



Herman van Dam, adviseur Water en Natuur / Grontmij | AquaSense

Jan Wanink, Koeman en Bijkerk bv

Froukje Grijpstra, Wetterskip Fryslân

Theo Claassen, Wetterskip Fryslân

Trendanalyse 1981-2005 van hydrobiologische gegevens uit Friesland

In Friesland vindt al een kwart eeuw onderzoek plaats naar de biologische kwaliteit van oppervlaktewater. De resultaten zijn nu voor het eerst verwerkt tot een samenhangend beeld van veranderingen in de biologische kwaliteit van de oppervlaktewateren op lange termijn. De gestage afname van de fosfaatconcentraties pakt positief uit: het meest voor fytoplankton en het minst voor vissen. De hoge bezetting met brasem is echter een ernstige belemmering voor de verdere verbetering van de waterkwaliteit. In dit artikel worden aanbevelingen gedaan voor voortzetting van de biologische monitoring in relatie tot het te verwachten gebruik van de gegevens, onder andere voor het uitvoeren van de Kaderrichtlijn Water.



De stadsgrachten van Leeuwarden bieden niet veel ruimte aan flora en fauna (foto: Wetterskip Fryslân).

Wetterskip Fryslân en zijn voorgangers verrichten al sinds 1981 onderzoek naar fytoplankton, fyto­benthos (diatomeeën), macrofyten, zoöplankton, macrofauna en vis. Dit gebeurt met wisselende frequenties, intensiteit,

omvang en diepgang en op verschillende locaties. Het waterschap wil de gegevens zo verwerken dat een beeld ontstaat van veranderingen in de tijd van de oppervlaktewateren en op grond daarvan aanbevelingen doen over voortzetting van de monitoring.

In de provincie Friesland bestaat een gradiënt van zoet naar zout van zandgronden in het zuidoosten via een laagveengebied naar het kleigebied langs de Waddenzee. Op de Waddeneilanden wordt deze gradiënt in miniatuur herhaald. De wateren zijn ingedeeld in enkele tientallen typen, met natuurlijke wateren als duinwateren, pingoruïnes, vennen en hoogveenplassen, naast kunstmatige wateren als kanalen, sloten, stadswateren, laagveenplassen, petgaten en zandgaten. Binnen de sloten en kanalen is verschil tussen typen van klei-, zand- en veengrond. Vorm en stromingspatroon van de van oorsprong natuurlijke stromende wateren in het zandgebied en het peil­beheer van de Friese boezem zijn in zeer sterke mate door de mens veranderd¹⁾.

Uit de bestanden van Wetterskip Fryslân zijn 261 locaties geselecteerd waarvan biologische monsters uit tenminste twee van de vier perioden 1981-1990, 1991-1995, 1996-2000 en 2001-2005 beschikbaar zijn. Het aantal locaties binnen de typen bedraagt gemiddeld 14, maar is ongelijk verdeeld: van twee bij de stadsvijvers tot 49 bij de boezemmeren. Ook het aantal locaties waarop de biologische kwaliteits­elementen zijn bemonsterd verschillen: van 65 bij de diatomeeën tot 165 bij de macrofyten. Binnen elk kwaliteitselement zijn er ook grote verschillen in het aantal locaties per type: zo zijn voor het fyto- en zoöplankton en de macrofyten relatief veel



Staatsbosbeheer voerde in het Gritjeplak op Terschelling maatregelen uit die voor een betere waterkwaliteit moeten zorgen (foto: Wetterskip Fryslân).

gegevens beschikbaar van boezemmeren en petgaten en voor de diatomeeën juist weinig. Diatomeeën zijn weer meer bemonsterd in de kleine, natuurlijke wateren. De systematische bemonstering van het fytoplankton is in 1981 begonnen, die van de diatomeeën pas in 1993 en die van de andere biologische kwaliteitselementen in 1989. Voor de verwerking zijn ook gegevens van de chloridconcentraties en nutriënten gebruikt, die van vrijwel alle locaties en perioden beschikbaar zijn²⁾.

De gegevens zijn door de jaren heen zoveel mogelijk op vergelijkbare wijze verzameld, maar soms bestaan verschillen in naamgeving en determinatieniveau. Organismen die soms tot op variëteit en soms tot op soort zijn gedetermineerd, zijn samengenomen onder de betreffende soort. Om homogene reeksen te verkrijgen, zijn (vooral bij fytoplankton en macrofauna) zonnodig soorten geaggregeerd tot geslacht of familie. Determinaties van zeer zeldzame soorten zijn na een kritisch oordeel van experts geaccepteerd voor verdere verwerking. Voor elk biologisch kwaliteitselement zijn indicatiegetallen gezocht waarmee de variatie in soortensamenstelling zo goed mogelijk wordt samengevat. Hierbij is aan elk taxon een indicatiewaarde voor een bepaalde milieufactor toegekend, bijvoorbeeld de mate van voedselrijkdom. Uit de soortensamenstelling van een diatomeeënmonster is een gemiddelde berekend, dat een indicatie geeft voor de voedselrijkdom³⁾. Voor de macrofyten zijn op die manier indicatiewaarden berekend voor totaalfosfaat⁴⁾. Voor de macrofauna zijn de aantallen soorten kokerjuffers en libellen als positieve

indicator en de relatieve hoeveelheid wormen en muggenlarven als negatieve indicator⁵⁾ voor de waterkwaliteit genomen. Verschillen tussen de perioden zijn statistisch getoetst indien voldoende waarnemingen beschikbaar zijn.

Om veranderingen en verschillen in de totale soortensamenstelling van en tussen de locaties vast te stellen, zijn per groep van organismen ordinaties verricht. Daarbij is de variatie in de soorten van veel monsters tegelijkertijd op een zodanige manier in een plat vlak afgebeeld, dat sterk op elkaar gelijkende monsters dicht bij elkaar komen te liggen en sterk van elkaar verschillende monsters juist ver uit elkaar⁶⁾. Vervolgens is uitgerekend hoe sterk de verandering van de soortensamenstelling in de loop der tijd correleert met veranderingen van de concentraties van chloride, totaal-fosfaat en totaal-stikstof.

Chemie

Chloride is een belangrijke indicator voor het totale zoutgehalte, dat een hoofdfactor is voor de verspreiding van waterorganismen en in Friesland deels ook gerelateerd aan

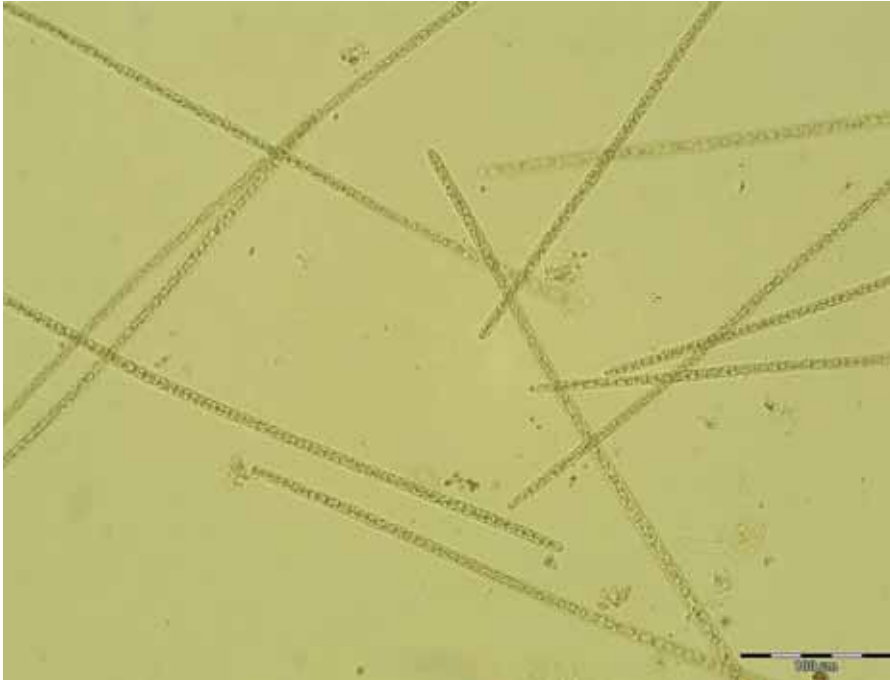
de herkomst van het water. De nutriënten totaal-stikstof en totaal-fosfaat bepalen de groei van algen en waterplanten. Vennen en zandgaten zijn het armst aan chloride en nutriënten en kleislotten en -kanalen het rijkst. In de laatste twee typen is waarschijnlijk stikstof beperkend; in de overige wateren is dit fosfaat (N/P > 16). Over de hele linie nemen de nutriëntenconcentraties sterk af. Het zomergemiddelde van totaal-fosfaat gaat van 0,35 mg/l in de periode 1981-1990 naar 0,11 mg/l in de periode 2001-2005 en ligt daarmee beneden de MTR van 0,15 mg/l. Over dezelfde periode neemt totaal-stikstof af van 3,7 naar 2,0 mg/l (MTR = 2,2 mg/l) en chloride (jaargemiddelde) van 93 naar 78 mg/l (zie tabel 1). De afname van de nutriënten kan goeddeels worden toegeschreven aan maatregelen ter bestrijding van eutrofiëring en die van chloride aan de toegenomen hoeveelheid neerslag⁷⁾.

Fytoplankton

De relatie tussen de hoeveelheid fytoplankton (uitgedrukt in de hoeveelheid chlorofyl) en voedingsstoffen is heel direct. In het IJsselmeer en de daaruit gevoede boezemmeren is de zomergemiddelde

Tabel 1. Veranderingen van de gemeten en uit de macrofyten berekende⁴⁾ nutriëntconcentraties.

parameter	1981-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005
aantal jaren x locaties (chemie)	458	553	597	456
aantal opnamen (macrofyten)	41	155	160	112
totaal-fosfaat gemeten (mg/l P)	0,35	0,25	0,19	0,11
totaal-fosfaat berekend uit macrofyten	0,29	0,20	0,16	0,16
totaal-stikstof gemeten (mg/l N)	3,7	3,6	2,8	2,0



De hoeveelheden van het blauwwier *Planktothrix agardhii* namen door de vermindering van de eutrofiëring sterk af (foto: Koeman en Bijkerk).



De larven van de kokerjuffer *Paroecetis struckii* komen maar weinig voor, vooral in sloten en petgaten met een zeer goede kwaliteit (foto: Grontmij | AquaSense).

concentratie van chlorofyl over de onderzoeksperiode van circa 0,12 gehalveerd tot circa 0,06 mg/l (MTR = 0,1 mg/l). In de polder-

plassen is de afname nog sterker (van 0,19 naar 0,09 mg/l). De afname van de eutrofiëring heeft hier een duidelijk effect.

De meest algemene soort, gemiddeld over de gehele onderzoeksperiode en alle onderzochte watertypen is de bloeivormende blauwalg *Planktothrix agardhii*: een negatieve indicator voor de waterkwaliteit. Ook als soortgroep maakten de blauwalgen een belangrijk deel uit in de grote meren, maar in de jaren 90 is hun aandeel sterk afgenomen. De soortensamenstelling van de fytoplanktongemeenschap (in totaal 567 soorten) in het geheel is sinds 1990 sterk veranderd en vertoont significante correlaties met de chloride- en nutriëntenconcentraties. De vervroeging van de bloeiperiode van het fytoplankton hangt samen met klimaatverandering⁸⁾.

Diatomeeën

Karakteristieke Friese oppervlaktewateren als boezemmeren, laagveen- en polderplassen en petgaten zijn weinig bemonsterd. Op de bemonsterde stengels (voornamelijk riet) zijn 364 soorten gevonden. De relaties van de soorten met de voedselrijkdom en het zoutgehalte van het water (van belang in het noorden van Friesland) zijn goed bekend³⁾. Doordat pas in 1993 met het diatomeeënonderzoek is begonnen, zijn de grote veranderingen in de jaren 80 gemist, maar er is wel informatie van herbariummateriaal. Daaruit blijkt dat de soortensamenstelling van de boezemwateren sinds 1904 sterk is veranderd: indicatoren voor voedselarmoede en zeldzame soorten zijn verdwenen of sterk achteruit gegaan. In de laatste 15 jaar is er een tendens tot verbetering: de afname van nutriëntenconcentraties heeft geleid tot lichte verschuivingen in de soortensamenstelling en afname van indicatietallen voor voedselrijkdom. Dat is vooral waar te nemen in duinwateren, pingoruïnes, vennen, hoogveenplassen, stromende wateren, stadgrachten en kanalen en in mindere mate in sloten en laagveenplassen.

Macrofyten

Er is vooral gekeken naar ondergedoken en drijvende waterplanten, waarvan 62 soorten zijn aangetroffen. Elk type heeft zijn eigen combinatie van soorten. De meest voorkomende soort is smalle waterpest, die echter niet veel in de boezemmeren voorkomt.

Ondanks de daling van de fosfaatconcentraties en de toename van het doorzicht is geen toename van de hoeveelheid ondergedoken waterplanten in de loop der tijd vastgesteld. In de laagveensloten is de kroosbedekking (een negatieve indicator voor de waterkwaliteit) aanmerkelijk afgenomen. Waterplanten zijn goede indicatoren voor de fosfaatconcentratie van het water: ze indiceren een afname van de concentraties van totaal-fosfaat van 0,29 mg/l rond 1980 tot 0,16 mg/l P rond 2005 voor alle watertypen samen. Dat komt goed overeen met de rechtstreeks gemeten veranderingen (tabel 1). Fosfaat is voor de meeste watertypen een sturende factor voor de soortensamenstelling van de echte waterplanten. In de boezemmeren is de soortensamenstelling in de loop der jaren echter nauwelijks veranderd. Wel bestaat een duidelijke gradiënt van zuidwest naar noordoost, samenhangend met verschillen



Waterlilies komen vooral veel voor in petgaten, laagveenplassen en veensloten (foto: Wetterskip Fryslân).

in concentraties van chloride en fosfaat. In andere wateren, zoals kanalen, kleislotten, petgaten, zandgaten en vennen, komen in de loop der jaren grotere veranderingen voor in de soortensamenstelling.

Zoöplankton

Er zijn 47 soorten gevonden. De belangrijkste groepen (roeipootkreeftjes en watervlooien) voeden zich met fytoplankton. *Bosmina longirostris*, een vrij kleine watervlo, komt vrijwel overal in de hoogste dichtheden voor. Meestal is het aandeel van watervlooien ongeveer 70 tot 80 procent. Alleen in de kleine niet-lijnvormige wateren en de zandgaten lijken watervlooien in de loop van de tijd achteruit te gaan ten opzichte van roeipootkreeftjes; een afname die in de meeste watertypen wordt verwacht op grond van de verminderde bemesting en daardoor minder fytoplankton. De diversiteit van de watervlooien neemt tot in het begin van de jaren negentig toe, maar daalt daarna, mogelijk door de verminderde bemestingsdruk in de lange tijdserie van de petgaten en, wat minder duidelijk, ook in sloten, kanalen, laagveenplassen en zandgaten. Zoöplankton wordt vooral gegeten door jonge vissen en vormt zo een belangrijke

schakel in de voedselketen. Watervlooien zijn de 'grote grazers' van fytoplankton. Grotere exemplaren van *Daphnia* zijn van belang voor de begrazingsdruk op fytoplankton. Deze watervlooien lijken de laatste jaren in boezemwateren en petgaten toe te nemen: een gunstig teken voor de waterkwaliteit.

Macrofauna

Er werden 646 'soorten' aangetroffen, waarvan waterpissebedden (70 procent van de monsters), vedermuggen (*Procladius*, 70 procent) en slakken (grote diepslak, 68 procent) het talrijkst zijn. Veel soorten komen bijna overal voor, maar hebben toch een voorkeur voor bepaalde typen, zoals de vlokreeften, die vooral in de grotere meren voorkomen.

Er is een significant negatieve relatie tussen de nutriëntenconcentraties en het aantal soorten libellenlarven en kokerjuffers (die vooral aan de oever leven), maar de relatie tussen dit aantal soorten en het chloridegehalte is nog sterker. Op 16 locaties uit verschillende watertypen is dit aantal tussen 1989-1990 en 2001-2005 zeer significant toegenomen van gemiddeld 2,7 tot 4,9. Het procentuele aandeel van wormen en muggenlarven (leven vooral op de

waterbodem) is significant positief gecorreleerd met de nutriëntenconcentraties. Op de 16 genoemde locaties nam hun aandeel tussen 1989-1990 en 2001-2005 zeer significant af van 53 tot 30 procent. In de meeste watertypen zijn er zeer significante correlaties tussen enerzijds de soortensamenstelling en anderzijds vooral het jaar van bemonstering, maar ook de concentraties van chloride, fosfaat en stikstof. In de meeste gevallen is het aantal soorten van milieukritische watermijten, libellen en kokerjuffers in de minst door nutriënten beïnvloede wateren het grootst, terwijl het aandeel van vuilwatertolerante soorten, vooral wormen en muggenlarven, daar kleiner is.

Vissen

Vissen zijn belangrijk in de voedselketen van de meeste wateren: van fyto- en zoöplanktoneters via onder andere slakken-, wormen- en insectenetters tot viseters als baars en snoek. Op hun beurt zijn de vissen weer een belangrijke voedselbron voor vogels (aalscholver) en zoogdieren (otter, mens). In vijf boezemmeren, die in 1998, 2002 en 2006 zijn bemonsterd, zijn in totaal 22 soorten aangetroffen. Overal komt een brasem-snoekbaarsgemeenschap voor,

die binnen het type van de (matig) grote, gebufferde plassen kenmerkend is voor de slechtste ecologische toestand. Tussen de jaren komen nauwelijks veranderingen voor van de score's op de deelmaatlat vis uit de KRW⁹⁾. Een relatie met de afname van het chloridegehalte in de boezemmeren is niet opgemerkt.

Brasem is een bodemwoeler die bij een hoge dichtheid het water sterk kan vertroebelen en daardoor de vestiging en groei van waterplanten kan voorkomen. Met een relatieve hoeveelheid van 60 tot 80 procent vormt brasem, die weinig gevoelig is voor milieuveranderingen, een belangrijke hindernis bij het bereiken van een betere ecologische toestand van de boezemmeren.

Relaties tussen kwaliteitselementen

Voor alle watertypen samen zijn er significante relaties tussen de chlorideconcentraties en de biologische indicatoren, zoals de hoeveelheid *Planktothrix agardhii*, chlorofyl-a, de indicaties voor voedselrijkdom en fosfaat van de diatomeeën en de macrofyten, het aantal soorten muggenlarven en kokerjuffers en het percentage wormen en muggenlarven.

De correlaties tussen de voedingstoffen en de biologische indicatoren zijn nog beter. De indicaties voor voedselrijkdom van de diatomeeën en de fosfaatindicatie van de macrofyten zijn sterk positief gecorreleerd. Uitgesplitst naar de verschillende watertypen liggen de relaties vaak net weer iets anders, maar ook hier is totaal-fosfaat de variabele die meestal sterk met de biologische indicatoren is gecorreleerd.

Hoge onderlinge correlaties tussen indicatoren die aan voedselrijkdom zijn gebonden, komen in verschillende combinaties steeds weer terug, zoals het fosfaatindicatiegetal voor de macrofyten, het trofie-indicatiegetal voor de diatomeeën en de chlorofylconcentratie (zie tabel 2).

Totaalbeeld

De belangrijkste verandering in de Friese binnenwateren gedurende de laatste kwart eeuw is de sterke reductie van de nutriëntenconcentraties, waardoor de hoeveelheid fytoplankton sterk afnam en de soortensamenstelling daarvan veranderde: minder blauwalg. Dit heeft niet geleid tot een navenante toename van het doorzicht. Daardoor is geen sterke toename te zien van de waterplanten in de grotere wateren, hoewel wel een duidelijke samenhang tussen soortensamenstelling van de waterplanten

en fosfaat is gevonden. De voortdurende opwoeling van bodemmateriaal door brasem speelt hierbij waarschijnlijk een grote rol. In sloten neemt het kroos af. Bij de diatomeeën zijn de relaties met fosfaat minder sterk dan bij het fytoplankton, waarschijnlijk door leemten in de gegevens en het grote belang van zuurgraad en zoutgehalte voor de kiezelalgen.

Aanbevelingen

Bij de opzet van een biologisch meetnet moet niet alleen rekening worden gehouden met de vragen die nu worden gesteld, bijvoorbeeld met betrekking tot de KRW, maar ook met mogelijke vragen in de toekomst, waarvan de aard nu niet bekend is. Daarom wordt voorgesteld om het biologisch meetnet van Wetterskip Fryslân in grote trekken voort te zetten zoals het nu is, waarbij verschillende biologische kwaliteitselementen in verschillende watertypen periodiek worden geïnventariseerd.

De totale inspanning voor de hiervoor noodzakelijke metingen zal ongeveer gelijk blijven. Aanbevolen wordt om de verdeling van de biologische kwaliteitselementen over de locaties en de watertypen zodanig aan te passen dat een meer efficiënt bemonsteringsschema met een grotere regelmaat ontstaat. Daardoor wordt de statistische analyse van de resultaten eenvoudiger en neemt de bruikbaarheid van gegevens voor beleidsevaluatie sterk toe. Door het aantal locaties in de boezemmeren en petgaten te verminderen, ontstaat meer ruimte voor locaties in stadswateren. Een consistent, langlopend routinematig waterkwaliteitsonderzoek is uitermate belangrijk voor een goed onderbouwd waterkwaliteitsbeheer.

De meetcyclus voor de toestand- en trendmonitoring van de KRW bedraagt zes jaar en die voor de operationele monitoring drie jaar. Voorgesteld wordt om voor de Friese wateren een cyclus van drie jaar aan te houden; ook al omdat het bij een cyclus van zes jaar decennia duurt voordat betrouwbare conclusies over veranderingen kunnen worden getrokken. Per watertype dienen enkele locaties jaarlijks te worden bemonsterd om de vinger aan de pols te houden, om fluctuaties op korte termijn en om (achteraf) sprongsgewijze veranderingen te kunnen traceren. De rapportages kunnen hierop aansluiten met driejaarlijkse voortgangsrapportages en om de zes jaar een uitgebreidere KRW-rapportage.

LITERATUUR

- 1) Dam H. van en J. Wanink (2007). Trendanalyse hydrobiologische gegevens Friesland. Grontmij-rapport 210455. Koeman en Bijkerk-rapport 2007-015. Adviseur Water en Natuur-rapport 605. (<http://library.wur.nl/ebooks/1836493.pdf>).
- 2) Van den Boomen R. (2006). Themaonderzoek eutrofiëring. Witteveen+Bos.
- 3) Dam H. van, A. Mertens en J. Sinkeldam (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. Neth. J. Aquat. Ecol. nr. 28, pag. 117-131.
- 4) Lyon M. de en J. Roelofs (1986). Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- 5) Lange H. de, J. de Jonge en E. Peeters (2005). Draagkracht in het rivierengebied voor vogels en vissen: productie van macrofauna in relatie tot sedimentverontreiniging en voedsel. RIZA-rapport 2005.002. AKWA-rapport 05.004.
- 6) Braak C. ter en P. Smilauer (2002). Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Biometris / Ceskë Budejovice.
- 7) Verbeek K. (red.) (2003). De toestand van het klimaat in Nederland 2003. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- 8) Wanink J., H. van Dam, F. Grijpstra en T. Claassen (2008). Invloed van maatregelen tegen eutrofiëring en klimaatsverandering op fytoplankton van de Friese meren. In voorbereiding voor publicatie in H₂O.
- 9) Molen D. van en R. Pot (red.) (2006). Referenties en concept-maatlatten voor meren ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water (www.stowa.nl).

Tabel 2. Correlaties van enkele kwaliteitsfactoren met totaal-fosfaat.

Significanties: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

indicator	kanalen	kleine meren	boezemmeren
percentage <i>Planktothrix agardhii</i>	0,19*	0,08	0,54***
chlorofyl-a	0,53**	0,511***	0,62***
trofie-indicatie diatomeeën	0,74**	0,58***	
fosfaatindicatie macrofyten	0,59**	0,56***	0,29
aantal soorten libellenlarven en kokerjuffers	-0,37**	-0,3**	
percentage wormen en muggenlarven	0,08	0,22	