

**Ecologische aspecten van bufferstroken
langs watergangen**

Veld- en laboratoriumexperimenten



2001

25

**Ecologische aspecten van bufferstroken
langs watergangen**
Veld- en laboratoriumexperimenten

Auteurs Alterra:
G.H.P. Arts
J.A. Sinkeldam
M.W. van den Hoorn
T.H. van den Hoek
P.W.M. van Beers
R. Wellner
J.D.M. Belgers

Omslagfoto:
Rob Hoekstra

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66
E-mail stowa@stowa.nl
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:

Hageman Fulfilment

Postbus 1110
3330 CC Zwijndrecht
tel. 078 - 629 33 32
fax 078 - 610 42 87
e-mail: hff@wxs.nl

o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

ISBN 90.5773.133.9

2001

25

Inhoud

Ten geleide	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Doelstellingen van het onderzoek	13
1.2 Keuze van onderzoekslokaties	14
1.3 Opzet van het onderzoek	15
1.4 Beschrijving van de onderzoekslokaties in het Hazelbekke	16
1.5 Leeswijzer	17
2 Materiaal en methoden	19
2.1 Methodisch vooronderzoek in de Hazelbeek aan kunstmatige substraten	19
2.2 Experimenten met kunstmatige substraten in de Hazelbeek en in de kunstbeek	19
2.2.1 Lokaties	19
2.2.2 Fysisch-chemisch meetprogramma	22
2.2.3 Verplaatsingsexperimenten	24
2.2.4 Monsterverwerking	26
2.2.5 Dataverwerking	26
2.3 Experimenten met kunstmatige substraten in aquaria en mesocosms	28
2.3.1 Experimentele opstelling	28
2.3.2 Fysisch-chemische bepalingen, monster- en dataverwerking	30
2.4 De ecologische meerwaarde van bufferstroken langs waterlopen	31
3 Resultaten	33
3.1 Methodisch vooronderzoek in de Hazelbeek aan kunstmatige substraten	33
3.2 Experimenten met kunstmatige substraten in de Hazelbeek en in de kunstbeek	34
3.2.1 Hydrologie van het beekstelsel	34
3.2.2 Chemie van het oppervlaktewater en ruimtelijke en temporele verschillen in nitraat	37
3.2.3 Soortensamenstelling diatomeeën	38
3.2.4 Multivariate analyse	39
3.2.5 Kunstbeek	40
3.3 Experimenten met kunstmatige substraten in aquaria en mesocosms ("slootexperimenten")	41
3.4 De ecologische meerwaarde van bufferstroken langs watergangen	42
3.4.1 Inleiding	42
3.4.2 Resultaten	43
4 Discussie en synthese	45
5 Conclusies	51
6 Aanbevelingen voor verder onderzoek	53
7 Dankwoord	55
Literatuur	57

Bijlagen

1 Aangetroffen soorten op de lokaties A, B en D in Hazelbeek en Hazelbekke	63
2 Lijst van alle aangetroffen soorten op de lokaties A, B en D met uitleg van de in bijlage 1 gebruikte soortcodes, aantallen, abundanties, indicatiewaarden volgens van Dam e.a., trofie-indicatie volgens Rott e.a. en aanduiding van zeldzame taxa en taxa nieuw voor Nederland.	77
3 Van Dam indices	85
4 Aangetroffen soorten diatomeeën in de aquaria en mesocosm experimenten	87
5 Chemie van het oppervlaktewater	91
6 Multivariate analyse: resultaten en bespreking	93
7 Literatuuronderzoek	99

Ten geleide

Bufferzones langs watergangen worden ook in Nederland in toenemende mate gebruikt om het oppervlaktewater te beschermen tegen ongewenste invloeden, zoals belasting met eutrofiërende stoffen en bestrijdingsmiddelen. Daarbij is een aantal belangrijke vragen nog onbeantwoord: Werken bufferstroken als het gaat om de verwijdering van fosfaat en stikstof? Wat zijn de verwijderingspercentages? Volgens welke principes werken bufferstroken en welke processen spelen hierbij een rol? Zijn deze processen te beïnvloeden en op welke wijze?

Om een antwoord te krijgen op bovenstaande vragen heeft de STOWA aan het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Dienst Landbouwkundig Onderzoek (IBN-DLO, thans Alterra) opdracht gegeven om veldonderzoek uit te voeren naar het functioneren van bufferzones. Dit veldonderzoek is voorafgegaan door een literatuurstudie, waarin nationale en internationale kennis omtrent bufferstroken is samengevat in een overzichtsrapport (STOWA, 1998). De inzichten verkregen door deze literatuurstudie en door een uitgevoerde inventarisatie van lopende onderzoeksprojecten aan bufferstroken in Nederland, alsmede de mogelijkheden voor vergelijkend lokatie-onderzoek in Nederland, hebben in sterke mate de invulling van het veldonderzoek bepaald. Dit rapport beschrijft de resultaten van het veldonderzoek. Daarnaast worden op basis van een literatuuronderzoek de ecologische waarden van bufferstroken, naast hun zuiveringsfunctie, beschreven.

Het onderzoek is uitgevoerd door Alterra (voorheen IBN-DLO) door mevr. dr. G.H.P. Arts (projectleider) met een team bestaande uit J.A. Sinkeldam, M.W. van den Hoom, T.H. van den Hoek, P.W.M. van Beers, R. Wellner en J.D.M. Belgers. Het project is begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit mevr. ir. M. Mul (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden), mevr. ir. B. Schoenmakers (Zuiveringsschap Limburg), dhr. R. van der Helm (Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier) en drs. B. van der Wal (STOWA).

Het rapport geeft meer inzicht in de nutriëntenproblematiek in relatie tot bufferstroken en geeft waterbeheerders een aangrijpingspunt om bufferstroken ook vanuit hun ecologische waarde aan te leggen.

Utrecht, juni 2001

De directeur van de STOWA,
Ir. J.M.J. Leenen

Samenvatting

Bufferzones langs watergangen worden ook in Nederland in toenemende mate gebruikt om het oppervlaktewater te beschermen tegen ongewenste invloeden, zoals de belasting met eutrofiërende stoffen en bestrijdingsmiddelen. Met betrekking tot bufferstroken is een aantal belangrijke vragen tot op heden nog onbeantwoord gebleven. Het betreft de volgende vragen:

- Werken bufferzones als het gaat om verwijdering van fosfaat en stikstof?
- Zo ja, wat zijn de verwijderingspercentages?
- Wat zijn de principes volgens welke bufferzones werken en welke processen spelen een rol?
- Wat zijn de ecologische effecten van bufferstroken?

Om voorgaande vragen te beantwoorden, is begin 1997 het project "Ecologische aspecten van bufferstroken langs watergangen" gestart. De eerste drie vragen zijn beantwoord door middel van een uitgevoerde literatuurreview van (inter)nationale kennis omtrent bufferstroken en de relevantie van deze kennis voor de Nederlandse situatie (STOWA, 1998). De laatste vraag, die betrekking heeft op de ecologische effecten van bufferstroken, staat centraal in het onderzoek, waarvan dit rapport de opzet en de resultaten bespreekt.

De oorspronkelijke onderzoeksopzet die gericht was op de uitvoering van een vergelijkend onderzoek op lokaties met en zonder bufferstroken in Nederland, bleek niet uitvoerbaar. Beide typen lokaties verschilden in veel meer opzichten van elkaar dan alleen met betrekking tot de aan- en afwezigheid van bufferstroken. In plaats daarvan zijn lokaties onderzocht die in geringe mate verschillen in trofiegraad. De effecten van die geringe waterkwaliteitsverschillen zijn bestudeerd aan de hand van de diatomeënsamenstelling op kunstmatige substraten (polypropyleen touwen en objectglasjes). Door de genoemde methodische problemen, is de vraag wat de ecologische effecten zijn van bufferstroken niet beantwoord. Wel is de vraag die hier aan ten grondslag ligt beantwoord. Deze vraag heeft betrekking op de ecologische effecten van een geringe verlaging van de trofiegraad. Het onderzoek heeft zich met name gericht op de effecten van een dergelijke geringe verlaging in nutriënteniveaus.

Bovengenoemde onderzoeksvragen hebben betrekking op zowel sloot- als beeksystemen. Daarmee is het onderzoek opgesplitst in twee deelonderzoeken: onderzoek naar de effecten van een geringe verlaging in nutriëntenconcentraties in beken en de effecten daarvan in sloten. Het eerstgenoemde onderzoek is uitgevoerd in het stroomgebied van het Hazelbekke in Noordoost Twente. Het tweede onderzoek heeft plaats gevonden in experimentele systemen met slootlevensgemeenschappen. Als bufferstroken werken, hebben deze effecten op nutriëntengehalten en trofie van het aanliggende oppervlaktewater. Om effecten hiervan op de levensgemeenschap te bestuderen, dient de aandacht dan ook vooral uit te gaan naar de primaire producenten in het ecosysteem, aangezien zij van de verschillende

organismengroepen het meest direct zullen reageren. In beeksystemen gaat het dan om substraatgebonden algen, in sloten om algen en waterplanten. Het uitgevoerde onderzoek heeft zich gericht op een specifieke groep binnen de algen, namelijk de diatomeeën.

Met betrekking tot het onderzoek in het Hazelbekke in Overijssel is aangesloten bij het onderzoek van de Universiteit van Utrecht. Dit onderzoek maakt deel uit van het internationale NICOLAS project. Dit project bestudeert de stikstofstromen in bufferstroken. Het onderhavige onderzoek naar de ecologische effecten van bufferstroken heeft plaatsgevonden in het oppervlaktewater van het Hazelbekke. Dit beekstelsysteem blijkt qua nutriënten een zeer dynamisch systeem te zijn. Samenvallend met het seizoen treden verschillen op in nutriëntengehalten. Op basis van de hydrologie van het beekstelsysteem en de ionenratio blijkt de invloed van grondwater op het oppervlaktewater groter te zijn dan van regenwater. De grondwaterkwaliteit wordt vooral regionaal bepaald. De nitraataanvoer in het onderzoeksgebied is zeer groot, hetgeen ondanks de bufferstrook resulteert in hoge nitraatgehalten in het oppervlaktewater.

Om de effecten van verschillen in nutriëntengehalten te bestuderen, zijn veldexperimenten uitgevoerd in het Hazelbekke. Daarbij zijn kunstmatige substraten verplaatst van lokaties met een hogere naar lokaties met een lagere trofiegraad. De verplaatste touwen namen volledig de diatomeeënsamenstelling ter plaatse over, waarbij geen vertraging in deze veranderingen optrad. In het gebied is een discrepantie waargenomen tussen de trofie-indicaties van de diatomeeën en de gemeten nutriëntengehalten in het oppervlaktewater. De nutriëntengehalten vertonen een sterk seizoenaal en dus temporeel verloop. De trofie-indicaties op basis van de diatomeeën geven juist ruimtelijke verschillen aan tussen de onderzoekslokaties. Deze trofie-verschillen op basis van de diatomeeën tussen de lokaties zijn maar beperkt als verschillen in nutriëntengehalten tussen de lokaties terug te vinden. De toegepaste polypropyleen touwen bleken goed te voldoen als kunstmatige substraten in stromende systemen, zoals beken.

Met betrekking tot het onderzoek in een slootstelsysteem bood de veldsituatie geen goede onderzoeksmogelijkheden, vanwege de vele factoren die ter plaatse van invloed zijn op slootlevensgemeenschappen. De vrees bestond dat de effecten van bufferstroken daar niet uit te filteren zouden zijn. Vandaar dat verplaatsingsexperimenten zijn uitgevoerd in experimentele systemen, namelijk in mesocosms en aquaria. De mesocosms hebben een inhoud van 1,9 m³, de aquaria omvatten ca. 0,025 m³. Met behulp van deze mesocosms en aquaria is een nutriëntengradiënt gecreëerd in fosfaat. De resultaten van de verplaatsingsexperimenten in deze experimentele systemen waren teleurstellend. De omstandigheden in de laboratoriumexperimenten bleken, ondanks genomen maatregelen, toch sterk te verschillen van de omstandigheden in de mesocosms. Bovendien gaven de verplaatsingsexperimenten in de mesocosms geen effecten te zien op de diatomeeënsamenstelling van de kunstmatige substraten, omdat op beide niveaus fosfaat in overmaat aanwezig was en het fysisch en chemisch milieu sterk bepaald werd door de aanwezigheid van een afsluitend kroosdek.

Uit het onderzoek van de Universiteit van Utrecht blijkt dat er in de bufferstrook een behoorlijke verwijdering plaats vindt van stikstof. Ondanks deze vermindering, veroorzaken de resterende belasting vanuit de landbouw en de regionale belasting via het grondwater nog steeds hoge nitraatgehalten in de Hazelbeek. Bij de evaluatie van de werking van bufferstroken dient niet alleen de mate van reductie te weergegebracht door de bufferstrook te worden betrokken, maar ook de grootte van de resterende stikstof- en fosfaatbelasting van het ontvangende oppervlaktewater. Hiervoor is multidisciplinair onderzoek op ecosysteem- en regionaal niveau noodzakelijk.

Het uitgevoerde literatuuronderzoek geeft aan, dat bufferstroken een duidelijke ecologische meerwaarde lijken te hebben ten opzichte van gangbaar beherde randstroken in het agrarisch gebied. Een breed scala aan flora- en faunagroepen profiteert van een extensivering van het beheer van de bufferstroken. Bufferstroken met een natuurlijke vegetatie, een gevarieerde inrichting en een extensief beheer herbergen de grootste diversiteit aan organismen. Concluderend kan gesteld worden dat de aanleg van bufferstroken vanuit ecologisch oogpunt alleen reeds een zeer zinvolle zaak is. Dat bufferstroken daarbij dan tevens een bijdrage leveren aan de vermindering van de belasting van het oppervlaktewater, is een bijkomend voordeel.

1 Inleiding

1.1 Doelstellingen van het onderzoek

Bufferzones langs watergangen worden ook in Nederland in toenemende mate gebruikt om het oppervlaktewater te beschermen tegen ongewenste invloeden, zoals belasting met eutrofiërende stoffen en bestrijdingsmiddelen. Daarbij is tot op heden een aantal belangrijke vragen nog onbeantwoord gebleven. Het betreft de volgende vragen:

- Werken bufferstroken als het gaat om de verwijdering van fosfaat en stikstof?
- Wat zijn de verwijderingspercentages?
- Volgens welke principes werken bufferstroken en welke processen spelen hierbij een rol?
- Zijn deze processen te beïnvloeden en op welke wijze?

Om voorgaande vragen te beantwoorden, is begin 1997 het project "Ecologische aspecten van bufferstroken langs watergangen" gestart.

Voornoemde vragen zijn in het project "Ecologische aspecten van bufferstroken langs watergangen" vertaald in de volgende onderzoeksvragen:

1. Werken bufferzones als het gaat om verwijdering van fosfaat en stikstof?
2. Zo ja, wat zijn de verwijderingspercentages?
3. Wat zijn de principes volgens welke bufferzones werken en welke processen spelen een rol?
4. Wat zijn de ecologische effecten van bufferstroken?

Het project is opgedeeld in een aantal fasen: 1. Definitiestudie; 2. Afstemmingsfase 3. Veldonderzoek. De onderzoeksvragen 1 t/m 3 stonden centraal in de definitiefase en zijn beantwoord middels literatuuronderzoek (STOWA, 1998). De afstemmingsfase diende ter voorbereiding van het veldonderzoek. In het veldonderzoek stond onderzoeksvraag 4 centraal. De verschillende fasen worden hier achtereenvolgens kort besproken.

De definitiestudie (fase 1) bestond uit drie onderdelen:

1. Een literatuurreview van (inter)nationale kennis omtrent bufferstroken en de relevantie van deze kennis voor de Nederlandse situatie (STOWA, 1998).
2. Een inventarisatie waar in Nederland momenteel bufferstrookprojecten worden uitgevoerd (zie eveneens STOWA, 1998).
3. Een opzet van een onderzoeksplan.

De afstemmingsfase (fase 2) omvatte een workshop, alsmede de voorbereiding daarvan. De doelstellingen van de workshop waren uitwisseling van informatie, bepalen van de plaats van het door STOWA gefinancierde onderzoek binnen het gehele onderzoeksveld aan bufferstroken, bespreking van de relatie met andere onderzoeken en realisatie van mogelijke afstemming. Na de workshop is over de

onderzoeklijnen van het STOWA-bufferstrookonderzoek op hoofdlijnen overeenstemming bereikt met de begeleidingscommissie (vergadering dd. 15 april 1998). Deze overeenstemming betrof de schaalniveaus en de ecosystemen waarop het onderzoek zich in fase 3 zou moeten richten.

Het veldonderzoek (fase 3) richtte zich op onderzoeksvraag 4: Wat zijn de ecologische effecten van bufferstroken. Bij onderzoek naar de effecten van bufferstroken zijn drie schaalniveau's onderscheiden:

1. Het experimentele niveau van proefsloten, mesocosms of cilinders.
2. Het niveau van een veldlokatie in een beek en in een sloot.
3. Het niveau van stroomgebieden (regionaal).

Niveaus 1 en 2 zijn in het onderzoeksplan als de belangrijkste niveaus beschouwd en zijn in het onderzoek uitgewerkt. Het stroomgebiedsniveau is niet nader ingevuld. In dit rapport wordt gerapporteerd over de niveaus 1 en 2. Het onderzoek naar de ecologische effecten van bufferstroken in beken is uitgevoerd op beide niveaus. Het onderzoek naar de ecologische effecten van bufferstroken in sloten is alleen uitgevoerd op het experimentele niveau, aangezien een geschikte veldlokatie daarvoor niet kon worden gevonden.

1.2 Keuze van onderzoekslokaties

De beoogde opzet van het onderzoek omvatte een vergelijkend onderzoek tussen twee, op een aantal criteria beoordeelde, vergelijkbare beken of beeklopen en twee vergelijkbare sloten, waarvan de ene sloot of beekarm begrensd was door aanliggende bufferstroken en de andere niet. Een dergelijke, beoogde onderzoekslokatie was zowel voor beken als voor sloten niet in Nederland te vinden. Beken zonder bufferstroken waren gelegen in landbouwgebieden en verschilden in veel meer opzichten van beken met bufferstroken dan alleen met betrekking tot de aan- of afwezigheid van bufferstroken. Zo waren de beken in landbouwgebieden vergraven beken met een heel ander karakter en met een veranderde hydrologie, waardoor droogval optrad. Droogval was ongewenst, omdat in het onderzoek de effecten op de aquatische levensgemeenschap centraal stonden. In sloten is de belasting met stikstof en fosfaat slechts één van de beïnvloedingsfactoren op de levensgemeenschappen. Ook de belasting met toxische stoffen (onder andere bestrijdingsmiddelen), inlaat van gebiedsvreemd water en beheer (schooning) hebben invloed op de levensgemeenschap. Sloten met en zonder bufferstroken en vergelijkbaar voor wat betreft de overige beïnvloedingsfactoren, konden niet in Nederland worden gevonden. Bovendien hoeft er zowel in beken als sloten geen directe relatie te bestaan tussen de bemesting van het aangrenzende perceel en de waterkwaliteit in de sloot. Inzicht in de hydrologie ter plaatse en de gehele keten aan processen is daarom essentieel. Een dergelijk onderzoek aan bufferstroken dient dan ook mede hydrologisch onderzoek te omvatten.

Uiteindelijk is voor een onderzoekslokatie in een beek aangesloten bij het onderzoek van de Universiteit van Utrecht. In het kader van het NICOLAS-project (Nitrogen

Control by Landscape Structures in Agricultural Environments) wordt in Noordoost Overijssel onderzoek verricht aan een bosbufferstrook en aan een grasbufferstrook. Doel van dit onderzoek is het in beeld brengen van de stikstofstromen. Aan de effecten op het aquatisch ecosysteem wordt binnen dit project geen aandacht besteed. Vanuit dat oogpunt werd het in het kader van het STOWA-project bufferstroken zinvol geacht om aan te sluiten bij het NICOLAS-project. Daarmee wordt de gehele keten aan input, processen en effecten op de onderzoekslokatie in beeld gebracht. De bosbufferstrook langs de Hazelbeek was voor het STOWA-onderzoek het meest geschikt, en is dan ook als onderzoekslokatie in een beek gekozen (Fig. 1.1). De Hazelbeek is een van de drie bovenlopen, die samenvloeien in de Onderbeek. De Hazelbeek ontspringt in een nabijgelegen onbeschaduwde bronsysteem.

Naast het veldwerk in de Hazelbeek, is het experimentele niveau ingevuld door tevens twee parallel lopende experimenten te verrichten in een kunstbeek op het laboratorium.

Zoals reeds uiteengezet, is het onderzoek naar de effecten van bufferstroken in sloten alleen verricht in experimentele systemen. Daarbij zijn mesocosms (ϕ 1.80 m, waterdiepte 0,5 m, dikte sediment 0,25 m) gebruikt onder veldomstandigheden en aquaria in het laboratorium.

1.3 Opzet van het onderzoek

Zoals uiteengezet in paragraaf 1.2, was het niet mogelijk gebleken om zinvol onderzoek te verrichten in een sloot en in een beek met en zonder bufferstroken. Daarom zijn, om de effecten van bufferstroken te simuleren, veldexperimenten uitgevoerd. In deze veldexperimenten is gebruik gemaakt van kunstmatige substraten en zijn deze substraten, om de effecten van een bufferstrook na te bootsen, verhangen van een lokatie met een hoger nutriëntengehalte naar een lokatie met een, in geringe mate, lager nutriëntengehalte. De experimenten zijn gericht op het bestuderen van de ecologische effecten van dergelijke geringe verschillen in nutriëntengehalten. In plaats van lokaties met en zonder bufferstroken te vergelijken, zijn dus lokaties onderzocht die verschillen in trofie. Omdat het gaat om geringe verschillen in nutriëntengehalten, is ten aanzien van de biota gezocht naar ecologische parameters die snelle reponsen vertonen op veranderingen in trofie. Algen zijn hiervoor een geschikte groep. Binnen de groep van algen zijn de diatomeeën gekozen. Deze groep van algen is goed te monitoren op kunstmatige substraten. Bovendien is van deze groep informatie beschikbaar ten aanzien van de trofie-indicatiewaarden van de afzonderlijke soorten, waardoor op basis van de biota een uitspraak gedaan kan worden over de nutriëntentoestand. Ten behoeve van een keuze van de meest geschikte kunstmatige substraten in beken voor de monitoring van epifytische diatomeeën, is allereerst vooronderzoek verricht in de Hazelbeek.

In de Hazelbeek zijn twee lokaties gekozen (lokatie A en B) en ter vergelijking is één andere lokatie gekozen na het samenvloeien van de beide andere bovenlopen (lokatie

D) (fig. 2.1). Lokatie A is het meest bovenstrooms gekozen. Deze lokatie ligt het dichtst bij de bron, maar nog wel beschadwd in het bos. De hypothese was dat deze lokatie het meest voedselarm was. Lokatie B en lokatie D vertegenwoordigen een relatief voedselrijkere situatie. Deze drie lokaties zijn gedurende één jaar abiotisch en biotisch onderzocht. Het biotisch onderzoek heeft zich toegespitst op de samenstelling van de epifytische diatomeeëngemeenschap op kunstmatige substraten. Met veldexperimenten is de diatomeeënsamenstelling op kunstmatige substraten op de drie lokaties gevolgd en is onderzocht wat de effecten zijn van verplaatsing van met diatomeeën begroeide substraten naar een andere lokatie met een relatief lager voedingsstoffenniveau. Daarbij is ook onderzocht wat de effecten zijn van verplaatsing van begroeide substraten vanuit het veld naar een kunstbeek onder gecontrôleerde laboratoriumomstandigheden.

Om de vraag te beantwoorden wat de effecten zijn van verminderde nutriëntconcentraties aan stikstof en fosfaat op de soortensamenstelling van diatomeeën in sloten, zijn modelecosystemen gebruikt die slootlevensgemeenschappen simuleren. Daarin zijn vergelijkbare experimenten uitgevoerd, waarbij begroeide kunstmatige substraten (in dit geval objectglasjes) werden verplaatst van meer naar minder nutriëntrijkere omstandigheden.

1.4 Beschrijving van de onderzoekslokaties in het Hazelbekke

Het Hazelbekke systeem, waarvan de bronbeek Hazelbeek deel uitmaakt, is gelegen op de zwak hellende westflank van de stuwwal Ootmarsum (Verhoeven & Hefting, 1998). Het gebied is gelegen ten oosten van Vasse in de gemeenten Tubbergen en Denekamp. De Hazelbeek ontspringt vanuit een viertal helocrene broncomplexen (AquaSense, 1998). De Hazelbeek is het meest zuidelijk gelegen. Bovenstrooms van de bronbeek Hazelbeek bevindt zich een helocrene bron. Het Hazelbeek systeem wordt gevoed door afstromend regenwater en ondiep uitspoelend grondwater. De uitspoeling vindt plaats door een dunne dekzand laag. Deze laag is gescheiden van diepere lagen door een dikke glaciële klei-afzetting. De geohydrologie van het watersysteem en onmiddellijke omgeving wordt verder gecompliceerd door de aanwezigheid van zand- en kleilagen die dateren uit het Tertiair en die verplaatst zijn door ijs en smeltwater (Verhoeven & Hefting, 1998). Als gevolg van het ondiepe pakket en daarmee samenhangende ondiepe stroombanen, treedt snelle uitspoeling op in het gebied.

De Hazelbeek is gelegen in een erosiedal en is omgeven door hoger gelegen essen, die in gebruik zijn als extensief beheerd grasland (hooiland) en als intensief beheerd akkerland (mais en wintertarwe). De overgang van landbouwgrond naar bronbeek wordt gevormd door een natuurlijke bufferstrook van Elzenbos met een breedte van 25 à 55 m (De Klein & Hefting, 1997; Hefting & De Klein, 1998). Deze bufferstrook bevindt zich op de flanken van het erosiedal en wordt aan de bovenzijde begrensd door de reeds besproken essen.

De beek heeft een stroomsnelheid van ca. 1-4 l/sec. (gemeten aan de Slenkteweg). In het brongebied bedragen de stroomsnelheden ca. 0,5 l/sec. Kort na een heftige regenbui echter, kunnen de stroomsnelheden enorm toenemen doordat regenwater over de flanken van het erosiedal het beekdal instroomt. Deze grote toevoer van afstromend regenwater over het bodemoppervlak wordt geïllustreerd door de verscheidene erosiegeulen, die in de bosbufferstrook aanwezig zijn (Verhoeven & Hefting, 1998).

De lokatie Hazelbekke ligt in een vlak bosgebied nabij de Oosterveldsweg. Deze lokatie is gekozen vlak na samenvloeiing van de noordelijke en oostelijke bovenloop. De lokatie ligt in het bos en is niet direct door hogere esgronden omgeven.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de gebruikte materialen en methoden beschreven. In hoofdstuk 3 wordt achtereenvolgens ingegaan op de resultaten van het methodisch vooronderzoek, de verplaatsingsexperimenten met kunstmatige substraten in de Hazelbeek en in de kunstbeek en de verplaatsingsexperimenten met kunstmatige substraten in aquaria en mesocosms. Tenslotte wordt een samenvatting gegeven van het uitgevoerde literatuuronderzoek naar de ecologische waarde van bufferstroken. In hoofdstuk 4 worden de resultaten bediscussieerd. Hoofdstuk 5 geeft de conclusies en synthese, hoofdstuk 6 omvat het dankwoord en hoofdstuk 7 geeft een opsomming van de gebruikte literatuur.



Fig. 1.1: Nederland met lokatie Hazelbekke.

2 Materiaal en methoden

2.1 Methodisch vooronderzoek in de Hazelbeek aan kunstmatige substraten

In de Hazelbeek zijn de begroeiing en bruikbaarheid van de volgende kunstmatige substraten onderzocht: objectglasjes in een perspex raamwerk; staande, ongeglazuurde tegels; liggende, ongeglazuurde tegels; in de stroomdraad drijvende touwen van polypropyleen. Daarnaast zijn ook ter vergelijking, stenen die reeds in de beek aanwezig waren (natuurlijke substraten), bemonsterd. Alle kunstmatige substraten zijn gedurende 2 perioden, 4 weken in de Hazelbeek geïncubeerd. Na 4 weken werd 10 cm van de propyleen touwen geknipt. Hiervan werd 5 cm gedestruerd. De tegels en objectglasjes werden afgeschraapt, waarbij steeds het schraapsel van 4 objectglasjes werd samengevoegd tot één monster. Ook de perspex plaat van het objectglasjesrek werd afgeschraapt. Van de natuurlijke substraten in de beek werd van meerdere stenen een gedeelte afgeschraapt. Het aangroei van de verschillende substraten werd in het laboratorium allereerst kwalitatief levend bekeken. Daarbij werd een indicatieve schatting gemaakt van de hoeveelheden detritus/zand, diatomeeën, groenwieren en "bruine draden".

Vervolgens zijn de schraapmonsters gedestruerd. Per monster zijn steeds 400 schaaltes gedetermineerd en geteld.

2.2 Experimenten met kunstmatige substraten in de Hazelbeek en in de kunstbeek

2.2.1 Lokaties

In de Hazelbeek zijn twee vaste lokaties gekozen, waar de verplaatsingsexperimenten met kunstmatige substraten en de fysisch-chemische bepalingen hebben plaatsgevonden, lokaties A en B genaamd. Lokatie A ligt het meest bovenstrooms. Deze lokatie is het dichtst bij het brongebied gekozen, maar ligt nog in de bosbufferstrook. Lokatie A ligt bovenstrooms van alle kleine erosiegeulen die vanaf de essen het beekdal in lopen. Daarom wordt lokatie A representatief geacht voor een situatie, waar de directe beïnvloeding door landbouw lager is dan op de verder stroomafwaarts gelegen lokatie B. Lokatie B ligt ter hoogte van de boerderij en ligt benedenstrooms van een aantal kleine erosiegeulen. Deze lokatie staat via deze erosiegeulen meer onder invloed van oppervlakkig afstromend, nutriëntenrijk water vanuit de hoger gelegen essen dan lokatie A.

Een derde onderzoekslokatie vormt lokatie D. Deze ligt in het Hazelbekke ten zuiden van het punt waar de noordelijke en oostelijke bovenloop samenkomen. De noordelijke bovenloop is een vergraven beek in landbouwgebied.

Alle lokaties liggen in bos en zijn beschaduwd. Tabel 2.1 geeft een samenvatting van de aanduiding van de drie lokaties. De lokaties zijn op kaart aangegeven in figuur 2.1. In plaats van lokaties met en zonder bufferstroken te vergelijken, zijn dus lokaties onderzocht die verschillen in trofie. De effecten van bufferstroken zijn vervolgens gesimuleerd door kunstmatige substraten te verplaatsen van lokaties met hogere naar een lokatie met lagere nutriëntengehalten.

Tabel 2.1: Onderzoekslokaties.

Code Wschap	Code	Omschrijving	Coördinaten
10062410	A	Hazelbeek bovenstreams ca. 15 m van bosrand	255.71 494.09
10062420	B	Hazelbeek ter hoogte van de boerderij	255.55 494.13
10062430	D	Hazelbekke aan rand bij Oosterveldsweg	255.21 494.35

Daarnaast is als vierde lokatie een kunstbeek (stroomgoot) gebruikt in het laboratorium. De kunstbeek was ingesteld op een watertemperatuur van 12 °C en een daglengte van 18 uur. Zowel watertemperatuur als daglengte kwamen overeen met de gemeten waarden in het veld ten tijde van het experiment. De zijwanden van de kunstbeek waren bekleed met zwart plastic, om zijdelingse lichtinval onmogelijk te maken. De lichtintensiteit bedroeg 300 lux. De kunstbeek werd doorstroomd met oppervlaktewater, afkomstig uit de Hazelbeek (max. 10 cm/sec). Daarbij werd het water rongepompt. In de beek was geen substraat aanwezig.

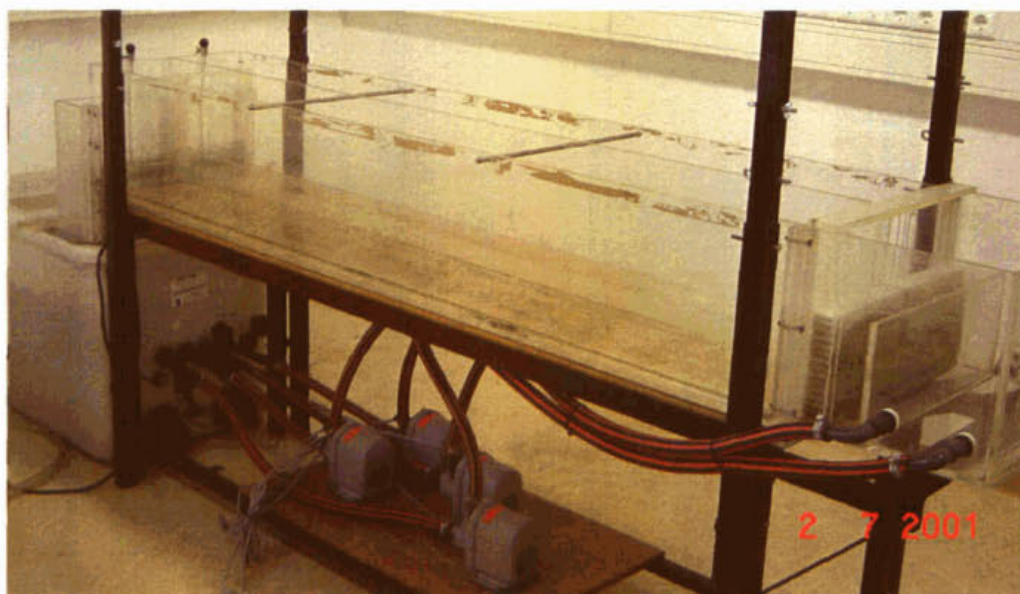


Fig. 2.2: foto kunstbeek.

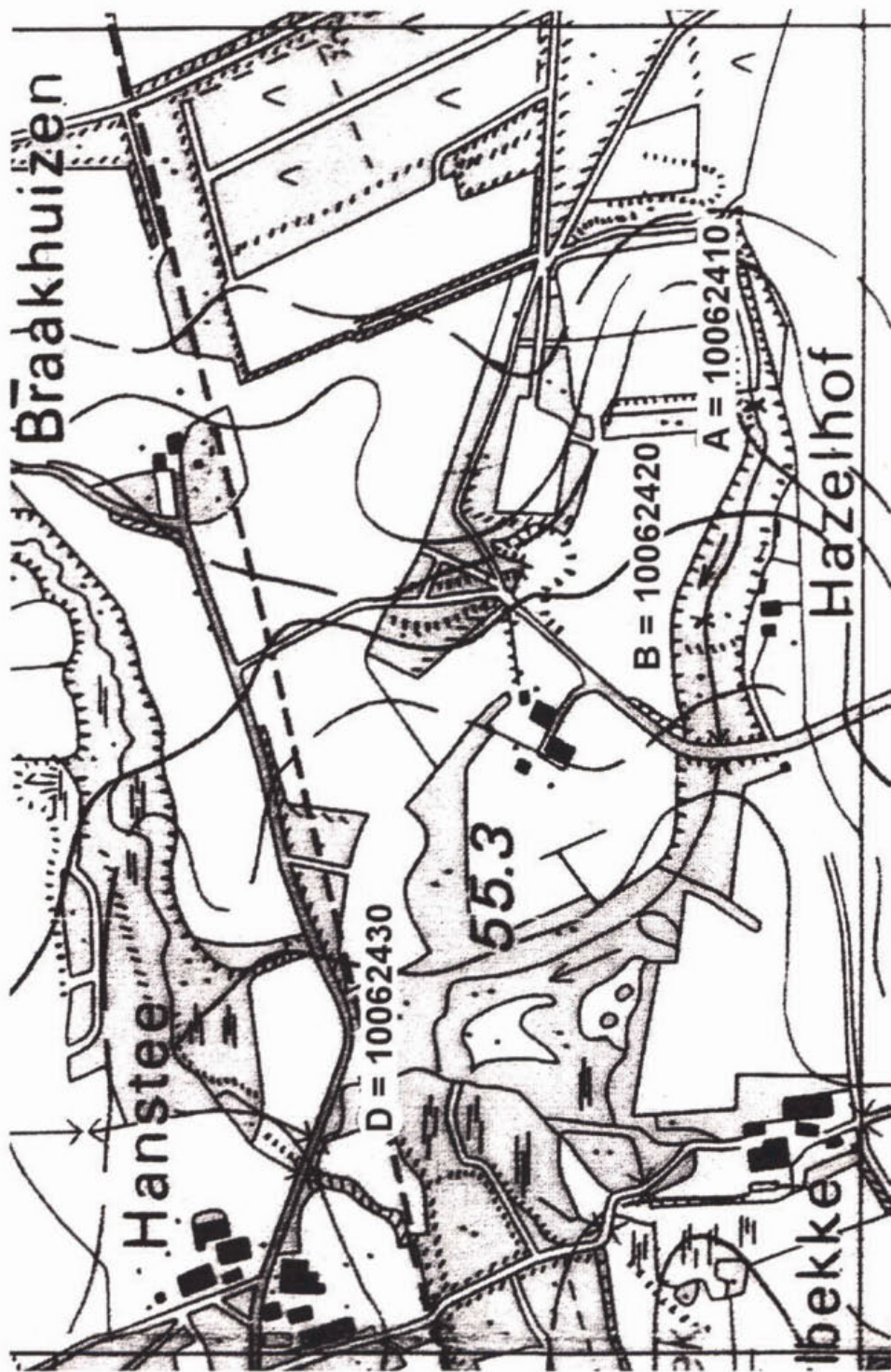


Fig. 2.1: Ligging van de onderzoekslokalities in het onderzoeksgebied.

2.2.2 Fysisch-chemisch meetprogramma

Op de eerder genoemde lokaties A en B in de Hazelbeek en op lokatie D in het Hazelbekke is gedurende één jaar de fysisch-chemische waterkwaliteit gemeten. Op lokaties A en B is één jaar rond gemeten (13-04-1999 tot en met 20-03-2000). Op lokatie D is minder lang gemeten (11-05-1999 tot en met 20-03-2000). Maandelijks werd op een vaste velddag (dinsdag) een veldbezoek gebracht. Op alle drie lokaties werden pH, Elektrisch Geleidingsvermogen en alkaliniteit bepaald en werden watermonsters genomen voor analyse in het laboratorium van Waterschap Regge en Dinkel.

De volgende fysisch-chemische metingen zijn verricht:

1. Continue metingen

Temperatuur, Elektrisch Geleidingsvermogen en waterhoogte zijn continu gemeten met behulp van meet- en registratie-apparatuur (STOWA, 1994), geïnstalleerd op twee lokaties (B en D) in het onderzoeksgebied. Deze meet- en registratie-apparatuur bestaat uit een datalogger, een geleidbaarheidssensor, een temperatuursensor en een druksensor. Op beide lokaties (B en D) is een kunstmatige stuw (type Rossum-stuw) geïnstalleerd, waar naast zich de PVC buis bevindt met meet- en registratie-apparatuur.

Datalogger

De datalogger (type Campbell CR10X) bevindt zich in een gesloten PVC buis met communicatiepoort. De datalogger meet iedere 15 minuten geleidbaarheid (in mS cm^{-1} met temperatuurcorrectie), temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) en druk (mbar met temperatuur- en spanningscorrectie). Daarbij wordt het tijdstip tot op de minuut nauwkeurig geregistreerd.

Geleidbaarheidssensor

Het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV) wordt gemeten met behulp van drie stalen ringen gegoten in een epoxy-buis met een centrale opening. Uitgezonden stroompulsen worden door het passerende water geleid, opgevangen en doorgezonden naar de datalogger.

Temperatuursensor

De temperatuur wordt gemeten met behulp van een Betaterm thermistor. De weerstand wordt gemeten en omgerekend naar temperatuur.

Druksensor

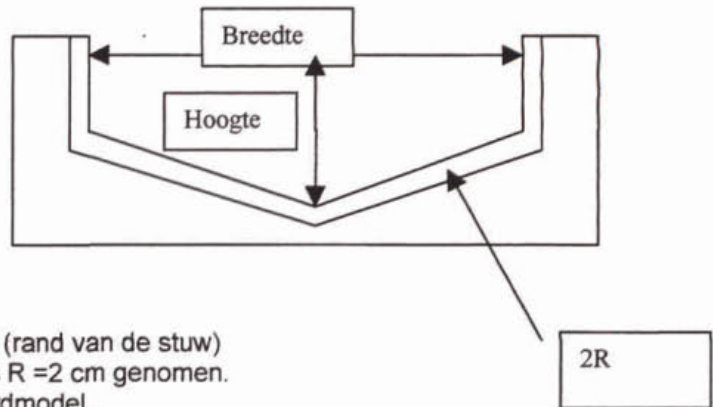
De waterhoogte wordt gemeten met behulp van een PDCR 1830 druksensor.

Stuwen

De toegepaste stuwen zijn van het type Rossum-stuw (STOWA, 1994). In fig 2.3 zijn dwarsdoorsnede en dimensies weergegeven van dit stuwtype, zoals toegepast op lokaties B en D. Vanwege de geringe breedte en zeer geringe diepte van de beken, is het oorspronkelijke ontwerp aangepast. Er is gekozen voor een ontwerp, dat technisch gemakkelijk uitvoerbaar zou zijn, en bovendien in de praktijk goed zou functioneren. Voor wat betreft dit laatste is vooral gelet op de gevoeligheid voor het blijven haken van takken en meestromend materiaal.

Locatie B
 Hoogte stuw =14 cm
 Breedte = 60 cm

Locatie D
 Hoogte stuw =40 cm
 Breedte = 80 cm



Hoek = 150 ° (=standaard)

2R = diameter van de (halfronde) buis (rand van de stuw)
 Vanwege de ondiepte van de beken is R =2 cm genomen.
 Deze waarde wijkt af van het standaardmodel.

Fig 2.3: Dwarsdoorsnede en dimensies van de toegepaste stuwen.

2. Metingen van waterkwaliteitsparameters

Op alle drie de lokaties zijn maandelijks monsters genomen van het beekwater en geanalyseerd op ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitraat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), nitriet ($\text{NO}_2^-\text{-N}$), Kjeldahl-stikstof (Kj-N), totaal-stikstof (N-totaal), orthofosfaat (o-P), totaal-fosfaat (P-totaal), zuurgraad (pH), alkaliniteit, Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV), sulfaat (SO_4^{2-}), chloride (Cl), totaal ijzer (Fe), opgelost ijzer (Fe/opg), mangaan (Mn), silicium (Si), natrium (Na), kalium (K), calcium (Ca) en magnesium (Mg). In het veld werden maandelijks pH, alkaliniteit en het Elektrisch Geleidingsvermogen bij 25 °C (EGV25) bepaald. Alle chemische analyses zijn verricht door Waterschap Regge en Dinkel.

Naast het vaste analysepakket is 6 maal de nitraatconcentratie gemeten in een transect in de lengterichting van de beek. De exacte lokaties waarop de nitraatmetingen plaats vonden, staan vermeld in tabel 2.2.

Tabel 2.2: exacte lokaties waarop in een transect zes maal de nitraatconcentraties zijn gemeten. De lokaties zijn gerangschikt van beneden- naar bovenstrooms.

1.	Bij de brug aan de weg
2.	Tussen de brug en de stuw
3.	Tussen de stuw en monsterlokatie B
4.	Monsterlokatie B
5.	Ter hoogte van de schuur
6.	Ter hoogte van het hutje
7.	Onder aan erosiegeul
8.	Boven erosiegeul
9.	Tussen erosiegeulen
10.	Monsterlokatie A
11.	Bij de bosrand
12.	In het grasland (brongebied)

Deze aanvullende metingen werden verricht om ruimtelijke verschillen in een lengtegradient in de beek vast te stellen. De Klein & Hefting (1997) en Hefting & De Klein (1998) vonden namelijk in dezelfde beek hoge nitraatwaarden ter plaatse van het meest bovenstrooms gelegen erosiekanaal. Onder meer via deze erosiegeul vindt afwatering plaats van de hoger gelegen maisakker naar de beek.

In de kunstbeek zijn één à tweewekelijks pH, het Electrisch Geleidingsvermogen en alkaliniteit bepaald. Aan het einde van het experiment zijn dezelfde chemische analyses verricht als in het beekwater (zie boven). Aan het beekwater in de kunstbeek is 2x fosfaat toegevoegd in de vorm van K_2HPO_4 . De eerste maal was de beoogde concentratie $0,07 \text{ mgP.l}^{-1}$. Een week na toevoeging was P aanwezig beneden de detectiegrens ($< 0,02 \text{ mgP.l}^{-1}$). Daarna is nogmaals K_2HPO_4 toegevoegd, ditmaal met als beoogde concentratie $0,2 \text{ mg P.l}^{-1}$. Deze waarde komt overeen met de waargenomen fosfaatconcentratie in het veld op lokatie B. Aan de kunstbeek is fosfaat toegevoegd teneinde vergelijkbare omstandigheden met de veldsituatie te creëren.

2.2.3 Verplaatsingsexperimenten

Voor de verplaatsingsexperimenten in de beken werden polypropreen touwen gebruikt met een lengte van 40 cm. Deze touwen werden genummerd en tevoren over een lengte van 20 cm zoveel als mogelijk uitgerafeld om het aanhechtend oppervlak zo groot mogelijk te maken. Met behulp van een pin werden de touwen aan één zijde in het beeksubstraat verankerd. Op deze manier bleven de touwen drijven in de stroomdraad van de beek, vergelijkbaar met de structuur van drijvende waterplanten met lange, lintvormige bladeren. Na een incubatietijd van vier weken werd een deel van de touwen verhangen naar lokatie A. Na nogmaals een incubatieperiode van de vier weken werden alle touwen bemonsterd. In totaal zijn 10 verplaatsingsexperimenten uitgevoerd: vier verplaatsingsexperimenten van lokatie B naar lokatie A, vier verplaatsingsexperimenten van lokatie D naar lokatie A en twee verplaatsingsexperimenten van lokatie B in het veld naar de kunstbeek in het laboratorium. Van deze verplaatsingsexperimenten is een deel van de monsters gedetermineerd. Het betreft de monsters verzameld in vier verplaatsingsexperimenten: één verplaatsingsexperiment van lokatie B naar lokatie A, één verplaatsingsexperiment van lokatie D naar lokatie A en twee verplaatsingsexperimenten van lokatie B in het veld naar de kunstbeek in het laboratorium (zie tabel 2.3). Alle verplaatsingsexperimenten zijn uitgevoerd in triplo. Tabel 2.3 geeft een samenvatting van de verplaatsingsexperimenten, waarvan de monsters zijn gedetermineerd en geanalyseerd.

Tabel 2.3: Verplaatsingsexperimenten in het Hazelbekerke en de kunstbeek. Tijd is vermeld in dagen. N = aantal kunstmatige substraten.

Exp nr.	N	t=0	t=28	t=56 (Eindbemonstering)
1	3	A	A	31-8-1999
	3	B	A	31-8-1999
	3	B	B	31-8-1999
2	3	A	A	31-8-1999
	3	D	A	31-8-1999
	3	D	D	31-8-1999
3	3	B	B	3-8-1999
	3	B	Kunstbeek	3-8-1999
	3	Kunstbeek	Kunstbeek	3-8-1999
4	3	B	B	28-9-1999
	3	B	Kunstbeek	28-9-1999
	3	Kunstbeek	Kunstbeek	28-9-1999

Om een goed beeld te krijgen van de soortensamenstelling op de drie onderzochte lokaties gedurende het jaar, zijn van alle uitgevoerde experimenten (n=10) de monsters afkomstig van de niet verplaatste touwen die 8 weken (t = 56 dagen) op één lokatie hebben gehangen, gedetermineerd. In de periode juni tot december 1999 zijn van 5 resp. 6 data monsters gedetermineerd van de lokaties A en B. Van lokatie D zijn dit 4 monsters. Tabel 2.4 geeft een overzicht van de bemonsteringsdata van de touwen die steeds op één lokatie hebben gehangen.

Tabel 2.4: Bemonsteringsdata van de niet verplaatste touwen, die 8 weken hebben geïncubeerd ten behoeve van monitoring op de lokaties A, B en D.

Bemonsteringsdatum	A	B	D
8-6-1999	X	X	
6-7-1999	X		X
3-8-1999		X	
31-8-1999	X	X	X
28-9-1999		X	
26-10-1999	X	X	X
21-12-1999	X	X	X

Bij de verwerking van de monsters is de volgende codering gebruikt (zie Bijlage 1):

De eerste twee posities geven de lokatie aan:

AA: acht weken op lokatie A

OO: acht weken op lokatie O

BA: vier weken op lokatie B, daarna vier weken op lokatie A

BB: acht weken op lokatie B

DA: vier weken op lokatie D, daarna vier weken op lokatie A

DD: acht weken op lokatie D

BK: vier weken op lokatie B, daarna vier weken in de kunstbeek

KK: acht weken in de kunstbeek

Lokatie O ligt iets meer stroomafwaarts ten opzichte van lokatie A en net stroomafwaarts van een erosiegeul. Lokatie O is de "oude" lokatie A en is, vanwege

de ligging ten op zichte van de erosiegeul, daarna vervangen door de definitieve lokatie A.

Posities 3 tot en met 6 geven de monsterdatum aan. Zo betekent 0608: geoogst op 8 juli 1999. De laatste positie is een volgnummer. Bijvoorbeeld AA08311 betekent monster van kunstmatig substraat dat niet is verhangen en steeds aanwezig is geweest op lokatie A, bemonsterd op 31 augustus, volgnummer 1. DA08311 betreft monster van kunstmatig substraat dat is verhangen van lokatie D naar lokatie A, bemonsterd op 31 augustus, volgnummer 1 (zie Bijlage 1).

2.2.4 Monsterverwerking

Van de uitgerafelde polypropreen-touwen werd aan het uiteinde ongeveer 5 cm afgeknipt en dit deel van het touw werd met het aanhangende water in een bekeerglas van 100 ml gedeponeerd. Het zo verkregen monster werd met behulp van oxidatie door toevoeging van 35% H₂O₂ en verwarming tot 80^oC gereinigd van organisch materiaal. De delen van het polypropreen-touw werden verwijderd, waarna van het overgebleven materiaal een zodanige suspensie werd gemaakt dat de concentratie van de erin aanwezige diatomeeënschaaltjes gunstig zou zijn voor het latere microscopisch onderzoek. Microscopische preparaten werden gemaakt door inbedding in NAPHRAX.

De microscopische preparaten werden onderzocht met een Standaard Zeiss-microscop, met vergroting 100 x objectief en phase-contrast-belichting. Steeds werden 400 schaalhelften van diatomeeën geteld en gedetermineerd. Daarbij werd gebruik gemaakt van de determinatiewerken van Krammer & Lange-Bertalot (1986 tot 1991) en Krammer (1992). Van een aantal taxa werden foto's gemaakt, die voor taxonomisch advies werden voorgelegd aan A. Mertens (AquaSense).

2.2.5 Dataverwerking

Om relaties tussen abundanties van soorten en abiotische variabelen in de Hazelbeek en Hazelbekke te achterhalen, is Directe Gradientanalyse toegepast (Ter Braak, 1986; 1987). Dit is een ordinatietechniek, waarvan de resultaten gebaseerd zijn op een analyse van de abundanties van soorten en abiotische variabelen tegelijkertijd. De uitgevoerde analyse is gebaseerd op 99 % (cumulatieve totale presentie) van de taxa. Taxa die slechts een enkele keer worden aangetroffen en waarbij toeval een grote rol speelt, zijn op deze manier buiten beschouwing gelaten. Voor de analyse zijn de aantallen logaritmisches ($\ln x + 1$) getransformeerd.

Op de gemeten fysisch-chemische parameters is ten behoeve van de analyse een aantal bewerkingen toegepast. Indien een waarde beneden een detectiegrens lag, werd de helft van deze detectiegrens als waarde voor de betreffende fysisch-chemische parameter genomen. Als abiotische waarde, behorende bij een biotisch monster, werd steeds het gemiddelde genomen van de fysische-chemische waarden, zoals

gemeten gedurende de periode van 2 maanden kolonisatietijd van de kunstmatige substraten. Dit werd alleen toegepast bij monsters, waarbij de substraten twee maanden op één plek hadden gehangen. De monsters die verplaatst waren, zijn niet gekoppeld aan monsters met abiotische parameters en zijn in de ordinatie slechts passief meegenomen. Alle abiotische parameters, behalve de pH, zijn logaritmisch getransformeerd ($\ln x+1$).

Daarnaast is bij de analyse een aantal kwalitatieve parameters passief meegenomen. Het betreft vooral indexen gebaseerd op de ecologische indicatiewaarden van soorten (Van Dam et al., 1994; Bijlage 3) en de trofiewaarden volgens Rott e. a. (Coring et al., 1999). Zeldzaamheid (pers. med. van Dam) en nieuwe taxa voor Nederland zijn eveneens in de analyse meegenomen. De volgende kwalitatieve parameters zijn betrokken:

<i>Afkorting</i>	<i>omschrijving</i>
Aant-tax	aantal taxa
Aeroph	% aerofiele soorten
Moist-ind	gewogen gemiddelde index-waarden Moisture (M) van van Dam et al (1994)
N-ind	gewogen gemiddelde index-waarden Nitrogen uptake metabolism (N) van van Dam et al (1994)
O2-ind	gewogen gemiddelde index-waarden Oxygen requirements (O) van van Dam et al (1994)
Sal-ind	gewogen gemiddelde index-waarden Salinity (H) van van Dam et al (1994)
Sapr-ind	gewogen gemiddelde index-waarden Saprobity (S) van van Dam et al. (1994)
Trof-ind	gewogen gemiddelde index waarden Trophic state (T) van van Dam et al. (1994)
Zeldz-abs	absolute aantal voor Nederland zeldzame taxa
Zeldz-ex	absolute aantal voor Nederland zeldzame exemplaren
Zeldz-perc	relatieve aantal voor Nederland zeldzame taxa
pH-ind	gewogen gemiddelde index-waarden pH (R) van van Dam et al. (1994)

De waarden van Aant-tax, Aeroph, Zeldz-abs, Zeldz-ex, Zeldz-perc zijn logaritmisch getransformeerd ($\ln x+1$).

Met betrekking tot de gebruikte multivariate analyse-technieken is allereerst een DCA (Detrended Correspondence Analysis) gegenereerd ter bepaling van de gradiëntlengte. Daarbij kwamen de soortenarme monsters uit de kunstbeek uiterst rechts in het ordinatiediagram te liggen, terwijl de rest van de monsters aan de linkerkant werd geplaatst. Bij verdere analyse zijn de monsters uit de kunstbeek (KK en BK) dan ook weggelaten. Vervolgens is met de dataset exclusief de kunstbeekmonsters nogmaals een DCA-analyse gedraaid met als optie "detrended by 26 segments" om weer de gradiëntlengte te bepalen. Deze bleek kleiner te zijn dan 3, namelijk 2,1. Dit impliceerde dat voor verdere analyse geen DCA in aanmerking

kwam en alleen een lineaire, directe gradientanalyse kon worden toegepast, namelijk RDA (Redundancy Analysis). Deze techniek wordt geadviseerd voor gradiëntlengtes korter dan 3.

Alle kwalitatieve variabelen die gebaseerd zijn op het soortenbestand, zijn in de verdere analyse passief meegenomen. Dit zijn alle variabelen afkomstig van de indicatiewaarden volgens van Dam e.a. (1994). Verder behoren hier toe Aant-tax, Aeroph en de zeldzaamheidsvariabelen.

Bij de eerste RDA runs hadden een aantal milieuvariabelen hoge tot zeer hoge inflatiefactoren (> 20). Dit duidt erop dat milieuvariabelen onderling gecorreleerd waren en daarom geen unieke bijdrage leverden aan de verklaring van de soortendiversiteit. Daarom is bij verdere analyses een aantal variabelen achtereenvolgens verwijderd, te weten: N-totaal, $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ (beide hoog gecorreleerd met NO_3), een aantal variabelen waaronder Ca (wel weergegeven in ordinatieplaatje als passieve variabele), Cl, Electricisch Geleidingsvermogen (EGV²⁵), SO_4 , Si (alle redelijk tot hoog gecorreleerd met Ca) en Mg.

De alkaliniteit (Alk.) werd met een inflatiefactor van 20,8 nog als acceptabel beschouwd. De verwijderde variabelen zijn in de verdere analyse meegenomen als passieve variabelen.

Met behulp van de sample scores, biplot scores of environmental variables, en de species scores zijn in EXCEL de ordinatiefiguren gemaakt van de eerste twee assen. Alleen de belangrijkste taxa (scores hoger en lager dan 0,3) en variabelen (scores hoger en lager dan 0,4 en P-totaal en NO_2) zijn weergegeven. Variabelen die een actieve rol hebben gespeeld in de ordinatie zijn met een pijl met doorgetrokken lijn aangegeven, passief meegenomen variabelen in de analyse zijn met een pijl met een stippellijn aangeduid.

2.3 Experimenten met kunstmatige substraten in aquaria en mesocosms

2.3.1 Experimentele opstelling

Om de vraag te beantwoorden wat de effecten zijn van verminderde nutriëntenconcentraties aan stikstof en fosfaat op de soortensamenstelling van diatomeeën in sloten, zijn modelecosystemen gebruikt die slootlevensgemeenschappen simuleren. Daarin zijn experimenten uitgevoerd, waarbij begroeiende kunstmatige substraten (in dit geval objectglasjes) werden verplaatst van meer naar minder nutriëntrijkere omstandigheden. De experimentele opstelling bestond uit vier aquaria in het laboratorium en mesocosms in de buitenlucht (figuur 2.4) die alle gedomineerd werden door kroos. De mesocosms hebben een diameter van 1.80 m en zijn 0,8 m diep. Ze zijn voorzien van een 15 cm diepe kleibodem met daarboven een 7 cm dikke sliblaag. De sliblaag is eutroof en niet verontreinigd met microverontreinigingen (klasse I). Het oppervlaktewater in de mesocosms bestaat uit

grondwater gemengd met regenwater. De mesocosms zijn voorzien van een kroosdek, dat gedomineerd wordt door *Lemna minor*. Wekelijks worden de mesocosms belast met fosfaat op 5 niveaus en stikstof op één minimum niveau. Voor de verplaatsingsexperimenten zijn alleen de mesocosms die belast worden op de twee hoogste niveaus gebruikt (zie paragraaf 2.3.2).

De aquaria bevonden zich in een klimaatkamer. De zijwanden van de aquaria waren bekleed met zwart plastic, om zijdelingse lichtinval onmogelijk te maken. Daarnaast was op de waterlaag van de aquaria een matig doorzichtige, groene, plastic laag aangebracht. Door aanpassing van de hoogte waarop de lampen hingen en aanpassing van de lokatie van de kunstmatige substraten ten opzichte van de lichtbron, is een situatie gecreëerd, waarbij onder water een vergelijkbare lichtintensiteit heerste als onder het *Lemna*-dek in de mesocosms. In de aquaria bedroeg de lichtintensiteit ca. 140-150 lux, onder het *Lemna*-dek in de mesocosms bedroeg dit 120-160 lux.

De klimaatkamer had een cyclus van 12 uur licht (8.00-20.00) en 12 uur donker. De temperatuurinstelling was 12 °C 's nachts en 18 °C overdag. De aquaria waren twee aan twee met elkaar verbonden door middel van een hevel. Met behulp van een slangenpomp konden de aquaria worden doorgepompt. Alleen aquaria die deel uitmaakten van hetzelfde experiment waren met elkaar verbonden en werden tezamen doorgespoeld. Elke week, na de chemische bepalingen, werden de aquaria bijgevuld met grondwaterachtig water (grondwater verdund met regenwater) tot het referentieniveau zoals dat was aan het begin van het experiment.

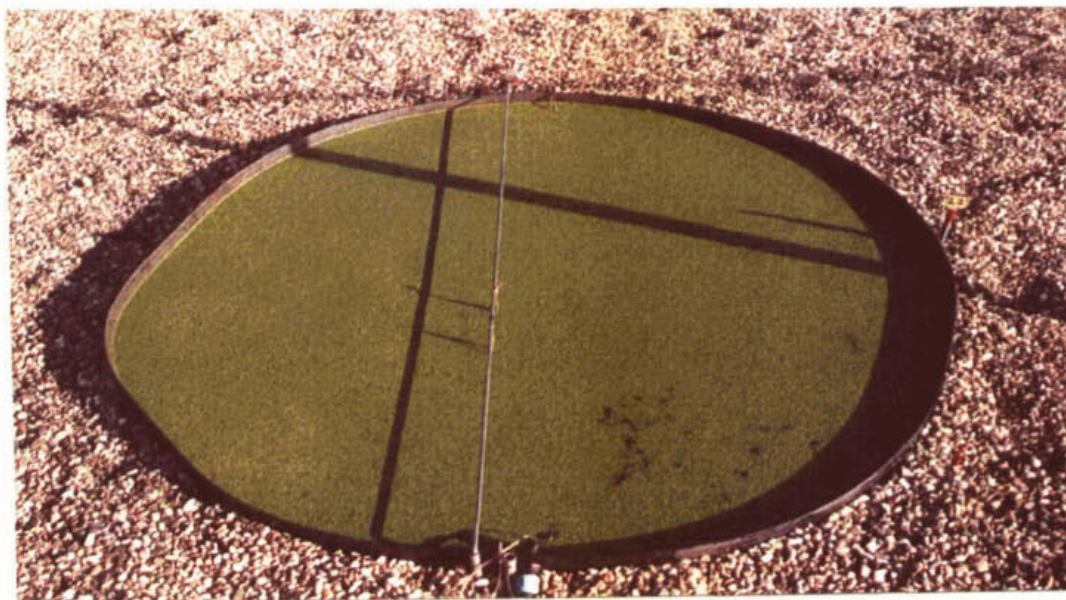
Het grondwater in de aquaria is verrijkt met stikstof en fosfaat. De stikstofconcentraties zijn gelijk gehouden. De fosfaatconcentraties verschilden. In twee aquaria (slootexperiment 1) was een streefwaarde beoogd van 0,5 mgP/l en 0.15 mgN/l. Om deze concentraties te bereiken is per liter 2.81 mg K₂HPO₄ en 0.43 mg NH₄NO₃ toegevoegd. In twee aquaria (slootexperiment 2) was een streefwaarde beoogd van 0,15 mgP/l en 0.15 mgN/l. Om deze concentraties te bereiken is per liter 0.84 mg/l K₂HPO₄ en 0.43 mg /l NH₄NO₃ toegevoegd.

Om de effecten op de diatomeeënsamenstelling te monitoren, is ook bij deze experimenten gebruik gemaakt van kunstmatige substraten. Hiervoor zijn objectglasjes gebruikt. In experimenten in proefsloten en mesocosms was hiermee al eerder ervaring opgedaan. Objectglasjes voldoen goed in stilstaande tot weinig stromende slootsystemen, zoals ook hier van toepassing is.

2.3.2 Verplaatsingsexperimenten

Er zijn drie verplaatsingsexperimenten uitgevoerd: twee vanuit een semi-veldsituatie (*Lemna*-cosms) naar het laboratorium (aquaria in klimaatkamer), en één van *Lemna*-cosms met het hoogste belastingniveau (belasting 1 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1) naar *Lemna*-cosms met het op één-na hoogste belastingniveau (belasting 0.5 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1). Daartoe werden in totaal 27 rekjes met ieder vier objectglasjes opgehangen in de verschillende aquaria en mesocosms. De objectglasjes werden 4 weken geïncubeerd. Na 4 weken werd een deel van de objectglasjes verhangen en

volgde een tweede incubatietijd van 4 weken. Tabel 2.5 geeft inzicht in de opzet van de verplaatsingsexperimenten. Alle experimenten zijn uitgevoerd in drievoud (3 x 4 objectglasjes; 4 objectglasjes vormen tezamen één monster).



Figuur 2.4: Mesocosm met een kroosdek, gebruikt voor uitwisselingsexperimenten.

Tabel 2.5: Verplaatsingsexperimenten in aquaria en mesocosms

Tijd is vermeld in dagen

exp nr.	N	t=0	t=28	T=56
1	3	hoge belasting cosm	aquaria laboratorium	Eindbemonstering
1	3	hoge belasting cosm	hoge belasting cosm	Eindbemonstering
1	3	aquaria laboratorium	aquaria laboratorium	Eindbemonstering
2	3	lagere belasting cosm	aquaria laboratorium	Eindbemonstering
2	3	lagere belasting cosm	lagere belasting cosm	Eindbemonstering
2	3	aquaria laboratorium	aquaria laboratorium	Eindbemonstering
3	3	hoge belasting cosm	lagere belasting cosm	Eindbemonstering
3	3	hoge belasting cosm	hoge belasting cosm	Eindbemonstering
3	3	lagere belasting cosm	lagere belasting cosm	Eindbemonstering

2.3.2 Fysisch-chemische bepalingen, monster- en dataverwerking

Wekelijks werden pH en Electrisch Geleidingsvermogen (EGV) van de aquaria bepaald. In het begin is ook wekelijks de alkaliniteit bepaald. In de loop van het experiment is overgegaan tot een extensievere bepaling van de alkaliniteit. Aan het einde van het experiment is het oppervlaktewater uit de aquaria en mesocosms geanalyseerd op hetzelfde parameterpakket als de beekmonsters uit de Hazelbeek en Hazelbekke (zie paragraaf 2.2.2).

Het aangroei van de objectglasjes werd aan de zijde die in contact had gestaan met het open water met een scheermesje afgeschraapt, waarna dezelfde procedure werd gevolgd als bij de behandeling van de monsters afkomstig uit de Hazelbeek en Hazelbekke (zie paragraaf 2.2.4).

De monsters werden als volgt gecodeerd (zie bijlage 4): de eerste twee posities geven het belastingniveau aan:

- 44: acht weken belastingniveau 4 (0,5 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1)
- 54: vier weken belastingniveau 5 (1 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1), daarna vier weken belastingniveau 4 (0,5 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1)
- 55: acht weken belastingniveau 5 (1 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1)
- 5L: vier weken belastingniveau 5 (1 mgP.l-1 en 0,1 mgN.l-1), daarna vier weken een lager niveau in het laboratorium (0,5 mgP/l en 0,15 mgN/l of 0,15 mgP/l en 0,15 mgN/l).
- LL: acht weken in aquaria in het laboratorium (0,5 mgP/l en 0,15 mgN/l of 0,15 mgP/l en 0,15 mgN/l).

De laatste vier posities van de codering duiden de nummers van de mesocosms en aquaria aan. Zo geeft 1312 aan dat het monster verplaatst is van mesocosm 13 naar mesocosm 12. De codering 1313 geeft aan dat het monster acht weken heeft geïncubeerd in cilinder 13. De codering 15LE duidt erop dat het monster verplaatst is van mesocosm 15 naar aquaria in het laboratorium op plek E (zie bijlage 4).

2.4 De ecologische meerwaarde van bufferstroken langs waterlopen

De veldmonitoring en verplaatsingsexperimenten, waarvan de opzet is beschreven in de voorgaande paragrafen, was gericht op de effecten van bufferstroken met betrekking tot hun zuiveringsfunctie. Naast deze zuiveringsfunctie kunnen bufferstroken echter ook een andere rol van betekenis vervullen en een ecologische meerwaarde geven aan het landbouwgebied. Er is via de literatuurzoeksystemen Webspurs en Agralin aan de hand van een trefwoordenlijst gezocht naar Nederlandse en buitenlandse literatuur over de betekenis van bufferstroken langs waterlopen als habitat en als verbindingszone voor planten en dieren. Een samenvatting van de onderzochte literatuur is opgenomen in dit rapport (paragraaf 4.4). De uitgebreidere teksten zijn opgenomen in bijlage 5.

3 Resultaten

3.1 Methodisch vooronderzoek in de Hazelbeek aan kunstmatige substraten

De touwen bleken veel detritus in te vangen. Dat was ook in het veld waarneembaar. Na 4 weken incubatie waren de oranje touwen bruin begroeid geraakt. Stenen en objectglasjes bevatten veel diatomeeën en groenwieren en weinig detritus. De tegels bevatten over het algemeen weinig materiaal. De hoeveelheden diatomeeën en groenwieren aanwezig op de touwen is variabel.

Na beide incubatieperioden herbergen de touwen de meeste soorten. Na de eerste incubatieperiode ligt de soortenrijkdom van de verticale tegels in dezelfde orde van grootte, na de tweede incubatieperiode is deze lager. De stenen (natuurlijke substraten) en objectglasjes zijn het meest soortenarm.

De natuurlijke substraten (stenen) verschillen van de kunstmatige substraten door de grote aantallen *Navicula minima*, een eutrafente soort. De kunstmatige substraten vertegenwoordigen de eerste stadia in de successie, terwijl de natuurlijke substraten (stenen) zich in een stadium verderop in de successiereeks bevinden, mogelijk zelfs in een evenwichtssituatie. Over het algemeen bevat de begroeiing van de kunstmatige substraten een combinatie van soorten van meso-oligo en eutrofe milieus.

Op grond van de twee bemonsteringscycli van kunstmatige substraten zijn de touwen als meest geschikte substraat gekozen voor monitoring van de epifytische diatomeeën.

De voordelen van het gebruik van propyleen touwen zijn:

- Het betreft "zwevende" substraten die van alle geteste substraten het minst aan verzanding onderhevig zijn. De zandverplaatsing in de Hazelbeek is namelijk vrij groot.
- De bemonstering kan door middel van het gebruik van vaste lengtes kwantitatief gebeuren.
- Ze kunnen met behulp van een metalen pin in de bodem gemakkelijk in de stroming worden gehangen.
- Ze kunnen gebruikt worden als simulatie van in de stroomdraad drijvende plantenstengels.

3.2 Experimenten met kunstmatige substraten in de Hazelbeek en in de kunstbeek

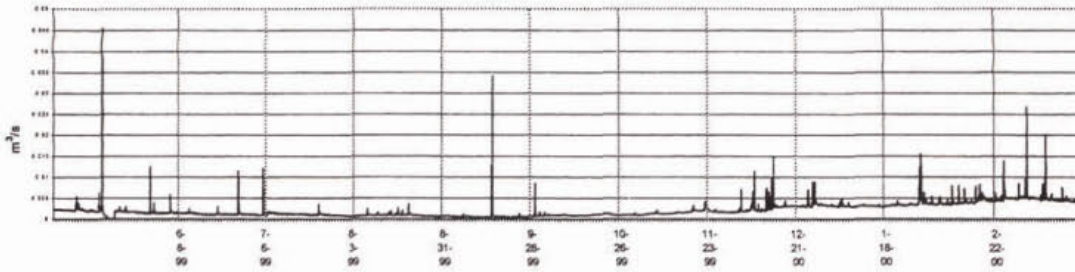
3.2.1 Hydrologie van het beekstelsel

In de figuren 3.1 en 3.2 zijn de afvoerpatronen en het Elektrisch Geleidingsvermogen (EGV) op de lokaties B en D weergegeven. Tevens is de neerslag ter plaatse van het vliegveld Twente (Twente) en ter plaatse van Tubbergen in de figuur opgenomen. In het verloop van de afvoer en het Elektrisch geleidingsvermogen zijn tevens op de x-as de bemonsteringsdata aangeduid. Het neerslagpatroon is deels te herkennen in het afvoerpatroon van de beek op lokatie B, zij het dat de hoogte van de pieken niet altijd naar verhouding overeenkomen.

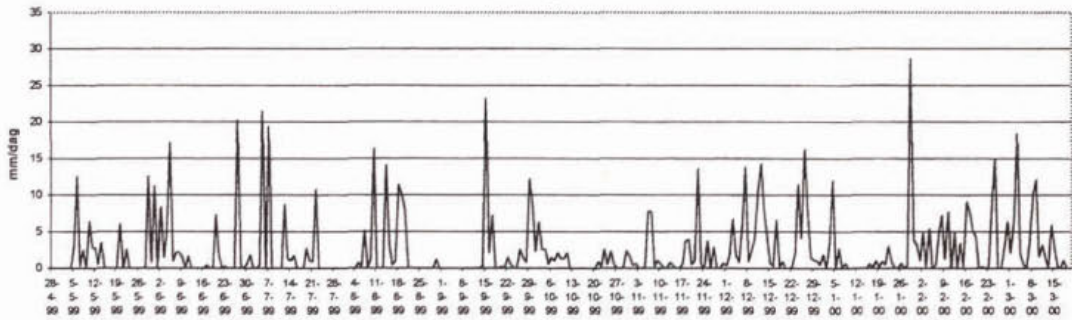
De hoge afvoer in mei lijkt niet samen te hangen met een hoge neerslaghoeveelheid, in ieder geval niet op de lokaties vliegveld Twente en Tubbergen. Uit de grafieken op lokatie B blijkt, dat een vergroting van de afvoer samenvalt met een verlaging van het Elektrisch Geleidingsvermogen. De afvoerpieken vallen samen met minima in Elektrisch Geleidingsvermogen. Geconcludeerd kan worden dat door een vergrote afvoer een verdunning van het beekwater met regenwater wordt veroorzaakt, hetgeen zich uit in een verlaging van het Elektrisch Geleidingsvermogen. Daarnaast laat het verloop van het Elektrisch Geleidingsvermogen op een aantal tijdstippen een kleinere of grotere toename zien in Elektrisch Geleidingsvermogen die niet samenvalt met een verhoging van de afvoer van de beek. Deze toenames in Elektrisch Geleidingsvermogen treden op in augustus en september. Op lokatie D treedt ook een verlaging op van het Elektrisch Geleidingsvermogen bij toename van de afvoer. Dit is echter niet altijd het geval: soms lijkt bij een hogere afvoer het Elektrisch Geleidingsvermogen ook toe te nemen. Daarnaast laat ook hier het verloop van het Elektrisch Geleidingsvermogen op een aantal tijdstippen een kleinere of grotere toename zien in Elektrisch Geleidingsvermogen, die niet samenvalt met een verhoging van de afvoer van de beek. Eind september treedt een grote toename op. Deze valt samen met een grote toename in dezelfde periode op lokatie B. Ook op lokatie D is het neerslagpatroon deels te herkennen in het afvoerpatroon, zij het dat net als op lokatie B, de hoogte van de pieken niet altijd naar verhouding overeenkomen.

Geconcludeerd kan worden dat het systeem in gedeelten van het jaar (winter en vroege voorjaar) een reactie vertoont op neerslag. In voorjaar, zomer en najaar is deze reactie veel geringer.

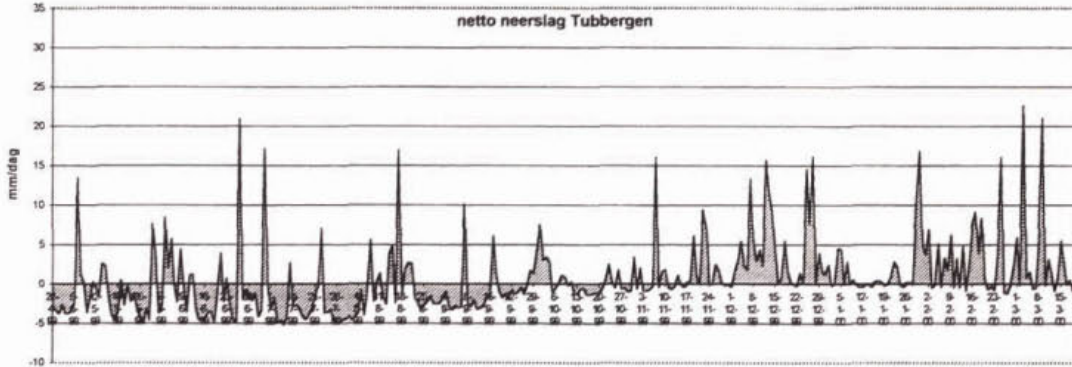
afvoerpatroon locatie B



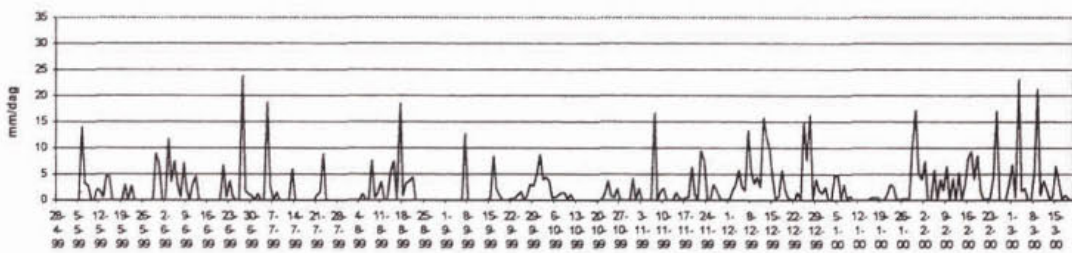
neerslag Twente



netto neerslag Tubbergen



neerslag Tubbergen



EGV patroon locatie B

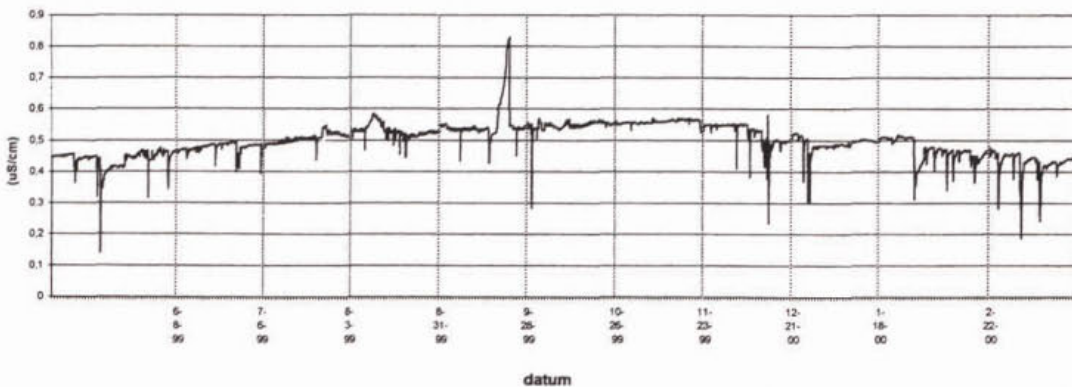


Fig. 3.1: Afvoer en elektrisch geleidingsvermogen van de Hazelbeek op locatie B en neerslag als functie van de tijd.

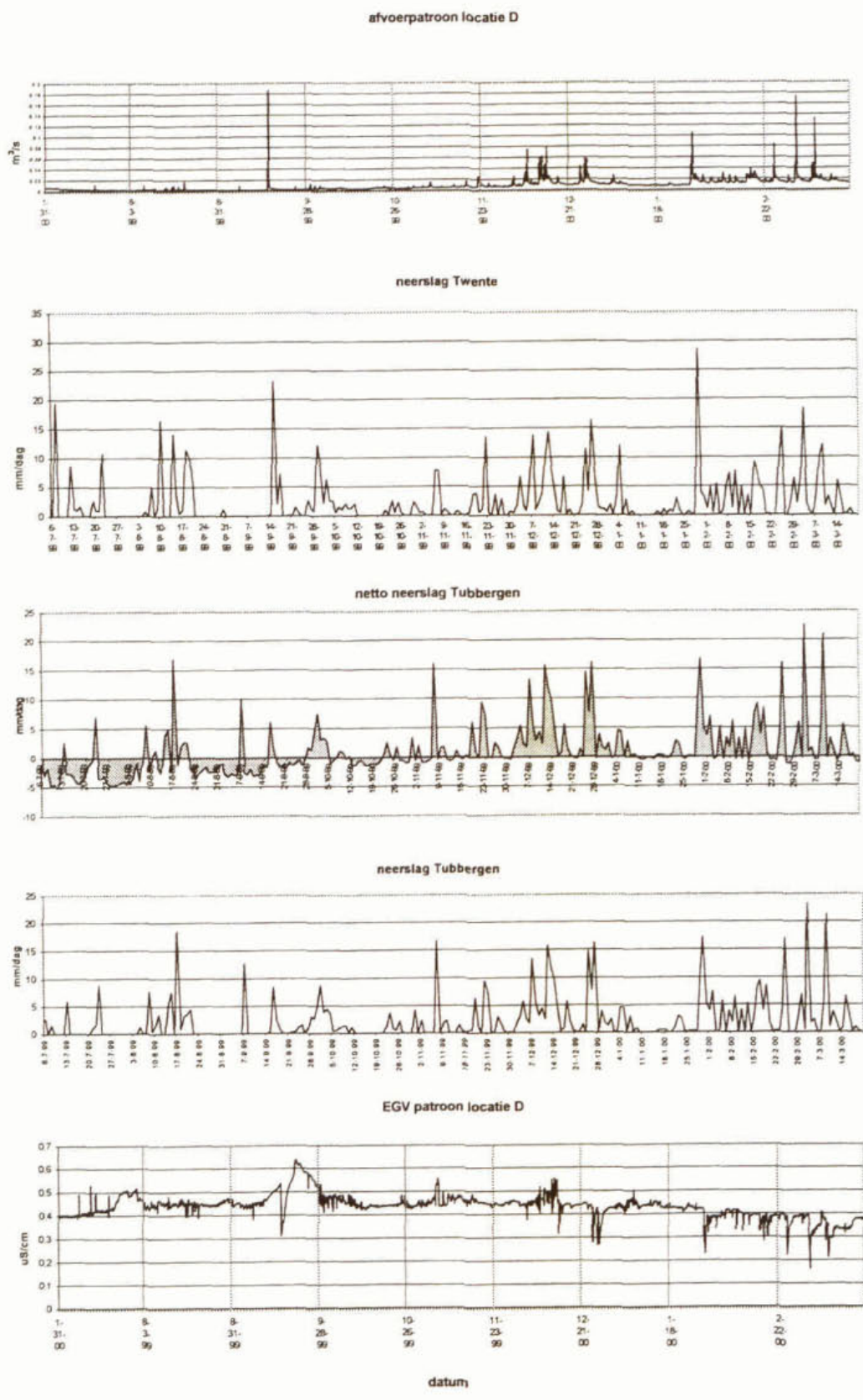


Fig. 3.2: Afvoer en elektrisch geleidingsvermogen in Hazelbekeke op locatie D en neerslag als functie van de tijd.

3.2.2 Chemie van het oppervlaktewater en ruimtelijke en temporele verschillen in nitraat

De chemie van het oppervlaktewater op de verschillende lokaties in het onderzoeksgebied is weergegeven in bijlage 5. Bijlage 5A presenteert van de drie onderzoekslokaties per variabele het gemiddelde met de standaardafwijking over de gehele onderzoeksperiode. Bijlage 5B presenteert van dezelfde variabelen de gemiddelden met standaardafwijking ten tijde van het uitwisselingsexperiment waarvan de monsters zijn gedetermineerd.

Lokatie B wordt gekarakteriseerd door een hoger calcium- en sulfaatgehalte dan lokaties A en D. Tevens is het ijzergehalte op lokatie B hoger, alsmede EGV_{25} en pH. De hogere calcium- en sulfaatgehalten op lokatie B leiden niet tot een ander watertype. Het watertype kan op alle lokaties getypeerd worden als water van het calciumsulfaattype. Calcium en sulfaat zijn respectievelijk de dominante kat- en anionen. Naast vermesting, kunnen de hoge sulfaatgehalten veroorzaakt zijn door oxidatie van pyriet in esgronden, een proces dat nog eens wordt versterkt door grondwaterstandsval. De ionenratio (IR: $Ca/Ca+Cl$) in relatie tot het Electrisch Geleidingsvermogen duidt op een grotere invloed van grondwater in het onderzoeksgebied, dan van regenwater.

De stikstof- en fosfaatgehalten in het oppervlaktewater zijn hoog en duiden op vermesting.

Figuur 3.3 presenteert de temporele en ruimtelijke verschillen in nitraatgehalten in de Hazelbeek ca. één maal per twee maanden gedurende één jaar. In augustus en oktober worden de laagste nitraatgehalten in de beek gemeten. In december nemen deze toe, waarna in maart, april en juni de hoogste waarden worden bereikt. Behalve deze temporele verschillen, is er in de beek een ruimtelijke gradient in nitraat waarneembaar. De nitraatgehalten nemen van bovenstrooms naar benedenstrooms eerst toe en daarna af. Het omslagpunt van toe- naar afname ligt juist bij monsterlokatie A (= lokatie 10 in figuur 3.3). De gradient in nitraat op 3 augustus (figuur 3.3) is representatief voor de nutriëntencondities zoals die heersten ten tijde van het veld-uitwisselingsexperiment. De stikstofgehalten op lokatie A zijn hoger dan op lokatie B, maar nemen stroomopwaarts van lokatie A sterk af. De fosfaatgehalten zijn lager op lokatie A ten opzichte van lokatie B (Bijlage 5B), maar de verschillen zijn klein.

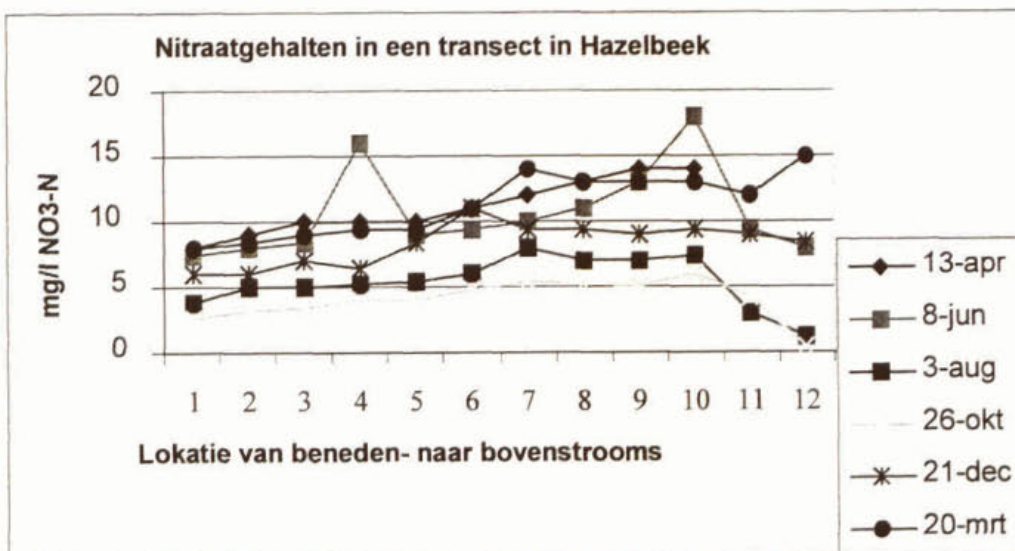


Fig. 3.3: Ruimtelijke en temporele verschillen in nitraat in de Hazelbeek. Lokatie 4 komt overeen met monsterlokatie B en lokatie 10 komt overeen met monsterlokatie A.

3.2.3 Soortensamenstelling diatomeeën

De resultaten van de determinaties en tellingen staan vermeld in bijlage 1, waarbij de soortcodes zoveel mogelijk overeenkomen met de zogenaamde DONAR-lijst (Sinkeldam et al, 1994). In bijlage 2 is een decoderingslijst van de in dit onderzoek aangetroffen taxa opgenomen en deze bijlage bevat tevens de ecologische indicatiewaarden volgens van Dam et al (1994). De bijbehorende legenda van deze indicatiewaarden staat vermeld in bijlage 3. Zeldzame taxa (pers. meded. van Dam) worden in deze lijst met een 'x' aangegeven, terwijl de vermelding 'n' nieuw voor Nederland betekent. In de tabel is tevens de trofie-index volgens Rott (in: Coring et al., 1999) aangegeven.

De aangetroffen diatomeeën in de monsters van lokaties A, B en D in Hazelbeek en Hazelbekke, blijken steeds te bestaan uit een mengeling van soorten van oligo-mesotrofe situaties enerzijds, en eutrofe situaties anderzijds. Voorbeelden van soorten van oligo-mesotrofe situaties zijn bijvoorbeeld *Pinnularia borealis* en *Achnanthes helvetica*. Soorten van eutrofe situaties zijn *Achnanthes lanceolata*, *Achnanthes lanceolata* ssp. *frequentissima* var. *magna* en *Achnanthes minutissima saprophila*. Daarnaast wordt een deel van de soorten gekenmerkt doordat zij met betrekking tot trofie zeer indifferent zijn. Ze kunnen zowel bij hoge als bij lage, als bij sterk wisselende fosfaatconcentraties voorkomen. De reeds genoemde *Achnanthes lanceolata* heeft ook zo'n tendens. Andere voorbeelden van soorten die onder sterk wisselende condities kunnen voorkomen zijn *Achnanthes minutissima* en *Eunotia bilunaris*. Naast een mengeling van oligo-mesotrafente, eutrafente en trofie-indifferentie soorten, vormt een kenmerk van de monsters op lokaties A en B de aanwezigheid van aerofiele soorten in de monsters. Dit wordt veroorzaakt door de ondiepte van de Hazelbeek in combinatie met opzanding. Het percentage aerofiele soorten in de Hazelbeek is

het grootste op lokatie B in de monsters vanaf eind augustus. Het aantal taxa is groter in Hazelbekke dan in de Hazelbeek. In de Hazelbeek is het aantal taxa vooral de twee helft van het bemonsteringsjaar groter op lokatie B dan op lokatie A. De abundanties van de aangetroffen diatomeeën kunnen door het seizoen sterk variëren. Het aantal bijzondere taxa is hoger in de Hazelbeek dan in Hazelbekke. In de Hazelbeek is het percentage bijzondere taxa hoger op lokatie A dan op lokatie B.

De trofie-index berekend voor de verschillende typen monsters volgens van Dam e.a. (zie bijlage 3) indiceert een lagere trofie van lokatie A ten opzichte van lokaties B en D (figuur niet opgenomen). Bij de trofie-indicatie volgens Rott zijn de verschillen veel kleiner, maar dezelfde tendens naar een lagere trofie op lokatie A is waarneembaar (figuur niet opgenomen). In tabel 3.1 is voor de verschillende typen monsters het gemiddelde van de soorten weergegeven, dat is betrokken bij de berekening er van. De overige soorten zijn indifferent ten aanzien van trofie of de trofie-indicatie waarde is onbekend. Dit percentage is groter op lokaties B en D dan op lokatie A. Echter, de grote standaardafwijkingen indiceren een grote variabiliteit.

Tabel 3.1: Percentage betrokken soorten bij de berekening van de trofie-index volgens van Dam e.a. (Bijlagen 2 en 3). Monsters DA en BA zijn verhangen van resp. lokaties D en B naar lokatie A.

Monster	Gemiddelde	SD
DD	50	8
DA	76	3
OO	65	6
AA	68	14
BA	76	4
BB	57	9

3.2.4 Multivariate analyse

De resultaten van de multivariate bewerking van de dataset worden weergegeven en in detail beschreven in bijlage 6. In de onderhavige paragraaf worden de belangrijkste conclusies uit bijlage 6 samengevat.

In het ordinatiediagram worden op de eerste as de verschillende lokaties (A, B en D) van elkaar gescheiden. De monsters afkomstig van eenzelfde lokatie worden vlak bij elkaar in het ordinatiediagram geplaatst. Dat betekent dat op grond van de soortensamenstelling monsters van één lokatie meer op elkaar lijken dan op de monsters afkomstig van een andere lokatie. De monsters van lokaties A en B lijken nog het meeste op elkaar en worden dan ook vlak naast elkaar in het diagram geplaatst.

Met de eerste (horizontale) as zijn vooral mangaan, natrium en opgelost ijzer gecorreleerd. De D-monsters, met een grotere variatie in en hogere gehalten aan natrium en ijzer, worden op de eerste as gescheiden van de A- en B-monsters. De A- en B-monsters vertonen een grotere variatie in en hogere gehalten aan mangaan. De tweede as is vooral gecorreleerd met nitriet, nitraat, kalium, ortho-fosfaat, alkaliniteit en calcium en met parameters die aan deze variabelen gecorreleerd zijn (totaal

stikstof, Elektrisch Geleidingsvermogen, chloride, sulfaat en silicium). De tweede (verticale) as kan geïnterpreteerd worden als een nutriëntenas. Op deze tweede as zijn stikstof (N-totaal, NO₂+NO₃ en NO₃) en ortho-fosfaat tegengesteld aan elkaar gecorreleerd. Deze schijnbare tegenstelling kan verklaard worden uit de variatie in nutriëntenconcentraties die samenvalt met de seizoenen. Bij lagere nitraatgehalten in zomer en herfst worden relatief hoge ortho-fosfaatgehalten aangetroffen. In winter en voorjaar nemen de nitraatgehalten in de beek toe en worden lagere gehalten aan ortho-fosfaat gevonden. Dat de tweede as de nutriëntenas is en niet de eerste as, betekent dat de variatie aan nutriënten op de lokaties groter is dan de verschillen in nutriëntengehalten tussen de lokaties.

De indexen die berekend zijn op basis van de aanwezige soorten in een monster, zijn in de analyse passief meegenomen. Een belangrijke index is de trofie-index. Deze is positief gecorreleerd met de eerste as. Dit hangt met name samen met het feit dat de A- en O-monsters kenmerkend zijn voor een lagere trofie-index in vergelijking met de B- en D-monsters (zie ook paragraaf 3.2.3).

Uit het ordinatiediagram met de taxa blijkt dat trofie-indifferentie soorten juist daar geplaatst zijn, waar de variatie in totaal fosfaat en stikstof het grootste is. Ze zijn dus gecorreleerd met sterk wisselende nutriëntenconcentraties. Deze trofie-indifferentie soorten - en dat zijn juist de soorten die goed tegen sterke wisselingen in milieucondities kunnen - spelen geen rol in de berekening van de trofie-index. Als gevolg van hun indifferentie hebben ze geen trofie-indicatiegetal.

In het ordinatiediagram geven de gemeten totaal- en ortho-fosfaat concentraties een ander beeld dan de op de soorten gebaseerde trofie-index. De gemeten fosfaat- en nitraatconcentraties geven een beeld van de jaarlijkse temporele variatie. De trofie-index is gebaseerd op informatie over de soorten en geeft de algehele situatie van een lokatie weer op middellange termijn.

3.2.5 Kunstbeek

De monsters die in de kunstbeek gehangen hebben, wijken sterk af van de overige monsters. Dit geldt zowel voor de monsters die 8 weken in de kunstbeek hebben gehangen (KK-monsters) als de monsters die na 4 weken verplaatst zijn van punt B naar de kunstbeek (BK-monsters). Dat ze zo sterk afwijken bleek ook na een eerste DCA-analyse ter bepaling van de gradiëntlengte: ze kwamen uiterst rechts in het ordinatiediagram te liggen, terwijl de overige monsters aan de linkerkant werd geplaatst (figuur niet opgenomen).

In de monsters uit de kunstbeek domineert één soort, namelijk *Achnanthes minutissima* var. *saprophila*. Dit is een soort die een hogere trofie indiceert dan *Achnanthes minutissima* (trofie volgens Rott e.a, zie Coring et al. (1999)). De gemeenschap aan diatomeeën in de kunstbeek is erg soortenarm. De pH in de kunstbeek is hoger dan in het veld op lokatie B, waar het water ten behoeve van het doorspoelen van de kunstbeek is verzameld, en het Elektrisch Geleidingsvermogen en de alkaliniteit zijn

lager dan in de veldsituatie. De wanden en bodem van de kunstbeek raakten gedurende het experiment begroeid met algen. Extra toevoer van fosfaat had geen invloed op de diatomeeënsamenstelling van de touwen in de kunstbeek. De touwen die verhangen werden van lokatie B naar de kunstbeek, namen volledig de samenstelling aan van de touwen die de gehele tijd in de kunstbeek hadden gehangen, dat wil zeggen *Achnanthes minutissima* var. *saprophila* werd de dominante soort.

Tabel 3.2: Abiotische parameters gemeten in de kunstbeek. De pH is gemeten na 10 min. stabilisatie.

Datum	220799	280799	040899	110899	010999	080999	230999	011099
pH	8,01	8	8,01	7,7	7,68	7,9	8,02	7,94
EGV	442	440	444	437	422	425	399	396
Alk meq/l	1,328	1,284	1,321	1,312	1,602	1,556	1,375	1,295

3.3 Experimenten met kunstmatige substraten in aquaria en mesocosms ("slootexperimenten")

De monsters die in de aquaria hebben gehangen wijken sterk af van de overige monsters. Dat laat een DCA-analyse goed zien: ze kwamen uiterst rechts in het ordinatiediagram te liggen, terwijl de monsters uit de mesocosms aan de linkerkant werden geplaatst (figuur niet opgenomen). De monsters die verplaatst zijn van de mesocosms naar de aquaria, werden er tussenin geplaatst.

In de aquaria is *Achnanthes minutissima* de dominante soort (bijlage 4). Dit is een zeer algemene diatomee van zoete wateren. Het aantal overige soorten is zeer laag. De monsters zijn zeer soortenarm. In de mesocosms is *Achnanthes hungarica* de dominante soort. Dit is een soort van hypertrofe wateren. De soort typeert het kroosmilieu zoals aanwezig in de mesocosms. Daarnaast is ook *Navicula minima* een karakteristieke soort. Deze komt veel voor in organisch verontreinigd, zuurstofarm water.

De mesocosms, waarin de verplaatsingsexperimenten zijn uitgevoerd (de twee hoogste niveaus, 4 en 5), verschillen van elkaar wat betreft de gehalten aan ortho-fosfaat, totaal-fosfaat en kalium in de waterlaag (tabel 3.3). Ondanks dat is de diatomeeënsamenstelling niet verschillend (Bijlage 4). In de mesocosms van beide belastingniveaus is *Achnanthes hungarica* de dominante soort. De nutriëntenbelasting op het een na hoogste niveau is reeds zodanig hoog, dat fosfaat geen beperkende factor is.

Tabel 3.3: Gehalten aan nutriënten die significant verschillen tussen de mesocosms van belastingniveau 4 en belastingniveau 5 (n=6).

Ortho-fosfaat-P	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Niveau 4	0,14	0,05
Niveau 5	0,68	0,23
Kalium		
Niveau 4	12,73	0,94
Niveau 5	19,28	3,25
Totaal-fosfaat		
Niveau 4	0,67	0,42
Niveau 5	2,12	0,89

Bij verplaatsing van de glaasjes van niveau 5 naar niveau 4, treden geen verschillen op in de samenstelling aan diatomeeën. In het ordinatiediagram worden de monsters uit de mesocosms van niveau 4, niveau 5 en de van 5 naar 4 verplaatste monsters tezamen geclusterd. De objectglaasjes die van mesocosms 5 naar de aquaria in het laboratorium zijn verplaatst, worden in het ordinatiediagram tussen de mesocosmonsters en de aquaria-monsters in geplaatst. Uit de soortenlijst (bijlage 4) blijkt dat deze monsters deels de diatomeeënbegroeiing aannemen van de aquaria - *Achnanthes minutissima* wordt dominant – maar ook een deel van de diatomeeënbegroeiing zoals aanwezig in de mesocosm, behouden. *Achnanthes hungarica* blijft onder meer op de kunstmatige substraten aanwezig.

3.4 De ecologische meerwaarde van bufferstroken langs watergangen

3.4.1 Inleiding

In het agrarisch gebied kunnen veel verschillende typen bufferstroken voorkomen. Hierin zijn de volgende hoofdtypen te onderscheiden (STOWA, 1998):

1. bemestings- of spuitvrije zones (ook wel perceels- of gewasranden genoemd)
2. terrestrische bufferstroken
3. (semi-)aquatische bufferstroken
- 4.

Deze typen zijn op hun beurt weer onder te verdelen in verschillende subtypen. Hiervoor wordt eveneens verwezen naar STOWA (1998). In dit rapport is vooral ingegaan op de zuiveringsfunctie die bufferstroken kunnen hebben bij de beperking van uit- en afspoeling van voedingsstoffen naar watergangen. Daarnaast kunnen bufferstroken functioneren als habitat en als verbindingsweg door het landschap voor vele soorten organismen (Boatman e.a., 1999). Ze kunnen een grote bijdrage leveren aan de biodiversiteit van het agrarisch gebied en de algemene natuur- en landschapskwaliteit van landbouwbedrijven.

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de overige functies die bufferstroken kunnen vervullen, naast de zuiveringsfunctie. Dit overzicht is gebaseerd op een literatuurstudie naar de ecologische eigenwaarde van bufferstroken. In het overzicht wordt vooral aandacht besteed aan de levensgemeenschappen die in een bufferstrook kunnen ontstaan en de natuurwaarde die daarmee samenhangt, en

aan het functioneren van bufferstroken als ecologische verbindingzone. De basisgegevens uit de literatuur, die aan deze paragraaf ten grondslag liggen, zijn samengevat in bijlage 5.

3.4.2 Resultaten

Bufferstroken algemeen

Sprengers & Terwan (1992) benoemen de belangrijkste factoren die bepalend zijn voor de levensgemeenschappen die zich in perceelsranden kunnen ontwikkelen. Deze factoren zijn: het grondgebruik in de perceelsrand, de intensiteit van het landbouwkundig gebruik van het perceel, de grondsoort, de hydrologie en als laatste, de aanwezigheid van kleine landschapselementen zoals sloten, houtwallen en wegbermen naast het perceel.

Onbemeste en onbespoten bufferstroken langs landbouwpercelen die extensief beheerd of uit productie genomen zijn, kunnen een goed biotoop vormen voor (zeldzame) akkeronkruiden (Smeding & Joenje, 1990; Joenje & de Snoo, 1995). Voor insecten, vogels en zoogdieren bieden bufferstroken schuil- voortplantings- en overwinteringsmogelijkheden en voedsel (Joenje & de Snoo, 1995; Dover, 1999). Een gevarieerde plantengroei is een belangrijke factor voor vogels. Permanente vegetaties als ook ruige vegetaties in de bufferstrook zijn voor insecten belangrijk als overwinteringshabitat en voor vogels en zoogdieren als dekking (Joenje & de Snoo, 1995). De dichtheid aan vlinders in bufferstroken is groter, naarmate het gebruik en beheer van de aangrenzende percelen extensiever is. Verminderde drift van bestrijdingsmiddelen heeft een positief effect op bloei van wilde plantensoorten en op de voortplanting van dagvlinders. Daarnaast bevordert de beschutting van de bufferstrook ook het voorkomen van vlinders (Dover, 1999).

Bufferstroken langs watergangen

1. *Perceels- of gewasranden*

Hiervoor geldt min of meer hetzelfde als voor bufferstroken in het algemeen: braakgelegde stroken of stroken met een ander gewas herbergen meer soorten akkeronkruiden dan gangbaar beheerde perceelsranden.

Onbespoten akkerranden (met graan) langs watergangen herbergen insecten in aanzienlijk hogere dichtheden dan bespoten akkerranden. Dit geldt met name voor vlinders, die profiteren van een grotere voedselbeschikbaarheid door de talrijke aanwezigheid van nectarplanten. Voor dagvlinders is de relatie tussen de perceelsrand en de slootkant belangrijk, in verband met overwinteringsmogelijkheden in de vaak meer grazige, veelal overblijvende vegetatietypen op de slootkant. Voor bodemfauna is er in de literatuur geen duidelijke positieve relatie met een geëxtensiveerd akkerrandenbeheer gevonden.

Bij de akkervogels lijkt vooral de Gele kwikstaart te profiteren van de aanwezigheid van onbespoten graanranden, vanwege de foerageerhoogte van deze soort en het gunstige voedselaanbod hoger in de vegetatie van de randstroken.

2. *Terrestrische bufferstroken*

Voor de flora (en ook fauna) is het moeilijk om uit de beschikbare gegevens (één onderzoek in één gebied) algemene conclusies te trekken. Uit het onderzoek van Rimmelzwaal en Voslamber (1996) bleek dat de grootste kwaliteit van de door hen onderzochte ruige bufferstroken in Flevoland niet lag op het botanische vlak, maar in de meerwaarde van de vegetatie voor de fauna, in de vorm van dekking, voedsel- en nestgelegenheid.

De bovengenoemde ruige randstroken in Flevoland leidden tot een hogere diversiteit aan insecten, met name bij de vlinders en libellen. Voor de dagvlinders dienen de ruige bufferstroken als voortplantings- en foerageergebied en daarnaast bieden ze beschutting. De twee laatstgenoemde functies gelden ook voor libellen, die bovendien een duidelijke voorkeur bleken te hebben voor de slootgedeelten met een ruige randstrook als foerageergebied.

Voor insectenetende zoogdieren en vogels bleek het voedselaanbod in de ruige randstroken in Flevoland groter en constanter dan in gangbaar beheerde perceelsranden.

De meeste muizensoorten en ook de kleine marterachtigen komen talrijker voor in ruige bufferstroken in Flevoland. Ook voor vogelsoorten van Riet en ruigtevegetaties zijn de ruige randstroken belangrijk als broed- en voedselgebied. Roofvogels en akkervogels zoeken er eveneens graag naar voedsel; de dichtheid aan foeragerende vogels bleek in de ruige randstroken zelfs drie maal zo hoog te zijn als in de gangbaar beheerde stroken.

3. *(Semi-)aquatische bufferstroken*

Poelen die in bufferstroken worden aangelegd bleken zich in Flevoland te ontwikkelen tot waardevolle, relatief voedselarme biotopen (in een zeer voedselrijke omgeving) voor flora en macrofauna.

4. *Natuurlijke vegetaties als bufferstroken*

Gevarieerde inrichting in combinatie met afgraving van de toplaag en hermeandering van twee Limburgse beken heeft geleid tot een aanzienlijke verhoging van de natuurwaarden in deze gebieden, zowel landschappelijk als op het gebied van flora en fauna. Na de inrichting zijn de ontwikkelingen op het gebied van vegetatie en fauna elkaar snel opgevolgd. Jaarrondbegrazing van deze gebieden zorgt voor instandhouding van een kleinschalige afwisseling van vegetatietypen, en remt de sterke bosontwikkeling wat af.

Conclusie:

Alle in dit hoofdstuk besproken vormen van bufferstroken lijken een duidelijke ecologische meerwaarde te hebben ten opzichte van gangbaar beheerde randstroken in het agrarisch gebied. Een breed scala aan flora- en faunagroepen profiteert van een extensivering van het beheer van de bufferstroken. Bufferstroken met een natuurlijke vegetatie, een gevarieerde inrichting en een extensief beheer herbergen de grootste diversiteit aan organismen.

4 Discussie en synthese

Proefopzet

De proefopzet was gericht op het beantwoorden van de vraag, wat de ecologische effecten zijn van bufferstroken. De overige vragen die bij aanvang van het gehele project gesteld zijn – te weten werken bufferstroken als het gaat om de verwijdering van fosfaat en stikstof, wat zijn de verwijderingspercentages en wat zijn de principes volgens welke bufferzones werken en welke processen spelen een rol – zijn beantwoord middels een uitgevoerde literatuurreview naar (inter)nationale kennis omtrent bufferstroken en de relevantie van deze kennis voor de Nederlandse situatie (STOWA, 1998).

Om de ecologische effecten van bufferstroken te onderzoeken, was bij aanvang van het onderzoek een opzet beoogd, waarin vergelijkend onderzoek zou worden uitgevoerd in twee, op een aantal belangrijke criteria vergelijkbare beeklopen en sloten waarvan de een begrensd was door aanliggende bufferstroken en de ander niet. Deze onderzoeksopzet bleek niet haalbaar. Potentiële onderzoekslocaties die we verkend hebben, bleken altijd op meerdere belangrijke aspecten van elkaar te verschillen dan alleen op het criterium van de aan- of afwezigheid van bufferstroken. Dat was ook in het onderzoeksgebied Hazelbekke het geval. De Hazelbeek was niet vergelijkbaar met beide andere bovenlopen van het beekstelsel. De noordelijke tak leek in eerste instantie geschikt als onderzoeksgebied voor een situatie waarin bufferstroken ontbraken, maar door een veranderde hydrologie (droogval) bleek de vergelijkbaarheid met de Hazelbeek te klein geworden. De droogval was bovendien een probleem voor de toepassing van kunstmatige substraten. Daarom zijn, om de effecten van bufferstroken te simuleren, veldexperimenten uitgevoerd. In deze veldexperimenten is gebruik gemaakt van kunstmatige substraten en zijn deze substraten, om de effecten van een bufferstrook na te bootsen, verhangen van een lokatie met een hoger nutriëntengehalte naar een lokatie met een, in geringe mate, lager nutriëntengehalte. De experimenten waren gericht op het bestuderen van de ecologische effecten van dergelijke geringe verschillen in nutriëntengehalten. In plaats van lokaties met en zonder bufferstroken te vergelijken, zijn dus lokaties onderzocht die in geringe mate verschilden in trofiegraad. Door de genoemde methodische problemen, is de vraag, wat de ecologische effecten zijn van bufferstroken, niet beantwoord. Wel is de vraag die hieraan ten grondslag ligt beantwoord. Deze vraag heeft betrekking op de ecologische effecten van een geringe verlaging van de trofiegraad. Uit de getoetste methodiek komen aanbevelingen voor monitoring van deze effecten.

Kunstmatige substraten

Polypropyleen touwen worden vaker als kunstmatige substraten voor monitoring van algen gebruikt (Goldsmith, 1997; Kelly et al., 1998; Salden, 1978; Snoeijts & Simenstad, 1995). De voordelen omvatten een gemakkelijke verankering in de bodem, een goede mogelijkheid voor kwantificering van de monsters in de vorm van vaste lengtes en het vrij zwevend en drijvend zijn van de substraten in de beek. Dit

laatste kon echter niet verhinderen dat de verzanding van de touwen in de Hazelbeek toch groter was dan verwacht. Het vrij zwevend en drijvend zijn van de substraten had als effect dat ook aerofiele soorten deel uitmaakten van de begroeiing aan diatomeeën op de touwen.

Nutriëntendynamiek

Het onderzoeksgebied blijkt qua nutriënten een zeer dynamisch systeem te zijn. In augustus en oktober zijn de nitraatgehalten van het oppervlaktewater in de beek het laagst. In december nemen deze waarden toe en in maart, april en juni worden de hoogste waarden aangetroffen. Nitraat spoelt gemakkelijk uit de bodem vanwege de hoge oplosbaarheid en de negatieve lading van het ion, waardoor de adsorptie aan bodempartikels beperkt is. Bovendien zijn de hydrologische systemen in Noordoost-Twente gering van omvang en zijn de hellingen relatief steil, waardoor de transportsnelheden van het grondwater hoog zijn en de verblijftijden kort. Deze korte verblijftijden leiden niet tot een volledige verwijdering van nitraat (Schmidt, 2000). De nitraatgehalten in het grondwater van Hazelbekke blijken geen directe relatie te hebben met bemesting van de nabijgelegen landbouwgronden (Hefting, in prep). De nitraatgehalten in het oppervlaktewater van de Hazelbeek worden vooral regionaal bepaald. Hierdoor is de variatie in nitraatgehalten sterk seizoenaal. De gehalten zijn laag in de zomer, wanneer de grondwaterstanden laag zijn, en hoog in de winter, wanneer de grondwaterstanden hoog zijn. De variatie in orthofosfaat is eveneens sterk seizoenaal bepaald, maar de gehalten zijn juist hoger in de zomer en lager in de winter. Dit wordt veroorzaakt door een hogere uitspoeling van fosfaat uit ondiepe bodemlagen in de zomer. Een dergelijk seizoenaal patroon van hoge orthofosfaatgehalten in de zomer en juist lage gehalten aan nitraat en het omgekeerde in de winterperiode, werd ook gevonden in andere beken in Noordoost-Twente door Schmidt (2000).

Uit dit onderzoek blijkt dat het beekstelsel op basis van hydrologie en ionenratio van het oppervlaktewater een grotere invloed van grondwater lijkt te ontvangen dan van regenwater. Dit komt overeen met hetgeen gesteld is in de voorgaande alinea, namelijk dat de waterkwaliteit in de beek vooral gerelateerd is aan de kwaliteit van het ondiepe grondwater. In tegenstelling daarmee lijkt de constante kwaliteit van het grondwater in de peilbuizen, zoals gemeten door de Universiteit van Utrecht (Hefting, mond. med.). De oorzaak daarvan en de precieze werking van het hydrologisch systeem is nog onduidelijk. In het beekdal is de kwel enorm. Deze kwel treedt voornamelijk uit in de bufferstrook (Hefting, mond. med.).

Lokatie A ligt bovenstrooms van de instroom van de bovenste erosiegeul. Deze geul vormt een verbinding van de beek met de maisakker op de aangrenzende, hoger gelegen es. Ter hoogte van lokatie A en de bovenste erosiegeul is de bodem van de oever van de beek verzadigd. In het ter hoogte van deze plaats onderzochte transect van maisakker naar beek door de bufferstrook, bleek geen afname van nitraat plaats te vinden (Hefting, mond. med.). Verder stroomafwaarts vond wél afname plaats van nitraat van maisakker naar beek door de bufferstrook. Deze afname wordt vooral veroorzaakt door verdunning met schoner grondwater, dat nabij de beek opbolt. Lokatie A ligt bovenstrooms van de waterverzadigde plek en de bovenste erosiegeul,

maar wordt waarschijnlijk hier nog wel door beïnvloed (Fig. 3.3). Benedenstrooms van lokatie A nemen de nitraatgehalten in de beek af door verdunning met schoner grondwater. Ook bovenstrooms worden meestal lagere nitraatgehalten gemeten. Qua nutriëntengehalten was het beter geweest als monsterlokatie A nog meer bovenstrooms was gekozen, omdat bovenstrooms de nitraatgehalten afnemen. Lokatie A lag echter nog slechts 10 m van de bosrand verwijderd. Een lokatie meer bovenstrooms had daarmee ongewenste andere effecten gehad in de vorm van meer licht.

Soortensamenstelling diatomeeën

De aangetroffen diatomeeën in de monsters van de lokaties A, B en D in Hazelbeek en Hazelbekke blijken steeds te bestaan uit een mengeling van groepen soorten met een verschillende indicatiewaarde. Het gaat om oligo-mesotrafente soorten, eutrafente soorten, trofie-indifferenten soorten die onder sterk wisselende condities kunnen voorkomen en aerofiele soorten. Juist de trofie-indifferenten soorten komen voor op lokaties met sterk wisselende, hoge nutriëntenconcentraties. Het aantal bijzondere taxa is hoger in de Hazelbeek (lokatie A en B) dan in Hazelbekke (lokatie D). Dit komt overeen met hetgeen gevonden is in onderzoek naar de biologische en fysisch-chemische toestand van bronnen in Noordoost-Twente (AquaSense, 1998). In de Hazelbeek is het percentage bijzondere taxa hoger op lokatie A dan op lokatie B. De abundanties van de aangetroffen diatomeeën kunnen door het seizoen sterk variëren.

Veldexperimenten

De ecologische effecten van veld- en laboratorium-experimenten zijn gemonitord aan de hand van de diatomeeënsamenstelling op kunstmatige substraten. In het beeksysteem zijn daarvoor drijvende touwen gebruikt, in de experimenten in mesocosms objectglasjes. Bij verplaatsing in de Hazelbeek en Hazelbekke namen de verplaatste touwen volledig de samenstelling aan diatomeeën over, zoals die op die lokatie aanwezig was. Van enige vertraging in deze veranderingen was geen sprake. De kunstmatige substraten die van de mesocosms verplaatst zijn naar aquaria in het laboratorium, nemen deels de diatomeeënbegroeiing aan van de aquaria, maar behouden ook voor een deel de begroeiing uit de mesocosms. De vertraging in de veranderingen bij deze experimenten is veel groter dan in de uitgevoerde experimenten in de beek en in de kunstbeek. Het ontbreken van enige vertraging in de beekexperimenten kan worden toegeschreven aan de aanwezigheid van stroming. In de mesocosms en aquaria is stroming afwezig.

De objectglasjes die verplaatst zijn van het hoogste nutriënteniveau naar het een-na-hoogste nutriënteniveau in de mesocosms, bleken dezelfde diatomeeënsamenstelling te houden. Op beide niveaus zijn de fosfaatgehalten zodanig hoog, dat fosfaat geen beperkende factor is en op beide niveaus wordt het fysisch en chemisch milieu sterk bepaald door de aanwezigheid van een afsluitend kroosdek.

In de Hazelbeek wordt lokatie A gekenmerkt door een diatomeeënsamenstelling die een lagere trofie indiceert dan de diatomeeënsamenstelling op lokaties B en D. Deze lagere trofie komt niet tot uiting in de gemeten nutriëntengehalten. De verschillen

hierin zijn maar klein. Het uitgevoerde onderzoek laat zien dat verplaatsing van kunstmatige substraten effecten heeft op de soortensamenstelling van diatomeeën op deze substraten. De substraten nemen de samenstelling ter plaatse over. Verplaatsing naar lokatie A betekent een verandering naar een diatomeeënsamenstelling, die indicatief is voor een lagere trofiegraad. In de laboratoriumexperimenten spelen mogelijk ook andere factoren dan nutriënten een rol.

Op basis van deze studie kan geconcludeerd worden, dat veranderingen in trofie bestudeerd kunnen worden aan de hand van de soortensamenstelling en de abundanties van diatomeeën op kunstmatige substraten. Als bufferstroken werken, hebben deze effecten op nutriëntengehalten en trofie van het aanliggende oppervlaktewater. Om effecten hiervan op de levensgemeenschap te bestuderen, dient de aandacht uit te gaan naar de primaire producenten in het ecosysteem, aangezien zij van de verschillende organismengroepen het meest direct zullen reageren. In beeksystemen, waarin macrofyten een ondergeschikte rol spelen in het ecosysteem, zijn van de primaire producenten de algen een belangrijke groep. Van de algen heeft de uitgevoerde studie zich beperkt tot de diatomeeën. De effecten van bufferstroken op macrofauna verlopen indirect via andere factoren, zoals verandering in habitats (STOWA, 1998).

Experimenten in het laboratorium

De laboratoriumexperimenten laten zien dat de condities in het laboratorium ondanks de genomen maatregelen om de veldsituatie na te bootsen, toch sterk verschillen van de veldsituatie.

In de aquaria in de laboratoria is de situatie met betrekking tot zuurstof anders dan in de door kroos gedomineerde mesocosms. Soorten met een relatief grote zuurstofbehoefte vinden we wél in de aquaria en niet in de mesocosms.

Uit het ontbreken van ecologische effecten van de toevoeging van fosfaat aan het oppervlaktewater in de kunstbeek, blijkt dat fosfaat daaraan voorafgaand en dus ook in de veldsituatie niet beperkend is voor primaire producenten.

Werking van bufferstroken

Uit het onderzoek van de Universiteit van Utrecht (voorlopige resultaten, Hefting, mond. med.) blijkt dat er een behoorlijke verwijdering van stikstof plaats vindt in de bufferstrook. De gehalten aan nitraat in het grondwater zijn echter extreem hoog. Gehalten van 50-60 mg NO_3^- -N/l zijn geen uitzondering. Ter hoogte van lokatie A vindt geen afname plaats van nitraat in het grondwater binnen de bufferstrook. Verder stroomafwaarts vindt wél afname plaats. Door de korte verblijftijden en als gevolg van de grote nitraataanvoer naar de bufferstrook, treedt in een deel van de bufferstrook en onder omstandigheden van hoge nitraatbelasting onvolledige denitrificatie op (Hefting, mond. med.).

Concluderend kan gesteld worden, dat ondanks vermindering van de nitraatgehalten door de bufferstrook, de resterende belasting vanuit de landbouw en de regionale belasting via het grondwater nog steeds hoge nitraatgehalten veroorzaken in de Hazelbeek. Ook uit het uitgevoerde literatuuronderzoek (STOWA, 1998) is destijds de conclusie getrokken dat het bij de evaluatie van de werking van bufferstroken niet alleen gaat om de mate van reductie teweggebracht door de bufferstrook, maar ook

om de grootte van de resterende stikstof- en fosfaatbelasting van het oppervlaktewater.

Ecologische meerwaarde van bufferstroken

De verschillende onderzoeken die in dit hoofdstuk aan bod zijn gekomen, zijn zeer uiteenlopend voor wat betreft doelstelling en opzet. Ook de typen onderzochte bufferstroken en de inrichting en het beheer ervan verschillen onderling sterk. Daardoor is het niet mogelijk om uit de onderzochte literatuur algemeen geldende conclusies af te leiden voor alle typen bufferstroken. Wel kunnen per hoofdtype conclusies worden getrokken, die in een aantal gevallen slechts een beperkte reikwijdte hebben, omdat ze betrekking hebben op onderzoek in één gebied of op één of enkele soorten of groepen organismen. Het beeld dat hier geschetst wordt van de ecologische meerwaarde van bufferstroken langs watergangen is derhalve niet volledig. Door de tijdbeperving was het ook niet mogelijk om alle 'grijze' literatuur te achterhalen. Over de functie van bufferstroken langs watergangen als verbindingzone is in de beschikbare literatuur weinig informatie gevonden.

Het uitgevoerde literatuuronderzoek geeft aan, dat bufferstroken een duidelijke ecologische meerwaarde lijken te hebben ten opzichte van gangbaar beheerde randstroken in het agrarisch gebied. Een breed scala aan flora-en faunagroepen profiteert van een extensivering van het beheer van de bufferstroken. Bufferstroken met een natuurlijke vegetatie, een gevarieerde inrichting en een extensief beheer herbergen de grootste diversiteit aan organismen. Concluderend kan gesteld worden, dat de aanleg van bufferstroken vanuit ecologisch oogpunt alléén reeds een zeer zinvolle zaak is. Dat bufferstroken daarbij dan tevens een bijdrage leveren aan de vermindering van de belasting van het oppervlaktewater, is een bijkomend voordeel.

5 Conclusies

Waterkwaliteit in de Hazelbeek

1. Op basis van hydrologie en ionenration blijkt het onderzochte beekstelsysteem een grotere invloed van grondwater te ontvangen dan van regenwater.
2. Nitraat wordt vooral aangevoerd door het ondiepe grondwater. De variatie in nitraat is sterk seizoensaal: laag in de zomer en hoog in de winter.
3. De variatie in orthofosfaat is eveneens sterk seizoensaal, maar omgekeerd: hoog in de zomer en lager in de winter.

Diatomeeën

4. Als bufferstroken werken, hebben deze effecten op nutriëntengehalten en trofie van het aanliggende oppervlaktewater. Om de effecten hiervan op de levensgemeenschap te bestuderen, dient de aandacht uit te gaan naar de primaire producenten in het ecosysteem, aangezien zij van de verschillende organismengroepen het meest direct zullen reageren.
5. De effecten van verschillen in trofie en nutriëntengehalten blijken bestudeerd te kunnen worden aan de hand van de soortensamenstelling en abundanties van diatomeeën op kunstmatige substraten.
6. De toegepaste touwen voldoen goed als kunstmatige substraten voor monitoring van diatomeeën in beken.
7. Het uitgevoerde onderzoek laat zien dat verplaatsing van kunstmatige substraten van lokaties met hoge naar lokaties met een lagere trofiegraad, positieve effecten heeft op de soortensamenstelling van diatomeeën op deze substraten.
8. Er is een discrepantie tussen de trofie-indicatie van de diatomeeën en de indicatie van de nutriëntengehalten. De nutriëntengehalten vertonen een sterk seizoensaal verloop (temporeel). De trofie-indicaties op basis van de diatomeeën geven juist verschillen aan tussen de onderzoekslokaties (ruimtelijk).

Experimenten

9. De resultaten van de laboratoriumexperimenten vallen tegen, in die zin dat de condities, ondanks genomen maatregelen, toch sterk verschillen van de veldsituatie.
10. Bij de uitwisselingsexperimenten in de mesocosms en aquaria treden effecten vertraagd op. De aanpassing van de levensgemeenschap aan de nieuwe condities voltrekt zich niet meteen. Bij de de uitwisselingsexperimenten in de beek en kunstbeek treedt deze vertraging niet op. Dit laatste kan worden toegeschreven aan de effecten van stroming.

Bufferstroken

11. Bufferstroken blijken een duidelijke ecologische meerwaarde te hebben ten opzichte van gangbaar beheerde randstroken in het agrarisch gebied. Een natuurlijke vegetatie, een gevarieerde inrichting en een extensief beheer stimuleren de diversiteit aan flora en fauna.

6 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Verder onderzoek aan bufferstroken is vooral aan te bevelen in multidisciplinair verband en op ecosysteem- en regionaal niveau. Bij de evaluatie van het functioneren van bufferstroken is het namelijk belangrijk om aan te geven wat de bijdrage is van de vermindering van de belasting teweeggebracht door de bufferstrook, in relatie tot de totale belasting van het aquatisch systeem. Daartoe dienen nutriëntenbalansen te worden opgesteld. Daarnaast dient de vraag te worden beantwoord, wat het rendement is van een dergelijke vermindering van de belasting en welke ecologische effecten en verbetering van het aquatisch systeem dit oplevert. Daarvoor is een multidisciplinaire aanpak noodzakelijk.

7 Dankwoord

De auteurs danken Natuurmonumenten voor hun toestemming om maandelijks in hun terrein te meten. Waterschap Regge en Dinkel heeft de analyses van het oppervlaktewater van Hazelbeek en Hazelbekke verricht, waarvoor onze hartelijke dank. Adrienne Mertens danken wij voor de taxonomische controle van enige diatomeeëntaxa. Verder gaat onze dank uit naar Herman van Dam (AquaSense) en Gertie Schmidt (Waterschap Regge en Dinkel) voor hun inhoudelijke inbreng.

Literatuur

- AquaSense, 1998. Huidige biologische en fysisch-chemische toestand van bronnen in Noordoost-Twente. In opdracht van Waterschap Regge en Dinkel. 86 pp. + Bijlagen.
- Biggs, B.J.F., R.J. Stevenson & R.L. Lowe, 1998. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Arch. Hydrobiol.* 143: 21-56.
- Boatman, N.D., D.H.K. Davies, K. Chaney, R. Feber, G.R. de Snoo & T.H. Sparks, 1999. Aspects of Applied Biology 54. Field margins and buffer zones: Ecology, Management and Policy. Association of Applied Biologists, Warwick, U.K.
- Braak, C.J.F. ter, 1986. Canical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- Braak, C.J.F. ter, 1987. CANOCO -a FORTRAN program for canonical community ordination by partial detrended canonical correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). 95 pp. Wageningen.
- Buys, J., Oosterveld, E., Ellenbroek, F. & Bleumink, H., 1997. Braaklegging biedt mogelijkheden om natuurwinst te behalen in akkerbouwgebieden. *De Levende Natuur* 98(6): 208-213.
- Coring, E., S. Schneider, A. Hamm & G. Hofmann, 1999. Durchgehendes Trophie-system auf der Grundlage der Trophieindikation mit Kieselalgen. Text und Anhang. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
- Critchley, C.N.R., D.J. Hodkinson & S.E. McKenzie, 1999. Potential benefits to water voles (*Arvicola terrestris*) of waterside bufferstrips in an agri-environment scheme. In: N.D. Boatman, D.H.K. Davies, K. Chaney, R. Feber, G.R. de Snoo & T.H. Sparks, 1999. Aspects of Applied Biology 54. Field margins and buffer zones: Ecology, Management and Policy. Association of Applied Biologists, Warwick, U.K.
- Dam, H. van, A. Mertens & J. Sinkeldam, 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 117-131.
- Dover, J.W., 1999. Butterflies and field margins. In: N.D. Boatman, D.H.K. Davies, K. Chaney, R. Feber, G.R. de Snoo & T.H. Sparks, 1999. Aspects of Applied Biology 54. Field margins and buffer zones: Ecology, Management and Policy. Association of Applied Biologists, Warwick, U.K.
- Goldsmith, B., 1997. A rationale for the use of artificial substrates to enhance diatom-based monitoring of eutrophication in lowland rivers. Working Paper No. 14. Environmental Change Research Centre. University College. London. 8 pp.
- Hefting, M.M. & J.J.M. de Klein, 1998. Nitrogen removal in bufferstrips along a lowland stream in the Netherlands: a pilot study. *Environmental pollution* 102: 521-526.
- Higler, L.W.G. & P.F.M. Verdonschot, 1993. Stream valleys as wetlands. *Hydrobiologia* 265: 265-279.
- Joenje, W. & G. R. de Snoo, 1995. Akkerrandenbeheer: kansen voor flora en fauna. In: G. R. de Snoo, A.J.W. Rotteveel & H. Heemsbergen, 1995. Akkerranden in

- Nederland. Lezingen en posterpresentaties van de studiedag akkerranden. Werkgroep Akkerranden, Wageningen/Leiden.
- Kelly, M.G., A. Cazaubon, E. Coring, A. Dell'Uomo, L. Ector, B. Goldsmith, H. Guasch, J. Hürlimann, A. Jarlman, B. Kawecka, J. Kwandrans, R. Laugaste, E.-A. Lindstrøm, M. Leitao, P. Marvan, J. Padisak, E. Pipp, J. Prygiel, E. Rott, S. Sabater, H. van Dam & J. Vizinet, 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *J. Appl. Phycology* 10: 215-224.
- Klein, J.J.M. & M.M. Hefting, 1997. Nitrogen dynamics in bufferstrips along lowland streams. In: *Eutrophication research* (ed. R. Roijackers, R.H.Aalderink & G. Blom). Proc. Symp.dd. 28-29 august, 1997.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot, 1986-1991. Bacillariophyceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (red.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 2/1-4. Fischer, Stuttgart.
- Krammer, K., 1992. *Pinnularia*. Eine Monographie der Europäischen Taxa. *Bibliotheca Diatomologica* 26. J. Cramer, in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin, Stuttgart.
- Leeuw, J. de, G.R. de Snoo, W.L.M. Tamis & R.J. van der Poll, 1995. Effecten van akkerrandbeheer op de biodiversiteit van de insektenfauna. In: G. R. de Snoo, A.J.W. Rotteveel & H. Heemsbergen, 1995. Akkerranden in Nederland. Lezingen en posterpresentaties van de studiedag akkerranden. Werkgroep Akkerranden, Wageningen/Leiden.
- Maris, W., 1995. Demoproject randenbeheer voor de Patrijs. In: G. R. de Snoo, A.J.W. Rotteveel & H. Heemsbergen, 1995. Akkerranden in Nederland. Lezingen en posterpresentaties van de studiedag akkerranden. Werkgroep Akkerranden, Wageningen/Leiden.
- Maris, M., B. Peters & G. Kurstjens, 1998. De Vloedgraaf in de gemeente Susteren: een voorbeeld van een natuurlijk ingericht beekdal en een blik op de toekomst van het natuurlijke bekenbeheer. Waterschap Roer- en Overmaas en Stichting Ark, Sittard.
- Maris, M., B. Peters & G. Kurstjens, 1999. De Maasnielderbeek in Roermond: ervaringen met natuurlijke inrichting en begrazingsbeheer. Waterschap Roer- en Overmaas en Stichting Ark, Sittard.
- Maris, M. & G. Kurstjens, 1999. Grote grazers in kleine beekdalen. Natuurontwikkeling in drie beekdaltrajecten in Zuid- en Midden-Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 88: 192-200.
- Pancras, S.A.M., 1995. Akkerrandenbeheer in de Provincie Gelderland. In: G. R. de Snoo, A.J.W. Rotteveel & H. Heemsbergen, 1995. Akkerranden in Nederland. Lezingen en posterpresentaties van de studiedag akkerranden. Werkgroep Akkerranden, Wageningen/Leiden.
- Remmelzwaal, A.J. & B. Voslamber, 1996. In de Marge- een onderzoek naar ruimte voor de natuur op landbouwbedrijven. Flevobericht nr. 390. Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied.
- Salden, N., 1978. Beiträge zur Ökologie der Diatomeen (Bacillariophyceae) des Süßwassers. *Decheniana Beih.* 22: 238 pp.
- Schmidt, G., 2000. Ontwikkelingen in de waterkwaliteit van acht laaglandbeken. Een onderzoek naar effecten van gebiedsgericht beleid op de waterkwaliteit van acht

- laaglandbeken in Noordoost Twente. Waterschap Regge en Dinkel, 91 pp. + bijlagen.
- Siepel, H., J. Burgers, R.J.M. van Kats, D.R. Lammertsma & A.P. Noordam, 1996. De bijdrage van verruigde akkerranden aan de biodiversiteit van het landelijk gebied in Zuidelijk Flevoland. IBN-rapport 215. IBN, Wageningen.
- Sinkeldam, J.A., H. van Dam, A. Mertens, F.A.C. Kouwets & K. Everards, 1994. IAWM-nummers en afkortingen van de Nederlandse vaatplanten, mossen, microscopische algen en enkele bacteriën. IBN-rapport 110, rapport RIKZ-95.032. 31 p.
- Snoo, G. R. de, 1995. Unsprayed field margins: implications for environment, biodiversity and agricultural practice- the Dutch field margin project in the Haarlemmermeerpolder. Dissertatie Rijksuniversiteit Leiden.
- Snoo, G.R. de, A.J.W. Rotteveel & H. Heemsbergen, 1995. Akkerranden in Nederland. Lezingen en posterpresentaties van de studiedag akkerranden. Werkgroep Akkerranden, Wageningen/Leiden.
- Snoo, G. R. de, R.J. van der Poll & J. Bertels, 1995. Butterflies in sprayed and unsprayed field margins. In: Snoo, G. R. de, 1995. Unsprayed field margins: implications for environment, biodiversity and agricultural practice- the Dutch field margin project in the Haarlemmermeerpolder. Dissertatie Rijksuniversiteit Leiden.
- Smeding, F.W. & W. Joenje, 1990. Een praktijkexperiment met randstroken in graanteelt in 1989. Rapport vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, LU Wageningen.
- Snoeijs, P. & P. Simenstad, 1995. The use of algae in monitoring discharges of radionuclides – experiences from the 1992 and 1993 monitoring programmes at the Swedish nuclear power plants. Swedish Radiation Protection Institute Report 95-03. 42 pp.
- Sprengers, B. & P. Terwan, 1992. Botanisch beheer van perceelsranden: naar een effectiever beleid. Centrum voor Landbouw en Milieu, Utrecht.
- STOWA, 1994. Handboek debietmeten in open waterlopen. Stowa Rapport 94-13, p. 88-92.
- STOWA, 1998. Ecologisch onderzoek naar de effecten van bufferstroken langs watergangen. Een literatuuronderzoek naar werking, rendement en kansrijkdom. STOWA-rapport 98-26
- Verhoeven, J. & M. hefting, 1998. Excursion to Hazelbekke and surrounding landscape in NE Twente. Excursion guide to Hazelbekke and the surrounding landscape. Nicolas project.

BIJLAGEN

Bijlage 1 Aangetroffen soorten op de lokaties A, B en D in
Hazelbeek en Hazelbekke

Bijlage 2 Lijst van alle aangetroffen soorten op de lokaties A, B en D met uitleg van de in bijlage 1 gebruikte soortcodes, aantallen, abundanties, indicatiewaarden volgens van Dam e.a., trofie-indicatie volgens Rott e.a. en aanduiding van zeldzame taxa en taxa nieuw voor Nederland

Diatomeeen bufferstroken beken

zeldzame taxa (x) n=nieuw voor Ned.	trofie volgens Rott e.a.	indicatiewaarden							aantal presenties	som abundanties	code	taxon
		volgens van Dam e.a.										
		H	R	N	O	S	T	M				
x	1,8	2	3	1	1	1	3	4	3	9	ACHNBIOR	Achnanthes bioretii
	2,9	4	5						1	4	ACHNDELI	Achnanthes delicatula
		2	4	2	1	2		3	16	30	ACHNEXIG	Achnanthes exigua
x	0,6	1	4	2	2	1	3	3	43	624	ACHNHELV	Achnanthes helvetica
	3,4	2	4	2	4	3	6	1	3	3	ACHNHUNG	Achnanthes hungarica
		2	4					3	1	2	ACHNLae1	Achnanthes lanceolata var. elliptica
	2,8	2	4					4	56	1133	ACHNLama	Achnanthes lanceolata ssp. frequentissima var. magna
	3,3	2	4	2	3	3	5	3	65	5163	ACHNLANC	Achnanthes lanceolata
x	0,6	1	2	1	1	1	1	4	2	8	ACHNMARG	Achnanthes marginulata
	1,2	2	3	2	1	2		3	55	1462	ACHNMINU	Achnanthes minutissima
	2,7								26	5345	ACHNMI9a	Achnanthes minutissima var. saprophila
x	1	2	3						2	6	ACHNMI9c	Achnanthes minutissima var. scotica
	3,5	2	4	2	2	2	5	1	14	31	AMRACOPU	Amphora copulata
x		1						1	2	2	AMRAFOGE	Amphora fogediana
		1	3	1	1	1	3	4	3	3	AMRANORM	Amphora normanii
	3,3	2	4	2	2	2	5	1	10	24	AMRAOVAL	Amphora ovalis
	2,8	2	4	2	2	2	5	3	10	23	AMRAPEDI	Amphora pediculus
	3,8	3	5	2	3	4	5	3	1	1	AMRAVENE	Amphora veneta
x		1	2	1	2	1	1	3	24	71	ANOMBRAC	Anomoeoneis brachysira
x		2	2					1	2	6	ANOMSTYR	Anomoeoneis styriaca
x	0,7	2	4	1	2	1	2	2	6	28	ANOMVITR	Anomoeoneis vitrea
		2	4	2	3	2	5	1	5	13	AUSEGRAN	Aulacoseira granulata
	3,9	3	4	2	3	3	5	3	1	1	CANEAMPH	Caloneis amphisbaena
	2,5	2	4	1	2	2	4	2	18	52	CANEBACI	Caloneis bacillum
									1	1	CANELALE	Caloneis lauta/leptosoma
x	1,9	2	5	1	2	1	3	2	1	1	CANESCHU	Caloneis schumanniana
	2,5	2	4	1	2	1	4	1	9	9	CANESILI	Caloneis silicula
	1,1	2	3	1	1	1	3	4	3	4	CANETENU	Caloneis tenuis
	2,6	2	4	2	3	2	5	2	3	32	CCNEPLeu	Cocconeis placentula var. euglypta
	2,6	2	4	2	3	2	5	2	9	83	CCNEPLi	Cocconeis placentula var. lineata
x		1	4	1	1	1	1	5	1	1	CYLAALPI	Cymbella alpina
x	0,6	1	3	1	1	1	1	3	5	7	CYLACESA	Cymbella cesatii
	2,3	2	4	1	2	2	5	1	3	4	CYLACIST	Cymbella cistula
x	0,6	1	2	1	1	1	2	3	2	2	CYLAGRAC	Cymbella gracilis
x	2	2	3	0					1	1	CYLAMINU	Cymbella minuta
	1,8	2	3	2	2	2	5	2	7	9	CYLANALI	Cymbella naviculiformis
x	0,5	1	2	1	1	1	1	4	1	1	CYLAPERP	Cymbella perpusilla
	2	2	3	2	3	3		1	6	7	CYLASILE	Cymbella silesiaca

zeldzame taxa (x) n=nieuw voor Ned.	trofie volgens Rott e.a.	Indicatiewaarden volgens van Dam e.a.							aantal presenties	som abundanties	code	taxon
		H	R	N	O	S	T	M				
x	1	1	3	1	1	1	2	3	1	2	CYLASUAE	Cymbella subaequalis
	3,1	2	4	2	3	2	5	1	3	3	CYPLSOLE	Cymatopleura solea
		3	4	3	5	4	5	2	4	4	CYTEMENE	Cyclotella meneghiniana
	2	2	5	2	2	2	4	1	4	6	DIATVULG	Diatoma vulgaris
									1	1	DINEcBOL	Diploneis cf. boldtiana
x	1,7	2	4	1	1	1	3	3	2	4	DINEELLI	Diploneis elliptica
x	1	2	4	1	1	1		4	3	4	DINEOBLO	Diploneis oblongella
	1	2	4	1	1	1		4	30	101	DINEOVAL	Diploneis ovalis
x	1,3	2	3	1	1	1	3	4	2	3	DINEPETE	Diploneis petersenii
									20	51	DINEPSOV	Diploneis pseudovalis
	2,2	2	5	1	2	2	4	2	12	26	EPITADNA	Epithemia adnata
	2,7	2	5	1	2	2	5	2	11	33	EPITSORE	Epithemia sorex
	2,3	2	5	1	2	2	4	3	2	3	EPITTURG	Epithemia turgida
	0,7	2	b	2	2	2		3	47	506	EUTIBILU	Eunotia bilunaris
	1,9	2	1	2	2	3		3	47	371	EUTIEXIG	Eunotia exigua
	0,6	1	2	0				3	2	2	EUTIMPL	Eunotia implicata
	2,6	1	2	0		1		4	39	351	EUTIMINO	Eunotia minor
	1,1	2	3	1	1	2		1	1	1	FRLABICA	Fragilaria bicapitata
		2	4	1	1	2	5	2	3	9	FRLABIDE	Fragilaria bidens
	3	2	4	1	1	1		2	37	444	FRLABREV	Fragilaria brevistriata
	2,5	2	4						11	55	FRLACame	Fragilaria capucina var. mesolepta
		2	3			2	3		38	214	FRLACAPU	Fragilaria capucina
	2,3	2	4	2	1	1	4	2	6	66	FRLACobi	Fragilaria construens f. binodis
	2,3								26	562	FRLACOEg	Fragilaria construens (incl. f. venter)
x	2,7	2	4	1	1	1	5	1	3	6	FRLADILA	Fragilaria dilatata
x	0,6	1	3	1	1	1	1	2	9	35	FRLAEXIG	Fragilaria exigua
		3	4					2	1	1	FRLAFali	Fragilaria famelica var. littoralis
	0,7	2	4	1	1	1	3	3	1	3	FRLAFAME	Fragilaria famelica
	3,5	4	4	2	3	3	5	3	1	1	FRLAFASC	Fragilaria fasciculata
	2	2	4	1	1	1	4	2	3	4	FRLALEPT	Fragilaria leptostauron
	2,3	2	4	1	1	2	4	2	1	1	FRLAPARA	Fragilaria parasitica
	2,2	2	4	2	1	2		3	53	1270	FRLAPINN	Fragilaria pinnata
	3,6	4	4	2	3	3	5	3	1	1	FRLAPULC	Fragilaria pulchella
	1,8	2	4	2	2	3	5	2	5	14	FRLAULac	Fragilaria ulna var. acus
	3,5	2	4	2	3	4		2	7	31	FRLAULNA	Fragilaria ulna
x	1,4	1	3	1	1	1	2	3	37	248	FRLAVIRE	Fragilaria virescens
		1	1	1	1	1	1	3	1	2	FRUSRHcr	Frustulia rhomboides var. crassinervia
	0,5	1	2	1	1	1	1	2	4	6	FRUSRHOM	Frustulia rhomboides
	0,4	1	1	1	1	1	1	3	1	1	FRUSRHsa	Frustulia rhomboides var. saxonica
	2	2	4	2	1	2	4	3	36	70	FRUSVULG	Frustulia vulgaris

zeldzame taxa (x) n=nieuw voor Ned.	trofie volgens Rott e.a.	Indicatiewaarden							aantal presenties	som abundanties	code	taxon
		volgens van Dam e.a.										
		H	R	N	O	S	T	M				
	2,5	2	4	1	2	2	5	2	2	4	GONEACUM	Gomphonema acuminatum
		1	3	1	1	1	4	2	10	21	GONECLAV	Gomphonema clavatum
x		2	3	1	1	1	3	3	4	8	GONEGRAC	Gomphonema gracile
x	0,9								1	2	GONEHEBR	Gomphonema hebridense
		2		0					1	2	GONEINSI	Gomphonema insigne
									54	438	GONEPARg	Gomphonema parvulum groep
x	1,3	2	4			2	3	3	3	7	GONESARC	Gomphonema sarcophagus
	1,9	2	4	1	2	2	4	2	7	11	GONETRUN	Gomphonema truncatum
	3,7	2	5	2	3	2	5	2	3	3	GYSIACUM	Gyrosigma acuminatum
	3,6	2	3	2	2	3		4	40	232	HANTAMPH	Hantzschia amphioxys
x		2	4					5	2	10	MAGLGREV	Mastogloia grevillei
	1,2	2	4	2	2	2		2	23	57	MEDICICO	Meridion circulare var. constricta
	2,9	2	4	3	3	3	5	2	2	26	MELOVARI	Melosira varians
x									1	1	NAVI1097	Navicula sp. 1097-3
		2	3	3	1	3	6	4	8	27	NAVIATex	Navicula atomus var. excelsa
	2,8	2	4	4	2	4	6	4	25	85	NAVIATOM	Navicula atomus
	3,1	2	4	3	4	4	5	3	19	118	NAVIATpe	Navicula atomus var. permitis
		2						5	2	6	NAVIATre	Navicula atomus var. recondita
x		1	3	1		1		4	1	1	NAVIBROC	Navicula brockmannii
x	1,3	1	3	1	1	1	3	5	36	82	NAVIBRYO	Navicula bryophila
	2,6	2		0					3	8	NAVICARI	Navicula cari
	3,4	2	4	2	3	3	4	3	21	63	NAVICATA	Navicula capitata
	2,5	3	4	2	1	2	4	3	13	87	NAVICLEM	Navicula clementis
	1,2	1	3	1	1	1	2	3	1	2	NAVICOCC	Navicula cocconeiformis
		3		2	1			5	31	446	NAVICOMU	Navicula cohnii/mutica
x	1,4	2	4	2	1	2		4	3	5	NAVICONT	Navicula contenta
x	2,9	2	4			2		2	1	1	NAVICOST	Navicula costulata
	3,5	2	3	2	3	3		2	6	14	NAVICRCE	Navicula cryptocephala
	2,3	2	4			2		2	24	67	NAVICRTE	Navicula cryptotenella
		4	4					3	4	10	NAVIDIGI	Navicula digitoradiata
		2	4	2	2	2	5	3	2	2	NAVIELcu	Navicula elginensis var. cuneata
	2,1	2	4	2	2	2	5	3	34	99	NAVIELGI	Navicula elginensis
	1,8	2	3	1	1	1	3	4	7	11	NAVIEVAN	Navicula evanida
x		0							1	1	NAVIEPPL	Navicula explanata
x	0,6	1	1	1	1	1	1	4	1	2	NAVIFEST	Navicula festiva
		2	3	2	1	2		4	16	50	NAVIFOLI	Navicula fossalis
x	1,2	2	3	1	1	1	1	5	1	1	NAVIGape	Navicula gallica var. perpusilla
	2,9	2	4	2	2	2	5	1	1	1	NAVIGAST	Navicula gastrum
x		2	3					5	2	43	NAVIGIBB	Navicula gibbula
	3,5	3	4	2	4	3	5	3	55	562	NAVIGREG	Navicula gregaria

zeldzame taxa (x)	trofie volgens Rott e.a.	indicatiewaarden							aantal presenties	som abundanties	code	taxon
		volgens van Dam e.a.										
n=nieuw voor Ned.		H	R	N	O	S	T	M				
x	1,8	1	2		1			4	1	1	NAVIHUST	Navicula hustedtii
	2,9	3	3	2	3	3	5	2	1	1	NAVIINTE	Navicula integra
	3,6	2				2		3	8	37	NAVIJOUR	Navicula joubaudii
	1,1	1	3	1	1	1	3	2	2	2	NAVILAEV	Navicula laevisissima
	3,5	3	4	2	3	3	5	3	9	37	NAVILANC	Navicula lanceolata
x		1	3						2	3	NAVIMECO	Navicula medioconvexa
	2,7	2	4	2	3	3	5	2	14	32	NAVIMELU	Navicula menisculus
x	1,1	1	4				2	1	7	14	NAVIMILA	Navicula minuscula
	2,9	2	4	3	3	4	5	3	19	115	NAVIMIMU	Navicula minuscula var. muralis
	2,9	2	4	3	4	4	5	3	36	368	NAVIMINI	Navicula minima
	2,9	2	4	3	4	4	5	3	3	18	NAVIMOLE	Navicula molestiformis
	2,9	2	4	3	2	3	5	3	1	1	NAVIMONO	Navicula monoculata
	3,1	3	3	2	1	2	5	4	4	4	NAVIMUVE	Navicula mutica var. ventricosa
	2,7	2	4	2	2	2	5	1	1	1	NAVIOBLO	Navicula oblonga
x	2,5	2	4	0				2	3	8	NAVIPELL	Navicula pelliculosa
x		2	3	1	1	1		5	1	1	NAVIPLTA	Navicula placenta
	2,7	2	4	2	2	2	5	1	1	1	NAVIPLTU	Navicula placentula
n									5	7	NAVIPUPS	Navicula pupula var. pseudopupula
	3,7	2	3	2	3	3	4	2	15	36	NAVIPUPU	Navicula pupula
	3,7	3	5	3	3	3	5	2	1	1	NAVIPYGM	Navicula pygmaea
	0,6	2	3	2	2	2	4	3	6	19	NAVIRADI	Navicula radiosa
	2,3	2	4	2	4	2		2	2	2	NAVIRHCE	Navicula rhynchocephala
x	2,6	2	3	3	4	4	5	3	4	6	NAVISAPR	Navicula saphrophila
	3,2	2	3	3	4	4	5	3	55	1206	NAVISELU	Navicula seminulum
	3	3	4	2	2	2	5	3	11	18	NAVISLES	Navicula slesvicensis
x		1	2	1	1	1	1	4	1	2	NAVISOMU	Navicula soehrensensis var. muscicola
									2	4	NAVISPEC	Navicula sp.
	3,5	2	4	4	4	4	5	3	9	21	NAVISUMI	Navicula subminuscula
x	2,9	2	4	1	1	1	5	4	33	140	NAVITELO	Navicula tenelloides
	3,3	3	4	2	3	3	5	3	1	1	NAVITRIV	Navicula trivialis
	0,5	1	2	1	1	1	1	4	10	14	NAVIVARI	Navicula variostrata
	1,5	2	3					2	2	2	NEIDAMPL	Neidium ampliatum
x									2	2	NEIDBIFO	Neidium binodeforme
x	2,3	1	3	1	1	2	3	3	4	22	NITZACID	Nitzschia acidoclinata
x									10	31	NITZAERO	Nitzschia aerophila
x	0,6	1		1	1	1	1		3	10	NITZALPI	Nitzschia alpina
	3,8	2	4	3	3	3	5	3	20	86	NITZAMPH	Nitzschia amphibia
	2	2	3	2	2	2	5		6	21	NITZARCH	Nitzschia archibaldii
									1	1	NITZCDEB	Nitzschia cf. debilis
	3,9	2	4	4	3	4	5	4	19	48	NITZCONI	Nitzschia communis

zeldzame taxa (x) n=nieuw voor Ned.	trofie volgens Rott e.a.	indicatiewaarden							aantal presenties	som abundanties	code	taxon
		volgens van Dam e.a.										
		H	R	N	O	S	T	M				
	2,4	2	4	2	2	2	4	3	10	12	NITZDISS	Nitzschia dissipata
	1,9	2	4	2	2	2	4	1	6	9	NITZFONT	Nitzschia fonticola
x		2	4					2	1	1	NITZFOSS	Nitzschia fossilis
	2	1	3	1	1	1	3	4	27	107	NITZHANT	Nitzschia hantzschiana
x	1,4	2	3	1	1	1	3		7	13	NITZHOMB	Nitzschia homburgiensis
	3,4	2	4	2	2	2	4	3	46	186	NITZLINE	Nitzschia linearis
	2,3	2	4	4	3	3	5	2	15	35	NITZPACE	Nitzschia paleacea
	3,3	2	3	4	4	5	6	3	31	109	NITZPALE	Nitzschia palea
		2	3						4	26	NITZPate	Nitzschia palea group tenuirostris
x	2,3	2	4	1	1	1	2	3	23	129	NITZPERM	Nitzschia perminuta
	2,7	2	3	2	2	2		3	16	84	NITZPUSI	Nitzschia pusilla
	2,3	2	4	1	1	2	4	4	1	1	NITZSide	Nitzschia sinuata var. delognei
x	1,8	2	4	1	1	2	3	3	5	7	NITZSINU	Nitzschia sinuata
	3,4	0							29	74	NITZTUBI	Nitzschia tubicola
x		1	3		3	1	2	3	1	1	PINNACRO	Pinnularia acrosphaeria
	1,8	1	2	1	1	1	2	4	36	160	PINNAPPE	Pinnularia appendiculata
	1,9	2	3	2	1	2	2	4	27	89	PINNBORE	Pinnularia borealis
									1	2	PINNcSUP	Pinnularia subrupestris var. parva/hemiptera
	1,7	2	3	2	3	3		2	6	12	PINNGIBB	Pinnularia gibba
	0,7	1	3	1	1	1	2	3	3	3	PINNINRU	Pinnularia interrupta
x		1	3					3	3	3	PINKKROO	Pinnularia krookii
	0,7	2	3	2	3	2	4	1	3	3	PINNMESO	Pinnularia mesolepta
	1	2	3	2	3	2		3	12	43	PINNMIST	Pinnularia microstauron
	1,4								1	1	PINNEMA	Pinnularia neomajor
x	0,3	1	2	1	1	1	1	3	5	8	PINNODO	Pinnularia nodosa
x	2	2	3	1	1	1		4	14	44	PINNOBSC	Pinnularia obscura
x		1	3					3	9	21	PINNRUPE	Pinnularia rupestris
x					1			3	1	1	PINNSCHR	Pinnularia schroederii
x									3	4	PINNSIFO	Pinnularia similiformis
	0,9	2	2	2	3	2	2	3	4	6	PINNSUCA	Pinnularia subcapitata
									2	3	PINNSUGI	Pinnularia subgibba
	0,3	1	1	2	3	2	1	3	49	1340	PINNSUhi	Pinnularia subcapitata var. hilseana
x									1	1	PINNSURU	Pinnularia subrupestris
									37	106	PINNVIRg	Pinnularia viridis groep
		3	4						5	12	RHOPBREB	Rhopalodia brebissonii
									2	3	RHOPcOPE	Rhopalodia cf. operculata
									2	2	RHOPcRUP	Rhopalodia cf. rupestris
	2,7	2	5	1	3	2	5	3	13	27	RHOPGIBA	Rhopalodia gibba
	3,2	2	4	2	2	2	5	2	11	30	RHSPABBR	Rhoicosphenia abbreviata
		2	5	3	4	4	6	2	1	2	STDIHANT	Stephanodiscus hantzschii

zeldzame taxa (x) n=nieuw voor Ned.	trofie volgens Rott e.a.		indicatiewaarden volgens van Dam e.a.							aantal presenties	som abundanties	code	taxon
	H	R	N	O	S	T	M						
		1,8	2	3	2	2	2	4	2	11	13	STNEANCE	Stauroneis anceps
x			1	3	1	1	1	4		7	177	STNEBORB	Stauroneis borrichii
		3,3	2	3	2	2	4	3		11	17	STNEKRIE	Stauroneis kriegeri
		1,9	2	3	1	1	4	2		24	36	STNELEGU	Stauroneis legumen
		2,9	2	3	2	3	2	4		4	4	STNEPHOE	Stauroneis phoenicenteron
		3,3	2	4	2	1	2	3		13	16	STNESMIT	Stauroneis smithii
										1	3	STNESPEC	Stauroneis
		1,8	2	3	2	1	2	4		5	9	STNETHER	Stauroneis thermicola
		3,7	2	4	2	2	2	5	3	34	54	SURLANGU	Surirella angusta
			2	4	2	3	3	5	3	7	7	SURIBRku	Surirella brebissonii var. kuetzingii
		3,8	2	4	3	3	5	3		12	21	SURIMINU	Surirella minuta
		2,2	4	4	2	4	3	5	3	1	1	SURIOVAL	Surirella ovalis
			2	3	2	2	2	1		1	1	SURIROBU	Surirella robusta
		0,8	1	2	1	1	2	3	3	8	25	TABEFLOC	Tabellaria flocculosa
										3	14	TABESPEC	Tabellaria

Bijlage 3 Van Dam indices

Codering

pH (R)

code	naam	verklaring
1	acidobiont	optimaal voorkomend bij pH <5.5
2	acidofiel	voornamelijk voorkomend bij pH <7
3	circumneutraal	voornamelijk voorkomend bij pH rond 7
4	alkalifiel	voornamelijk voorkomend pH>7
5	alkalibiont	alleen voorkomend bij pH>7
6	indifferent	geen duidelijk optimum

Saliniteit (H)

code	naam	Cl- (mg/l)	Saliniteit (%)
1	zoet	<100	<0.2
2	zoet-brak	<500	<0.9
3	brak-zoet	500-1000	0.9-1.8
4	brak	1000-5000	1.8-9.0
5	brak-marien	5000-10000	9.0-18
6	marien-brak	10000-17000	18-30
7	marien	>17000 >30	

Stikstofmetabolisme (N)

code	verklaring
1	stikstof-autotrofe taxa, die zeer kleine concentraties van organisch gebonden stikstof tolereren
2	stikstof-autotrofe taxa, die verhoogde concentraties van organisch gebonden stikstof tolereren
3	facultatief stikstof-heterotrofe taxa, die gedurende perioden verhoogde gehalten organisch gebonden stikstof nodig hebben
4	obligaat stikstof-heterotrofe taxa, die continu verhoogde gehalten organisch gebonden stikstof nodig hebben

Zuurstofbehoefte (O)

code	verklaring
1	continu hoog (ongeveer 100% verzadiging)
2	hoog (boven 75% verzadiging)
3	matig (boven 50% verzadiging)
4	laag (boven 30% verzadiging)
5	erg laag (ongeveer 10% verzadiging)

Saprobiteit (S)

code	waterkwaliteitsklasse	zuurstofverzadiging (%)	Biochemisch
	zuurstofverbruik (mg/l)		
1	oligosaproob	>85	<2
2	β -mesosaproob	70-85	2-4
3	α -mesosaproob	25-70	4-13
4	α -meso-/polysaproob	10-25	13-22
5	polysaproob	<10	>22

Trofie (T)

code	verklaring
1	oligotroof
2	oligo-mesotroof
3	mesotroof
4	meso-eutroof
5	eutroof
6	hypertroof
7	oligo tot eutroof (hypertroof)

Hydrofilie (M)

code	verklaring
1	nooit of zelden buiten wateren voorkomend
2	vooral in wateren, soms op natte plaatsen
3	vooral in wateren, regelmatig op natte of vochtige plaatsen
4	vooral op natte en vochtige of soms droogvallende plaatsen
5	vrijwel nooit in wateren voorkomend

Bijlage 4 Aangetroffen soorten diatomeeën in de aquaria en
mesocosm experimenten

Bijlage 5 Chemie van het oppervlaktewater

Bijlage 5A: Waterchemie (gemiddelden met standaardafwijking) op de onderzoekslokaties.

datum	gem.	SD	gem.	SD	gem.	SD
mon_punt	6.241	6.241	06.242	06.242	06.243	06.243
	A	A	B	B	D	D
N	13	13	13	13	12	12
Ca [mg/l]	50	6	69	17	49	11
Cl [mg/l]	23	3	27	4	26	2
Fe [mg/l]	0,58	0,69	1,07	0,75	0,96	0,51
Fe/opg. [mg/l]	0,03	0,01	0,04	0,02	0,10	0,06
K [mg/l]	8	2	7	2	8	2
Kj-N [mg/l]	1,20	0,25	1,62	0,63	1,61	0,48
Mg [mg/l]	8,0	3,0	7,0	0,3	7,0	0,7
Mn [mg/l]	0,47	0,70	0,20	0,06	0,15	0,06
N-totaal [mg/l]	11	4	9	4	9	4
NH4-N [mg/l]	0,14	0,09	0,20	0,09	0,18	0,08
NO2+NO3-N [mg/l]	10	4	8	4	8	4
NO2-N [mg/l]	0,05	0,08	0,03	0,00	0,05	0,02
NO3-N [mg/l]	10	4	8	4	8	4
Na [mg/l]	11	2	11	1	16	1
P-totaal [mg/l]	0,31	0,39	0,28	0,15	0,22	0,05
SO4 [mg/l]	64	12	107	18	64	7
Si [mg/l]	10	2	12	2	11	2
o-P [mg/l]	0,11	0,06	0,10	0,04	0,11	0,04
EGV25	413	39	480	42	409	30
PH	6,95	0,29	7,50	0,21	7,27	0,24
Alkaliniteit	1,36	0,50	1,53	0,40	1,54	0,45
Ca/Ca+Cl	0,79		0,82		0,77	

Bijlage 5B: Waterchemie (gemiddelden met standaardafwijking) op de onderzoekslocaties gedurende het veld-uitwisselingsexperiment.

datum	gem. Exp	SD exp	gem. Exp	SD exp	gem. Exp	SD exp
mon_punt	06.241	06.241	06.242	06.242	06.243	06.243
	A	A	B	B	D	D
n	3	3	3	3	3	3
Ca [mg/l]	53	5	80	10	55	9
Cl [mg/l]	23	0,6	28	3	25	0,6
Fe [mg/l]	1,01	1,30	0,99	0,42	0,94	0,35
Fe/opg. [mg/l]	0,03	0,01	0,06	0,02	0,05	0,02
K [mg/l]	9	1	8	1	7	1
Kj-N [mg/l]	1,07	0,12	1,43	0,49	1,00	0,00
Mg [mg/l]	6,4	0,5	6,4	0,5	5,7	0,9
Mn [mg/l]	1,04	1,35	0,19	0,06	0,12	0,05
N-totaal [mg/l]	9	1	8	1	6	4
NH4-N [mg/l]	0,13	0,06	0,23	0,15	0,13	0,06
NO2+NO3-N [mg/l]	8	1	6	2	5	4
NO2-N [mg/l]	0,02	0,00	0,02	0,01	0,03	0,02
NO3-N [mg/l]	8	1	6	2	5	4
Na [mg/l]	12	1	12	1	17	1
P-totaal [mg/l]	0,21	0,08	0,27	0,09	0,27	0,04
SO4 [mg/l]	54	6	109	20	64	5
Si [mg/l]	11	2	13	1	13	3
o-P [mg/l]	0,12	0,02	0,15	0,05	0,14	0,06
EGV25	453	62	494	46	421	28
pH	7,21	0,41	7,52	0,38	7,11	0,27
Alkaliniteit	1,86	0,27	1,96	0,33	1,80	0,49
Ca/Ca+Cl	0,80		0,83		0,80	

Bijlage 6 Multivariate analyse: resultaten en bespreking

De ordinatiediagrammen waarin respectievelijk abiotische variabelen, monsters en soorten zijn weergegeven, worden gepresenteerd in figuren 6.1 – 6.3. Alleen de eerste twee assen worden hier gepresenteerd. In het ordinatiediagram waarin de abiotische variabelen zijn weergegeven, wijst elke pijl in de richting van de maximale variatie in de betreffende kwantitatieve variabele. Bij niet-numerieke variabelen wijst de pijl in de richting van maximaal voorkomen. De lengte van de pijl is evenredig met de mate van verandering van de gestandaardiseerde variabele in deze richting. In het ordinatiediagram waarin de monsters zijn weergegeven, zijn deze gecodeerd op bemonsteringsdatum en monsters van eenzelfde bemonsteringslocatie zijn omcirkeld.

Uit figuur 6.1 (ordinatiediagram met de monsters) blijkt dat op de eerste as de monsters van de verschillende lokaties van elkaar worden gescheiden. De monsters van lokatie A en B worden nabij elkaar, links in het ordinatiediagram geplaatst. De monsters van lokatie D worden rechts in het ordinatiediagram geplaatst. Binnen de monsters van één lokatie, zijn de monsters min of meer per datum gerangschikt. Monsters van eenzelfde datum bevinden zich in het ordinatiediagram vlak bij elkaar. Daarbij treedt een opvallende scheiding op tussen de monsters van augustus, september en oktober, die boven de x-as gelegen zijn, en de monsters van juni, juli en december, die onder de x-as gelegen zijn. Een vergelijking met de figuren in paragraaf 3.2.1 laat zien, dat deze scheiding samenhangt met de gehalten aan nutriënten in de beek. In augustus en oktober zijn de nitraatgehalten in de beek relatief gezien het laagst. Figuur 6.4 laat zien dat bij deze lagere nitraatgehalten de spreiding in ortho-fosfaatgehalten groter is en hogere ortho-fosfaatgehalten voorkomen. In december nemen de nitraatgehalten in de beek toe. In maart, april en juni zijn deze het hoogst. Bij deze hoge nitraatgehalten worden lage gehalten aan ortho-fosfaat in het beekwater gevonden. Het voorgaande verklaart dat stikstof (N-totaal, NO₂+NO₃ en NO₃) en ortho-fosfaat respectievelijk negatief en positief gecorreleerd zijn met de tweede as, dus tegengesteld aan elkaar (zie figuur 6.2).

In figuur 6.2 (ordinatiediagram met de variabelen) zijn de variabelen met de langste pijlen het sterkst gecorreleerd met de ordinatie-assen en daarom het sterkst gerelateerd aan het variatie- patroon in soortensamenstelling zoals weergegeven in het ordinatiediagram. Met de eerste as zijn vooral Fe, Mn en Na gecorreleerd. De D-monsters – met een grotere variatie in en hogere gehalten aan Na en Fe – worden hierdoor gescheiden van de A- en B-monsters – met een grotere variatie in en hogere gehalten aan Mn. Ook P-totaal is vooral gecorreleerd met de eerste as. De tweede as is vooral gecorreleerd met NO₂, NO₃, K, o-P, alkaliniteit en calcium en aan deze parameters gecorreleerde variabelen. N-totaal is sterk gecorreleerd met NO₃. Cl, het Electrisch Geleidingsvermogen (EGV25), SO₄ en Si zijn alle redelijk tot hoog gecorreleerd met Ca. De tweede as kan geïnterpreteerd worden als een nutriëntenas.

De indexen, gebaseerd op de soorten, die in de analyse passief zijn meegenomen, zijn in het ordinatiediagram met gestippelde pijlen weergegeven. De index voor

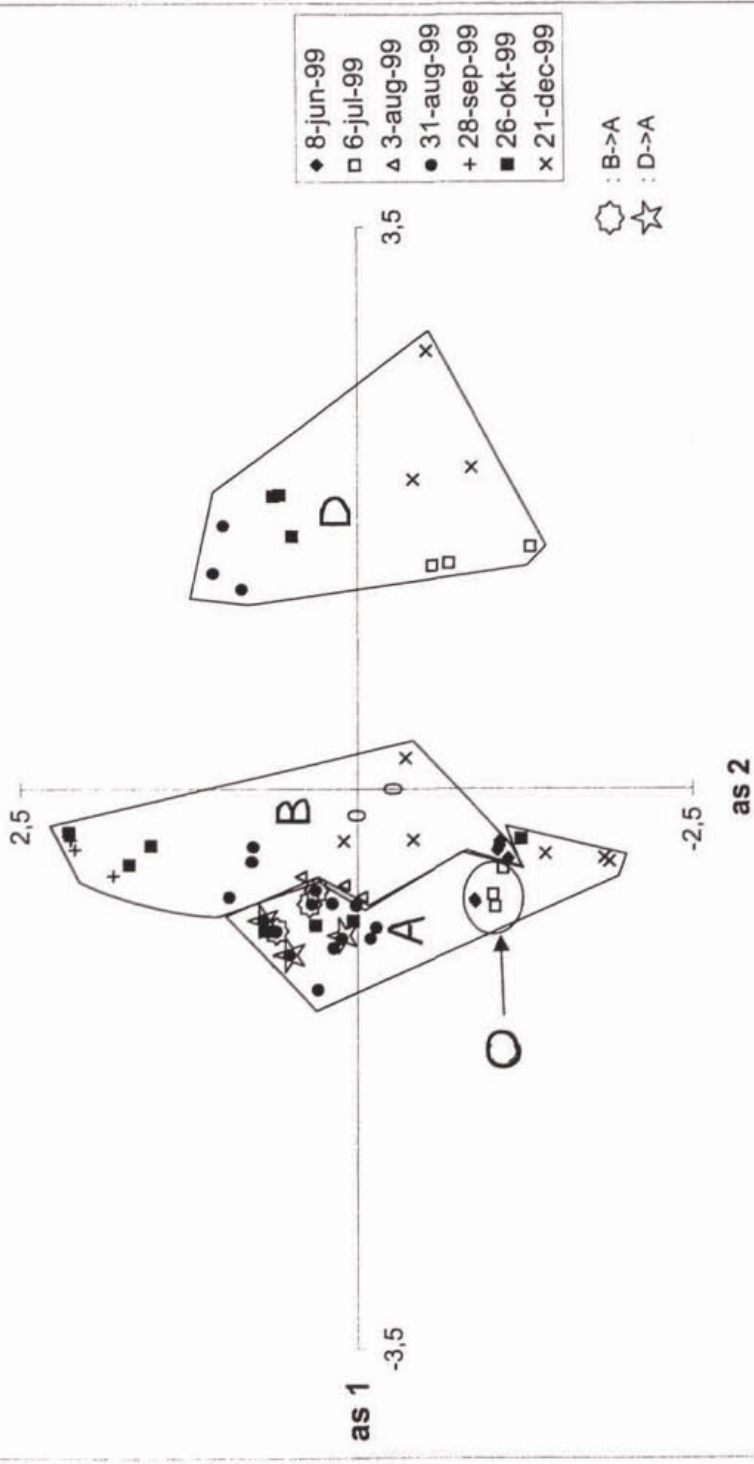
stikstofmetabolisme (N) is eveneens sterk negatief gecorreleerd met de tweede as, overeenkomstig de actief meegenomen variabelen NO₂, NO₃ en N-totaal. De index blijft echter laag (rond 2), hetgeen duidt op stikstof-autotrofe taxa die verhoogde concentraties van organisch gebonden stikstof tolereren. Ook de saprobie is vooral negatief gecorreleerd met de tweede as en varieert van α - tot β -mesoaproob. Op basis van de trofie-index en soortensamenstelling lijkt lokatie D eutrofer. Op basis van de soorten kunnen lokaties D en B getypeerd worden als meso-eutroof tot eutroof en lokatie A mesotroof tot meso-eutroof. Ook de indices voor saliniteit en pH nemen in die richting van de D-monsters toe. Monsters van lokaties A en B herbergen duidelijk meer aerofiele soorten. De Hazelbeek is inderdaad veel ondieper dan de lokatie Hazelbekke. Droogval treedt op alle lokaties niet op. Maar als gevolg van ondiepte en opzanding, maken meer aerofiele soorten deel uit van de begroeiing van de touwen op lokaties A en B.

Uit het ordinatiediagram met de taxa blijkt dat trofie-indifferenten soorten juist daar geplaatst zijn, waar de variatie in totaal fosfaat en stikstof het grootste is. Ze zijn dus gecorreleerd met sterk wisselende nutriëntenconcentraties.

In het ordinatiediagram geven de gemeten totaal- en ortho-fosfaat concentraties een ander beeld dan de op de soorten gebaseerde trofie-index. De gemeten fosfaat- en nitraatconcentraties geven een beeld van de jaarlijkse temporele variatie. De trofie-index is gebaseerd op informatie over de soorten en geeft de algehele situatie van een lokatie weer op middellange termijn.

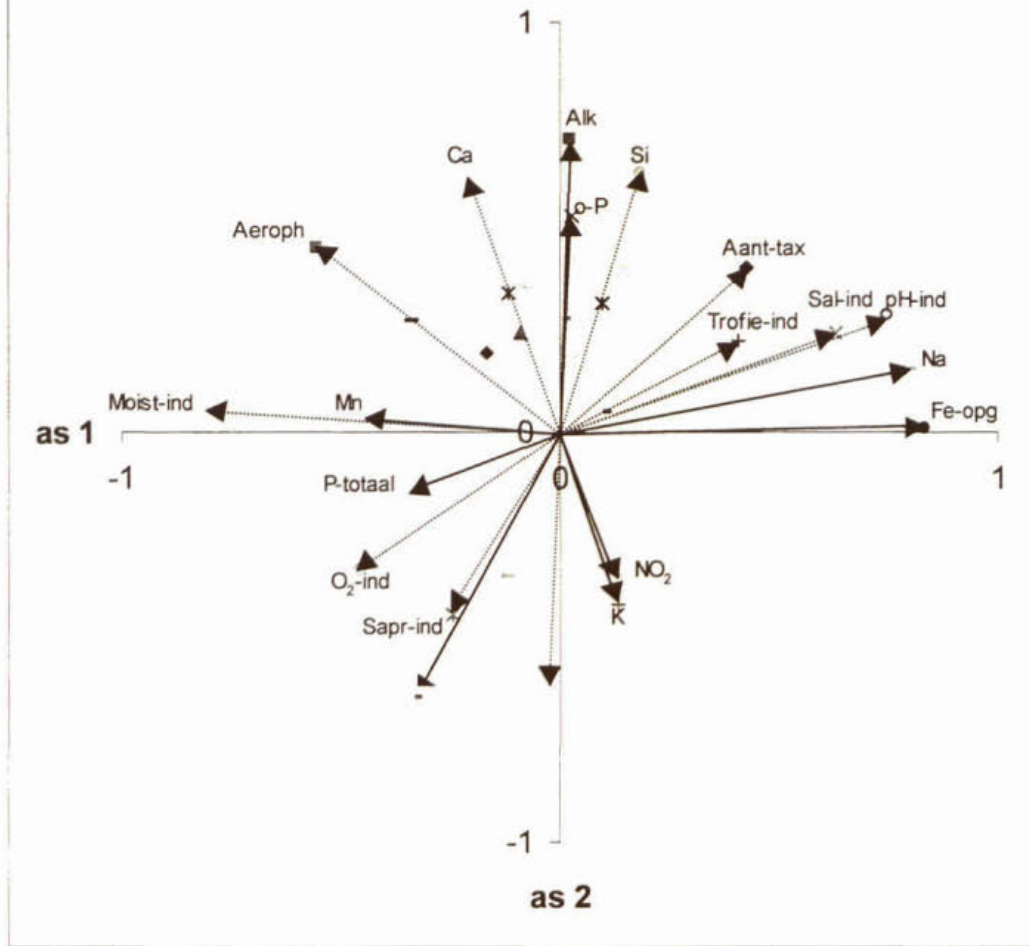
De eigenwaarden van de eerste vier assen zijn respectievelijk 0,143; 0,091; 0,067; 0,066. De eigenwaarden als output van RDA zijn de fracties van de totale variantie in de soortengegevens (% verklaarde variantie). De eerste as verklaart 14,3 % van de totale variantie en de tweede as 9,1 %. Cumulatief voor beide assen is dit 23,4 %. Deze percentages zijn relatief laag.

**Bufferstroken, beken, RDA,
A,B,D,O monsters**



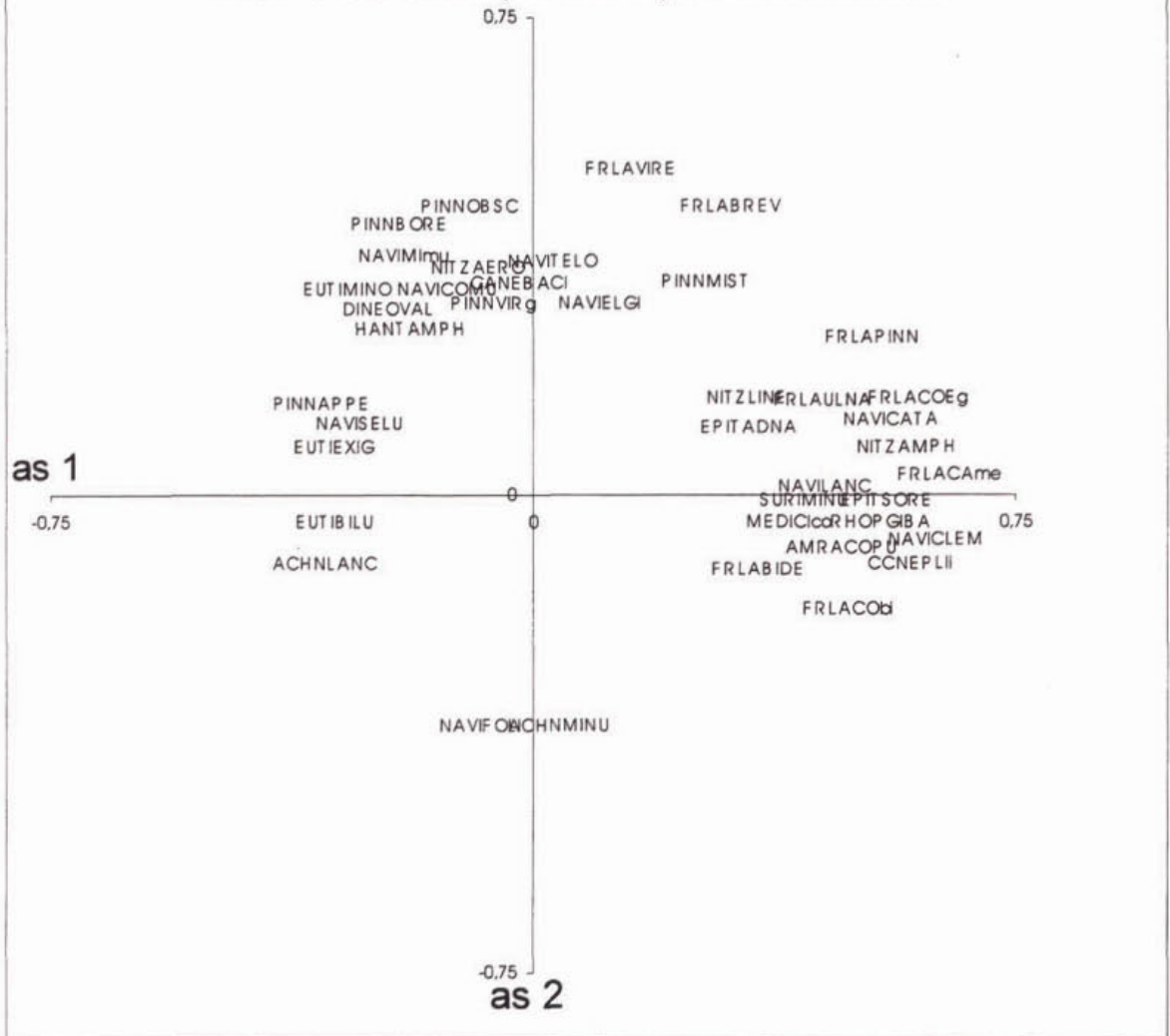
Figuur 6.1: Ordinatiediagram van diatomeeënmonsters. De verschillende symbolen duiden de locatie van eenzelfde lokatie zijn omlijnd.

Bufferstroken, beken, RDA variabelen



Figuur 6.2: Ordinatiediagram met abiotische variabelen (pijlen met doorgetrokken streep) en indexen gebaseerd op de soorten (pijlen met gestippelde streep).

Bufferstroken, beken, RDA soorten



Figuur 6.3: Ordinatiediagram met taxa.

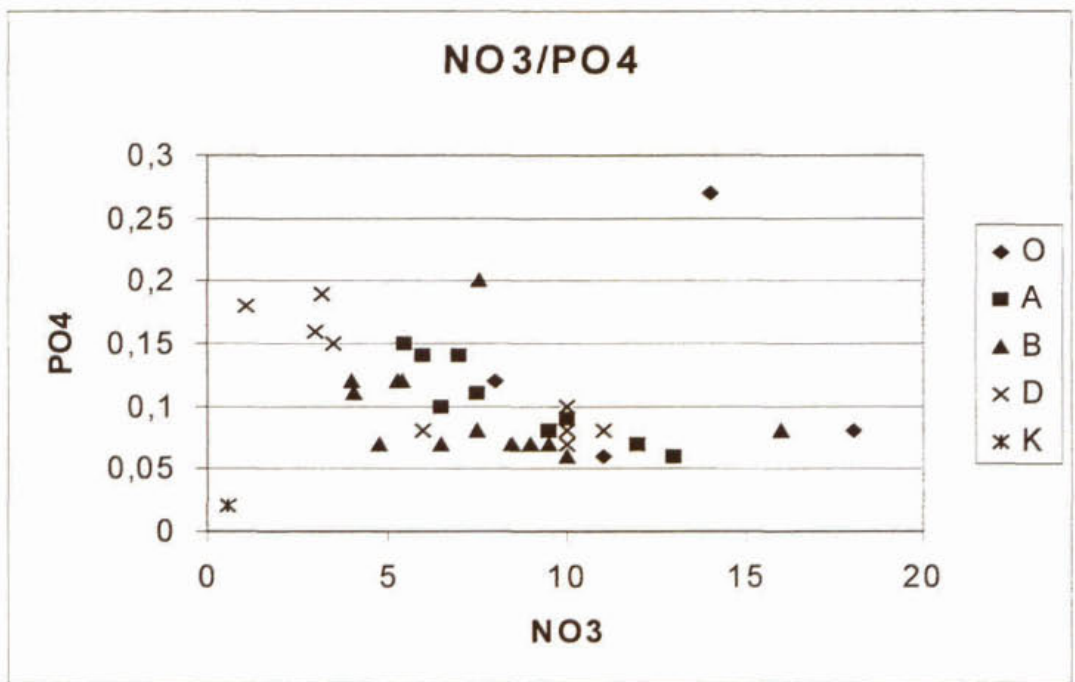


Fig. 6.4: Ortho-fosfaatgehalten als functie van de nitraatgehalten voor alle monsters van de A, B en D lokaties.

Bijlage 7 Literatuuronderzoek

A. Bufferzones algemeen (niet persé langs watergangen)

De volgende factoren zijn van invloed op de levensgemeenschappen die zich in perceelsranden kunnen ontwikkelen (Sprengers & Terwan, 1992):

1. De aard van het grondgebruik: wel of geen landbouwkundig gebruik of beheer van de perceelsrand
2. De intensiteit van het landbouwkundig gebruik (o.a. bemesting, gebruik bestrijdingsmiddelen) van het perceel zelf
3. De grondsoort en de daarmee samenhangende factoren
4. De waterhuishouding en de daarmee samenhangende factoren
5. De aanwezigheid van landschapselementen (als sloten, houtwallen, wegbermen etc.) naast het perceel.

Flora

In landbouwpercelen is het grootste aantal plantensoorten aanwezig in de perceelsranden. Uit buitenlandse experimenten is gebleken dat in onbespoten akkerranden (zeldzame) akkerkruiden sterk kunnen toenemen (Joenje & de Snoo, 1995). In Nederland uitgevoerd onderzoek laat zien dat er in onbespoten en onbemeste graanranden op zandgronden (in Gelderland) 1,5 tot 2 keer zoveel soorten akkeronkruiden voorkomen als in bespoten en bemeste stroken (Smeding & Joenje, 1990). Het betreft echter vrijwel alleen algemene soorten.

Aangepast akkerandenbeheer in Gelderland, waarbij op een 6 m brede strook aan de rand van een akker graan wordt verbouwd, en niet of weinig wordt gespoten en bemest, leidde tot een toename in het aantal soorten akkeronkruiden. Het gaat hierbij voornamelijk om algemene soorten. Nu en dan kwamen ook minder algemene soorten voor, zoals Valse kamille en Gele ganzebloem op zandgronden, en de Rode Lijstsoorten Spies-, Akker- en Eironde leeuwebek op kleigronden (Pancras, 1995).

Volgens onderzoek van Buys et al. (1997) leveren braakgelegde perceelsranden en stroken met een ander gewas in Groningen, Zeeland en Limburg voor hogere planten een significant hogere natuurwaarde op t.o.v. gangbaar gebruikte perceelsranden. Ook was het aantal soorten en individuen van schaarse en Rode Lijstsoorten in braakgelegde akkerranden en randen met een ander gewas hoger dan op braakgelegde percelen of percelen ingezaaid met een ander gewas.

Fauna

● *Ongewervelden*

Onderzoek in Engeland naar de verspreiding van dagvlinders in perceelsranden heeft uitgewezen dat ze een voorkeur hebben voor perceelsranden die grenzen aan gebieden die extensief gebruikt en/of beheerd worden. Perceelsranden tussen geogste percelen hebben t.o.v. de bovengenoemde typen randstroken een wat lagere dichtheid aan dagvlinders, maar wel een relatief hoge soortenrijkdom ten opzichte van intensief gebruikt landbouwgebied. De verspreiding van dagvlinders in

perceelsranden wordt sterk beïnvloed door de aanwezigheid van nectarplanten. Verminderde drift van bestrijdingsmiddelen in bufferstroken kan een positief effect hebben op de bloei van wilde plantensoorten en op de voortplanting van de dagvlinders.

Waarschijnlijk is beschutting van een bufferstrook in de vorm van aangrenzende hagen of houtwallen ook gunstig voor het voorkomen van vlinders, doordat de wind wordt afgeremd en er door de beschutting hogere temperaturen optreden.

Ook bij de verspreiding van vlinders door het agrarisch gebied speelt de bovengenoemde beschutting een belangrijke rol. Alleen op rustige dagen lijken de vlinders namelijk gebruik te maken van open, grazige bufferstroken als verbindingszone (Dover, 1999).

● *Gewervelden*

Voor vogelsoorten vormen perceelsranden met een gevarieerde plantengroei een aantrekkelijk zomerhabitat. Veel insecten, die in akkers leven zijn voor hun overleving in de winter afhankelijk van permanente vegetaties buiten de akker of eventueel in de akkerrand. Ook voor vogels en zoogdieren vormen ruige perceelsranden ook in de winter een aantrekkelijk biotoop vanwege de dekking die ze bieden. De geogoste percelen zelf zijn door het verwijderen van het gewas minder aantrekkelijk geworden voor deze dieren (Joenje & de Snoo, 1995).

Voor broedvogels kunnen braakgelegde perceelsranden en stroken met een ander gewas een significant hogere natuurwaarde opleveren t.o.v. gangbaar gebruikte perceelsranden in Groningen, Zeeland en Limburg (Buys et al., 1997). In het demonstratieproject 'Randenbeheer voor de Patrijs' bleek het aantal broedparen van deze soort in extensief beheerde akkerranden ongeveer gelijk te blijven, terwijl het aantal broedparen in de gangbaar beheerde controlepercelen en ook volgens de landelijke BMP-index (= Broedvogel Monitoring Project-index) van het SOVON vrij sterk afnam in dezelfde periode (Maris, 1995).

B. Bufferstroken langs watergangen

1. Bemestings- of spuitvrije zones

Flora

Haarlemmermeer (de Snoo, 1995)

De Snoo (1995) verrichtte onderzoek naar de effecten van spuitvrije perceelsranden (gelegen langs sloten) in suikerbieten-, wintertarwe- en aardappelakkers in de Haarlemmermeerpolder. In vergelijking met bespoten akkerranden en met het centrum van het perceel bleken in alledrie de gewassen de bedekking en het aantal soorten akkerkruiden in de randzones toe te nemen. Deze toename betrof vooral dicotyle plantensoorten, en voor het grootste deel waren dit algemene soorten. Een groot deel van de soorten wordt echter vrijwel uitsluitend in de onbespoten stroken gevonden.

Fauna

- *Ongewervelden*

Haarlemmermeer (de Snoo, 1995)

Uit dit onderzoek blijkt dat de insektendichtheid in onbespoten wintertarweranden in de hogere delen van de vegetatie 3 tot 4 keer zo hoog is als in de bespoten randen. Het betrof hier zowel bloembezoekende insecten (met name zweefvliegen) als predatoren van plaaginsekten, zoals lieveheersbeestjes. Het aantal voorkomende soorten en de aantallen individuen per soort in de onbespoten randen namen ook bij de dagvlinders aanzienlijk toe. Daarnaast nam het aantal voorkomende insectengroepen toe, met een factor 1,4.

De gunstige effecten van onbespoten akkerranden op dagvlinders zijn te danken aan de grotere beschikbaarheid van nectar door de aanwezigheid van veel bloeiende planten, zoals Echte kamille. De toename van de dagvlinders in de onbespoten graanranden kan niet los worden gezien van de aanwezigheid van slootkanten langs de akkerranden. Vlinderaantallen zijn daar veel hoger dan in de akkerrand, en de vlinders verplaatsen zich regelmatig tussen beide plaatsen. Dankzij de aanwezige bloeiende planten kunnen onbespoten akkerranden dienen als zomerhabitat voor dagvlinders, terwijl de slootkanten met hun overblijvende, grasachtige begroeiing geschikt zijn als overwinteringsplek voor vlinders (met name voor de Satyridae en de Hesperidae). De interactie met de slootkant naast de onbespoten randstrook speelt een belangrijke rol. De aanleg van een onbespoten strook midden in een akker, zonder verbinding met een landschapselement als een slootkant, zou voor vlinders nauwelijks zin hebben.

De positieve effecten van de aanwezigheid van spuitvrije akkerranden op de aanwezige bodemfauna bleken vrij gering te zijn.

Overig

Ook de Leeuw et al. (1995) vonden in verschillende experimenten in onbemeste en onbespoten akkerranden vergelijkbaar positieve resultaten met betrekking tot de diversiteit van de insectenfauna en de aantallen individuen per soort.

- *Gewervelden*

Haarlemmermeer (de Snoo, 1995)

Onbespoten randen van graanakkers blijken zeer aantrekkelijk te zijn als foerageergebied voor de Gele kwikstaart. In verhouding tot bespoten graanranden worden de onbespoten randen door deze soort 3-4,5 keer zo vaak bezocht. Dit is waarschijnlijk te verklaren uit de voedselzoekstrategie en het voedselpakket van de Gele kwikstaart, die vaak in de hogere delen van de vegetatie fourageert, waar de effecten van het niet spuiten op de insecten het grootst zijn. Bij een bodemfourageerder als de Veldleeuwerik bleek er geen verschil in bezoekfrequentie te zijn tussen bespoten en spuitvrije randzones.

2. Terrestrische bufferstroken

De terrestrische bufferstroken kunnen volgens STOWA (1998) worden onderverdeeld in vier typen:

1. Strook met ander gewas dan op het aanliggende perceel (2.1)
2. Braakgelegde strook (2.2)
3. Grasstrook met een lage vegetatie van grassen en/of kruiden
4. Bosbufferstrook met een hoge vegetatie bestaande uit houtige gewassen

Flora

Zuidelijk Flevoland (Remmelzwaal & Voslamber, 1996).

Remmelzwaal & Voslamber (1996) onderzochten 4 m brede randstroken aan weerszijden van sloten langs akkers in Zuidelijk Flevoland. Het sloottalud en de eerste meter naast de sloot werden extensief gemaaid (eenmaal per twee jaar in het najaar), terwijl de aangrenzende drie meter als grasstrook werd beheerd, die enkele malen werd gemaaid in het groeiseizoen. Bij aanleg van deze randstroken werd de spontaan aanwezige vegetatie van de slootkanten gehandhaafd, en de eerste meter vanaf de sloot werd ingezaaid met grovere grassoorten. De buitenste drie meter werden ingezaaid met zodevormende grassoorten. Daarnaast werden kleine hoeveelheden zaad van wilde plantensoorten uit de regio in de ruigtestroken uitgestrooid.

Op de ruige delen van de randstroken ontstonden opgaande ruigtevegetaties, van o.a. Riet, Grote brandnetel en grove grassen. De gemaaide stroken hadden een dichte begroeiing van grassen en plaatselijk Witte klaver. De vegetatie bleef soortenarm, en er kwamen alleen zeer algemene soorten in voor. De grootste waarde van de randstroken lag dan ook niet op het botanische vlak, maar in de betekenis van de vegetatie voor de fauna, in de vorm van dekking, nestgelegenheid en voedselvoorziening.

Mycoflora

Over paddestoelen in bufferstroken langs watergangen is in de onderzochte literatuur geen informatie gevonden.

Voor paddestoelen zijn er vooral mogelijkheden in bufferstroken met houtige gewassen, in combinatie met grazige schrale stroken (bijv. op de slootkant), die 1 x per jaar worden gemaaid en waarbij het maaisel wordt afgevoerd. Hierbij blijft de strooiselophoping beperkt, evenals op sloottaluds, waar het ingevallen bladmateriaal gemakkelijk wegwaait. Hier kunnen dan paddestoelsoorten van schrale graslanden groeien (med. E. Brouwer).

Fauna

● *Ongewervelden*

Zuidelijk Flevoland (Remmelzwaal & Voslamber, 1996).

Verruigde akkerranden (gelegen langs sloten) blijken in Zuidelijk Flevoland een positieve bijdrage te leveren aan de biodiversiteit van het agrarisch gebied in de vorm

van een bescheiden toename van het aantal soorten ongewervelden, met name zaadetende loopkevers en schimmeletende kortschildkevers. Daarnaast is het voedselaanbod (insecten, spinnen) voor insectenetters (vogels, spitsmuizen, egels) in het voorjaar en de voorzomer in verruigde akkerranden groter en tevens constanter dan in gangbaar beheerde akkerranden (Siepel et al., 1996; Rimmelzwaal & Voslamber, 1996).

In bovengenoemd onderzoek werden 11 soorten dagvlinders in de ruige randstroken gevonden, alle algemene soorten, die zeer mobiel zijn. In de randstroken en de op enkele plaatsen aangeplante bosjes werden veel grotere aantallen vlinders waargenomen dan in de gangbaar beheerde akkerranden. De ruige bufferstroken en de bosjes gaven beschutting aan de vlinders, en werden gebruikt als voortplantings- en foerageergebied. Tevens kunnen ze een rol spelen als verbindingszone.

Ook werden door Rimmelzwaal & Voslamber (1996) 19 soorten libellen waargenomen in de onderzochte bufferstroken, alle algemene soorten. De libellen bleken een zeer duidelijke voorkeur te hebben voor de delen van sloten waarlangs een randstrook aanwezig was. Ze maakten daar gebruik van de aanwezige beschutting en van het (mogelijk hogere) aanbod aan grotere vliegende insecten, die als prooi kunnen dienen.

● *Gewervelden*

Zuidelijk Flevoland (Rimmelzwaal & Voslamber, 1996)

Zoogdieren

Veldmuizen bleken een vrij sterke voorkeur te hebben voor randstroken ten opzichte van gangbaar beheerde akkerranden. Ze kwamen er in hoge dichtheden voor. Door de grote hoeveelheid grassen is het voedselaanbod voor deze soort in de randstroken zeer gunstig, in vergelijking met randen die landbouwkundig benut worden. Tevens is er veel minder verstoring door landbouwkundige bewerkingen, en zal de predatiedruk lager zijn door een grotere dekking. Door zijn grotere gewicht t.o.v. andere muizensoorten en door zijn talrijke voorkomen in de bufferstroken, zal de veldmuis een voornamelijk rol spelen als voedsel voor predatoren.

Ook de dwergmuis, de dwergspitsmuis en de bosspitsmuis hadden in Zuidelijk Flevoland een voorkeur voor de randstroken boven de gangbaar beheerde akkerranden, dankzij de dichtere, bodembedekkende vegetatie.

De bosmuis bleek geen speciale voorkeur te hebben voor de ruige perceelsranden.

Kleine roofdieren als Bunzing, Hermelijn en Wezel werden meer in de ruige randstroken waargenomen dan in de gangbare perceelsranden.

Vogels

Rietvogels als Kleine karekiet, Rietgors, Blauwborst en Bosrietzanger konden als broedvogel profiteren van de toename van Riet en ruigte in de bufferstroken. Zij maakten ook veelvuldig gebruik van de ruige stroken om te fourageren, net als de in de akkers broedende soorten (Veldleeuwrik en Gele kwikstaart) en doortrekkers als de Kneu. Roofvogels zochten hun voedsel vaker in de ruige perceelsranden dan in

gangbaar beheerde akkerranden. De dichtheid aan fouragerende vogels was in de bufferstroken gemiddeld bijna drie maal zo hoog als in gangbaar beheerde akkerranden. Hierbij speelden factoren als het grotere voedselaanbod (zowel plantaardig als dierlijk), de grotere stabiliteit in de insectenpopulatie en de beschutting die een randstrook biedt een rol.

Engeland (Critchley et al., 1999)

Zoogdieren

Het aanleggen van 10-30 meter brede grazige bufferstroken met een extensief beheer langs waterlopen grenzend aan akkers of grasland is mogelijk gunstig voor Waterspitsmuizen, doordat de vegetatiestructuur verbetert ten opzichte van intensief gebruikte landbouwgebieden zonder bufferstroken. Er ontstaat op deze wijze een relatief ongestoord habitat met een voor deze soort gunstige vegetatiestructuur met overblijvende plantensoorten.

Levensvatbare populaties van waterspitsmuizen hebben grote aaneengesloten stukken leefgebied nodig, dus een groot oppervlak met elkaar verbonden bufferstroken is voor deze soort belangrijk.

3. (Semi-)Aquatische bufferstroken

Zuidelijk Flevoland (Rommelzwaal & Voslamber, 1996)

Poelen in bufferzone

Bij onderzoek naar de mogelijkheden om de natuurwaarden op akkerbouwbedrijven te vergroten in Zuidelijk Flevoland zijn enkele poelen aangelegd als onderdeel van bufferstroken. Deze poelen zijn aangelegd op kleigrond (jonge kalkrijke zeelei) (Rommelzwaal & Voslamber, 1996). Hieronder worden de ontwikkelingen in natuurwaarde van deze poelen samengevat.

Flora

Een jaar na de aanleg was er een relatief soortenrijke pioniervegetatie aanwezig in de poelen, met soorten als Moerasandijvie en Watergras. Vervolgens groeiden de oevers van de poelen geleidelijk dicht met een verlandingsvegetatie van helofyten. Het aantal aanwezige plantensoorten nam wat af t.o.v. de pioniersituatie, maar de poelen bleven desondanks de soortenrijkste biotopen van het onderzochte gebied.

Fauna

In twee jaar tijd ontwikkelde zich in de poelen een gevarieerde macrofaunapopulatie, met enkele minder algemene soorten. Een deel van de soorten was kenmerkend voor relatief voedselarm water. In de bufferstroken met de poelen zijn 19 soorten libellen waargenomen, waarvan 14 soorten zich ook daadwerkelijk voortplantten in de poelen.

Ook voor amfibieën als de Groene kikker en Bruine kikker bleken de poelen een gunstig voortplantingsbiotoop te zijn. In twee opzichten bleken de poelen een

verrijking van de natuur in het landbouwgebied van Zuidelijk Flevoland te zijn. Helder en vrij voedselarm water, zoals dat voorkomt in de poelen, ontbrak tot dusver vrijwel geheel in dit gebied. Daarnaast komt er in de poelen vrijwel geen vis voor, hetgeen belangrijk is voor een succesvolle voortplanting van amfibieën.

4. Natuurlijke vegetaties als bufferstrook

Definitie: gecombineerde (semi-)aquatische en terrestrische bufferstrook

In Limburg zijn door Waterschap Roer- en Overmaas enkele beekherstelprojecten uitgevoerd, waarbij de oevers en de beekloop op een zo natuurlijk mogelijke manier zijn (her)ingericht. De oeverstroken langs de beek maakten voor de uitvoering van de herstelprojecten deel uit van landbouwpercelen, en zijn nu te beschouwen als een soort bufferstrook met een natuurlijke vegetatie. Hieronder worden de resultaten van de herstelprojecten bij de Maasnielderbeek (Maris et al., 1999; Maris & Kurstjens, 1999) en de Vloedgraaf (Maris et al., 1998; Maris & Kurstjens, 1999) besproken.

Maasnielderbeek

Bij de Maasnielderbeek zijn drie deeltrajecten heringericht, waarvan één deel geheel vergraven en op een natuurlijke manier is heringericht. In het laatstgenoemde deeltraject is van een strook van 35-40 meter breed (aan weerszijden van de beekloop) de bouwvoor afgegraven. De oeverstroken aan weerszijden van de beek zijn als bufferstroken te beschouwen. De beek is vergraven tot een slingerende loop, en er zijn poelen en slenken gegraven en ook gevarieerde oevers en eilandjes aangelegd. Na inrichting van het gebied is er een klein aantal Konikpaarden uitgezet die het gebied begrazen.

De herinrichting van een klein deel van het dal van de Maasnielderbeek heeft geleid tot een gevarieerd natuurgebied (beek met oevers en aangrenzende stroken) waarin zich een aantal bijzondere flora- en fauna-elementen hebben gevestigd. Er is een kleinschalige afwisseling ontstaan van droge en natte, voedselrijke en voedselarme plekken. Aanvankelijk hadden vooral pioniervegetaties een groot aandeel in het gebied, maar nu vindt er op een aantal plaatsen een snelle bosontwikkeling plaats. De grazers hebben door hun graasgedrag de variatie in het terrein vergroot.

De uit landbouwproductie genomen stroken langs de beek blijken na afgraving en herinrichting een grote meerwaarde voor de natuur te hebben gekregen.

Vloedgraaf

De Vloedgraaf is over een traject van ruim 1 km en binnen een dwarsprofiel van 75 m heringericht. Delen van aangrenzende landbouwpercelen zijn hiervoor uit productie genomen, en ontdaan van de toplaag. Er is een slingerende bedding gegraven, en er zijn poelen en geulen aangelegd. Twee jaar na de inrichting van het beektraject zijn er enkele Konikpaarden als grazers in het gebied uitgezet. De oeverstroken aan weerszijden van de beek zijn, voor zover ze aan landbouwgronden grenzen, als (semi-)aquatische bufferstroken te beschouwen.

In 5 jaar tijd heeft zich een grote variatie aan vegetatietypen in het gebied ontwikkeld, waarin een aantal bijzondere plantensoorten groeien. Vanwege de sterke belasting

van de Vloedgraaf met nutriënten, bevinden de meest bijzondere begroeiingstypen zich buiten de directe invloed van het beekwater. Ook veel nieuwe diersoorten hebben zich in het gebied gevestigd, dankzij de gevarieerde inrichting.

Net als bij de Maasnielderbeek heeft de natuurontwikkeling op de bufferstroken langs de Vloedgraaf een grote diversiteit aan biotopen en aan flora- en fauna opgeleverd, en daardoor een bijzondere meerwaarde voor de natuur. Ook de waarde van deze stroken als verbindingzone is hierdoor aanzienlijk toegenomen.

