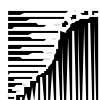


Sieralgen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer

State of the art rapportage



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Directie Kennis, december 2007

© 2007 Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport DK nr. 2007/dk081-O
Ede, 2007

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de directie Kennis onder vermelding van code 2007/dk081-O en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling G. Mulderij, B.W. Ibelings, R. Bijkerk

Druk Ministerie van LNV, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Directie Kennis
Bedrijfsvoering/Publicatiezaken
Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41
Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede
Telefoon : 0318 822500
Fax : 0318 822550
E-mail : DKinfobalie@minlnv.nl

Voorwoord

Sieralgen zijn goede indicatoren voor de natuurwaarde en biodiversiteitswaarde van zoete stilstaande wateren, waaronder laagveenplassen. De soortenrijkdom en aanwezigheid van kieskeurige sieralgsoorten kunnen een indicatie zijn voor de ecologische kwaliteit en natuurwaarde van een aquatisch ecosysteem. Om deze reden is binnen het kader van OBN het onderzoek 'Sieralgen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer' gestart. Dit onderzoek, dat loopt van 2006 tot en met 2009, voorziet in een koppeling tussen de OBN doelstelling voor biodiversiteit en de doelstellingen die bepaald worden voor de Europese Kaderrichtlijn Water.

Voorliggend rapport 'Sieralgen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer. State of the art rapportage', is het resultaat van de eerste fase van dit sieralgenonderzoek: een literatuuronderzoek naar de relatie tussen het voorkomen van sieralgen en potentiële stuurvariabelen en de toepassing van sieralgen in een beoordeling van de ecologische kwaliteit van oppervlaktewater. Het is de eerste stap op weg naar een doelsoortenlijst en een maatlat/beoordelingsmethodiek voor sieralgen.

Het rapport geeft een overzicht van de stand van kennis en de kennislacunes voor wat betreft: 1) de samenstelling van sieralgengemeenschappen van gebufferde meren en de relatie met milieuvariabelen; 2) de bijdrage van sieralgen aan de Nederlandse biodiversiteit; 3) de relatie tussen de aanwezigheid van waterplanten en sieralgen en 4) de mogelijke maatregelen voor herstel/behoud van sieralgen. Daarnaast geeft het rapport aan in hoeverre een doelsoortenlijst volgens de *itz*-criteria en een geschikte maatlat/beoordelingsmethodiek opgesteld kunnen worden.

DE DIRECTEUR DIRECTIE KENNIS
Dr. J.A. Hoekstra

Inhoudsopgave

1	Achtergrond, doel en opzet van het project	7
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doel	8
1.3	Vraagstellingen	8
1.4	Plan van aanpak	8
1.5	Leeswijzer	9
2	Algemene inleiding sieralgen	11
2.1	Inleiding	11
2.2	Morfologie en taxonomie	11
2.3	Levenscyclus	13
2.3.1	Deling	14
2.3.2	Conjugatie	14
2.4	Ecologie	15
2.4.1	Milieuvoorkeur	15
2.4.2	Levenswijze	16
2.4.3	Strategie	16
3	Bijdrage aan de biodiversiteit	19
3.1	Soortenrijkdom	19
3.2	Biodiversiteit	20
3.2.1	Rode lijsten van Europa	21
4	Sieralgengemeenschappen in Nederland	25
4.1	Typologieën	25
4.2	Trends	27
4.2.1	Achteruitgang van sieralgengemeenschappen	28
4.2.2	Herstel van sieralgengemeenschappen	33
5	Relaties met (a)biotische milieufactoren	37
5.1	Biotische factoren	37
5.2	Abiotische factoren	39

5.3	Onzekerheden	41
5.4	Potentieel sturende factoren	42
6	Toepassing in beoordelingssystemen	43
6.1	State of the art: Beoordelingssystemen	43
6.2	Huidige situatie maatlat sieraalgen voor de KRW	46
7	Conclusies en kennislacunes	47
7.1	Conclusies	47
7.2	Kennislacunes	48
7.3	Potentiële informatiebronnen	49
7.4	Veldonderzoek 2007	49
	Literatuur	51
	Bijlage	59

1 Achtergrond, doel en opzet van het project

1.1 Achtergrond

Het programma OBN-kennis heeft als hoofddoel: “Het herstel en behoud van ecosystemen en biodiversiteit door tijdelijke beheers- en/of inrichtingsmaatregelen, als aanvulling op regulier beheer, om onomkeerbare gevolgen van verzuring, verdroging en vermessing te voorkomen”. In fase 1 van het OBN-onderzoek aan laagveenwateren is, onder andere, onderzoek uitgevoerd aan het planktonische voedselweb (Ministerie van LNV 2006). Hierbij lag de nadruk op het vóórkomen van storingssoorten (met name uit de groep cyanobacteriën) in relatie tot begrazing en verbetering van het achtergronddoorzicht (Ministerie van LNV 2006).

Dominantie van cyanobacteriën (blauwalgenbloei) vormt een uiterste in sterk verstoorde, aquatische ecosystemen. Het andere uiterste wordt gevormd door een soortenrijke gemeenschap van sialgalen (desmidiaceeën) in relatief ongestoorde ecosystemen (Coesel 1975, Joosten 1996). Daarom kunnen sialgalen een belangrijke meerwaarde leveren aan het natuurbeleid voor (laagveen)wateren. In het verlengde hiervan is de vraag geopperd of OBN-maatregelen voor het herstel van de heldere toestand met submerse vegetaties ook een positieve uitwerking hebben op sialgengemeenschappen, of dat hiervoor aanvullende, specifieke maatregelen nodig zijn.

Sialgalen zijn vooral goede indicatoren voor de natuurwaarde en biodiversiteitswaarde van zoete, stagnante wateren, waaronder laagveenplassen. Op grond van de soortenrijkdom en de aanwezigheid van kieskeurige sialgalsoorten kan een indicatie verkregen worden van de huidige ecologische kwaliteit en natuurwaarde van ecosystemen ten opzichte van de potentiële referentiekwaliteit (Coesel 1998a; zie hoofdstuk 6 voor een gedetailleerde uitleg over de berekening/bepaling van de natuurwaarde op basis van de aanwezige sialgalenflora). Daarom is deze algengroep gebruikt voor de opstelling van een deelmaatlat fytoplanktonsoortensamenstelling, ten behoeve van beoordelingen van ecologische kwaliteit voor de Europese Kaderrichtlijn Water, KRW (Van den Berg *et al.* 2004, Bijkerk *et al.* 2004a, Van der Molen *et al.* 2004a-c). In de oorspronkelijke visie van de KRW-expertgroep microfyten geeft de deelmaatlat een beoordeling van de mate van ongestoordheid (“natuurwaarde”). Deze is onlosmakelijk verbonden met de deelmaatlat voor antropogene beïnvloeding die gebouwd is op fytoplanktonbloeien. Toepassing van de deelmaatlat sialgalen is vooralsnog echter niet verplicht gesteld, omdat de onderbouwing onvoldoende werd geacht. Wel is aan de STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer) en het RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling) gevraagd om onderzoek uit te voeren naar de toepasbaarheid in de toekomst.

Het geplande onderzoek “*Sialgalen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer*” voorziet hiermee in een koppeling van de OBN-doelstellingen voor biodiversiteit aan de KRW-doelstellingen voor ecologische kwaliteit (Goede Ecologische Toestand, GET, in natuurlijke wateren en een Goed Ecologisch Potentieel,

GEP, in sterk veranderde of kunstmatige wateren). Hierdoor ontstaat een stevige synergie tussen water- en natuurbeheer.

1.2 Doel

De doelen van het onderzoek “*Sieralgen en biodiversiteit*” zijn in de offerte-aanvraag van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) als volgt omschreven:

1. Aanvulling op biodiversiteitswaarden van, voor Nederland, zeer karakteristieke ecosystemen (laagveenwateren).
2. Aanscherping van de beheers- en inrichtingsmaatregelen die genomen worden ten behoeve van het herstel van laagveenwateren.
3. Ontwikkeling van een maatlat voor sieralgen ten behoeve van zowel de KRW als het natuurbeleid om trends in biodiversiteit en ecologische kwaliteit te kunnen volgen.

1.3 Vraagstellingen

Het gewenste onderzoek moet antwoord geven op de volgende kennisvragen:

1. Wat is de samenstelling van sieralgengemeenschappen in gebufferde meren (1.0 – 4.0 meq/l, regionaal verspreid) en met welke (a)biotische en milieuvariabelen is het vóórkomen van sieralgsoorten in deze wateren gecorreleerd?
2. Wat is de bijdrage van sieralgen aan de Nederlandse biodiversiteit en wat is de trend daarin?
3. Is er in potentie een doelsoortenlijst volgens de itz-criteria voor sieralgen op te stellen? (voor toelichting *itz-criteria*, zie paragraaf 3.2)
4. Hoe verhoudt de sieralgensamenstelling zich tot de waterplantensamenstelling? Voegt de sieralgensamenstelling iets wezenlijks toe aan de biodiversiteitswaarde van de laagveenwateren?
5. Met welke maatregelen zijn sieralgen in laagveenwateren te herstellen/behouden en hoe verhoudt zich dat tot andere maatregelen die bijvoorbeeld in het kader van OBN worden genomen?
6. Hoe ziet een geschikte maatlat/beoordelingsmethodiek voor sieralgen eruit? Voor een beoordelingsmethodiek is een gevoeligheidsanalyse gewenst voor het effect van het weglaten van lastig determineerbare soorten. De beoordelingsmethodiek dient KRW-proof te zijn.

1.4 Plan van aanpak

Het beoogde onderzoek is opgesplitst in vier fasen. Voor een meer gedetailleerde beschrijving en planning van het gehele onderzoeksproject verwijzen we graag naar de projectbeschrijving. De vier fasen bestaan uit:

1. voorbereiding;
2. veld- en bureau-onderzoek deel 1;
3. veld- en bureau-onderzoek deel 2;
4. bureau-onderzoek en rapportage.

Het voor u liggende rapport beschrijft het theoretische deel van de voorbereiding: Een literatuuronderzoek naar de relatie tussen het voorkomen van sieralgen en potentiële stuurvariabelen en de toepassing van sieralgen in een beoordeling van de ecologische kwaliteit van oppervlaktewater. Dit rapport vormt het eerste tussenproduct voor het project “*Sieralgen en biodiversiteit: bijdrage, functioneren en beheer*”. Een kort overzicht van de geplande producten staat in tabel 1.

Tabel 1 Richtdata voor het gereedkomen van conceptversies van de geplande (tussen)producten

Richtdatum voor oplevering	Omschrijving
December 2006	Tussenrapportage State-of-the-Art
Maart 2007	Werkplan 2007
15 November 2007	itz-Doelsoortenlijst
15 November 2007	Tussenrapportage Biodiversiteit
Maart 2008	Werkplan 2008
Juni 2008	Externe publicaties
Oktober 2008	KRW-maatlat
15 November 2008	Tussenrapportage Maatregel-effect
Maart 2009	Werkplan 2009
15 November 2009	Eindrapport
Oktober 2009	Externe publicaties

In de tussenrapportage *Biodiversiteit* worden de resultaten van het veld- en bureau-onderzoek van 2007 besproken. Het veldonderzoek in 2007 is beschrijvend van aard. De *Maatregel-effect-tussenrapportage* presenteert de resultaten van het veld- en bureauonderzoek van 2008, waarbij het veldonderzoek een meer experimenteel karakter zal krijgen. In de werkplannen voor 2007, 2008 en 2009 zal een gedetailleerde beschrijving worden gegeven van de wijze waarop het onderzoek in de desbetreffende jaren zal worden uitgevoerd en gerapporteerd. Externe publicaties (publicaties in (populair)wetenschappelijke tijdschriften en bijdragen aan websites) zullen op verschillende momenten gedurende het project opgeleverd worden. Naast de jaarlijkse werkplannen en tussenrapportages moet het sieralgenonderzoek ook resulteren in een *itz*-doelsoortenlijst en een maatlat voor de KRW. In de laatste fase van het onderzoek zal alle informatie, vrijgekomen uit de voorgaande fasen, worden geïntegreerd in de eindrapportage.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 geven we een algemene inleiding waarin onderwerpen als morfologie, taxonomie, reproductie en de ecologie van sieralgen besproken worden. In hoofdstuk 3 gaan we in op de bijdrage van sieralgen aan de Nederlandse biodiversiteit. Hoofdstuk 4 is gewijd aan sieralgen gemeenschappen in Nederland. In dit hoofdstuk worden verschillende indelingen van Nederlandse sieralgen gemeenschappen besproken. Daarnaast worden trends in de ontwikkeling van deze gemeenschappen en in het voorkomen van individuele (in het bijzonder kieskeurige) sieralgsoorten in Nederland beschreven. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de verspreiding van sieralgen in relatie tot verschillende (a)biotische milieufactoren, zoals waterplanten, de chemische samenstelling van het water en factoren als temperatuur en hydromorfologie. Tot slot wordt er in dit hoofdstuk een beschrijving van potentiële stuurvariabelen gegeven. Hoofdstuk 6 gaat in op de mogelijke toepassing van sieralgen in beoordelingssystemen. Het zevende en laatste hoofdstuk geeft een overzicht van de stand van zaken in het licht van de vragen van het Ministerie van LNV. Het geeft een aantal antwoorden op de eerdergenoemde vragen, maar laat ook zien waar we nog te maken hebben met kennislacunes. Het hoofdstuk sluit af met een voorschot voor het veld- en bureauonderzoek van 2007 en bespreekt waar dit onderzoek zich vooral op zal moeten gaan richten.

2 Algemene inleiding sieralgen

2.1 Inleiding

Sieralgen (desmidiaceeën) zijn ééncellige groenwieren met een opvallend symmetrische celvorm (figuur 1). De meeste soorten zijn microscopisch klein, maar enkele soorten zijn zo groot dat ze zelfs met het blote oog waargenomen kunnen worden. Eén van die grotere soorten, voorkomend in Nederland, is *Closterium acerosum*. Sieralgen zijn in meerdere opzichten bijzondere groenwieren. Op de eerste plaats hebben veel sieralgen een aansprekende, fraaie vorm, waardoor onderzoek aan deze groep een esthetisch genoegen biedt. Op de tweede plaats is er veel bekend over de systematiek van sieralgen. Daardoor is het vaak mogelijk een betrouwbare determinatie uit te voeren, wat bij veel andere microalgen niet goed kan. Hierdoor is er ook veel bekend over hun vóórkomen in het verleden en over hun ecologische voorkeur. Veel soorten hebben een voorkeur voor kwetsbare aquatische milieu's, waardoor deze gebruikt kunnen worden als indicatorsoorten voor de ecologische kwaliteit en kwetsbaarheid van aquatische ecosystemen (Joosten 1996).



Figuur 1: Een aantal soorten uit de Nederlandse sieralgenflora (foto: Wim van Egmond)

2.2 Morfologie en taxonomie

Sieralgen vormen taxonomisch geen duidelijk afgegrensde groep. Een deel behoort tot de orde Desmidiales (wereldwijd ca. 5000 soorten verspreid over 30 genera, Van den Hoek *et al.* 2002). Een ander deel behoort tot de orde Zygnematales (wereldwijd ongeveer 18 genera en 900 soorten, Van den Hoek *et al.* 2002), samen met een groep van draadvormende algen, waaronder *Mougeotia* en *Spirogyra*, die niet tot de sieralgen gerekend worden (zie tabel 2). Beide orden vormen de klasse Zygnematophyceae, die zich onderscheidt van andere algenklassen door een speciale vorm van geslachtelijke voortplanting: conjugatie.

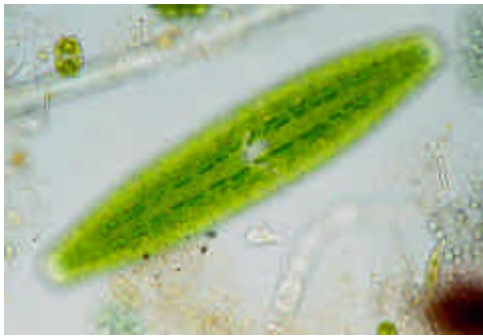
Tabel 2 Systematisch overzicht van de Nederlandse sieralggenera (sieralgen in donkergroen kader)

Afdeling	Klasse	Orde	Familie	Genus
Chlorophyta	Chlorophyceae e.a.	Chlorococcales e.a.	Scenedesmaceae e.a.	<i>Scenedesmus</i> e.a.
Charophyta	Charophyceae e.a.	Charales e.a.	Characeae	<i>Chara</i> e.a.
	Zygnemophyceae	Desmidiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>
			Desmidiaceae	<i>Actinotaenium</i> <i>Bambusina</i> <i>Cosmarium</i> <i>Cosmocladium</i> <i>Desmidium</i> <i>Docidium</i> <i>Euastrum</i> <i>Haplotaenium</i> <i>Heimansia</i> <i>Hyalothece</i> <i>Micrasterias</i> <i>Pleurotaenium</i> <i>Sphaerososma</i> <i>Spondylosium</i> <i>Staurastrum</i> <i>Staurodesmus</i> <i>Teilingia</i> <i>Tetmemorus</i> <i>Xanthidium</i>
		Zygnematales	Gonatozygaceae	<i>Gonatozygon</i>
			Peniaceae	<i>Penium</i>
			Mesotaeniaceae	<i>Cylindrocystis</i> <i>Mesotaenium</i> <i>Netrium</i> <i>Roya</i> <i>Spirotaenia</i> <i>Tortitaenia</i>
			Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i> e.a.

De systematiek binnen de klasse Zygnematophyceae is gebaseerd op Mix (1972). Voorheen maakte deze klasse deel uit van de afdeling Chlorophyta. Tegenwoordig worden de sieralgen in een aparte afdeling ingedeeld, de Zygnemophyta (McCourt *et al.* 2000), of samen met de kranswieren en de groep rond *Spirogyra* in de afdeling Charophyta (of Streptophyta) geplaatst (Lewis & McCourt 2004). Deze recente verschuivingen in de systematische positie van sieralgen zijn het gevolg van de toepassing van moleculaire criteria (vooral op basis van subunit rDNA sequenties) naast morfologische en ultra-structurele criteria.

De twee orden van sieralgen (Zygnematales en Desmidiales) kunnen allereerst op morfologische gronden van elkaar worden onderscheiden. Daarnaast is er een verschil in de celdeling. De sieralgen uit de Zygnematales, ook wel 'saccoderme sieralgen' genoemd, bezitten een uit één stuk opgebouwde, doorgaans

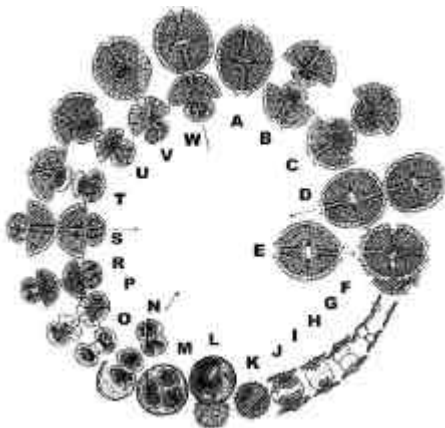
cylindervormige celwand zonder ornamentatie of mediane insnoering (figuur 2). De Desmidiales of 'placoderme sialgalen' bezitten een cel die is opgebouwd uit twee semicellen, die gescheiden zijn door een sutuurlijn, zoals bij *Closterium* of *Penium*, of door een duidelijke insnoering die isthmus genoemd wordt, zoals bij *Cosmarium*, *Euastrum* en *Micrasterias* (figuur 3). De celwand bezit een poriënsysteem en is bij de meeste soorten versierd met knobbeltjes, wratjes en/of stekeltjes. Als gevolg van de wijze van celdeling verschillen de semicellen van één en dezelfde cel in leeftijd. Door groeiatoornissen kunnen de semicellen morfologisch ook enigszins van elkaar afwijken.



Figuur 2: *Netrium digitus*, een saccoderme sialgalg uit de orde Zygnematales (foto: Wim van Egmond)



Figuur 3: *Euastrum bidentatum*, een placoderme sialgalg uit de orde Desmidiales (foto: Koeman en Bijkerk bv.)



Figuur 4: Levenscyclus van *Micrasterias rotata*. Verklaring letteraanduidingen (naar Coesel 1982a): A: Vegetatieve, haploïde cel; B - D: Ongeslachtelijke voortplanting door deling van de vegetatieve cel; E - J: Geslachtelijke voortplanting door conjugatie van een + en - cel; F - J: Vorming en versmelting van de conjugatiepapillen, loodrecht op het frontale vlak van de cel ter hoogte van de isthmus, tot diploïde zygote; K: Zygospore; L - N: Ontwikkeling van de zygote tot kiemblaas met kiemlingen; O - S: Vorming van provegetatieve cellen uit de kiemlingen; T - W: Deling van provegetatieve cellen waarbij normale vegetatieve cellen worden gevormd met twee gelijke semicellen (A). Bron: Lenzenweger 2003.

2.3 Levenscyclus

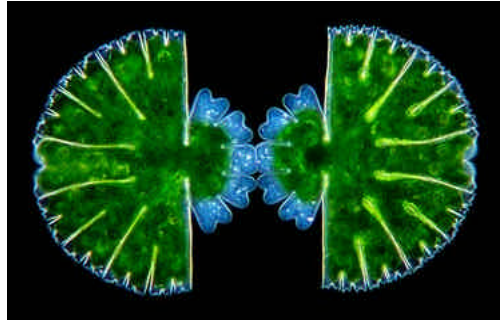
Sialgalen kunnen zich op twee wijzen vermenigvuldigen: (a) ongeslachtelijk door celdeling en (b) geslachtelijk door conjugatie. De gewone, vegetatieve sialgalcel is haploïd. Het conjugatieproduct, de zygote, is de enige diploïde fase in de levenscyclus van sialgalen (figuur 4). Conjugatie is in het algemeen een zeldzaam verschijnsel (Canter & Lund 1966, 1995; Coesel 1974). Het vermogen hiertoe is niet bij alle sialgalsoorten in gelijke mate ontwikkeld. Sommige soorten worden veelvuldig conjugerend aangetroffen, terwijl het verschijnsel bij veel andere soorten zelden of nooit is waargenomen en evenmin experimenteel te induceren lijkt (Coesel & Teixeira 1974). Bij de relatief eenvoudig gebouwde sialgalen uit de familie Mesotaeniaceae (Zygnematales) en de twee geslachten *Closterium* en *Penium* (beide behorende tot de Desmidiales), lijkt conjugatie veel vaker voor te komen dan bij vertegenwoordigers

van morfologisch meer gestructureerde geslachten uit de orde Desmidiiales, zoals *Euastrum*, *Micrasterias* en *Xanthidium* (Coesel & Teixeira 1974).

Vermoedelijk is conjugatie vooral induceerbaar bij sialalgen die vóórkomen op standplaatsen die tijdelijk kunnen uitdrogen en de vorming van een duurzame, droogteresistente zygospore noodzakelijk is om te kunnen overleven. Een ondersteuning voor deze theorie is de waarneming dat conjugatie vaker voorkomt bij sialalgen uit (sub)tropische gebieden dan bij sialalgen uit gematigde en boreale streken en dat kan ook gelden voor stammen van één soort (Handke 1996, Ichimura *et al.* 1997). Voor een succesvolle geslachtelijke voortplanting dient natuurlijk ook de populatiedichtheid voldoende hoog te zijn.



Figuur 5: Twee dochtercellen van *Spirotaenia condensata*, net na de deling (foto: Wim van Egmond)



Figuur 6: De vorming van twee nieuwe semicellen bij *Micrasterias thomasiana* (foto: Wim van Egmond)

2.3.1 Deling

De wijze waarop de dochtercellen worden gevormd bij de deling van de vegetatieve cel verschilt tussen orden Zygnematales en Desmidiiales. Bij de Zygnematales deelt de moedercel zich in twee dochtercellen die zich ontwikkelen binnen de moedercelwand. Naderhand verslijmt deze moedercelwand. Bij *Spirotaenia* kunnen deze dochtercellen nog geruime tijd bij elkaar blijven (figuur 5). Bij de Desmidiiales scheidt de cel zich ter hoogte van de isthmus of suturelijn in de twee semicellen. Vervolgens maakt elke semicel een nieuwe semicel aan (figuur 6), waarna beide cellen uit elkaar gaan. De beide semicellen van één cel verschillen dus in leeftijd. Op de site van de Sialalgenwerkgroep is een fotoserie te zien van celdeling bij *Cosmarium biretum*: http://www.desmids.nl/info/reproductie/asexual_reproduct/asexual_reproduction.html

2.3.2 Conjugatie

Vegetatieve (haploïde) cellen ontwikkelen zich onder invloed van hormonen tot sexueel actieve cellen. Dit vermogen is echter niet bij alle soorten in even sterke mate ontwikkeld, terwijl er ook intraspecifieke verschillen kunnen bestaan tussen klonen van temporaire en permanente wateren (Coesel 1989). Sexueel actieve cellen benaderen elkaar onder invloed van chemotaxis (beweging van een cel als reactie op een chemische prikkel). Bij een deel van de soorten vindt de paarvorming bij toeval plaats. Bij een ander deel vindt dit alleen plaats tussen + en - cellen, die fysiologisch gezien enigszins van elkaar verschillen. Tussen de cellen ontwikkelt zich een conjugatiebuis door welke het cytoplasma van beide cellen samensmelt tot een diploïde zygote. Rond deze zygote ontwikkelt zich een dikke wand, waardoor een uitdrogingsresistente, duurzame zygospore ontstaat. Deze zygospore heeft een voor de soort karakteristieke vorm en is daarmee van taxonomische betekenis. Door hun duurzaamheid worden zygosporen teruggevonden in fossiele afzettingen en gebruikt voor paleoecologisch onderzoek. Op de site van de Sialalgenwerkgroep zijn foto's te zien van conjugatie bij *Closterium ehrenbergii*: http://www.desmids.nl/info/reproductie/desmids_sexual_reproduction.html.

2.4 Ecologie

2.4.1 Milieuvorkeur

Sieralgen komen vrijwel uitsluitend voor in stilstaand, zoet water. Slechts enkele soorten kunnen ook in brakke of stromende wateren voorkomen (Redeke 1948). Sieralgen zijn vooral abundant (in aantal individuen en in aantal soorten) in 'zachte wateren' met een lage alkaliniteit (bijv. Canter-Lund & Lund 1995). De meeste sieralgsoorten hebben een duidelijke voorkeur voor zure tot zwak zure, mesotrofe wateren (tabel 3). Het aantal soorten met een onbekende voorkeur of met een zeer brede ecologische amplitude wat deze factoren betreft, is beperkt.

Voor veel soorten is de milieuvorkeur ongetwijfeld subtieler dan tabel 3 suggereert. *Actinotaenium subtile* en *Staurastrum brachiatum* bijvoorbeeld, kunnen in zure hoogveenvennen naast elkaar worden aangetroffen. De eerste soort echter is tot dusver alleen gevonden in zuiver ombrotrofe vennen midden op het Drents plateau, terwijl de tweede soort een veel bredere verspreiding heeft. Daarnaast heeft de bestudering van sieralgengemeenschappen van overeenkomstige watertypen duidelijk gemaakt dat er soortspecifieke verschillen in tolerantie voor verstoring bestaan. Dit verschil wordt uitgedrukt in 'kieskeurigheid'.

Naast fysisch-chemische factoren zoals de hardheid, alkaliniteit, zuurgraad en de voedselrijkheid van het water speelt ook de aanwezige (onderwater)vegetatie een belangrijke rol in de ontwikkeling van sieralgenpopulaties. Vooral temidden van waterplanten inclusief natte delen van bijvoorbeeld trilvenen en natuurontwikkelingsgebieden (bijv. het Laegieskamp, ten zuidwesten van Naarden) komen sieralgengemeenschappen tot een hoge diversiteit (B. van Tooren, pers. com.).

Tabel 3 Voorkeur voor trofie (op basis van aanwezige stikstof- en fosfaatgehalten) en zuurgraad (acidofiel: pH < 6.5; alkaliefiel: pH > 7.5; circumneutraal: 6.5 < pH < 7.5) onder de Nederlandse sieralgsoorten. Bron: Coesel 1998a

Trofiegraad*	Aantal soorten	Zuurgraad**	Aantal soorten
Oligotrafent	117	Acidofiel	312
Oligo-mesotrafent	78	Acidofiel-circumneutraal	84
Meso-oligotrafent	28	Circumneutraal-acidofiel	1
Mesotrafent	195	Circumneutraal	8
Meso-eutrafent	30	Circumneutraal-alkaliefiel	12
Eu-mesotrafent	1	Alkaliefiel-circumneutraal	4
Eutrafent	13	Alkaliefiel	6
Oligo-eutrafent	3	Acidofiel-alkaliefiel	38
Onbekend	1	Onbekend	1
Totaal	466	Totaal	466

* niet nader gespecificeerd

** acidofiel: pH < 6.5; alkaliefiel: pH > 7.5; circumneutraal 6.5 < pH < 7.5

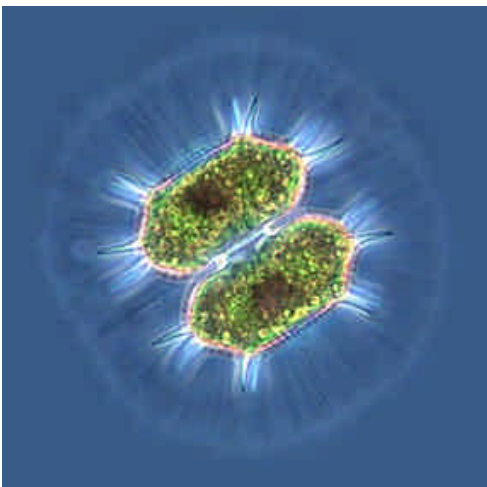
Tabel 4 Levenswijze van de Nederlandse sieralgsoorten. Bron: Coesel 1998a

Levensvorm	Aantal soorten
Atmofytisch	2
Atmofytisch-benthisch	26
Benthisch-atmofytisch	28
Benthisch	339
Benthisch-planktisch	49
Planktisch-benthisch	3
Planktisch	18
Onbekend	1
Totaal	466

2.4.2 Levenswijze

De meeste sialgalen hebben een metaphytische levenswijze (in tabel 4 aangeduid als bentisch; zie bijv. Sandgren 1988). Ze leven tussen waterplanten, tussen het aangroei op de bodem van heldere plassen, of in natte delen van trilvenen. Vanuit die omgeving kunnen zij als tychoplankton terecht komen in het open water en daar enige tijd blijven circuleren. Omstreeks 15% van de in Nederland voorkomende soorten (= 70 soorten, tabel 4) leeft geheel of gedeeltelijk planktisch. Een klein aantal sialgasoorten heeft een voorkeur voor tijdelijke regenplassen, voor dunne waterfilmpjes op uiteenlopende oppervlakten of voor vochtig mos. Een dergelijke atmofytische levenswijze is vooral verbreid binnen de familie Mesotaeniaceae. *Mesotaenium* leeft bijvoorbeeld overwegend atmofytisch. Bij *Cylindrocystis*, *Roya* en *Spirotaenia* is deze levenswijze meer facultatief. Bij de Desmidiaceae is een (deels) atmofytische levenswijze vooral verspreid binnen het geslacht *Actinotaenium*.

Daarnaast staan enkele soorten uit de genera *Closterium*, *Cosmarium* en *Staurastrum* ook bekend als atmofytische soorten (o.a. *Closterium pusillum*, *Cosmarium holmiense*, *C. simplicius* en *Staurastrum habeebense*; Coesel 1998a, Coesel et al. 2006).



Figuur 7: *Xanthidium antilopaeum* met daar omheen een slijmmantel (foto: Wim van Egmond)



Figuur 8: *Staurastrum boreale*. De stekels bieden mogelijk bescherming tegen begrazing door zooplankton (foto: Koeman en Bijkerk bv.)

2.4.3 Strategie

Sialgalen spelen qua aantal vaak een ondergeschikte rol binnen het fytoplankton. Veel soorten echter zijn relatief groot, waardoor ze wel een belangrijk onderdeel van de fytoplanktonbiomassa kunnen vormen. In het algemeen groeien sialgasoorten relatief langzaam, zodat zij aanpassingen moeten hebben om verlies door begrazing of sedimentatie te verminderen.

Functie van een slijmmantel

Een belangrijke aanpassing van veel sialgasoorten is de uitscheiding van mucus, waardoor zij zich omringen met een dikke slijmmantel (figuur 7). Er bestaan verschillende hypothesen voor de functie van deze slijmmantels. Mogelijk spelen ze een rol als/bij:

- Opslagmedium voor fosfaat.
- Barrière voor schimmelinfecties.
- Het verlagen van het soortelijk gewicht.
- Het verhogen van de partikelgrootte.
- Het hechten aan andere objecten.

Het lijkt erop dat slijmmantels vooral aanwezig zijn bij sieralgsoorten uit relatief voedselarme milieu's (Coesel 1994a), maar deze slijmmantel lijkt niet te functioneren als opslagmedium voor fosfaat. Mogelijk heeft de mantel wel een functie bij de opslag van alkaline fosfatase (APA; Spijkerman & Coesel 1998). Canter-Lund & Lund (1969, 1995) dachten dat de slijmmantel mogelijk als barrière voor nutriëntentransport functioneert. Het feit dat slijmmantels vooral waargenomen worden bij sieralgen uit relatief voedselarme milieu's, maakt deze hypothese echter zeer onwaarschijnlijk.

Vitale sieralgenpopulaties kunnen snel achteruit gaan of zelfs geheel verdwijnen door infecties van parasitaire schimmels (Cook 1963; Canter-Lund & Lund 1995; Kagami & Urabe 2002). De slijmmantel biedt hiertegen geen bescherming (Canter & Lund 1969). In 1995 presenteerden Canter-Lund & Lund aansluitend foto's van door schimmels geïnfecteerde vertegenwoordigers van de genera *Staurastrum* en *Cosmarium*, ingebed in een slijm laag.

Mogelijk vermindert de slijmmantel de kans op uitzakking (Canter-Lund & Lund 1995), door een verlaging van het soortelijk gewicht, of vergroot hij de kans op een metafytische levenswijze (grotere deeltjes blijven makkelijker tussen de planten hangen), of verkleint hij de kans op begrazing (eveneens door toename van de partikelgrootte). Dit helpt natuurlijk niet tegen grotere grazers, zoals muggelarven (Canter-Lund & Lund 1995; eigen waarnemingen). Een toename van de partikelgrootte om begrazing te vermijden kan ook ontstaan door de ontwikkeling van stekels (zoals bij *Staurastrum*, figuur 8) of door de vorming van filamenten (zoals bijvoorbeeld *Spondylosium*, figuur 9).



Figuur 9: *Spondylosium ellipticum*. Een sieralg die vooral voorkomt in de vorm van filamenten (hier met slijm laag), ter bescherming tegen begrazing door zoöplankton (foto: Frans Roefs (<http://www.desmids.nl>))



Figuur 10: *Closterium archerianum* var. *minus*. Een soort met een langgerechte vorm en een kleine diameter, kenmerkend voor R-strategen (Reynolds 1988). (foto: Koeman en Bijkerk bv.)

Tenslotte zijn er aanwijzingen dat de slijmmantel rondom sieralgen gevormd wordt om te kunnen hechten aan oppervlakten, wanneer de cel met deze oppervlakten in contact komt (Domozych *et al.* 2003; Domozych *et al.* 1993). Cellen van *Closterium* die in de buurt van een ander object kwamen, gingen slijm uitscheiden en verbonden zich zo met het oppervlak van het andere object. Mogelijk hechten sieralgen zich op een vergelijkbare manier ook aan waterplanten.

Functie van de celvorm

Aanpassing aan een gemiddeld ongunstiger lichtklimaat, zoals bij soorten met een tychoplanktonische of bentische levenswijze, kan verlopen via de celvorm. Soorten van de geslachten *Euastrum* (figuur 3) en *Micrasterias* (figuur 6) worden gekenmerkt door een platte vorm. Hierdoor is een groter oppervlak aan chloroplast effectief bij lichtabsorptie dan bij bolvormige sieralgsoorten het geval is. Soorten uit het geslacht *Closterium* (figuur 10) bezitten een langgerechte vorm, met een kleine diameter, waardoor zij evenals veel (pennate) kiezelalgen gerekend kunnen worden tot de groep van de R-strategen (zie Reynolds 1988). Al eerder werd aangegeven dat de

meeste sieraalgsoorten voorkomen in mesotrofe wateren. Er zijn echter uitzonderingen die erop wijzen dat sommige soorten wel degelijk kunnen profiteren van een hoge beschikbaarheid van nutriënten: Een verhoogde dichtheid van bepaalde kleine *Cosmarium*-soorten, of van een soort als *Staurodesmus extensus*, kan wijzen op een nutriëntenverrijking in een oorspronkelijk voedselarm systeem (Joosten 1996, eigen waarnemingen).

3 Bijdrage aan de biodiversiteit

3.1 Soortenrijkdom

Volgens het Natuurcompendium uit 2003 telt Nederland 450 sialgsoorten (Van Duuren *et al.* 2003, p 81), maar het zijn er iets meer (tabel 5). In het laatste deel van de Nederlandse sialgenflora staan 466 soorten vermeld (Coesel 1998a). Sindsdien is een aantal soorten als nieuw voor de Nederlandse flora ontdekt (o.a. Coesel *et al.* 2006, Bijkerk & Kouwets *in prep.*), terwijl enkele variëteiten een status als aparte soort verdienen. In de voor de Kaderrichtlijn Water ontwikkelde maatlat zijn 484 soorten opgenomen. De voorlopige TCN-lijst (Taxon Code Nederland) omvat een veel groter aantal soorten (693), maar een aanzienlijk aantal soorten staat onder meerdere namen (synoniemen) in deze lijst.

Tabel 5 Aantal sialgsoorten per genus in drie verschillende Nederlandse soortenlijsten

Genus	Coesel (1998b)	KRW-maatlat (2005)	TCN (2006)
Actinotaenium	18	19	21
Bambusina	1	1	2
Closterium	53	55	72
Cosmarium	157	157	225
Cosmocladium	3	3	5
Cylindrocystis	3	4	5
Desmidium	4	4	5
Docidium	2	2	0
Euastrum	30	29	45
Gonatozygon	4	4	4
Groenbladia	0	0	2
Haplotaenium	0	3	2
Heimansia	1	1	1
Hyalotheca	2	2	0
Mesotaenium	4	8	10
Micrasterias	16	16	19
Netrium	3	5	4
Penium	4	4	16
Pleurotaenium	11	9	15
Roya	1	3	0
Sphaerososma	3	3	8
Spirotaenia	7	13	12
Spondylosium	2	2	5
Staurastrum	99	98	160
Stauroidesmus	21	22	32
Teilingia	3	3	4
Tetmemorus	3	3	4
Tortitaenia	0	1	0
Xanthidium	11	10	15
Totaal	466	484	693

Enkele soorten uit deze lijst zijn nog niet met zekerheid in Nederland vastgesteld, terwijl een aantal andere wel als inheems bekende soorten nog ontbreekt. Op grond van nog niet gepubliceerde resultaten van onderzoek in de afgelopen jaren denken wij dat het aantal sieralgsoorten in Nederland met nog minstens tien zal worden uitgebreid, waaronder enkele soorten die vermoedelijk nieuw zijn voor de wetenschap. Het totale aantal soorten in Nederland zal dan uitkomen op ca. 500.

Binnen de groep sieralgen is *Cosmarium* (figuur 11) het meest uitgebreide genus. Wereldwijd zijn er van dit genus meer dan 2000 soorten aangetroffen (Canter-Lund & Lund 1995). In Nederland kennen we zo'n 150 - 225 soorten die behoren tot het bovengenoemde genus (tabel 5). Na *Cosmarium* is *Staurastrum* (figuur 8) het meest omvangrijke genus binnen de sieralgen. Hiervan zijn wereldwijd meer dan 1000 soorten beschreven (Canter-Lund & Lund 1995). In Nederland zijn er van dit genus 100 - 150 soorten aangetroffen (tabel 5).



Figuur 11: Cosmarium protractum. Eén van de soorten uit het meest uitgebreide genus binnen de groep sieralgen (foto: Koeman en Bijkerk bv.)

3.2 Biodiversiteit

In het overzicht van de biodiversiteit in Nederland staan de sieralgen op de derde plaats voor wat betreft het aantal soorten per algengroep (tabel 6). Bovenaan staan de kiezelalgen met 1300 soorten, maar daar zitten ook de mariene soorten bij. Het aantal kiezelalgsoorten in Nederlandse zoete tot zwak brakke wateren bedraagt omstreeks de helft. De herkenbaarheid van afzonderlijke soorten speelt natuurlijk een belangrijke rol in de positie op een dergelijke ranglijst. Uit een onderzoek naar de biodiversiteit in Nieuw Zeeland bleek dat het aantal geïdentificeerde soorten sieralgen en kiezelalgen aanzienlijk groter was dan het aantal bekende soorten uit alle overige algengroepen tezamen (Novis 2003). Het Natuurcompendium 2003 (Van Duuren *et al.* 2003) geeft geen informatie over de achteruitgang van de soortenrijkdom van sieralgen, noch over mogelijk bedreigde soorten.

Tabel 6 Geschatte aantal algensoorten in Nederland, inclusief mariene soorten en macroalgen. Bron: Van Duuren *et al.* 2003

Genus	Aantal soorten
Kiezelalgen	1300
Overige groenalgen	1150
Sieralgen	450
Goudalgen	350
Dinoflagellaten	300
Oogflagellaten	250
Xanthophyceae	120
Haptophyta	100
Roodwieren	78
Bruinwieren	73
Cryptophyta	25
Kranswieren	20

3.2.1 Rode lijsten van Europa

Voor Nederland heeft Coesel (1998a) een Rode Lijst opgesteld voor de groep sieralgen. Hierbij werden de volgende criteria gehanteerd (Coesel 1998a, p 24):

- De soort mag niet of nauwelijks te verwarren zijn met andere soorten;
- De soort moet een hoge signaalwaarde ($s = 2$ of 3) hebben met betrekking tot een kwetsbaar milieutype. $s = 1$: laag-indicatief, de soort komt ook wel in minder stabiele systemen voor. $s = 3$: hoog-indicatief, de soort lijkt gebonden aan rijk gestructureerde, uitgebalanceerde ecosystemen, die na eventuele vernietiging tenminste tientallen jaren behoeven voor herstel van de oude toestand;
- De soort moet zeldzaam zijn ($r = 2$, zeldzaam of 3 , zeer zeldzaam) en de zeldzaamheid moet te herleiden zijn tot een sterke bedreiging van het habitat. Zeldzame soorten die, blijkens de archieven, ook al aan het begin van deze eeuw slechts sporadisch werden aangetroffen, komen dus niet in aanmerking.

De Nederlandse Rode Lijst van Coesel (1998a) omvat 94 soorten (ongeveer 20% van de flora). Deze lijst is officieel geen echte Rode Lijst, omdat de lijst op een subjectieve manier tot stand is gekomen. De gebruikte (historische) gegevens over sieralgen zijn vooral kwalitatief van aard, waardoor geen 'echte' Rode Lijst volgens de vijf criteria (A - E) beschreven door de IUCN, The World Conservation Union (2001) op te stellen is. De door de IUCN gehanteerde criteria gaan uit van abundanties en hangen samen met:

- de achteruitgang van populaties (criterium A);
- hun geografische verspreiding (criterium B);
- de absolute populatiegrootte (criterium C en D);
- de kans op uitsterven van het taxon (criterium E).

De 'Rode Lijst' van Coesel is in feite een lijst van sieralgsoorten die indicatief zijn voor habitatachteruitgang. De sieralgsoorten beschreven in deze lijst worden niet genoemd in het hoofdstuk '*Bedreigde planten en dieren*' van het Natuurcompendium uit 2003 (Van Duuren *et al.* 2003). In de *itz*-lijst van het Handboek Natuurdoeltypen (Bal *et al.* 1995, 2001) zijn ook geen sieralgen opgenomen.

In het buitenland hebben sieralgen inmiddels ook aandacht gekregen en er zijn zelfs in sommige landen pogingen gedaan om ook een Rode Lijst op te stellen. Hierbij zijn de methodes die werden gehandhaafd echter niet geheel vergelijkbaar, waardoor een vergelijking van de opgestelde lijsten strikt genomen niet mogelijk is. Ondanks het gebruik van deze verschillende methodes om een Rode Lijst op te stellen willen we toch een overzicht geven van wat er in andere Europese landen aan zogenaamde Rode Lijsten voor sieralgen bestaat.

Naast Nederland zijn er in drie andere Europese landen Rode Lijsten met sialgalen verschenen:

- Duitsland (Gutowski & Mollenhauer 1996);
- Hongarije (Németh 2005);
- Oostenrijk (Lenzenweger 1986, 1999).

De Duitse Rode Lijst omvat 62.8 % van de 798 in Duitsland bekende taxa. In feite is de Duitse lijst een checklist van alle gemelde taxa, waarbij voor elke taxon wordt aangegeven wat de status en zeldzaamheid is, bijvoorbeeld 'tolerant' en 'uitgestorven'. Ruim 60% van de Duitse Zygnemophyceae staat te boek als 'bedreigd' of 'zeer bedreigd' (Engels 2006).

De Hongaarse Rode Lijst, die niet alleen sialgalen, maar ook andere algengroepen bevat, geeft eveneens per taxon een indicatie van de mate van bedreiging, afgeleid volgens de IUCN-criteria voor Rode Lijsten. Opgenomen zijn 253 sialgalentaxa, grotendeels op het niveau van variëteiten, waarvan de meeste in de categorie 'Endangered' vallen (tabel 7). In Oostenrijk zijn 437 van de ca. 880 sialgalentaxa beschreven als bedreigd (Plant-Talk 2006).

Tabel 7 Status van sialgalen in de Rode Lijsten van Hongarije en Oostenrijk. Bron: Németh 2005, Plant-Talk 2006

Rode Lijst categorie	Hongarije	Oostenrijk
Extinct	0	0
Critically endangered	9	0
Endangered	145	437
Vulnerable	59	0
Low risk	32	0
Presumably endangered	8	0
Totaal	253	437

Tabel 8 Aantal soorten per genus en de status van het genus in de Schotse Biodiversiteitslijst. Bron: www.biodiversityscotland.gov.uk/ d.d. 22 december 2006

Genus	Species	Priority UK	Int Oblig	Rare UK	Rare Sc	Decline	Endemic	Important
<i>Actinotaenium</i>	10			8	9			
<i>Closterium</i>	12			9	11		1	
<i>Cosmarium</i>	68			68	56			
<i>Cosmocladium</i>	1			1				
<i>Cylindrocystis</i>	1			1	1			
<i>Desmidium</i>	3			3	3			
<i>Docidium</i>	2			2				
<i>Euastrum</i>	15			15	13			
<i>Gonatozygon</i>	2			1	2			
<i>Groenbladia</i>	1			1	1			
<i>Micrasterias</i>	9			6	9			
<i>Pleurotaenium</i>	5			4	2			
<i>Roya</i>	1			1				
<i>Spondylosium</i>	3			3	2			
<i>Staurastrum</i>	71			69	64			
<i>Stauroidesmus</i>	20			18	20			
<i>Teilingia</i>	1			1	1			
<i>Xanthidium</i>	10			10	7			
Total	235			221	201		1	

Total = Total number of species in the list

Priority UK = UK Priority species – UKB AP list

Int. Oblig = International Obligations

Rare UK = "Nationally Rare" at the UK level? i.e. found in between 1-15 ten km² squares

Decline = Decline of 25% or more in Scotland over the last 25 years or other appropriate time period

Endemic = Endemic sub-species or race that also meets at least one other criterion?

Important = Important to the Scottish public

Schotland heeft een eigen 'Biodiversity List' (Scott Wilson 2005a) volgens criteria die overeen komen met onze *itz*-criteria (Bal *et al.* 1995, 2001). De doelsoorten op deze lijst zijn soorten die in het natuurbeleid met prioriteit aandacht krijgen vanwege hun beperkte aanwezigheid en/of hun negatieve trend op internationaal en/of nationaal niveau. In de Schotse Biodiversity List zijn 235 sieralgsoorten opgenomen (Scottish Biodiversity Forum 2006). Met de opname van sieralgen is de Schotse lijst uitgebreider dan de UK lijst, opgesteld in het kader van het UK Biodiversity Action Program (www.ukbap.org.uk/), waar deze algengroep geheel niet in voorkomt. Overigens komen alle soorten die wèl in deze UK lijst staan ook voor op de Schotse lijst (Scott Wilson 2005b). De meeste sieralgsoorten in de Schotse lijst zijn zowel in de UK, als in Schotland zeldzaam. Hierbij is een soort 'zeldzaam' als de soort in niet meer dan 15, respectievelijk 5 blokken van 10 km² is waargenomen (tabel 8). Een klein aantal soorten is, volgens dit criterium, alleen in Schotland als zeldzaam te bestempelen. Eén soort, *Closterium anguineum*, voldoet niet alleen aan beide zeldzaamheidscriteria, maar is ook endemisch voor Schotland. Het criterium "Achteruitgang van minstens 25% in de afgelopen 25 jaar" kon voor sieralgsoorten niet met zekerheid worden vastgesteld, evenmin als voor de meeste andere soorten niet behorend tot de groepen vogels of vaatplanten (Scott Wilson 2005b). Omdat sieralgen niet op de UK lijst staan kon in tabel 8 de kolom "Doelsoort in de UK" (Priority UK) niet worden ingevuld.

Estland, Litouwen, Ukraine en Zweden hebben wel algen in hun Rode Lijsten opgenomen, maar deze bevatten geen sieralgen. Van andere Europese landen zijn op dit moment geen Rode Lijsten met (sier)algen bekend. Algen in het algemeen ontbreken ook als groep in de Rode Lijst van bedreigde soorten van de World Conservation Unit (IUCN 2006).

4 Sieralgengemeenschappen in Nederland

4.1 Typologieën

In Nederland zijn enkele pogingen gedaan om desmidiaceëngemeenschappen te definiëren. Relevant werk daarvoor is uitgevoerd door Beijerinck in Drentse vennen. Daarna heeft Coesel (1975) een typologisch schema ontwikkeld. De indelingen zoals beschreven door Beijerinck en Coesel, voorts aangepast door Joosten (1996) worden hieronder nog even samengevat.

Beijerinck 1926

Door Beijerinck (1926) werden op basis van het voorkomen van verschillende associaties van (sier)algen vijf verschillende typen algengemeenschappen (A, B, C, D en E) onderscheiden. Twee gemeenschappen (D en E) vielen direct af, omdat ze gebaseerd waren op te fragmentarisch materiaal, en zo bleven er drie typen over: Type A, B en C (zie Bijlage 1, voor meer details over deze indeling). Er bestond een duidelijke scheiding tussen mesotrofe algengemeenschappen (Type A) enerzijds en verschillende oligotrofe gemeenschappen anderzijds (Type B en C). Bij de laatste twee typen is het water gemiddeld zachter en zuurder. Type C lijkt een verarmde variant van type B in uitgesproken ombotroof water (te vinden op locaties uitsluitend gevoed door regenwater), te meer daar de kensoorten van type C elders wel samen met kensoorten van type B zijn aangetroffen.

Tabel 9 Ecologische klassificatie van desmidiaceëen, met bijbehorende waarden voor pH en elektrisch geleidingsvermogen (EGV) bij 25°C in mS m⁻¹ en enkele voorbeelden van sieralgsoorten die kenmerkend zijn voor die bepaalde klassen.
Bron: Coesel 1975

Soorten-rijkdom	E = eutroof pH 7-9 (± hard water)	M = mesotroof pH 5-7 (± zacht water)	O = oligotroof pH 4-5 (zeer zacht water)
1 = arm (< 10)	EGV =300 Closterium limneticum C. acutum var. variabile Staurastrum tetracerum		EGV < 10 Cylindrocystis brebissonii Closterium striolatum Bambusina borrieri
2 = vrij arm (< 20)	EGV 50-150 Closterium moniliferum Cosmarium laeve C. obtusatum	EGV 10-60 Euastrum ansatum Pleurotaenium ehrenbergi Tetmemorus granulatus	EGV < 10 Actinotaenium cucurbita Closterium directum Spondylosium pulchellum
3 = vrij rijk (> 30)	EGV 40-70 Cosmarium subprotumidum Staurastrum aricula Teilingia granulata	EGV 10-60 Closterium dianae C. gracile Cosmarium margaritifera	EGV < 10 Euastrum ampullaceum Haplotaenium minutum Staurastrum hystrix
4 = rijk (> 50)	EGV 30-50 Desmidium aptogonum Gonatozygon monotaenium Micrasterias crux-melitensis	EGV 10-60 Closterium turgidum Cosmarium connatum Micrasterias brachyptera	EGV < 10 Cosmarium ralfsii Docidium undulatum Micrasterias jeneri

Coesel 1975

Waar Beijerinck (1926) alleen soorten van Drentse vennen beschreef, werd de Nederlandse sialgenflora door Coesel (1975) beschreven voor alle mogelijke watertypen (dus ook soorten van eutrofe ecosystemen). De indeling van Coesel (1975, tabel 9) is primair gebaseerd op de trofiegraad en maakt onderscheid tussen drie hoofdtypen: oligotroof, mesotroof, en eutroof. Als secundair criterium wordt de soortenrijkdom gebruikt (tabel 9). Hierbij moet opgemerkt worden dat de macro-ionensamenstelling waarschijnlijk net zo belangrijk is als de trofie (Joosten 1996).

Joosten 1996

Joosten (1996) heeft getracht de bovengenoemde twee indelingen nader tot elkaar te brengen in een nieuw schema. Dit schema is, evenals de vorige twee, alleen van toepassing op min of meer permanent natte terreinen. Er is in dit verband een wezenlijk verschil tussen plaatsen die tijdelijk droogvallen enerzijds (zoals vennen met een wisselende waterstand) en monsterpunten die tijdelijk water bevatten anderzijds (zoals regenpoelen). Monsters van de laatste groep zijn nog onvoldoende onderzocht om in het schema ondergebracht te kunnen worden. Dit geldt ook voor monsters van de waddeneilanden, de duinstreek en (in mindere mate) voor diepe wielen, zandputten, e.d.

Verder is het voor een ecologische waterkwaliteitsbeoordeling ook van belang dat enkel sialgsoorten worden meegenomen die ten tijde van de bemonstering met celinhoud aangetroffen zijn, omdat dit aangeeft dat de soorten toen nog in leven waren. Vooral in zachte, zure wateren kunnen resten (lege celwandrestanten) van sialgen nog lang blijven bestaan. De aanwezigheid van subfossiele resten geeft overigens wel aan dat een soort in het verleden op de desbetreffende locatie aanwezig is geweest en dit is natuurlijk ook waardevolle informatie. Joosten (1996) beschreef uiteindelijk vier series van sialgengemeenschappen waarbij afgezien werd van de tienpuntsschaal, die eerder gebruikt werd door Coesel (1975). Joosten (1996) maakte onderscheid tussen de onderstaande vier series:

1. Soorten van voedselrijke, neutrale of alkaliene, wateren;
2. Soorten van matig voedselrijke, zwak zure tot neutrale, soms licht alkaliene wateren;
3. Soorten van electrolytarme permanente, van nature voedselarme wateren;
4. Soorten van tijdelijk natte systemen.

Binnen deze series is secundair onderscheid gemaakt op basis van de soortenrijkdom. Serie 1 en 3 zijn opgesplitst in vier subgroepen, terwijl Serie 2 en 4 opgesplitst zijn in drie subgroepen. Serie 2 komt overeen met Type A in het systeem van Beijerinck (1926). De Typen B en C (Beijerinck 1926) lijken het meest op Serie 3 in het schema van Joosten (1996). Verder zijn de groepen binnen de series van Joosten woordelijk beschreven. De meest soortenarme gemeenschap van de voedselrijke, neutrale of alkaline, permanente wateren wordt bijvoorbeeld als volgt omschreven: *“(zeer) elektrolytrijk (tot ca. 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), vaak hoge pH (tot ca. 9.5), uitgesproken eutroof tot hypertroof, doorzicht vaak extreem gering, vaak waterbloei van blauwwieren, groenwieren en/of Euglenophyceae, vaak niet of nauwelijks waterplanten en sterke verbraseming”*. Hierbij werden, anno 1996, ecosystemen als het IJsselmeer of de randmeren als voorbeeld aangehaald. De meest soortenrijke gemeenschap binnen deze serie wordt daarentegen als volgt gekenmerkt: *“elektrolytrijk (ca. 300-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), zwak eutroof, niet verontreinigd, bijzondere Hydrologische omstandigheden (bijv. kwel van zacht, voedselarm, grondwater), doorgaans rijk ontwikkelde waterplantenvegetaties”*.

Coesel 1998

Coesel (1998a) beschreef de Nederlandse sialgenflora aan de hand van gespecificeerde milieukarakteristieken en kwam zo tot een registratie van soorten indicatief voor bepaalde milieutypes. De samenstelling van de sialgengezelschappen wordt hier primair bepaald door de abiotische factoren zuurgraad, electrolytgehalte, en hoeveelheid beschikbare nutriënten. In secundaire zin spelen ook biotische factoren een rol. De gezelschappen die Coesel (1998a) onderscheidt zijn (tabel 10):

Type 1	Het Cosmarium insigne	– Staurastrum gladiusum gezelschap
Type 2	Het Euastrum oblongum	– Micrasterias thomasianna gezelschap
Type 3	Het Euastrum crassum	– Micrasterias jenneri gezelschap
Type 4	Het Cosmarium holmiense	– Cosmarium crenatum gezelschap
Type 5	Het Closterium aciculare	– Staurastrum planctonicum gezelschap

Coesel (1998a) maakte echter ook duidelijk dat in dit systeem niet alle sialgsoorten ondergebracht zijn. Het gaat hier bijvoorbeeld niet om soorten met een brede ecologische amplitudo, voorkomend over een brede range aan milieuomstandigheden.

Tabel 10 Milieukarakteristieken per sialgengezelschap volgens de indeling van Coesel (1998a)

Type	Voedselrijkheid*	Zuurgraad	Geleidingsvermogen (mS cm ⁻¹)	Voorbeelden
1	Matig voedselrijk	7 - 8.5	> 300	Weerribben
2	(Matig) voedselarm	5 - 7	50 - 400	Leemputten Staverden
3	Voedselarm	4 - 5	< 100	Diepveen
4	Voedselarm	5 - 7	ng	regenpoelen, trilvenen
5	(Matig) voedselrijk	5 - 9	ng	IJsselmeer, Veluwemeer, Maarsseveense plassen

* de voedselrijkheid/trofiëgraad werd door Coesel (1998a) alleen woordelijk omschreven: Oligotrafent: voorkomend in oligotroof (voedselarm) water, water arm aan plantengroei-limiterende nutriënten als stikstof- en fosforverbindingen; hierdoor geringe dichtheid aan plantaardig en dierlijk leven; water veelal glashelder. Eutrafent: voorkomend in eutroof (voedselrijk) water, water rijk aan nutriënten, waardoor (in de zomer) rijke ontwikkeling van plantaardig en dierlijk leven mogelijk is; water vaak troebel als gevolg van massale ontwikkeling van microscopische algen (waterbloei). Mesotrafent: voorkomend in mesotroof water, water met een nutriëntenrijkdom, intermediair ten opzichte van oligotroof en eutroof water.

ng = niet gespecificeerd.

Conclusies

Bij de bovenstaande indelingen is veelal gebruik gemaakt van de trofiëgraad al dan niet in combinatie met het elektrisch geleidingsvermogen en de zuurgraad als criteria om onderscheid te maken tussen de verschillende sialgengemeenschappen. Hierbij zijn in geen van de indelingen echt duidelijk afgebakende klassen voor de drie criteria beschreven. Nieuwe inzichten suggereren echter dat ook de alkaliniteit van belang is voor de abundantie en diversiteit van sialgenpopulaties (zie ook hoofdstuk 5). De trofiëgraad speelt dan waarschijnlijk een secundaire rol. Of sialgen enkel gestuurd worden door de alkaliniteit of door de combinatie van alkaliniteit en trofië of (een) andere factor(en) is nog onduidelijk. Deze informatie is wel van groot belang voor bijvoorbeeld het (inlaat) beheer van ecosystemen en zal daarom ook in dit onderzoeksproject aandacht krijgen (zie werkplan 2007)

4.2 Trends

Sialgen zijn micro-organismen en hebben in vergelijking met bijvoorbeeld hogere planten een relatief korte generatietijd. Hierdoor kunnen gemeenschappen van sialgen theoretisch snel reageren op veranderingen in de heersende (a)biotische milieufactoren. Door deze snelle respons kunnen sialgen mogelijk ook dienen als potentiële indicatoren van milieuproblemen. Sialgen lijken zich namelijk snel te

kunnen vestigen mits het milieu maar geschikt is. Hier is echter nog maar weinig over bekend (B. van Tooren, pers com.). Wat wel bekend is, is dat sialalgengemeenschappen vaak soortenrijk zijn in stabiele, rijk gestructureerde, matig voedselarme ecosystemen (bijv. Coesel 1975, 1977) met een lage alkaliniteit. Dit wil niet zeggen dat sialalgen enkel in dit soort ecosystemen voorkomen. Ook in eutrofe systemen en zelfs in stromende en brakke wateren zijn sialalgen waargenomen (Redeke 1948; Burkholder & Sheath 1984; Reynolds 1984; Coesel 1994a; Bijkerk *et al.* 2004a). In laagveenwateren kunnen ook redelijk soortenrijke sialalgenflora's worden verwacht (Van der Molen *et al.* 2004a; Van Tooren & Van Tooren 2004). Informatie over de verspreiding en diversiteit van sialalgen in laagveenwateren is echter schaars, omdat sialalgen voorheen in deze systemen minder frequent bemonsterd zijn.

Op basis van de huidige kennis over de verspreiding van sialalgen kunnen we onderscheid maken tussen kieskeurige en minder kieskeurige soorten (vergelijk signaalwaarde, Coesel 1998a, 2001 en zie paragraaf 2.4). De meest kieskeurige soorten komen, volgens Coesel (1998a), enkel voor in rijk gestructureerde ecosystemen met verschillende microhabitats. Deze soorten zijn ook het meest gevoelig voor verstoringen. Een relatief kleine verstoring van de heersende (a)biotische milieufactoren kan zo al aanleiding geven tot een sterke verarming van de sialalgenflora (Coesel & Smit 1977).

Door een achteruitgang van de algemene milieukwaliteit heeft er een verarming van de Nederlandse sialalgenflora plaatsgevonden. We zijn ons hier inmiddels van bewust en er zijn daarom pogingen gedaan om de milieukwaliteit van deze ecosystemen te herstellen.

Het is moeilijk om in het kader van een beknopt "State-of-the-Art" literatuuronderzoek een volledig overzicht van alle kennis rondom de abundantie en verspreiding van sialalgen te krijgen. Veel informatie staat beschreven in de zogenaamde 'grijze literatuur', die minder goed toegankelijk is dan historische en recente gegevens uit de wetenschappelijke literatuur. Zonder de pretentie om volledig te willen zijn, beschrijven we in de volgende paragrafen zoveel mogelijk voorbeelden van waargenomen trends in de abundantie en diversiteit van (hoofdzakelijk) Nederlandse sialalgen gedurende de laatste decennia.

In het algemeen valt waar te nemen dat er sinds omstreeks 1970 een achteruitgang van de Nederlandse sialalgenflora heeft plaatsgevonden. Sinds omstreeks 1995 is er sprake van enig herstel, een gevolg van generiek beleid en lokale beheers- en inrichtingsmaatregelen. De fasen van achteruitgang en herstel zullen respectievelijk in paragraaf 4.2.1 en 4.2.2 verder worden behandeld.

4.2.1 Achteruitgang van sialalgengemeenschappen

Vroeger vormden sialalgen een belangrijk onderdeel in het plankton van (litorale) zoetwaterecosystemen. Deze specifieke groep algen werd aangetroffen in combinatie met kiezelwieren of dinoflagellaten (bijv. Pearsall 1922; Cassie & Freeman 1980; Habib *et al.* 1997). In Nederland werd in deze tijd hoofdzakelijk onderzoek gedaan in vennen, waar sialalgen talrijk aanwezig waren. In de loop van de 20^e eeuw heeft zich een achteruitgang van de Nederlandse sialalgenflora voorgedaan. Verschillende processen zijn hier debet aan geweest.

De toename van de bevolking en een intensivering van de landbouw zorgden voor *eutrofiëring* van het oppervlaktewater. Hierdoor veranderden heldere meren en plassen met veel waterplanten in troebele ecosystemen gedomineerd door fytoplankton. Deze ontwikkeling voltrok zich na ca. 1960. Het verdwijnen van waterplanten en de verandering van de waterchemie terplekke (inlaat van 'zout' Rijnwater) zullen samen hebben gezorgd voor een verarming van de sialalgenflora in de Nederlandse boezemsystemen.

Naast eutrofiëring trad ook *verzuring* op door luchtvervuiling ten gevolge van de industrialisatie en de toegenomen verkeersdruk (zie bijv. Leuven 1988; Bellemakers

2000; Brouwer *et al.* 2000). Met de toegenomen emissie van zwavel- en stikstofverbindingen kwamen meer van deze stoffen via precipitatie ('zure regen') terecht in het oppervlaktewater. Deze verzuring trof de niet tot zwak gebufferde vennen en ging gepaard met een verarming van de sialgenflora.

Een laatste oorzaak van de achteruitgang van sialgengemeenschappen moet worden gezocht in de verdroging van verschillende gebieden in Nederland. Als de hoeveelheid grondwater in een gebied onvoldoende is om natuurwaarden te garanderen, spreken we over *verdroging*. Dit geldt ook in gebieden waar, ter compensatie van te lage grondwaterstanden of te geringe kweldruk, gebiedsvreemd water moet worden ingelaten. Ook verdroging kan leiden tot eutrofiëring en verzuring.

Achteruitgang op regionaal niveau

Voor het overzicht hebben we de voorbeelden van de achteruitgang van sialgen geordend per provincie. Na de besprekingen per provincie volgt een synthese van de waargenomen trends op (inter)nationaal niveau.

Groningen

In het ondiepe, gebufferde Zuidlaardermeer zijn in verschillende jaren sialgen bemonsterd. Bijkerk & Berg (2005) vergeleken het aantal sialgsoorten in het Zuidlaardermeer aangetroffen in de periode 2001 - 2003 en het jaar 2004 met waarnemingen uit 1917 en 1960. In de jaren 1917 en 1960 was de soortenrijkdom van de sialgenflora vrij laag, met een gemiddelde van 10 soorten. Hierbij moet worden opgemerkt dat sialgen in deze jaren niet gericht bemonsterd werden. In 1917 werden wel de (zeer) kieskeurige sialgen *Cosmarium protractum* en *C. turpinii* waargenomen. Hierdoor kan, volgens de huidige KRW-(concept)maatlat sialgen de ecologische toestand van het Zuidlaardermeer in 1917 als 'zeer goed' worden beoordeeld. In 1960 kwamen er in het open water enkel gewone, typisch planktonische sialgsoorten voor. Dit leverde voor het jaar 1960 een beoordeling 'matig tot goed' op. In de periode 2001 - 2003 werden in totaal 17 soorten aangetroffen en in 2004 was de soortenrijkdom verhoogd tot 20 - 24 soorten. Zeer kieskeurige sialgen zijn de laatste zes jaren echter niet meer aangetroffen. De sialgenflora wordt momenteel gedomineerd door zuiver planktonische soorten (bijv. *Closterium limneticum*, *C. strigosum*, *Staurastrum arcuatum*, *S. chaetoceras*), terwijl sialgen indicatief voor waterplantenrijke wateren in de minderheid zijn. De grotere soortenrijkdom in recente jaren is waarschijnlijk te verklaren door een bemonsterings- en/of determinatie-effect (Bijkerk & Berg 2005). Ondanks dit concludeerden Bijkerk & Berg (2005) dat het Zuidlaardermeer in 2004 volgens de concept KRW-maatlat sialgen in een goede ecologische toestand verkeerde (zie ook paragraaf 6.2).

Drenthe

In Drenthe heeft op veel locaties ook een verarming van de sialgenflora plaatsgevonden. De vergelijking van inventarisaties van de sialgenflora in het Hijkermeer door Beijerinck in 1927 en Wartena in 1953 laat bijvoorbeeld zien dat het aantal sialgsoorten in die periode al van 86 soorten naar 38 soorten teruggelopen was (Coesel & Smit 1977). In 1977 werden er nog maar drie sialgsoorten waargenomen: *Closterium limneticum*, *Staurastrum chaetoceras* en *S. tetracerum*. Dit zijn soorten die regelmatig voorkomen in geëutrofiëerde wateren (Coesel 1998a). Ook andere mesotrofe en oligotrofe plassen in Drenthe (o.a. Aa 4/Kreuzerveen, Esmeer, Schurenberg, Zandveen, IJsbach bij Dwingelo) zijn tussen 1927 - 1977 in soortenrijkdom achteruit gegaan. De eutrofiëring van deze gebieden is verantwoordelijk geweest voor de verarming van de sialgenflora terplekke. Eutrofiëring was hier onder andere een gevolg van de bemesting ten behoeve van de hengelsport, afwatering van aangrenzende landbouwgebieden, faecale verontreiniging door intensieve recreatie en guanotrofiëring door aanwezigheid van kapmeeuwen.

De sialgenflora in het Mekelermeer is in dezelfde periode, in tegenstelling tot de voorgaande Drentse locaties, redelijk op peil gebleven, terwijl dit meer toch ook blootgesteld is aan eutrofiëring. Het oligotrofe Diepveen, Poort II en een plas bij

Anholt lieten zelfs een toename van het aantal sialgalsoorten zien. Deze uitbreiding was deels echter te wijten aan een toename van het aantal mesotrafente soorten (bijv. *Closterium costatum*, *Cosmarium impressulum*, *C. regnellii*, en *Euastrum elegans*) door de geringe verhoging van de trofiegraad en/of de grotere (micro)milieu-differentiatie. Deze soorten hebben de meer gevoelige soorten uit het biocoenose B beschreven door Beijerinck (1926) verdrongen. De soorten voorkomend in het biocoenose B zijn gecorreleerd met plassen waarin veel veenmos (*Sphagnum*) groeit en Klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*) en Drijvende egelskop (*Sparganium angustifolium*) voorkomen (Coesel & Smit 1977).

Tabel 11 Overzicht van de natuurwaarde van de sialgalflora in de Drentse vennen in de periode 1924 – 2003, waarbij in de periode voor 1992 en tussen 1992 en 2003 verschillende beheersmaatregelen zijn toegepast die moesten leiden tot het herstel van de ecologische kwaliteit van deze vennen. Bron: Bijkerk *et al.* 2004b

Locaties	Periodes van bemonstering				Beheersmaatregelen	
	1924-'70	1973-'80	1981-'91	2003	< 1992	1992-2003
Brandeveen	4-6	-	5	6		
Diepveen	6-9	6	3-6	8	W V	P V B
Noordelijke Davidsplas	7	5	4	6	P W	S P B
Drosaraveen	6	4	6	6-7	V	P V
Echtenerzand	6	5	3-6	6	W	P W
Elpermeer		0	0	6	B	P W V B
Ganzenpoel	4	5	6	6	S P V B	P V B
Gouden Ploeg	4	6	6	7	V	P V
Grenspoel	-	-	6	9		S P V B
Kampsheide	-	3	4	6	S	P
Kliplo	10	10	10	8-10	V	V
Koopmansveentje	-	4	3	7	S W B	P B
Lange veen	2	4	3	7	W V	P W V B
Poort II	8	6	5-6	8	V	P W V
Reevenveen	6	6	6	6		V
Schurenberg	10	6	8	6	V	W
Tweelingen	5	3	6	6	P W B	P W V B
Zandveen	8	6	6	6		W V
Gemiddelde natuurwaarde	6	5	5	7		

· W: opzetten waterstand, V: verwijderen bosopslag, P: plaggen, B: begrazing, S: schonen.

De grootste achteruitgang in de sialgalflora van de Drentse vennen heeft zich echter pas later voorgedaan: in de periode 1978 - 1991 (tabel 11, Bijkerk *et al.* 2004b). Vooral in de vennen Diepveen, Noordelijke Davidsplas, Echtenerzand en Poort II was in de periode 1973 - 1991 een duidelijke afname van de natuurwaarde van de aanwezige sialgalflora waarneembaar. Verschillende beheersmaatregelen, toegepast vanaf de jaren '80, moesten een verdere achteruitgang van de ecologische kwaliteit vermijden en leiden tot het herstel van de Drentse vennen (zie paragraaf 4.2.2 voor trends in herstel).

Overijssel

Als gevolg van watervervuiling in de periode 1971 - 1976 is de soortenrijkdom van de sialgalflora in het eutrofe petgat Venematen, in het Overijsselse natuurgebied De Wieden gehalveerd (van 60 naar 30 soorten, Coesel 1977). Bij een achteruitgang van de sialgalflora verdwijnen eerst de meest gevoelige soorten. In het petgat Venematen waren dat vertegenwoordigers van de (vrij) zeldzame genera *Xanthidium* en *Desmidium*.

Eutrofiëring en verdroging hebben vermoedelijk effecten gehad op de omvang van het areaal aan trilveen in De Wieden. Dit areaal is in de loop der jaren sterk verminderd (Van Tooren & Van Tooren 2004). In het trilveen van Kroes (ten oosten van Giethoorn) werden in 2003 bijvoorbeeld minder 'trilveensoorten' gevonden dan in het trilveen Eelkema (27 versus 34). Tijdens de bemonstering was het trilveen van Kroes sterk verdroogd en maakte het veen een licht geëutrofiëerde indruk, wat waarschijnlijk veroorzaakt werd door het illegaal opmalen van voedselrijk water, wat bij het trilveen Eelkema niet gebeurde.

Ook De Bergvennen, in het gelijknamige heidereservaat van het Landschap Overijssel, hebben te maken gehad met de gevolgen van verzuring en eutrofiëring door inlaat van voedselrijk water uit de landbouw. Door deze processen verdwenen bijvoorbeeld karakteristieke plantensoorten uit het oeverkruidverbond, zoals Waterlobelia (*Lobelia dortmanna*) en Oeverkruid (*Litorella uniflora*) (Brouwer *et al.* 2000). Er zijn geen directe waarnemingen van sialgalen uit deze periode beschikbaar, maar het voorkomen van sialgalen is sterk gecorreleerd met de aanwezigheid van watervegetatie (zie paragraaf 5.1 voor details). Het verdwijnen van waterplanten uit De Bergvennen heeft zo waarschijnlijk ook nadelige gevolgen gehad voor de aanwezige sialgenflora.

Gelderland

In de Gelderse Achterhoek, in de buurt van Neede, liggen enkele fameuze vennen, waaronder het Teesselinkven. Van der Voo & Leentvaar (1959) bezochten dit ven in 1959 en karakteriseerden het als "*mesotroof met een eutrofe tendens*". De aanwezigheid van eutrafente plantensoorten moest volgens hen gezien worden als "*een voorteken van milieuverandering, die, als zij eenmaal begonnen is, snel voortwoekert en tot ontarding leidt*". De planktongemeenschap was destijds typisch meso-oligotrafent, wat in overeenstemming was met waarnemingen uit het jaar daarvoor (1958). Sialggenera

die in 1959 in het Teesselinkven werden aangetroffen waren: *Cosmarium*, *Closterium*, *Staurastrum*, *Euastrum*. Aanwezige soorten die specifiek werden genoemd zijn: *Docidium baculum* (Rode Lijst soort, in Nederland vermoedelijk uitgestorven), *Xanthidium antilopaeum* (vrij kieskeurige soort), *X. cristatum* (zeer kieskeurige soort), *Micrasterias truncata*, *M. americana* (minder algemene, kieskeurige Rode Lijst soort), *Hyalotheca dissiliens*. Mogelijk werd *Docidium* hier echter foutief gedetermineerd en gaat het om *Pleurotaenium* (Coesel pers. com.). Aangezien er geen gedetailleerde soortenlijst uit 1959 beschikbaar is, kan er voor dat jaar geen natuurwaarde (Coesel 1998a) voor de sialgenflora van het Teesselinkven worden berekend.

In de afgelopen vijf jaar zijn in het Teesselinkven enkele malen sialgenbemonsteringen uitgevoerd: door ons in 2002 en 2006, en door leden van de Sialgenwerkgroep op 15 juni 2006. Deze bemonsteringen zijn niet altijd op dezelfde locaties in het Teesselinkven uitgevoerd. In sommige delen van het ven (westelijk en zuidoostelijk deel) groeien bijzondere planten, zoals Ondergedoken moerasscherm (*Apium inundatum*), Loos blaasjeskruid (*Utricularia australis*) en Moerashertshooi (*Hypericum elodes*). De huidige natuurwaarde van de sialgenflora in het Teesselinkven is nog steeds hoog, met een waarde van 9 (op een schaal van 0 tot 10), en het ven kan nog steeds tot één van de rijkste sialgvennen van Nederland worden gerekend.

Utrecht

In Utrecht, was het effect van de trofiegraad en verzuring op de sialgenflora ook zichtbaar in de grote en de kleine Maarsseveense plas (Coesel & Kooijman-Van Blokland 1994; Coesel 2001). De grote Maarsseveense plas is een meer wat alleen in contact staat met grondwater en neerslag. De kleine Maarsseveense plas is verbonden met de rivier De Vecht en wordt daardoor gevoed met relatief eutroof water, terwijl de grote Maarsseveense plas gekarakteriseerd kan worden als een mesotroof meer. Er bestaat als het ware dus een trofiegradiënt over de twee plassen. De meest diverse sialgengemeenschap werd daar gevonden ter hoogte van de grote Maarsseveense

plas aan de mesotrofe kant van de gradiënt en nam af naarmate het monsterpunt dichterbij de kleine Maarsseveense plas lag, waar het water dus eutrofer was.

In de periode 1944 - 1950 zijn ook verschillende sialgalgenbemonsteringen uitgevoerd op een aantal locaties (laagveenwateren en trilvenen) in Het Hol bij Kortenhoef: Witte water, Corridorveen, Verlengde St. trilveen, Sturmia trilveen, Z.O. Hoek, (Heimans & Meijer 1955). In die periode kwamen er nog verschillende Rode Lijst-soorten voor: *Closterium attenuatum*, *C. costatum*, *C. delpontie*, *C. lineatum*, *C. ralfsii*, *C. turgidum*, *Cosmarium connatum*, *C. margatitatum*, *C. pachydermum*, *C. taxichondriforme*, *C. wittrockii*, *Micrasterias fimbriata*, *M. papillifera*, *Netrium interruptum*, *Pleurotaenium truncatum*, en *Staurastrum vestitum*. De sialgalgdiversiteit is in de jaren daarna echter ook hier teruggelopen als gevolg van verzuring.

In 2002 hebben leden van de Sialgalgenwerkgroep ook een aantal locaties bij de Westbroekse Zodden bemonsterd. Hierbij werd specifiek voor de twee bemonsterde trilvenen het volgende beschreven: “de sialgalgenflora in de bestaande trilveentjes in het gebied zijn aan floristische degeneratie onderhevig”, waarmee de noodzaak van maatregelen tot herstelbeheer/natuurontwikkeling werden onderstreept. De andere locaties in het gebied variëerden in natuurwaarde van 5 (petgaten) tot 9 (voornamelijk drassige percelen). Over de Westbroekse Zodden is verder geen historische informatie bekend, waardoor we voor dit gebied geen trends in de ontwikkeling van de abundantie en diversiteit van de sialgalgenflora hebben kunnen vaststellen.

Noord-Brabant

In de Noord-Brabantse vennen rondom Oisterwijk zijn eveneens effecten van eutrofiëring en verzuring aangetoond (Coesel *et al.* 1978; Brouwer *et al.* 2000). De sialgalgenflora in deze vennen werd tussen 1916 en 1925 reeds intensief bemonsterd (Heimans 1925; Coesel *et al.* 1978), waarbij soorten werden gevonden die verder in Nederland niet of nauwelijks voorkwamen (Coesel 1978). Waar in 1925 nog 195 sialgalgsoorten aanwezig waren, daalde het aantal naar 123 in 1955 en bleven er in 1975 nog maar 68 soorten over (Coesel *et al.* 1978). Zowel de samenstelling van de oever- en watervegetatie als de sialgalgenflora veranderde van veelal oligo-/mesotrafente soorten (bijv. de planten *Isoëtes lacustris* (Grote biesvaren) en *Lobelia dortmanna* (Waterlobelia) en de zeer zeldzame en zeer kieskeurige sialgalgen *Staurastrum elongatum* en *Cosmarium ralfsii*) naar soorten kenmerkend voor eutrofe condities (bijv. de planten *Carex acutiformis*, *Alisma plantago-aquatica* en de triviale sialgalgsoorten *Staurastrum chaetoceras* en *S. tetracerum*). Veel bijzondere sialgalgsoorten zijn dus uit deze vennen verdwenen.

Door de verzuring van het Wolfspuutven ($\text{pH}_{1957} = 5.5$, $\text{pH}_{1975} = 3.3$) verdwenen bijvoorbeeld zeer zeldzame en zeer specifieke Rode Lijst soorten, zoals *Micrasterias oscitans*, *M. jenneri*, *Cosmarium ralfsii* en *Docidium undulatum*. Soorten die in 1975 wel in dit ven aangetroffen werden, waren *Staurastrum punctulatum* en *S. arnelli* (Coesel *et al.* 1978). Zowel *S. punctulatum* als *S. arnelli* behoort tot het kleine aantal soorten dat ook nog in extreem zure milieu's aangetroffen wordt (Coesel 1998a).

Uit paleoecologisch onderzoek is gebleken dat de sialgalgenflora in het Groot Huisven (in de buurt van Oisterwijk) in de periode 1956 - 1981 drastisch is veranderd als gevolg van eutrofiëring door toegenomen landbouwactiviteiten in het gebied rondom het ven (Klink 1984). De soortenrijkdom nam in die jaren af van 32 naar 20 en typisch mesotrafente, zoals de vrij tot zeer kieskeurige soorten *Cosmarium margaritifera*, *C. monomazum*, *C. tetrophtalmum*, *C. undulatum*, *C. variolatum*, *Euastrum denticulatum*, *Pleurotaenium ehrenbergii* en *Staurastrum dilatatum* verdwenen. Aan het einde van de bovengenoemde periode domineerde *Staurastrum punctulatum*, een soort die ook nog overleeft in extreem zure milieu's.

Limburg

In het ven De Banen, in de buurt van Nederweert, is de soortenrijkdom van de sialgalgenflora in de periode 1929 - 1980 sterk teruggelopen (Coesel 1998b). Door eutrofiëring verdwenen de waterplanten en daalde de natuurwaarde van de

sieralgenflora van 'zeer goed' (9) naar 'matig' (5) (Coesel 1998a, 2001). In 1929 vond Heimans nog soorten als *Cosmarium connatum*, *C. conspersum*, *C. pachydermum*, *Sphaeroszoma filiforme* en *Staurastrum productum*, terwijl deze tegenwoordig op de Rode Lijst staan of reeds uitgestorven zijn.

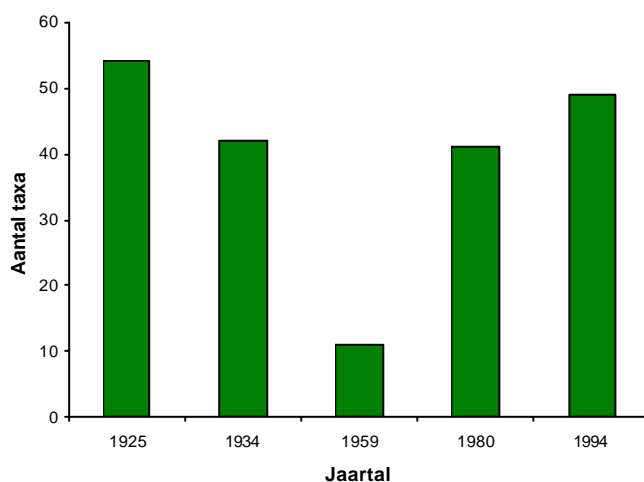
Buitenland

Ook buiten Nederland zijn veranderingen in sieralgengemeenschappen waargenomen.

In de Pechsee en de Barsee in een natuurgebied net buiten Berlijn, werd na 1925 een achteruitgang van de plaatselijke sieralgenflora waargenomen. Een vijfde van het aantal sieralgsoorten bleek verdwenen (Scheer & Kusber 1997, figuur 12). De achteruitgang was toe te schrijven aan (a) veranderingen in de hoeveelheid en kwaliteit van het water in het gebied en (b) de achteruitgang van de (water)vegetatie. Soorten die als eerste verdwenen waren de zeldzame soorten. Toch werden er wel enkele nieuwe vondsten gedaan, maar deze vondsten bestonden voornamelijk uit soorten met een brede ecologische amplitude dan de soorten die er voorheen voorkwamen. Dezelfde trend werd waargenomen in Zwitserland (Werner 1977 in Geissler 1988).

Achteruitgang (inter)nationaal

Achteruitgang van de sieralgenflora als gevolg van eutrofiëring, verzuring en verdroging kan zich op twee manieren openbaren: het aandeel kieskeurige soorten neemt af (zie Drenthe, Overijssel, Utrecht, Noord-Brabant, Limburg) en/of de soortenrijkdom loopt terug (zie Groningen, Overijssel, Noord-Brabant, Limburg). Er zijn maar weinig locaties die wel geëutrofiëerd geraakt zijn, maar waar de sieralgenflora redelijk op peil is gebleven, zoals bijvoorbeeld het Mekelermeer in Drenthe. De afname van het aandeel kieskeurige sieralgen en de diversiteit van de sieralgenflora is niet gebonden aan een bepaalde regio in Nederland. Over het gehele land heeft er op verschillende plekken een verarming van de sieralgenflora plaatsgevonden. Ook buiten Nederland (bijv. Duitsland, Zwitserland) liep zowel het aandeel kieskeurige sieralgen als de algemene sieralgenbiodiversiteit terug.



Figuur12: Het aantal aangetroffen sieralgentaxa in de Pechsee nabij Berlijn, Duitsland. Bronnen: Wilkaitis (1925), Donat (1925), Anonymus (1934), Sukopp (1959), Weddigen & Geissler (1980) en Scheer (1994), allen geciteerd in Scheer & Kusber 1997).

4.2.2 Herstel van sieralgengemeenschappen

Inmiddels is bekend dat processen als vermissing (eutrofiëring), verzuring en verdroging hebben geleid tot een verarming van de Nederlandse sieralgenflora. Om deze verarming een halt toe te roepen en om te zorgen voor herstel van Nederlandse sieralgengemeenschappen zijn er, regionaal verspreid, al verschillende herstelprojecten uitgevoerd/opgestart. Daarbij is gebruik gemaakt van verschillende

beheersmaatregelen. In de onderstaande tekst worden de resultaten van diverse herstelprojecten besproken. Wederom zal dit geen volledig overzicht zijn, maar we proberen met zoveel mogelijk voorbeelden toch een goede indruk te geven van wat de mogelijkheden met betrekking tot het herstel van sieralgengemeenschappen zijn.

Drenthe

Reeds halverwege de jaren '80 van de vorige eeuw is er in een aantal Drentse vennen getracht de gevolgen van verzuring, verdroging en vermesting te herstellen door middel van effectgerichte maatregelen (tabel 11, Bijkerk *et al.* 2004b), maar in 1991 waren enkel een paar vennen herstellende. Aanvullende maatregelen, uitgevoerd na 1991, moesten leiden tot verder herstel van deze vennen (tabel 11). Hiertoe werden venoevers geplagd, vennen geschoond (uitbaggeren sliblaag) en/of vernat (opzetten waterstand). Sinds 1992 is de natuurwaarde van de sieralgenflora in vrijwel alle 18 bemonsterde vennen gestegen (tabel 11). Daarbij werd de doelsoort *Micrasterias jeneri* (figuur 13) ook weer waargenomen. Dit is een zeer zeldzame, zeer kieskeurige Rode Lijst-soort van oligotrofe wateren (Coesel 1998a). De precieze reden van de toegenomen natuurwaarde voor sieralgen is niet duidelijk aan te geven. De daling van het sulfaatgehalte zou mogelijk een rol kunnen hebben gespeeld, maar op locaties waar het sulfaatgehalte al laag was, heeft ook een verrijking van de sieralgenflora plaatsgevonden en moet een andere factor verantwoordelijk zijn geweest voor de gestegen natuurwaarde (Bijkerk *et al.* 2004b). Daarnaast heeft vooral de vernatting van een aantal vennen, door het opzetten van de waterstand, geleid tot een verhoging van de natuurwaarde van de sieralgenflora.



Figuur 13: *Micrasterias jeneri*, een zeer kieskeurige, zeer zeldzame Rode Lijst-soort die normaliter voorkomt in oligotrofe, zure wateren (foto: Koeman en Bijkerk *bv.*)

Overijssel

Bijkerk (2007) heeft in 2006 de sieralgenflora van het voedselrijke petgat Venematen onderzocht. De huidige sieralgenflora in het petgat bestaat uit 39 soorten. Dit betekent dat het aantal soorten sinds 1976 met 9 taxa is toegenomen. De sieralgenflora van dit petgat werd in juni 2006 gekenmerkt door soorten van het *Cosmarium insigne* – *Staurastrum gladiusum* gezelschap. Dit gezelschap is kenmerkend voor ondiepe, matig voedselrijke, circumneutrale tot zwak alkalische wateren (Coesel 1998a). Er zijn weer enkele zeldzame en kieskeurige soorten gevonden, die, evenals de toegenomen soortenrijkdom, wijzen op een verbetering van de ecologische kwaliteit: *Cosmarium portianum* en *C. protractum* (beide vrij zeldzame, zeer kieskeurige sieralgsoorten), *C. regnesii*, *Staurastrum gladiusum* (vrij zeldzame, kieskeurige soorten) en *Euastrum germanicum* (zeldzame soort die de laatste twee decennia echter algemener is geworden). De natuurwaarde van de sieralgenflora in het petgat Venematen in 2006 was zeer hoog: 9 op een schaal van 0 tot 10.

In 2003 zijn door leden van de Sieralgenwerkgroep (www.desmids.nl) ook een aantal locaties (drie blauwgraslanden, een gerestaureerd petgat en drie trilvenen) in het natuurgebied De Wieden bemonsterd (Van Tooren & Van Tooren 2004). Per locatie

werden 0 tot 19 Rode Lijst-soorten gevonden en de natuurwaarde van de sialgenflora varieerde tussen de 6 en de 10. Sommige locaties (het petgat en de trilvenen) hadden al een optimaal ontwikkelde sialgenflora (natuurwaarde 10), maar in de blauwgraslanden liet de sialgenflora nog te wensen over. Ook de waterkwaliteit in De Wieden is ten opzichte van circa twintig jaar geleden verbeterd. Wanneer de kwaliteit van de sialgenflora in De Wieden vergeleken wordt met die van vergelijkbare petgaten in Ankeveen (Noord-Holland), blijkt echter dat de soortenrijkdom in De Wieden vrij laag is. De hogere soortenrijkdom in Ankeveen is waarschijnlijk het gevolg van een betere waterkwaliteit aldaar (door een betere waterhuishoudkundige isolatie).

In het heidereservaat De Bergvennen zijn in 1993 - 1994 herstelmaatregelen getroffen, echter niet specifiek gericht op herstel van de sialgenflora. De aanwezige sliplagen en weke, gedegradeerde veenpakketten zijn verwijderd en er werd gebufferd grondwater ingelaten om verdere verzuring van de vennen te vermijden (Brouwer *et al.* 2000). In 2001 werd de sialgenflora van Bergven 3 (Het Rietven) en Bergven 4 (Ronde Ven) nogmaals onderzocht (Bijkerk 2002) en werden in het eerste ven vijf Rode Lijst-soorten aangetroffen: *Closterium costatum*, *Cosmarium ornatum*, *Gonatozygon brebissonii* var. *minutum*, *Penium exiguum* en *P. spirostriolatum*. In het Ronde Ven werd één Rode Lijst-soort gevonden: *Closterium archerianum* var. *minus*. Daarnaast kwam daar de zeer zeldzame soort *Spirotaenia diplohelica* voor. De natuurwaarde berekend aan de hand van de aanwezige sialgenflora was voor beide vennen redelijk, met een waarde van 6 op een schaal van 0 tot 10.

Utrecht

In het natuurgebied 'Het Hol', bij Kortenhoef, is ook geprobeerd de gevolgen van verzuring te verminderen door verzuurde delen van het gebied via smalle sloten te verbinden met de grotere plassen, om de invloed van gebufferd oppervlaktewater te vergroten. In de gegraven sloten keerde al snel de zeldzame, zeer kieskeurige Rode Lijst-soorten *Actinotaenium turgidum*, *Closterium turgidum*, *Cosmarium connatum* en de vrij zeldzame, (zeer) kieskeurige soorten *C. ochthodes* en *Xanthidium cristatum* terug. De natuurwaarde voor sialgen (Coesel 1998a, 2001) in dit gebied werd na het uitvoeren van de bovenstaande herstelmaatregel verhoogd tot de maximum waarde van 10 (Coesel 2003).

Noord-Brabant

Vroeger kwamen er in deze regio sialgsoorten voor die verder in Nederland heel zeldzaam waren of totaal niet voorkwamen (Coesel 2003), maar deze zijn verdwenen door processen die reeds beschreven zijn in paragraaf 4.2.1. Om de ecologische kwaliteit van de Brabantse vennen te herstellen, zijn in 1995 een aantal beheersmaatregelen toegepast. Maatregelen zoals het afgraven van het sediment en het gebruik van gebufferd grondwater (in plaats van gebiedsvreemd water) hebben al snel geleid tot herstel van de sialgenflora ter plekke (Coesel 2003, Grontmij|AquaSense en Alterra 2005). In 1998 was er alweer sprake van een zeer soortenrijke sialgenflora (Van Tooren & Van Tooren 1999 in Brouwer *et al.* 2000). Na verloop van tijd keerden hier verschillende mesotrafente soorten, zoals *Closterium costatum* (zeldzaam en, kieskeurig), *C. ralfsii* var. *hybridum* (zeldzaam en zeer kieskeurig), *Micrasterias papillifera* (zeldzaam en zeer kieskeurig), *Euastrum verrucosum* (vrij zeldzaam en kieskeurig) en de oligo-mesotrafente soort *Spirotaenia condensata* (vrij zeldzaam) terug. De natuurwaarde van de sialgengemeenschap (Coesel 1998a, 2001) steeg hiermee naar 9. De laatste jaren loopt het aantal soorten echter toch weer terug, wat mogelijk te maken heeft met de daling van de alkaliniteit (Grontmij|AquaSense en Alterra 2005).

Limburg

Het ven De Banen stond voorheen in verbinding met de Maas, maar is hiervan geïsoleerd om toevoer van nutriëntenrijk water uit deze rivier te vermijden. Verder is het nutriëntenrijke sediment afgevoerd. Al snel na de uitvoer van deze herstelmaatregelen ontwikkelden zich weer waterplanten karakteristiek voor mesotrofe omstandigheden, zoals *Urticularia australis* (Loos blaasjeskruid). De terugkeer van de watervegetatie had een positieve invloed op de sialgenflora,

waardoor de natuurwaarde van de sialgenflora steeg van 'matig' met een waarde van 5 (eind jaren tachtig) naar 'goed' met een waarde van 8 (in 1998). Een nabijgelegen ven wat door eutrofiëring eenzelfde achteruitgang van de sialgenflora had doorgemaakt, maar wat niet hersteld werd door middel van bovenstaande maatregelen verkeerde in 1998 nog in een zeer matige toestand (natuurwaarde voor sialgen: 3).

In 2005 zijn wederom monsters van dit ven geanalyseerd (Bultstra, ongepubl.). Opvallend was dat in april van dat jaar de Rode Lijst-soort *Micrasterias fimbriata* weer werd aangetroffen. In juni werden naast deze soort nog de volgende Rode Lijst-soorten gevonden *Micrasterias americana*, *Sphaerosozoma vertebratum*, *Staurodesmus dickiei* en *S. brachiatum*. De natuurwaarde voor sialgen (Coesel 1998a, 2001) kwam in 2005 daardoor op een waarde van 6, in april en op een waarde van 7, in juni, terwijl de natuurwaarde eind jaren '80 vorige eeuw op 5 uitkwam.

Buitenland

In de vorige paragraaf werd een studie van Scheer & Kusber (1997) al besproken. Sinds 1923 zijn de veranderingen in de algenflora van het natuurgebied nabij Berlijn gevolgd. Het zwaartepunt van deze studie lag bij de sialgen. Als gevolg van veranderingen in zowel de hoeveelheid als de kwaliteit van het water in het natuurgebied is het aantal sialgsoorten in de loop der jaren terug gelopen (figuur 12). Het gebied werd beïnvloed door factoren als de daling van de grondwaterstand, immissies en recreatie. In 1960 kreeg het gebied de status 'Naturschutzgebiet', waardoor in ieder geval de invloed van recreatie terugliep. Als gevolg van de daling van de grondwaterstand is ook de waterstand in zowel de Pechsee als de Barssee in de jaren '60 drastisch gedaald. De daling was zelfs zo drastisch dat er in de zeventiger jaren bijna geen water meer over was in de Barssee. In de Pechsee kwam het waterpeil niet meer boven de één meter. Dit kwam ook de sialgenflora niet ten goede. Vanaf 1986 zijn er maatregelen genomen om een verdere achteruitgang van het natuurgebied te vermijden. Daartoe werd er meerdere malen water in het gebied ingelaten om te zorgen voor vernatting. In 1993 was de waterdiepte in de Barssee daardoor weer gestegen tot circa 50 cm. In 1980 en 1994 werden weer meer dan veertig sialgentaxa in de Pechsee aangetroffen (bijna niveau van 1925). Over het algemeen ging het hierbij echter wel minder vaak om zeldzame(re) soorten dan voorheen het geval was. Als gevolg van de hier beschreven maatregelen concludeerden Scheer & Kusber (1997) dat een juiste ingreep in de waterhuishouding van dit natuurgebied kan leiden tot bescherming van (onder andere) de aanwezige sialgenpopulatie. Behoud van sialgenpopulaties houdt echter niet alleen het in stand houden van soortenrijkdom in. Het is daarnaast juist van belang ook de gevoelige/zeldzame soorten te behouden.

Herstel (inter)nationaal

Door de ontwikkelingen van de laatste decennia is duidelijk geworden dat vooral processen als vermesting, verzuring en verdroging hebben geleid tot een verarming van de sialgenflora in Nederland. Inmiddels hebben herstelprojecten in verschillende delen van Nederland geleid tot een herstel van sialgengemeenschappen. Vooral herstelprojecten in vennen hebben geleid tot een graduele verrijking van de sialgenflora (Overijssel, Noord-Brabant). Relatief gevoelige, kieskeurige sialgen lijken na de uitvoer van herstelmaatregelen weer terug te keren (Overijssel, Utrecht, Limburg). Zowel door de toename van de soortenrijkdom als door de toename van het aandeel kieskeurige sialgen is de natuurwaarde van de Nederlandse sialgenflora weer aan het stijgen. Op internationaal vlak zijn ook maatregelen getroffen om sialgenpopulaties te herstellen, maar om daadwerkelijk tot herstel te kunnen komen zullen deze maatregelen nog uitgebreid moeten worden.

5 Relaties met (a)biotische milieufactoren

5.1 Biotische factoren

Rol van waterplanten

De aanwezigheid van waterplanten heeft een positieve invloed op het vóórkomen van sialgalen (Wade 1957). Bijkerk *et al.* (2004a) vergeleken de sialgalenflora van tientallen (zeer) electrolytrijke watertypen in Nederland en toonde aan dat de signaalwaarde van sialgalen (Coesel 1998a, 2001) positief gecorreleerd was met de aanwezigheid van submerse vegetatie. Een verdwijning van de waterplanten wordt daarom vaak gevolgd door een verdwijning van sialgalen. Uit een multivariate analyse is gebleken dat (a) de aanwezigheid van watervegetatie en (b) het totaalgehalte aan fosfaat de belangrijkste factoren voor de ontwikkeling van een waardevolle sialgengemeenschap zijn (Bijkerk *et al.* (2004a). Vooral bij aanwezigheid van een rijke watervegetatie en relatief lage concentraties aan fosfaat gedijen sialgalen goed.

De abundantie en diversiteit van sialgalen is niet alleen afhankelijk van de aan- of afwezigheid van waterplanten, maar ook van de soort waterplant (Bland & Brook 1974; Gough & Woelkerling 1976; Burkholder & Sheath 1984). De variatie in abundantie en diversiteit van sialgalen heeft deels ook te maken met de structuur van de waterplanten. *Brasenia*, *Nymphaea* en *Nuphar*, zijn voorbeelden van plantensoorten met weinig structuur onder water. Op deze waterplanten worden over het algemeen weinig of geen sialgalen aangetroffen (Bland & Brook 1974). Bij planten met meer structuur, zoals *Ceratophyllum*, *Potamogeton*, *Myriophyllum* of *Utricularia* komen meer sialgalen voor (tabel 12). Pals *et al.* (2006) deden onderzoek naar de verspreiding van Belgische sialgalen, maar concludeerden dat de verschillen in sialgengemeenschappen tussen verschillende substraten (bijv. waterplantensoorten) waarschijnlijk gerelateerd waren aan de lokale milieucondities geassocieerd met deze substraten, en waarschijnlijk niet met het substraat zelf.

Een andere factor die bepalend is voor de abundantie en diversiteit van sialgalen is de manier van overwinteren van de waterplanten. Sialgalen zakken in het najaar normaliter naar de bodem om daar te overwinteren. In de winter sterven veel soorten waterplanten af, waardoor het (potentiële) habitat voor sialgalen wordt verkleind. Planten die een deel van hun biomassa in de winter behouden in de vorm van tubers met uitlopers kunnen in dit jaargetijde zorgen voor extra habitat voor sialgalen. *Potamogeton* is zo'n soort waarbij sialgalen het gehele jaar door worden aangetroffen (Bland & Brook 1974).

Verschillen tussen sialgengemeenschappen (abundantie en diversiteit) zijn niet alleen gerelateerd aan de soort waterplant. Ook bemonsteringen van één waterplantensoort kunnen verschillende resultaten opleveren. De standplaats van de waterplant speelt hier mede een rol. Op relatief beschutte plekken worden vaak meer sialgalen gevonden, dan op onbeschutte plekken. Verder is het aandeel nog levende sialgalen op beschutte locaties groter dan op onbeschutte locaties (Bland & Brook 1974).

Tabel 12 Lijst van waterplantensoorten afkomstig uit Minnesota, America, met de bijbehorende relatieve abundanties van sieralgen. Bron: Bland & Brook 1974

Waterplant	Nederlandse naam	Totaal aantal sieralgen taxa	Aantal individuen
<i>Brasenia schreberi</i>		0	0
<i>Nymphaea tuberosa</i>	Waterlelie	7	19
<i>Nuphar variegatum</i>	(Waterlelie)	5	13
<i>Zizania aquatica</i>	Wilde rijst	14	20
<i>Megalodonta beckii</i>		19	46
<i>Myriophyllum exalbescens</i>	Aarvederkruid	29	102
<i>Ceratophyllum demersum*</i>	Gedoornd hoornblad	38	150
<i>Potamogeton robbinsii</i>		75	260
<i>P. amplifolius</i>		56	259
<i>Utricularia vulgaris*</i>	Groot blaasjeskruid	84	286
<i>U. intermedia*</i>	Plat blaasjeskruid	19	88
<i>U. minor*</i>	Klein blaasjeskruid	15	45

* Komt ook in Nederland voor

Een andere factor die van invloed is op de abundantie en diversiteit van sieralgen is de leeftijd van de waterplanten. Veel sieralgen zijn vooral aanwezig op oudere waterplanten, maar voor bijvoorbeeld de waterplant *Potamogeton natans* (Drijvend fonteinkruid) geldt het tegenovergestelde (Burkholder & Sheath 1984). Jongere planten vertonen vaak meer allelopathische activiteit (uitscheiden van stoffen die onder andere algengroei kunnen remmen) dan oudere planten (Mulderij *et al.* 2003, 2005a) en dit kan een mogelijke verklaring zijn voor het feit dat sieralgen vooral op oudere waterplanten voorkomen.

Een laatste factor die waarschijnlijk ook een rol speelt is het seizoen. Voor fytoplankton in het algemeen geldt dat de dichtheden in de wintermaanden vaak laag zijn en dat deze in het voorjaar en de zomer stijgen (bijv. Wedding & Geissler 1980 in Scheer & Kusber 1997). Hoe de soortenrijkdom en abundantie van Nederlandse sieralgen over het seizoen verlopen moet echter nog nader worden onderzocht.

Concurrentie met andere fytoplanktonsoorten

De toegenomen eutrofiëring heeft geleid tot een vertroebeling van het water door een toename van het aantal planktonische algen in het water. Hierdoor verslechtert het gemiddelde lichtklimaat voor alle algen in de waterkolom. Er bestaat een duidelijke relatie tussen de achteruitgang van de Nederlandse sieralgenflora en de door eutrofiëring toegenomen beschaduwning van sieralgen door andere fytoplanktonsoorten (Coesel 1982b). Op locaties met troebel water (troebel door algenbloei), waar de watervegetatie gedomineerd wordt door Waterlelie (weinig structuur onder water) komen vooral soorten van de genera *Closterium* (figuur 10) en *Staurastrum* (figuur 8) voor. Deze soorten zijn slank van vorm en hebben een grote oppervlakte/volume ratio waardoor ze goed aangepast zijn aan een planktonische levenswijze (zie paragraaf 2.4). Op locaties met een meer gestructureerde (onder)watervegetatie komen vaker soorten van het genus *Cosmarium* (figuur 11) voor (Coesel 1982b).

Naast beschaduwning speelt ook de concentratie aan voedingsstoffen een rol in de concurrentie tussen sieralgen en de overige fytoplanktongroepen. In vergelijking met die andere fytoplanktongroepen groeien sieralgen relatief langzaam (Moss 1973). Ze lijken echter wel goed aangepast aan een lage beschikbaarheid van nutriënten, gezien het feit dat sieralgen vooral in nutriëntarme ecosystemen een hoog biomassa-aandeel bereiken (Hutchinson 1967, Reynolds 1984).

Begrazing

In paragraaf 2.4.3 beschreven we verschillende strategieën van sieralgen om verlies als gevolg van begrazing (door zoöplankton) te verminderen/vermijden. Met het onderstaande voorbeeld uit het Zuidlaardermeer willen we inzichtelijk maken hoe sieralgen in een buitenwater kunnen functioneren.

Het Zuidlaardermeer is een ondiep, hypertroof, gebufferd meer, dat jaarlijks in de voor-zomer een korte periode met een hoge potentiële graasdruk van watervlooien, met name *Daphnia galeata* (plus hybriden) en *Bosmina*, kent (Bijkerk & Berg 2005). Terwijl de zomergemiddelde chlorofyl-a-gehalten in 2001 - 2006 rond de 100 µg/l schommelden, liep de fytoplanktonbiomassa in juni terug tot waarden beneden 10 µg/l. In deze periode en de daarop volgende maand juli was de fytoplanktongemeenschap bijzonder soortenarm en domineerden grote kiezelalgen (*Actinocyclus normanii*) samen met de blauwalgen *Aphanizomenon flos-aquae* en/of *Planktothrix agardhii*. Opvallend is dat in deze zomermaanden ook sialgalen een belangrijk aandeel in de totale fytoplanktonbiomassa hadden, met name soorten uit de geslachten *Closterium* en *Staurastrum*. Dit suggereert dat ook deze soorten relatief ongevoelig zijn voor begrazing door de bovengenoemde watervlooien. Grote benthische sialgalen kunnen echter wel ten prooi vallen aan chironomide muggenlarven (zie paragraaf 2.4.3). Dit is bijvoorbeeld vastgesteld voor *Closterium acerosum* (Bijkerk 1996) en *Micrasterias thomasi* (Bijkerk, ongepubl.).

5.2 Abiotische factoren

In de onderstaande paragraaf wordt naar verschillende studies gerefereerd. Om te voorkomen dat de tekst te veel onderbroken wordt om de gebruikte ranges aan fysisch-chemische parameters weer te geven is er voor gekozen om deze in tabel 13 te presenteren.

Fysisch-chemische factoren

Het is inmiddels algemeen bekend dat de verspreiding van sialgalen deels gecorreleerd is met de fysisch-chemische samenstelling van het water (bijv. Wade 1957). De respons van sialgalen op een verandering van de waterkwaliteit zal waarschijnlijk vooral indirect (via de aanwezigheid van waterplanten) verlopen.

Het is ook al langer bekend dat sialgalen vooral voorkomen in wateren met lage concentraties aan calcium en magnesium en dus een lage alkaliniteit (Woelkerling & Gough 1976; Pearsall 1922; Negro *et al.* 2003; Bijkerk *et al.* 2004a; tabel 13). Sialgalen zijn dus het meest talrijk en divers in zachte wateren. Dit betekent dat we in hardere (laagveen)wateren geen enorm diverse sialgalenpopulaties moeten verwachten. Ook tussen het vóórkomen van sialgalen en de concentratie aan sulfaat en chloride bestaat een negatieve relatie (Redeke 1948, Woelkerling & Gough 1976, Bijkerk *et al.* 2004a). Het calciumgehalte beïnvloedt ook de natuurwaarde van sialgalen en hetzelfde geldt voor het chloridegehalte (Bijkerk *et al.* 2004a). De natuurwaarde daalt naarmate de gehalten aan calcium of chloride stijgen. Voor de ontwikkeling van relatief diverse sialgalenpopulaties speelt dus ook de mate van geïsoleerdheid van het desbetreffende systeem een rol. In meer geïsoleerde systemen kan een hogere diversiteit aan sialgalen worden verwacht, omdat deze systemen weinig onder invloed staan van bijvoorbeeld aanvoer van gebiedsvreemd (lees chloride- en nutriëntenrijk) water.

Andere factoren die een rol spelen in de verspreiding en diversiteit van sialgalen zijn de alkaliniteit, het elektrisch geleidingsvermogen en de pH (Woelkerling & Gough 1976; Moss 1973; Spijkerman *et al.* 2004; tabel 13). Meerdere studies hebben laten zien dat de zuurgraad vaak een belangrijke factor voor sialgalen is (Negro *et al.* 2003; Rauch *et al.* 2006; Spijkerman *et al.* 2004; tabel 13). Volgens Negro *et al.* (2003) zijn de alkaliniteit en het elektrisch geleidingsvermogen vaak van secundair belang voor dit type algen. Mogelijk hebben Negro en collega's het belang van de alkaliniteit als sturende factor voor sialgalen in dit onderzoek onderschat. Andere studies concludeerden dat het vooral de combinatie van de zuurgraad en het elektrisch geleidingsvermogen is die het vóórkomen van sialgalensoorten bepaald (Woelkerling & Gough 1976, Coesel 1982b).

Voor de belangrijkste twee voedingsstoffen in aquatische ecosystemen (stikstof en fosfaat) is bekend dat er vaak een negatieve relatie met het vóórkomen van sialgalen bestaat. In electrolytrijke tot zeer electrolytrijke wateren (Bijkerk *et al.* 2004a) was de signaalwaarde van sialgalen (Coesel 1998a, 2001) negatief gecorreleerd met zowel het

totaal stikstofgehalte als het totaal fosfaatgehalte en daalde het aantal kieskeurig sialgen in deze wateren als het totaalgehalte aan fosfaat toenam (Bijkerk *et al.* 2004a). Een vergelijkbare negatieve relatie bestond er tussen deze twee voedingsstoffen en de natuurwaarde berekend op basis van de aanwezige sialgenflora (Bijkerk *et al.* 2004a).

Tabel 13 Range van verschillende fysisch-chemische parameters gebruikt in verschillende studies waarnaar in deze paragraaf verwezen wordt*

Fysisch-chemische parameter	Range	Literatuurverwijzing
Alkaliniteit (mg/l)**	0 – 324	Woelkerling & Gough 1976
Alkaliniteit (meq/l)	0.24 – 2.50	Moss 1973
Alkaliniteit (meq/l)	0.00 – 2.38	Negro <i>et al.</i> 2003
Alkaliniteit (meq/l)	0.22 – 0.30	Rauch <i>et al.</i> 2006
Bicarbonaat (mg/l)	80 – 260	Bijkerk <i>et al.</i> 2004a
Calcium (mg/l)	0 – 63 35 – 90	Woelkerling & Gough 1976 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a
Chloride (mg/l)	2 - 140 30 – 290	Woelkerling & Gough 1976 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a
Elektrisch geleidingsvermogen (mS/m)	0.7 - 244 30 – 135 146 - 408	Negro <i>et al.</i> 2003 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a Cassie & Freeman 1980
Magnesium (mg/l)	<2.0 – 37.7	Woelkerling & Gough 1976
Totaal fosfaat (mg/l)	0.02 – 2.1 0.05 -2.3	Woelkerling & Gough 1976 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a
Totaal stikstof (mg/l)	0.33 – 13.30 1.0 - 6.5	Woelkerling & Gough 1976 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a
Sulfaat (mg/l)	1 – 139 10 – 180	Woelkerling & Gough 1976 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a
Zuurgraad	3.5 – 9.4 4.0 – 9.1 4.4 – 8.5 7.5 – 9.2 6.0 – 8.0 6.2 – 8.85 6.8 – 7.3	Moss 1973 Woelkerling & Gough 1976 Negro <i>et al.</i> 2003 Bijkerk <i>et al.</i> 2004a Spijkerman <i>et al.</i> 2004 Cassie & Freeman 1980 Rauch <i>et al.</i> 2006

* Dit betekent niet dat sialgen alleen onder deze omstandigheden (kunnen) voorkomen.

** Hier werd waarschijnlijk het bicarbonaatgehalte bedoeld.

Data van Pearsall (1922) zijn niet in tabel verwerkt, omdat deze gegevens niet vergelijkbaar waren met de data van andere studies.

Overige abiotische factoren

Naast de fysisch-chemische samenstelling van het water kunnen verschillende andere factoren een rol spelen voor de abundantie en verspreiding van sialgen. Het volume van het watersysteem, de verblijftijd, de mate van turbulentie, de morfologie van het terrein en verschillende klimatologische factoren zijn bijvoorbeeld ook van invloed op sialgenpopulaties (Wade 1957; Bland & Brook 1974; Burkholder & Sheath 1984).

Ook het effect van temperatuur op sialgalen is beschreven. Naast de groeisnelheid van sialgalen lijkt ook de morfologie van de cellen te worden beïnvloed door de temperatuur (Duthie 1965). Cellen waren groter (*Cosmarium subtumidum*) en/of het oppervlak van de cellen was complexer (*C. subtumidum* en *Staurastrum polymorphum*) bij 4°C dan bij 20°C, wat gevolgen heeft voor de bezinkingssnelheid van de sialgalen. Door het complexere oppervlak zal de sialgal minder snel bezinken. Dit kan ook weer invloed hebben op de concurrentiekracht van deze algen.

Ook de aanwezigheid van humuszuren kan een rol te spelen in de abundantie van sialgalen (Wesenberg-Lund 1905 en West & West 1906, in Wade 1957). Dystrofe plassen (door humus bruin gekleurd) hebben een grotere buffercapaciteit (humus kan stikstof binden) en zullen dus minder snel geëutrofiëerd raken dan bijvoorbeeld oligotrofe, glasheldere zandvennen (Coesel & Smit 1977) en zullen zo vaak meer sialgalen bevatten (Burkholder & Sheath 1984). Humuszuren kunnen daarnaast mogelijk ook dienen als koolstofbron voor bacteriën, waardoor deze organismen hun concurrentiepositie ten opzichte van het fytoplankton kunnen versterken (Mulderij, Ibelings, Tudor, Török, ongepubl.). De bacteriën verbruiken het fosfaat dat normaliter beschikbaar zou zijn voor fytoplanktongroei. In dystrofe wateren vinden we daarom vaak weinig fytoplankton. Sialgalen kunnen wel voorkomen in dystrofe plassen. Mogelijk gaan sialgalen efficiënter om met het (weinig) beschikbare fosfaat dan andere fytoplanktonsoorten (bijv. door een hogere affiniteit voor de opname van fosfaat). Er is hier echter nog weinig over bekend en het is dan ook wenselijk dat hier nader onderzoek aan wordt verricht.

Ook de afwezigheid van sialgalen in bepaalde ecosystemen kan informatie verschaffen over factoren die van belang zijn voor de abundantie en diversiteit van sialgalen. Zo worden sialgalen bijvoorbeeld maar sporadisch aangetroffen in stromende wateren. Burkholder & Sheath (1984) bestudeerde het vóórkomen van sialgalen juist in dit type wateren. Waarschijnlijk speelt hier niet de stroomsnelheid, maar de beschikbare hoeveelheid licht de doorslaggevende rol in het vóórkomen van sialgalen. Stromende ecosystemen worden namelijk vaak overschaduwed door bomen en struiken. Eénmaal gevestigd in een stromend ecosysteem zijn vooral de temperatuur en de stroomsnelheid bepalend voor het vóórkomen van sialgalen.

Negro *et al.* (2003) bestudeerde sialgalengemeenschappen in mediterrane bergmeren en concludeerde dat de verspreiding van sialgalen primair afhankelijk is van de waterdiepte en de zuurgraad. Sialgalen met een voorkeur voor dieper (zuur) water zijn bijvoorbeeld: *Cosmarium bioculatum*, *C. contractum*, *Euastrum elegans*, *Gonatozygon aculeatum*, *Pleurotaenium trabecula* en *Staurastrum brachiatum*. Sialgalen die vaker voorkomen in ondiepere (zure) wateren zijn: *Closterium acutum*, *C. intermedium*, *Cosmarium amoenum*, *Euastrum binale*, *Netrium digitus* en *Staurastrum pseudotetracerum*. Of de waterdiepte werkelijk de doorslag gaf, of dat de achterliggende processen (zoals bijv. het veranderde lichtklimaat) juist verantwoordelijk waren, valt te betwisten.

5.3 Onzekerheden

In de hierboven beschreven studies werden relatief duidelijke verbanden gevonden tussen milieufactoren en het vóórkomen van sialgalen. Dit is echter niet altijd het geval geweest. Er bestaan ook verschillende studies waaruit de effecten minder duidelijk naar voren kwamen. Woelkerling & Gough (1976) vonden geen duidelijke effecten van zowel stikstof als fosfaat op het vóórkomen van sialgalen. Cassie & Freeman (1980) hebben ook gekeken naar relaties met de temperatuur, pH, zuurstof- en ionconcentraties en het elektrisch geleidingsvermogen in verschillende duinmeertjes in Nieuw-Zeeland, maar zij vonden ook geen duidelijk afgebakende effecten. Bijkerk *et al.* (2004a) bestudeerden meerdere parameters in relatie tot het vóórkomen van sialgalen in Drentse vennen, maar konden geen duidelijke verbanden vinden tussen de toegenomen natuurwaarde, berekend op basis van de aanwezigheid

sieralgenflora (Coesel 1998a) en veranderingen in bepaalde abiotische factoren. Mogelijk is dit te verklaren door het relatief kleine aantal waarnemingen waaruit deze studie bestond.

Verder is het van belang te realiseren dat niet ieder systeem in potentie evenveel sieralgen kan bevatten. Zwak zure watertypen (zoals petgaten) zijn vaak soortenrijker dan neutraal-alkalische of zure watertypen (zie ook Bijkerk 2003a,b). Eutrofe, alkaliene wateren zijn vaak weer soortenarmer (Coesel 1982b). Tegenwoordig hebben we redelijk veel informatie over sieralgen in wateren op zand- en veengronden, maar we weten minder van sieralgen in wateren op bijvoorbeeld kleigronden. Waarschijnlijk komen hier minder sieralgen voor, maar dit onderwerp vergt nog meer onderzoek. Om ook meer inzicht in de sieralgensamenstelling van dit soort wateren (op kleigronden) te krijgen willen we ons binnen het veldonderzoek van deze studie niet alleen richten op laagveenplassen, maar ook op andere watertypen uit de KRW-typologie (zie werkplan 2007).

De systeemafhankelijke soortenrijkdom van sieralgenpopulaties werd al wel verwerkt in het beoordelingsstelsel ter bepaling van de natuurwaarde op basis van sieralgen, beschreven door Coesel (1998a, 2001) en in de maatlat voor de KRW (Van der Molen *et al.* 2004a). De potenties van een ecosysteem ten aanzien van soortenrijkdom aan sieralgen hangt dus samen met de heersende (a)biotische condities.

5.4 Potentieel sturende factoren

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat vele milieufactoren mogelijk een rol spelen in de verspreiding en diversiteit van sieralgen in Nederland. Sommige factoren zijn belangrijker dan andere. Op basis van de huidige kennis uit de literatuur schatten wij de volgende factoren in als de meest waarschijnlijke stuurfactoren voor sieralgen:

- de alkaliniteit;
- de zuurgraad;
- het elektrisch geleidingsvermogen;
- het trofieniveau (vooral P);
- de aanwezigheid van waterplanten.

Welke van deze factoren het meest belangrijk is, moet nog nader worden onderzocht. Ook causale verbanden kunnen momenteel nog moeilijk worden gelegd en er bestaat ook nog geen informatie over dosis-effect relaties tussen de stuurfactoren en het vóórkomen van sieralgen. Aanvullend onderzoek binnen dit project (veld- en bureauonderzoek in 2007 en 2008) moet een aanvulling gaan geven op de huidige kennis over welke factoren een belangrijke rol spelen voor het vóórkomen en de diversiteit van sieralgen (zie ook paragraaf 7.4).

6 Toepassing in beoordelingssystemen

Sieralgen zijn al regelmatig opgeworpen als doelgroep in beoordelingssystemen (Coesel 1975, 1998a; Bijkerk *et al.* 2004a). Het is een potentiëel interessante fytoplanktongroep voor het gebruik in beoordelingssystemen om een drietal redenen:

1. Veel informatie over de relatie tussen het voorkomen en de mate van verstoring alsmede de natuurwaarde van systemen beschikbaar;
2. In ecologische goede of zeer goede systemen zijn sieralgen abundant;
3. Determinatie van sieralgen is relatief betrouwbaar uit te voeren.

Dit hoofdstuk beschrijft de huidige informatie met betrekking tot beoordelingssystemen op basis van sieralgen. Verder zal hier uiteen gezet worden aan welke voorwaarden een goed beoordelingssysteem moet voldoen.

6.1 State of the art: Beoordelingssystemen

Ecologische kwaliteit en natuurwaarde

Beijerick probeerde in 1926 reeds een beoordeling/indeling (op basis) van (sier)algen te maken. In paragraaf 4.1 zijn de hieruit volgende typologieën reeds besproken. Het systeem van Beijerinck maakte gebruik van de trofiegraad als discriminerende factor. Hierbij werden onder andere de sieralgen ingedeeld in drie typen algengemeenschappen of 'biocoenosen': A, B en C. Daarna volgde het systeem van Coesel (1975) waarbij de waardering voor sieralgengemeenschappen werd uitgedrukt in een getal op een schaal van 0 tot 10 (tabel 14). Joosten (1996) combineerde de twee hierboven genoemde systemen tot een indeling waarbij de waardering van iedere subgroep binnen de vier onderscheiden series (zie paragraaf 4.1) woordelijk werd omschreven. Hiermee kwam de getalsmatige waardering van Coesel (1975) te vervallen.

Tabel 14 Beoordeling van sieralgengemeenschappen (*Biological value*) op basis van hoe makkelijk een gemeenschap te vervangen is (*Irreplaceability*) en hoe bijzonder een gemeenschap is (*Uniqueness*). Bron: Coesel 1975

Community no.*	Irreplaceability	Uniqueness	Biological value
1	1	1	1
2	3	2	2.5
3	6	6	6
4	8	8	8
5	4	5	4.5
6	7	7	7
7	9	8	8.5
8	2	4	3
9	5	6	5.5
10	10	10	10

* verdeeld in eutrofe (1-4), mesotrofe (5-7) en oligotrofe (8-11) habitats

Inmiddels is het beoordelingssysteem van Coesel (1975) ingrijpend aangepast en bestaat er een systeem voor de vaststelling van de natuurwaarde van Nederlandse sieralgengemeenschappen (Coesel 1998a). Hierin wordt de natuurwaarde van sieralgengemeenschappen aan de hand van de signaalwaarde, zeldzaamheid en soortenrijkdom beschreven (tabel 15 en figuur 14). Deze signaalwaarde werd door Bijkerk *et al.* (2004a) vertaald als 'keuskeurigheid', waarbij niet-kieskeurige soorten een score 0 kregen, terwijl zeer kieskeurige soorten een score 3 kregen.

Tabel 15 Bepaling van de natuurwaarde van sieralgengemeenschappen volgens Coesel (1998a). Doorslaggevend zijn de soortenrijkdom, zeldzaamheid en signaalwaarde van de gemeenschap, die verschillend worden beoordeeld voor zure (pH < 5), zwak zure (pH 5 - 6.5) en neutraal-alkalische (pH > 6.5) wateren. Elk van de drie karakteristieken wordt gewaardeerd met een evaluatiecijfer; de som van deze cijfers geeft de natuurwaarde van de sieralgengemeenschap

Zuur watertype	Zwak zuur watertype	Neutraal-alkalisch watertype	Evaluatie
Diversiteit (D)			
Aantal soorten	Aantal soorten	Aantal soorten	Evaluatiecijfer diversiteit (D)
1 - 5	1 - 10	1 - 5	1
6 - 30	11 - 50	6 - 30	2
> 30	> 50	> 30	3
Zeldzaamheid (Z)			
Som indicatiewaarden zeldzaamheid	Som indicatiewaarden zeldzaamheid	Som indicatiewaarden zeldzaamheid	Evaluatiecijfer zeldzaamheid (R)
1 - 2	1 - 5	1 - 2	1
3 - 30	6 - 40	3 - 10	2
> 30	> 40	> 10	3
Signaalwaarde (S)			
Som indicatiewaarden signaalwaarde	Som indicatiewaarden signaalwaarde	Som indicatiewaarden signaalwaarde	Evaluatiecijfer signaalwaarde (S)
1 - 5	1 - 10	1 - 5	1
6 - 20	11 - 40	6 - 20	2
21 - 40	41 - 80	21 - 40	3
> 40	> 80	> 40	4
Natuurwaarde			Som van D + R + S

VOORBEELDMONSTER

Achterste Goorven, bij Oisterwijk

Benthosmonsters (Klein blaasjeskruid, diverse soorten Veenmos, Knolrus), 04-09-1972

EGV < 30 µS, pH 3.5

d = 31; r = 23; s = 32

D = 3; R = 2; S = 3

Natuurwaarde: 8

VOORBEELD BESCHRIJVING ENKELE SIERALGENSOORTEN

Indicatienoteringen volgens Coesel (1998a)

Soort	trofie	zuurgraad	levensvorm	r	s	rI
<i>Closterium attenuatum</i> Ralfs	meso	acido	benth	2	3	*
<i>Closterium aciculare</i> T. West	eu	alk-neutr	plankt			
<i>Cosmarium abbreviatum</i> Racib.	meso	acido-neutr	benth-plankt		1	
<i>Cosmarium amoenum</i> Bréb.	oligo	acido	bent	1	2	
<i>Cosmarium kjellmanni</i> Wille forma	eu	alk	plankt	1		
<i>Cylindrocystis crassa</i> De Bary	oligo	acido	atm	2		
<i>Mesotaenium chlamyosporum</i> De Bary	oligo	acido	atm-benth	3		
<i>Staurastrum aculeatum</i> Ralfs	oligo-meso	acido	benth	3	3	*

Figuur 14: Voorbeeldberekening van de natuurwaarde van een sieralgengemeenschap en een voorbeeld van de indicatienotering van enkele in Nederland aangetroffen sieralgen. Bron: Coesel (1998a).

Sieralgen als doelvariabele voor de Kaderrichtlijn Water (KRW)

In 2004 is er reeds een onderzoek verricht naar de toepasbaarheid van sieralgen als doelvariabele voor de KRW (Bijkerk *et al.* 2004a). Voor de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water zijn in 2003 en 2004 maatlatten ontwikkeld om de ecologische toestand van de in Nederland te onderscheiden watertypen te kunnen beoordelen (Van der Molen *et al.* 2004a-c). Voor het kwaliteitselement fytoplankton zijn maatlatten geconstrueerd voor de aspecten biomassa (chlorofyl a) en soortensamenstelling (Van den Berg *et al.* 2004). Voor de soortensamenstelling zijn twee deelmaatlatten gemaakt. Eén daarvan is een toets op excessieve menselijke beïnvloeding (negatieve maatlat). Indicatorsoorten voor de negatieve maatlat voor het kwaliteitselement fytoplanktonsoortensamenstelling bestaan uit storingssoorten zoals cyanobacteriën. Deze fytoplanktongroep werd reeds in OBN-verband bestudeerd (paragraaf 1.1). De andere deelmaatlat voor soortensamenstelling bestaat uit een toets op natuurlijkheid, of afstand tot de referentiesituatie (positieve maatlat). De positieve maatlat is gebaseerd op het vóórkomen van sieralgen, die daarbij zijn ingedeeld in triviale, matig kieskeurige, kieskeurige en zeer kieskeurige soorten. Sieralgen komen vooral voor in voedselarme, zwak gebufferde wateren met een zwak zure tot neutrale pH. Eutrofiëring, verzuring en verdroging hebben gezorgd voor een sterke achteruitgang van deze algen. Het vóórkomen van sieralgen (hoofdstuk 4) wordt dan ook vaak geassocieerd met een goede waterkwaliteit en gedifferentieerde (gerijpte) ecosystemen. Sieralgen kunnen zo mogelijk als goede kandidaat voor gebruik binnen de KRW dienen. Hierbij moet echter wel vermeld worden dat het bij de beoordeling van ecologische kwaliteit niet gaat om de absolute biodiversiteit voor een bepaald ecotoop (niet de hoogste diversiteit). De diversiteit ten opzichte van een referentiesituatie is van groter belang, omdat niet ieder ecotoop zich tot dezelfde maximale biodiversiteit kan ontwikkelen (zie paragraaf 5.3). Zo zullen (zeer) harde wateren bijvoorbeeld altijd soortenarmer zijn/blijven dan zachte wateren.

Voorwaarden voor een goed beoordelingssysteem

Een goed beoordelingssysteem moet aan verschillende voorwaarden voldoen. Zo moet er genoeg historische informatie beschikbaar zijn. Verder is het van belang dat de organismen die worden gebruikt gevoelig of indicatief zijn voor een bepaalde ecologische toestand en dat ze relatief makkelijk te determineren zijn. Ook de bemonsteringen moeten reproduceerbaar kunnen worden uitgevoerd. Het resulterende beoordelingssysteem moet verder robuust zijn tegen verschillen in de abundantie van soorten als gevolg van seizoensmatige fluctuaties. Deze voorwaarden zullen hieronder nader worden toegelicht.

Historische informatie

Over de verspreiding van sieralgen in Nederland is veel historische en actuele kennis beschikbaar. Dit zorgt voor een goed overzicht van de gevoeligheid van verschillende sieralgsoorten voor verstoring van het milieu. Door de korte levenscyclus zijn algen bij uitstek goede indicatoren voor (snelle) veranderingen in milieufactoren, zowel in positieve als in negatieve zin. Bij aantasting van het milieu zal de sieralgenflora er snel kwalitatief op achteruit gaan, terwijl een kleine verbetering van de waterkwaliteit alweer kan leiden tot herstel en van de sieralgen gemeenschap.

Gevoeligheid als indicator-organisme

Soorten die als indicator zouden moeten gaan dienen, moeten logischerwijs indicatief zijn voor een bepaalde ecologische toestand en niet zomaar overal kunnen vóórkomen, ongeacht de waterkwaliteit. Hierbij moeten de soorten een zo nauw mogelijke ecologische amplitude hebben om de heersende ecologische toestand zo precies mogelijk te kunnen beschrijven.

Relatief eenvoudige determinatie

Een andere reden om sieralgen aan te wenden in een beoordelingssysteem is de mogelijkheid tot het uitvoeren van een betrouwbare determinatie van Nederlandse sieralgen. In vergelijking met de andere algengroepen, behalve kiezelwieren, zijn sieralgen het best beschreven en kunnen goed worden gedetermineerd. Coesel (1982a, 1983, 1985, 1991, 1994b, 1997) beschreef in het zesdelige 'Desmidiaceën van Nederland' de in Nederland voorkomende sieralgen. Het voordeel van het gebruik van

sieralgen t.o.v. bijvoorbeeld kiezelwieren, is dat het bij kiezelwieren niet mogelijk is om te bepalen of cellen ten tijde van de bemonstering nog in leven waren.

Reproduceerbare bemonstering

De beoordeling aan de hand van biologische parameters heeft alles te maken met de wijze van bemonstering. Om tot een robuust beoordelingssysteem te komen hebben we inzicht nodig in de reproduceerbaarheid van bemonsteringen. In het geval van sieralgen is ons al gebleken dat bemonsteringen in dezelfde periode, op dezelfde locatie door verschillende personen, uitgevoerd op een gestandaardiseerde manier leiden tot reproduceerbare gegevens.

Een andere factor die een rol waarschijnlijk een rol speelt in de reproduceerbaarheid van de sieralgenbemonsteringen is het moment van bemonsteren. We weten echter nog wat de precieze invloed van het seizoen op de dichtheid en de soortenrijkdom van sieralgen is. Als er sprake is van seizoensafhankelijkheid, dan zouden voorjaarsmonsters, late zomermonsters en/of najaarsmonsters sterk van elkaar kunnen verschillen in zowel de dichtheid en soortenrijkdom aan sieralgen. Seizoenseffecten op bemonsteringen van sieralgen zijn echter nog niet onderzocht (zie daarom ook hoofdstuk 7).

Robuust beoordelingssysteem

Voor het vaststellen van de natuurwaarde van watersystemen op basis van de sieralgenflora ontwikkelde Coesel (1998a) al een beoordelingssysteem. Dit systeem is in de voorgaande hoofdstukken reeds meerdere malen aan bod gekomen. Het kan gebruikt worden op verschillende integratieniveaus (bijv. een enkele plas of een serie vennen in een natuurgebied). Hierbij moet worden beseft dat de berekende natuurwaarde altijd bepaald zal worden door de 'zwakste schakel' in een (serie) monster(s). Een hoge natuurwaarde volgens het systeem van Coesel (1998a) gaat namelijk altijd uit van de meest zeldzame, meest soortenrijke, en meest kieskeurige soorten/systemen. Een ven met een hoge natuurwaarde in een natuurreservaat zal de gemiddelde natuurwaarde van het gehele reservaat doen stijgen als het systeem op dat integratieniveau wordt bekeken.

Relatief weinig kosten

Een optimaal beoordelingssysteem moet niet alleen robuust en bij voorkeur arbeids-extensief zijn (bijv. door gebruik van makkelijk determineerbare organismen e.d., zie voorgaande tekst). Het systeem moet ook zo goedkoop mogelijk zijn. Momenteel bestaat er geen alternatief voor een positieve deelmaatlat voor het kwaliteitselement fytoplanktonsoortensamenstelling in de KRW, waardoor de vergelijking van de kosten van de verschillende beoordelingssystemen niet kan worden gemaakt.

6.2 Huidige situatie maatlat sieralgen voor de KRW

In een onderzoek naar de stuurbaarheid van sieralgen en de toepasbaarheid van de KRW-deelmaatlat sieralgen concludeerden Bijkerk *et al.* (2004a) dat het in het systeem van Coesel (1998a) ondenkbaar is dat gemeenschappen met een signaalwaarde van vier of lager een zes of hoger scoren voor de natuurwaarde. In de door Bijkerk *et al.* (2004a) onderzochte monsters was in 50% van de monsters met een signaalwaarde van vier of lager, minimaal één kieskeurige soort aanwezig. Volgens de huidige maatlat voldoen deze wateren hiermee aan de 'Goede Ecologische Toestand, GET'. De natuurwaarde is een maat voor de actuele ontwikkeling van een sieralgen gemeenschap ten opzichte van een referentiesituatie. Voor een Goede Ecologische Toestand zou men daarom minstens een 7 als natuurwaarde verwachten. De huidige sieralgenmaatlat (Bijkerk *et al.* 2004a) is dus waarschijnlijk nog te soepel (vergelijk met voorbeeld Zuidlaardermeer, paragraaf 4.2.1).

7 Conclusies en kennislacunes

7.1 Conclusies

Dit project moet antwoord geven op de volgende kennisvragen, gesteld door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit :

1. Wat is de samenstelling van sieralgengemeenschappen in gebufferde (1.0 – 4.0 meq/l) meren (regionaal verspreid) en met welke (a)biotische milieuv variabelen is het voorkomen van sieralgsoorten in deze wateren gecorreleerd?
2. Wat is de bijdrage van sieralgen aan de Nederlandse biodiversiteit en wat is de trend daarin?
3. Is er in potentie een doelsoortenlijst volgens de itz-criteria (zie paragraaf 3.2) voor sieralgen op te stellen?
4. Hoe verhoudt de sieralgensamenstelling zich tot de waterplantensamenstelling? Voegt de sieralgensamenstelling iets wezenlijks toe aan de biodiversiteitswaarde van de laagveenwateren?
5. Met welke maatregelen zijn sieralgen in laagveenwateren te herstellen/behouden en hoe verhoudt zich dat tot andere maatregelen die bijvoorbeeld in het kader van OBN worden genomen?
6. Hoe ziet een geschikte maatlat/beoordelingsmethodiek voor sieralgen eruit? Voor een beoordelingsmethodiek is een gevoeligheidsanalyse gewenst voor het effect van het weglaten van lastig determineerbare soorten. De beoordelingsmethodiek dient KRW-proof te zijn.

De bestudering van de literatuur heeft geleid tot antwoorden, maar enkele van de bovenstaande vragen bleven nog onbeantwoord. De vragen van het Ministerie van LNV zullen hieronder achtereenvolgens besproken en/of beantwoord worden.

Samenstelling sieralgengemeenschappen gebufferde meren en relatie met milieuv variabelen

De verspreiding en diversiteit van sieralgen wordt beïnvloed voor een groot aantal (a)biotische milieufactoren. De meest belangrijke zijn waarschijnlijk de alkaliniteit, de zuurgraad, het elektrisch geleidingsvermogen en de voedselrijkheid (met name beschikbaarheid van fosfaat). Ook de aanwezigheid van waterplanten is een belangrijke factor in de verspreiding van sieralgen (zie hieronder). Bovenstaande conclusies zijn vooral gebaseerd op correlatieve verbanden uit de literatuur. Informatie over dosis-effect relaties ontbreekt nog, en zal voort moeten komen uit het huidige onderzoeksproject.

Bijdrage aan Nederlandse biodiversiteit en trends daarin

Sieralgen staan voor wat betreft de biodiversiteit binnen de algen op de derde plek (tabel 6). Momenteel zijn er ca. 450 soorten bekend, maar dat aantal kan de komende jaren nog oplopen tot ca. 500. Hiermee spelen sieralgen vermoedelijk een relatief belangrijke rol in de biodiversiteit van algen. In het verleden heeft er door processen als verzuring, vermesting en verdroging een verarming van de Nederlandse sieralgenflora plaatsgevonden. Inmiddels zijn we ons bewust van de schadelijke effecten van deze processen op sieralgen en zijn er landelijk verschillende herstelprojecten gestart om de biodiversiteit te behouden en mogelijk te herstellen. Herstelprojecten in verschillende vennen hebben geleid tot herstel van de sieralgengemeenschap aldaar. Ook heeft er enig herstel in enkele petgaten

plaatsgevonden. Binnen het huidige onderzoeksproject zal verder duidelijk moeten worden welke beheers- en inrichtingsmaatregelen kunnen lijden tot herstel van sialalgengemeenschappen (zie Werkplan 2007).

Doelsoortenlijst volgens itz-criteria

Deze lijst is in principe op te stellen, al missen we momenteel informatie met betrekking tot het internationale belang van Nederlandse sialalgengemeenschappen (*i*-criterium) en de achteruitgang van sialalgsoorten (25%) in de afgelopen tientallen jaren (*t*-criterium). Het *z*-criterium (zeldzaamheid) is momenteel vooral gebaseerd op expertoordeel. Verder onderzoek is dus nog gewenst voor het uiteindelijk opstellen van een *itz*-doelsoortenlijst. Het blijft echter de vraag of het haalbaar is om een doelsoortenlijst via de precieze definities van de *itz*-criteria (Bal *et al.* 1995, 2001) op te stellen.

Relatie tussen waterplanten en sialalgen

Het voorkomen van sialalgen is sterk gecorreleerd met de aanwezigheid van waterplanten. De aanwezigheid van waterplanten heeft een positief effect op de sialalgengemeenschap. Hierbij speelt ook de soort waterplant een rol. Op waterplanten waterplanten zoals Groot blaasjeskruid worden bijvoorbeeld veel meer sialalgenta gevonden dan op een soort als *Brasenia schreberi*. Dit heeft mogelijk te maken met de structuur van de waterplanten, maar daar bestaan nog twijfels over.

Maatregelen herstel laagveenwateren vs maatregelen sialalgen

We hebben gezien dat maatregelen voor het algemene herstel van vennen soms ook kunnen leiden tot herstel van de sialalgenflora. Of hetzelfde geldt voor laagveenwateren is nog niet bekend en zal dus nog onderzocht moeten worden.

Geschiede Maatlat/beoordelingsmethodiek

Beijerinck (1926), Coesel (1975, 1998a, 2001), Joosten (1996) en Bijkerk *et al.* (2004a) hebben reeds voorwerk gedaan voor de ontwikkeling van een beoordelingsstelsel op basis van de aanwezige sialalgenflora. Hieruit blijken de potenties van de groep sialalgen als doelvariabele voor beoordelingsstelsels. De huidige beoordelingsmethode verdient echter nog wel aanpassing.

7.2 Kennislacunes

Uit het bestuderen van de beschikbare literatuur over sialalgen is naar voren gekomen dat we in de loop der jaren al veel kennis hebben vergaard. Hierdoor zijn echter ook nieuwe vragen ontstaan. Op deze nieuwe vragen zoeken we nog antwoorden. In de onderstaande tekst geven we een samenvatting van de kennislacunes die wij na bestudering van de literatuur hebben gesignaleerd.

Dekking watertypen

Destijds zijn sialalgebemonsteringen om begrijpelijke redenen hoofdzakelijk uitgevoerd in wateren in natuurgebieden, zoals vennen en trilvenen. In het kader van het routinematig waterkwaliteitsonderzoek worden nu vooral eutrofe, in meer of mindere mate verstoorte systemen onderzocht. Om een zo volledig mogelijk beeld van de verspreiding en diversiteit van sialalgen in Nederland te krijgen zijn gerichte sialalgebemonsteringen gewenst in ondiepe matig tot sterk gebufferde plassen en meren, van uiteenlopende oppervlakte en voedselrijkdom gewenst. De door Bijkerk *et al.* (2004a) bemonsterde meren waren gekozen op grond van de beschikbaarheid van oude monsters van Leentvaar, maar deze vertegenwoordigden een (te) kleine range in waterkwaliteit. Het is dus zaak om ook gegevens te verzamelen in bijvoorbeeld voedselarmere plassen en meren.

Relaties met (a)biotische milieuvariabelen

In paragraaf 5.4 zijn reeds een aantal potentiële stuurvariabelen voor sialalgen genoemd. Benoeming van deze stuurvariabelen is echter vaak gebaseerd op causale verbanden uit veldstudies. Het is bijvoorbeeld nog steeds niet geheel duidelijk of de

alkaliniteit, de trofiegraad of de combinatie van de twee doorslaggevend is voor het vóórkomen van sialgalen. Verder is het ook van belang te weten of sialgalen direct reageren op veranderingen in de waterkwaliteit of indirect reageren via veranderingen van de watervegetatie. Het is van groot belang om te weten of sialgalen kunnen fungeren als snelle indicator, om zo in een vroeg stadium al verstoring aan te kunnen tonen. Om een duidelijk beeld te kunnen vormen over de voor sialgalen belangrijke stuurfactoren is het van belang om waarnemingen uit het veld te combineren met experimentele studies in het laboratorium en zo causale verbanden en dosis-effect relaties boven tafel te krijgen. Met het lopende onderzoek willen we zo ook naar variaties tussen gemeenschappen en monsterlocaties op zoek gaan.

Doelsoortenlijst volgens *itz*-criteria

Om tot een volledige *itz*-doelsoortenlijst te komen is er nog aanvullende informatie met betrekking tot het internationale belang van Nederlandse sialgengemeenschappen (*i*-criterium) en de achteruitgang van sialgsoorten (>25%) in de afgelopen 40 - 50 jaar (*t*-criterium) nodig. Informatie rondom de trends in abundaties van sialgsoorten in de afgelopen jaren is waarschijnlijk moeilijk te achterhalen, omdat veel historische analyses op een kwalitatieve manier zijn uitgevoerd. Het *z*-criterium (zeldzaamheid) is momenteel vooral gebaseerd op expertoordeel en verder onderzoek is dus nog gewenst voor het uiteindelijk opstellen van een *itz*-doelsoortenlijst. Waarschijnlijk moeten we ons voor het opstellen van een doelsoortenlijst volgens *itz*-criteria vooral richten op het *i*-criterium en het *z*-criterium. Om een zo goed mogelijke indruk van de achteruitgang van sialgsoorten in de afgelopen jaren te krijgen (*t*-criterium), kunnen we misschien deskundigen raadplegen.

7.3 Potentiële informatiebronnen

Potentiële informatiebronnen waarvan een deel reeds is benut in dit literatuuronderzoek zijn:

1. Merenonderzoek 2004 uitgevoerd door KenB en AquaSense: 25 plassen van de KRW typen M5, M14, M20, M21, M23 en M27 zijn onderzocht (Bijkerk *et al.* 2004a).
2. Ecologische monitoring Waterschap Hunze en Aa's inclusief historische gegevens.
3. Gegevens Zuidlaardermeer 1917 - 2006 (Bijkerk & Berg 2005).
4. Ecologische monitoring Waterschap Regge en Dinkel.
5. Ecologische monitoring Waterschap Reest en Wieden.
6. Archief Drs. R. Bijkerk, KenB.
7. Archief Dr. P.F.M. Coesel, UvA.
8. Archief Drs. A.M.T. Joosten.
9. Buitenlandse gegevens (in Duitsland is men voornemens om een beoordelingssysteem op basis van sialgalen te ontwikkelen).
10. KRW-referentiemeren in Noord-Duitsland, Estland en/of Polen.

Daarnaast werd eerder in het rapport al aangegeven dat een aanzienlijk deel van de beschikbare informatie over sialgalen zich bevindt in rapportages ('grijze literatuur') bij verschillende instanties, in plaats van in wetenschappelijke tijdschriften. Om hier een overzicht van te kunnen krijgen zullen we deskundigen moeten raadplegen.

7.4 Veldonderzoek 2007

Met het veldonderzoek van 2007 (zie ook paragraaf 1.4) willen we meer inzicht krijgen in de regionale en lokale verspreiding en diversiteit van Nederlandse sialgalen in relatie tot de heersende milieucondities. Daarnaast willen we de seizoensdynamiek van sialgalen onderzoeken. Uit dit onderzoek moet duidelijker naar voren komen welke milieufactoren de verspreiding en diversiteit van Nederlandse sialgalen sturen.

Vooralsnog gaan we uit van de eerdergenoemde potentiële stuurfactoren. Uit het onderzoek in 2007 zal naar voren moeten komen welke milieufactoren nu echt sturend zijn voor de abundantie en diversiteit van de Nederlandse sialgenflora. Als dit duidelijker wordt, kunnen we in 2008 gericht experimenteel onderzoek gaan uitvoeren om dosis-effect relaties tussen de milieufactoren en het vóórkomen van sialgen vast te kunnen stellen. Met deze informatie kunnen we een betere inschatting maken van de beheers- en inrichtingsmaatregelen die nodig zijn voor het herstel van de Nederlandse sialgenflora. Daarnaast wordt het ook mogelijk om de huidige KRW-sialgenmaatlat beter te onderbouwen, zodat deze daadwerkelijk geïmplementeerd kan worden.

Literatuur

Bal D, Beije HM, Hoogeveen YR, Jansen SRJ & van der Reest PJ 1995. Handboek natuurdoeltypen in Nederland. IKC-Natuurbeheer, Ministerie van LNV, Wageningen, 407 pp.

Bal D, Beije HM, Fellingier M, Haveman R, van Opstal AJFM, van Zadelhoff FJ 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede herziene editie. Expertisecentrum LNV, Ministerie van LNV, Wageningen. 832 pp.

Beijerinck W 1926. Over verspreiding en periodiciteit van zoetwaterwieren in Drentsche heideplassen. Verhandelingen van de Koninklijke Nederlandse Akademie voor Wetenschappen, Afdeling Natuurkunde, tweede sectie. 25(2) 5-211.

Bellemakers MJS 2000. Reversibility of the effects of acidification and eutrophication of shallow surface waters : perspectives for restoration. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.

Bijkerk R 1996. Het voedselaanbod van muggenlarven op de Ventjagersplaten. Koeman en Bijkerk bv, Haren.

Bijkerk R 2002. Soortensamenstelling en natuurwaarde van sialgalen in enkele Twentse vennen en plassen in 2001, met een ecologische typering. Rapport 2002-24. Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van Waterschap Regge en Dinkel.

Bijkerk R 2003a. De sialgalenflora van enkele Groningse wateren in natuurterreinen van Staatsbosbeheer, 2003. Soortensamenstelling, ecologie en natuurwaarde. Rapport 2003-42 Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van Staatsbosbeheer Beheereenheid Eiland van Winschoten.

Bijkerk R 2003b. Biologische monitoring Waterschap Regge en Dinkel. Soortensamenstelling en natuurwaarde van sialgalen in enkele Twentse vennen en poelen in 2002, met een ecologische typering. Rapport 2003-17 Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van het Waterschap Regge en Dinkel.

Bijkerk R 2003c. Sialgalen in Kortenhoeff Ven 1, 2003. Datarapport. Koeman en Bijkerk bv Rapport 2003-45. In opdracht van Hydrobiologisch Adviesburo Klink.

Bijkerk R & Kouwets FAC *In prep.* *Cosmarium lagerheimii*, een sialgal van matig eutrofe plassen, nieuw voor de Nederlandse flora.

Bijkerk R & Berg GJ 2005. Zicht in meren. Een ecologisch statusrapport van de vier meren in het beheersgebied van het Waterschap Hunze en Aa's. Rapport 2004-118, Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van het Waterschap Hunze en Aa's.

Bijkerk R, Berg GJ, Bultstra CA 2003. Biologische monitoring Waterschap Hunze en Aa's 2001. Ecologische beoordeling van vennen en plassen in de deelgebieden West en Oost, meetjaar 2001. Rapport 2002-10, Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van het Waterschap Hunze en Aa's.

Bijkerk R, Van Dam H, Bultstra CA, Meesters J 2004a. Stuurbaarheid van sialgalen. Een onderzoek naar de potentiële stuurvariabelen van sialgalengemeenschappen als doelvariabelen in de Kaderrichtlijn Water. Rapport 2004-113, Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA).

Bijkerk R, Berg GJ, Joosten AMT 2004b. Drentse vennen door de jaren heen. Onderzoek naar de ecologische veranderingen in Drentse vennen tot 2003. Rapport 2004-32 Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van Provincie Drenthe Productgroep Landelijk Gebied.

Bland RD, Brook AJ 1974. The spatial distribution of desmids in lakes in northern Minnesota, USA. *Freshwater Biology* 4: 543-556.

Brouwer E 2000. Restoration of Atlantic softwater lakes and perspectives for characteristic macrophytes. Proefschrift Universiteit van Nijmegen.

Brouwer E, Bobbink R, Roelofs, JGM 2002. Restoration of aquatic macrophyte vegetation in acidified and eutrophied softwater lakes: an overview. *Aquatic Botany* 73: 405-431

Bultstra CA. 2006. Sialgalen in Limburgse vennen 2005. Rapport 2006-24, Koeman en Bijkerk bv, Haren. In opdracht van Waterschap Peel en Maasvallei.

Burkholder JM, Sheath RG 1984. The seasonal distribution, abundance and diversity of desmids (Chlorophyta) in a softwater, north temperate stream. *Journal of Phycology* 20: 159-172.

Cassie V, Freeman PT 1980. Observations on some chemical parameters and the phytoplankton of five west coast dune lakes in Northland, New Zealand. *New Zealand Journal of Botany* 18: 299-320.

Canter HM, Lund JWG 1966. The periodicity of planktonic desmids in Windermere, England. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 16: 163-172.

Canter HM, Lund JWG 1969. The parasitism of planktonic desmids by fungi. *Österreichische Botanische Zeitschrift* 116: 351-377.

Canter-Lund HM, Lund JWG 1995. Freshwater phytoplankton: their microscopic world explored. Biopress Ltd. Bristol, UK, 360 pp.

Coesel PFM 1974. Notes on sexual reproduction in desmids. I. Zygosporangium formation in nature. *Acta Botanica Neerlandica* 23: 361-368.

Coesel PFM 1975. The relevance of desmids in the biological typology and evaluation of fresh waters. *Hydrobiological Bulletin* 9: 93-101.

Coesel PFM 1977. On the ecology of desmids and the suitability of these algae in monitoring the aquatic environment. *Hydrobiological Bulletin* 11: 20-21.

Coesel PFM 1978. Environmental changes in the Oisterwijk moorland pool area, evident from the composition of the desmid flora. *Hydrobiological Bulletin* 12: 52-53.

Coesel PFM 1982a. De desmidiaceëen van Nederland. Deel 1. Fam. Mesotaeniaceae, Gonatozygaceae, Peniaceae. *Wetenschappelijke Mededelingen KNNV* 153, Utrecht, 31 pp.

Coesel PFM 1982b. Structural characteristics and adaptations of desmid communities. *Journal of Ecology* 70: 163-177.

- Coesel PFM 1983. De desmidiaceeën van Nederland. Deel 2. Fam. Closteriaceae. Wetenschappelijke Mededelingen KNNV 157, Utrecht, 49 pp.
- Coesel PFM 1985. De desmidiaceeën van Nederland. Deel 3. Fam. Desmidiaceae (1). Wetenschappelijke Mededelingen KNNV 170, Utrecht, 70 pp.
- Coesel PFM 1989. Biosystematic studies on the *Closterium moniliferum/ehrenbergii* complex in western Europe. IV. Distributional aspects. *Cryptogamie, Algologie* 10: 133-141.
- Coesel PFM 1991. De desmidiaceeën van Nederland. Deel 4. Fam. Desmidiaceae (2). Wetenschappelijke Mededelingen KNNV 202, Utrecht, 88 pp.
- Coesel PFM 1994a. On the ecological significance of a cellular mucilaginous envelope in planktic desmids. *Algological Studies* 73: 65-74.
- Coesel PFM 1994b. De desmidiaceeën van Nederland. Deel 5. Fam. Desmidiaceae (3). Wetenschappelijke Mededelingen KNNV 210, Utrecht, 55 pp.
- Coesel PFM 1997. De desmidiaceeën van Nederland. Deel 6. Fam. Desmidiaceae (4). Wetenschappelijke Mededelingen KNNV 220, Utrecht, 95 pp.
- Coesel PFM 1998a. Sieralgen en natuurwaarden. Wetenschappelijke Mededeling KNNV 224, Stichting Uitgeverij KNNV, Utrecht. 56 pp.
- Coesel PFM 1998b. De sieralgenflora van De Banen: een nieuwe start. *Natuurhistorisch Maandblad* 87: 214-218.
- Coesel PFM 2001. A method for quantifying conservation value in lentic freshwater habitats using desmids as indicator organisms. *Biodiversity and Conservation* 10: 177-187.
- Coesel PFM 2003. Desmid flora data as a tool in conservation management of Dutch freshwater wetlands. *Biologia Bratislava* 58: 717-722.
- Coesel PFM, Teixeira RMV 1974. Notes on sexual reproduction in desmids. II. Experiences with conjugation experiments in uni-algal cultures. *Acta Botanica Neerlandica* 23: 603-611.
- Coesel PFM, Smit HDW 1977. Jukwieren in Drente, vroeger en nu. Veranderingen in de Desmidiaceeënflora van enige Drentse vennen gedurende de laatste 50 jaar. *De Levende Natuur* 80: 34-44.
- Coesel PFM, Kooijman-Van Blokland H 1994. Distribution and seasonality of desmids in the Maarsseveen lakes area. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28: 19-24.
- Coesel PFM, Kwakkestein R, Verschoor A 1978. Oligotrofication and eutrophication tendencies in some Dutch moorland pools, as reflected in their desmid flora. *Hydrobiologia* 61: 21-31.
- Coesel PFM, Meesters K, Schulp H 2006. Subatmofytische sieralgsoorten, nieuw voor de Nederlandse flora. *Gorteria* 31-6: 137-141
- Cook PW 1963. Host range studies of certain phycomycetes parasitic on desmids. *American Journal of Botany* 50: 580-588.
- Domozych CR, Plante K, Blais P, Paliulis L, Domozych DS 1993. Mucilage processing and secretion in the green alga *Closterium*. I Cytology and biochemistry. *Journal of Phycology* 29: 650-659.

- Domozych DS, Roberts R, Danyow C, Flitter R, Smith B 2003. Plasmolysis, hechtion strand formation, and localized membrane-wall adhesions in the desmid, *Closterium acerosum* (Chlorophyta). *Journal of Phycology* 39: 1194-1206.
- Duthie HC 1965. Some observations on the ecology of desmids. *Journal of Ecology* 53: 695-703.
- Engels M 2006. The Culture Collection of Conjugatophyceae (SVCK) at the University of Hamburg, Germany. www.bioline.org.br/request?nl98006
- Geissler U 1988. Some changes in the flora and vegetation of algae in freshwater environments. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 42: 637-643.
- Gough SB, Woelkerling WJ 1976. On the removal and quantification of algal aufwuchs from macrophyte hosts. *Hydrobiologia* 48: 203-207.
- Grontmij|AquaSense en Alterra 2005. Huidige toestand en vervolgaanpak Brabantse vennen. In opdracht van: Provincie Noord-Brabant. Grontmij|AquaSense Rapportnummer 05.2184.2, Alterra Rapportnummer 1200.
- Gutowski A, Mollenhauer D 1996. Rote Liste der Zieralgen (Desmidiaceales) Deutschlands. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 28: 679-708.
- Habib OA, Tippett R, Murphy KJ 1997. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland. *Hydrobiologia* 350: 63-79.
- Handke K 1996 Zygosporen Saccodermer und Placodermer Desmidiaceen in Aufsammlungen der Jahre 1971-1995 aus Europa, Asien und Amerika. *Mitt Inst Allg Bot Hamburg* 26: 5-129.
- Heimans J 1925. De Desmidiaceeënflora van de Oisterwijkse vennen. N. K. Archief 1924.
- Heimans J, Meijer W 1955. De Desmidiaceeën van het plassenengebied Het Hol bij Kortenhoef. In: Meijer W, De Wit RJ. *Kortenhoef – Een veldbiologische studie van een Hollands verlandingsgebied*. Stichting Commissie voor de Vecht en het oostelijk en westelijk plassenengebied. p 105-108.
- Hutchinson GE 1967. *A treatise on limnology* Vol. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp. 1-1115.
- Ichimura T, Kasai F & Coesel PFM 1997. Geographical and ecological distribution of highly polyploid populations of the *Closterium ehrenbergii* species complex. *Phycologia* 36: 157-163.
- IUCN 2001. IUCN Red List categories and criteria: Version 3.1. IUCN Species survival commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. li + 30 pp.
- IUCN 2006. The IUCN Red List of threatened species. Table 1: Numbers of threatened species by major groups of organisms (1996-2006) <http://www.iucnredlist.org/info/tables/table1>.
- Joosten AMT 1996. Documentatie van desmidiaceeën uit Nederlandse binnenwateren. Rapport 1996-01/B, Koeman en Bijkerk bv, Haren.
- Kagami M, Urabe J 2002. Mortality of the planktonic desmid, *Staurastrum dorsidentiferum*, due to interplay of fungal parasitism and low light conditions *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 28: 1001-1005.
- Klink A 1984 Klink Hydrobiologisch adviesbureau <http://home.planet.nl/~klink939/serv02.htm>.

- Leuven RSEW 1988. Impact of acidification on aquatic ecosystems in the Netherlands. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Lewis LA, McCourt RM 2004. Green algae and the origin of land plants. *American Journal of Botany* 91: 1535-1556.
- Lenzenweger R 1986. Rote Liste gefährdeter Zieralgen (Desmidiaceae) Österreichs. In: Niklfeld H (ed) *Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs*. Wien. pp 200-202.
- Lenzenweger R 1999. Rote Liste gefährdeter Zieralgen (Desmidiaceae) Österreichs. 2. Fassung. In: Niklfeld H (ed) *Rote Listen gefährdeter Pflanzen Österreichs*. Wien. p. 276-281
- Lenzenweger R 2003. Zieralgen – Desmidiaceae: verborgene Schönheiten im Wasser. <http://www.hydro-kosmos.de/desmids/index.htm>
- Moss B 1973. Influence of environmental factors on the distribution of freshwater algae – experimental study 2. Role of pH and carbon dioxide bicarbonate system. *Journal of Ecology* 61: 157-177.
- McCourt RM, Karol KG, Bell J, Helm-Bychowski KM, Grajewska A, Wojciechowski MF, Hoshaw RW 2000. Phylogeny of the conjugating green algae (Zygnemophyceae) based on rbcL sequences. *Journal of Phycology* 36: 747-758.
- Ministerie van LNV 2006. Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2003-2006. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Rapport DK nr. 2006/057-O. 286 pp.
- Mix 1972. Die Feinstruktur der Zellwände bei Mesotaeniaceae und Gonatozygaceae mit einer vergleichenden Betrachtung der verschiedenen Wandtypen der Conjugatophyceae und über deren systematischen Wert. *Archiv für Mikrobiologie* 81: 197-220.
- Mulderij G, Van Donk E, Roelofs JGM 2003. Differential sensitivity of green algae to allelopathic substances from *Chara*. *Hydrobiologia* 491:261-271.
- Mulderij G, Mooij WM, Van Donk 2005. Allelopathic growth inhibition and colony formation of the green alga *Scenedesmus obliquus* by the aquatic macrophyte *Stratiotes aloides*. *Aquatic Ecology* 39: 11-21.
- Negro AI, De Hoyos C, Aldasoro JJ 2003. Diatom and desmid relationships with the environment in mountain lakes and mires of NW Spain. *Hydrobiologia* 505: 1-13.
- Németh J 2005. Red list of algae in Hungary. *Acta Botanica Hungarica* 47: 379-417.
- Novis P 2003. Slime time. *Te Taiao* 1: 6-7.
- Pals A, Elst D, Muylaert K, Van Assche J 2006. Substrate specificity of periphytic desmids in shallow softwater lakes in Belgium. *Hydrobiologia* 568: 159-168.
- Pearsall WH 1922. A suggestion as to factors influencing the distribution of free-floating vegetation. *Journal of Ecology* 9: 241-253.
- Plant-Talk 2006. <http://www.plant-talk.org/country/austria.html>
- Rauch A, Fesl C, Schagerl M 2006. Influence of environmental variables on algal associations from a floating vegetation mat (Schwingmoor Lake Lunzer Obersee, Austria). *Aquatic Botany* 84: 129-136.
- Redeke 1948. *Hydrobiologie van Nederland*. Amsterdam, 580 pp

Reynolds CS 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 384 p.

Reynolds CS 1988. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: Sandgren CD (ed) *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p 338-433.

Sandgren 1988. *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Scheer T, Kusber WH 1997. Changes in the desmid communities of the Barssee and Pechsee natural reserves during the last seventy years with anthropic activity. *Nova Hedwigia* 65: 385-409.

Scott Wilson 2005a. Development and assessment of criteria to be used in the production of the list of species and habitats considered to be of principal importance for the purpose of conservation of biodiversity in Scotland. Scott Wilson, Edinburgh. 192 pp.

Scott Wilson 2005b. Production of the list of species and habitats considered to be of principal importance for the purpose of conservation of biodiversity in Scotland (The Scottish Biodiversity List). Part 2. Technical Report. Scott Wilson, Edinburgh. 112 pp.

Scottish Biodiversity Forum 2006. <http://www.biodiversityscotland.gov.uk>

Spijkerman E, Coesel PFM 1998. Alkaline phosphatase activity in two planktonic desmid species and the possible role of an extracellular envelope. *Freshwater Biol* 39:503-513.

Spijkerman E, Garcia-Mendoza E, Matthijs HCP, Van Hunnik E, Coesel PFM 2004. Negative effects of P-buffering and pH on photosynthetic activity of planktonic desmid species. *Photosynthetica* 42: 49-57.

Van den Berg MS (red) 2004. Achtergrondrapportage referenties en maatlatten fytoplankton. Rapportage van de expertgroep fytoplankton. Achtergronddocument fytoplankton Versie oktober 2004. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), Utrecht 41 pp.

Van den Hoek C, Mann DG, Jahns HM 2002. *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 640 pp.

Van der Voo EE, Leentvaar P 1959. Het Teeselinkven. *De Levende Natuur* 62: 128-136.

Van der Molen DT (red) 2004a. Referenties en maatlatten voor meren ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water. Versie oktober 2004. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)/ RIZA, Utrecht.

Van der Molen DT (red) 2004b. Referenties en maatlatten voor rivieren ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water. Versie oktober 2004. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)/RIZA, Utrecht.

Van der Molen DT (red) 2004c. Referenties en maatlatten voor overgangs- en kustwateren ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water. Versie oktober 2004. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)/RIZA, Utrecht.

Van Duuren L, Eggink GJ, Kalkhoven J, Notenboom J, van Strien AJ, Wortelboer R (red) *Natuurcompendium 2003*. Centraal Bureau voor de Statistiek/Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven. 494 pp.

Van Tooren BF, Van Tooren 2004. Sieralgen in De Wieden. Samenvatting excursie werkgroep van Nederlandse onderzoekers van sieralgen.

Woelkerling WJ, Gough SB 1976 Wisconsin desmids. III. Desmid community composition and distribution in relation to lake type and water chemistry. *Hydrobiologia* 51: 3-32.

Wade WE 1957. Studies on the distribution of desmids in Michigan. *Transactions of the American Microscopical Society* 76: 80-86.

Bijlagen

Tabel 1 Sieralgsoorten voorkomend in de door Beijerinck (1926) onderscheiden typen algengemeenschappen (A, B en C)

Genus	Type A	Type B	Type C	Indifferente soorten*
Closterium	C. angustatum C. attenuatum C. cynthia C. diana C. ehrenbergii C. gracile C. incurvum C. leibleinii C. lineatum C. moniliferum C. pritchardianum C. pronum	C. pseudodianum**		C. acutum
Cosmarium	C. boeckii C. botrytis C. contractum C. debaryi C. depressum C. dilatatum C. formulosum C. impressulum C. margaritatum C. meneghinii C. ocellatum C. ochthodes C. portianum C. punctulatum C. quadratum C. subcucumis C. tetrachondrum C. tetraophthalmum C. tinctum	C. angulosum C. bioculatum C. commissurale C. nymannianum C. ornatum C. orthostichum C. pseudonitidulum** C. pseudopyramidatum C. quadrifarum C. ralfsii	C. pygmaeum C. trachypleurum***	
Cylindrocystis				C. brebissonii
Desmidium	Desmidium swartzii			
Euastrum	E. ansatum E. elegans E. oblongum E. pulchellum E. verrucosum	E. ampullaceum E. bidentatum E. crassum E. dubium E. inerme E. insulare E. ventricosum		E. binale

Vervolg tabel 1

Genus	Type A	Type B	Type C	Indifferente soorten*
Gonatozygon	G. brebissonii G. kinahani G. monotaenium			
Hyalotheca	H. mucosa		H. neglecta**	H. dissiliens
Micrasterias	M. papillifera M. rotata M. sol**	M. jenneri M. oscitans***		M. truncata
Netrium		N. oblongum		N. digitus
Penium		P. exiguum P. libellula**	P. polymorphum**	
Pleurotaenium	P. ehrenbergiii	P. minutum P. trabecula		
Sphaerosozma	S. excavatum** S. granulatum**			
Spirotaenia	S. condensata		S. fusiformis**	
Staurastrum	S. apiculatum** S. avicula S. controversum S. curvatum** S. dickiei** S. furcigerum S. hexacerum S. inflexum S. monticulosum S. orbiculare S. oxyacanthum S. polytrichum S. spongiosum	S. arachne S. cerastes S. clevei S. elongatum S. gracile S. hystrix		S. margaritaceum
Tetmemorus			T. minutus**	
Xanthidium	X. cristatum	X. armatum X. brebissonii***		X. antilopaeum

* voorkomend in alle drie de typen algengemeenschappen

** niet door Coesel (1998a) genoemde soort

*** soort waar hier één specifieke variëteit van is genoemd

Tabel 2 Sieralgsoorten die als gidsvormen voor de drie algengemeenschappen kunnen dienen. Alleen de sieralgsoorten zijn opgenomen in deze tabel. Bron: Beijerinck 1926.

Genus	Type A	Type B	Type C
Closterium	C. costatum C. diana C. incurvum C. kuetzingii C. moniliferum C. pritchardianum	C. pseudodiana*	
Cosmarium	C. formulosum C. margariferum C. tetrachondrum	C. pseudopyramidatum C. quadrifarium C. ralfsii	C. pygmaeum
Euastrum	E. ansatum E. elegans E. oblongum	E. ampullaceum E. crassum	
Micrasterias	M. papillifera M. rotata	M. jenneri M. oscitans**	
Penium		P. exiguum	
Pleurotaenium	P. ehrenbergii	P. minutum	
Spirotaenia	S. condensata		
Staurastrum		S. hystrix	
Xanthidium		X. armatum	

* niet door Coesel (1998a) genoemde soort

** niet door Coesel (1998a) genoemde soort, waarvan hier specifiek één variëteit wordt genoemd: *M. oscitans v. mucronata*