



Effecten van grondwatertoevoer op oppervlaktewater

Onderzoek naar watertemperatuur, waterkwaliteit en diatomeeën

Alterra-rapport 2013
ISSN 1566-7197

H.E. Keizer-Vlek, P.F.M. Verdonshot, M.W. van den Hoorn en J.A. Sinkeldam

Effecten van grondwatertoevoer op oppervlaktewater

In opdracht van ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, uitgevoerd binnen het cluster Natuur, Landschap en Platteland, thema 'Terrestrische EHS en Natura 2000 – verbetering ecologische condities en dosis-effect relaties' (BO-11-006.01-004)

Effecten van grondwatertoevoer op oppervlaktewater

Onderzoek naar watertemperatuur, waterkwaliteit en diatomeeën

**H.E. Keizer-Vlek
P.F.M. Verdonschot
M.W. van den Hoorn
J.A. Sinkeldam**

Alterra-rapport 2013

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Keizer-Vlek, H.E., P.F.M. Verdonschot, M.W. van den Hoorn en J.A. Sinkeldam , 2009. *Effecten van grondwatertoevoer op oppervlaktewater; Onderzoek naar watertemperatuur, waterkwaliteit en diatomeeën*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2013. 118 blz.; 63 fig.; 21 tab.; 19 ref.

De opzet van deze studie is om vragen vanuit de praktijk over de relatie tussen grond- en oppervlaktewater in de toekomst beter te kunnen beantwoorden. Om dergelijke vragen beter te kunnen beantwoorden is in eerste instantie inzicht nodig in de hoeveelheid grondwater die een oppervlaktewatersysteem ontvangt. Pas daarna kunnen uitspraken worden gedaan over de effecten van de toevoer van grondwater op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. In dit onderzoek is daarom getracht een eenvoudige en betaalbare methode te ontwikkelen om de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater te kunnen kwantificeren. Daarnaast is getracht relaties te leggen tussen de toevoer van het grondwater en de kwaliteit van oppervlaktewater, door zowel de chemische samenstelling van het grondwater als het oppervlaktewater in een aantal (grondwater gevoede) waterlichamen te meten. Tot slot is bepaald of eventuele effecten op de kwaliteit van het oppervlaktewater tevens worden weerspiegeld in de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap.

Trefwoorden: grondwater, kwel, oppervlaktewater, waterkwantiteit, waterkwaliteit, watertemperatuur, stijghoogte, piëzometer, beken, sloten, diatomeeën.

ISSN 1566-7197

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

© 2009 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 480700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Kwel, grondwater en oppervlaktewater	11
1.2 Beleidsrelevantie	12
1.3 Doel	12
1.4 Leeswijzer	13
2 Materiaal en methoden	15
2.1 Stap 1: Selectie locaties	15
2.2 Stap 2: Toetsing ‘temperatuur hypothese’	16
2.2.1 Methoden	16
2.2.2 Analyse	18
2.3 Stap 3: Case study	19
2.3.1 Methoden	20
2.3.2 Analyse	21
3 Resultaten en discussie	23
3.1 Stap 1: Selectie locaties	23
3.1.1 Beken	23
3.1.2 Sloten	25
3.2 Stap 2: ‘Temperatuur hypothese’	26
3.2.1 Resultaten	26
3.2.2 Discussie	33
3.3 Stap 3: Case study	34
3.3.1 Boschbeek	34
3.3.2 Mosbeek	47
3.3.3 Tienhoven reeks 1	61
3.3.3.1 Piëzometers	61
3.3.3.2 Temperatuur	62
3.3.3.3 Chemie	64
3.3.3.4 Diatomeeën	69
3.3.3.5 Discussie	73
3.3.4 Tienhoven reeks 2	74
3.3.4.1 Piëzometers	74
3.3.4.2 Temperatuur	75
3.3.4.3 Chemie	77
3.3.4.4 Diatomeeën	83
3.3.4.5 Discussie	83
4 Discussie	85
5 Conclusies	88

Literatuur		89
Bijlage 1	Kwel- en infiltratiekaarten beken	91
Bijlage 2	Kwel- en infiltratiekaarten slootcomplexen	95
Bijlage 3	Verloop temperatuur op 25 slootlocaties in Tienhoven	99
Bijlage 4	Chemische samenstelling oppervlaktewater sloten	103
Bijlage 5	Daggemiddelde watertemperatuur beeklocaties	105
Bijlage 6	Chemische samenstelling oppervlaktewater beken	109
Bijlage 7	Temperatuurparameters, morfologische en hydrologische karakteristieken beeklocaties	111
Bijlage 8	Beschrijving bodemprofiel per beeklocatie	117

Woord vooraf

De hoeveelheid en kwaliteit van het grondwater dat toestroomt naar het oppervlaktewater is mede bepalend voor het functioneren van aquatische ecosystemen. In veel gebieden is de toestroom van grondwater naar het oppervlaktewater verminderd door hydrologische ingrepen, zoals grondwaterpeilverlaging, drainage en/of waterinlaat. In veel gevallen hebben dergelijke hydrologische ingrepen geleid tot verdroging en verslechtering van de waterkwaliteit. Daarnaast is ook de kwaliteit van het grondwater de afgelopen eeuw veranderd. Door de toepassing van kunstmest is de nitraatconcentratie van het grondwater in veel gebieden drastisch toegenomen, hetgeen negatieve effecten kan hebben op de grondwaterontvangende systemen. Kennis over de rol van grondwater bij het functioneren van aquatische ecosystemen kan in belangrijke mate bijdragen aan de kwaliteitsverbetering van Nederlandse oppervlaktewateren. Hierbij staat de vraag centraal of verbetering van de kwantiteit en kwaliteit van grondwater-oppervlaktewaterinteracties kan bijdragen aan het behalen van KRW-doelen, instandhoudingsdoelen in Natura 2000-gebieden en het herstel van TOP-gebieden.

Het onderzoek in dit rapport vormt de laatste fase van het project 'Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit in relatie tot het aquatische ecosysteem. Het project is gefinancierd uit het beleidsondersteunend onderzoek van LNV binnen het cluster Ecologische Hoofdstructuur, thema 'Ecologische doelen en maatlatten in het waterbeheer'. In het eerste deelrapport wordt een overzicht gegeven van grondwatertypen in Nederland (Paulissen et al., 2007). In het tweede deelrapport wordt aan de hand van twee voorbeelden getoond welke processen zich voor kunnen doen bij voeding van oppervlaktewater met grondwater en wordt nagegaan of de invloed van grondwater op het oppervlaktewater afgeleid kan worden uit de chemische samenstelling van het oppervlaktewater (Verdonschot en Loeb, 2008).

Dit rapport bevat de resultaten van een studie naar: (1) de ontwikkeling van een eenvoudige en betaalbare methode om de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater te kunnen kwantificeren, (2) de effecten van de toevoer van grondwater op de kwaliteit van oppervlaktewater, door zowel de chemische samenstelling van het grondwater als het oppervlaktewater in een aantal grondwater gevoede waterlichamen te meten en (3) de effecten van de toevoer van grondwater op de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap.

Wij willen Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en Landschap Overijssel hartelijk danken voor het verlenen van hun medewerking aan deze studie. De uitvoering van deze studie was niet mogelijk geweest zonder de medewerking van deze organisaties.

Samenvatting

Kennis over de rol van grondwater bij het functioneren van aquatische ecosystemen kan in belangrijke mate bijdragen aan de kwaliteitsverbetering van de Nederlandse oppervlaktewateren. Vooral de vraag of verbetering van de kwaliteit en kwantiteit van grondwater-oppervlaktewaterinteracties bijdraagt aan het halen van de KRW-doelen, instandhoudingsdoelen in Natura 2000-gebieden en verdrogingsbestrijding in TOP-gebieden, is zeer relevant. De opzet van deze studie was om vragen vanuit de praktijk over de relaties tussen grond- en oppervlaktewater in de toekomst beter te kunnen beantwoorden. Vragen, zoals:

- Wat is de invloed van grondwater op de kwaliteit van het oppervlaktewater en de daarin aanwezige levensgemeenschap?
- Hoe groot moet de aanvoer van grondwater naar bronnen en beken zijn voor een permanent gevoed systeem? (anti-verdroging)
- Hoeveel grondwater (gebiedseigen water) is nodig om de gewenste levensgemeenschap te krijgen?
- Hoeveel gebiedsvreemd water kan ingelaten worden voordat een schadelijk effect optreedt?

Om dergelijke vragen te kunnen beantwoorden moeten eerst vier basisvragen worden beantwoord:

1. Hoeveel grondwater bereikt een bepaald oppervlaktewater?
2. Wat is de chemische samenstelling van dat grondwater?
3. Welk effect heeft de combinatie van 1 en 2 op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater?
4. Welk effect heeft de combinatie van 1, 2 en 3 op de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap?

De doelstelling van deze studie is om deze vier basisvragen te beantwoorden. Om de eerste onderzoeksvraag in de toekomst tegen acceptabele kosten te kunnen beantwoorden, is getracht een eenvoudige en betaalbare methode te ontwikkelen om de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater te kunnen kwantificeren. Hiervoor is de volgende ‘temperatuur hypothese’ getoetst: “Hoe groter de aanvoer van grondwater naar het oppervlaktewater, (1) des te zwakker de relatie (=richtingscoëfficiënt) tussen de gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater en de lucht en (2) des te kleiner de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur”. Om de tweede en derde vraag te beantwoorden zijn op verschillende locaties in twee grondwatergevoede beeksystemen en één poldersysteem stijghoogtemetingen uitgevoerd om de kwelintensiteit te bepalen. De onderzochte locaties binnen één systeem vormden een reeks van toenemende kwelintensiteit. Op de locaties is tevens de chemische samenstelling van het grondwater en het oppervlaktewater bepaald. Om de vierde vraag te beantwoorden, zijn op de locaties ook monsters van de diatomeeëngemeenschap verzameld.

De ‘temperatuur hypothese’ kon niet worden bevestigd met de resultaten van het onderzoek, deze waren namelijk niet eenduidig. In veel gevallen was geen sprake van een directe relatie tussen de kwelintensiteit en de getoetste temperatuurparameters. Zowel in de sloten als de beken werden geen grote verschillen in oppervlaktewaterkwaliteit geconstateerd tussen wegzijgings- en kwellocaties. Het lijkt erop dat de kwaliteit van het oppervlaktewater op de onderzochte locaties nauwelijks een verband vertoont met de kwaliteit van het grondwater op de onderzochte locaties. Tussen de locaties zijn nauwelijks verschillen in de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap geconstateerd. De verschillen die werden waargenomen, konden niet worden gerelateerd aan de chemische samenstelling van het oppervlaktewater.

Het blijkt dat zelfs met alle gegevens, die in dit onderzoek zijn verzameld, de eerder beschreven vragen uit de praktijk niet kunnen worden beantwoord voor de onderzochte oppervlaktewatersystemen. Om dergelijke vragen in de toekomst wel te kunnen beantwoorden is een gedegen gebiedsanalyse noodzakelijk waarbij meerdere stappen moeten worden doorlopen. Van deze stappen vormt vooral de kwantificering van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater een knelpunt. Mogelijk kan de kwantificering worden bereikt door het plaatsen van meer piëzometers en deze vaker af te lezen. Naast het verzamelen van nieuwe data zal gebruik moeten worden gemaakt van water- en stoffenbalansen voor het hele gebied, waardoor inzicht wordt verkregen in wat bovenstrooms en tussen de bemeten punten plaatsvindt. Water- en stoffenbalansen werken vaak op een relatief hoog schaalniveau en kunnen daardoor niet altijd goed voorspellen wat er op lokaal gebeurt. Uit het onderzoek is duidelijk gebleken dat de samenstelling van het grondwater tussen locaties sterk kan verschillen. Dit geeft aan dat het lastig zal zijn om op kleine schaal uitspraken te doen over de effecten van veranderingen in grondwatertoevoer op de kwaliteit van het oppervlaktewater alleen op basis van dergelijke modellen.

Op basis van de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de richtingscoëfficiënt voor lucht geven geen inzicht in de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater.
- Kwelkaarten geven soms geen goed beeld van de lokale kwelsituatie.
- Metingen van de oppervlakte- en/of grondwatertemperatuur bieden wel mogelijkheden om te komen tot inschattingen van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater. Het bepalen van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater zal voorlopig echter een arbeidsintensief proces blijven.
- De relaties tussen grond- en oppervlaktewater kwantiteit en kwaliteit zijn vaak zodanig complex, dat uitgebreide gebiedsanalyses noodzakelijk zijn, voordat uitspraken kunnen worden gedaan over de effecten van veranderingen in de toestroom van grondwater naar het oppervlaktewater.

1 Inleiding

1.1 Kwel, grondwater en oppervlaktewater

De bodem bestaat uit bodemdeeltjes met daartussen poriën. Bij regenval loopt het water deze poriën in. In het bovenste deel van de bodem is een deel van deze poriën nog gevuld met lucht. Dit wordt de onverzadigde zone genoemd. Daaronder zijn de poriën geheel gevuld met water: de verzadigde zone. Het water dat zich in de verzadigde zone bevindt, wordt grondwater genoemd. De grens tussen de verzadigde en onverzadigde zone is de grondwaterspiegel. In Nederland bevindt deze zich, afhankelijk van de locatie, net onder het maaiveld tot op enkele meters diepte. Meestal duurt het niet meer dan enkele dagen voordat regenwater het grondwater bereikt. Dit jonge, lokale grondwater bestaat uit regenwater en uit stoffen die in de onverzadigde zone hierin opgelost zijn en is anders van samenstelling dan het oudere, diepere grondwater.

Voor kwel zijn verschillende definities. Verschillende geologische formaties vormen verschillende pakketten van zand, klei, leem en veen. Door zandafzettingen kan water gemakkelijk heen stromen, terwijl klei, veen en leem een veel grotere weerstand hebben. Zandafzettingen worden daarom beschouwd als watervoerende pakketten en klei-, leem- en veenafzettingen als slechtdoorlatende lagen die deze watervoerende pakketten van elkaar scheiden. Het bovenste watervoerende pakket wordt het freatisch pakket genoemd. Een veel gehanteerde definitie van kwel is dat kwel grondwater is dat onder druk uit een dieper watervoerend pakket tot in het maaiveld uitstroomt, wat betekent dat het desbetreffende watervoerende pakket een grotere stijghoogte heeft dan het freatische pakket. Het woord kwel wordt in dit onderzoek echter gebruikt om alle vormen van aan het oppervlakte uittredend grondwater aan te duiden, ook als dit uit het freatisch pakket zelf afkomstig is. In dit geval kan kwel ook heel lokaal optreden door kleine niveauverschillen in het landschap.

Oppervlaktewater is samengesteld uit water van verschillende herkomst. Deels is dit water neerslag dat direct in de waterloop valt of oppervlakkig over het land hierin afstroomt. Daarnaast bestaat het oppervlaktewater uit grondwater. Het aangevoerde grondwater kan bestaan uit water dat enkele tientallen tot honderden meters verderop als regenwater recentelijk is ingezegen, of uit regionaal grondwater dat afkomstig is uit diepere watervoerende pakketten en honderden jaren oud kan zijn. Ten slotte kan het oppervlaktewater bestaan uit gebiedsvreemd water, dat wordt ingelaten om watertekorten tegen te gaan. Doordat grondwater andere eigenschappen heeft dan regen- en (gebiedsvreemd) oppervlaktewater, kan de aquatische levensgemeenschap sterk beïnvloed worden door de aanvoer van grondwater (kwel). Kwel heeft invloed op de kwaliteit, de kwantiteit en de temperatuur van het oppervlaktewater in beken en sloten.

1.2 Beleidsrelevantie

Kennis over de rol van grondwater bij het functioneren van aquatische ecosystemen kan in belangrijke mate bijdragen aan de kwaliteitsverbetering van de Nederlandse oppervlaktewateren. Vooral de vraag of verbetering van de kwaliteit en kwantiteit van grondwater-oppervlaktewaterinteracties bijdraagt aan het halen van de KRW-doelen, instandhoudingsdoelen in Natura 2000-gebieden en verdrogingsbestrijding in TOP-gebieden, is zeer relevant. Omdat de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater de kwaliteit en kwantiteit van het oppervlaktewater beïnvloedt, kan het grondwater een belangrijke rol spelen in het behalen van de doelen voor de KRW voor aquatische ecosystemen. Daarnaast is één van de doelen van de KRW om verontreiniging van het grondwater terug te dringen. Bij de uitwerking van de KRW zijn de grondwaterlichamen van Nederland in kaart gebracht. De vraag is echter hoe de effecten van grondwater op aquatische ecosystemen te relateren zijn aan de grootte van de grondwaterinvloed, zodat maatregelen daarop af te stemmen zijn.

In een eerdere rapportage hebben Verdonschot en Loeb (2008) geconcludeerd dat de invloed van het grondwater op het oppervlaktewater niet direct kan worden afgeleid uit de chemische samenstelling van het oppervlaktewater. Hiervoor is ook kennis nodig over de hydrologie en geologie van een gebied en kennis van de kwaliteit van het grondwater dat op een specifieke locatie mogelijk opwelt. Wanneer de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewatersysteem niet kan worden gekwantificeerd, kunnen per definitie geen uitspraken worden gedaan over de effecten van deze toevoer op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. In dit onderzoek is daarom getracht een eenvoudige en betaalbare methode te ontwikkelen om de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater te kunnen kwantificeren. Daarnaast is getracht relaties te leggen tussen de toevoer van het grondwater en de kwaliteit van oppervlaktewater, door zowel de chemische samenstelling van het grondwater als het oppervlaktewater in een aantal (grondwater gevoede) waterlichamen te meten. Tot slot is bepaald of eventuele effecten op de kwaliteit van het oppervlaktewater tevens worden weerspiegeld in de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap.

1.3 Doel

Dit onderzoek tracht de volgende vier onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Hoeveel grondwater bereikt een bepaald oppervlaktewater?
2. Wat is de chemische samenstelling van dat grondwater?
3. Welk effect heeft de combinatie van 1 en 2 op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater?
4. Welk effect heeft de combinatie van 1, 2 en 3 op de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap?

Om de eerste onderzoeksvraag in de toekomst tegen acceptabele kosten te kunnen beantwoorden, is getracht een eenvoudige en betaalbare methode te ontwikkelen om de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater te kunnen kwantificeren. Om een dergelijke methode te kunnen ontwikkelen, is de volgende hypothese getoetst:

“Hoe groter de aanvoer van grondwater naar het oppervlaktewater, (1) des te zwakker de relatie (= richtingscoëfficiënt) tussen de gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater en de lucht en (2) des te kleiner de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur”. Wanneer deze hypothese blijkt te kloppen, kan het verschil in gemiddelde dagtemperatuur tussen oppervlaktewater en lucht of de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur mogelijk worden gebruikt om de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewater te kwantificeren.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de gehanteerde methodieken voor het verzamelen van de gegevens en de analyse uiteengezet. Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten van het onderzoek. Tot slot worden in hoofdstuk 4 de resultaten bediscussieerd en in hoofdstuk 5 conclusies getrokken.

2 Materiaal en methoden

In het onderzoek zijn de volgende stappen doorlopen:

Stap 1: Selectie van locaties voor toetsing van de ‘temperatuur hypothese’

Stap 2: Toetsing van de ‘temperatuur hypothese’

Stap 3: Case study in twee beken en twee slotcomplexen

Iedere stap die in het onderzoek is genomen, is gebaseerd op de resultaten van de voorgaande stap. De verschillende stappen staan beschreven in de volgende paragrafen. In iedere paragraaf wordt kort toegelicht op welke wijze is gekomen tot de volgende stap. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

2.1 Stap 1: Selectie locaties

Om de relatie tussen de toevoer van grondwater (kwel) en de oppervlaktewaterkwaliteit te bepalen is het in eerste instantie noodzakelijk om een goede inschatting te maken van de hoeveelheid aangevoerd grondwater richting een aquatisch systeem. De in Nederland meest gebruikte methode, is de methode waarbij het verschil in stijghoogte tussen twee, op verschillende diepte geplaatste, piëzometers wordt bepaald. Een hogere stijghoogte in de diepere piëzometer duidt op kwel, een lagere op wegzijging (De Vries, 1994). Het probleem is echter dat deze methode te arbeidsintensief is om op grote schaal toe te passen. Aangezien grondwater vanaf een diepte van 10 m een vrijwel constante temperatuur heeft, onafhankelijk van dagelijkse en seizoensinvloeden, is het theoretisch mogelijk dat de mate van toevoer van grondwater zich laat aflezen uit het temperatuurverloop van het onderzochte oppervlaktewater. In dit onderzoek is de volgende hypothese getoetst: 'Hoe groter de aanvoer van grondwater naar het oppervlaktewater, (1) des te zwakker de relatie tussen de gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater en de lucht en (2) des te kleiner de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur'.

Om de ‘temperatuur hypothese’ te toetsen zijn metingen uitgevoerd in beken en sloten (paragraaf 2.2.1). De te selecteren beeksystemen moesten voldoen aan drie criteria. Ten eerste moest van bovenstrooms naar benedenstrooms een gradiënt in de kwelintensiteit aanwezig zijn. Ten tweede moesten de beken van boven naar benedenstrooms zo min mogelijk verschillen in dimensie, landgebruik, waterkwaliteit en begroeiing met waterplanten. Door te kiezen voor een kwelgradiënt binnen iedere beek wordt het mogelijk de invloed van andere variabelen (zoals dimensie, landgebruik etc.) te minimaliseren. Tot slot dienden de beken onderling juist te verschillen in dimensies. Door beken te kiezen die onderling verschillen in dimensie kan namelijk worden getoetst of de toegepaste methode voor het meten van kwel werkt in beeksystemen van verschillende dimensie. Voor het selecteren van de

slootcomplexen zijn vergelijkbare criteria aangehouden. De sloten binnen een complex moesten onderling duidelijk verschillen in kwelintensiteit, terwijl variabelen als dimensie, beheer, landgebruik, waterkwaliteit en begroeiing (geen sterke begroeiing met waterplanten) zo min mogelijk moesten verschillen.

In eerste instantie zijn in 2007 op basis van kwelkaarten en locatiekennis acht beeksystemen en drie slootcomplexen geselecteerd. Na een eerste veldbezoek is gebleken dat sommige slootlocaties niet geschikt waren om op te nemen in het verdere onderzoek (verdere toelichting in paragraaf 3.1). Het betreft locaties in De Wieden en locaties in het gebied rondom het Naardermeer. Uiteindelijk zijn op 25 beeklocaties, verdeeld over acht beeksystemen, en 25 slootlocaties in de polder van Tienhoven metingen verricht aan de watertemperatuur (tabel 2.1).

2.2 Stap 2: Toetsing ‘temperatuur hypothese’

2.2.1 Methoden

Op de geselecteerde locaties (tabel 2.1) is gedurende enkele maanden tot een jaar iedere 15 minuten de watertemperatuur geregistreerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van een temperatuurdatalogger (Hobo Water Temp Pro v2, firma Onset USA, nauwkeurigheid 0.2 °C). De totale duur van de temperatuurregistratie verschilde per locatie (Tabel 2.1). In de sloten zijn de dataloggers op 10 cm boven de slootbodem geplaatst, in de beken zijn de dataloggers in een pvc-behuizing geplaatst ter hoogte van de beekbodem (figuur 2.1).

Tabel 2.1. Overzicht van de locaties waar metingen aan de watertemperatuur zijn verricht. Per locatie is de ligging, start- en einddatum van de temperatuurmetingen en de kwelindicatie vermeld. De beeklocaties zijn oplopend genummerd van boven- naar benedenstrooms. De kwelindicatie intermediair geeft aan dat geen kwel optreedt, maar ook geen wegzijging.

watergang	code	x-coord	y-coord	kwelindicatie	startdatum	einddatum	onderzoek
Arboretumbeek	a1	263.786	480.682	kwel ¹	09/08/07	17/09/08	temperatuur
Arboretumbeek	a2	264.999	480.114	kwel ¹	09/08/07	19/09/08	temperatuur
Arboretumbeek	a3	266.254	480.571	wegzijging ¹	09/08/07	19/09/08	temperatuur
Boschbeek	b1	205.461	353.996	kwel ²	30/08/08	29/08/08	temperatuur/case study
Boschbeek	b2	205.357	353.923	kwel ²	28/02/08	29/08/08	case study
Boschbeek	b3	205.101	353.852	kwel ²	28/02/08	29/08/08	case study
Boschbeek	b4	204.854	353.62	intermediair ²	30/08/08	29/08/08	temperatuur/case study
Boschbeek	b5	203.992	353.731	wegzijging ²	05/11/08	29/08/08	temperatuur/case study
Bethleh. beek	be1	264.35	477.4	wegzijging ¹	09/08/07	04/04/08	temperatuur
Bethleh. beek	be2	265.117	477.737	intermediair ¹	09/08/07	04/04/08	temperatuur
Bethleh. beek	be3	266.239	477.931	kwel ¹	09/08/07	04/04/08	temperatuur
Filosofenbeek	f1	192.524	425.762	kwel ²	21/08/07	25/04/08	temperatuur
Filosofenbeek	f2	192.876	425.914	wegzijging ^{2,3}	21/08/07	25/04/08	temperatuur
Filosofenbeek	f3	193.136	426.055	wegzijging ^{2,3}	21/08/07	05/04/08	temperatuur
Filosofenbeek	f4	193.233	426.183	kwel ^{2,3}	21/08/07	28/05/08	temperatuur
Hierdense beek	h1	177.114	483.429	wegzijging ^{4,5}	10/05/07	04/08/08	temperatuur
Hierdense beek	h2	176.458	484.629	intermediair ^{4,5}	10/05/07	04/08/08	temperatuur
Hierdense beek	h3	175.459	486.786	kwel ^{4,5}	10/05/07	04/08/08	temperatuur
Mosbeek	m1	255.401	496.37	kwel ¹	19/03/07	09/10/08	temperatuur/case study

watergang	code	x-coord	y-coord	kwelindicatie	startdatum	einddatum	onderzoek
Mosbeek	m2	255.301	496.343	kwel ¹	23/05/08	09/10/08	case study
Mosbeek	m3	255.064	496.351	kwel ¹	28/05/08	09/10/08	case study
Mosbeek	m4	254.886	496.46	kwel ¹	28/05/08	09/10/08	case study
Mosbeek	m5	254.803	496.408	kwel ¹	28/05/08	09/10/08	case study
Mosbeek	m6	253.211	496.092	wegzijging ¹	19/03/07	09/10/08	temperatuur
Mosbeek	m7	252.399	496.176	wegzijging ¹	19/03/07	09/10/08	temperatuur
Oudebeek	o1	194.353	464.18	kwel ⁵	10/05/07	15/09/08	temperatuur
Oude beek	o2	196.111	464.354	kwel ⁵	10/05/07	15/09/08	temperatuur
Oude beek	o3	196.806	464.103	intermediair ⁵	10/05/07	15/09/08	temperatuur
Snoeyinksbeek	s1	262.883	479.171	wegzijging ¹	26/04/07	14/06/08	temperatuur
Snoeyinksbeek	s2	263.643	478.785	intermediair ¹	26/04/07	14/06/08	temperatuur
Snoeyinksbeek	s3	264.321	478.229	kwel ¹	26/04/07	14/06/08	temperatuur
Tienhoven	t1.1	136.883	465.533	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t1.2	136.932	465.537	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t1.3	136.922	465.497	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t1.4	136.995	465.451	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t1.5	137.021	465.461	kwel ⁶	20/10/07	22/09/08	temperatuur
Tienhoven	t2.1	136.695	465.479	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t2.2	136.8	465.454	kwel ⁶	20/10/07	22/09/08	temperatuur
Tienhoven	t2.3	136.826	465.429	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t2.4	136.861	465.429	kwel ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t2.5	136.915	465.344	kwel ⁶	20/10/07	22/09/08	temperatuur
Tienhoven	t3.1	136.267	465.271	wegzijging ⁶	20/10/07	29/09/08	case study
Tienhoven	t3.2	136.294	465.253	wegzijging ⁶	20/10/07	29/09/08	case study
Tienhoven	t3.3	136.303	465.156	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t3.4	136.308	465.115	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t3.5	136.342	465.003	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t4.1	135.895	465.145	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t4.2	135.907	465.122	wegzijging ⁶	20/10/07	29/09/08	temperatuur/case study
Tienhoven	t4.3	135.939	465.03	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t4.4	135.954	464.993	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t4.5	136.003	464.882	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t5.1	135.636	465.058	wegzijging ⁶	20/10/07	08/01/08	temperatuur
Tienhoven	t5.2	135.642	465.029	wegzijging ⁶	20/10/07	29/09/08	temperatuur/case study
Tienhoven	t5.3	135.697	464.946	wegzijging ⁶	20/10/07	29/09/08	temperatuur/case study
Tienhoven	t5.4	135.703	464.901	wegzijging ⁶	20/10/07	22/09/08	temperatuur/case study
Tienhoven	t5.5	135.714	464.78	wegzijging ⁶	20/10/07	22/09/08	temperatuur/case study

1 = kwel- en infiltratie kaart waterschap Regge en Dinkel (Minnema en Snepvangers, 2004), 2 = eigen locatiekennis, 3 = kwel-infiltratiekaart Wateratlas provincie Gelderland (www.gelderland.nl/wateratlas), 4 = Hügler (1980), 5 = kwelkaart waterschap Veluwe en 6 = Beltman et al. (1988).



Figuur 2.1. Meetopstelling temperatuurdatalogger in beek.

2.2.2 Analyse

Per locatie is per dag de gemiddelde watertemperatuur en de dagamplitude in de watertemperatuur berekend. Niet in alle beken liepen de metingen synchroon en sommige meetperiodes bleken niet bruikbaar vanwege droogval. Om deze reden zijn per beek deelsets samengesteld waarbij voor alle locaties binnen de betreffende beek gegevens beschikbaar waren. Hierdoor kunnen temperatuurgegevens alleen tussen de locaties van één beek vergeleken worden. Voor alle locaties is de daggemiddelde luchttemperatuur van het meest nabij gelegen weerstation opgezocht in de database 'Alweer' van Alterra (tabel 2.2).

Tabel 2.2. Dichtstbijzijnde weerstations per watergang.

watergang	weerstation
Arboretumbeek	Twenthe
Boschbeek	Ell
Bethlehemsche beek	Twenthe
Filosofenbeek	Volkel
Hierdense beek	Deelen
Mosbeek	Twenthe
Oude beek	Deelen
Snoeyinksbeek	Twenthe
Oostelijke binnenpolder van Tienhoven	de Bilt

Per locatie is een lineaire regressie uitgevoerd om de relatie tussen de gemiddelde dagtemperaturen van water en lucht te onderzoeken. Omdat de actuele watertemperatuur van een locatie niet alleen afhangt van de actuele luchttemperatuur, maar ook van de al reeds bereikte temperatuur is in een dynamische regressie ook de watertemperatuur van de twee dagen ervoor in de analyses meegenomen. De determinatiecoëfficiënten (R^2) die uit de regressies volgden zijn gebruikt om te beoordelen welk van de twee modellen het beste de temperatuurpatronen beschreven. De determinatiecoëfficiënt is namelijk een relatieve maat voor het deel van de variantie van de watertemperatuur dat wordt verklaard door het regressiemodel.

De bovenstaande analyses zijn uitgevoerd met de achterliggende gedachte, (1) dat wanneer een oppervlaktewater een substantiële hoeveelheid kwel ontvangt de gemiddelde dagamplitude in de watertemperatuur kleiner zal zijn dan op een locatie zonder of met minder kwel en (2) dat op een locatie met meer kwel de richtingscoëfficiënt (hellingshoek van de regressielijn, die de relatie tussen de lucht- en watertemperatuur weergeeft) lager zal zijn dan op een locatie zonder of met minder kwel.

2.3 Stap 3: Case study

Uit het temperatuuronderzoek konden geen eenduidige conclusies worden getrokken over de relatie tussen kwelintensiteit en de watertemperatuur. Mogelijk is dit het gevolg geweest van het feit dat de hoeveelheid kwel, zoals weergegeven op de kwelkaarten, niet overeenkomt met de kwelintensiteit op de onderzochte locaties (paragraaf 3.2.2). Om dit uit te sluiten is besloten om in twee beeksystemen en twee slootsystemen op een tiental locaties de kwelintensiteit te bepalen met behulp van piëzometers en peilbuizen. Daarnaast is getracht, door zowel de chemische samenstelling van het grondwater als het oppervlaktewater te meten, relaties te leggen tussen de toevoer van het grondwater en de kwaliteit van oppervlaktewater in deze systemen. Tot slot is bepaald of eventuele waterkwaliteitseffecten op het oppervlaktewater tevens worden weerspiegeld in de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap. De case study is uitgevoerd op vijf locaties in de Boschbeek, vijf locaties in de Mosbeek en op tien slootlocaties in de oostelijke binnenpolder van Tienhoven (tabel 2.3). De Mosbeek was tweede keus, omdat de meters in de Filosofenbeek zijn vernield gedurende het onderzoek. Voor deze twee beken geldt, dat de verschillen in de mate van beschaduwning tussen verschillende beektrajecten in verhouding tot de andere beken relatief klein zijn. De tien locaties in de oostelijke binnenpolder van Tienhoven, vormen twee reeksen van vijf locaties met toenemende kwelintensiteit. De kwelintensiteit is afgeleid uit de eerder verzamelde temperatuurgegevens. Hierbij is aangenomen dat slootlocaties met een hogere daggemiddelde temperatuur gedurende de vorstperiodes van 16 december tot 28 december en van 2 januari tot 5 januari meer kwel ontvangen dan slootlocaties met een lagere daggemiddelde temperatuur (paragraaf 3.2.1).

2.3.1 Methoden

Op de geselecteerde locaties zijn op circa 0.5 m uit de oever, twee piëzometers en één peilbuis parallel aan de watergang geplaatst. De onderlinge afstand tussen de piëzometers en de peilbuis was circa 30 cm. De piëzometers bestonden uit pvc-buizen met een doorsnede van 32 mm waaraan de onderzijde een filter van 50 cm was geplaatst. De peilbuis had eenzelfde diameter en was over de gehele lengte geperforeerd. De bovenzijde van het filter van de ondiepe piëzometer is geplaatst ter hoogte van de bodem van de watergang. De bovenzijde van het filter van de diepe piëzometer is bij de beken een meter dieper geplaatst. Bij de sloten kon niet zo diep worden geboord en daarom is hier de diepe piëzometer een halve meter dieper geplaatst. In maart, april, juni, juli en september zijn veldbezoeken afgelegd (tabel 2.3). Tijdens elk veldbezoek zijn de volgende variabelen opgenomen:

- stijghoogte in de peilbuis en de piëzometers;
- afstand tussen de bovenzijde van beide piëzometers en de peilbuis;
- debiet (bij de beken).

Tabel 2.3. Bemonsteringsschema case study, *i* = inzetten, *u* = uitbalen, *m* = metingen, *w* = watermonsternamen.

locatie	datum	diatomeeën	grondwater	oppervlaktewater
Tienhoven 1	13/03/2008		m	
Tienhoven 1	28/04/2008	i	w/m	w
Tienhoven 1	10/06/2008	i/u	w/m	w
Tienhoven 1	22/07/2008	i/u	w/m	w
Tienhoven 1	02/09/2008	u	w/m	w
Tienhoven 2	13/03/2008		m	
Tienhoven 2	28/04/2008	i	w/m	w
Tienhoven 2	10/06/2008	i/u	w/m	w
Tienhoven 2	21/07/2008	i/u	w/m	w
Tienhoven 2	01/09/2008	u	w/m	w
Boschbeek	10/03/2008		m	
Boschbeek	25/04/2008	i	w/m	w
Boschbeek	05/06/2008	i/u	w/m	w
Boschbeek	18/07/2008	i/u	w/m	w
Boschbeek	29/08/2008	u	w/m	w
Mosbeek	06/06/2008	i	w/m	w
Mosbeek	17/07/2008	i/u	w/m	w
Mosbeek	28/08/2008	i/u	w/m	w
Mosbeek	09/10/2008	u	w/m	w

Naast het bepalen van de kwelintensiteit met behulp van de piëzometers, is getracht relaties te leggen tussen de toevoer van het grondwater en de kwaliteit van oppervlaktewater. Voor dit doel is op verschillende data een monster van het oppervlaktewater en een monster van het grondwater uit de beide piëzometers genomen (tabel 2.3). Voorafgaand aan het nemen van de monsters zijn de piëzometers doorgespoeld. Op de slootlocaties stroomde het grondwater snel toe en is vijf liter water uit de buizen gepompt. Op de beeklocaties stroomde het grondwater echter heel langzaam toe en was het niet mogelijk om met vijf liter water door te spoelen. Op deze locaties is net zolang doorgespoeld totdat het grondwater

visueel helder was. Op de locatie m5 in de Mosbeek was het niet mogelijk om monsters te nemen van het grondwater, omdat het grondwater te langzaam toestroomde. De monsters van het oppervlaktewater bedroegen één liter en de monsters uit de piëzometers 350 ml. Het water uit de piëzometer is verdeeld over een fles van 100 ml en een fles van 250 ml. Het 100 ml flesje is aangezuurd met 1 ml geconcentreerd zwavelzuur (95-97%). Van het aangezuurde monster is de concentratie totaal-fosfor en Kjeldahl-stikstof bepaald. Van het niet aangezuurde monster is de concentratie nitraat, totaal-ijzer, kalium, calcium, chloride en sulfaat bepaald. Alle monsters zijn na verzameling opgeslagen bij -20 °C en op een latere datum geanalyseerd.

Gelijktijdig met het verzamelen van de watermonsters zijn de diatomeeën bemonsterd (tabel 2.3). In totaal zijn drie monsters genomen van de diatomeeëngemeenschap. Om de invloed van substraat op de bemonsterde diatomeeëngemeenschap uit te sluiten is gebruik gemaakt van 30 cm lang, driestrengs, polypropyleen touw van vier mm dik. De touwen zijn aan beide zijden 10 cm ontrafeld. In de sloten is dit touw op 10 cm onder het wateroppervlak gehangen. In de beken is het touw aan een roestvrijstalen pin in het water geplaatst. Omdat in beken het risico bestaat dat het touw onder het substraat bedolven raakt, zijn in de beken twee touwen per locatie geplaatst. Slechts één van de twee touwen is steeds bemonsterd. Tijdens de bemonstering is 5 cm van het touw afgeknipt en bewaard in het desbetreffende oppervlaktewater. Na iedere bemonstering zijn beide touwen vervangen. De diatomeeënmonsters zijn opgeslagen bij -20 °C. Per monster zijn 200 schaaldelen bekeken met een vergroting van 1000x. De schaaldelen zijn gedetermineerd tot op soortniveau.

Omdat het in één velddag niet haalbaar was om alle tien locaties van de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven te bezoeken zijn deze na 28-04-2008 in twee reeksen verdeeld. Voor de beken is er in eerste instantie gestart met een meetreeks in de Filosofenbeek. Omdat deze meetlocaties door vandalisme zijn verstoord, is er uitgeweken naar de Mosbeek. Hierdoor is op de locaties in de Mosbeek op slechts vier in plaats van vijf momenten de stijghoogte in de piëzometers afgelezen.

2.3.2 Analyse

Piëzometergegevens - Op iedere meetdatum is het verschil in stijghoogte tussen de beide piëzometers bepaald en het verschil in stijghoogte tussen de ondiepe piëzometer en de peilbuis. De afleeson nauwkeurigheid van de stijghoogte in de piëzometers bedraagt ± 0.5 cm. Dit betekent dat de foutenmarge van de stijghoogteverschillen tussen de beide piëzometers ± 1.0 cm is. Er bleken vrijwel geen verschillen te bestaan tussen de stijghoogten van de peilbuizen en die van de ondiepe piëzometers. De stijghoogten van de peilbuizen zijn dan ook niet voor verdere analyse gebruikt.

Temperatuur - zie paragraaf 2.2.2

Diatomeeën - Per diatomeeënmonster zijn de Van Dam indexwaarden voor trofie, saprobie, zuurstofbehoefte, pH en N-opname metabolisme berekend (Van Dam et al., 1994). Daarnaast zijn ordinaties uitgevoerd met het programmapakket CANOCO

(CANOCO voor Windows Versie 4.53, Ter Braak, 2004; Ter Braak, 1987; Ter Braak en Smilauer, 1998). Ordinatie plaatst objecten (monsters, taxa en/of variabelen) langs denkbeeldige gradiënten in een multidimensionale ruimte, gebaseerd op gewogen gemiddelden. Hierbij staan overeenkomstige objecten dicht bij elkaar en worden objecten die van elkaar verschillen ver uiteen geplaatst. De lijn die door deze posities van objecten kan worden getrokken, zodanig dat de kleinste kwadratenafstand van de objecten ten opzichte van deze lijn wordt bereikt, vormt de eerste as. De eerste as is de eerste denkbeeldige gradiënt die tevens de belangrijkste spreiding in de gegevens weergeeft. Vervolgens worden de objecten onafhankelijk van deze eerste as gemaakt en wordt, door de resterende variatie tussen de objecten, op dezelfde wijze de tweede as berekend. Dit geschiedt vervolgens ook voor een derde en vierde as. De tweede as is onafhankelijk van de eerste en staat hier loodrecht op. Vaak verklaren as 1 en 2 de belangrijkste variatie in het materiaal, soms is een derde as nodig. Ordinatie kan gebaseerd worden op een lineair dan wel op een unimodaal model. In dit onderzoek is gekozen voor een lineair model, omdat de gradiëntlengte in alle gevallen kleiner was dan drie (Ter Braak, 1987).

3 Resultaten en discussie

3.1 Stap 1: Selectie locaties

3.1.1 Beken

Om te komen tot een selectie van voor het onderzoek geschikte beken is gebruik gemaakt van twee criteria. Ten eerste moest binnen een beek een gradiënt in de kwelintensiteit aanwezig zijn. Ten tweede moesten variabelen als dimensie, beheer, landgebruik, waterkwaliteit en begroeiing met waterplanten zo min mogelijk verschillen. Op basis van kwelkaarten en locatiekennis zijn in 2007 acht beken geselecteerd, die voldeden aan deze criteria. De kwelkaarten voor de verschillende gebieden zijn opgenomen in bijlage 1. In bijlage 1 wordt tevens de ligging van de voor het onderzoek geselecteerde locaties weergegeven. Per gebied wordt in de onderstaande tekst een korte gebiedsbeschrijving gegeven.

Mosbeek

De Mosbeek ontspringt op de westflank van de stuwwal van Ootmarsum. De Mosbeek vloeit samen met de Elzenbeek en vormt dan de Geesterse molenbeek die uitmond in de Regge. Het oostelijke deel is gelegen op de stuwwal van Ootmarsum. Op deze stuwwal komen plaatselijk ondiepe kleilagen (tot maximaal twee meter onder het maaiveld) voor. Deze kleilagen belemmeren infiltratie van neerslag naar de diepere ondergrond en voeden zo de beek. Het middelste deel van de Mosbeek, de Slenk van Reutum wordt begrensd door twee breuklijnen. Het grootste deel van de Slenk van Reutum is een infiltratiegebied, maar in het westen van de slenk treedt ondiepe kwel op (Bergen et al., 1997).

Beken ten oosten van Oldenzaal

De Snoeyinksbeek, Bethlehemsche beek en Arboretumbeek ontspringen aan de oostzijde van de stuwwal van Oldenzaal en monden allen uit in de Dinkel. De Snoeyinksbeek ontspringt in het natuurgebied Boerskotten en stroomt via de natuurgebieden de Duivelshof en het Smöddebosch naar de Dinkel. Ten zuiden van de Snoeyinksbeek loopt de Bethlehemsche beek. De Bethlehemsche beek ontspringt in het Koksbosch en loopt parallel aan de Honingloweg ten noorden van Losser. Volgens de kwel- en infiltratiekaart van het waterschap Regge en Dinkel (opgesteld op basis van het Grondwatermodel Regge en Dinkel (Minnema en Snepvangers, 2004)) ontvangen de Snoeyinksbeek en de Bethlehemsche beek gaande van bron naar monding steeds meer kwel (bijlage 1). De Bethlehemsche beek ontvangt alleen in de benedenloop extra kwel, de Snoeyinksbeek al in de middenloop ter hoogte van de Duivelshof. Vanaf dit punt bevinden zich er kleilagen in de bodem. Het infiltratiewater dat hier op stagneert voedt de beek. Noordelijk van de Snoeyinksbeek stroomt de Arboretumbeek. Deze beek ontspringt ten westen van het Arboretum Poort-Bulten en stroomt via het Brinkhortsterveld en de Koekenberg naar de Dinkel. Volgens de genoemde kwel- en infiltratiekaart ontvangt deze beek in de boven- en middenloop kwel en zijgt weg in de benedenloop (bijlage 1).

Hierdense beek

De Hierdense beek ontspringt ter hoogte van het Uddelermeer, stroomt naar het noorden en mondt uit in het Veluwemeer. Het bovenstroomse deel van het beekdal ligt ingesloten door de stuwwallen van Garderen, de oostelijke Veluwe, Kootwijk en de Stakenberg (Lekkerkerker et al., 1982). Het bovenstroomse traject van de Hierdense beek bestaat uit een zandig/grindige afzetting met in de ondergrond, op 8-14 m diepte, een kleilaag. Op deze kleilaag verzamelt zich grondwater dat de beek voedt. In het middelste deel van het stroomgebied ontbreekt deze kleilaag en het grondwater bevindt zich dan op enkele tientallen meters onder het maaiveld. In dit gedeelte treedt wegzijging op. Het diepe grondwater komt aan de randen van de Veluwe en in dalen aan de buitenkant van het Veluwemassief weer aan de oppervlakte. De Hierdense beek ontvangt in het laatste deel van het stroomgebied deze diepe kwel (Higler, 1980).

Oude beek

De Oude beek ontspringt ten westen van Beekbergen op de oostflank van de stuwwal bij Apeldoorn. De beek begint als enkele kleine brongevoede bovenloopjes die na enige tientallen tot honderden meters samenvloeien. Ten westen van Beekbergen splitst de beek zich in een noordelijke en zuidelijke loop. De noordelijke loop is grotendeels verland. De zuidelijke loop is gedeeltelijk opgeleid. De beide lopen komen bij elkaar bij de Ruitersmolen. De beek stroomt vervolgens onder het Apeldoornsch kanaal door, vloeit samen met de Loenense beek en vormt dan de Voorsterbeek die uitmond in de IJssel. Volgens de kwelkaart die door het waterschap Veluwe beschikbaar is gesteld, ontvangt de beek in de boven- en middenloop kwel en ontvangt de beek in het laatste traject (alvorens de beek onder het Apeldoornsch kanaal doorgaat) geen kwel, maar zijgt tevens ook niet weg (bijlage 1).

De Filosofenbeek

De Filosofenbeek ontspringt in het Filosofendal ten zuiden van Beek-Ubbergen. De beek wordt gevoed door diverse kleine bronnetjes en mondt uit in het Wylmermeer. Ondanks het feit dat de beek wordt gevoed door kleine permanente bronnetjes is het gehele gebied volgens de kwel-infiltratiekaart van de Wateratlas provincie Gelderland een inzijggebied (bijlage 1).

Boschbeek

De Boschbeek ontspringt in het nationaal park de Meinweg ter hoogte van het ven het Elfenmeer. Vervolgens stroomt de beek in zuidwestelijke richting. De beek buigt bij grenspaal 406 in zuidelijke richting af en stroomt door het oostelijke deel van het bosgebied Zandbergen. Ten zuiden van Herkenbosch mondt de Boschbeek uit in de Roer. De Boschbeek doorkruist drie geologische breukzones, de Zandbergbreuk, de Meinwegbreuk en de Peelrandbreuk. De drie breuken verdelen het Nederlandse deel van de Meinweg in een aantal schollen die naar het oosten toe steeds hoger zijn opgeheven. De Boschbeek draineert het freatische grondwater afkomstig van op de schollen infiltrerende neerslag (Bossenbroek en Hermans, 1999). De Boschbeek ontvangt lokaal grondwater in trajecten ten oosten van de breuken en is infiltrerend in trajecten ten westen van de breuken. Aan de voet van de terrasranden (bij de breukvlakken) treedt kwel van ondiep grondwater op uit lokale systemen. Kwel van

grondwater uit diepere pakketten komt waarschijnlijk alleen voor langs de Peelrandbreuk.

3.1.2 Sloten

Om te komen tot een selectie van voor het onderzoek geschikte slootcomplexen is gebruik gemaakt van twee criteria. Ten eerste moest binnen een slootcomplex een gradiënt in kwelintensiteit aanwezig zijn. Ten tweede moest de bedekking van het wateroppervlak met drijvende waterplanten minder dan 10% bedragen. In vegetaties met drijvende waterplanten kan de watertemperatuur nabij het wateroppervlak namelijk 4 tot 11°C hoger worden dan op plaatsen zonder planten (Dale en Gillispie, 1976). Ten derde moesten variabelen als dimensie, beheer, landgebruik, waterkwaliteit en begroeiing zo min mogelijk verschillen. Op basis van kwelkaarten en locatiekennis zijn in 2007 drie gebieden met slootcomplexen geselecteerd die mogelijk voldeden aan deze criteria: het gebied rond het Naardermeer, de Wieden en de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven. De kwelkaarten voor de verschillende gebieden zijn opgenomen in bijlage 2. Per gebied wordt beschreven wat de reden zijn geweest om het in eerste instantie te selecteren en of is overgegaan tot definitieve selectie van het gebied na een veldbezoek.

De Wieden

De Wieden is een laagveengebied dat is ontstaan in het Boreaal onder invloed van oppervlaktewater. Water afkomstig uit het hoger gelegen Drents Plateau zocht zijn weg naar zee en stagneerde in de laagte waar nu de Wieden en Weerribben liggen. Hierdoor kon in het gebied veenvorming optreden. Op de kwelkaart van de Wieden is een kwelgradiënt zichtbaar (bijlage 2). Het gebied is bezocht in mei 2007. De bezochte locaties zijn aangegeven op de kwelkaart in bijlage 2. Alle voor het onderzoek mogelijk geschikte kwelgradiënten bleken te liggen op de overgang tussen landbouw- en natuurgebied. Omdat het landbouwgebied en het natuurgebied worden gekenmerkt door een ander peilbeheer en nutriëntenhuishouding, verviel de Wieden als mogelijk onderzoeksgebied.

Naardermeer

Het gebied rondom het Naardermeer is een laagveengebied ten noordoosten van Naarden-Bussum. Ten noordoosten van het Naardermeer ligt de Keverdijksche en Overveensche polder. Op de kwelkaart van deze polder is een kwelgradiënt zichtbaar (bijlage 2). Na een veldbezoek in juni 2007 bleken de betreffende slootcomplexen niet geschikt voor het onderzoek. Ten eerste bleken de sloten in het gebied te sterk begroeid met drijvende en ondergedoken waterplanten. Ten tweede bleek dat de sloten het eigendom waren van verschillen particulieren, die geen toestemming wilden verlenen tot het betreden van hun gebied. De polders ten zuidwesten van het Naardermeer bleken volgens de kwelkaart ook een kwelgradiënt te bezitten (bijlage 2). Tijdens een veldbezoek van deze sloten op 15 juni 2007 bleken de sloten onderling te veel te verschillen in dimensie en begroeiing.

Tienhoven

De Oostelijke binnenpolder van Tienhoven is een onderdeel van het veenweidegebied het Noorderpark dat ligt tussen de stadsrand van Utrecht en de stuwwal van Gooi-Utrechtse heuvelrug. De bodem van het Noorderpark bestaat uit een 1-2 m dikke veenlaag en ligt op een ca. 50 m dik zandpakket. De Oostelijke binnenpolder van Tienhoven is grotendeels het eigendom van Natuurmonumenten en wordt begrensd door het Tienhovenskanaal (noordzijde), de Tienhovense plassen (westzijde), de polder Maarseveen (zuidzijde) en de Nedereindsche vaart (oostzijde). De polder ontvangt aan de noordoostzijde ondiepe kwel en in de rest van gebied vindt wegzijging plaats (Beltman et al., 1988; bijlage 2). De Oostelijke binnenpolder van Tienhoven wordt van het noordoosten naar het zuidoosten in de lengterichting doorsneden door circa 10-20 sloten. Een veldbezoek op 12 oktober 2007 wees uit dat de sloten in de Oostelijke binnenpolder geschikt waren voor het onderzoek. In totaal zijn 25 locaties geselecteerd waar temperatuurmetingen zijn uitgevoerd en chemische monsters zijn verzameld. De ligging van de verschillende locaties is weergegeven in bijlage 2.

3.2 Stap 2: ‘Temperatuur hypothese’

3.2.1 Resultaten

Keuze regressiemodel

De determinatiecoëfficiënten van de dynamische regressies met als verklarende variabelen de luchttemperatuur en de watertemperatuur op tijdstip t-1 zijn groter dan de determinatiecoëfficiënten van de lineaire regressies (tabel 3.1 en 3.2). Het toevoegen van de watertemperatuur op tijdstip t-2 als extra variabele heeft nauwelijks invloed op de waarde van de determinatiecoëfficiënten. Bij de bespreking van de resultaten voor de individuele beken en sloten worden daarom alleen de resultaten van de dynamische regressie (met als verklarende variabelen de luchttemperatuur en de watertemperatuur op tijdstip t-1) behandeld.

Tabel 3.1. Overzicht per beeklocatie van de determinatiecoëfficiënten (R^2) van de lineaire en de twee dynamische regressies.

locatie	lineair	dynamisch (t-1)	dynamisch (t-1&t-2)
a1	0.873	0.982	0.982
a2	0.882	0.986	0.986
a3	0.880	0.986	0.986
b1	0.916	0.991	0.991
b4	0.946	0.989	0.990
b5	0.940	0.989	0.989
be1	0.865	0.975	0.975
be2	0.837	0.981	0.981
be3	0.837	0.979	0.979
f1	0.913	0.979	0.979
f2	0.927	0.980	0.980
f3	0.923	0.980	0.980
f4	0.909	0.982	0.982
h1	0.919	0.988	0.988
h2	0.912	0.989	0.989

locatie	lineair	dynamisch (t-1)	dynamisch (t-1&t-2)
h3	0.880	0.983	0.984
m1	0.911	0.978	0.978
m6	0.923	0.990	0.990
m7	0.930	0.989	0.989
o1	0.872	0.946	0.947
o2	0.905	0.968	0.969
o3	0.892	0.959	0.959
s1	0.898	0.988	0.988
s2	0.909	0.984	0.984
s3	0.911	0.987	0.987

Tabel 3.2. Overzicht per slootlocatie van de determinatiecoëfficiënten (R^2) van de lineaire en de twee dynamische regressies.

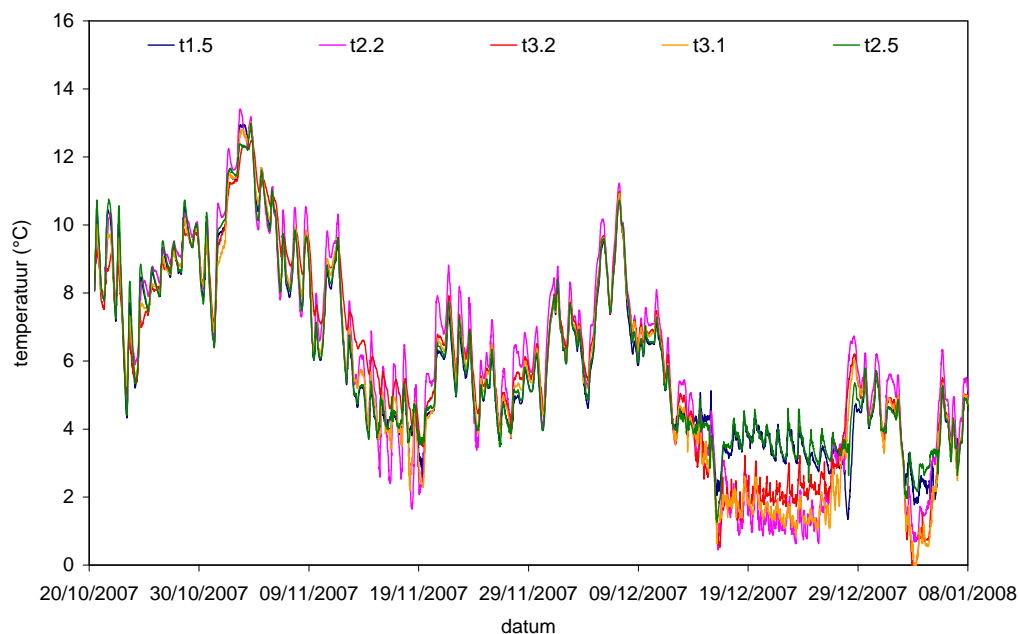
locatie	lineair	dynamisch (t-1)	dynamisch (t-1&t-2)
t1.5	0.880	0.979	0.979
t2.2	0.915	0.980	0.981
t2.5	0.883	0.980	0.980
t3.1	0.897	0.983	0.983
t3.2	0.900	0.982	0.982
t4.2	0.886	0.983	0.983
t5.2	0.879	0.981	0.981
t5.3	0.885	0.983	0.983
t5.4	0.890	0.982	0.982
t5.5	0.895	0.983	0.983

Sloten

De temperatuurpatronen van het oppervlaktewater op de 25 slootlocaties vertonen over de periode 20 oktober 2007 tot 8 januari 2008 weinig onderlinge verschillen, met uitzondering van twee periodes: van 16 december tot 28 december en van 2 januari tot 5 januari (bijlage 3). Gedurende deze twee periodes is sprake geweest van vorst en waren de sloten bevroren. In de dichtgevroren sloten treden duidelijke verschillen op in de gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater tussen de onderzoekslocaties. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in figuur 3.1. Uit deze verschillen in gemiddelde dagtemperatuur is geconcludeerd, dat sloten met een gemiddeld hogere watertemperatuur tijdens de vorstperiode worden gevoed door kwel. De data van de 25 slootlocaties zijn verder niet geanalyseerd, omdat: (1) op basis van het onderzoek uitgevoerd in de beken niet kon worden aangetoond, dat er een relatie bestaat tussen de kwelintensiteit enerzijds en de gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur, de regressie- en determinatiecoëfficiënt anderzijds (ten minste niet zonder stijghoogtes te meten) en (2) de kweleffecten in beken, vanwege de hogere kwelintensiteit aldaar, groter zijn dan in sloten. In bijlage 4 wordt een overzicht gegeven van de chemische samenstelling van het oppervlaktewater op de 25 onderzoekslocaties.

Op basis van de gemiddelde watertemperatuur tijdens de vorstperiode en de breedte van de onderzoekslocaties zijn tien locaties geselecteerd voor verder onderzoek (tabel 3.3). De sloten zijn op basis van hun breedte onderverdeeld in twee reeksen. Reeks 1 bevatte alleen beken tussen de 260 cm en 325 cm. Reeks 2 bevatte alleen beken tussen de 340 en 360 cm. Vervolgens zijn binnen deze twee breedtecategorieën locaties geselecteerd, die verschilden in kwelintensiteit (op basis van de daggemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater gedurende de

vorstperiode) (tabel 3.3). Reeks 1 bestaat uit de punten t5.2 t5.3, t5.4, t5.5 en t4.2. Reeks 2 bestaat uit de punten t1.5, t2.5, t3.2, t3.1 en t2.2.



Figuur 3.1. Overzicht van het temperatuurpatroon per slootlocatie uit reeks 2 (meetinterval 15 minuten).

Tabel 3.3. Overzicht van de breedte, diepte en daggemiddelde watertemperatuur tijdens de vorstperiode (18 december t/m 22 december 2007) per slootlocatie. De voor de case study geselecteerde locaties zijn aangeduid met een reeksnummer en kwelindicatie.

locatie	diepte (cm) 20-10-2008)	diepte (cm) 08-01-2008	breedte (cm) 20-10-2009	temperatuur (°C)	kwelindicatie	reeks
t2.3	22	14	210	1.1		
t3.4	30	18	210	2.5		
t2.2	28	26	260	1.4	laag/geen	1
t1.3	30	20	270	2.2		
t2.1	35	29	270	2.9		
t2.4	28	15	270	2.1		
t2.5	28	29	270	3.7	hoog	1
t1.1	20	22	280	1.4		
t4.5	38	32	280	3.7		
t1.2	25	16	300	2.4		
t1.4	28	30	310	3.7		
t1.5	30	33	310	3.7	hoog	1
t3.2	40	27	310	2.1	intermediair	1
t3.3	32	22	320	2.3		
t3.1	31	28	325	1.7	laag/geen	1
t3.5	36	36	330	2.4		
t5.3	38	30	340	3.6	hoog	2
t5.2	40	32	350	3.7	hoog	2
t4.2	40	37	360	2.6	laag	2

locatie	diepte (cm) 20-10-2008)	diepte (cm) 08-01-2008	breedte (cm) 20-10-2009	temperatuur (°C)	kwelindicatie	reeks
t5.4	42	34	360	2.9	laag	2
t5.5	40	27	360	2.8	laag	2
t4.1	42	37	370	3.8		
t4.3	21	30	430	1.3		
t4.4	37	34	430	2.7		
t5.1	38	35	450	2.3		

Beken

Arboretumbek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.4). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. De richtingscoëfficiënt voor lucht verschilt nauwelijks tussen de drie locaties (tabel 3.4). De gemiddelde dagtemperatuur verschilt nauwelijks tussen de drie locaties (bijlage 5). De grootse verschillen treden op in mei en juni 2008. In deze maanden is van boven naar benedenstrooms een toename in gemiddelde temperatuur te zien (bijlage 5). De gemiddelde dagamplitude op locatie a1 is een stuk hoger dan de gemiddelde dagamplitude op de locaties a2 en a3, wat zou duiden op wegzijging op locatie a1 en kwel op de locaties a2 en a3. Dit komt niet overeen met de kwelindicatie op basis van Minnema en Snepvangers (2004).

Tabel 3.4. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Arboretumbek. Data van 09 augustus 2007 t/m 21 juni 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 9.0 °C.

parameter	locatie		
	a1	a2	a3
kwelindicatie (Minnema en Snepvangers, 2004)	kwel	kwel	wegzijging
gemiddelde dagamplitude (°C)	2.6	2.0	1.9
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.256	0.247	0.260
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.680	0.695	0.697
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.982	0.986	0.986

Bethlehemsche beek – De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.5). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. De richtingscoëfficiënt voor lucht op locatie be1 is hoger dan de richtingscoëfficiënt op locatie be2 en be3 (tabel 3.5). De gemiddelde dagamplitude daarentegen is juist laag op locatie be2 in vergelijking tot de locaties be 1 en be3. Op basis van de kwelindicatie (Minnema en Snepvangers, 2004) zouden de gemiddelde dagamplitude en de richtingscoëfficiënt voor lucht op de locaties be1 en be2 lager moeten liggen dan op locatie be3. De gemiddelde dagtemperatuur verschilt nauwelijks tussen de drie locaties (bijlage 5). De grootse verschillen treden op in december 2007.

Tabel 3.5. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Betlehemse beek. Data van 9 augustus 2007 t/m 4 april 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 7.7 °C.

parameter	locatie		
	be1	be2	be3
kwelindicatie (Minnema en Snepvangers, 2004)	wegzijging	intermediair	kwel
gemiddelde dagamplitude (°C)	2.1	1.6	2.1
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.305	0.241	0.238
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.650	0.719	0.716
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.975	0.981	0.979

Snoeyinksbeek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.6). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. De richtingscoëfficiënt voor lucht en de gemiddelde dagamplitude zijn lager op locatie s1 dan op de locaties s2 en s3 (tabel 3.6). Dit zou betekenen dat de kwelintensiteit op locatie s1 hoger is dan op de locaties s2 en s3, hetgeen niet overeenkomt met de kwelindicatie op basis van Minnema en Snepvangers (2004). De grootse verschillen in daggemiddelde watertemperatuur tussen de locaties van de Snoeyinksbeek treden op in het voorjaar en de zomer (bijlage5).

Tabel 3.6. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Snoeyinksbeek. Data van 26 april 2007 t/m 14 juni 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 10.7 °C.

parameter	locatie		
	s1	s2	s3
kwelindicatie (Minnema en Snepvangers, 2004)	wegzijging	intermediair	kwel
gemiddelde dagamplitude (°C)	1.8	2.4	2.5
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.233	0.285	0.286
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.687	0.649	0.654
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.988	0.984	0.987

Hierdense beek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.7). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. De richtingscoëfficiënt voor lucht op locatie h3 is duidelijk lager dan de richtingscoëfficiënt op de locaties h1 en h2 (tabel 3.7). De gemiddelde dagamplitude daarentegen verschilt nauwelijks tussen de locaties (tabel 3.7). De lage richtingscoëfficiënt voor lucht op locatie h3 duidt op een hogere kwelintensiteit op deze locatie ten opzichte van de locaties h1 en h2. Deze bevinding komt overeen met de kwelindicatie op basis van de kwelkaart van waterschap Veluwe en Higler (1980). De daggemiddelde temperatuur op locatie h3 wijkt, net als de richtingscoëfficiënt voor lucht, af van de andere twee locaties (bijlage 5). De temperatuur van het oppervlaktewater is op locatie h3 duidelijk koeler in de zomer en warmer in de winter.

Tabel 3.7. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Hierdense beek. Data van 10 mei 2007 t/m 4 augustus 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 11.3 °C.

parameter	locatie		
	h1	h2	h3
kwelindicatie (Higler, 1980; kwelkaart waterschap Veluwe)	wegzijging	intermediair	kwel
gemiddelde dagamplitude (°C)	1.3	1.0	1.1
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.263	0.240	0.131
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.651	0.678	0.735
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.988	0.989	0.983

Oude beek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.8). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. De richtingscoëfficiënt voor lucht verschilt duidelijk tussen de locaties en is het laagst op locatie o1 en het hoogst op locatie o2 (tabel 3.8). De gemiddelde dagamplitude laat een iets ander beeld zien. De gemiddelde dagamplitude is, net als de richtingscoëfficiënt voor lucht, het hoogst op locatie o2, maar de gemiddelde dagamplitude verschilt nauwelijks tussen de locaties o1 en o3 (tabel 3.8). De gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater is op locatie o1 duidelijk koeler in de zomer en hoger in de winter ten opzichte van de andere locaties (bijlage 5). De gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater is op locatie o2 het hoogst in de zomer en het koudst in de winter ten opzichte van de andere locaties (bijlage 5). Al deze gegevens kunnen er op duiden dat de toevoer van kwel op de locaties o1 en o3 hoger is dan op locatie o2. Deze bevindingen komen echter niet overeen met de kwelindicatie op basis van de kwelkaart van waterschap Veluwe. Volgens deze kaart is locatie o3 intermediair en is op de locaties o1 en o2 sprake van kwel. Onduidelijk is waarom er verschillen in de regressiecoëfficiënt voor lucht bestaan tussen de locaties o1 en o3, terwijl geen verschil bestaat in de gemiddelde dagamplitude.

Tabel 3.8. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Oude beek. Data van 10 mei 2007 t/m 15 september 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 15.0 °C.

parameter	locatie		
	o1	o2	o3
kwelindicatie (kwelkaart waterschap Veluwe)	kwel	kwel	intermediair
gemiddelde dagamplitude (°C)	2.0	2.5	1.9
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.148	0.246	0.203
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.519	0.511	0.517
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.946	0.968	0.959

Filosofenbeek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.9). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. De richtingscoëfficiënt voor lucht is het laagst op locatie f1 en het hoogst op locatie f2. De richtingscoëfficiënt voor lucht is vergelijkbaar op de locaties f3 en f4. De gemiddelde dagamplitude is op locatie f2 duidelijk hoger dan op de overige locaties. De gemiddelde dagamplitude verschilt nauwelijks tussen de locaties f1, f3 en f4 (tabel 3.9). Op basis van de temperatuurmetingen zou de kwelintensiteit het hoogst zijn op

de locatie f1 en het laagst op de locatie f2, met locatie f3 en f4 in het midden. Deze bevindingen komen niet overeen met de kwelindicatie op basis van de kwel-infiltratiekaart van de Wateratlas provincie Gelderland (tabel 3.9). De daggemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater blijft in de zomer het laagst op de locaties f1 en f3 en in de winter het hoogst (bijlage 5).

Tabel 3.9. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Filosofenbeek. Data van 21 augustus 2007 t/m 5 april 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 7.3 °C.

parameter	locatie			
	f1	f2	f3	f4
kwelindicatie (locatiekennis en kwel-infiltratiekaart Wateratlas provincie Gelderland)	kwel	wegzijging	wegzijging	kwel
gemiddelde dagamplitude (°C)	1.5	2.2	1.7	1.6
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.235	0.392	0.310	0.312
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.543	0.492	0.504	0.560
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.979	0.980	0.980	0.982

Boschbeek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.10). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. Zowel de richtingscoëfficiënt voor lucht als de gemiddelde dagamplitude is het laagst op locatie b1 en het hoogst op locatie b4. Deze bevindingen komen niet helemaal overeen met de eigen locatiekennis. Locatie b1 lijkt overeenkomstig de locatiekennis te worden gekenmerkt door kwel, het is echter onduidelijk waarom de gemiddelde dagamplitude en de regressiecoëfficiënt tussen locatie b4 en b5 verschillen, terwijl op deze locaties geen kwel optreedt. Het feit dat de daggemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater op locatie b1 in de winter het laagst blijft (bijlage 5), komt niet overeen met de theorie van een door kwel gevoede locatie.

Tabel 3.10. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Boschbeek. Data van 5 september 2007 t/m 28 augustus 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 10.4 °C.

parameter	locatie		
	b1	b4	b5
kwelindicatie (locatiekennis)	kwel	intermediair	wegzijging
gemiddelde dagamplitude (°C)	1.9	3.1	2.3
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.243	0.342	0.314
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.722	0.600	0.620
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.991	0.989	0.989

Mosbeek - De determinatiecoëfficiënt voor de dynamische regressie is bijna 1 (tabel 3.11). De daggemiddelde watertemperatuur wordt dus bijna volledig verklaard door de luchttemperatuur en de temperatuur van het water op tijdstip t-1. Zowel de richtingscoëfficiënt voor lucht als de gemiddelde dagamplitude neemt toe van locatie m1 naar m7. Dit zou betekenen dat de kwelintensiteit op locatie m1 hoger is dan op de locaties m6 en m7, hetgeen overeenkomt met de kwelindicatie op basis van Minnema en Snepvangers (2004). Alleen is het de vraag is of de regressiecoëfficiënt en de gemiddelde dagamplitude zouden moeten verschillen tussen twee locaties waar

wegzijing optreedt (m6 en m7). Opvallend is dat de gemiddelde dagtemperatuur op locatie m1 sterk afwijkt van de overige locaties (bijlage 5).

Tabel 3.11. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Mosbeek. Data van 19 maart 2007 t/m 9 oktober 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 11.7 °C.

parameter	locatie		
	m1	m6	m7
kwelindicatie (Minnema en Snepvangers, 2004)	kwel	wegzijing	wegzijing
gemiddelde dagamplitude (°C)	1.8	2.1	2.9
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.152	0.289	0.326
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.618	0.650	0.621
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.978	0.990	0.989

Naast temperatuurgegevens zijn per beek ook eenmalig chemische monsters verzameld. In bijlage 6 wordt per beek een overzicht gegeven van de chemische samenstelling van het oppervlaktewater op de onderzoekslocaties.

3.2.2 Discussie

Alleen de resultaten voor de Mosbeek ondersteunen duidelijk de hypothese dat de regressiecoëfficiënt voor lucht en de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur afnemen met een toename van de kwelintensiteit. Mogelijk is de kwelintensiteit in de Mosbeek groter dan in de andere beken waardoor de relatie tussen kwelintensiteit en watertemperatuur eenduidiger is. Op basis van de regressiecoëfficiënt voor lucht en de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur kan de kwel gevoede locatie in de Boschbeek worden onderscheiden van de locatie waar wegzijing optreedt en de intermediaire locatie. Het is echter onduidelijk waarom verschillen bestaan tussen de regressiecoëfficiënt en de dagamplitude op de wegzijgingslocaties. De resultaten van de Hierdense beek laten zien dat richtingscoëfficiënt voor lucht wel afneemt met een verhoogde kwelintensiteit, maar dat er nauwelijks verschillen in de gemiddelde dagamplitude bestaan tussen de locaties. Net als in de Boschbeek rijst ook hier de vraag waarom er verschillen in richtingscoëfficiënt bestaan tussen de intermediaire en wegzijgingslocatie.

De regressiecoëfficiënt voor lucht en de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur nemen in de Arboretumbeek, de Bethlehemschebeek, de Oude Beek en de Snoeyinksbeek niet af met een toename van de kwelintensiteit. Bovendien vertoont de gemiddelde dagamplitude voor de oppervlaktewatertemperatuur in de Arboretumbeek en de Bethlehemschebeek niet hetzelfde patroon als de richtingscoëfficiënt voor lucht. Mogelijk spelen (naast de luchttemperatuur en de toestroom van kwel) allerlei andere variabelen een rol bij de verklaring van de temperatuur van het oppervlaktewater, de afvoer, de natte doorsnede, de breedte-diepte verhouding en de mate van beschaduwning. Bij het selecteren van de locaties is getracht deze variabelen zoveel mogelijk constant te houden tussen locaties in dezelfde beek. Desondanks konden verschillen nooit helemaal worden voorkomen. Op basis van de beschikbare gegevens blijkt het niet

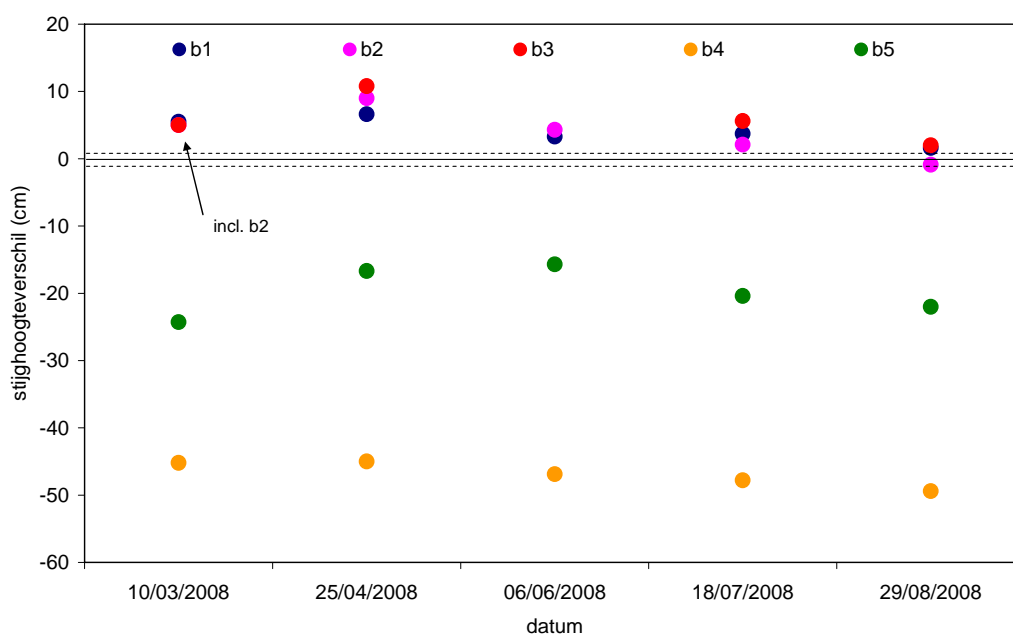
mogelijk om de invloed van kwel op de watertemperatuur te scheiden van de invloed van allerlei andere variabelen. In bijlage 7 is een overzicht gegeven van een groot aantal variabelen die mogelijk van invloed zijn geweest op de watertemperatuur, anders dan kwel en de luchttemperatuur. Een andere verklaring voor het gebrek aan relatie tussen de kwelintensiteit en de watertemperatuur kan liggen in de wijze waarop de kwelintensiteit is vastgesteld. Voor het vaststellen van de kwelintensiteit is gebruik gemaakt van kwelkaarten. Keery et al. (2007) hebben aangetoond dat de kwelintensiteit in een beek over een afstand van enkele honderden meters sterk kan wisselen. De mogelijkheid bestaat, dat de kwelintensiteit zoals weergegeven op de kwelkaarten niet overeenkomt met de kwelintensiteit op de specifieke onderzoekslocaties. Om uit te sluiten dat de kwelkaarten een verkeerd beeld hebben gegeven over de kwelintensiteit op de onderzochte locaties, zijn in een case study stijghoogtemetingen verricht met piëzometers en peilbuizen.

3.3 Stap 3: Case study

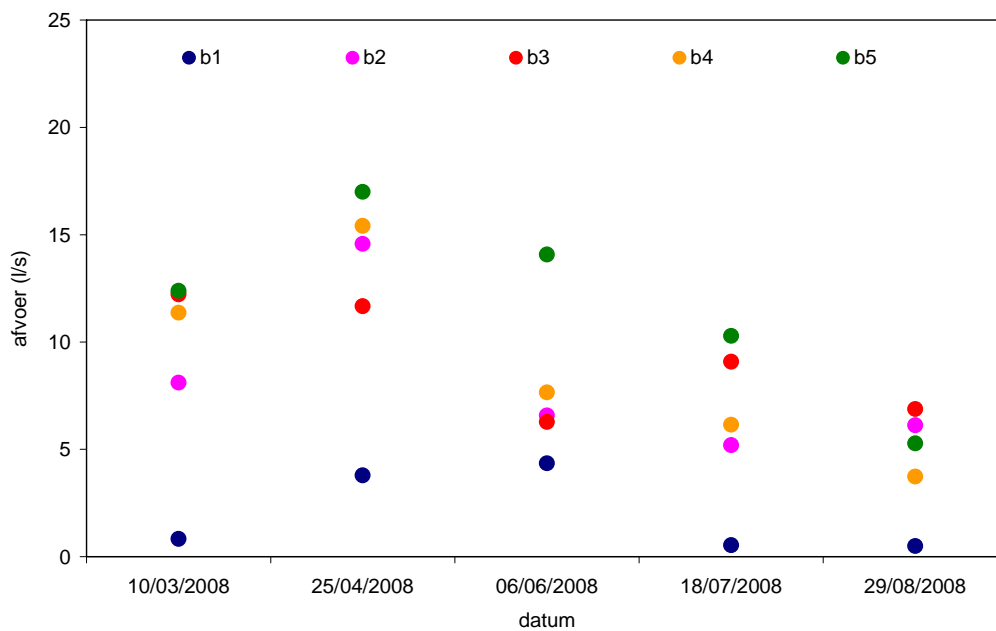
3.3.1 Boschbeek

Stijghoogte

Op locatie b3 zijn vanwege vandalisme op 6 juni 2008 geen metingen aan de piëzometers verricht. Van alle locaties tussen de in de beide figuren afgebeelde stippellijnen kan dus niet met zekerheid worden vastgesteld of er sprake is van een positief of negatief stijghoogteverschil. De locaties b1, b2 en b3 ondervinden in principe een naar boven gerichte grondwaterstroming (figuur 3.2). De locaties b4 en b5 ondervinden een heel duidelijke naar beneden gerichte grondwaterstroming (figuur 3.2). De afvoer varieert sterk tussen de verschillende data (figuur 3.3), terwijl de verschillen in stijghoogte tussen de data minimaal zijn (figuur 3.2).



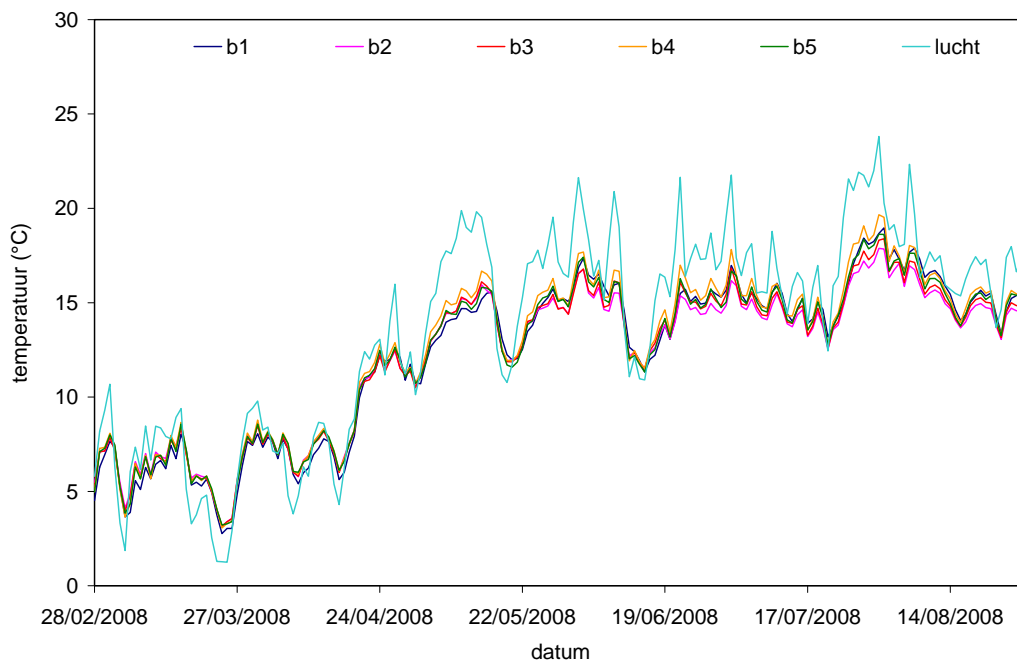
Figuur 3.2. Het verschil in stijghoogte tussen de diepe en de ondiepe piëzometers op de vijf locaties in de Boschbeek. De afleesonaanwkeurigheid van de stijghoogte in de piëzometers is weergegeven met twee stippellijnen.



Figuur 3.3. De afvoer op de vijf locaties in de Boschbeek.

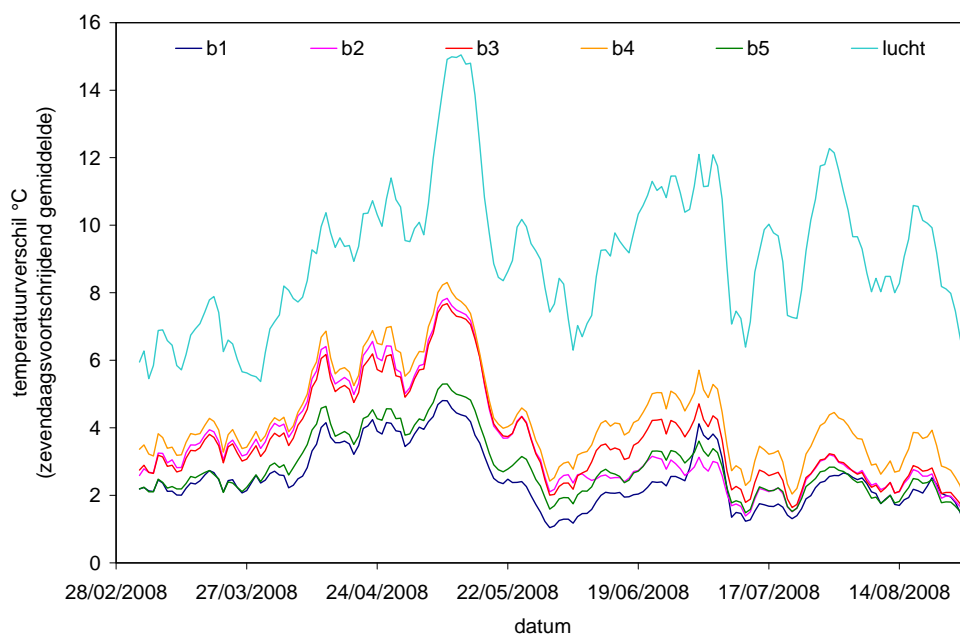
Temperatuur

In de periode van 28 februari 2008 tot 29 augustus 2008 is het maximaal bereikte verschil in de daggemiddelde watertemperatuur tussen de locaties 1.9 °C (figuur 3.4). De grootse verschillen in daggemiddelde watertemperatuur tussen de vijf locaties treden op wanneer de daggemiddelde luchttemperatuur boven de 14 °C komt (figuur 3.4). In de zomer bereikt locatie b4 vrijwel altijd de hoogste watertemperatuur en blijft de watertemperatuur op locatie b2 het laagst.



Figuur 3.4. De daggemiddelde watertemperatuur van de vijf locaties van de Boschbeek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Ell.

De dagamplitude van de watertemperatuur geeft een ander beeld dan de daggemiddelde watertemperatuur (figuur 3.5 en 3.4). De grootste verschillen tussen locaties in dagamplitude treden op in de winter en het voorjaar. De dagamplitude op de locaties b1 en b5 in deze periode is veel lager dan op de overige drie locaties. In de zomer is deze groepering minder duidelijk (figuur 3.5). Op alle locaties geldt dat bij vergelijkbare luchttemperatuur in de zomer en winter de dagamplitude in zomer lager is dan in de winter.



Figuur 3.5. Zevensdaagsvoorschrijdend gemiddelde van de dagamplitude van de watertemperatuur van de vijf locaties van de Boschbeek en de luchttemperatuur van het weerstation Ell.

De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur ligt relatief laag op de locaties b1 en b5 (tabel 3.12). De gemiddelde dagamplitude op locatie b4 is ten opzichte van de overige locaties relatief hoog. Deze relatieve verschillen in gemiddelde dagamplitude tussen de locaties kunnen niet worden verklaard door de gemeten verschillen in stijghoogte tussen de locaties, waarbij zowel locatie b4 als b5 worden gekenmerkt door wegzijging (figuur 3.2). De verschillen in de richtingscoëfficiënt van lucht tussen de locaties zijn klein. Hoewel de verschillen klein zijn, zijn de richtingscoëfficiënten voor de locaties met kwel (b1, b2 en b3) kleiner dan voor de locaties met wegzijging (b4 en b5). Het verschil in richtingscoëfficiënt tussen de locaties b4 en b5 is 0.056, terwijl op beide locaties wegzijging optreedt (figuur 3.2). Mogelijk is de positieve stijghoogte op de locaties b1, b2 en b3 zo klein dat dit niet van invloed is op de watertemperatuur, dit verklaart echter niet de lagere gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur op de locaties b1 en b5.

Tabel 3.12. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Boschbeek. Data van 28 februari 2008 t/m 29 augustus 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 13.7 °C.

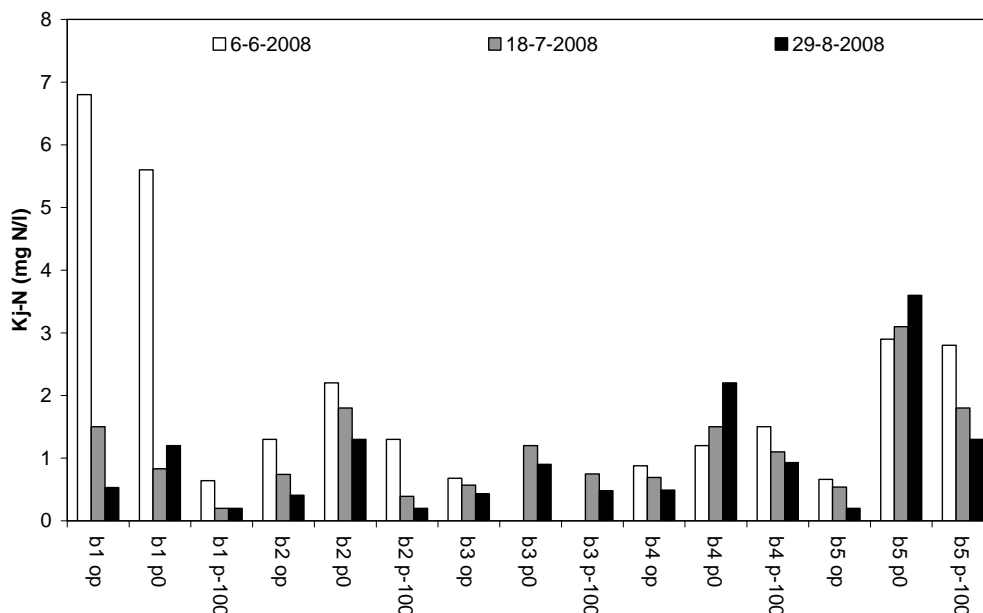
parameter	locatie				
	b1	b2	b3	b4	b5
kwelintensiteit (locatiekennis)	kwel	kwel	kwel	intermediair	wegzijging
kwelintensiteit (stijghoogte)	kwel	kwel	kwel	wegzijging	wegzijging
gemiddelde dagamplitudo (°C)	2.5	3.5	3.6	4.3	2.8
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.391	0.406	0.433	0.499	0.443
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.519	0.442	0.426	0.378	0.427
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.979	0.983	0.984	0.981	0.979

Chemie

Op locatie b3 zijn vanwege vandalisme op 6 juni 2008 geen metingen aan de piëzometers verricht. De watermonsters uit de diepe piëzometer van locatie b5 zijn op 29-08-2008 onbedoeld niet geanalyseerd op macro-ionen.

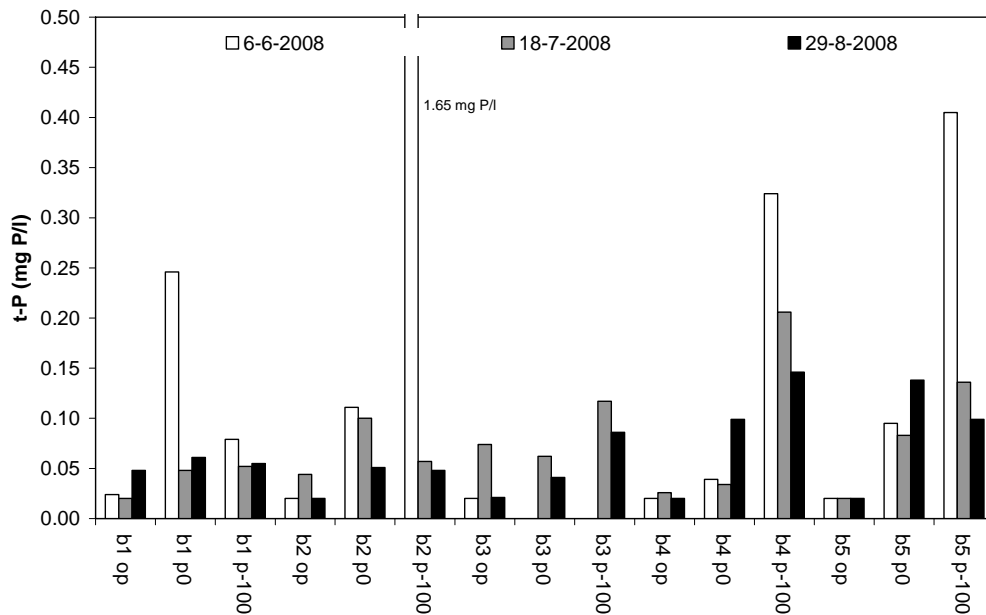
Nitrat - Met uitzondering van locatie b1 op 18-07-2008 (waarde 0.39 mg N/l) bevinden alle gemeten concentraties zich onder de detectiegrens van 0.1 mg N/l.

Kjeldahl-stikstof - Opvallend zijn de hoge Kjeldahl-stikstofconcentraties in het oppervlaktewater en het water uit de ondiepe piëzometer op 6 juni 2008 op locatie b1 (figuur 3.6). De verschillen in Kjeldahl-stikstofconcentraties tussen het oppervlaktewater, het water in de ondiepe piëzometer en het water in de diepe piëzometer kunnen groot zijn. In bijna alle gevallen zijn de Kjeldahl-stikstofconcentraties het hoogst in het water uit de ondiepe piëzometers. De verschillen in Kjeldahl-stikstofconcentraties tussen locaties variëren met de tijd (figuur 3.6).



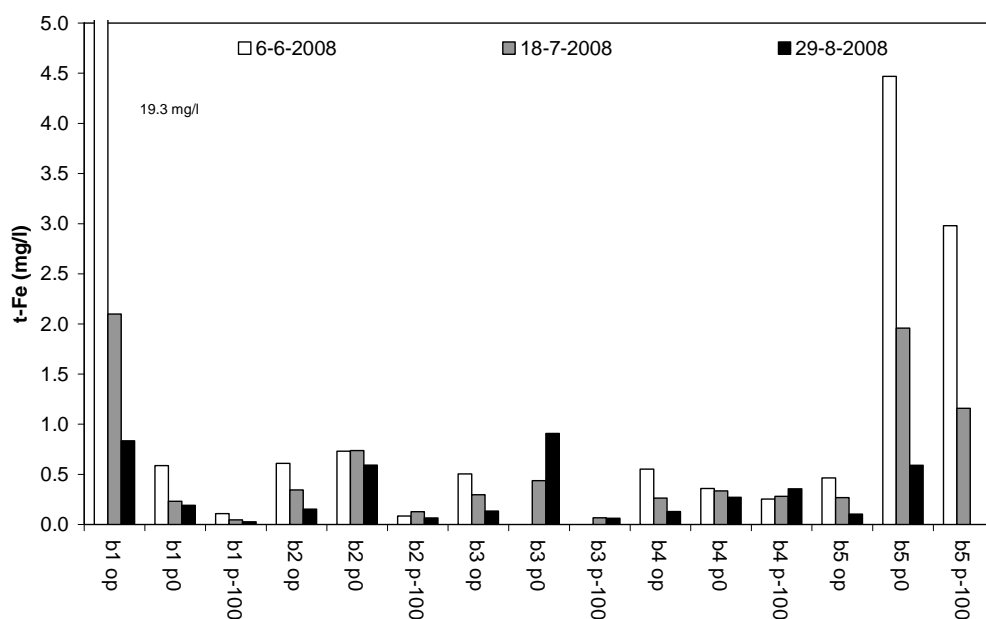
Figuur 3.6. De Kjeldahl-stikstofconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, B. op = oppervlaktewater, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.2 mg N/l, van b3 p0 zijn geen metingen).

Totaal-fosfor - De extreem hoge totaal-fosforconcentratie in de diepe piëzometer van locatie b2 op 06-06-2008 is opvallend (figuur 3.7). De totaal-fosforconcentratie in het oppervlaktewater is op alle locaties laag (<0.05 mg P/l). Over het algemeen zijn de totaal-fosforconcentraties van het grondwater hoger dan die van het oppervlaktewater. Vooral op de locaties b4 en b5 zijn de verschillen in totaal-fosforconcentratie met het oppervlaktewater groot (figuur 3.7).



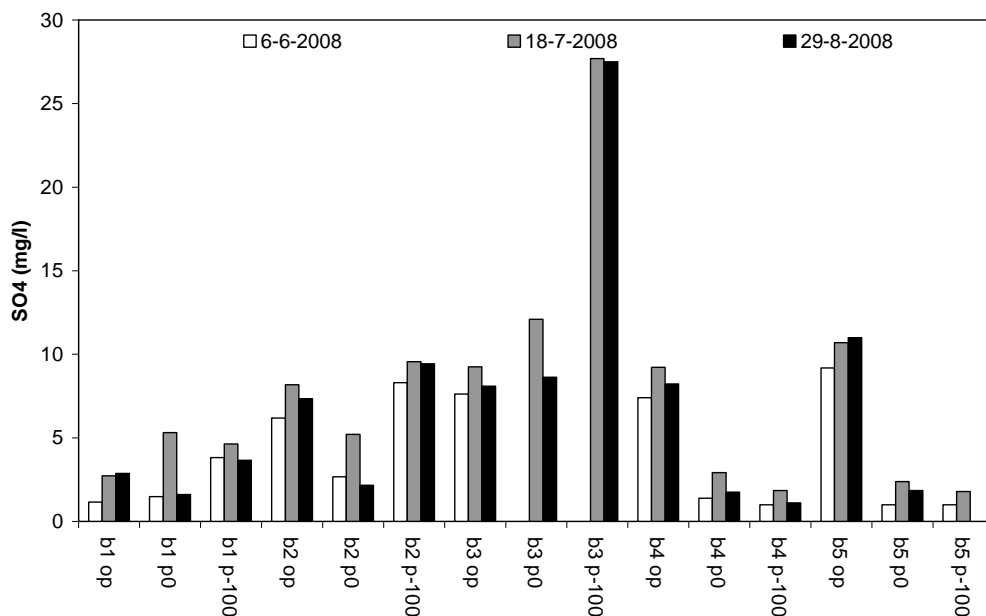
Figuur 3.7. De totaal-fosforconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.02 mg P/l).

Totaal-ijzer - De totaal-ijzerconcentratie in het oppervlaktewater van locatie b1 op 6 juni 2008 is extreem hoog (figuur 3.8). Op deze locatie in de beek was sprake van grote hoeveelheden ijzerneerslag en heel weinig water. Mogelijk is het monster vervuild geraakt met wat ijzervlokken. Gedurende de gehele meetperiode was de totaal-ijzerconcentratie van het oppervlaktewater het hoogst op locatie b1. Met name op de locaties b1, b2 en b3, is de totaal-ijzerconcentratie van het water uit de diepe piëzometers lager dan het water uit de ondiepe piëzometers. Op locatie b5 liggen de totaal-ijzerconcentraties van het grondwater (diepe en ondiepe piëzometers) veel hoger dan de concentraties van het oppervlakte water (figuur 3.8).



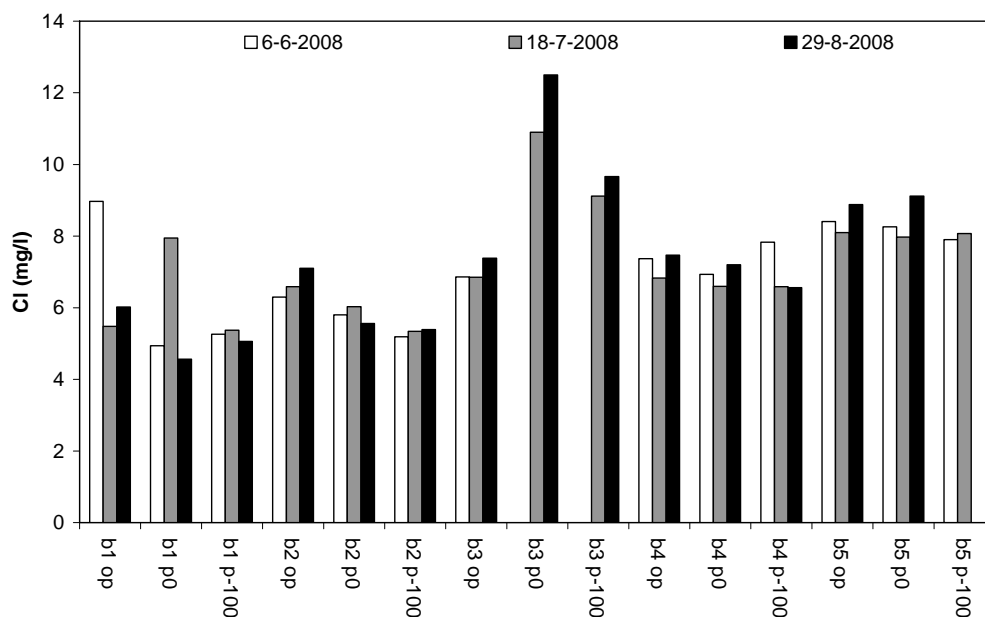
Figuur 3.8. De totaal-ijzerconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Sulfaat - De sulfaatconcentraties gemeten in de Boschbeek zijn over het algemeen laag (figuur 3.9). Opvallend zijn de hoge sulfaatconcentraties gemeten in de diepe piëzometer op locatie b3. Op de locaties b4 en b5 is de sulfaatconcentratie in het grondwater veel lager dan de concentratie in het oppervlaktewater. Van locatie b1 naar b3 is sprake van een toename in de sulfaatconcentratie in het water van de diepe piëzometers (figuur 3.9).



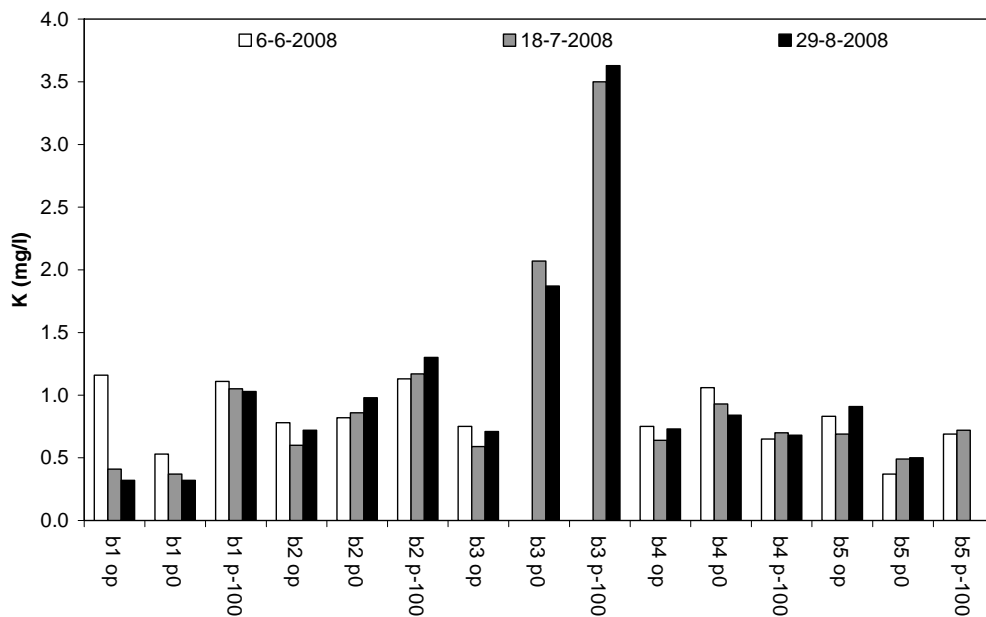
Figuur 3.9. De sulfaatconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Chloride - De chlorideconcentraties op alle locaties zijn laag en variëren van 4.55 tot 12.5 mg/l (figuur 3.10). De chlorideconcentraties van het water uit de ondiepe piëzometer op locatie b3 liggen duidelijk hoger dan de chlorideconcentraties op de overige locaties. Op locatie b3 is op alle data de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater lager dan het de chlorideconcentratie van het water uit de ondiepe piëzometer. Op locatie b1 is op 6 juni de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater hoger dan de chlorideconcentratie van het water uit de ondiepe piëzometer, terwijl 18 juli dit juist omgekeerd is (figuur 3.10).



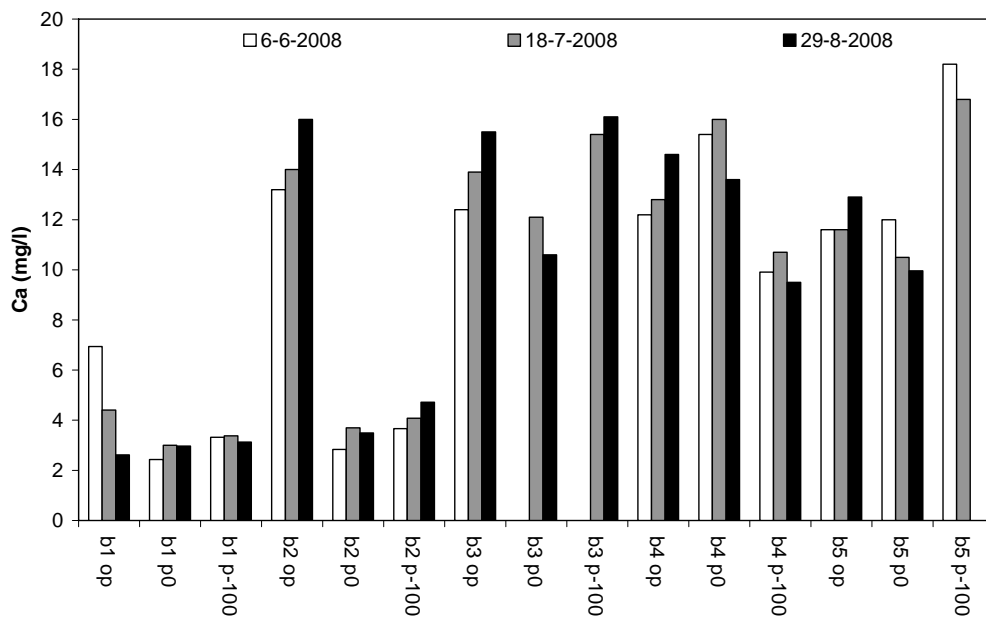
Figuur 3.10. De chlorideconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Kalium - De kaliumconcentraties zijn laag en variëren van 0.32 tot 3.63 mg/l (figuur 3.11). De concentraties zijn in het water van de piëzometers op locatie b3 hoger dan alle overige metingen. Deze overige metingen hebben allemaal een kaliumconcentratie < 1.3 mg/l.



Figuur 3.11. De kaliumconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

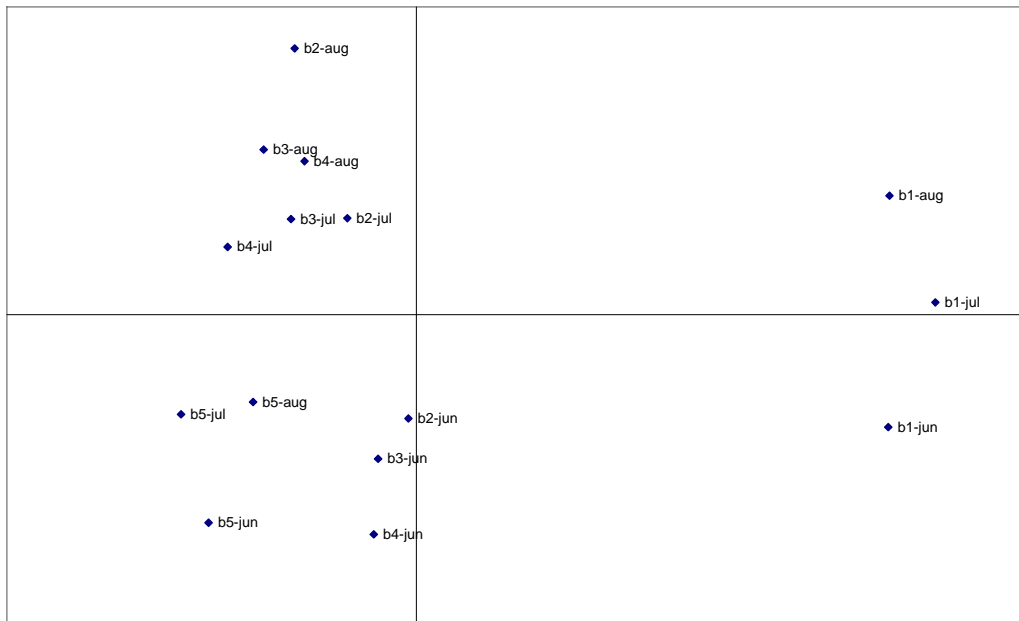
Calcium - De calciumconcentraties zijn laag en variëren van 2.4 tot 18.2 mg/l (figuur 3.12). Op de locaties b2 en b1 zijn de calciumconcentraties van het grondwater veel lager dan de calciumconcentraties van het grondwater op de locaties b3, b4 en b5. Op de locaties b3, b4 en b5 is de calciumconcentratie van het oppervlaktewater vergelijkbaar met de calciumconcentratie van het water uit de piëzometers. Op de locaties b1 heeft het oppervlaktewater een vergelijkbaar of iets hogere calciumconcentratie dan het water van de beide piëzometers. Op locatie b2 is de calciumconcentratie van het oppervlaktewater veel hoger dan de calciumconcentratie van het water uit de piëzometers (figuur 3.12).



Figuur 3.12. De calciumconcentraties van de Boschbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Diatomeeën

De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie b1 wijkt af van de overige locaties (figuur 3.13). De eerste en tweede as verklaren samen 51.9% van de variatie in de dataset (tabel 3.13). De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie b1 verschilt van de overige locaties door de lage abundanties of het ontbreken van *Achnanbidium minutissimum* sl, *Gomphonema parvulum* en *Eunotia botuliformis* en door de hoge abundanties van *Eunotia exigua* var. *tenella*, *E. rhomboidea* en *E. subarcuatoidea*. De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie b5 wijkt af van de overige locaties, alhoewel de monsters van de locaties b2, b3 en b4 verzameld in juni grote overeenkomsten vertonen met de monsters van locatie b5 (Figuur 3.13). De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie b5 wijkt af van de overige locaties door het frequent voorkomen van *Fragilaria capucina* var. *capucina*, *F. gracilis*, *Gomphonema acuminatum*, *Ulnaria ulna* en *Eunotia subarcuatoidea*.

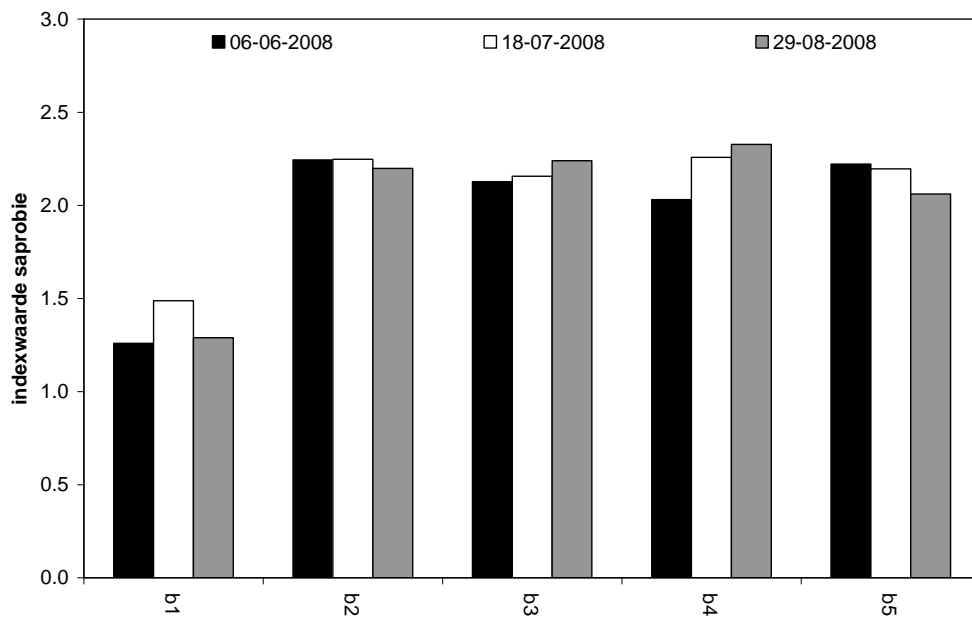


Figuur 3.13. PCA-ordinatiediagram van as 1 en 2 met daarin weergegeven de diatomeeënmonsters uit de Boschbeek.

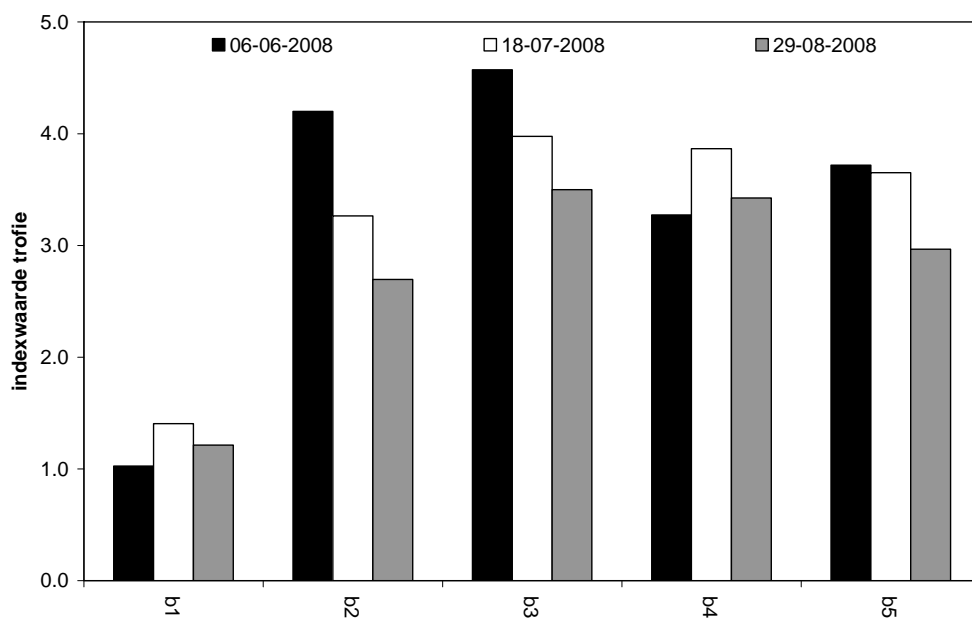
Tabel 3.13. Resultaten PCA-analyse van de diatomeeënmonsters uit de Boschbeek.

parameter	asnummer				
	1	2	3	4	
PCA Eigenwaarde	0.378	0.141	0.106	0.068	1.00
Cumulatieve verklaarde variantie soorten (%)	37.7	51.9	62.5	69.2	
Cumulatieve verklaarde variantie soorten-milieu relatie (%)					
Som van alle eigenwaarden					1.00

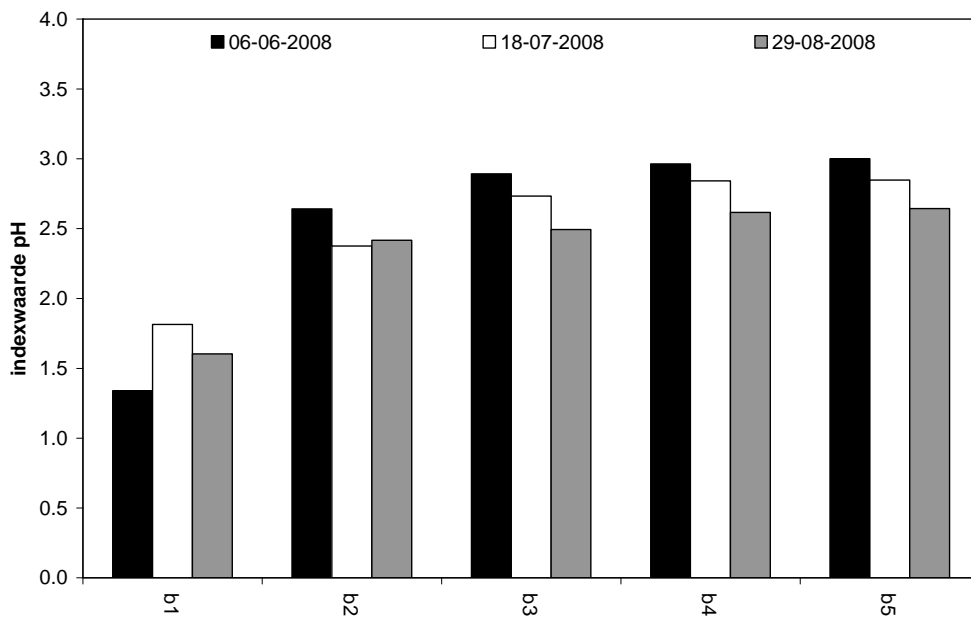
De afwijkende samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie b1 blijkt tevens uit de Van Dam indexwaarden. De indexwaarden voor trofie, saprobie, N-opname metabolisme, pH en zuurstofbehoefte wijken op locatie b1 duidelijk af van de overige locaties (figuur 3.14 t/m 3.18). De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie b1 wijst op verminderde belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en organisch stof ten opzichte van de andere locaties. De afwijkende ligging van locatie b5 en de juni monsters van de locaties b2, b3 en b4 blijken niet uit de Van Dam indexwaarden (figuur 3.13 en figuur 3.14 t/m 3.18). De Van Dam indexwaarden voor trofie en zuurstofbehoefte kunnen, afhankelijk van de datum waarop de monsters zijn verzameld, sterk variëren (figuur 3.15 en 3.18).



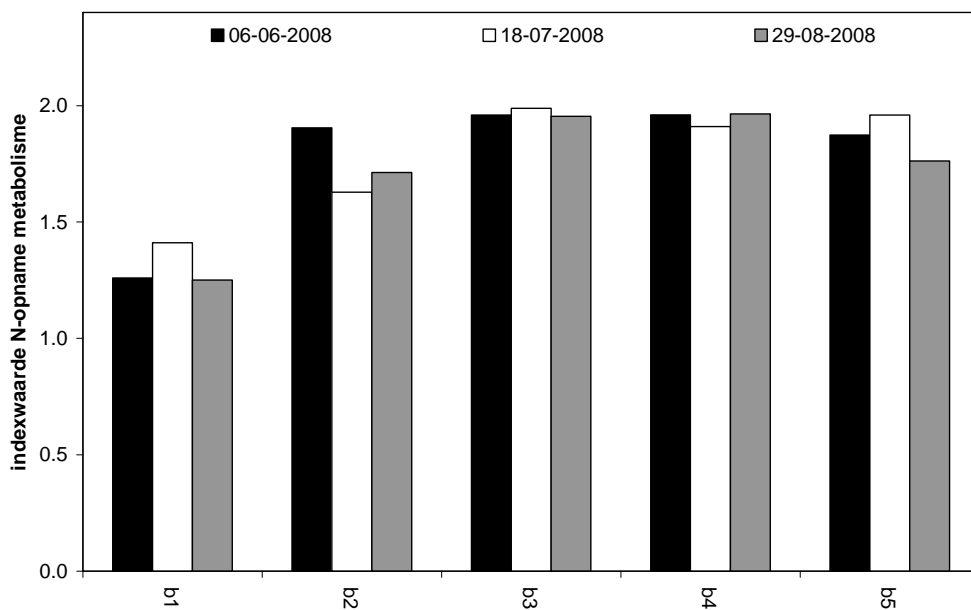
Figuur 3.14. Van Dam indexwaarden voor saprobie op de locaties van de Boschbeek (1=oligosaprob, 2= β -mesosaprob, 3= α -mesosaprob, 4= α -meso-/polysaprob, 5=polysaprob).



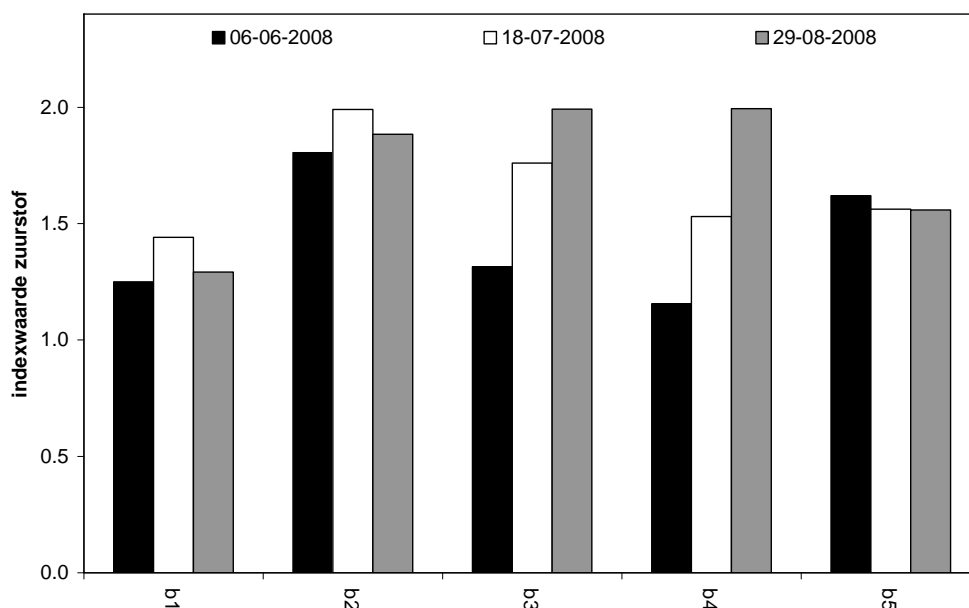
Figuur 3.15. Van Dam indexwaarden voor trofie op de locaties van de Boschbeek (1=oligotroof, 2=oligo-mesotroof, 3=mesotroof, 4=meso-eutroof, 5=eutroof, 6=hypereutroof).



Figuur 3.16. Van Dam indexwaarden voor pH op de locaties van de Boschbeek (1=acidobiont, 2=acidofiel, 3=neutraal, 4= alkalifiel, 5=alkalibiont).



Figuur 3.17. Van Dam indexwaarden voor N-opname metabolisme op de locaties van de Boschbeek (1=stikstof-autotroof (tolerant voor heel kleine hoeveelheden organisch gebonden stikstof), 2=stikstof autotroof (tolerant voor verhoogde concentraties organisch gebonden stikstof), 3=facultatief stikstof-heterotroof, 4=obligaat stikstof-heterotroof).



Figuur 3.18. Van Dam indexwaarden voor zuurstofbehoefte op de locaties van de Boschbeek (1=100% verzadiging, 2=meer dan 75% verzadiging, 3=meer dan 50% verzadiging, 4= meer dan 30% verzadiging en 5=ongeveer 10% verzadiging).

Discussie

De stijghoogtemetingen wijzen op duidelijke verschillen tussen de locaties, waarbij de locaties b1, b2 en b3 een zwakke opwaartse grondwaterstroming ondervinden en op de locaties b4 en b5 sprake is van wegzijging. Deze bevindingen komen niet helemaal overeen met de op voorhand gemaakte inschatting van de kwelintensiteit. De inschatting vooraf was dat op de locaties b1, b2 en b3 inderdaad sprake was van kwel, hetgeen overeenkomt met de stijghoogtemetingen. De locatie b4 is vooraf geïndiceerd als intermediair en de locatie b5 als wegzijging. Op basis van de piëzometergegevens blijkt echter op beide locaties sprake te zijn van wegzijging. Omdat de bodemprofielen sterk variëren van locatie tot locatie (bijlage 8) kunnen geen uitspraken worden gedaan over de intensiteit van de wegzijging of kwel. De doorlatendheid van de bodemlaag bepaalt immers de uiteindelijke kwelintensiteit.

De dagamplitude van de watertemperatuur is in het voorjaar en de winter duidelijk lager op de locaties b1 en b5. In de zomer bestaat deze duidelijke scheiding tussen de locaties b1 en b5 en de locaties b2, b3 en b4 niet meer. Het lijkt erop dat de aangroei van bladeren in de loop van het voorjaar leidt tot verminderde instraling en daardoor minder grote verschillen in de dagamplitude. Hierdoor zullen verschillen in de gemiddelde dagamplitude tussen locaties als gevolg van kwel relatief gezien kleiner worden. Het verdient daarom de aanbeveling om in plaats van de gemiddelde dagamplitude te kijken naar de maximale dagamplitude van de watertemperatuur in het voorjaar. Ondanks de kleinere verschillen in dagamplitude in de zomer ligt de gemiddelde dagamplitude voor de locaties b1 en b5 lager dan voor de locaties b2, b3 en b4. Zelfs wanneer de zomerperiode buiten beschouwing wordt gelaten is geen sprake van een directe relatie worden tussen de toevoer van grondwater en de schommelingen in watertemperatuur, omdat de gemiddelde dagamplitude op de

locaties b1 en b5 laag is, terwijl op locatie b1 sprake is van kwel en op locatie b5 sprake is van wegzijging.

Ook de regressiecoëfficiënten voor luchttemperatuur blijken niet direct te kunnen worden gerelateerd aan de aan- of afwezigheid van kwel. De verschillen in de richtingscoëfficiënt voor lucht tussen de locaties zijn klein. Hoewel de verschillen klein zijn, zijn de richtingscoëfficiënten voor de locaties met kwel (b1, b2 en b3) kleiner dan voor de locaties met wegzijging (b4 en b5). De onderlinge verschillen in regressiecoëfficiënten tussen de kwellocaties (b1, b2 en b3) zijn echter net zo groot als de onderlinge verschillen tussen de locaties waar wegzijging optreedt (b4 en b5). Mogelijk is de positieve stijghoogte op de locaties b1, b2 en b3 zo klein dat de toestroom van kwel onvoldoende is om de watertemperatuur te beïnvloeden, dit verklaart echter niet de lagere gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur op de locaties b1 en b5. Mogelijk is sprake van toevoer van kwel tussen de locaties b4 en b5.

Van een duidelijke relatie tussen de concentraties nutriënten en macro-ionen in het oppervlaktewater en het water uit de piëzometers is geen sprake. Wel is te zien dat de chemische samenstelling van het grondwater van locatie tot locatie sterk kan wisselen. Ook zijn er weinig onderlinge overeenkomsten in de chemische samenstelling van het grondwater tussen de kwellocaties of de wegzijglocaties. Door Verdonschot en Loeb (2008) is aangegeven dat chloride in sommige gevallen kan worden gebruikt als tracer voor kwel. In de Boschbeek verschillen de chlorideconcentraties van het grondwater nauwelijks van het oppervlaktewater, waardoor geen uitspraken kunnen worden gedaan over de aanwezigheid van kwel. De chlorideconcentraties liggen lager dan de normen uit het Aquatisch Supplement voor chloride in permanente bronnen (<25 mg/l; Verdonschot, 2000).

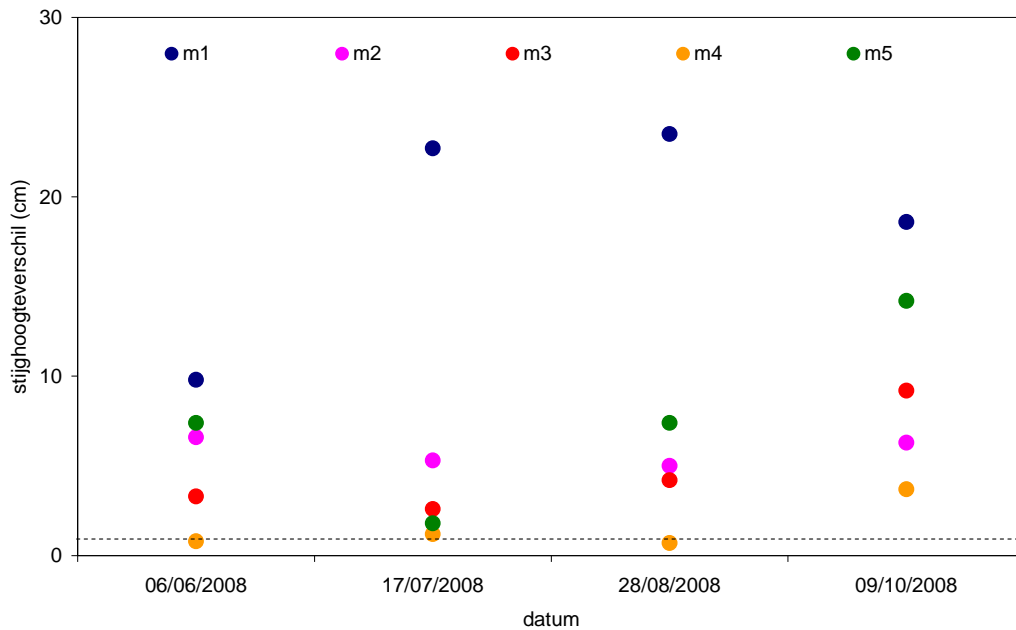
Er is geen duidelijke relatie tussen de aan- of afwezigheid van kwel en de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap. Wel is opvallend dat de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op de locaties b1 en b5, die worden gekenmerkt door een lagere gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur, afwijkt van de locaties b2, b3 en b4. De diatomeeënmonsters zijn echter verzameld in de zomer, wanneer de verschillen in dagamplitude veel kleiner waren. De relatie tussen gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap berust waarschijnlijk op toeval. Een duidelijke verklaring voor de afwijkende samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op de locaties b1 en b5 is er niet. De verschillen in chemische samenstelling van het oppervlaktewater tussen de locaties komen niet overeen met de verschillen in diatomeeënsamenstelling.

3.3.2 Mosbeek

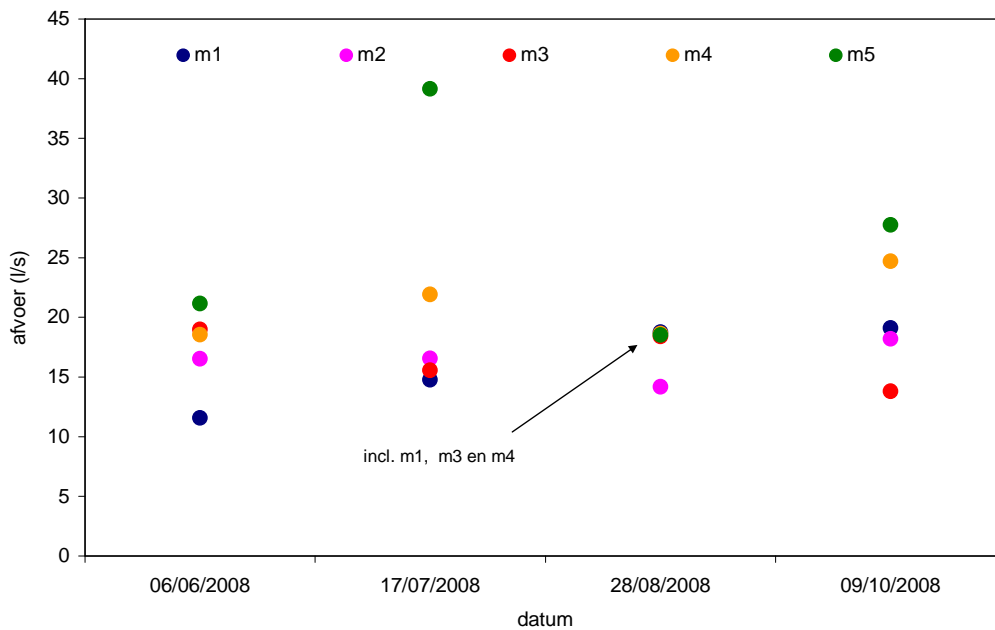
Stijghoogte

Op alle locaties is sprake van een naar bovengerichte grondwaterstroming (figuur 3.19). Op locatie m1 kwam het water uit de diepe piëzometer boven de buis uit. Op deze locatie is het werkelijke stijghoogteverschil dus nog groter. Op locatie m4 was het stijghoogteverschil het kleinst en kwam vaak niet boven de aflees-
onnauwkeurigheid van 1 cm uit. Op de locaties m2, m3 en m5 neemt het

stijghoogteverschil op 17 juli af om op de volgende meetdagen weer toe te nemen (figuur 3.19).



Figuur 3.19. Het verschil in stijghoogte tussen de diepe en de ondiepe piëzometers. De afleesonauwkeurigheid van de stijghoogte in de piëzometers is weergegeven met een stippellijn.

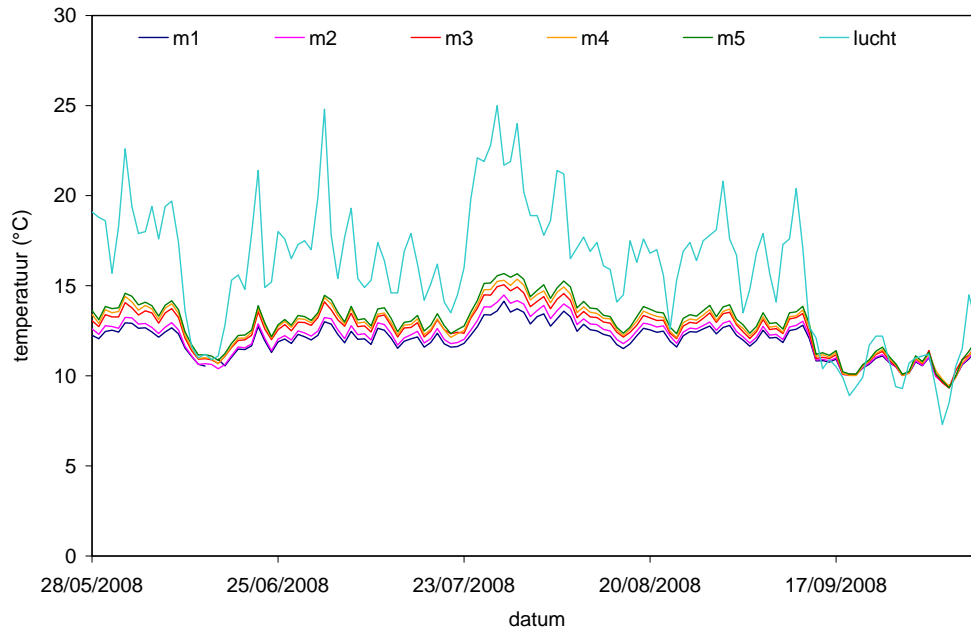


Figuur 3.20. De afvoeren van de vijf Mosbeekpunten.

De afvoermetingen vertonen veel variatie en worden beïnvloed door het optreden van een afvoerpiek op 17 juli. De piek begon vlak voor de metingen van locatie m4 en was tijdens de metingen van locatie m5 het grootst (figuur 3.20).

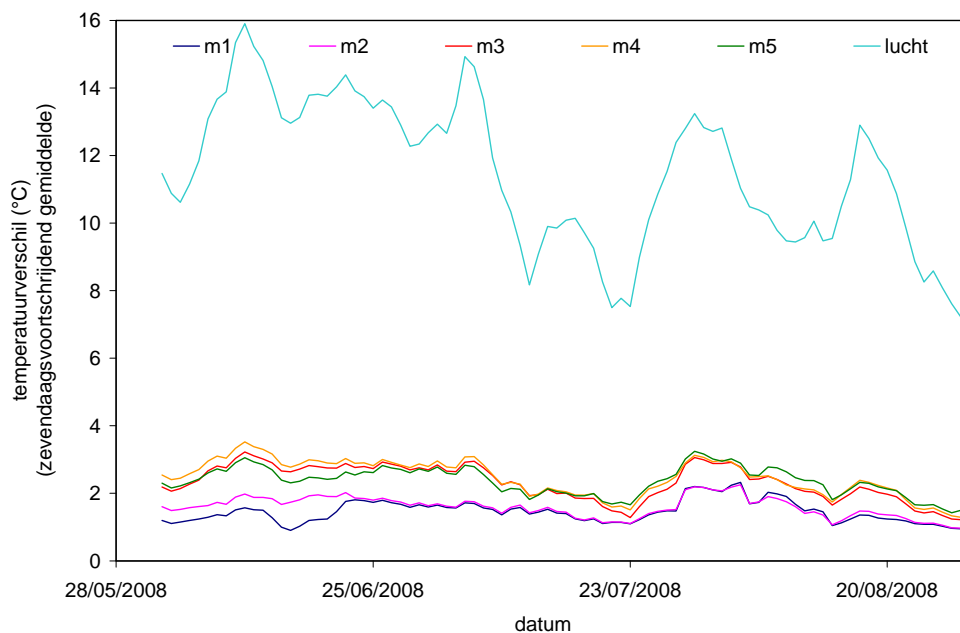
Temperatuur

De daggemiddelde temperaturen verschillen duidelijk tussen de vijf locaties van de Mosbeek (figuur 3.21). Van boven- naar benedenstrooms neemt de daggemiddelde temperatuur toe. In de Mosbeek zijn, overeenkomstig met de Boschbeek, de verschillen in daggemiddelde temperatuur het grootst wanneer de daggemiddelde luchttemperatuur boven de 14 °C komt.



Figuur 3.21. De daggemiddelde watertemperatuur van de vijf locaties van de Mosbeek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Twente.

Op basis van de dagamplitude van de watertemperatuur kunnen de locaties in de Mosbeek worden ingedeeld in twee groepen: (1) de locaties m1 en m2 en (2) de locaties m3, m4 en m5 (figuur 3.22). Wat verder opvalt is dat de dagamplitude op locatie m1 in mei lager ligt dan op locatie m2, terwijl in juni, juli en augustus de dagamplitude op beide locaties vergelijkbaar is.



Figuur 3.22. Zevendagsvoorschrijdend gemiddelde van de dagamplitude van de watertemperatuur van de vijf locaties van de Mosbeek en de luchttemperatuur van het weerstation Twenthe.

De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur ligt relatief laag op de locaties m1 en m2 (tabel 3.14). De regressiecoëfficiënt voor lucht is op de locaties m1 en m2 duidelijk lager dan op de overige locaties. Het stijghoogteverschil op locatie m1 is veel groter dan op alle andere locaties, hetgeen overeenkomt met de lagere regressiecoëfficiënt voor lucht en de lagere dagamplitude voor de watertemperatuur op deze locatie. De lagere dagamplitude en regressiecoëfficiënt op locatie m2 kunnen echter niet verklaard worden door het stijghoogteverschil. De locatie m5 wordt op drie van de vier meetdagen namelijk gekenmerkt door een groter verschil in stijghoogte dan de locatie m2 (figuur 3.19).

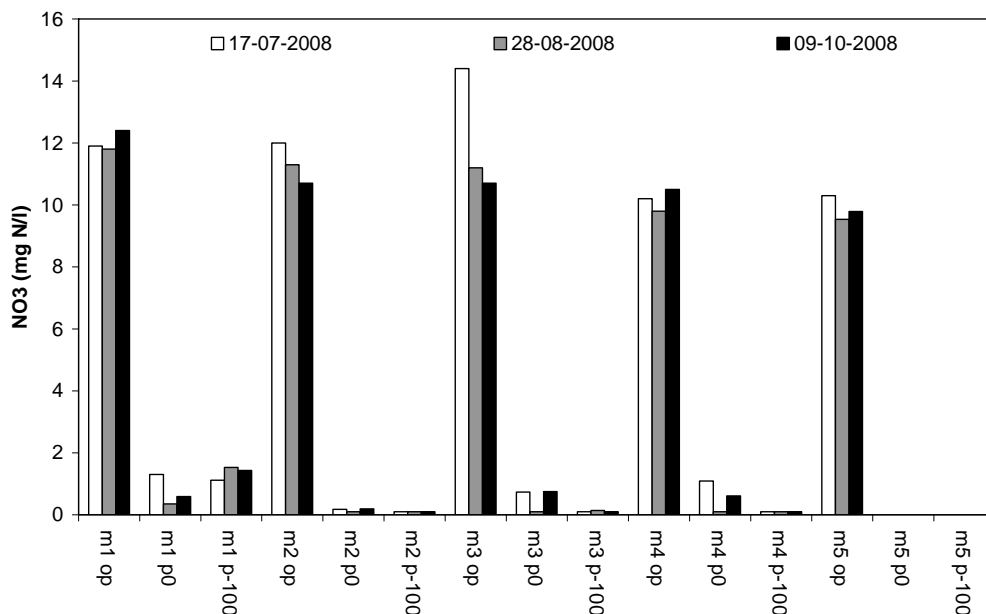
Tabel 3.14. Resultaten analyse temperatuurgegevens van de Mosbeek. Data van 28 februari 2008 t/m 9 oktober 2008. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 15.9 °C.

parameter	locatie				
	m1	m2	m3	m4	m5
kwelintensiteit (Minnema en Snepvangers, 2004)	kwel	kwel	kwel	kwel	kwel
kwelintensiteit (stijghoogte)	kwel	kwel	kwel	kwel/ intermediair	kwel
gemiddelde dagamplitude (°C)	1.4	1.5	2.1	2.2	2.2
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.138	0.148	0.187	0.194	0.196
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.502	0.524	0.478	0.502	0.517
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.924	0.931	0.945	0.949	0.944

Chemie

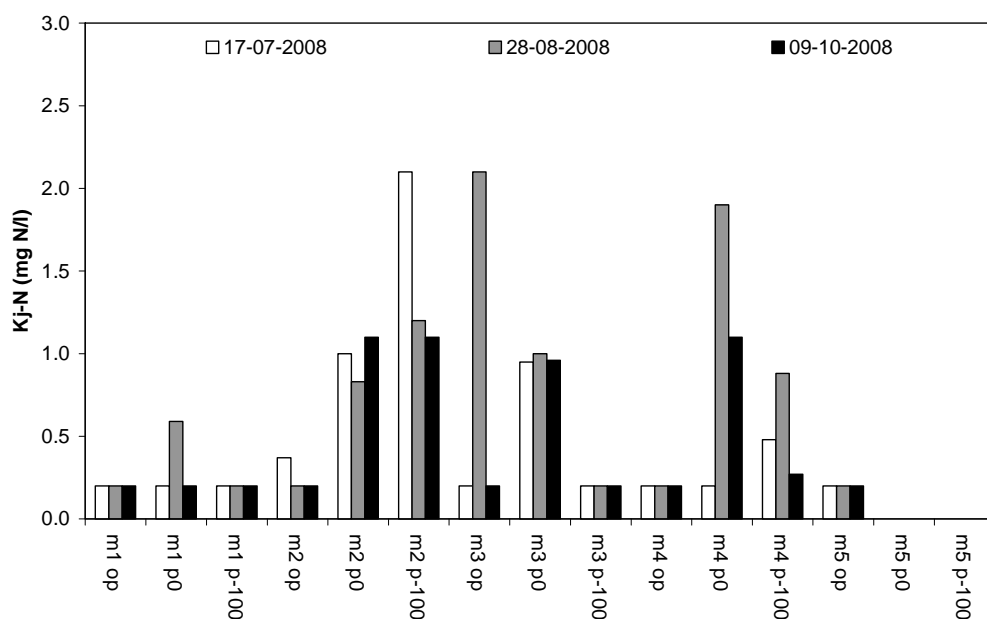
Op locatie m5 zijn geen watermonsters verzameld uit de piëzometers, omdat het doorspoelen van de piëzometers te veel tijd kostte (paragraaf 2.3.1).

Nitraat - Op alle locaties in de Mosbeek is de nitraatconcentratie van het oppervlaktewater veel hoger dan dat van het grondwater (figuur 3.23). Op locatie m1 bevat het water uit de diepe piëzometer meer nitraat dan het water uit de diepe piëzometers van de overige locaties. Behalve op 17 juli lijkt de nitraatconcentratie van het oppervlaktewater van boven- naar benedenstrooms af te nemen (figuur 3.23).



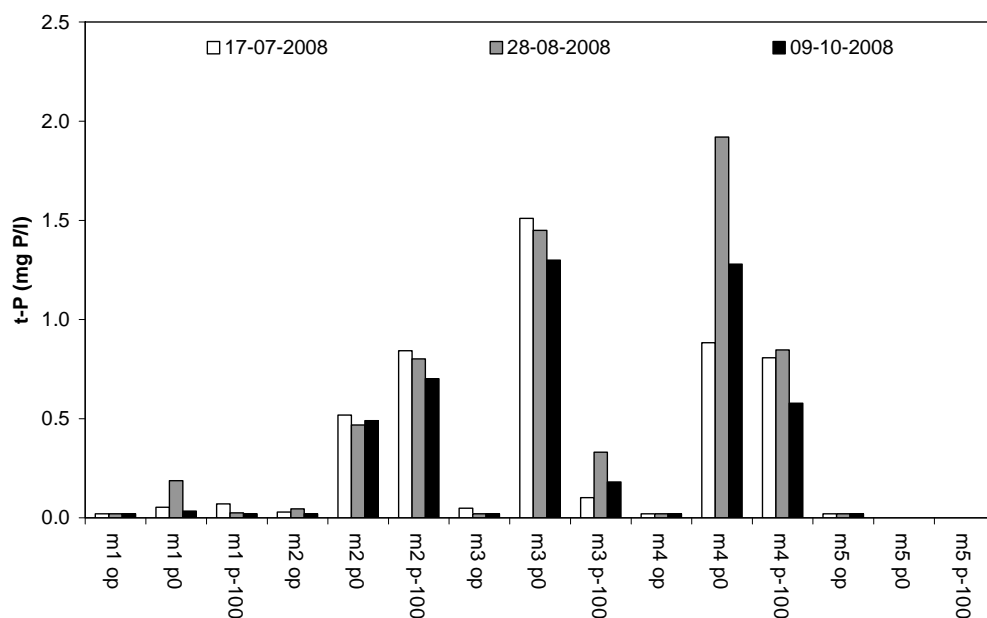
Figuur 3.23. De nitraatconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens < 0.1 mg N/l).

Kjeldahl-stikstof - De Kjeldahl-stikstofconcentraties van het oppervlaktewater zijn over het algemeen laag en komen vaak niet boven de detectiegrens van 0.2 mg/l uit (figuur 3.24). Een uitzondering hierop vormt de Kjeldahl-stikstofconcentratie op locatie m3 van 28 augustus. De verschillen tussen de concentratie van het oppervlaktewater en van het water uit de diepe en ondiepe piëzometers zijn variabel in de tijd en tussen locaties (figuur 3.24).



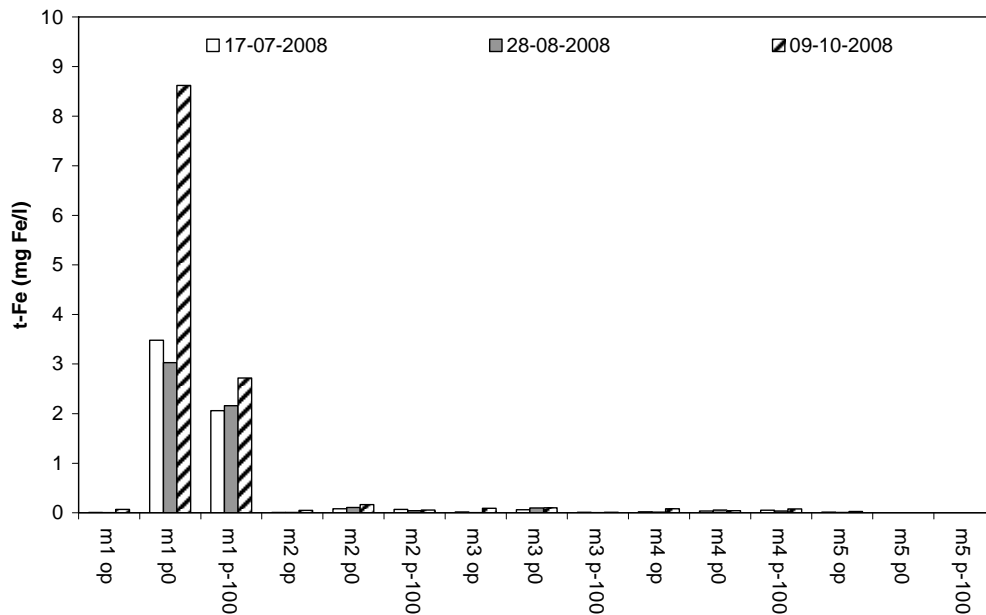
Figuur 3.24. De Kjeldahl-stikstofconcentratie van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.2 mg N/l).

Totaal-fosfor - De totaal-fosforconcentratie van het oppervlaktewater komt vrijwel nooit boven de detectiegrens van 0.2 mg P/l uit (figuur 3.25). Op de punten m2, m3 en m4 is de totaal-fosforconcentratie van het water uit de piëzometers veel hoger dan dat van het oppervlaktewater.



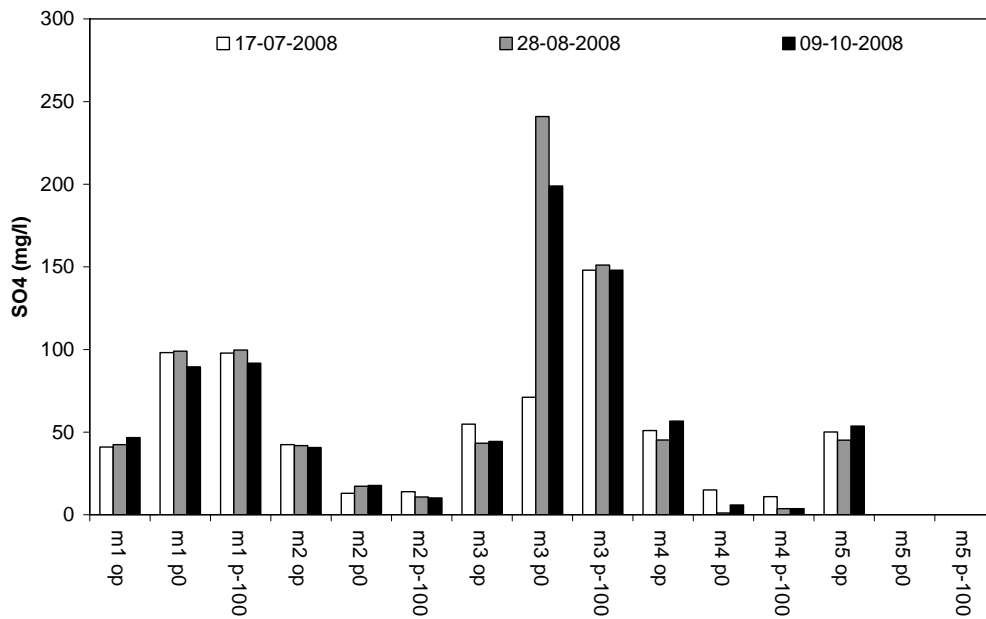
Figuur 3.25. De totaal-fosforconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.02 mg P/l).

Totaal-ijzer - De totaal-ijzerconcentraties zijn, met uitzondering van de concentraties van het grondwater op locatie m1, erg laag (figuur 3.26).



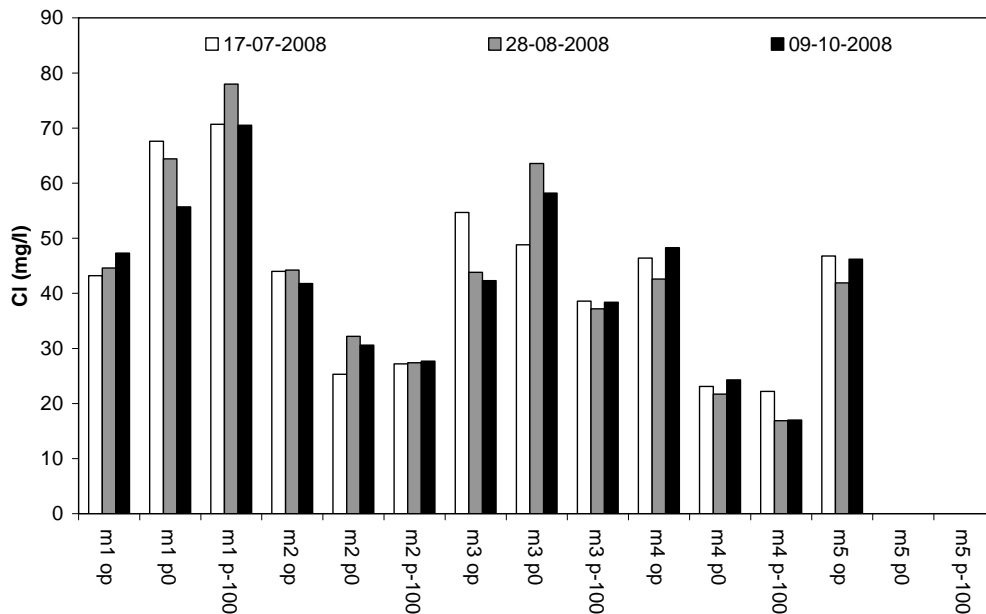
Figuur 3.26. De totaal-ijzerconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Sulfaat - De sulfaatconcentraties van het oppervlaktewater zijn voor alle vijf de locaties vergelijkbaar (figuur 3.27). De sulfaatconcentraties van het water uit de piëzometers verschillen sterk van locatie tot locatie. Op de locaties m2 en m4 is de sulfaatconcentratie van het water uit de piëzometers laag ten opzichte van de concentratie in het oppervlaktewater. Op de locaties m1 en m3 is de sulfaatconcentratie van water uit de piëzometers echter twee tot viermaal hoger dan de sulfaatconcentratie van het oppervlaktewater (figuur 3.27).



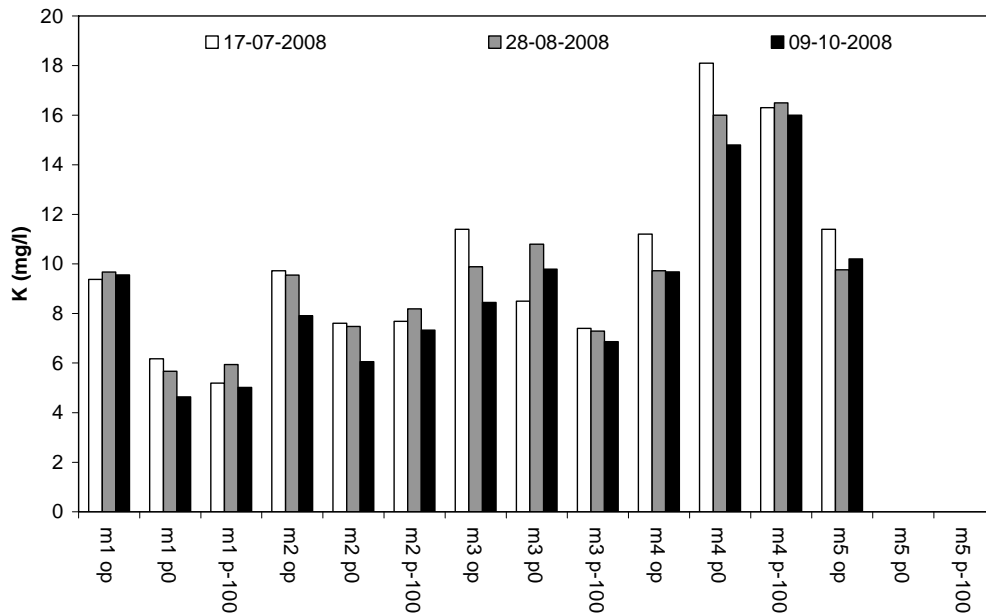
Figuur 3.27. De sulfaatconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Chloride - De chlorideconcentraties van het oppervlaktewater zijn voor alle vijf de locaties vergelijkbaar (figuur 3.28). De chlorideconcentraties in de piëzometers verschillen sterk van locatie tot locatie. Op de locaties m2 en m4 is de chlorideconcentratie van het water uit de piëzometers laag ten opzichte van de concentratie in het oppervlaktewater, net als voor sulfaat. Op locaties m1 zijn de chlorideconcentraties in de piëzometers duidelijk hoger dan die van het oppervlaktewater (figuur 3.28).



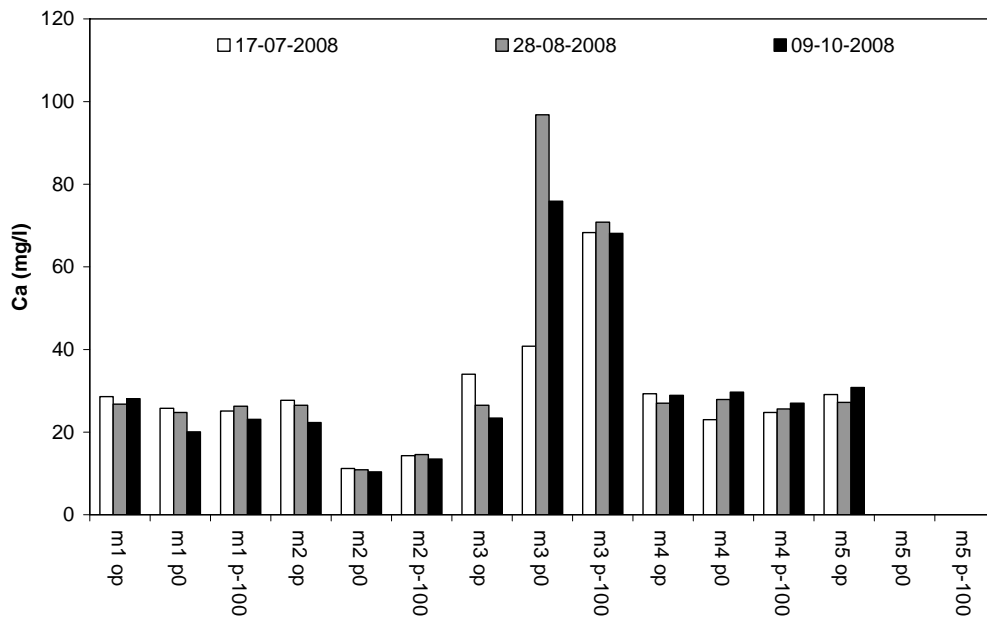
Figuur 3.28. De chlorideconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Kalium - De kaliumconcentraties van het oppervlaktewater zijn voor alle vijf de locaties vergelijkbaar (figuur 3.29). Op de locaties m1, m2 en m3 zijn de kaliumconcentraties van het water uit de piëzometers lager dan of vergelijkbaar met die van het oppervlaktewater. Op locatie m4 is de kaliumconcentratie van het water uit de piëzometers hoger dan van het oppervlaktewater (figuur 3.29).



Figuur 3.29. De kaliumconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

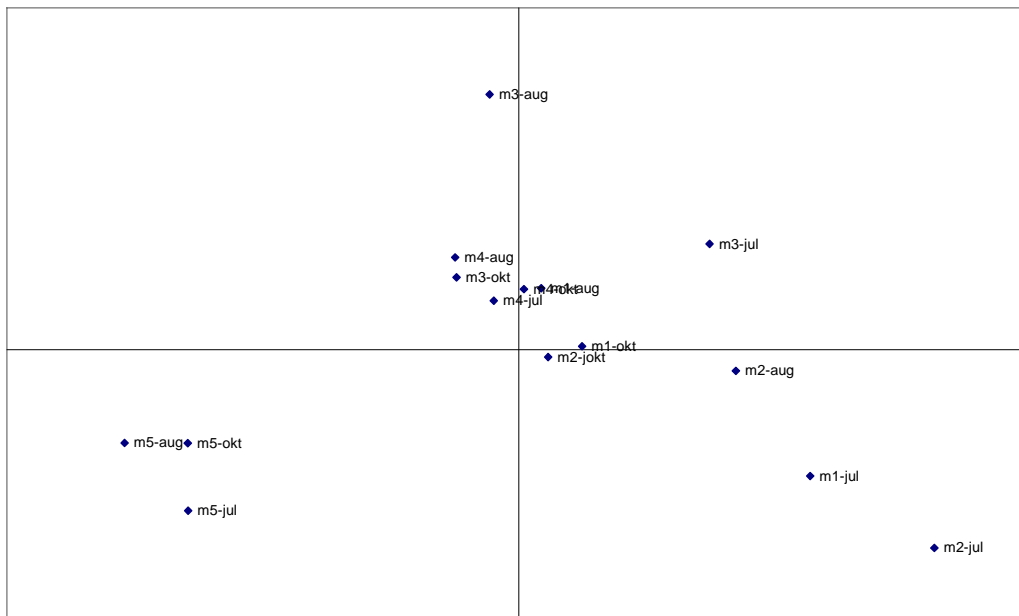
Calcium - De calciumconcentraties van het oppervlaktewater zijn voor alle vijf de locaties vergelijkbaar (figuur 3.30). Op de locatie m2 zijn de calciumconcentraties van het water uit de piëzometers lager dan die van het oppervlaktewater. Op locatie m3 is de calciumconcentratie van het water uit de piëzometers veel hoger dan dat van het oppervlaktewater. Op de overige locaties zijn de waarden van het oppervlaktewater vergelijkbaar met die van het water uit de piëzometers (figuur 3.30).



Figuur 3.30. De calciumconcentraties van de Mosbeek (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Diatomeeën

De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie m5 verschilt van de overige locaties (figuur 3.31). De eerste en de tweede as verklaren slechts 30% van de variatie (tabel 3.15). De monsters van locatie m5 hebben een lagere abundantie van *Navicula cryptocephala* en een hoge abundantie van *N. gregaria*, *Parlibellus protracta* en *Planorbidium lanceolatum*.

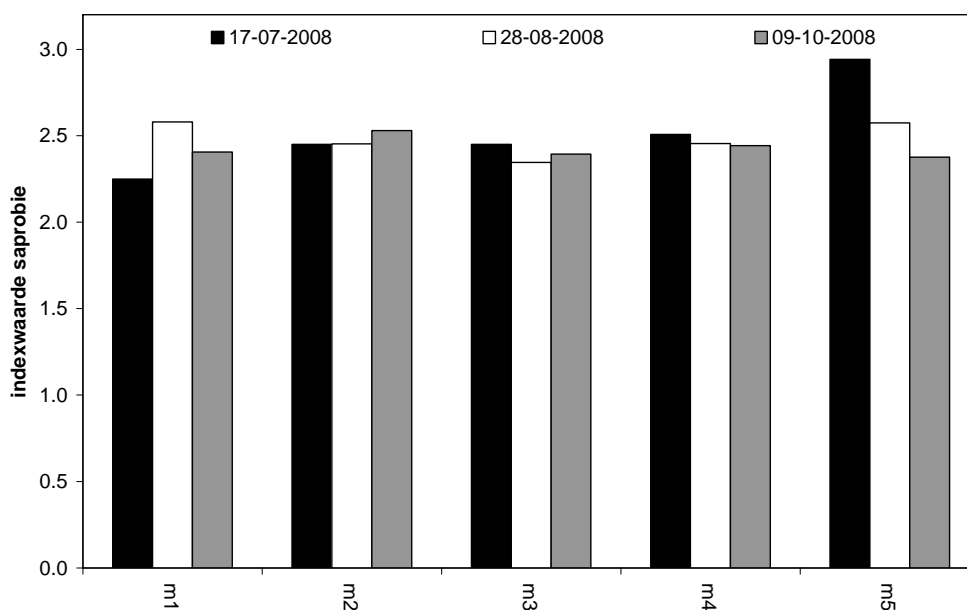


Figuur 3.31. PCA-ordinatiediagram van as 1 en 2 met daarin weergegeven de diatomeeënmonsters uit de Mosbeek.

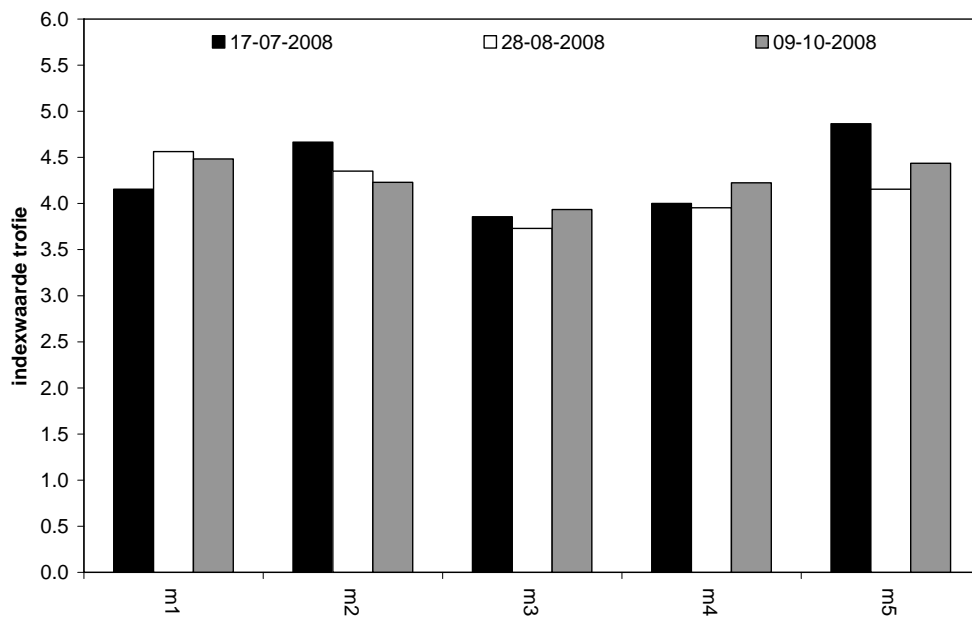
Tabel 3.15. Resultaten PCA-analyse van de diatomeeënmonsters uit de Mosbeek.

parameter	asnummer			
	1	2	3	4
PCA Eigenwaarde	0.186	0.114	0.109	0.099
Cumulatieve verklaarde variantie soorten (%)	18.6	29.9	40.8	50.7
Cumulatieve verklaarde variantie soorten-milieu relatie (%)	20.4	31.4	39.4	47.2
Som van alle eigenwaarden				1

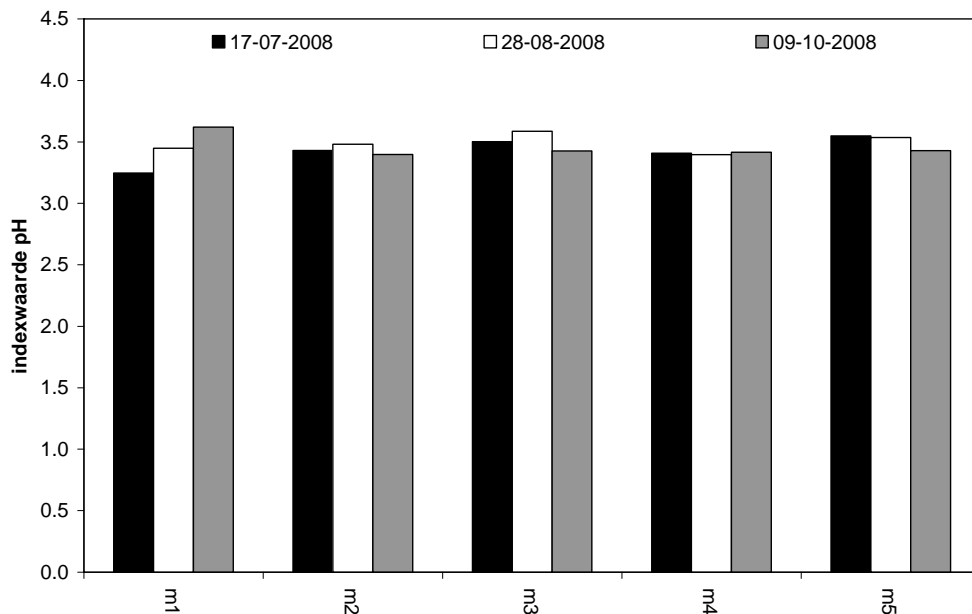
De verschillen in indexwaarden voor trofie, saprobie, pH, N-opname metabolisme en zuurstof zijn minimaal (figuur 3.32 t/m 3.36). Opvallend is dat de indexwaarden voor saprobie, trofie en zuurstof op locatie m5 op 17 juli hoger liggen dan op alle andere locaties (figuur 3.32, 3.33 en 3.36).



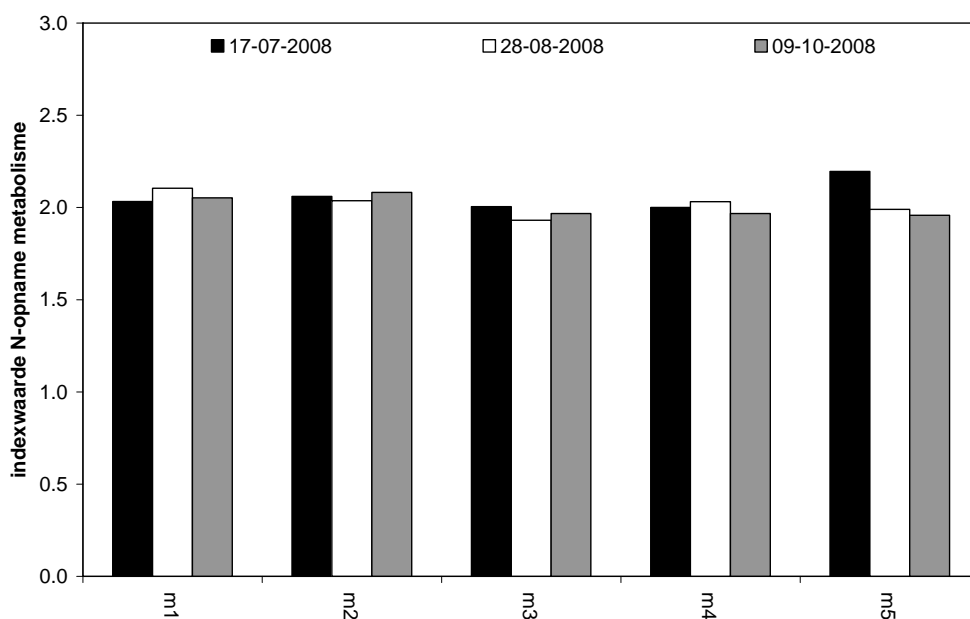
Figuur 3.32. Van Dam indexwaarden voor saprobie op de locaties van de Mosbeek (1=oligosaproob, 2= β -mesosaproob, 3= α -mesosaproob, 4= α -meso-/polysaproob, 5= polysaproob).



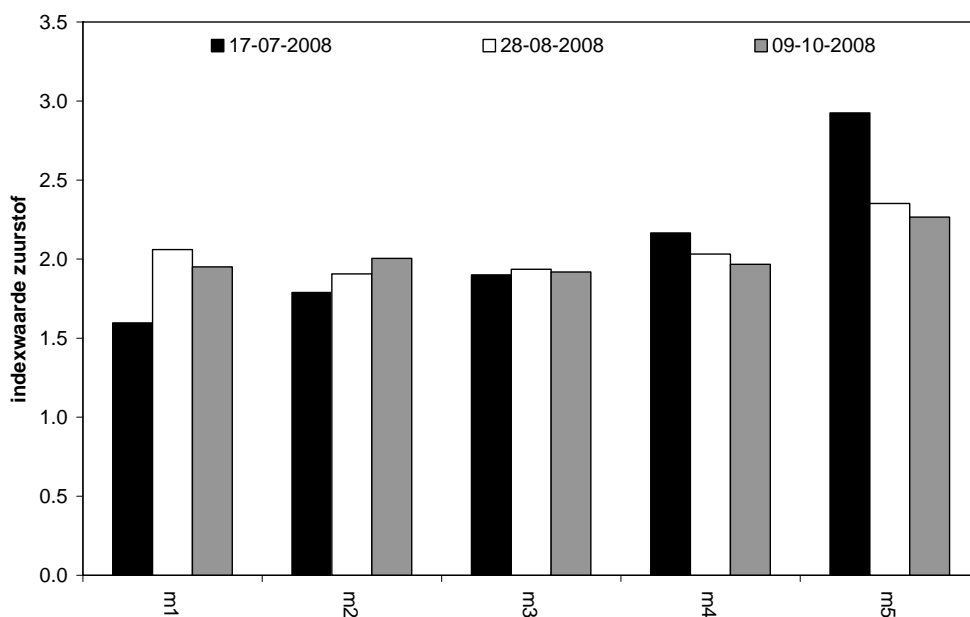
Figuur 3.33. Van Dam indexwaarden voor trofie op de locaties van de Mosbeek (1=oligotroof, 2=oligo-mesotroof, 3=mesotroof, 4=meso-eutroof, 5=eutroof, 6=hypereutroof).



Figuur 3.34. Van Dam indexwaarden voor pH op de locaties van de Mosbeek (1=acidobiont, 2=acidofiel, 3=neutraal, 4= alkalifiel, 5=alkalibiont).



Figuur 3.35. Van Dam indexwaarden voor N-opname metabolisme op de locaties van de Mosbeek (1=stikstof-antotroof (tolerant voor heel kleine hoeveelheden organisch gebonden stikstof), 2=stikstof antotroof (tolerant voor verhoogde concentraties organisch gebonden stikstof), 3=facultatief stikstof-heterotroof, 4=obligaat stikstof-heterotroof).



Figuur 3.36. Van Dam indexwaarden voor zuurstofbehoefte op de locaties van de Mosbeek (1=100% verzadiging, 2=meer dan 75% verzadiging, 3=meer dan 50% verzadiging, 4= meer dan 30% verzadiging en 5=ongeveer 10% verzadiging).

Discussie

Uit het positieve stijghoogteverschil gemeten tussen de diepe en ondiepe piëzometers volgt dat de locaties m1, m2, m3 en m5 een continue naar bovengerichte grondwaterstroming ondervinden. Doordat er tussen de locaties duidelijke verschillen bestaan in bodemsamenstelling (bijlage 8), zijn de stijghoogteverschillen niet direct te relateren aan de kwelintensiteit. Wanneer de doorlatendheid van de bodem laag waarin de piëzometers staat relatief groot is, zal sprake zijn van een hogere kwelintensiteit dan wanneer de doorlatendheid kleiner is. Doordat in dit onderzoek de doorlatendheid van de bodem niet is gemeten kan niet worden vastgesteld op welke locatie de kwelintensiteit het hoogst is geweest.

Op locatie m4 is op drie van de vier meetdata geen sprake geweest van kwel. Om deze reden zijn de gemiddelde dagamplitude en de regressiecoëfficiënt van de locaties m1, m2 en m3 vergeleken met locatie m4. De verwachting was dat de gemiddelde dagamplitude en de regressiecoëfficiënt lager zouden zijn op de locaties m1, m2 en m3 dan op de locatie m4. Uit de resultaten blijkt echter dat de gemiddelde dagamplitude en de regressiecoëfficiënt op de locaties m1 en m2 veel lager liggen dan op de locaties m3 en m4. Het is mogelijk dat de kwelintensiteit op locatie m3 zodanig laag is geweest ten opzichte van locatie m1 en m2, dat de kwel nauwelijks van invloed is geweest op de watertemperatuur. Het is echter ook goed mogelijk dat andere factoren de watertemperatuur hebben beïnvloed, zoals de afvoer, natte doorsnede, de breedte-diepte verhouding van het beekprofiel, de instroom van zijbeken of de mate van beschaduwing. Aangezien onbekend is in hoeverre een bepaalde hoeveelheid kwel de regressiecoëfficiënt beïnvloedt, kunnen tevens geen uitspraken worden gedaan of verschillen in de regressiecoëfficiënten tussen locaties nu groot of klein zijn of binnen de natuurlijke variatie vallen.

Van een duidelijke relatie tussen de concentraties nutriënten en macro-ionen in het oppervlaktewater en het water uit de piëzometers is geen sprake. Opvallend is het grote verschil in nitraatconcentratie tussen het oppervlaktewater en het water uit de piëzometers. De hoge nitraatconcentraties in het oppervlaktewater kunnen mogelijk worden verklaard, wanneer nitratrijk water vanaf bovenstrooms (door kwel of oppervlakkige afstroming) wordt aangevoerd. Het water dat bovenstrooms van locatie m1 wordt aangevoerd moet dan een andere oorsprong hebben dan het water uit de piëzometers. De nitraatconcentratie van het oppervlaktewater lijkt gaande van m1 naar m5 iets af te nemen. Dit kan wijzen op verdunning door de toestroom van nitraatarme kwel of opname van nitraat door waterplanten en micro-organismen.

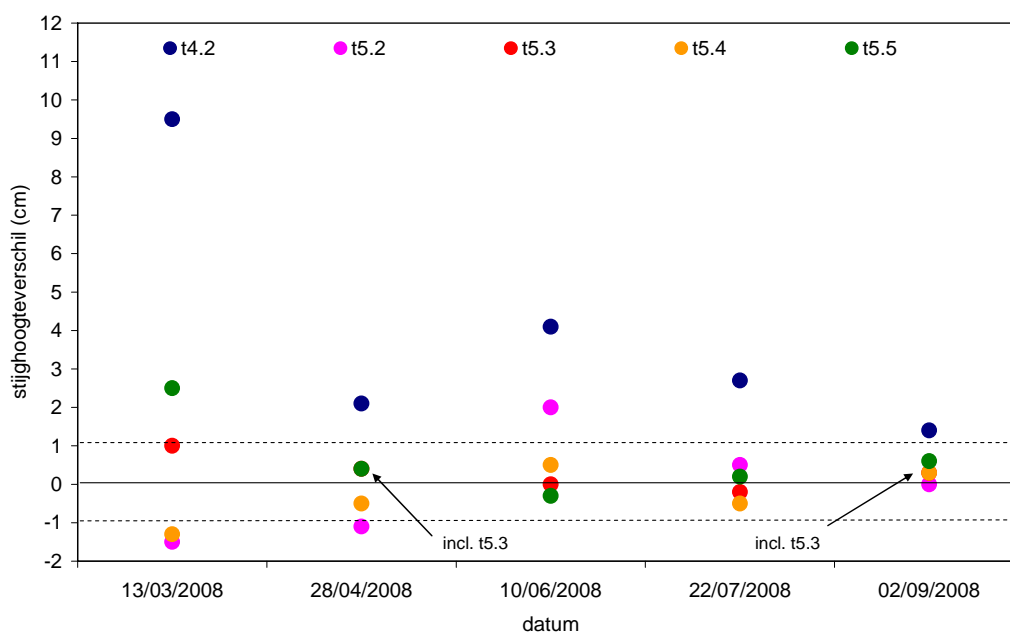
In het onderzochte traject lijkt de samenstelling van de oppervlaktewater niet of nauwelijks te worden beïnvloed door het toestromende grondwater. Het oppervlaktewater verandert nauwelijks van samenstelling van boven- naar benedenstrooms, terwijl de chemische samenstelling van het grondwater van locatie tot locatie sterk wisselt afhankelijk van de variabele. Door Verdonschot en Loeb (2008) is aangegeven dat chloride in sommige gevallen kan dienen als tracer voor de aanwezigheid van kwel. Jalink en Van Beek (2000) geven aan dat de chlorideconcentratie van het grondwater van voor de industriële revolutie lager is dan 15 mg/l. De chlorideconcentraties van het grondwater in de Mosbeek liggen allen boven de 15 mg/l. Dit duidt erop dat de kwel in de Mosbeek relatief jong is. De verschillen in chlorideconcentratie tussen het grond- en oppervlaktewater zijn niet groot genoeg om chloride te kunnen gebruiken als tracer voor kwel.

Met uitzondering van locatie m5 juli lijkt de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap tussen de locaties niet te verschillen. De afwijkende positie van locatie m5 komt echter niet tot uiting in de Van Dam indexwaarden, behalve op 17 juli. De gemeten variabelen vormen geen verklaring voor de afwijkende samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie m5. De afwijkende positie van locatie m5 kan mogelijk worden verklaard door de invloed van het zijbeekje tussen m4 en m5. De instroom van het zijbeekje tussen m3 en m4 lijkt geen invloed te hebben op de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap. De geringe verschillen in samenstelling van de diatomeeëngemeenschap tussen de locaties zijn niet verwonderlijk, omdat de chemische samenstelling van het oppervlaktewater op de locaties vergelijkbaar is. Bij een direct effect van temperatuur op de diatomeeëngemeenschap had de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op locatie m1 en m2 moeten afwijken van de overige locaties.

3.3.3 Tienhoven reeks 1

3.3.3.1 Piëzometers

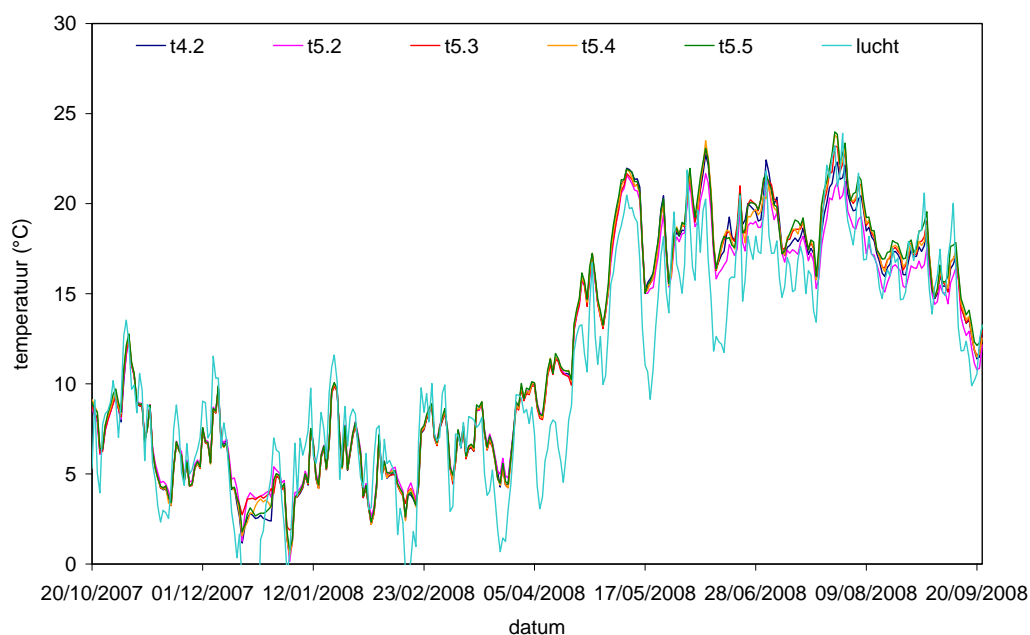
Op locatie t4.2 was op alle meetdata sprake van een naar boven gerichte grondwaterstroming (figuur 3.37). Op 13 maart was er sprake van kwel op de locatie t5.5 en was er sprake van wegzijging op de locaties t5.4 en t5.2. Op 10 juni ondervond locatie t5.2 een naar boven gerichte grondwaterstroming. In alle andere gevallen kwam het stijghoogteverschil niet boven de afleeson nauwkeurigheid van 1 cm uit (figuur 3.17).



Figuur 3.37. Het verschil in stijghoogte tussen de diepe en ondiepe piëzometers van reeks 1. De afleeson nauwkeurigheid van de stijghoogte in de piëzometers is weergegeven met twee stippellijnen.

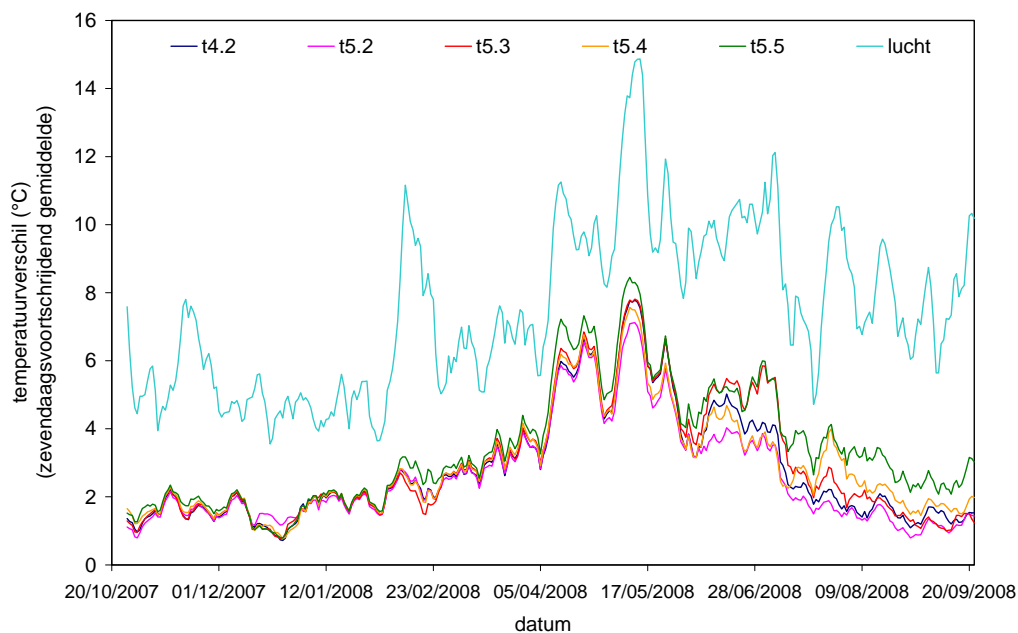
3.3.3.2 Temperatuur

De grootste verschillen in daggemiddelde watertemperatuur traden op in de periode met vorst en in de zomer (figuur 3.38). Gedurende de vorstperiode bleef de watertemperatuur het hoogst op de locaties t5.2 en t5.3 (figuur 3.38). De locaties t5.5 en t4.2 bereikten in deze periode de laagste watertemperatuur. In de zomer bleef op de locaties t5.2 en t4.2 de watertemperatuur het laagst (figuur 3.38).



Figuur 3.38. De daggemiddelde watertemperatuur van de vijf locaties van reeks 1 en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation De Bilt.

De verschillen in de dagelijkse temperatuuramplitudo's waren het meest duidelijk in de zomer (figuur 3.39). In de zomer vertoonde de dagelijkse amplitude in watertemperatuur de grootste schommelingen op locatie t5.5 en de kleinste schommelingen op locatie t5.2.



Figuur 3.39. Zevendagsvoorschrijdend gemiddelde van de dagamplitude van de watertemperatuur van de vijf locaties van reeks 1 en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation De Bilt.

De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur is het kleinst op locatie t5.2, gevolgd door de locaties t4.2, t5.3/t5.4 en t5.5 (tabel 3.16). De richtingscoëfficiënt voor de luchttemperatuur is net als de gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur het laagst op de locatie t5.2 en het hoogst op de locatie t5.5 (tabel 3.16). De verschillen in stijghoogte tussen de locaties kunnen niet worden gerelateerd aan de dagamplitude van de watertemperatuur of de regressiecoëfficiënt voor lucht. Wanneer op de locaties t5.2, t5.3, t5.4 en t5.5 geen sprake is van kwel zouden tussen deze locaties geen verschillen mogen optreden in de dagamplitude en de regressiecoëfficiënt. Zelfs wanneer de locatie t5.2 buiten beschouwing wordt gelaten, zijn de verschillen in dagamplitude en de regressiecoëfficiënt tussen de locaties t5.3, t5.4 en t5.5 (intermediair) onderling groot, in vergelijking tot het verschil tussen t4.2 (kwel) enerzijds en t5.3, t5.4 en t5.5 (intermediair) anderzijds.

Tabel 3.16. Resultaten analyse temperatuurgegevens van reeks 1. Data van 20 oktober 2007 t/m 29 september 2009. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 10,7 °C.

parameter	locatie				
	t4.2	t5.2	t5.3	t5.4	t5.5
kwelintensiteit (Beltman et al., 1988)	wegzijing	wegzijing	wegzijing	wegzijing	wegzijing
kwelintensiteit (stijghoogte)	kwel	intermediair	intermediair	intermediair	intermediair
gemiddelde dagamplitudo (°C)	2.8	2.6	2.9	2.9	3.4
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.274	0.252	0.268	0.281	0.294
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.744	0.747	0.750	0.739	0.731
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.983	0.981	0.983	0.982	0.983

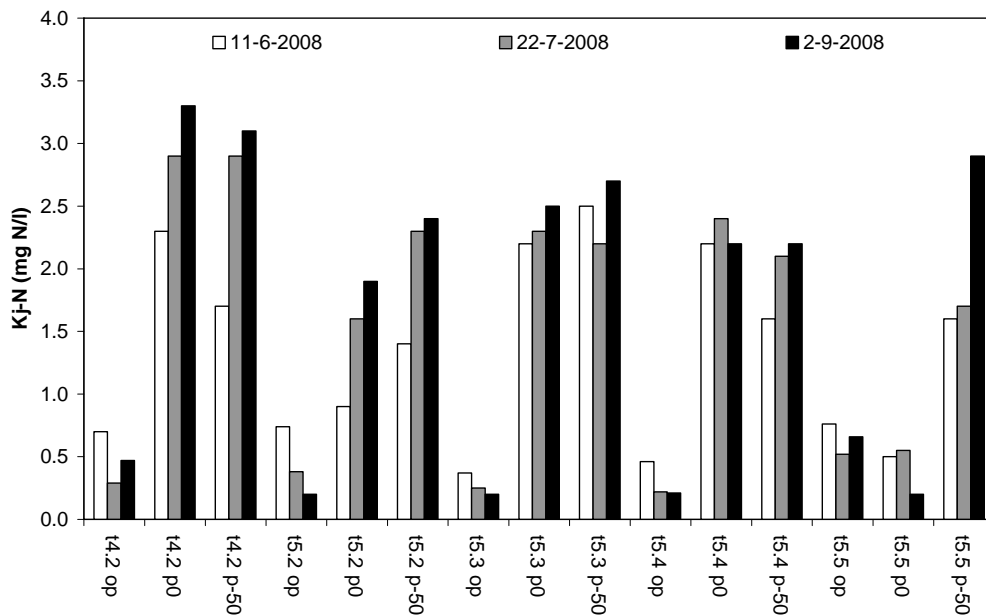
3.3.3.3 Chemie

Nitraat

De nitraatconcentratie bevindt zich in alle gevallen onder de detectiegrens van 0.1 mg N/l.

Kjeldahl-stikstof

Met uitzondering van locatie t5.5 zijn de Kjeldahl-stikstofconcentraties van het oppervlaktewater altijd lager dan die van het grondwater (figuur 3.40). Op locatie t5.5 is de Kjeldahl-stikstofconcentratie van het water uit de ondiepe piëzometer het laagst. De Kjeldahl-stikstofconcentraties van het grondwater kunnen sterk verschillen met de tijd. Op 11 juni zijn, met uitzondering van t5.5, de concentraties Kjeldahl-stikstof van het oppervlaktewater het hoogst. De Kjeldahl-stikstofconcentratie van het water uit de piëzometers neemt in de meeste gevallen toe met de tijd (figuur 3.40). Gezien de relatief lage nitraatconcentraties (<0.1 mg/l) en de kleine bijdrage van nitriet aan totaal-stikstofconcentraties, kan worden aangenomen dat de totaal-stikstofconcentratie van het oppervlaktewater in alle gevallen onder de referentiewaarde (1 mg N/l) voor eutrofe veensloten uit het 'Aquatisch Supplement' liggen en in veel gevallen zelfs onder de referentiewaarde (0.4 mg N/l) voor mesotrofe veensloten (Nijboer, 2000).

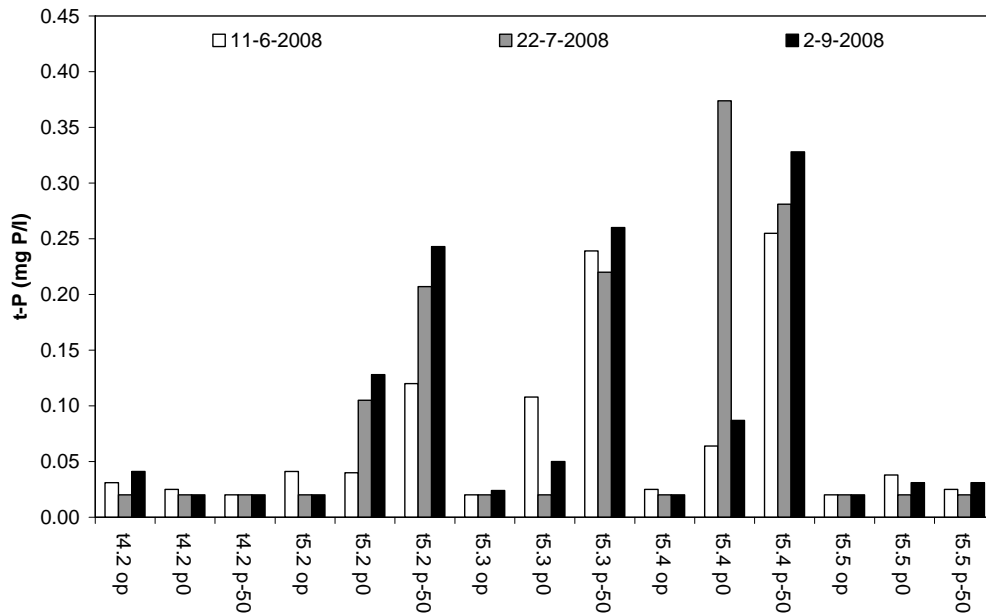


Figuur 3.40. De Kjeldahl-stikstofconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.2 mg N/l).

Totaal-fosfor

In veel gevallen overschrijdt de concentratie totaal-fosfor de detectiegrens van 0.02 mg P/l niet (figuur 3.41). Op de locaties t4.2 en t5.5 bestaat vrijwel geen verschil tussen de totaal-fosforconcentraties van het oppervlaktewater en het water uit de piëzometers. Op de overige locaties is (op een willekeurige datum) is de concentratie totaal-fosfor het laagst in het oppervlaktewater gevolgd door het water uit de ondiepe

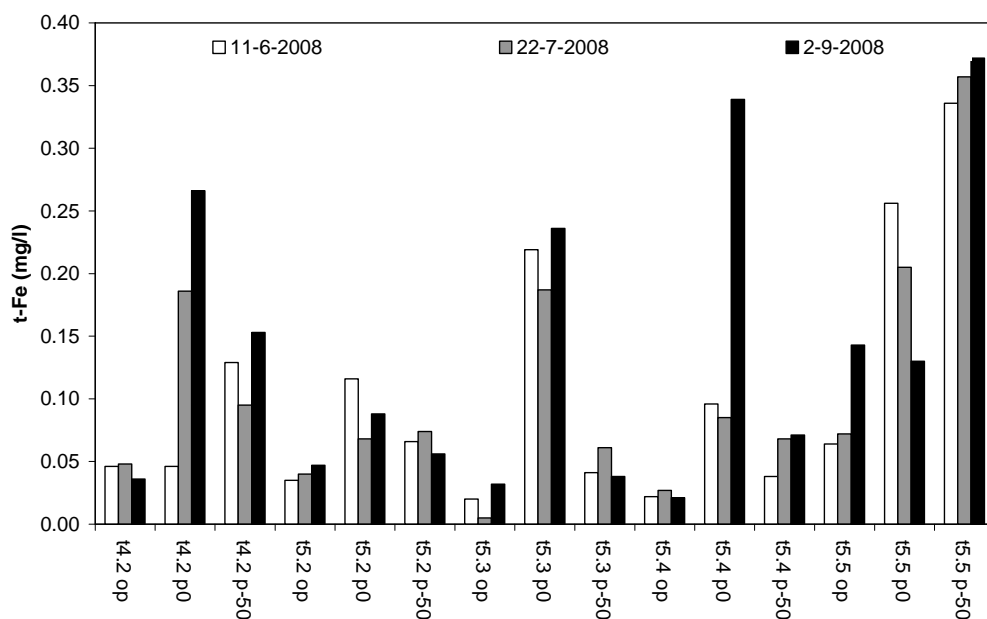
piëzometer en het water uit de diepe piëzometer. De totaal-fosforconcentratie van het water uit de ondiepe piëzometer op locatie t5.4 op 22 juli is een uitzondering hierop (figuur 3.41). De totaalfosforconcentraties van het oppervlaktewater liggen in alle gevallen onder de referentiewaarde (0.04 mg P/l) voor mesotrofe veensloten uit het ‘Aquatisch Supplement’ (Nijboer, 2000).



Figuur 3.41. De totaal-fosforconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.02 mg P/l).

Totaal-ijzer

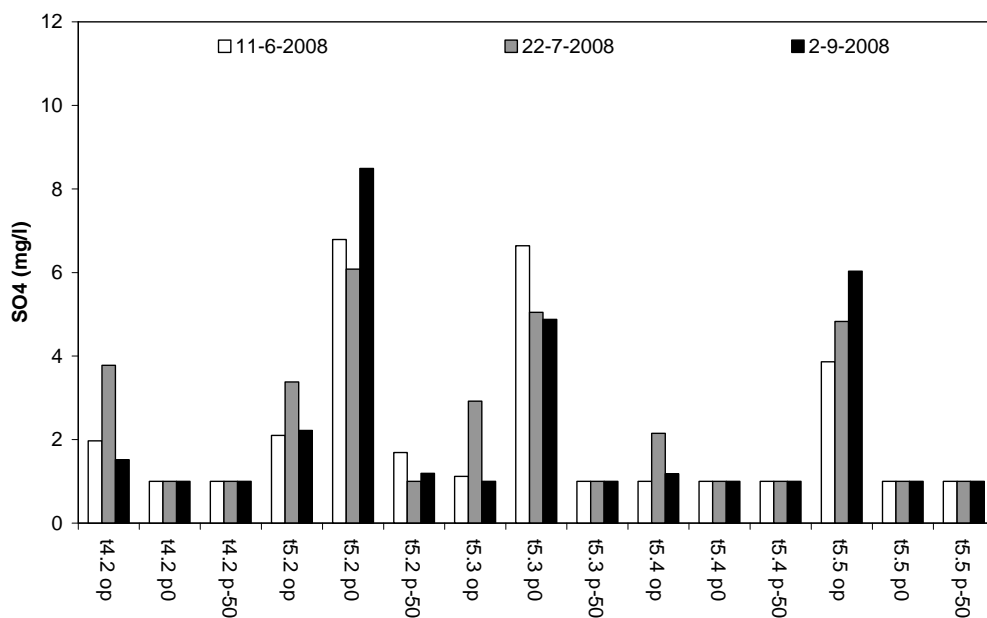
De totaal-ijzerconcentraties van het oppervlaktewater zijn over het algemeen laag in verhouding tot de concentraties van het water uit de ondiepe piëzometers (figuur 3.42). Behalve op locatie t5.5, zijn de ijzerconcentraties van het water uit de ondiepe piëzometers hoger dan van het water uit de diepe piëzometers. De totaal-ijzerconcentratie van het grondwater verschilt sterk van locatie tot locatie. De totaal-ijzerconcentraties van het oppervlaktewater liggen ver onder de referentiewaarde (0.2 mg/l) van oligotrofe tot mesotrofe laagveensloten (Higler, 2000).



Figuur 3.42. De totaal-ijzerconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer).

Sulfaat

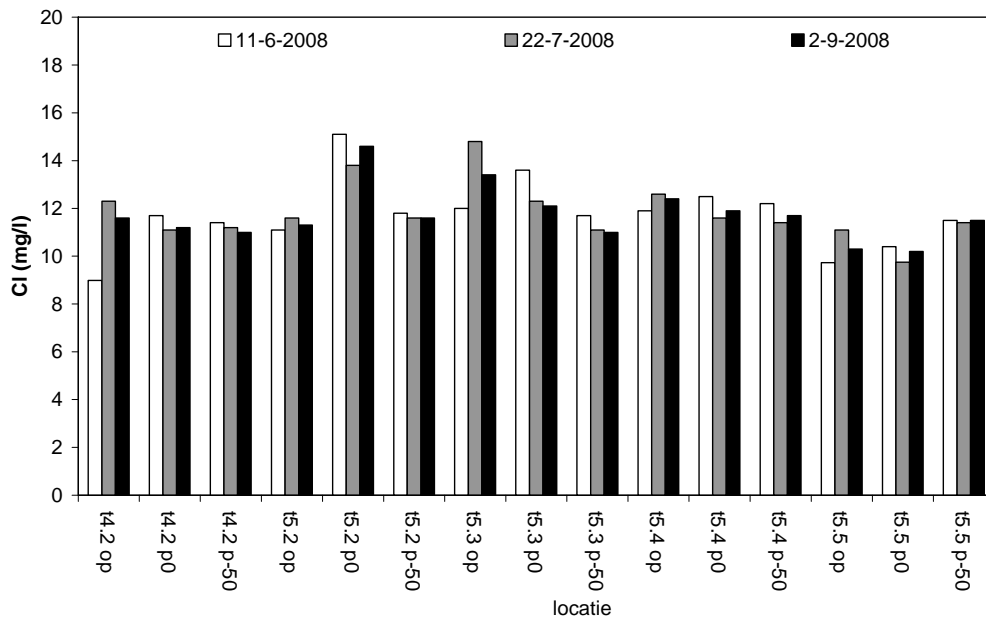
De sulfaatconcentratie varieert tussen 1.00 (detectiegrens) en 9.33 mg/l (figuur 3.43). Op de locaties t5.5, t 5.3 en t4.2 is de sulfaatconcentratie van het oppervlaktewater veel hoger dan de sulfaatconcentratie van het grondwater. Op de locaties t5.2 en t5.3 is de sulfaatconcentratie van het water uit de ondiepe piëzometer hoger dan die van het oppervlaktewater.



Figuur 3.43. De sulfaatconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer).

Chloride

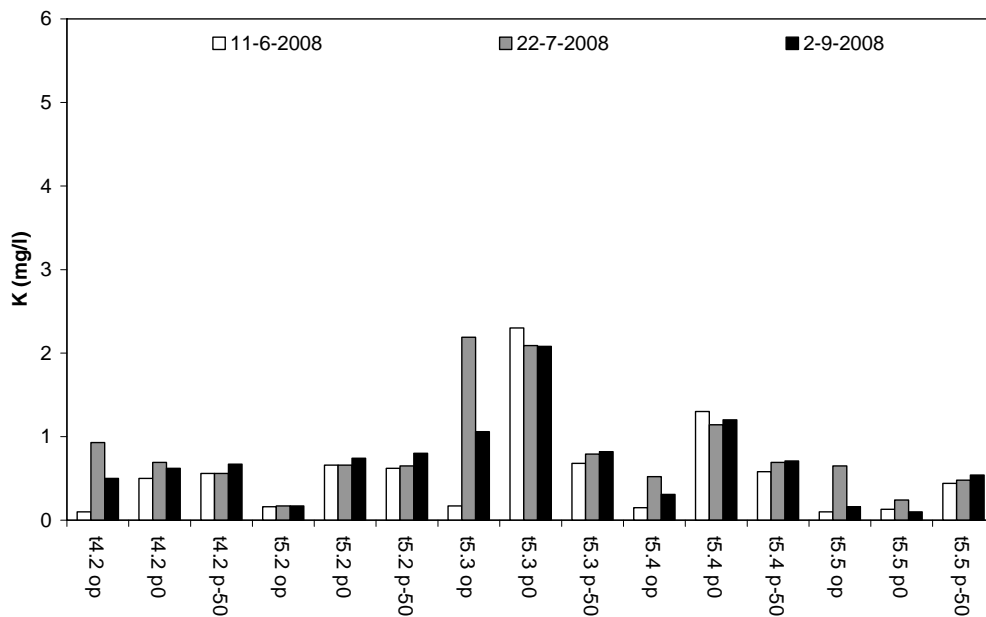
De chlorideconcentratie van zowel het grond- als oppervlaktewater is laag en varieert tussen de 9 en 15.7 mg/l (figuur 3.44). In alle gevallen ligt de chlorideconcentratie van oppervlaktewater onder de referentiewaarde (25 mg/l) voor oligotrofe tot mesotrofe laagveensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000). De verschillen in chlorideconcentraties tussen locaties en data zijn minimaal voor zowel grond- als oppervlaktewater (figuur 3.44).



Figuur 3.44. De chlorideconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer).

Kalium

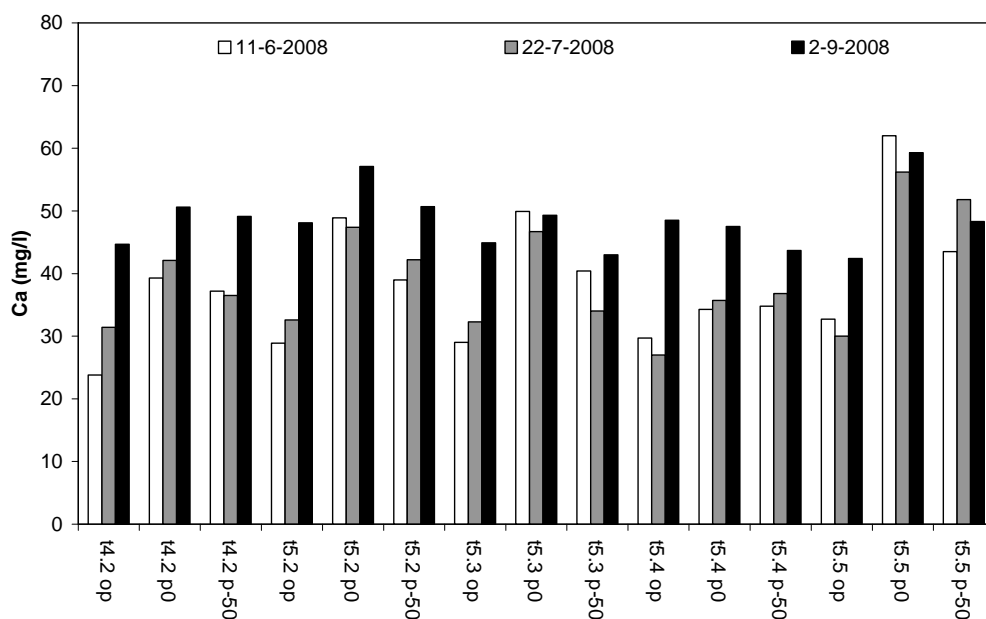
Behalve op locatie t5.3 ligt de kaliumconcentratie van het grond- en oppervlaktewater ruim onder de referentiewaarde (2 mg/l) (figuur 3.45) voor oligotrofe tot mesotrofe laagveensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000).



Figuur 3.45. De kaliumconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer).

Calcium

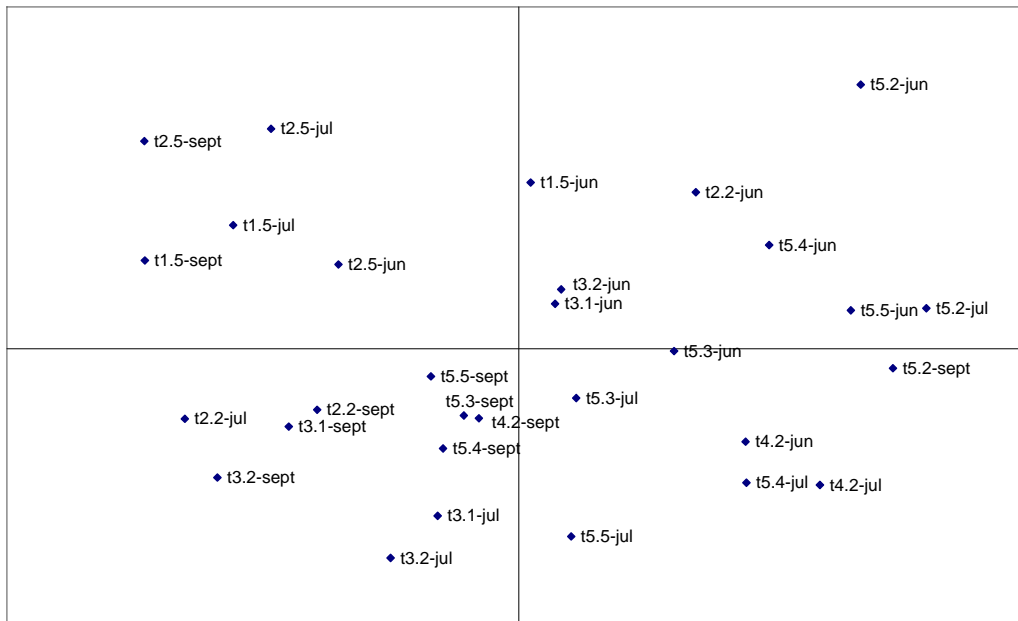
De calciumconcentratie varieert van 23.8 tot 62 mg/l (figuur 3.46). De calciumconcentratie van zowel grond- als oppervlaktewater is het hoogst op 2 september. De verschillen in calciumconcentratie van het oppervlaktewater tussen verschillende meetdata zijn groter dan de verschillen tussen locaties. In de meeste gevallen is de calciumconcentratie van het oppervlaktewater lager dan de calciumconcentratie van het grondwater. De calciumconcentratie van het water uit de ondiepe piëzometer op locatie t5.5 is enigszins hoger dan op de overige locaties. Behalve op 1 september liggen de calciumconcentraties van het oppervlaktewater onder de grenswaarde van 40 mg/l voor mesotrofe tot eutrofe laagveensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000) (figuur 3.46).



Figuur 3.46. De calciumconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 1 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-50 = diepe piëzometer).

3.3.3.4 Diatomeeën

De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap lijkt sterk te worden bepaald door de maand waarin het monster is verzameld (figuur 3.47). De eerste en de tweede as verklaren samen 34% van de variatie in de dataset (tabel 3.17). De samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op de locaties t1.5 en t2.5 lijkt te verschillen van de samenstelling op de overige locaties, net als de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap op de locatie t5.2. De verschillen tussen locaties lijken niet samen te hangen met verschillen in stijghoogte tussen de locaties. De chemische samenstelling van het oppervlaktewater op de verschillende locaties is vergelijkbaar en kan daarom de verschillen in diatomeeënsamenstelling ook niet verklaren.

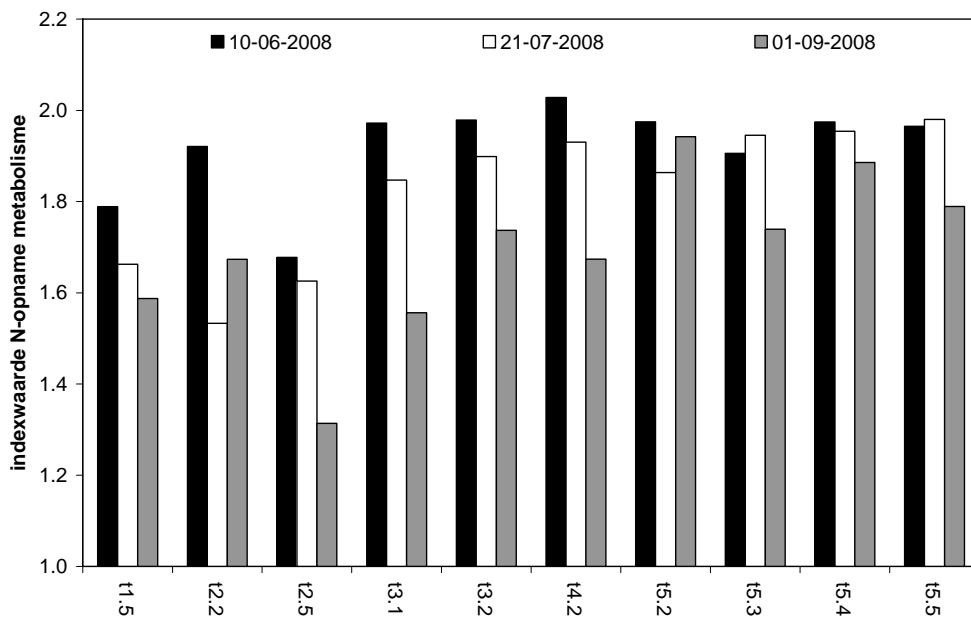


Figuur 3.47. PCA-ordinatiediagram van as 1 en 2 met daarin weergegeven de diatomeeënmonsters van de slootlocaties uit reeks 1 en 2.

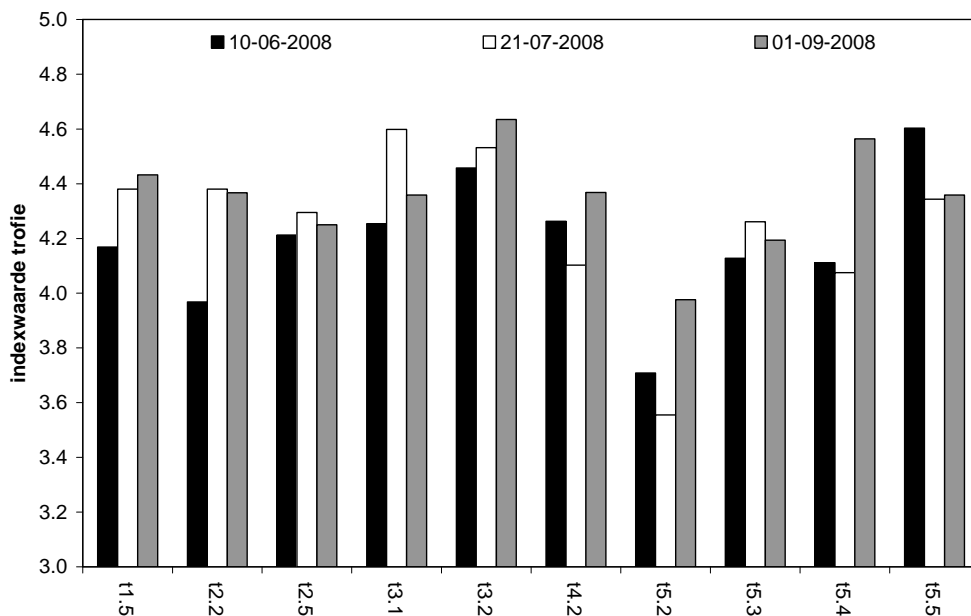
Tabel 3.17. Resultaten PCA-analyse van de diatomeeënmonsters van de slootlocaties uit reeks 1 en 2.

parameter	asnummer			
	1	2	3	4
PCA Eigenwaarde	0.21	0.134	0.095	0.069
Soorten-milieucorrellatie	0.806	0.837	0.737	0.586
Cumulatieve verklaarde variantie soorten (%)	21	34.3	43.8	50.7
Som van alle eigenwaarden				1

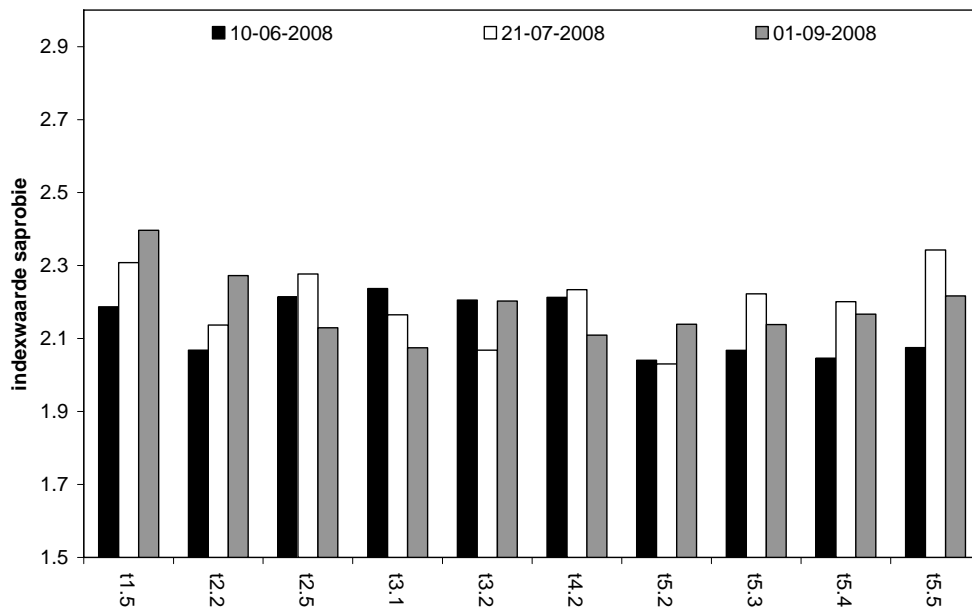
De Van Dam indexwaarden indiceren dat de diatomeeëngemeenschap op de slootlocaties een voorkeur hebben β -mesosaprobe omstandigheden, 100%-75% zuurstofverzadiging, meso-eutrofe tot eutrofe omstandigheden, pH en N-opname. De indexwaarden voor N-opname metabolisme, zuurstof en saprobie verschillen op geen van de meetdata meer dan één klasse tussen de locaties (figuur 3.48 t/m 3.52). De indexwaarden voor trofie zijn relatief laag op locatie 5.2. Daarnaast zijn in juli en september de indexwaarden voor pH en zuurstof relatief laag op locatie t5.2. Voor zowel pH als saprobie geldt dat de verschillen in indexwaarden tussen data vergelijkbaar zijn met de verschillen tussen locaties. De indexwaarden voor pH zijn het laagst in juni gevolgd door juli en september. De indexwaarden voor zuurstof zijn in september en juli hoger dan juni. Voor N-opname metabolisme en saprobie is geen patroon zichtbaar in de tijd. Ten slotte valt op dat het N-opname metabolisme op locatie t2.5 in juni en september relatief laag is ten opzichte van de andere locaties. Alleen op locatie t5.2 wijkt de indexwaarde voor trofie af van de overige locaties (figuur 3.49) door de hoge abundantie van *Achnanbidium minutissimum* en het vrijwel ontbreken van *Epithemia adnata* en *Rhopalodia gibba* (Van Dam et al., 1994).



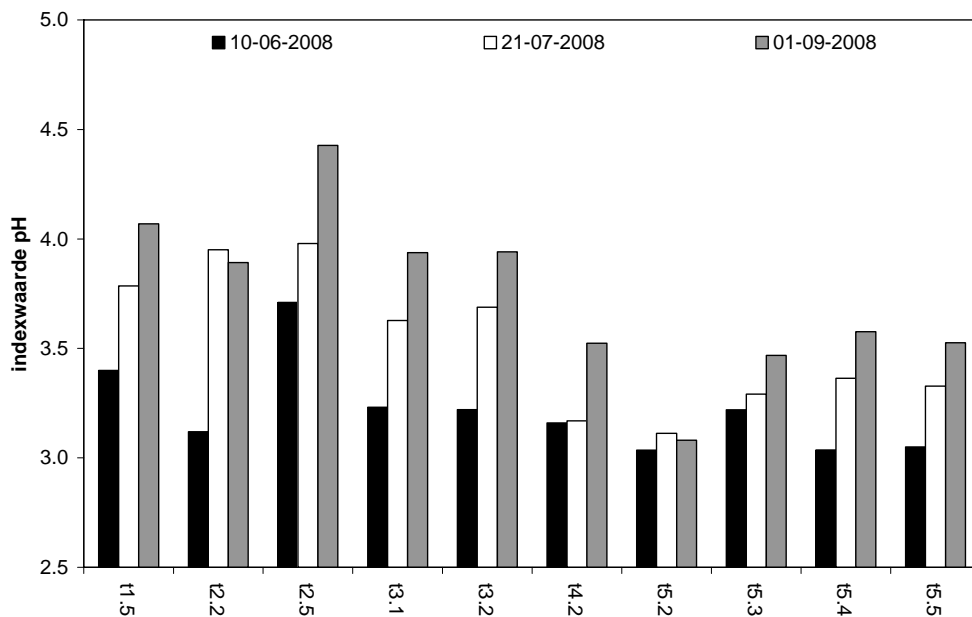
Figuur 3.48. Van Dam indexwaarden voor N-opname metabolisme op de slootlocaties (1=stikstof-autotroof (tolerant voor heel kleine hoeveelheden organisch gebonden stikstof), 2=stikstof autotroof (tolerant voor verhoogde concentraties organisch gebonden stikstof), 3=facultatief stikstof-heterotroof, 4=obligaat stikstof-heterotroof).



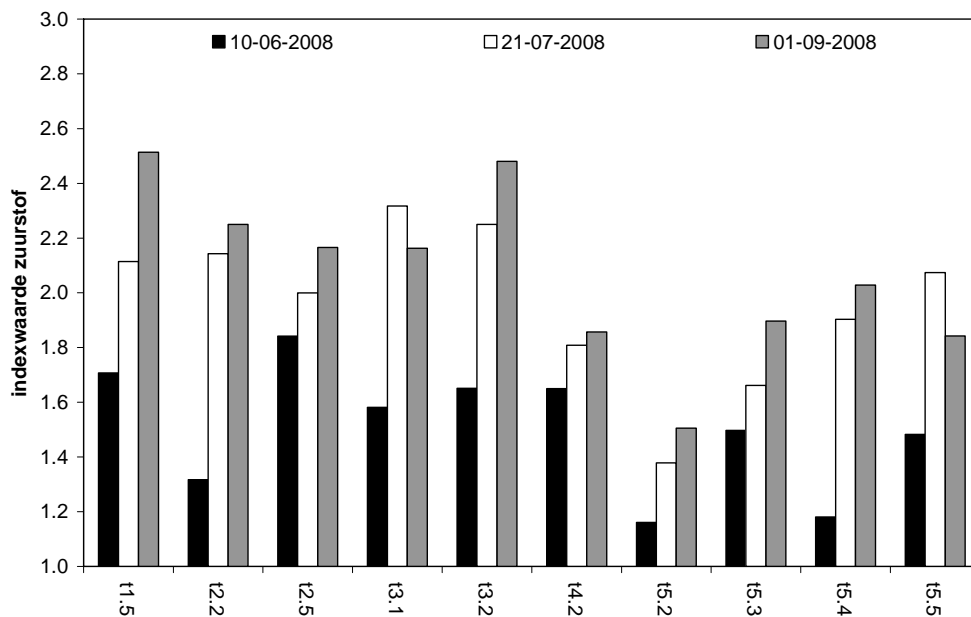
Figuur 3.49. Van Dam indexwaarden voor trofie op de slootlocaties (1=oligotroof, 2=oligo-mesotroof, 3=mesotroof, 4=meso-eutroof, 5=eutroof, 6=hypereutroof).



Figuur 3.50. Van Dam indexwaarden voor saprobie op de slootlocaties (1=oligosaprob, 2= β -mesosaprob, 3= α -mesosaprob, 4= α -meso-/polysaprob, 5= polysaprob).



Figuur 3.51. Van Dam indexwaarden voor pH op de slootlocaties (1=acidobiont, 2=acidofiel, 3=neutraal, 4= alkalifiel, 5=alkalibiont).



Figuur 3.52. Van Dam indexwaarden voor zuurstofbehoefte op de slootlocaties (1=100% verzadiging, 2=meer dan 75% verzadiging, 3=meer dan 50% verzadiging, 4= meer dan 30% verzadiging en 5=ongeveer 10% verzadiging).

3.3.3.5 Discussie

De vooraf gemaakt inschatting over de aanwezigheid van kwel (tabel 3.3) komt niet overeen met de resultaten van de stijghoogtemetingen. Op basis van de kwelkaart worden alle locaties (t4.2, t5.2, t5.3, t5.4 en t5.5) aangemerkt als locaties waar wegzijging optreedt. Uit de stijghoogtemetingen blijkt dat de locatie t4.2 wordt gekenmerkt door kwel, terwijl op de overige locaties sprake is van wegzijging noch kwel. Locatie t4.2 ondervond als enige locatie gedurende hele onderzoeksperiode een naar bovengerichte grondwaterstroming. De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de regressiecoëfficiënt voor lucht waren echter het laagst op locatie t5.2. Ook de relatief lage watertemperatuur op locatie 4.2 gedurende de vorst- en zomerperiode stroken niet met deze naar bovengerichte grondwater stroming. In zijn algemeenheid waren de verschillen in gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur zo minimaal, dat er geen conclusies uit kunnen worden getrokken. De verschillen in regressiecoëfficiënten waren groter, maar traden net zo goed op tussen locaties die zijn aangemerkt als intermediair. Een relatie tussen temperatuur en stijghoogte kon niet worden aangetoond. Opvallend bij rangschikking van de locaties op basis van de grootte van de gemiddelde dagamplitude was, dat de rangschikking veranderde gedurende de zomer. Deze verschillen lijken niet te kunnen worden verklaard door veranderingen in stijghoogte. Mogelijk is de in de zomer aanwezig watervegetatie van invloed op de watertemperatuur, waarbij zowel verschillen in de bedekking als in de vorm (submerse vegetatie, planten met drijfbladen of flab) een rol kunnen spelen. Behalve de vegetatie is het goed mogelijk dat andere factoren de watertemperatuur hebben beïnvloed, zoals de afstand van de waterspiegel tot het maaiveld en de breedte-diepte-verhouding van het slootprofiel. Aangezien onbekend

is in hoeverre een bepaalde hoeveelheid kwel de regressiecoëfficiënt beïnvloedt, kunnen geen uitspraken worden gedaan of verschillen in de regressiecoëfficiënten tussen locaties nu groot of klein zijn of binnen de natuurlijke variatie vallen.

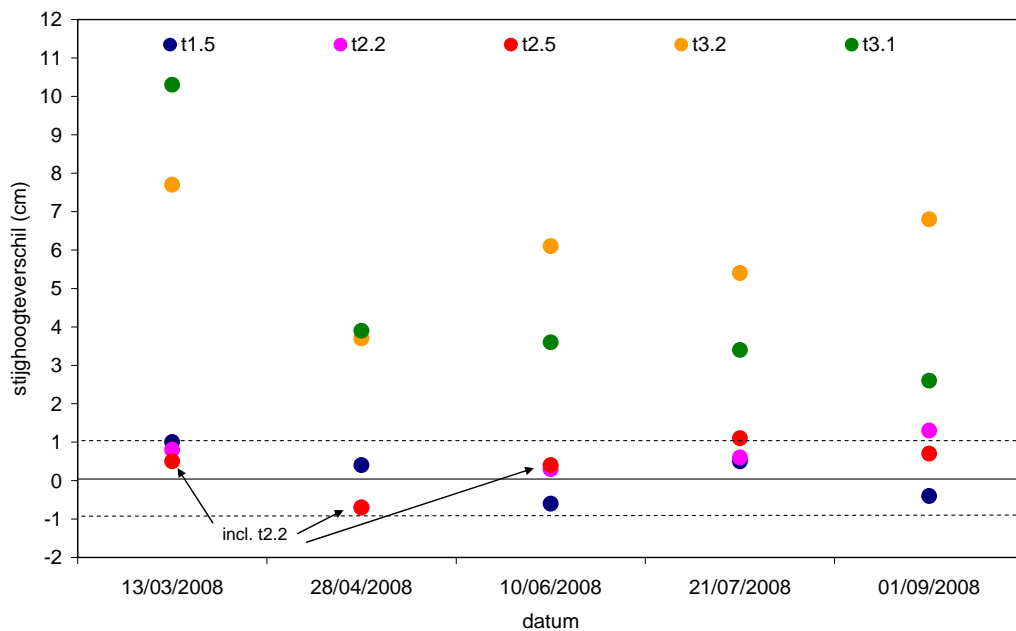
Van een duidelijke relatie tussen de concentraties nutriënten en macro-ionen in het oppervlaktewater en het water uit de piëzometers is geen sprake. Het oppervlaktewater verschilt nauwelijks van samenstelling tussen de locaties onderling, terwijl de chemische samenstelling van het grondwater van locatie tot locatie sterk wisselt afhankelijk van de variabele. Door Verdonschot en Loeb (2008) is aangegeven dat chloride kan dienen als tracer voor de aanwezigheid van kwel. Jalink en Van Beek (2000) geven aan dat de chlorideconcentratie van het grondwater van voor de industriële revolutie lager is dan 15 mg/l. De chlorideconcentraties van zowel het grond- als oppervlaktewater liggen (op één meting) na beneden de 15 mg/l. De verschillen in chlorideconcentratie tussen het grond- en oppervlaktewater zijn daarmee niet groot genoeg om chloride te kunnen gebruiken als tracer voor kwel.

De geringe verschillen in chemische samenstelling van het oppervlaktewater tussen de locaties komen tot uiting in de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap. Zowel uit de Van Dam indexwaarden als de resultaten van de multivariate analyse blijkt, dat de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap vooral verschilt tussen meetdata in plaats van tussen locaties. Wel wijkt de diatomeeëngemeenschap op locatie t5.2 enigszins af van de overige locaties, dit is terug te zien in de resultaten van de ordinatie en de indexwaarden voor trofie, pH en zuurstof. Hiervoor is echter geen verklaring te vinden in chemische samenstelling van het oppervlaktewater. De samenstelling van de diatomeeënschap op de locaties t1.5 en t2.5 lijkt op basis van de ordinatie ook af te wijken van de overige locaties. De chemische samenstelling van het oppervlaktewater op deze locaties verschilt echter niet van de overige locaties, wel liggen de locaties in dezelfde sloot.

3.3.4 Tienhoven reeks 2

3.3.4.1 Piëzometers

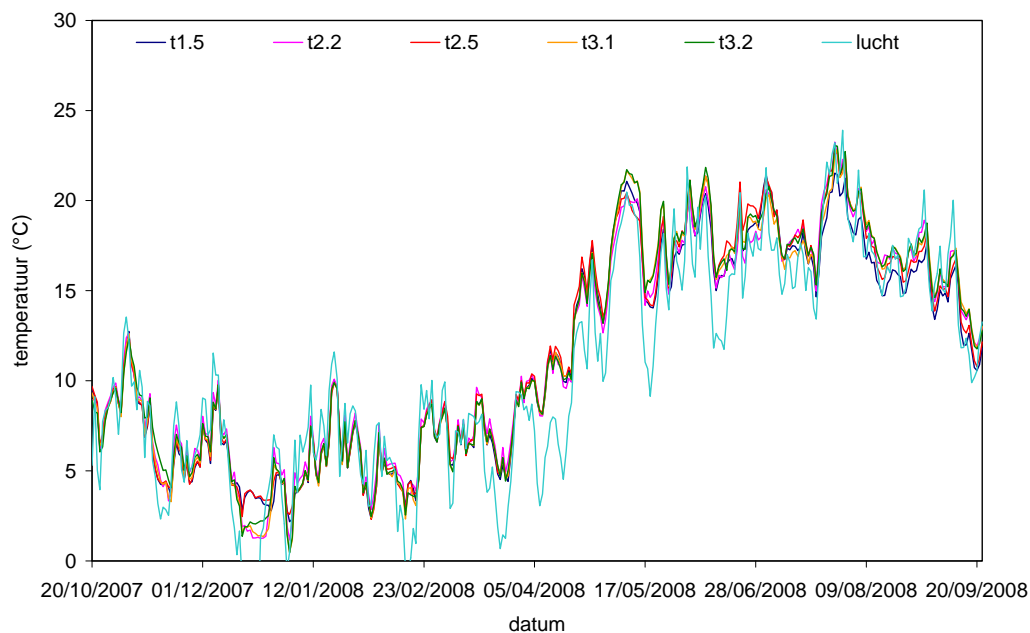
Op de locaties t3.1 en t3.2 was op alle meetdata sprake van een naar boven gerichte grondwaterstroming (figuur 3.53). Op 13 maart was het stijghoogteverschil op locatie t3.1 groter dan op locatie t3.2. Op 10 juni, 21 juli en 1 september was het stijghoogteverschil juist groter op locatie t3.2. Op 28 april was het stijghoogteverschil op beide locaties gelijk. Op 1 september was sprake van kwel op de locatie t2.2. In alle andere gevallen kwam het stijghoogteverschil niet boven de afleesonauwkeurigheid van 1 cm uit (figuur 3.53).



Figuur 3.53. Het verschil in stijghoogte tussen de diepe en ondiepe piëzometers van reeks 2. De afleesnaamkeurigheid van de stijghoogte in de piëzometers is weergegeven met twee stippellijnen.

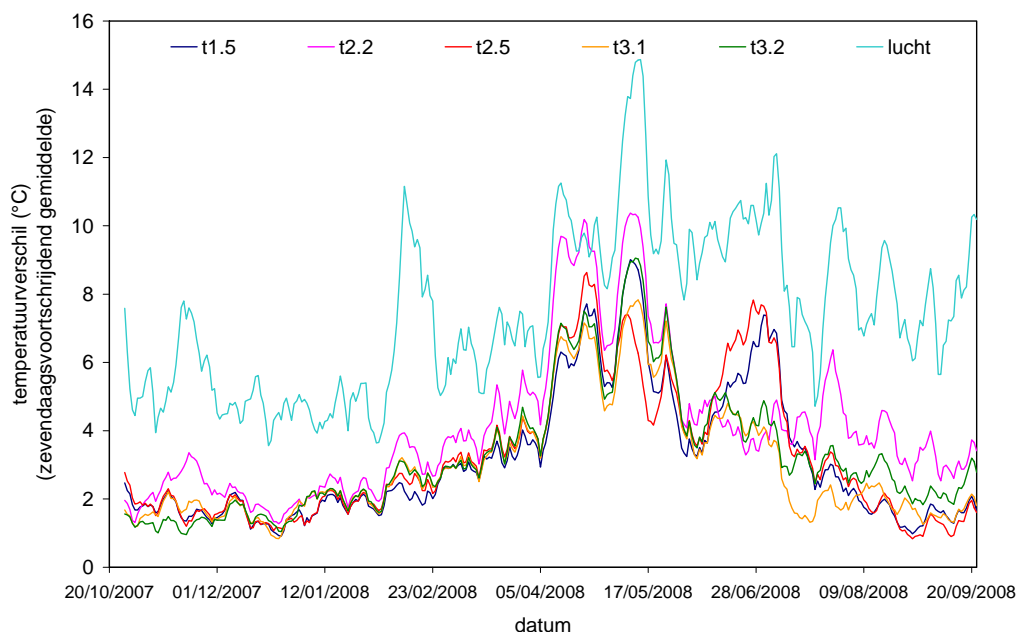
3.3.4.2 Temperatuur

De grootste verschillen in daggemiddelde watertemperatuur traden op in de periode met vorst en in de zomer (figuur 3.54), net als op de locaties van reeks 1 (figuur 3.38). Gedurende de vorstperiode bleef de daggemiddelde watertemperatuur het hoogst op de locaties t1.5 en t2.5. De locaties t2.2 en t3.1 bereikten in deze periode de laagste daggemiddelde watertemperatuur. De verschillen tussen de reeksen zijn klein en niet consequent. De daggemiddelde watertemperatuur leek op locatie t1.5 in de zomerperiode het laagst te blijven.



Figuur 3.54. De daggemiddelde watertemperatuur van de vijf locaties van reeks 2 en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation De Bilt.

De verschillen in de dagelijkse temperatuuramplitudo's waren het duidelijkst in de zomer (figuur 3.55), net als op de locaties van reeks 1 (figuur 3.39). In de zomerperiode vertoonde de watertemperatuur op locatie t2.2 de grootste schommelingen op een dag, met uitzondering van de maand juni. In juni vertoonden de locaties t1.5 en t2.5 de grootste schommelingen in watertemperatuur op een dag.



Figuur 3.55. Zevendaagsvoortschrijdend gemiddelde van de dagamplitude van de watertemperatuur van de vijf locaties van reeks 1 en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation De Bilt.

Opvallend zijn de relatief hoge gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de regressiecoëfficiënt voor lucht op locatie t2.2 (tabel 3.18). De verschillen in gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur tussen de overige locaties zijn minimaal. De verschillen in stijghoogte tussen de locaties kunnen niet worden gerelateerd aan de dagamplitude van de watertemperatuur of de regressiecoëfficiënt voor lucht (tabel 3.18). Wanneer op de locaties t1.5, t2.2 en t2.5 sprake is van wegzijging zouden tussen deze locaties geen (grote) verschillen mogen optreden in de dagamplitude en de regressiecoëfficiënt.

Tabel 3.18. Resultaten analyse temperatuurgegevens van reeks 2. Data van 20 oktober 2007 t/m 29 september 2009. De gemiddelde luchttemperatuur bedroeg gedurende deze periode 10.7 °C.

parameter	locatie				
	t1.5	t2.2	t2.5	t3.1	t3.2
kwelintensiteit (Beltman et al., 1988)	kwel	kwel	kwel	wegzijging	wegzijging
kwelintensiteit (stijghoogte)	intermediair	intermediair	intermediair	kwel	kwel
gemiddelde dagamplitudo (°C)	3.1	4.0	3.2	3.0	3.2
richtingscoëfficiënt lucht					
dynamische regressie	0.255	0.342	0.261	0.295	0.298
richtingscoëfficiënt water t-1					
dynamische regressie	0.738	0.654	0.741	0.716	0.712
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.979	0.980	0.980	0.983	0.982

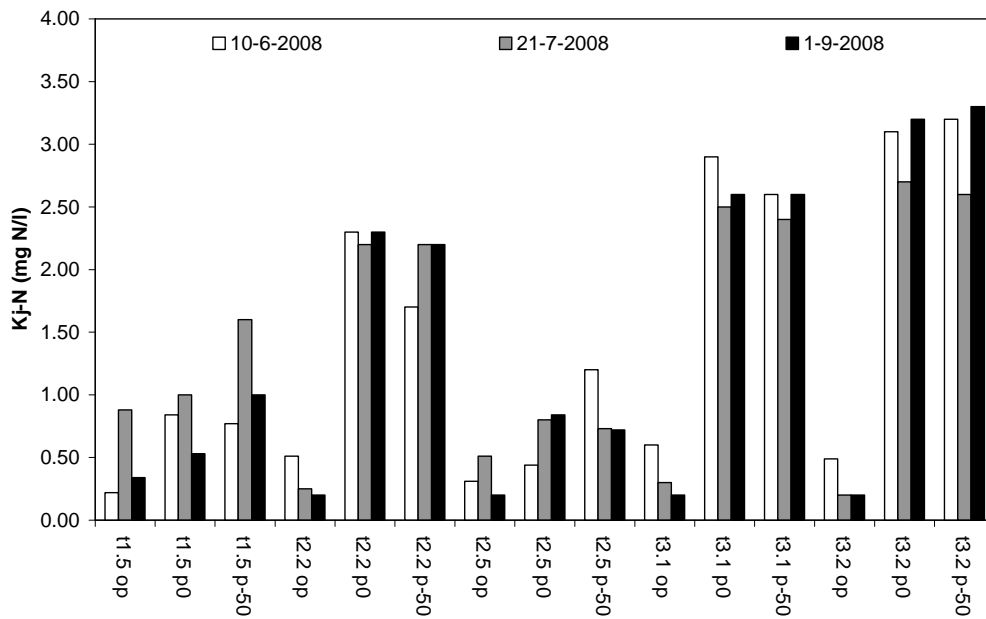
3.3.4.3 Chemie

Nitraat

De nitraatconcentratie bevindt zich in alle gevallen onder de detectiegrens van 0.1 mg N/l.

Kjeldahl-stikstof

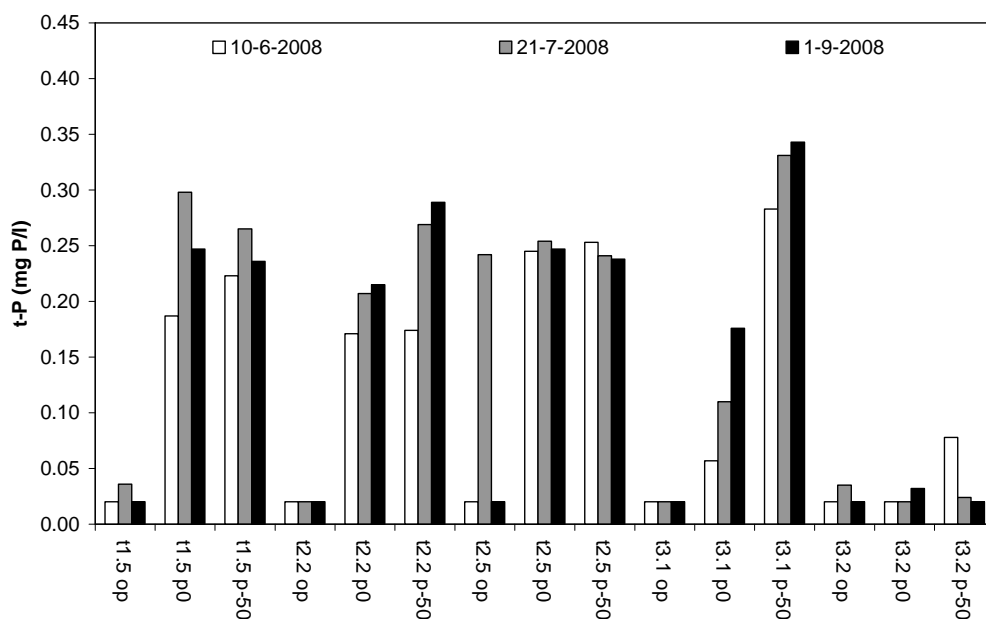
De Kjeldahl-stikstofconcentraties van het oppervlaktewater zijn altijd lager dan die van het grondwater (figuur 3.56). De Kjeldahl-stikstofconcentraties van het grondwater zijn het hoogst op de locaties t2.2, t3.1 en t3.2. De Kjeldahl-stikstofconcentraties van het grond- en oppervlaktewater vertonen over het algemeen geen grote verschillen in de tijd (figuur 3.56). Gezien de relatief lage nitraatconcentraties (<0.1 mg/l) en de kleine bijdrage van nitriet aan totaal-stikstofconcentraties, kan worden aangenomen dat de totaal-stikstofconcentratie van het oppervlaktewater in alle gevallen onder de referentiewaarde (1 mg N/l) voor eutrofe veensloten uit het 'Aquatisch Supplement' liggen en in veel gevallen zelfs onder de referentiewaarde (0.4 mg N/l) voor mesotrofe veensloten (Nijboer, 2000).



Figuur 3.56. De Kjeldahl-stikstofconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.2 mg N/l).

Totaal-fosfor

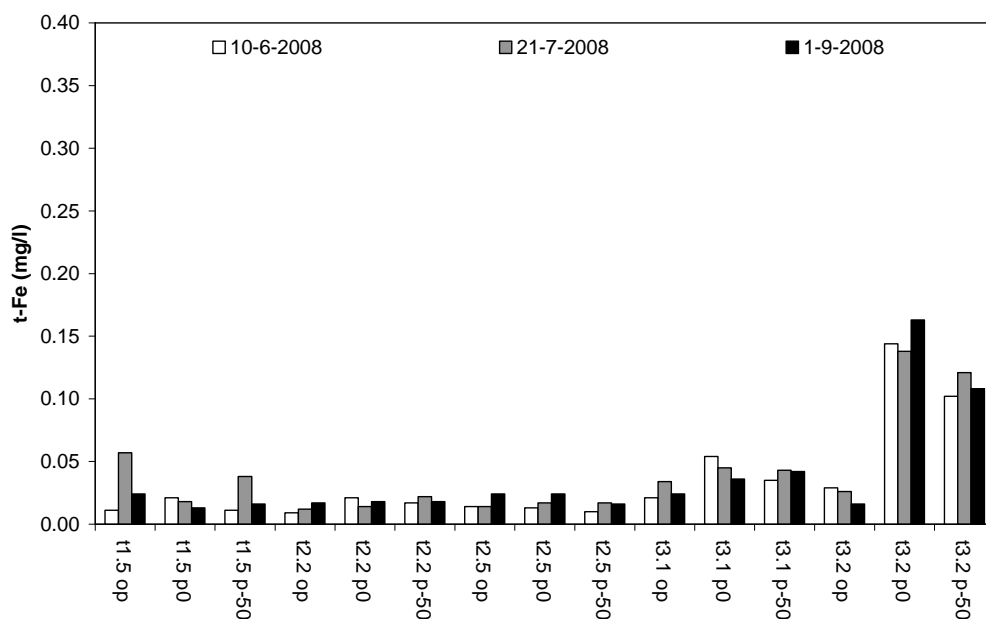
De totaal-fosforconcentraties van het oppervlaktewater zijn vele malen lager dan die van het grondwater en bevinden zich maar net boven de detectiegrens van 0.02 mg P/l (figuur 3.57). Uitzondering is de totaal-fosforconcentratie van het oppervlaktewater op locatie t2.5 op 21 juli (0.242 mg P/l). Locatie t3.2 wijkt van de overige locaties af door de lage totaal-fosforconcentraties van zowel het oppervlaktewater als het grondwater. De totaal-fosforconcentraties van het oppervlaktewater liggen in alle gevallen onder de referentiewaarde (0.04 mg P/l) voor mesotrofe veensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Nijboer, 2000).



Figuur 3.57. De totaal-fosforconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer, detectiegrens is 0.02 mg P/l).

Totaal-ijzer

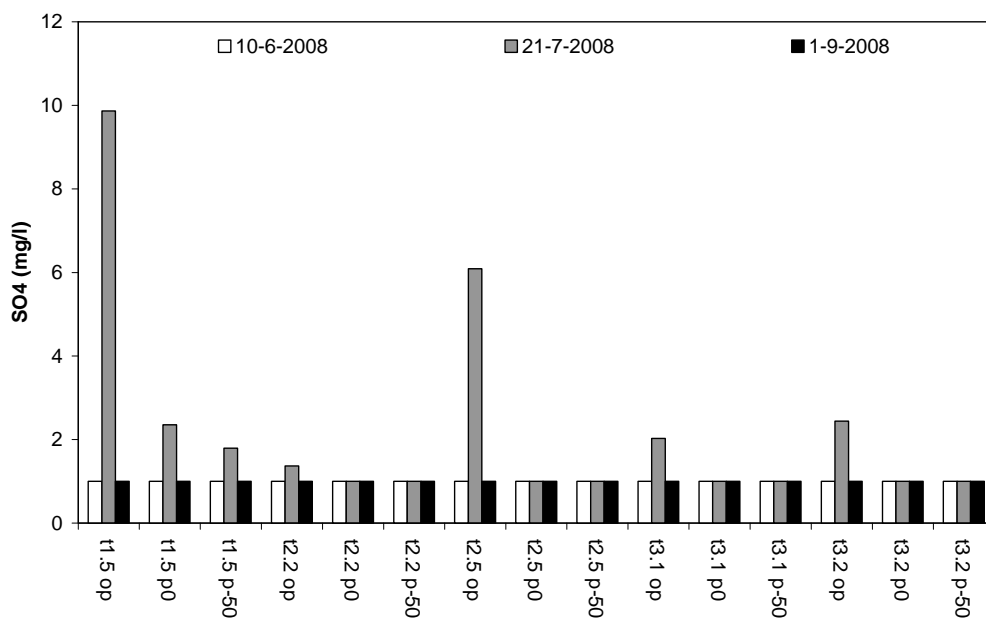
De totaal-ijzerconcentraties van het grond- en oppervlaktewater op de locaties van reeks 2 liggen veel lager dan op de locaties van reeks 1 (figuur 3.58 en 3.42). In alle gevallen ligt de totaal-ijzerconcentratie van het grond- en oppervlaktewater onder de grenswaarde (0.2 mg/l) voor oligotrofe tot mesotrofe sloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000). De relatief lage totaal-fosforconcentraties van het water uit de piëzometers op locatie t3.2 corresponderen met de hogere totaal-ijzerconcentraties (figuur 3.58 en 3.57). De totaal-ijzerconcentraties van het oppervlaktewater liggen ver onder de referentiewaarde (0.2 mg/l) van oligotrofe tot mesotrofe laagveensloten (Higler, 2000).



Figuur 3.58. De totaal-ijzerconcentraties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Sulfaat

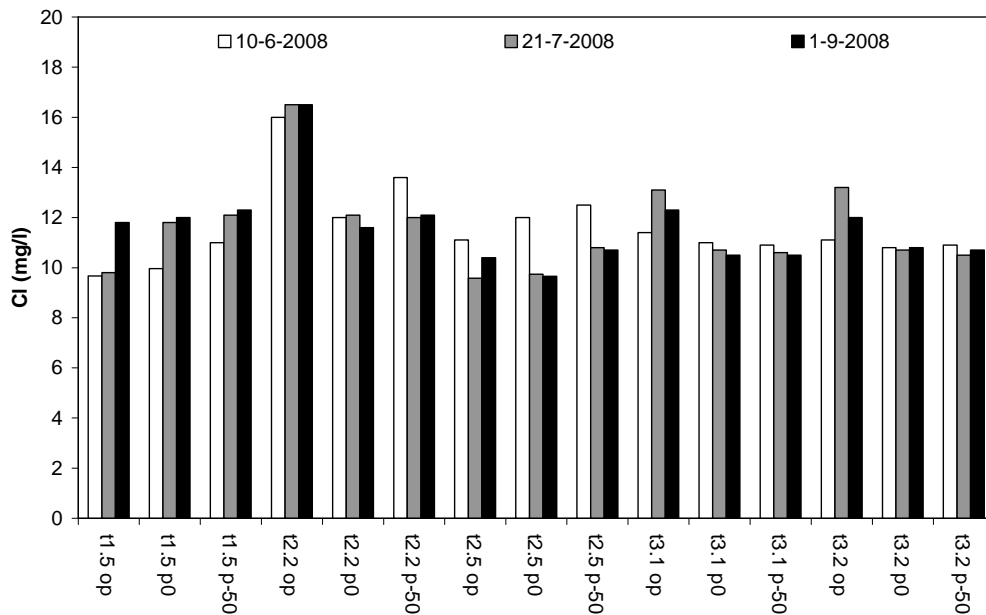
Alleen op 21 juli komt de sulfaatconcentratie op enkele locaties boven de detectiegrens van 1 mg/l uit (figuur 3.59).



Figuur 3.59. De sulfaatconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Chloride

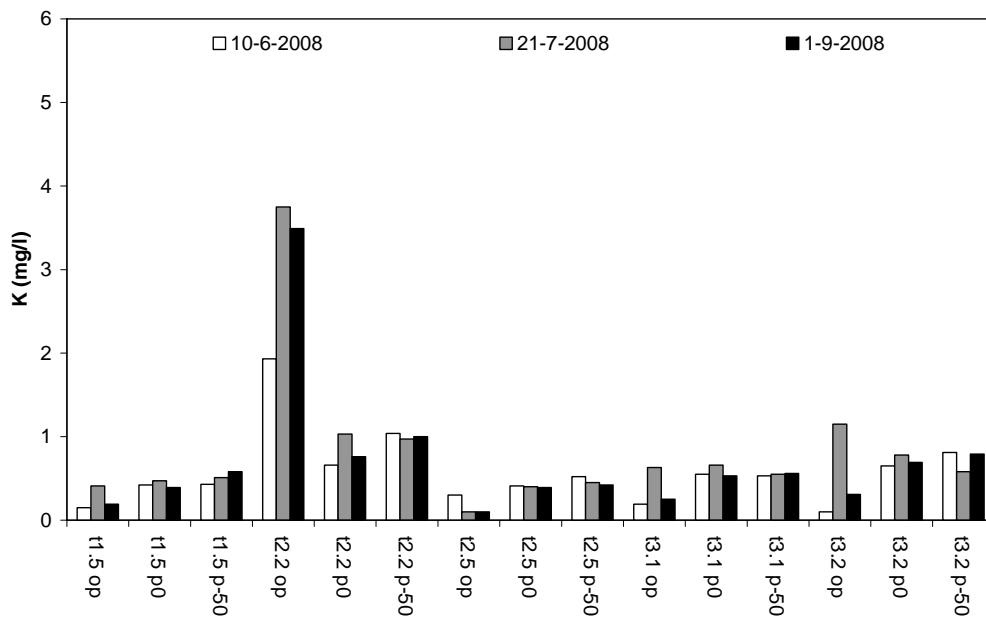
De chlorideconcentratie van zowel het grond- als oppervlaktewater is laag en varieert tussen de 8.4 en 17.4 mg/l (figuur 3.60). In alle gevallen ligt de chlorideconcentratie van het grond- en oppervlaktewater onder de grenswaarde (25 mg/l) voor oligotrofe tot mesotrofe laagveensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000). Het oppervlaktewater van locatie t2.2 heeft de hoogste chlorideconcentratie en wijkt af van de rest. Verder zijn de verschillen in chlorideconcentraties tussen locaties en data minimaal voor zowel grond- als oppervlaktewater. Ook de verschillen in chlorideconcentratie tussen grond- en oppervlaktewater zijn minimaal (figuur 3.60).



Figuur 3.60. De chlorideconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Kalium

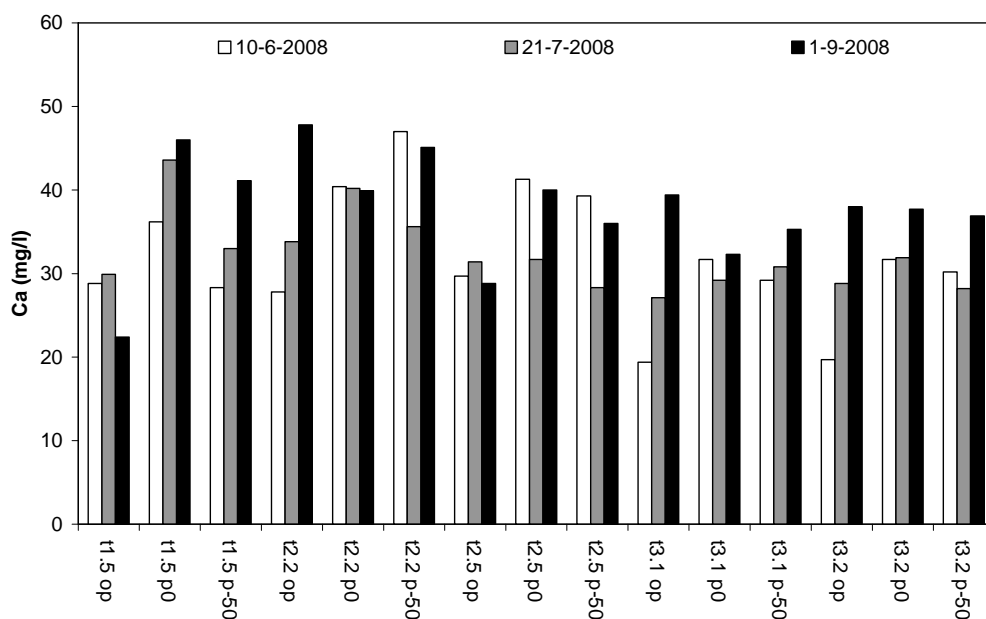
Behalve op locatie t2.2 ligt de kaliumconcentratie van het grond- en oppervlaktewater ruim onder de grenswaarde (2 mg/l) voor oligotrofe tot mesotrofe laagveensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000). Op locatie t2.2 ligt alleen de kaliumconcentratie van het oppervlaktewater boven de 2 mg/l (figuur 3.61).



Figuur 3.61. De kaliumconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

Calcium

De calciumconcentratie varieert van 19.4 tot 47.8 mg/l (figuur 3.62). De calciumconcentraties van het oppervlaktewater kunnen sterk verschillen van de calciumconcentraties van het grondwater. Afhankelijk van de datum en locatie is de calciumconcentratie van het grondwater juist hoger of lager dan die van het oppervlaktewater. Behalve op 1 september liggen de calciumconcentraties van het oppervlaktewater onder de grenswaarde van 40 mg/l voor mesotrofe tot eutrofe laagveensloten uit het 'Aquatisch Supplement' (Higler, 2000) (figuur 3.62).



Figuur 3.62. De calciumconcentraties gemeten op de slootlocaties van reeks 2 (op = oppervlaktewater, p0 = ondiepe piëzometer, p-100 = diepe piëzometer).

3.3.4.4 Diatomeeën

Voor de resultaten van de diatomeeën wordt verwezen naar paragraaf 3.3.3.4 (reeks 1).

3.3.4.5 Discussie

De vooraf gemaakt inschatting over de aanwezigheid van kwel (tabel 3.3) komt niet overeen met de resultaten van de stijghoogtemetingen. Op basis van de kwelkaart worden de alle locaties t1.5, t2.2 en t2.5 aangemerkt als locaties waar kwel optreedt en de locaties t3.1 en t3.2 als locaties waar wegzijging optreedt. Uit de stijghoogtemetingen blijkt dat de juist de locaties t3.1 en t3.2 worden gekenmerkt door kwel, terwijl op de locaties t1.5, t2.2 en t2.5 sprake is van wegzijging noch kwel. De locaties t3.1 en t3.2 ondervonden als enige locaties gedurende de hele onderzoeksperiode een naar bovengerichte grondwaterstroming. De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de regressiecoëfficiënt voor lucht waren vergelijkbaar op vier van de vijf locaties. Een relatie tussen temperatuur en stijghoogte kan dus niet worden aangetoond. De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de regressiecoëfficiënt voor lucht waren relatief hoog op locatie t2.2. Net als in de beken en de sloten in reeks 1 waren de verschillen in gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur het grootst in de zomer. Opvallend bij rangschikking van de locaties op basis van de grootte van de gemiddelde dagamplitude was, dat de rangschikking veranderde gedurende de zomer. Deze verschillen lijken niet te kunnen worden verklaard door veranderingen in stijghoogte. Mogelijk is de in de zomer aanwezig watervegetatie van invloed op de

watertemperatuur, waarbij zowel verschillen in de bedekking als in de vorm (submerse vegetatie, planten met drijfbladen of flab) een rol kunnen spelen. Behalve de vegetatie is het goed mogelijk dat andere factoren de watertemperatuur hebben beïnvloed, zoals de afstand van de waterspiegel tot het maaiveld en de breedte-diepteverhouding van het slootprofiel. Aangezien onbekend is in hoeverre een bepaalde hoeveelheid kwel de regressiecoëfficiënt beïnvloedt, kunnen tevens geen uitspraken worden gedaan of verschillen in de regressiecoëfficiënten tussen locaties nu groot of klein zijn of binnen de natuurlijke variatie vallen.

Van een duidelijke relatie tussen de concentraties nutriënten en macro-ionen in het oppervlaktewater en het water uit de piëzometers is geen sprake. Het oppervlaktewater verschilt nauwelijks van samenstelling tussen de locaties onderling, terwijl de chemische samenstelling van het grondwater van locatie tot locatie sterk wisselt afhankelijk van de variabele. Door Verdonschot en Loeb (2008) is aangegeven dat chloride kan dienen als tracer voor de aanwezigheid van kwel. Jalink en Van Beek (2000) geven aan dat de chlorideconcentratie van het grondwater van voor de industriële revolutie lager is dan 15 mg/l. De chlorideconcentraties van zowel het grond- als oppervlaktewater liggen (behalve op locatie t2.2) beneden de 15 mg/l. De verschillen in chlorideconcentratie tussen het grond- en oppervlaktewater zijn daarmee niet groot genoeg om chloride te kunnen gebruiken als tracer voor kwel.

De relatie tussen de diatomeeëngemeenschap en de chemische samenstelling van het oppervlaktewater is reeds bediscussieerd in paragraaf 3.3.3.5.

4 Discussie

De opzet van deze studie was om vragen vanuit de praktijk over de relaties tussen grond- en oppervlaktewater in de toekomst beter te kunnen beantwoorden. Vragen, zoals:

- Wat is de invloed van grondwater op de kwaliteit van het oppervlaktewater en de daarin aanwezige levensgemeenschap?
- Hoe groot moet de aanvoer van grondwater naar bronnen en beken zijn voor een permanent gevoed systeem? (anti-verdroging)
- Hoeveel grondwater (gebiedseigen water) is nodig om de gewenste levensgemeenschap te krijgen?
- Hoeveel gebiedsvreemd water kan ingelaten worden voordat een schadelijk effect optreedt?

Om dergelijke vragen te kunnen beantwoorden moeten eerst de vier basisvragen worden beantwoord, die worden vermeld in de doelstelling van dit onderzoek:

1. Hoeveel grondwater bereikt een bepaald oppervlaktewater?
2. Wat is de chemische samenstelling van het grondwater?
3. Welk effect heeft de combinatie van 1 en 2 op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater?
4. Welk effect heeft de combinatie van 1, 2 en 3 op de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap?

Ad 1. Met deze studie is getracht om een eenvoudige en betaalbare methode te ontwikkelen om de toestroom van grondwater naar het oppervlaktewater te meten. Om een dergelijke methode te kunnen ontwikkelen, is de volgende hypothese getoetst: “Hoe groter de aanvoer van grondwater naar het oppervlaktewater, (1) des te zwakker de relatie tussen de gemiddelde dagtemperatuur van het oppervlaktewater en de lucht en (2) des te kleiner de gemiddelde dagamplitude van de oppervlaktewatertemperatuur”. De hypothese kon niet worden bevestigd met de resultaten van het onderzoek, deze waren namelijk niet eenduidig. In veel gevallen was geen sprake van een directe relatie tussen de kwelintensiteit en de getoetste temperatuurparameters. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt door meerdere factoren. Ten eerst konden de gemeten verschillen in stijghoogte tussen beeklocaties niet direct worden vertaald naar verschillen in kwelintensiteit door de verschillen in de samenstelling van het bodemmateriaal tussen de locaties. De doorlatendheid van het bodemmateriaal bepaalt immers de uiteindelijke kwelintensiteit. Ten tweede hebben allerlei andere factoren dan kwel de watertemperatuur gedurende het onderzoek beïnvloed. Enkele voorbeelden van dergelijke factoren zijn de afvoer, de natte doorsnede, de breedte-diepte verhouding, de mate van beschaduwing en de vorm en aard van de bedekking met waterplanten. Metingen van de oppervlakte- en/of grondwatertemperatuur moeten op basis van de bevindingen in deze studie niet worden uitgesloten als methode om te komen tot een inschatting van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater. Meer modelmatige studies van Keery et al. (2007), Westhoff et al. (2007) en Selker et al. (2006) hebben namelijk wel

goede resultaten geboekt. Alleen valt geen van de in deze studies de toegepaste methoden te beschrijven als eenvoudig en betaalbaar.

Ad 2 en 3. Naast de inschatting van de hoeveelheid grondwater die een oppervlaktewater ontvangt, is kennis nodig van de kwaliteit van het grondwater. Zowel in de sloten als de beken werden geen grote verschillen in oppervlaktewaterkwaliteit geconstateerd tussen wegzijgings- en kwellocaties. Het lijkt erop dat de kwaliteit van het oppervlaktewater op de onderzochte locaties nauwelijks een verband vertoont met de kwaliteit van het grondwater op de onderzochte locaties. Het blijft echter altijd mogelijk dat de kwaliteit van het oppervlaktewater bovenstrooms van de onderzochte locaties (beken) of elders binnen een slootcomplex **wel** sterk wordt beïnvloed door de toestroom van grondwater. Opvallend waren de hoge Kjeldahl-stikstofconcentraties en totaal-fosforconcentraties van het grondwater ten opzichte van het oppervlaktewater in de sloten. De lage concentraties Kjeldahl-stikstof en totaal-fosfor in het oppervlaktewater zijn waarschijnlijk gedeeltelijk het gevolg van opname door waterplanten, aangezien de watermonsters gedurende het groeiseizoen zijn verzameld en de sloten sterk begroeid waren met waterplanten. De lage concentraties kunnen echter niet alleen het gevolg zijn van opname door waterplanten aangezien een gedeelte van het stikstof en fosfor gebonden is geweest aan organisch materiaal. Doordat naast opname door waterplanten ook allerlei andere processen, zoals de afbraak van organisch materiaal, kunnen leiden tot veranderingen in de chemische samenstelling van het oppervlaktewater is het lastig om uitspraken te doen over de 'indirecte' invloed van het grondwater op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Bovendien zijn naast het grondwater geen andere bronnen van stoffen in beeld gebracht (zoals directe afspoeling bij neerslag) en is de hoeveelheid grondwater die toestroomt niet vastgesteld. In deze studie zijn namelijk geen metingen verricht aan de verticale doorlatendheid van de bodem, waardoor alleen inzicht bestaat in relatieve verschillen in de toestroom van grondwater tussen locaties en niet in de daadwerkelijk hoeveelheid grondwater.

Ad 4. In dit onderzoek kon geen relatie worden aangetoond tussen de hoeveelheid en kwaliteit van het aangevoerde grondwater en de samenstelling van de diatomeeëngemeenschap. Dit is niet verwonderlijk, omdat (1) niet kon worden vastgesteld hoeveel grondwater de onderzochte oppervlaktewatersystemen ontvangen en (2) geen verband kon worden aangetoond tussen de kwaliteit van het aangevoerde grondwater en de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Tot slot moet worden geconcludeerd dat zelfs met alle gegevens, die in dit onderzoek zijn verzameld, de bovenstaande vragen uit de praktijk niet kunnen worden beantwoord voor de onderzochte gebieden (Boschbeek, Mosbeek en Tienhoven). Om dergelijke vragen in de toekomst wel te kunnen beantwoorden is een gedegen gebiedsanalyse noodzakelijk waarbij de volgende stappen moeten worden doorlopen:

- Kwantificering van de hoeveelheid water die toestroomt naar het oppervlaktewater.
- Bepaling van de chemische samenstelling van het grondwater op het moment van uitreden. Chemische processen die zich afspelen in de bovenste

bodemlaag kunnen namelijk zorgen voor discrepanties tussen de concentraties van stoffen gemeten in het grondwater en de concentraties op het moment van uittreden. Dergelijke processen kunnen afhankelijk van de eigenschappen van de bodem van locatie tot locaties verschillen.

- Maandelijkse metingen van de chemische samenstelling van het uittredende grondwater in sloten om seizoenseffecten als gevolg van de groei van waterplanten uit te sluiten.
- Metingen van de chemische samenstelling van grond- en oppervlaktewater op locaties met en zonder kwel. De in het kader van dit onderzoek geselecteerde slootlocaties bleken tegen de verwachting in allemaal (meer of minder) kwel te ontvangen.

Van deze stappen vormt vooral de kwantificering van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater een knelpunt. Mogelijk kan de kwantificering worden bereikt door het plaatsen van meer piëzometers en deze vaker af te lezen. Naast het verzamelen van nieuwe data zal gebruik moeten worden gemaakt van water- en stoffenbalansen voor het hele gebied, waardoor inzicht wordt verkregen in wat bovenstrooms en tussen de bemeeten punten plaatsvindt. Water- en stoffenbalansen werken vaak op een relatief hoog schaalniveau en kunnen daardoor niet altijd goed voorspellen wat er op locatieniveau gebeurt. Uit het onderzoek is duidelijk gebleken dat de samenstelling van het grondwater tussen locaties sterk kan verschillen. Dit geeft aan dat het lastig zal zijn om op kleine schaal uitspraken te doen over de effecten van veranderingen in grondwatertoevoer op de kwaliteit van het oppervlaktewater alleen op basis van dergelijke modellen.

5 Conclusies

- De gemiddelde dagamplitude van de watertemperatuur en de richtingscoëfficiënt voor lucht geven geen inzicht in de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater.
- Kwelkaarten geven soms geen goed beeld van de lokale kwelsituatie.
- Metingen van de oppervlakte- en/of grondwatertemperatuur bieden wel mogelijkheden om te komen tot inschattingen van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater. Het bepalen van de hoeveelheid grondwater die toestroomt naar het oppervlaktewater zal voorlopig echter een arbeidsintensief proces blijven.
- De relaties tussen grond- en oppervlaktewater kwantiteit en kwaliteit zijn vaak zodanig complex, dat uitgebreide gebiedsanalyses noodzakelijk zijn, voordat uitspraken kunnen worden gedaan over de effecten van veranderingen in de toestroom van grondwater naar het oppervlaktewater.

Literatuur

- Beltman, B., H. Duel, M. van der Bie, E. Otten en G. Rouwenhorst, 1988. Ecohydrologie in Polders: het Noorderpark. *Landschap* 3: 152-170.
- Bergen, P., B. Brorens, K. Perdijk en C. van den Brink, 1997. *Modelonderzoek nutriëntenbuishouding stroomgebied Mosbeek: eindrapportage*. IWACO, Groningen.
- Bossenbroek, P.H. en J.T. Hermans, 1999. *Nationaal Park de Meinweg, Natuurgebied van formaat*. Themanummer Natuurhistorisch Genootschap december 1999, jaargang 88.
- Dale, H.M. and T. Gillispie, 1976. The influence of floating vascular plants on the diurnal fluctuations of temperature near the water surface in early spring. *Hydrobiologia* 49: 245-256.
- De Vries, J.J., 1994. *Inleiding tot de hydrologie van Nederland*. Rodopi BV Editions, Amsterdam.
- Higler, L.W.G., 1980. *Hydrologische, fysische en chemische gegevens van de Hierdense beek*. RIN-rapport 80/3.
- Higler, L.W.G., 2000. *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 7, Laagveenwateren. Achtergronddocument bij het Handboek Natuurdoeltypen in Nederland*. Rapport AS-07, EC-LNV. Wageningen, Alterra, 80 blz.
- Jalink, M.H. en C.G.E.M. van Beek, 2000. *Lithoclien grondwater in Brabantse natuurgebieden. Herkomst, processen en kenmerken*. KIWA, Nieuwegein.
- Keery, J., A. Binley, N. Crook en J.W.N. Smith, 2007. Temporal and spatial variability of groundwater-surface water fluxes: Development and application of an analytical method using temperature time series. *Journal of Hydrology*, 336: 1-16.
- Lekkerkerker, C.L., P.C.A. Otten en H. Oude Nijhuis, 1982. *Hydrologisch onderzoek in het Hierdense beek gebied: landschapsecologische gebiedsanalyse*. Directie Bos- en Landschapsbouw. Utrecht.
- Minnema, B. en J.J.J.C. Snepvangers, 2004. *Waterschap Regge en Dinkel; Grondwatermodel en IR-database ter ondersteuning van waterbeheer in Twente*. TNO-rapport NITG 04-020-B.
- Nijboer, R.C., 2000. *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 6, Sloten. Achtergronddocument bij het Handboek Natuurdoeltypen in Nederland*. Rapport AS-06, EC-LNV. Wageningen, Alterra, 80 blz.

Paulissen, M.P.C.P., R.C. Nijboer en P.F.M. Verdonschot, 2007. *Grondwater in perspectief; een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland*, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1447, 71 blz.

Selker, J., N. van de Giesen, M. Westhoff, W. Luxemburg and M.B. Parange, 2006. Fiber optics opens window on stream dynamics. *Geophysical Research Letters*, 33, L24401.

Van Dam, H., A. Mertens and J. Sinkeldam, 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Journal of Aquatic Ecology*, 28 (1): 177-133.

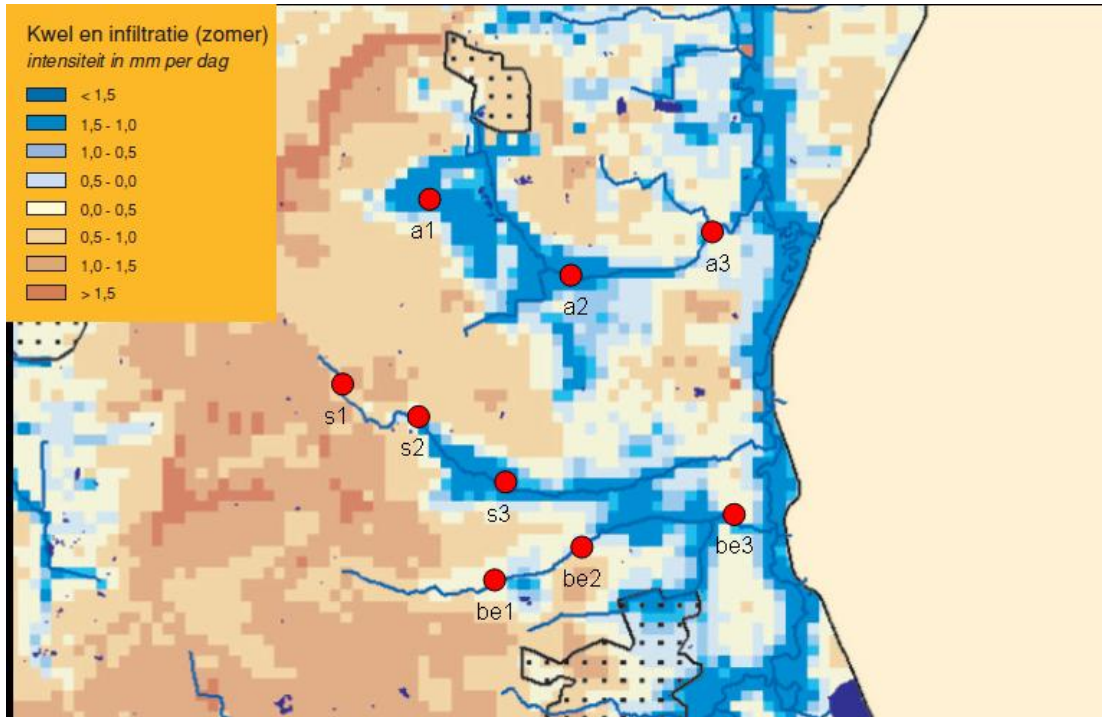
Verdonschot, P.F.M., 2000), *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 1, Bronnen. Achtergronddocument bij het 'Handboek Natuurdoeltypen in Nederland'*. Rapport AS-01, EC-LNV, Wageningen, Alterra, 88 blz.

Verdonschot, P.F.M. en R. Loeb, 2008. *Effecten van grondwater toevoer op oppervlaktewaterkwaliteit: Een casestudie in twee natuurgebieden*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1752, 51 blz.

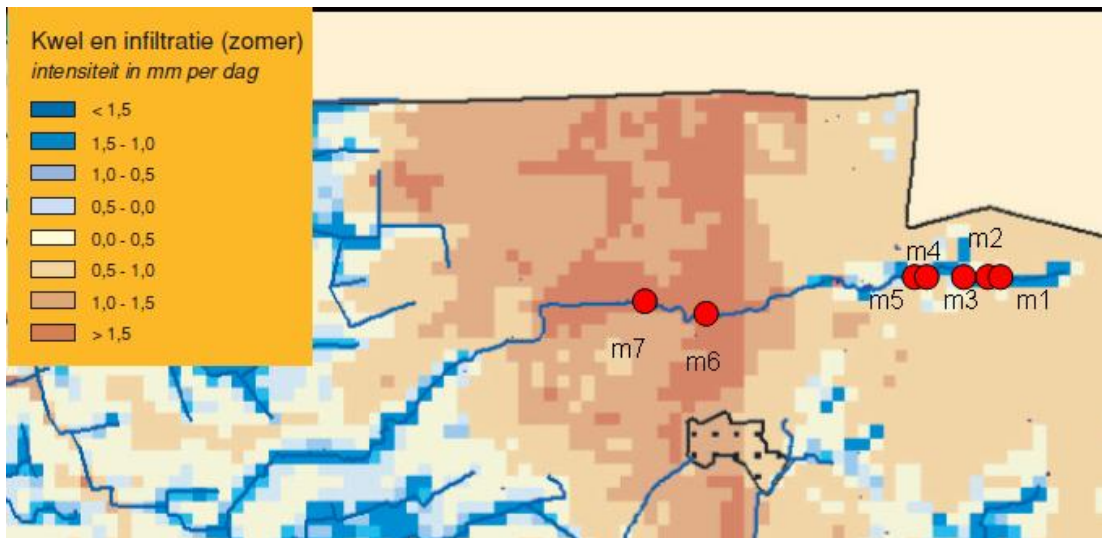
Westhoff, M.C., H.H.G. Savenije, W.M.J. Luxemburg, G.S. Stelling, N.C. van de Giesen, J.S. Selker, L. Pfister and S. Uhlenbrook, 2007. A distributed stream temperature model using high resolution temperature observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11: 1469-1480.

Bijlage 1 Kwel- en infiltratiekaarten beken

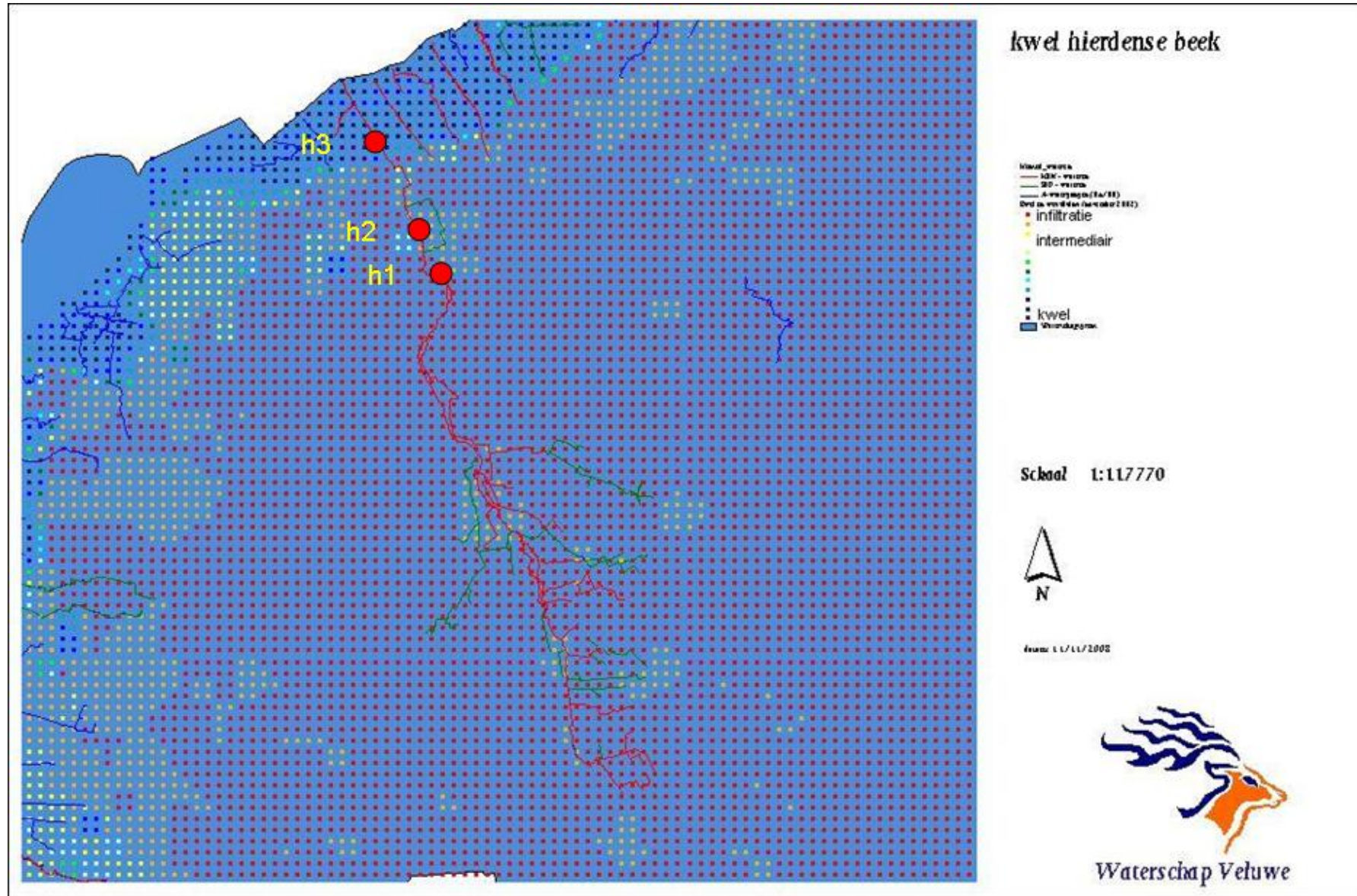
In figuur 1 t/m 5 is de ligging van de onderzoekslocaties aangegeven op de betreffende kwel- en infiltratiekaarten.

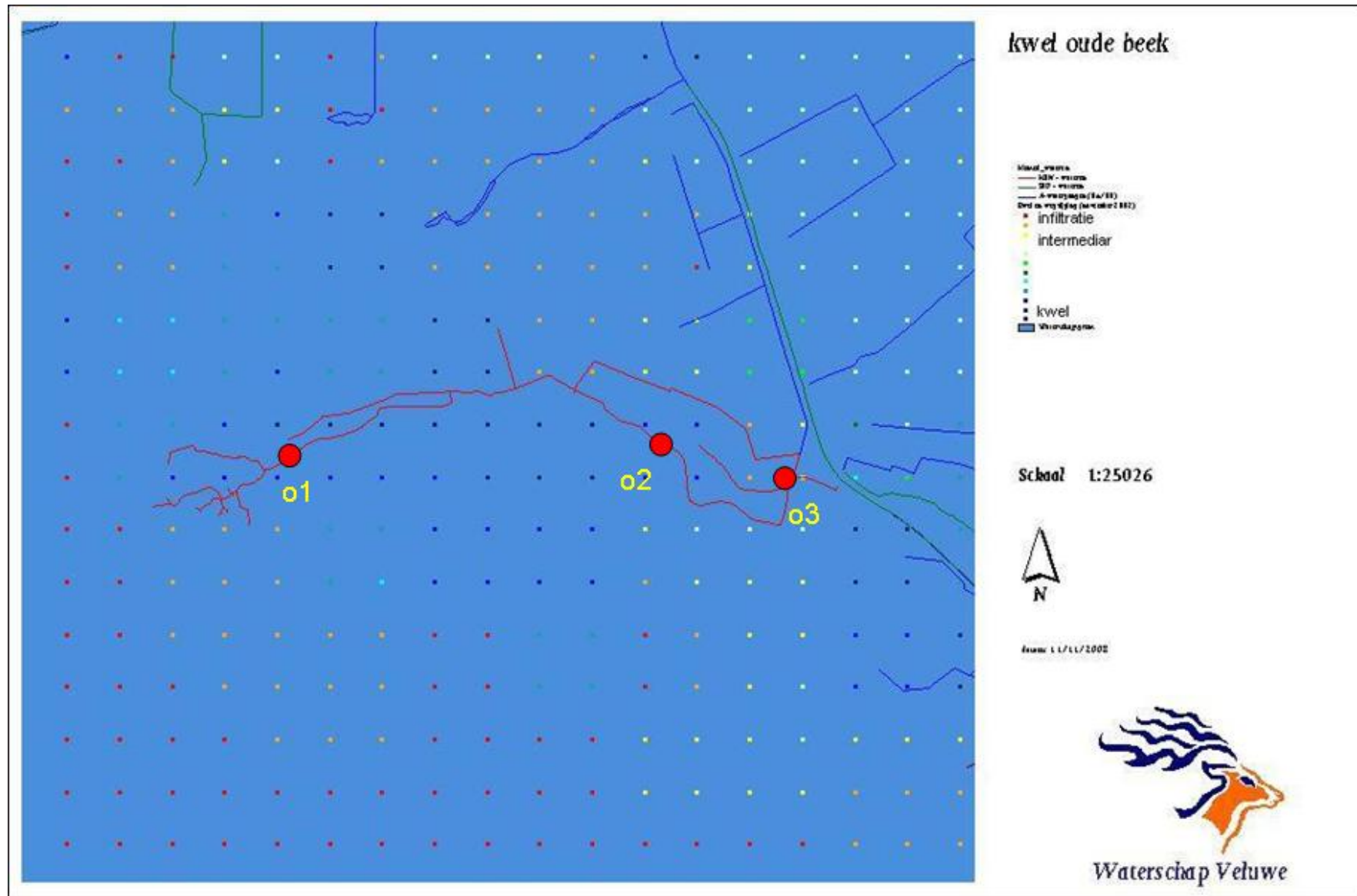


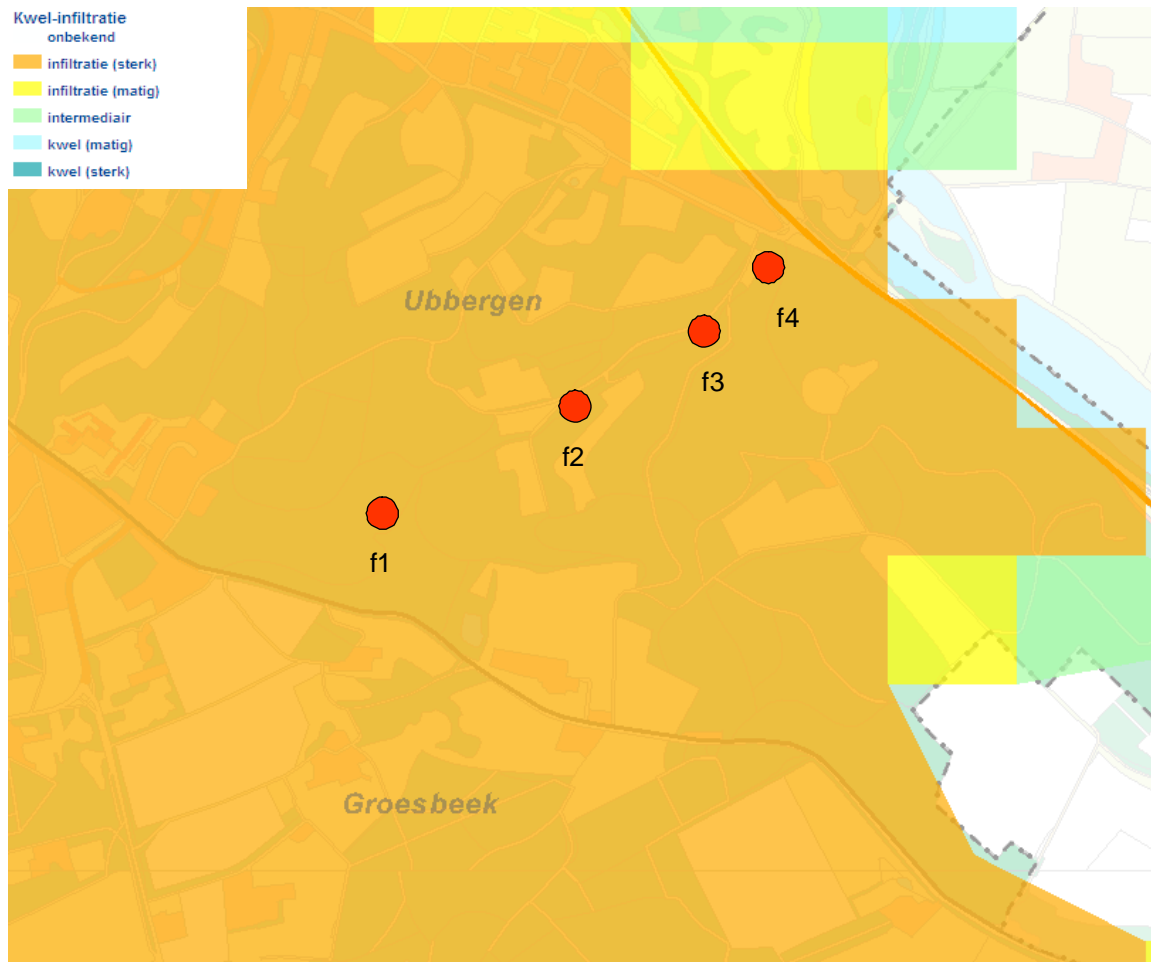
Figuur 1. Kwel- en infiltratiekaart waterschap Regge en Dinkel van de omgeving Arboreumbek (be), Snoeyinksbek (s) en Bethlehemse bek (be) (bron: Minnema en Sneprangers, 2004).



Figuur 2. Kwel- en infiltratiekaart waterschap Regge en Dinkel van de omgeving Mosbek (bron: Minnema en Sneprangers, 2004).



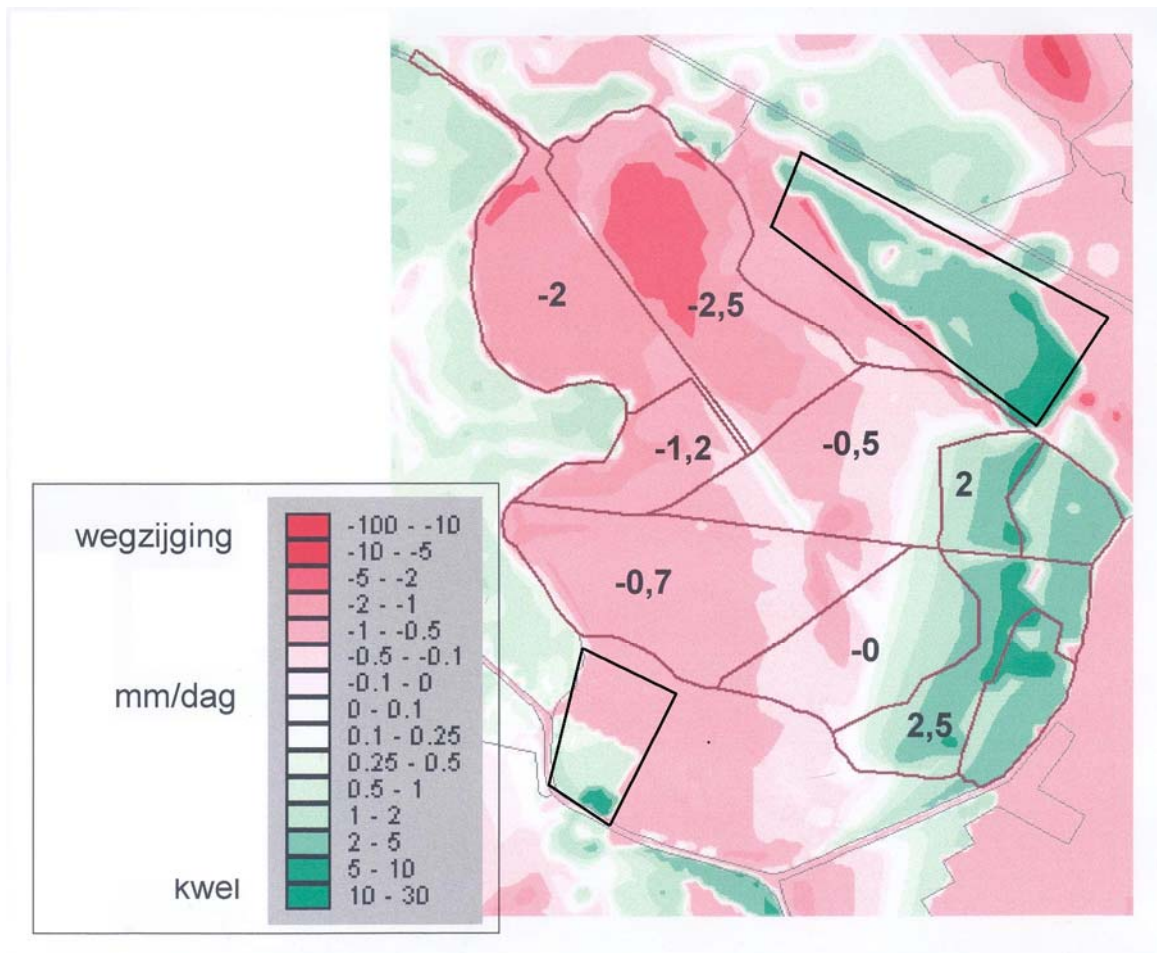




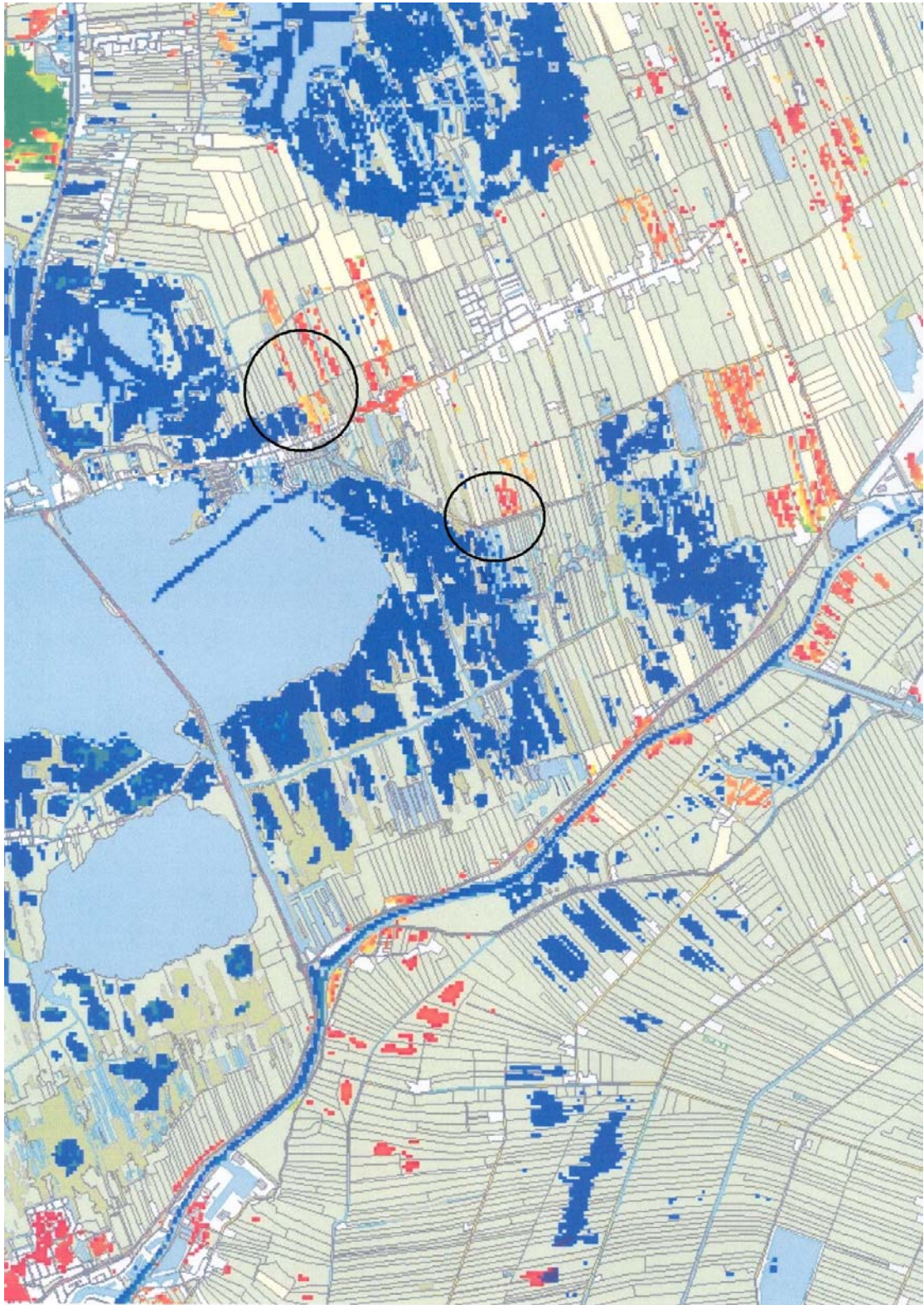
Figuur 5. Kwel- en infiltratiekaart Wateratlas Provincie Gelderland van de omgeving Filosofenbeek (bron: www.gelderland.nl/wateratlas).

Bijlage 2 Kwel- en infiltratiekaarten slootcomplexen

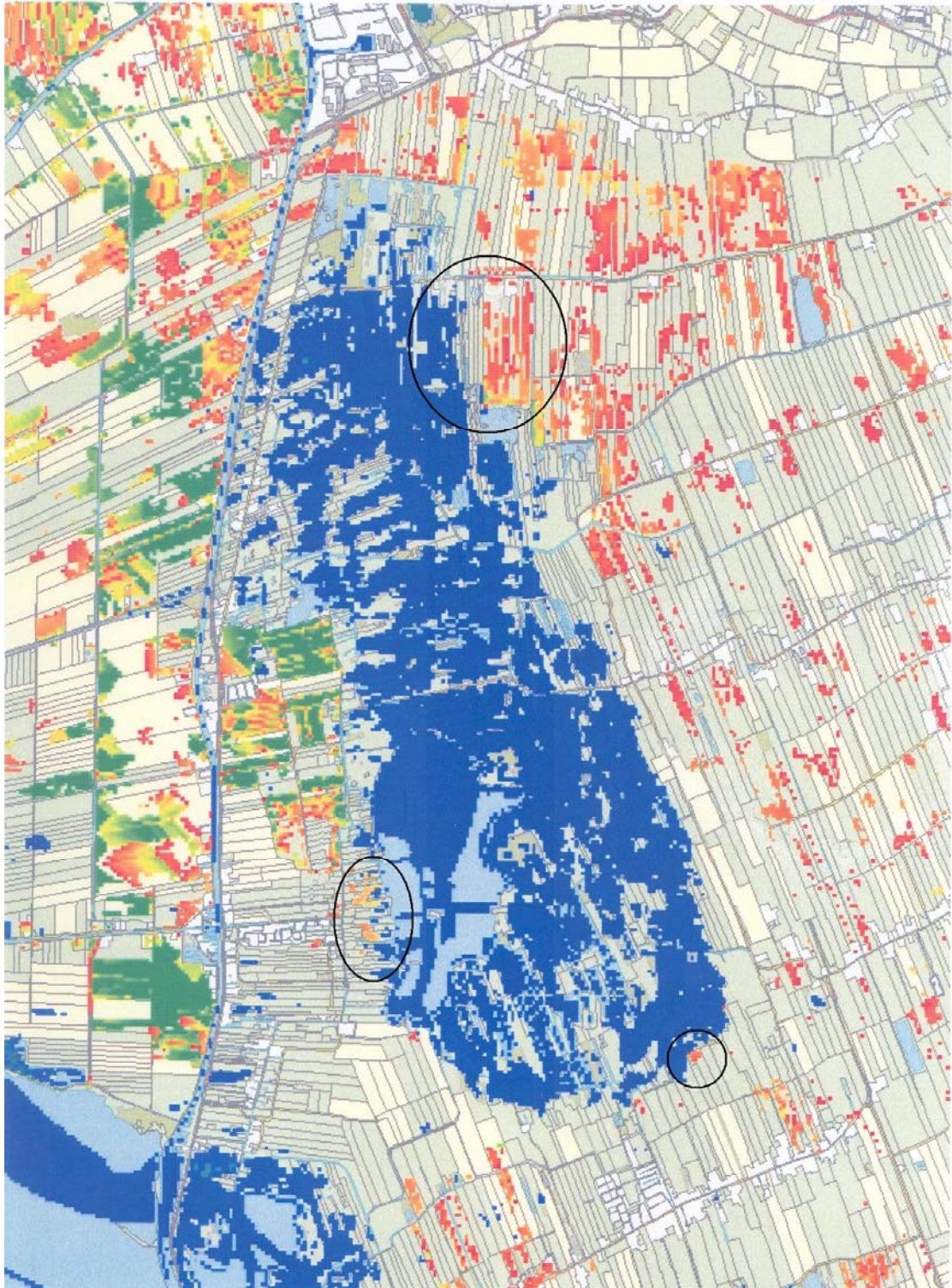
In figuur 1 t/m 2 is op de betreffende kwel- en infiltratiekaarten aangegeven met zwarte kaders welke deelgebieden van de potentieel geschikte slootcomplexen zijn bekeken tijdens een veldbezoek. In figuur 3 is de ligging van de onderzoekslocaties aangegeven op de kwel- en infiltratiekaart van de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven.



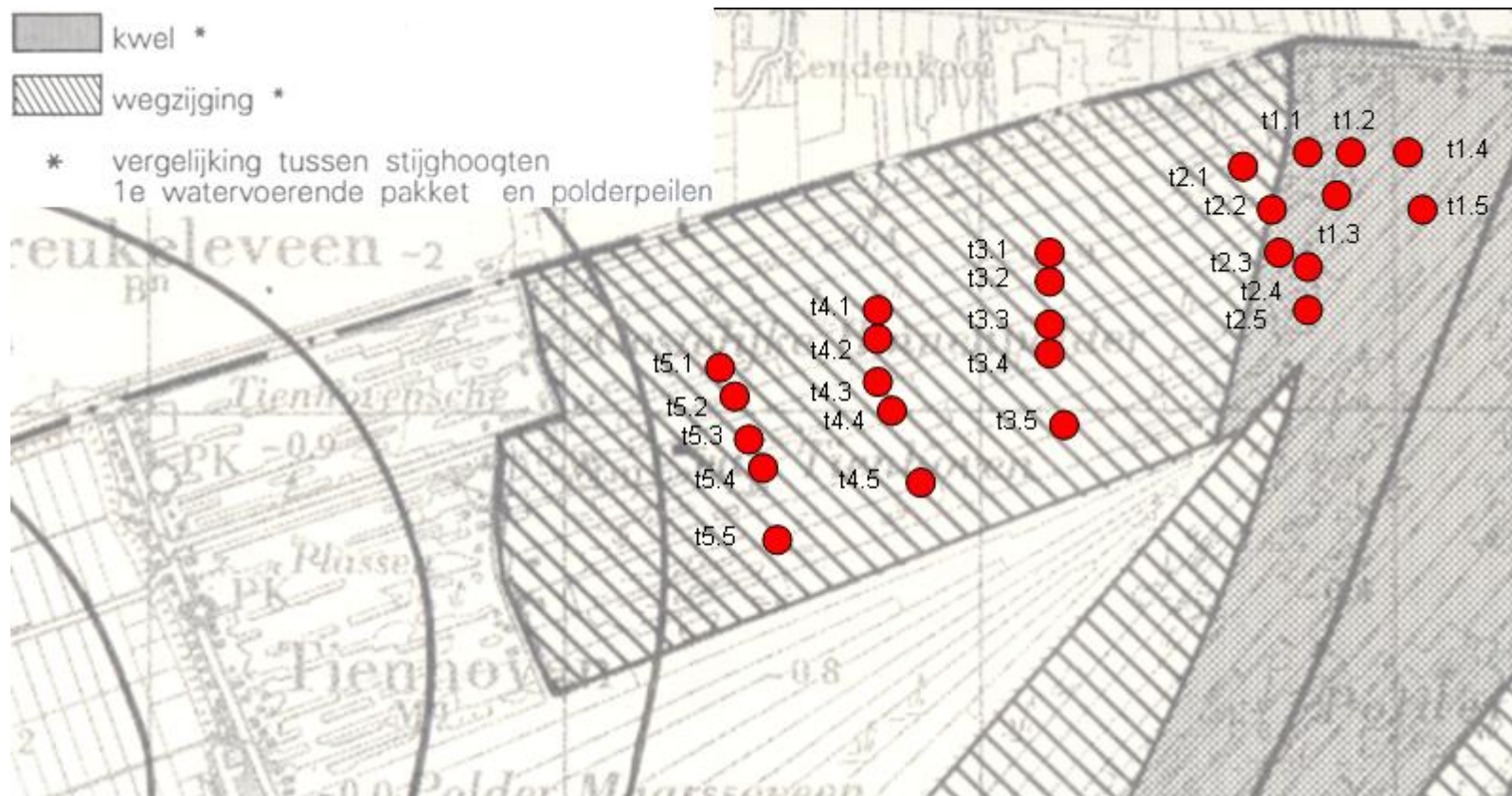
Figuur 1. Kwel- en infiltratiekaart omgeving Naardermeer.



Figuur 2a. Kval- en infiltratiekaart laagveengebied De Wieden (bron:Natuurmonumenten).



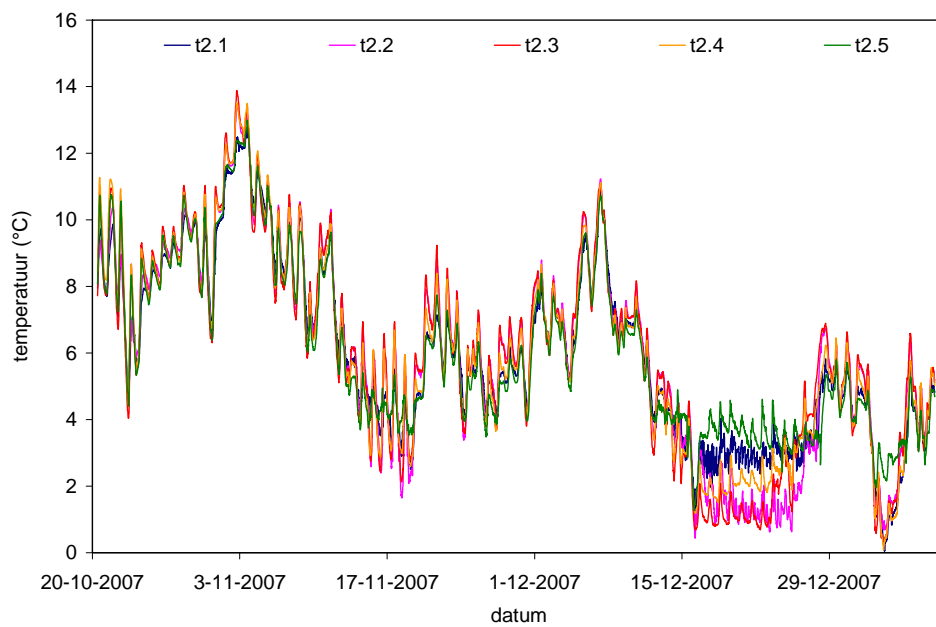
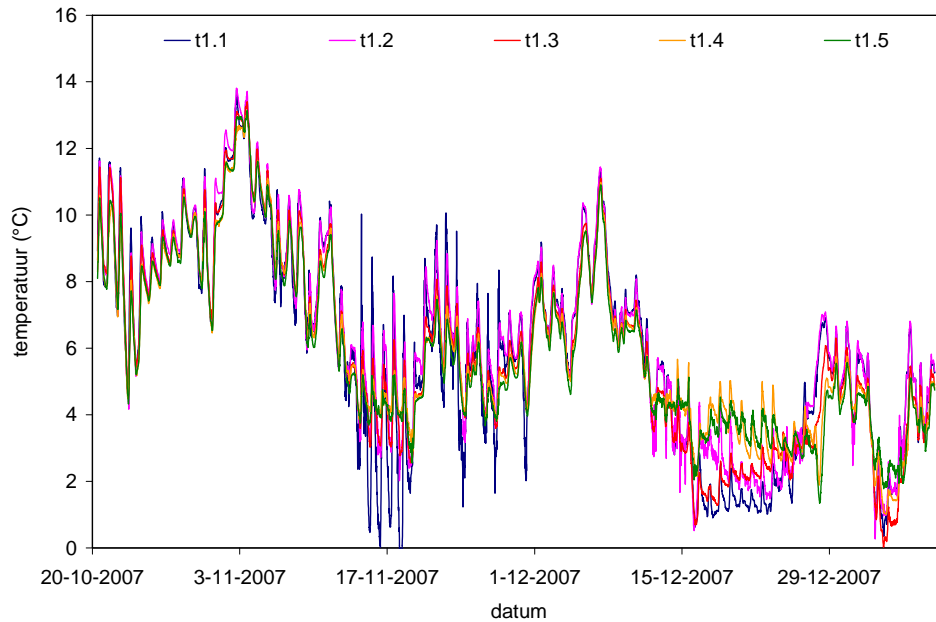
Figuur 2b. Kvel- en infiltratiekaart laagveengebied De Wieden (bron:Natuurmonumenten).

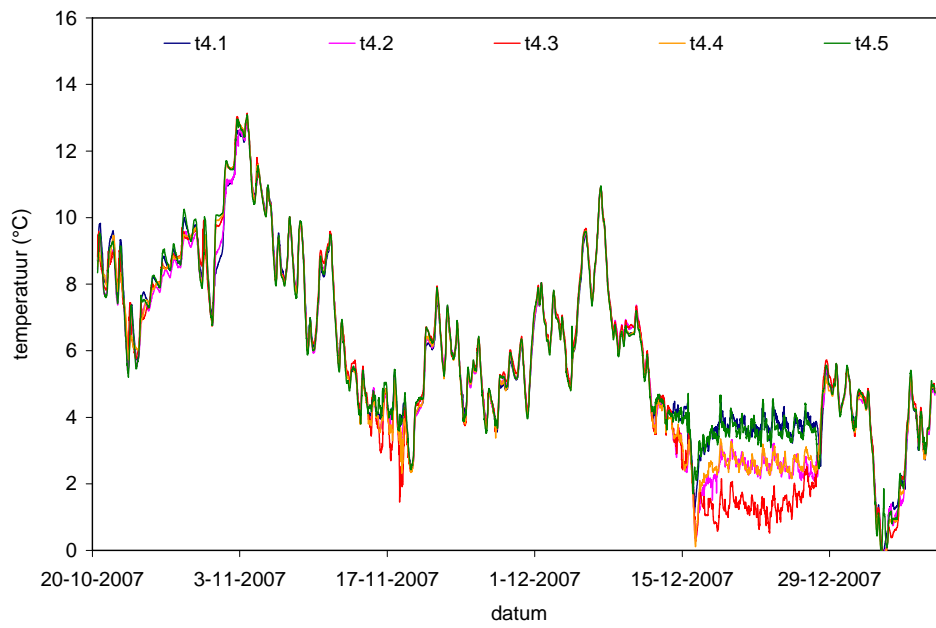
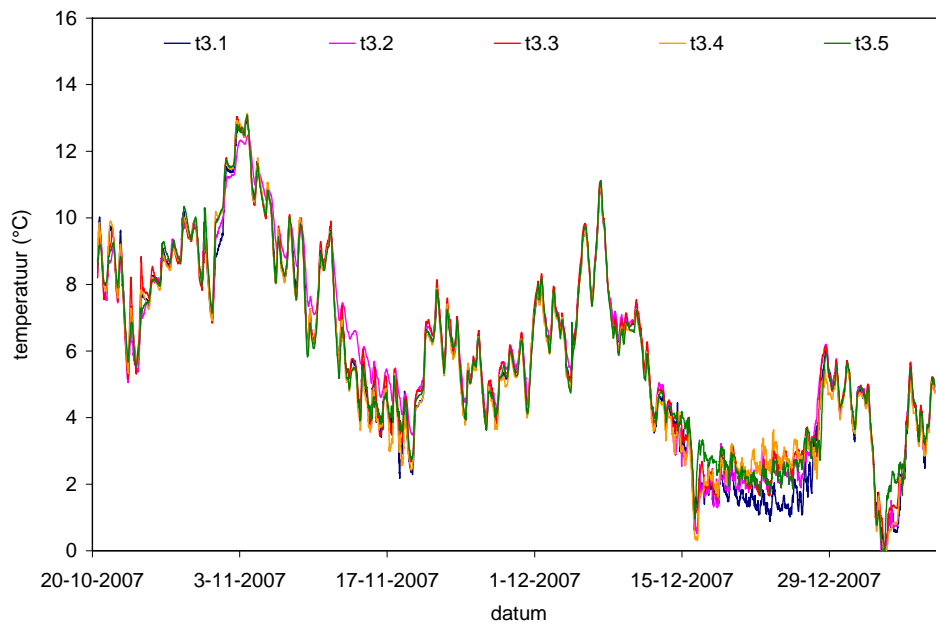


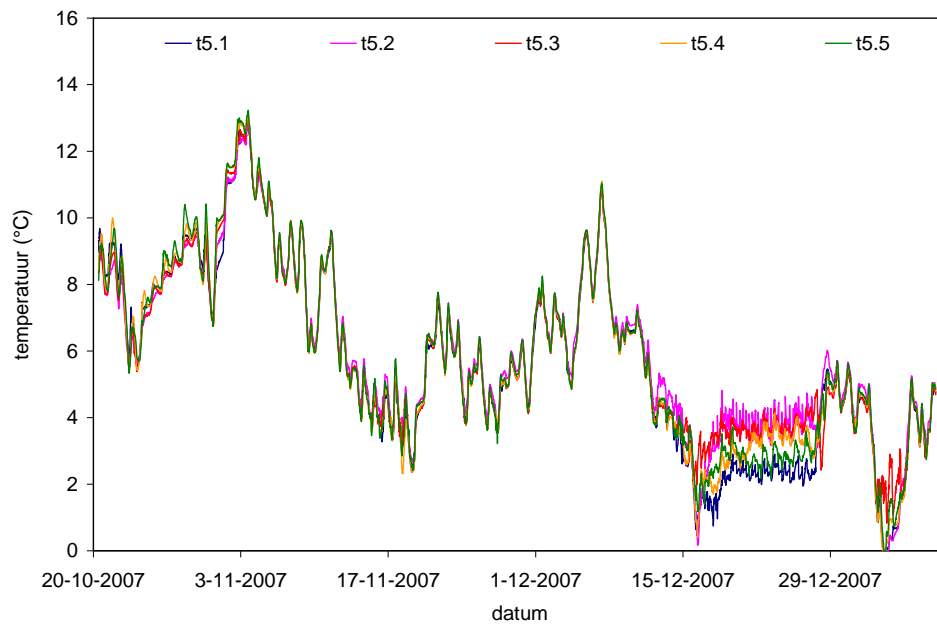
Figuur 3. Kwel- en infiltratiekaart van de Oostelijke binnenpolder van Tienboven (bron: Beltman et al., 1988).

Bijlage 3 Verloop temperatuur op 25 slootlocaties in Tienhoven

In de onderstaande figuren wordt het verloop van de gemiddelde dagtemperatuur weergegeven voor de 25 slootlocaties in de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven. Per figuur worden vijf locaties weergegeven met vergelijkbare kwelintensiteit volgens Beltman et al. (1988).







Bijlage 4 Chemische samenstelling oppervlaktewater sloten

In tabel 1 en 2 worden de macro-ionen- en nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater weergegeven voor de 25 slootlocaties in de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven.

Tabel 1. De nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater in de sloten uit de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven.

locatie	Kj-N	NH ₄	NO ₃	NO ₂	o-PO ₄	t-P
t1.1	1.320	0.306	<0.10	0.007	<0.005	<0.020
t1.2	0.855	0.314	<0.10	0.004	<0.005	<0.020
t1.3	0.880	0.298	0.11	0.007	<0.005	<0.020
t1.4	0.820	0.137	0.14	0.006	<0.005	<0.020
t1.5	0.795	0.135	0.14	0.006	<0.005	<0.020
t2.1	1.265	0.560	0.13	0.008	<0.005	<0.020
t2.2	0.790	0.316	<0.10	0.007	<0.005	<0.020
t2.3	0.865	0.298	<0.10	0.007	<0.005	0.021
t2.4	0.795	0.277	0.12	0.006	0.006	<0.020
t2.5	0.805	0.042	<0.10	0.003	<0.005	<0.020
t3.1	0.850	0.490	0.14	0.008	0.011	0.022
t3.2	0.900	0.499	0.14	0.008	0.006	<0.020
t3.3	0.475	0.317	0.12	0.007	0.008	<0.020
t3.4	0.700	0.245	0.12	0.005	<0.005	<0.020
t3.5	1.200	0.500	0.16	0.007	0.021	0.031
t4.1	0.925	0.321	<0.10	0.004	0.006	0.061
t4.2	0.965	0.462	0.16	0.008	0.007	0.022
t4.3	0.700	0.294	0.13	0.007	0.009	0.024
t4.4	0.710	0.258	0.14	0.005	<0.005	<0.020
t4.5	2.150	0.371	0.17	0.007	0.023	0.037
t5.1	1.850	0.462	0.13	0.006	<0.005	<0.020
t5.2	1.035	0.506	<0.10	0.005	0.006	0.021
t5.3	1.550	0.299	0.14	0.006	0.006	<0.020
t5.4	1.650	0.266	0.11	0.004	0.012	<0.020
t5.5	1.950	0.335	0.18	0.007	0.016	0.023

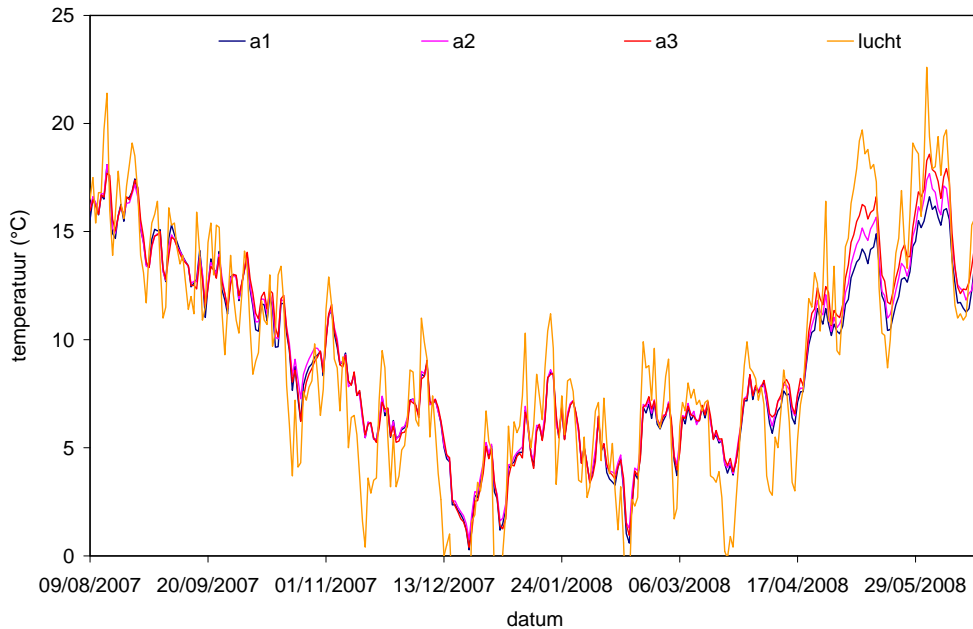
Tabel 2. De macro-ionenconcentraties van het oppervlaktewater in de sloten uit de Oostelijke binnenpolder van Tienhoven.

locatie	K	Na	Mg	Ca	Cl	hard	HCO ₃	SO ₄	t-Fe
t1.1	5.23	11.3	4.26	44.9	18.4	1.30	160	1.9	0.007
t1.2	4.09	9.2	3.42	40.3	14.7	1.15	145	1.6	0.006
t1.3	4.71	10.1	3.66	40.3	17.0	1.16	142	2.5	0.006
t1.4	3.00	9.2	3.04	37.9	16.2	1.08	128	2.5	0.012
t1.5	1.60	8.7	2.80	33.6	14.9	0.95	114	3.2	0.012
t2.1	2.80	9.5	4.02	42.3	15.8	1.22	148	5.0	0.018
t2.2	5.09	10.8	4.07	42.0	18.4	1.21	144	1.8	0.008
t2.3	4.92	10.2	3.90	45.3	17.4	1.29	162	2.5	0.012
t2.4	4.41	9.5	3.51	37.8	16.5	1.09	135	2.3	0.009
t2.5	1.04	8.0	2.68	31.5	13.5	0.90	101	2.6	0.012
t3.1	2.68	9.0	3.81	43.4	15.2	1.24	148	5.6	0.021
t3.2	3.37	9.3	3.99	43.6	15.3	1.26	151	5.7	0.023

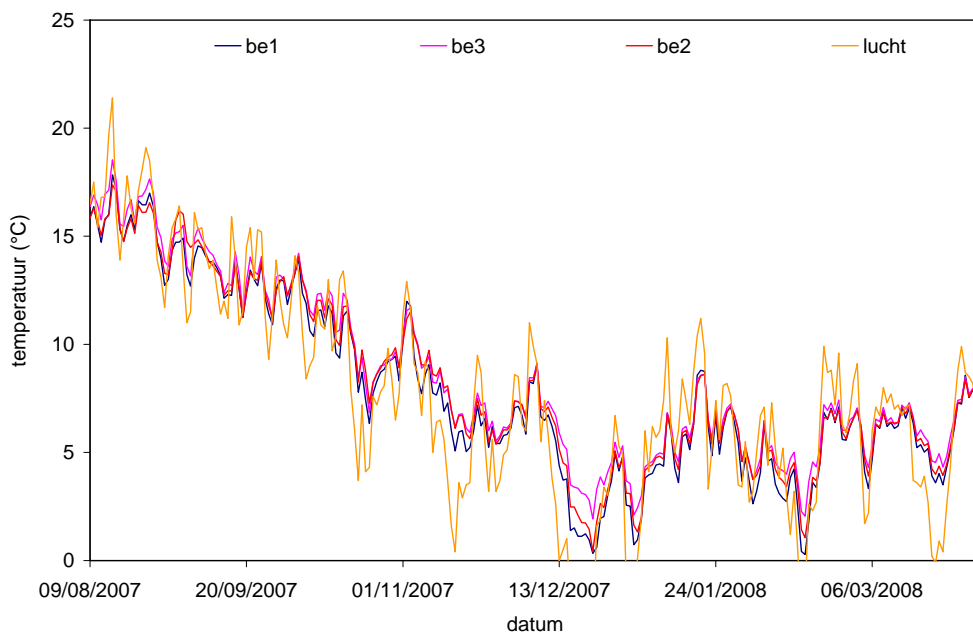
locatie	K	Na	Mg	Ca	Cl	hard	HCO₃	SO₄	t-Fe
t3.3	4.80	9.9	3.72	40.9	17.9	1.17	145	4.3	0.025
t3.4	4.27	9.5	3.55	42.3	17.1	1.20	146	3.6	0.020
t3.5	4.84	9.1	3.76	37.9	17.9	1.10	123	9.3	0.102
t4.1	3.15	9.2	3.93	44.5	15.4	1.28	149	6.9	0.027
t4.2	3.48	9.3	3.98	44.3	15.6	1.27	153	6.8	0.019
t4.3	4.94	10.0	3.78	45.5	17.8	1.29	152	5.5	0.039
t4.4	4.03	9.5	3.63	41.2	16.8	1.18	140	4.6	0.020
t4.5	4.56	9.1	3.98	41.5	17.2	1.20	131	9.4	0.114
t5.1	4.22	9.7	3.99	45.4	16.7	1.30	152	7.0	0.042
t5.2	2.71	10.4	4.20	48.3	16.6	1.38	161	7.8	0.026
t5.3	4.08	9.4	3.75	47.7	16.4	1.35	156	6.0	0.027
t5.4	4.31	9.6	3.77	43.9	17.2	1.25	148	5.5	0.035
t5.5	4.12	9.1	4.01	41.8	16.8	1.21	132	9.5	0.092

Bijlage 5 Daggemiddelde watertemperatuur beeklocaties

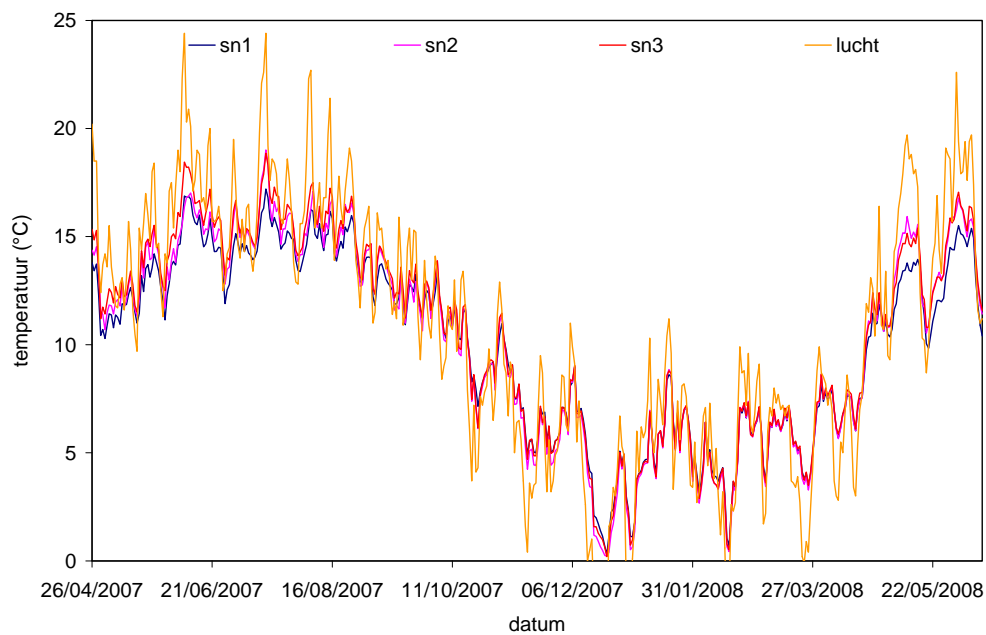
In figuur 1 t/m 8 wordt het verloop van de daggemiddelde watertemperatuur op de verschillende onderzoekslocaties weergegeven per beek.



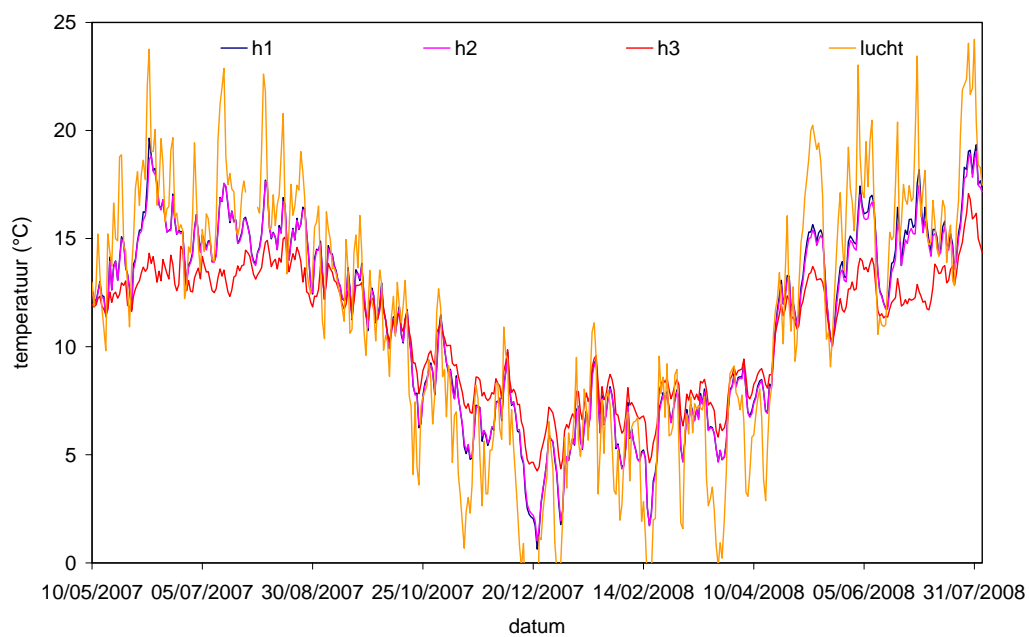
Figuur 1. Daggemiddelde watertemperatuur van de Arboretumbek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Twente.



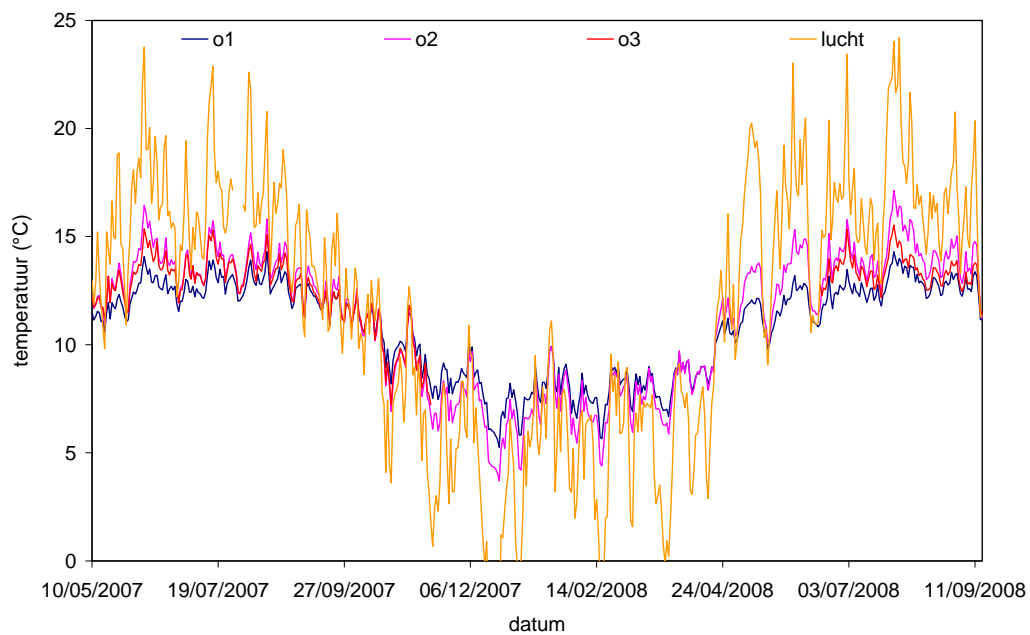
Figuur 2. De daggemiddelde watertemperatuur van de Bethlehemsche beek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Twente.



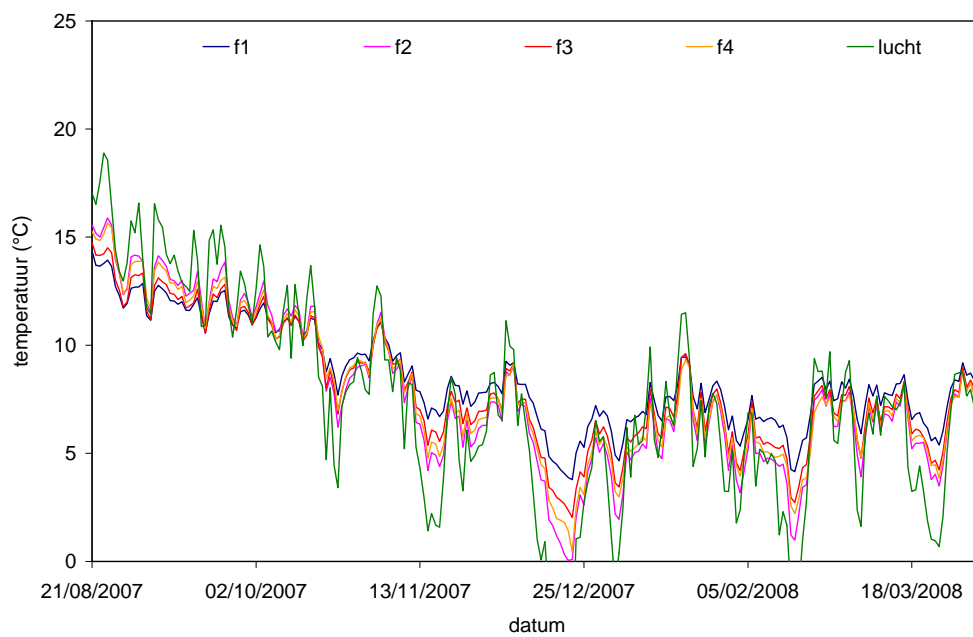
Figuur 3. De daggemiddelde watertemperatuur van de Snoeyinksebeek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Twente.



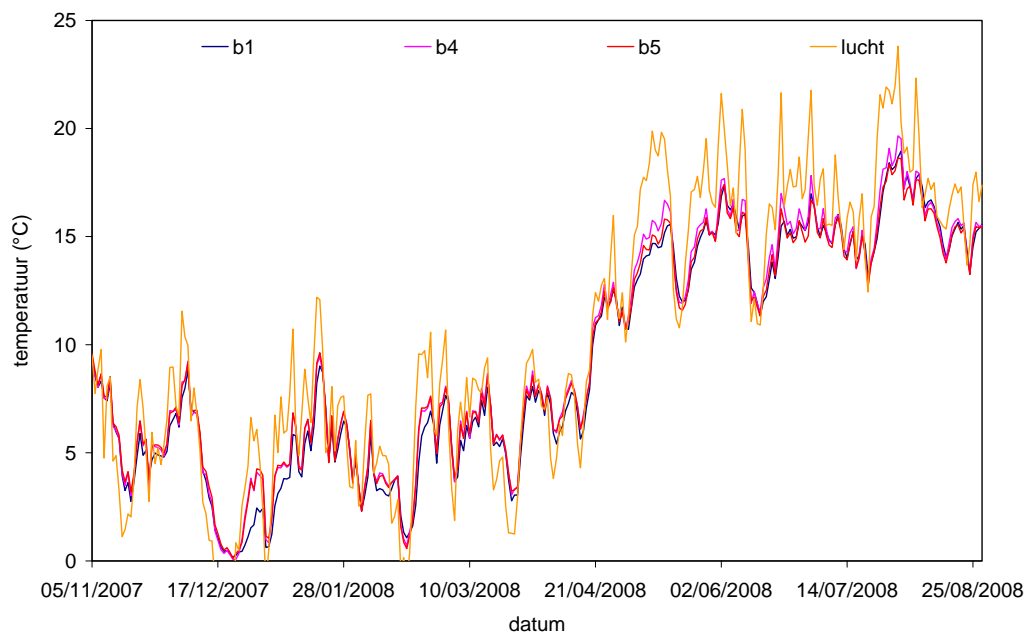
Figuur 4. De daggemiddelde watertemperatuur van de Hierdensche beek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Deelen.



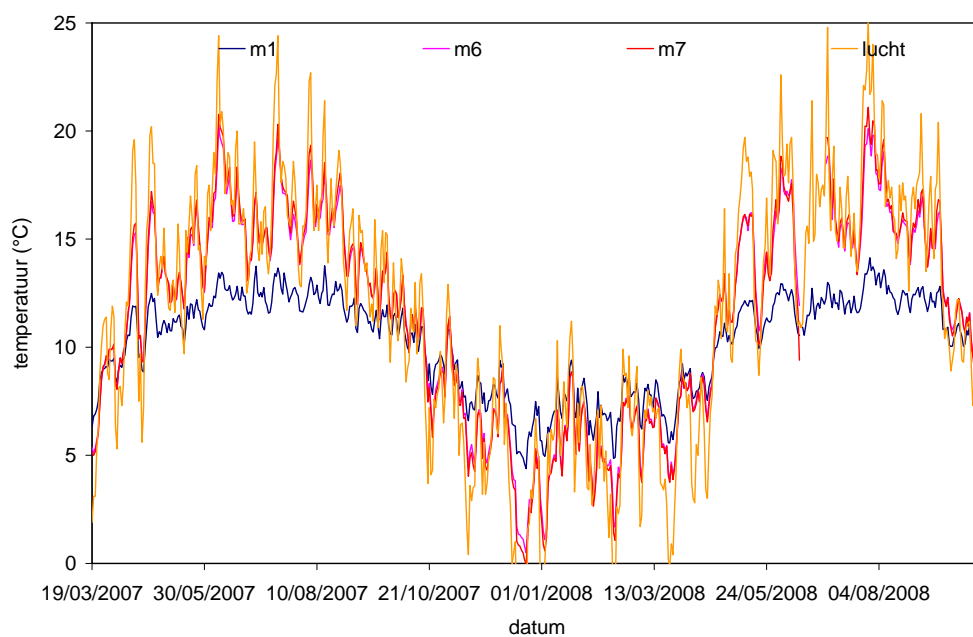
Figuur 5. De daggemiddelde watertemperatuur van de Oude beek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Deelen. In de periode 15-11-2007 – 17-06-2008 is er op locatie o3 niet gemeten.



Figuur 6. De daggemiddelde watertemperatuur van de Filosofenbeek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Volkel.



Figuur 7. De daggemiddelde watertemperatuur van de Boschbeek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Ell.



Figuur 8. De daggemiddelde watertemperatuur van de Mosbeek en de daggemiddelde luchttemperatuur van weerstation Twenthe

Bijlage 6 Chemische samenstelling oppervlaktewater beken

In tabel 1 en 2 worden de macro-ionen- en nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater weergegeven voor de 25 beeklocaties. In tabel 3 wordt weergegeven op welk tijdstip de watermonsters zijn verzameld in de verschillende beken.

Tabel 1. De nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater in de beken.

locatie	inschatting	Kj-N (mg N/l)		NH4 (mg N/l)		NO3 (mg N/l)		NO2 (mg N/l)		o-P (mg P/l)		t-P (mg P/l)	
		t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2
a1	kwel	1.70	1.00	0.099	0.11	1.810	1.91	0.038	0.07	0.081	0.07	0.070	0.08
a2	kwel	2.10	1.30	0.154	0.08	2.460	2.68	0.047	0.03	0.087	0.06	0.076	0.02
a3	wegzijging	1.00	1.20	0.096	0.07	2.880	4.62	0.035	0.03	0.086	0.06	0.081	<0.020
b1	kwel	0.66	0.57	0.046	<0.030	<0.100	<0.100	<0.002	<0.002	<0.005	<0.005	<0.020	<0.020
b4	intermediair	0.69	0.67	<0.030	<0.030	<0.100	<0.100	<0.002	<0.002	<0.005	<0.005	<0.020	<0.020
b5	wegzijging	<0.20	0.69	<0.030	<0.030	<0.100	<0.100	<0.002	<0.002	<0.005	<0.005	<0.020	<0.020
be1	wegzijging	0.61	0.63	0.083	<0.030	0.280	<0.100	0.005	<0.002	<0.005	0.01	<0.020	<0.020
be2	intermediair	1.10	1.30	<0.030	<0.030	1.760	1.04	0.005	0.01	0.048	0.04	0.054	0.03
be3	kwel	1.90	1.00	0.114	<0.030	4.760	3.44	0.025	0.02	0.006	0.01	<0.020	<0.020
f1	kwel	<0.20	0.55	<0.030	<0.030	8.600	7.69	0.015	0.02	0.007	0.01	<0.020	0.12
f2	wegzijging	<0.20	0.44	0.044	<0.030	7.340	7.06	0.010	0.01	0.018	0.01	<0.020	<0.020
f3	wegzijging	<0.20	<0.20	0.039	<0.030	8.880	8.91	0.011	0.01	0.014	0.01	<0.020	<0.020
f4	kwel	0.26	<0.20	0.091	<0.030	5.330	6.35	0.022	0.01	0.017	0.01	<0.020	<0.020
h1	wegzijging	0.78	1.00	0.034	<0.030	5.740	5.41	0.016	0.03	0.040	0.02	0.037	0.02
h2	intermediair	0.89	<0.20	0.031	0.08	5.780	1.78	0.013	0.02	0.042	0.02	0.053	<0.020
h3	kwel	0.55	1.40	0.055	<0.030	3.820	5.26	0.016	0.01	0.029	0.04	0.029	0.04
m1	kwel	<0.20	0.90	<0.030	<0.030	11.700	11.50	0.003	0.01	0.010	0.01	0.021	0.03
m6	wegzijging	0.32	0.63	0.070	0.04	7.150	6.34	0.033	0.04	0.032	0.05	<0.020	0.05
m7	wegzijging	0.32	0.61	0.043	0.04	7.160	6.41	0.032	0.03	0.078	0.07	0.076	0.05
o1	kwel	<0.20	<0.20	0.031	<0.030	5.620	5.63	0.007	0.02	0.009	<0.005	<0.020	<0.020
o2	kwel	<0.20	0.28	0.081	<0.030	8.230	7.25	0.016	0.03	0.011	<0.005	<0.020	<0.020
o3	intermediair	<0.20	<0.20	0.081	0.05	11.800	10.50	0.017	0.01	0.015	0.02	<0.020	<0.020
s1	wegzijging	5.90	2.70	4.110	0.34	1.010	7.07	0.130	0.15	0.875	0.41	0.787	0.40
s2	intermediair	1.10	3.30	0.050	0.20	1.390	2.27	0.014	0.05	0.390	0.27	0.355	0.13
s3	kwel	2.00	2.40	0.072	0.08	5.140	2.34	0.108	0.03	0.408	0.16	0.408	0.18

Tabel 2. De macro-ionenconcentraties van het oppervlaktewater in de beken.

locatie	inschatting	K (mg/l)		Na (mg/l)		Cl (mg /l)		Mg (mg /l)		Ca (mg /l)		hardheid (mmol/l)		HCO3 (mg/l)		SO4 (mg/l)		t-F (mg/l)
		t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1	t=2	t=1
a1	kwel	7.54	9.39	10.7	10.1	20.2	19.7	6.17	7.16	49.8	58.1	1.5	1.74	153	177	38.5	36.7	<0.005
a2	kwel	10.7	12.7	12.9	13.6	24.1	22.7	5.84	8.1	40.7	52.5	1.26	1.64	124	157	36.7	35.7	0.018
a3	wegzijging	11.5	12.5	13.8	14.9	24.5	24	6.06	8.43	42.4	52.2	1.31	1.65	123	154	40.3	39.1	0.021
b1	kwel	0.37	1.21	4.82	4.18	5.46	8.25	0.96	0.68	3.03	3.03	0.12	0.1	11	6	1.01	4.47	1.66
b4	intermediair	0.66	0.85	6.02	4.72	7.78	8.4	1.52	1.13	14.2	12.7	0.42	0.36	34	29	8.01	12.4	0.347
b5	wegzijging	0.82	1.01	6.8	5.54	9.01	9.46	1.59	1.18	12.3	10	0.37	0.3	27	20	10.7	13.6	0.349
be1	wegzijging	11.1	12.7	11.8	13.3	25.1	26.2	11.1	12	110	94.9	3.19	2.86	299	220	68.1	95.6	0.032
be2	intermediair	9.83	12.8	14.5	18.7	26.2	24.8	9.23	12.3	80.4	72.8	2.39	2.32	221	196	63.7	73.1	0.015
be3	kwel	12.1	12.7	13.6	19.5	25.8	30.1	8.54	11.5	59.7	55.9	1.84	1.87	161	131	50.4	65.5	0.114
f1	kwel	4.32	4.42	14.3	13.4	21.8	21.4	9.52	9.03	38.7	38.2	1.36	1.32	75	74	53.2	51.1	0.012
f2	wegzijging	4.63	4.67	14.9	13.6	21.2	21.8	9.51	8.89	38.3	38.5	1.35	1.33	77	81	46.8	48.1	0.027
f3	wegzijging	2.09	2.51	13.9	14.1	21.5	21.5	7.19	8.7	37.8	43.2	1.24	1.44	75	84	47.5	48.7	<0.005
f4	kwel	1.79	2.06	12.5	12.7	20.5	20.6	5.8	7.58	33.4	35.5	1.07	1.2	75	71	40.5	41.4	<0.005
h1	wegzijging	12.4	15	16.7	16.2	32.1	32.1	3.89	5	23.4	28.7	0.74	0.92	47	56	33.2	32.7	0.029
h2	intermediair	13	7.08	16.5	13.4	32	27.7	4.08	3.89	24.3	35.8	0.77	1.05	46	84	33.6	29.3	0.03
h3	kwel	9.74	14.6	15.4	16	30	31.2	3.58	4.97	27.5	29.3	0.83	0.93	61	55	31.2	32.3	0.021
m1	kwel	9.47	10.4	17.4	17.2	43.6	43	9.54	9.53	26.9	27.6	1.06	1.08	23	24	39.6	40.8	0.01
m6	wegzijging	10.2	11.7	15.7	16.3	36.1	36	6.92	8.1	27.7	29.3	0.98	1.06	48	55	41.3	45.2	0.011
m7	wegzijging	10.4	12.1	15.9	17.2	36.4	36.1	6.75	8.44	26.5	31	0.94	1.12	46	58	41.5	45.1	0.011
o1	kwel	2.45	2.79	11.7	11.3	19.5	19.8	2.41	2.83	18.8	19.8	0.57	0.61	32	35	19.9	20.8	<0.005
o2	kwel	4.23	4.55	16.6	16.6	31.2	27.6	3.74	4.28	26.4	27.3	0.81	0.86	38	45	30.2	27.6	<0.005
o3	intermediair	4.67	4.77	16.9	16.8	31	28.6	4.82	5.31	29.2	30.3	0.93	0.98	38	41	33.7	31	<0.005
s1	wegzijging	12.7	24.7	27.3	18.9	42.9	35	5.15	8.64	31.8	39.4	1	1.34	141	96	19.2	49.4	0.035
s2	intermediair	15	15.2	10.8	12.8	19.5	28.3	5.99	6.94	32.4	35.6	1.05	1.17	114	124	19.9	26	0.042
s3	kwel	31.9	13.1	19.1	12.3	34.7	22.3	9.38	7.47	36.9	41.7	1.31	1.35	140	127	30.6	22.7	0.04

Tabel 3. Tijdstip waarop de watermonsters in de verschillende beken zijn verzameld.

beek	t=1	t=2
a	08-08-07	06-11-07
b	29-08-07	05-11-07
be	08-08-07	06-11-07
f	21-08-07	05-11-07
h & o	07-08-07	08-11-07
m	25-07-07	08-11-07
s	25-07-07	07-11-07

Bijlage 7 Temperatuurparameters, morfologische en hydrologische karakteristieken beeklocaties

In tabel 1 t/m 8 worden de waarden voor verschillende temperatuurparameters en enkele morfologische en hydrologische variabelen, die mogelijk van invloed zijn geweest op de watertemperatuur, weergegeven per beek.

Tabel 1. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Arboretumbeek

parameter	locatie		
	a1	a2	a3
gemiddelde temperatuur (°C)	9.0	9.2	9.3
gemiddelde dagamplitudo (°C)	2.6	2.0	1.9
gemiddeld dagverschil met 10 °C	3.8	3.8	4.0
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.709	0.720	0.758
intercept lineaire regressie (°C)	2.6	2.7	2.5
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.873	0.882	0.880
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.256	0.247	0.260
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.680	0.695	0.697
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.982	0.986	0.986
breede-diepteverhouding	25	17	16
natte dwarsdoorsnede (m ²)	0.077	0.253	0.557
breedte (m)	1.1	1.8	2.5
debiet (l/s)	6.8	32.5	29.8
onderlinge afstand (m)		1600	1500
beschaduwning traject (%)		43	59
aantal zijbeken		2	1
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie a1/a2, a2/a3		1.01	1.05
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) a1/a2, a2/a3		0.15	-0.38
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	9.0		
periode	09-08-2007 t/m 21-06-2008		

Tabel 2. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Bethlehemse beek

parameter	locatie		
	be1	be2	be3
gemiddelde temperatuur (°C)	7.9	8.2	8.5
gemiddelde dagamplitudo (°C)	2.1	1.6	2.1
gemiddeld dagverschil met 10 °C	4.2	4.0	3.9
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.776	0.741	0.732
intercept lineaire regressie (°C)	1.9	2.5	2.9
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.865	0.837	0.837
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.305	0.241	0.238
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.650	0.719	0.716
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.975	0.981	0.979
breede-diepteverhouding	14	38	22
natte dwarsdoorsnede (m ²)	0.036	0.046	0.160
breedte (m)	0.7	0.9	1.7
debiet (l/s)	1.0	4.0	10.8
onderlinge afstand (m)		880	1200
beschaduwning traject (%)		12	41

parameter	locatie		
	be1	be2	be3
aantal zijbeken		0	1
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie be1/be2, be2/be3		0.97	0.98
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) be1/be2, be2/be3		0.59	0.44
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	7.7		
periode	09/08/2007-04/04/2008		

Tabel 3. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Snoeyinksbek.

parameter	locatie		
	s1	s2	s3
gemiddelde temperatuur (°C)	10.0	10.2	10.4
gemiddelde dagamplitudo (°C)	1.8	2.4	2.5
gemiddeld dagverschil met 10 °C	3.7	4.1	4.2
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.673	0.747	0.757
intercept lineaire regressie (°C)	2.7	2.2	2.3
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.898	0.909	0.911
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.233	0.285	0.286
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.687	0.649	0.654
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.988	0.984	0.987
breedte-diepteverhouding	28	25	23
natte dwarsdoorsnede (m ²)	0.056	0.228	0.091
breedte (m)	1.1	1.6	1.3
debiet (l/s)	2.1	9.1	18.4
onderlinge afstand (m)		981	976
beschaduwings traject (%)		59	61
aantal zijbeken		2	0
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie s1/s2, s2/s3		1.10	1.01
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) s1/s2, s2/s3		-0.75	0.14
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	10.7		
periode	26/04/2007-14/06/2008		

Tabel 4. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Hierdense beek.

parameter	locatie		
	h1	h2	h3
gemiddelde temperatuur (°C)	11.1	11.0	10.7
gemiddelde dagamplitudo (°C)	1.3	1.0	1.1
gemiddeld dagverschil met 10 °C	4.1	4.0	2.6
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.695	0.680	0.440
intercept lineaire regressie (°C)	3.3	3.4	5.7
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.919	0.912	0.880
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.263	0.240	0.131
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.651	0.678	0.735
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.988	0.989	0.983
breedte-diepteverhouding	19	11	27
natte dwarsdoorsnede (m ²)	0.884	0.529	0.423
breedte (m)	3.7	2.4	3.4
debiet (l/s)	107.1	107.9	148.0
onderlinge afstand (m)		1600	2500
beschaduwings traject (%)		100	62

parameter	locatie		
	h1	h2	h3
aantal zijbeken		1	5
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie h1/h2, h2/h3		0.98	0.65
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) h1/h2, h2/h3		0.11	3.53
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	11.3		
periode	10-05-2007 t/m 04-08-2008		

Tabel 5. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Oude beek.

parameter	locatie		
	o1	o2	o3
gemiddelde temperatuur (°C)	12.2	13.1	12.7
gemiddelde dagamplitudo (°C)	2.0	2.5	1.9
gemiddeld dagverschil met 10 °C	2.3	3.3	2.9
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.273	0.451	0.376
intercept lineaire regressie (°C)	8.1	6.3	7.0
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.872	0.905	0.892
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.148	0.246	0.203
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.519	0.511	0.517
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.946	0.968	0.959
breede-diepteverhouding	30	15	24
natte dwarsdoorsnede (m ²)	0.237	0.294	0.307
breedte (m)	2.6	2.0	2.7
debiet (l/s)	40.3	77.5	80.9
onderlinge afstand (m)		2000	1100
beschaduwning traject (%)		33	16
aantal zijbeken		1	1
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie o1/o2, o2/o3		1.59	0.83
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) o1/o2, o2/o3		-6.34	1.90
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	15.0		
periode	10-05-2007 t/m 15-09-2008		

Tabel 6. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Filosofenbeek.

parameter	locatie			
	f1	f2	f3	f4
gemiddelde temperatuur (°C)	8.5	7.7	8.0	7.9
gemiddelde dagamplitudo (°C)	1.5	2.2	1.7	1.6
gemiddeld dagverschil met 10 °C	2.4	3.6	3.0	3.4
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.476	0.722	0.582	0.653
intercept lineaire regressie (°C)	5.0	2.4	3.7	3.1
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.913	0.927	0.923	0.909
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.235	0.392	0.310	0.312
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.543	0.492	0.504	0.560
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.979	0.980	0.980	0.982
breede-diepteverhouding	13	19	15	20
natte dwarsdoorsnede (m ²)	0.009	0.012	0.029	0.029
breedte (m)	0.3	0.5	0.6	0.8
debiet (l/s)	3.6	3.0	7.0	3.4
onderlinge afstand (m)		396	302	212
beschaduwning traject (%)		100	100	100

parameter	locatie			
	f1	f2	f3	f4
aantal zijbeken		0	0	0
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie f1/f2, f2/f3, f3/f4		1.49	0.81	1.13
intercept onderlinge lineaire regressie (°C)		-5.04	1.78	-1.15
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	7.3			
periode	21-08-2007 t/m 05-04-2008			

Tabel 7. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Boschbeek

parameter	locatie		
	b1	b4	b5
gemiddelde temperatuur (°C)	9.2	9.6	9.4
gemiddelde dagamplitudo (°C)	1.9	3.1	2.3
gemiddeld dagverschil met 10 °C	4.9	4.9	4.7
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.802	0.811	0.778
intercept lineaire regressie (°C)	0.9	1.2	1.4
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.916	0.946	0.940
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.243	0.342	0.314
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.722	0.600	0.620
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.991	0.989	0.989
breede-diepteverhouding	10	4	8
natte dwarsdoorsnede (m2)	0.065	0.084	0.158
breedte (m)	0.8	0.6	1.1
debiet (l/s)	3.3	7.0	10.9
onderlinge afstand (m)		1100	1700
beschaduwings traject (%)		100	100
aantal zijbeken			0
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie b1/b4, b4/b5		0.99	0.96
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) b1/b4, b4/b5		0.43	0.22
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	10.4		
periode	05-11-2007 t/m 28-08-2008		

Tabel 8. De temperatuurparameters en overige karakteristieken van de Mosbeek.

parameter	locatie		
	m1	m6	m7
gemiddelde temperatuur (°C)	10.2	11.5	11.5
gemiddelde dagamplitudo (°C)	1.8	2.1	2.9
gemiddeld dagverschil met 10 °C	2.0	4.3	4.4
richtingscoëfficiënt lucht lineaire regressie	0.371	0.764	0.802
intercept lineaire regressie (°C)	5.9	2.6	2.2
determinatiecoëfficiënt lineaire regressie	0.911	0.923	0.930
richtingscoëfficiënt lucht dynamische regressie	0.152	0.289	0.326
richtingscoëfficiënt water t-1 dynamische regressie	0.618	0.650	0.621
determinatiecoëfficiënt dynamische regressie	0.978	0.990	0.989
breede-diepteverhouding	9	13	13
natte dwarsdoorsnede (m2)	0.303	0.124	0.090
breedte (m)	1.6	1.3	1.1
debiet (l/s)	22.3	38.3	21.5
onderlinge afstand (m)		2500	962

parameter	m1	locatie	
		m6	m7
beschaduwings traject (%)		68	52
aantal zijbeken		2	0
richtingscoëfficiënt onderlinge lineaire regressie m1/m6, m6/m7		2.02	1.04
intercept onderlinge lineaire regressie (°C) m1/m6, m6/m7		-9.16	-0.48
gemiddelde luchttemperatuur (°C)	11.7		
periode	19-03-2007 t/m 09-10-2008		

Bijlage 8 Beschrijving bodemprofiel per beeklocatie

Mosbeek

M1

0-60 cm kleiig veen
60-130 cm lichte klei met grind (doorlaatbaar)
> 130 cm zandig
Afstand maaiveld tot beekbodem : 35 cm

M2

0-20 cm kleiige bosgrond
20-40 cm zand
40-120 cm zandig grind
>120 cm ?
Afstand maaiveld tot beekbodem : 28 cm

M3

0-40 cm kleiige bosgrond
40-120 cm kleiig zand
> 120 cm ?
Afstand maaiveld tot beekbodem : 33 cm

M4

0-50 cm zand
> 50 cm klei
Afstand maaiveld tot beekbodem : 44 cm

M5

0-30cm zand
> 30 cm klei
Afstand maaiveld tot beekbodem : 50 cm

Bosbeek

B1

0-7 cm veen
7-14 cm zandig veen
14-24 cm wit zand
24-140 cm zandig veen (goed doorlaatbaar)
> 140 cm ?
Afstand maaiveld tot beekbodem : 13 cm

B2

0-8 cm veen
8-13 cm zand
13-150 cm vettig zand met veen
Afstand maaiveld tot beekbodem : 24 cm

B3

0-145 cm veen dat naar beneden toe geleidelijk steeds zandiger wordt
> 145 cm zandige klei
Afstand maaiveld tot beekbodem : 26 cm

B4

0-15 cm veen
15-52 cm wit zand
52-110 cm kleiig zand
110-170 cm donkerder grindig zand
Afstand maaiveld tot beekbodem : 15 cm

B5

0-10 cm zandige bosgrond
10-130 cm wit zand
130-150 cm grindig zand
> 150 cm ?
Afstand maaiveld tot beekbodem : 22 cm



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

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

Meer informatie: www.alterra.wur.nl