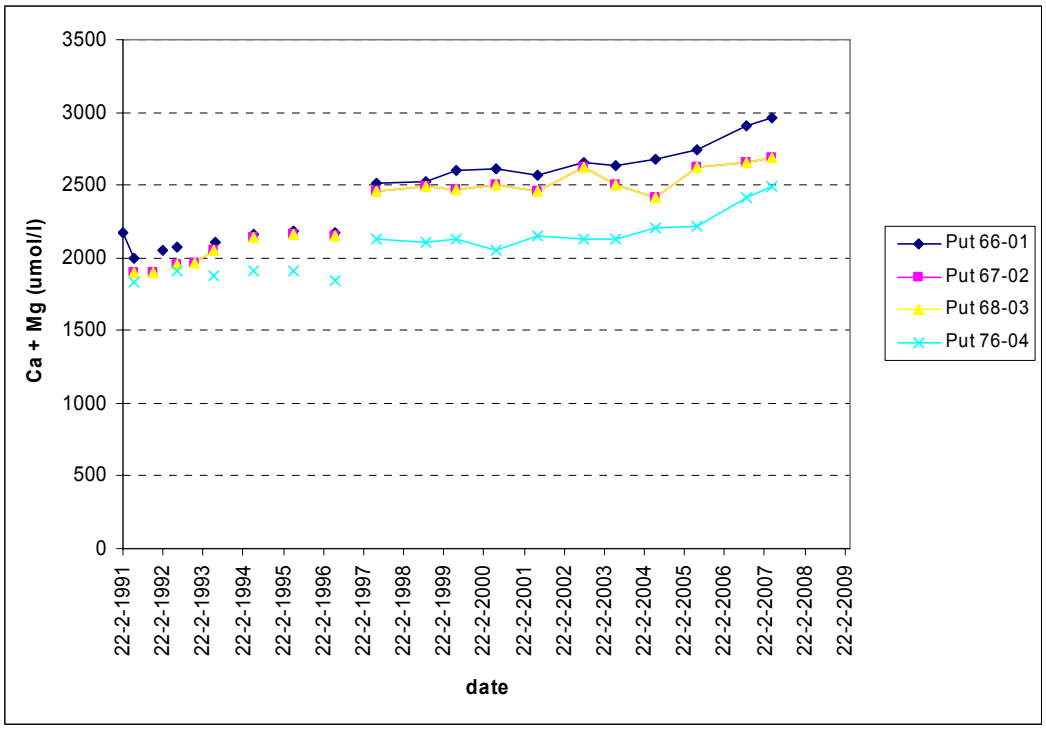
De concentratie ammonium is slechts van twee jaren bekend (figuur 6). Het is niet mogelijk om uit deze gegevens een trend af te leiden. De gemeten concentraties zijn relatief laag voor grondwater.



Figuur 6: Trends in ammonium-concentratie (umol/l) in het grondwater van de pompputten bij waterwinning Weerselo.

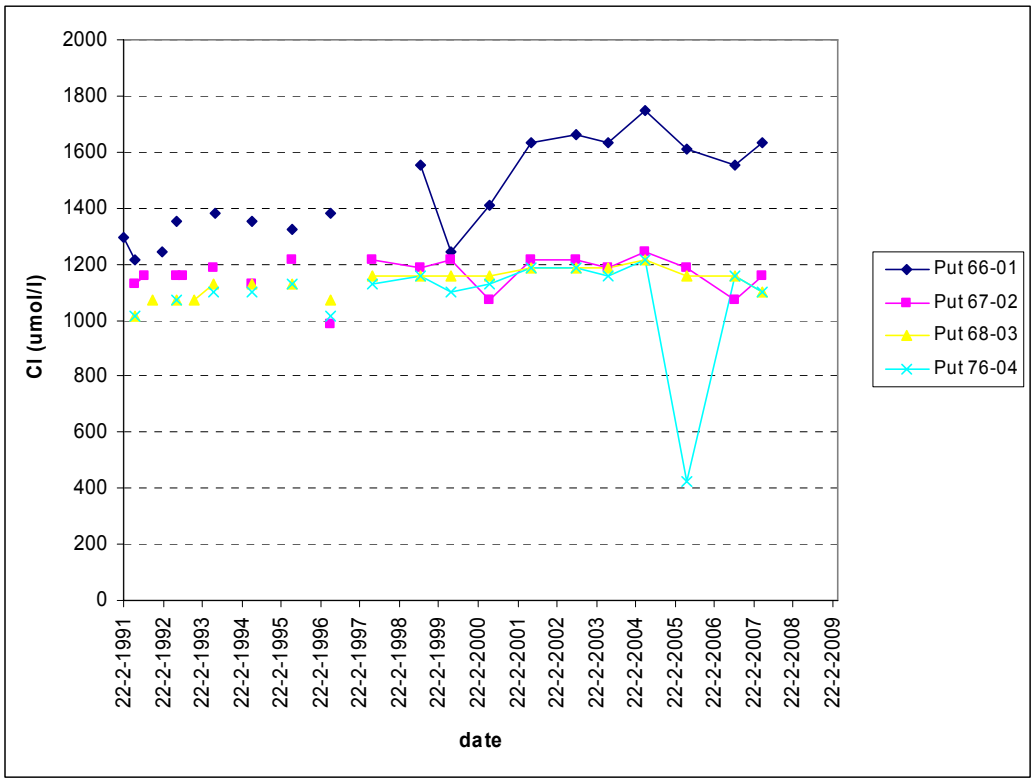
Hardheid

De hardheid van water is de som van de concentraties calcium en magnesium (in umol/l). In figuur 7 wordt de trend in hardheid van het grondwater over de meetjaren getoond. Er is sprake van een toenemende hardheid van het grondwater in de pompputten. De laatste jaren is niet, zoals bij sulfaat het geval lijkt te zijn, sprake van afvlakking van de trend. Deze toename van de hardheid duidt op zuurvorming als gevolg van redoxreacties door de omzetting van nitraat.



Figuur 7: Trends in hardheid (Ca + Mg, in umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo.

Chloride
Figuur 8 toont de trend in concentratie chloride over de meetjaren. De concentratie chloride is relatief stabiel in de tijd. Alleen voor put 66-01 is sprake van een toename in chloridegehalte.



Figuur 8: Trends in chloride-concentratie (umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo.

4.3 Kwaliteit van het grondwater in de peilbuizen van het Westelijke en Oude Maatje

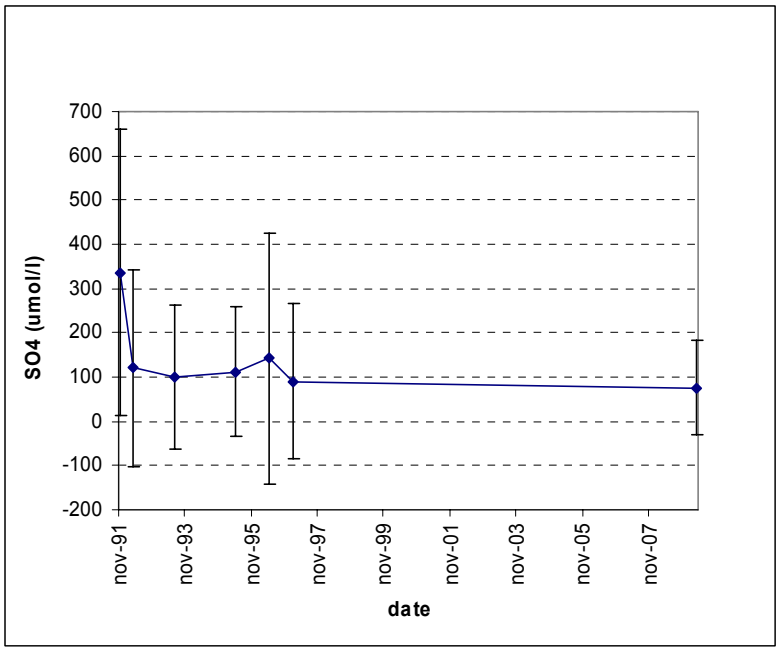
De waterkwaliteitgegevens van de peilbuizen in het 'Oude Maatje' en Westelijke Maatje' worden gebruikt om vast stellen in welke mate het toestromende grondwater vermest is. Hieronder zal voor een aantal relevante chemische parameters worden gekeken naar de ruimtelijke en temporele patronen in concentratie over de meetjaren.

Nitraat
Het water in de minifilters is arm aan nitraat. De concentraties bevinden zich vrijwel allemaal beneden de detectiegrens van de gehanteerde analysetechniek in het laboratorium (zie bijlage II).

Sulfaat
De sulfaatconcentraties variëren sterk, zowel in de tijd als in de ruimte. Ook het wegnemen van 'ruis' door alleen gegevens te nemen die betrekking hebben op vergelijkbare bemonsteringsperioden (bijvoorbeeld alleen het voorjaar) en vergelijkbare posities van de peilbuizen op de gradiënt in het gebied, levert geen eenduidig patroon op (zie bijlage II). Voor veel locaties geldt dat in 1991 de hoogste concentraties zijn gemeten. Opmerkelijk is dat voor peilbuis Pb_3 tijdens de laatste bemonsteringsronde (8-4-2009) de hoogste concentraties zijn gemeten.
Er is geen duidelijk verschil in concentraties SO_4 tussen het ondiepe en diepere filter: voor de helft van de peilbuizen heeft het ondiepe filter een hoger gehalte, voor de andere helft juist het diepere filter. Een deel van de filters overschrijdt periodiek de grenswaarde van 100-200 umol/l. De meeste filters hebben een waarde onder deze grenswaarde. Bedacht moet worden dat geanalyseerde grondwater van de minifilters al in contact is geweest met de organische stofrijke

bodem. Dat geldt zeker voor de ondiepe filters. Sulfaatwaarden kunnen hierdoor lager zijn dan die van het toestromende grondwater. Er is geen eenduidig patroon in het moment waarop en waar deze overschrijdingen plaatsvinden. In 2009 overschrijden alleen de peilbuizen Pb_3 en Pb_6 eerdergenoemde grenswaarde.

Figuur 9 laat de gemiddelde trend in SO_4-concentratie over alle peilbuizen zien. Hieruit blijkt dat er geen sprake is van een significante toe- of afname in sulfaat-gehalte. De hoge standaarddeviaties wijzen op een behoorlijke variatie tussen de locaties. Deels kan de temporele variatie worden veroorzaakt door fluctuaties in de grondwaterstand.



Figuur 9: De gemiddelde trend in sulfaat-concentratie (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

IJzer
Het is niet mogelijk om een goed beeld te schetsen van de gemiddelde trend in Fe-concentratie. De peilbuizen in de Lemselermaten zijn weliswaar in meerdere jaren op ijzer bemonsterd, maar er zijn grote verschillen in voorbehandeling van die monsters. De monsters van eerdere bemonsteringsjaren werden namelijk pas in het laboratorium gefiltreerd en daarna pas aangezuurd voor de bepaling van concentraties aan kationen. Dit leidt tot een onderschatting van de Fe-concentratie in de betreffende monsters. Het is daardoor mogelijk dat (een gedeelte van) de variatie in ijzer-gehalte in de tijd wordt veroorzaakt door verschillen in behandeling van de grondwatermonsters. Daarom kijken we hier alleen naar de laatst gemeten waarden (8-4-2009). Het grondwater blijkt in 2009 redelijk ijzerhoudend te zijn (zie tabel 6).

Tabel 6: Gemeten fosfaat-concentraties (umol/l) voor alle peibuizen op 8-4-2009

Peilbuis	Concentratie aan fosfaat (umol/l)
Pb_1_a	88,99
Pb_1_b	27,93
Pb_2_a	38,14
Pb_2_b	76,64
Pb_3_a	32,23
Pb_3_b	241,73
Pb_4_a	60,52
Pb_4_b	174,05
Pb_5_a	x
Pb_5_b	x
Pb_6_a	143,96
Pb_6_b	0,95
Pb_7_a	78,07
Pb_7_b	80,22

Ratio SO_4/Fe

De verhouding tussen sulfaat en ijzer geeft aan in hoeverre er voldoende ijzer beschikbaar is om fosfaat te binden. Als de SO_4/Fe-ratio hoger is dan 1, dan is er meer sulfaat aanwezig dan ijzer. Als de ratio hoger is dan 1, blijft bij vorming van sulfides weinig vrij ijzer over in de bodem om fosfaat te binden. Als de ratio lager is dan 1, blijft wel genoeg vrij ijzer over om fosfaat te binden. Tabel 7 geeft de ratio sulfaat/ijzer weer voor alle peilbuizen in 2009. Voor de meeste filters is de ratio lager dan 1. Alleen de waarden voor het ondiepe filter van peilbuis Pb_3 en het diepe filter van peilbuis Pb_6 zijn fors hoger dan 1. Ook bij deze waarden moet, net als bij de sulfaatgehalte, bedacht worden dat de ratio in het grondwater van de organische stofrijke bodem kan zijn veranderd t.o.v. de ratio in het toestromende grondwater als gevolg van reductieprocessen in de bodem.

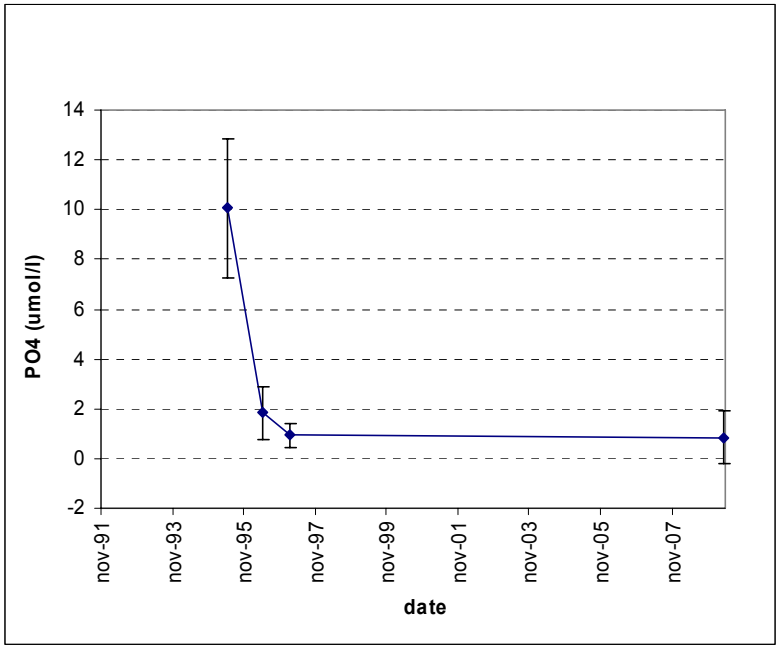
Tabel 7: Ratio sulfaat/ijzer (umol/l) voor alle peilbuizen op basis van de gemeten concentraties aan sulfaat en ijzer op 8-4-2009.

Peilbuis	Ratio SO_4/Fe
Pb_1_a	0,19
Pb_1_b	0,37
Pb_2_a	0,65
Pb_2_b	1,22
Pb_3_a	11,61
Pb_3_b	0,59
Pb_4_a	0,16
Pb_4_b	0,47
Pb_5_a	
Pb_5_b	
Pb_6_a	0,06
Pb_6_b	140,32
Pb_7_a	0,13
Pb_7_b	0,10

Fosfaat

Figuur 10 laat zien dat het gemiddelde fosfaat-gehalte sinds 1995 sterk is afgenomen. Dit geldt voor alle peilbuizen (zie bijlage II). Aan de geconstateerde trend kan echter weinig waarde worden gehecht omdat fosfaat slechts op drie momenten is gemeten. De laatst gemeten concentraties aan fosfaat zijn voor de meeste peilbuizen relatief laag. Alleen voor de peilbuizen

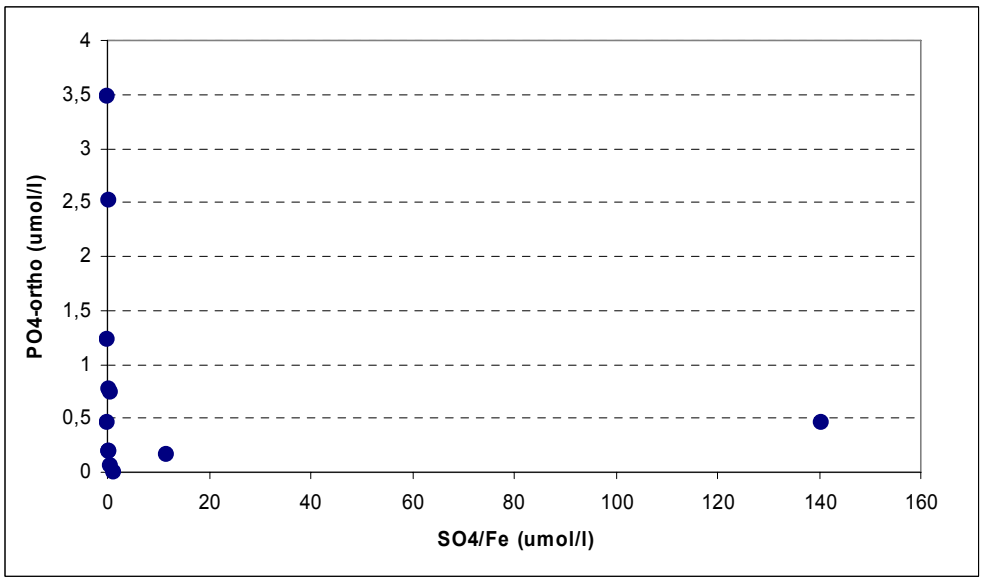
Pb_4 en Pb_6 zijn de gemeten waarden iets hoger. De variatie in PO_4-concentraties tussen de jaren kan zijn veroorzaakt door verschillen in monsterbehandeling. De monsters van eerdere bemonsteringsjaren werden namelijk pas in het laboratorium gefiltreerd en daarna pas aangezuurd voor bepaling van o.a. de fosfaat-gehaltes. In de tussentijd kan zich Fe-neerslag hebben gevormd, waaraan PO_4 is gebonden. Als je pas daarna gaat filtreren, vang je een deel van het PO_4 weg. Dit leidt tot een onderschatting van de PO_4-concentratie in de betreffende monsters.



Figuur 10: De gemiddelde trend in fosfaat-concentratie (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

Relatie ratio SO4/Fe en PO4-ortho

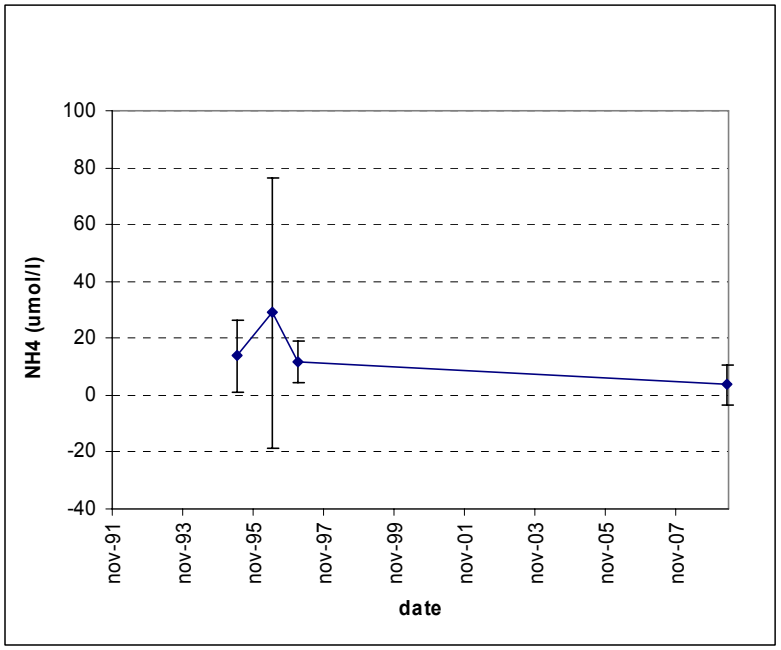
In figuur 11 is de fosfaat-concentratie uitgedrukt tegen de ratio SO_4/Fe. In geval van vermesting met sulfaatrijk grondwater is de verwachting dat er een positieve correlatie bestaat tussen het fosfaatgehalte en de ratio sulfaat/ijzer. Bij een lage ratio van sulfaat/ijzer zijn er namelijk veel ijzerdeeltjes beschikbaar om fosfaat te binden, waardoor er weinig fosfaat in opgeloste vorm aanwezig zal zijn. Als de ratio hoog is, zal de concentratie ortho-fosfaat ook hoog zijn, omdat in dat geval mobilisatie van fosfaat optreedt (sulfaat bindt makkelijker aan de schaarse ijzerdeeltjes dan fosfaat). Dit patroon vinden we niet terug in figuur 11. De hoogste fosfaat-concentraties worden juist aangetroffen bij een lage ratio van SO_4/Fe. De fosfaat-gehaltes zijn weliswaar het hoogst bij de laagste ratio's, maar ook hier zijn de concentraties nog relatief laag voor grondwater.



Figuur 11: Het fosfaat-gehalte (umol/l) uitgedrukt t.o.v. de de ratio SO_4/Fe (umol/l). Voor dit figuur is alleen gebruik gemaakt van de gegevens uit 2009, vanwege verschillen in monsterbehandeling tussen de jaren.

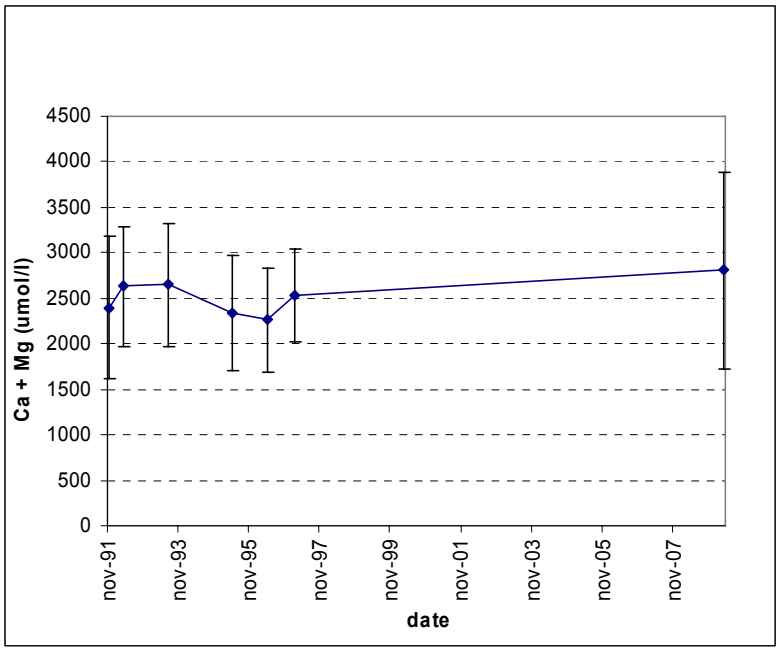
Ammonium

Figuur 12 toont de gemiddelde trend in NH_4-concentratie van het grondwater over alle peilbuizen. Hieruit lijkt dat het gemiddelde ammonium-gehalte iets is afgenomen vanaf 1995, maar deze trend is niet significant. Dit geldt voor vrijwel alle peilbuizen, behalve peilbuis Pb_6 die voor het ondiepe filter een toename laat zien (zie bijlage II).



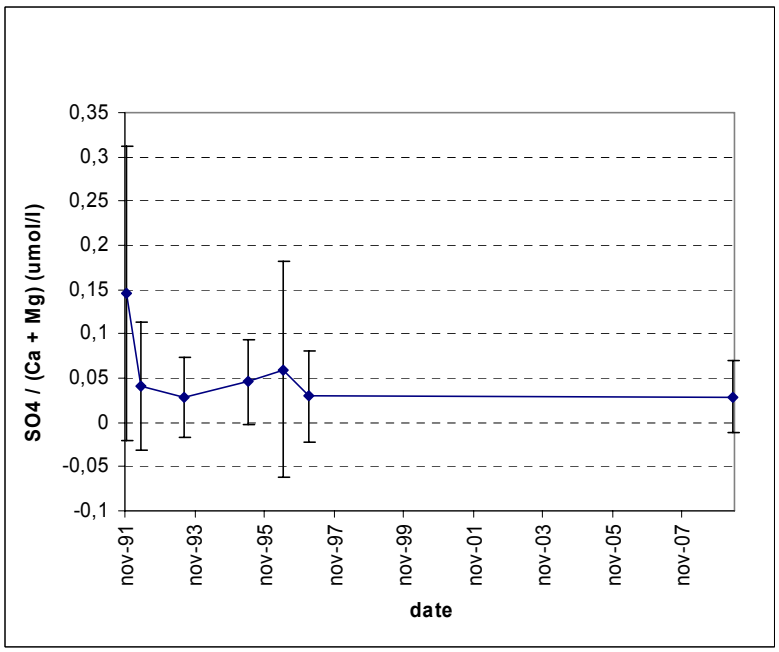
Figuur 12: De gemiddelde trend in ammonium-concentratie (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

Hardheid
Figuur 13 toont de gemiddelde trend in hardheid van het grondwater over alle peilbuizen. Er is sprake van een lichte toename in hardheid sinds 1996, hoewel de variatie tussen meetpunten groot is. Er zijn geen duidelijke ruimtelijke patronen in hardheid te ontdekken (zie bijlage II). Peilbuis Pb_3 (onderaan de helling van het Westelijke Maatje) laat voor beide filters een duidelijke toename in hardheid van het grondwater zien.



Figuur 13: De gemiddelde trend in hardheid (Ca + Mg, in umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

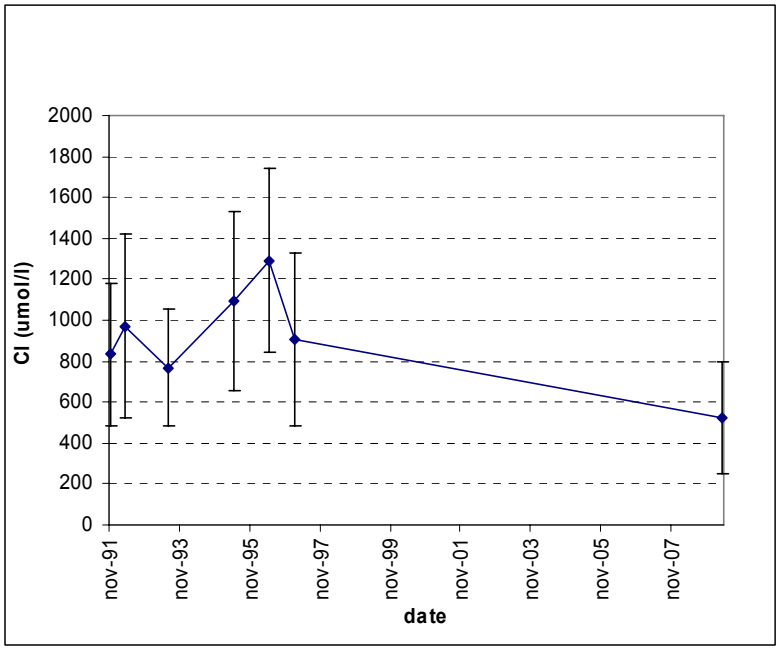
Ratio SO_4/Ca+Mg
De verhouding tussen de sulfaat-concentratie, enerzijds, en de som van de concentraties van calcium en magnesium (in umol/l), kan gebruikt worden als een maat voor de potentiële buffering van het kwelgebied. Het sulfaat dat wordt aangevoerd door het grondwater wordt in de bodem omgezet in sulfides en vormt daardoor op de lange termijn een 'zuurbom'. Bij droogval van de bodem in een extreem droog jaar zullen de sulfides snel oxideren en veel zuur vormen. De bodem krijgt dan een 'zuurstoot'. De bodem kan deze zuurstoot opvangen als voldoende calcium en magnesium aanwezig is. Dat is in principe mogelijk als door het toestromende grondwater evenveel Ca+Mg wordt aangevoerd als sulfaat.
Figuur 14 laat zien dat de gemiddelde waarde in alle jaren kleiner is dan 1. Dit is een indicatie voor het feit dat er waarschijnlijk geen 'zuurbom' in de bodem wordt opgebouwd. Of er daadwerkelijk wel of geen sprake is van een 'zuurbom' kan alleen met zekerheid worden vastgesteld door analyse van totaalwaarden van zwavel, calcium en magnesium in de bodem. Zulke bodemchemische gegevens zijn van de Lemselermaten niet beschikbaar.



Figuur 14: De gemiddelde trend in de ratio SO_4/Ca+Mg (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

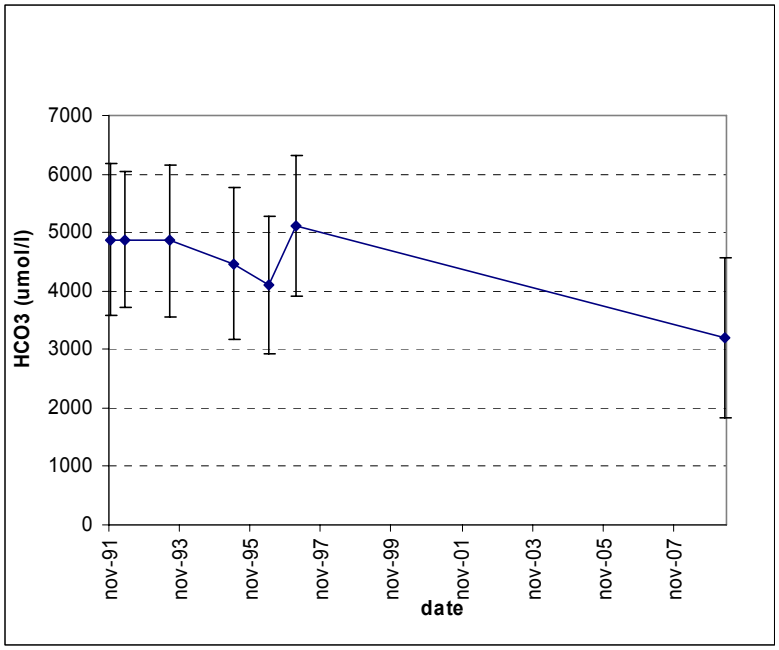
Chloride

Figuur 15 laat zien dat het gemiddelde chloride-gehalte sinds 1996 sterk is afgenomen. Dit geldt voor bijna alle peilbuizen (zie bijlage II). Alleen voor peilbuis Pb_3 liggen de Cl-concentraties met waarden rond 800-900 umol/l nog in de buurt van de gehaltes in 1996.



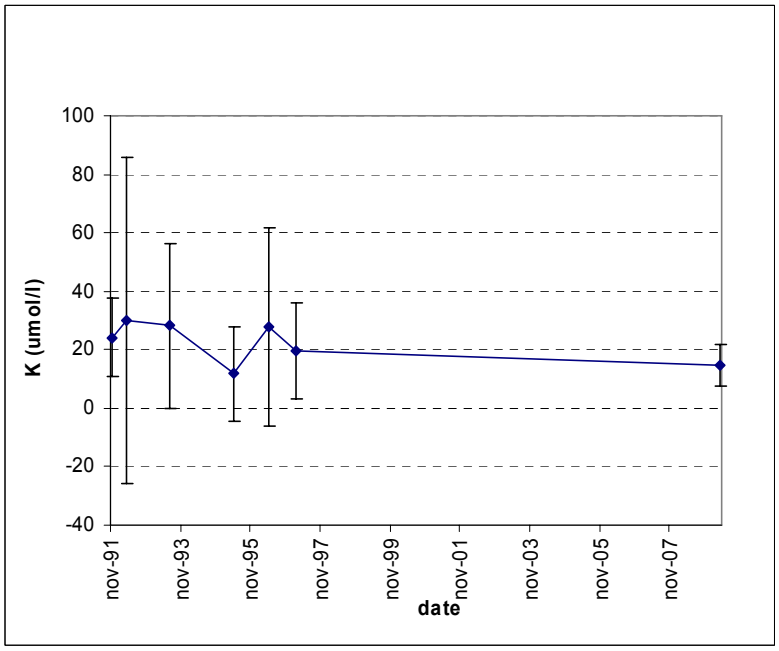
Figuur 15: De gemiddelde trend in chloride-concentratie (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

Bicarbonaat
Figuur 16 toont de gemiddelde trend in HCO_3-concentratie van het grondwater over alle peilbuizen. Hieruit blijkt dat het gemiddelde bicarbonaat-gehalte is afgenomen sinds 1997. Dit geldt voor alle peilbuizen (zie bijlage II).



Figuur 16: De gemiddelde trend in bicarbonaat-concentratie (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

Kalium
De trend in kalium-gehalte varieert nogal per meetpunt. Voor sommige peilbuizen geldt een afname, voor anderen juist van een stabiele trend of zelfs toename (zie bijlage II). Figuur 17 laat zien dat gemiddeld gezien sprake is van een lichte daling van de kalium-concentratie.

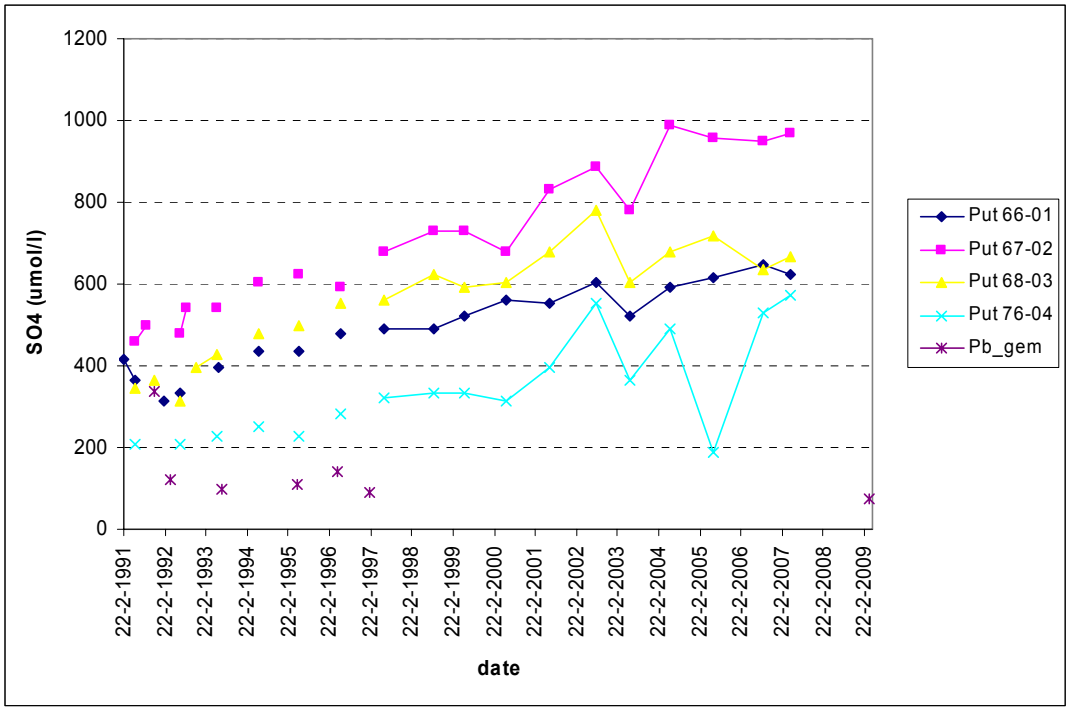


Figuur 17: De gemiddelde trend in kalium-concentratie (umol/l) over alle peilbuizen. De blauwe stippen geven het gemiddelde aan, de lijntjes het gemiddelde plus en min éénmaal de standaarddeviatie.

4.4 Vergelijk van de grondwaterkwaliteit tussen de pompputten bij winning Weerselo en de peilbuizen van het Westelijke en Oude Maatje

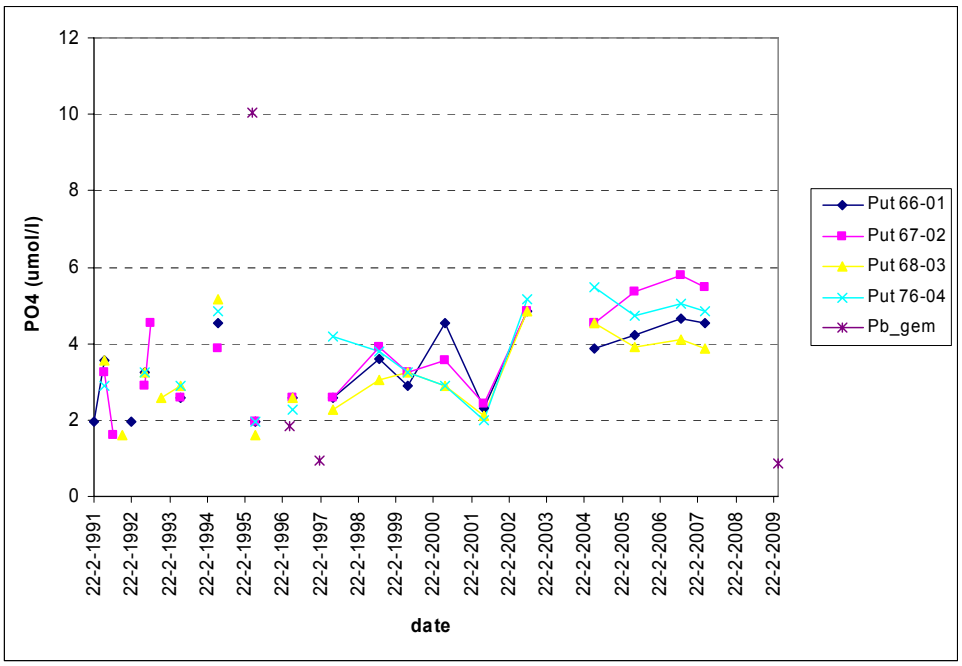
In deze paragraaf zal de grondwaterkwaliteit van het diepe grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo worden vergeleken met die van het ondiepe grondwater in de peilbuizen van de Lemselermaten.

Sulfaat
Figuur 18 laat zien dat de concentratie aan sulfaat in de pompputten op een beduidend hoger niveau ligt dan die in de peilbuizen. In de pompputten is sprake van een toename in sulfaatgehalte van gemiddeld 350 tot 700 umol/l. Het sulfaatgehalte in de peilbuizen is vrij stabiel en ligt gemiddeld net iets boven de 100 umol/l. Het verschil in sulfaatgehalte kan worden veroorzaakt door: (1) reductie van sulfaat in de bodem van het kwelgebied, (2) de pompputten trekken jonger zwaar vermest grondwater aan en in het kwelgebied van de Lemselermaten stroomt ouder - nog minder sterk vermest - grondwater toe.



Figuur 18: Vergelijk tussen de chloride-concentraties (umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo en de gemiddelde concentratie over alle peibuizen (Pb_gem).

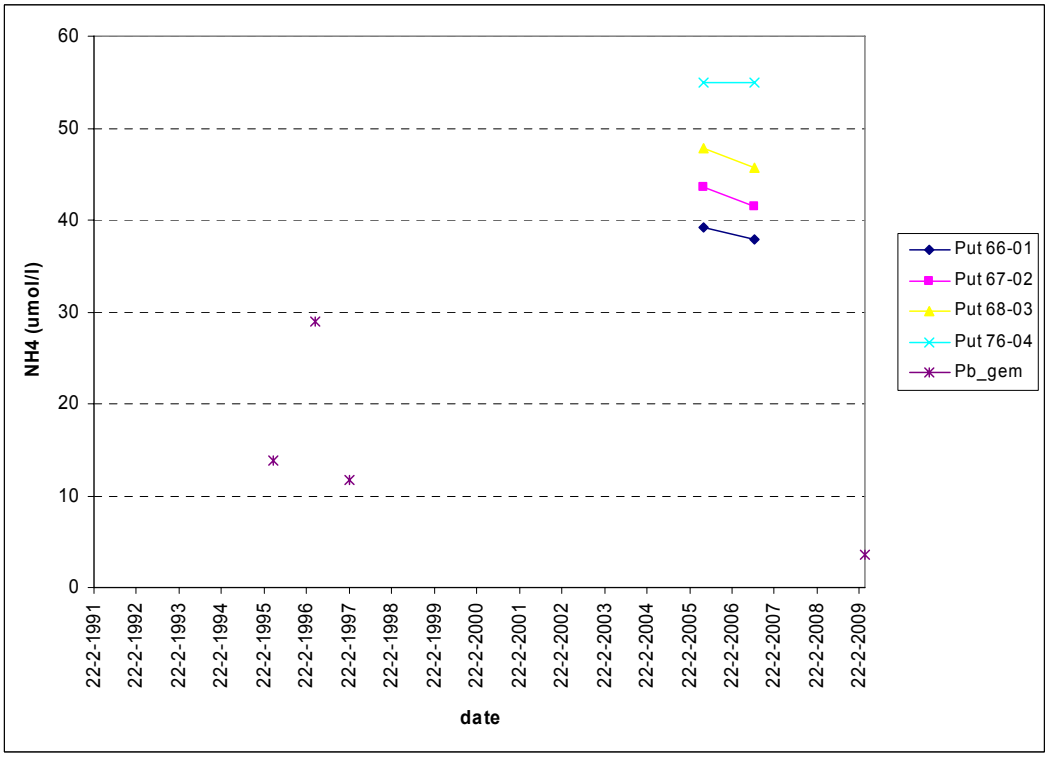
Fosfaat
Het gehalte aan fosfaat ligt op het moment van de laatste bemonstering in de pompputten flink hoger dan in de peilbuizen (figuur 19). Wat betreft de peilbuizen kan de trend in PO_4-concentraties worden beïnvloed door verschillen in monsterbehandeling. De laatst gemeten PO_4-concentraties in de pompputten zijn relatief hoog voor grondwater. De gemiddelde concentratie fosfaat in de peilbuizen is relatief laag op het laatste moment van bemonstering.



Figuur 19: Vergelijk tussen de fosfaat-concentraties (umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo en de gemiddelde concentratie over alle peibuizen (Pb_gem).

Ammonium

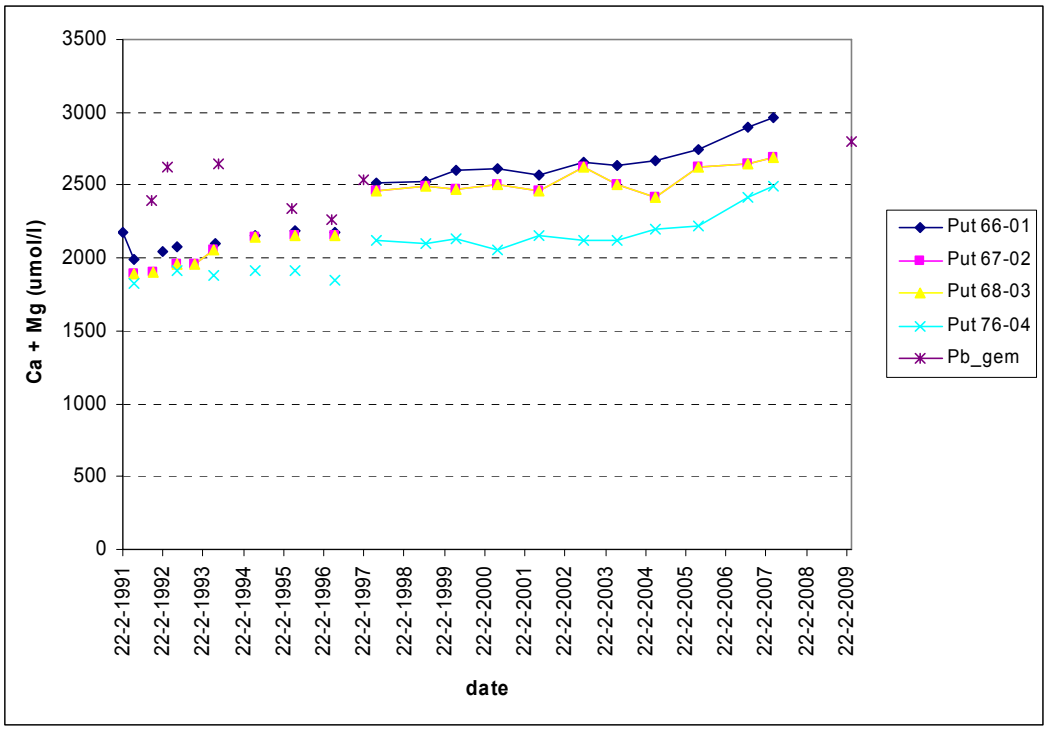
Figuur 20 laat zien dat het gehalte ammonium in de pompputten op een beduidend hoger niveau ligt dan die in de peilbuizen. Het gemiddelde ammonium-gehalte in de peilbuizen is afgenomen vanaf 1995. De gemeten concentraties in zowel de pompputten als peilbuizen zijn relatief laag voor grondwater.



Figuur 20: Vergelijk tussen de ammonium-concentraties (umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo en de gemiddelde concentratie over alle peibuizen (Pb_gem).

Hardheid

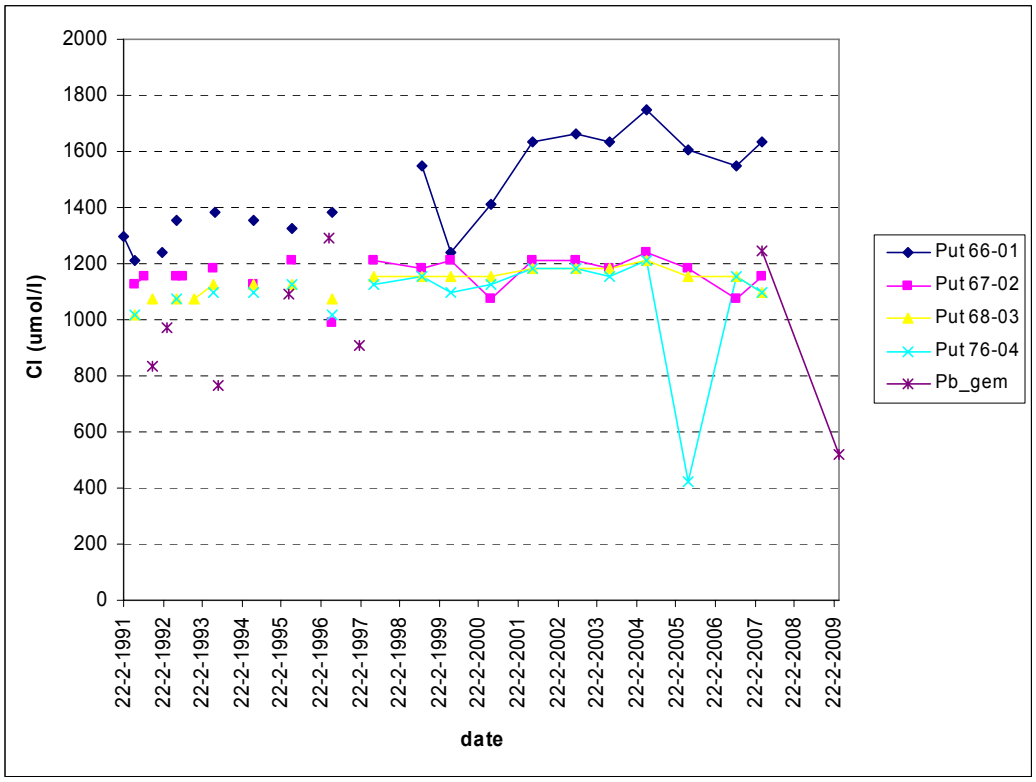
Figuur 21 toont dat de hardheid van het grondwater in zowel de pompputten als peilbuizen toeneemt. In het begin van de jaren '90 was de hardheid in de peilbuizen hoger dan in de pompputten. Op dit moment ligt de gemiddelde hardheid van de pompputten op hetzelfde niveau als die van de peilbuizen. Dit is een aanwijzing dat momenteel in het kwelgebied van de Lemslermaten in dezelfde mate vermest grondwater toestroomt.



Figuur 21: Vergelijk tussen de hardheden (Ca + Mg, in umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo en de gemiddelde hardheid van het grondwater over alle peibuizen (Pb_gem).

Chloride

Figuur 22 laat zien dat het gemiddelde chloride-gehalte in de peilbuizen sinds 1996 sterk is afgenomen. De concentratie chloride in de pompputten is relatief stabiel in de tijd. De gemeten concentratie chloride in 2009 in de peilbuizen (523 umol/l) ligt beduidend lager dan die in de pompputten (1248 umol/l). Hiervoor is geen verklaring.



Figuur 22: Vergelijk tussen de chloride-concentraties (umol/l) van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo en de gemiddelde concentratie over alle peibuizen (Pb_gem).

5 Discussie en conclusie

5.1 Kwaliteit van het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo

Het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo is nitraatarm en rijk aan chloride en sulfaat. De hoge concentraties aan chloride en sulfaat worden veroorzaakt door bemesting in het intrekgebied van de waterwinning (Jansen, 2001). Hoge sulfaatgehaltes ontstaan doordat nitraat uit het inzijgende grondwater (afkomstig van mest) door reductie wordt gedenitrificeerd a.g.v. de oxidatie van pyriet in pyriethoudende lagen van het watervoerend pakket. Uit het pyriet wordt dan sulfaat gevormd. Bij pyrietoxidatie komt sterk zuur (zwavelzuur) vrij. Dit leidt tot het versneld in oplossing gaan van calciet in het kalkrijke watervoerende pakket, hetgeen de hoge hardheden (Ca- en Mg-concentraties) van het grondwater in de pompputten verklaart. Een toename van het fosfaatgehalte kan mogelijk een gevolg zijn van afbraak van organisch materiaal in het watervoerende pakket. Het is onduidelijk of het grondwater dat in de Lemselermaten uittreedt onderweg organische stofrijke lagen passeert.

Als het sulfaatrijke grondwater in de bodem van het kwelgebied in contact komt met organische stofrijke lagen in de bodem, kan mobilisatie van fosfaat optreden. Het met het grondwater aangevoerde sulfaat oxideert namelijk organisch materiaal. Hierbij wordt o.a. HCO_3^- en HS^- geproduceerd. HS^- kan verder reageren tot FeS. Hierdoor kan de beschikbaarheid van fosfaat toenemen door oplossing uit $FeCO_3$ en andere Fe-fosfaatzouten, omdat de binding van sulfide aan ijzer sterker is dan die van fosfaat. Een toename van HCO_3^- leidt ook tot een sterkere decompositie van organisch materiaal, waarbij extra N en P vrijkomen. In delen met organische bodems leiden beide processen (afbraak van organisch materiaal en P-desorptie) tot interne eutrofiëring (Jansen & Roelofs, 1996). In het kwelgebied van de Lemselermaten zelf is toplaag van de bodem rijk aan organische stof. Bovenstaande redoxreacties zullen daar dus zeker optreden bij toestroming van sulfaatrijk grondwater. Dit is, naast een verhoogde mineralisatie als gevolg van te lage grondwaterstanden in de zomer, een belangrijke oorzaak van de waargenomen geleidelijke eutrofiëring in de schraallandvegetatie van het Oude Maatje (Aggenbach & Jansen, 2004). Ondanks consequent hooilandbeheer vanaf eind jaren ’80 treedt hier eutrofiëring op.

5.2 Kwaliteit van het grondwater in de peilbuizen van het Westelijke en Oude Maatje

De concentraties aan sulfaat en chloride liggen in de peilbuizen op een beduidend lager niveau dan in de pompputten van de winning Weerselo. In de peilbuizen is bovendien geen sprake van een significante toename in sulfaatgehalte, zoals in de pompputten bij waterwinning Weerselo wel het geval is. Wel varieert het sulfaatgehalte sterk in de ruimte en in de tijd. Voor veel locaties zijn in 1991 de hoogste concentraties gemeten. In 1991 is in het najaar bemonsterd bij een lage grondwaterstand. Deze lage grondwaterstand zorgt in combinatie met een opwarming van de bodem in de voorafgaande zomer voor oxidatie van sulfides, waardoor de sulfaatgehalten in de bodem hoger zijn dan die tijdens de voorjaarsmetingen (hoge grondwaterstand, koude bodem). Met enige regelmaat overschrijdt een deel van de peilbuizen de grenswaarde van 100-200 umol/l. In 2009 geldt dat voor de peilbuizen Pb_3 (Pb_3a = 374 umol/l en Pb_3b = 143 umol/l) en Pb_6. (Pb_6a: 133 umol/l). De concentraties van beide peilbuizen liggen echter (nog) flink lager dan de laatst gemeten waarden in de pompputten (van 573 umol/l in Put 76-04 tot 968 umol/l in Put 67-02).
De peilbuizen Pb_3 en Pb_6 liggen laag op de gradiënt van dekzandrug naar de Weerselerbeek. Hier komen organische stofrijke bodems voor (metingen in Aggenbach & Jansen, 2004). In delen met organische bodems kan een hoog sulfaatgehalte (boven eerdergenoemde grenswaarde) via de afbraak van organisch materiaal en P-desorptie (zie paragraaf 5.1) leiden tot interne eutrofiëring (Jansen & Roelofs, 1996). De hoge sulfaat/ijzer-ratio’s voor het ondiepe filter van

peilbuis Pb_3 en het diepe filter van peilbuis Pb_6 geven aan dat desorptie van fosfaat een reëel risico is op deze locaties. In 2009 zijn de gemeten concentraties aan fosfaat voor de meeste locaties relatief laag, maar juist voor de peilbuizen Pb_4 en Pb_6 (!) is sprake van iets hogere meetwaarden. Dit ondersteunt bovenstaande hypothese dat de toestroming van sulfaatrijk grondwater kan leiden tot desorptie van fosfaat en daarmee tot eutrofiëring van de standplaats. Het ondiepe filter van peilbuis Pb_6 laat bovendien een toename in ammonium-gehalte zien. Dit duidt op de afbraak van reactief organisch materiaal onder anaerobe (waterverzadigde) omstandigheden.

De hardheid van het ondiepe grondwater neemt toe vanaf 1996. Peilbuis Pb_3 laat voor beide filters een duidelijke toename in hardheid van het grondwater zien. Samen met het hoge sulfaatgehalte op deze locatie vormt dit een mogelijke aanwijzing voor de doorbraak van sterk vermest grondwater uit het regionale systeem. Het grondwater in de pompputten bij waterwinning Weerselo vertoonde immers ook een hoog sulfaatgehalte en een hoge hardheid als gevolg van pyrietoxidatie. Dit wordt echter niet ondersteund door het chloridegehalte. Als sprake zou zijn van een doorbraak van sterk vermest grondwater zouden de chloride-concentraties van het water in de winning en in het kwelgebied min of meer gelijk moeten zijn. Momenteel is de chloride-concentratie in het kwelgebied veel lager dan die bij de winning.

5.3 Eindconclusie en aanbevelingen

De hoge concentraties aan sulfaat en hardheid in de pompputten laten zien dat de vermesting van het grondwater in het regionale systeem doorzet. Bij deze vermesting speelt pyrietoxidatie door de toevoer van nitraat een belangrijke rol. In het 'Oude Maatje' en 'Westelijke Maatje' van de Lemselermaten is geen sprake van een eenduidig patroon in de parameters die indicatief zijn voor vermesting. Op het moment van bemonstering in 2009 zijn er op de meeste locaties geen aanwijzingen voor een hoog risico op vermesting door het toestromen van sulfaatrijk grondwater. Deze conclusie kent echter een grote mate van onzekerheid, omdat de meetresultaten sterk afhankelijk zijn van het moment van bemonstering: bemonsteren op een ander tijdstip in het jaar kan leiden tot duidelijke andere waarden. Alleen voor de locaties van peilbuizen Pb_3 en Pb_6 is het aannemelijk dat daar wel vermest grondwater uit het regionale systeem tot in de toplaag van de bodem doordingt. Dit betekent voor deze locaties een verhoogd risico op interne eutrofiëring.

Belangrijke kanttekening bij de resultaten van dit onderzoek is dat toetsing van vermestingsparameters met relevantie voor organische stofrijke kwelgebieden het beste kan plaatsvinden voordat het toestromende grondwater in contact is geweest met de bodem van het kwelgebied. Als het vermeste grondwater de bodem bereikt, veranderen het SO_4 en Fe-gehalte onder invloed van redoxprocessen (oxidatie van organische stof). De minifilters in het Westelijke en Oude maatje zijn ondiep en in de meeste gevallen zal het grondwater zijn beïnvloed door reacties met organische stof in een gereduceerde bodem. De toetsing van sulfaatwaarden aan de norm van 100-200 umol/l kan daardoor onterecht het beeld geven dat sulfaatgehaltes op de meeste locaties niet te hoog zijn. Immers het sulfaatgehalte van het instromende water kan wel boven deze streefwaarde zitten, maar is in de sterk gereduceerde venige bodem van het kwelgebied reeds verlaagd. Omdat de stroomsnelheid van het omhoog stromende grondwater in het kwelgebied laag is, zal in de bodem in sterke mate reductie van sulfaat optreden. Beter is daarom te toetsen aan grondwatermonsters uit filters die onder de organisch stofrijke bodem zitten.

Het sulfaatgehalte in de peilbuizen van het 'Oude Maatje' en 'Westelijke Maatje' ligt op dit moment een stuk lager dan die in de pompputten bij waterwinning Weerselo. Dit kan er op wijzen dat het zwaarder vermest grondwater uit het regionale systeem nog onderweg is naar de Lemselermaten. Dat zou betekenen dat het risico op eutrofiëring in de toekomst alleen maar toeneemt. Modelberekeningen geven verblijftijden van 40-50 jaar voor het regionale systeem van de Lemselermaten (mondelinge mededeling dhr. R. van Dongen, Waterschap Regge en Dinkel). Wanneer het kwelwater in de lage delen van de Lemselermaten zulke verblijftijden heeft, moet het sterkst vermeste grondwater (geinfiltreerd in de jaren '70-'80) nog arriveren.

Aanbevelingen

De meetresultaten van chemische parameters variëren sterk in ruimte en tijd en worden in hoge mate beïnvloed door het moment van bemonstering. Het verdient dan ook aanbeveling om de voor dit onderzoek uitgevoerde bemonstering de komende jaren te herhalen op meerdere plekken verspreid in het gebied, zodat eventuele ruimtelijke en temporele trends goed in beeld komen. Daarnaast zou het goed zijn om in de peilbuisraaien van de Lemselermaten en omgeving daarvan extra peilbuizen met filters tot 15m. diepte te bemonsteren. Op deze manier kan de kwaliteit van het toestromende grondwater in de opgevulde glaciale geul worden bepaald, voordat het wordt beïnvloed door een organische stofrijke toplaag van de bodem. Daarmee kan ook eerde genoemde kanttekening worden ondervangen. Tevens krijg je op deze manier meer zicht op de toestroming van vermest grondwater op subregionale schaal. Om uitsluitsel te krijgen of sterk vermest grondwater de kwelgebieden van de Lemselermaten nog moet bereiken, wordt ook aangeraden bij nieuwe metingen ook de ouderdom van het grondwater te bepalen aan de hand van isotoopanalyses. Tot slot: het huidige onderzoek heeft zich gefocust op een zeer beperkt deel van de Lemselermaten. Bemonstering van grondwater op andere locaties kan inzicht geven in de vermestingstoestand van het grondwater in andere delen van het gebied.

6 Literatuur

Aggenbach, C.J.S. & A.J.M. Jansen (2004). Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in beekdalen (Twente) en natte duinvalleien in het Renodunale District (Goeree-Overflakkee). Overlevingsplan Bos en Natuur. Expertisecentrum LNV, Ede.

Aggenbach, C.J.S. & A.J.M. Jansen (2004). OBN-Monitoring Middelduinen, Stroothuizen, Punthuizen en Lemselermaten. Eindrapport monitoringperiode 1989-2003. Bijlagenbundel. KWR 03.016. Kiwa N.V., Nieuwegein.

AHN-hoogtekaart.

Boorstaten uit DINO, TNO (www.dinoloket.nl).

Geerlink, H.T. & H. Witteveen (1988). (Geo)hydrologische systeembeschrijving Saasveld-Gammelke. Landinrichtingsdienst Overijssel, afdeling onderzoek, Zwolle.

Jansen, A.J.M. (1991). Effectgerichte maatregelen tegen verzuring van natte schraallanden prae-advies Lemselermaten. SWO 91.251. Kiwa N.V., Nieuwegein.

Jansen, A.J.M. (2000) Hydrology and restoration of wet heathland and fen meadow communities. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen, Groningen

Jansen, A.J.M. & J.G.M. Roelofs (1996). Restoration of Cirsio-Molinietum wet meadows by sod cutting. Ecological Engineering 7: 279-298.

Kiwa Water Research, EGG-consult & Unie van Bosgroepen (2007). Document ter onderbouwing van de Knelpunten- en Kansenanalyse van Natura 2000-gebieden. Werkdocument van Natura 2000-gebied 48 – Lemselermaten. Kiwa Water Research, Nieuwegein.

Ministerie van LNV (2006a). Natura 2000 doelendocument. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

Ministerie van LNV (2006b). Natura 2000 gebiedendocument Lemselermaten. Werkdocument Natura 2000 aanwijzingsbesluit. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

Ministerie van LNV (2006c). Ontwerpbesluit Natura 2000 Lemselermaten. N2K048_WB H Lemselermaten.doc. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

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

Tolman, M.E. & D.P. Pranger (2001). Vegetatiekartering Rossumermeden en Gammelke. Rapportnummer EV 386-8. Everts & De Vries e.a. ecologisch advies en onderzoeksbureau, Groningen.

© KWR

I Analyseresultaten van het lab in 2009

WAGENINGEN UNIVERSITEIT
CHEMISCH BIOLOGISCH LABORATORIUM BODEM
Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen, telefoon 0317-482660

Opdracht:	M09-251
Opdrachtgever:	H. Hunneman
Instelling:	KWR, Watercycle Research Institute
Ontvangstdatum:	08-04-2009
Matrix:	H2O
E-mail:	henk.hunneman@kwrwater.nl
Opmerking:	- TC/IC gegevens van vorige (1e) monstername doorgegeven

		FIA	ICP-AES Thermo				
Lab nr.	Monster-omschrijving	Cl [mg/l]	Al [mg/l]	As [µg/l]	Ca [mg/l]	Cd [µg/l]	Cr [µg/l]
	aantoonbaarheidsgrens	0.6	0.03	5.1	0.13	0.19	1.3
1	PB1 A diep	3.7	0.01	27	159	0.26	-0.5
2	PB1 B ondiep	0.5	0.17	13	10.6	0.05	2.1
3	PB2 A diep	25.6	0.03	23	105	0.11	-0.1
4	PB2 B ondiep	9.7	0.00	21	153	0.13	-1.1
5	PB3 A diep	29.0	0.00	12	89.2	0.01	-0.8
6	PB3 B ondiep	31.8	0.00	24	124	0.32	1.1
7	PB4 A diep	18.1	0.01	10	72.2	-0.06	-1.5
8	PB4 B ondiep	18.8	0.03	21	107	0.05	3.1
9	PB6 A diep	19.5	0.01	28	95.6	0.07	0.6
10	PB6 B ondiep	20.7	0.03	15	110	0.16	0.3
11	PB7 A diep	27.1	0.02	16	87.0	-0.01	-0.9
12	PB7 B ondiep	17.9	0.02	16	90.5	-0.01	0.0

M09-251.xls; dd: 16-4-2009 Bijlage 1 van 4 Paraaf labmanager



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
CHEMISCH BIOLOGISCH LABORATORIUM BODEM
Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen, telefoon 0317-482660

Opdracht:	M09-251
Opdrachtgever:	H. Hunneman
Instelling:	KWR, Watercycle Research Institute
Ontvangstdatum:	08-04-2009
Matrix:	H2O
E-mail:	henk.hunneman@kwrwater.nl
Opmerking:	- TC/IC gegevens van vorige (1e) monstername doorgegeven

		ICP-AES Thermo					
Lab nr.	Monster-omschrijving	Cu [mg/l]	Fe [mg/l]	K [mg/l]	Mg [mg/l]	Mn [mg/l]	Na [mg/l]
	aantoonbaarheidsgrens	0.003	0.01	0.6	0.02	0.003	0.2
1	PB1 A diep	-0.001	4.97	0.6	11.6	0.428	3.48
2	PB1 B ondiep	0.002	1.56	0.4	0.937	0.565	0.68
3	PB2 A diep	0.000	2.13	0.4	8.33	0.264	8.33
4	PB2 B ondiep	-0.002	4.28	0.5	11.7	0.598	15.9
5	PB3 A diep	-0.001	1.80	1.2	6.94	0.292	14.0
6	PB3 B ondiep	-0.002	13.5	0.8	11.3	1.04	14.3
7	PB4 A diep	-0.002	3.38	0.3	4.14	0.292	9.68
8	PB4 B ondiep	-0.002	9.72	0.4	8.90	0.441	12.2
9	PB6 A diep	-0.002	8.04	0.6	5.64	0.995	9.88
10	PB6 B ondiep	0.000	0.053	0.4	7.58	0.030	11.6
11	PB7 A diep	-0.002	4.36	1.0	5.12	0.338	9.38
12	PB7 B ondiep	-0.002	4.48	0.4	6.00	0.382	8.94

M09-251.xls; dd: 16-4-2009 Bijlage 2 van 4 Paraaf labmanager



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
CHEMISCH BIOLOGISCH LABORATORIUM BODEM
Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen, telefoon 0317-482660

Opdracht:	M09-251
Opdrachtgever:	H. Hunneman
Instelling:	KWR, Watercycle Research Institute
Ontvangstdatum:	08-04-2009
Matrix:	H2O
E-mail:	henk.hunneman@kwrwater.nl
Opmerking:	- TC/IC gegevens van vorige (1e) monstername doorgegeven

		ICP-AES Thermo					SFA-TOC
Lab nr.	Monster-omschrijving	Ni [µg/l]	P [mg/l]	Pb [mg/l]	S [mg/l]	Zn [mg/l]	C [mg/l]
	aantoonbaarheidsgrens	1.7	0.02	0.01	0.04	0.005	0.3
1	PB1 A diep	15.7	0.024	-0.001	0.54	0.000	4.69
2	PB1 B ondiep	9.3	0.006	0.001	0.33	0.137	6.71
3	PB2 A diep	5.5	0.002	0.000	0.80	0.006	7.72
4	PB2 B ondiep	-0.1	0.000	-0.001	3.01	0.000	7.93
5	PB3 A diep	0.3	0.005	0.000	12.0	0.000	4.04
6	PB3 B ondiep	6.6	0.023	-0.001	4.59	0.001	5.09
7	PB4 A diep	-0.1	0.006	0.000	0.32	0.001	3.93
8	PB4 B ondiep	1.7	0.078	0.000	2.60	0.000	9.08
9	PB6 A diep	1.6	0.108	0.000	0.29	0.001	7.44
10	PB6 B ondiep	1.8	0.014	0.001	4.27	0.028	8.10
11	PB7 A diep	0.2	0.038	-0.001	0.33	0.001	3.22
12	PB7 B ondiep	3.1	0.014	0.000	0.27	0.029	7.11



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
CHEMISCH BIOLOGISCH LABORATORIUM BODEM
Droevendaalsesteeg 4, 6708 PB Wageningen, telefoon 0317-482660

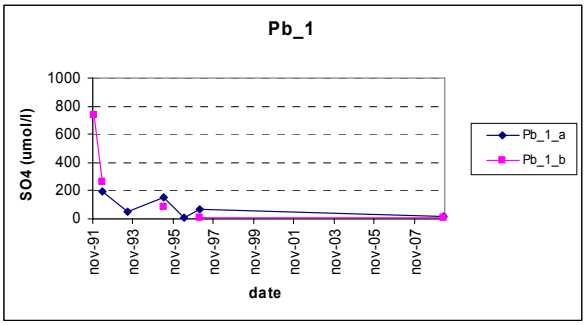
Opdracht:	M09-251
Opdrachtgever:	H. Hunneman
Instelling:	KWR, Watercycle Research Institute
Ontvangstdatum:	08-04-2009
Matrix:	H2O
E-mail:	henk.hunneman@kwrwater.nl
Opmerking:	- TC/IC gegevens van vorige (1e) monstername doorgegeven

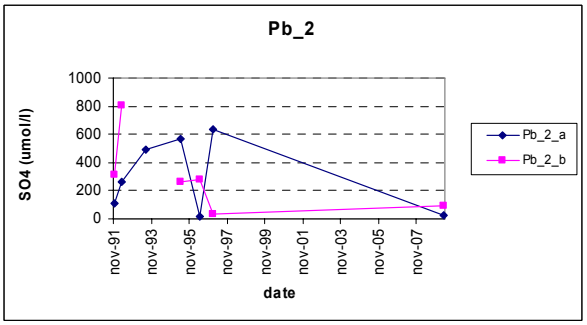
		Shimadzu-5050		Shimadzu-TC/TN	SFA-CaCl2		
Lab nr.	Monster-omschrijving	IC [mg/l]	TC [mg/l]	TN [mg/l]	N-NH4 [mg/l]	N-(NO3+NO2) [mg/l]	P-PO4 [mg/l]
	aantoonbaarheidsgrens	0.7	0.7	2.2	0.04	0.03	0.02
1	PB1 A diep	129	134	0.4	0.01	-0.02	0.000
2	PB1 B ondiep	18.2	24.5	0.6	0.01	-0.02	0.000
3	PB2 A diep	125	133	0.5	0.01	-0.02	0.000
4	PB2 B ondiep	79.7	92.1	0.6	0.02	-0.02	0.002
5	PB3 A diep	55.4	61.0	0.4	0.01	-0.02	0.001
6	PB3 B ondiep	85.1	92.3	0.5	0.03	-0.02	0.000
7	PB4 A diep	51.2	56.2	0.4	0.01	-0.02	0.001
8	PB4 B ondiep	88.9	103	0.7	0.10	0.00	0.008
9	PB6 A diep	77.4	82.6	0.9	0.36	-0.02	0.058
10	PB6 B ondiep	70.3	83.4	0.6	0.00	-0.04	0.000
11	PB7 A diep	58.1	62.9	0.4	0.03	-0.02	0.003
12	PB7 B ondiep	69.3	76.6	0.6	0.02	-0.01	0.004

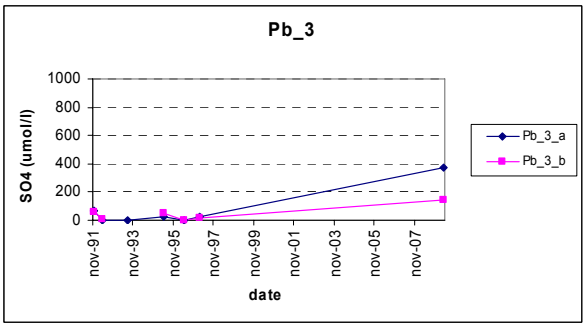
M09-251.xls; dd: 16-4-2009 Bijlage 4 van 4 Paraaf labmanager

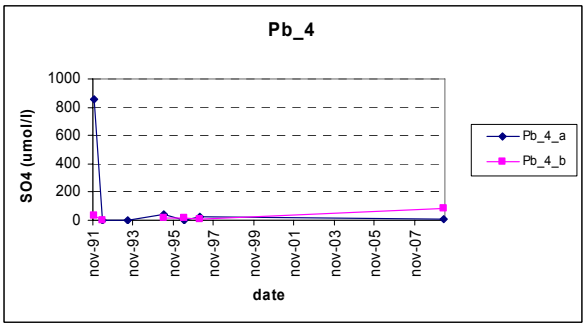
II Trends in chemische parameters per meetpunt

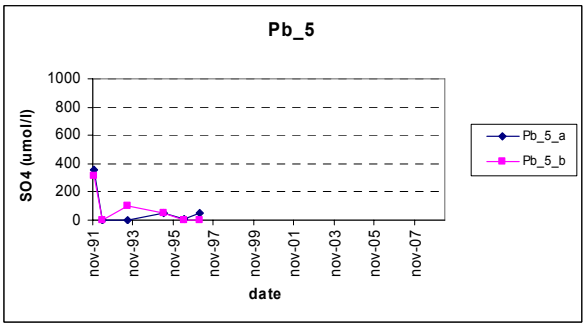
Sulfaat

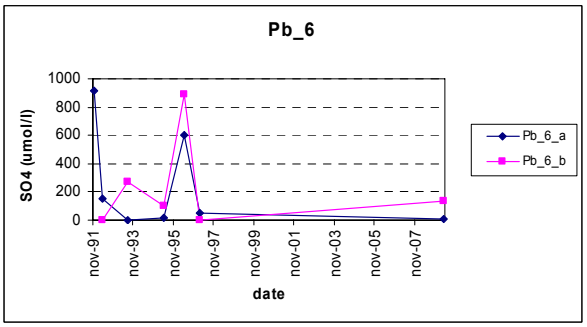

Pb_1
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_1_a
Pb_1_b

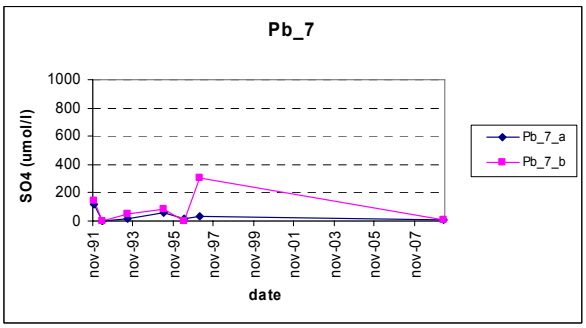

Pb_2
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_2_a
Pb_2_b


Pb_3
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_3_a
Pb_3_b

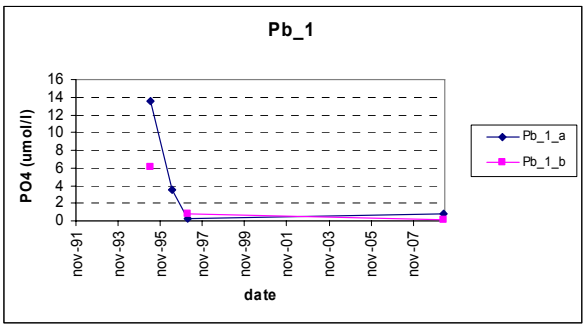

Pb_4
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_4_a
Pb_4_b

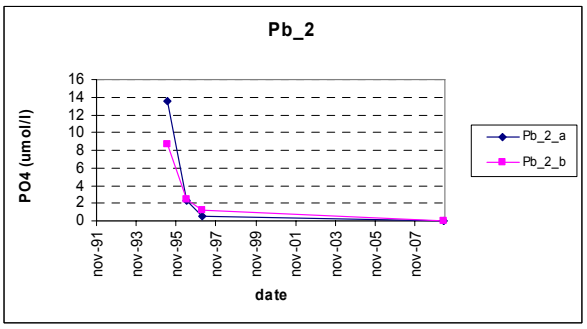

Pb_5
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_5_a
Pb_5_b

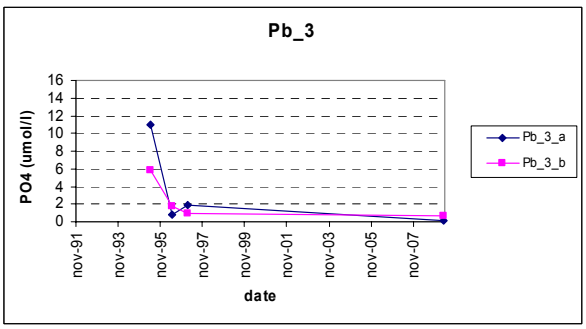

Pb_6
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_6_a
Pb_6_b

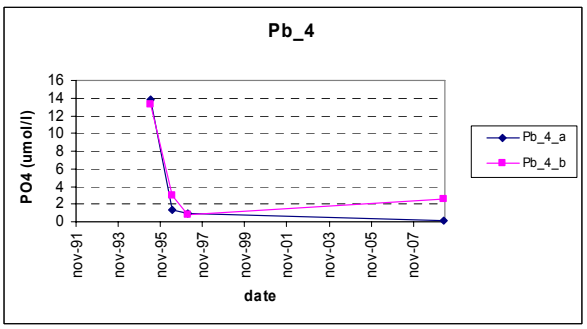

Pb_7
SO4 (umol/l)
1000
800
600
400
200
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_7_a
Pb_7_b

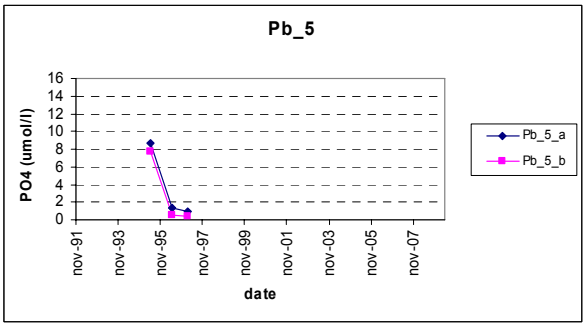
Fosfaat

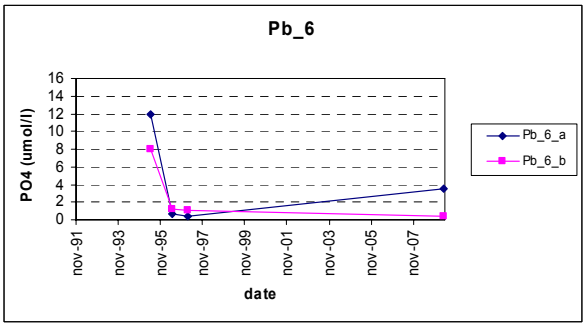

Pb_1
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_1_a
Pb_1_b

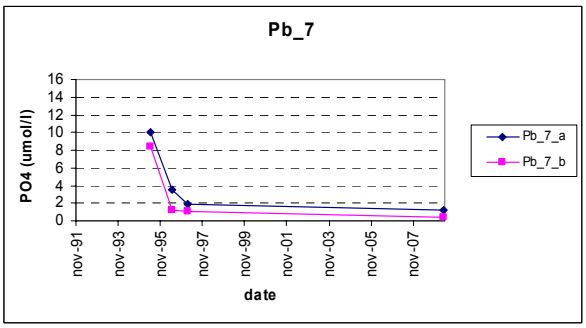

Pb_2
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_2_a
Pb_2_b


Pb_3
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_3_a
Pb_3_b

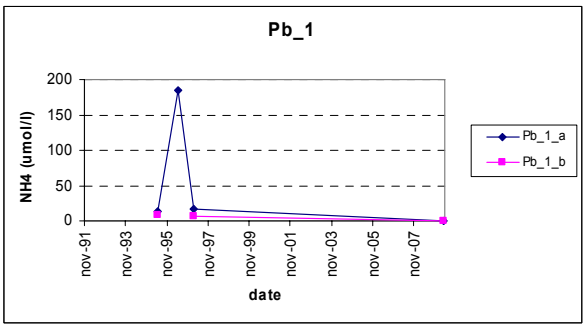

Pb_4
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_4_a
Pb_4_b

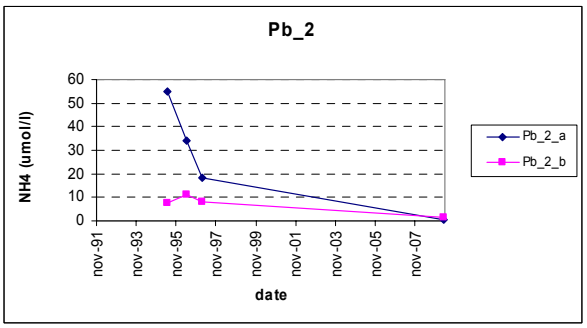

Pb_5
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_5_a
Pb_5_b

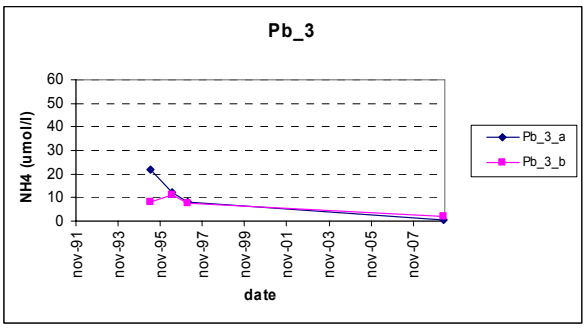

Pb_6
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_6_a
Pb_6_b

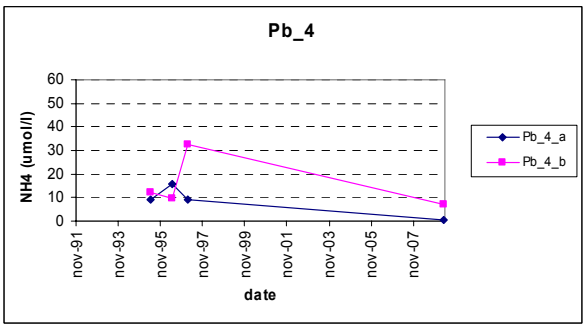

Pb_7
PO4 (umol/l)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_7_a
Pb_7_b

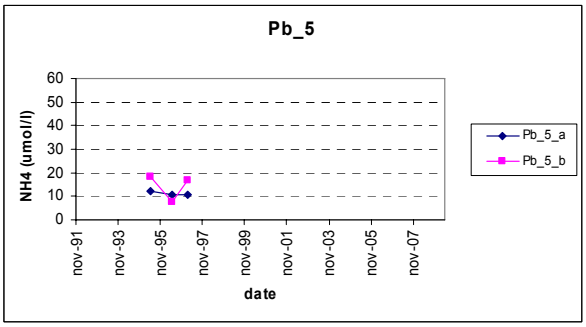
Ammonium

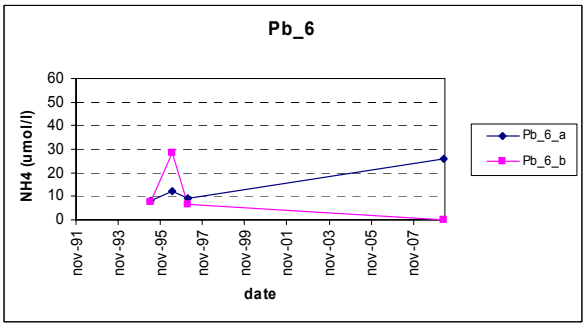

Pb_1
NH4 (umol/l)
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_1_a
Pb_1_b

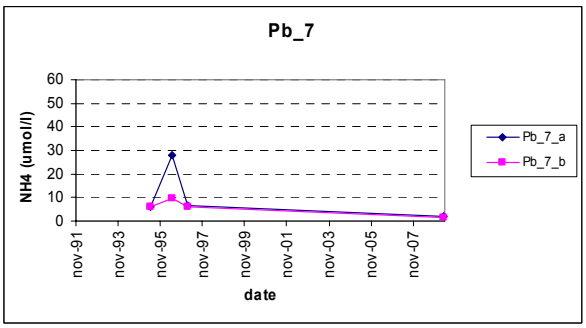

Pb_2
NH4 (umol/l)
60
50
40
30
20
10
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_2_a
Pb_2_b


Pb_3
NH4 (umol/l)
60
50
40
30
20
10
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_3_a
Pb_3_b

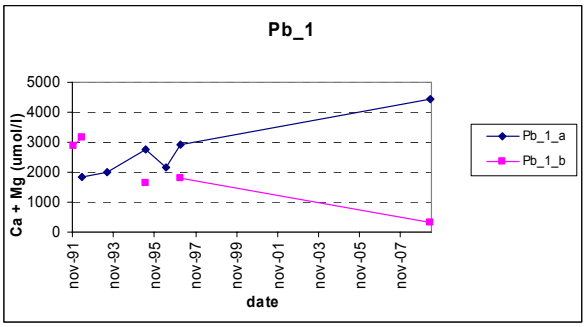

Pb_4
NH4 (umol/l)
60
50
40
30
20
10
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_4_a
Pb_4_b

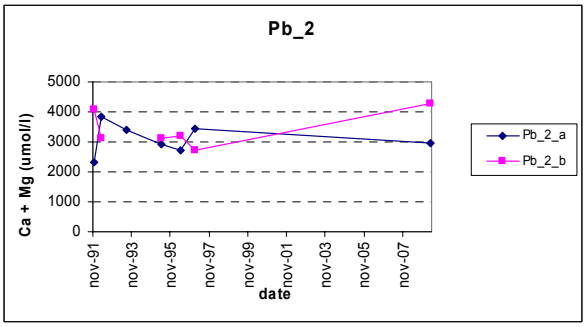

Pb_5
NH4 (umol/l)
60
50
40
30
20
10
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_5_a
Pb_5_b

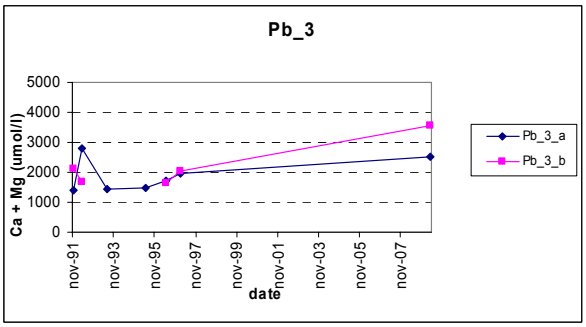

Pb_6
NH4 (umol/l)
60
50
40
30
20
10
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_6_a
Pb_6_b

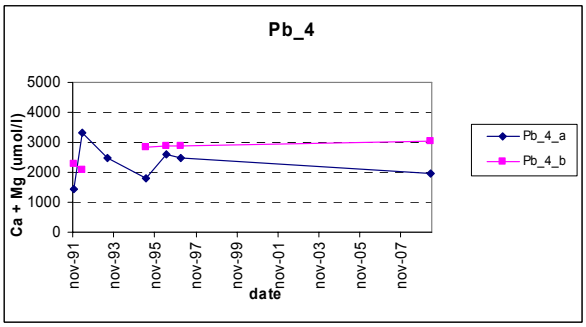

Pb_7
NH4 (umol/l)
60
50
40
30
20
10
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_7_a
Pb_7_b

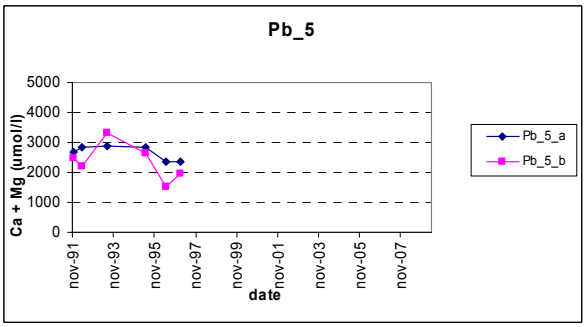
Hardheid

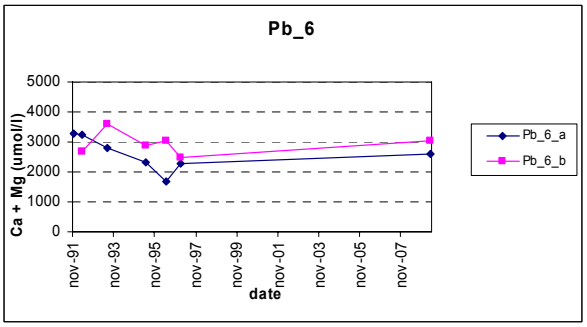

Pb_1
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_1_a
Pb_1_b

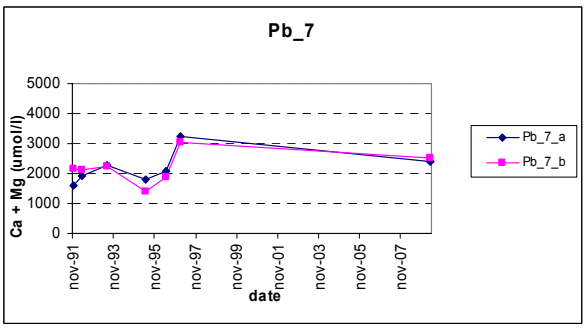

Pb_2
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_2_a
Pb_2_b


Pb_3
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_3_a
Pb_3_b

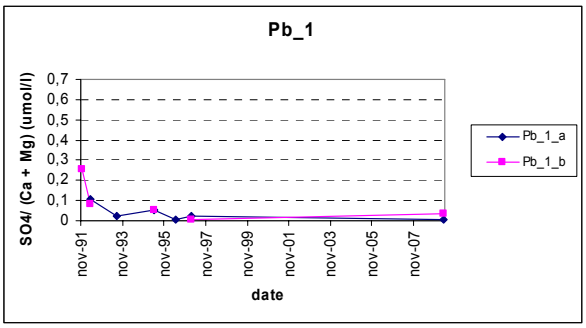

Pb_4
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_4_a
Pb_4_b

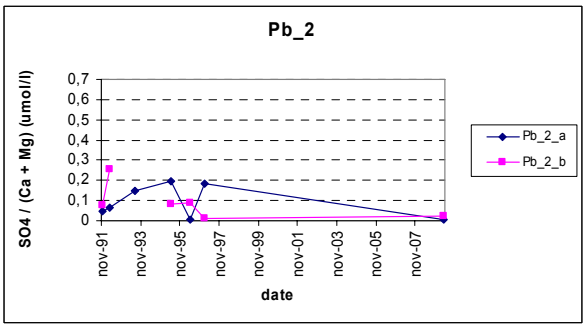

Pb_5
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_5_a
Pb_5_b

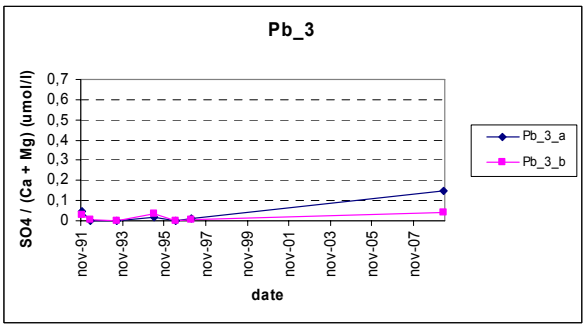

Pb_6
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_6_a
Pb_6_b

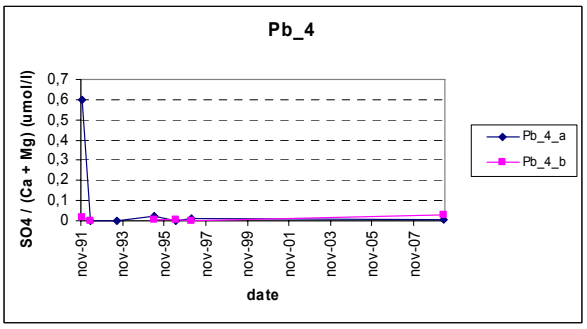

Pb_7
Ca + Mg (umol/l)
5000
4000
3000
2000
1000
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_7_a
Pb_7_b

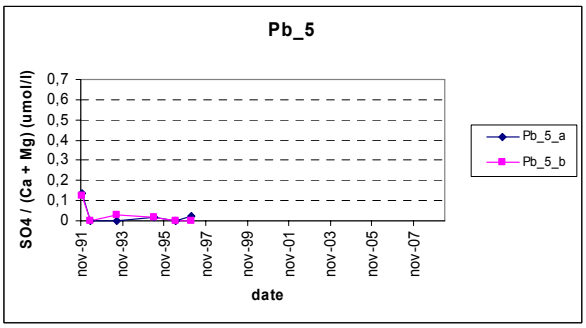
Ratio SO_4/Ca+Mg

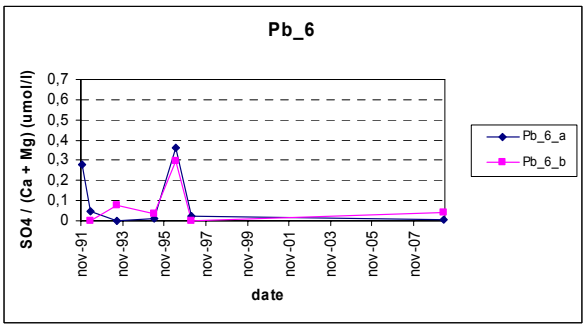


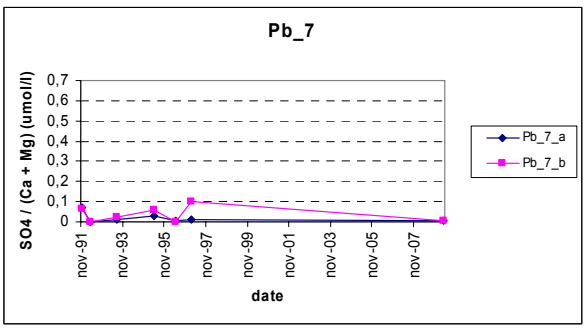




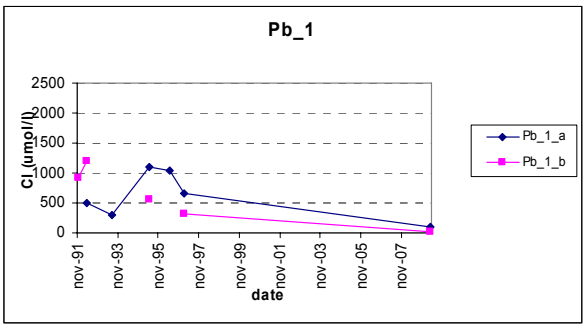


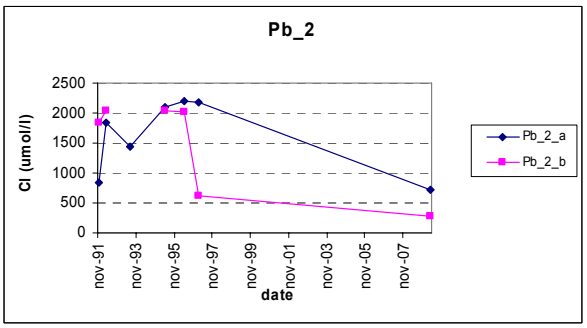


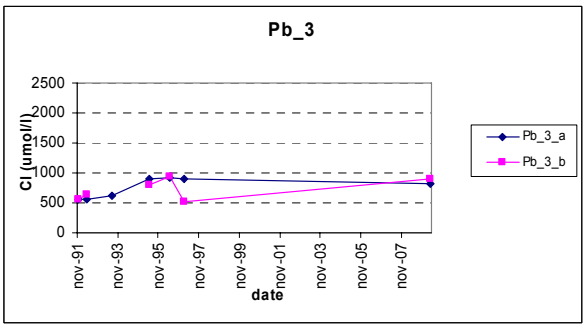


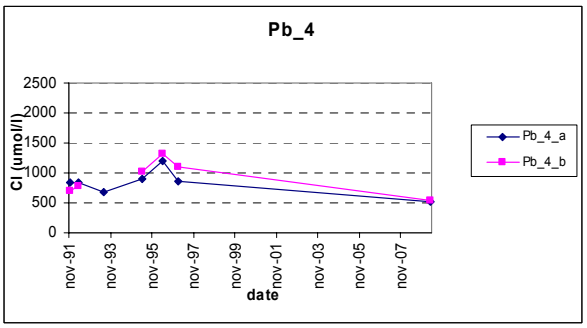


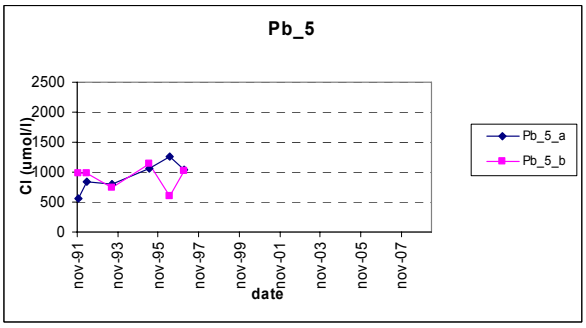
Chloride

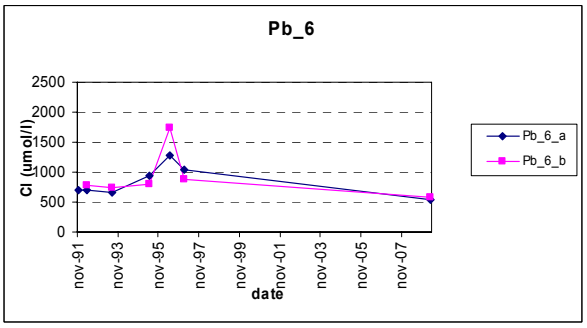

Pb_1
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_1_a
Pb_1_b

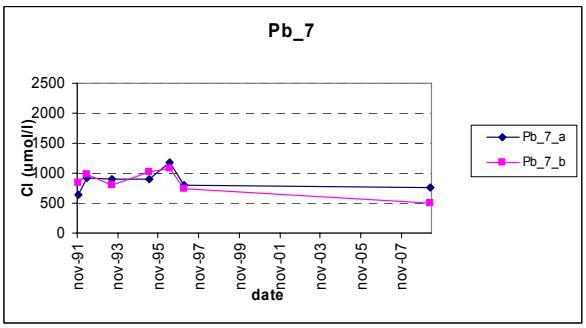

Pb_2
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_2_a
Pb_2_b


Pb_3
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_3_a
Pb_3_b

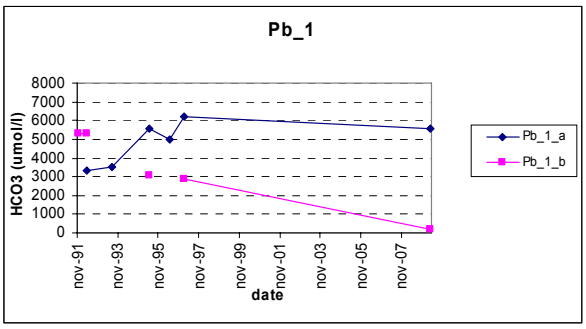

Pb_4
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_4_a
Pb_4_b

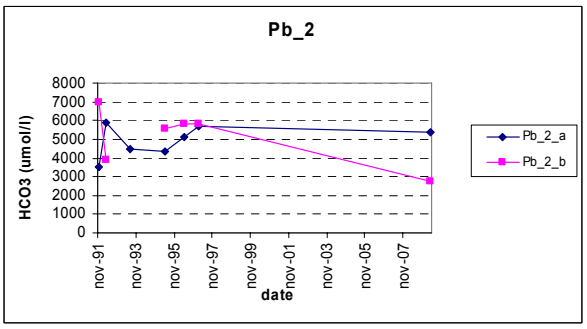

Pb_5
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_5_a
Pb_5_b

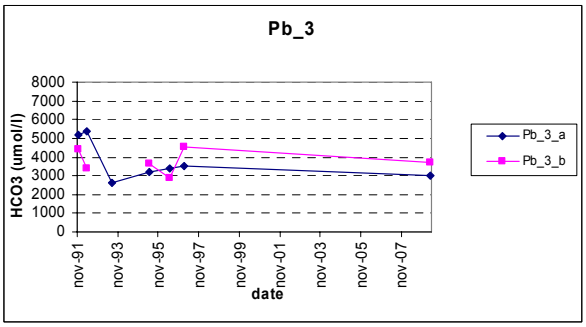

Pb_6
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_6_a
Pb_6_b

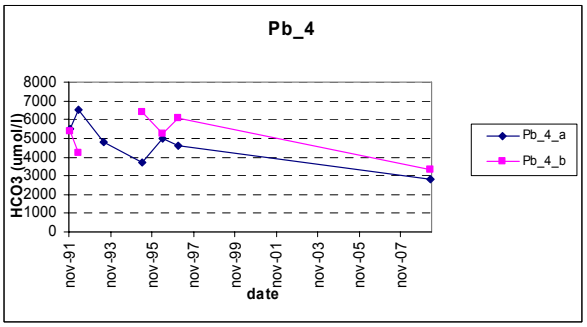

Pb_7
Cl (umol/l)
2500
2000
1500
1000
500
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_7_a
Pb_7_b

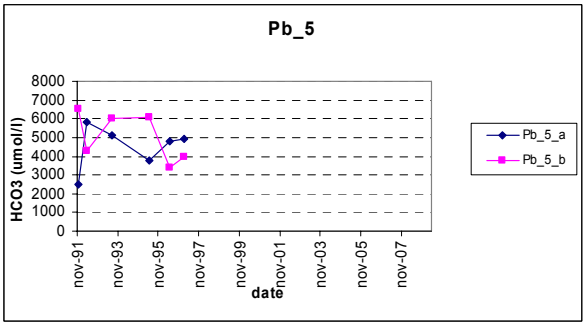
Bicarbonaat

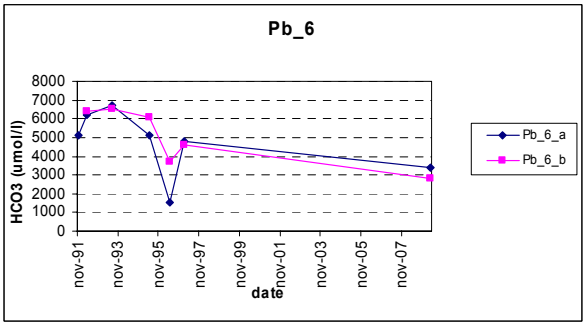


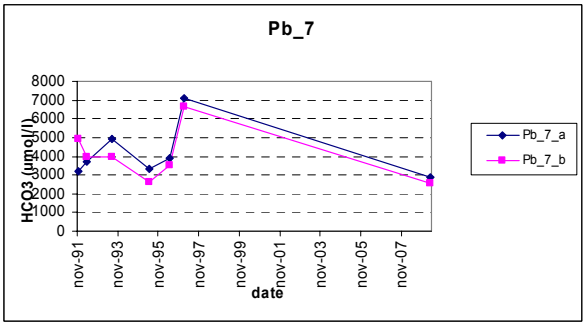




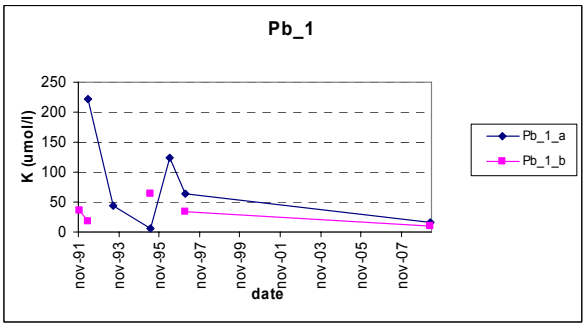


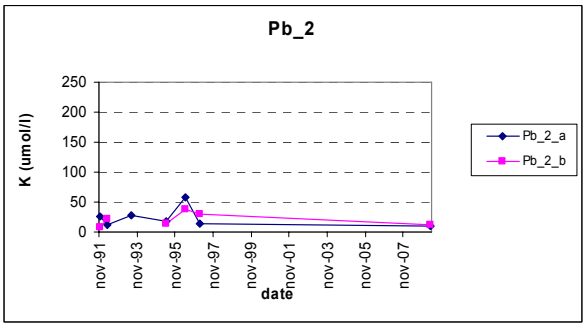


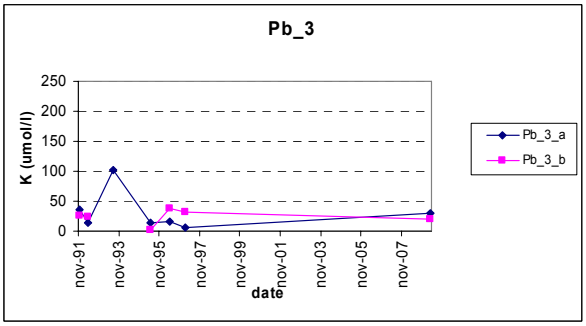


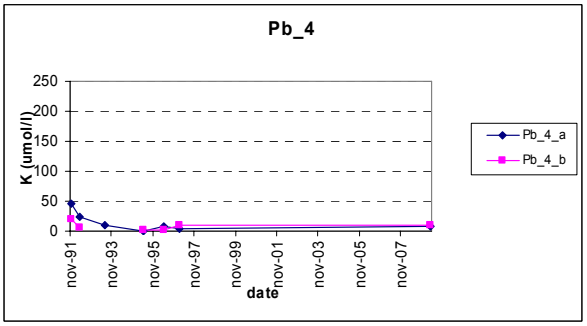


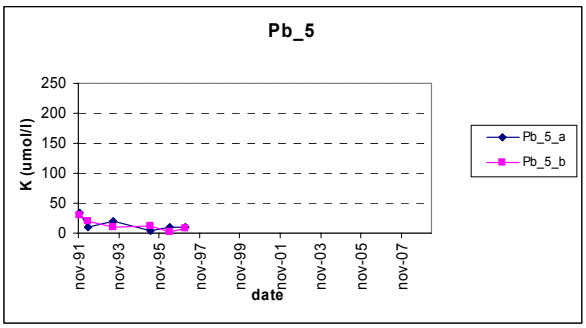
Kalium

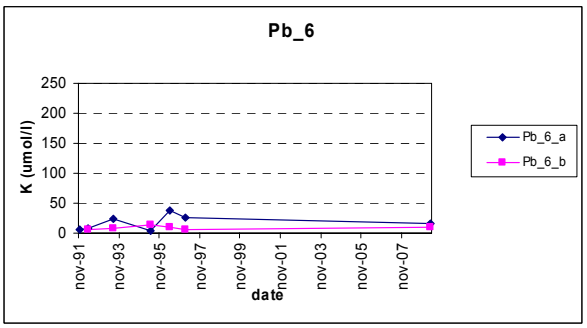

Pb_1
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_1_a
Pb_1_b

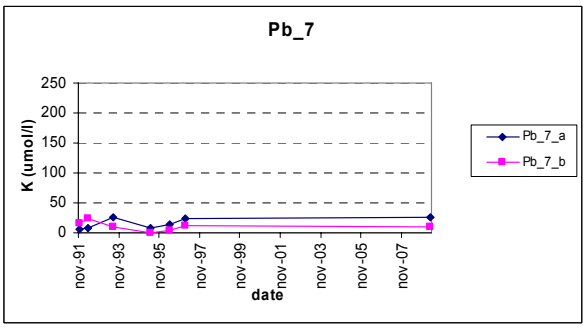

Pb_2
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_2_a
Pb_2_b


Pb_3
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_3_a
Pb_3_b


Pb_4
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_4_a
Pb_4_b


Pb_5
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_5_a
Pb_5_b


Pb_6
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_6_a
Pb_6_b


Pb_7
K (umol/l)
250
200
150
100
50
0
nov-91
nov-93
nov-95
nov-97
nov-99
nov-01
nov-03
nov-05
nov-07
date
Pb_7_a
Pb_7_b



Postbus 1072 3430 BB Nieuwegein T 030 606 95 11 F 030 606 11 65 E info@kwrwater.nl I www.kwrwater.nl