

Snel inzicht in de ecologische waterkwaliteit met diatomeeën

Jako van der Wal (AQUON), Joep de Koning (Hoogheemraadschap van Delfland) en Herman van Dam (adviseur Water en Natuur)

Diatomeeën zijn een diverse groep micro-organismen die in aangroei van water- en oeverplanten in alle watertypen voorkomen. Ze bieden snel inzicht in de ecologische waterkwaliteit, vanwege hun gevoeligheid voor veranderingen in het milieu. Diatomeeën kunnen als indicator dienen voor factoren als zoutgehalte, zuurgraad, organische belasting en toxische stoffen. Recente ontwikkelingen in DNA-technologie maken snellere en goedkopere identificatie mogelijk, waardoor diatomeeën een waardevol instrument blijven voor waterkwaliteitsbeheerders en -gebruikers. Hun toepassing biedt inzicht in zowel actuele als historische watercondities en helpt bij effectief reageren op milieuveranderingen.

Waterbeheerders willen de ecologische toestand van hun water weten. Hiervoor bestaat een breed palet aan monitoringstechnieken en -methodes met soortgroepen als waterplanten, vissen, macrofauna en diatomeeën (kiezelwieren). Benthische (op de bodem, op oevers en water- en oeverplanten levende) diatomeeën zijn sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw bekend als indicatoren voor saprobie, trofie, zuur- en zoutkarakter in onder meer sloten en kanalen. Ze zijn als indicatoren opgenomen in de STOWA-beoordelingssystemen [1]. Deze systemen zijn in onbruik geraakt na de publicatie van de KRW-maatlatten, waarin voor het kwaliteitselement 'macrofyten en overige waterflora' in de meeste watertypen alleen invulling wordt gegeven met de macrofyten [2]. Dit artikel beoogt meer zicht te bieden op de potenties van diatomeeën voor de waterkwaliteitsbeoordeling, op grond van recent verzamelde kennis en methoden. Zo is het aantal soorten met ecologische indicatiewaarden in de EBEO 2.0-database Ecologische Beoordeling [3] ten opzichte van 1994 ruim verdubbeld en zijn er nu methoden voor determinatie aan de hand van DNA-profielen in ontwikkeling.

Diatomeeën

Diatomeeën vormen een van de grootste groepen organismen op aarde. Ze zijn verantwoordelijk voor 40 tot 45 procent van de primaire productie van plantenmateriaal in de oceanen. Dat is meer dan alle regenwouden van de wereld bij elkaar [4]. Daarnaast staan ze aan het begin van de voedselketen. Voor veel dierlijk plankton (zoöplankton), insecten en (jonge) vissen vormen diatomeeën een belangrijke voedselbron.

Diatomeeën komen in alle soorten water voor (o.a. oceanen, estuaria, rivieren, meren, petgaten, vennen, moerassen) maar ook op kliffen en in vochtig mos en zelfs op de veren van watervogels, schilden van schildpadden en huid van zeezoogdieren. In totaal zijn er tienduizenden soorten, die enkele micrometers tot een millimeter groot zijn (afbeelding 1, links). Ze zijn te herkennen aan hun vorm, grootte en de ornamentatie van hun verkiezde celwand.

Diatomeeën leven vrij zwevend (als fytoplankton) of aangehecht aan water- en oeverplanten (afbeelding 1, rechts), vaste substraten, of op de waterbodem (fytobenthos). Voor elk type water en waterkwaliteit zijn er diatomeeën die daar hun leefomgeving hebben. In Nederland zijn een paar duizend verschillende kiezelwiersoorten te vinden, met allemaal hun eigen voorkeursmilieu [3].



Afbeelding 1. Links: lichtmicroscopische foto van levende diatomeeëncellen in brak water (foto Oliver Skibbe, Research Group Diatoms, BO Berlin). Rechts: Onderwaterfoto van diatomeeën op rietstengels (foto W. Kolvoort)

Benthische diatomeeën zijn belangrijke indicatororganismen. Anders dan fytoplankton, vissen en macrofauna zitten ze aangehecht op een oppervlak en kunnen ze zich niet tot nauwelijks verplaatsen; daarmee kunnen effecten op de waterkwaliteit lokaal worden aangetoond. Van veel soorten is bekend bij welke milieucondities ze voorkomen en vanwege hun hoge reproductiesnelheid (dagen) reageren ze snel (vaak binnen enkele weken) op veranderingen in hun milieu [5]. Dat is veel sneller dan veel andere ecologische indicatoren. Voor waterkwaliteitsbeheerders is dit een fijne eigenschap om te nemen maatregelen te onderbouwen of het effect van genomen maatregelen aan te tonen.

Na de aanwezigheid van water is de belangrijkste milieufactor het zoutgehalte (saliniteit), gevolgd door de alkaliniteit (zuurbufferend vermogen) en de zuurgraad (pH). Daarnaast reageert de soortensamenstelling van kiezelwieren onder andere op de aanwezigheid van biologisch afbreekbaar materiaal (saprobie), zuurstofgehalte, nutriëntenconcentraties, stroomsnelheid en de aanwezigheid van toxische stoffen.

Aan de andere kant bieden kiezelwieren inzicht in de historische toestand van wateren, omdat de kiezelwandjes fossiliseren en in sediment worden bewaard. Zo kan de geschiedenis van de verzuring in vennen en de eutrofiëring van wielen worden gereconstrueerd [6], [7]. De aangehechte kiezelwieren van herbariummateriaal van waterplanten bieden inzicht in de vroegere nutriëntenstatus van laagveenplassen [8]. Vergelijking van 100 jaar oude, geconserveerde monsters met recente monsters uit vennen documenteert invloeden van verzuring, vermessing en verdroging [9].

In 21 van de 27 EU-landen (waaronder Nederland) zijn diatomeeën onderdeel van een Kaderrichtlijn Water (KRW)-kwaliteitsindex voor stromende wateren. In negen EU-landen worden ze voor stilstaande wateren toegepast [10]. Vaak is de gebruikte maatlat gebaseerd op de Indice de Polluosensitivité Spécifique (IPS), die ook onderdeel is van de Nederlandse KRW-maatlat [2].

Determinatie

Van oudsher worden diatomeeën gedetermineerd met optische microscopen, aan de hand van morfologische kenmerken, zoals grootte, vorm en ornamentaties van de verkieselde celwand. Deze determinatie met handboeken [11] vereist veel specialistische kennis en is tamelijk tijdrovend en daarmee kostbaar. Daar staat tegenover dat er veel informatie verkregen wordt, waarop dit artikel verderop nader ingaat.

De ontwikkeling van op DNA gebaseerde identificatiemethoden kan het gebruik van diatomeeën als indicatoren voor waterkwaliteit een stimulans geven. Door lagere kosten per DNA-analyse kunnen

meer monsters in ruimte en tijd worden genomen en kan de ecologische kennis over diatomeeën gemakkelijker en breder worden ingezet. DNA-technieken om diatomeeën te analyseren lenen zich uitstekend om ecologische effectbepaling toe te passen op de vele grote en kleinere wateren die ons land rijk is. Zo ontstaan er meer mogelijkheden voor diagnose en beoordeling voor waterbeheerders en watergebruikers.

In Nederland is in het project Hydrochip al ruim tien jaar geleden een begin gemaakt met het herkennen van diatomeeën met DNA-technologie [12]. In Europees kader is de technologie voor diatomeeën en andere waterorganismen ('metabarcoding') als onderdeel van het DNAqua-Net-consortium verder ontwikkeld en uitgekristalliseerd in een handboek [13]. De resultaten van de DNA- en microscopische determinaties en de daaruit berekende indices correleren goed met elkaar [14], [15].

Met de op DNA gebaseerde identificatiemethoden is op den duur veel tijdswinst te behalen en ze geven daardoor vaak snel inzicht in de waterkwaliteit en de veranderingen hierin. Uitgebreidere analyse van het ecologische systeem, vergt vaak microscopisch onderzoek waarbij ook naar populatieopbouw en gezondheid wordt gekeken. Dit inzicht kan een DNA-analyse niet geven.

Toepassing

Benthische diatomeeën hebben diverse eigenschappen waardoor ze vaak geschikter als indicatoren zijn voor de ecologische waterkwaliteit dan bij bijvoorbeeld planten, fytoplankton of macrofauna. In waterlichamen die niet het hele jaar water voeren zijn diatomeeën bij uitstek geschikt om de waterkwaliteit lokaal vast te stellen. Ook op andere locaties waar andere indicatorgroepen zich niet optimaal kunnen ontwikkelen zijn diatomeeën een stabiele groep. Denk hierbij aan wateren met scheepvaart, golfslag of waar regelmatig wordt geschoond/gebaggerd. Hierdoor kan de plantengemeenschap zich niet of slecht ontwikkelen, wat ook weer een negatief effect heeft op bijvoorbeeld macrofauna omdat de habitat is aangetast. De afwezigheid van die soortgroepen zegt dan vrij weinig over de waterkwaliteit op zichzelf. Daarnaast reageren diatomeeën veel sneller dan waterplanten, macrofauna en vis op veranderingen in de waterkwaliteit. Er zal sneller een gemeenschap ontstaan die is aangepast aan de veranderde omstandigheden.

Tabel 1 geeft een samenvatting van de doelstellingen, methoden en resultaten van de belangrijkste rapportages uit de laatste decennia waarbij diatomeeën zijn gebruikt als indicatoren voor de waterkwaliteit. Meestal is de soortensamenstelling van monsters van natuurlijke substraten geanalyseerd met microscopisch onderzoek. De ecologische kwaliteitsratio (EKR) differentieert in het algemeen niet voldoende, maar met de ecologische indicatiewaarden [16] worden betere resultaten gemeld. De belangrijkste verschillen worden vooral geregistreerd voor zoutgehalte, saprobie (verontreiniging door biologisch afbreekbaar materiaal), aan nutriënten gerelateerde variabelen en in sommige gevallen ook verdroging.

Indicatiewaarden

Vochtgehalte

De aanwezigheid van water is de belangrijkste factor voor het voorkomen van diatomeeën. Hoewel ze vooral in oppervlaktewateren voorkomen, hebben veel diatomeeën zich aangepast aan milieus met heel weinig water of (sterk) wisselende omstandigheden. Daarmee zijn wisselende waterstanden en (tijdelijk) droogvallen aan te tonen.

Tabel 1. Samenvatting van sinds 1978 verschenen studies over diatomeeën als indicatoren voor de waterkwaliteit in Nederlandse oppervlaktewateren. N = aantal studies, STOWA = STOWA-beoordelingssystemen [1], EKR = Ecologische Kwaliteits Ratio [2], VDI = Van Dam Index [16]

Doelstellingen	N	Methoden	Resultaten	Gebieden	Watertypen
Routinemeetnetten	13	STOWA, EKR, diversiteit, bijzondere soorten, VDI, ecol. groepen	matige kwaliteit wordt veelal niet gehaald, EKR differentieert niet voldoende, ecologische karakterisering monsterpunten	Rijkswateren, Noorderzijlvest, Delfland, Holl. Delta, Brab. Delta, Dommel	varia
Typologie, achterhalen relevante milieuvariabelen	7	multivariate analyse, VDI, diversiteit, zeldzaamheid, groeivormen, ecologische gilden	zout, herkomst water, pH, alkaliniteit, nutriënten, zuurstof, (ijzerrijke) kwel, seizoen, morfologie, bodemsoort, isolatie, afvoer, habitatdiversiteit, graasdruk macrofauna	Overijssel, Zuiderzeeland, Amsterdam, Noorderkwartier, Zuid-Holland, Limburg	varia, incl. stadswateren en bronnen
Effecten effluenten / overstorten	3	VDI, EKR, multivariate analyse, diversiteit, zeldzaamheid	duidelijke effecten op trofie en saprobie	Nederland, Tholen, Aa en Maas	varia
Effecten onderwaterdrainage en flexibel peilbeheer	1	diversiteit, ecol. groepen, autecologie, misvormingen	kwaliteit ontoereikend-laag, verbetert misschien iets	Stichtse Rijnlanden	sloten
Effecten bufferstroken	1	kunstmatige substraten, translocatie, VDI, multivariate analyse, zeldzaamheid	kunstm.substr. bruikbaar, nutriëntgehalten herkenbaar in soortensamenstelling	Twente, kunstbeek, aquaria	beken
Effecten zware metalen	1	kunstm. substr., fotosyntheseremming, soortensamenstelling	duidelijke invloed metalen, soorten kunnen zich aanpassen	Dommelstroomgebied	beken
Trendanalyses	5	STOWA, VDI, multivariate analyse, diversiteit, zeldzaamheid, EKR, ecologische groepen	Cl, nutriënten, saprobie, lichte afname of geen trend of sterke verbetering, herstelmaatregelen effectief	Friesland, Rijnland, Delfland, Dommel, Limburg	varia
Vergelijken vooroorlogse en huidige toestand	3	VDI, pH-optima, multivariate analyse, diversiteit, zeldzaamheid	achteruitgang kwaliteit tot ca 1980, daarna vaak verbetering, maatregelen tegen verzuring, eutrofiëring en verdroging effectief	Drenthe, Veluwe, Nieuwkoop	beken, vennen, laagveenplassen
Eutrofiëringsgeschiedenis	1	boorkernen, transferfuncties	fosfaatconcentraties hoog, afhankelijk van rivier- en landgebruik	Rivierengebied, Utrecht	wielen, zandwinplassen
Geschiedenis verzuring sinds 1800	2	boorkernen, transferfuncties	tijdlijnen pH	Drenthe, Veluwe, N.-Brabant	vennen
Referentiemeetnet 1978-2022	3	VDI, multivariate analyse, diversiteit, zeldzaamheid	invloed verzuring, eutrofiëring, klimaatverandering, herstel	Drenthe, Veluwe, N.-Brabant	vennen
Herstelplan	1	Ecologische groepen, zeldzaamheid	verzuring, droogte, saprobie	Utrechtse Heuvelrug	sprengen
Evaluatie herstel	2	autecologie, zeldzaamheid, diversiteit, VDI	sterke verbetering waterkwaliteit	Naardermeer, Park van Luna	voedselrijke meren

Een lijst van geraadpleegde bronnen voor tabel 1 is als [bijlage](#) toegevoegd.

Saliniteit (halobie, zoutgehalte)

Het zoutgehalte en vooral de daarmee gepaard gaande osmotische druk is de tweede belangrijke milieufactor voor het voorkomen van diatomeesoorten. In tegenstelling tot andere groepen organismen komen er in brak water juist veel verschillende soorten diatomeeën voor. Het zijn goede indicatoren voor verzilting.

Zuurgraad

Na het zoutgehalte zijn de zuurgraad (pH) en de daaraan vaak gekoppelde alkaliniteit (zuurbufferend vermogen) de belangrijkste milieufactoren voor de kiezelwieren. Sommige diatomeeën komen tot bloei in extreem zure milieus, anderen verdwijnen juist, van veel soorten zijn de ranges waarbinnen ze voorkomen bekend. Hierbij is er een verschil in soortensamenstelling tussen van nature zure en

antropogeen verzuurde wateren. Indicatiewaarden voor in Nederland voorkomende soorten, die veel zijn gebruikt in studies van verzuring van vennen, zijn vermeld in [16].

Zuurstofverzadiging

De zuurstofverzadiging wordt vaak gelijkgesteld aan saprobie (belasting met biologisch afbreekbaar materiaal) en biologisch zuurstofverbruik (hoeveelheid zuurstof die in een bepaalde tijdseenheid wordt omgezet door het afbreken van organische deeltjes). Als er genoeg zuurstof in het water wordt opgelost, hoeft de organische belasting geen probleem te zijn. Van veel diatomeeën is bekend of ze continu een hoge tot lage zuurstofverzadiging vereisen. Samen met de parameter voor organische belasting ontstaat daarmee een beeld van de waterkwaliteit.

Organische belasting (saprobie)

De saprobie (belasting met biologisch afbreekbaar materiaal) is van oudsher de meest onderzochte milieuconditie waarvan diatomeeën veranderingen snel kunnen aantonen. Naast de index van Van Dam [16] is ook de Indice de Polluosensitivité Spécifique [17] van belang. Om tot de KRW-maatlat voor de Nederlandse stromende wateren te komen is een afgeleide van deze IPS gebruikt [2].

Voedselrijkdom (trofie)

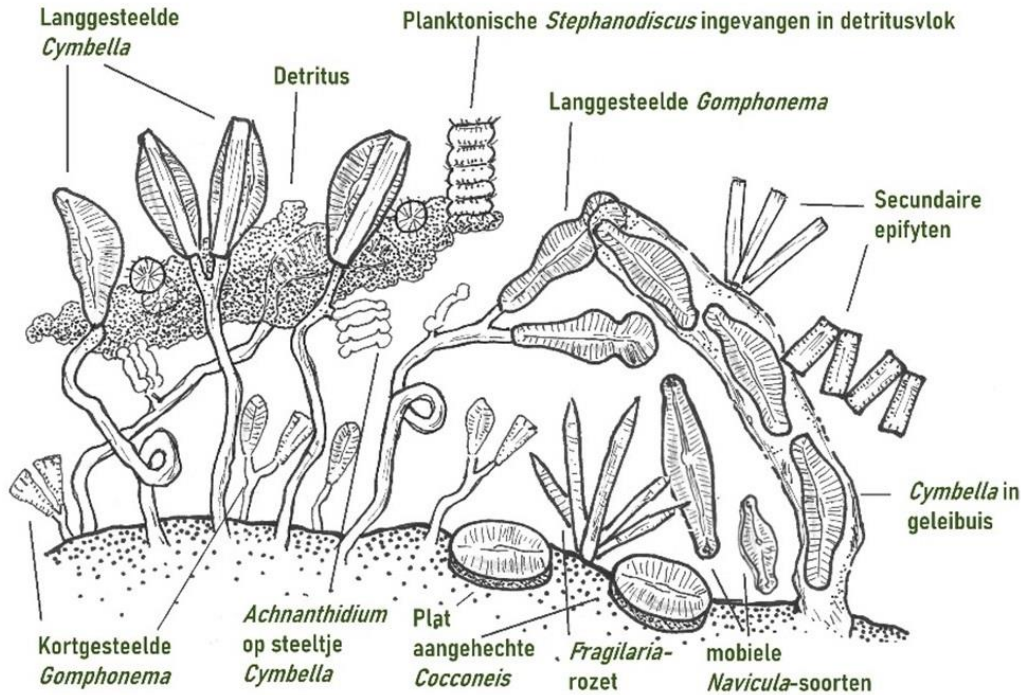
Veel wateren zijn verrijkt met nutriënten (vermesting), waardoor planten met een voorkeur voor hoge voedselrijkdom domineren of juist afwezig zijn door algenbloei. Met diatomeeën op de stengels van planten en beschoeiingen kunnen veranderingen in voedselbeschikbaarheid dan nog goed worden aangetoond.

Temperatuur

In het vroege voorjaar is er in sloten en kanalen een sterke ontwikkeling van het soortenaantal en de biomassa. Later in het jaar nemen biomassa en soortenaantal weer af. Op een geologische tijdschaal is reconstructie van (pre)historische temperaturen mogelijk door gebruik te maken van bekende temperatuuroptima van voorkomende soorten [18]. Door lozingen van koelwater en klimaatverandering is er een gestage opmars van (sub)tropische soorten in Nederland en de rest van Europa [19].

Groeivormen

Naast de verschillende soortensamenstellingen en de daaraan gerelateerde ecologische indices, zeggen groeivormen en vervormingen van diatomeeën ook veel. Groeivormen van diatomeeën kunnen worden omschreven als aangehecht, kort gesteeld, lang gesteeld, mobiel en levend in slijmtubes (afbeelding 3). Elke groeivorm heeft zijn voordelen. Zo zijn kort aangehechte diatomeeën moeilijker te begrazen en komen lang gesteelde diatomeeën met meer water in contact, waar ze vervolgens stoffen uit kunnen opnemen. Daarnaast kunnen die meer licht opvangen als er daarvoor veel concurrentie is. Mobiele diatomeeën kunnen zich aan veranderende omstandigheden aanpassen door bijvoorbeeld te migreren van oppervlakte naar ondergrond en andersom. Diatomeeën in slijmtubes zijn moeilijker te prederen en reageren langzamer op veranderingen in het milieu.

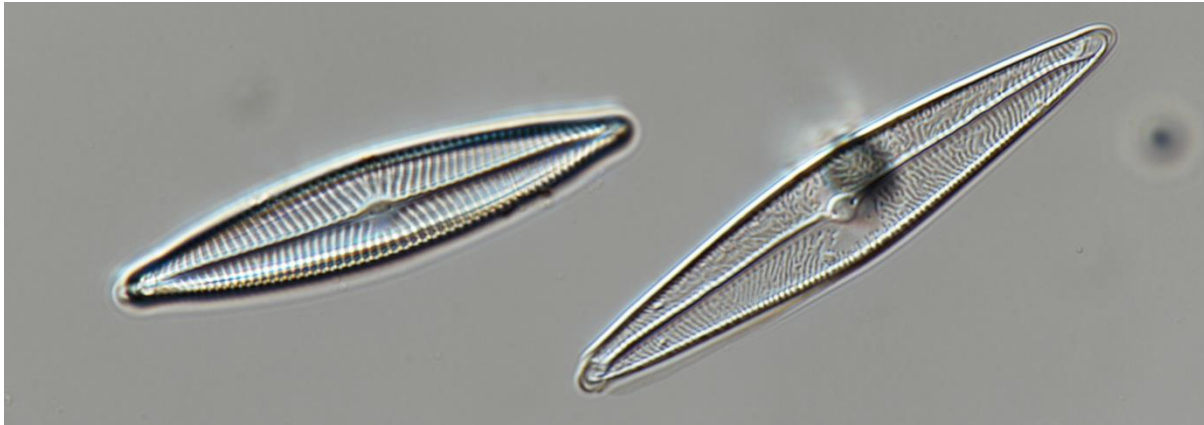


Afbeelding 2. De architectuur van het diatomeeënaangroei (aangepast naar [26])

Hoewel er in de internationale literatuur veel aandacht is voor de bruikbaarheid van groeivormen voor waterkwaliteitsdiagnoses [20], [21], heeft dit nog niet geresulteerd in een algemeen toepasbaar systeem. In Noord-Hollandse sloten en kanalen zijn de mobiele en kort aangehechte soorten het meest algemeen, als reactie op het veranderlijke en zeer voedselrijke milieu [22]. Door de aanwezigheid van verschillende pesticiden nemen vooral de lang gesteelde diatomeeën sterk af [23].

Misvormingen

Bij de aanwezigheid van toxische stoffen worden vaak misvormingen waargenomen (Afbeelding 4), vooral door presentie van zware metalen. In de laatste decennia is ook geconstateerd dat pesticiden, naast andere stressfactoren, de oorzaak van misvormingen kunnen zijn [24]. Recent zijn er ook aanwijzingen dat sommige vervormingen worden veroorzaakt door hoge stikstofconcentraties. De gevoeligheden zijn soortspecifiek. Door vervormingen te registreren en dit te koppelen aan de gevoeligheid van soorten kan er een uitspraak worden gedaan over de mate van verstoring.



Afbeelding 3. Twee schaaltes van *Navicula radiosa*. De rechter toont misvormingen aan het streepjespatroon (Foto: J. van der Wal, AQUON)

Perspectieven

Diatomeeën zijn een belangrijke bouwsteen van het watersysteem. Zoals hierboven aangegeven zijn het indicatoren voor verschillende milieuvariabelen, maar ze produceren ook zuurstof en ze staan aan de basis van het voedselweb. Ze zijn voedsel voor veel zoöplankton, macrofauna en (jonge) vis. De begrazing is een stressfactor voor de diatomeeën en heeft naast andere stressfactoren, zoals verstoring door droogval, slootschoning of plotseling harde stroming, invloed op de soortensamenstelling en de ruimtelijke structuur van het diatomeeënaangroei. Het zal nog veel onderzoek vergen om de invloed van al deze factoren te ontrafelen.

Doordat diatomeeën van veel milieufactoren afhankelijk zijn en hun korte reproductietijd (afhankelijk van de beschikbaarheid van voedingsstoffen kan een andere diatomeeëngemeenschap ontstaan in 4 tot 8 weken), kunnen met diatomeeën snel effecten op de ecologische waterkwaliteit worden aangetoond, niet alleen van lozingen of andere incidenten, maar ook van een doelbewuste ingreep in het watersysteem.

Het combineren van de met DNA-analyses verkregen taxonlijsten, zoals onderzocht in het project DNA Diatom Biosensor [25], met verschillende indices is een snelle en goedkope methode om inzicht te krijgen in de waterkwaliteit. De eerste resultaten tonen aan dat de IPS met DNA en microscopische analyse vergelijkbare beelden geeft [14]. De verwachting is dat andere indices een vergelijkbaar beeld zullen geven. Hiermee zal DNA-techniek naar verwachting op den duur een goede methode zijn om de effecten van relevante milieuvariabelen in beeld te brengen. Vooralsnog zijn de kosten van DNA-analyses vergelijkbaar met die van microscopische analyse, zoals diverse laboratoria die uitvoeren, maar dan altijd nog 80 procent goedkoper dan de standaardmacrofaunamonsters.

Financiering voor dit onderzoek kwam mede uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (Topsector Water).

Referenties

1. Franken, R.J.M., Gardeniers, J.J.P. & Peeters, E. (2006). *Handboek Nederlandse ecologische beoordelingsystemen (EBEO-systemen), Deel A*. STOWA-rapport 2006-4.
2. Molen, D.T. van der, Pot, R. Evers, C.H.M., Herpen, F.C.J. van & Nieuwerburgh, L. van (red.) (2020). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027* (3^e druk). Rapport 2018-49. STOWA.
3. EBEO 2.0 (2024). *Actualisering Van Dam index (diatomeeën)*. www.stowa/ebao.nl (in voorb.).
4. Serôdio, J. & Lavaud, J. (2020). 'Diatoms and their ecological importance'. In: Leal Filho, W. et al. (eds). *Life below water. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (pp.1-9). Springer Nature.
5. Zuilichem, H. van, Peeters, E. & Wal, J. van der (2016). 'Diatomeeën als indicator voor waterkwaliteit nabij rwi's'. *H₂O Online*, 9 december 2016. <https://edepot.wur.nl/401202>
6. Klink, A.G. (1983). 'Een oriënterend onderzoek aan de sedimenten van het Groot Huisven (Noord-Brabant)'. *Rapporten en Mededelingen Hydrobiologisch Adviesbureau ir. A.G. Klink 4*: 1-5.
7. Kirilova, E.P. (2009). *Natural and human induced trophic changes in European lowland lakes*. Ph.D.-thesis Universiteit Utrecht.
8. Dam, H. van & Mertens, A. (1993). 'Kiezelwieren op herbariummateriaal als referentie voor waterkwaliteit'. *De Levende Natuur 94*: 22-227.
9. Dam, H. van, Mertens, A. & Wal, J. van der (2018). 'Veranderingen in de soortensamenstelling van kiezelwieren in vennen bij Oisterwijk en Boxtel'. *De Levende Natuur 119*: 64-67.
10. Poikane, S., Kelly, M., & Cantonati, M. (2016). 'Benthic algal assessment of ecological status in European lakes and rivers: challenges and opportunities'. *Science of the Total Environment 568*: 603-613.
11. Lange-Bertalot, H., Hofmann, G., Werum, W. & Cantonati, M. (2017). *Freshwater benthic diatoms of central Europe*. Koeltz Botanical Books.
12. Jaspers, M. et al. (2013). *Hydrochip: de toekomst van de monitoring, de monitoring van de toekomst*. Rapport 2012/39. STOWA.
13. Bruce, K. et al. (2021). *A practical guide to DNA-based methods for biodiversity assessment*. Pensoft.
14. Hootsmans, M., Beentjes, K., Hoorn, B. van der & Wal, J. van der (2021). 'Gebruik van DNA voor inzicht in biologische waterkwaliteit met diatomeeën'. *H₂O-Online*, 10 november 2021.
15. Kahlert, M. et al. (2021). 'Same same, but different: The response of diatoms to environmental gradients in Fennoscandian streams and lakes - barcodes, traits and microscope data compared'. *Ecological Indicators 130* (108088).
16. Dam, H. van, Mertens, A. & Sinkeldam, J. (1994). 'A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands'. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology 28*: 117-133.
17. Cemagref (1982). *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Division Qualité des Eaux Lyon.
18. Lotter, A., Pienitz, R. & Schmidt, R. (2010). 'Diatoms as indicators of environmental change in subarctic and alpine regions'. In: Stoermer, E.F. & J.P. Smol. *The diatoms* (pp. 231-248). Cambridge University Press.

19. Coste & M. & Ector, L. (2000). 'Diatomées invasives exotiques ou rares en France: principales observations effectuées au cours des dernières décennies'. *Systematics and Geography of Plants* 70: 373-400.
20. Passy, S. (2007). 'Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters'. *Aquatic Botany* 86: 171-178
21. Poulíčková, A. & Manoylov, K. (2019). 'Ecology of freshwater diatoms - current trends and applications'. In: J. Seckbach & R. Gordon (eds). *Diatoms: Fundamentals & application* (pp. 289-310). Scrivener-Wiley.
22. Goldenberg Vilar, A., Vonk, J.A., Dam, H. van, Admiraal, W. & Geest, H.G. van der (2014). 'Typology of diatom communities in the Dutch delta: Recognizing patterns of environmental drivers in nutrient rich ditches'. *Ecological Indicators* 45: 561-569.
23. Rimet, F. & Bouchez, A. (2011). 'Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: Lotic mesocosm approaches'. *Ecological Indicators* 11: 489-499.
24. Falasco, E., Ector, L., Wetzel, C.E., Badino, G. & Bona, F. (2021). 'Looking back, looking forward: a review of the new literature on diatom teratological forms (2010-2020)'. *Hydrobiologia* 848: 1675-1753.
25. Topconsortium Water en Maritiem (2022). *DNA Biatom Biosensor*. <https://www.tkiwatertechnologie.nl/projecten/?s=diatom>, geraadpleegd op 01-02-2022.
26. Munteanu, N. (2023). *A diatom spring*. <https://thmeaningofwater.com>, geraadpleegd op 21-03-2024.