

## Memo

**Aan**

Ernst Lofvers, Jurre de Vries, Almer de Swaaf

**Datum**

12 november 2021

**Ons kenmerk**

11206799-004-ZKS-0001

**Aantal pagina's**

1 van 10

**Contactpersoon**

Peter Herman

**Doorkiesnummer**

+31(0)88 335 7862

**E-mail**

Peter.Herman@deltares.nl

**Onderwerp**

Analyse van relatie tussen microfytobenthos en gesuspendeerd slib

## 1 Inleiding

Bij de opstelling van een conceptueel model voor slibdynamiek in de Waddenzee (Herman et al., 2018) werden twee sterke correlaties gevonden van microfytobenthos met de slibdynamiek. Het microfytobenthos omvat de microscopische algen die op en in het sediment leven. Ruimtelijk is de biomassa van deze groep heel sterk gecorreleerd met het slibgehalte van het sediment. In de tijd is het seizoenale patroon van de biomassa van microfytobenthos invers gecorreleerd met de concentratie van gesuspendeerd slib in de waterkolom. Uit de literatuur is bekend dat microfytobenthos, door de afscheiding van slijmerige exopolymeren, het sediment vastkit, wat de resuspensie van sediment tegengaat. De negatieve correlatie tussen biomassa van deze groep en concentratie gesuspendeerd materiaal in de waterkolom, zou in principe een gevolg kunnen zijn van dit mechanisme, waarbij in de zomermaanden de hoge biomassa slib het sediment kan stabiliseren en resuspensie verminderen. Op basis van de gegevens die bij het schrijven van het conceptueel model beschikbaar waren (gegevens uit van der Wal et al. (2010)) was het niet mogelijk om te onderzoeken of microfytobenthos ook kan gelinkt worden met de meerjarige fluctuaties in zwevende stof, die uit de MWTL data was afgeleid. De tijdserie was daarvoor te kort.

Aan NIOZ (D. van der Wal) is gevraagd satellietbeelden over een langere periode te analyseren, zodat kon worden gecontroleerd of een correlatie dan wel kan worden gevonden. NIOZ heeft daartoe meer dan 14.000 satellietbeelden gedownload en geanalyseerd. Een memo beschrijft de methodiek en de belangrijkste resultaten van dit werk (van der Wal, 2021). In deze memo worden de resultaten van die analyse in verband gebracht met de MWTL meetgegevens voor zwevende stof, om te onderzoeken of de veronderstelde inverse correlatie tussen biomassa van het microfytobenthos en concentratie zwevend stof in de Waddenzee op de langere (> 1 jaar) tijdschaal kan worden teruggevonden.

## 2 Materiaal en methode

Biomassaschattingen van het microfytobenthos zijn gemaakt op basis van de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), berekend uit de AQUA sensor van MODIS. NIOZ heeft ook resultaten van de Terra sensor<sup>1</sup> aangeleverd, maar deze gegevens zijn sterk gecorreleerd met de Aqua-resultaten, behalve voor een merkwaardige en mogelijk door drift veroorzaakte stijging op het eind van de serie. Om die reden is voor de Aqua serie gekozen. MWTL gegevens van zwevende stof zijn gedownload van Rijkswaterstaat Waterinfo op 13 oktober 2021. De data bestrijken dezelfde periode als de NDVI gegevens, op de allerlaatste maand (december 2020) na, die nog ontbreekt in de data van zwevende stof.

De behandeling van de data, inclusief de listing van het gebruikte script, is beschreven in het Data Analyse Logboek, en zal hier slechts kort worden aangegeven.

De ruwe data zijn log-getransformeerd met tiendelige logaritmes. Per maand zijn de data gemiddeld. De schaarse ontbrekende maanden zijn lineair geïnterpoleerd. Data van de Waddenzeestations Marsdiep Noord, Vliestroom, Doove Balg West, Dantziggat, Huibertgat Oost zijn gebruikt, en vergeleken met NDVI gegevens van de Waddenzee zonder Eems. De tijdseries zijn gestandaardiseerd door het gemiddelde af te trekken en te delen door de standaarddeviatie, waardoor de verschillende series, die sterk verschillende gemiddelde waarden hebben, vergelijkbaar worden.

Meteorologische tijdseries zijn gedownload van het KNMI. Het betreft dagelijkse gemiddelden van de variabelen windrichting, windsnelheid, temperatuur, zonneschijnduur, globale straling, neerslag, luchtdruk, bewolking, relatieve vochtigheid en potentiële evapotranspiratie. Data van alle waarnemingsstations rond de Waddenzee zijn gedownload. Het gemiddelde van alle stations die data hadden is gebruikt in de analyses. Om een vergelijkbare tijdsresolutie te hebben als de andere tijdseries, zijn maandelijkse gemiddelden van de variabelen berekend, behalve voor windrichting waar dat weinig zin had.

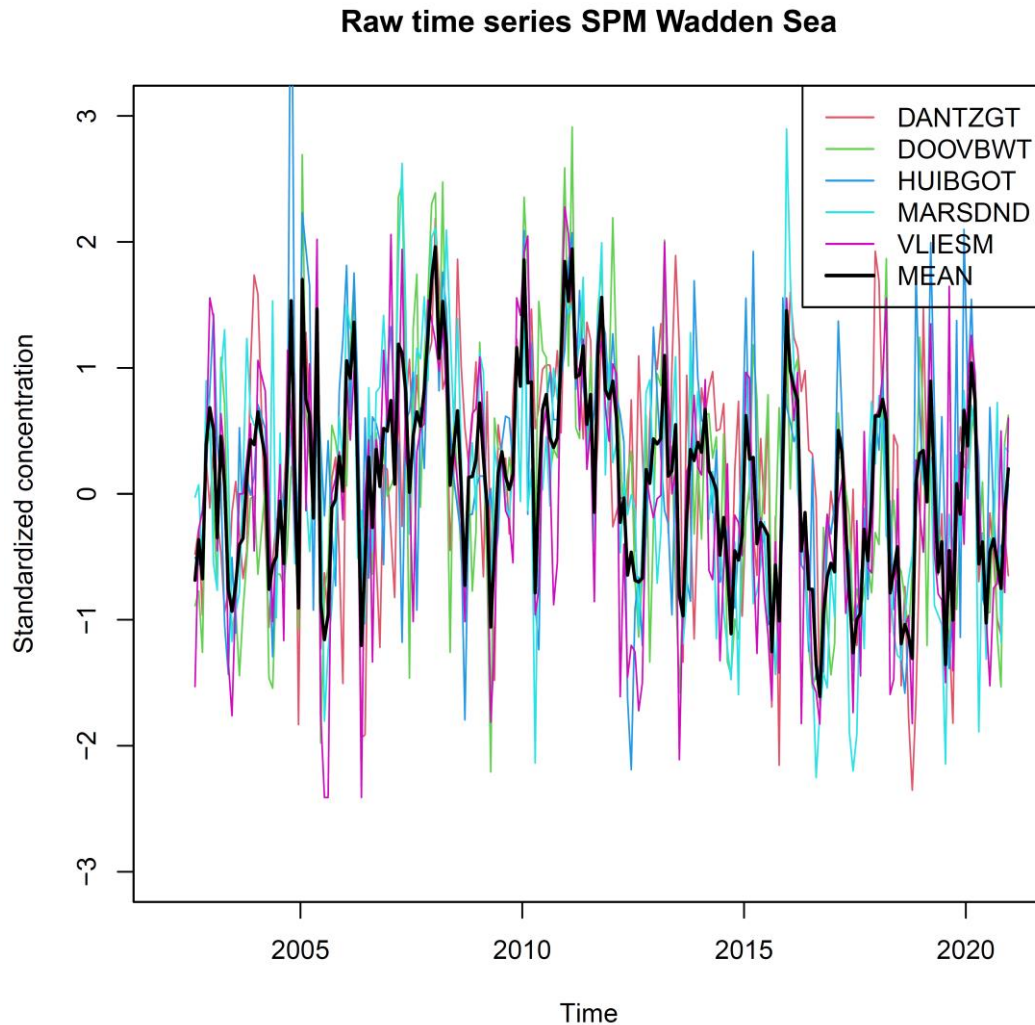
Door middel van een regressie-analyse zijn mogelijke verbanden onderzocht tussen de tijdserie van gesuspendeerd slib (gemiddelde van alle stations in de Waddenzee), tijdseries van meteorologische waarnemingen, en de tijdserie van NDVI. Daarbij is een statistisch model gebruikt dat rekening houdt met de temporele autocorrelatie in de tijdserie van gesuspendeerd slib. Dit zogenaamde ARIMA ("Autoregressive Integrated Moving Average") model is gebruikt om na te gaan of NDVI, en meteorologische waarnemingen, een significante relatie met gesuspendeerd slib vertonen.

---

<sup>1</sup> Het verschil tussen Aqua en Terra is het moment dat de satelliet overkomt. Terra in de ochtend en Aqua in de middag. Daardoor zijn de beelden iets verschillend van elkaar, maar de postprocessing is vergelijkbaar.

### 3 Resultaten

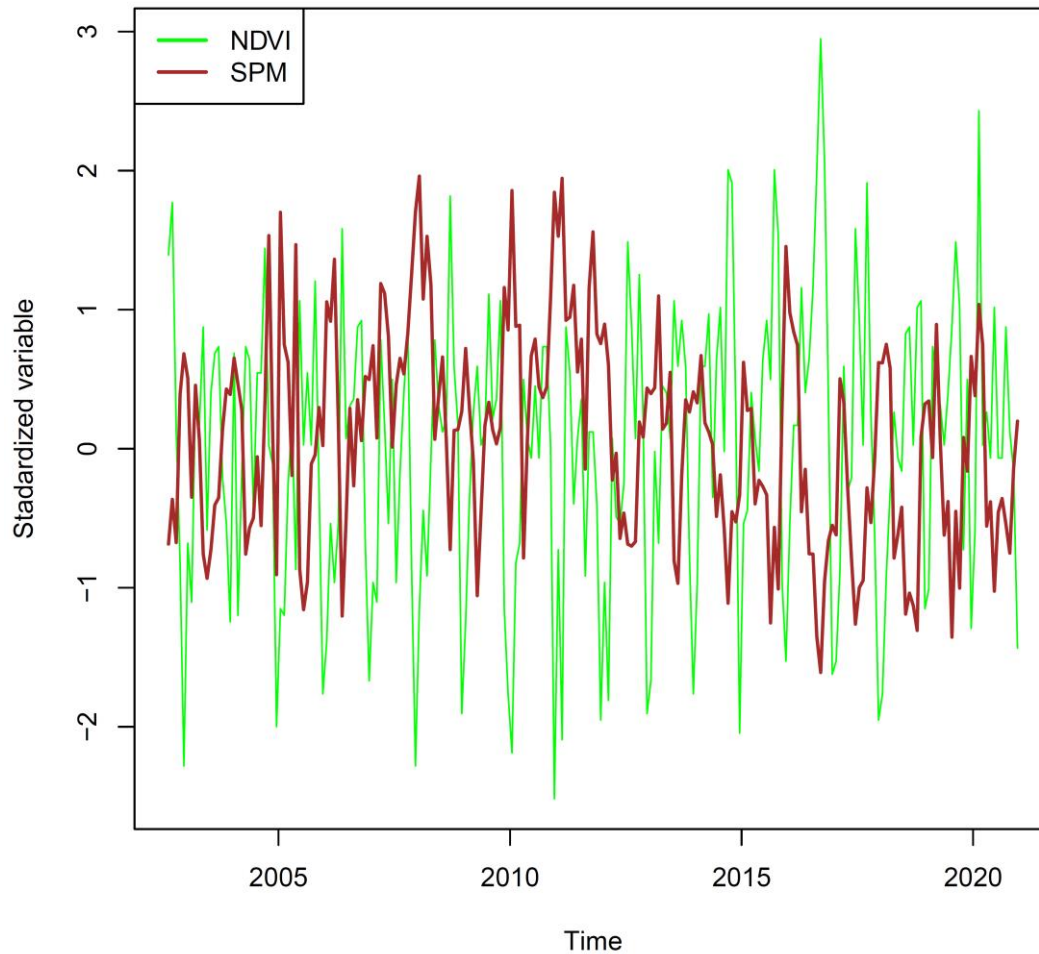
De update van de tijdseries ten opzichte van eerdere studies (Herman et al., 2018) bevestigt dat de verschillende stations in de Waddenzee, na correctie voor hun eigen langjarige gemiddelde, synchroon fluctueren met een aanzienlijke component van fluctuaties op relatief langere termijn (Figuur 1).



Figuur 1. Gestandaardiseerde tijdseries met maandelijkse waarnemingen in de vijf Waddenzeestations, en het gemiddelde van deze stations.

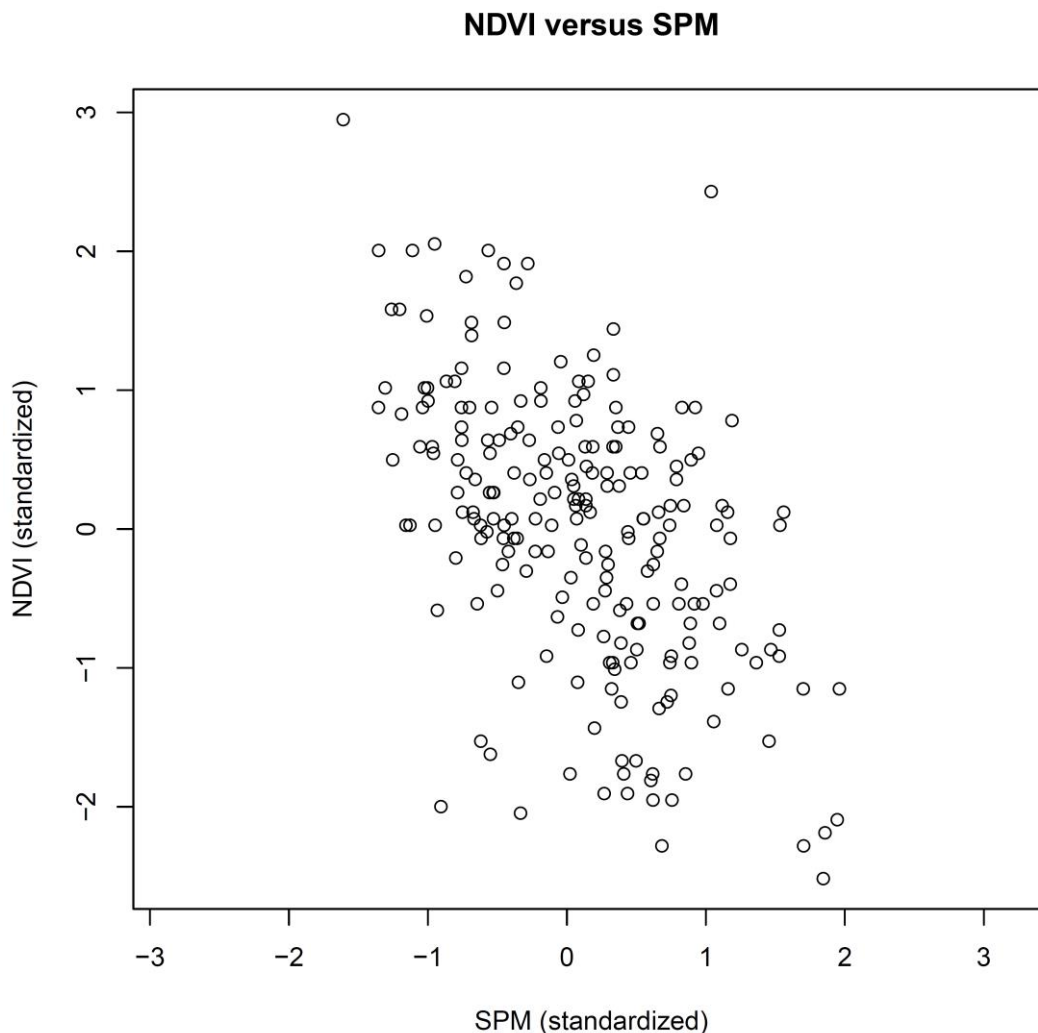
Bij de vergelijking van de tijdserie van NDVI en (gemiddelde) concentratie van zwevend stof (Figuur 2) vallen twee zaken op. Het seizoenale patroon is sterk aanwezig in beide series, maar vooral in NDVI. De seizoenale patronen van beide series verlopen in antifase. Fluctuaties op langere termijn zijn veel meer uitgesproken in de concentratie zwevend stof dan in de serie van NDVI, maar ook voor die component is er een suggestie van een inverse correlatie.

### Time series of standardized NDVI and SPM Wadden Sea



Figuur 2. Tijdsreeks van gemiddelde concentratie zwevend stof (bruin, cf. figuur 1) en NDVI (groen) als maat voor biomassa van het microfytobenthos. Beide series zijn gestandaardiseerd.

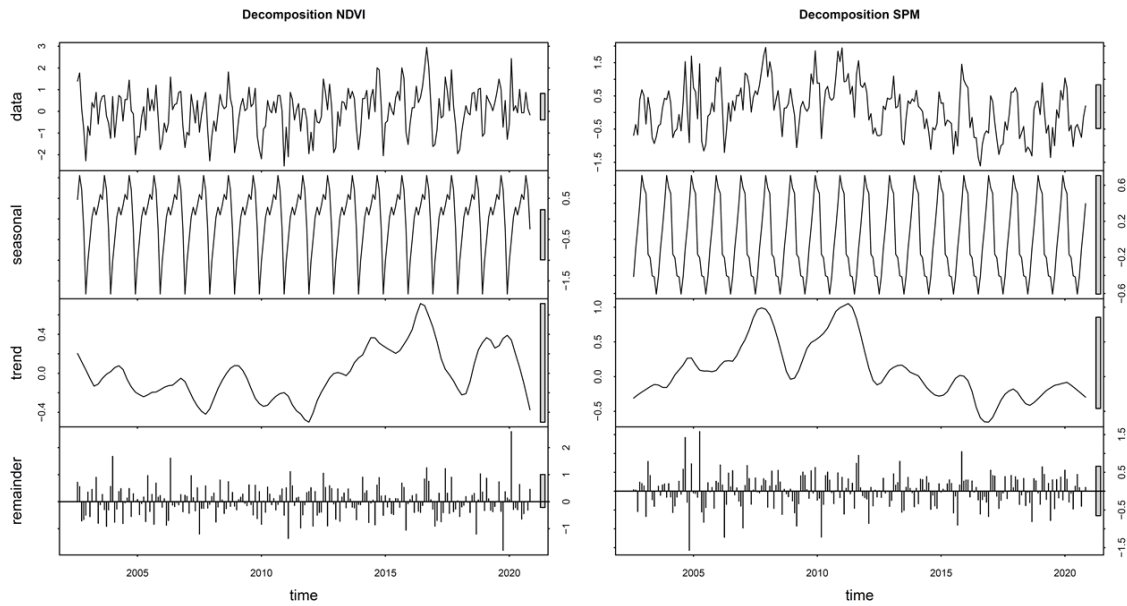
Een scatterplot (Figuur 3) toont aanzienlijke variatie, voor een deel het gevolg van seizoenale patronen, maar suggereert toch ook een zwakke negatieve correlatie tussen beide variabelen. De significantie van die correlatie kan niet vastgesteld worden met een standaard regressiemodel, omdat de afwijkingen (residuen) van een regressiemodel sterke autocorrelatie vertonen (resultaten niet getoond).



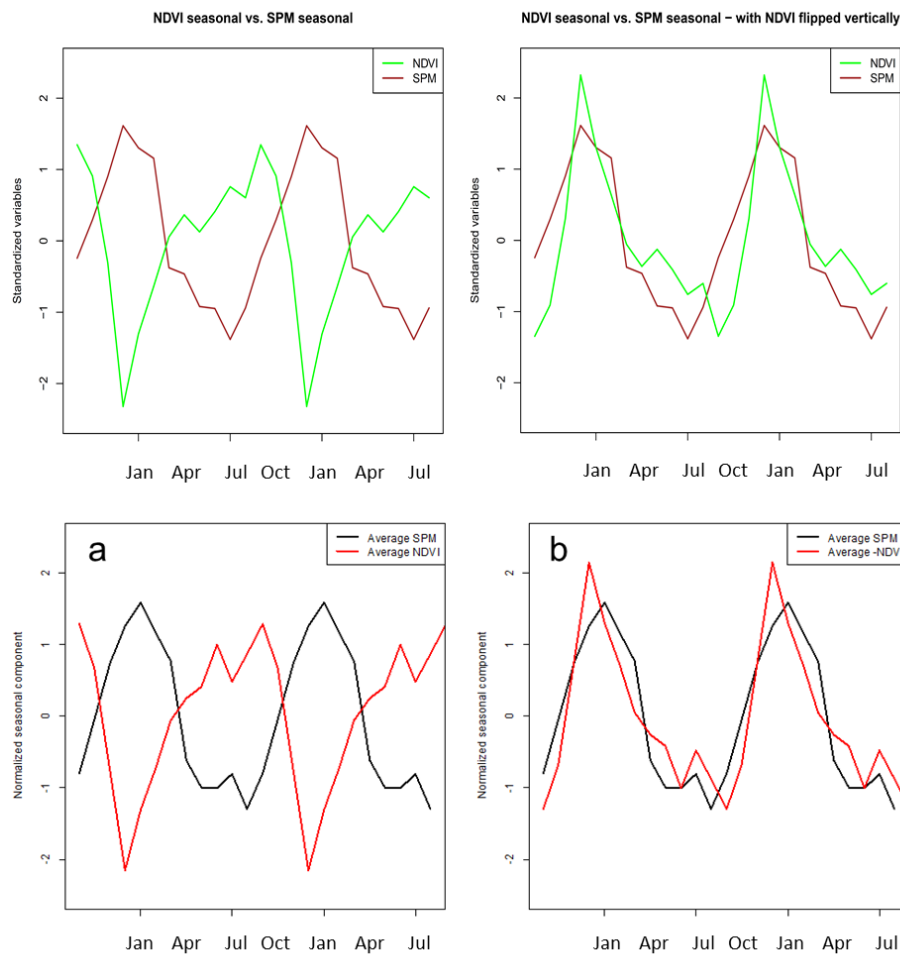
*Figuur 3. Scatterplot van NDVI versus concentratie zwevende stof, gemiddeld over de Waddenzee. Beide variabelen zijn gestandaardiseerd.*

De tijdseries van NDVI en gemiddeld SPM zijn gesplitst in drie componenten, die de seizoenale variatie, de fluctuaties op een termijn  $>1$  jaar, en de random korte-termijn fluctuaties weergeven, aan de hand van een Lowess-gebaseerde filtering. Die opsplitsing wordt geïllustreerd voor beide variabelen in Figuur 4. Zoals eerder beschreven worden beide series gekenmerkt door een seizoenale schommeling, die in tegenfase verloopt. De seizoenale schommelingen, bepaald op de gehele tijdserie, verschillen slechts in details van de seizoensschommelingen bepaald op een deel van de tijdserie zoals gepresenteerd in Herman et al., 2018 (Figuur 5). De grafieken waarin NDVI van teken is veranderd, tonen dat beide series bijna perfect in tegenfase verlopen.

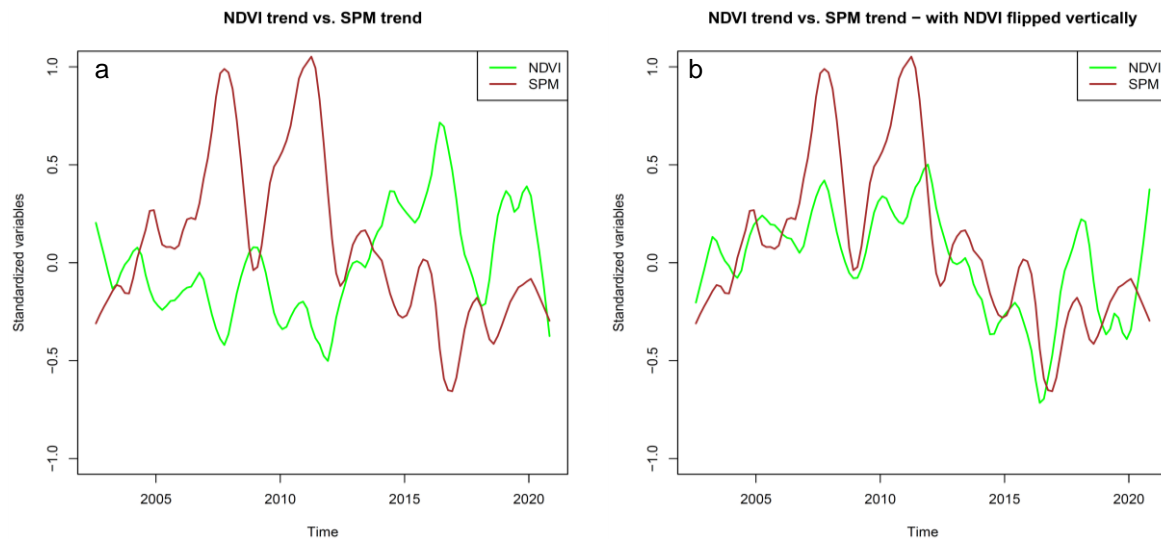
De fluctuaties in de tijdseries op een termijn van meer dan één jaar, vertonen eveneens een negatieve correlatie tussen NDVI en zwevend stof. Deze negatieve correlatie wordt ook sterker naar voren gebracht door de NDVI serie verticaal te spiegelen (Figuur 6). In de jaren met de hoogste gemiddelde concentratie zwevende stof, rond 2008 en rond 2011-2012, was NDVI op zijn laagste peil, maar de verlaging van NDVI was niet in verhouding met de verhoging van het zwevend stof gehalte. Merk hierbij verder op dat het aandeel van de trendcomponent in de fluctuatie van NDVI veel kleiner is dan het geval is bij SPM. Dat roept twijfels op over de significantie van de bijdrage van fluctuatie in NDVI tot de fluctuatie in SPM.



Figuur 4. Decompositie van de tijdseries van NDVI en zwevend stof in de Waddenzee. De totale tijdserie, seizoensale component, trend en residuele fluctuatie op korte termijn worden getoond.

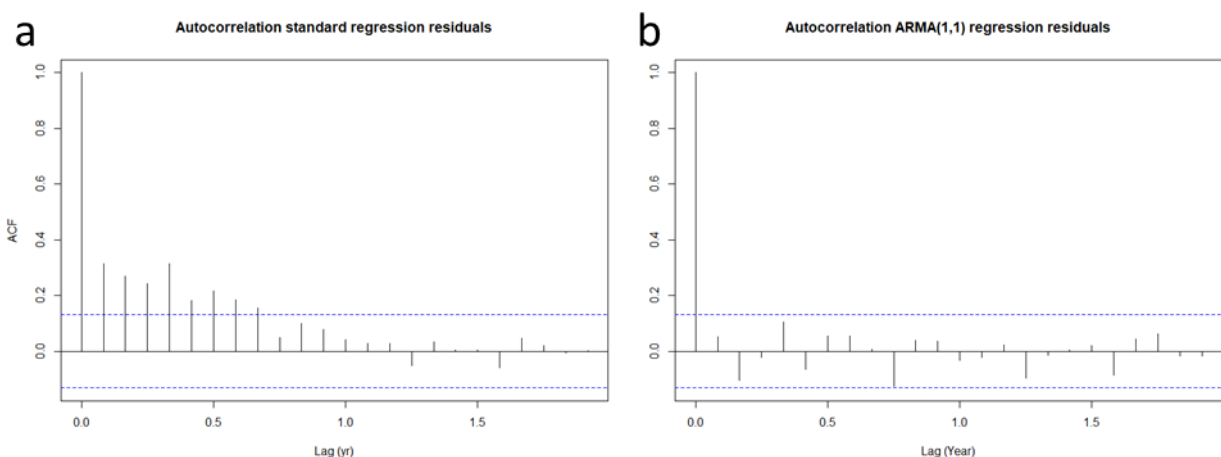


Figuur 5. Vergelijking van de seizoensale cyclus, gebaseerd op de gehele tijdserie (2002-2020) bovenaan, met de gelijkaardige analyse in Herman et al. (2018) gebaseerd op de periode 2002-2008. De linkergrafieken geven de seizoensale componenten voor NDVI en zwevende stof, bij de rechtergrafieken is NDVI van teken veranderd, om de inverse relatie met SPM naar voren te brengen.



Figuur 6. Relatie tussen de trendcomponenten (fluctuaties op meer dan één jaar) van NDVI en zwevend stof in de Waddenzee. (a) tijdserie plot van beide trendcomponenten (b) idem maar met NDVI verticaal gespiegeld om de correlatie beter te laten uitkomen

Zwevende stof is in een gewone lineaire regressie getest met seizoen, NDVI en weer als verklarende variabelen. De coëfficiënt voor NDVI in deze regressie was nominaal significant ( $p=0.007$ ). De residuele variatie van deze regressie vertoont echter een sterke mate van autocorrelatie, over een duur van 8 maanden (Figuur 7a). Die sterke autocorrelatie kan in het model worden ingebouwd door een regressiemodel voor tijdseries te gebruiken, en op te geven wat de temporele autocorrelatiestructuur is. Bij onderzoek van meerdere modellen bleek dat een model met een eerste-orde autoregressie en een eerste-orde moving average het eenvoudigste model was dat de variatie effectief kon beschrijven. Incorporatie van deze termen in het model elimineerden de autocorrelatie in de residuale variatie (Figuur 7b).



Figuur 7. Autocorrelatie (ACF) functie van de residuals van een regressiemodel van SPM op meteorologische variabelen, seizoensfuncties en NDVI waarbij (a) geen autocorrelatie werd aangenomen en (b) een ARMA( $p=1, q=1$ ) model met een eerste-orde autoregressie en eerste-orde moving average component werd aangenomen. Autoregressiewaarden buiten de gestippelde lijnen zijn significant. In (b) zijn de significante termen voor lags > 0 verdwenen, wat aantoont dat het model een correcte foutenstructuur heeft aangenomen.

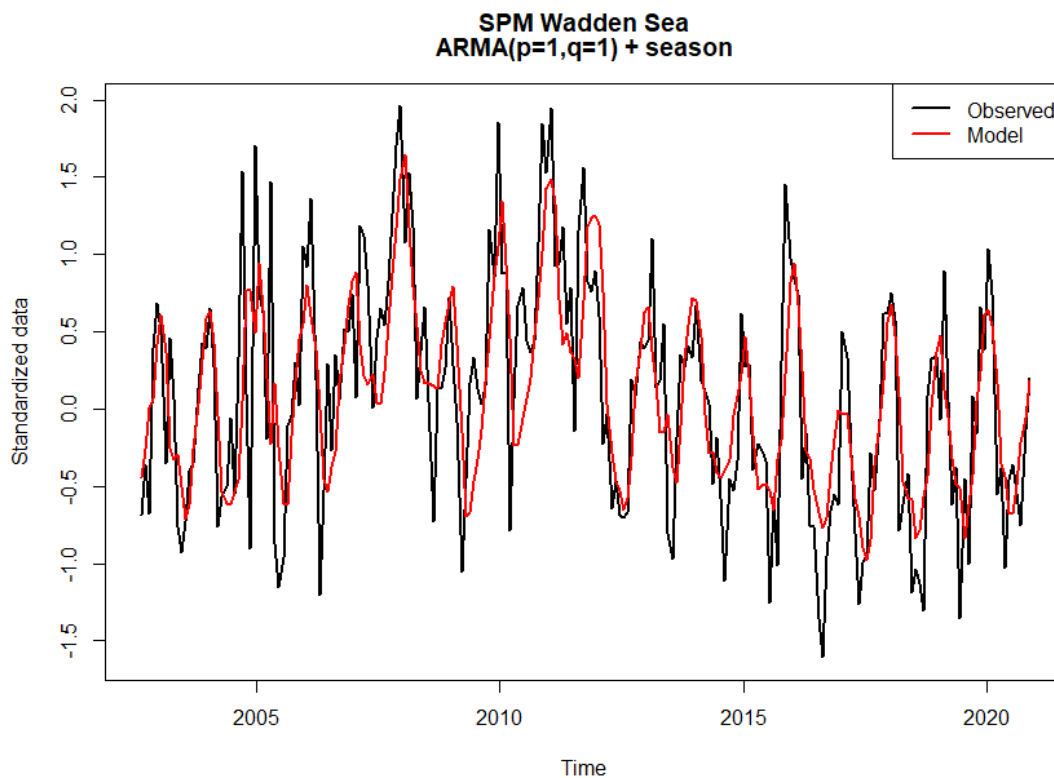
Het inbouwen van deze correctie voor autocorrelatie heeft aanzienlijke invloed op de schattingen van de significantie van de verklarende termen in het model. In het geval van SPM bleek de 'significantie' van NDVI een artefact te zijn van het verwaarlozen van autocorrelatie in de variantie. Na correctie voor deze factor was NDVI geen significante factor meer. Dit is

nagegaan door verschillende modellen, met en zonder elk van de verklarende variabelen, met elkaar te vergelijken aan de hand van de AIC (Akaike's Information Criterion). Weglaten van NDVI als verklarende factor leidt tot een verbetering (verlaging) van de AIC van het model, wat sterk suggereert dat de correlatie met NDVI op toeval berust. Het beste model voor SPM, volgens dit criterium, bevat de volgende termen:

- Eerste-orde autoregressieve term
- Eerste-orde moving average term
- Drie periodieke functies (periodes van 1, ½ en 1/3 jaar) die tezamen een complexe (niet eenvoudig sinusoidale) seizoensfluctuatie beschrijven
- Dagelijkse neerslag (positieve invloed op SPM)
- Bewolking (negatieve invloed op SPM)

De invloed van de laatste twee, meteorologische, voorspellers op SPM is significant maar uiterst gering. Om overfitting te vermijden is het beter deze factoren niet als verklarende factoren in het model op te nemen. Meenemen van een beschrijving van seizoenaliteit is van belang om te vermijden dat er alleen door seizoenaliteit (gezamenlijke afhankelijkheid van een derde factor) een correlatie wordt gevonden met sommige onafhankelijke variabelen. Aan het optimale model zijn één voor één de andere factoren opnieuw toegevoegd. Ook is elk van de verklarende termen in het model vervangen door elk van de overblijvende variabelen. Voor iedere combinatie is de AIC berekend, maar geen enkele verdere verbetering van het model kon worden gevonden.

De waarnemingen van SPM worden vergeleken met het gefitte regressiemodel (zonder de meteorologische variabelen) in Figuur 8. De overeenkomst is over het algemeen goed, al is het model niet in staat om de sterkste afwijkingen (laagste en hoogste waarden) van SPM goed te volgen. De afwijkingen van dit model zijn niet te onderscheiden van witte ruis (Box-Ljung test,  $p=0.56$ ). Het model inclusief de twee meteorologische variabelen neerslag en bewolking, is nauwelijks te onderscheiden van het hier getoonde model.



Figuur 8. De fit van een ARMA(1,1) [autoregressive-moving average] model met incorporatie van regressietermen voor seizoensvariatie op de waarnemingen van gesuspendeerd slib in de Waddenzee.



## 4 Conclusies

De belangrijkste vraag in deze analyse was of de negatieve correlatie tussen microfytobenthos en zwevende stof, die op seizoenale basis kan worden waargenomen in de Waddenzee, ook op langere termijn bestaat. Visuele vergelijking tussen de trend componenten van beide series suggereerde dat er een verband zou kunnen bestaan. Dit verband leek, bij een eenvoudige regressie-analyse, bovendien significant te zijn. Het is echter een artefact van de gebruikte methodiek. Zoals eerder al aangegeven (Herman et al., 2018) wordt de tijdserie van SPM gekenmerkt door een sterke autocorrelatie. Die autocorrelatie blijkt te spelen over langer dan een half jaar. Daardoor ontstaan er fluctuaties in de data die gecorreleerd kunnen lijken met andere factoren, maar feitelijk eerder een gevolg zijn van de eigen karakteristieken van het signaal van gesuspendeerd sediment. Wellicht is de lange autocorrelatie een gevolg van het feit dat schokken aan het systeem (bv. plotse toename van SPM na een storm) lang blijven doorwerken omdat het sediment niet snel een stabiele berging in het systeem kan vinden.

Nadere analyse van het systeem met een statistisch model dat geschikt is om autocorrelatie in de serie weer te geven, kon geen significant effect van NDVI op de meerjarige fluctuaties in gesuspendeerd slib ontdekken. Ook de correlatie met de beschikbare meteorologische gegevens was over het algemeen zeer zwak. Een zekere invloed van neerslag en bewolking kon gevonden worden, maar het voorspellende model zonder deze factoren verschilde zeer weinig van het optimale model. Dit staat in sterk contrast met de resultaten van het voorspellende procesgebaseerde model (Vroom et al., 2020), waarin werd waargenomen dat de fluxen van slib in en uit de Waddenzee fluctueren van jaar tot jaar onder invloed van subtiele veranderingen in de windpatronen gedurende een jaar.

Het is heel goed mogelijk dat het statistische model niet in staat is de complexe samenhang van weerpatronen die bepalend kunnen zijn voor de concentratie zwevend stof in de Waddenzee, als verklarende factor te herkennen. De regressies die hier zijn uitgevoerd houden alleen rekening met correlaties tussen maandgemiddelde observaties van zwevend stof en van meteorologische variabelen. De echte relaties zouden veel complexer kunnen zijn. Windrichting is bijvoorbeeld een factor die zou kunnen meespelen, waarbij alleen sterke winden in bepaalde richtingen zouden moeten worden meegewogen. Dergelijke weging is in deze analyse niet uitgevoerd. Ook is geen rekening gehouden met de duur van bepaalde weerpatronen, terwijl dat in de natuur belangrijk kan zijn, omdat een langere periode van bepaalde weerpatronen (bv. wind uit een bepaalde richting) noodzakelijk zou kunnen zijn om een transport tussen Noordzee en Waddenzee op gang te brengen.

Op dit ogenblik moeten we concluderen dat er, voor wat betreft de meerjarige variatie, geen significante invloed van microfytobenthos op het gesuspendeerde slib in de Waddenzee kon worden gevonden. Uit de lange autocorrelatie in zwevend stof concluderen we dat de fluctuaties op langere termijn in SPM het gevolg lijken te zijn van langdurende responsen van het systeem op relatief kortstondige verstoringen. Met de maandelijkse resolutie van onze gegevens over microfytobenthos en meteorologie is het niet gelukt de oorzaak daarvan precies op te sporen.

## 5 Referenties

- Herman, P., van Kessel, T., Vroom, J., Dankers, P., Cleveringa, J., de Vries, B., et al. (2018). Mud dynamics in the Wadden Sea. Towards a conceptual model. *Deltares*.
- van der Wal, D., Wielemaker-van den Dool, A., and Herman, P.M.J. (2010). Spatial Synchrony in Intertidal Benthic Algal Biomass in Temperate Coastal and Estuarine Ecosystems. *Ecosystems* 13(2), 338-351. doi: 10.1007/s10021-010-9322-9.
- Van der Wal, D., Wielemaker, A. en Knuijt, A. (2021) Langjarige microfytobenthodynamiek in de Waddenzee uit MODIS Aqua/Terra satelliet remote sensing. NIOZ memo 23 augustus 2021.
- Vroom, J., van Weerdenburg, R., Smits, B.P., and Herman, P.M.J. (2020). "Modellering slibdynamiek voor de Waddenzee. Kalibratie voor KRW slib". *Deltares*.