



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren

III. Zuurstof als sleutelfactor in laagveensloten

R. Loeb
P.F.M. Verdonchot
M.W. van den Hoorn
T.B.M. Dekkers
J.A. Sinkeldam
C.M. Waasdorp



Alterra-rapport 1852, ISSN 1566-7197



Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren

Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren

III. Zuurstof als sleutelfactor in laagveensloten

R. Loeb

P.F.M Verdonshot

M.W. van den Hoorn

T.B.M. Dekkers

J.A. Sinkeldam

C.M. Waasdorp

Alterra-rapport 1852

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Loeb, R., P.F.M. Verdonschot, M.W. van den Hoorn, D. Dekkers, J.A. Sinkeldam & D. Waasdorp, 2009. *Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren; III. Zuurstof als sleutelfactor in laagveensloten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1852. 73 blz.; 60 fig.; 2 tab.; 29 ref.

Dit rapport beschrijft onderzoek naar mogelijke sleutelfactoren voor aquatisch ecologische kwaliteit in laagveensloten. Laagveensloten vertonen in de zomer zeer lage zuurstofconcentraties aan de bodem door het optreden van temperatuurstratificatie. Uit experimenten bleek dat lage zuurstofconcentraties aan de bodem ervoor kunnen zorgen dat dieren naar zuurstofrijkere waterlagen migreren waar ze beter kunnen overleven. Kortdurende zuurstofarme periodes kunnen ook onderin de waterkolom overbrugd worden. Als zuurstofconcentraties als gevolg van een slechte waterkwaliteit langdurig over de hele waterkolom laag zijn, verschuift de macrofaunagemeenschap naar een gemeenschap met meer poly- en alfa-mesosprobe soorten.

Trefwoorden: sleutelfactoren, zuurstof, sloten, laagveen, *Gammarus pulex*, *Radix peregra/ovata*, *Asellus aquaticus*.

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 veeleelvoudigd 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 Achteruitgang slootkwaliteit	11
1.2 Opzet van het onderzoek	11
1.3 Zuurstofhuishouding in sloten	12
1.4 Onderzoeksvragen	13
1.5 Belang voor water- en natuurbeheer en -beleid	14
1.6 Leeswijzer	14
2 Materiaal en methode	15
2.1 Gebiedsbeschrijving	15
2.1.1 Reeënweg	15
2.1.2 De Bramen	16
2.1.3 Groen Kruispunt	17
2.1.4 Bollemaat	18
2.1.5 Vijver bij Alterra	18
2.2 Veldonderzoek	19
2.2.1 Zuurstofdynamiek	19
2.2.2 Chlorofyl-a	19
2.2.3 Fytoplankton	19
2.2.4 Chemische waterkwaliteit	20
2.2.5 Macrofauna	20
2.3 Herkomst macrofauna en slib voor experiment	20
2.4 Tijdreeks zuurstofloosheid	20
2.5 Stratificatie-experiment	21
2.6 Veldexperimenten	24
2.7 Statistische analyse	25
3 Resultaten	27
3.1 Veldonderzoek	27
3.1.1 Zuurstofdynamiek	27
3.1.2 Fytoplankton	29
3.1.3 Chemische waterkwaliteit	30
3.1.4 Macrofauna	32
3.2 Tijdreeks zuurstofloosheid	32
3.3 Stratificatie-experiment	35
3.4 Veldexperimenten	37
3.4.1 Bollemaat	37
3.4.2 Veldexperiment vijver bij Alterra	38

4	Conclusies	41
4.1	Veldonderzoek	41
4.1.1	Waterkwaliteit	41
4.1.2	Zuurstofdynamiek	41
4.2	Experimenten	42
4.3	Conclusies voor de veldsituatie	43
	Literatuur	47
	Bijlage 1 Fytoplanktonconcentraties	51
	Bijlage 2 Zuurstofprofielen	55
	Bijlage 3 Chemische waterkwaliteit	67

Woord vooraf

Het is bekend dat de aquatisch ecologische kwaliteit van sloten afgelopen decennia sterk achteruit is gegaan door veranderingen in nutriëntenconcentraties en door hydrologische veranderingen. Deze stuurvariabelen (variabelen die direct door de mens beïnvloedbaar zijn) hebben echter geen directe invloed op de samenstelling van de macrofaunagemeenschap. Het is nog goeddeels onbekend welke sleutelfactoren (factoren die rechtstreeks van invloed zijn op biota) in sloten de samenstelling wel in belangrijke mate bepalen. Bij deze sleutelfactoren moet gedacht worden aan factoren als zuurstofconcentratie en temperatuur. In dit onderzoek is ingegaan op de effecten van lage zuurstofconcentraties aan de slootbodem voor verschillende macrofauna-soorten.

Voor het beleid is het van groot belang om te weten welke factoren een sleutelrol spelen in de biologische kwaliteit van sloten. Een betere kennis van sleutelfactoren leidt tot een beter gespecificeerd meet- en beheerprogramma bij waterbeheerders. Ook kunnen de in dit onderzoek gemeten waarden gebruikt worden voor eventuele aanpassingen in de normstelling voor de Kaderrichtlijn Water. Daarnaast leidt een betere kennis van het functioneren van aquatische ecosystemen tot beter inzicht in hoe een systeem hersteld kan worden of hoe bijvoorbeeld klimaatverandering kan ingrijpen op het ecosysteem. De keuze van geschikte beheermaatregelen is efficiënter als onderliggende processen bekend zijn.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend Onderzoek, Cluster Ecologische Hoofdstructuur, thema Ecologische doelen en maatlatten waterbeheer van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Wij danken Vereniging Natuurmonumenten, Waterschap Groot Salland en Waterschap Reest en Wieden voor hun hulp bij de selectie van locaties en het aandragen van informatie. We willen Rink Wiggers bedanken voor zijn bijdrage aan de experimenten.

Samenvatting

Dit rapport vormt het laatste in een reeks van drie van een meerjarig onderzoek naar sleutelfactoren voor ecosysteemfunctioneren. Sleutelfactoren zijn factoren die directe invloed uitoefenen op organismen. Als voorbeeld wordt er in dit project gekeken naar de sleutelfactoren die een rol spelen bij het voorkomen van macrofaunagemeenschappen in laagveensloten. In 2006 is er vooral ingegaan op de rol van temperatuur op de samenstelling van levensgemeenschappen in sloten. Uit dit onderzoek bleek dat andere factoren dan temperatuur hierin mogelijk belangrijker waren. In 2007 richtte het onderzoek zich daarom op fluctuaties in de abiotiek. Er werd gekeken naar jaarfluctuaties in nutriënten en daarmee samenhangend in fytoplankton, maar ook werd er gekeken naar dagfluctuaties in zuurstofconcentraties op verschillende dieptes in de sloten. Uit dit onderzoek bleek dat stratificatie door temperatuurverschillen een veelvoorkomend fenomeen is in laagveensloten. Door deze stratificatie konden er in warme perioden aan de bodem zuurstofarme omstandigheden ontstaan. Als het daarbij 's nachts maar weinig afkoelde, konden deze zuurstofarme perioden soms enkele dagen aanhouden.

De vraag die hieruit naar voren kwam, was of de zuurstofhuishouding een sleutelfactor vormt voor de macrofaunagemeenschap. Dit is in 2008 onderzocht met behulp van experimenten. In deze experimenten zijn drie testsoorten gebruikt: *Gammarus pulex*, een vlokreeft, *Asellus aquaticus*, een waterpissebed, en *Radix peregra/ovata*, een slak. *Gammarus pulex* bleek het slechtst tegen langdurige zuurstofloosheid te kunnen en *Radix peregra/ovata* het best. In een experiment waarin stratificatie werd nagebootst, zwommen *Gammarus pulex* en *Asellus aquaticus* naar de bovenste zuurstofrijke laag om aan de zuurstofloosheid te ontkomen. *Radix peregra/ovata* overleefde de 24 uur durende zuurstofloosheid echter even goed in de zuurstofloze onderste helft van de waterkolom als in de zuurstofrijke bovenste.

Zuurstofconcentraties kunnen deels de verschillen verklaren tussen macrofaunagemeenschappen in sloten en in stromende wateren. De macrofauna in sloten is beter aangepast aan lagere zuurstofconcentraties en kan korte periodes van zuurstofloosheid doorstaan. Tijdens zuurstofstratificatie zullen de meeste soorten naar de zuurstofrijkere bovenkant van de sloten kunnen migreren. Binnen sloten met tijdelijke zuurstofloosheid door stratificatie zal zuurstof daarom geen direct sturende sleutelfactor zijn, maar kan wel de concurrentieverhoudingen tussen soorten bepalen. Anders ligt dat als de zuurstofconcentratie in de hele sloot gedurende een groot deel van het jaar zeer laag is. Uit het onderzoek bleek dat in de sloten waarin dit voorkwam, er meer polysaprobe en alfa-mesosaprobe soorten voorkwamen.

Zuurstofarme periodes blijken onder invloed van stratificatie van nature voor te komen in sloten, ook als deze een goede waterkwaliteit hebben. Hier wordt in de uitwerking van de Kaderrichtlijn Water geen rekening mee gehouden. Behalve dat de normen aangepast zouden moeten worden, zou er ook gespecificeerd moeten worden hoe zuurstofverzadiging gemeten zou moeten worden (diepte en tijdsduur metingen).

1 Inleiding

1.1 Achteruitgang slootkwaliteit

Hoewel sloten zijn aangelegd met het doel om water af te voeren, zijn slootsystemen vaak ook uit ecologisch oogpunt waardevol omdat ze een hoge biodiversiteit kunnen herbergen. Sloten zijn niet alleen in agrarisch of bebouwd gebied te vinden, maar zijn ook vaak aanwezig in natuurgebieden. Door menselijke beïnvloeding is de kwaliteit van veel sloten in Nederland achteruit gegaan. In veel gebieden is de hydrologie van natuurgebieden veranderd 1) door omgekeerd peilregime, waardoor het waterpeil in de zomer hoger is dan in de winter en 2) door de vermindering van kwelstromen door versnelde waterafvoer. Daarnaast is ook de kwaliteit van het slootwater veranderd door o.a. eutrofiëring, inlaat van gebiedsvreemd water en het wegvallen van de kweldruk. Al deze veranderde factoren hebben een effect gehad op het voorkomen van macrofyten en macrofauna. Omdat deze factoren door de mens direct beïnvloed kunnen worden, worden ze stuurvariabelen genoemd.

De oorzaak van de achteruitgang van sloten ligt duidelijk in bovengenoemde stuurvariabelen, maar dit zijn niet de factoren die rechtstreeks van invloed zijn op de macrofauna. Macrofauna reageert bijvoorbeeld niet direct op hogere concentraties aan nitraat en fosfaat in het slootwater, maar zal indirect door de veranderende micro- en macrofytensamenstelling of de daarmee samenhangende effecten op het watermilieu als gevolg van de eutrofiëring wel beïnvloed worden. Er zijn echter ook factoren die directe invloed hebben op de macrofauna. Deze directe factoren worden voor de macrofaunagemeenschap sleutelfactoren genoemd. Voorbeelden van zulke sleutelfactoren zijn zuurstof, temperatuur, voedsel, toxische stoffen en droogval. Van veel van deze sleutelfactoren is nog niet precies bekend hoe ze inwerken op het functioneren van het slootecosysteem. Het is daarom van belang de precieze werking van het slootstelsel in beeld te brengen, zodat er ingeschat kan worden welke gevolgen veranderingen in stuurvariabelen via deze sleutelfactoren op de macrofaunagemeenschap zullen hebben.

1.2 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek naar sleutelfactoren in sloten is in 2005 van start gegaan. Resultaten van 2005 en 2006 zijn beschreven in Loeb et al. (2008) en Loeb & Verdonschot (2009a). In het onderzoek is er voor gekozen om een gradiënt van beïnvloede naar minder beïnvloede sloten te bemonsteren. Bemonstering is uitgevoerd in het laagveengebied De Wieden. Door het onderzoek binnen één gebied uit te voeren, kon er gekeken worden naar het effect van de sleutelfactoren zonder dat er invloed is van regionale variatie in soortensamenstelling. In 2005/2006 zijn er drie gebieden geselecteerd die in een gradiënt van geëutrofeerd naar minder eutroof liggen. In 2007 is hier nog een locatie aan toegevoegd, waarin twee zeer lange sloten vanaf de boezem het gebied in worden gevolgd. Ook hier is dus een eutrofiëringsgradiënt

gekozen, maar wel één binnen een slootsysteem. De verschillende locaties worden in Hoofdstuk 2 beschreven. In de eerste twee jaar van het onderzoek lag de nadruk op temperatuur als sleutelfactor. De temperatuurkarakteristieken van de sloten bleken de soortensamenstelling van de sloten minder goed te verklaren dan eutrofiëringsparameters. De nadruk lag daarom in 2007 op het onderzoeken van de jaarfluctuaties in sleutelfactoren, waarin de meeste aandacht uitging naar zuurstof als sleutelfactor. Uit dit onderzoek bleek dat temperatuurstratificatie een algemeen fenomeen is in sloten. In de zomer kunnen er hierdoor perioden met zuurstofarme omstandigheden aan de bodem optreden. Om erachter te komen hoe de temperatuur- en zuurstofverdeling binnen een sloot eruitziet, zijn de meerdaagse zuurstofmetingen in twee van de onderzoekssloten voortgezet in 2008. Ook zijn de maandelijkse metingen van waterkwaliteits- en eutrofiëringsparameters in 2008 voortgezet om de fluctuaties over een geheel jaar in beeld te krijgen. Daarnaast is er met behulp van experimenten onderzocht wat de effecten van zuurstofarme omstandigheden op sterfte en migratie van drie algemene, maar in biotoop en beweging zeer verschillende, macrofaunasoorten zijn. De soorten die hiervoor gebruikt zijn, zijn *Gammarus pulex* (een vlokreeft die vrij rondzwemt), *Asellus aquaticus* (een waterpissebed die op de bodem van de sloot tussen het detritus en bladafval leeft) en *Radix peregra/ovata* (een slak die voornamelijk algen eet die op plantenstengels en ander substraat groeien). Eerst is er met behulp van labexperimenten gekeken hoelang de verschillende soorten konden overleven onder zuurstofarme omstandigheden en of dit in een gestratificeerd systeem verticale migratie tot gevolg had. Vervolgens is dit laatste experiment in het veld herhaald.

1.3 Zuurstofhuishouding in sloten

Waterplanten in de sloot zorgen voor de zuurstofproductie. Ondergedoken planten hebben een positief effect op de zuurstofconcentraties in het slootwater, omdat zuurstof direct aan het water afgegeven wordt, en niet aan de lucht zoals bij helofyten en drijvende planten. Algenbloei zorgt voor extremen in zuurstofconcentraties: overdag kan de zuurstofproductie zo hoog zijn dat er oververzadiging optreedt, terwijl 's nachts de consumptie van zuurstof zo hoog is, dat sloten zuurstofloos kunnen worden. Als drijvende waterplanten een gesloten dek op het wateroppervlak vormen, wordt de sloot al snel zuurstofloos. Er kan in de waterkolom zelf geen zuurstofproductie meer plaatsvinden, terwijl de drijvende laag planten voornamelijk zuurstof aan de lucht afstaat. Behalve door de directe zuurstofproductie en -consumptie door planten, wordt de zuurstofhuishouding in sloten grotendeels bepaald door stratificatie.

Stratificatie ontstaat door dichtheidsverschillen van het water bij verschillende temperaturen. Water heeft bij 4 °C de hoogste dichtheid. Water dat kouder of warmer is, is minder dicht, en blijft daardoor op de laag water met een hogere dichtheid drijven. Het dichtheidsverandering per graad Celsius is niet lineair; het dichtheidsverschil tussen water van 4 en 5 °C is erg klein en neemt toe bij een hogere temperatuur. De stabiliteit van de waterkolom is o.a. afhankelijk van het opgetreden dichtheidsverschil over een bepaalde diepte én is omgekeerd evenredig met de

gemiddelde dichtheid (o.a. Imberger, 1985; Wüest & Lorke, 2003). Dit betekent dat de stabiliteit van een gestratificeerde waterkolom bij een bepaald temperatuurverschil tussen de stratificatielagen groter is bij een hogere temperatuur, omdat dan het dichtheidsverschil groter is tussen de lagen en de gemiddelde dichtheid van de lagen kleiner. Dit is één van de redenen dat er in de zomer vaker stratificatie optreedt.

Stratificatie van zoete wateren is vooral bekend van meren. Diepe meren zijn meestal gestratificeerd en menging treedt in meren vaak slechts enkele malen per jaar, meestal in het voor- en najaar, op. De onderste laag in meren is vaak zuurstofloos, omdat er door de diepte van meren geen licht tot op de bodem door kan dringen. Stratificatie is ook bekend in sloten (Marshall, 1981; Veeningen, 1982; Kersting, 1983; Kersting, 1987; Portielje & Lijklema 1995, Portielje et al., 1996), maar deze kennis is minder ver doorgedrongen in de algemene kennis over het functioneren van sloten. Sloten zijn minder diep dan meren, maar door hun geringe breedte en de soms wat beschuttere ligging, treedt er in sloten minder vaak menging door windwerking op, waardoor mogelijke stratificatie minder snel verstoord wordt. De stratificatie die in sloten optreedt, wordt meestal dagelijks opgeheven zodra de temperatuur bovenin de waterkolom gedaald is tot de temperatuur van de onderste laag.

Temperatuurverschillen in het slootwater ontstaan door invloed van instraling, door een snelle opwarming van de lucht (Kersting, 1983) en door omzetting van het ingestraalde licht in warmte door bijvoorbeeld macrofyten (Dale & Gillespie, 1976; 1977). Temperatuurstratificatie kan leiden tot het optreden van zuurstofverschillen tussen lagen als in de onderste laag netto minder zuurstofproductie optreedt. Uit voorafgaand onderzoek in 2007 (Loeb & Verdonschot, 2009a) blijkt dat zuurstofstratificatie een wijdverbreid fenomeen is in laagveensloten. De zuurstofconcentraties kunnen daarbij dalen tot onder 1 à 2 mg/l, waarden die in literatuur vaak genoemd word als lethale concentraties voor dieren die geen specifieke aanpassingen hebben voor anoxische milieus (Miranda et al., 2000; Dinsmore & Prepas, 1997; Jacobsen, 2008; Connolly et al., 2004).

1.4 Onderzoeksvragen

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek in 2007 zijn een aantal nieuwe onderzoeksvragen geformuleerd:

- hoe ziet het stratificatiepatroon in sloten er in de diepte uit? Zijn er twee aparte lagen met verschillende temperaturen in de waterkolom te onderscheiden of is er spraken van meer dan twee lagen met elk hun eigen patroon?
- is er ruimtelijke (horizontale) variatie in zuurstof- en temperatuurpatronen binnen sloten?
- in hoeverre zijn waterkwaliteitsparameters te relateren aan zuurstofstratificatie in sloten?
- hoelang kunnen algemene macrofaunasoorten uit sloten zuurstofarme omstandigheden verdragen?
- leidt stratificatie in sloten tot verticale migratie van macrofauna?

1.5 Belang voor water- en natuurbeheer en -beleid

Kennis over causale relaties tussen macrofaunasoorten en sleutelfactoren kan in het waterbeheer en -beleid zeer waardevol zijn. Een goede kennis van ecologische processen en het functioneren van aquatische ecosystemen is de basis voor het behouden of herstellen van een goed functionerend systeem. De belangrijkste toepassingen zijn hieronder opgesomd:

- Een betere kennis van sleutelfactoren leidt tot een beter gespecificeerd meetprogramma bij waterbeheerders. De juiste variabelen kunnen nu op het juiste moment en over het juiste tijdsinterval gemeten worden. Hieraan gekoppeld kunnen ook weer de normen voor bijvoorbeeld het Goed Ecologisch Potentieel of Goede Ecologische Toestand van de Kaderrichtlijn Water bijgesteld worden
- Gebruik van proceskennis in modellen voor voorspelling van het effect van verstoringen, beheermaatregelen en klimaatverandering op de levensgemeenschap.
- Gebruik van de juiste (positieve of negatieve) indicatoren van sleutelfactoren en processen in graadmeters en andere beoordelingsmethodieken om de waterkwaliteit of de natuurwaarde van een water te bepalen.
- Betere kennis van het functioneren van aquatische ecosystemen leidt ook tot beter inzicht in hoe een systeem hersteld kan worden. De keuze van geschikte beheermaatregelen is gemakkelijker als onderliggende processen bekend zijn.
- Er zal een beter inzicht zijn in de draagkracht van aquatische ecosystemen zodat gericht normen voor bijvoorbeeld nutriënten gesteld kunnen worden.

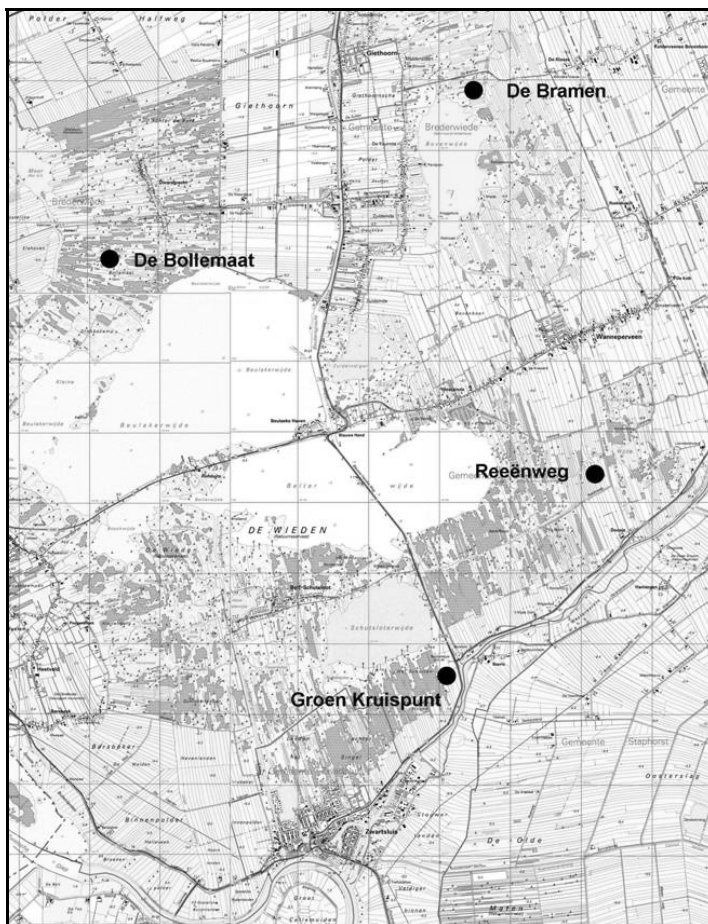
1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de onderzoekslocaties sloten en de onderzoeksmethoden beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 4 worden de conclusies getrokken en de relevantie van de resultaten voor het veld besproken.

2 Materiaal en methode

2.1 Gebiedsbeschrijving

In het laagveengebied De Wieden zijn sloten uit 4 slootcomplexen geselecteerd (figuur 1). Drie van deze complexen liggen aan de oost- en zuidrand van de Wieden (Reeënweg, De Bramen en Groen Kruispunt), de andere (de Bollemaat) ligt in het centrum van het natuurgebied. In elk complex zijn twee sloten geselecteerd voor het onderzoek. De sloten van de Reeënweg, De Bramen en Groen Kruispunt vormen samen een gradiënt van nutriëntenarm naar eutroof. In de Bollemaat liggen er binnen de twee geselecteerde sloten gradiënten van mesotroof tot voedselrijk.

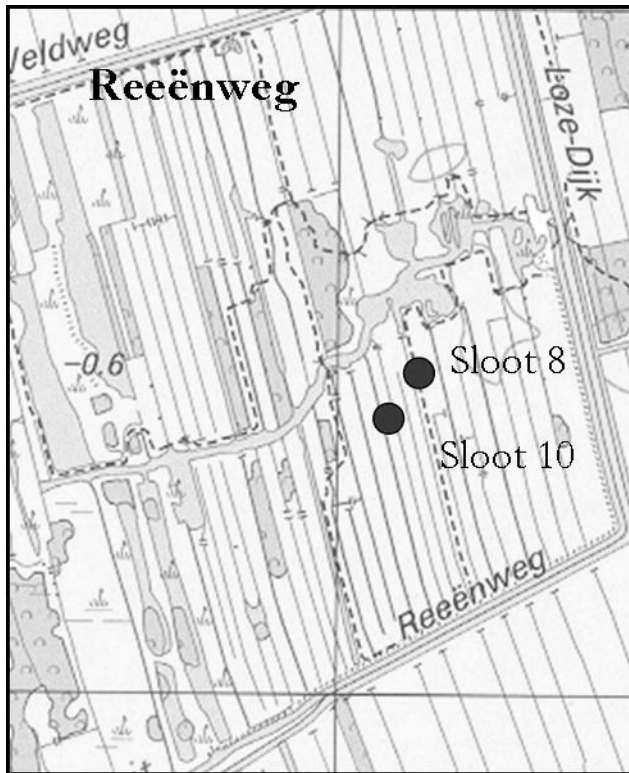


Figuur 1. Ligging van de onderzoekslocaties in de Wieden.

2.1.1 Reeënweg

De Reeënweg (figuur 2) is een complex van hooi- en weilanden en sloten aan de oostkant van de Wieden. Het wordt als natuurgebeid beheerd door Natuurmonumenten. De sloten staan in verbinding met de boezem, maar het

boezemwater moet een grote afstand afleggen voor het in de sloten terecht komt. Het veenpakket aan de Reeënweg is dun, waardoor een deel van de slootbodems in het zand liggen. De sloten hebben een goede waterkwaliteit (Loeb et al., 2008).



Figuur 2. Ligging van de sloten aan de Reeënweg

2.1.2 De Bramen

De Bramen (figuur 3) is een complex van hooilanden en sloten ten oosten van Giethoorn. Het is in bezit van Natuurmonumenten en wordt verpacht aan boeren. Sommige percelen worden bemest. De afstand tot het boezemwater is korter in de sloten van de Bramen dan in de sloten van de Reeënweg. De sloten zijn iets voedselrijker dan die van de Reeënweg. De ondergrond van De Bramen bestaat uit een dik veenpakket.



Figuur 3. Ligging van de sloten in de Bramen.

2.1.3 Groen Kruispunt

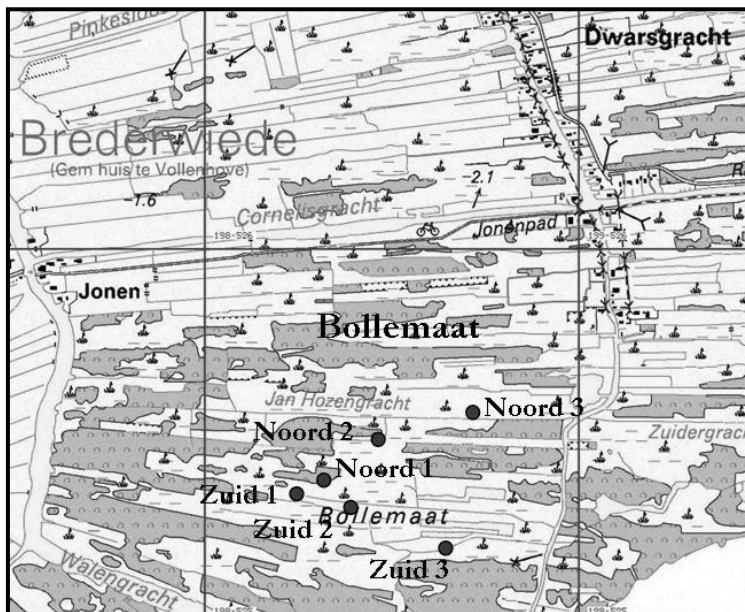
De sloten van Groen Kruispunt (figuur 4) liggen in agrarisch gebied en kennen een eigen peilbeheer. Het gebied werd gedurende het onderzoek nog bemest en begraasd. De sloten ontvangen kwelwater van slechte kwaliteit uit het Meppelerdiep. De sloten zijn dan ook zeer voedselrijk. Het gebied is aangekocht door Natuurmonumenten om omgevormd te worden tot (riet)moeras dat als verbindingszone tussen De Wieden en natuurgebieden ten zuiden van de Wieden moet gaan fungeren. Vanwege deze geplande herinrichtingsmaatregelen was het in het najaar van 2007 niet mogelijk om alle standaardbemonsteringen uit te voeren. De herinrichtingsmaatregelen zijn uiteindelijk in het najaar van 2008 gestart (Loeb et al., 2009b).



Figuur 4. Ligging van de sloten in Groen Kruispunt.

2.1.4 Bollemaat

Het gebied De Bollemaat (figuur 5) ligt midden in het natuurgebied De Wieden. Het bestaat uit moerasbosjes, rietlanden en trilvenen. In dit gebied zijn twee sloten geselecteerd die vanaf de hoofdvaarten het gebied in lopen (de noord- en de zuidsloot). Vanaf de hoofdvaart die vanuit Dwarsgracht naar het zuiden loopt, takken meerdere sloten en vaarten naar het westen af, de Bollemaat in. Eén daarvan is de Jan Hozengracht, waar nog relatief veel scheepvaart plaatsvindt. Aan deze vaart ligt monsterpunt Bollemaat Noord 3. Verderop takt de sloot van de gracht af richting het zuiden. Hier ligt monsterpunt Bollemaat Noord 2. De sloot loopt dieper het gebied in, langs het trilveen, waar monsterpunt Noord 1 ligt. Ook in het zuiden loopt een sloot het gebied in. Ook hier wordt het eerste deel van de sloot nog regelmatig bevaren door riettelers. Hier ligt monsterpunt Zuid 3. Verderop ligt monsterpunt Zuid 2. Monsterpunt Zuid 1 ligt diep in het gebied en ligt aan het trilveen. De noord- en zuidsloot zijn ter hoogte van het trilveen met elkaar verbonden. De verbinding tussen de sloten is deels verland en niet meer bevaarbaar. De drie monsterpunten in beide sloten zijn gekozen met de hypothese dat er een duidelijke nutriënten- en vervuiling gradiënt zou lopen van de derde monsterpunten, die dicht bij de hoofdvaart zijn gelegen naar de eerste monsterpunten, die in het trilveen liggen.



Figuur 5. Ligging van de slootlocaties in de Bollemaat.

2.1.5 Vijver bij Alterra

De vijver aan de oostkant van het Lumengebouw van Alterra is gebruikt als veldlocatie voor het zuurstofstratificatie-experiment. De vijver is ongeveer 1 meter diep en heeft een zandbodem. De waterspiegel staat onder directe invloed van het grondwaterpeil. Bij een proefmeting in augustus 2008 werd geconstateerd dat de vijver net als in de onderzochte sloten een temperatuurstratificatie kende die

dagelijks, als het bovenste gedeelte van de waterkolom 's nachts afkoelde, weer werd opgeheven. Tijdens deze stratificatieperiodes in augustus, lag de zuurstofconcentratie aan de bodem het grootste gedeelte van de dag onder 1 mg/l.

2.2 Veldonderzoek

2.2.1 Zuurstofdynamiek

In februari, april en juni 2008 zijn meerdaagse zuurstofmetingen in de sloten Bollemaat Noord 1 en Reeënweg sloot 8 uitgevoerd, waarbij er elk half uur met een Hach LDO zuurstofsensor de zuurstofconcentratie, zuurstofverzadiging en temperatuur is bepaald op 10 cm onder het wateroppervlak, 10 cm boven de bodem en op 2 niveaus hier tussenin. In elke sloot werden de metingen telkens op twee verschillende plekken verricht, ongeveer 30 meter uit elkaar, zodat een beeld gevormd kon worden van de ruimtelijke variatie.

2.2.2 Chlorofyl-a

Chlorofylmonsters werden maandelijks tegelijk met de monster voor de bepaling van de chemische waterkwaliteit genomen in 1 l bruine glazen flessen die maximaal een halve dag na bemonstering in de koelkast bewaard werden totdat ze gefiltreerd werden (Whatman GF/C glasfilter). Filters met filtraat werden in de vriezer bij -80 °C bewaard tot analyse. Na ontdooien werden de filters 5 minuten bij 75°C geschud met 83% ethanol. De buizen met de filters werden in een ijsbad snel afgekoeld tot 20°C, waarna ze 5 minuten bij 5°C op 3000 rpm gecentrifugeerd werden. De extinctie van het filtraat werd bepaald met een Shimadzu UV1601PC spectrofotometer. De concentratie chlorofyl werd berekend uit het verschil in extinctieverschil bij 665 en 750 nm tussen het onaangezuurde monster en het monster na aanzuring met een druppeltje 0,4 N HCl (ongeveer 1%).

2.2.3 Fytoplankton

In 2007 is tegelijk met elke waterkwaliteitsbemonstering een fytoplanktonbemonstering uitgevoerd. Bij de bemonstering is met behulp van een 20 µm-planktonnet het fytoplankton uit 40 liter water verzameld. Uit sloten met een hoge algendichtheid is een kleiner volume bemonsterd. Concentraties van fytoplankton zijn omgerekend naar de aantallen per liter slootwater. Fytoplanktonmonsters werden met enkele druppels 37% formaline gefixeerd (eindconcentratie minimaal 4%). Monsters werden tot op hoofdgroep gedetermineerd. Uit het monster werd een submonster genomen waarin van 40 gezichtsvelden de aantallen cellen per groep geteld werden. Van kolonievormende bacteriën waarvan de afzonderlijke cellen per kolonie niet meer telbaar waren, werd een schatting van het aantal cellen gemaakt. Van *Leptothrix* werd niet het aantal cellen, maar het aantal draden geteld.

De taxa die werden onderscheiden, zijn *Centrales* (Diatomeeën), *Chlorococcales* (Groenwieren), *Chlorophyceae* (Groenwieren; onderscheiden zijn de vorm als draadwier en overige vormen), *Chroococcales* (Blauwwieren), *Chrysophyceae* (Goudwier), *Desmidiaceae* (Sieralg), *Dinophyceae* (flagellaten), *Euglenophyceae* (flagellaten), Overige flagellaten, *Hormogonales* (Blauwwier), *Leptothrix* (IJzeroxiderende bacterie), *Pennales* (Diatomeeën), *Volvocales* (Flagellaten), *Xanthophyceae* (Geelgroene algen) en de groep *Zygnemataceae* (Draadwieren).

2.2.4 Chemische waterkwaliteit

Vanaf januari tot en met juni is één in de maand een waterkwaliteitsbemonstering uitgevoerd in de geselecteerde sloten in de Wieden (Loeb & Verdonschot, 2009a). Watermonsters van alle sloten zijn door Vitens geanalyseerd op nutriënten (nitraat, ammonium, Kjeldahl-N, fosfaat, totaal fosfor en kalium) en op macroïonen (onder andere calcium, magnesium, natrium, chloride en sulfaat). Tevens werden in het veld de pH, EGV, zuurstofconcentratie en het doorzicht van het water bepaald. pH en EGV zijn op locatie gemeten met een Hach sensION156 Portable pH/EGV-meter, zuurstof met een Hach LDO HQ10 Portable opgelost-zuurstofmeter.

2.2.5 Macrofauna

In najaar 2005 en voorjaar 2006 zijn in de sloten van Groen Kruispunt, De Bramen en de Reeënweg macrofaunabemonsteringen uitgevoerd (Loeb et al., 2008). In het najaar van 2007 is dit voor de monsterpunten in de Bollemaat gedaan. Macrofauna is bemonsterd met een net met een maaswijdte van 500 µm over een afstand van 4 a 5 m. De data zijn omgerekend naar een standaardbemonsteringslengte van 5 m (1,25 m²).

2.3 Herkomst macrofauna en slib voor experiment

Gammarus pulex was afkomstig uit de Frederik Bernard Beek en de Seelbeek (Heveadorp). *Asellus aquaticus* was afkomstig uit een sloot uit het Binnenveld bij Wageningen. *Radix peregra/ovata* kwam uit een bovenloop van de Schoonbron bij Valkenburg. Slib was afkomstig uit een sloot in agrarisch gebied grenzend aan Nationaal Park Wieden-Weerribben (Wink, (Loeb & Verdonschot, 2009b)).

2.4 Tijdsreeks zuurstofloosheid

Om te onderzoeken hoe lang de soorten *Gammarus pulex*, *Asellus aquaticus* en *Radix peregra/ovata* onder zuurstofloze omstandigheden overleven, werd aquarium-experiment met een tijdsreeks van 1, 2, 4, 8, 16, 24 en 32 uur zuurstofloosheid uitgevoerd. In aquaria met een afmeting van 34 cm x 19cm x 18cm (lxbxh) werd een laagje slib van 5 cm aangebracht. Vervolgens werd elk aquarium afgevuld met water

afkomstig uit de grote vijver van Alterra in Wageningen (circa 8 liter). Voor de zuurstofloze behandeling werden de aquaria afgedekt met een acrylglazen plaat om zuurstofaanvoer vanuit de lucht te voorkomen. Het experiment werd ingezet nadat de zuurstofconcentratie tot onder 2 mg/l was gedaald doordat het slib een week zuurstof had geconsumeerd. Vlak voor aanvang en na afloop van het experiment werden zuurstofconcentraties met een Hach LDO HQ10 Portable opgelost-zuurstofmeter gecontroleerd. Het experiment werd herhaald onder zuurstofvrije condities. Hiervoor werd dezelfde opstelling gebruikt. De aquaria werden hier niet afgesloten met de plaat en het water werd continu met lucht doorborreld.

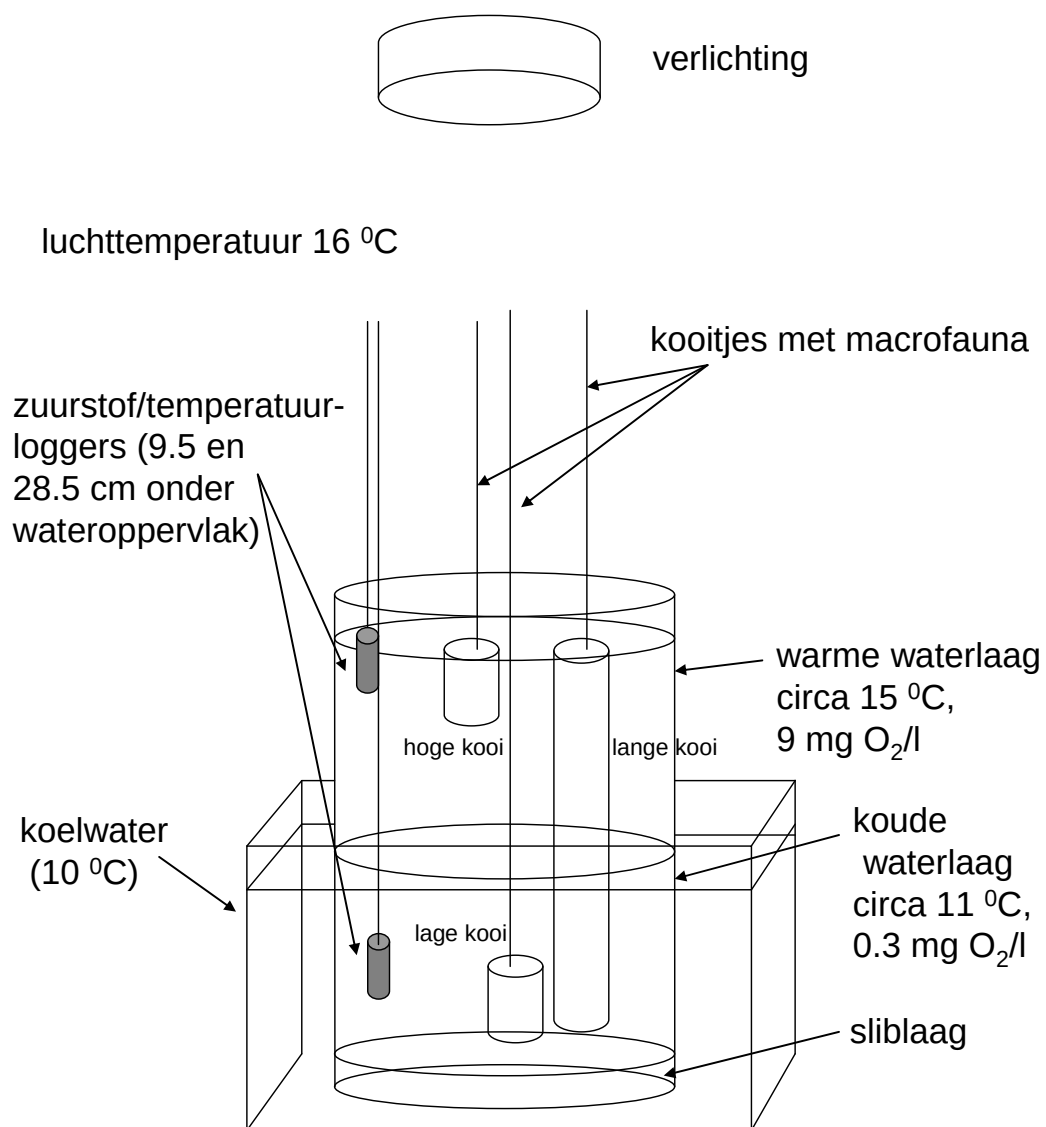
Tien individuen van één soort werden in een kooitje (perspex cilinder van 9 cm hoog met een diameter van 8 cm die aan boven- en onderzijde was afgedekt met plastic gaas met een maaswijdte van 2 mm (Muggengaas, Praxis)) in een aquarium gezet. Per aquarium werd van elke soort 1 kooitje ingezet. Per soort werden drie herhalingen uitgevoerd. Na 1, 2, 4, 8, 16, 24 of 32 uur werden de kooitjes uit het aquarium gehaald en werd het aantal overlevende individuen geteld. Het experiment werd uitgevoerd in een klimaatkamer bij 16 °C. Het experiment werd in drievoud uitgevoerd.

2.5 Stratificatie-experiment

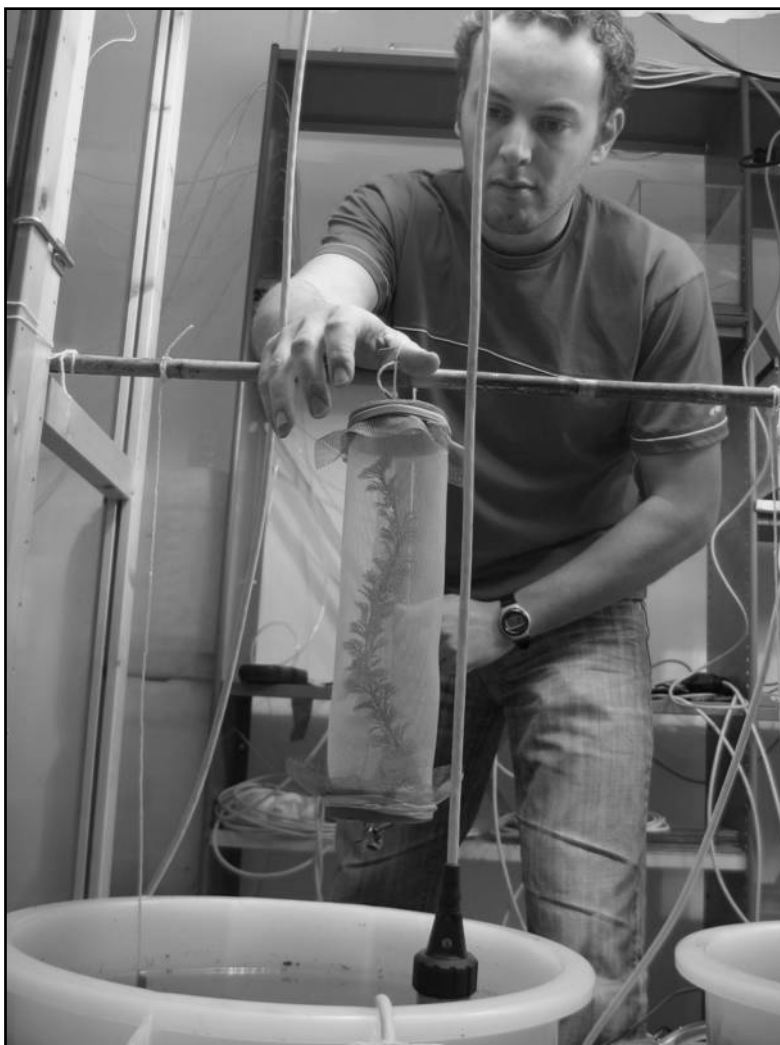
In het stratificatie-experiment werd de overleving van de testsoorten in een zuurstofvrije en in een zuurstofarme stratificatielaag onderzocht (figuur 6). Daarnaast werd er onderzocht of soorten de mogelijkheid hadden om zich van de zuurstofarme laag naar de zuurstofvrije laag te verplaatsen.

Voor het stratificatie experiment werd in een klimaatkamer bij 16°C in 5 tonnen van 50 l (55 cm hoogte) een laag slib van circa 10 cm aangebracht. De tonnen werden aangevuld met water uit de grote vijver bij Alterra (40 cm). De tonnen stonden elk 30 cm (onderste 20 cm van de waterlaag) in een aparte bak met koelwater die continue gekoeld werd tot 10 °C met behulp van vijf afzonderlijke koelers (Aquamedic, Titan 250). Het koelwater werd afgesloten met piepschuim om verdamping te voorkomen. 1.20 m boven de vijf tonnen hingen in totaal drie groeilampen van 400 W. Om algenbloei te voorkomen, werd de lichtsterkte van de lampen verminderd door vitrage, die op ongeveer 15 cm onder de lampen werd gehangen. De lichtsterkte aan het wateroppervlak was daardoor ongeveer $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In elke bak werden op 9.5 en 28.5 cm onder het wateroppervlak zuurstof/temperatuurloggers gehangen (Hach LDO zuurstofsensoren, bereik 0.00 tot 20.0 mg/l, tot 0.01 mg/l nauwkeurig (1% van meetwaarde)). Elke 15 minuten werd hiermee de zuurstofconcentratie, zuurstofverzadiging en de temperatuur gemeten. Om lage zuurstofconcentraties te bereiken, werd het slib voor aanvang van het experiment door de bak heen geroerd, waardoor het water door zuurstofconsumptie van het slib zuurstofarm werd. Op het moment dat het slib grotendeels bezonken was, konden er in het bovenste deel van de kolom algen gaan groeien. Deze zorgden voor een hoge zuurstofproductie en hoge zuurstofconcentraties in het bovenste deel van de waterkolom, terwijl productie in het onderste deel nog niet mogelijk was door de lage lichtintensiteit. De stratificatie voorkwam dat de zuurstof die in het bovenste deel van de bak geproduceerd werd, in het onderste deel van de waterkolom door kon dringen. Deze

procedure werd herhaald tussen de verschillende delen van het experiment. In elke bak werden 3 verschillende kooitjes met macrofauna gehangen: één kooitje van 10 cm hoogte werd op 5 cm onder het wateroppervlak gehangen (hoge kooi), een ander kooitje van 10 cm hoogte werd op 5 cm boven het sliboppervlak gehangen (lage kooi) en de derde kooi, die 30 cm hoog was, werd op 5 cm onder het wateroppervlak en 5 cm boven het slib gehangen (lange kooi) (figuur 6). De kooitjes bestonden uit een koker van nylon met een maaswijdte van 1000 µm en een diameter van 75 mm (57% open oppervlak). Aan de boven- en onderkant verstevigde een PVC ring de kooien. De kooitjes werden aan de boven- en onderzijde afgesloten met netgaas met een maaswijdte van 2 mm dat met elastiek aan de kooitjes bevestigd was. Onderaan de kooitjes werd een gewichtje gehangen om te voorkomen dat ze zouden gaan drijven. In elk kooitje werd een plastic waterplant aangebracht die voor de macrofauna als schuilplaats kon dienen, of als mogelijkheid om naar de boven te klimmen kon worden gebruikt. Elk kooitje bevatte 10 individuen van één soort. De kooitjes werden voorzichtig in het water gehangen (figuur 7), zodat de stratificatie niet werd verstoord. Na 24 uur werden de kooitjes uit het water gehaald en werd het aantal overlevende en het aantal dode dieren geteld. Het experiment werd in vijfvoud uitgevoerd (vijf aparte opstellingen). Het experiment werd voor de verschillende soorten apart uitgevoerd. Omdat er in de eerste meetreeks van *G. pulex* een grote standaarddeviatie in de overleving in de zuurstofarme waterlaag werd gevonden (in een deel van de kooien 100% overleving, in de andere kooien 0%) is besloten het experiment voor *G. pulex* nog twee keer te herhalen. In een van de opstellingen werden 24 uur lang aanvullende zuurstof- en temperatuurmetingen in een kooitje in de bovenste helft van de waterkolom (hoge kooi) en in de onderste helft van de waterkolom (lage kooi) uitgevoerd om vast te stellen of er een verschil was in zuurstofconcentratie binnen en buiten de kooitjes. Na afloop van het experiment werden met een rhizonsampler watermonsters genomen uit de bovenste helft van de waterkolom, de onderste helft van de waterkolom en uit het slib om na te gaan of er onderin de waterkolom mogelijk toxisch sulfide was vrijgekomen. De monsters werden gefixeerd met behulp van een anti-oxidantbuffer en binnen enkele uren na monsternamen op sulfide geanalyseerd door de Radboud Universiteit Nijmegen. Daarna werd in elke opstelling om de 5 cm de zuurstofconcentratie en temperatuur bepaald. Aanvullend werd uit elke ton een watermonster genomen van de bovenste en onderste waterlaag en met behulp van een rhizonsampler van het bodemwater van de sliblaag. Van dit monster werd de alkaliniteit bepaald (TitraLab TIM840) en de rest van het monster werd na filtratie (Watman GC filter, rhizonsamplermonster niet gefiltreerd) ingevroren voor mogelijk verdere analyse. In de bovenste en onderste helft van de waterkolom werd de pH en EGV bepaald (Hach sensION156 Portable pH/EGV-meter). Voor het slib werd deze analyse uitgevoerd in het bodemwatermonster.



Figuur 6. Schematische weergave van de proefopstelling van het stratificatie-experiment.



Figuur 7. De lange migratiekooien worden voorzichtig in de proefopstelling gehangen.

2.6 Veldexperimenten

Een vergelijkbaar experiment als in het lab werd op 24 juli 2008 in het veld uitgevoerd. In elk kooitje werden 10 individuen van *A. aquaticus*, *G. pulex* of *R. peregra/ovata* gezet. *A. aquaticus* en *R. peregra/ovata* werden op 23 juli in de kooitjes gezet. *G. pulex* pas op de ochtend van 24 juli. De kooitjes werden onder beluchting naar het veld gebracht. Op 24 juli werden hoge en lage kooitjes (14 cm lang) en lange kooien (102 cm lang) aan latten gehangen in de sloot Bollemaat Noord 1 (figuur 8). Kooitjes werden of hoog (ca 10 cm onder wateroppervlak) of laag (ca 10 cm boven bodem gehangen). Lange kooien werden ook ca 10 cm boven de bodem gehangen. Elk van de drie typen kooien werd per soort in vijfvoud ingehangen. Om te voorkomen dat er de dieren in de lange kooitjes bij het inzetten van de kooien al in de bovenste waterlaag terecht zouden komen, werd de onderste 20 cm van de kooi tijdens het inzetten afgesloten met twee schuifspelden aan touwtjes. Direct nadat de

kooien op hun plaats waren gehangen, werden de schuifspelden weggehaald, zodat de dieren zich daarna vrijelijk door de kooi konden begeven.

Eens in het half uur werd zuurstof gemeten. Zuurstofsensoren werden opgehangen op -10 (2x), -50, -80 en -110 cm (= circa 10 cm boven de bodem) onder het wateroppervlak. Daarnaast werden er twee sensoren opgehangen in een laag kooitje (op 110 cm onder het wateroppervlak een hoog kooitje (10 cm onder het wateroppervlak) en vier sensoren in één lange kooi (op 10, 50, 80 en 110 cm onder het wateroppervlak).

Op 25 juli werden de kooitjes uitgehaald en het aantal dode en leven dieren geteld.

Omdat de zuurstofconcentraties gedurende het experiment ook onderin de waterkolom hoog bleven (zie §3.4.1), werd er een tweede experiment uitgevoerd. Dit experiment vond plaats in de kleine vijver bij Alterra (figuur 9) op 4 en 5 september 2008. De opzet was hetzelfde als bij het experiment in de sloot in de Bollemaat, met als verschil dat vanwege de geringere diepte van de vijver de lange kooien boven het wateroppervlak uitstaken. Net als in de sloot werden lange kooien 10 cm boven de bodem opgehangen.

2.7 Statistische analyse

Macrofaunadata (Loeb & Verdonshot, 2009a,b) van de slootmonsters werden verwerkt met het programma Asterics (Aqem). Hierbij werden monsters die van verschillende habitats genomen waren, geïntegreerd tot één monster. Van de monsters werden de “Saprobic Valences” volgens Zelinka & Marvan berekend (Anonymus, 2003). Van de monsters die apart in het voor- en het najaar zijn genomen, werd het gemiddelde van de “Saprobic Valence” genomen.

Alle statistische analyses zijn uitgevoerd met SPSS 15.0. Voor de tijdreeks zuurstofloosheid werd het percentage overlevende dieren (gecorrigeerd voor eventueel ontsnapte/verdwenen dieren) op de verschillende tijdstippen geanalyseerd met Repeated Measures (GLM), gevolgd door een Tukey-posthoc test om de verschillen tussen de soorten aan te tonen.

De resultaten van het stratificatie-experiment in het lab en in het veld werden met een eenweg-ANOVA voor elke soort afzonderlijk geanalyseerd, waarna significante verschillen tussen de behandelingen werden berekend met een Tukey-posthoc test. Verschillen in pH, EGV en alkaliniteit tussen de verschillende lagen werden op een zelfde wijze getoetst.

Verschillen werden als significant aangemerkt als $p < 0.05$.



Figuur 8. Proefopstelling in Bollemaat Noord 1.



Figuur 9. Opbouwen van de proefopstelling in de vijver bij Alterra.

3 Resultaten

3.1 Veldonderzoek

3.1.1 Zuurstofdynamiek

In februari 2008 lag de temperatuur van het slootwater in zowel de sloot aan de Reeënweg als in de Bollemaat rond de 4°C (tabel 1, figuur 31, 33, 35 en 37, Bijlage 2). Bij 4°C heeft water de grootste dichtheid. Water met een temperatuur van 4°C bevindt zich dus automatisch onderin de waterkolom. Het water bovenin de kolom kan dus ofwel kouder, ofwel warmer zijn, maar zodra het opwarmt of respectievelijk afkoelt en daardoor ook een temperatuur van 4°C bereikt, treedt er menging op. Gedurende de eerste meetdag in de Bollemaat liep de temperatuur op de verschillende dieptes iets uiteen, waarbij het bovenin de waterkolom warmer was dan onderin (figuren 31 en 33, Bijlage 2). Toen het water afkoelde, trad er menging op, op het moment dat het water een temperatuur van 4°C bereikte. De rest van de dagen bleef de temperatuur van het slootwater in de Bollemaat boven 4°C. De zuurstofconcentraties waren hoog in de Bollemaatsloot; tussen de 10 en de 12 mg/l. In het eerste gedeelte van de Bollemaatsloot (locatie a), liep de zuurstofconcentratie in de bovenste 35 cm van de sloot op tot circa 12 mg/l, terwijl de concentratie in de onderste 40 cm van de sloot rond 10 mg/l bleef (figuur 30, Bijlage 2). Op de andere plek in de Bollemaat Noord 1 sectie (locatie b) was het temperatuurprofiel ongeveer hetzelfde, maar had de bovenste 60 cm van de sloot telkens ongeveer dezelfde zuurstofconcentratie (rond 10 mg/l), terwijl de concentratie op 10 cm boven de bodem af en toe wegzakte tot ongeveer 8 mg/l (figuur 32, Bijlage 2).

In de sloot aan de Reeënweg had de bovenste 10 cm van een slootwater een duidelijk andere temperatuurdynamiek dan de onderste 33 cm van de sloot (figuren 35 en 37, Bijlage 2). In het bovenste deel van de waterkolom was, anders dan in de Bollemaat, de temperatuur juist lager dan in het onderste gedeelte van de kolom omdat het water bovenin lager dan 4°C was. Overdag trad er opwarming op, waarbij er menging optrad op de momenten dat het water ongeveer 4°C was. Anders dan in de Bollemaat enkele dagen daarvoor, was er in de zuurstofconcentratie in deze sloot een duidelijk dagpatroon te zien (figuren 34 en 36, Bijlage 2). Zuurstofconcentraties waren over het algemeen hoog, tussen 8 en 11 mg/l. De zuurstofconcentratie aan het wateroppervlak liep iets sterker op dan in het water eronder, vooral gedurende de laatste twee meetdagen. Gedurende de eerste twee meetdagen viel het op dat in een deel van de sloot (locatie b) de concentraties in de onderste 26 cm van de waterkolom 's nachts wegzakten tot ongeveer 6 mg/l, terwijl de concentratie bovenin tussen 8.5 en 9.5 mg/l bleef (tabel 1 en figuur 36, Bijlage 2).

Tabel 1. Samenvatting temperatuur- en zuurstofgegevens 2008 van meerdaagse metingen.

	februari		april		juni	
	Bollemaat	Reeënweg	Bollemaat	Reeënweg	Bollemaat	Reeënweg
temperatuurrange 10 cm onder waterspiegel (°C)	4.1-6.2	2.4-5.1	8.8-14.9	6.6-10.5	16.4-20.9	14.8-21.3
temperatuurrange 10 cm boven bodem (°C)	4.0-5.1	3.4-5.1	8.6-9.8	6.5-8.6	16.4-18.5	14.7-18.4
zuurstofrange 10 cm onder waterspiegel (mg/l)	9.3-12.9	8.4-12.3	9.2-12.6	8.3-15.9	7.0-10.4	0.89-8.7
zuurstofrange 10 cm boven bodem (mg/l)	9.4-10.4	4.8-10.7	8.3-10.2	6.7-11.3	7.0-9.1	0-4.7
langste periode met zuurstof < 2 mg/l (u)	0	0	0	0	0	24

In april vertoonde de watertemperatuur in de bovenste 10 cm in de Bollemaatsloot een sterker fluctuerend temperatuurverloop dan in de waterkolom eronder (figuren 39 en 41, Bijlage 2). De temperatuur dieper in de waterkolom bleef redelijk constant rond 10°C, terwijl de temperatuur bovenin opliep tot 14°C. Opvallend in de zuurstofdynamiek was dat zuurstofconcentraties in het water tussen 40 en 70 cm onder het wateroppervlak (vooral in slootgedeelte b) sterker opliepen dan in de bovenkant van de waterkolom (figuren 38 en 40, Bijlage 2). Waarschijnlijk vond er hier meer zuurstofproductie plaats. Zuurstofconcentraties verschilden tussen 10 cm boven de bodem en circa 60 cm erboven (40 cm onder het oppervlak) af en toe tot 2.5 mg/l. In de sloot aan de Reeënweg was het patroon anders. Ook hier was er sprake van een duidelijk dag- en nachtpatroon in zowel de temperatuur- als in de zuurstofconcentraties (figuren 42 tot en met 45, Bijlage 2). Hier waren de zuurstofconcentraties bovenin de sloot wel het hoogste. De bovenste 22 cm van de sloot volgde ongeveer eenzelfde zuurstofpatroon. De onderste 24 cm van de sloot had een gelijkmatige zuurstofconcentratie. Het verschil met de bovenste helft van de sloot kon hierdoor oplopen tot meer dan 5 mg/l. Bovenin was de sloot op momenten met de grootste verschillen in zuurstofconcentratie sterk oververzadigd. De beide slootdelen vertoonden eenzelfde patroon in de temperatuur en in de zuurstofconcentraties.

In juni was de temperatuur van het slootwater een stuk hoger; rond 17°C. De bovenste 10 cm van het water in De Bollemaatsloot warmde dagelijks op tot 20-22°C (figuren 47 en 49, Bijlage 2). Zuurstofconcentraties op alle dieptes vertoonden eenzelfde dag-nachtpatroon. In gedeelte b van de sloot, heeft de sensor die op 10 cm boven de bodem had moeten hangen, waarschijnlijk net in het slib gehangen, waardoor de metingen op deze hoogte onbetrouwbaar zijn geworden en verder buiten beschouwing zijn gelaten (figuur 48, Bijlage 2). In slootgedeelte b liep de zuurstofconcentratie op 37 cm onder het wateroppervlak vaak hoger op dan bovenin de waterkolom. Op deze plek kon het verschil in zuurstofconcentratie met de bovenste laag hierdoor oplopen tot meer dan 3 mg/l en met de sensor op 64 cm onder het oppervlak tot 4.5 mg/l. In slootgedeelte a traden nauwelijks verschillen in zuurstofconcentraties tussen de verschillende dieptes op (figuur 46, Bijlage 2). In de sloot aan de Reeënweg traden grote verschillen in de zuurstofconcentraties tussen dag- en nacht op (tot meer dan 4 mg/l (figuren 50 en 52, Bijlage 2). De

zuurstofconcentraties waren tamelijk laag: net onder het wateroppervlak liepen zij op tot circa 7 mg/l, maar aan het einde van de nacht daalden ze soms tot onder 2 mg/l. Dieper in de waterkolom zakten de zuurstofconcentraties nog verder weg. Toen de temperatuur in de nacht van 22 op 23 juni niet ver af nam, trad er geen menging op en kon de zuurstofconcentratie vlak aan de bodem meer dan 11 uur rond 0 mg/l blijven (slootgedeelte b) (figuur 52, Bijlage 2). Ook hoger in de waterkolom, tot 28 cm boven de bodem, bleven de concentraties ongeveer 12 uur onder de 1 mg/l en 22 uur onder de 2 mg/l. In slootgedeelte a waren de resultaten vergelijkbaar (figuur 50, Bijlage 2). De bovenste en onderste 10 cm van de waterkolom hadden een zeer verschillende zuurstofdynamiek. De meetdieptes ertussenin, hadden af en toe hun eigen dynamiek, af en toe dezelfde dynamiek en volgden af en toe de dynamiek van de bovenste, dan wel van de onderste waterlaag.

In 2008 zijn de twee sloten elk op vier verschillende dieptes en op twee verschillende plekken onderzocht op temperatuur- en zuurstofpatronen. Hieruit kwam naar voren dat op deze vier dieptes soms verschillende patronen in zuurstofconcentratie en temperatuur werden gemeten. In februari vertoonden de metingen op 10 cm en 35 cm diepte een ander patroon dan de onderste helft in de Bollemaat. In de sloot aan de Reeënweg was het alleen de bovenste 10 cm die een ander patroon vertoonde. De metingen op de twee verschillende plekken vertoonden in beide sloten een iets ander patroon. In april week het zuurstofconcentratiepatroon op 1 m onder het slootoppervlak van de Bollemaat iets af van de andere niveaus en in de Reeënweg hadden de vier niveaus in de sloot elk een eigen patroon dat gedeeltelijk overlapte. De ruimtelijke variatie was in april echter klein. In juni vertoonde het ene gedeelte van de Bollemaatsloot nauwelijks stratificatie (figuur 46, Bijlage 2), terwijl in het andere gedeelte de zuurstofconcentraties vanaf 64 cm diepte lager waren dan erboven (figuur 48, Bijlage 2). In de sloot aan de Reeënweg vertoonden in beide slootdelen alle dieptes een ander patroon in juni, dat bijna dagelijks enkele uren overlapte met de andere dieptes.

3.1.2 Fytoplankton

Van april 2007 tot en met juni 2008 werden de concentraties chlorofyl-a en de concentraties van verschillende fytoplanktontaxa bepaald. De fytoplanktonconcentraties fluctueerden sterk met de seizoenen (figuur 29, Bijlage 1). In beide jaren was er eind maart/begin april in de meeste sloten een piek in fytoplankton te zien. Na een sterke afname in de zomer van 2008, volgde er eind augustus/begin september 2007 een nieuwe piek. In de Bollemaatsloten en De Bramen viel de piek in chlorofyl-a in 2007 iets later dan in de andere sloten. In 2007 voldeed sloot 2 van Groenkruispunt, en in 2008 ook sloot 1, niet aan de bovengrens van een gemiddelde chlorofyl-a-concentratie van 25 µg/l in het zomerhalfjaar die in de Kaderrichtlijn water wordt gesteld voor de Goede Ecologische Toestand voor matig grote, ondiepe laagveenplassen (M27, Van der Molen & Pot, 2007).

De verschillende sloten hadden elk hun eigen fytoplanktongemeenschap, die gedurende het jaar ook sterk veranderde. In de slootgedeelten Bollemaat Noord 1 en 2 en Zuid 1 en Zuid 2 overheersten de *Chrysophyceae* en in Noord 3 en Zuid 3

Centrales. In De Bramen sloot 2 was er in het voorjaar en in de vroege zomer een bloei van *Hormogonales*. Daarnaast was het opvallend dat er een winterbloei van *Chrysophyceae* optrad. In sloot 4 van De Bramen domineerden zowel de *Chrysophyceae* als de *Chlorococcales*. Ook in de sloten aan de Reeënweg waren de *Chrysophyceae* dominant. In bijna alle sloten was er in maart 2007 een bloei van *Chrysophyceae* te zien, ook in de sloten van Groen Kruispunt. De sloten van Groen Kruispunt weken verder sterk af. Hier werden erg hoge concentraties aan *Leptothrix*, een ijzeroxiderende bacterie, gevonden. Ook *Hormogonales*, *Pennales* en *Euglenophyceae* haalden in deze sloten hoge concentraties (zie ook Loeb&Verdonschot, 2008). Uit de concentraties van *Chrysophyceae*, *Euglenophyceae*, *Leptothrix*, *Centrales* en *Hormogonales* blijkt dat er voor de meeste soorten algen een voor- en najaarspiek in de groei zat (figuur 22 tot en met 28, Bijlage 1).

3.1.3 Chemische waterkwaliteit

In de nitraatconcentraties van het water was een zeer duidelijke winterpiek te zien (figuur 54, Bijlage 3). Deze piek ontstond aan het eind van de herfst wanneer er veel algen en planten afstierven en organisch materiaal werd afgebroken, terwijl er nog maar weinig stikstof door planten en algen werd opgenomen. Tijdens deze nitraatpieken waren de gradiënten in de Bollemaat goed herkenbaar. De nitraatconcentraties waren duidelijk hoger in de slootgedeelten die het dichtst bij de boezem lagen. In de locaties in het midden van de boezem waren de nitraatconcentraties in de winter iets hoger dan op de plekken die het verst van de boezem verwijderd lagen. De nitraatconcentraties in de winter in de Bollemaat bij de boezem waren ook hoger dan op de locaties De Bramen, De Reeënweg en Groen Kruispunt. In sloot 2 van Groen Kruispunt bleven de nitraatconcentraties onder de detectielimiet. De ammoniumconcentraties werden hier echter heel hoog (boven 2 mg/l) (figuur 54, Bijlage 3), wat aangeeft dat dit ammonium niet verder werd afgebroken tot nitraat. In sloot 1 kwamen ook hoge ammoniumconcentraties voor, maar niet zo hoog als in sloot 2. In sloot 1 ontstond ook nitraat. Fosfaatconcentraties liepen hoog op in de sloten van De Bramen: éénmaal in sloot 2 (waarschijnlijk als gevolg van bemesting; zie Loeb & Verdonschot, 2008), en in sloot 1 gedurende de winter. Zowel in fosfaatconcentraties als in totaal-P was er geen duidelijke gradiënt te zien in de verschillende locaties in de sloten van de Bollemaat (figuur 55, Bijlage 3).

De chlorideconcentraties varieerden gedurende het jaar met de inlaat van water (voorjaar 2007), regenval en verdamping (figuur 57, Bijlage 3). De concentraties in de Bollemaat waren iets constanter dan in de Reeënweg en de Bramen, waar de concentraties onder invloed van regenval lager konden worden. In de Bollemaat Zuid-sloot waren de concentraties van chloride iets hoger bij de boezem dan verder van de boezem vandaan. De natrium- en chlorideconcentraties van sloot 1 van Groen Kruispunt liepen in de winter erg hoog op. Op deze momenten viel het water nagenoeg in de categorie 'licht brak' (300 mg Cl/l). Dit was waarschijnlijk het gevolg van de aanvoer van brak kwelwater (Loeb & Verdonschot, 2009b). In de zomer daalden de concentraties sterk, waardoor ze in september in dezelfde orde van grootte lagen als in de andere sloten. Concentraties van calcium lagen tussen de 30 en

50 mg/l (figuur 56, Bijlage 3). In de Bollemaat Zuid sloot had de locatie dicht bij de boezem de hoogste calciumconcentraties. De calciumconcentraties in sloot 2 van de Bramen lagen veel lager dan in de rest van de sloten; ongeveer 15 mg/l lager. De magnesiumconcentraties volgden hetzelfde patroon als de calciumconcentraties (figuur 56, Bijlage 3). Het EGV volgde ongeveer hetzelfde patroon als de chlorideconcentratie (figuur 58, Bijlage 3). Het EGV was hoog in de sloten van Groen Kruispunt (vooral in sloot 1), als gevolg van de hoge concentraties natrium en chloride, en laag in sloot 2 van De Bramen.

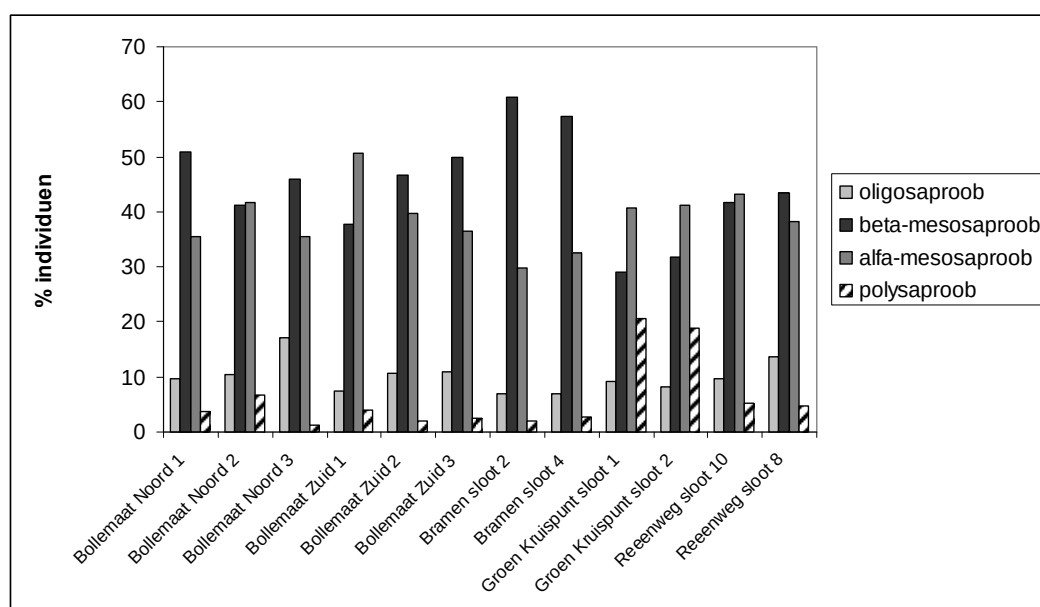
De sulfaatconcentraties waren in alle sloten, behalve in Groen Kruispunt, laag. De concentraties fluctueerden sterk, deels mogelijk door verdunning, anderzijds mogelijk doordat sulfaat werd omgezet in sulfide en neersloeg met ijzer. Dit sulfaat zou dan later in het jaar weer vrij kunnen zijn gekomen, op het moment dat er over de gehele diepte van de sloot weer hoge zuurstofconcentraties heersten. De verhouding tussen sulfaat en chloride was 's winters hoog en 's zomers laag (figuur 60, Bijlage 3), wat waarschijnlijk betekent dat een deel van het zwavel in de sloot 's zomers vastgehouden wordt als ijzersulfide. De verhouding lag in de sloten van Groen Kruispunt veel lager dan in de andere sloten, omdat er in deze sloten relatief veel chloride wordt aangevoerd.

De pH-fluctuaties in de sloten waren over het algemeen klein, omdat de alkaliniteit (buffering) vrij hoog was (figuur 59, Bijlage 3). In sloot 2 van De Bramen was de buffering (die grotendeels door bicarbonaat wordt veroorzaakt) laag, en liep de pH hoog op gedurende het groeiseizoen (vooral in mei). In het groeiseizoen wordt er door planten en algen veel CO₂ gebruikt voor fotosynthese. Dit nemen ondergedoken planten en algen op uit de het water. Hierbij verschuift het evenwicht met bicarbonaat, neemt de bicarbonaatconcentratie en daarmee de buffering af, en wordt de pH hoger. Dit was ook te zien in de sloten van Groen Kruispunt in maart 2007 (vooral sloot 2). Op dat moment was de algengroei zo hoog (chlorofyl-a, figuur 29, Bijlage 1) dat de hoge alkaliniteit die er normaal gesproken in deze sloot is, niet afdoende was om voor buffering te zorgen.

In aanvulling op de meerdaagse zuurstofmetingen op meerdere dieptes is ook elke maand de zuurstofconcentratie op 10 cm onder het wateroppervlak gemeten (figuur 58). Hoewel de zuurstofconcentraties erg afhankelijk kunnen zijn van het moment op de dag waarop ze gemeten zijn (zie §4.1.1), vertoonden de zuurstofconcentraties toch een duidelijk patroon over het jaar heen. Alle concentraties werden tussen ca 11 uur 's ochttens en 17 uur 's middags gemeten. Zuurstofconcentraties bovenin het profiel waren het hoogst in de winter en het laagst aan het eind van de zomer. De concentraties waren het hoogst in februari, toen de concentraties in de Bollemaat Noord 1 en Bollemaat Zuid 2 en in de sloten van de Reeënweg boven de 12 mg/l uitkwamen. Deze concentraties zijn hoog ten opzichte van de rest van het jaar, maar er trad nauwelijks oververzadiging op, omdat bij de lage watertemperaturen in februari het water veel zuurstof kan bevatten. In de Reeënweg sloot 10 was er wel sprake van oververzadiging (141%). In Groen Kruispunt trad er in maart 2007 en in maart 2008 (beide sloten) en in maart 2008 (sloot 2) zeer hoge zuurstofproductie op. Dit kwam overeen met de momenten waarop er hoge concentraties algen in het

water werden aangetroffen. In augustus 2007 waren op veel plekken de zuurstofconcentraties laag (in 2008 zijn de laatste metingen in juni verricht). De concentraties waren het laagst in de sloten met een mat van drijvende vegetatie (de sloten van Groen Kruispunt en De Bramen sloot 2), maar ook in de Bollemaatsloten, vooral in de slootgedeelten dicht bij de boezem, werd de concentratie erg laag. In Bollemaat Zuid 3 kwam de concentratie zuurstof aan het oppervlak zelfs twee maal onder 2 mg/l. In Groen Kruispunt bleef de zuurstofconcentratie zelfs tijdens de metingen drie maanden (augustus tot en met november 2007) onder 1 mg/l. De zuurstofpatronen van de verschillende sloten bevestigen het beeld dat uit de meerdaagse zuurstofmetingen naar voren kwam: aan het oppervlak zijn de zuurstofconcentraties over het algemeen hoog, maar ook hier kunnen ze aan het eind van de zomer behoorlijk laag worden.

3.1.4 Macrofauna



Figuur 10. Percentage van het aantal individuen van de macrofaunagemeenschap in de sloten per saprobiteitsklasse, gecorrigeerd voor de individuen waaraan geen klasse is toegekend.

In alle sloten was het merendeel van de macrofaunasoorten (individueen) indicatief voor de saprobiteitsklassen beta-mesosaprob en alfa-mesosaprob (figuur 10). De sloten van Groen Kruispunt bevatten een groter percentage individuen dat indicatief is voor polysaprobe milieus. Ook was hier de klasse alfa-mesosaprob groter dan de klasse beta-mesosaprob, wat in bijna alle andere sloten niet het geval was.

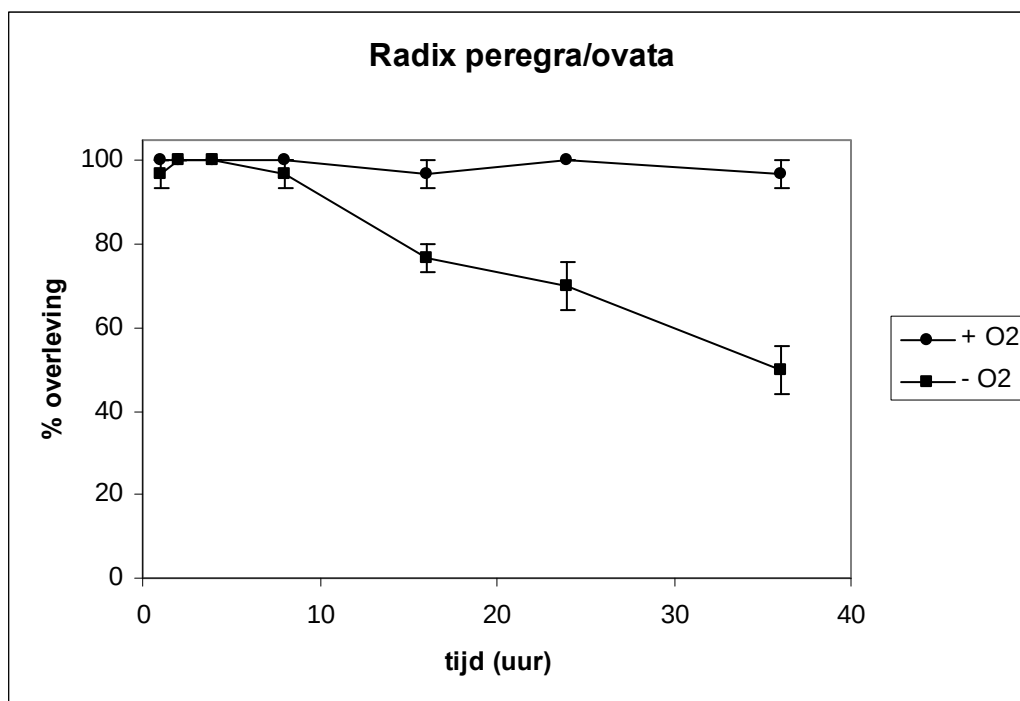
3.2 Tijdreeks zuurstofloosheid

De concentratie van zuurstof in de zuurstofarme behandeling was gemiddeld 0.6 mg/l (standaarddeviatie 0.5 mg/l). De behandeling met beluchting had gemiddeld een zuurstofconcentratie van 10.7 mg/l (standaarddeviatie 0.1 mg/l).

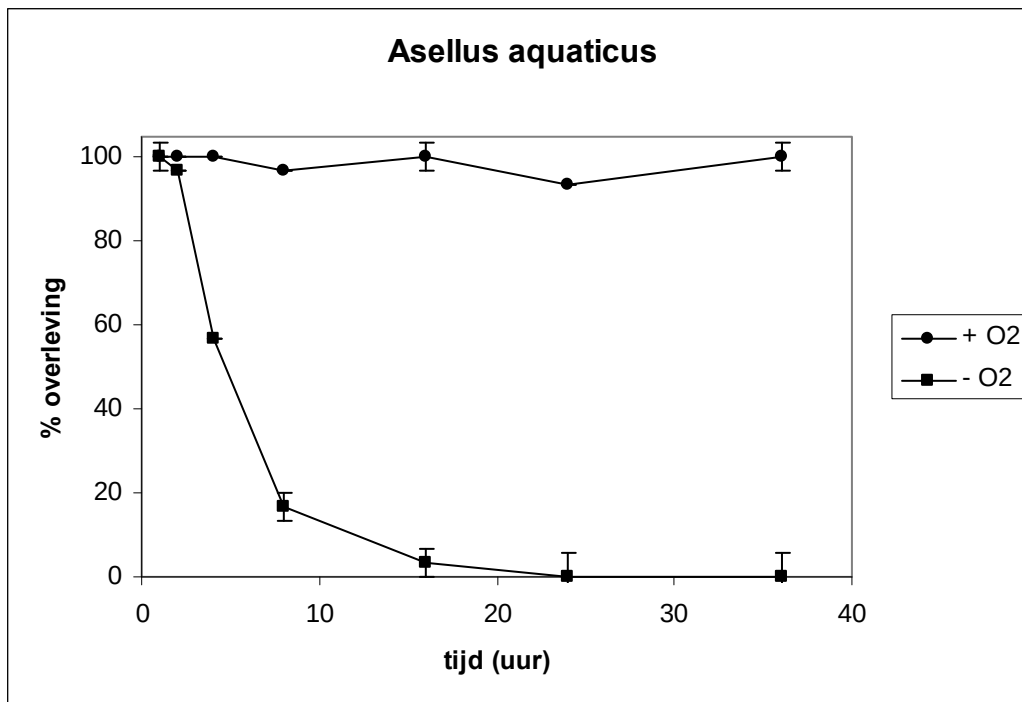
R. peregra/ovata kon relatief goed tegen de zuurstofloze omstandigheden in het aquarium (figuur 11). Pas na 32 uur was 50% van de slakken overleden. *A. aquaticus* bleek veel gevoeliger te zijn (figuur 12). Hier was 50% van de dieren al na circa 4,5 uur onder zuurstofarme omstandigheden overleden. *G. pulex* bleek het gevoeligst te zijn voor zuurstofloze omstandigheden (figuur 13): in minder dan 1,5 uur leefde 50% van de dieren niet meer.

Er was een significant effect van tijd, van behandeling (zuurstofrijk/zuurstofarm) en van de soort (*R. peregra/ovata*, *A. aquaticus* of *G. pulex*). Ook alle interacties (tijd x behandeling, tijd x soort en tijd x behandeling x soort) waren significant. Dit betekent dat de verschillende soorten een ander verloop van de overleving onder zuurstofarme omstandigheden kenden. De overleving van elke soort verschilde significant van de andere soorten (Tukey-posthoc-test).

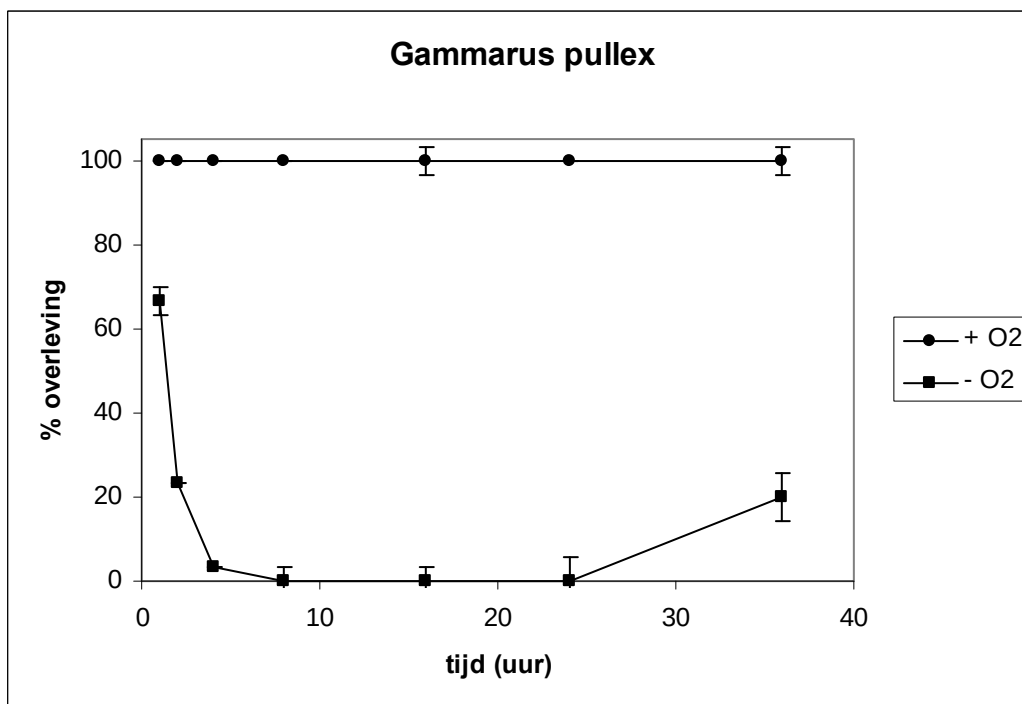
Opvallend is de overleving van *G. pulex* in de 32-uursmeting. In deze aquaria was de zuurstofconcentratie bij aanvang van het experiment iets hoger dan in de andere aquaria (0.9 mg O₂/l tegen gemiddeld 0.3 mg/l in de andere aquaria). Mogelijk hebben hierdoor toch een aantal dieren kunnen overleven. Opvallend is wel dat dit alleen voor *G. pulex* het geval was en niet voor *R. peregra/ovata* en *A. aquaticus* die tegelijkertijd in dezelfde aquaria zaten.



Figuur 11. Overleving van *Radix peregra/ovata* gedurende het tijdreeks-experiment in de behandelingen met (+O₂) en zonder zuurstof (- O₂). Fontebalken geven de standaardfout weer.



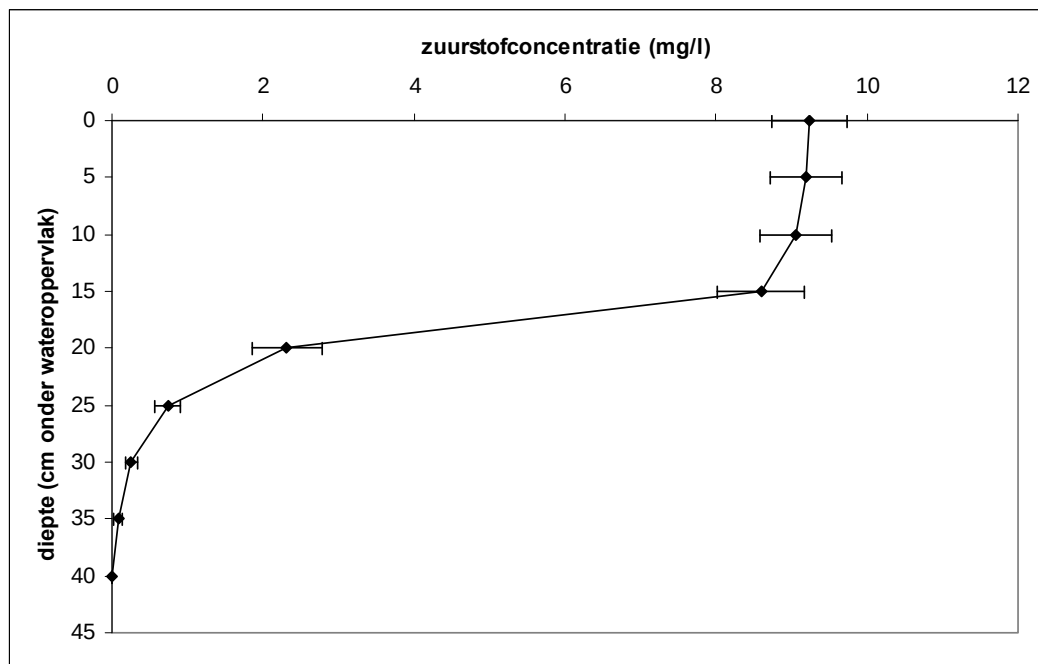
Figuur 12. Overleving van *Asellus aquaticus* gedurende het tijdreeksperiment met (+O₂) en zonder zuurstof (-O₂). Foutenbalken geven de standaardfout weer.



Figuur 13. Overleving van *Gammarus pulex* gedurende het tijdreeksperiment met (+O₂) en zonder zuurstof (-O₂). Foutenbalken geven de standaardfout weer.

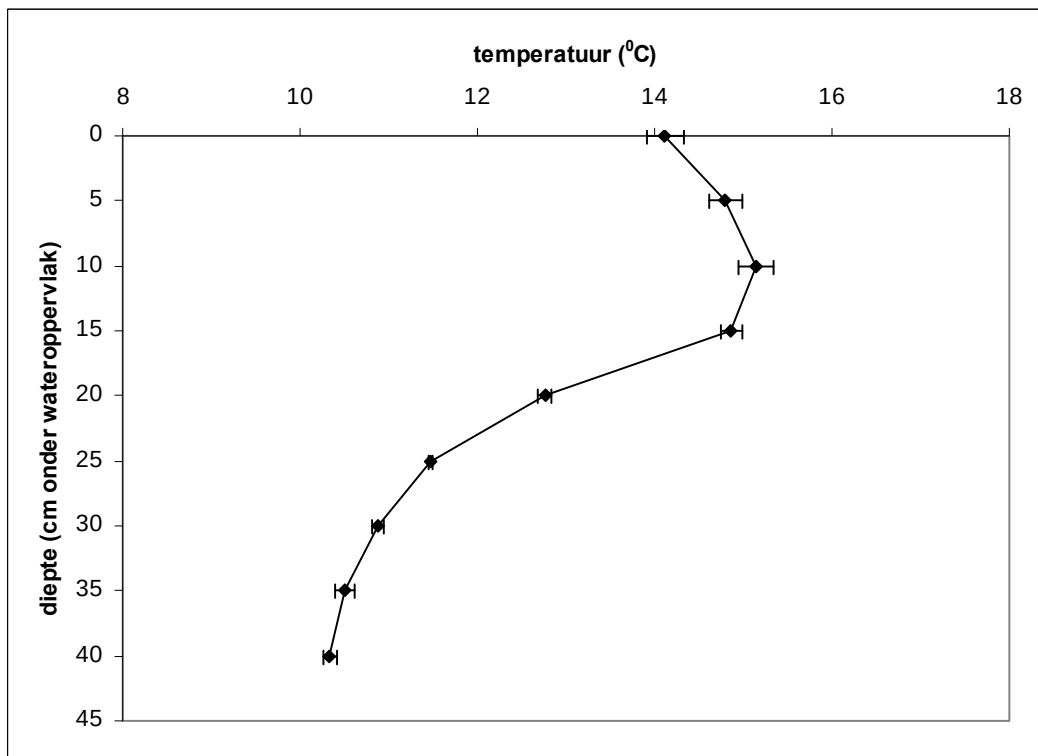
3.3 Stratificatie-experiment

De zuurstofconcentratie en temperatuur vertoonden een duidelijke sprong op de overgang tussen het gekoelde en ongekoelde water (figuur 14 en 15). Deze spronglaag was ongeveer 10 cm dik en hierin nam de zuurstofconcentratie met 7.9 mg/l af en de temperatuur met 3.4 °C. De kleine kooitjes die voor het experiment gebruikt werden, bevonden zich boven en onder, maar niet in de spronglaag.

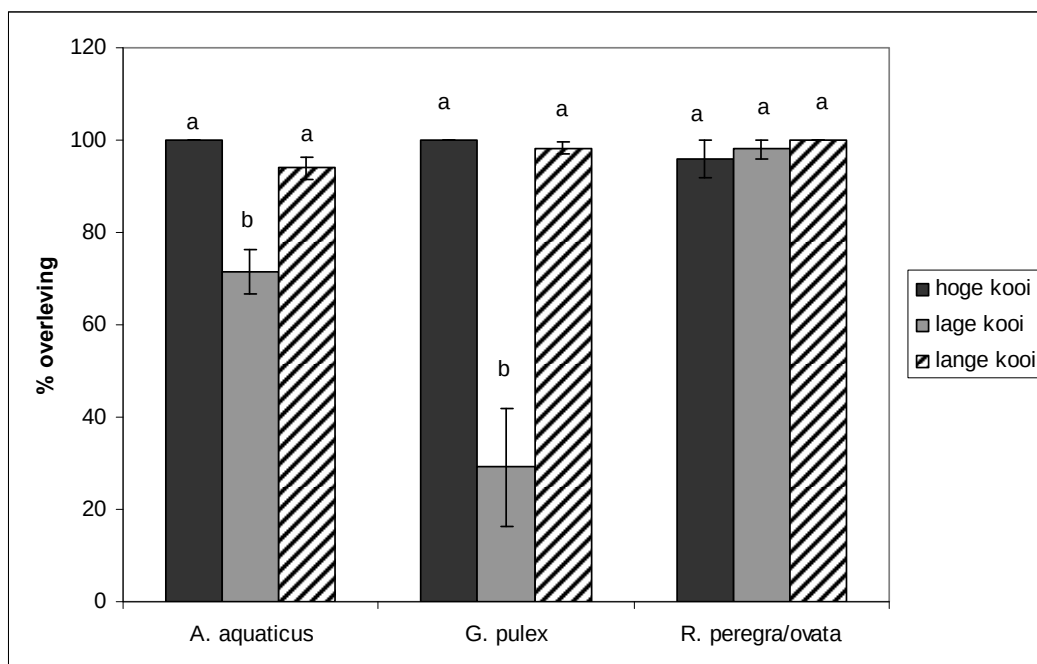


Figuur 14. Het verloop van de zuurstofconcentratie in de diepte in het stratificatie-experiment. Foutenbalken geven de standaardfout weer. De spronglaag bevond zich op 15 tot 20 cm onder het wateroppervlak.

R. peregra/ovata kende de grootste overleving. Er werden voor *R. peregra/ovata* geen verschillen in overleving gevonden tussen de kooien in de zuurstofrijke en de zuurstofarme stratificatielaag (figuur 16). Voor *G. pulex* zijn 3 metingen van 5 herhalingen uitgevoerd. Bij de tweede meting bleek onderin in drie van de opstellingen de zuurstofconcentratie te zijn opgelopen tot boven 2 mg/l doordat er zuurstof door algen geproduceerd werd. De resultaten van deze tonnen zijn bij het verwerken van de gegevens weggelaten. In de eerste meting van *G. pulex* waren het ook deze drie tonnen waarin de dieren in de onderste stratificatielaag overleefden. Er werden toen echter geen afwijkende zuurstofconcentraties in de onderste stratificatielaag gevonden. Daarom is besloten om de resultaten van deze opstellingen in de eerste meetronde wel in de gegevensverwerking mee te nemen. Voor *A. aquaticus* en *G. pulex* was de overleving in de kooitjes in de zuurstofarme stratificatielaag veel lager dan in de zuurstofrijke laag. De overleving in de lange kooien verschilde niet significant van die in de kooien in de zuurstofrijke laag. Van de vijf exemplaren van *G. pulex* en *A. aquaticus* die in de lange kooien niet overleefden, waren er twee beknoeld geraakt in de kooien. In tabel 2 staan de metingen van de pH, alkaliniteit, EGV en sulfideconcentraties weergegeven. De bovenste waterlaag had een iets hogere pH dan de onderste en dan het bodemwater van het slib. Het slib had een hoger alkaliniteit en EGV. Concentraties sulfide bleven overal ver onder de detectielimiet van 1 µmol/l.



Figuur 15. Verloop van de temperatuur in de diepte in het stratificatie-experiment. Foutenbalken geven de standaardfout weer. De spronglaag bevond zich op 15 tot 20 cm onder het wateroppervlak.



Figuur 16. Overleving van *A. aquaticus*, *G. pulex* en *R. peregra/ovata* na 24 uur in zuurstofrijke stratificatielaag (hoge kooi), zuurstofarme stratificatielaag (lage kooi) of met de mogelijkheid tussen de lagen te migreren (lange kooi). Foutenbalken geven de standaardfout weer. Letters geven de significante verschillen per soort aan.

Tabel 2. Meetgegevens van de verschillende lagen. Tussen haakjes de standaardfout. Sterretjes geven significante verschillen aan tussen de verschillende lagen.

Laag	pH	EGV ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	alkaliniteit (meq/l)	sulfide ($\mu\text{mol}/\text{l}$)
Boven	7.52 (0.10)*	418 (4.2)	2.7 (0.04)	<<1
Onder	7.25 (0.03)	412 (6.3)	2.7 (0.04)	<<1
Slib	7.21 (0.06)	502 (22.4)*	4.2 (0.13)*	<<1

3.4 Veldexperimenten

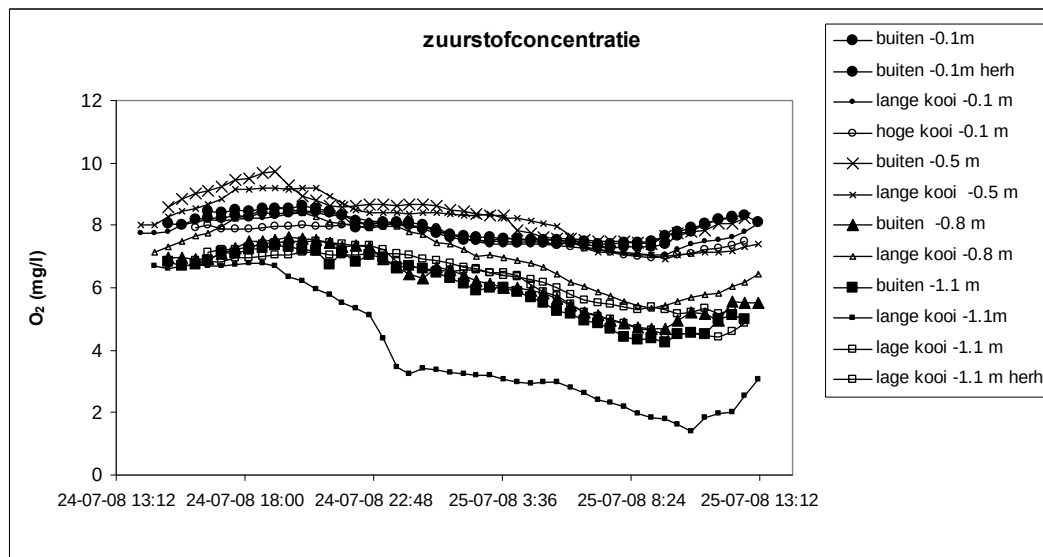
3.4.1 Bollemaat

De zuurstofconcentraties bleken gedurende het experiment in de Bollemaat ook aan de bodem hoog te zijn gebleven. Er was wel sprake van temperatuurstratificatie, want de sensoren op de verschillende hoogtes lieten zowel een verschil in temperatuur, als een verschil in zuurstofconcentratieverloop zien.

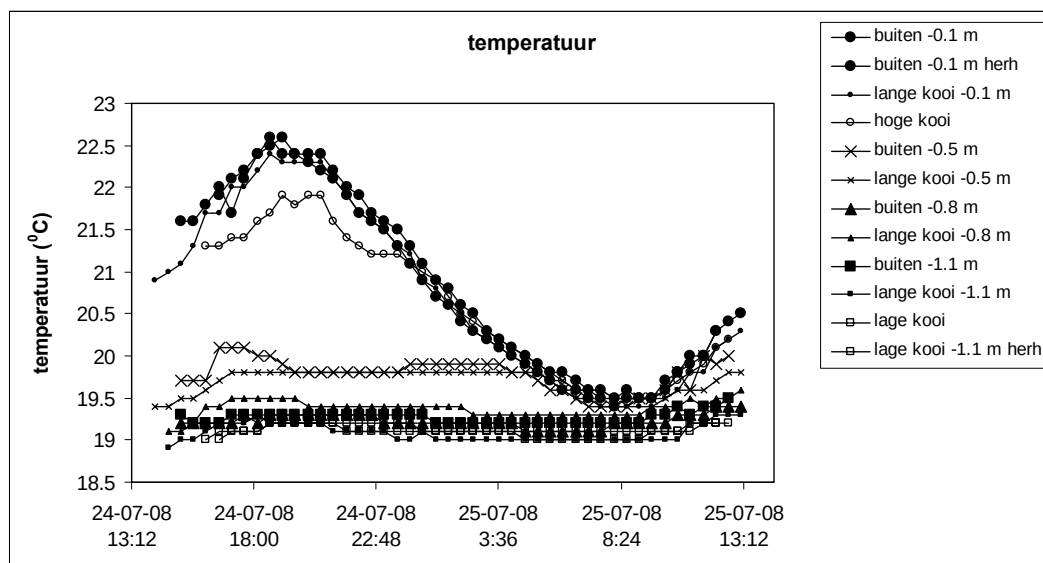
Er waren 3 verschillende stratificatiepatronen te onderscheiden (figuur 17 en 18):

- Op 10 cm onder het wateroppervlak fluctueerde de temperatuur sterk door de dag-/nachttemperatuur van de lucht. Op deze diepte was er constant een hoge zuurstofconcentratie.
- Op 50 cm onder het wateroppervlak was de temperatuur de eerste dag lager dan op 10 cm onder het wateroppervlak. De zuurstofconcentratie was echter hoger, mogelijk doordat er op deze diepte veel productie door planten was. Om ongeveer 6 uur de volgende dag werd de temperatuur in deze laag gelijk aan die in de laag erboven en volgde ook de zuurstofconcentratie daarna hetzelfde patroon.
- Op 80 à 110 cm onder het oppervlak was de temperatuur het laagst en bleef deze constant. De zuurstofconcentratie lag lager dan in de lagen erboven, maar was nog steeds hoog. 's Nachts daalde de concentratie tot 4.3 à 5.3 mg/l. Vanaf ongeveer 9 uur 's morgens volgde een stijging. Er was duidelijk sprake van stratificatie, die 's nachts niet werd opgeheven. De stijging 's morgens is waarschijnlijk te verklaren door de aanwezigheid van zuurstofproducerende planten aan de bodem
- De sensoren in de lange kooi op 80 en 110 cm diepte vertoonden een afwijkend patroon. Op 110 cm diepte werd de zuurstofconcentratie laag (tot 1.42 mg/l). 4 uur lang was de concentratie onder 2 mg/l. Omdat de sensoren in de laaggehangen kooitjes en op dezelfde diepte buiten de kooi echter veel hogere zuurstofconcentraties maten, is het echter niet zo aannemelijk dat de dieren daadwerkelijk deze lage concentraties hebben ervaren. De gemeten temperatuur wijkt ook niet af van de andere metingen op deze diepte. De sensor in de lange kooi op 80 cm registreerde ook een afwijkend patroon: zuurstofconcentraties waren hier juist wat hoger dan de andere metingen op -80 en -110 cm. De temperatuur leek ook iets hoger te zijn. Het zou kunnen de micro-omstandigheden rond de lange meetkooi iets anders waren dan op andere plekken in de sloot, dat er bij het ophangen wat slib onderin de kooi is gekomen en/of dat de aanwezigheid van de (grote en massieve) elektrodes de metingen heeft beïnvloed.

Door de langdurige zuurstofrijke concentraties aan de bodem waren de omstandigheden niet goed genoeg om sterfte of migratie als gevolg van zuurstofarme omstandigheden te meten. Het experiment is daarom herhaald in de kleine vijver naast Alterra in Wageningen.



Figuur 17. Zuurstofconcentratieverloop tijdens het veldexperiment in de Bollemaat op 24 en 25 juli 2008.



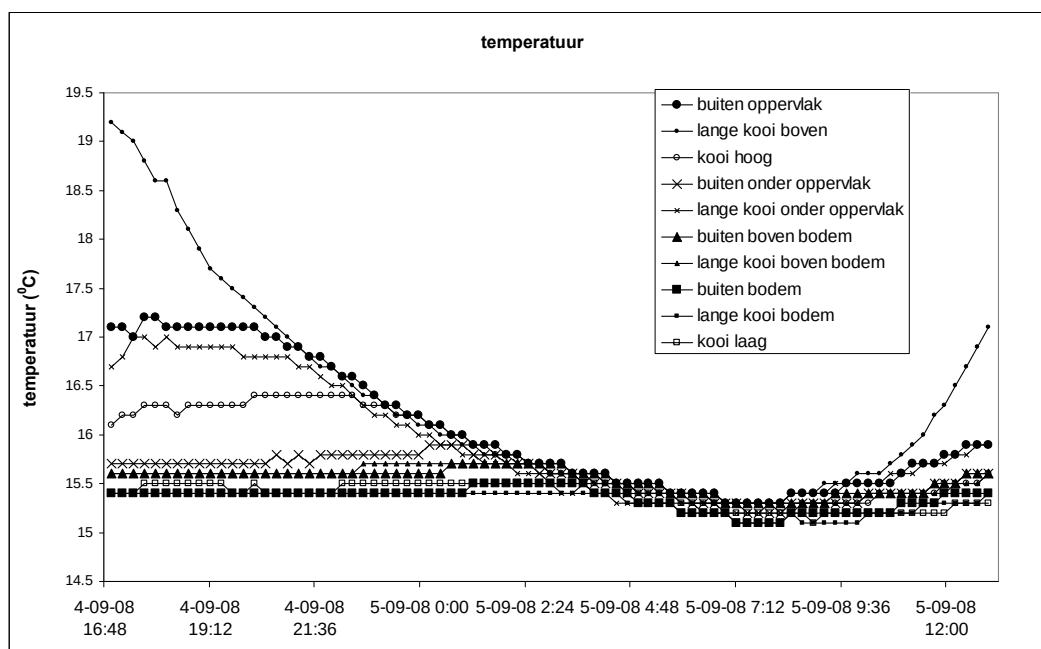
Figuur 18. Temperatuurverloop in het veldexperiment in de Bollemaat op 24 en 25 juli 2008.

3.4.2 Veldexperiment vijver bij Alterra

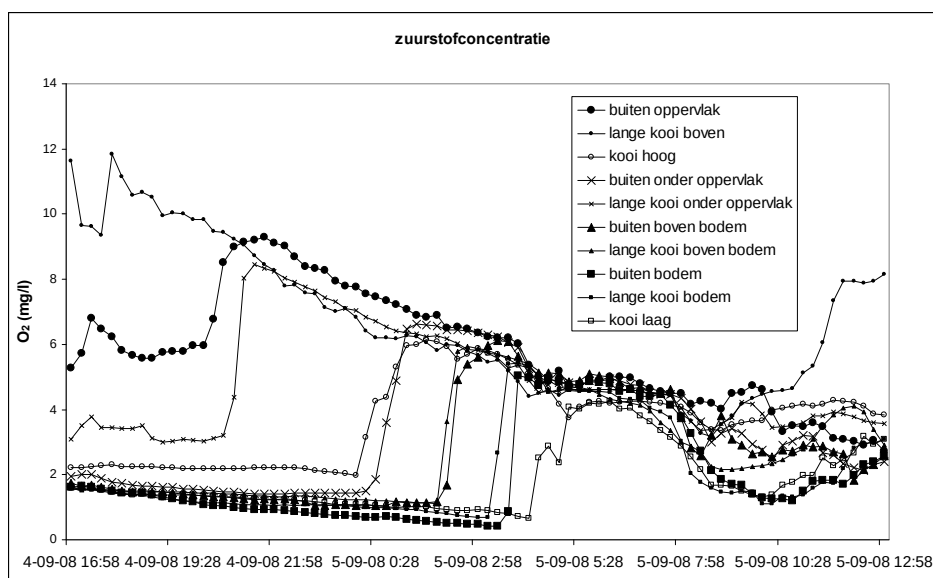
Er was initieel een duidelijk verschil tussen de temperatuur en zuurstofconcentraties onder- en bovenin de vijver (figuur 19 en 20). De sensor die bovenin de lange kooi was bevestigd, hing aan het begin van het experiment waarschijnlijk net in een iets warmere laag dan de elektrode buiten de kooien en de elektrode die zich ca 20 cm

dieper in de lange kooi bevond. In deze warmere laag was de temperatuur boven de 19 °C, terwijl die in bij de andere twee hooggehangen elektroden rond de 17 lag. Ook de zuurstofconcentratie was hier erg hoog: tussen de 10 en 12 mg/l, tegen tussen de 3 en de 6 mg/l voor de andere twee sensoren. 's Avonds koelde deze warme waterlaag af, waarbij deze rond half tien dezelfde temperatuur bereikte als van de andere twee genoemde sensoren. Er kon toen menging optreden, waarbij de zuurstofconcentratie rond de andere twee sensoren sterk steeg tot 10 mg/l. De temperatuur en zuurstofconcentratie in het hooggehangen kooitje lagen opvallend lager dan in erbuiten en dan in de lange kooi op dezelfde diepte. Gedurende nacht daalde de temperatuur van de hoogste laag, waarbij telkens als de temperatuur op een lagergelegen punt komt, er menging optrad waardoor de zuurstofconcentratie met een sprong omhoogging tot het dezelfde temperatuur bereikte als die van de hoge laag. De zuurstofconcentratie bleef dalen tot een uur of negen 's morgens. Toen kwam er zuurstofproductie op gang en steeg de temperatuur, waardoor er weer verschillende lagen met verschillende temperatuur en zuurstofconcentraties konden ontstaan.

Het is niet geheel duidelijk aan welke zuurstofconcentraties de dieren in de hooggehangen kooitjes hebben blootgestaan, omdat de metingen tussen de sensor buiten de kooi, de sensor in een hooggehangen kooitje en de sensor op het hoogste niveau in de lange meetkooi een sterk afwijkend patroon vertoonden. In elk geval kan er aangenomen worden dat de zuurstofconcentraties in de hooggehangen kooitjes boven 2 mg/l zijn gebleven. De kooitjes die beneden bij de bodem waren opgehangen, zullen de eerste uren zuurstofconcentraties onder 1.6 mg/l hebben gehad. De concentraties namen de eerste uren af van 0.7 tot 0.4 mg/l. Deze periode van zuurstofarme omstandigheden heeft waarschijnlijk 10.5 à 11 uur geduurd.

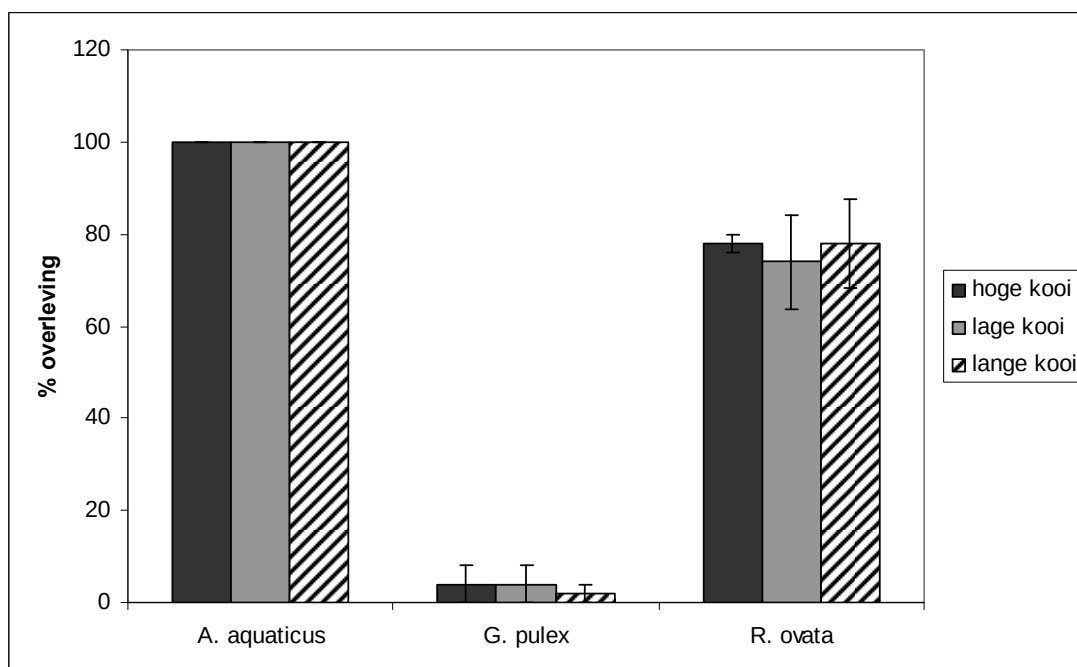


Figuur 19. Temperatuurverloop tijdens het veldexperiment in de vijver bij Alterra op 4 en 5 september 2008.



Figuur 20. Zuurstofconcentratieverloop tijdens het veldexperiment in de vijver bij Alterra op 4 en 5 september 2008.

Geen van de testsoorten vertoonde een verschil in overleving tussen zuurstofarme en de zuurstofrijkere waterlaag (figuur 21). Alle exemplaren van *A. aquaticus* overleefden in het experiment. De sterfte onder *G. pulex* was echter aanzienlijk. In geen van de behandelingen overleefde meer dan 20%. Ook voor *R. peregra/ovata* waren de omstandigheden niet optimaal: circa 20% van de dieren overleefde de omstandigheden niet.



Figuur 21. Overleving van *A. aquaticus*, *G. pulex* en *R. peregra/ovata* in het veldexperiment in de vijver bij Alterra in zuurstofrijke stratificatielaag (hoge kooi), zuurstofarme stratificatielaag (lage kooi) of met de mogelijkheid tussen de lagen te migreren (lange kooi). Foutenbalken geven de standaardfout weer. Er werden geen significante verschillen tussen de behandelingen gevonden.

4 Conclusies

4.1 Veldonderzoek

4.1.1 Waterkwaliteit

De verschillende sloten hadden hun eigen fytoplanktonsamenstelling. In de sloten van de Bollemaat was er een duidelijk verschil te zien tussen de gedeelten die het dichtst bij de boezem lagen, waar diatomeeën van *Centrales* domineerden en de slootgedeelten verder van de boezem, waar goudalgen (*Chrysophyceae*) dominant waren. De meeste goudalgen zijn kenmerkend voor oligotrofe wateren (Wetzel, 2001), wat zou kunnen verklaren waarom ze juist in de slootgedeelten dominant zijn die verder van de boezem afliggen. Goudalgen kunnen tegen een lage temperatuur en lichtintensiteit (Wetzel, 2001; Jasprica et al., 2005), waardoor ze ook in de winter in hoge concentraties aanwezig konden zijn.

De nutriëntenconcentraties in de sloten waren over het algemeen laag, behalve in de sloten van Groen Kruispunt, wat zich uit in zeer hoge fytoplanktonconcentraties in het voor- en najaar.

4.1.2 Zuurstofdynamiek

Net als tijdens de metingen in 2007 trad er in de sloten temperatuur- en daardoor ook zuurstofstratificatie op. Minder vaak dan tijdens de metingen in 2007 leidde dit tot zuurstofloosheid aan de bodem. Tijdens de metingen in 2008 trad deze zuurstofloosheid alleen op in juni in de onderzochte sloot aan de Reeënweg. De sloot Bollemaat Noord 1 was geselecteerd voor de uitvoering van het veldexperiment omdat er in 2007 vaak zuurstofloosheid in het diepere water optrad. Omdat dit in 2008 nauwelijks voorkwam, bleken de omstandigheden voor het veldexperiment op deze locatie achterafgezien ongunstig. Het verschil tussen deze twee jaren ligt er mogelijk in dat in het onderzochte slootgedeelte in 2008 meer ondergedoken waterplanten (Fonteinkruiden, maar ook in de zomer nog ondergedoken Krabbenscheer) aan de bodem groeiden, waardoor er ook aan de bodem nog zuurstofproductie plaatsvond.

De ruimtelijke variatie in zuurstofconcentraties en temperatuur was op sommige momenten groot. De zuurstofsensoren, die op ongeveer 10 cm onder elkaar hingen, vertoonden in de sloot aan de Reeënweg in juni elk een ander, slechts deels overlappend patroon. Ook lateraal waren er af en toe verschillen in zuurstof- en temperatuurpatronen op de verschillende niveaus in de waterkolom. Deze verschillen waren echter nog niet zo groot als de temperatuurverschillen die in 2007 werd geconstateerd tussen Bollemaat 1, 2 en 3 (Loeb & Verdonschot, 2009a).

Uit de metingen die in 2007 en 2008 in de sloten zijn uitgevoerd, blijkt duidelijk dat stratificatie een normaal verschijnsel in sloten is en dat dit kan leiden tot tijdelijke

zuurstofarme omstandigheden aan de slootbodem. Deze stratificatie hangt slechts voor een klein gedeelte met de nutriëntenhuishouding samen. De aanwezigheid van op de bodem groeiende waterplanten kan voorkomen dat er aan de bodem zuurstofloosheid ontstaat. Er kunnen hier alleen onder nutriëntenarme omstandigheden ondergedoken waterplanten groeien, omdat zij in voedselrijkere systemen overschaduwd worden door algen of drijvende waterplanten. De meerdaagse zuurstofmetingen uit 2007 lieten echter zien dat ook in relatief nutriëntenarme systemen zuurstofloosheid door temperatuurstratificatie in de zomer optrad.

4.2 Experimenten

In de labexperimenten zijn zuurstofloze omstandigheden door temperatuurstratificatie nagebootst. In afwezigheid van zuurstof kunnen voor macrofauna giftige stoffen gevormd worden, zoals waterstofsulfide en ammoniak. Uit de metingen bleek dat er geen meetbare concentraties waterstofsulfide aanwezig waren en er in het experiment geen sprake geweest kan zijn van sulfidetoxiciteit. Ook de formatie van hoge concentraties ammoniak is niet aannemelijk onder de gemeten pH. Er mag dus geconcludeerd worden dat de gemeten effecten op de macrofauna optraden door verschillen in zuurstofconcentratie en niet door toxiciteit.

De onderzochte soorten *Radix peregra/ovata*, *Asellus aquaticus* en *Gammarus pulex* hadden elk een andere gevoeligheid voor zuurstofarme omstandigheden. *Radix peregra/ovata* kon relatief goed tegen lange zuurstofarme periodes. *Asellus aquaticus* is een bodembewoner en kon ook goed tegen zuurstofloosheid, maar minder goed dan *Radix peregra/ovata*. *Gammarus pulex* kon van de testorganismen het slechtst tegen zuurstofloze omstandigheden. *G. pulex* is een zwemmer die zich door de waterkolom beweegt, dus niet aangepast aan zuurstofarme omstandigheden die aan bodem heersen.

Zowel *G. pulex* als *A. aquaticus* zwommen naar boven in de waterkolom als de zuurstofcondities onderin de kolom te laag waren. Of *R. ovata/peregra* zulk gedrag ook vertoont is niet duidelijk, omdat de zuurstofconcentraties gedurende de looptijd van het stratificatie-experiment in het lab nog niet zo laag waren dat er een effect werd gemeten op de overleving van *R. ovata/peregra* in de diepe kooitjes.

Er is in het tijdreeksperiment getest welke tijdsduur de organismen onder zuurstofarme omstandigheden kunnen overleven, maar niet welke zuurstofconcentraties ze konden overleven. Het is echter aannemelijk dat de testorganismen pas bij heel lage zuurstofconcentraties overleden. Deze kritische concentratie ligt waarschijnlijk ver onder de 2 mg/l die eerder als mogelijke grens wordt aangehouden. De tijdsduur dat organismen overleven is afhankelijk van de zuurstofconcentratie. Uit het tijdreeksperiment bleek dat bij een zuurstofconcentratie van ongeveer 0.9 mg/l er meer exemplaren van *G. pulex* overleefden dan bij 0.3 mg/l, terwijl dit concentratieverschil voor *A. aquaticus* en *Radix peregra/ovata* na 32 uur geen significant verschil opleverde. In het veldexperiment in de vijver van Alterra vertoonde *A. aquaticus* 100% overleving. De zuurstofconcentraties lagen in het onderste deel van de vijver gemiddeld meer dan 13

uur onder 2 mg/l, maar slechts 4 uur onder 1 mg/l. Blijkbaar kon *A. aquaticus* deze omstandigheden goed overleven, terwijl de soort in het tijdreeksperiment in 4 uur minder dan 60% overleving vertoonde bij gemiddeld lagere zuurstofconcentraties. Hoe de overlevingsduur van de verschillende soorten onder verschillende zuurstofconcentraties precies ligt, is niet onderzocht.

4.3 Conclusies voor de veldsituatie

Uit de experimenten blijkt dat *Asellus aquaticus*, *Gammarus pulex* en *Radix peregra/ovata*, drie soorten die algemeen zijn in sloten, gevoelig zijn voor zeer lage zuurstofconcentraties (< 1 mg/l) die langer dan enkele uren aanhouden. In de onderzochte sloten in de Wieden kwam de zuurstofconcentratie in juli 2007 regelmatig onder 1 mg/l (Loeb & Verdonschot, 2009a). Deze lage concentraties hielden meestal slechts 1 tot 8 uur aan, maar eenmaal zelfs 24 uur (Reeënweg sloot 8). Perioden met zuurstofconcentraties onder 0.5 mg/l kwamen ook voor, maar deze duurden korter. Het is dus aannemelijk dat er in sloten door temperatuurstratificatie in de zomer af en toe zulke lage zuurstofconcentraties kunnen ontstaan dat dit effect heeft op een deel van de macrofaunasoorten in de sloot. Meestal zal dit betekenen dat de dieren na enige tijd een plekje in de sloot zullen zoeken waar de zuurstofconcentraties hoger zijn. Dit geldt niet alleen voor zwemmers, zoals *G. pulex*, maar ook voor dieren die langs planten omhoog kruipen, zoals *A. aquaticus* en *R. ovata/peregra*. *R. ovata/peregra*, de slak, was het minst gevoelig voor zuurstofarme omstandigheden en zal dus, ondanks de trage voortbeweging, genoeg tijd hebben om zich te verplaatsen als zuurstofloze omstandigheden lang aanhouden. Meestal zullen de dieren tijdelijk naar een hogere plaats in de waterkolom migreren, waar de zuurstofconcentraties wel afdoende zijn, maar migratie kan ook lateraal plaatsvinden, omdat lage zuurstofconcentraties plaatselijk op kunnen treden. Sterfte door stratificatie zal niet vaak plaatsvinden, omdat de zuurstofconcentratie hoog in de waterkolom meestal wel hoog genoeg is.

Het is bekend dat zuurstof een belangrijke sturende factor kan zijn die bepalend kan zijn voor de samenstelling van de soortengemeenschap in het water. Vooral uit stromende wateren is bekend dat er veel soorten voorkomen die gevoelig zijn voor lage zuurstofconcentraties (o.a. Jacobsen, 2008). Dit wordt niet noodzakelijkerwijs veroorzaakt doordat alle individuen van een soort doodgaan onder een bepaalde zuurstofconcentratie, maar kan ook komen door verminderde concurrentiekracht doordat een soort minder goed presteert bij lage zuurstofconcentraties. In verschillende levensstadia is ook de benodigde minimale zuurstofconcentratie verschillend. *Plecoptera*-larven die bijna uitsluipen hebben een veel hogere zuurstofconcentratie nodig (5-6 mg/l) dan larven die nog niet uitsluipen (Nagell & Larshammar, 1981). In sloten kan de zuurstofconcentratie in het algemeen lager worden dan in stromende wateren. Soorten die zeer kritisch zijn ten aanzien van de zuurstofconcentratie zullen daardoor al niet vaak in sloten tegenkomen. Toch kan ook de macrofaunagemeenschap in stilstaande wateren door lage zuurstofconcentraties worden gestuurd (bijvoorbeeld Dinsmore & Prepas, 1997; Nelson & Thullen, 2008; Verdonschot, 1996).

De perioden waarin de zuurstofconcentratie onder 0.5 mg/l lag door temperatuurstratificatie, waren relatief kort in de onderzochte sloten. Bovendien was er tijdens de stratificatie altijd een zuurstofrijke laag bovenin de waterkolom aanwezig waar dieren naartoe konden migreren. Het lijkt daarom niet aannemelijk dat het zuurstofgebrek door temperatuurstratificatie een belangrijke directe sleutelfactor is voor de samenstelling van de macrofaunagemeenschap in sloten. Wel kan zuurstofgebrek door stratificatie effect hebben op concurrentieverhoudingen tussen soorten. Anders ligt dit voor de zuurstofconcentratie in sloten die over de gehele waterkolom langdurig zuurstofarm zijn. Dit was het geval bij de sloten van Groen Kruispunt, die door de hoge nutriëntenconcentraties een groot deel van het jaar lage zuurstofconcentraties hadden. In het voor- en najaar konden zuurstofarme condities optreden door het afsterven van de hoge concentraties algen, in de zomer doordat een laag met drijvende waterplanten (Klein kroos en Kikkerbeet) het water van de lucht afsloot. In het voorjaar van 2007 was de concentratie van zuurstof in deze sloten weliswaar overdag erg hoog, maar uit de meerdaagse metingen bleek dat de zuurstofconcentratie gedurende de nacht in deze periode ook erg laag kon worden (Loeb & Verdonchot 2009a). In de zomer en het najaar van 2007 waren ook overdag de zuurstofconcentraties erg laag. Uit het hogere aandeel aan polysaprobe en alfa-mesosaprobe organismen is af te leiden dat de macrofaunagemeenschap in deze sloten aangepast was aan de zuurstofarme omstandigheden en dat zuurstof voor deze sloten een sleutelfactor vormt voor de samenstelling van de levensgemeenschap.

Organismen kunnen predatie voorkomen wanneer ze in staat zijn om met lage zuurstofconcentraties om te gaan. Van gestratificeerde meren is bekend dat er macrofauna- en zoöplanktonsoorten zijn die een dagelijks verticale migratie (Diel Vertical Migration) door de waterkolom vertonen. Als het licht is, lopen zij gevaar om in het epilimnion (de bovenste waterlaag) door bijvoorbeeld vis opgegeten te worden (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2007). Ze zwemmen dan naar het hypolimnion, dat vaak lage zuurstofconcentraties heeft, om daar aan predatie te ontsnappen. 's Nachts, als het donker is, begeven ze zich weer naar het epilimnion. Ook in de oceaan is dit een bekend fenomeen (Criales-Hernandez et al., 2007). Hier zwemt een deel van het zoöplankton naar de zone met een zuurstofconcentratie lager dan 1 ml/l. Niet alleen door de duisternis, maar ook omdat vis in deze zone te weinig zuurstof heeft, kan het zoöplankton op deze manier aan predatie ontkomen (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2007). Larven van soorten van het geslacht *Chaoborus* (Diptera) zijn bekend om hun dagelijkse verticale migratiepatroon, waarbij ze 's nachts naar het epilimnion zwemmen. Dit gedrag wordt onder meer gestimuleerd door lage zuurstofconcentraties aan de bodem (bij hoge concentraties blijven ze dicht bij de bodem) (LaRow, 1970) en door de aanwezigheid van vis, die ze kunnen ruiken (bij afwezigheid van vis migreren ze overdag niet naar de bodem) (Oda & Hanazato, 2008). *Chaoborus*soorten eten zoöplankton, waardoor dit zoöplankton zijn migratiepatroon ook aanpast op dat van *Chaoborus* als deze aanwezig is (Bezerra-Neto & Pinto-Coelho, 2007). Ook andere soorten vertonen vaak een omgekeerd migratiepatroon om op die manier de predatiedruk te minimaliseren (Criales-Hernandez et al, 2007). Sloten zijn zo ondiep dat er ook op de bodem nog licht doordringt. Dagelijkse migratiepatronen zoals in meren en oceanen zijn hier dus niet te verwachten. Het is echter niet uitgesloten dat er dieren zijn die van de

zuurstofarme stratificatielaag gebruik kunnen maken om aan predatie door zuurstofgevoeligere dieren te ontkomen. Hier is nog geen onderzoek naar gedaan.

Zuurstofarme periodes blijken onder invloed van stratificatie van nature voor te komen in sloten, ook als deze een goede waterkwaliteit hebben. Dit komt in het onderliggende rapport naar voren uit metingen in een sloot aan de Reeënweg, maar bleek ook uit voorgaand onderzoek in veel meer sloten voor te kunnen komen. In de uitwerking van de Kaderrichtlijn Water (de maatlatten) wordt hier geen rekening mee gehouden. Behalve dat de normen aangepast zouden moeten worden, zou er ook gespecificeerd moeten worden hoe zuurstofverzadiging gemeten zou moeten worden. Een eenmalige meting kan namelijk een erg afwijkend beeld geven van wat er daadwerkelijk in de zuurstofhuishouding van een sloot speelt. Daarnaast is het van belang op welke diepte er zuurstof wordt gemeten en op welk moment van het jaar.

Literatuur

- Anonymus, 2003. Manual for the Application of the AQEM System: a comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Europese Unie.
- Bezerra-Neto, J.F. & R.M. Pinto-Coelho, 2007. Diel vertical migration of the copepod *Thermocyclops inversus* (Kiefer, 1936) in a tropical reservoir: the role of oxygen and the spatial overlap with *Chaoborus*. Aquatic Ecology 41: 535-545.
- Connolly, N.M., M.R. Crossland & R.G. Pearson, 2004. Effect of low dissolved oxygen on survival, emergence, and drift of tropical stream macroinvertebrates. J. N. Am. Benthol. Soc. 23: 251-270.
- Criales-Hernandez, M.I., R Schwaborn, M. Graco, P. Ayon, H.J. Hirche & M. Wolff, 2008. Zooplankton vertical distribution and migration off Central Peru in relation to the oxygen minimum layer. Helgolander Marine Research 62: 85-100.
- Dale, H.M. & T. Gillespie, 1976. The influence of floating vascular plants on the diurnal fluctuations of temperature near the water surface in early spring. Hydrobiologia 49: 245-256.
- Dale, H.M. & T. Gillespie, 1977. The influence of submersed aquatic plants on temperature gradients in shallow water bodies. Canadian Journal of Botany 55: 2216-2225.
- Dinsmore, W.P. & E.E. Prepas, 1997. Impact of hypolimnetic oxygenation on profundal macroinvertebrates in a eutrophic lake in central Alberta. II. Changes in *Chironimus* spp. *abundancia* and biomass. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 2170-2181.
- Imberger, J., 1985. Thermal characteristics of standing waters: an illustration of dynamic processes. Hydrobiologia 125: 7-29.
- Jacobsen, D., 2008. Low oxygen pressure as a driving factor for the altitudinal decline in taxon richness of stream macroinvertebrates. Oecologia 154: 795-807.
- Jasprica, N., D. Hafner, M. Batitić & T. Kapetanović, 2005. Phytoplankton in three freshwater lakes in the Neretva River delta (Eastern Adriatic, NE Mediterranean). Nova Hedwigia 81: 37-54.
- Kersting, K., 1983. Bimodal diel dissolved oxygen curves and thermal stratification in polder ditches. Hydrobiologia 107: 165-168.

Kersting, K., 1987. Zuurstofhuishouding van twee poldersloten in de polder Demmerik. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.

LaRow, E.J., 1970. Effect of oxygen tension on vertical migration of *Chaoborus larvae*. Limnology and Oceanography 15: 357-362.

Loeb, R., P.F.M. Verdonschot, M.W. van den Hoorn, R.C. Nijboer & M. Bleeker, 2008. Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren. I. Eerste verkenning in laagveensloten. Alterra-rapport 1751.

Loeb, R. & P.F.M. Verdonschot, 2009a. Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren. II. Jaarfluctuaties in sleutelfactoren in laagveensloten. Alterra-rapport 1827, Alterra, Wageningen.

Loeb, R. & P.F.M. Verdonschot, 2009b. Effecten van herinrichtingsmaatregelen in laagveensloten. I. Beschrijving van de nulsituatie. Alterra-rapport 1774. Alterra, Wageningen.

Loeb R., P.F.M. Verdonschot & R. Wiggers, 2009b. Effecten van herinrichtingsmaatregelen in laagveensloten. II. Kortetermijneffecten en tweede beschrijving nulsituatie. Alterra-rapport 1828, Alterra, Wageningen.

Marshall, E.J.P., 1981. The ecology of a land drainage channel. Water Research 15: 1075-1085.

Miranda, L.E., M.P. Driscoll & M.S. Allen, 2000. Transient physicochemical microhabitats facilitate fish survival in inhospitable aquatic plant stands. Freshwater Biology 44: 617-628.

Van der Molen, D.T. & R. Pot (red.), 2007. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA-rapport 2007-32. STOWA, Utrecht.

Nagell, B. & P. Larshammar, 1981. Critical oxygen-demand in *Plecoptera* and *Ephemeroptera* nymphs as determined by 2 methods. Oikos 36: 75-82.

Nelson, S.M. & J.S. Thullen, 2008. Aquatic macroinvertebrates associated with *Schoenoplectus* litter in a constructed wetland in California (USA). Ecological Engineering 33: 91-101.

Oda, S. & T. Hanazato, 2008. Diel vertical migration patterns in two populations of *Chaoborus flavicans* larvae (Diptera: Chaoboridae) in response to fish kairomones. Journal of Limnology 67: 93-99.

Portielje R. & L. Lijklema, 1995. The effect of reaeration and benthic algae on the oxygen balance of an artificial ditch. Ecological Modelling 79: 35-48

Portielje R., K. Kersting & L. Lijklema, 1996. Primary production estimation from continuous oxygen measurements in relation to external nutrient input. *Wat. Res.* 30: 625-643

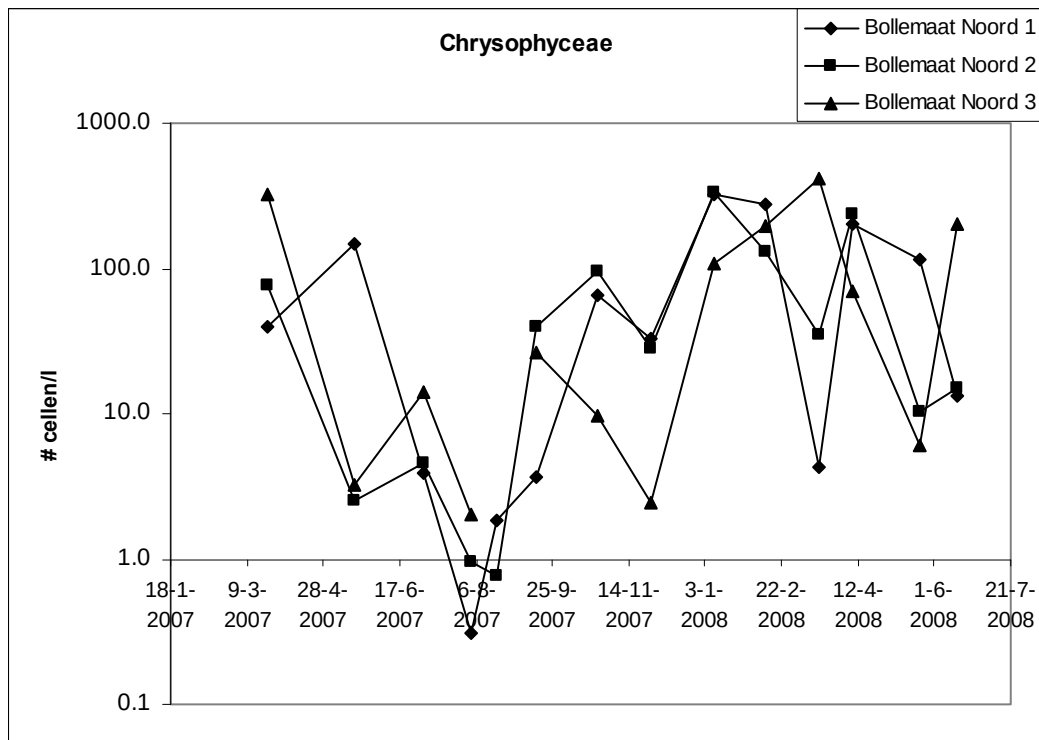
Veeningen R., 1982. Temporal and spatial variation of dissolved oxygen concentrations in some Dutch polder ditches. *Hydrobiologia* 95: 369-383.

Verdonschot, P.F.M., 1996. Oligochaetes and eutrophication; An experiment over four years in outdoor mesocosms. *Hydrobiologia* 334: 169-183.

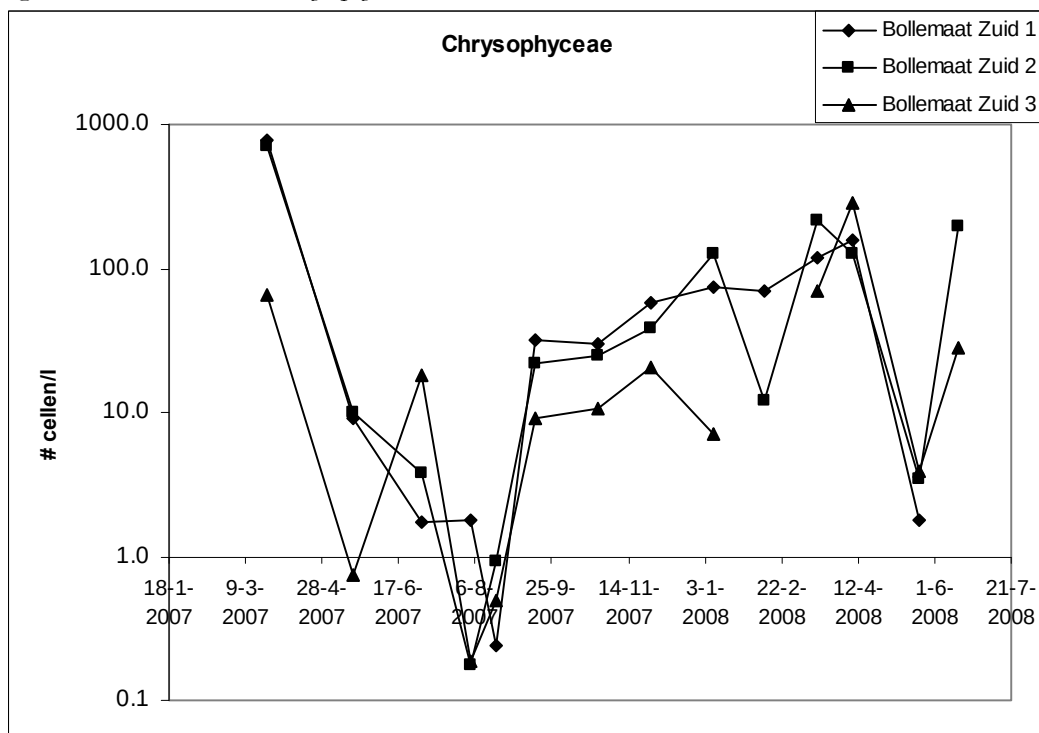
Wetzel, R.G., 2001. *Limnology. Lake and River ecosystems*. Derde editie. Elsevier Academic Press, San Diego/ Londen.

Wüest A. & A. Lorke, 2003. Small-scale hydrodynamics in lakes. *Annu. Rev. Fluid. Mech.* 35: 373-412.

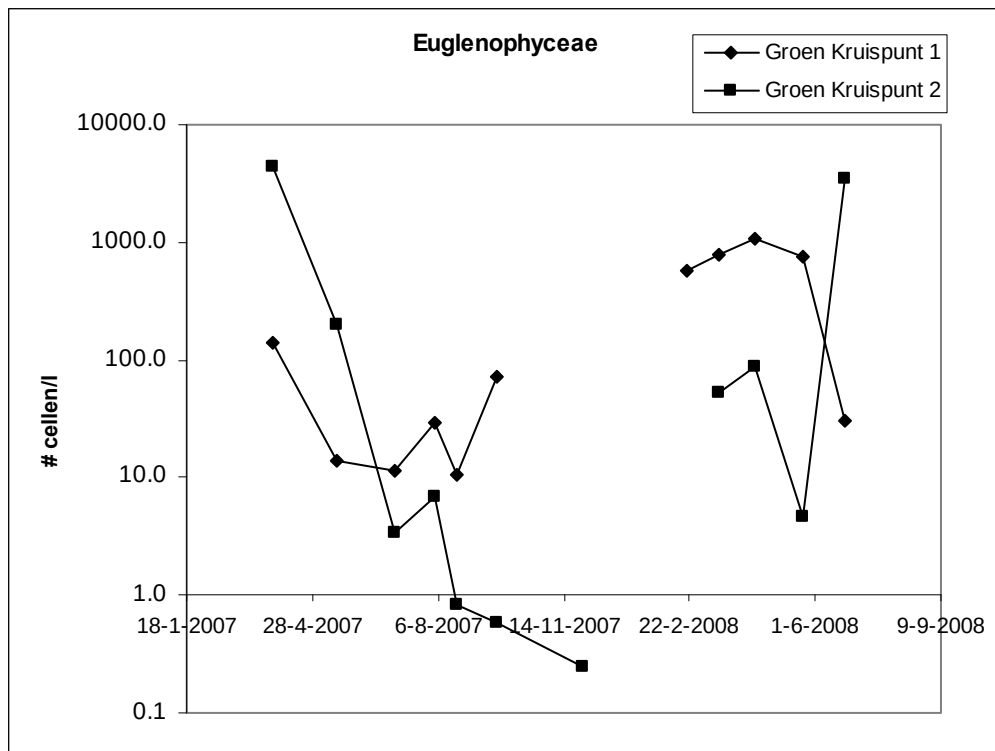
Bijlage 1 Fytoplanktonconcentraties



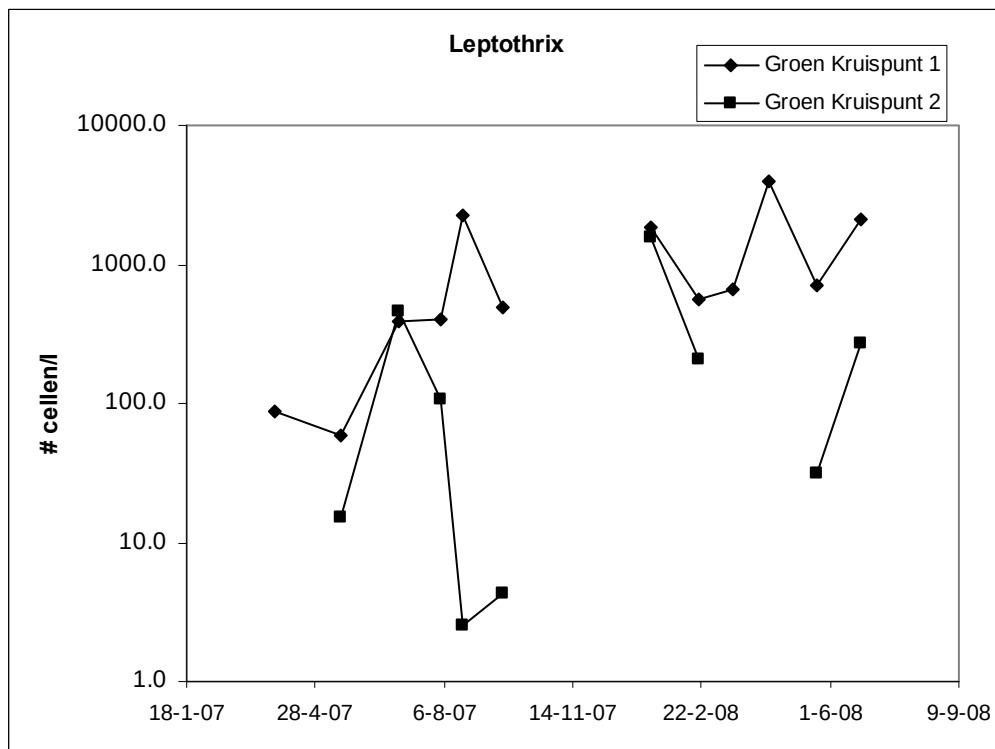
Figuur 22. Concentraties van *Chrysophyceae* in Bollemaat Noord.



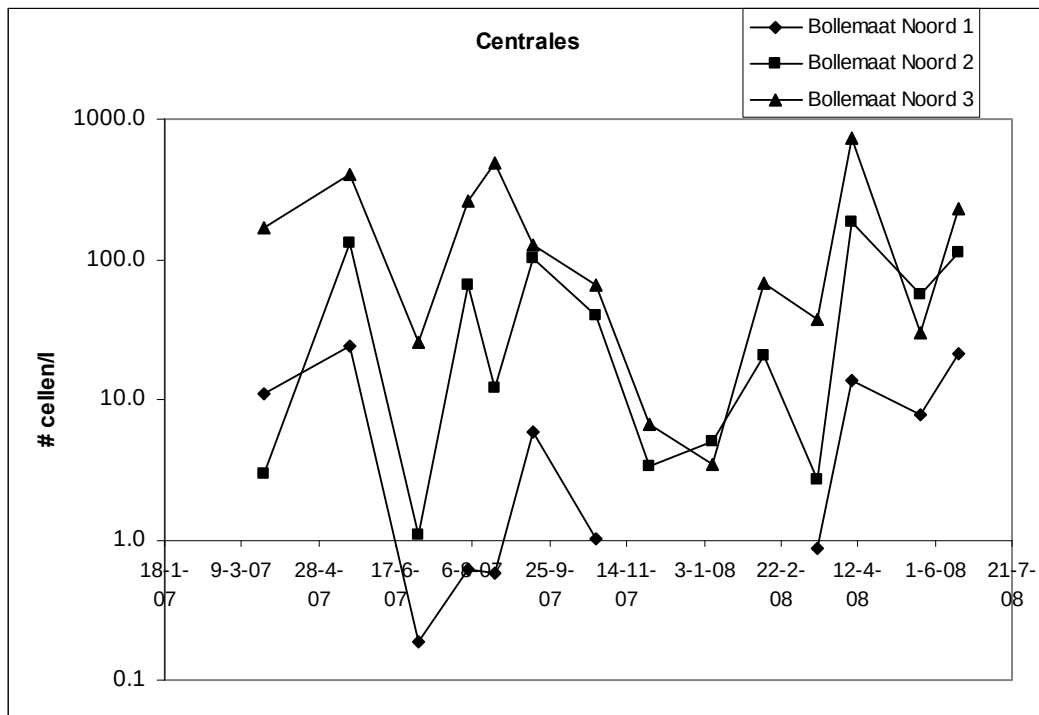
Figuur 23. Concentraties van *Chrysophyceae* in Bollemaat Zuid.



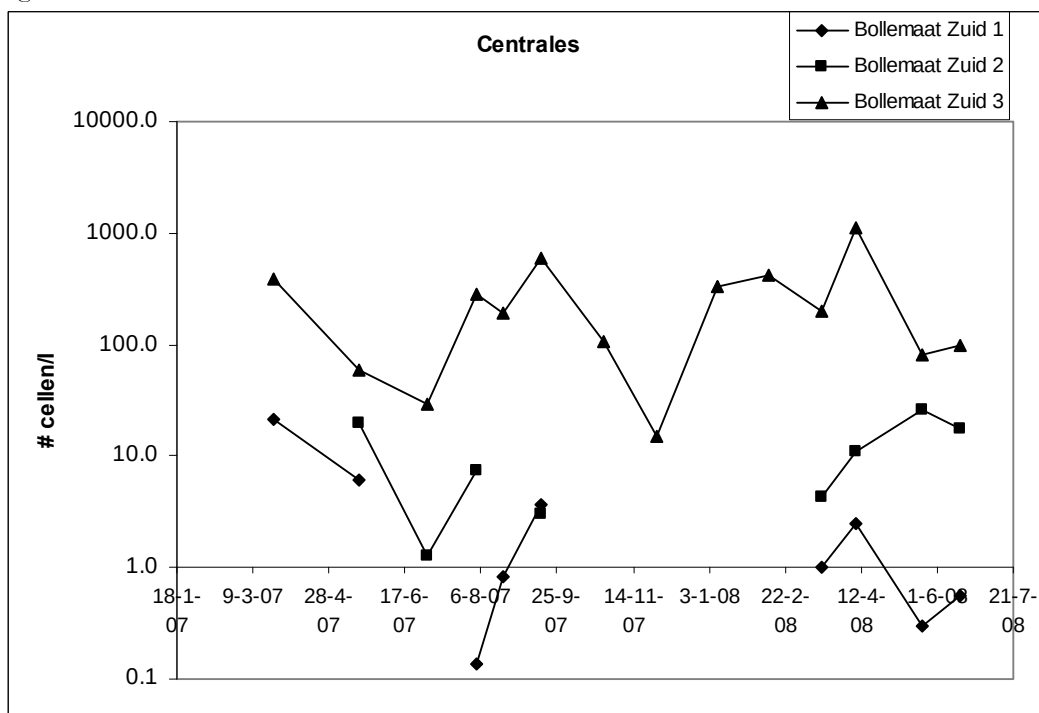
Figuur 24. Concentraties van *Euglenophyceae* in de sloten van Groen Kruispunt.



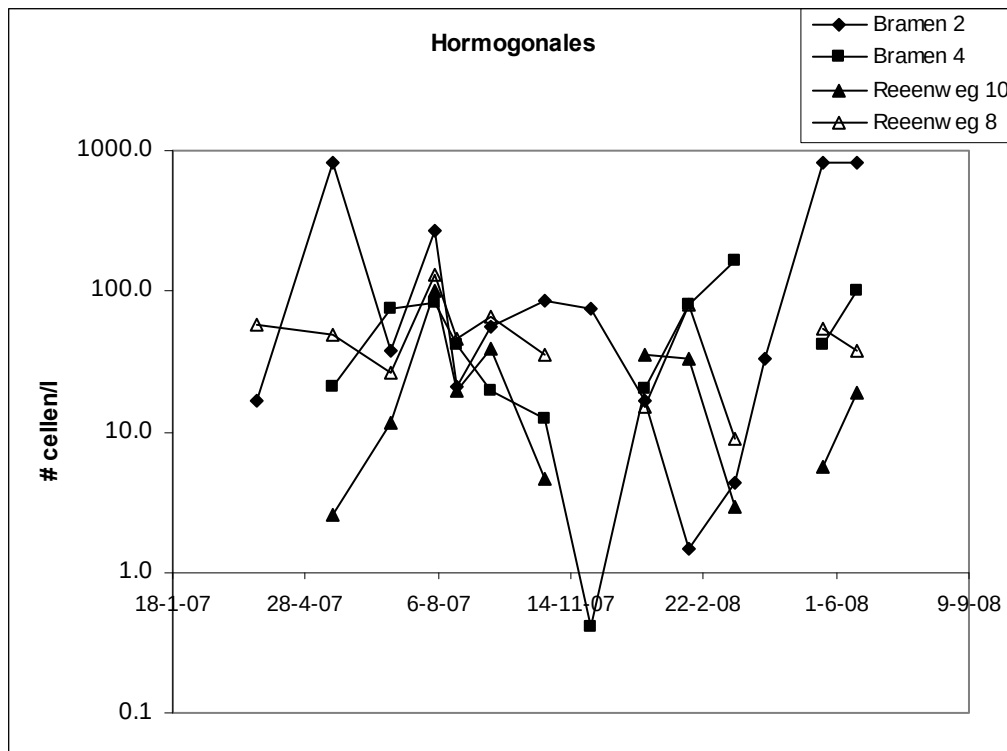
Figuur 25. Concentraties van *Leptothrix* in de sloten van Groen Kruispunt.



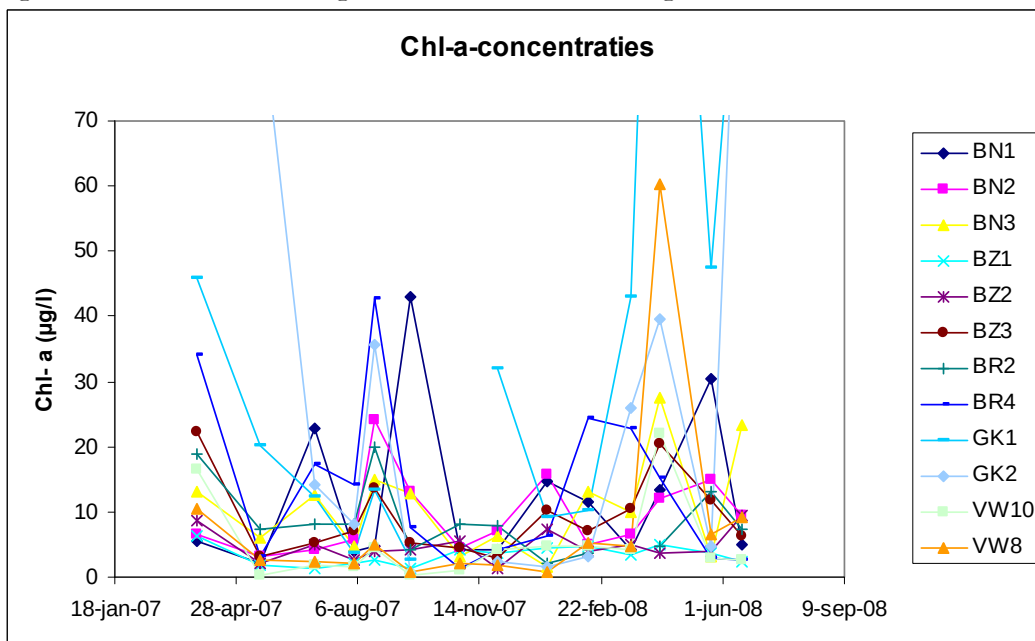
Figuur 26. Concentraties van Centrales in Bollemaat Noord.



Figuur 27. Concentratie van Centrales in Bollemaat Zuid.

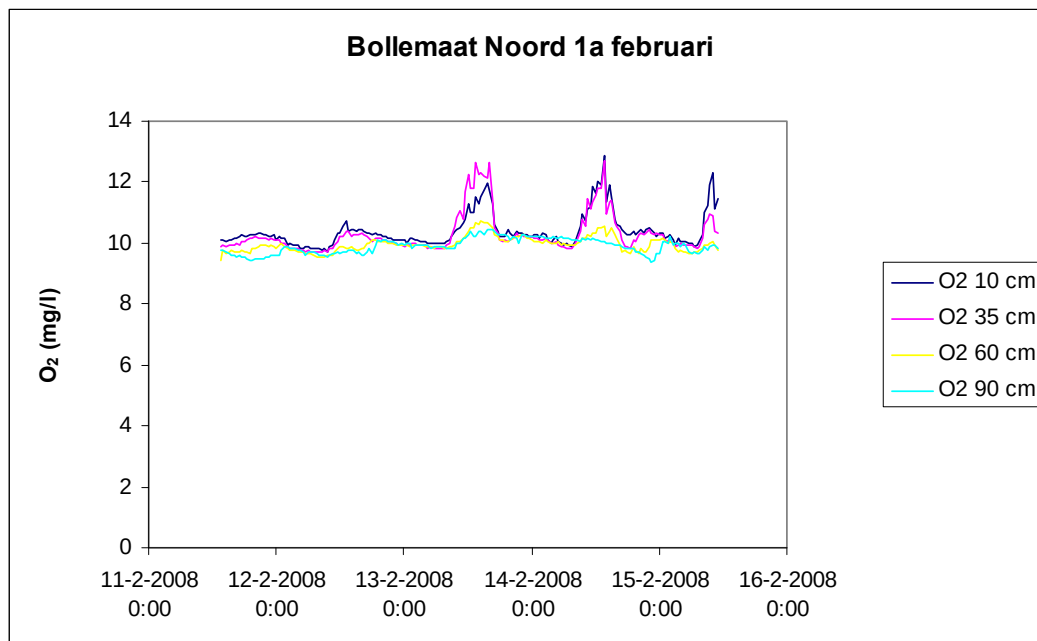


Figuur 28. Concentratie van Hormogonales in de sloten van de Reeenweg en De Bramen.

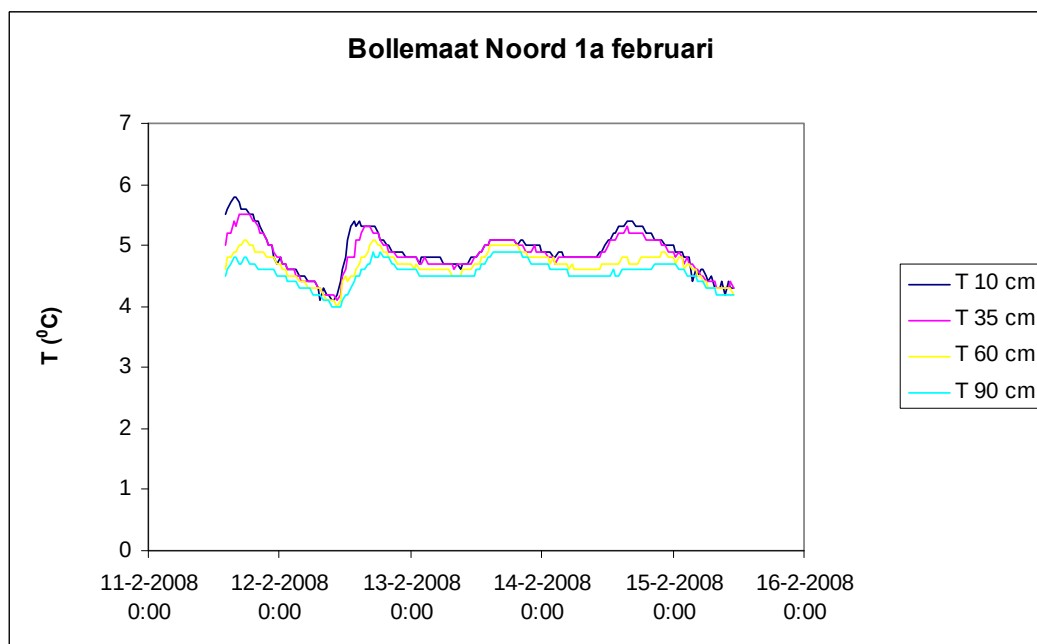


Figuur 29. Concentratie van chlorofyl-a in de onderzochte sloten.

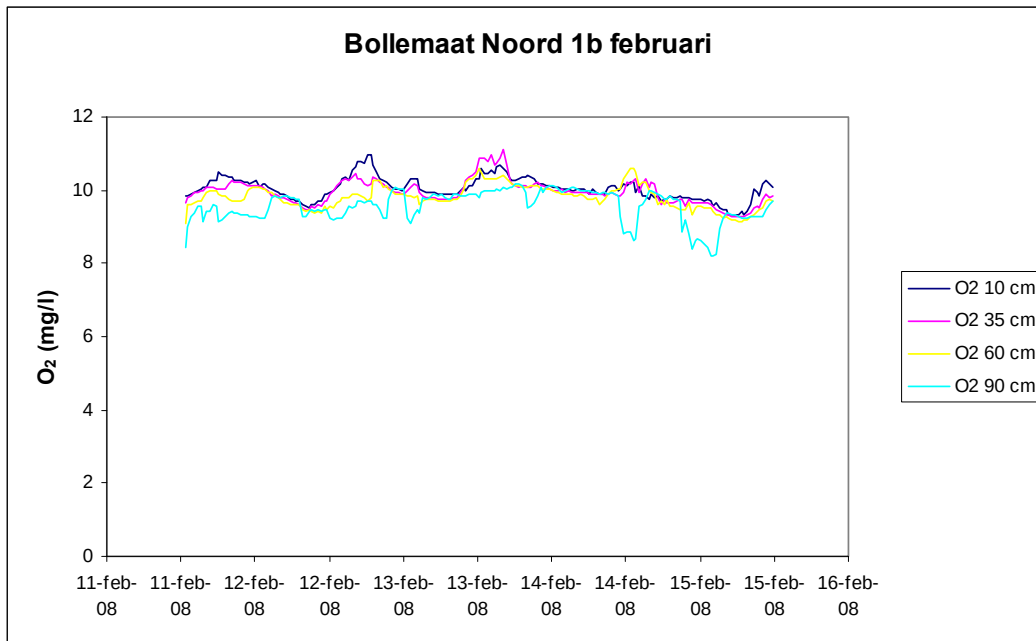
Bijlage 2 Zuurstofprofielen



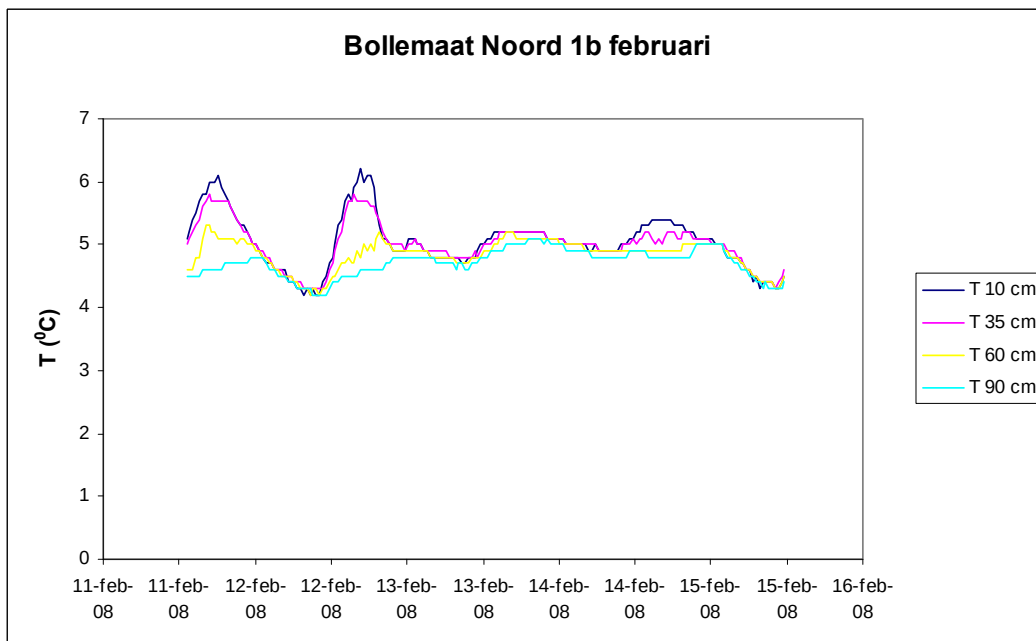
Figuur 30. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel a van Bollemaat Noord 1 in februari 2008.



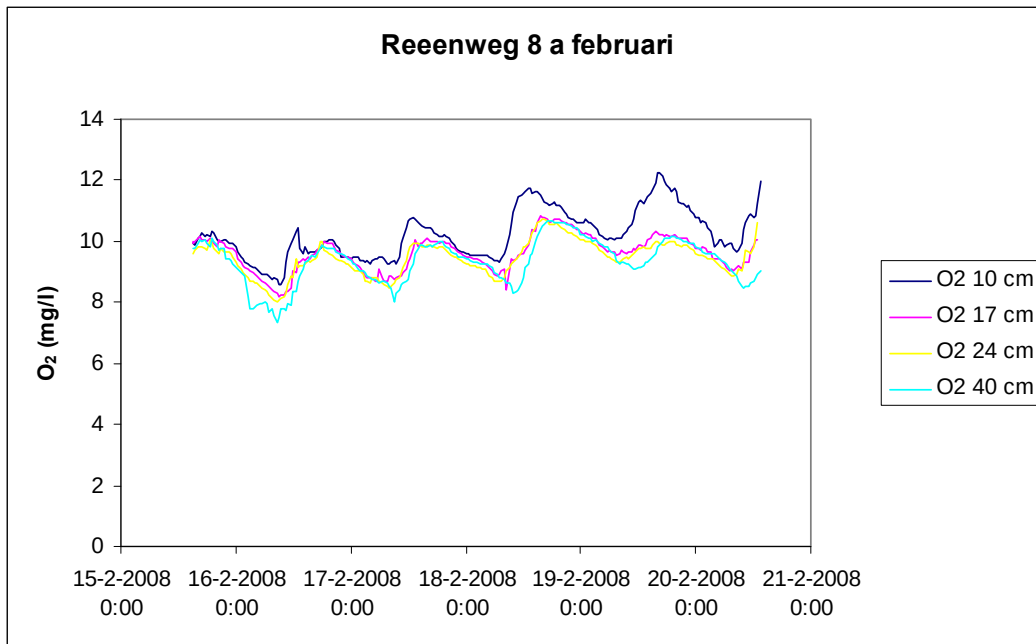
Figuur 31. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel a van Bollemaat Noord 1 in februari 2008.



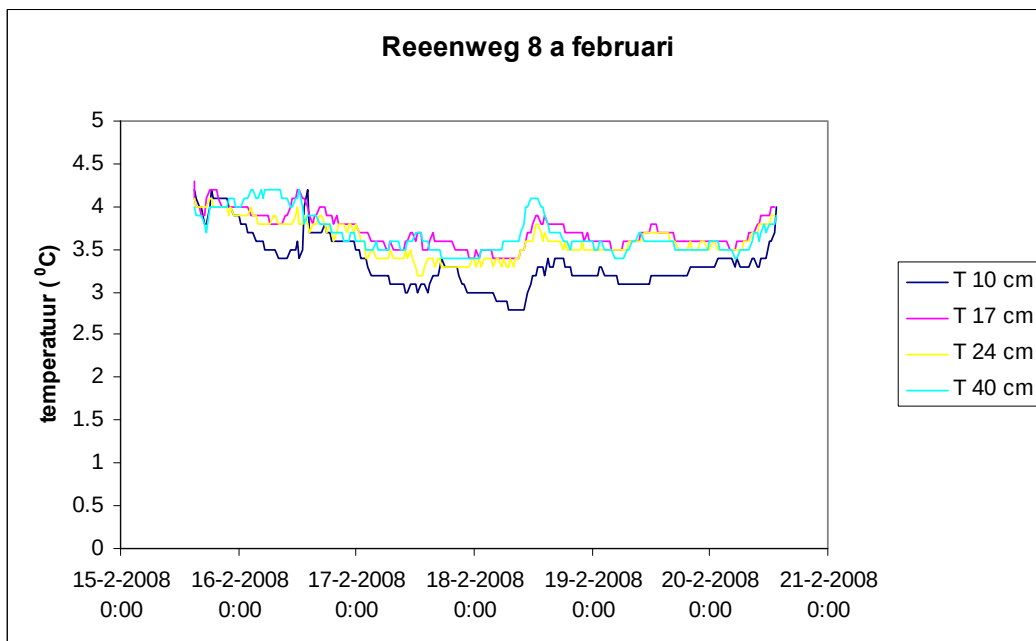
Figuur 32. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel b van Bollemaat Noord 1 in februari 2008.



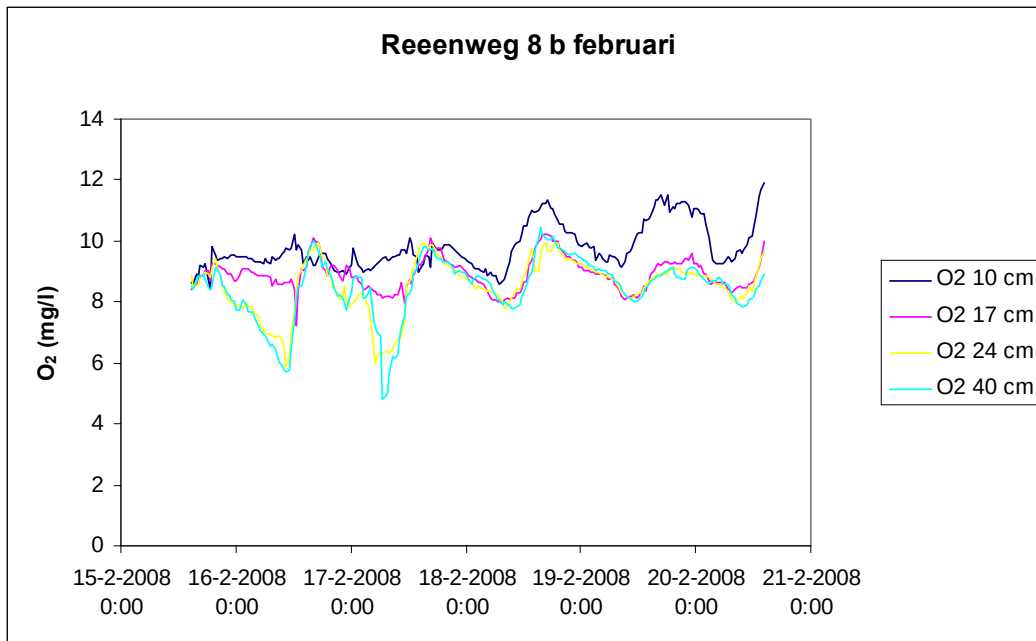
Figuur 33. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel b van Bollemaat Noord 1 in februari 2008.



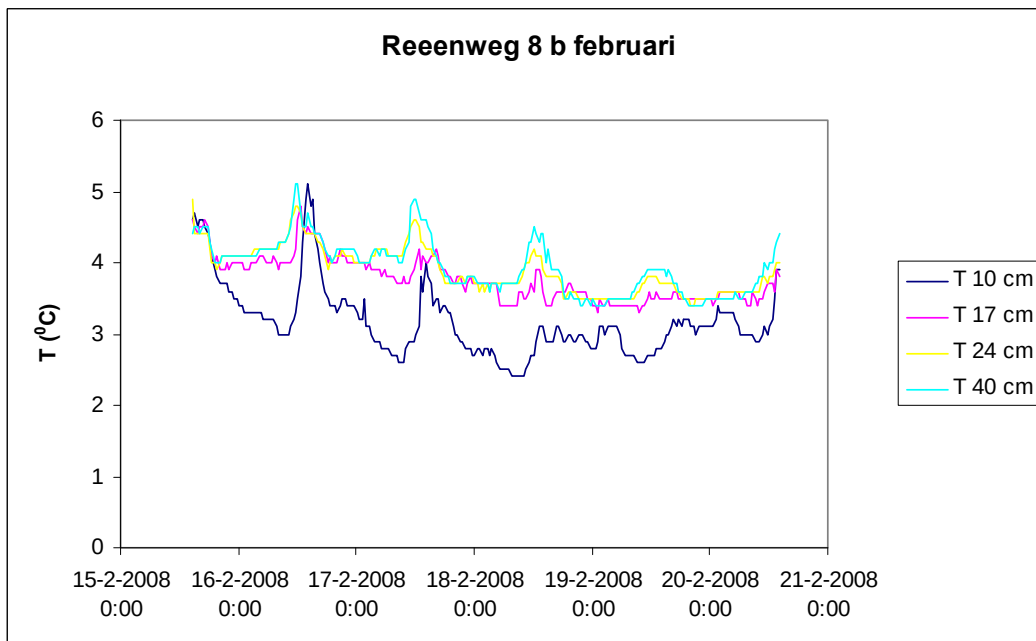
Figuur 34. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel a van sloot 8 van de Reeënweg in februari 2008.



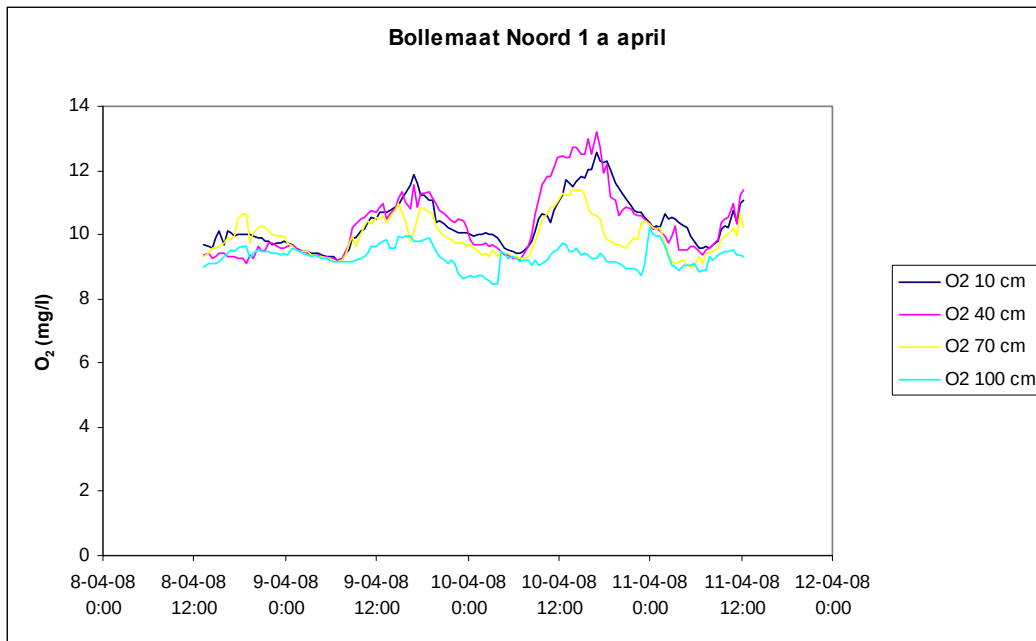
Figuur 35. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel a van sloot 8 van de Reeënweg in februari 2008.



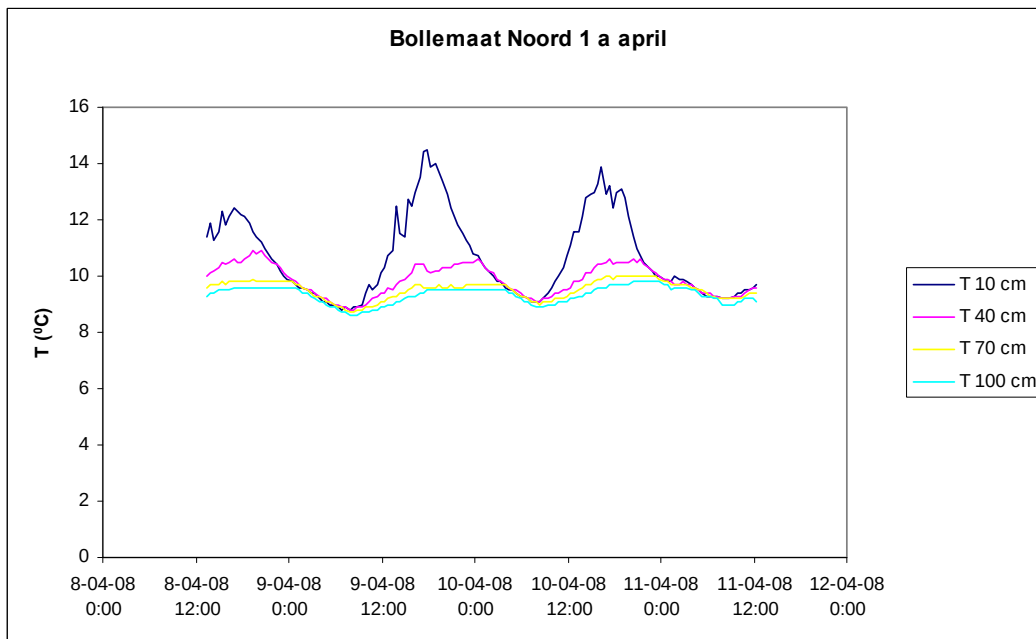
Figuur 36. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel b van sloot 8 van de Reeënweg in februari 2008.



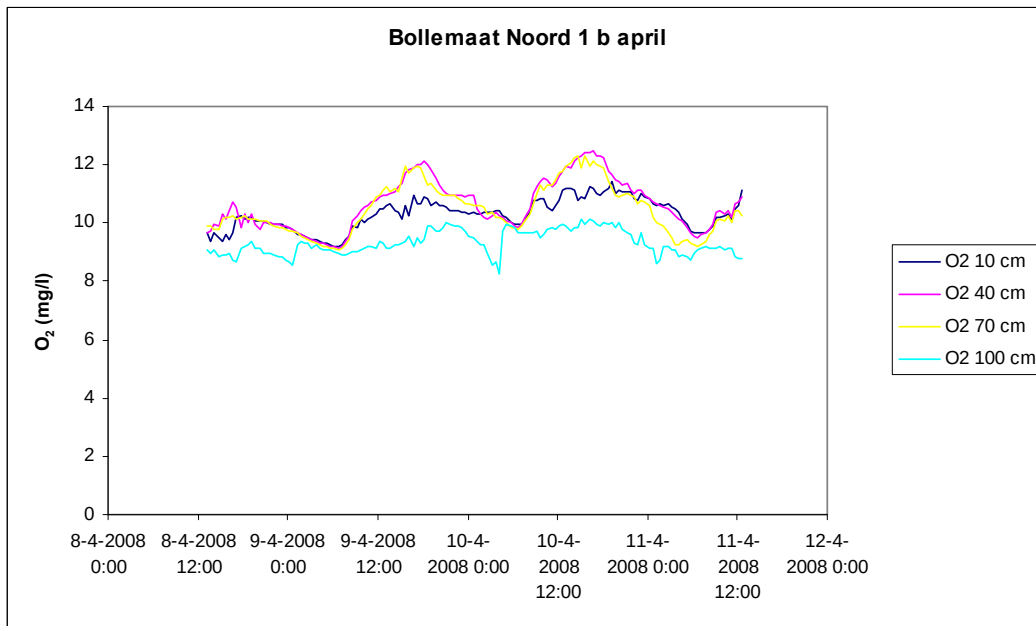
Figuur 37. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel b van sloot 8 van de Reeënweg in februari 2008.



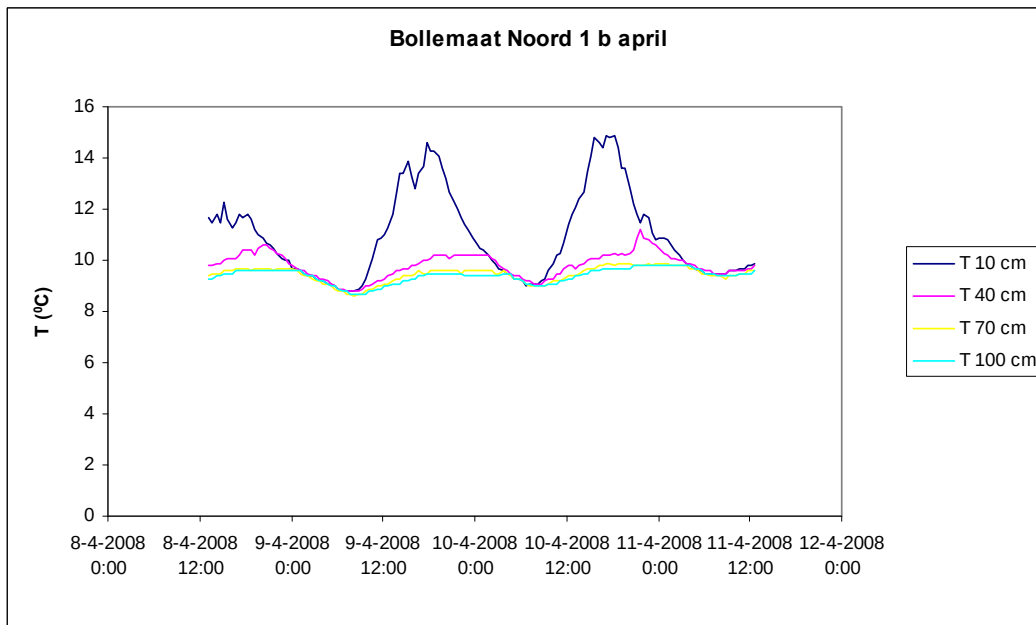
Figuur 38. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel a van Bollemaat Noord 1 in april 2008.



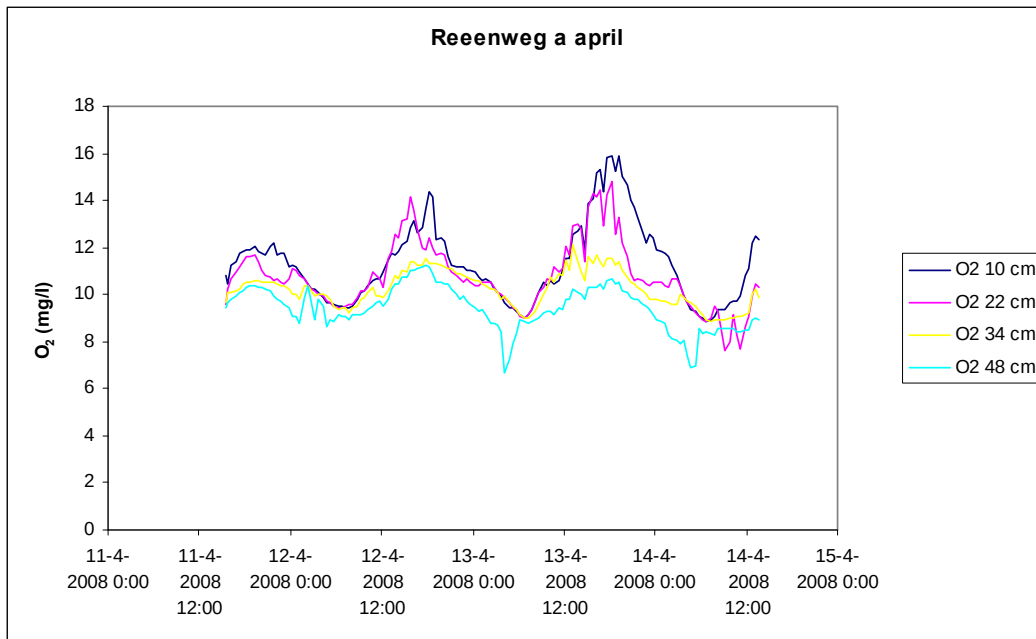
Figuur 39. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel a van Bollemaat Noord 1 in april 2008.



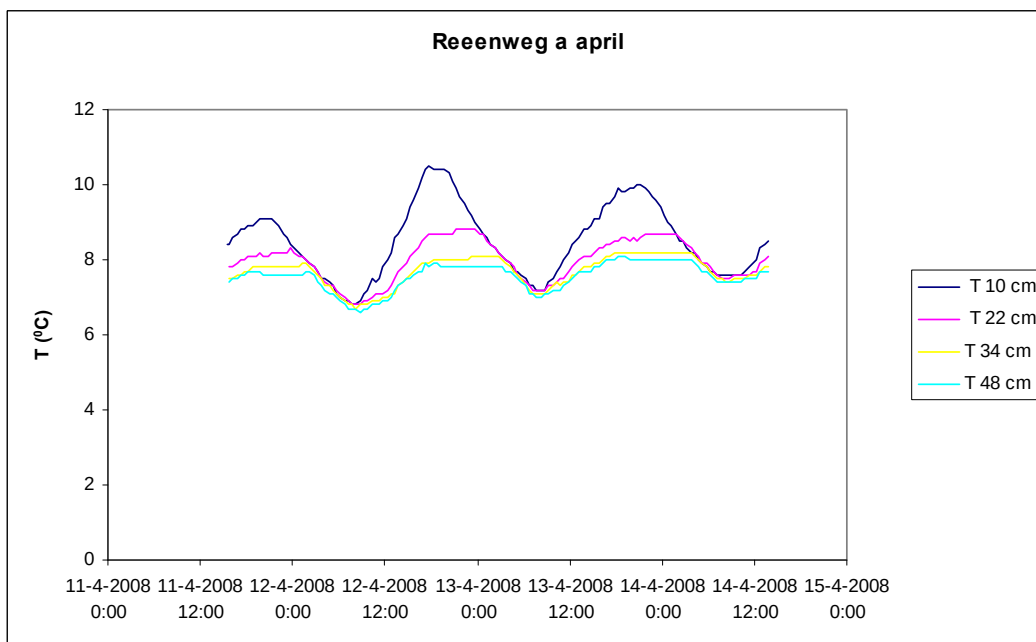
Figuur 40. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel b van Bollemaat Noord 1 in april 2008.



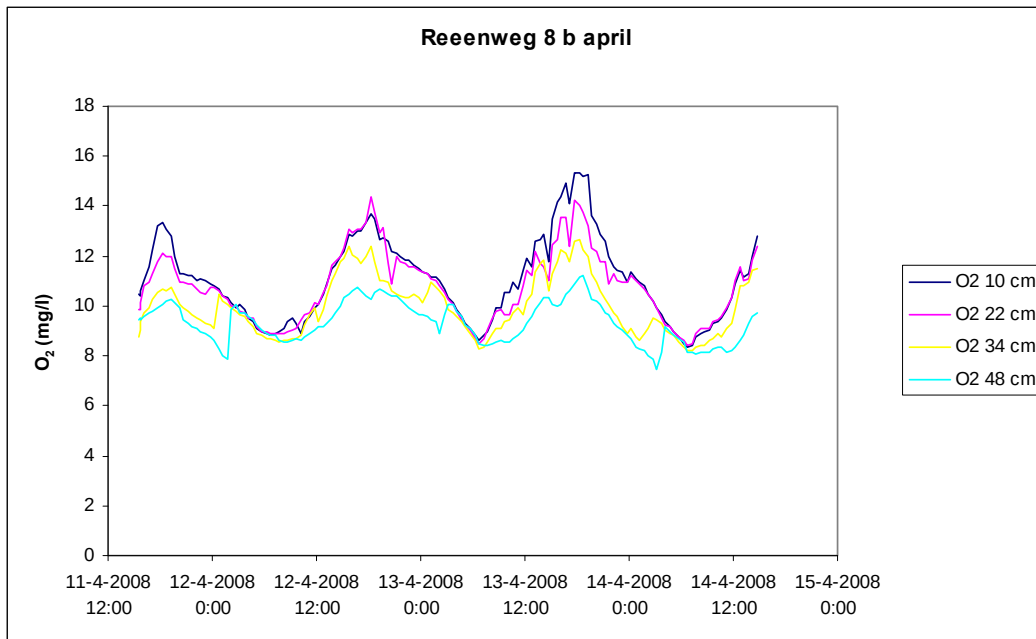
Figuur 41. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel b van Bollemaat Noord 1 in april 2008.



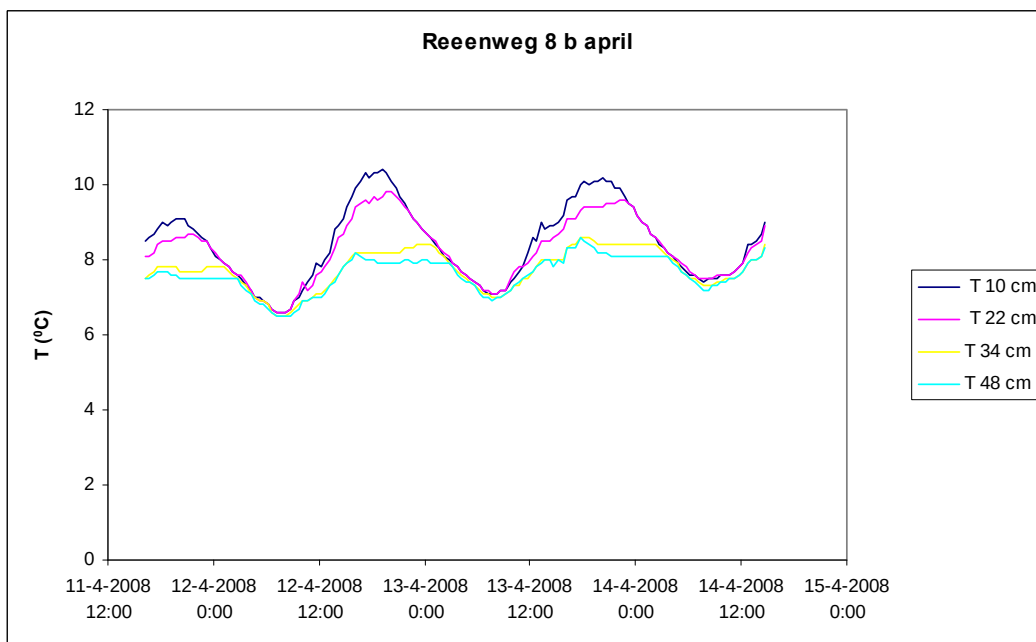
Figuur 42. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel a van sloot 8 van de Reeënweg in april 2008.



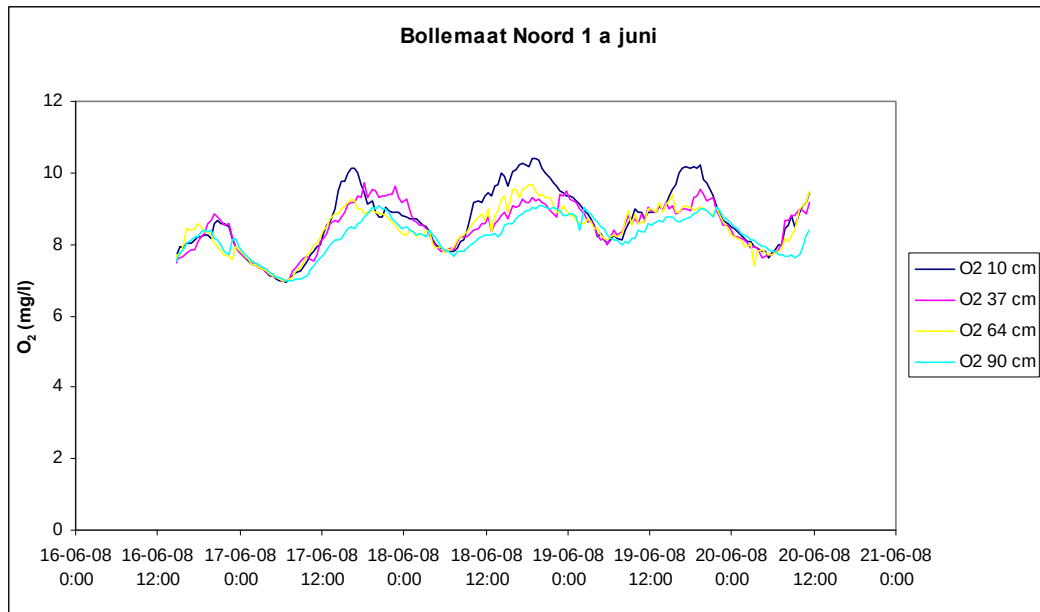
Figuur 43. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel a van sloot 8 van de Reeënweg in april 2008.



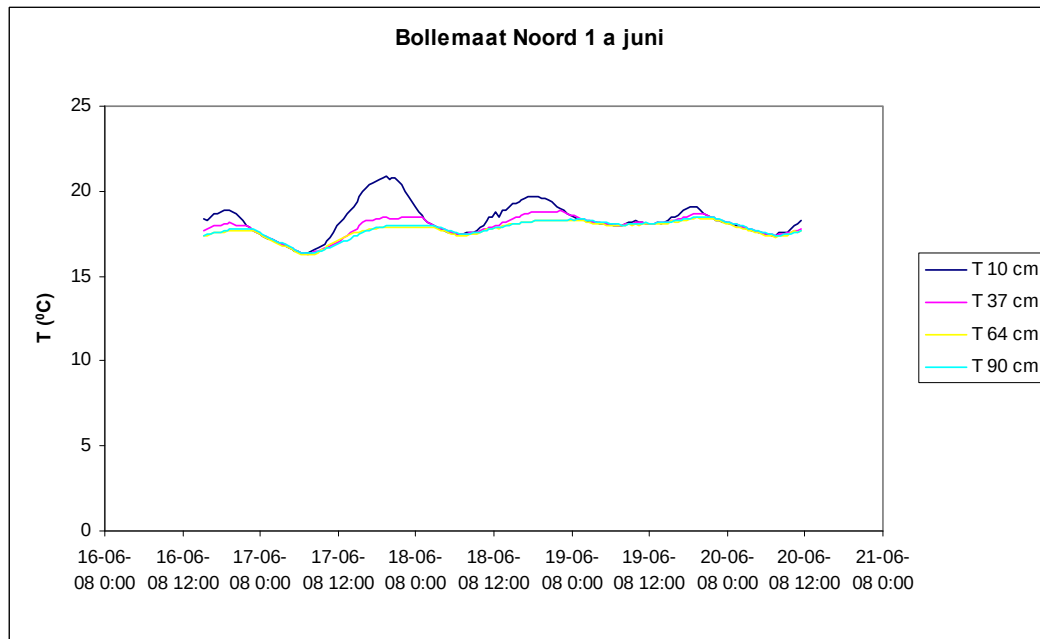
Figuur 44. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel b van sloot 8 van de Reeënweg in april 2008.



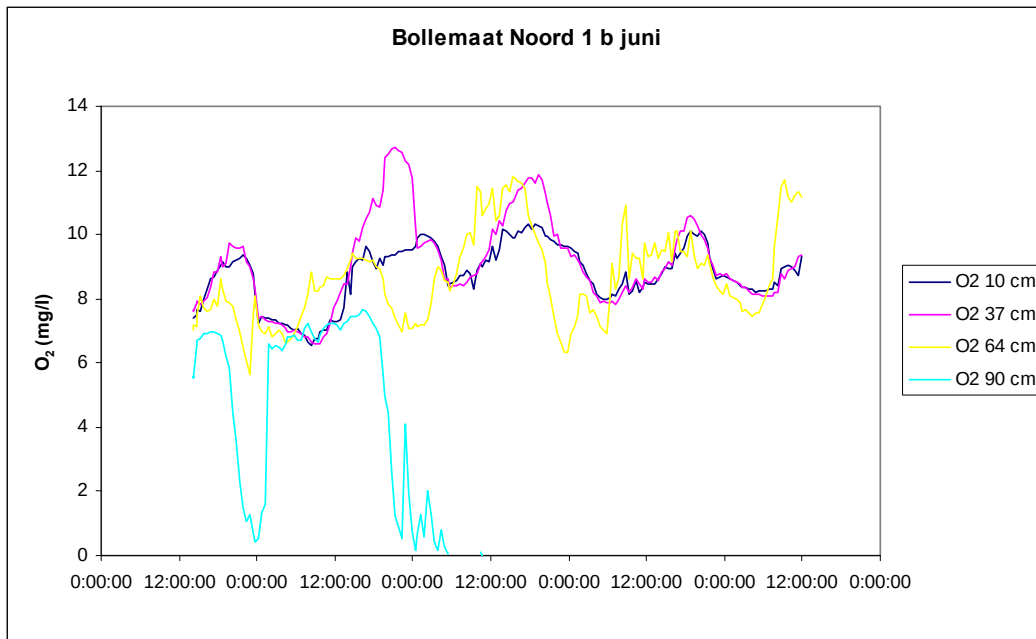
Figuur 45. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel a van sloot 8 van de Reeënweg in april 2008.



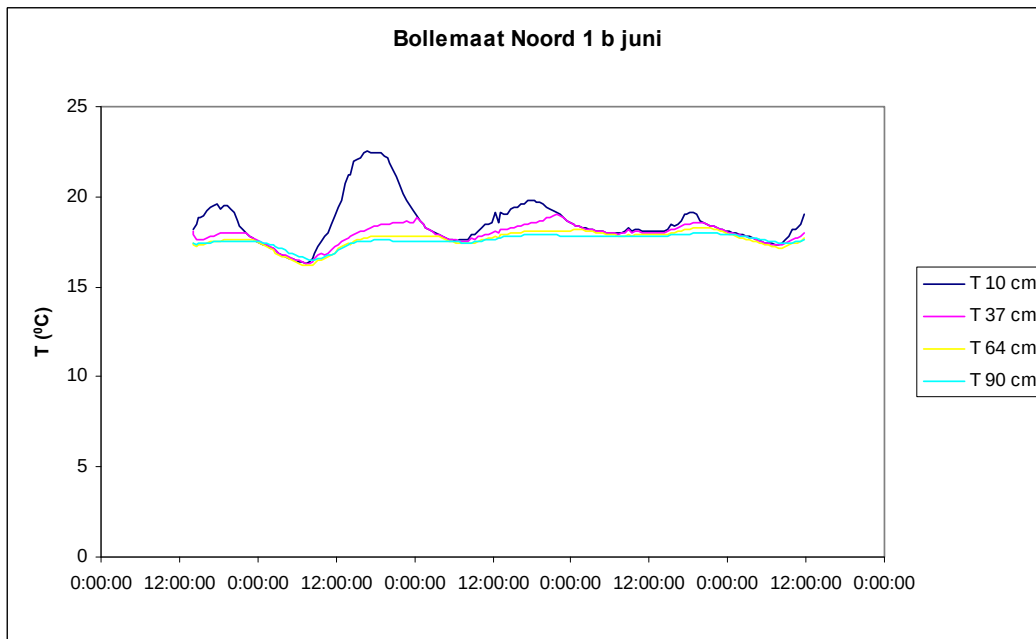
Figuur 46. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel a van Bollemaat Noord 1 in juni 2008.



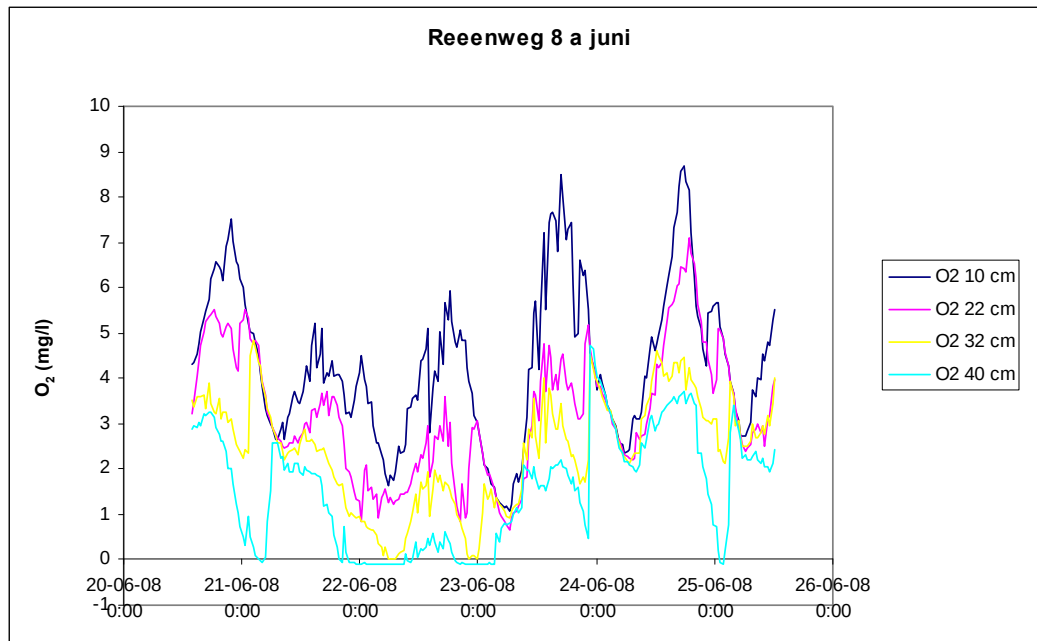
Figuur 47. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel a van Bollemaat Noord 1 in juni 2008.



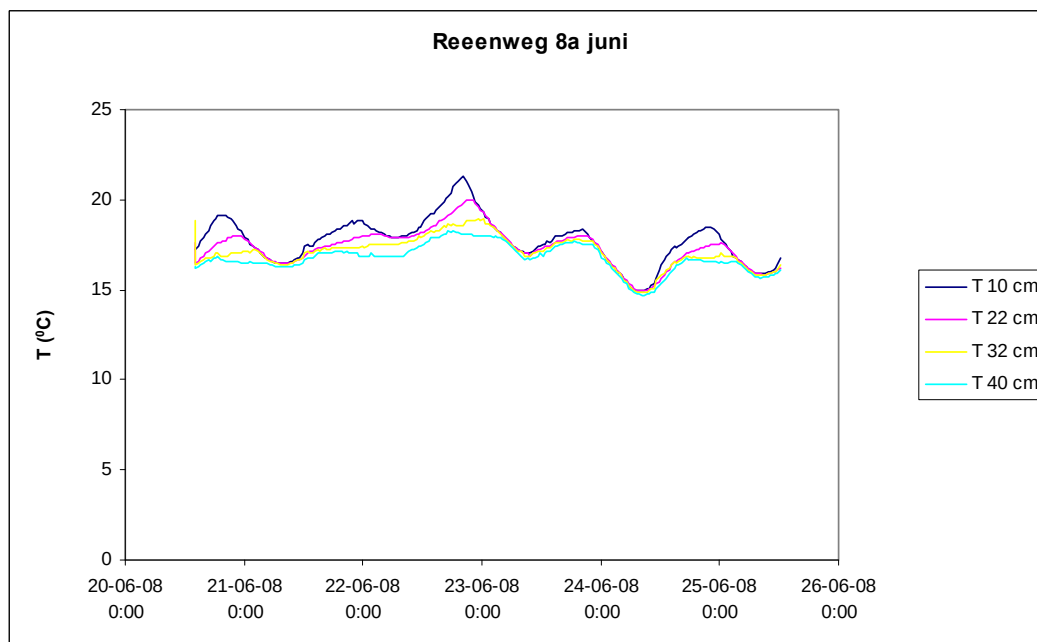
Figuur 48. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel b van Bollemaat Noord 1 in juni 2008. De onderste zuurstofelektrode is tijdens de meting in het sediment terecht gekomen.



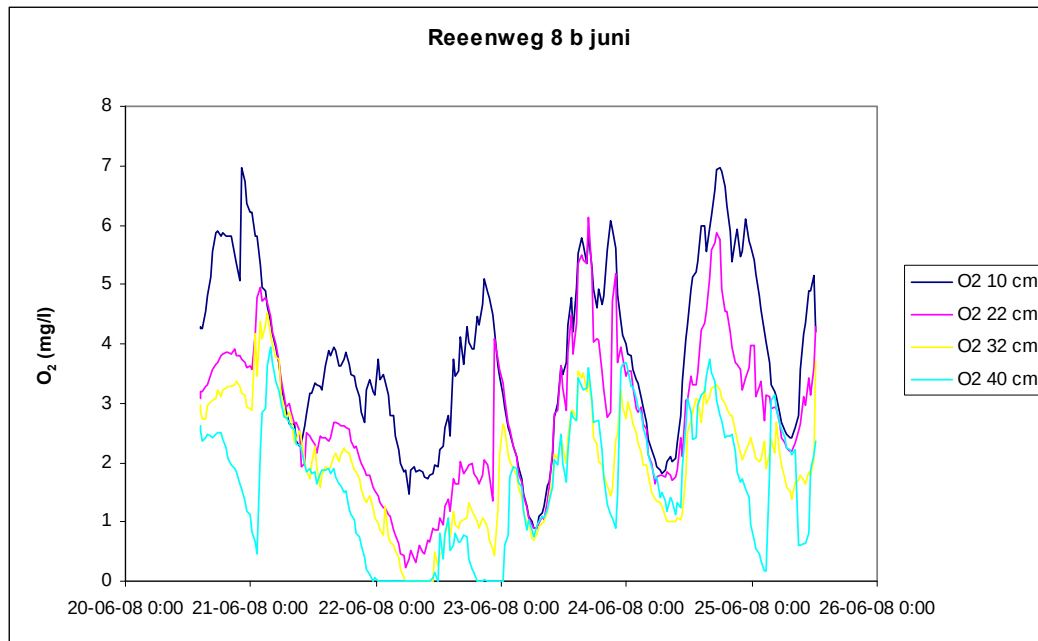
Figuur 49. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel b van Bollemaat Noord 1 in juni 2008.



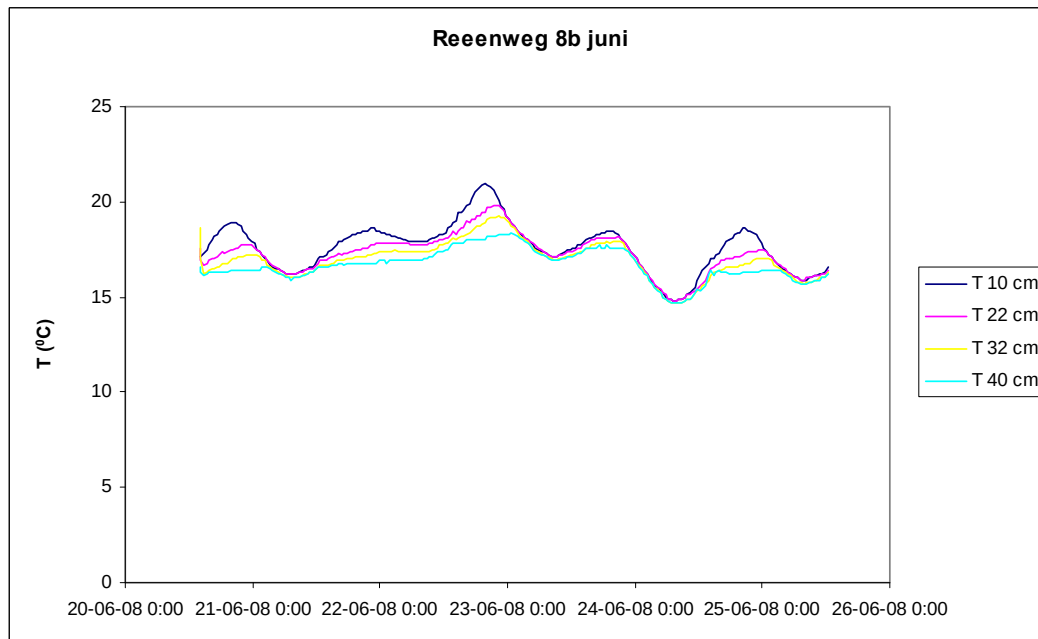
Figuur 50. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel a van sloot 8 van de Reeënweg in juni 2008.



Figuur 51. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel b van sloot 8 van de Reeënweg in juni 2008.

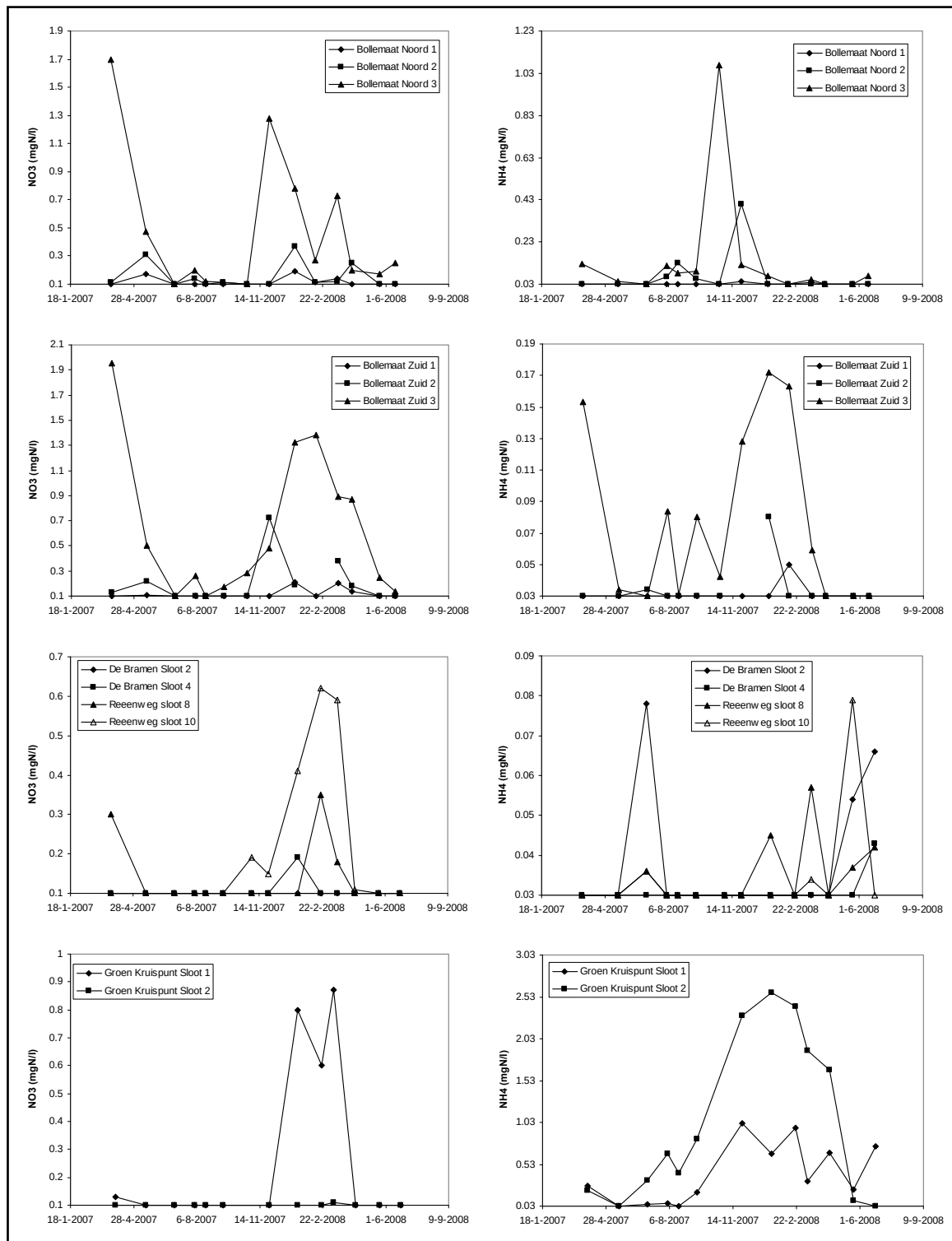


Figuur 52. Zuurstofconcentratieverloop op verschillende dieptes in deel b van sloot 8 van de Reeënweg in juni 2008.

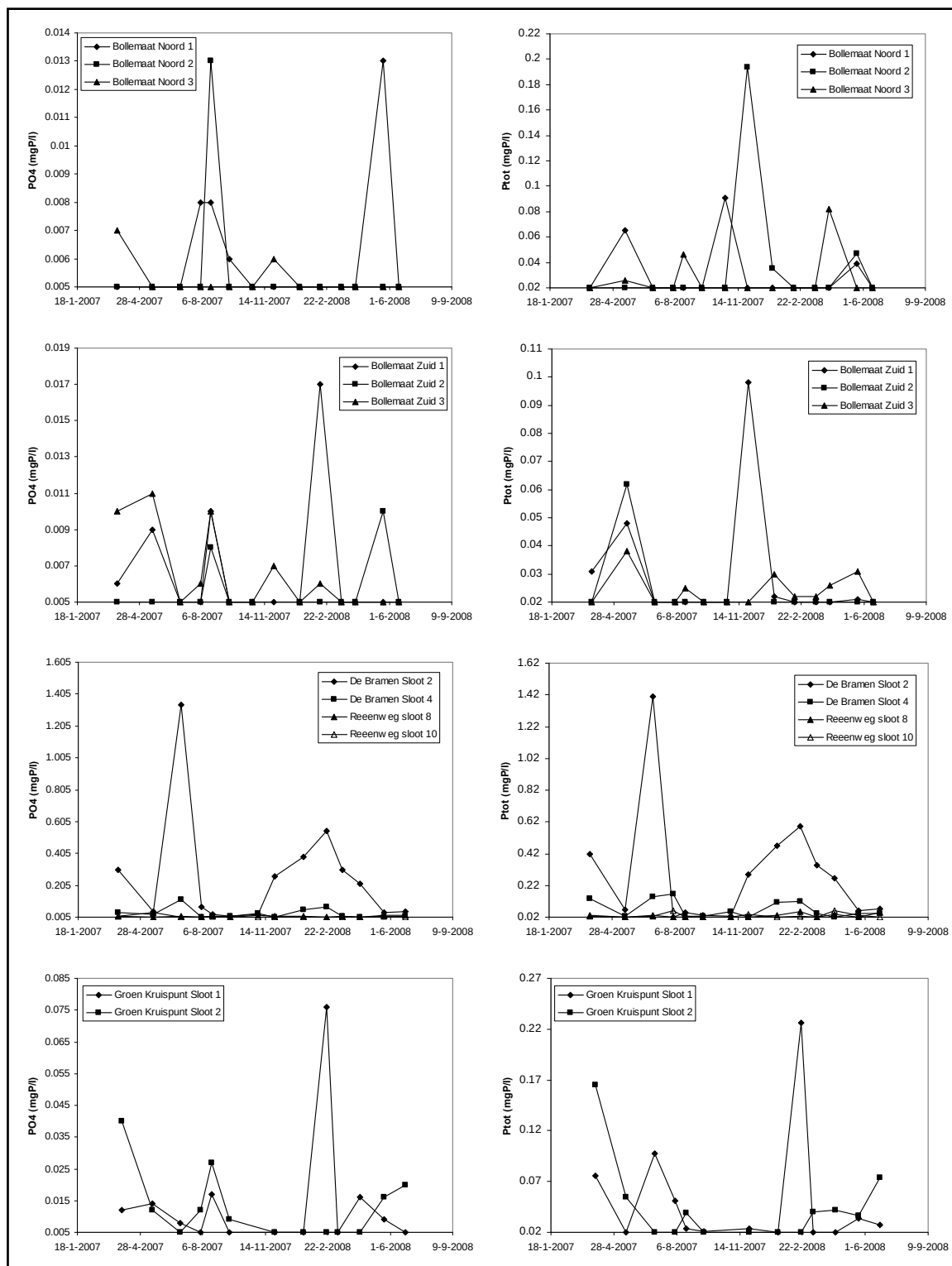


Figuur 53. Temperatuurverloop op verschillende dieptes in deel b van sloot 8 van de Reeënweg in juni 2008.

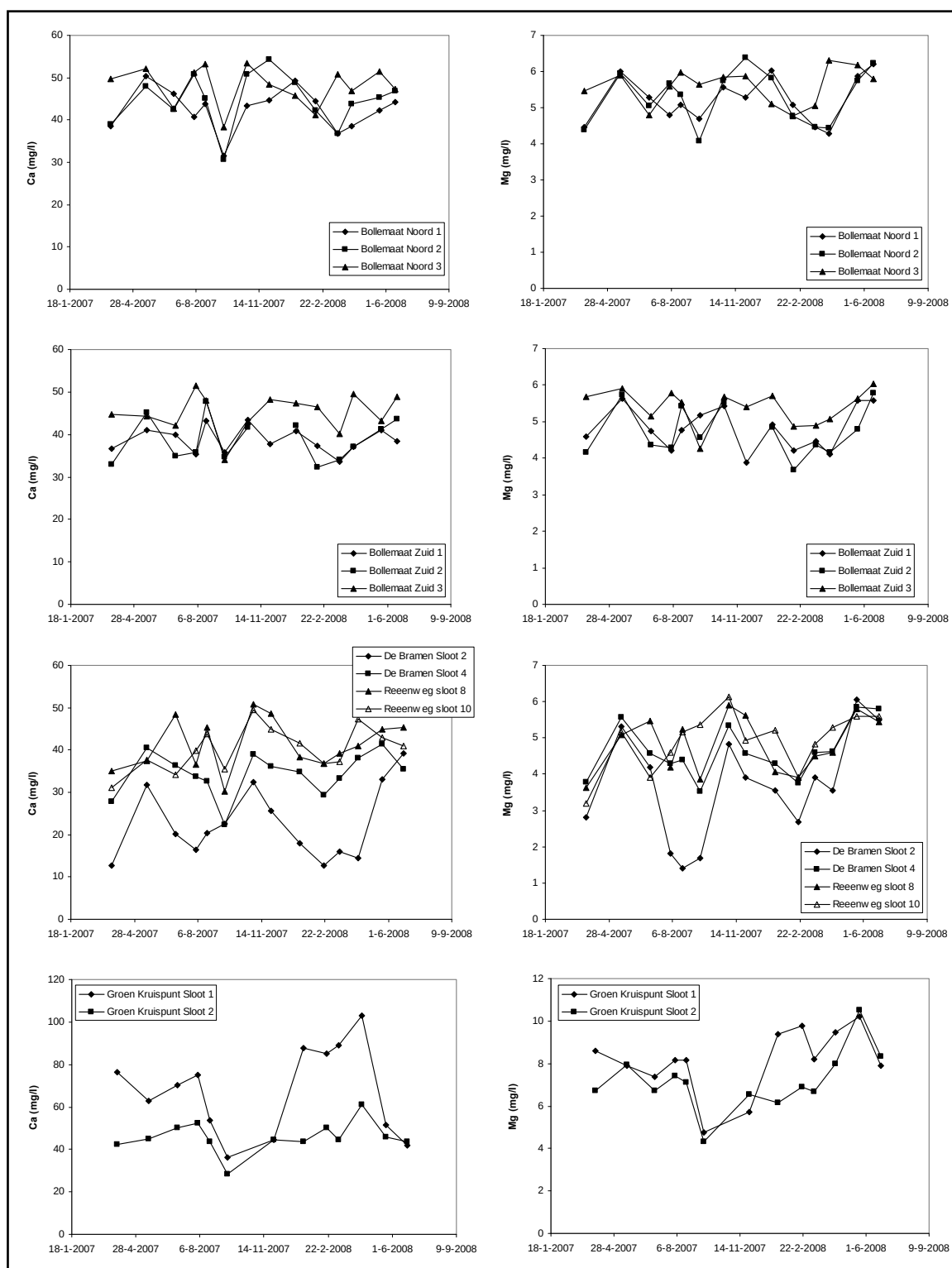
Bijlage 3 Chemische waterkwaliteit



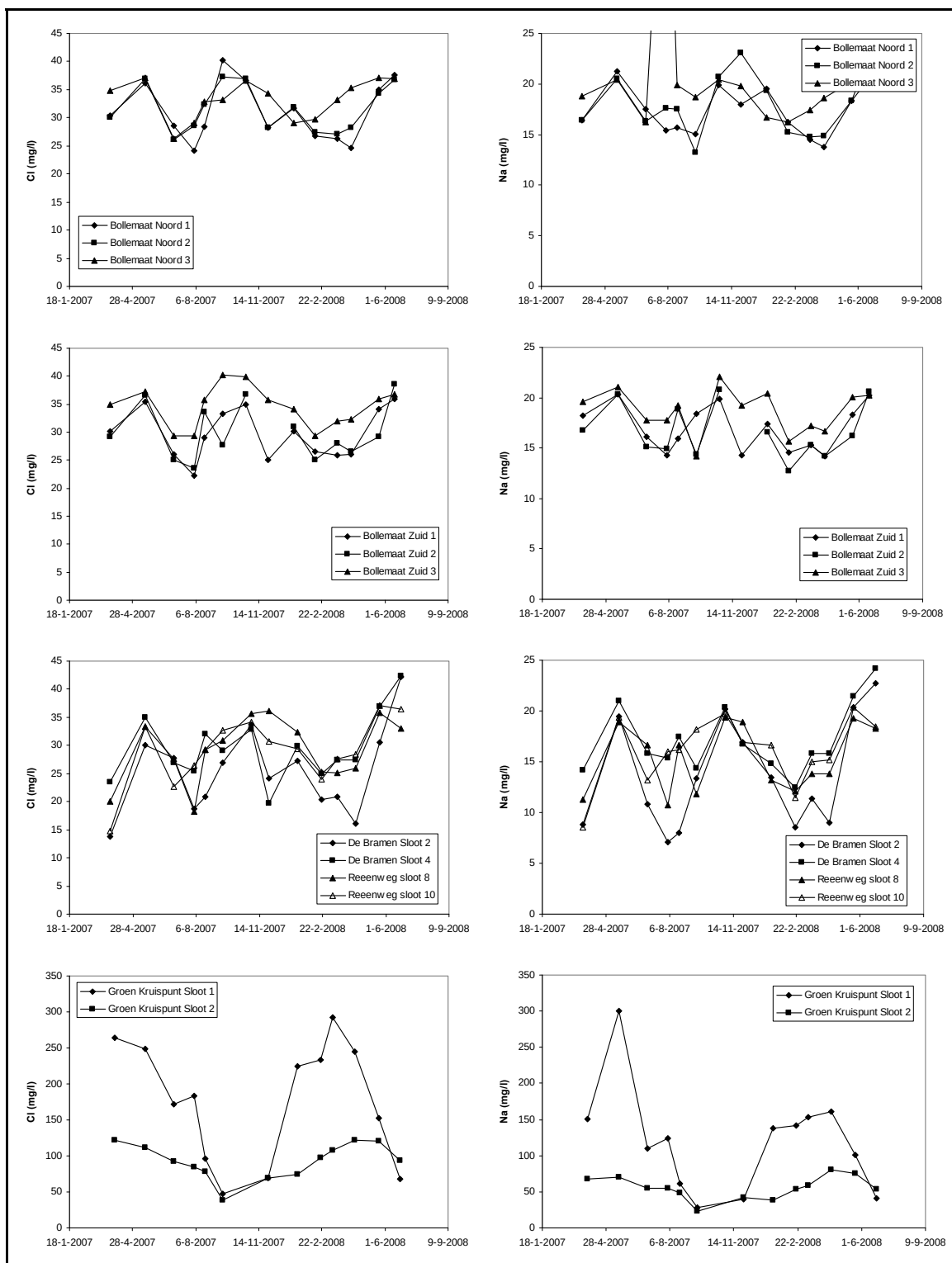
Figuur 54. Concentraties nitraat (links) en ammonium (rechts) in het oppervlaktewater van de sloten.



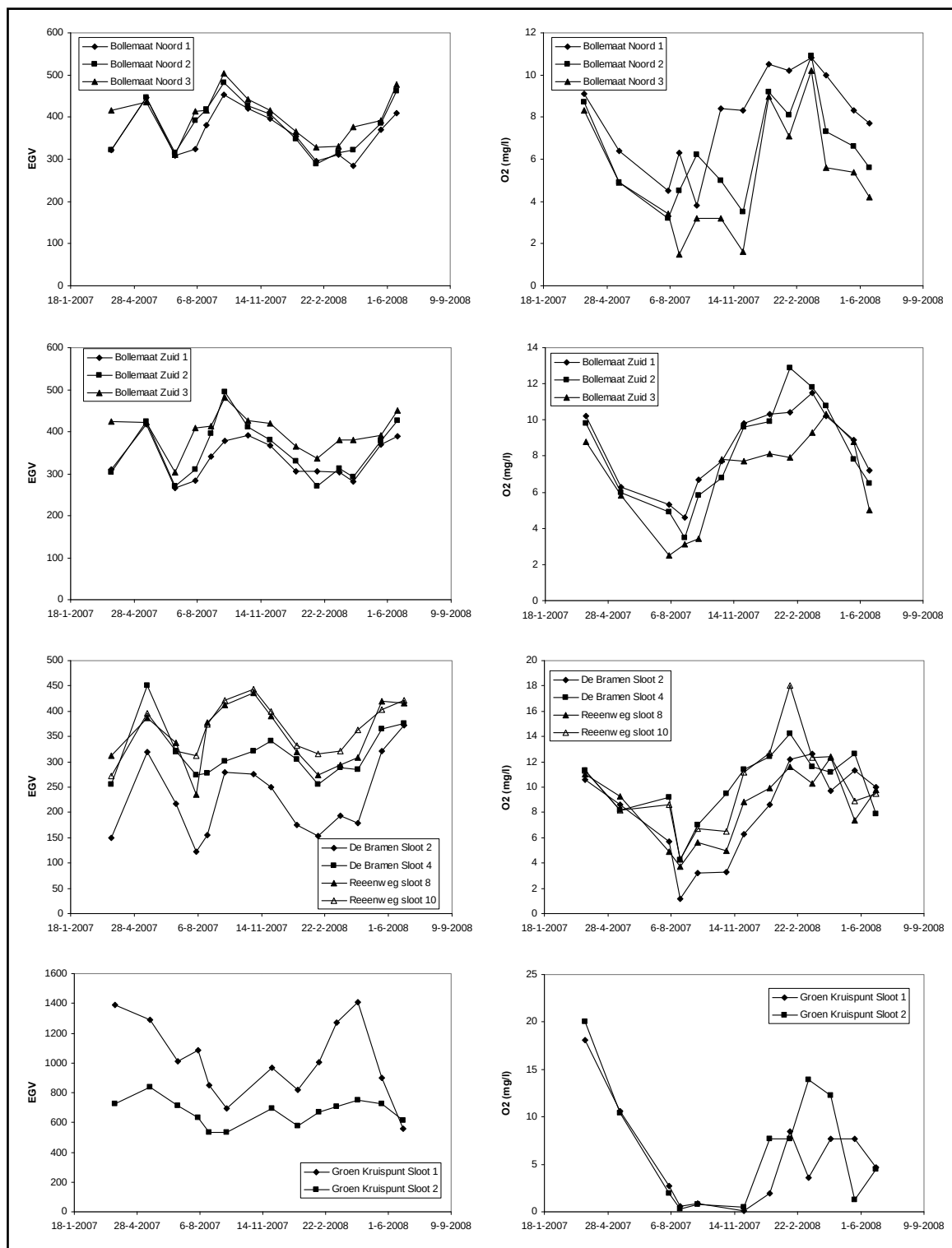
Figuur 55. Concentraties orthofosfaat (links) en totaal fosfor (rechts) in het oppervlaktewater van de sloten.



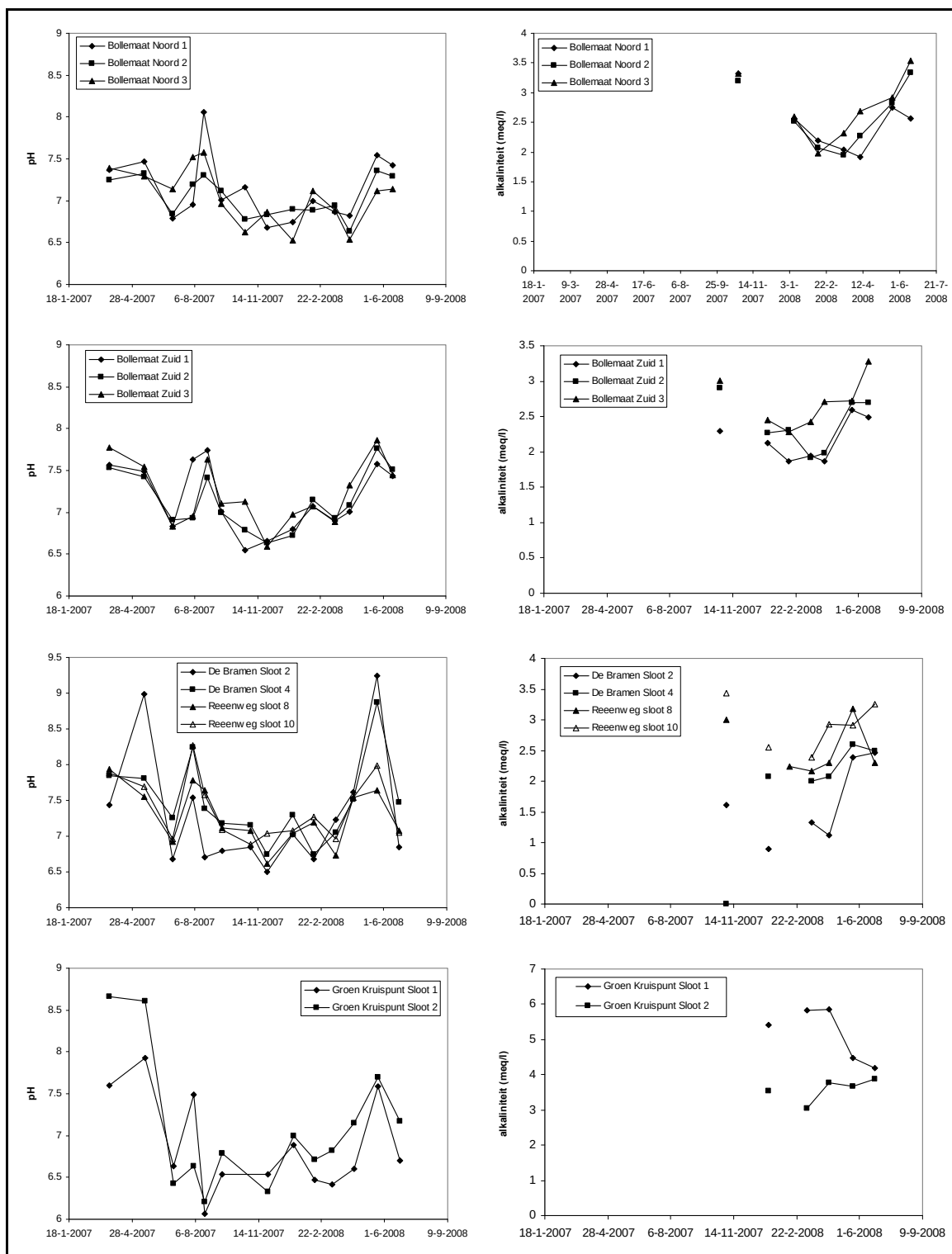
Figuur 56. Concentraties calcium (links) en magnesium (rechts) in het oppervlaktewater van de sloten.



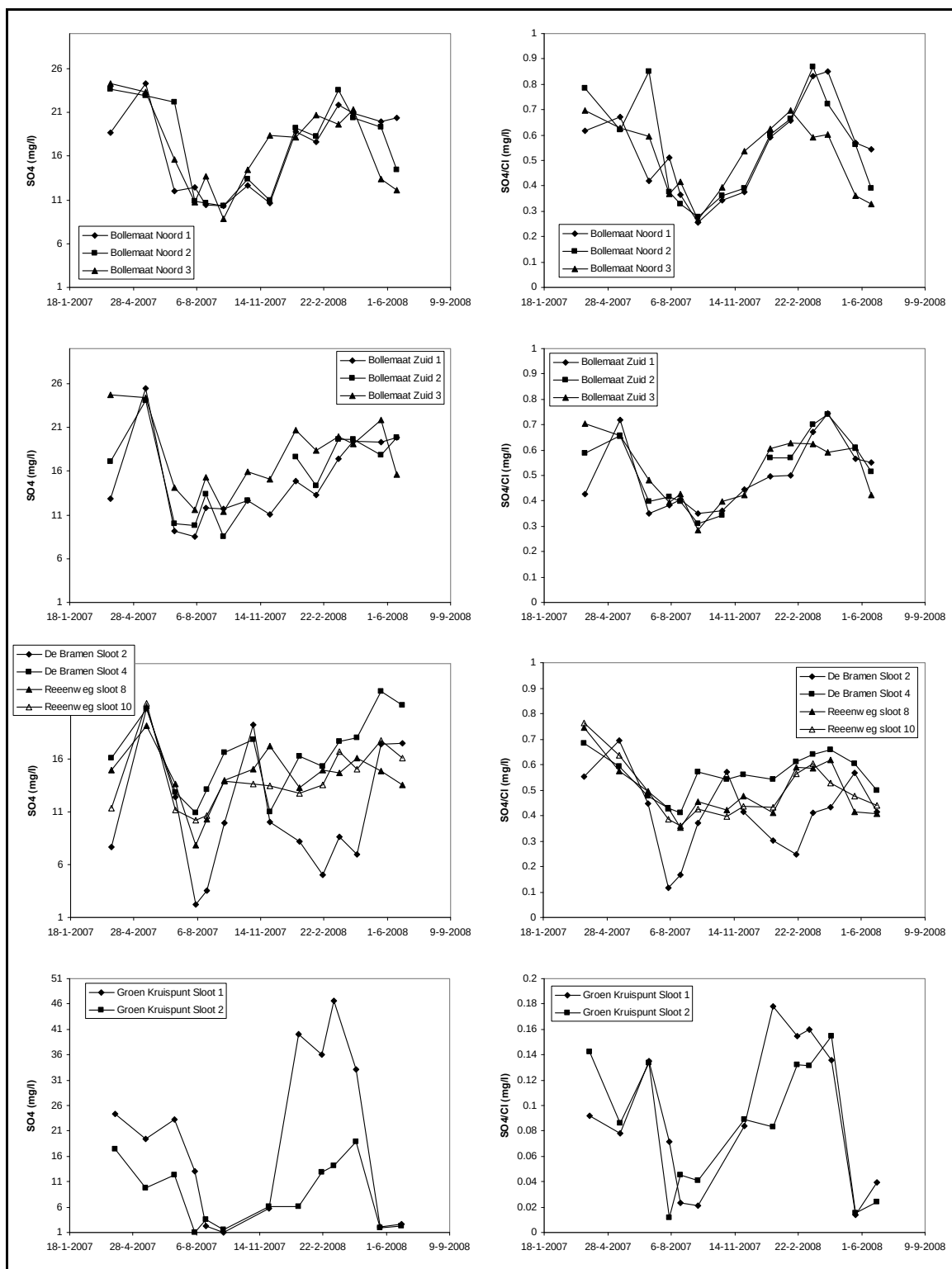
Figuur 57. Concentraties chloride (links) en natrium (rechts) in het oppervlaktewater van de sloten.



Figuur 58. EGV (links) en zuurstofconcentratie op 10 cm onder het wateroppervlak (rechts) in de sloten.



Figuur 59. pH (links) en alkaliniteit (rechts) van het oppervlaktewater van de sloten.



Figuur 60. Concentraties sulfaat en sulfaat ten opzichte van chloride in het oppervlaktewater van de sloten.