



Holger Cremer, TNO Bouw en Ondergrond
Frans Bunnik, TNO Bouw en Ondergrond
Timme Donders, TNO Bouw en Ondergrond
Heleen Koolmees, TNO Bouw en Ondergrond

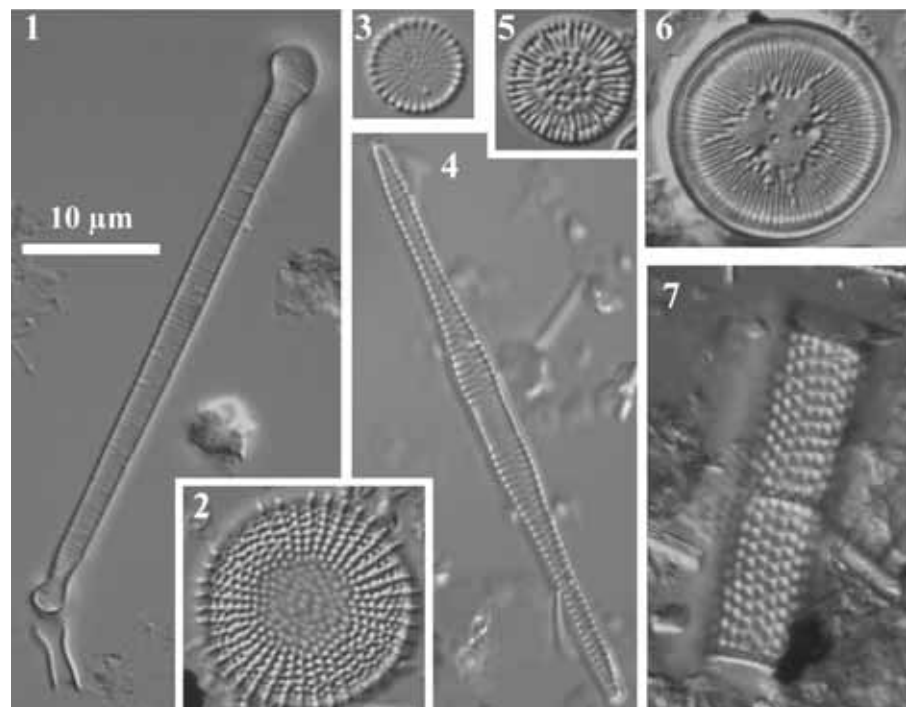
Kiezelalgen documenteren historische waterkwaliteit van diepe meren

Voor het opstellen van maatlatten in het licht van de Kaderrichtlijn Water is het noodzakelijk om natuurlijke referentietoestanden van meren te bepalen. Voor dit doel kan een analoog worden gezocht in een natuurlijk systeem in het buitenland of een historisch referentiekader. Uitermate geschikt hiervoor is paleo-ecologisch onderzoek aan de hand van sedimentkernen uit diepe meren. In Nederland wordt dit grotendeels nog niet benut. In dit artikel wordt een voorbeeld gegeven van onderzoek aan een diepe boring uit het Haarsteegse Wiel in Noord-Brabant, waarmee de milieugeschiedenis van dit meer sinds 1740 is gereconstrueerd. Diatomeeënonderzoek en de toepassing van een op kiezelalgen gebaseerd model voor het totale fosforgehalte toont aan dat het wiel vóór 1920 grotendeels in een mesotrofe toestand verkeerde en pas na deze tijd geleidelijk eutrofiëerde. Een vegetatiereconstructie vanaf 1740 tot heden laat bovendien duidelijk de ontwikkeling van het landschap in de omgeving van het meer zien. Deze blijkt intrinsiek verbonden met de veranderingen in waterkwaliteit.

De Kaderrichtlijn Water (KRW) vereist onder andere het beschrijven van ecologische referentiesituaties (= onverstoorde toestand) die de basis vormen voor de ecologische doelstellingen van alle typen wateren in Nederland¹⁾. Oppervlaktewateren met een onverstoorde toestand worden echter in Nederland niet meer aangetroffen. De kwantificering van de referentietoestand voor Nederlandse watertypen moet daardoor worden afgeleid uit een combinatie van historische gegevens, modellen, onverstoorde situaties in het buitenland en kennis van deskundigen¹⁾. Deze indirecte methoden leveren echter vaak geen eenduidig beeld en zijn slecht te verifiëren.

Paleo-ecologische methoden worden tot nu toe onderbenut in Nederland hoewel deze voor een aantal watertypen, vooral de diepere en oudere meren, een unieke en directe aanpak bieden voor de kwantificering van referentiesituaties. Vooral fossiele associaties van kiezelalgen of diatomeeën worden dikwijls toegepast in paleo-ecologische reconstructies²⁾. Kiezelalgen zijn eencellige algen met minuscule en goed fossiliseerbare skeletjes (zie foto's) en komen wereldwijd in bijna alle aquatische

Kiezelalgen in het hedendaagse fytoplankton van het Haarsteegse Wiel: 1) Asterionella formosa, 2) Stephanodiscus medius, 3) S. parvus, 4) Fragilaria crotonensis, 5) Puncticulata radiosa, 6) Cyclotella ocellata, 7) Aulacoseira granulata.



milieus voor. Ze reageren veelal gevoelig op veranderingen van hun leefomgeving en zijn goed te identificeren. Dit maakt kiezelalgen buitengewoon waardevol als indicatoren van zowel de huidige als de vroegere ecologische toestand van oppervlaktewateren³⁾. Als voorbeeld wordt in dit artikel de milieu- en landschapontwikkeling van het Haarsteegse Wiel in Noord-Brabant tijdens de afgelopen 270 jaar in beeld gebracht. Het wiel bestaat uit twee - tegenwoordig verbonden- bekkens waarvan het zuidelijke bekken na een dijkdoorbraak in 1610 is ontstaan en het noordelijke gedeelte 130 jaar later in 1740 (zie luchtfoto).

Diepe, oude boring

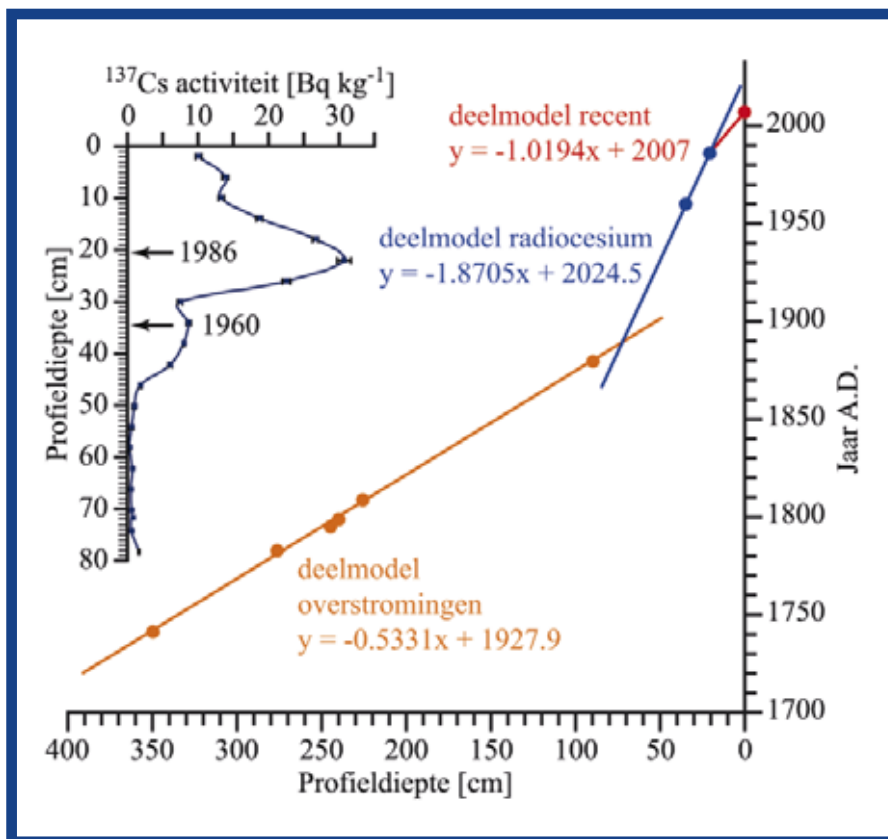
Om de milieugeschiedenis te ontrafelen werd een lange sedimentkern geboord in het noordelijke bekken van het Haarsteegse Wiel op 17 meter waterdiepte. Aan de sedimenten werden laag voor laag geofysische, geochemische en paleo-biologische indicatoren (diatomeeën, pollen) bestudeerd. De ouderdom van de vier meter lange boorkern werd bepaald met behulp van overstromingslagen en, voor het bovenste kerngedeelte, radiocesiumactiviteiten die de atombommetests rond 1960 en het reactorongeluk in Tsjernobyl van 1986 documenteren (zie afbeeldingen 1 en 2)⁴⁾.

De magnetische susceptibiliteit, een maat voor de magnetiseerbaarheid van het sediment, weerspiegelt bovendien een aantal historisch goed gedocumenteerde overstromingen van het wiel zoals die van 1740 (ontstaan wiel), 1799, 1809 en 1880 (ramp van Nieuwkuijk) (zie afbeelding 2). Het ouderdomsmodel is bijzonder nauwkeurig en toont aan dat de milieugeschiedenis van het Haarsteegse Wiel en omgeving volledig is opgeslagen in een sedimentpakket van 3,5 meter dikte uit het noordelijke bekken.

De diatomeeënflora

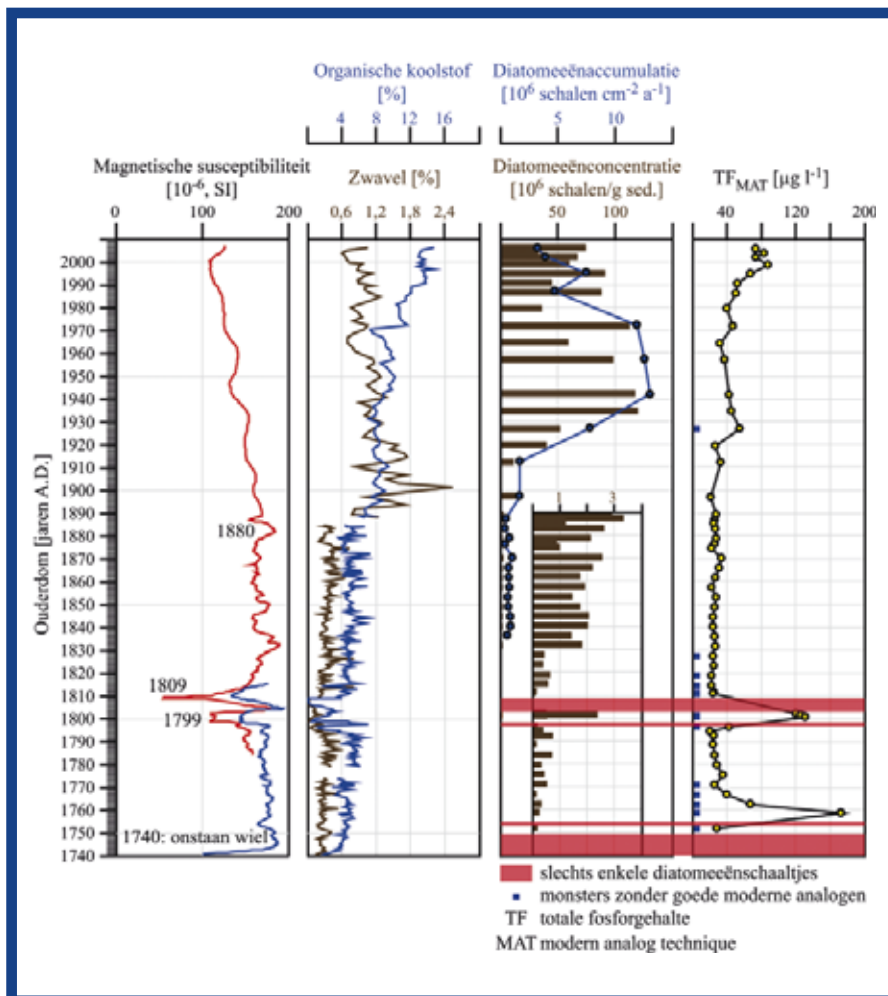
Het Haarsteegse Wiel verkeert tegenwoordig in een eutrofe toestand wat onder andere blijkt uit de diatomeeënflora in het fytoplankton. Er worden vooral soorten gevonden die kenmerkend zijn voor een voedselrijk milieu⁴⁾, wat ook wordt bevestigd door onderzoek van de epifytische diatomeeën in het wiel⁵⁾. In de sedimentkern worden vooral planktische diatomeeën aangetroffen. Naast de op de foto's afgebeelde soorten zijn dit *Cyclotella dubius*, *Punctulata praetermissa* en *Stephanodiscus hantzschii*. Epifytische en bentische soorten komen in duidelijk geringere hoeveelheden voor. Zij zijn van de ondiepe zijkant van het meer naar de boorlocatie gespoeld.

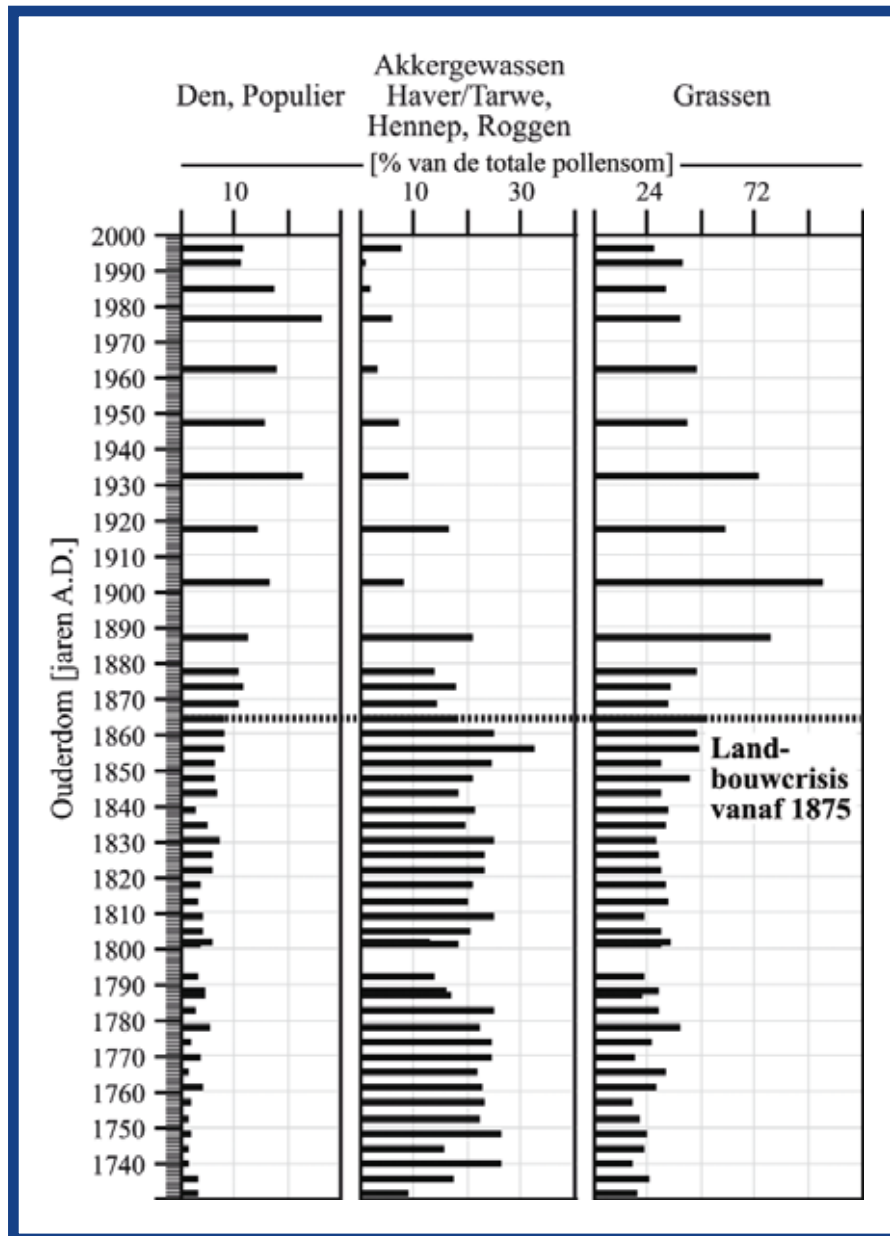
Op basis van de soortsaanstelling van de fossiele diatomeeëngemeenschappen kan de boring in zeven zones worden onderverdeeld die telkens verschillende milieumomstandigheden weerspiegelen. De absolute concentratie van diatomeeënschaaltjes (schalen per gram droog sediment) is vóór 1900 relatief laag en neemt vervolgens duidelijk toe (zie afbeelding 2). Het feit dat vanaf 1900 ook de diatomeeëenaccumulatie (schalen per cm² per jaar) duidelijk stijgt, wijst erop dat de primaire productie in het wiel was



Afb. 1: Ouderdomsmodel van de boring uit het Haarsteegse Wiel.

Afb. 2: Uitgelezen geofysikalische, geochemische en biologische karakteristieken van de boorkern uit het Haarsteegse Wiel. De laatste kolom toont het gereconstrueerde, op diatomeeën gebaseerde fosforgehalte van het oppervlaktewater.





Afb. 3: Uitgelezen pollenspectra uit het Haarsteegse Wiel.

toegenomen en het niet om een verdunningseffect gaat. De hogere algenproductie vanaf circa 1900 vindt zijn neerslag ook in het gehalte sedimentaire organische koolstof dat bijna verdubbelt.

Referentietoestand

Met behulp van een zogeheten *training set* en *modern analog technique*-model uit het databestand EEDI (European Diatom Database Initiative) werden de fossiele diatomeëngemeenschappen uit het Haarsteegse Wiel naar totale fosforgehaltes vertaald. Deze methode houdt in dat in het moderne diatomeëndatabestand naar analoge monsters gezocht wordt die qua soortsaanstelling overeenkomen met de fossiele monsters⁶⁾. De toegepaste *training set* bestaat uit 345 Europese meren met een totaalfosforbereik van 2 tot 1189 $\mu\text{g/l}$ (gemiddeld 95 $\mu\text{g/l}$). De statistische berekeningen werden uitgevoerd met het softwarepakket C2⁷⁾.

De resulterende reconstructie van de totale hoeveelheid fosfor uit het Haarsteegse Wiel zijn in afbeelding 2 weergegeven. Het totale fosforgehalte lag volgens dit model tussen

1770 en 1920 stabiel beneden 30 $\mu\text{g/l}$ in het mesotrofe bereik. Deze waarde moet worden beschouwd als de referentietoestand van het wiel. Na 1920 steeg het totale fosforgehalte tot waarden van rond de 40 $\mu\text{g/l}$ en documenteert dus zwak eutrofe omstandigheden in het wiel. Na 1970 is een tweede stijging van de hoeveelheid fosfor te zien tot waarden van 60 à 80 $\mu\text{g/l}$. Vanaf 1920 is dus een duidelijke eutrofiëringstendens van het wiel te constateren die toegeschreven kan worden aan de toegenomen bewoning, industrialisatie en recreatie. Dit verschijnsel is in bijna alle meren in Nederland waargenomen. Onder andere is dit proces ook aan de vanaf 1950 gestegen afzetting van organische koolstof op de meerbodem af te lezen.

Opmerkelijk in de reconstructie zijn wel de hoge waarden van totaalfosfor rond 1760 en 1800. De gehalten rond 1760 zijn zeer waarschijnlijk te hoog en niet betrouwbaar, omdat voor deze monsters geen goede analogen in de moderne trainingset te vinden zijn. De sterke stijging van de

hoeveelheid fosfor rond 1800 kenmerkt zich door grote hoeveelheden van *Aulacoseira granulata*, een kettingvormende diatomee die veelal in nutriëntrijke meren en rivieren aangetroffen wordt. De hoge aantallen van deze soort zijn met zekerheid te koppelen aan de overstromingen van 1795 en vooral aan die van 1799, waarbij veel eutrofe diatomeeënsoorten werden aangevoerd. Hiermee is dus de voedselrijke toestand van het ingespoelde rivierwater gedocumenteerd.

Menselijke activiteiten

De opgenomen geochemische en paleobiologische indicatoren vertellen bovendien nog meer over de milieugeschiedenis van het Haarsteegse Wiel. De pollenspectra van den en populier, akkergewassen en grassen tonen een duidelijke verandering in hun concentraties vanaf 1880 (zie afbeelding 3). In de periode vóór 1880 geeft het pollenspectrum aan dat op de akkers rond het wiel voornamelijk granen werden verbouwd. Als gevolg van de landbouwcrisis in Nederland vanaf 1875, toen de grootschalige verbouw van granen afnam als gevolg van de invoer van veel landbouwproducten uit overzeese landen en de boeren omschakelden naar veeteelt, werden veel akkers omgezet in grasland wat in het pollenspectrum aan de toename van graspollen goed te zien is. De toenemende vergrassing had ook als gevolg dat er minder geploegd werd en zo enerzijds minder klei en zand, anderzijds meer organische koolstof in het wiel terecht kwam. Dit is zeer goed te zien aan de gestegen concentraties van organische koolstof vanaf 1885.

Een ander gevolg van de omschakeling in landbouw en industrie is dat steeds meer leerlooierijen en melkfabrieken werden opgericht waarvan het afvalwater merendeels in de omgevende oppervlaktewateren geloosd werd. De historisch gedocumenteerde vestiging van leerlooierijen en een melkfabriek in de omgeving van het Haarsteegse Wiel komt tot uiting in de duidelijk gestegen zwavelconcentraties vanaf 1885.

Kort na de landbouwcrisis werd in Nederland ook begonnen met het gebruik van kunstmest. Dit was nodig omdat in de laatste decennia van de 19de eeuw de bevolking zodanig groeide dat de vraag naar voedsel enorm steeg. Het gestegen gebruik van kunstmest veroorzaakte een verandering van de ecologische toestand naar zwak eutrofe condities, die af te lezen zijn aan de gestegen concentraties van organische koolstof in het sediment vanaf 1890 (zie afbeelding 2). Tijdens deze landbouwrevolutie ging ook de beweiding met schapen op de heidevelden op de nabijgelegen Brabantse zandgronden sterk achteruit. De oprichting van het Staatsbosbeheer in 1899 om te voldoen aan de toenemende vraag naar hout en om door aanplant van dennen zandverstuivingen op de overbegraasde heidevelden tegen te gaan, is te zien als een direct gevolg van de grootschalige omschakelingen in de landbouw. Op de nattere standplaatsen, tot dan toe in gebruik als hooiland, werden populieren aangeplant. Beide ontwikkelingen, de toenemende aanplant van dennen

en van populieren komen duidelijk tot uiting in het pollendiagram.

Conclusies

De ecologische toestand van het Haarsteegse Wiel heeft zich in drie fases afgespeeld die telkens gepaard gingen met specifieke demografische en culturele ontwikkelingen. Tijdens de eerste fase in de tweede helft van het 18e en in het 19e eeuw had het Haarsteegse Wiel en relatief lage totale fosforgehalte van minder dan 30 µg/l. Deze voor bijna 150 jaar stabiele mesotrofe toestand kan als vrijwel natuurlijke referentiesituatie van het Haarsteegse Wiel beschouwd worden. Deze mesotrofe condities hangen zeer waarschijnlijk samen met de aanvoer van voedselarm kwelwater afkomstig uit de hogere zandgronden ten zuiden van het wiel, zoals de Loonse en Drunense duinen.

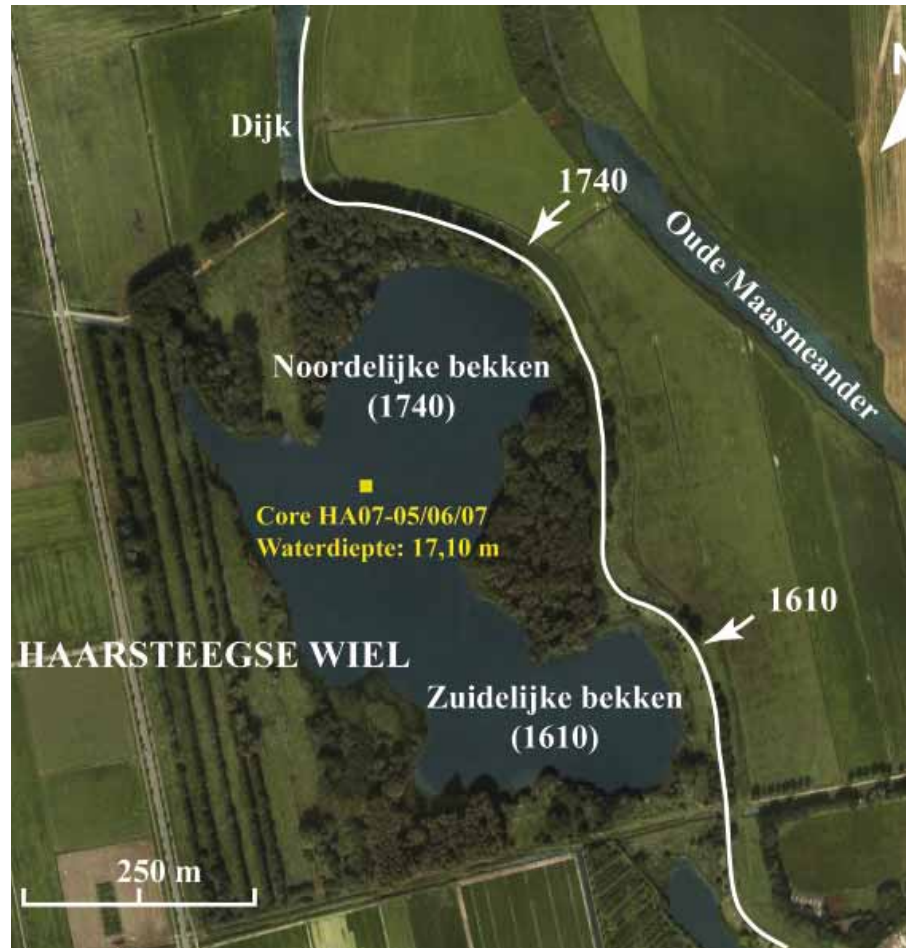
De toenemende bevolkingsdruk, het veranderde landgebruik, veranderde voedingsgewoontes en de ontwikkeling van industrie hadden en hebben een grote invloed op de ecologische toestand van het wiel. Zo is de stijging van het nutriëntengehalte in het Haarsteegse Wiel vanaf 1920 (tweede fase) een laat gevolg van de landbouwrevolutie in Nederland, die door de afzetting van grotere hoeveelheden organische koolstof en algenskeletjes in het sediment uitstekend gedocumenteerd is. Vanaf 1970 (derde fase) is er een tweede stijging van het totale fosforgehalte te registreren die een gevolg is van de zeer hoge culturele, recreatieve en industriële gebruiksdruk van het wiel en zijn omgeving in de tweede helft van het 20ste eeuw. Met name de omschakeling naar grootschalige verbouw van snijmaïs in de jaren zeventig met de daarbij toegepaste overmatige bemesting (drijfmest uit de bioindustrie) is verantwoordelijk voor een versterkte eutrofiëring.

Wanneer binnen het kader van de KRW genomen maatregelen voor de verbetering van de ecologische toestand van het Haarsteegse Wiel⁸⁾ effecten opleveren, zal dit in relatief korte tijd ook aan de voor deze studie onderzochte sedimentaire indicatoren terug te zien zijn.

Dit artikel toont op overtuigende manier het potentieel van paleo-ecologisch onderzoek aan de reconstructie van de milieugeschiedenis van meren en het omringende landschap. Uiteraard geeft deze toepassing waterbeheerders een waardevol instrument in handen om de voor de KRW zo belangrijke natuurlijke referentiesituaties van oppervlaktewateren te beschrijven.

LITERATUUR

- 1) Van der Molen D. en R. Pot (2007). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA. Rapport 2007/32.
- 2) Hall R. en J. Smol (1999). Diatoms as indicators of lake eutrophication. In 'The diatoms: applications for the environmental and earth sciences' van E. Stoermer en J. Smol (eds.). Cambridge University Press, pag. 128-168.
- 3) Van Dam H., A. Mertens en J. Sinkeldam (1994). A coded checklist and ecological indicator values



Het Haarsteegse Wiel. De pijlen tonen de overstromingsrichtingen van de dijkdoorbraken van 1610 en 1740.

- of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands Journal of Aquatic Ecology nr. 28, pag. 117-131.
- 4) Cremer H. en H. Koolmees (2008). Paleo-waterkwaliteit van Nederlandse wateren: milieuveranderingen in het Haarsteegse Wiel sinds 1740 op basis van paleo-ecologisch onderzoek. TNO. Rapport 2008-U-R1101/A.
 - 5) Bijkerk R., C. Bulstra en G. Verwij (2002). Soortensamenstelling van epifytische kiezelalgen in wateren van het Waterschap De Maaskant, met een ecologische typering van de waterkwaliteit. Koeman en Bijkerk. Rapport 2002-34.
 - 6) Cremer H. (2007) Paleo-waterkwaliteit van Nederlandse wateren: reconstructie van de ontwikkeling van het fosforgehalte van het IJsselmeer op basis van fossiele diatomeeënassociaties. TNO. Rapport 2007-U-R0935/A.
 - 7) Juggins S. (2007). C2 version 1.5 User Guide. Software for ecological and paleo-ecological data analysis and visualisation. Newcastle University.
 - 8) Civiele en Cultuurtechniek (2005). Beheer- en beleidsplan Haarsteegse Wiel. Gemeente Heusden.