



QUICK SCAN

ZEESCHUIM

Katja Philippart (NIOZ, UU)
Anouk Blauw (Deltares)
Henk Bolhuis (NIOZ)
Karen Brandenburg (NIOO, UU)
Corina Brussaard (NIOZ, UvA)
Theo Gerkema (NIOZ)
Peter Herman (Deltares, TUD)
Annelies Hommersom (Water Insight)
Pascalie Jacobs (NIOZ)
Marnix Laanen (Water Insight)
Maria van Leeuwe (RUG)
Anneke van den Oever (BuWa)
Steef Peters (Water Insight)
Marc Philippart (RWS)
Jaime Pitarch (CNR)
Theo Prins (Deltares)
Kevin Ruddick (KBIN)
Lazaros Spaias (Water Insight)
Dedmer van de Waal (NIOO)
Dimitry Van der Zande (KBIN)
Alain Zuur (Highland Statistics)

– Quick scan ZEESCHUIM

LEESWIJZER

In deze notitie staan de conclusies over de rol van de verschillende factoren per hoofdstuk samengevat. In het laatste hoofdstuk is deze informatie samengebracht en zijn de resultaten voor de verschillende stappen beschreven (waaronder de start en het instorten van de algenbloei, de vorming en het transport van het schuim) beschreven. De notitie kan van voor naar achteren worden gelezen, maar het is ook mogelijk om te beginnen met het lezen van het laatste hoofdstuk (Hoofdstuk 11) om vervolgens de achtergrondinformatie in de voorgaande hoofdstukken op te zoeken.

Inhoudsopgave

Leeswijzer	1
Samenvatting	3
1 – Introductie	4
2 – Zeeschuim en <i>Phaeocystis globosa</i>	5
3 – Voorkomen en langjarige ontwikkelingen schuimalg in de Noordzee	9
4 – Trends en voorspelbaarheid van zeeschuim en schuimalgen	12
5 – Langjarige ontwikkelingen en recente data schuimalg in het Marsdiep	16
6 – Recente ontwikkelingen schuimalg in de Noordzee	20
7 – Recente ontwikkeling zeeschuim op de Nederlandse kust	24
8 – Recente ontwikkeling zeeschuim in de Noordzeekustzone	27
9 – Wind-klimatologie langs de Nederlandse kust	31
10 – Wind, golven en stroming op 11 mei 2020	35
11 – Conclusies	42
Adressen	49
Dankwoord	51

– Samenvatting

In de avond van 11 mei 2020 verongelukten vijf watersporters bij het Noordelijk Havenhoofd van Scheveningen. Op dat moment lag er in de hoek tussen het havenhoofd en het strand een pak zeeschuim van ruim twee meter hoog, waardoor er vragen rezen over de oorsprong van dit zeeschuim en over de wijze waardoor het zich op die dag zo had kunnen ophopen. Deze notitie probeert op die vragen antwoord te geven.

In deze tijd van het jaar was het schuim zeer waarschijnlijk afkomstig van de schuimalg *Phaeocystis globosa*, een alg die vooral in april en mei in hoge aantallen (met dichtheden van meer dan 10 miljoen cellen per liter) als kolonies in de Noordzee voorkomt. Wanneer op een zeker moment een tekort aan licht of voedingsstoffen ontstaat, stort een bloei in en drijven de algen bij rustig weer naar het oppervlak. Zo komt organisch materiaal vrij, dat door de golven tot schuim opgeklapt kan worden, met name in de brandingszone, en door de wind naar de kust worden getransporteerd.

Na een sterke voorjaarsbloei van de schuimalg rond eind april 2020, met dichtheden tot meer dan 38 miljoen kolonie cellen per liter op 28 april in het Marsdiep, stortte de bloei in tot nog steeds aanzienlijke dichtheden van meer 12 miljoen kolonie cellen per liter op 7 mei 2020. Op 9 mei 2020 was er weinig wind waardoor de algen en algenresten zich mogelijk aan het zeeoppervlak hebben verzameld. Op 10 mei 2020 was er weinig zon, wat mogelijk tot een verder uiteenvallen van de kolonies heeft geleid. In de loop van 10 mei 2020 begon de wind toe te nemen, waardoor de golven steeds

hogere werden en de algenresten werden opgeklapt tot schuim. De krachtige tot harde wind op 10 mei 2020 kwam uit het noord-noordoosten (een ongebruikelijke combinatie in deze tijd van het jaar), waardoor drijvend materiaal van een groot zeeoppervlak naar de Nederlandse kust werd gedreven, zich in een strook langs het strand concentreerde en daar door de branding verder werd opgeklapt.

Het is aannemelijk dat dit proces van schuimvorming en schuimophoping zich op 11 mei 2020 onder invloed van de sterke noord-noordoostelijke wind zich voortzette en dat het schuim zich ophoopte tegen obstakels die dwars op de kust in zee steken, zoals havenpielen. In de vroege avond van 11 mei 2020 draaide de wind iets meer naar het noorden en startte de vloedstroom (naar het noorden). Het aanwezige schuim zal door de winddraaiing en veranderde stroming van positie zijn veranderd.

Het lijkt technisch mogelijk om een automatisch waarschuwingssysteem voor schuimvorming te maken, maar dit vraagt nog wel enige ontwikkelingstijd. Het gaat dan om een combinatie van modellen, satellietbeelden van algen en schuim, observaties met camera's en handmatige metingen. Mogelijk dat, nu het potentieel gevaar van zeeschuim bekend is, juiste voorlichting een betere optie is zodat situaties door de gebruikers beter herkend worden aan de hand van waarnemingen van schuim op zee (eventueel ook via camera's en webcams) en de windverwachting, en dat strandwachten, watersportscholen en watersporters zelf een inschatting van de risico's kunnen maken.

1 – Introductie

Op maandagavond 11 mei 2020 verongelukten voor de kust van Scheveningen vijf mannen. Allemaal waren zij ervaren surfers, vertrouwd met harde wind en hoge golven. Opmerkelijk was de hoeveelheid schuim op het water tijdens dit ongeluk. Waar het Noordelijk Havenhoofd en het strand samenkomen, lag een pak schuim van ruim twee meter hoog (Fig. 1.1). Daardoor rees meteen de vraag over de rol die het schuim heeft gespeeld bij het fatale ongeluk.

Zeeschuim komt vaak voor na beëindiging van een algenbloei. Bij het ontstaan van grote hoeveelheden schuim aan de kust spelen dan meerdere factoren een rol: de hoeveelheid algen tijdens de bloei, de timing van de bloei en de richting en snelheid van de wind. Was hier sprake van een uitzonderlijke en mogelijk snel veranderende situatie voor een van deze factoren, of was het een combinatie?

Om deze vragen te beantwoorden heeft een aantal onderzoekers van verschillende instituten, universiteiten, overheidsinstellingen en adviesbureaus de handen ineengeslagen en op eigen initiatief deze notitie geschreven. Hierin proberen we gezamenlijk antwoord te geven op bovenstaande vragen en geven we aan wat de mogelijkheden en beperkingen zijn om in de toekomst voor dergelijke uitzonderlijke schuinvorming te waarschuwen. Die antwoorden beperken zich tot de vragen die binnen onze eigen expertise vallen. We beseffen zeer wel dat dit lang niet alle vragen zijn waarop een antwoord wordt gezocht.

Voor dit doel is in relatief korte tijd een veelheid aan nieuwe gegevens verwerkt. De komende tijd zullen de meeste gegevens verder worden geanalyseerd en uiteindelijk gepubliceerd in wetenschappelijke artikelen. Daarbij kan niet worden uitgesloten dat dit tot andere inzichten leidt. In deze notitie hebben de auteurs zich daarom zoveel mogelijk beperkt tot de conclusies die op moment van schrijven het meest redelijk lijken.



Figuur 1.1 Opgeschoopt zeeschuim in de hoek tussen het Noordelijk Havenhoofd en het strand van Scheveningen op 11 mei 2020 (Foto: Veiligheidsregio Haaglanden).

2 – Zeeschuim en *Phaeocystis globosa*

Corina Brussaard ^{a,b}, Henk Bolhuis ^a, Dedmer van de Waal ^c, Maria van Leeuwe ^d & Katja Philippart ^{a,e}

^a Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ-NWOi), Texel

^b Universiteit van Amsterdam (UvA), Amsterdam

^c Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Wageningen

^d Rijksuniversiteit Groningen (RUG), Groningen

^e Universiteit Utrecht (UU), Utrecht

Samenvatting

Zeeschuim bestaat vaak uit resten van algen, en tussen eind maart en mei is dat aan de Nederlandse kust dikwijls de alg *Phaeocystis globosa*, in de volksmond ook wel schuimalg genoemd. De schuimalg kan voorkomen als losse cellen en als bolvormige kolonies. De kans op schuim is het grootst aan het eind van de bloei (d.z.w. als de hoge biomassa begint af te nemen), wanneer kolonies uit elkaar vallen bij gebrek aan licht of voldoende voedingsstoffen (stikstof en fosfaat). Sterfte van de vrijgekomen cellen door virusinfecties draagt bij aan het vrijkomen van eiwitten. *Phaeocystis globosa* maakt de stof dimethylsulfoniopropionaat (DMSP) aan, dat buiten de cellen in het water kan worden omgezet in dimethylsulfide (DMS). Dit is een vluchtige stof die weliswaar onaangenaam ruikt maar niet giftig is.

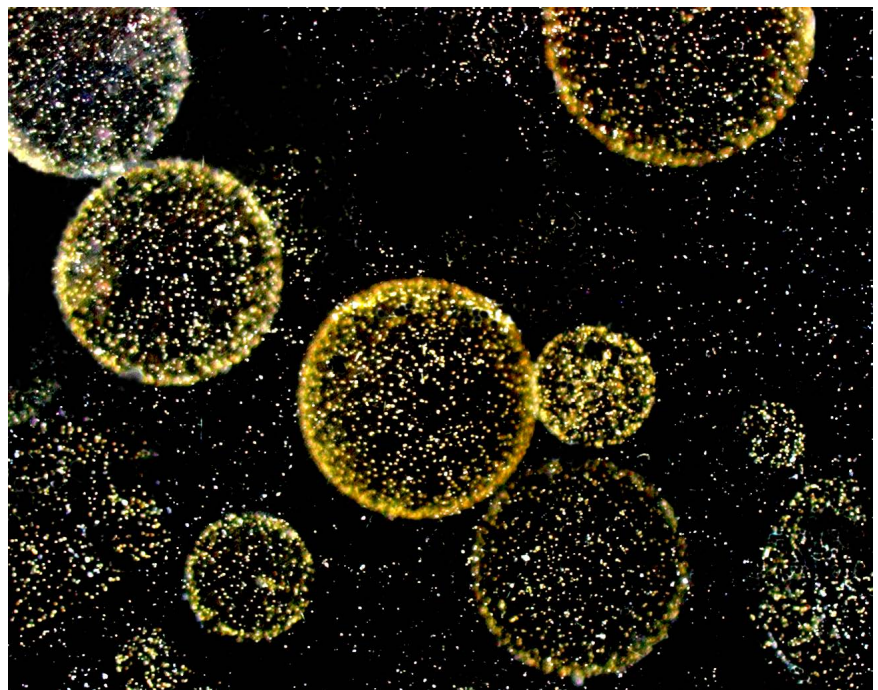
Relatie zeeschuim en schuimalg

De "schuimalg" *Phaeocystis globosa* komt veelvuldig voor in de Noordzee, en dan met name van eind maart tot mei (Cadée & Hegeman 1986). *Phaeocystis globosa* is een voorbeeld van een potentieel schadelijke algensoort die in staat is om een zeer hoge biomassa te genereren en hinder te veroorzaken voor visserij, toerisme en ecosystemen (Verity et al. 2007).

Phaeocystis globosa heeft een complexe levenscyclus met meerdere verschijningsvormen (Verity et al. 2007). De soort komt voor als losse (solitaire) cellen, met een diameter van 5-8 micrometer, en als slijmerige kolonies van meer dan 10.000 cellen (Fig. 2.1). De cellen in de kolonies leven in een matrix van polysachariden (Alderkamp et al. 2007), die alleen gemaakt kan worden bij voldoende licht voor de extra benodigde fotosynthese (Schoemann et al. 2005, Brussaard et al. 2005).

De dichtheden van de kleine solitaire cellen kunnen worden ingeperkt door begrazing door klein dierlijk plankton (microzoöplankton) en schelpdieren, en door virale infectie, die leidt tot snelle sterfte van de eencellige losse cellen. De kolonies kunnen echter door hun grootte tijdelijk aan deze graas- en infectiedruk ontsnappen en daardoor in het zeewater zeer hoge concentraties bereiken (Ruardij et al. 2005, Brussaard et al. 2007, Nejstgaard et al. 2007).

De kolonie-matrix wordt gevormd door polysachariden (koolhydraten). Om grote kolonies te maken, met veel cellen erin, moeten er zowel voldoende licht als genoeg voedingsstoffen (stikstof, fosfaat) aanwezig zijn voor de productie van de matrix. Anders vallen de kolonies uit elkaar, waarbij de losse cellen vrijkomen. Deze losse cellen worden gemakkelijk gegeten maar ook geïnfecteerd door virussen (Brussaard et al. 2005, Baudoux et al. 2006).



Figuur 2.1 Bolvormige kolonies van de schuimalg *Phaeocystis globosa* tijdens een voorjaarsbloei in het Marsdiep (Foto: Jolanda van Iperen/NIOZ).

Sterfte van deze eencellige algen ten gevolge van een virusinfectie doet behalve nieuwe virusdeeltjes ook de celinhoud vrijkomen in het omringende water. Virale lysis, zoals dit proces wordt genoemd, is een belangrijke sterftedoor van *P. globosa*-cellen, met name aan het eind van een bloei in het voorjaar. De vrijgekomen celinhoud bevat onder andere eiwitten en dit zou mogelijk kunnen bijdragen aan schuimformatie aan de kust bij (sterke) aanlandige wind.

Gedurende het jaar bloeit de schuimalg gewoonlijk meerdere malen; de grootste bloei is meestal tijdens het voorjaar volgend op de bloei van kiezelwieren, een andere groep eencellige algen die vaak als eerste bloeit als de winter voorbij is. Aan het einde van een *Phaeocystis* bloei, waarbij de kolonies desintegreren, zijn de vrijgekomen losse cellen hun beschermende slijm laag kwijt, waardoor ze extra gevoelig zijn voor virusinfecties en begrazing door microzoöplankton en schelpdieren.

Andere oorzaken van schuim

Behalve door algenresten kan het zeeschuim ook wel eens gevormd worden uit een andere bronnen van opgelost organisch materiaal in het water, bijvoorbeeld na sterfte van schelpdieren die op en in de zeebodem leven.

Schadelijkheid

In 2001 werd in de Oosterschelde een grootschalige sterfte van mossels na een *Phaeocystis* bloei waargenomen, maar die was waarschijnlijk het gevolg van het bezinken van een grote hoeveelheid dode algen op de mosselen en niet van giftige stoffen (Peperzak & Poelman 2008).

De schuimalg *Phaeocystis globosa* maakt tevens de stof dimethylsulfoniopropionaat (DMSP) aan, dat buiten de cellen in het water kan worden

omgezet in dimethylsulfide (DMS) (Stefels et al. 2007). Dimethylsulfide is niet giftig. Het heeft een licht onaangename geur, wat met name te maken heeft met de hoge gevoeligheid van de menselijke neus voor zwavel. De concentraties DMS in zeewater liggen gemiddeld tussen de 1 en 10 nanomol per liter maar kunnen in bloeisituaties oplopen tot 300 nanomol per liter DMS in zeewater (Stefels et al. 1995, Speeckaert et al. 2018). Nota bene, in de Waddenzee zijn concentraties gemeten die nog tien keer hoger zijn. DMS is erg vluchtig en verdwijnt snel uit het zeewater naar de atmosfeer. Zeker wanneer de zee door harde wind erg woelig is en dus snel gassen uitwisselt met de atmosfeer (Liss & Merlivat 1986).

Het is onduidelijk hoeveel van de DMS uit het water in het schuim terecht komt, maar gezien de lage concentraties in zeewater zijn de concentraties in het schuim zeer waarschijnlijk te laag om gezondheidsproblemen te veroorzaken. Dimethylsulfide dient niet verward te worden met dimethylsulfaat. Dimethylsulfaat is niet vluchtig, van chemische oorsprong en daadwerkelijk giftig, en kan bij hoge concentraties ademhalingsproblemen veroorzaken (<https://nl.wikipedia.org/wiki/Dimethylsulfaat>).

Bij inname van hoge concentraties *Phaeocystis* kan hemolytische activiteit optreden, d.w.z. de afbraak van rode bloedcellen bij mens en dier. De agressieve werking van specifieke vetzuren werkt afwerend naar predatoren in het zeewater, maar de hemolytische activiteit *Phaeocystis globosa* (destijds nog *P. pouchetti* genoemd) lijkt te gering om merkbare invloed op mensen uit te oefenen (van Rijssel et al. 2007).

Referenties

- Alderkamp, A.C., M. van Rijssel & H. Bolhuis, 2007. Characterization of marine bacteria and the activity of their enzyme systems involved in degradation of the algal storage glucan laminarin. *FEMS Microbiology Ecology* 59, 108–117. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00219.x>
- Baudoux, A.C., A.A.M. Noordeloos, M.J.W. Veldhuis & C.P.D. Brussaard, 2006. Virally induced mortality of *Phaeocystis globosa* during two spring blooms in temperate coastal waters. *Aquatic Microbiology and Ecology* 44, 207–217.
- Brussaard, C.P.D., B. Kuipers & M.J.W. Veldhuis, 2005. A mesocosms study of *Phaeocystis globosa* population dynamics. I. Regulatory role of viruses in bloom control. *Harmful Algae* 4, 859–874.
- Brussaard, C.P.D., G. Bratbak, A.-C. Baudoux & P. Ruardij, 2007. *Phaeocystis* and its interaction with viruses *Biogeochemistry* 83, 201–215. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9096-0>.
- Cadée, G.C. & J. Hegeman, 1986. Seasonal and annual variation in *Phaeocystis pouchetii* (Haptophyceae) in the westernmost inlet of the Wadden Sea during the 1973 to 1985 period. *Journal of Sea Research* 20, 29–36. [https://doi.org/10.1016/0077-7579\(86\)90058-X](https://doi.org/10.1016/0077-7579(86)90058-X)
- Liss, P.S. & L. Merlivat, 1986. Air-gas exchange rates: introduction and synthesis. In: Buat-Menard, P. (ed.) *The role of air-sea exchange in geochemical cycling*. Reidel. Dordrecht. Pp. 113–127.
- Nejstgaard, J.C., K.W. Tang, M. Steinke, J. Dutz, M. Koski, E. Antajan & J.D. Long, 2007. Zooplankton grazing on *Phaeocystis*: a quantitative review and future challenges. *Biogeochemistry* 83, 147–172.
- Peperzak, L. & M. Poelman, 2008. Mass mussel mortality in The Netherlands after a bloom of *Phaeocystis globosa* (prymnesiophyceae). *Journal of Sea Research* 60, 220–222. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2008.06.001>.
- Verity, P.G., C.P. Brussaard, J.C. Nejstgaard et al., 2007. Current understanding of *Phaeocystis* ecology and biogeochemistry, and perspectives for future research. *Biogeochemistry* 83, 311–330. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9090-6>
- van Rijssel, M., A.-C. Alderkamp, J.C. Nejstgaard, A.F. Sazhin & P.G. Verity, 2007. Haemolytic activity of live *Phaeocystis pouchetii* during mesocosm blooms. *Biogeochemistry* 83: 189–200.
- Schoemann, V., S. Becquevort, J. Stefels, V. Rousseau & C. Lancelot, 2005. *Phaeocystis* blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review. *Journal of Sea Research* 53, 43–66. [doi:10.1016/j.seares.2004.01.008](https://doi.org/10.1016/j.seares.2004.01.008)
- Speeckaert, G., A.V. Borges, W. Champenois, C. Royer & N. Gypens, 2018. Annual cycle of dimethylsulfonio-propionate (DMSP) and dimethylsulfoxide (DMSO) related to phytoplankton succession in the Southern North Sea. *Science of the Total Environment* 622–62, 362–372.
- Stefels, J., M. Steinke, S. Turner, G. Malin & S. Belviso, 2007. Environmental constraints on the production and removal of the climatically active gas dimethylsulphide (DMS) and implications for ecosystem modelling. *Biogeochemistry* 83 1–3, 245–275. <https://doi.org/10.1007/s10533-007-9091-5>
- Ruardij, P., M.J.W. Veldhuis & C.P.D. Brussaard, 2005. Modeling the bloom dynamics of the polymorphic phytoplankter *Phaeocystis globosa*: impact of grazers and viruses. *Harmful Algae* 4, 941–963.
- Stefels, J., L. Dijkhuizen & W.W.C. Gieskes, 1995. DMSP-lyase activity in a spring bloom off the Dutch coast, related to *Phaeocystis* sp. abundance. *Marine Ecology Progress Series* 123, 235–243.
- Turner, S.M., G. Malin, P.D. Nightingale & P.S. Liss, 1996. Seasonal variation of dimethyl sulphide in the North Sea and an assessment of fluxes to the atmosphere. *Marine Chemistry* 54, 245–262. [https://doi.org/10.1016/0304-4203\(96\)00028-X](https://doi.org/10.1016/0304-4203(96)00028-X)

3 – Voorkomen en langjarige ontwikkelingen schuimalg in de Noordzee

Dedmer van de Waal ^a & Karen Brandenburg ^{a,b}

^a *Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Wageningen*

^b *Universiteit Utrecht (UU), Utrecht*

Samenvatting

Statistische analyse van historische algenmonsters, verzameld in de Noordzee, de Waddenzee en de Zeeuwse wateren vanaf 2000 t/m 2019, laat zien dat de schuimalg vooral voorkomt langs de kust. De hoogste dichtheden zijn gevonden ten zuiden van de monding van de Westerschelde en rond Texel. In 2019 was er sterkere ruimtelijke verdeling dan in 2009: de al lagere concentraties in open zee waren nog lager, terwijl de al hogere concentraties vlak bij de kust hoger waren.

Ruimtelijke verspreiding

Aan de hand van historische gegevens van Rijkswaterstaat in combinatie met een statistisch model (zie METHODIEK voor achtergrond) is gekeken naar de relatie tussen de bloei van de schuimalg en een aantal belangrijke omgevingsfactoren, zoals temperatuur en zout-, fosfaat- en nitraatgehalten. Deze analyses laten zien dat de zoutgehaltes langs de Nederlandse kust tijdens een bloei van de schuimalg in de afgelopen twintig jaar rond de 30 gram per liter lagen, met temperaturen van rond de 11 graden Celsius. Daarnaast zijn fosfaatconcentraties vaak erg laag (0 tot 0,3 mg per liter) en nitraatconcentraties iets hoger (2-4 mg per liter). Deze analyse maakt het mogelijk om de bloei van de schuimalg voor grotere gebieden te voorspellen. Zo zien we dat de schuimalg vooral langs de kust bloeit, wat observaties van eerdere periodes bevestigt (Baretta-Bekker et al. 2009). We zien met name een hogere kans op een bloei in het zuiden bij de monding van de Westerschelde, en in het noorden rond Texel.

Langjarige veranderingen

Aan de hand van de historische gegevens is ook gekeken naar het verschil in bloeivorming van de schuimalg tussen 2000 en 2019, dus over de afgelopen twintig jaar. We zien dat die verandering sterk afhangt van de locatie, met vooral een toename aan de kust en een afname in de open zee. De toenames langs de kust zijn in lijn met bevindingen van Peperzak & Witte (2009), die toenames langs de kust hebben gekoppeld aan hoogte van de wateraanvoer uit de Rijn (waar voedingsstoffen vandaan komen) en de lokale fosfaatconcentraties. Uit verdere analyses die we momenteel uitvoeren, zal moeten blijken in hoeverre andere omgevingsfactoren, zoals licht, opgeloste organische stoffen en andere rivieraanvoeren (ook bijvoorbeeld van de Schelde), tot een betere voorspelling leiden.

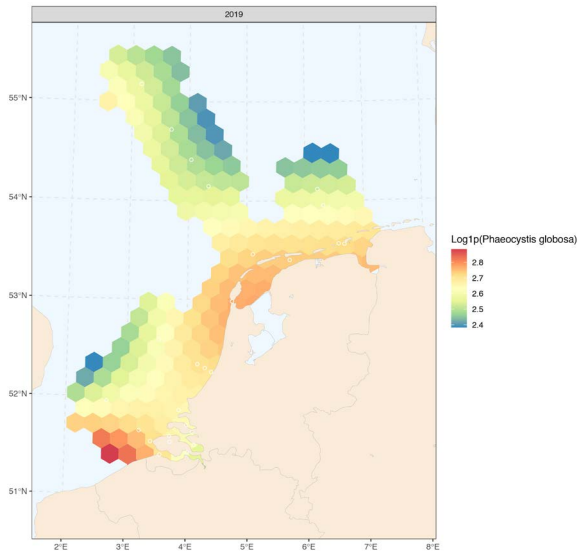
Methodiek

De kaarten zijn gemaakt op basis van de gegevens van Rijkswaterstaat die ongeveer twaalf keer per jaar watermonsters neemt op een aantal vaste meetstations in de Noordzee, corresponderend met de witte cirkels in de kaarten. Van elk van de monsters worden de dichtheden van algen geteld, waaronder die van *Phaeocystis globosa*. Tegelijk met het nemen van de watermonsters wordt ook een breed aantal omgevingsparameters gemeten, zoals temperatuur, zoutgehalte en voedingsstoffen (zoals fosfaat en stikstof) in het water.

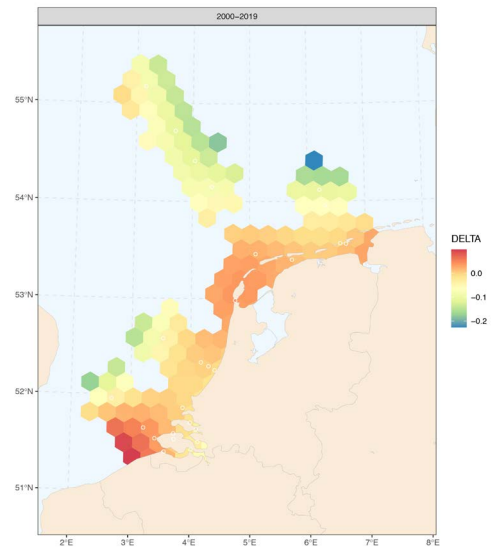
Aan de hand van deze gegevens hebben wij een statistisch model ontwikkeld, waarbij de dichtheden van *Phaeocystis globosa* voorspeld kunnen worden aan de hand van tijd (jaar en maand), temperatuur, zoutgehalte, fosfaatgehalte en nitraat(+nitriet) gehalte van het water. Hiervoor hebben we een zogenaamd "hierarchical generalized additive model" toegepast, waarmee we verschillende niet-lineaire verbanden kunnen modelleren en rekening kunnen houden met ruimtelijke gegevens en tijdseries (Pedersen et al. 2019).

Daarnaast hebben we specifiek gekeken naar de omstandigheden waaronder *Phaeocystis globosa* een algenbloei vormt, waarvoor we een kwantiel regressie hebben gedaan. Hierbij hebben we alleen naar de bovenste 25% van de *Phaeocystis* biomassa gekeken, wat een indicatie geeft voor een bloei. Dit hebben we gedaan in de programmeertaal R met specifieke analysesoftware ("mgcv", "qgam" en "mgcViz") (Fasiolo et al. 2020; Fasiolo & Nedellec 2020; Wood 2019).

Figuren 3.1 en 3.2 geven de voorspelde cel-dichtheden van *Phaeocystis globosa* weer onder optimale groeicondities (zoutgehalte van 30 gram per liter, temperatuur van 11 graden Celsius, fosfaatgehalte van 0,2 milligram per liter, en een nitraat (+nitriet) gehalte van 3 milligram per liter voor de maand mei in verschillende jaren.



Figuur 3.1 Gemodelleerde dichtheden van de schuimalg in mei 2019 onder optimale groeiomstandigheden. De kleuren geven de concentraties aan (rood is een hoge concentratie, blauw is een lage), berekend als de ln-getransformeerde concentraties van alle *Phaeocystis* cellen per liter. De witte cirkels geven de locaties van de vaste monsterpunten van Rijkswaterstaat aan. De figuur laat zien dat deze alg vooral op bepaalde plekken voorkomt, zoals ten zuiden van de monding van de Westerschelde en rond Texel.



Figuur 3.2 Gemodelleerde langjarige ontwikkelingen van de schuimalg in de Noordzee. De kleuren geven de veranderde situatie in 2019 aan t.o.v. de situatie in 2000 (rood is toename, blauw is afname in concentratie), berekend als de ln-getransformeerde verschillen in concentraties van alle *Phaeocystis* cellen per liter. We zien dus vooral een verschuiving met een afname in dichtheden in open zee en een toename in dichtheden nabij de kust (met name ten zuidwesten van Zeeland, maar ook nabij Den Helder en in de monding van het Eems estuarium).

Referenties

- Baretta-Bekker, J.G., Baretta, J.W., Latuhihin, M.J., Desmit, X., & Prins, T.C., 2019. Description of the long-term (1991–2005) temporal and spatial distribution of phytoplankton carbon biomass in the Dutch North Sea. *Journal of Sea Research* 61, 50-59. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2008.10.007>.
- Fasiolo, M., & Nedellec, R., 2020. An introduction to mgcViz: visual tools for GAMs. <https://cran.r-project.org/web/packages/mgcViz/vignettes/mgcviz.html>.
- Fasiolo, M., Wood, S.N., Goude, Y., & Nedellec, R. (2020). qgam: quantile non-parametric additive models.
- Pedersen, E.J., Miller, D.L., Simpson, G.L., & Ross, N., 2019. Hierarchical generalized additive models in ecology: An introduction with mgcv. *PeerJ* 7, e6876. <https://doi.org/10.7717/peerj.6876>.
- Peperzak, L. & Witte, H., 2019. Abiotic drivers of interannual phytoplankton variability and a 1999–2000 regime shift in the North Sea examined by multivariate statistics. *Journal of Phycology* 55: 1274-1289. doi:10.1111/jpy.12893.
- Wood, S., 2019. Mixed GAM computation vehicle with automatic smoothness estimation. <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/mgcv/html/00Index.html>

4 – Trends en voorspelbaarheid van zeeschuim en schuimalgen

Anouk Blauw ^a, Peter Herman ^a & Theo Prins ^a

^a Deltares, Delft

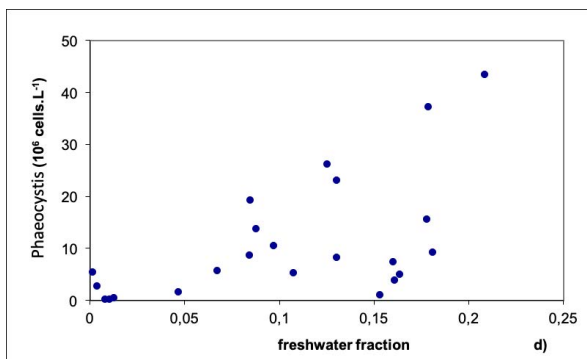
Samenvatting

Analyse van historische data van schuimalgen en schuim op het strand heeft laten zien dat serieuze hoeveelheden schuim op het strand alleen voorkomen bij aanlandige wind en intense bloei van de schuimalg *Phaeocystis globosa* voor de kust, met meer dan 10 miljoen cellen per liter. Deze intense bloeien hebben een voorspelbaar seizoenpatroon: ze treden vrijwel altijd op in april en mei. Er zijn grote verschillen in bloeiïntensiteit tussen jaren, welke niet gecorreleerd lijken met de hoeveelheid licht, voedingsstoffen of rivieraanvoeren. De afgelopen decennia is de aanvoer van meststoffen vanuit Nederlandse rivieren sterk afgenomen. Dit heeft geleid tot een significante afname van de hoeveelheid algen in het kustwater, maar niet van *P. globosa*. Het is nog niet duidelijk hoe dit verschil verklaard kan worden.

***Phaeocystis globosa*; trends en relaties met omgevingsfactoren**

Phaeocystis globosa is een alg en heeft dus voedingsstoffen en licht nodig om te groeien. Je zou daarom verwachten dat verschillen in de intensiteit van *Phaeocystis*-bloeien verklaard kunnen worden uit de beschikbaarheid van licht en voedingsstoffen. In de praktijk blijkt deze regel alleen op te gaan voor de totale biomassa van alle algensoorten, maar niet altijd voor iedere individuele algensoort. Het ruimtelijk patroon van *P. globosa* kan wel worden verklaard uit de beschikbaarheid aan voedingsstoffen: met hogere concentraties nabij de kust en lagere concentraties verder van de kust (Fig. 4.1). Maar de verschillen tussen jaren blijken niet gecorreleerd met de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen en licht. We zien wel door de jaren heen dat sterke *Phaeocystis*-bloeien vaak plaatsvinden op veel meetlocaties tegelijk.

In het meetprogramma "Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL)" van Rijkswaterstaat wordt sinds 1990 *Phaeocystis* geteld. In een analyse van de data voor OSPAR (www.ospar.org), eerst gebaseerd op de data



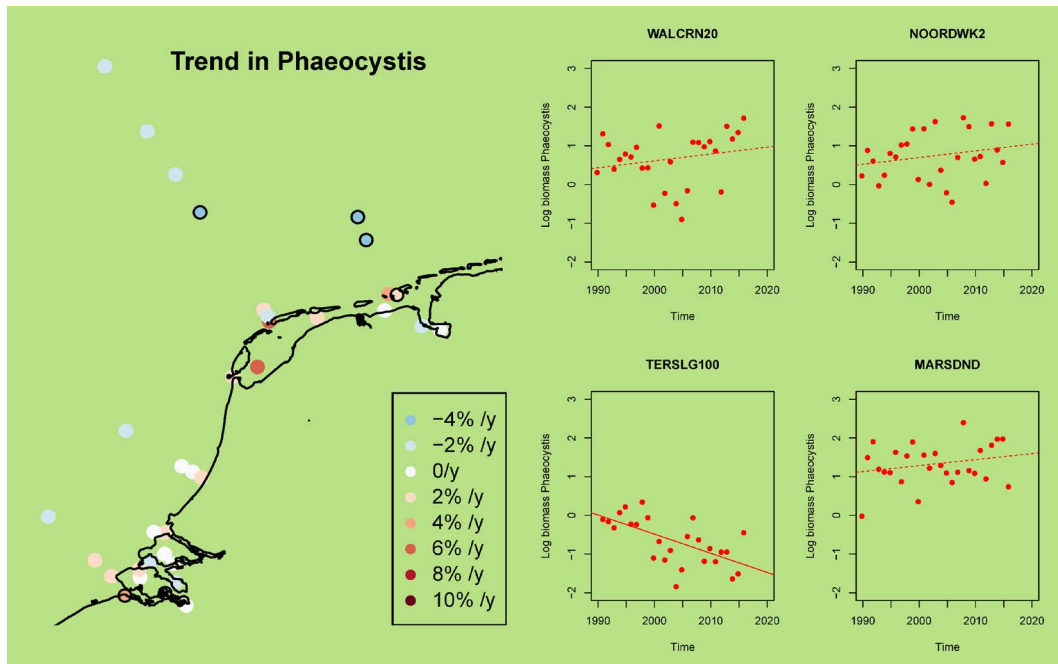
Figuur 4.1 Relatie tussen de mediaan van jaarlijkse piekhoogte van *Phaeocystis*-bloeien in het voorjaar (in miljoen cellen per liter) en de jaargemiddelde fractie zoet water voor 23 stations in de Noordzee tussen de jaren 1990 en 2000 (Blauw et al. 2010).

voor 1990-2014 (OSPAR ICG-Eut 18/3/2(L)) en later uitgebreid met de data tot en met 2016, is gekeken naar trends in *Phaeocystis*-concentraties en relaties met omgevingsvariabelen. Dit liet zien dat er ondanks dalende concentraties voedingsstoffen in het water geen dalende trend waarneembaar is in *Phaeocystis*-concentraties en dat verschillen tussen jaren niet kunnen worden verklaard op basis van licht en concentraties meststoffen. Tussen 1990 en 2016 is er op veel meetlocaties wel een significante afname te zien van de totale algenbiomassa (gemeten als chlorofyl-a).

De trends in biomassa van *Phaeocystis* in de MWTL meetstations is gevisualiseerd in Figuur 4.2. De enige significante trends zijn negatieve trends in enkele stations in open water en positieve trends bij de monding van de Westerschelde en de Eems. Op andere locaties is de trend zeer zwak en niet significant in vergelijking met de relatief grote jaar-tot-jaar-variatie. Enkele typerende stations worden ook getoond, waaronder stations in het Marsdiep ("MARSDND"), bij Noordwijk vlak bij de kust ("NOORDWK2"), ongeveer 20 km uit de kust van Walcheren ("WALCRN20"). Het station dat 100km ten noordwesten van Terschelling ligt ("TERSLG100") vertoont een sterk negatieve trend.

Voorspelbaarheid van schuimincidenten

Videobeelden bij Noordwijk van 1998 tot en met 2007 laten zien dat serieuze hoeveelheden schuim op het strand (klasse 4 in Fig. 4.3) maar enkele keren per jaar voorkomen en altijd in het voorjaar. In ongeveer de helft van de jaren wordt er niet meer dan een streepje schuim waargenomen, dat vaak maar kort blijft liggen (klasse 2 en 3; Fig. 4.3). De jaren waarin serieuze hoeveelheden schuim worden waargenomen komen overeen met de jaren dat er meer dan 10 miljoen cellen per liter *Phaeocystis* in het



Figuur 4.2 Trendanalyse van de biomassa van *Phaeocystis globosa*, op basis van de tellingen in het MWTL-programma tussen 1990 en 2016. In de kaart (links) toont de kleur van de stations de hoogte van de trend. Een significante trend wordt omlijnd met een zwarte cirkel. Voor enkele karakteristieke stations wordt rechts het verloop in de jaargemiddelden getoond, met de trendlijn die doorgetrokken is indien significant ("TERS LG100"), en gestippeld indien niet.

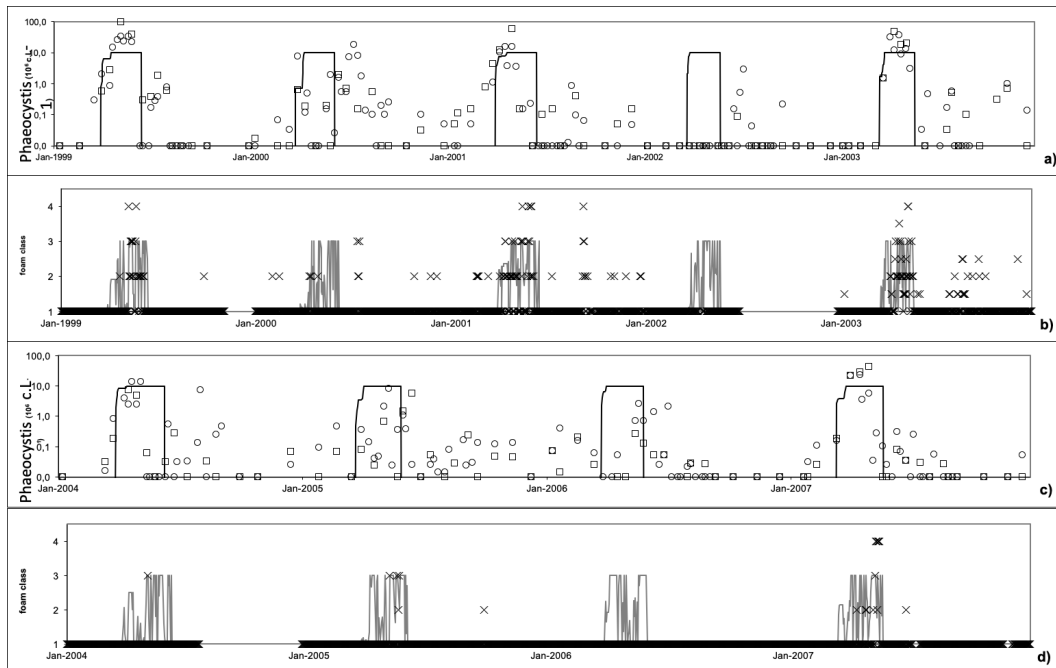
nabije kustwater worden geteld (Fig. 4.3). Verder bleek dat serieuze hoeveelheden schuim (schuimklasse 4) alleen voorkomen bij sterke wind (meer dan 6 meter per seconde, meer dan 22 km per uur) en aanlandige windrichting (bij Noordwijk tussen 30 en 215 graden; tussen noord-noordoost en zuid-zuidwest). Dit valt te verklaren doordat de algen tegen het einde van de bloei naar de oppervlakte drijven (Hamm & Rousseau 2003) en met de wind naar de kust worden meegevoerd en daar in de branding tot schuim worden opgeklopt.

De hierboven beschreven kennisregels zijn gecombineerd in een 'fuzzy-logic' model, dat berekeningen uitvoert op basis van waarschijnlijkheden. Daarmee is getest in hoeverre de waargenomen schuimincidenten op videobeelden konden worden voorspeld met de beschikbare kennis. Het bleek dat alle waargenomen schuimincidenten correct werden voorspeld, maar dat er daarnaast nog veel vals-positieve voorspellingen waren: er werd

wel schuim voorspeld, maar niet waargenomen. Omdat de variatie in *Phaeocystis* bloeien in ruimte en tijd zich nog slecht laat voorspellen, is de bruikbaarheid van een dergelijk model voor een vroegtijdige indicatie van schuimvorming en schuimophoping nog beperkt. Het schuim op de golven en op het strand is echter meestal duidelijk zichtbaar en het waait met de windrichting mee. Wanneer op de zee dus schuim te zien is en de wind lokaal parallel aan de kust staat in de richting van een obstakel in zee, dan moet er rekening mee gehouden worden dat het schuim zich bij die obstakels kan ophopen.

Methodiek

ARGUS-videobeelden van de brandingszone laten de ontwikkeling van schuim zien van uur tot uur over een lange periode. Het systeem is eigenlijk bedoeld voor de monitoring van de ontwikkeling van zandbanken aan de hand van brekende golven. De hoeveelheid schuim op



Figuur 4.3 Tijdseries van metingen van concentraties van *Phaeocystis globosa* (in miljoen cellen per liter) en schuim op het strand (ingedeeld in vier klassen) van 1999 t/m 2002 (bovenste twee grafieken) en van 2003 t/m 2007 (onderste twee grafieken). De waarnemingen van de schuimalg zijn gedaan op de stations "Noordwijk 2" (vierkanten) en "Noordwijk 10" (cirkels), die van het schuim (kruisjes) aan de hand van videobeelden op het strand van Noordwijk. De lijnen zijn de modelvoorspellingen voor algenconcentraties (waarbij een voorspelde waarde 1 duidt op 10 miljoen cellen per liter) en voor schuim (waarbij een voorspelde waarde 1 duidt op schuimklasse "3") (Blauw et al. 2010).

de videobeelden is op het oog ingedeeld in 4 klassen. Door combinatie van deze schuim-waarnemingen met metingen van *Phaeocystis* en windsnelheid en -richting hebben we een kennisregelmodel (met fuzzy logic) ontwikkeld en getoetst om de aanwezigheid van 'serieuze' hoeveelheden schuim (klasse 4, als in Fig. 4.4) te begrijpen en voorspellen.



Figuur 4.4 Voorbeeld van een videobeeld dat is ingedeeld in klasse 4 (gedefinieerd als "serieuze hoeveelheden schuim").

Referenties

- Blauw, A.N., F.J. Los, J. Huisman, L. Peperzak, 2010. Nuisance foam events and *Phaeocystis globosa* blooms in Dutch coastal waters analyzed with fuzzy logic. *Journal of Marine Systems* 83, 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.05.003>.
- Hamm, C.E., V. Rousseau, 2003. Composition, assimilation and degradation of *Phaeocystis globosa* derived fatty acids in the North Sea. *Journal of Sea Research* 50, 271-283. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(03\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(03)00044-3).
- OSPAR, 2018. *Phaeocystis* as indicator for eutrophication assessments. OSPAR document ICG-Eut 18/3/2(L).

5 – Langjarige ontwikkelingen en recente data schuimalg in het Marsdiep

Katja Philippart ^{a,b}, Pascale Jacobs ^a, Anneke van den Oever ^c & Alain Zuur ^d

^a Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ-NWOi), Texel

^b Universiteit Utrecht, (UU), Utrecht

^c Bureau Waardenburg BV, Haren

^d Highland Statistics, Aberdeen (UK)

Samenvatting

De tijdserie van historische algenmonsters uit het Marsdiep, verzameld van 2009 t/m 2018, laat zien dat hoge dichtheden van de schuimalg (meer dan 10 miljoen cellen per liter) vooral voorkwamen rond april en mei. De dichtheden op 7 mei en 11 mei 2020 waren zeker hoog te noemen, met name de dichtheden van de koloniecellen op 11 mei. De extreem hoge dichtheden van 28 april 2020 waren hier echter nog niet eerder waargenomen sinds de tellingen startten in 2009. Onderzocht wordt nog of er in de afgelopen twaalf jaar (2009-2020) een verandering heeft plaatsgevonden in de concentraties van de schuimalg in het Marsdiep, en in hoeverre ontwikkelingen in het Marsdiep parallel liepen met die op andere locaties in de Waddenzee en Noordzee.

Schuimalgconcentraties

Van 2009 t/m 2018 zijn hoge concentraties van de koloniecellen van de schuimalg *Phaeocystis globosa* (meer dan 10 miljoen cellen per liter) waargenomen tussen 9 april en 28 mei (zie onderste paneel van Fig. 5.1 en Tabel 5.1). Op 28 april van dit jaar, twee weken voor het fatale ongeluk in Scheveningen, werd in het Marsdiep een concentratie koloniecellen gemeten van 38 miljoen cellen per liter. Nooit eerder in de periode van 2009 tot heden was de gemeten concentratie in het Marsdiep zo hoog. De eerstvolgende monsternamen was op 7 mei, de concentratie was toen afgenomen, maar nog steeds hoog te noemen (12 miljoen cellen per liter). Op 11 mei is de concentratie koloniecellen weer toegenomen tot 15 miljoen per liter en op 15 mei is er met 4 miljoen cellen per liter geen sprake meer van een grote bloei (zie onderste paneel van Fig. 5.1 en Tabel 5.1).

De totale concentraties (som van individuele cellen in de kolonies en solitaire cellen) vertonen een vergelijkbaar beeld, (i) met pieken in april en mei, (ii) met de totale concentratie op 28 april 2020 hoger dan ooit eerder gemeten sinds 2009 en met waarden op 7 en 11 mei die vrij hoog zijn maar niet hoger dan eerder gemeten tussen 2009 en 2018, en (iii) met een afname tussen 28 april en 7 mei, een toename tussen 7 en 11 mei en vervolgens een daling tussen 11 en 15 mei (Fig. 5.2).

De fractie koloniecellen varieert tussen 0% (fractie = 0) als alle cellen solitair zijn en 100% (fractie = 1) als alle cellen koloniecellen zijn.

Met uitzondering van 2009 bestaat de schuimalg meer uit koloniecellen dan uit solitaire cellen (Fig. 5.3). Tussen 7 mei en 11 mei 2020 nam het aandeel in koloniecellen af (Fig. 5.3), terwijl het totaal aantal cellen toenam. Dit duidt mogelijk op het instorten van de kolonies gedurende deze vier dagen, wat in lijn is met de waargenomen "verslechterde" kwaliteit van de schuimalgcellen tijdens de tellingen.

Langjarige veranderingen

De concentraties eind april 2020 waren de hoogste sinds het begin van de waarneming in 2009. Dit zou kunnen wijzen op een langjarige toename (van 2009 t/m 2020), maar het onderzoek naar eventuele langjarige trends en mogelijke seizoenverschuiving in de bloei-periode loopt nog.

Methodiek

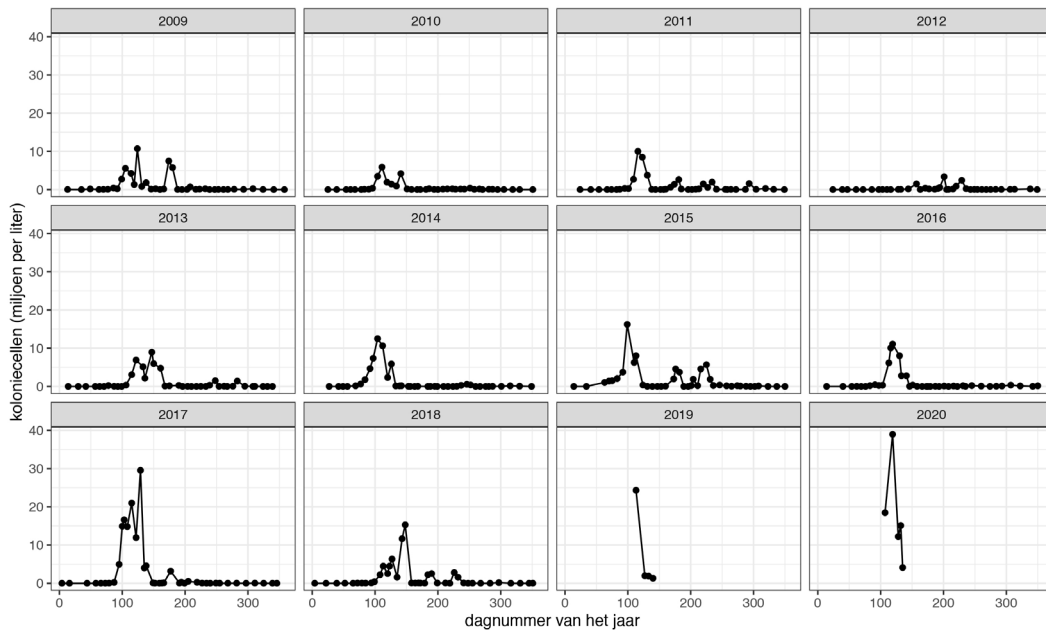
Sinds 1975 wordt ongeveer veertig keer per jaar tijdens hoogwater een watermonster genomen vanaf de NIOZ-meetsteiger uit het Marsdiep om de ontwikkelingen van zwevende algen en de mogelijk sturende factoren te volgen (Philippart et al. 2007, 2012). Van elk monster wordt ook een deel gereserveerd voor microscopische algentellingen, die sinds 2009 worden uitgevoerd door Bureau Waardenburg (voorheen Koeman & Bijkerk) volgens een gezamenlijk opgesteld telprotocol (Jacobs et al. in voorbereiding).

Voor de schuimalg (*Phaeocystis globosa*) wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen koloniecellen en solitaire cellen; deze worden apart geteld. De totale concentratie van de schuimalg is de som van de concentraties van deze twee typen cellen.

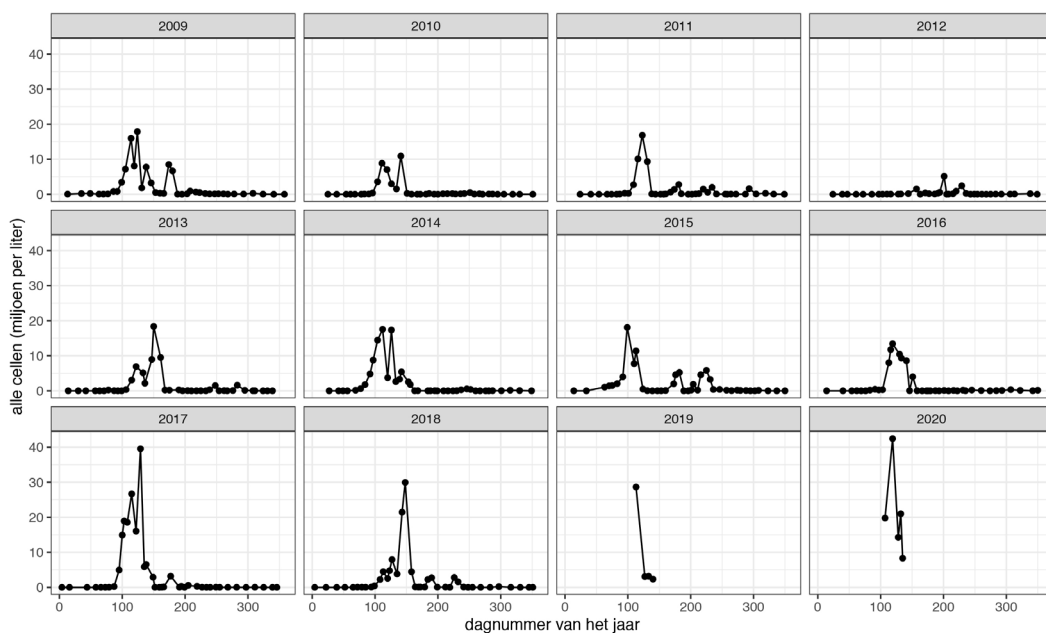
De meeste tellingen voor 2019 en 2020 moeten nog worden uitgevoerd, ten behoeve van deze notitie hebben de tellingen van april en mei in 2019 en 2020 voorrang gekregen.

Referenties

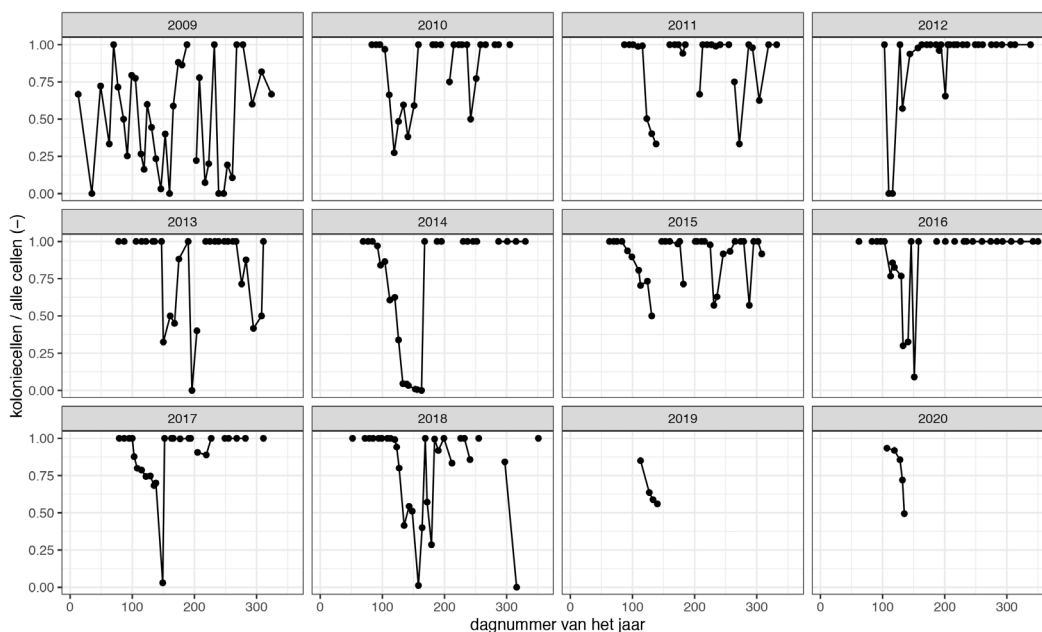
- Philippart, C.J.M., J.J. Beukema, G.C. Cadée, R. Dekker, P.W. Goedhart, J.M. van Ieperen, M.F. Leopold & P.M.J. Herman, 2007. Impacts of nutrient reduction on coastal communities. *Ecosystems* 10: 95-118 (<https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-006-9006-7>)
- Philippart, K, J. Kromkamp, P. Herman, 2012. Fytoplankton en microfytobenthos in de Waddenzee. De Levende Natuur, mei 2012, 79-82 (<http://natuurtijdschriften.nl/download?type=document;docid=580380>)



Figuur 5.1. Gemeten concentraties (in miljoen cellen per liter) van de koloniecellen van de schuimalg in het Marsdiep van 2009 t/m 2020 (op het dagnummer van de monsternames). De jaren 2009 t/m 2018 bevatten alle waarnemingen, die van 2019 en 2020 zijn nog maar een deel van alle monsternames.



Figuur 5.2 Gemeten concentraties (in miljoen cellen per liter) van alle cellen van de schuimalg in het Marsdiep van 2009 t/m 2020 (op het dagnummer van de monsternames). De jaren 2009 t/m 2018 bevatten alle waarnemingen, die van 2019 en 2020 zijn nog maar een deel van alle monsternames.



Figuur 5.3 Fractie koloniecellen van alle cellen van de schuimalg in het Marsdiep van 2009 t/m 2020 (op het dagnummer van de monsternames). De jaren 2009 t/m 2018 bevatten alle waarnemingen, die van 2019 en 2020 zijn nog maar een deel van alle monsternames. De overige analyses worden nog uitgevoerd. Waarnemingen waarbij geen schuimalgen aanwezig waren verschijnen niet in deze grafiek.

Tabel 5.1 Overzicht van de gemeten concentraties van koloniecellen van de schuimalg *Phaeocystis globosa* (alle waarnemingen met meer dan 10 miljoen cellen per liter), gerangschikt van hoge naar lagere concentratie, tijdens de metingen in het Marsdiep van 2009 t/m 2018 (398 bemonsteringen), met additionele vermelding van dichtheden van meer dan 10 miljoen cellen per liter in de tot nu toe getelde voorjaarsmonsters van 2019 en 2020.

Nr	Datum	Concentratie (aantal cellen per liter)	
		Tijdsree 2009-2018	Waarnemingen 2019 & 2020
1	28/04/2020		38.974.359
2	09/05/2017	29.557.110	
3	23/04/2019		24.335.664
4	25/04/2017	20.979.021	
5	16/04/2020		18.461.538
6	13/04/2017	16.596.737	
7	09/04/2015	16.223.776	
8	28/05/2018	15.291.375	
9	11/05/2020		15.104.895
10	10/04/2017	14.918.415	
11	18/04/2017	14.825.175	
12	14/04/2014	12.494.172	
13	07/05/2020		12.214.452
14	02/05/2017	11.934.732	
15	23/05/2018	11.655.012	
16	28/04/2016	11.095.571	
17	04/05/2009	10.707.071	
18	22/04/2014	10.629.371	
19	25/04/2016	10.069.930	
20	26/04/2011	10.004.810	

6 – Recente ontwikkelingen schuimalg in de Noordzee

Marnix Laanen ^a, Lazaros Spaias ^a, Annelies Hommersom ^a & Steef Peters ^a

^a Water Insight BV, Wageningen

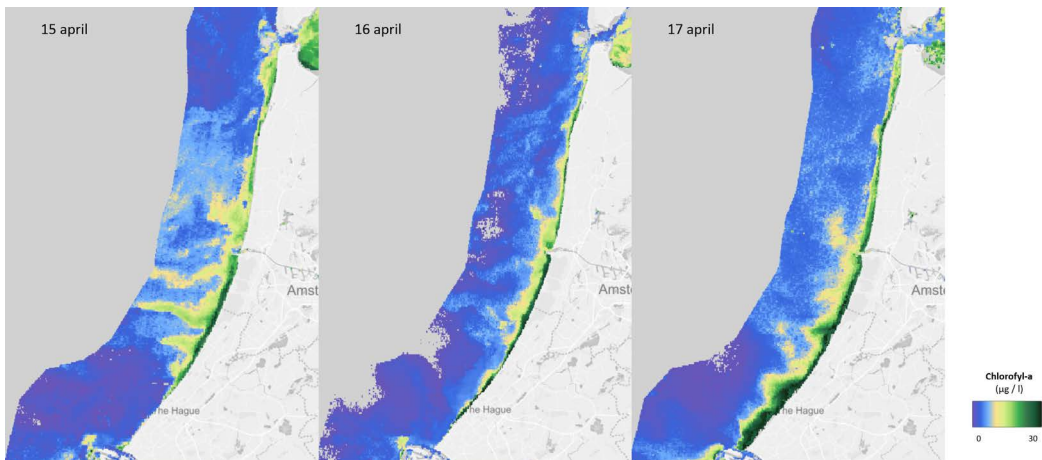
Samenvatting

Analyse van satellietbeelden van april en mei 2020, gericht op de aanwezigheid van zwevende algen (waartoe de schuimalg *Phaeocystis globosa* behoort), laat zien dat de hoogste algenbiomassa in deze periode vooral vlak voor de kust van Zuid- en Noord-Holland voorkwam. Een grote bloei begon rond half april en verdween begin mei. Het afsterven van deze grote bloei in combinatie met de harde wind zou de hoeveelheid schuim op het water kunnen verklaren.

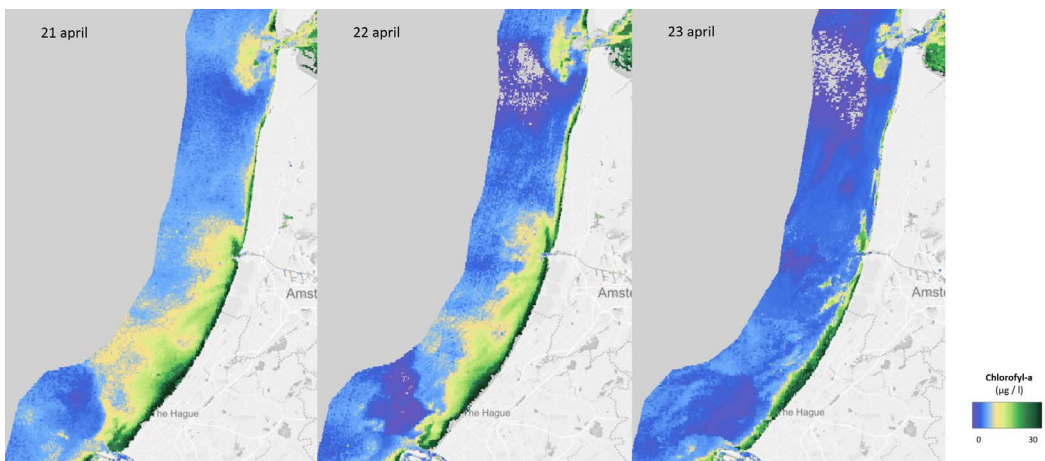
Concentraties mariene algen

Een aantal beelden van het OLCI-instrument op de satelliet Sentinel-3 zijn bewerkt tot kaarten van chlorofyl-a om de algenbloei te volgen in de tijd. Chlorofyl-a (Chl-a) is het belangrijkste pigment van de schuimalg *Phaeocystis globosa*, maar ook van andere algen die rond deze tijd veel voorkomen, zoals kiezelalgen. Op de kaarten is daarom te zien waar de lagere (blauw) en hogere (groen) concentraties algen voorkomen, maar niet om welke alg het gaat.

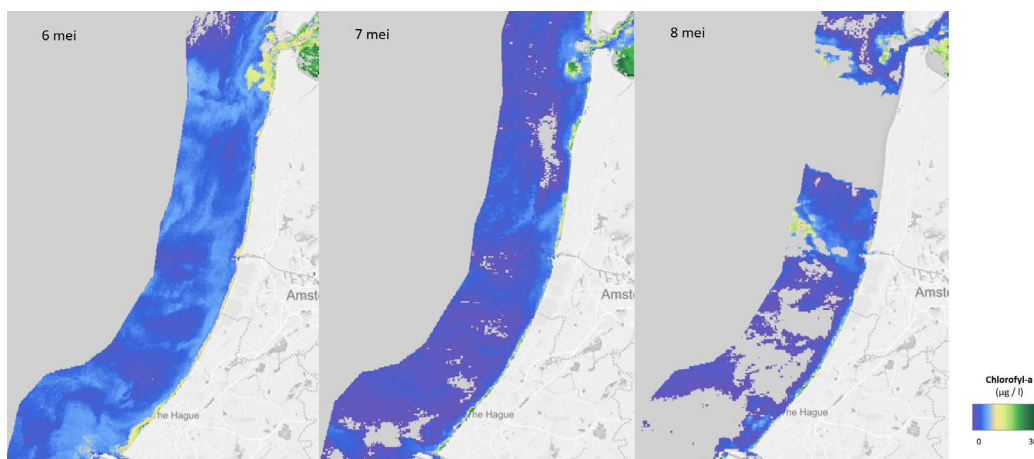
Op sommige dagen strekten de hoge dichtheden zich wat verder uit naar open zee (zoals op 15, 21 en 22 april; Fig. 6.1 & 6.2) terwijl op andere dagen (zoals op 23 april en 9 mei; Fig. 6.2 & 6.4) de hoogste dichtheden zich pal onder de kust bevonden. Er waren in deze periode ook dagen waarop de concentraties voor de kust van Zuid- en Noord-Holland heel laag waren (zoals op 7 mei; Fig. 6.3).



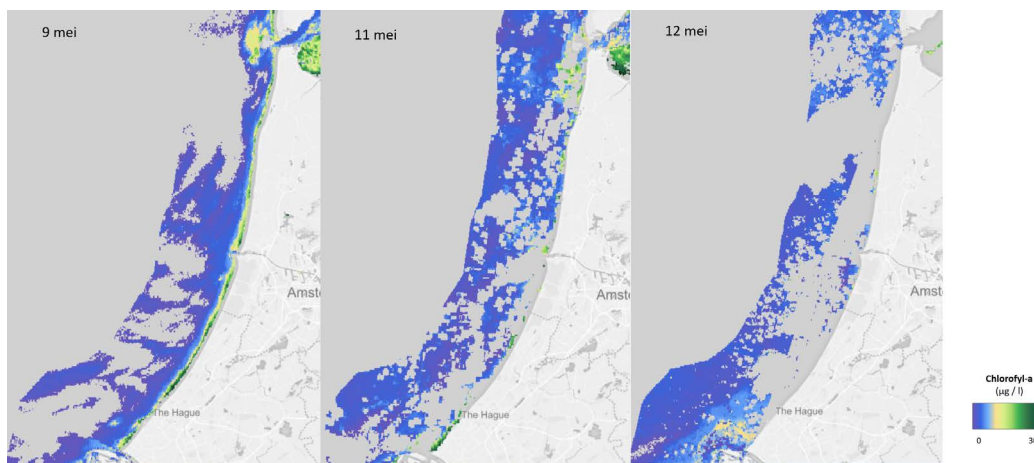
Figuur 6.1 Berekende concentraties van mariene algen langs de Hollandse kust van 15 t/m 17 april 2020 op basis van satellietbeelden (Sentinel-3 OLCI).



Figuur 6.2 Berekende concentraties van mariene algen langs de Hollandse kust van 21 t/m 23 april 2020 op basis van satellietbeelden (Sentinel-3 OLCI).



Figuur 6.3 Berekende concentraties van mariene algen langs de Hollandse kust van 6 t/m 8 mei 2020 op basis van satellietbeelden (Sentinel-3 OLCI).



Figuur 6.4 Berekende concentraties van mariene algen langs de Hollandse kust van 9, 11 en 12 mei 2020 op basis van satellietbeelden (Sentinel-3 OLCI).

Door de wolkenbedekking is het beeld van 11 mei 2020 onvolledig. In het algemeen lijken de dichtheden laag. Wel valt te zien dat er het moment van de opname (09:50 lokale tijd) algen zijn tussen het Haringvliet en Den Haag, en ter hoogte van IJmuiden, Petten en Den Helder.

Methodiek

Voordat er algenconcentraties uit kunnen worden afgeleid, moeten satellietbeelden eerst voor atmosferische effecten worden gecorri-

geerd. Dit is gedaan met de meest recente versie van de C2RCC-processor (Brockmann et al. 2016) in de SNAP-software. Daarna is de concentratie van chlorofyl-a, als maat voor de totale biomassa van alle algen samen, afgeleid met een door Water Insight aangepaste versie van het Gons algoritme (Gons 1999). De aanpassing is gedaan door de waarden van enkele van de parameters in deze berekening, zoals die van de specifieke absorptie iets te veranderen, om de concentraties in de Oosterschelde passend te krijgen en door de berekeningen zelf iets te veranderen omdat de oorspronkelijke

formules waren ontwikkeld voor een andere satelliet dan de nu gebruikte Sentinel-3.

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in het CoastObs-project (<https://coastobs.eu>; grant agreement No 776348), gefinancierd in het kader van een Europees (H2020) innovatieprogramma. Binnen CoastObs worden door Water Insight operationele informatiediensten ontwikkeld op basis van aardobservatiedata met onder andere Rijkswaterstaat als eindgebruiker.

Referenties

- Peters, S., Laanen, M., Hommersom, A., Spaias, L., 2020. Doorontwikkeling satellietdatagebruik in waterbeheer Eems-estuarium, Rapport voor Rijkswaterstaat.
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Kerstin, S., Embacher, S., Ruescas, A., 2016. Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters. Living Planet Symposium, Proceedings of the conference held 9-13 May 2016 in Prague, Czech Republic. Edited by L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3, p.54
- Gons, H.J., 1999. Optical teledetection of chlorophyll a in turbid inland waters. *Environmental Science & Technology*, 33, 1127–1132. <https://doi.org/10.1021/es9809657>

7 – Recente ontwikkeling zeeschuim op de Nederlandse kust

Jaime Pitarch ^{a,b}

^a Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ-NWOi), Texel

^b Institute of Marine Sciences (CNR), Rome (IT)

Samenvatting

Analyse van wolkenvrije ESA Sentinel-3 satellietbeelden van 6 en 9 mei 2020, gericht op de aanwezigheid van drijvend materiaal zoals zeeschuim, laat zien waar dit materiaal zich langs de hele Nederlandse kust in deze drie dagen vormde en ophoopte. Volgens deze beelden werd de strook met het accumulerende drijvend materiaal (waarschijnlijk zeeschuim) voor de stranden breder van ongeveer 300 m op 6 mei tot ongeveer 1,5 km op 9 mei. Deze waarden zijn mogelijk te hoog, vanwege andere signalen, zoals in het water zwevende materialen, brekende golven en lichtweerskaatsing van het strand, die het satellietbeeld op de grens van land en water beïnvloedden.

Zeeschuim op het water

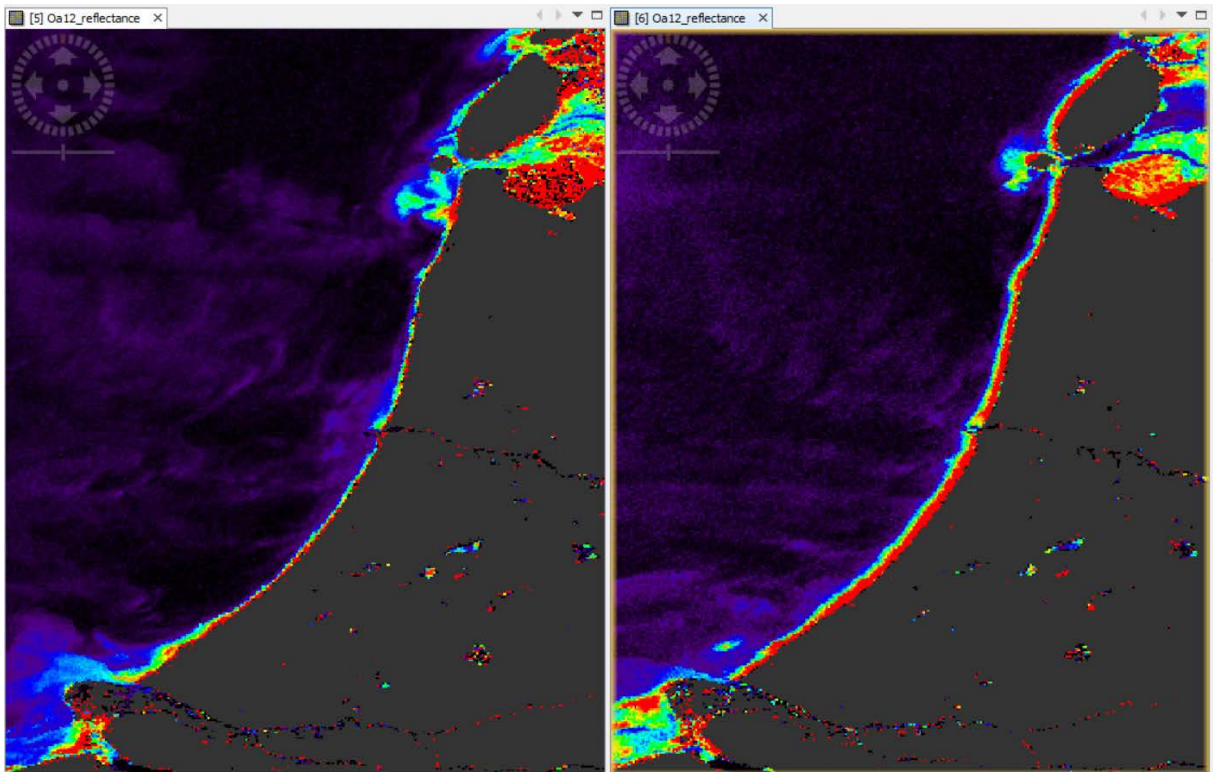
Na het ineenstorten van de kolonies van de schuimalg *Phaeocystis globosa* kan de inhoud van de voormalige koloniecellen door waterbewegingen worden opgeklopt en vervolgens door wind en zeestromen getransporteerd. Het meeste zeeschuim ontstaat op locaties waar zich de meeste resten van de algen bevinden en de waterbeweging het grootst is. Als er geen nieuw schuim meer bijkomt, zal dit inzakken en uiteindelijk verdwijnen.

Wolkenvrije satellietbeelden van 6 en 9 mei 2020 laten zien dat de schuimvorming plaatsvond in de branding vlak langs de kustlijn

en in overige relatief ondiep water, zoals aan de zeezijde van het Haringvliet en het meest westelijke zeegat (Marsdiep) van de Waddenzee (Fig. 7.1). Tussen 6 mei en 9 mei lijkt het zeeschuim zich met name te hebben opgehoopt op de Nederlandse stranden, waarbij de strook bedekt met (minder of meer) zeeschuim zich binnen vier dagen verbreedde van ongeveer 300 meter tot ongeveer 1500 meter (Fig. 7.1).

Methodiek

De satellietbeelden ("Level 2", d.w.z. gecorrigeerd voor atmosferische condities en geografisch gekalibreerd) zijn opgehaald van de Eumetsat Coda server. De delen van het beeld



Figuur 7.1 Wolkenvrije satellietbeelden (Sentinel-3) van de Nederlandse kust op 6 mei 2020 (links) en 9 mei 2020 (rechts). De sterkte van de reflectie van licht met een golflengte van 753 nm geeft een indicatie van de hoeveelheid drijvend materiaal (zoals zeeschuim) aan het wateroppervlak, waarbij de rode kleur een hoge reflectie aangeeft en de paarsblauwe een lage. De grootte van de blokjes waaruit het beeld is opgebouwd is 300x300m. De hoge waarden in de Waddenzee worden mede veroorzaakt door reflectie van de bodem van (droogvallende) wadplaten, en niet door drijvend materiaal.

die op land liggen zijn afgedekt met een zogenaamd masker. De gebruikte golflengte (753 nm) is gebaseerd op Spyrakos et al. (2017). De golflengte van 753 nm is echter ook gevoelig voor alle zwevend deeltjes in het water (dus niet alleen algen, maar ook zand en slib): hoe hoger het gehalte aan zwevende deeltjes, hoe hoger de reflectie in deze band. Verwacht kan worden dat de hoeveelheid zwevende deeltjes dicht bij de kust juist hoog is, zeker bij harde wind. Mogelijk is een deel van de hoge reflectie vlak langs de kust ook te wijten aan hoge reflectie van het strand. Een blokje (pixel) met strand, noemen we dan ook een "mixel"- een blokje op de grens van water en land. Daarnaast kan mogelijk het zogenaamde "adjacency effect" spelen. Blokjes met strand hebben dan zo'n hoge reflectie dat ze de waarden in de blokjes met aangrenzend zeewater overstralen. Deze effecten kunnen een overschatting opleveren van de hoeveelheid drijvend/zwevend materiaal vlak langs de kust.

Referentie

Spyrakos, E. et al., 2017. Optical types of inland and coastal waters. *Limnology and Oceanography* 63, 846-870. <https://doi.org/10.1002/lno.10674>

8 – Recente ontwikkeling zeeschuim in de Noordzeekustzone

Dimitry Van der Zande ^a & Kevin Ruddick ^a

^a Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), Brussel (B)

Samenvatting

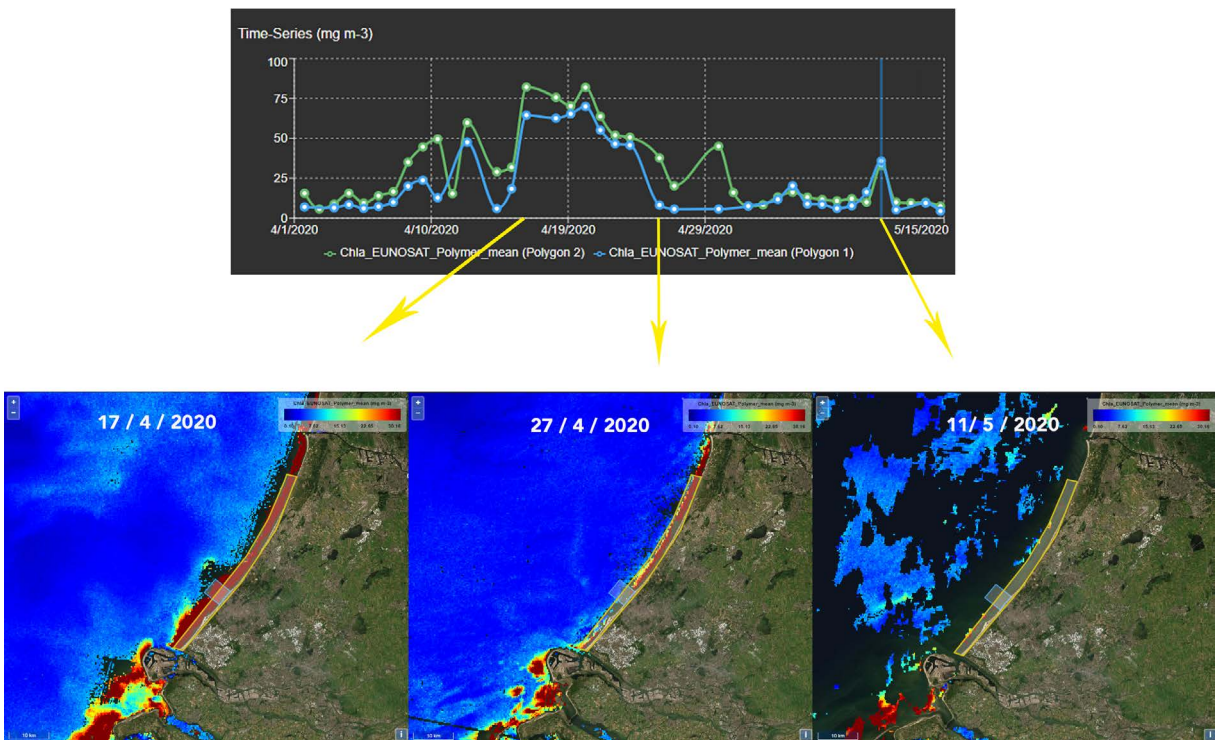
Een combinatie van satellietbeelden met een spatiale resolutie van 300m (Sentinel-3) en 10m (Sentinel-2) is bruikbaar voor de observatie van algenbiomassa en zeeschuim in het zeewater. Een tijdreeks van Sentinel-3-beelden toont eind april 2020 een sterke algenbloei in de nabijheid van Scheveningen en langs de kust van Zuid-Holland. Deze bloei verzwakt begin mei op grotere afstand van de kust terwijl dichtbij de kust hoge concentraties meetbaar blijven. Vervolgens worden hoge resolutie beelden gebruikt ter opsporing van zeeschuim zoals zichtbaar op het beeld van 5 mei 2020. Het (automatisch) detecteren en combineren van deze informatie zou kunnen bijdragen aan een automatisch waarschuwingssysteem voor zeeschuim langs de kust.

Algenbiomassa

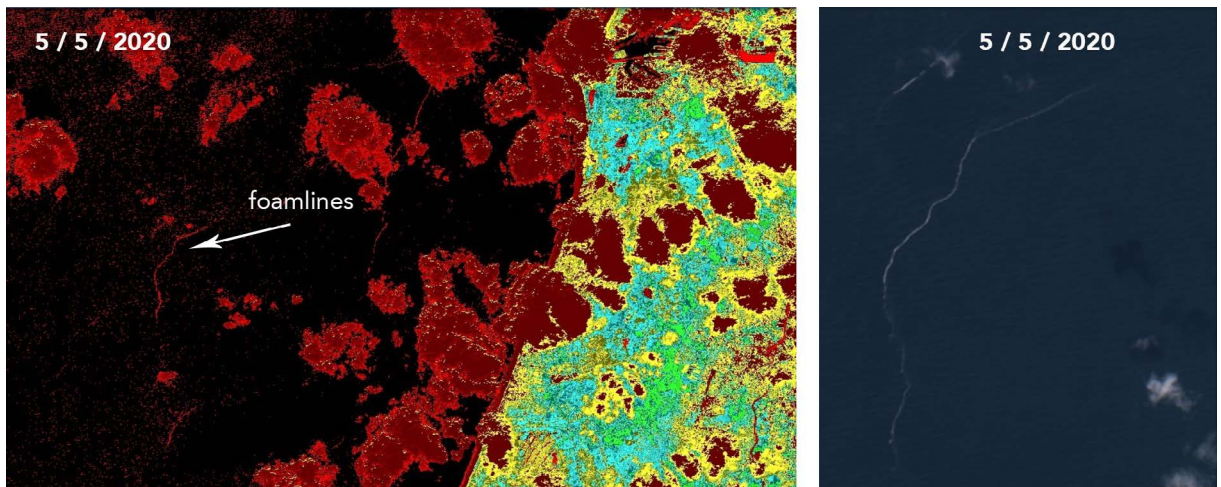
Voor onderzoek naar de aanwezigheid van schuim op het water in de omgeving van Scheveningen is eerst gekeken naar de ontwikkeling van de algenbloeien, waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen de schuimalg en andere soorten algen. Hiervoor is een tijdserie gemaakt van 15 april 2020 t/m 13 mei 2020 aan de hand van satellietbeelden van Sentinel-3. Die satelliet maakt dagelijks beelden met een resolutie van 300x300m en levert informatie van delen van de Noordzee die niet bedekt met wolken. In deze beelden zijn twee deelgebieden onderscheiden, namelijk (i) een vierkant gebied van 5 km

rondom de Buitenhaven (blauw omlijnd gebied in Fig. 8.1), en (ii) een kuststrook van ongeveer 50 km breed van Hoek van Holland tot aan Zandvoort (groen omlijnd gebied in Fig. 8.1).

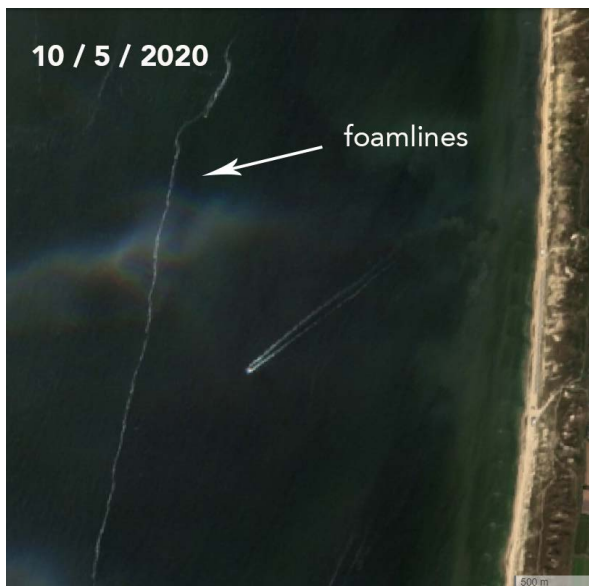
Beide tijdseries laten zien dat de algenbiomassa hoog (chlorofyl-a concentraties hoger dan 50 mg per m³) was tussen 17 en 21 april 2020 (Fig. 8.1, bovenste paneel), met name langs de kust van Zuid-Holland (Fig. 8.1, paneel linksonder). Vanaf 20 april 2020 nemen de concentraties af (Fig. 8.1), maar zijn op 27 april 2020 vlakbij de kust ten noorden van Noordwijk nog steeds hoog (Fig. 8.1, paneel midden onder).



Figuur 8.1 Ontwikkeling in berekende biomassa van algen in de directe omgeving van Scheveningen op basis van satellietbeelden van Sentinel-3. Het bovenste paneel toont het verloop van chlorofyl-a (maat voor algenbiomassa) in mg per kubieke meter van 1 april t/m 15 mei 2020. De blauwe lijn geeft de concentratie rond de Buitenhaven weer (blauw omlijnd blokje in foto's), de groene lijn een gebied vlak onder de kust (groen omlijnd gebied). De onderste panelen geven een ruimtelijk overzicht van de lokale verspreiding van de algenbiomassa op 4 april 2020 (links), 26 april 2020 (midden) en 11 mei 2020 (rechts), waarbij rood hoge en blauw lage dichtheden zijn. De donkere (zwarte) plekken op deze foto's zijn wolken of tonen locaties aan waar de chlorofyl-a algoritmes na de kwaliteitscontrole niet betrouwbaar werden beschouwd, waardoor geen chlorofyl-a schatting gemaakt werd.



Figuur 8.2 Schuimlijnen ("foam lines") op zee (ten zuidwesten van Scheveningen) op 5 mei 2020 op basis van satellietbeelden van Sentinel-2. De schuimlijnen zijn het best te zien bij gebruik van de ratioindex tussen de infrarode (842nm) en rode (665nm) banden (links), het rechterbeeld (in werkelijke kleuren) dient als controle, bijvoorbeeld voor de detectie van wolken (links als rode vlekken, rechts als witte).



Figuur 8.3 Schuimlijnen ("foam lines") op zee (ten zuidwesten van Den Helder) op 10 mei 2020 om 09:50 lokale tijd op basis van een satellietbeeld van Sentinel-2. In dit geval is de ratio-index tussen de infrarode (842nm) en rode (665nm) banden (links) door sluierwolken niet direct bruikbaar. De schuimlijnen zijn wel zichtbaar in het beeld met werkelijke kleuren ('RGB').

Een soortgelijke situatie is zichtbaar op het beeld van 5 mei 2020 waar een zone met hoge algenbiomassa zich in een smalle strook (minder dan 1 km) onder de kust bevindt (Fig. 8.2). Op 11 mei 2020 (om 11:30 lokale tijd) is de zone rond Scheveningen sterk bewolkt waardoor weinig satelliet data beschikbaar is. Uit de resterende pixels kan nog steeds worden afgeleid dat de zone dicht bij de kust een hoge algenbiomassa kent rond Scheveningen alsook ter hoogte van Zeeland (Fig. 8.1, paneel rechtsonder).

Schuimlijnen

Nadat de bloeiperioden zijn gedetecteerd, is gekeken naar de aanwezigheid van schuim op het water. Hiervoor is gebruik gemaakt van satellietbeelden van de Sentinel-2 (maakt driedagelijks beelden met een resolutie van 10x10m, Ruddick *et al.* 2016). Op het beeld van 5 mei 2020 laat een ratio-index tussen de infrarode (842nm) en rode (665nm) banden het meest duidelijk zien dat zich ten zuidwesten van Scheveningen schuimlijnen hebben gevormd (Fig. 8.2 links), een controle aan de hand van de 'werkelijke kleuren' (RGB) bevestigt dit beeld (Fig. 8.2 rechts).

Op het beeld van 10 mei 2020 is door een dik wolkendek slechts een beperkte zone rond Scheveningen zichtbaar; in deze zone werden geen schuimlijnen gedetecteerd. Meer noordelijk bij Den Helder werden op die dag wel schuimlijnen gedetecteerd (Fig. 8.3). Bijkomend wetenschappelijk onderzoek is nodig om deze schuimlijnen met zekerheid te onderscheiden van schuim van andere origine (bijv. golfslag) dicht bij de kust. Dit zou een automatische detectie van het zeeschuim optimaliseren.

Waarschuwingssysteem

Door het (automatisch) detecteren en combineren van informatie van satellietbeelden over algenbloeien kan een waarschuwingssysteem opgezet worden. Hierbij kan Sentinel-3 data gebruikt worden om een eerste signaal te geven over de aanwezigheid van algen (chlorofyl-a-waarden hoger dan 15 mg per m³).

Data van Sentinel-2 kunnen vervolgens gescand worden ter detectie van zeeschuim zodat zowel de aanwezigheid van de schuimalg als de start van het afbraakproces bevestigd wordt. Deze laatste detectie kan resulteren in een binaire vlag: zeeschuim was aanwezig/afwezig in de afgelopen zeven dagen. Bij aanwezigheid van zeeschuim kan de waakzaamheid verhoogd worden en moet men bij aanlandige wind extra alert zijn op schuimvorming langs de kust.

De daadwerkelijke observatie van schuimvorming kan het best uitgevoerd worden met camera's (zie Hoofdstuk 4). Dit omdat de ophoping van schuim aan de kust snel kan gebeuren en zeer lokaal kan optreden; satellietgegevens geven als gevolg van bedekking door wolken slechts een gedeeltelijk beeld om de een à drie dagen en zijn niet geschikt om snellere dynamische processen te monitoren. Langdurige bewolking zorgt daarnaast ook voor een gebrek aan gegevens.

Methodiek

De Sentinel-data werden verwerkt met de operationele EODATABEE-processor door het REMSEM-team van het KBIN. Voor Sentinel-3 (300m resolutie, dagelijkse acquisitie) werd de atmosferische correctie uitgevoerd met Polymer v4.12 (<https://www.hygeos.com/polymer>) waarna het EUNOSAT-chlorofylalgoritme werd toegepast (Van der Zande et al. 2019). De EUNOSAT-toepassing is een combinatie van de algoritmes OC4, OC5 en Gons met bijhorende kwaliteitscontroles, ter garantie van accurate en coherente schatting van de hoeveelheid chlorofyl-a in verschillende types water (bijvoorbeeld helder en troebel water). Deze beelden maken het mogelijk om de start van het groeiseizoen van de algen te detecteren.

Zodra deze start bekend was, zijn Sentinel-2 beelden (10m resolutie, 3-5 dagelijkse acquisitie) gebruikt ter detectie van *Phaeocystis*-schuimlijnen in het water. Deze detectie gebeurde via een bandratio van de rode en infrarode banden en RGB-beelden. Dit is mogelijk op beelden zonder atmosferische correctie (L1) die vrij beschikbaar zijn op de Sentinel Hub webapplicatie die wordt geoperationaliseerd door Synergise (<https://www.sentinel-hub.com/>). Sentinel-2 en Sentinel-3 data werden verwerkt binnen het H2020-project DCS4COP (<https://dcs4cop.eu/>, grant agreement 776342).

Referenties

- Ruddick, K. Vanhellemont, Q., Dogliotti, A., Nechad, B., Pringle, N., Van der Zande, D., 2016. New opportunities and challenges for high resolution remote sensing of water colour. Extended Abstract submitted to Ocean Optics 2016 Conference on 7th October 2016.
- Van der Zande, D., Lavigne, H., Blauw, A., Prins, T., Desmit, X., Eleveld, M., Gohin, F., Pardo, S., Tilstone, G., Cardoso Dos Santos, J. (2019). Enhance coherence in eutrophication assessments based on chlorophyll, using satellite data as part of the EU project 'Joint monitoring programme of the eutrophication of the North Sea with satellite data' (Ref: DG ENV/MSFD Second Cycle/2016). Activity 2 Report. 106 pp.

9 – Wind-klimatologie langs de Nederlandse kust

Theo Gerkema ^a

^a Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ-NWOi), Yerseke

Samenvatting

De op 11 mei harde (7 Beaufort) wind was vrij zeldzaam voor deze tijd van het jaar, met name in combinatie met de waargenomen windrichting tussen noord en noordoost.

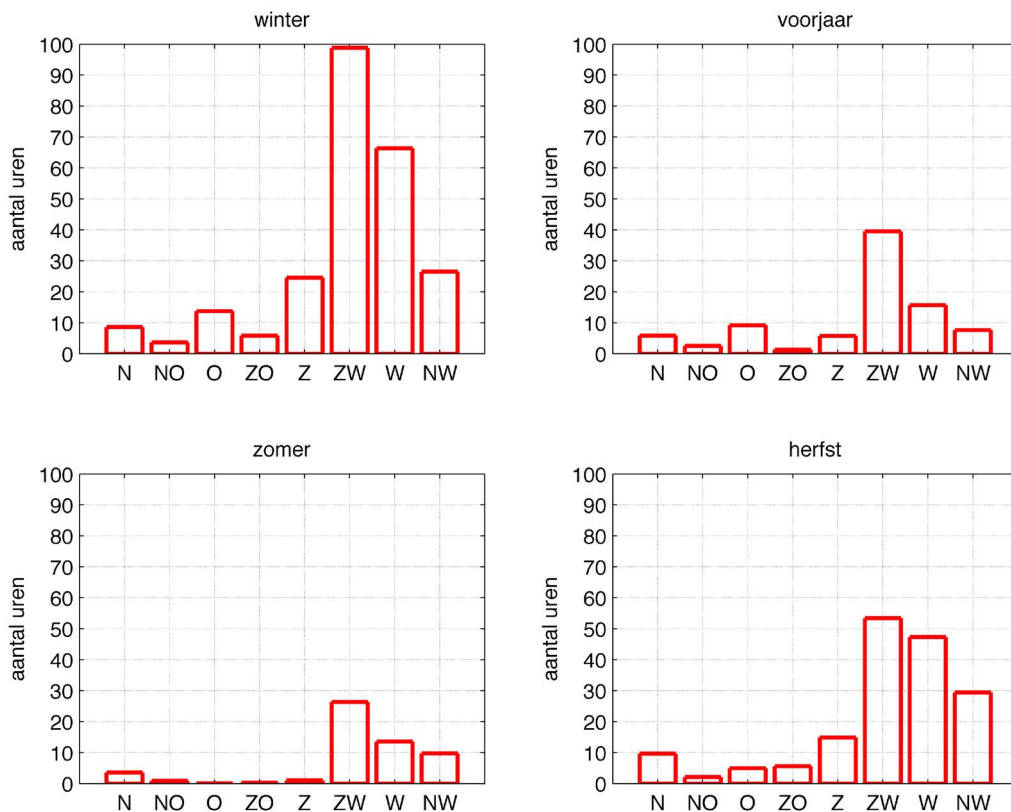
Windsnelheid en -richting

Op maandag 11 mei 2020 heerste aan het einde van de middag een harde wind, windkracht 7 Beaufort. Incidenteel waren er hardere windstoten, maar deze waren relatief kortdurend en droegen daardoor weinig extra bij aan het transport van het algenschuim.

Langjarige (1996-2018) waarnemingen van windsnelheden tussen op de Vliehors, een locatie die door de open ligging een goed beeld geeft van het windklimaat in de nabije Noordzee, laten zien dat windkracht 7 (d.w.z.

windsnelheden tussen 50 en 61 km/uur) vrij zeldzaam is in deze tijd van het jaar (Fig. 9.1). Deze windkracht treedt vooral op in de winter en de herfst; in het voorjaar komt windkracht 7 relatief weinig voor.

Bovendien komt deze windkracht door het jaar heen veruit het meest voor bij zuidwestenwinden (d.w.z. een wind uit het zuidwesten), gevolgd door westenwinden. De op 11 mei optredende wind tussen noord en noordoost komt dus relatief weinig voor.



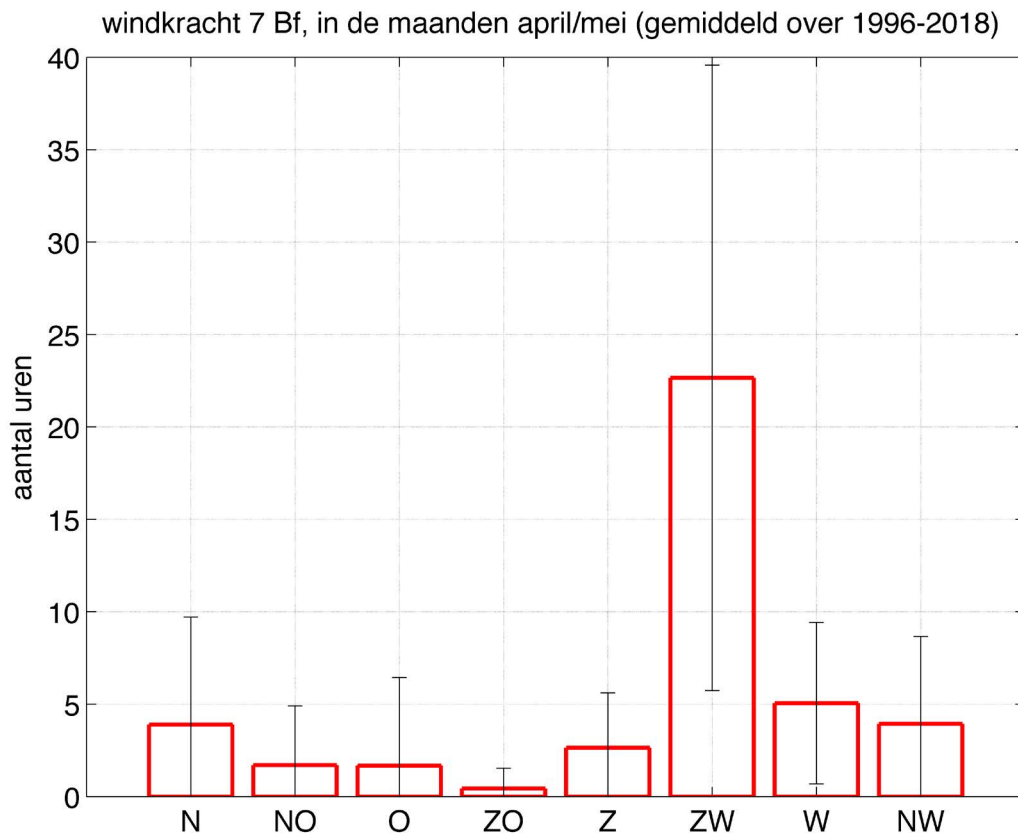
Figuur 9.1 Het totaal aantal uren met windkracht 7, uitgesplitst naar meteorologisch seizoen en windrichting. Gemiddelde van de langetermijnreeks van het KNMI-weerstation op de Vliehors, voor de periode 1996-2018. De uurwaarden zijn gebaseerd op gemiddelden over de laatste tien minuten van het voorafgaande uur. Meteorologisch is het jaar verdeeld in dec-feb (winter), maart-mei (lente), juni-augustus (zomer) en september-november (herfst).

Kijken we meer in het bijzonder naar de maanden april en mei, de periode waarin doorgaans de schuimvorming van algen optreedt, dan bevestigen de waarnemingen het meer algemene beeld van het voorjaar (Fig. 9.2). Een noordoostenwind met windkracht 7 treedt gedurende de beide maanden slechts enkele uren op, met enige variatie van jaar tot jaar.

Methodiek

Windgegevens van weerstation Vlieland (KNMI-station 242) zijn openbaar beschikbaar via een portaal van het KNMI (<http://projects.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens>).

De analyse is gebaseerd op uurwaarden van windsnelheid en windrichting, gedefinieerd als de gemiddelde snelheid en richting tijdens het laatste 10-minuteninterval van het voorgaande uur. Incidenteel ontbrekende data zijn via een klimatologisch bepaalde weegfactor (afhankelijk van de windrichting) aangevuld met data van weerstation Terschelling Hoorn (KNMI-station 251). De windrichting is in acht sectoren verdeeld, zijnde noordelijk (N), noordoostelijk (NO), oostelijk (O), zuidoostelijk (ZO), zuidelijk (Z), zuidwestelijk (ZW), westelijk (W) en noordwestelijk (NW). Dit is de richting waaruit de wind waait.



Figuur 9.2 Het totaalaantal uren in de maanden april t/m mei met windkracht 7, uitgesplitst naar windrichting. Gemiddelde van de langetermijnreeks van het KNMI weerstation op de Vliehors, voor de periode 1996-2018. De zwarte verticale lijnen geven de standaarddeviatie weer en zijn een indicatie van de interjaarlijkse variabiliteit.

Referentie

De hier getoonde resultaten zijn een uitbreiding en geactualiseerde versie van de analyse van de windklimatologie zoals gepresenteerd in:

Gerkema, T. & M. Duran-Matute, 2017. Interannual variability of mean sea level and its sensitivity to wind climate in an inter-tidal basin. *Earth System Dynamics* 8, 1223-1235. <https://doi.org/10.5194/esd-8-1223-2017>

10 – Wind, golven en stroming op 11 mei 2020

Marc Philippart ^a

^a Rijkswaterstaat Water, Verkeer & Leefomgeving (RWS-WVL), Lelystad

Samenvatting

Modelberekeningen laten zien dat de wind op 11 mei aan het eind van de middag langs de kust in snelheid afnam (van 7 naar 6 Beaufort) en draaide (van noordoost naar noord). De harde noordenwind (min of meer parallel aan de kust) en de daardoor opgewekte golven leidden tot schuimvorming en ophoping van schuim langs de hele lengte van het Noordelijk Havenhoofd. In de vroege avond van 11 mei 2020 draaide de wind iets meer naar het noorden en startte de vloedstroom (naar het noorden). Het aanwezige schuim zal door de winddraaiing en veranderde stroming van positie zijn veranderd.

Wind

KNMI-metingen van wind zijn beschikbaar voor de locaties in Hoek van Holland en IJmuiden. Daarnaast zijn er diverse weermodellen van het KNMI. De meest fijnmazige informatie is het 'downscaling' model van het KNMI dat gevoed wordt met data uit het Europese HiRLAM v.72 model en een resolutie heeft van 500 meter. Voor een positie in zee tussen de Pier van Scheveningen en het Noordelijk Havenhoofd (52.12 graden NB, 2.24 graden OL) is de modeluitkomst in een grafiek uiteengezet.

De windsnelheid aan het begin van de middag komt overeen met 7 Beaufort, daarna afnemend (Fig. 10.1). De richting is aanvankelijk noord-noordoost en draait langzaam naar noord (Fig. 10.2). Het Noordelijk Havenhoofd van Scheveningen vangt bij deze noordenwind al veel schuim op.

In de derde grafiek (Fig. 10.3) is de hoek tussen het zeewaartse deel van het Noordelijk Havenhoofd (291 graden t.o.v. noord) en de windrichting uitgezet. Bij een hoek van meer dan 90 graden wordt schuim meer naar het westen afgevoerd, bij minder zal het schuim in de hoek tussen havenhoofd en strand gestuwd worden. Op deze grafiek lijkt het alsof dit kantelpunt (waarbij de hoek kleiner werd dan 90 graden) rond 18:30 uur werd bereikt (Fig. 10.3).

Belangrijk bij de interpretatie van deze modelresultaten is om mee te nemen dat de wind ter plaatse in werkelijkheid kan afwijken van het model. Lokale temperatuurverschillen zitten niet in deze modellering omdat de basis (data uit het HiRLAM model) een resolutie van 11 km heeft. Door gebrek aan een KNMI-weerstation bij Scheveningen is het niet mogelijk om voor deze locatie de voorspelde windsnelheid- en richting te vergelijken met officiële KNMI-meetgegevens, maar voor IJmuiden is dat wel

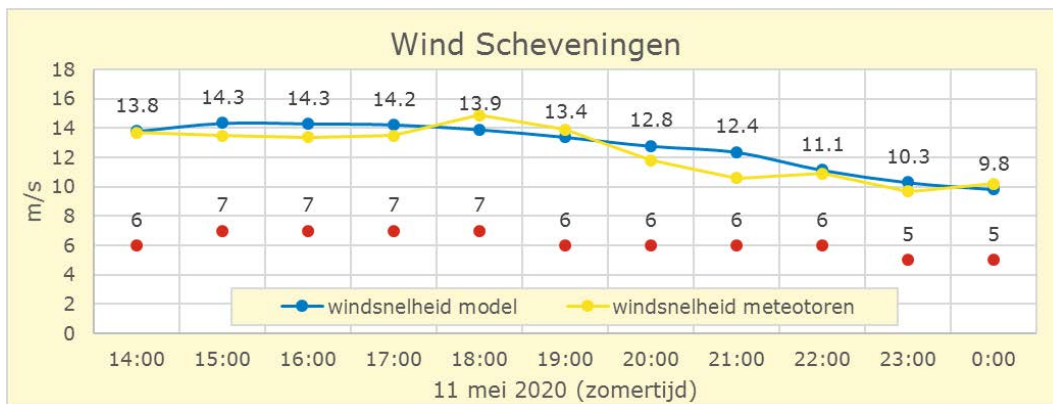
mogelijk. Ook is de modelwind vergeleken met gegevens van de meteotoren Scheveningen, die in de duinen staat.

Uit een vergelijking van de modelberekeningen en de daadwerkelijk gemeten wind blijkt dat de berekende windsnelheden bij IJmuiden (Fig. 10.4) in de juiste range zit. Voor de windrichting bij IJmuiden volgen de gemeten waarden echter een veel grilliger patroon dan de modelberekeningen (Fig. 10.5). Dit verschil wordt verklaard door overtrekkende buien ter hoogte van IJmuiden (Fig. 10.6).

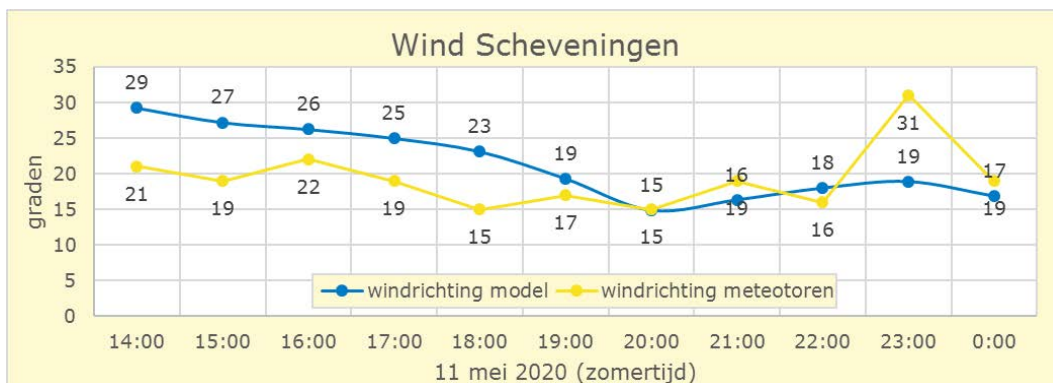
Op basis van de modelberekeningen van de wind bij Scheveningen en de vergelijking van modelberekeningen met metingen voor IJmuiden en de meteotoren Scheveningen kan geconcludeerd worden dat de wind in de loop van de middag van 11 mei is gedraaid, maar dat de nauwkeurigheid van de modelwindrichting onvoldoende is om het exacte moment te onderbouwen waarop de situatie kantelde en de hoek met het Noordelijk Havenhoofd kleiner werd dan 90 graden, waardoor het schuim zich verder ging verplaatsen.

Golven

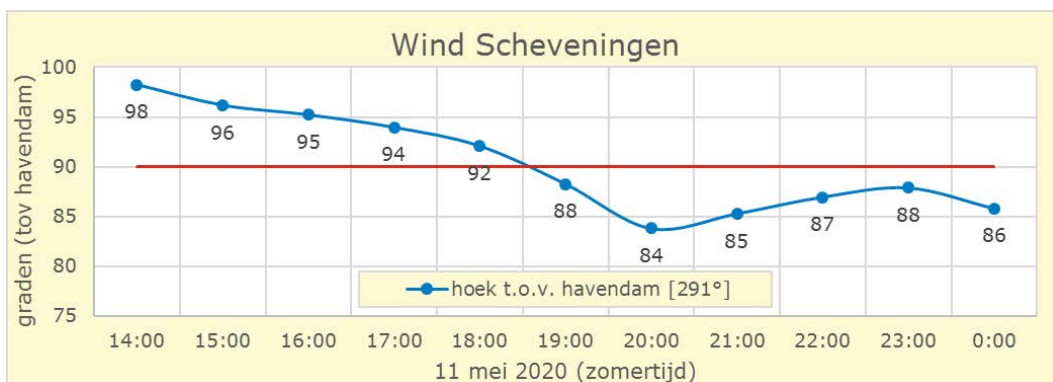
Na enkele dagen rustig weer begint op 10 mei de omslag en groeien de golven tot ruim drie meter hoogte, waarna ze langzaam weer in hoogte afnemen. Het beste meetpunt voor vergelijking met Scheveningen is de golfmeting bij de Stroommeetpaal IJmuiden (52.46 NB, 4.52 OL). In Figuur 10.7 is de significante golfhoogte weergegeven voor de periode 7 tot en met 12 mei 2020. Die significante golfhoogte 'H1/3' (in meters) is gedefinieerd als de gemiddelde golfhoogte (van dal naar top) van de 33% hoogste golven gedurende een tijdsinterval.



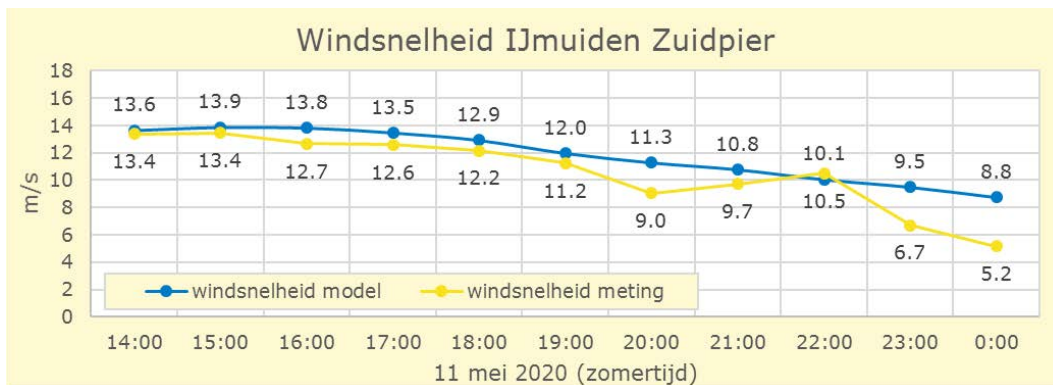
Figuur 10.1 Modelberekeningen van het verloop van de windsnelheid (blauwe punten in meter per seconde; rode punten in Beaufort) bij Scheveningen (52.12 NB, 2.24 OL) op 11 mei 2020 tussen 14:00 uur en middernacht.



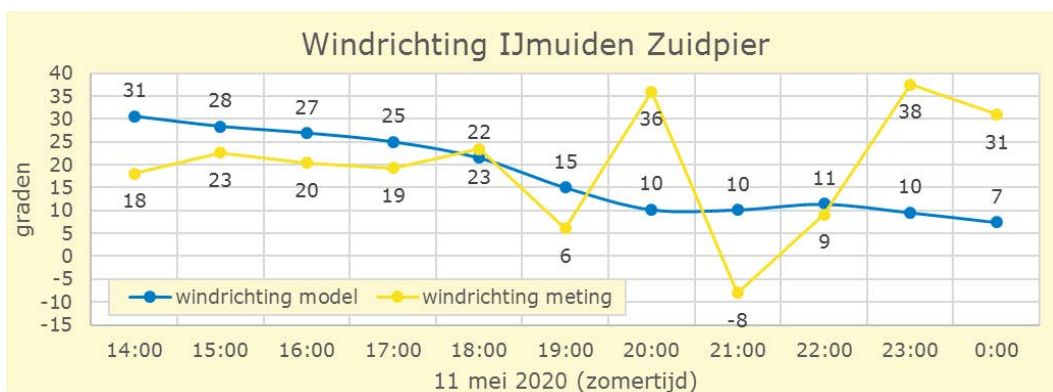
Figuur 10.2 Modelberekeningen van het verloop van de windrichting (blauwe punten in graden, waarbij 0 graden wind is die pal uit het noorden komt) bij Scheveningen op 11 mei 2020, tussen 14:00 en middernacht. De windrichting bij de meteotoren is iets meer noordelijk.



Figuur 10.3 Modelberekeningen van de hoek tussen de modelwind bij Scheveningen t.o.v. het Noordelijke Havenhoofd (blauwe punten in graden, waarbij de rode lijn een hoek van 90 graden aangeeft) op 11 mei 2020, tussen 14:00 uur en middernacht.



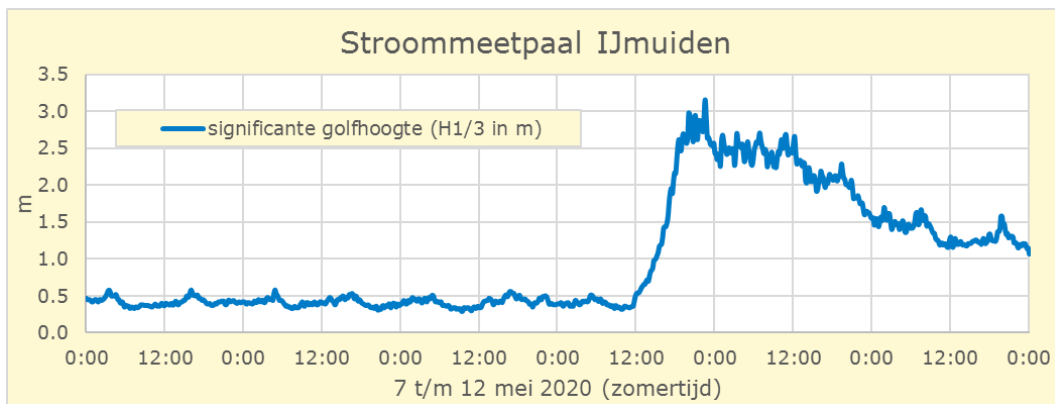
Figuur 10.4 Vergelijking van modelberekeningen (blauwe punten) en metingen (gele punten) van het verloop van de windsnelheid (in meter per seconde) bij de Zuidpier van IJmuiden op 11 mei 2020, tussen 14:00 uur en middernacht.



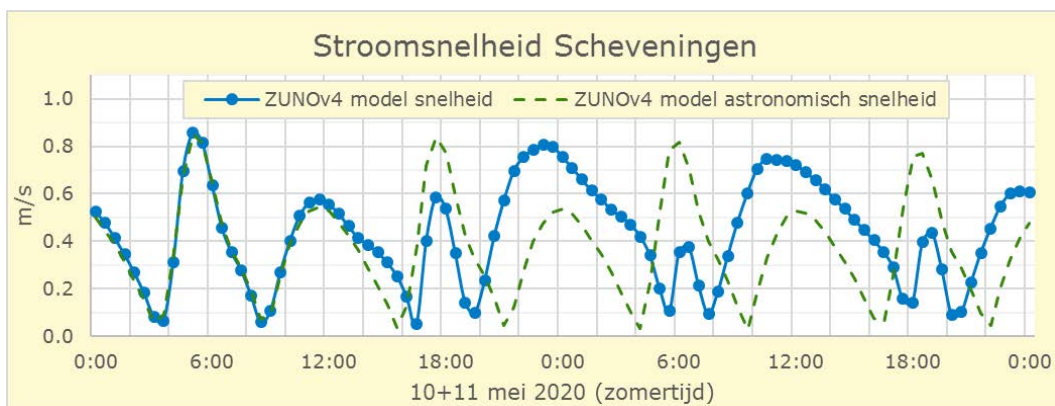
Figuur 10.5 Vergelijking van modelberekeningen (blauwe punten) en metingen (gele punten) van het verloop van de windrichting (in graden) bij de Zuidpier van IJmuiden op 11 mei 2020, tussen 14:00 uur en middernacht.



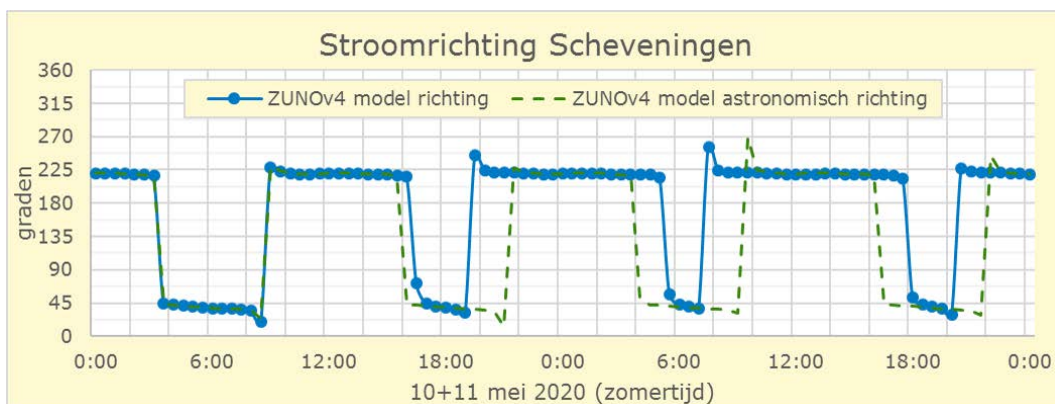
Figuur 10.6 Beeld van buienradar.nl op 11 mei om 19:30 uur, waarbij te zien is dat op dat tijdstip ter hoogte van IJmuiden een aantal buien overtrekt.



Figuur 10.7 Significante golfhoogte ($H_{1/3}$, in meters) bij Stroommeetpaal IJmuiden voor de periode 7 tot en met 12 mei 2020.



Figuur 10.8 Stroomsnelheid (in meters per seconde) op 10 en 11 mei voor de haven van Scheveningen (52.105 NB, 4.25 OL). Op 11 mei 2020 om 19:00 uur was de vloedstroom (in noordelijke richting) maximaal met een snelheid van bijna 45 cm per seconde. De groene, onderbroken lijn in de figuur geeft het stroombeeld zoals het zou zijn zonder windinvloed.

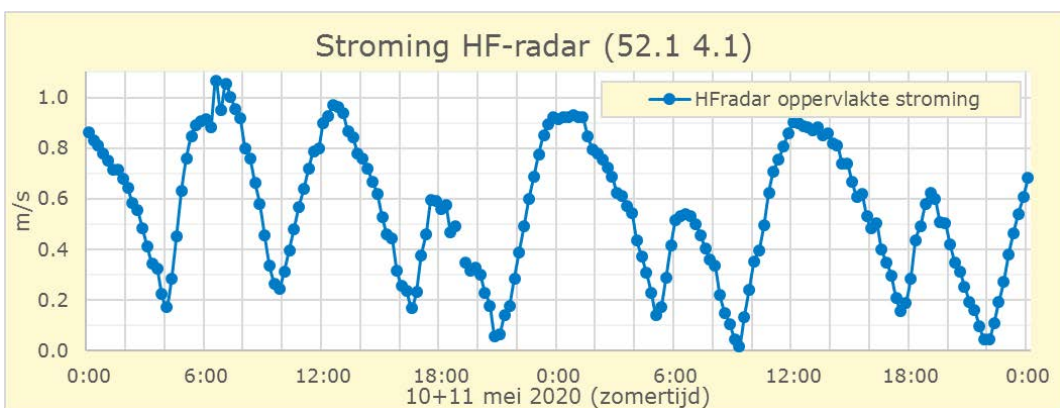


Figuur 10.9 Stroomrichting (in graden) op 10 en 11 mei voor de haven van Scheveningen (52.105 NB, 4.25 OL). Op 11 mei 2020 duurde de vloedstroom slechts 2,5 uur als gevolg van de noordenwind. De groene, onderbroken lijn in de figuur geeft het stroombeeld zoals het zou zijn zonder windinvloed.

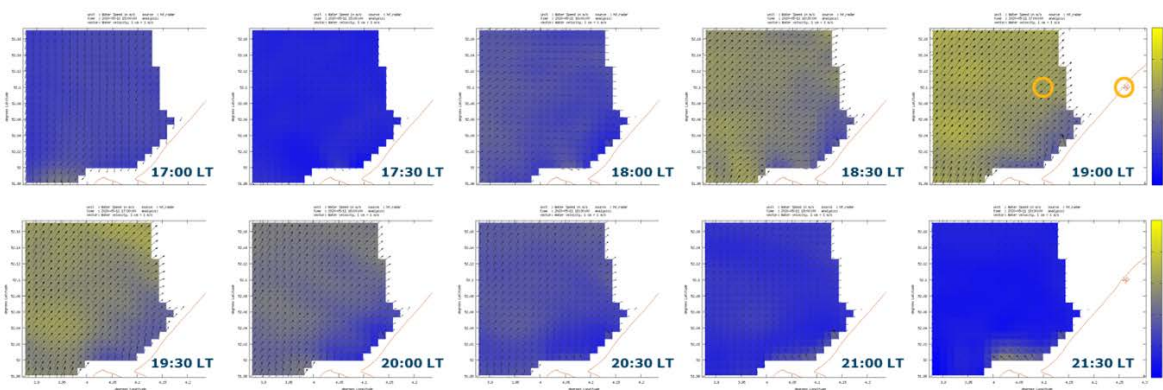
Stroming

Op 11 mei om 19:00 uur was de vloedstroom (in noordelijke richting) op zijn maximum en bedroeg die zo'n 0,45 meter per seconde (Fig. 10.8). Dat is relatief laag omdat de straffe noordenwind de vloedstroom afzwakte en de ebstroom juist versterkte (te zien aan de eerdere veel hogere piek rond 12:00 uur). De groene, onderbroken lijn in de figuur geeft het stroombeeld weer zoals het zou zijn zonder windinvloed. Tijdens de vloedstroom staat de noordelijke wind (Fig. 10.2) tegen de stroom in, waardoor steile golven ontstaan. De duur van de vloedstroom is opvallend kort. Achter het Noordelijk Havenhoofd zal een rechtsom draaiende kolk (neer) hebben gestaan. Het omgekeerde beeld is duidelijk te zien in figuur 11.1 waarin de ebstroom en kolken herkenbaar zijn in de ebstroom van 10 mei 9:50, toen nog rustig weer.

Voor de haveningang van Rotterdam wordt met HF-radar de oppervlaktestroming over een groot gebied gemeten. De haven van Scheveningen valt helaas net buiten het bereik van die meting. Ter vergelijking is in Figuur 10.10 het stroombeeld op een punt tien kilometer westwaarts gepresenteerd. Het patroon komt goed overeen met de grafiek van Scheveningen; de kentering vindt wat later plaats dan bij Scheveningen. In Figuur 10.11 is het ruimtelijk patroon van de HF-radarmeting voor enkele tijdstappen weergegeven.



Figuur 10.10 Stroomsnelheid (in meters per seconde) van de oppervlaktestroming gemeten met HF-radar op 10 en 11 mei op tien kilometer ten westen van Scheveningen (52.1 NB, 4.1 OL). Hier blijkt de kentering wat later plaats te vinden. NB het betreft tijdstappen van een kwartier, terwijl in het model tijdstappen van een half uur zijn gebruikt.



Figuur 10.11 Stroomsnelheid (in meters per seconde) van de oppervlactestroming gemeten met HF-radar op 11 mei van 17:00 tot 21:30 uur lokale tijd (LT). De linker cirkel (in paneel "19:00 uur LT") is de positie tien kilometer ten westen van Scheveningen (52.1 NB, 4.1 OL), de rechtercirkel is de haven van Scheveningen.

Methodiek

Voor dagelijks operationeel waterbeheer en scheepvaart heeft Rijkswaterstaat een uitgebreide set waterverwachtingsmodellen tot zijn beschikking. Voor de benodigde windinvoer wordt gebruik gemaakt van de KNMI- en ECMWF-weermodellen. Daarnaast worden veel metingen ingewonnen. Voor veel locaties langs de kust worden verwachtingen van de verschillende parameters geproduceerd en gepubliceerd (<https://waterberichtgeving.rws.nl>). De modelberekeningen worden meermaals per dag gemaakt door het Hydro Meteo Centrum (HMC), onderdeel van Watermanagementcentrum Nederland (WMCN) van Rijkswaterstaat.

Uit de modellen is de hydro-meteo-informatie voor specifieke locaties gehaald. Waar mogelijk is deze vergeleken met metingen, om zo een uitspraak te kunnen doen over de toepasbaarheid van het model op de bewuste dag op de locatie Scheveningen, waar de relevante metingen ontbreken.

Deze modelberekeningen houden geen rekening met lokale omstandigheden in windsnelheid en -richting, bijv. als gevolg van lokale

temperatuurverschillen. De nauwkeurigheid van de resultaten is daardoor onvoldoende om het exacte moment aan te geven waarop de situatie kantelde (de start van het opbouwen van het schuim in de hoek), maar de cijfers zijn wel indicatief voor hoe het proces van schuimophoping is verlopen. Vorming van schuim zal voornamelijk in de brandingszone hebben plaatsgevonden en is in de loop van 10 mei gestart met de harde wind en golven. De verplaatsing wordt door zowel de wind als de stroming beïnvloed. In de vroege avond van 11 mei 2020 draaide de wind iets meer naar het noorden en startte de vloedstroom (naar het noorden). Het aanwezige schuim zal door de winddraaiing en veranderde stroming van positie zijn veranderd.

Referenties

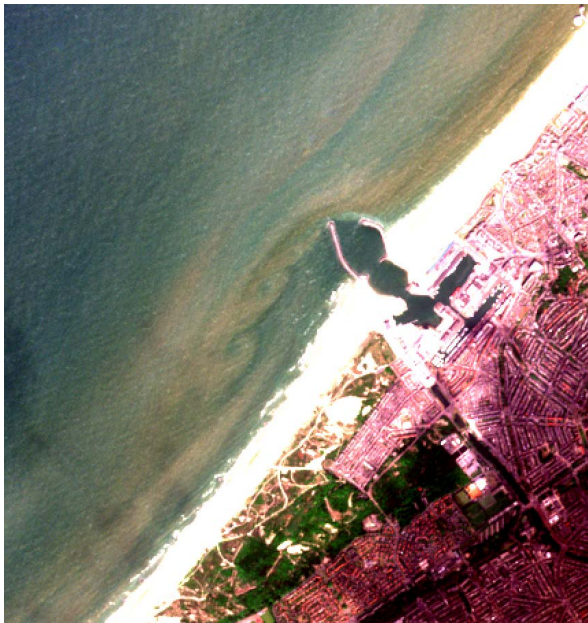
<https://waterberichtgeving.rws.nl>

11 – Conclusies

Scheveningen

Op maandagavond 11 mei rond 19:00 uur verongelukten vijf surfers nabij het Noordelijk Havenhoofd in Scheveningen. De precieze toedracht van het ongeval is niet bekend. Opmerkelijk was de hoeveelheid schuim in de branding ten tijde van het ongeluk. Waar het Noordelijk Havenhoofd en het strand van Scheveningen samenkomen, lag een pak schuim van tenminste twee meter hoog. Hierdoor rees meteen de vraag over de rol die het schuim heeft gespeeld bij het fatale ongeluk.

Het Noordelijk Havenhoofd is een blokkendam, gelegen aan de noordzijde van de Buitenhaven

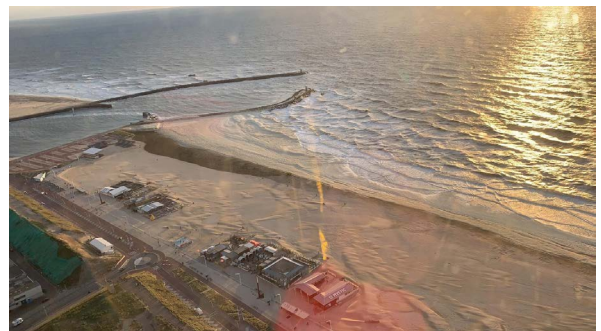


Figuur 11.1 Satellietopname (Sentinel-2) van de Buitenhaven van Scheveningen, met het Noordelijk en het Zuidelijk Havenhoofd, genomen op 10 mei om 09:50 uur lokale tijd. Zichtbaar zijn de wervelingen rond de koppen van de havenhoofden als gevolg van de ebstroom (Foto: Water Insight).

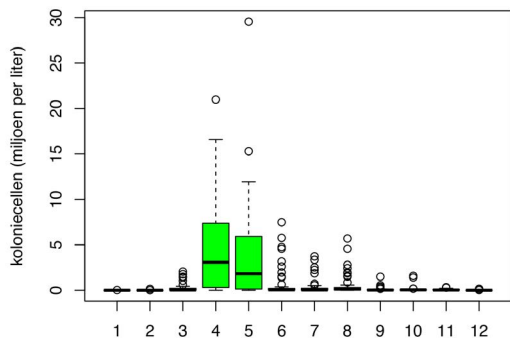
van Scheveningen, de zuidzijde wordt gemarkeerd door het Zuidelijk Havenhoofd (Fig. 11.1). De schattingen van de maximale dikte van de schuimlaag lopen uiteen, van enkele meters (aan de hand van schuimresten; van Wezel 2020) tot 2,5 tot 3 meter (op basis van ooggetuigen en fotomateriaal; Fig. 11.2).

Bloei en kolonievorming schuimalg

Zeeschuim is vaak het gevolg van grote hoeveelheden algen, maar kan (zeker in de winter) ook andere oorzaken hebben (Hoofdstuk 2). Bij het ontstaan van grote hoeveelheden schuim in het groeiseizoen van schuimalgen spelen meerdere factoren een rol: de concentratie van deze algen, de timing van de bloei en de snelheid en richting van de wind. Wat betreft het moment van algenbloei was dit zoals te verwachten, de hoogste dichtheden van de schuimalg komen voor tussen eind maart en mei (Hoofdstuk 5, Fig. 11.3).



Figuur 11.2 Luchtfoto van de Buitenhaven van Scheveningen met het Noordelijk en het Zuidelijk Havenhoofd op 11 mei om 20:53 uur lokale tijd. Zichtbaar is dat de bovenkant van het schuim op nagenoeg dezelfde hoogte staat als de bovenkant van het Noordelijk Havenhoofd (Foto: Crew Lifeliner1 VUmc).



Figuur 11.3 Gemiddelde seizoensdynamiek van de concentratie van koloniecellen (in miljoen cellen per liter) van de schuimalg *Phaeocystis globosa*, op basis van metingen vanaf de meetsteiger in het Marsdiep (het zeegat tussen Den Helder en Texel) van januari 2009 t/m december 2018 (maanden als getallen). De zwarte lijnen in de groene blokken zijn de gemiddelde concentraties, terwijl de blokken, de staarten en de losse punten de spreiding rond het gemiddelde weergeven (Data: NIOZ).

De schuimalg komt voor als solitaire cellen (kleiner dan 10 micrometer) en als kolonies (bestaand uit meer dan 10.000 cellen, samen meer dan 1 millimeter groot). De kolonie-matrix wordt gevormd door polysachariden (koolhydraten). Om grote kolonies te maken met veel cellen erin, moeten er behalve voldoende licht ook genoeg voedingsstoffen (stikstof, fosfaat) aanwezig zijn (Hoofdstuk 2).

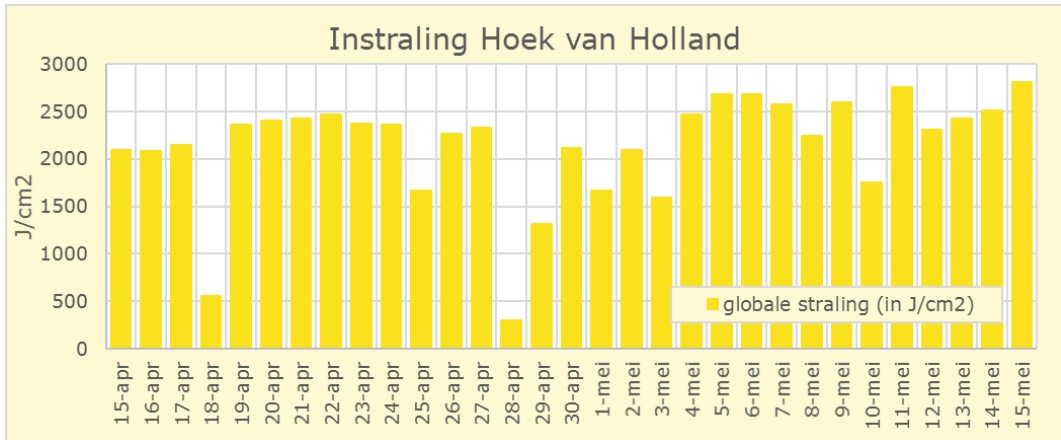
Wat betreft de hoeveelheid algen lijkt er op basis van de tellingen in het Marsdiep sprake van een uitzonderlijk hoge concentratie op 28 april 2020 in vergelijking met voorgaande jaren (Hoofdstuk 5). De concentratie van meer dan 38 miljoen koloniecellen was daar sinds de start van deze tellingen in 2009 nog nooit geteld. De waarden in het Marsdiep in begin mei waren nog steeds hoog te noemen, maar niet zo hoog als eind april. Dit beeld wordt bevestigd door de satellietbeelden van de Noordzee voor de Zuid- en Noord-Hollandse kust, die rond 21 april 2020 hoge concentraties van algen laten zien, waaronder zeer waarschijnlijk de schuimalg (Hoofdstuk 6).

Het is nog niet duidelijk waarom de algengroei in het Marsdiep dit voorjaar zoveel sterker was dan in voorgaande jaren. Metingen van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) (2009-2020) lijken voorzichtig te wijzen op een langjarige toename (Hoofdstuk 5), wat in lijn is met de uitkomsten van analyse van data van Rijkswaterstaat door het Nederlands Instituut voor Ecologisch Onderzoek (NIOO-KNAW) die aan de kust hogere dichtheden in 2019 dan in 2000 laten zien (Hoofdstuk 3). Trendanalyse van diezelfde data van Rijkswaterstaat door Deltares (1990-2016) laten echter geen significante trends zien in het Marsdiep maar wel in sommige andere kustlocaties (Hoofdstuk 4). Een mogelijke verklaring van deze verschillen ligt in de gebruikte locatie van de meetgegevens (alleen het Marsdiep of meerdere locaties in Nederlandse kustwateren) en de gebruikte statistische analysemethoden. Dit zal nog verder worden bekeken.

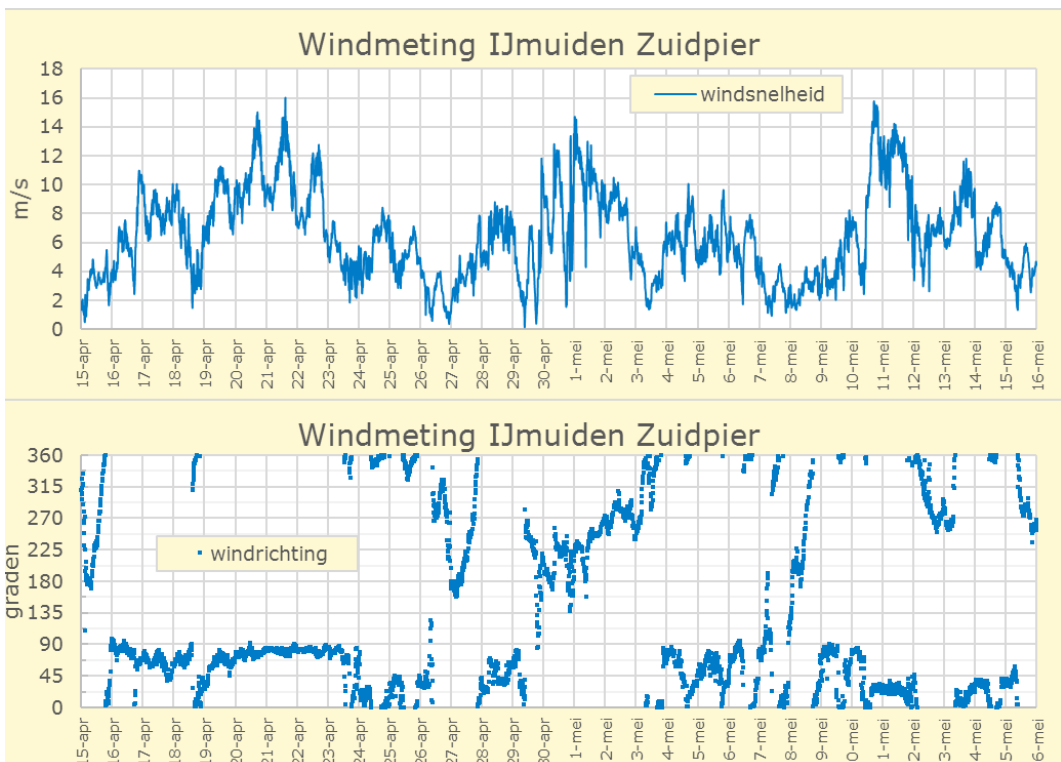
Uiteenvallen kolonies

Wanneer er een tekort ontstaat aan licht of voedingsstoffen, dan vallen de kolonies uiteen in losse cellen. Die losse cellen hebben geen beschermende slijmlaag meer, waardoor zij eerder ten prooi vallen aan vraat en virusinfecties dan de koloniecellen. Bij sterfte door een virusinfectie komt de inhoud van de algencellen, dat onder meer bestaat uit eiwitten, vrij in het water (Hoofdstuk 2).

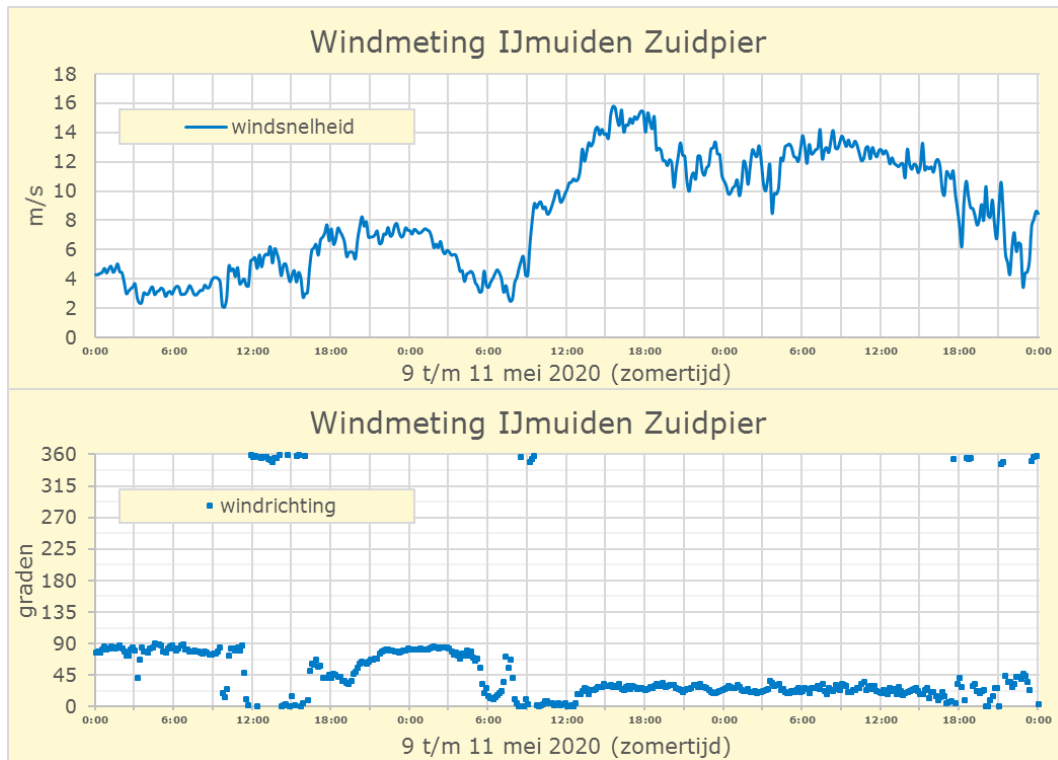
Op basis van de satellietbeelden lijkt het alsof de bloei in de Noordzeekustzone van medio april zo rond eind april uit elkaar valt (Hoofdstuk 6). Met name de metingen in het Marsdiep wijzen op een ineenstorting van de bloei tussen 28 april en 7 mei 2020, met een afname in concentratie van koloniecellen van 38 miljoen naar 12 miljoen cellen per liter en een daling van de fractie koloniecellen van meer dan 92% naar 86% (Hoofdstuk 5). Tussen 7 mei en 11



Figuur 11.4 Dagelijkse instraling (J per cm² per dag) van 15 april 2020 t/m 15 mei 2020 zoals gemeten bij het KNMI-weerstation Hoek van Holland (Data: KNMI).



Figuur 11.5 Windsnelheid (boven; in meters per seconde) en windrichting (onder; in graden, waarbij 90=oost, 180=zuid, 270=west en 360=noord) zoals gemeten op de Zuidpier van IJmuiden van 15 april t/m 15 mei 2020 (Data: Rijkswaterstaat).



Figuur 11.6 Windsnelheid (boven; in meter per seconde) en windrichting (onder; in graden, waarbij 90=oost, 180=zuid, 270=west en 360=noord) zoals gemeten op de Zuidpier van IJmuiden van 9 t/m 11 mei 2020 (Data: Rijkswaterstaat).

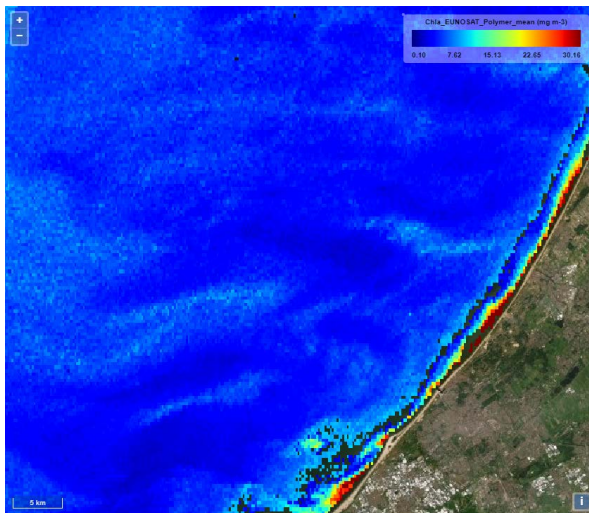
mei 2020 lijkt er sprake van een lichte toename in de concentratie van de koloniecellen, van 12 miljoen naar 15 miljoen kolonie cellen per liter, maar is de fractie koloniecellen verder afgenomen naar bijna 70% (Hoofdstuk 5).

Er zijn nog geen gegevens beschikbaar over de concentraties van de voedingsstoffen stikstof en fosfaat. Wat betreft de lichtomstandigheden bij Hoek van Holland van 15 april t/m 15 mei 2020 valt op dat het in het algemeen vrij zonnig was, bijvoorbeeld van 19 t/m 24 april en van 4 t/m 9 mei (Fig. 11.4). Er was relatief weinig licht op 18 april en 29 april 2020, en ook 10 mei 2020 was relatief donker, na een vrij lichte periode (Fig. 11.4). Een donkere dag na een lichte periode zou, in combinatie met menging van het zeewater door de wind, het startschot gegeven kunnen hebben voor het ineensinken van de

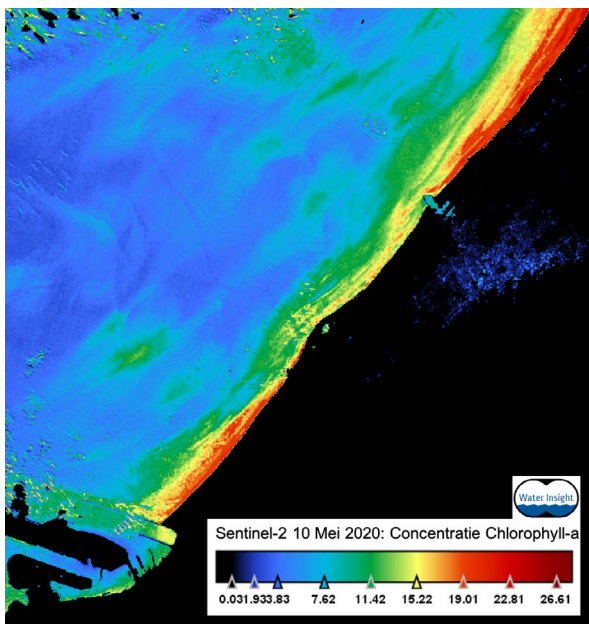
kolonies (Hoofdstuk 2). Deze mogelijkheid zal later nog nader worden onderzocht via een combinatie van modellen en meetgegevens.

Vorming & ophoping van zeeschuim

Op 7 mei en 8 mei 2020 was er bij IJmuiden weinig wind (Fig. 11.5). Hierdoor zijn de algen (12 miljoen cellen per liter in het Marsdiep op 7 mei) en de algenresten als gevolg van de ineensinking van de bloei (een verlies van 27 miljoen koloniecellen in het Marsdiep tussen 28 april en 7 mei) waarschijnlijk in groten getale aan het wateroppervlak gaan drijven en zich gaan verzamelen op stroomnaden (Hoofdstuk 4). Op satellietbeelden van 5 mei zijn sporen van zeeschuim op zee reeds zichtbaar (Hoofdstuk 8).



Figuur 11.7 Berekende biomassa van algen (in mg chlorofyl-a per m³) langs kust tussen Rotterdam (midde-nonder) en Wassenaar (rechtsboven) op basis van een satellietbeeld van 9 mei 2020 (lokale tijd 09:50 uur). In dit Sentinel-3-beeld is elk gekleurd blokje 300x300m (Bron: KBIN).



Figuur 11.8 Berekende biomassa van algen (in mg chlorofyl-a per m³) langs de kust tussen de Maasvlakte bij Rotterdam (linksonder) en Wassenaar (rechtsboven) op basis van een satellietbeeld van 10 mei 2020 (lokale tijd 09:50 uur). In dit Sentinel-3-beeld is elk gekleurd blokje 300x300m (Bron: Water Insight).

Op 9 mei 2020 en de vroege ochtend van 10 mei 2020 stond bij IJmuiden een zwakke wind (minder dan acht meter per seconde, 4 Beaufort) tussen oost en noord (Fig. 11.6). Daardoor zijn de algen en algenresten aan het wateroppervlak van de Noordzee mogelijk naar de kust gedreven en hebben zich langs de hele kust opgehoopt. Satellietbeelden laten zien dat algen en algenresten zich in een paar dagen pal langs de kust ophoopten, van een strook van (maximaal) 300m breed op 7 mei 2020 naar een strook van (maximaal) 1500m breed op 9 mei 2020 (Hoofdstuk 7, Fig. 11.7).

In de loop van 10 mei 2020, de dag waarop de resterende kolonies van de schuimalg mogelijk versneld uit elkaar zijn gevallen in losse cellen als gevolg van lichtgebrek, nam de wind bij IJmuiden toe van ongeveer vier meter per seconde (3 Beaufort) om 6:00 uur tot bijna zestien meter per seconde (Beaufort 7) rond 15:00 uur (Fig. 11.6). Bij IJmuiden draaide de wind daarbij van noord naar noord-noordoost (Fig. 11.6). De golven namen snel in hoogte toe, van minder dan 0,5 m rond 12:00 uur tot meer dan 3 m rond 23:00 uur (Hoofdstuk 10).

Het is aannemelijk dat de algen en algenresten in zo'n situatie door de hoge golven verder worden opgeklopt tot schuim. Het schuim dat zich de voorgaande dagen in een smalle strook langs de kust heeft verzameld, wordt door de krachtige tot harde noordenwind naar het zuiden gedreven en begint zich op te hopen bij obstakels langs de kust, zoals de noordelijke pieren van de havens van IJmuiden en Rotterdam (Fig. 11.7). Ook bij het Noordelijke Havenhoofd van de Buitenhaven van Scheveningen lijken de algen en algenresten zich al te concentreren (Fig. 11.7).

Opgemerkt moet worden dat satellietmetingen aan chlorofyl-a dicht onder de kust vaak verstoord worden door hoge slibconcentraties

in het water en lichtreflectie van de kust. Bij de bewerking van het satellietbeeld van Figuur 11.7 is de impact van slibconcentraties door KBIN geminimaliseerd door verschillende berekeningen toe te passen voor gebieden met helder en gebieden met troebel water (de overgang tussen deze gebieden is zichtbaar als een donkere lijn parallel aan de kust). Het effect van eventuele “overbelichting” van het kustwater als gevolg van sterke reflectie vanaf land zou overal ongeveer even breed moeten zijn. De ophopingen van algen dicht bij havens (Fig. 11.7 en Fig. 11.8) indiceren dat het hier daadwerkelijk om algen gaat.

Op 10 mei 2020 zakt de wind na 18:00 uur iets in (Fig. 11.6; Hoofdstuk 10) en op 11 mei 2020 neemt de windsnelheid aan het eind van de ochtend weer toe tot 7 Beaufort tussen 15:00 en 16:00 uur en komt dan uit noord-noordoost (Hoofdstuk 10). De hoge windsnelheid op 11 mei (7 Beaufort) was vrij zeldzaam voor deze tijd van het jaar, met name in combinatie met de waargenomen noordoostelijke windrichting (Hoofdstuk 9).

Modelberekeningen laten zien dat er bij Scheveningen rond 14:00 uur een krachtige wind (6 Beaufort) stond, die toenam tot harde wind (7 Beaufort) tussen 15:00 en 16:00 uur, en vervolgens weer wat minder maar nog steeds krachtig (6 Beaufort) was rond 19:00 uur (Hoofdstuk 10).

De krachtige wind kwam om 14:00 uur uit het noorden-noordoosten (NNO; 29 graden) en draaide vervolgens meer naar het noorden (15 graden om 19:00 uur) (Hoofdstuk 10). Het is aannemelijk dat de krachtige tot harde wind uit NNO de algen en algenresten langs de kust verder heeft opgeklopt en opgestuwd.

In de vroege avond van 11 mei 2020 draaide de wind iets meer naar het noorden en startte de vloedstroom (naar het noorden). Het aanwezige

schuim zal door de winddraaiing en veranderde stroming van positie zijn veranderd.

Waarschuwingssysteem

Het lijkt technisch goed mogelijk om een waarschuwingssysteem te maken (Hoofdstuk 8; Van der Zande 2020), door een combinatie van modellen, satellietbeelden van algen en schuim, en handmatige metingen die al worden uitgevoerd. Bij een overschrijding van de verschillende drempelwaarden van algenconcentraties, schuimvorming, windrichting, windsnelheid en golfwerking zou dan een automatische waarschuwing afgegeven kunnen worden aan watersporters.

Hiervoor is echter nodig om (i) de detectie van schuim op zee op basis van hoge resolutie beelden te automatiseren, (ii) deze observaties te koppelen aan een hydrodynamisch model met voldoende hoge spatiale resolutie, (iii) de betrouwbaarheid van de voorspellingen van algen en schuim verder te toetsen, en (iv) de handmatige *Phaeocystis*-metingen sneller beschikbaar te maken (Wetsteijn 2009, van der Woerd et al. 2011). Ophoping van schuim aan de kust kan snel gebeuren en lokale omstandigheden in wind en stroming kunnen snel veranderen. Daarom kan directe observatie met camera's en webcams een aanvullend onderdeel zijn van een waarschuwingssysteem en ter controle dienen van de prognoses.

Belangrijk zou daarbij zijn dat een dergelijk bericht geborgd wordt voor wat betreft het verwerven van de actuele data, het uitvoeren van de analyses en het beschikbaar stellen van de uitkomsten. Ook zou van tevoren aandacht besteed moeten worden aan de juridische consequenties van dergelijke berichtgeving.

Mogelijk dat, nu het potentieel gevaar van zee-schuim bekend is, juiste voorlichting een betere optie is zodat situaties door de gebruikers beter

herkend worden aan de hand van waarnemingen van schuim op zee (eventueel ook via camera's en webcams) en de windverwachting de strandwachten, watersportscholen en watersporters zelf een inschatting van de risico's kunnen maken.

Referenties

- van Wezel, R., 2020, Memo RWS CIV, 19-05-2020.
Intern document RWS
- van der Woerd, H. J., Blauw, A., Peperzak, L., Pasterkamp, R., & Peters, S., 2011. Analysis of the spatial evolution of the 2003 algal bloom in the Voordelta (North Sea). *Journal of Sea Research* 65, 195-204.
- Van der Zande, D., 2020. Report *Phaeocystis* Foam Detection using Copernicus Satellites. Products generated with EODATABEE service RBINS. Intern document RBINS
- Wetsteijn, LPMJ, 2009. Evaluatie MONISNEL - Analyse van *Phaeocystis*-gegevens en plaagalgenbulletins. Rapport RWS, 20 januari 2009.

– Adressen

NIOZ-NWOi	Vestiging Texel: Landsdiep 4 1797 SZ Den Hoorn T +31(0)222 369 563
Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee	Postbus 59 1790 AB Den Burg
www.nioz.nl	Vestiging Yerseke: Korringaweg 7 4401 NT Yerseke T +31(0)113 577 300
Bureau Waardenburg	Vestiging Noord Oosterweg 127 9751 PE Haren T +31(0)50 820 0018
www.buwa.nl	Postbus 111 9750 AC Haren
CNR	Area della Ricerca di Roma 2 Tor Vergata Via del Fosso del Cavaliere 100 00133 Roma, Italia T +39 06 49931
Consiglio Nazionale delle Ricerche	
www.cnr.it	
Deltares	Boussinesqweg 1 2629 HV Delft T: +31 (0)88 335 8273
www.deltares.nl	Postbus 177 2600 MH Delft
Highland Statistics	9 St Clair Wynd Newburgh Ellon AB41 6DZ, Verenigd Koninkrijk T: +44 (0)1358 788 177
www.highstat.com	
KBIN Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen	Operationele Directie Natuurlijk Milieu Vautierstraat 29 1000 Brussel, België T: +32 (0)2 627 4444
www.naturalsciences.be	
NIOO-KNAW Nederlands Instituut voor Ecologie	Droevendaalsesteeg 10 6708 PB Wageningen
www.nioo.knaw.nl	Postbus 50 6700 AB Wageningen T: +31 (0)317 473 553 M +31 (0)6 1412 6667

RUG Rijksuniversiteit Groningen www.rug.nl	Institute for Evolutionary Life Sciences Ecophysiology van Planten Postbus 11103 9700 CC Groningen T: +31(0)50 363 2241
RWS Rijkswaterstaat www.rws.nl informatiepuntwvl@rws.nl	Onderdeel Water, Verkeer en Leefomgeving Zuiderwagenplein 2 8224 AD Lelystad RWS t.a.v. informatiepunt Postbus 2232 3500 GE Utrecht T +31(0)88 797 3700
TUD Technische Universiteit Delft www.tudelft.nl	Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Afdeling Hydraulic Engineering Gebouw 23 Stevinweg 1 2628 CN Delft Postbus 5048 2600 GA Delft T +31 (0)15 278 3345
UU Universiteit Utrecht www.uu.nl	Faculteit Geowetenschappen Departementen Fysische Geografie & Aardwetenschappen Princetonlaan 8a 3584 CB Utrecht Postbus 80.115 3508 TC Utrecht T: +31(0)30 253 2024
UvA Universiteit van Amsterdam www.uva.nl	Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics Science Park 904 1098 XH Amsterdam Postbus 94240 1090 GE Amsterdam
WATER INSIGHT BV www.waterinsight.nl	Marijkeweg 22 6709 PG Wageningen Postbus 435 6700 AK Wageningen T +31 (0)317 210004 M +31 (0)6 4245 1263

Dankwoord

Onze dank gaat uit naar iedereen die betrokken is bij de monsternames en analyses van lange-termijnseries (bijvoorbeeld de planktonseries van NIOZ en Rijkswaterstaat), het opzetten en onderhoud van meetapparatuur (bijv. de meetapparatuur van het KNMI) en het ontwikkelen van protocollen voor verwerking van satellietbeelden, waardoor dit soort analyses kunnen worden uitgevoerd.

Behalve op de gegevens zoals beschreven in deze notitie is de duiding ook gebaseerd op informatie van diverse betrokkenen, onder wie surfers, artsen en medewerkers van hulpverlenende instanties zoals de Koninklijke Nederlandse Reddingsmaatschappij (KNRM). Hiervoor zijn we hen zeer erkentelijk.

We zijn ook veel dank verschuldigd aan Lisette Enserink (Rijkswaterstaat), Steven de Jong (UU), Kim Sauter (NIOZ), Jan Seys (VLIZ), Michiel Vandegehuchte (VLIZ), Henriëtte de Waal (NIOZ), Daphne van der Wal (NIOZ), Jeroen Wijsman (WUR) en medewerkers van de Veiligheidsregio Haaglanden, die bereid waren om eerdere concepten van de notitie door te lezen en van commentaar en aanvullingen te voorzien. Tjitske Visscher heeft de tekst geredigeerd, Maaïke Ebbinge heeft de opmaak van de notitie verzorgd.

Naar deze notitie kan verwezen worden als:

Philippart, K., A. Blauw, H. Bolhuis, K. Brandenburg, C. Brussaard, T. Gerkema, P. Herman, A. Hommersom, P. Jacobs, M. Laanen, M. van Leeuwe, A. van den Oever, S. Peters, M. Philippart, J. Pitarch, T. Prins, K. Ruddick, L. Spaias, D. van de Waal, D. Van der Zande & A. Zuur, 2020. Quick Scan Zeeschuim. Rapport van het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ-NWOi), Bureau Waardenburg BV, Deltares, Highland Statistics, Italian National Research Council (CNR), Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN), Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Rijkswaterstaat (RWS-WVL), Technische Universiteit Delft (TUD), Universiteit van Amsterdam (UvA), Universiteit Utrecht (UU), Rijksuniversiteit Groningen (RUG) & Water Insight BV. Texel, mei 2020.