

## Memo

**Aan**

mevrouw F. van Luijn  
de heer A. Remmelzwaal

**Datum**

11 juni 2020

**Ons kenmerk**

11203697-025-BGS-0001

**Aantal pagina's**

1 van 23

**Contactpersoon**

Tineke Troost

**Doorkiesnummer**

+31(0)88 335 8281

**E-mail**

Tineke.Troost@deltares.nl

**Onderwerp**

Hypothese document Markermeer

### **Hypothese document Markermeer: abiotiek en primaire productie**

Dit document is gemaakt in opdracht van WVL (Albert Remmelzwaal en Francien van Luijn) voor de Werkgemeenschap Levend Markermeer. Doel is een gezamenlijke beeldvorming van de kennis en kennisleemtes omtrent het ecologisch functioneren van het watersysteem van het Markermeer. Focus ligt hierbij op de abiotiek en primaire productie. Het document is tot stand gekomen door een inventarisatie en discussies binnen Deltares (o.a. met Ruurd Noordhuis, Valesca Harezlak, Menno Genseberger) en met Harm van der Geest (UvA), aangevuld met de punten die naar voren zijn gebracht tijdens de discussie in de online bijeenkomst van de Werkgemeenschap Levend Markermeer d.d. 25 mei 2020.

Het document geeft een overzicht van de verschillende hypothesen over de factoren en relaties die van belang (kunnen) zijn voor de abiotiek en primaire productie in het Markermeer. Omdat het Markermeer steeds in ontwikkeling is, is er getracht om een aantal herkenbare periodes te definiëren. Per periode wordt een korte beschrijving gegeven, waarna de hypothesen in een tabel worden gevat. Voor de leesbaarheid worden in de tabel weinig of geen getallen/waarden genoemd, deze zijn terug te vinden in de grafieken aan het eind van dit document.

De hypothesen verschillen in de mate waarover er onzekerheid over bestaat. Sommige worden algemeen geaccepteerd, hoewel ze lastig te bewijzen of falsificeren zijn (al is het maar omdat zij over een periode uit het verleden gaan). Als er gerede onzekerheid over de hypothesen bestaat dan is dat in de

tabel aangegeven d.m.v. de woorden 'waarschijnlijk' (enige onzekerheid) en 'mogelijk' (grote mate van onzekerheid); als er ipv een stelling een open vraag (inclusief vraagteken) staat, dan duidt dit op een zeer grote onzekerheid. Bij de onzekere of onbekende oorzaken zijn tevens de mogelijkheden aangegeven hoe dit verder onderzocht kan worden. Aan het eind van het document worden de mogelijke vervolgonderzoeken gebundeld in vier onderwerpen (primaire productie, slib, nutriëntenhuishouding, trophic transfer). NB de suggesties voor vervolgonderzoek zijn het resultaat van een eerste inventarisatie. Ze zijn dus niet allemaal even specifiek of goed doordacht, en waarschijnlijk ook niet compleet.

**Eerste periode (1975-1982): veel (maar afnemende) nutriënten, slecht doorzicht, grootcellige blauwalgen**

- Door de grote hoeveelheid klei die van oudsher in het systeem aanwezig is, vindt er via bioturbatie/erosie opbouw van een grote hoeveelheid slib plaats. Dit slib wordt opgewerveld en kan na 1975 niet meer worden afgevoerd, en leidt zo tot een slecht doorzicht in de waterkolom.
- Verder is het systeem na de afsluiting eerst nog rijk aan nutriënten, maar in deze periode nemen die flink af door de afsluiting van het Markermeer (doordat de IJssel niet meer rechtstreeks in verbinding staat met het Markermeer), in combinatie met de aanpak van de organische en chemische verontreiniging van de Rijn. Die aanpak leidt vanaf midden jaren '70 tot een sterke verbetering van de waterkwaliteit, en dus een verminderde nutriënten belasting op het Markermeer. In 1976 vindt in de rivier ook nog een extra terugslag plaats door de hete en droge zomer.
- Het slechte doorzicht en de nutriënt-rijkdom leidt tot een algensamenstelling gedomineerd door grootcellige blauwalgen, met bloeien van met name de draadvormige Aphanizomenon, en in mindere mate (t.o.v. IJsselmeer) kolonies van Microcystis. Benthische diatomeeën komen nauwelijks voor en ook waterplanten niet, waarschijnlijk i.v.m. met het slechte doorzicht.

| <b>Eerste periode (1975-1982):</b> |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compartiment                       | Observaties                                                                       | Hypotheses                                                                                                                                                                                                                        | Wat/Hoe onderzoeken?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Slib                               | Na de afsluiting nemen de slibconcentraties toe                                   | De toename van de slibconcentraties wordt veroorzaakt door erosie van de historische klei-afzettingen, welke door de aanleg van de Houtribdijk niet meer afgevoerd kunnen worden                                                  | De hypothesen m.b.t. deze periode zijn weinig omstreden. Vervolgonderzoek lijkt dus niet per se nodig. Wel zou de periode als referentie-situatie dienst kunnen doen, om de impact van veranderingen en ingrepen tegen af te kunnen zetten.<br>Ook kan de periode gebruikt worden bij het valideren van de modellen die worden ingezet voor |
| Nutriënten                         | Nutriënten concentraties beginnen hoog, maar nemen sterk af tijdens deze periode. | De afname van de nutriëntenconcentraties wordt veroorzaakt doordat IJsselaanvoer nauwelijks meer in het Markermeer komt door Houtribdijk, in combinatie met de aanpak van de organische en chemische verontreiniging van de Rijn. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|              |                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                            |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Doorzicht    | Slecht doorzicht;<br>hoge Chl:ZS ratio tov<br>bv IJsselmeer;                                                                                | Het slechte doorzicht wordt veroorzaakt door de hoge<br>slibconcentraties in de waterkolom.                                                                                                                                                                     | het beantwoorden van vragen/checken van<br>hypotheses uit andere periodes. |
| Algen        | Grootcellige<br>blauwalgen;<br>lagere chl conc dan in<br>het IJsselmeer.                                                                    | De algensoortensamenstelling wordt veroorzaakt door de hoge<br>concentraties opgeloste nutriënten in combinatie met een<br>slecht doorzicht; algen zijn dus waarschijnlijk vooral licht-<br>gelimiteerd. Dit leidt waarschijnlijk ook tot de hoge Chl:ZS ratio. |                                                                            |
| Waterplanten | Lage biomassa's                                                                                                                             | De lage biomassa van waterplanten wordt waarschijnlijk<br>veroorzaakt door het slechte doorzicht, maar mogelijk spelen<br>ook andere factoren een rol (zie oa hypothesen tweede<br>periode)                                                                     |                                                                            |
| Mosselen     | Verdwijnen mosselen<br>bij Lelystad,<br>concentratie in het<br>westen. Groei<br>(schelplengte)<br>stabiel, vergelijkbaar<br>met IJsselmeer. | Het verdwijnen van de oude mosselpopulatie bij Lelystad wordt<br>waarschijnlijk niet veroorzaakt door voedsel (want dat lijkt in<br>voldoende mate aanwezig), maar is waarschijnlijk te wijten aan<br>afdekking met slib, dat niet meer kan worden afgevoerd.   |                                                                            |

### Tweede periode (1983-1993): afname nutriënten, afname chl:ZS ratio, afname mosselen en vis

- Er vindt een verdere afname plaats van PO<sub>4</sub>. Een omslagmoment is 1982, toen de lozing van ongezuiverd Amsterdams afvalwater werd gestopt. Ook de belasting vanuit de rest van de omgeving neemt af door afname van P in de rijntakken, in 1989-1993 versterkt door lage debieten.
- Deze verandering gaat gepaard met een afname van de chlorofyl: zwevend stof (Chl:ZS) ratio en een afname van de groei van Driehoeksmosselen en vis.

| <b>Tweede periode (1983-1993):</b> |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compartiment                       | Observaties                                                                                                       | Hypotheses                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Wat/Hoe onderzoeken?                                                                                                                                                                                                                                            |
| Nutriënten                         | Verdere afname PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> blijft laag                                                      | De afname van PO <sub>4</sub> wordt veroorzaakt door afname van rivierconcentraties en rivierdebieten, alsmede door het stoppen van de lozing van Amsterdams afvalwater                                                                                                                                                | Sanering afvalwater Amsterdam van 1982 was in het uiterste zuiden, vlak bij afvoer via de Oranjesluizen. Met dit soort ruimtelijke verschillen is geen rekening gehouden in de UvA balans. Vraag is of dit effect wel zo sterk was in het noorden. Modelstudie? |
| Slib                               | Slib-conc was al hoog (zie vorige periode) maar neemt nog verder toe                                              | Het anorganisch zwevend stof (ZS) blijft toe nemen doordat uit erosie ontstaan slib niet meer wordt afgevoerd en de eerste tien jaar mobiele massa opbouwt in het systeem.                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Algen                              | Concentratie chlorofyl blijft gelijk (of neemt zelfs ook iets toe) tov vorige periode; sterke afname Chl:ZS-ratio | The Chl:ZS ratio neemt af door een toename van het ZS, terwijl het chlorofyl gelijk blijft. Waarschijnlijk ligt dit aan een toenemende nutriëntenlimitatie, die naast de lichtlimitatie een steeds grotere rol gaat spelen, wat ook leidt tot de veranderde soort samenstelling aan het begin van de volgende periode. |                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|              |                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Waterplanten | Net als in de vorige periode lage biomassa's maar met een (lokale) toename begin jaren '90 | De lage biomassa's waterplanten worden waarschijnlijk veroorzaakt door het slechte doorzicht. Maar aangezien de planten begin jaren 90 toenemen, terwijl het doorzicht dan juist verder afneemt, moet er nog een andere oorzaak zijn. Mogelijk speelt de hoge biomassa van grote bodemwoelende Brasem een rol, die neemt na deze periode sterk af. | Er zijn nog vragen bij de relatie tussen de afname van doorzicht aan het eind van deze periode en verandering van de lichtbeschikbaarheid voor algen en waterplanten. Kleine modelstudie (Uitzicht?).                 |
| Mosselen     | Afname driehoeksmosselen                                                                   | De afname van driehoeksmosselen wordt veroorzaakt door de verslechterde chlorofyl/zwevend stof ratio. Deze zakt onder een grenswaarde voor groei mosselen (publicatie Ellis Penning)                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                       |
| Vis          | Afname van vis                                                                             | Oorzaken zijn grotendeels onduidelijk. Combinatie van afname voedselrijkdom en overbevissing? Afname van grote bodemwoelende Brasem (maar veel minder duidelijk dan in IJsselmeer), mogelijke relatie met nutrienthuishouding, waterplanten en bodemfauna                                                                                          | De rol van Brasem kan worden onderzocht door analyse van visgegevens. Daarvoor is wat inspanning nodig omdat die voor 1989 niet gestandaardiseerd zijn. Dit kan waarschijnlijk door per trek/locatie te kijken (WMR). |

**Derde periode (1993-2004): lage nutriëntenconcentraties, veranderde algensoortensamenstelling, vlokvorming, afname mosselen**

- Deze periode wordt gekenmerkt door lage nutriëntenconcentraties. Wel nemen de rivierdebieten vanaf 1994 weer iets toe, en vindt er tijdens de periode dus een licht herstel van met name PO<sub>4</sub> concentraties plaats door toename van aanvoer van nutriënten via de Houtribdijk.
- Het begin van deze periode wordt gemarkeerd door de massale opkomst van kolonies van kleincellige blauwalgen zoals Aphanocapsa, Aphanothece en Cyanodictyon (nog net gedocumenteerd van 1992 op 1993). Deze verandering in soortensamenstelling duidt op een nutriënten-limitatie van het fytoplankton en gaat gepaard met een verslechtering van het doorzicht en een abrupte afname van de gemiddelde celgrootte van het fytoplankton.
- In deze periode ontstaat (rond 1996, dit is een jaar met een erg lage NAO index, oostenwind, 3 maanden ijs op IJsselmeer) een omgekeerd seizoensverloop van chlorofyl, met hogere concentraties in de winter dan in de zomer. Dit verloop vertoont veel overeenkomst met het seizoensverloop van de gemiddelde windsnelheid. Bij dit proces is toename van de winterse groenalg Tetrastrum komarekii van belang. Deze piekt in vroege voorjaar, misschien door grote graasgevoeligheid.
- De mosselen nemen verder af. Een van de mogelijke oorzaken hiervan is dat de nieuwe algengemeenschap beter groeit op weinig P. De algen hebben dus een lagere P/C ratio. De afname van de mosselen is dus niet zozeer te danken aan een afname van de algen maar aan een afname van de kwaliteit van de algen. Daaroverheen komt dat de nieuwe blauwalgensoorten samen met het vele slib vlokken vormen. Dit zou voor hen een manier zijn om bij de weinige nutriënten te komen. Voor de mosselen zijn deze vlokken mogelijk echter te groot om te eten.

| <b>Derde periode (1993-2004):</b> |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Compartiment                      | Observaties                                                                                                                                                               | Hypotheses                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Wat/Hoe onderzoeken?                                                                                                                                                                          |
| Nutriënten                        | Nutriëntenconcentraties waren al laag in de vorige periode, maar PO4 bereikt een minimum aan het begin deze periode (<0,01 mg/l), daarna weer lichte toename.             | De lage nutriënten concentraties worden in belasting naar de meren versterkt door de lage rivierdebieten in 1989-93. Dit werd vertaald in lagere aanvoer van IJsselmeer naar Markermeer. Daarna nemen de rivierdebieten weer toe, dus is er weer een wat hogere belasting via het IJsselmeer. Mogelijk speelt ook de bodemwoeling een rol door een licht herstel van de Brasempopulatie.                                                                                                                                                                                                                         | Ruimtelijke detaillering van balansstudie in combinatie met modellering waterbeweging?                                                                                                        |
| Doorzicht                         | Aan het begin van de periode neemt het doorzicht abrupt af t.o.v. de vorige periode                                                                                       | De afname in doorzicht wordt waarschijnlijk veroorzaakt wordt door de hogere licht-extinctie (of verstrooiing?) van de kleincellige blauwalgenkolonies.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Bij vorige periode ook al genoemde kleine modelstudie naar de relatie tussen doorzicht en lichtbeschikbaarheid, maar dan gekoppeld aan algensoorten (incl. vlokvorming) via lab experimenten. |
| Algen                             | Andere soortsaamenstelling dan in vorige periode: nu met name kleincellige blauwalgen; daarnaast veel Tetrastrum in vroege voorjaar; ook wordt er vlokvorming waargenomen | De soortsaamenstelling en seizoensdynamiek zijn ongebruikelijk, en het is onduidelijk hoe deze precies verklaard kunnen worden. Door de vlokvorming is het fytoplankton in feite een benthische gemeenschap geworden. Waarschijnlijk speelt de toegenomen nutriëntenlimitatie een rol, in combinatie met de nog steeds aanwezige lichtlimitatie. Mogelijk hebben de voorkomende algensoorten minder nutriënten nodig (gekoppeld aan een lagere P:C ratio), en/of kunnen ze (beter) bij de nutriënten in de slibdeeltjes en/of bodem, en/of zijn ze minder eetbaar voor mosselen. Mogelijk dat de opwerveling van | -Beter uitzoeken eigenschappen van deze soorten;<br>- Principe-test in algen-competitiemodel (i.e. kunnen we de soortsaamenstelling reproduceren in het model?)                               |



|                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | de vlokken de algen helpt om in het eufotische deel van de waterkolom te verblijven.                                                                                                                                                                                                                                                             |  |
| Geen benthische diatomeeën (terwijl je die wel zou kunnen verwachten in een nutriëntengelimiteerd systeem, omdat zij hun voedingsstoffen uit de bodem kunnen halen) | De afwezigheid van benthische diatomeeën is niet geheel begrepen. Wordt deze veroorzaakt door licht-limitatie, of speelt een tekort aan silicium hierbij (ook) een rol? En/of een nutriëntentekort in bodem, bv doordat deze bedekt is met anorganisch slib. (Feit is dat, sinds de afsluiting in 1975, er veel minder aanvoer van Si plaatsvindt, de winterpiek verdwijnt dan al snel.)                                                                                                                                                                                                     | Check silicium data<br>In bovengenoemde principe-test ook expliciet silicium en benthische diatomeeën meenemen (zijn er ook andere condities/eigenschappen bekend/denkbaar waardoor de blauwalgen het kunnen winnen van de diatomeeën?)                                                                                                          |  |
| Atypisch seizoenspatroon met chlorofylconcentraties in de winter 2x zo hoog als in de zomer.                                                                        | Het atypische seizoenspatroon houdt mogelijk verband met de vlokvorming met slib. Het seizoenspatroon van chlorofyl vertoont veel overeenkomst met dat van de windsnelheid; en wordt dus mogelijk verklaard door opwerveling van de vlokken.<br>Daarnaast spelen mogelijk ook de eigenschappen van de groenalg Tetrastrum een rol in het seizoenspatroon (grote graasgevoeligheid, winteralg, piekt in maart). Is deze alg betrokken bij vlokvorming? Maken de stekels ze ongeschikt voor mosselen, of maakt de predatie door zooplankton in voorjaar ze gewoon niet relevant voor mosselen? | In bovengenoemde principe test ook de vlokvorming en opwerveling meenemen (kunnen we dit atypische patroon reproduceren? onder welke omstandigheden treedt dit op?)<br><br>De rol van Tetrastrum roept nog veel vragen op. Zijn eigenschappen zijn min of meer onbekend. Dus graag achterhalen van zijn eigenschappen voor algenmodellering. Ook |  |