



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren

I. Eerste verkenning in laagveensloten

R. Loeb
P.F.M. Verdonchot
M.W. van den Hoorn
R.C. Nijboer
M. Bleeker

Alterra-rapport 1751, ISSN 1566-7197



Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren

Sleutelfactoren en ecosysteemfunctioneren

I. Eerste verkenning in laagveensloten

R. Loeb

P.F.M Verdonshot

M.W. van den Hoorn

R.C. Nijboer

M. Bleeker

Alterra-rapport 1751

Alterra, Wageningen, 2008

REFERAAT

Loeb, R., P.F.M. Verdonschot, M.W. van den Hoorn, R.C. Nijboer & M. Bleeker, 2008. *Sleutelfactoren en ecosysteemfuncties. I. Eerste verkenning in laagveensloten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1751. 59 blz.; 24 fig.; 12 tab.; 7 ref.

Dit rapport beschrijft onderzoek dat gedaan is naar mogelijke sleutelfactoren voor aquatisch ecologische kwaliteit in laagveensloten. Het onderzoek is uitgevoerd in drie deelgebieden in de Wieden, die in een gradiënt van sterke beïnvloeding naar een meer natuurlijke situatie lagen. In deze sloot zijn met continu loggers temperatuurkarakteristieken van zes sloten bepaald. Elke sloot bleek zijn eigen karakteristieken te hebben, samenhangend met waterdiepte, kwel en begroeiing. De macrofaunagemeenschappen van de sloten bleken sterk per locatie te verschillen. Binnen de verschillende habitats van deze sloten waren de verschillen kleiner. Verwacht wordt dat sleutelfactoren daarom meer op slootniveau dan op habitatniveau zullen ingrijpen. In vervolgonderzoek zal de rol van de zuurstofconcentratie in deze systemen uitgebreider onderzocht moeten worden.

Trefwoorden: sleutelfactoren, temperatuur, sloten, laagveen.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2008 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd 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 Sleutelfactoren	11
1.3 Aanpassingen van macrofauna aan sleutelfactoren	13
1.4 Biotische interacties	14
1.5 Effecten van temperatuur	15
1.6 Belang voor waterbeheer en -beleid	16
1.7 Opzet van het onderzoek	16
2 Materiaal en methode	17
2.1 Continuregistratie waterpeil	17
2.2 Continuregistratie temperatuur	17
2.3 Macrofaunabemonstering	17
2.4 Macrofytenopnamen	17
2.5 Fysisch-chemische bemonstering	17
2.6 Continuregistratie EGV	18
2.7 Statistiek	18
3 Gebiedsbeschrijving	19
3.1 De Wieden	19
3.2 Onderzoekslocaties	19
3.2.1 Groen Kruispunt	21
3.2.2 De Bramen	21
3.2.3 Reeënweg	22
3.3 Fysisch-chemische bemonstering	22
3.3.1 Groen Kruispunt	23
3.3.2 De Bramen	23
3.3.3 Reeënweg	23
3.4 Waterpeil	24
3.5 Temperatuurverloop	25
3.6 Samenvatting abiotiek	31
3.6.1 Groen Kruispunt	31
3.6.2 De Bramen	31
3.6.3 Reeënweg	31
4 Biotische data	33
4.1 Keuze van abiotische parameters voor de verwerking van de biotische data	33
4.1.1 Temperatuurparameters	33
4.1.2 Chemische parameters	35

4.1.3 Hydromorfologische parameters	35
4.2 Macrofyten	37
4.3 Macrofauna	39
4.3.1 Ordinatie van macrofauna op slootniveau	39
4.3.2 Ordinatie op macrofaunagroepen op slootniveau	43
4.3.3 Ordinatie macrofaunasoorten op habitatniveau per seizoen	45
4.4 Samenvatting biotische gegevens	46
5 Vervolgonderzoek	49
Literatuur	51
Bijlage 1 Weggelaten parameters	53
Bijlage 2 Gebruikte afkortingen	55

Woord vooraf

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 meetprogramma bij waterbeheerders. De juiste variabelen kunnen dan op het juiste moment en over het juiste tijdsinterval gemeten worden. Ook leidt een betere kennis van het functioneren van aquatische ecosystemen tot beter inzicht in hoe een systeem hersteld kan worden. De keuze van geschikte beheersmaatregelen is efficiënter als onderliggende processen bekend zijn.

Het is bekend dat de aquatisch ecologische kwaliteit van sloten sterk achteruit is gegaan door veranderingen in waterkwaliteit, zoals eutrofiëring, en door hydrologische veranderingen. Deze veelomvattende stuurvariabelen hebben echter geen directe invloed op de samenstelling van de macrofaunagemeenschap. Het is nog goeddeels onbekend welke sleutelfactoren de samenstelling in sloten wel in belangrijke mate bepalen. Bij deze sleutelfactoren moet gedacht worden aan factoren als temperatuur en zuurstofconcentratie. Deze factoren worden beïnvloed door de veranderingen in hydrologie en nutriëntenbelasting.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het programma Beleidsondersteunend Onderzoek cluster Ecologische Hoofdstructuur, thema Ecologische doelen en maatlaten waterbeheer van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het onderzoek vormt een eerste deelstudie in het BO-project Sleutelfactoren en ecosysteem functioneren. De resultaten uit dit deelonderzoek vormen de basis voor de vervolgonderzoeken binnen het project.

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. Wij willen Tjeerd-Harm van den Hoek en Jos Sinkeldam bedanken voor hun inhoudelijke bijdragen.

Samenvatting

Beleids- en kennisvraag

De kennisvragen die ten grondslag lagen aan dit onderzoek, waren:

- Welke stuurfactoren zijn belangrijk voor het functioneren van sloten en beken en voor doel- en indicatorsoorten daarin?
- Hoe hangen deze samen?
- Welke (ranges voor) milieu-randvoorwaarden (b.v. t.a.v. nutriënten en hydro(morfo)logie) gelden er voor het goed functioneren van de betreffende aquatische ecosystemen?

Bestaande kennis

Eutrofiëring en hydrologische veranderingen liggen ten grondslag aan de achteruitgang van de biotische kwaliteit van sloten. Hoewel deze stuurvariabelen wel direct effect hebben op de macrofytensamenstelling van sloten, werken zij niet direct in op de samenstelling van de macrofaunapopulatie. Directe beïnvloeding vindt plaats door sleutelfactoren als bijvoorbeeld temperatuur, zuurstofconcentratie van het water en habitatstructuur; zogenaamde sleutelfactoren.

Kennisleemten

Er is nog weinig bekend over de precieze inwerking van de bovengenoemde sleutelfactoren op ecosysteemniveau. Zo is het bijvoorbeeld niet bekend waarom een bepaalde sloot van een andere sloot verschilt in macrofaunasamenstelling. Hierdoor is het niet mogelijk om de effecten van bepaalde beheermaatregelen te voorspellen.

Onderzoeksaanpak

In dit rapport wordt de invloed van een aantal sleutelfactoren op de aquatische ecologie van sloten in het laagveengebied De Wieden beschreven. Voor dit onderzoek zijn drie gebieden geselecteerd: een gebied met een slechte waterkwaliteit dat sterk geëutrofeerd is (Groen Kruispunt), een gebied met een betere waterkwaliteit en karakteristieke veensoorten (De Bramen) en een gebied met op een goede waterkwaliteit dat verder van de boezem ligt en met een goede waterkwaliteit en misschien kwelvoeding (de Reeënweg). In elk van deze gebieden is zijn twee sloten onderzocht. In de sloten zijn continuloggers geplaatst, waarmee elk kwartier de watertemperatuur en het waterpeil zijn bepaald. Aanvullend is in het voor- en het najaar de waterkwaliteit bepaald en zijn er in de zomer opnamen gemaakt van de macrofyten. Tweemaal is de macrofauna bemonsterd: eenmaal in het najaar en eenmaal in het voorjaar. Hierbij is onderscheid gemaakt in de verschillende habitats voor macrofauna die er in de sloten te vinden waren: de slibbodem, de oever, en de drijvende, submerse en emerse vegetatie.

Onderzoeksresultaat

De sloten hadden elk hun eigen temperatuurkarakteristieken, die samenhangen met de waterdiepte, kwelinvloed en de begroeiing met drijvende planten. Vooral de sloten van Groen Kruispunt weken af door hun ondiepte en door het feit dat zij kwel

ontvingen uit het Meppelerdiep. Omdat deze sloten tevens de meest eutrofe sloten waren, waren eutrofiërings- en temperatuurparameters onderling sterk gecorreleerd. De precieze rol van de temperatuurkarakteristieken op de biotiek was hierdoor niet duidelijk.

De drie locaties hadden alle hun eigen macrofaunasamenstelling. Ondanks dat de sloten op habitatniveau bemonsterd waren, bleek de samenstelling van de macrofaunagemeenschap sterker samen te hangen met de sloot dan met het habitattype. De relatie met structuur is in dit onderzoek niet meegenomen.

Op grond van het onderzoek lijkt eutrofiëring een belangrijke factor te zijn in de macrofaunasamenstelling van sloten. Deze factor is echter geen directe (sleutel) factor. Omdat macrofaunasamenstelling in de sloten sterker verschilde tussen de sloten dan tussen de habitats binnen een sloot, lijkt habitat een minder belangrijke sleutelfactor dan andere mogelijke factoren. Hoewel de gemeten temperatuur in de sloten sterk gecorreleerd was aan met de eutrofiëringsgradiënt, en er daarom weinig gezegd kan worden over het effect van de sloottemperatuur, is het wel aannemelijk dat de verschillende habitats binnen een sloot andere temperatuurkarakteristieken zullen kennen. Omdat de habitats weinig invloed hadden op de macrofauna, zal ook de invloed van temperatuur in de geselecteerde sloten waarschijnlijk niet bijzonder groot zijn.

Toepassing resultaat

De resultaten van deze verkenning vormen een aanzet voor het vervolg van dit onderzoek de komende jaren. Het onderzoek zal uiteindelijk bijdragen aan een beter inzicht in sleutelprocessen voor het functioneren van slootecosystemen. Resultaten uit dit onderzoek kunnen dan gebruikt worden als basis voor meer beleidsgericht onderzoek, het opzetten van betere meetprogramma's voor bijvoorbeeld de Kaderrichtlijn Water en een efficiëntere keuze in beheermaatregelen.

Projectvervolg

Voor het vervolgonderzoek wordt aanbevolen om diepgaander onderzoek te doen naar zuurstof als sleutelfactor, door ook het dagnacht- en het seizoensritme van de zuurstofconcentratie in beeld te brengen. Ook dient er gezocht te worden naar een aanvullende slootgradiënt, waarin maar één factor duidelijk varieert. Aanvullend kunnen er vervolgens experimenten ingezet worden waarin de gevonden effecten van sleutelfactoren getoetst kunnen worden.

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 door omgekeerd peilregime, waardoor het waterpeil in de zomer hoger is dan in de winter en 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.

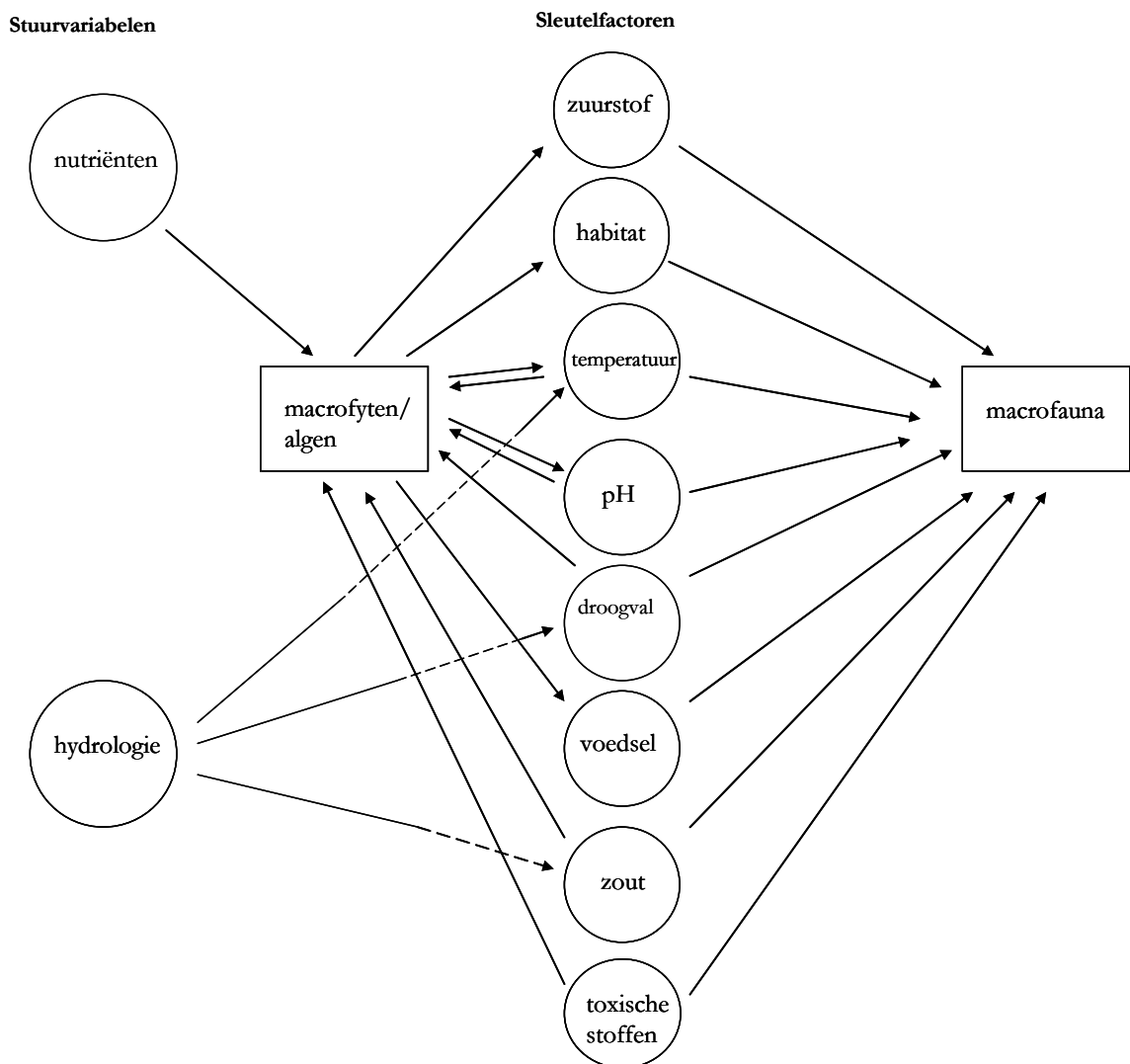
1.2 Sleutelfactoren

Hoewel de oorzaak van de achteruitgang van sloten duidelijk ligt in bovengenoemde stuurvariabelen, zijn dit 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 als gevolg van de eutrofiëring wel beïnvloed worden. Er zijn echter ook factoren die directe invloed hebben op de macrofauna. Deze factoren worden sleutelfactoren genoemd. Mogelijke sleutelfactoren zijn:

- zuurgraad
- zoutconcentratie
- zuurstofconcentratie
- temperatuur
- waterbeweging
- voedsel
- toxische stoffen
- habitat
- droogval

In figuur 1 staat de werking van de stuurvariabelen en sleutelfactoren weergegeven. Eutrofiëring (nutriënten) heeft een direct effect op de groei van macrofyten en algen. Macrofyten vormen het habitat voor veel macrofaunasoorten. Ook wordt dood en levend plantmateriaal als voedsel gebruikt. Daarnaast produceren macrofyten en algen zuurstof. Bij het afsterven van algen en macrofyten wordt echter zuurstof geconsumeerd, waarbij zuurstof wordt geconsumeerd. Als er veel primaire productie plaatsvindt door hoge nutriëntenconcentraties kan er bij afbraak van het organisch

materiaal zuurstofloosheid ontstaan. Temperatuur heeft een direct effect op het metabolisme en de levenscyclus van de macrofauna. De temperatuur in sloten wordt beïnvloed door instraling, slootdiepte, beschaduwing door de vegetatie en bedekking met vegetatie. Sloten met een dek van drijvende planten kunnen dicht aan het oppervlak warmer worden dan sloten zonder vegetatiedek, omdat deze planten warmer worden dan de lucht en hun warmte deels aan het water afstaan (Dale&Gillespie, 1976; Brock, 1988). Ook de aanvoer van grondwater heeft invloed. Grondwater heeft een vrij constante temperatuur van ongeveer 8 °C. In sloten die gevoed worden door kwelwater zal de temperatuur in de winter vaak hoger liggen dan dat van de omgeving en in de zomer juist lager. De temperatuur van het oppervlaktewater heeft ook effect op de zuurstofconcentratie in het water. In warm water lost zuurstof slechter op. In sloten die 's zomers sterk opwarmen kan hierdoor zuurstofloosheid ontstaan.



Figuur 1. Schematische weergave van sleutelfactoren voor het voorkomen van macrofauna.

Waarschijnlijk zijn alle aantastingen van aquatische ecosystemen via veranderende ecologische processen te herleiden tot veranderingen in één of meer sleutelfactoren. In veel onderzoeken komen de sleutelfactoren niet (voldoende) tot uiting. Dit kan veroorzaakt worden doordat deze factoren niet, niet op de juiste wijze of het juiste tijdstip gemeten zijn. Een voorbeeld is de zuurstofconcentratie, die vaak eens per een tot twee maanden overdag gemeten wordt. In de vroege ochtend is dit gehalte echter het laagste; een continue meting gedurende een hele dag zou dus noodzakelijk zijn om een goed verband tussen deze factor en macrofauna aan te kunnen tonen. Voor het onderzoeken van causale verbanden tussen macrofaunasoorten en deze sleutelfactoren is het dus nodig om een meetschema te gebruiken dat specifiek op deze sleutelfactoren is afgestemd.

Dit onderzoek richt zich voornamelijk op de sleutelfactoren temperatuur en zuurstof en niet op de sleutelfactoren pH, zout, en toxische stoffen en droogval. In extreem zure of zoute milieus komen alleen soorten voor die hier fysiologisch aan aangepast zijn. Toxische stoffen zoals pesticiden of bijvoorbeeld sulfide, dat in-situ wordt gevormd, hebben direct effect op gevoelige soorten.

1.3 Aanpassingen van macrofauna aan sleutelfactoren

Soorten zijn aangepast aan hun leefomgeving en daarmee aan de ranges van de sleutelfactoren die in de sloot of beek voorkomen. Soorten kunnen zich op verschillende manieren aan hun milieu aangepast hebben:

- Morfologische aanpassing: Een soort heeft bijvoorbeeld klauwen om zichzelf vast te houden in snel stromend water;
- Fysiologische aanpassing: Een soort kan bijvoorbeeld zijn ademhalingsnelheid aanpassen aan de stroomsnelheid;
- Gedragsaanpassing: Een soort kan een bepaalde situatie vermijden in ruimte of tijd, bijvoorbeeld door onder stenen te schuilen bij een piekafvoer of door inactief worden bij te laag zuurstofgehalte;
- Levenscyclusaanpassing: Een soort kan door aanpassing van de levenscyclus bepaalde situaties overleven, bijvoorbeeld door in periodes van droogval als adult op het land te leven;
- Dispersie: Soorten kunnen zich aanpassen aan een instabiel milieu door zich op het juiste tijdstip snel te verspreiden.

Soorten hebben zich gedurende de evolutie aangepast aan het milieu waarin ze voorkomen. Behalve deze continue langzame aanpassing, kunnen sommige soorten zich ook snel aanpassen aan een veranderend milieu. Deze flexibiliteit kan van belang zijn voor het overleven van een soort in een minder stabiel milieu (bijvoorbeeld een sloot met een wisselend zuurstofgehalte of een beek met een sterk wisselende afvoer). De mate van flexibiliteit uit zich in:

- De snelheid van aanpassing na verandering van een sleutelfactor;
- De snelheid van terugkeer naar de vroegere toestand na herstel van de situatie;
- Het type aanpassing dat wordt gebruikt;
- Het beschikken over verschillende aanpassingen in verschillende milieus;
- Het feit of aanpassing bij zowel langzame als snelle verandering van de sleutelfactor kan plaatsvinden.

Het zich aanpassen aan een veranderend milieu kost de soort energie. Op een ander aspect zal de soort daardoor moeten inleveren (trade-off). Dergelijke trade-off kan zich uiten in:

- Minder mobiliteit om voedsel te zoeken of een predator te ontwijken;
- Minder tijd beschikbaar om zich te voeden;
- De bouw van kleinere of dunnere huisjes, netten of andere structuren en functionele hulpmiddelen;
- Een lage groeisnelheid;
- Achteruitgang van de reproductie (bijvoorbeeld minder nakomelingen, kleinere nakomelingen of minder cycli per jaar);
- Afname van de concurrentiekracht.

Samengevat betekent dit dat een soort in staat moet zijn zich aan te passen aan het milieu en dat de soort flexibeler moet zijn naarmate de condities in de sloot of beek sterker fluctueren. Deze flexibiliteit kan echter nadelig zijn doordat dit energie kost die anders gebruikt zou worden voor groei en reproductie. Dit betekent dat een soort toch kan verdwijnen, ook al lijkt deze in eerste instantie bestand te zijn tegen een bepaalde omstandigheid.

1.4 Biotische interacties

Een tweede belangrijk aspect dat bepaalt of een soort ergens al dan niet kan voorkomen zijn biotische interacties zoals concurrentie, predatie, mutualisme etc. Ook biotische interacties zijn altijd te herleiden tot een verandering in één van de sleutelfactoren. Behalve de voor de hand liggende prooi-predator interacties speelt concurrentie om voedsel en habitat een rol. Als een habitat reeds bezet wordt door een soort kan het voor de andere soort moeilijk zijn zich hier te vestigen. De soort die het krachtigste is in de concurrentiestrijd zal uiteindelijk gaan domineren. Behalve directe soortrelaties zijn er de indirecte relaties waarbij de ene soort het milieu geschikt of ongeschikt maakt voor een tweede soort. Dit kan bijvoorbeeld doordat de ene soort een structuur vormt waarop de andere zich kan vestigen, zoals macrofyten een structuur vormen waarop epifyten zich kunnen vestigen die op hun beurt het voedsel vormen voor bijvoorbeeld waterslakken.

Interacties tussen soorten kunnen beïnvloed worden door veranderingen in ecologische processen die zich uiten in een verandering van de waarde van een sleutelfactor. Een soort kan bij een bepaalde verandering concurrentiekrachtiger worden en daardoor een andere soort verdringen. Het achteruitgaan van bepaalde soorten zou veroorzaakt kunnen worden, doordat deze soorten onder bepaalde suboptimale milieu-omstandigheden niet meer kunnen concurreren met een verwante soort (met dezelfde functie in het systeem) die bij de nieuwe omstandigheden juist richting zijn optimum verschuift. Het directe effect van de sleutelfactor op de soort wordt zo nog eens versterkt door het indirecte effect via de biotische interactie.

Biotische interacties zijn altijd te vertalen in sleutelfactoren. Een interactie is voordelig of nadelig voor een soort door de verandering in de sleutelfactor die door de interactie optreedt. De meeste interacties tussen macrofaunasoorten zijn gericht op de sleutelfactoren voedsel en habitat. De relatie tussen macrofyten en macrofauna

kan bijvoorbeeld ook gericht zijn op temperatuur (door beschaduwning) of zuurstofgehalte.

Waarschijnlijk is het zo dat biotische interacties in stabiele sloten en beken een veel grotere rol spelen dan in verstoorde situaties. In beken waarin bijvoorbeeld de hydrologie is aangetast, zal het kunnen tolereren van moeilijke milieu-omstandigheden een grotere rol spelen dan de biotische interacties. Bij het optreden van afvoerpieken ligt de hele beek regelmatig overhoop en zal de hele gemeenschap zich opnieuw moeten instellen en moeten interacties telkens opnieuw gevormd worden.

In sloten is nauwelijks sprake van stroming waardoor soorten meer aan hun plaats gebonden zijn en hierdoor meer te maken krijgen met de soorten in hun directe omgeving. Interacties zullen hier sterker zijn. In een sloot zal de aanwezigheid van predatoren effect hebben op de grootte van de populatie van de prooidieren, in een beek zal dit effect veel kleiner zijn, doordat er altijd aanvoer is van nieuwe prooidieren. Maar ook in sloten kunnen milieuvariabelen een primaire rol spelen als deze van levensbelang zijn voor bepaalde soorten. Als de zuurstofhuishouding is verstoord, zullen in perioden met lage zuurstofgehalten veel soorten verdwijnen en zal het systeem zich telkens weer moeten herstellen.

1.5 Effecten van temperatuur

Dit rapport richt zich voornamelijk op effecten van temperatuur op de macrofauna. Alle facetten van de levenscyclus en de verspreiding van aquatische macrofauna lijken door temperatuur beïnvloed te worden. Metabolisme, groei, emergentie en reproductie zijn direct gerelateerd aan temperatuur, terwijl voedselbeschikbaarheid, zowel wat betreft hoeveelheid als kwaliteit waarschijnlijk indirect aan temperatuur gerelateerd zijn. De meeste ongewervelde zoetwaterdieren gaan dood bij temperaturen tussen 30 en 40 °C. Er hebben zich levenscycli ontwikkeld die het mogelijk maken voor soorten om gunstige perioden voor groei te benutten, gekoppeld aan een geschikte periode van bestaan buiten het water. Dit kan een diapauze zijn of een rustperiode in een resistent levensstadium om perioden met extreem hoge of lage temperaturen te vermijden. De seizoensvariatie in temperatuur controleert het ritme van de levenscycli van vele soorten. Een lage wintertemperatuur kan de groeisnelheid vertragen, dus hoe langer de winter hoe minder tijd er overblijft om te groeien. Hoe hoger dan ook de breedtegraad of de hoogte hoe later de emergentieperiode van veel beeksoorten. Als het overblijvende zomerseizoen te kort is om de levenscyclus te voltooien, zal een soort daar niet voorkomen.

In Zweedse meren is aangetoond dat de klimaatverandering die afgelopen 15 jaar heeft plaatsgevonden al een duidelijk effect heeft op de soortensamenstelling van macrofauna (Burgmer et al., 2007). In rivieren in de Duitse Eifel en het Sauerland blijkt dat de samenstelling van de macrofaunagemeenschap op basis van de bemonsterde *Ephemeroptera*, *Plecoptera* en *Trichoptera* voor 29% verklaard kan worden door temperatuur (Haidekker, 2004), terwijl de gemiddelde temperatuur van de onderzochte rivieren maar ongeveer 3 °C verschilde. Het is daarom aannemelijk dat in slootsystemen, die onderling in gemiddelde temperatuur veel meer kunnen

verschillen, temperatuur een belangrijke sleutelfactor is voor de samenstelling van de macrofaunagemeenschap.

1.6 Belang voor waterbeheer en -beleid

Kennis over causale relaties tussen macrofaunasoorten en sleutelvariabelen 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.
- Gebruik van proceskennis in modellen voor voorspelling van het effect van verstoringen of beheersmaatregelen 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 beheersmaatregelen 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.

1.7 Opzet van het onderzoek

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, kan er gekeken worden naar het effect van de sleutelfactoren zonder dat er invloed is van regionale variatie in soortensamenstelling.

Locaties in De Wieden die aan de rand van het gebied liggen of direct in contact staan met het boezemwater ontvangen water dat sterker vervuild is dan gebieden die “dieper” in het veen liggen en waar het water uit de boezem een groter afstand heeft afgelegd voor het de locatie bereikt. In De Wieden zijn drie locaties geselecteerd, waar elk 2 sloten gemonitord zijn. Locatie Groen Kruispunt wordt sterk beïnvloed door water uit het Meppelerdiep en is geëutrofeerd, locatie De Bramen staat in contact met het boezemwater, maar heeft een betere waterkwaliteit dan Groen Kruispunt. Locatie Reeënweg ligt verder van de boezem. Hier verwachtten we een natuurlijkere waterkwaliteit in de sloten. Op elke locatie zijn het waterpeil en de temperatuur jaarrond continu gemeten. Daarnaast is de macrofauna twee keer bemonsterd, waarbij er verschil is gemaakt tussen verschillende micro-habitats waarop de sleutelfactoren van invloed kunnen zijn, heeft er fysisch-chemische bemonstering plaatsgevonden en zijn er opnamen gemaakt van de macrofyten.

2 Materiaal en methode

2.1 Continueregistratie waterpeil

De continuloggers zijn opgehangen aan een PVC-buis die bevestigd is aan een paal op de overgang van het sloottalud naar de slootbodem. Het waterpeil is elk kwartier gemeten met behulp van een LevelTroll 500 (In-Situ Inc.) logger.

2.2 Continueregistratie temperatuur

Elk kwartier is in de sloten op 10 cm onder het wateroppervlak de temperatuur gemeten met Hobo Watertemp v1 (Onset) dataloggers. In sloten waar ook het waterpeil is gemeten, zijn LevelTroll 500 (In-Situ Inc.) loggers gebruikt.

2.3 Macrofaunabemonstering

Eind oktober en begin november 2005 is de eerste serie macrofaunabemonsteringen uitgevoerd, eind mei en begin juni 2006 volgde de tweede bemonstering. 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 m^2). Het slib, de oever en de submerse, emerse en drijvende vegetatie zijn apart naar rato bemonsterd. Als dit niet mogelijk was, doordat een sloot bijvoorbeeld net geschoond was, is een samengesteld monster genomen.

2.4 Macrofytenopnamen

Opnamen van de macrofyten zijn gemaakt in juni en juli 2006 over een lengte van 50 m tussen de waterlijnen van de sloot. Opnames zijn gemaakt in Tansley. Tansleycodes zijn voor de verwerking van de data omgezet in de getallen 1 tot en met 9.

2.5 Fysisch-chemische bemonstering

pH en EGV zijn op locatie gemeten met een Hach sensION156 Portable pH/EGV-meter, zuurstof met een Hach LDO HQ10 Portable opgelost zuurstof-meter. Watermonsters zijn genomen in 1 l PVC flessen die op de dag van monsternamen zijn ingevroren. Chemische analyses zijn uitgevoerd door Vitens. Monsternamen en metingen zijn twee keer uitgevoerd: in het najaar van 2005 en in het voorjaar van 2006.

2.6 Continueregistratie EGV

In sloot 2 van Groen Kruispunt is met een multilogger (Troll9500, In-Situ Inc.) het EGV, het waterpeil en de temperatuur gemeten.

2.7 Statistiek

Ordinaties zijn uitgevoerd in Canoco 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2002). Zowel biotische als abiotische data zijn voor de analyse $\log(x+1)$ getransformeerd om ze beter te laten voldoen aan normale verdelingen. Op abiotische data is een PCA uitgevoerd. Biotische data zijn geanalyseerd met unimodale analysemethoden (DCA), tenzij de gradiënt korter was dan 2. In die gevallen is gekozen voor een lineaire analyse (PCA). Om de spreiding van de biotische data te kunnen verklaren uit de abiotiek, zijn indirecte analyses uitgevoerd (DCA/PCA), waarbij de richting van de abiotische parameters in de analyses van de biotische data is geplott. Omdat er slechts 6 sloten zijn bemonsterd, zouden directe analysetechnieken ((D)CCA/RDA) een overschatting kunnen geven van de verklarende rol van variabelen die gerelateerd zijn aan sterk afwijkende locaties. Dit zou betekenen dat de parameters die als mogelijk verklarend geselecteerd kunnen worden in een Monte Carlo-permutatietest in een directe analyse, zeer zwak samen zouden kunnen hangen met de biotiek. Om deze reden zijn er geen directe analyses uitgevoerd. Bij de het verwerken van de gegevens is nagegaan dat analyse van de afgestemde gegevens, waarbij de macrofauna niet tot op verschillend taxonniveau gedetermineerd was, geen ander beeld opleverde.

3 Gebiedsbeschrijving

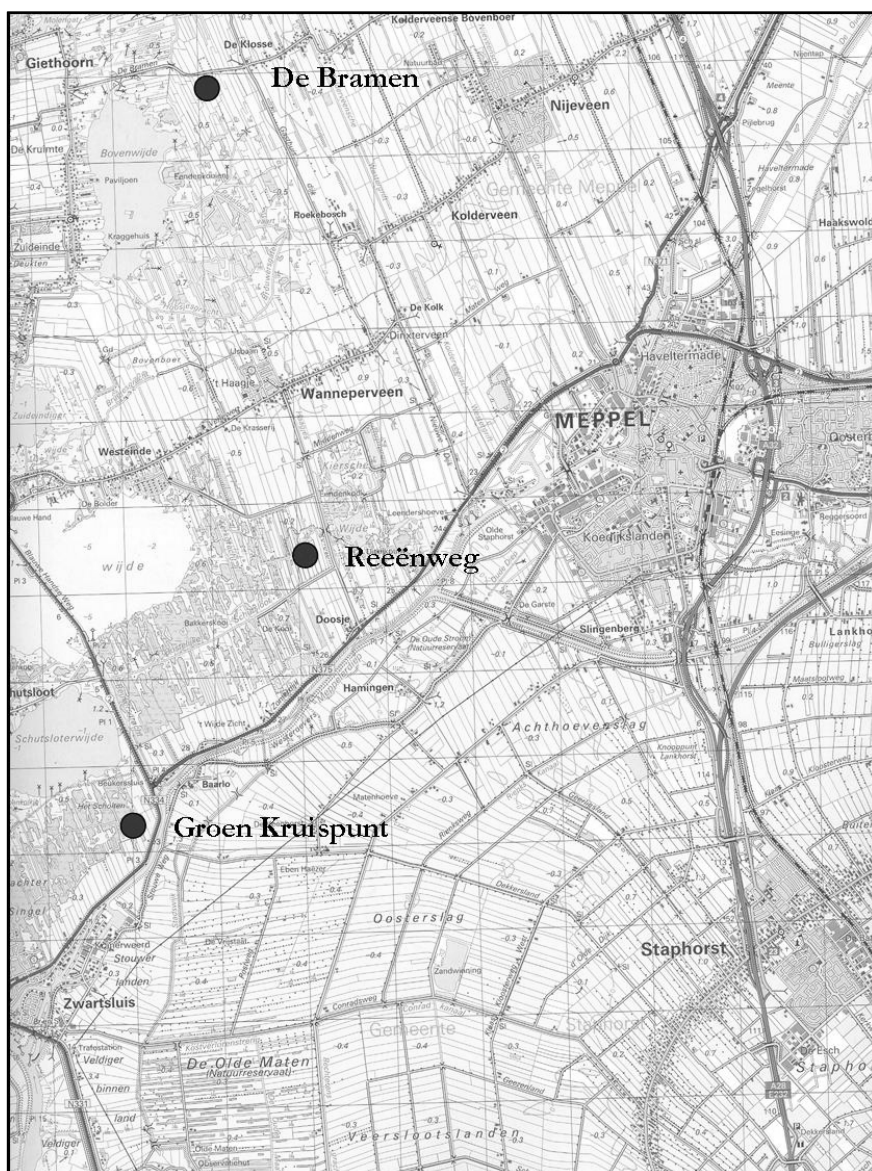
3.1 De Wieden

Het laagveenmoerasgebied 'De Wieden' ligt in het noordwesten van de provincie Overijssel. Het gebied wordt sinds 1934 beheerd door Natuurmonumenten en vormt samen met het in het noorden aangrenzende nationale park 'De Weerribben' één van de belangrijkste laagveenmoerasgebieden van West-Europa. De Wieden ontving van oudsher kwel uit de hoger gelegen stuwwallen rond Vollenhove en Steenwijk. Met het aanleggen van de Veluwerandmeren werd deze kwelstroom grotendeels verlegd naar de randmeren. Waarschijnlijk is er op sommige plekken in De Wieden nog wel kwel uit de stuwwallen aanwezig. Sommige delen van De Wieden staan onder invloed van lokale kwel, onder andere vanuit het Meppelerdiep.

De Wieden is eigendom van Natuurmonumenten. Waterschap Reest en Wieden regelt het peil van het boezemwater. Omdat delen van het gebied verpacht worden, wordt niet overal het peil van het boezemwater gevolgd. Het boezemwater van De Wieden kent een omgekeerd peilbeheer, waarbij het zomerpeil lager ligt dan het winterpeil. In de winter ligt het boezempeil op -0,83 m NAP. Vanaf maart wordt het zomerpeil van -0,73 m NAP gevolgd, waarbij het peil geleidelijk oploopt door het vasthouden van gebiedseigen water (regen- en kwelwater). Er wordt met dit peilbeheer in principe geen gebiedsvreemd water ingelaten. Alleen als in droge periodes in de zomer het peil uitzakt tot onder -0,83 m NAP, wordt er water ingelaten (Peilbesluit Reest en Wieden, 2006).

3.2 Onderzoekslocaties

In figuur 2 is de ligging van de drie onderzoekslocaties aangegeven. In elk van de drie locaties zijn twee sloten bemonsterd. De onderzoekslocaties zijn zo gekozen dat er een gradiënt wordt gevormd door van beïnvloede naar minder beïnvloede locaties. Tabel 1 geeft de coördinaten van de onderzoekslocaties weer en de breedte en diepte van de sloten.



Figuur 2. Ligging van de onderzoekslocaties.

Tabel 1. Coördinaten van de onderzoekslocaties en hun dimensies.

Locaties	x-coördinaat	y-coördinaat	Breedte (m)	Slootbodem onder maaiveld (m)
Reeënweg 8	205.130	522.394	3.5	1
Reeënweg 10	205.085	522.396	4.2	0.8
Bramen 2	203.810	528.043	5.85	1.0
Bramen 4	203.639	528.032	6.0	1.3
Groen kruispunt 1	203.248	519.419	1.72	0.9
Groen kruispunt 2	203.187	519.350	2.52	0.8

3.2.1 Groen Kruispunt

Groen Kruispunt ligt net ten westen van het kruispunt van de wegen Zwartsluis-Blauwe Hand en Zwartsluis-Meppel. Groen Kruispunt heeft een eigen gemaal en het waterpeil van de sloten volgt dan ook niet dat van het boezempeil. Groen Kruispunt ontvangt lokale kwel uit het Meppelerdiep en uit de boezem.



Figuur 3. Ligging van de onderzoekssloten in Groen Kruispunt.

3.2.2 De Bramen

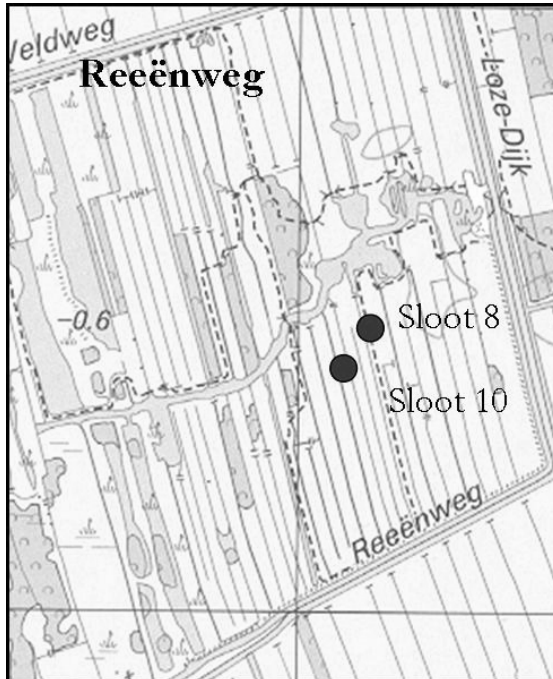
Locatie De Bramen ligt ten oosten van Giethoorn. Het gebied staat in direct contact met het boezemwater in de Bovenwijde. Water uit de boezem wordt door middel van een schuif door de pachter ingelaten uit de boezem. Het is mogelijk dat het gebied ook kwel vanuit de zandrug bij Steenwijk in het noorden ontvangt, maar erg waarschijnlijk is dit niet aangezien er een dik veenpakket aanwezig is, dat slecht waterdoorlatend is.



Figuur 4. Ligging van de onderzoekssloten in De Bramen.

3.2.3 Reeënweg

Ten oosten van de Belterwijde ligt locatie Reeënweg. Het boezemwater legt een relatief lange weg af om dit gebied te bereiken. Via de Westelijke Schutsloot komt het water uit de boezem in de Veenplas, die het boezempeil volgt. De sloten van de Reeënweg staan in directe verbinding met de Veenplas. Het veendek aan de Reeënweg is dun. De onderliggende zandlaag begint vaak al het niveau van de slootbodems.



Figuur 5. Ligging van de onderzoekssloten in de Reeënweg.

3.3 Fysisch-chemische bemonstering

De gemiddelde waarden van de fysisch-chemische bemonstering staan weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Gemiddelde waarden van de fysisch-chemische bemonstering van najaar 2005 en voorjaar 2006.

	Groen Kruispunt sloot 1	Groen Kruispunt sloot 2	De Bramen sloot 2	De Bramen sloot 4	Reeënweg sloot 8	Reeënweg sloot 10
EGV	357	492	312	361	418	423
pH	7,05	7,17	7,51	7,71	7,54	7,60
Na (mg/l)	53	30	15	15	17	19
Ca (mg/l)	40	33	28	35	41	42
Mg (mg/l)	7,1	5,5	4,0	4,4	5,3	5,7
NH ₄ (mg N/l)	0,75	1,1	0,04	0,04	0,04	0,06
Cl (mg/l)	96	51	26	23	29	32
HCO ₃ (mg/l)	118	103	81	102	125	129
SO ₄ (mg/l)	12	15	13	13	11	11
NO ₃ (mg N/l)	0,34	0,19	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
o-P (mg P/l)	0,020	0,019	0,17	<0,005	0,007	0,006
N-Kj (mg N/l)	2,9	3,0	1,6	1,5	1,9	1,5
P-tot (mg P/l)	0,036	0,032	0,17	0,09	0,04	0,04

3.3.1 Groen Kruispunt

Uit de bemonstering van de sloten van Groen Kruispunt blijkt dat de waterkwaliteit in de sloten sterk beïnvloed is. De concentraties van chloride, dat goed gebruikt kan worden als tracer omdat het niet aan de bodem bindt, zijn hoog (gemiddeld 73 mg/l), wat op menselijke beïnvloeding duidt. Ook de concentraties van Na, HCO_3 , Ca en Mg zijn hoog en lijken meer op oppervlaktewatermonsters van gebiedsvreemd water. Het slootwater is geëutrofeerd; vooral concentraties van anorganisch stikstof, met name ammonium, zijn erg hoog. Ammonium bereikte in sloot 1 in het najaar van 2005 een concentratie van 1,36 mg/l. In het voorjaar van 2006 lagen de concentraties van nitraat, ammonium en orthofosfaat lager dan in het najaar. Ten tijde van de fysisch-chemische bemonsteringen lag het EGV van Groen Kruispunt rond 300-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Uit de continuumetingen van het EGV in sloot 2 blijkt echter dat het EGV in juli 2006 opliep tot 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dit betekent dat het water in de sloten van Groen Kruispunt een deel van het jaar sterker vervuild zijn dan uit de fysisch-chemische gegevens al blijkt. Het is waarschijnlijk dat locatie Groen Kruispunt lokale kwel ontvangt uit het Meppelerdiep en mogelijk ook vanuit het boezemwater, waarmee het niet in direct contact staat. In het Meppelerdiep ligt de concentratie chloride rond de 40 mg/l, maar kan in warme periode oplopen tot boven de 80 mg/l (data Waterschap Reest en Wieden). Uitgevlakt ijzer in de sloten en de aanwezigheid van ijzeroxiderende bacteriën, evenals de aanwezigheid van *Hottonia palustris* (Waterviolier) wijzen op een situatie met kwel.

3.3.2 De Bramen

In de sloten van de Bramen zijn de chlorideconcentraties veel lager dan in de sloten van Groen Kruispunt, rond 24 mg/l. De locatie lijkt dus minder vervuild water te ontvangen. Ook de concentraties Na, Mg, Ca en HCO_3 zijn lager dan bij Groen Kruispunt en de gemeten concentraties anorganisch N en P zijn laag. De sloten lijken op grond van deze monsters vooral met gebiedseigen water gevuld te zijn. Eenmaal, in het najaar van 2005, is in sloot 2 een hoge concentratie van 0,23 mg/l orthofosfaat gemeten, maar in het voorjaar zijn de concentraties weer even laag als in sloot 4.

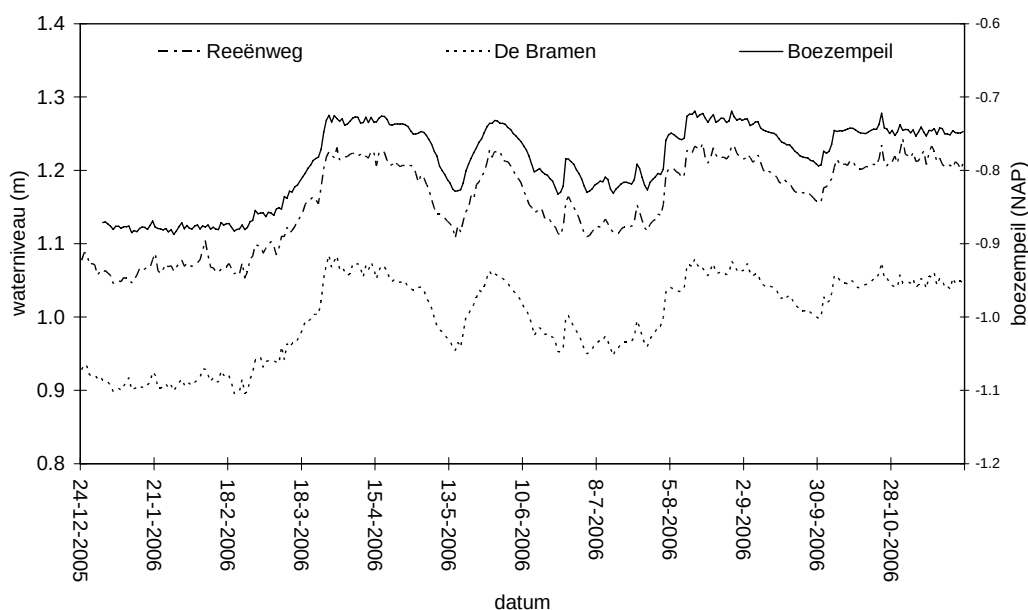
3.3.3 Reeënweg

Het water in de sloten aan de Reeënweg heeft lage concentraties nutriënten en lijkt qua samenstelling op dat van De Bramen. Opvallend echter is de hoge hardheid (hoge concentraties Ca+Mg) en de daarmee samenhangende hoge HCO_3 -concentraties. Dit zou kunnen wijzen op invloed van kwelwater buiten het gebied met lage concentraties Cl en Na. Dit zou theoretisch mogelijk kunnen zijn doordat de slootbodems in het zand gelegen zijn en er dus weinig weerstand is voor verticale grondwaterbeweging. Uit aanvullend onderzoek (Verdonschot & Loeb, in prep.) is echter gebleken dat de samenstelling van het slootwater in de Reeënweg sterk lijkt op water in sloten met een goede kwaliteit in het centrum van De Wieden. Deze sloten liggen met hun bodem wel in het veenpakket, en ontvangen vermoedelijk geen kwel.

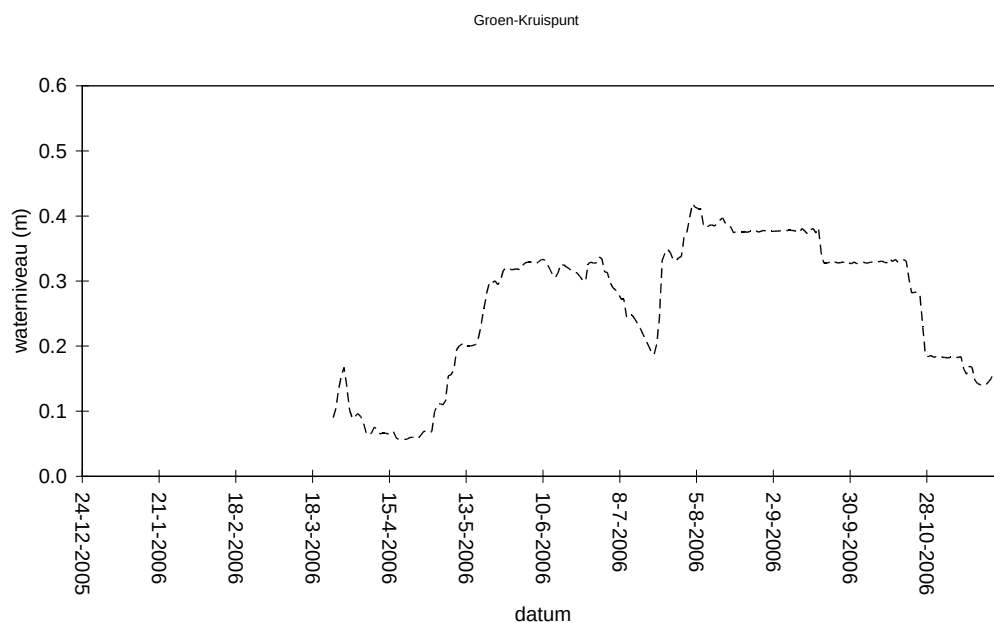
Ook is er bekend dat in het aangrenzende natuurgebied De Weerribben kwel geen belangrijke rol speelt en dit ook vroeger niet gedaan heeft (Van Wirdum, 1991). Uitsluitend over de herkomst van het water in de Reeënweg kan gegeven worden door het plaatsen van peilbuizen.

3.4 Waterpeil

Op elke locatie is in één sloot continu (eens per kwartier) het waterpeil gemeten. Op locatie Reeënweg is de waterdiepte in de Veenplas gemeten, waarmee de onderzoekssloten in directe verbinding staan. Er is aangenomen dat de tweede sloot in elk gebied eenzelfde waterpeilverloop kent. In figuur 6 staat het verloop van het waterpeil van de Veenplas en de sloot in De Bramen (sloot 2) uitgezet met het boezempeil. Het waterpeil van de boezem is uitgezet ten opzichte van NAP. Van de sloten en de Veenplas is alleen de waterdiepte ten opzichte van de bodem bekend. Beide locaties volgen het boezempeil nauwkeurig. Het waterpeil van de boezem en de sloten fluctueert ongeveer 17 cm. Ook het waterpeil in de sloten aan de Reeënweg en De Bramen fluctueert maximaal 20 cm. In figuur 6 is goed te zien dat het waterpeil geleidelijk stijgt vanaf 1 maart, het moment waarop het peil is opgezet. Figuur 7 geeft het peilverloop van sloot 2 van Groen Kruispunt en het boezempeil weer. Duidelijk is te zien dat Groen Kruispunt een eigen peilregime heeft, met een grote fluctuatie (circa 42 cm).



Figuur 6. Waterpeil in de boezem, de Reeënweg en De Bramen.



Figuur 7. Waterpeil in sloten van Groen Kruispunt

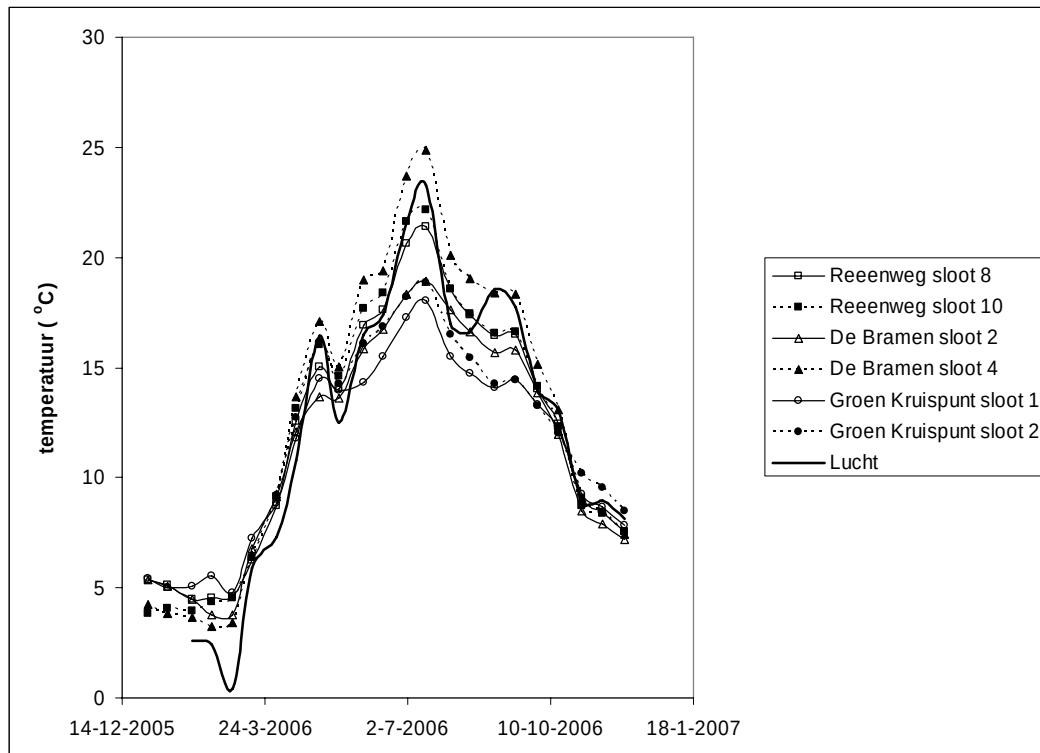
In tabel 3 zijn de minimale en maximale dieptes van de onderzochte sloten weergegeven. De diepte is handmatig gemeten tijdens de bemonsteringen. De sloten van locatie Groen-Kruispunt hadden in het voorjaar van 2006 een zeer geringe waterdiepte (sloot 1: 2 cm, sloot 2: 10 cm).

Tabel 3. Minimale en maximale waterdieptes in 2006 in de onderzoekssloten

Locatie	min diepte (m)	max diepte(m)
Reeënweg sloot 8	0.45	0.64
Reeënweg sloot 10	0.60	0.79
De Bramen sloot 2	0.64	0.83
De Bramen sloot 4	0.99	1.18
Groen Kruispunt sloot 2	0.02	0.44
Groen Kruispunt sloot 1	0.10	0.52

3.5 Temperatuurverloop

In figuur 8 staat het halfmaandelijks temperatuurgemiddelde van de sloten weergegeven. Ook zijn in deze figuur de gegevens van de luchttemperatuur, gemeten op locatie Reeënweg, weergegeven.



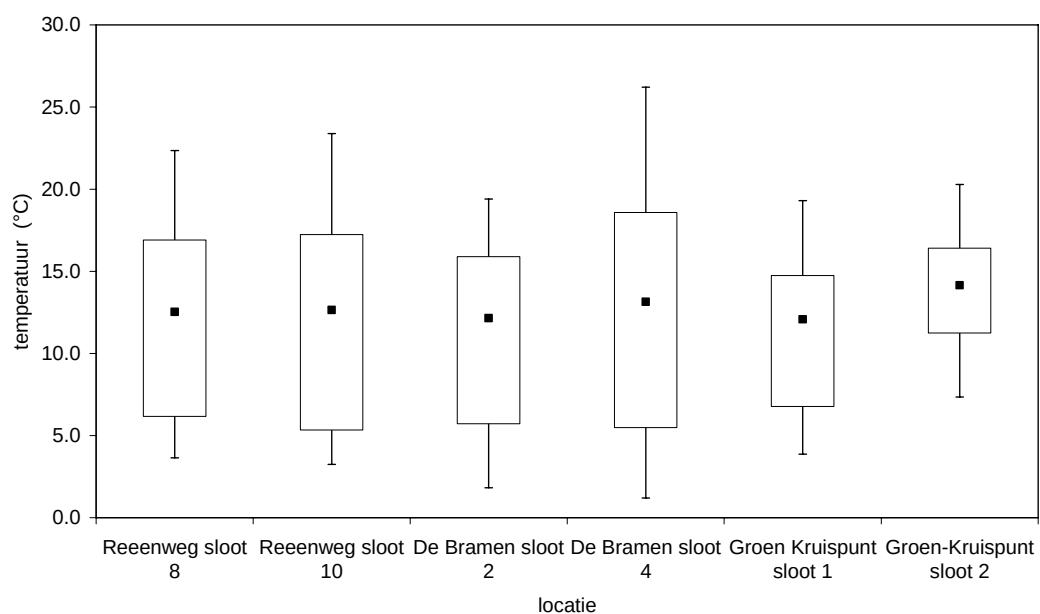
Figuur 8. Temperatuurverloop als halfmaandelijks gemiddelde van de lucht en van de onderzoekssloten.

In het vroege voorjaar van 2006 waren alle gemiddelde temperaturen van de sloten hoger dan de gemiddelde temperatuur van de lucht. Vooral de temperatuur in sloot 1 van Groen Kruispunt was hoog (sloot 2 is pas vanaf tweede helft maart gemeten). Bij het opzetten van het boezempeil in begin maart, waarmee ook de peilen van de sloten van de Reeënweg en De Bramen zijn opgezet, valt op dat de sloten in De Bramen, net als de luchttemperatuur, wat naar beneden gaan en dat de sloten van de Reeënweg wat warmer blijven. Van half maart tot half april verschillen de temperaturen van de sloten van de verschillende locaties onderling nauwelijks. Vanaf eind april beginnen de sloottemperaturen uiteen te lopen, waarbij de temperaturen van de sloten van Groen Kruispunt en sloot 2 van de Bramen een lage temperatuur houden ten opzichte van de luchttemperatuur. De temperatuur van De Bramen sloot 4 ligt het hoogst en is grotendeels hoger dan de gemiddelde luchttemperatuur. Vanaf november ligt de sloottemperatuur van sloot 2 van Groen Kruispunt weer hoger dan de luchttemperatuur.

De sloottemperatuur is afhankelijk van de luchttemperatuur, de instraling en de aanvoer van grondwater. Sloten die ondiep zijn zullen sneller opwarmen en sneller afkoelen dan diepe sloten, en als sloten onder invloed staan van kwel, zal de temperatuur van het water meer naar de temperatuur van het grondwater (rond 8 °C) gaan. In Groen Kruispunt liggen de slootwatertemperaturen tijdens de lage waterstanden in het vroege voorjaar erg hoog ten opzichte van de luchttemperatuur. Dit kan verklaard worden door de mogelijke invloed van kwel en door de ondiepte van de sloten, waardoor het slootwater door instraling snel opwarmt. In de zomer blijft de watertemperatuur relatief laag, ondanks dat de waterdiepte in de sloten een

stuk lager is dan van de andere locaties. Dit wijst duidelijk op de invloed van kwelwater. In De Bramen is er een duidelijk verschil in temperatuurverloop tussen de twee sloten. Sloop 4 warmt veel sterker op dan sloop 2. Het temperatuurverloop van sloop 2 is sterker gebufferd dan sloop 4, en het gemiddelde verloop lijkt sterker op dat van de sloten in Groen Kruispunt. Dit is opmerkelijk, omdat sloop 2 minder diep is dan sloop 4 en er op grond van de diepte juist een groter fluctuatie van de temperatuur verwacht kan worden. Sloop 2 is wat dichter bedekt met Krabbescheer dan sloop 4. Deze hoge bedekking met macrofyten zou echter tot een gemiddeld hogere temperatuur moeten leiden dan in sloop 4 (Dale&Gillespie, 1976). Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat er in deze sloop kwel optreedt. Het verloop van de temperaturen van de sloten in de Reeënweg is minder sterk gebufferd dan in de sloten van Groen Kruispunt en sloop 2 van De Bramen, maar sterker dan in sloop 4 van de De Bramen, ondanks de geringere waterdiepte. Dit wijst ook op de aanwezigheid van kwel. De sloten op de onderzoekslocaties zijn niet beschadwd.

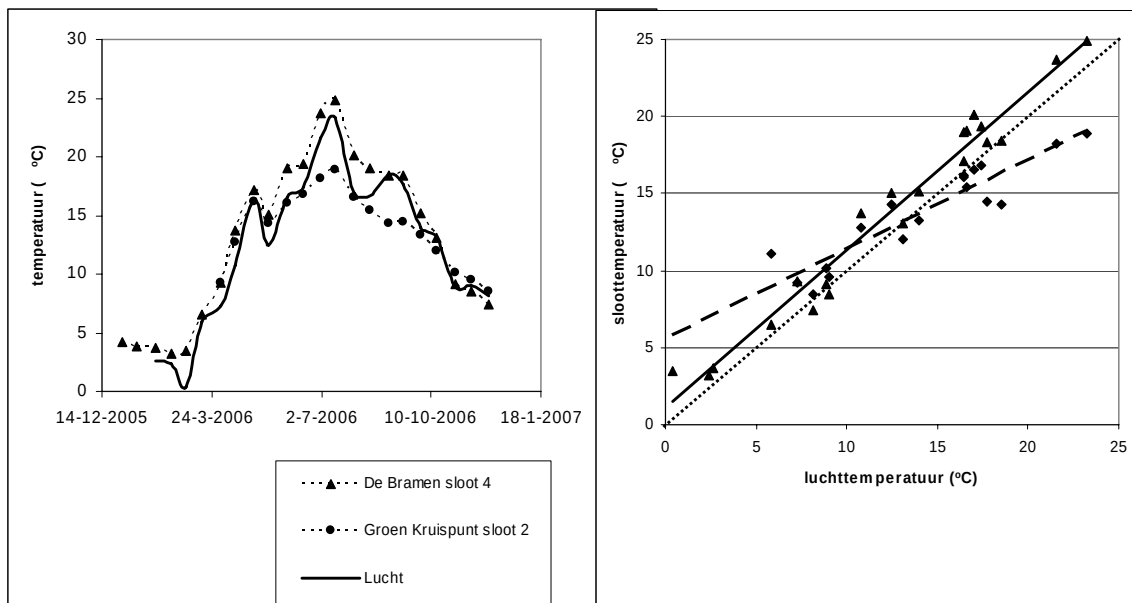
Figuur 9 is een boxplot van de minimum-, maximum- en 25, 50 en 75 percentielwaarden van de kwartiersmetingen van de temperatuur in de sloten. Omdat in sloop 2 van Groen Kruispunt de temperatuur pas vanaf eind maart gemeten is, kan eigenlijk alleen de maximumtemperatuur van deze sloop met de andere vergeleken worden. Uit de figuur blijkt dat sloop 4 van de Bramen zowel het koudst als het warmst wordt. Met gemiddeld 13,3 °C is deze sloop ook gemiddeld het warmst. Sloop 2 in De Bramen is gemiddeld het koudst en sloop 1 van Groen Kruispunt is het sterkst gebufferd, wat onder andere te zien is aan het feit dat de 25- en 75-percentielwaarden het dichtst bij elkaar liggen. Met behulp van een lineaire regressie is de relatie tussen de daggemiddelde luchttemperatuur en de daggemiddelde sloottemperatuur berekend (vanaf 25 maart tot 12 december, zodat de waarden voor sloop 2 van Groen Kruispunt ook vergeleken kunnen worden). Sloten die de luchttemperatuur het sterkst volgen, zullen de hoogste correlatiecoëfficiënt hebben. Ook zal bij deze sloten de sloottemperatuur waarbij de luchttemperatuur 0 °C is, het intercept, het dichtst bij 0 °C liggen. Figuur 10 geeft een theoretische illustratie van de verschillende relaties tussen lucht- en sloottemperatuur. In tabel 4 staan de R^2 , richtingscoëfficiënten en intercepten. Voor alle richtingscoëfficiënten en intercepten is $p < 0,001$. Alle sloottemperaturen zijn sterk gecorreleerd met de luchttemperaturen. De gemiddelde dagtemperatuur van sloop 4 van De Bramen volgt het meest de gemiddelde dagtemperatuur van de lucht, met de hoogste richtingscoëfficiënt (0,929) en het laagste intercept (2,34 °C). Sloop 2 van De Bramen is het meest afwijkend van de luchttemperatuur (richtingscoëfficiënt 0,628) en de sloten van de Reeënweg hebben het hoogste intercept, dus zijn relatief het warmst bij een lage luchttemperatuur.



Figuur 9. Boxplot van de minima, maxima en 25-, 50- en 75- percentielwaarden van de temperatuur in de sloten.

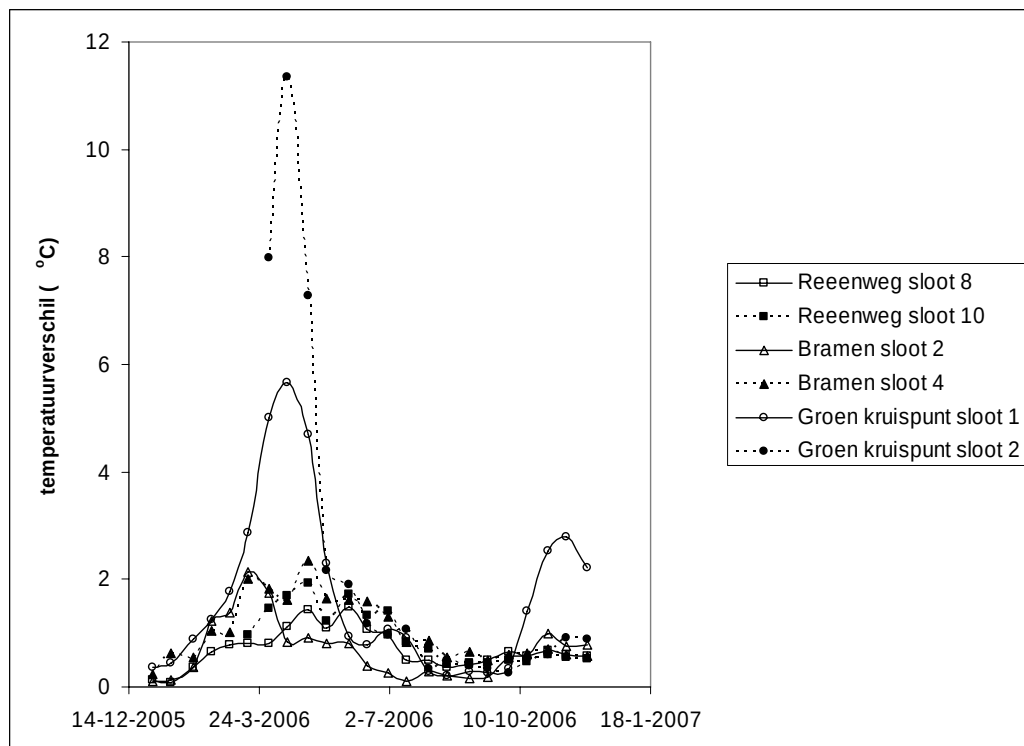
Tabel 4. Resultaten van regressie tussen sloot- en luchttemperatuur.

Locatie	R ²	richtingscoëfficient	intercept
Reeënweg sloot 8	0.788	0.756	3.428
Reeënweg sloot 10	0.795	0.798	3.150
De Bramen sloot 2	0.745	0.628	4.539
De Bramen sloot 4	0.811	0.929	2.337
Groen Kruispunt sloot 2	0.805	0.543	5.250
Groen Kruispunt sloot 1	0.775	0.564	5.676



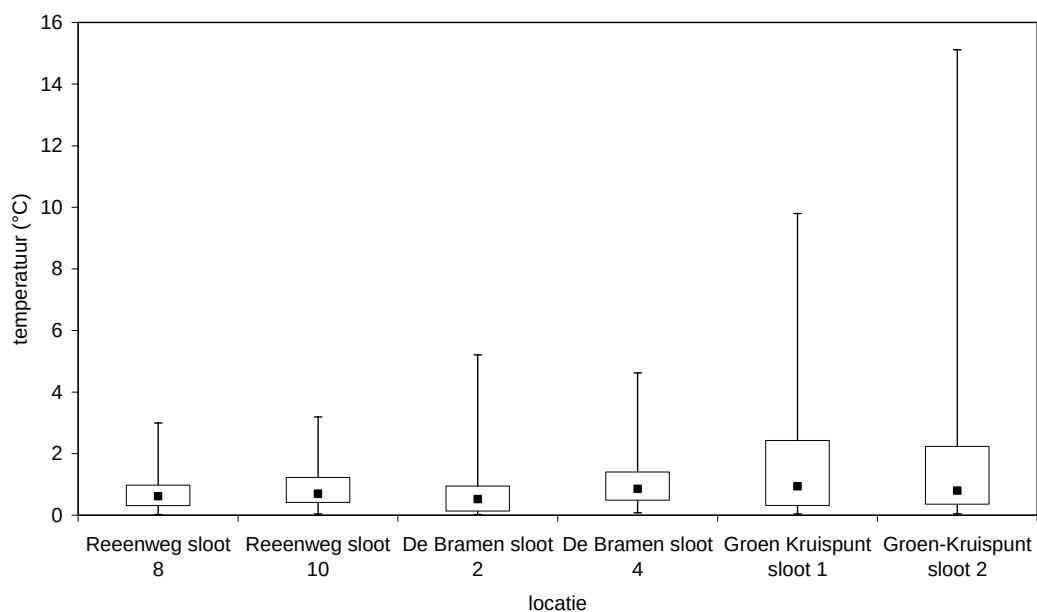
Figuur 10. Relatie tussen luchttemperatuur en sloottemperatuur. Links de halfmaandelijksse temperatuur in de tijd van De Bramen sloot 4, Groen Kruispunt sloot 2 en van de lucht. Rechts de relatie tussen de temperatuur van het slootwater en van de lucht. De gestippelde lijn geeft de één-op-één-relatie tussen sloot- en luchttemperatuur weer. De niet-onderbroken lijn geeft de relatie tussen de luchttemperatuur en de temperatuur van sloot 2 van Groen Kruispunt en de gestreepte lijn die van sloot 4 van De Bramen. Goed te zien is dat de trendlijn van sloot 4 van De Bramen ongeveer parallel loopt aan de één-op-één-lijn en dus een hoge correlatiecoëfficiënt heeft, en dat deze lijn bijna door de oorsprong van de grafiek gaat en dus een laag intercept heeft. Sloot 2 van Groen Kruispunt loopt minder steil dan de één-op-één-lijn en heeft dus een lagere correlatiecoëfficiënt. Het snijpunt met de y-as ligt hoger, waardoor het intercept groter is.

Figuur 11 geeft het halfmaandelijksse dagtemperatuurverschil in de onderzochte sloten weer. Tussen half maart en half mei fluctueren, als de waterstand in de sloten van Groen Kruispunt laag is, de verschillen tussen de minimum- en maximumdagtemperatuur sterk. In de rest van de sloten blijft het gemiddelde temperatuurverschil rond of onder de 2 °C.



Figuur 11. Halfmaandelijks gemiddelde van het dagelijkse temperatuurverschil.

In figuur 12 zijn de minimum- en maximumwaarde en de 25-, 50- en 75-percentielen van de temperatuursverschillen per dag uitgezet. Ook hier is goed te zien dat de dag-nachtfluctuaties in Groen Kruispunt groot kunnen zijn. In sloot 8 van de Reeënweg en sloot 2 van de Bramen zijn de dagverschillen meestal het kleinst; de 75-percentielwaarden liggen in deze sloten het laagst (rond 1 °C). Ondanks de geringere slootdiepte zijn de verschillen in sloottemperatuur op locatie Reeënweg kleiner dan in sloot 4 van De Bramen.



Figuur 12. Boxplot van de minimum- en maximumverschillen in dagtemperatuur en de 25, 50 en 75 percentielwaarden.

3.6 Samenvatting abiotiek

Ondanks dat de onderzoekslocaties dicht bij elkaar liggen, zijn de abiotische verschillen groot.

3.6.1 Groen Kruispunt

Groen Kruispunt is een locatie met eutrofe sloten. Uit de temperatuursgegevens blijkt dat de sloten onder invloed van kwel staan en uit de fysisch-chemische bepalingen blijkt dat deze kwel van lokale oorsprong is. De locatie heeft een sterk afwijkend peilregime en het slootpeil is een deel van het jaar zeer laag, waardoor de temperatuur, ondanks de invloed van kwel, gedurende de dag sterk kan fluctueren.

3.6.2 De Bramen

Op locatie De Bramen zijn er grote verschillen tussen de twee sloten in temperatuurverloop. Ondanks de geringere diepte van de sloot, is de temperatuur van sloot 2 veel sterker gebufferd. De fysisch-chemische gegevens duiden niet op invloed van kwelwater, en ook zijn er in deze gegevens geen duidelijke verschillen tussen de sloten. Nutriëntenconcentraties in het slootwater liggen laag in beide sloten.

3.6.3 Reeënweg

De sloten in de Reeënweg lijken sterk op elkaar. Nutriëntenconcentraties in de sloten zijn laag. Het water is harder dan op de locatie De Bramen, maar chlorideconcentraties zijn even laag. Mogelijk is hier aanvoer van regionale kwel. Ook de temperatuurbuffering van het slootwater gedurende het jaar en de geringe dag-nachtfluctuaties ten opzichte van sloot 4 van De Bramen duiden mogelijk op de aanvoer van kwel, hoewel sloot 2 in De Bramen een grotere temperatuurbuffering heeft.

4 Biotische data

4.1 Keuze van abiotische parameters voor de verwerking van de biotische data

De abiotische data zijn onderverdeeld in temperatuurparameters, chemische parameters en hydromorfologische parameters (gemiddeld waterpeil, waterpeilfluctuatie, percentage bedekking met slib, dikte van de sapropeliumlaag, volumepercentage van de sloot dat gevuld is met waterplanten en breedte en diepte van de sloot). Veel van de parameters zijn onderling gecorreleerd. Voor de statistische verwerking is daarom een deel van deze parameters weggelaten. In tabel 5 en 6 van Bijlage 1 is aangegeven met welke gehandhaafde parameters deze weggelaten parameters correleerden. Alle parameters zijn voor analyse $\log(x+1)$ getransformeerd om ze beter te laten voldoen aan de voorwaarden voor een normale verdeling.

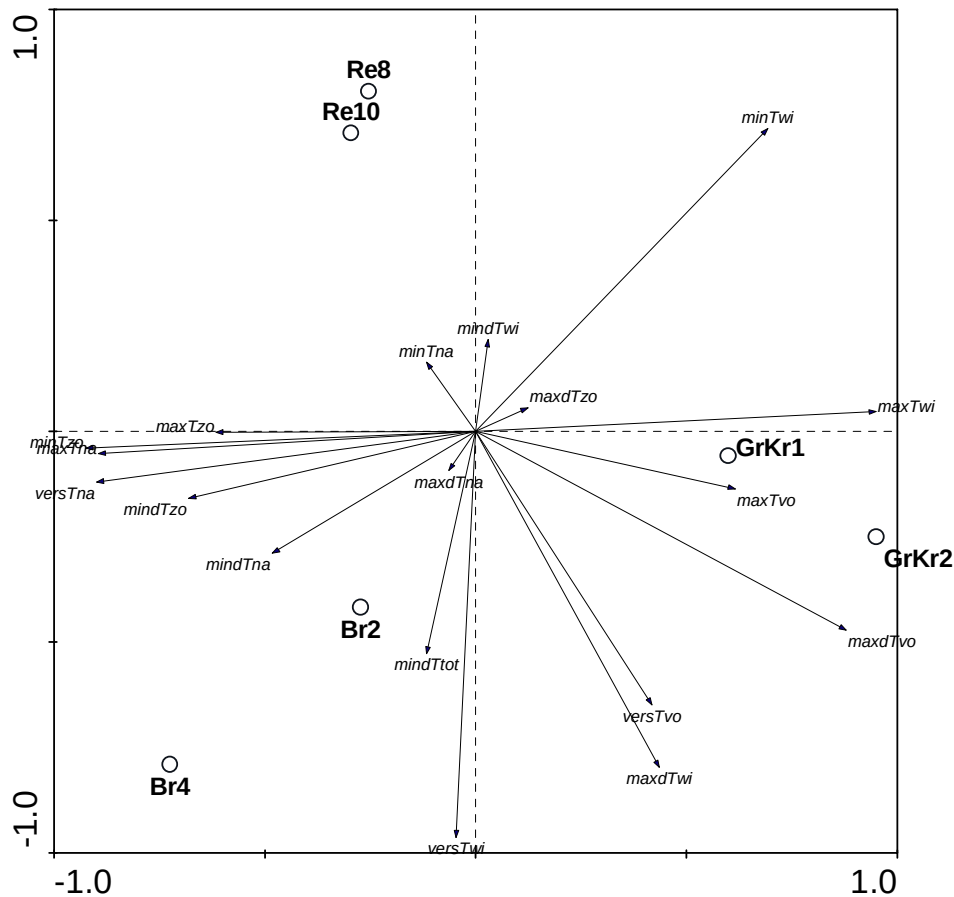
4.1.1 Temperatuurparameters

Met behulp van de kwartiersmetingen van de temperatuur zijn de minimum- en maximumtemperaturen, 10 percentiel-, 25-percentiel-, 75-percentiel-, 90-percentiel-waarden van de temperaturen, en de gemiddelden, medianen en standaarddeviaties van de temperaturen berekend over het gehele jaar (24 december 2005 tot 1 december 2006), de winterperiode (24 december 2005 tot 1 maart 2006), de voorjaarsperiode (1 maart tot 1 juni), de zomer (1 juni tot 1 september) en het najaar (1 september tot 1 december). Ook zijn de verschillen in de maximumtemperatuur en minimumtemperatuur per periode berekend. Over dezelfde periodes zijn ook de minimum- en maximumtemperaturen, 10 percentiel-, 25-percentiel-, 75-percentiel-, 90-percentiel-waarden, gemiddelden, medianen en standaarddeviaties berekend van de verschillen in dagtemperatuur. Er wordt verwacht dat het ontbreken van de data tussen 1 december 2005 en 24 december 2005 een gering effect zal hebben op de berekende waarden. Omdat in sloot 2 van Groen Kruispunt de temperaturen pas vanaf 25 maart 2006 zijn gemeten, is voor de periode van 25 december 2005 tot 25 maart 2006 aangenomen dat het temperatuursverloop hetzelfde is geweest als in sloot 1 van Groen Kruispunt en zijn deze data gebruikt.

Veel berekende temperatuurparameters zijn onderling sterk gecorreleerd. Er is daarom gekozen om alleen de berekende minima, maxima en seizoensverschillen mee te nemen in de analyse.

Met een PCA is inzichtelijk gemaakt in welk opzicht de temperatuurkarakteristieken van de sloten van elkaar verschillen. In figuur 13 is te zien dat de sloten van elke locatie dicht bij elkaar liggen, terwijl de verschillende locaties ver uiteen liggen. De verschillen tussen de sloten van De Bramen en de Reeënweg enerzijds en de sloten van Groen Kruispunt anderzijds (as 1) worden vooral verklaard door de hoge maximumtemperaturen in de winter en het voorjaar in de sloten van Groen

Kruispunt, en het grote dagtemperatuurverschil in deze sloten in het voorjaar. De sloten van De Bramen en de Reeënweg hebben echter een hogere minimum- en maximumtemperatuur in de zomer, een hoge maximumtemperatuur in het najaar, en een groot temperatuurverloop in het najaar. Het verschil tussen de sloten van De Bramen en de Reeënweg (as 2) ligt voornamelijk in de hoge minimumtemperatuur in de sloten in de Reeënweg in de winter en het grote temperatuurverloop in de sloten van De Bramen in de winter.



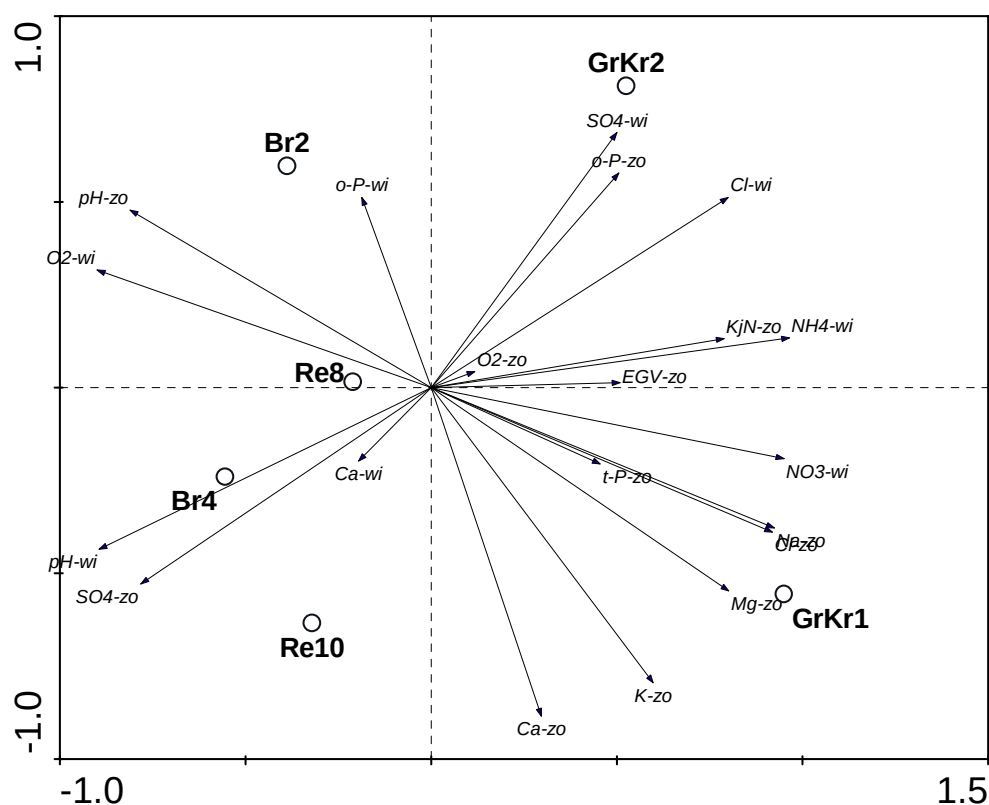
Figuur 13. PCA (as 1 en as 2) van de temperatuurkarakteristieken. Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

De derde as, die nog 14% van de verschillen van de temperatuurkarakteristieken tussen de sloten verklaart, laat ook de verschillen tussen de sloten op de verschillende locaties zien. Sloop 2 van De Bramen heeft een groter maximum dagtemperatuurverschil in het najaar dan sloot 4 en sloot 4 heeft juist een groter maximum dagtemperatuurverschil in de zomer. Sloop 4 heeft ook een hogere maximumtemperatuur in het voorjaar, een hogere maximumtemperatuur in de zomer en een hogere minimumtemperatuur in het najaar. Het is niet duidelijk waardoor deze verschillen veroorzaakt worden. Dezelfde parameters verklaren de verschillen tussen de sloten van Groen Kruispunt, hoewel de verschillen tussen de sloten hier

kleiner zijn. De sloten van de Reeënweg vertonen nagenoeg dezelfde temperatuurkarakteristieken.

4.1.2 Chemische parameters

Chemische verschillen tussen de sloten (figuur 14), liggen vooral in de vervuiling van de sloten van Groen Kruispunt. Deze hebben hogere concentraties NO_3 en NH_4 in de winter en hogere Na- en Cl- concentraties. Deze eerste as verklaart 77% van de variatie in chemische data. De tweede as geeft de hogere concentraties van Ca in de zomer in sloot 10 van de Reeënweg en in sloot 1 van Groen Kruispunt. Verschillen tussen sloten van De Bramen en de Reeënweg (as 3) worden verklaard door de hogere concentraties van Ca in de Reeënweg in de winter en door de hogere gemeten zuurstofconcentraties in de sloten van De Bramen tijdens de winterbemonstering.

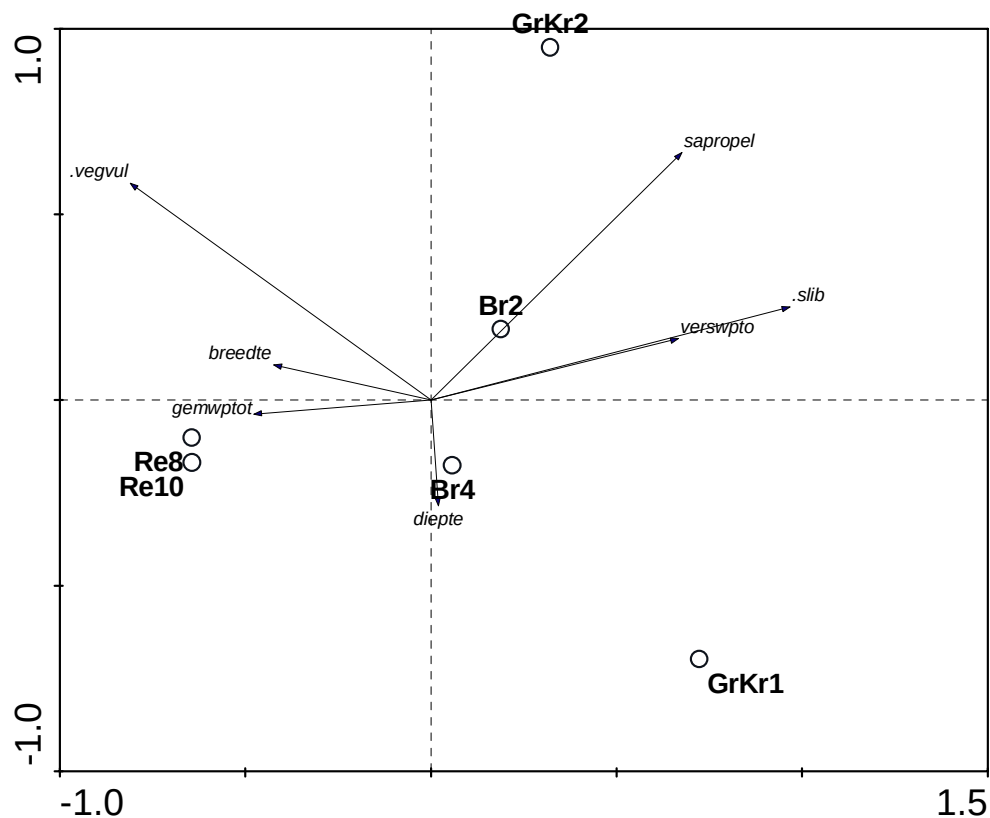


Figuur 14. PCA(as 1 en as 2) van de chemische parameters. Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

4.1.3 Hydromorfologische parameters

Uit de waterpeilgegevens van de sloten is een aantal hydrologische parameters berekend. Omdat alle sloten in De Bramen en de Reeënweg hetzelfde waterregime

als de boezem hadden, zijn alle berekende parameters onderling sterk gecorreleerd. Als hydrologische karakteristieken zijn daarom het gemiddelde waterpeil in de sloot en het verschil tussen de minimum- en maximumwaterstand in de sloot gekozen. Naast de hydrologische parameters, zijn ook andere slootkarakteristieken meegenomen: de slootbreedte, de diepte van de waterbodem onder het maaiveld, de dikte van de sapropeliumlaag, de slibbedekking en het percentage van de waterkolom dat met waterplanten gevuld was. Figuur 15 geeft de eerste twee assen van de PCA van de hydromorfologische parameters weer. De grootste verschillen tussen de sloten worden veroorzaakt door het percentage slibbedekking in de sloten, dat in Groen Kruispunt hoog in en in de Reeënweg laag. De sloten van Groen Kruispunt hebben een eigen waterpeilbeheer hebben en daardoor de grootste waterpeilfluctuatie over het jaar. In de sloten van de Reeënweg is het volume van de waterkolom dat gevuld is met planten het grootst. As 2 wordt vooral verklaard door de dikkere sapropeliumlaag in sloot 2 van Groen Kruispunt en sloot 2 van De Bramen. De derde as verklaart voornamelijk het verschil tussen de sloten van De Bramen enerzijds en de sloten van de Reeënweg en Groen Kruispunt anderzijds. De sloten van De Bramen zijn dieper en hebben een hoger gemiddeld waterpeil.



Figuur 15. PCA (as 1 en as 2) van hydromorfologische parameters. Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

4.2 Macrofyten

In totaal zijn 57 soorten hogere waterplanten in de sloten gevonden. In sloot 2 van Groen Kruispunt waren slechts 9 verschillende soorten waterplanten aanwezig. In sloot 1 van Groen Kruispunt waren dit er 21, in sloot 2 van De Bramen waren dit er 24 en in sloot 4 26. De sloten van de Reeënweg hadden het hoogste aantal soorten: respectievelijk 30 en 31 soorten in sloot 8 en sloot 10.

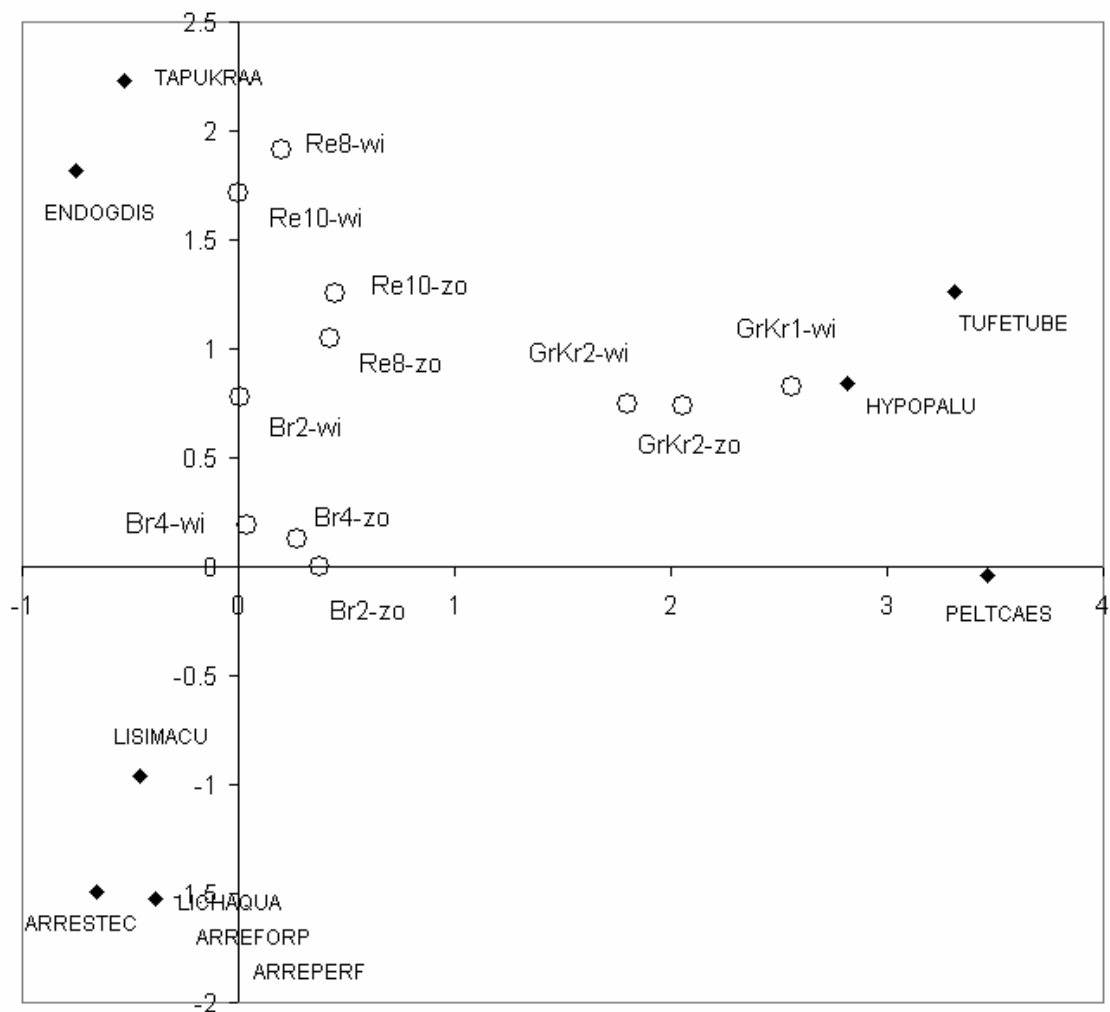
Figuur 16 geeft de eerste twee assen van de DCA van de macrofyten weer. Op grond van de verschillen in presentie en abundantie van de macrofyten, verschillen de sloten van Groen Kruispunt het meest van de rest van de sloten (as 1). Aan de linkerkant van de figuur zijn daarom veel macrofyten te vinden die samenhangen met de hogere trofiegraad of een dikke mineraliserende sliblaag (saproob milieu) (figuur 17) van deze sloten, zoals *Phalaris arundinacea*, *Glyceria maxima* en *G. fluitans*, *Lemna minor*, *Spirodela polyrrhiza* en *Ceratophyllum demersum*. De tweede as geeft voornamelijk het verschil weer tussen sloot 4 van De Bramen en de andere sloten. Verschillen in vegetatie tussen sloot 4 van De Bramen en de andere sloten kunnen mogelijk verklaard worden door de aanwezigheid van kwel in de andere sloten (in figuur 17 zijn de samenhangende hogere concentraties Ca in het water van de andere sloten te zien), maar geen van de soorten in de rechterbovenhoek van de figuur is een eenduidige kwelindicator. As 3 van de DCA verklaart nauwelijks nog enig verschil (3%) in de data en deze as kan niet met behulp van de chemische parameters worden verklaard.

4.3 Macrofauna

In de bemonsteringen van de macrofauna zijn in totaal 424 soorten onderscheiden, verdeeld over 20 hoofdtaxa (families). In de herfst-/winterbemonstering werden er in elke sloot minder soorten aangetroffen dan in de zomer. Sloot 2 van Groen Kruispunt had met 92 soorten het laagste aantal soorten in de zomer en sloot 8 van de Reeënweg het hoogste aantal met 192 soorten. Macrofauna is op habitatniveau bemonsterd. Om de verschillen tussen de individuele sloten te onderscheiden, zijn de habitatbemonsteringen samengevoegd.

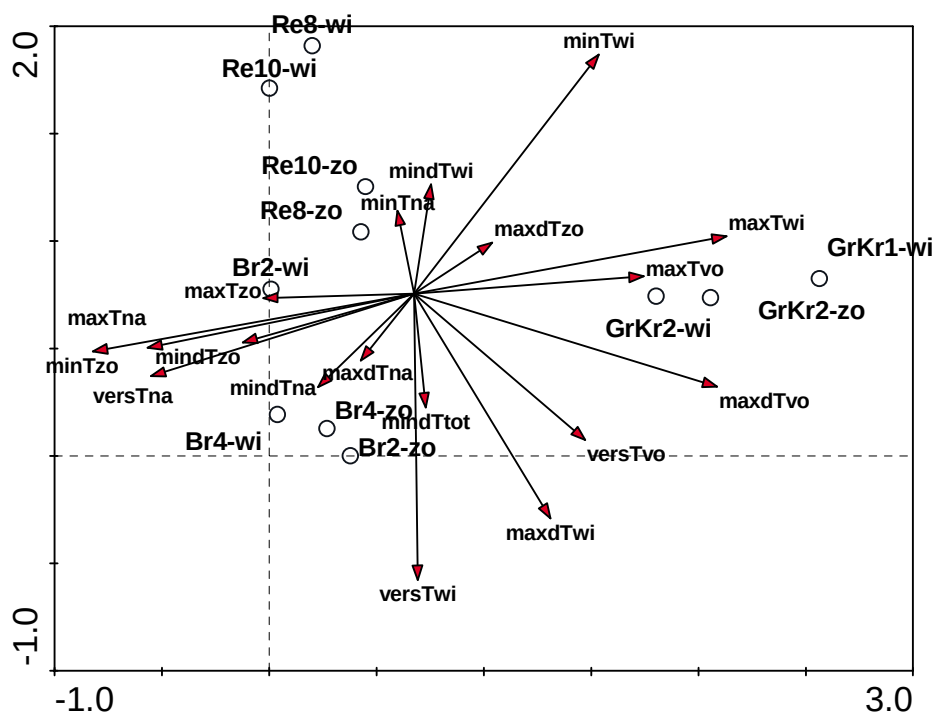
4.3.1 Ordinatie van macrofauna op slootniveau

Ook op grond van de DCA van de macrofauna zijn langs op de eerste as de sloten van Groen Kruispunt gescheiden van de overige locaties (figuur 18). Op de tweede as zijn de sloten van De Bramen en de Reeënweg van elkaar gescheiden. Zomer- en winterbemonsteringen vallen van elke sloot erg dicht bij elkaar. Dit betekent dat de soortensamenstelling van de bemonsteringen in de verschillende seizoenen minder van elkaar verschillen dan dat de locaties van elkaar verschillen. Ook de gevonden macrofaunasoorten geven duidelijk verschillende biotopen aan. In de rechter bovenhoek van figuur 18 zijn vooral soorten te vinden van saprobe, modderige en zeer voedselrijke sloten, zoals *Hydroporus palustris* en *Tubifex tubifex*. Rechtsonder in de figuur indiceren de soorten ook eutrofe omstandigheden, maar dan meer in een plantenrijke omgeving, zoals *Peltodytus caesus*. In het linkerdeel van het diagram zijn ook soorten van plantenrijke wateren te vinden, maar dan van sloten met een goede waterkwaliteit. Linksboven in het diagram zijn soorten van meso- tot eutrofe veensloten te vinden, zoals *Endochironomus* gr. *dispar* en *Tanytus kraatzii*. Linksonder in de figuur bevinden zich meer soorten van oligotrofe wateren met zachter water, zoals *Limnobaris aquatica*, *Arrenurus perforatus*, *A. stecki*, *A. forficatus* en *Limnesia maculata*. Hoewel de sloten van de Reeënweg niet eutrofer zijn dan de sloten van De Bramen, komt dit beeld wel overeen met het verschil in harder en zachter water. Het water in de sloten van de Reeënweg is harder, waarschijnlijk doordat deze sloten meer kwel ontvangen.



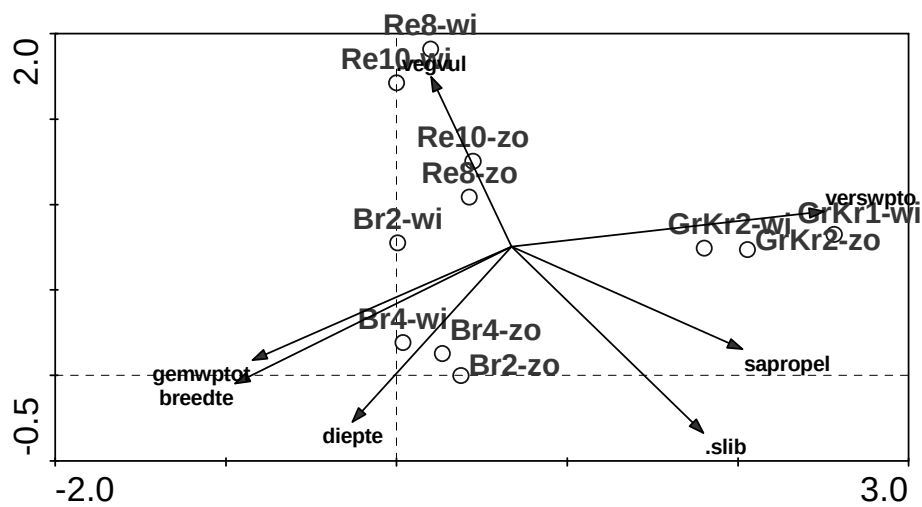
Figuur 18. DCA (as 1 en as 2) van de macrofauna van zowel de zomer- als de herfst/winterbemonsteringen. In de figuur is een aantal indicatieve soorten aangegeven. Soortcoderingen worden verklaard in tabel 9 van Bijlage 2.

Belangrijke temperatuurverschillen (figuur 19) liggen vooral in de hoge temperatuur van de sloten van Groen Kruispunt in de winter en het voorjaar en het hogere verschil in dagtemperatuur in de sloten van De Bramen, omdat sloot 4 van De Bramen minder sterk in temperatuur gebufferd is. Het grotere verschil in temperatuur in de winter verklaart het verschil tussen de sloten van De Bramen en de Reeënweg.



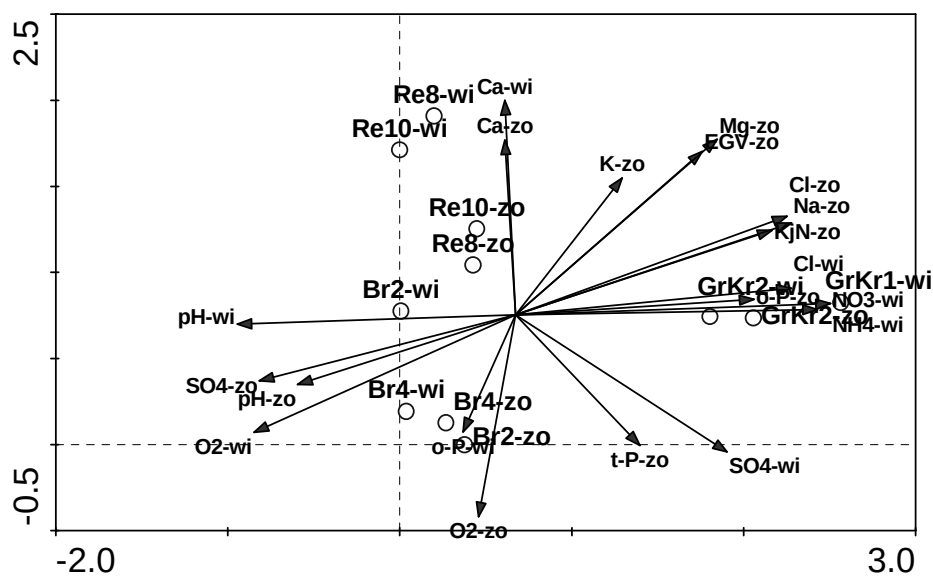
Figuur 19. Temperatuurparameters in DCA van macrofauna. Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

Van de hydropomorfologische parameters (figuur 20) valt het op dat het percentage slibbedekking en de dikte van de sapropeliumlaag niet precies in de richting van de soorten wijzen die voorkomen in saprobe, modderige soorten. Dit komt doordat er weinig sloten zijn bemonsterd. Omdat de sloten in De Bramen een dikkere sapropeliumlaag en een hogere bedekking met slib hebben dan de sloten van de Reeënweg, wijzen de pijlen van de parameters slib en sapropelium in de richting tussen Groen Kruispunt en De Bramen. De aard van dit slib is mogelijk wel verschillend tussen de twee locaties. Het slib in De Bramen bestaat waarschijnlijk uit ouder veen dat niet meer zo snel afbreekt, terwijl het slib in Groen Kruispunt mogelijk bestaat uit jong, snel afbrekend organisch materiaal.



Figuur 20. Hydromorfologische parameters in DCA (as 1 en as 2) van macrofauna (figuur 18). Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

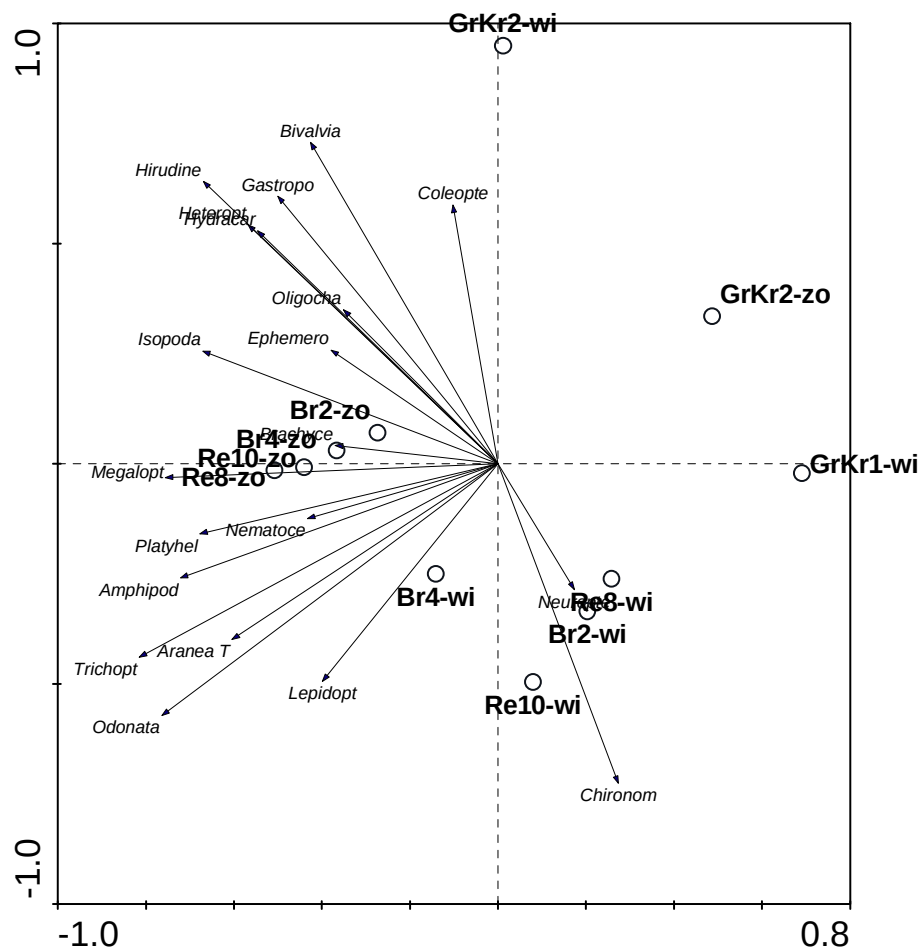
De eerste as van de macrofaunasoorten wordt sterk verklaard door vervuiling indicators (figuur 21), zoals de concentraties nitraat, ammonium, orthofosfaat, natrium en chloride. De tweede as geeft vooral de hogere calciumconcentratie in de sloten van de Reeënweg weer.



Figuur 21. Chemische parameters in DCA van macrofauna. De parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

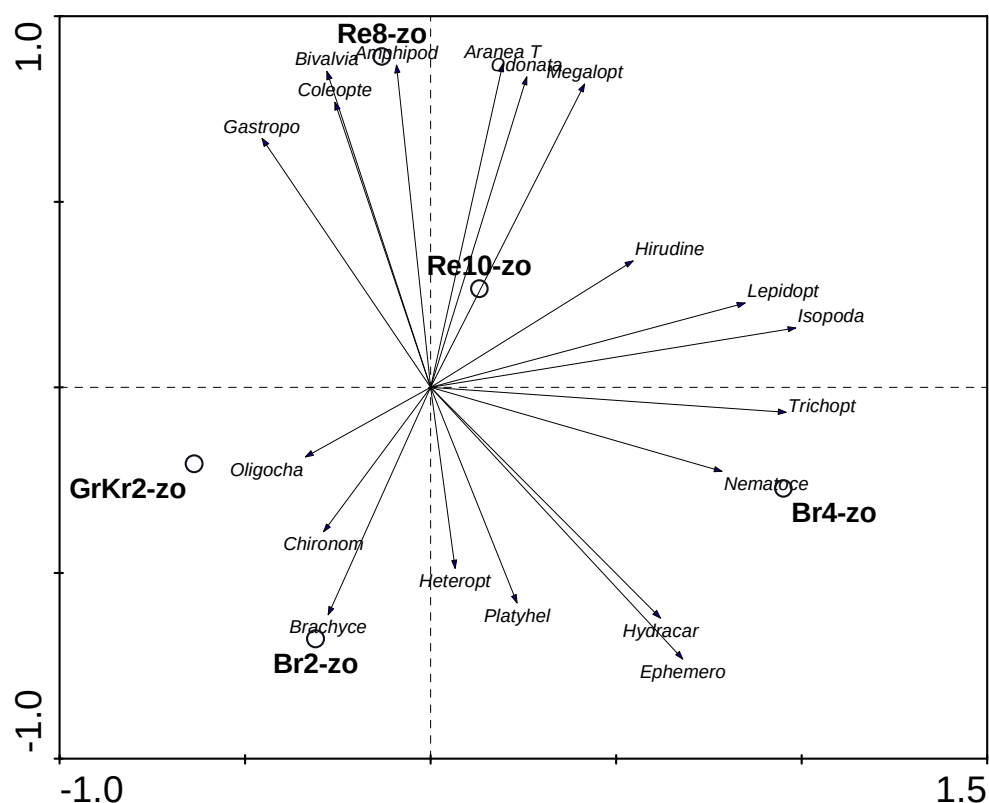
4.3.2 Ordinatie op macrofaunagroepen op slootniveau

Figuur 22 geeft de resultaten van de PCA weer waarin de hoofdgroepen van de macrofauna zijn geanalyseerd. Ook hier liggen de sloten van Groen Kruispunt weer apart van de andere 2 locaties. Deze monsters worden vooral gekenmerkt door het ontbreken van een aantal taxa (*Odonata*, *Trichoptera*, *Platyhelminthes* en *Lepidoptera*). De tweede as wordt verklaard door het seizoen van bemonstering. De monsters die in de winter genomen zijn bevinden zich in de onderste helft van de figuur. In deze monsters zijn minder *Bivalvia*, *Hirudinea*, *Gastropoda* en *Coleoptera* aanwezig en iets meer *Chironomidae*. Alleen het monster dat in de winter in sloot 2 van Groen Kruispunt is genomen, wijkt hiervan af. Mogelijk komt dit doordat dit al een samengesteld monster was. Een andere oorzaak zou kunnen zijn dat dit monster vlak na het schonen is genomen, toen de abundanties van de groepen mogelijk anders waren. Terwijl op het niveau van soorten de verschillen vooral verklaard worden door de locatie waar het monster genomen is, is op het niveau van families juist wel een duidelijke seizoensinvloed te zien. Door de aanwezigheid van de sterke seizoensverschillen, vallen veel van de abiotische parameters, op eenzelfde lijn loodrecht op de seizoensas. Hierdoor is er ook weinig correlatie tussen de abiotische parameters en de macrofauna.



Figuur 22. PCA (as 1 en as 2) van de macrofaunagroepen. De parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

Als de zomer- en winterbemonsteringen apart worden geanalyseerd (figuur 23), is de scheiding tussen de sloten van De Bramen en die van de Reeënweg goed te zien. Ook is te zien dat veel taxa minder of niet voorkomen in sloot 2 van Groen Kruispunt.



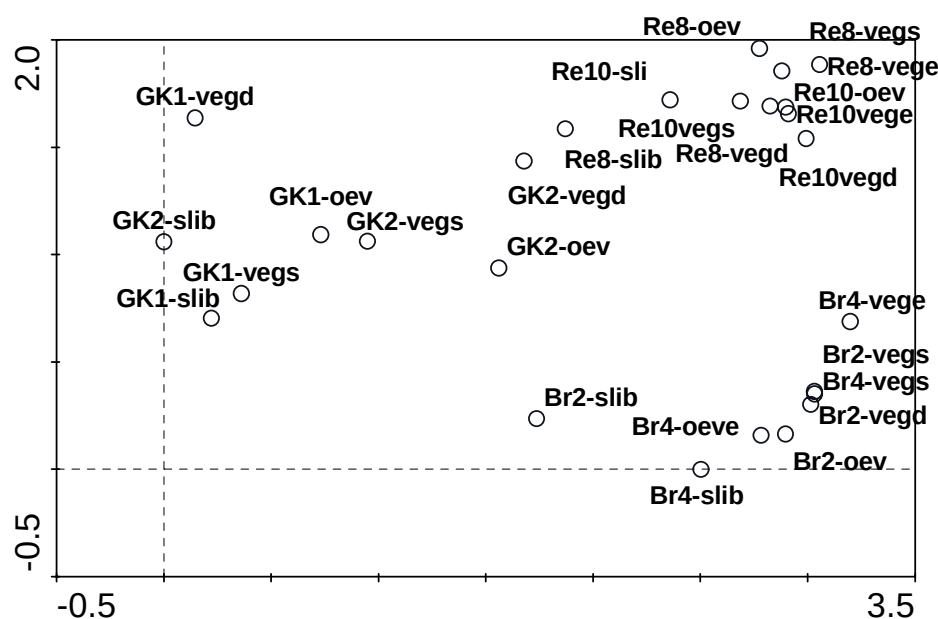
Figuur 23. PCA (as 1 en as 2) van de zomerbemonsteringen van de macrofaunagroepem. Parametercodes worden verklaard in tabel 10 van Bijlage 2.

In de winterbemonsteringen is de scheiding tussen de verschillende locaties minder duidelijk, omdat de sloten van Groen Kruispunt op de eerste as uiteen vallen.

4.3.3 Ordinatie macrofaunasoorten op habitatniveau per seizoen

Voor beide bemonsteringsseizoenen (eind mei/begin juni en eind oktober/begin november) zijn DCA's uitgevoerd waarin de monsters per habitattype (slib, oever, emerse vegetatie, submerse vegetatie en drijvende vegetatie) apart zijn uitgezet. In de zomerbemonstering (figuur 24) wordt de variantie in soortensamenstelling voornamelijk bepaald door de verschillende locaties. Op de eerste as, die 12% van de variantie verklaart, zijn de sloten van Groen Kruispunt duidelijk van de andere locaties gescheiden. As 2, die nog maar 7% van de variantie verklaart, scheidt de sloten van De Bramen en de Reeënweg. De monsters van het slib liggen in het diagram telkens iets meer in de linker benedenhoek ten opzichte van de overige monsters van elke locatie, maar de verschillen tussen de locaties zijn veel groter dan die tussen de habitats van elke afzonderlijke locatie. In de winterbemonstering is het patroon hetzelfde: de eerste as scheidt de sloten van Groen Kruispunt van de rest en de eerste en tweede as samen laten zien dat de soortensamenstelling in de sloten van

de Reeënweg en De Bramen duidelijk verschillen. Ook in de winter zijn de verschillen in macrofaunasamenstelling tussen de locaties dus groter dan de verschillen tussen de afzonderlijke habitats. Dit betekent dat er uit de habitatbemonsteringen geen aanvullende informatie over de respons op sleutelfactoren gehaald kan worden. Er kan wel op grond van deze gegevens geconcludeerd worden dat de slootcondities belangrijker zijn dan de habitatcondities binnen een sloot. Voor verder onderzoek zal er vooral naar slootcondities gekeken moeten worden.



Figuur 24. DCA (as 1 en as 2) van macrofauna in de zomerbemonstering per habitattype. Monstercodes worden verklaard in tabel 11 en 12 van Bijlage 2.

4.4 Samenvatting biotische gegevens

Er zijn grote verschillen in soortensamenstelling van zowel macrofauna als macrofyten gevonden tussen de verschillende sloten. Het verschil in macrofytensamenstelling is vooral te verklaren aan de hand van het eutrofe karakter van de sloten van Groen Kruispunt. Ook de samenstelling van de macrofaunagemeenschap varieert sterk. In het slibrijke water van Groen Kruispunt komen andere soorten voor dan op de macrofytenrijke andere locaties, die soortenrijker zijn. Ook tussen De Bramen en de Reeënweg zijn verschillen in macrofaunasamenstelling gevonden. De sloten aan de Reeënweg hebben een groter volume aan waterplanten in de waterkolom. Deze planten zorgen voor meer habitat voor de macrofauna. Mogelijk hangen de verschillen in macrofytensamenstelling samen met de verschillen in waterkwaliteit tussen de locaties. De

macrofaunamonsters van de verschillende locaties verschillen sterk, ongeacht het habitat waarin de monsters genomen zijn. De sleutelfactoren van het systeem zullen daarom waarschijnlijk op slootniveau aangrijpen en niet op habitatniveau. De sleutelfactor temperatuur zou met de parameters “maximumtemperatuur in de winter/het voorjaar” en “minimumtemperatuur in de zomer” een verklaring te kunnen vormen voor de variantie in soortensamenstelling van de soorten. Helaas zijn deze parameters sterk gecorreleerd met eutrofiëringsparameters zoals de concentraties nitraat, ammonium en fosfaat. Deze eutrofe omstandigheden kunnen via de macrofyten en het fytobenthos ook sterk van invloed zijn op andere sleutelfactoren, zoals de zuurstofconcentratie in het water. In eutrofe sloten kan de zuurstofconcentratie aan het eind van het vegetatieseizoen sterk dalen door afbraak van de gevormde organische stof. Ook is er in de analyses van de macrofauna een duidelijk verschil zichtbaar tussen macrofaunasoorten die in slib leven en soorten die in sloten met meer vegetatie leven. Het zou kunnen zijn dat het habitat dat gevormd wordt door macrofyten ook een belangrijke sleutelfactor in de onderzochte sloten kan zijn. Daarnaast kunnen epifyten, die op de macrofyten groeien, als voedselbron dienen voor epifytongrazende macrofaunasoorten. Ook deze sleutelfactoren kunnen samenhangen met de gevonden trofiegradiënt. Eutrofiëring kan leiden tot algenbloei en de dominantie van kroos, waardoor submerse macrofyten verdwijnen. Om uitsluitsel te geven over de oorzakelijke relaties, zal meer onderzoek gedaan moeten worden.

5 Vervolgonderzoek

Naast temperatuur kan zuurstof ook een belangrijke sleutelfactor zijn. In 2006 is de zuurstofconcentratie alleen gemeten tijdens de fysisch-chemische bemonsteringen. De zuurstofconcentratie kan echter gedurende de dag sterk variëren. 's Nachts vindt er geen fotosynthese en dus geen zuurstofproductie in het water plaats. Hierdoor kan de zuurstofconcentratie aan het eind van de nacht erg laag worden, vooral aan het eind van het groeiseizoen, als de afbraak van organische stof hoog is. Het is dus van belang voor het vervolg binnen dit project om zowel de dagcyclus als de seizoencyclus van zuurstof te meten.

Voor de interpretatie van de mogelijke effecten van sleutelfactoren is het noodzakelijk dat deze factoren niet nauw met elkaar gecorreleerd zijn. Omdat de verwachting is dat dat in de huidige keuze van sloten wel het geval is, verdient het aanbeveling om ook een gradiënt van sloten te bemonsteren waarin telkens slechts één sleutelfactor varieert.

Uiteindelijk zal het veldonderzoek leiden tot correlatieve verbanden tussen het voorkomen van macrofaunasoorten en sleutelfactoren, maar niet tot oorzakelijke verbanden. Oorzakelijke verbanden kunnen alleen gevonden worden wanneer er slechts één variabele verandert, terwijl de rest constant wordt gehouden. Omdat dit niet in het veld gedaan kan worden, dienen oorzakelijke verbanden met behulp van labexperimenten uitgezocht te worden. Dit kunnen bijvoorbeeld experimenten zijn waarin soorten van verschillende trofische niveaus in aquaria worden samengebracht onder verschillende temperatuur- of zuurstofregimes. Aan het eind van het experiment kan er dan gekeken worden wat de effecten van deze regimes op de onderlinge verhoudingen tussen soorten zijn en deze resultaten kunnen vervolgens op de velddata worden geprojecteerd.

Literatuur

- Brock, Th.C.M., 1988. De invloed van waterplanten op hun omgeving. In: Bloemendaal F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs (redactie). Waterplanten en waterkwaliteit. KNNV, Utrecht.
- Burgmer, T., Hillebrand, H. & Pfenninger M., 2007. Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* 151: 93-103
- Dale, H.M. & T. Gillespie, 1976. The influence of floating vascular plants in the diurnal fluctuations of temperature near the water surface in early spring. *Hydrobiologia* 49 (3): 245-256.
- Haidekker A., 2004. The effect of water temperature regime on benthic macroinvertebrates. Proefschrift. Universiteit van Duisburg-Essen, Duitsland.
- Ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. 2002. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA), 500 pp.
- Van Wirdum G., 1991. Vegetation and Hydrology of Floating Fens. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam.
- Verdonschot, P.F.M. & R. Loeb, in prep. Effecten van grondwatertoevoer op oppervlaktewaterkwaliteit. Een casestudie in twee natuurgebieden. Alterra-rapport.

Bijlage 1 Weggelaten parameters

Tabel 5. Fysisch-chemische parameters die zijn weggelaten vanwege te sterke correlatie met andere parameters. Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

Weggelaten parameter	Correlerende parameter	Correlatiecoëfficiënt
Hard-wi	Ca-wi	0.986
HCO ₃ -wi	Ca-wi	0.925
Na-wi	Cl-wi	0.995
EGV-wi	EGV-zo	0.993
K-wi	EGV-zo	-0.883
Mg-wi	Mg-zo	0.907
KjN-wi	NH ₄ -wi, NO ₃ -wi	0.939, 0.869
t-P-wi	o-P-wi	0.907
Hard-zo	Ca-zo	0.985
HCO ₃ -zo	Ca-zo	0.909
Na-zo	Cl-zo	0.999
K-zo	Cl-zo	0.856
NH ₄ -zo	o-P-zo	0.993
NO ₃ -zo	alle onder detectielimiet	

Tabel 6. Temperatuurparameters die zijn weggelaten vanwege te sterke correlatie met andere parameters. Parametercodes worden verklaard in tabel 7 van Bijlage 2.

Weggelaten parameter	Correlerende parameter	Correlatiecoëfficiënt
minTtot	minTwi	0.998
minTvo	minTwi	0.927
maxTtot	maxTzo	0.911
versTtot	maxTzo	0.963
versTzo	maxTzo	0.958
maxdTtot	maxdTvo	1
mindTvo	maxdTvo	0.942

Bijlage 2 Gebruikte afkortingen

Tabel 7. Verklaring van afkortingen van de gemeten parameters.

Afkorting	parameter
minTtot	minimumtemperatuur over het gehele jaar
maxTtot	maximumtemperatuur over het gehele jaar
versTtot	verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur over het gehele jaar
minTwi	minimumtemperatuur in de winter
maxTwi	maximumtemperatuur in de winter
versTwi	verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur in de winter
minTvo	minimumtemperatuur in het voorjaar
maxTvo	maximumtemperatuur in het voorjaar
versTvo	verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur in het voorjaar
minTzo	minimumtemperatuur in de zomer
maxTzo	maximumtemperatuur in de zomer
versTzo	verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur in de zomer
minTna	minimumtemperatuur in het najaar
maxTna	maximumtemperatuur in het najaar
versTna	verschil tussen minimum- en maximumtemperatuur in het najaar
mindTtot	minimum verschil in temperatuur gedurende een etmaal over het gehele jaar
maxdTtot	maximum verschil in temperatuur gedurende een etmaal over het gehele jaar
mindTwi	minimum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in de winter
maxdTwi	maximum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in de winter
mindTvo	minimum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in het voorjaar
maxdTvo	maximum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in het voorjaar
mindTzo	minimum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in de zomer
maxdTzo	maximum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in de zomer
mindTna	minimum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in het najaar
maxdTna	maximum verschil in temperatuur gedurende een etmaal in het najaar
Ca-wi	concentratie van calcium in de winter
Cl-wi	concentratie van chloride in de winter
EGV-wi	EGV in de winter
hard-wi	hardheid in de winter
HCO3-wi	concentratie van bicarbonaat in de winter
K-wi	concentratie van kalium in de winter
KjN-wi	concentratie van totaal N (Kjeldahl) in de winter
Mg-wi	concentratie van magnesium in de winter
Na-wi	concentratie van natrium in de winter
NH4-wi	concentratie van ammonium in de winter
NO3-wi	concentratie van nitraat in de winter
O2-wi	concentratie van zuurstof in de winter
o-P-wi	concentratie van orthofosfaat in de winter

pH-wi	pH in de winter
SO4-wi	concentratie van sulfaat in de winter
t-P-wi	concentratie van totaal fosfor in de winter
Ca-zo	concentratie van calcium in de zomer
Cl-zo	concentratie van chloride in de zomer
EGV-zo	EGV in de zomer
hard-zo	hardheid in de zomer
HCO3-zo	concentratie van bicarbonaat in de zomer
K-zo	concentratie van kalium in de zomer
KjN-zo	concentratie van totaal N (Kjeldahl) in de zomer
Mg-zo	concentratie van magnesium in de zomer
Na-zo	concentratie van natrium in de zomer
NH4-zo	concentratie van ammonium in de zomer
NO3-zo	concentratie van nitraat in de zomer
O2-zo	concentratie van zuurstof in de zomer
o-P-zo	concentratie van orthofosfaat in de zomer
pH-zo	pH in de zomer
SO4-zo	concentratie van sulfaat in de zomer
t-P-zo	concentratie van totaal fosfor in de zomer
gemwptot	gemiddeld waterpeil t.o.v. slootbodem over het gehele jaar
verswptot	verschil in waterpeil over het gehele jaar
breedte	breedte van de sloot
diepte	diepte van slootbodem ten opzichte van maaiveld
sapropelium	dikte van de sapropeliumlaag
%slib	percentage van de slootbodem dat bedekt is met slib
%vegvul	percentage van de waterkolom dat gevuld is met macrofyten

Tabel 8. Afkorting van macrofyten zoals gebruikt in de figuren.

afkorting	wetenschappelijke naam
ACORUCAL	Acorus calamus
ALISMPLA	Alisma plantago-aquatica
BERULERE	Berula erecta
CAREXACU	Carex acuta
CAREXACT	Carex acutiformis
CAREXPAC	Carex paniculata
CAREXPSE	Carex pseudocyperus
CAREXROS	Carex rostrata
CERATDEM	Ceratophyllum demersum
CHARACOT	Chara contraria
CHARAGLO	Chara globularis
CHARAG;V	Chara globularis var virgata
CICUTVIR	Cicuta virosa
DRAADWIE	Draadwier (niet drijvend)
ELODENUT	Elodea nuttallii
EQUISFLU	Equisetum fluviatile
FLAB	Flab
GALIUPAL	Galium palustre
GLYCEFLU	Glyceria fluitans
GLYCEMAX	Glyceria maxima
HOTTOPAL	Hottonia palustris
HYDROMOR	Hydrocharis morsus-ranae
IRIS PSE	Iris pseudacorus
JUNCUART	Juncus articulatus
JUNCUEFF	Juncus effusus
JUNCUSUB	Juncus subnodulosus
LEMNAMIN	Lemna minor
LEMNATRI	Lemna trisulca
LYCOPEUR	Lycopus europaeus
MENTHAQU	Mentha aquatica
MYOSOPAL	Myosotis scorpioides
MYRIOSPI	Myriophyllum spicatum
MYRIOVER	Myriophyllum verticillatum
NUPHALUT	Nuphar lutea
NYMPHALB	Nymphaea alba
OENANFIS	Oenanthe fistulosa
PERSIAMP	Persicaria amphibia
PHALAARU	Phalaris arundinacea
PHRAGAUS	Phragmites australis
POTAMNAT	Potamogeton natans
POTAMOB	Potamogeton obtusifolius
POTAMTRI	Potamogeton trichoides
RANUNCIR	Ranunculus circinatus
RORIPAMP	Rorippa amphibia

RORIPNAS	Rorippa nasturtium-aquaticum
RUMEXHYD	Rumex hydrolapathum
SAGITSAG	Sagittaria sagittifolia
SCHONLAC	Schoenoplectus lacustris
SIUM LAT	Sium latifolium
SPARGEME	Sparganium emersum
SPARGERE	Sparganium erectum
SPIROPOL	Spirodela polyrhiza
STRATALO	Stratiotes aloides
THELYPAL	Thelypteris palustris
TYPHAANG	Typha angustifolia
TYPHALAT	Typha latifolia
UTRICVUL	Utricularia vulgaris

Tabel 9. Afkorting van macrofauna en de hoofdgroep waartoe de soorten behoren, zoals gebruikt in de figuren.

afkorting	wetenschappelijke naam	hoofdtaxon
ARREFORP	Arrenurus forpicatus	Hydracarina
ARREPERF	Arrenurus perforatus	Hydracarina
ARRESTEC	Arrenurus stecki	Hydracarina
ENDOGBDIS	Endochironomus gr dispar	Chironomidae
HYPOPALU	Hydroporus palustris	Coleoptera
LISIMACU	Limnesia maculata	Hydracarina
LICHAQUA	Limnochares aquatica	Hydracarina
PELTCAES	Peltodytes caesus	Coleoptera
TAPUKRAA	Tanytus kraatzi	Chironomidae
TUFETUBI	Tubifex tubifex	Oligochaeta

Tabel 10. Afkortingen van macrofaunahoofdgroepen, zoals gebruikt in de figuren.

afkorting	wetenschappelijke naam
Amphipod	Amphipoda
Aranea T	Aranea
Bivalvia	Bivalvia
Brachyce	Brachycera
Chironom	Chironomidae
Coleopte	Coleoptera
Ephemero	Ephemeroptera
Gastropo	Gastropoda
Heteropt	Heteroptera
Hirudine	Hirudinea
Hydracar	Hydracarina
Isopoda	Isopoda
Lepidopt	Lepidoptera
Megalopt	Megaloptera

Nematoce	Nematocera
Neuropte	Neuroptera
Odonata	Odonata
Oligocha	Oligochaeta
Platyhel	Platyhelminthes
Trichopt	Trichoptera

Tabel 11. Afkortingen van de slootnamen, zoals gebruikt in de figuren.

afkorting	locatie
Br2	De Bramen sloot 2
Br4	De Bramen sloot 4
Re8	Reeënweg sloot 8
Re10	Reeënweg sloot 10
GrKr1	Groen Kruispunt sloot 1
GrKr2	Groen Kruispunt sloot 2

Tabel 12. Afkortingen monsternamen, zoals gebruikt in de figuren.

afkorting	monsternamen
-wi	in najaar/winter 2005
-zo	in voorjaar/zomer 2006
-slib	in slib
-oef	in oever
-vegd	in drijvende vegetatie
-vege	in emerse vegetatie
-vegs	in submerse vegetatie