

2018

Blauwalgenbloei in de Zuidelijke Randmeren 2014-2017



Arjo Oostra
Barend de Boer
Erwin Kers
Ilan Slangen
Koen Simons
Marvin Brandjes
Sascha Kuiper

Toegepaste Biologie

Klas 3TBa, 3TBb & 3TBc

Blauwalgenbloei in de Zuidelijke Randmeren 2014-2017

Studie naar de oorzaak van blauwalgenbloei in de Zuidelijke Randmeren

Opdrachtgever:

Bauke de Witte: bauke.de.witte@rws.nl
Ria Kamps: ria.kamps-mulder@rws.nl

Project coach:

Maaïke Cox: m.cox@aeres.nl

Projectleden:

Arjo Oostra: 3022331@aeres.nl
Barend de Boer: 3022710@aeres.nl
Erwin Kers: 3022188@aeres.nl
Ilan Slangen: 3021855@aeres.nl
Koen Simons: 3022949@aeres.nl
Marvin Brandjes: 3022300@aeres.nl
Sascha Kuiper: 3022448@aeres.nl

Datum: januari 2018

Plaats: Almere



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



Voorwoord

Voor u ligt het rapport met betrekking tot het onderzoek naar het optreden van blauwalgenbloei in de Zuidelijke Randmeren. Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de module HIPR van de opleiding Toegepaste biologie. De opdracht is uitgevoerd voor Rijkswaterstaat. In dit rapport is gekeken naar de oorzaak van de blauwalgen bloei in de zuidelijke randmeren

Het project was erg leerzaam we hebben veel geleerd over systeem ecologie en blauwalgen. Een aantal onderdelen van het project waren uitdagend omdat er rekening gehouden moest worden met een hoop aspecten die invloed hebben op de blauwalg. We zijn een groep van 7 studenten, daardoor was het plannen en afspraken maken erg belangrijk. Ondanks de grote groep ging het samenwerken goed en zijn er geen incidenten geweest.

Onze dank gaat uit naar Tom Huisman en Reinder Torenbeek, Maaïke Cox, Bauke de Witte en Ria Kamps. Zij hebben ons tijdens het opstellen van dit rapport begeleid. Daarnaast willen wij ieder ander bedanken die ons tips, sturing en informatie hebben gegeven.

Samenvatting

Blauwalgenbloei kan schadelijk zijn voor mens en dier en duid vaak op een slechte balans in een watersysteem. Blauwalgen bloei is aanwezig in de Zuidelijke Randmeren en om recreatie en een goede balans te bevorderen is het van belang de oorzaak hiervan aan te pakken.

In dit rapport is onderzocht wat de oorzaak is van de blauwalgenbloei in de Zuidelijk Randmeren. Er is hierbij literatuuronderzoek uitgevoerd naar gebiedskenmerken de diepte en oppervlakte van de meren, gekeken naar de bodemtypen van de meren en omliggende gebieden, de in en uitstroom van het grondwater en de aanwezigheid van waterplanten. Verder is data verzameld en geanalyseerd hierbij zijn de nutriënten in samenhang tot de temperatuur, neerslag, biovolume blauwalg en de aanvoer van de nutriënten uit de Eem belangrijke factoren.

In dit rapport is geconstateerd dat de aanvoer van nutriënten uit de Eem te hoog is, dit overschrijdt de norm en is een belangrijke factor in de blauwalgenbloei. Echter is er geen samenhang geconstateerd tussen de nutriënten in de Zuidelijke Randmeren en het biovolume blauwalg. Om de blauwalgenbloei te bestrijden kan gebruik gemaakt worden van de Flock & Lock methode of door verdunt waterstofperoxide aan het meer toe te voegen. Om te voorkomen dat toekomstige blauwalgen bloei ontstaat is het van belang om de oorzaak van de blauwalgenbloei aan te pakken (nutriënten) is de beste optie om natuurvriendelijke oevers bij de nutriëntenbron (rioolwaterzuiveringsinstallaties) aan te leggen. Om alle parameters die mogelijk blauwalgenbloei bevorderen uit te sluiten is verder onderzoek nodig en zijn gedetailleerde gegevens van deze parameters noodzakelijk.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	8
2.	Materiaal & Methode	11
2.1	Parameters	11
2.2	Onderzoeksmethodes	12
3.	Resultaten Literatuuronderzoek	13
3.1	Dieptes en oppervlakte	13
3.2	Bodem	15
3.3	Instroom grondwater	16
3.4	Debiet	17
3.5	Nutriënten	17
3.5.1	De bron van de nutriënten	18
3.5.2	Nutriënten door bemesting.....	18
3.6	Recreatie en scheepsvaart	21
3.7	Waterplanten	22
3.7.1	Belang van waterplanten.....	22
3.7.2	Habitattypen.....	22
3.7.3	Voorkomende soorten	22
3.7.4	Monitoring.....	23
3.7.5	Allelopathie	26
3.7.6	Maaibeheer	26
3.7.7	Biomassaproductie	27
3.7.8	Opname van nutriënten door vegetatie	27
3.7.9	Bodemtype- en samenstelling.....	28
3.8	blauwalgen families.....	29
3.9	Zuivering in natuurvriendelijke oevers.....	30
3.9.1	Zuivering in oevers algemeen.....	30
3.9.2	Korte beschrijving zuiverende processen.....	30
3.9.3	Peilbeheer.....	31
3.9.4	Uitwisseling en verblijftijd	31
3.9.5	Relatief oeveroppervlak van de natuurvriendelijke oever.....	31
3.9.6	Nutriëntenbelasting	32
3.9.7	Relatie debiet, nutriënten en zuivering.....	33
3.9.8	Kosten aanleg natuurvriendelijke oever	35
3.10	Curatieve bestrijdingsmethoden cyanobacteriën	37
3.10.1	Waterstofperoxide (H ₂ O ₂)	37

3.10.2 Geo-engineering	38
4. Resultaten data-analyse	39
4.1 Temperatuur.....	39
4.2 Neerslag.....	44
4.3 Blauwalgen voorkomen en biovolume blauwalg	48
4.3 Debiet	51
4.4 Nutriënten uit de Eem	52
4.5 Correlatie nutriënten met biovolume blauwalg.....	53
5. Ecologische sleutelfactoren.....	57
5.1 De eerste drie ecologische sleutelfactoren	57
5.1.1 Ecologische sleutelfactor 1: Productiviteit van het water.....	57
5.1.2 Ecologische sleutelfactor 2: Lichtklimaat	57
5.1.3 Ecologische sleutelfactor 3: Productiviteit van de bodem	57
6. Discussie	59
6.1 Dieptes en Oppervlakte.....	59
6.2 Bodem	59
6.3 Instroom grondwater	59
6.4 Debiet en Neerslag	60
6.5 Scheepvaart	60
6.6 Waterplanten	60
6.7 Blauwalgen families.....	61
6.8 Curatieve bestrijdingsmethoden.....	61
6.9 Natuurvriendelijke oevers	61
6.10 Temperatuur.....	62
6.11 Nutriënten uit Eem	62
6.12 Correlatie nutriënten met biovolume blauwalg.....	63
6.13 Blauwalgen en volume	63
7. Conclusie & Aanbeveling	64
8. Bibliografie.....	67
Bijlage I: Luchtfoto's	73
Bijlage II: Planning schema's	76
Bijlage III: Neerslag kaarten KNMI.....	78
Bijlage IV: Dataset neerslag.....	81
Bijlage V: Resultaten gebiedsgebruik	82
Bijlage VI: Bodemtypering Markermeer & IJmeer	83
Bijlage VII: Nutriënten	84

Bijlage VIII: LMM-nutriëntengehalte	85
Bijlage IX: Kosten tabellen natuurvriendelijke oevers.....	86
Bijlage X: Zwemwatermonitoring locaties.....	88

1. Inleiding

Blauwalgen oftewel cyanobacteriën, zijn bacteriën die net zoals planten in staat zijn om fotosynthese uit te voeren. Deze bacteriën zijn onder normale omstandigheden altijd aanwezig in een ecosysteem (Crayton, 1993). Maar door menselijk handelen en stijgende temperaturen ontstaan situaties waar blauwalg uitermate goed in kunnen leven (Crayton, 1993). Op het moment dat er voldoende nutriënten zijn en als de temperatuur boven de 20 graden Celsius ligt zijn de omstandigheden voor de cyanobacteriën optimaal en kan als gevolg daarvan een blauwalgenbloei ontstaan (Havens, 2008).

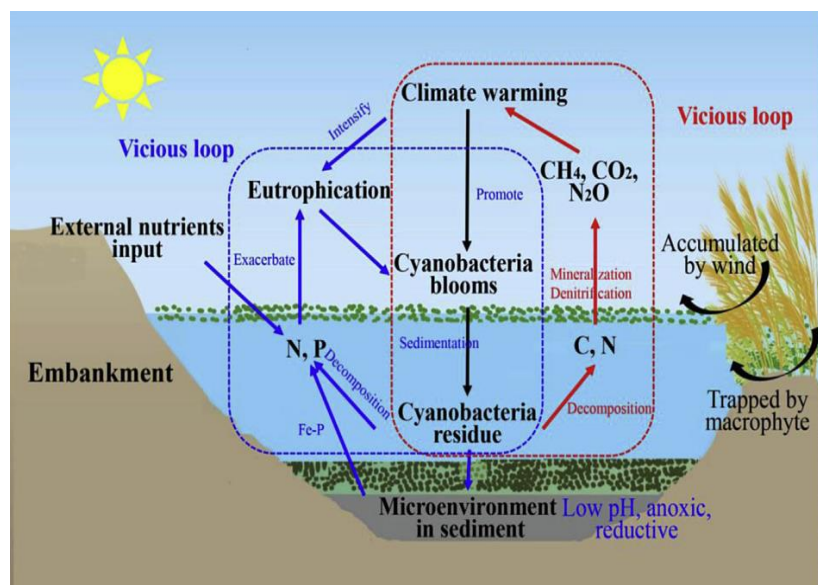
Cyanobacteriën kunnen een variëteit aan toxines produceren, de zogenoemde cyanotoxinen (Hitzfeld, Höger, & Dietrich, 2000). De soorten die het meest in verband worden gebracht met toxiciteit zijn *Microcystis aeruginosa*, *Planktotrix rubescens*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Planktothrix agardhii* en *Lyngbia spp.* (Hitzfeld, Höger, & Dietrich, 2000). Er zijn meerdere gevallen bekend van besmetting van toxinen, geproduceerd door cyanobacteriën, bij mensen (Hitzfeld, Höger, & Dietrich, 2000).

In Nederland zijn de meeste wateren van nature voedselrijk (eutroof), dit door de ligging in een deltagebied (Hoogenboom, 2016). De laatste decennia worden veel wateren in een snel tempo voedselrijker door de voedingstoffen afkomstig van huishoudens, industrie en landbouwgronden (Hoogenboom, 2016).

Nutriënten in het oppervlaktewater spelen een belangrijke rol bij de ontwikkeling van waterplanten en cyanobacteriën. De elementen N (stikstof) en P (fosfor), essentieel voor de groei en ontwikkeling van planten, zijn normaal in lage concentraties beschikbaar en limiteren hiermee de groei van planten (Hoogenboom, 2016) en cyanobacteriën (Havens, 2008). Het is daarom belangrijk een goed beeld te hebben van de aanwezigheid van nutriënten, in het bijzonder de gewoonlijk limiterende elementen.

Benodigde elementen voor cyanobacteriën zijn koolstof (C), waterstof (H), zuurstof (O), stikstof (N), zwavel (S) en fosfor (P). Hiervan zijn vooral stikstof en fosfor belangrijk voor de groei van cyanobacteriën, net als bij waterplanten zijn dit gewoonlijk de limiterende elementen (zie figuur 1).

Tegelijkertijd kan een verhoogde CO_2 concentratie in het water het fotosynthese proces versnellen (Xingcheng, et al., 2017). Een verhoogde CO_2 concentratie kan tot stand komen door een actief bodemleven en/of weinig CO_2 consumenten (planten/algen). Vrij CO_2 kan worden omgevormd in makkelijk beschikbaar anorganische stikstof, waaronder HCO_3^- en CO_3^{2-} (Wetzel, 2001). De oorzaak van explosieve blauwalgen groei is een overschot aan nutriënten.



Figuur 1: Relatie tussen klimaat opwarming, eutroficatie en cyanobacterie bloei (Xingcheng, et al., 2017).

Er zijn verschillende manieren waarop nutriënten in het oppervlaktewater kunnen komen. Uitspoeling van nutriënten van omliggende akkers en weilanden is sterk afhankelijk van zware regenval (Puijenbroek, Cleij, & Visser, 2010). Eutrofiëring door rioolwater overstorten kunnen lokaal problemen veroorzaken (Puijenbroek, Cleij, & Visser, 2010). Mogelijk kunnen, door werkzaamheden hogerop in een rivier of in een meer, nutriënten uit de bodem opwellen welke oplossen in het water en met de stroom mee drijven. Scheepvaart veroorzaakt golven en turbulentie in het water, hiervan kan sediment omwoelen en komen bezonken nutriënten in de waterkolom (Nijboer, et al., 2000). Wanneer wordt gekeken naar mogelijke oplossingen voor blauwalgenbloei is het logisch om de beschikbaarheid van de nutriënten stikstof (Pearl, et al., 2011) en fosfor (Schindler, 2012) te limiteren.

In 2006 is het project ‘bestrijding eutrofiering Zuidelijke Randmeren’ (bezem) opgezet door het Rijkswaterstaat. De Zuidelijke Randmeren bestaan uit het Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw (Hop, 2009). De meren liggen ten zuiden van Flevoland, ten Noorden van Utrecht en ten oosten van Noord-Holland. Het Eemmeer is sinds 2010, samen met Gooimeer Zuidoever, een Natura 2000-gebied (Plaatsengids, 2010) (zie figuur 2). Het toenmalige probleem was de eutrofiering in het Gooi- en Eemmeer. Deze meren zijn eutrofiëringsgevoelig wat inhoudt dat bij hoge aanwezigheid van nutriënten het water troebel wordt. Het troebel worden van het water is het gevolg van een hogere concentratie van algen die in zulke omstandigheden goed groeien. Bij een grote hoeveelheid algen wordt er een groene drijfslaag gevormd die meestal in de zomer voorkomt wanneer de watertemperatuur hoger is. De nutriënten zijn afkomstig van het uit- en afspoelen van landbouwgronden, door overstort uit het riool bij zware regenval en de afvoer van afvalwater in het oppervlaktewater. Het doel van het project was om de waterkwaliteitsdoelstellingen ten aanzien van de eutrofiëringsproblematiek te formuleren en te bereiken (Rijkswaterstaat, 2006).

De meren zijn, vooral door de aanwezigheid van watervogels en een aantal broedvogelsoorten (in het bijzonder de visdief), tot Natura 2000-gebied benoemd. Het totale natura-2000 gebied van het Gooi- en Eemmeer heeft een oppervlakte van 1584 hectare (SynBioSys Natura 2000 Database, 2018). Het Eemmeer en het Gooimeer zijn

ontstaan toen Zuidelijk Flevoland werd drooggelegd in 1968.



Figuur 2: Betreffende Natura 2000-gebied (aangegeven met geel).

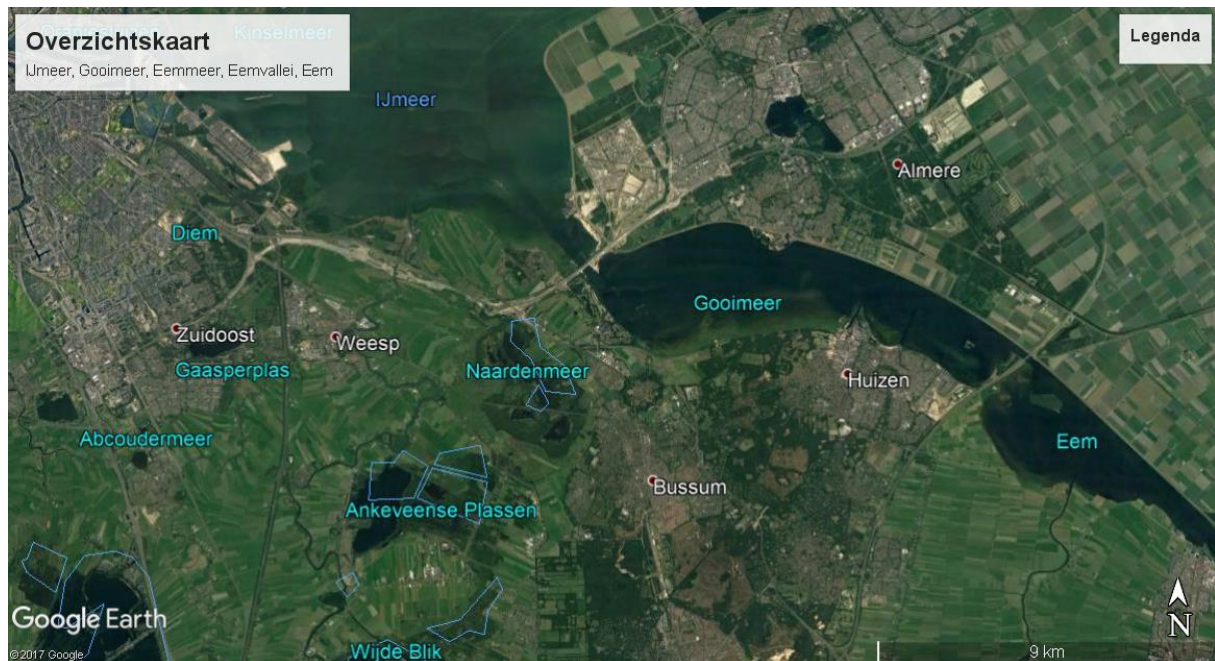
Sinds 1980 wordt geprobeerd om de nutriëntenbelasting terug te dringen d.m.v. actief beheer, onder andere door de aanleg van natuurvriendelijke oevers (SynBioSys Natura 2000 Database, 2018). In het Eemmeer liggen twee kunstmatig opgespoten eilanden, genaamd De Dode Hond en De Visdief. Deze eilanden zijn een ideale plaats voor vogels om te rusten en/of broeden en bieden ruimte voor groei van wilgenbossen (SynBioSys Natura 2000 Database, 2018).

Om de waterkwaliteitsdoelstelling te bereiken heeft Rijkswaterstaat een scenariostudie opgesteld. Om te bepalen welke handeling het beste kan bijdrage aan de doelstelling zijn er meerdere scenario's gemaakt en bekeken. Als resultaat is het integraalscenario gebruikt. Bij dit scenario werd er een extra rioolwaterzuivering centrale gerealiseerd (een vierde trapzuivering op de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI), om fosfor te verminderen) dit om de ecologische waarde van de Zuidelijke Randmeren te verbeteren (Rijkswaterstaat, 2006). Er is een mestbeleid 1984 opgesteld

maar in 2006 is deze hernieuwd om de hoeveelheid mest rondom de meren en rivier dat door de boeren mag worden verspreid te verkleinen, voor die tijd was er geen wet die de hoeveelheid bemesting bepaalde. Deze maatregel wordt gecontroleerd door de Nederlandse Voedsel en Waren Autoriteit (NVWA), Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) (zie bijlage VIII) en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Met deze aanpak zou er minder instroom van fosfaat zijn in het water wat een nutriënten bron voor algen doet verminderen. De vermindering van fosfaat, wat als effect een verlaging van hoeveelheid algen geeft, zou naar verwachting pas in de periode 2015 tot 2027 meetbaar zijn. Voor 2015 zou er weinig verschil worden gemeten.

De effecten van het Bezem project leken de afgelopen 2,5 jaar positief te zijn, tot aan de zomer van 2017. Door beeld-monitoring vanuit een vliegtuig werden grote hoeveelheden alg geconstateerd. Met monsters en labonderzoek bleek dit om blauwalg te gaan dat mogelijk giftig is voor dier en mens. De grootste drijfvlakken zijn gevonden in de gebieden IJmeer, Gooimeer, Eemmeer en de Eem (zie figuur 44 in bijlage I).

In dit rapport zal er gekeken worden wat de oorzaak is van de blauwalgenbloei in 2017 en wat de mogelijke oplossing is. Er wordt verwacht dat een mogelijke oorzaak kan liggen bij de toevoer van nutriënten vanuit de Eem, deze verwachting is gebaseerd op eerder onderzoek (BVR, 2008).



Figuur 3: Overzichtsk kaart, omvat het gebied waar de blauwalg is aangetroffen. De aangegeven wateren liggen rond Weesp, Bussum, Huizen en Almere (Google, 2018).

2. Materiaal & Methode

In dit rapport wordt, in opdracht van Rijkswaterstaat, onderzocht welke factoren van invloed zouden kunnen zijn op de toename van blauwalg in de omgeving IJmeer, Gooimeer, Eemmeer en Eem (Zuidelijke Randmeren) in 2017 (zie figuur 3). Vervolgens worden deze gegevens vergeleken met de data van 2014-2016.

2.1 Parameters

De vraag waarom er dit jaar meer blauwalg aanwezig is wordt getest aan de hand van een aantal, door verschillende organisaties, gemonitorde parameters:

- **Temperatuur:** Temperatuurgegevens zijn opgevraagd van 2014-2017. Dit werd opgevraagd bij de weerstations in Eemnes, Marken en Weesp (Weerstations Eemnes, Marken en Weesp, 2017).
- **Neerslag:** Neerslaggegevens werden opgevraagd van de periode 2014-2017. Dit is opgevraagd bij de weerstations in Eemnes, Marken en Weesp (Weerstations Eemnes, Marken en Weesp, 2017).
- **Bodem en diepte:** De bodem zegt iets over de hoeveelheid nutriënten. De diepte zegt iets over de beweging van het water. Het geeft het gebied weer ter illustratie. De bodem- en diepte kaarten komen uit artikelen van Rijkswaterstaat opgevraagd (Rijkswaterstaat, 2017).
- **Stroomsnelheid (debiet):** Debietgegevens zijn alleen van toepassing bij de rivieren/stroompjes die wateraanvoeren in de meren. Deze gegevens zijn opgevraagd bij het waterschap van de Eem (Waterschap Vallei en Eem, 2009).
- **Nutriëntenbelasting (vooral fosfaat/nitraat):** De nutriëntenbelasting van de meren is gemonitord door Rijkswaterstaat en kon hier ook worden opgevraagd (Rijkswaterstaat, 2017).
- **Scheepvaart:** Scheepvaartroutes konden worden gevonden op de site van Rijkswaterstaat. Ook de hoeveelheid scheepvaart was op te vragen bij Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2017).
- **Aanwezigheid waterplanten:** Waterplanten geven een goede indicatie van de nutriëntenbelasting van de bodem van de wateren en van de waterkwaliteit zelf. Deze gegevens werden verstrekt door Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2017).

Voor deze parameters werd onderzocht of er een bepaalde correlatie bestaat tussen de gegevens en de aanwezigheid van blauwalgen. Daarnaast heeft een literatuurstudie naar deze parameters uitgewezen welke invloed deze hebben op de aanwezigheid van blauwalg. Hierbij is gebruik gemaakt van Google Scholar om wetenschappelijke literatuur te zoeken. Door een trendlijn te maken van de data kon een duidelijk beeld geschetst worden van deze correlatie tussen verschillende parameters (bijvoorbeeld: temperatuur, nutriënten en blauwalgengroei). Vervolgens werden deze parameters gekoppeld aan de bijbehorende ecologische sleutelfactor. Met behulp van deze sleutelfactoren kon duidelijkheid worden verstrekt over de kwaliteit van het water, wat weer in verband staat met de aanwezige blauwalg. Daarnaast werd aan de hand van deze gegevens gezocht naar een verklaring van de manier waarop blauwalg zich over dit gebied verspreid.

Aan de hand van deze informatie moest er meer duidelijkheid komen over de oorzaken van de blauwalgengroei in de desbetreffende meren. Indien blauwalg al aanwezig is, zijn in dit rapport een aantal curatieve bestrijdingsmethodes genoemd om de aanwezige blauwalg te verwijderen. Daarnaast is er beschreven hoe met behulp van natuurvriendelijke oevers het ontstaan van blauwalg voorkomen kan worden.

2.2 Onderzoeksmethodes

Om tot een representatief rapport te komen was het belangrijk om een beeld te hebben van de te gebruiken onderzoeksmethodes. Deze onderzoeksmethodes zijn afgestemd op de parameters genoemd bij paragraaf 2.1: parameters. Op basis van deze parameters is er een onderscheid gemaakt tussen een literatuurstudie en een data-analyse van de beschikbare data uit datamonitoring van Rijkswaterstaat, waterschappen, etc. Deze indeling heeft ervoor gezorgd dat er gekozen is voor de volgende onderzoeksmethodes. Deze methodes zijn ook verwerkt in een tijdsplanning (zie tabel 10 in bijlage 2).

- **Observaties:** Door middel van kaarten met de verspreiding van blauwalgen was duidelijk te zien hoe groot de omvang van dit probleem is. Door deze kaarten was de vraag gerezen waarom er dit jaar (2017) plotseling een grote blauwalgenbloei is opgetreden;
- **Interview:** Er werd gebruik gemaakt van de expertise van een expert in dit vakgebied. Er is een interview gehouden met Reinder Torenbeek (aquatisch ecooloog bij Bureau Waardenburg). Voor dit interview zijn vooraf relevante vragen opgesteld over het blauwalgenprobleem. Daarnaast heeft de expert dit rapport inhoudelijk gecontroleerd en advies- en aandachtspunten gegeven ter verbetering van het rapport. Hierdoor werd de kwaliteit van dit rapport gewaarborgd;
- **Literatuuronderzoek:** Voorafgaand aan dit onderzoek heeft een grote literatuurstudie plaatsgevonden door alle groepsleden, zodat iedereen goed voorbereid was en kennis had over de onderwerpen die aan bod komen in dit verslag. De belangrijke parameters die invloed konden hebben op de algenbloei zijn genoteerd. Vervolgens zijn er zo veel mogelijk wetenschappelijke artikelen opgezocht met relevante informatie over deze parameters. Op deze manier is er veel informatie verzameld, veel achtergrondinformatie aanwezig en is er de kennis opgedaan om deze parameters duidelijk te beschrijven. De bronnen werden volgens de APA-methode verwerkt in de tekst en vermeld in de literatuurlijst;
- **Onderzoeken:** Er werd veel onderzoek gedaan naar de ontstaanswijze van de plotselinge algenbloei in 2017. Meerdere factoren konden hier mee te maken hebben. Onderzoek was dus vereist om tot een conclusie te komen over wat de oorzaak was van de plotselinge algenbloei voor de te onderzoeken onderwerpen.
- **Analyseren:** De data werd geanalyseerd. Hierbij werd er geprobeerd om verbanden te vinden tussen de plotselinge algenbloei in 2017 en de mogelijke oorzaken. Dit is gerealiseerd door zo veel mogelijk data te verkrijgen van bijvoorbeeld de fosfaatwaarden in de aanvoerbron (Eem). Vervolgens zijn er van deze data grafieken opgesteld die een trend laten zien over de laatste jaren (2014 tot en met 2017). Om een eventuele correlatie te vinden tussen de fosfaatwaarden en de mate van blauwalgenbloei is de expertise van Tom Huisman (leraar statistiek, Aeres Hogeschool Almere) ingeschakeld. De resultaten hiervan zijn terug te vinden in het hoofdstuk resultaten in dit rapport.
- **Adviseren:** Tot slot werd er na de analyse een advies opgesteld met als doel om de algenbloei in de toekomst niet plaats te laten vinden of in ieder geval zo klein mogelijk te houden.

3. Resultaten Literatuuronderzoek

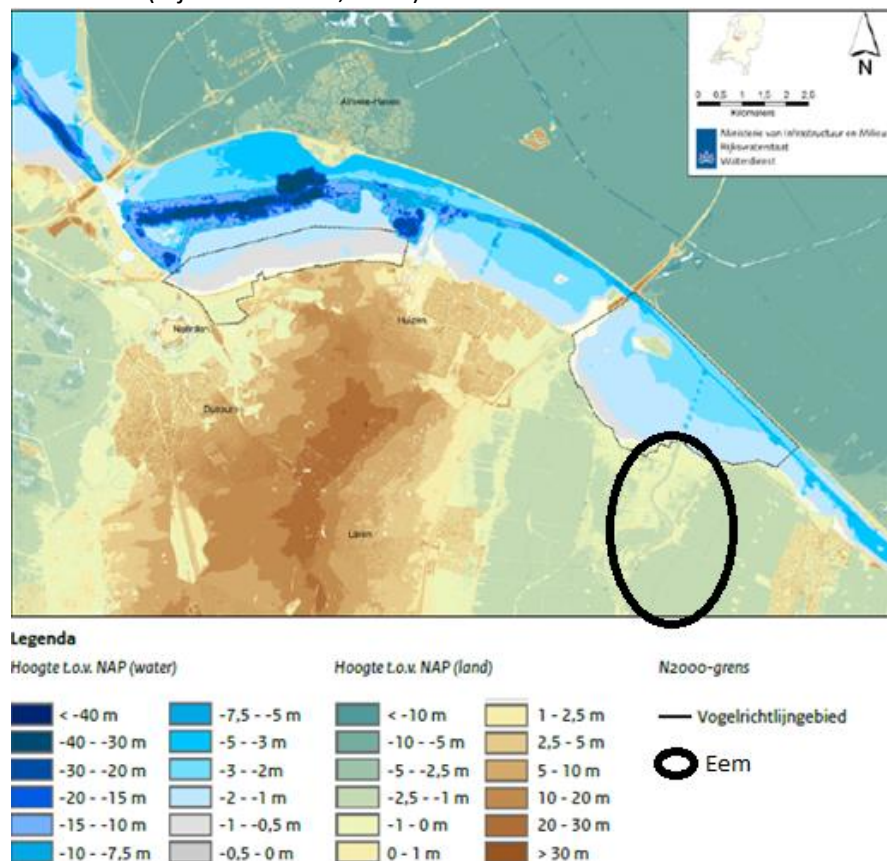
3.1 Dieptes en oppervlakte

Het onderzoeksgebied bevat de waterlichamen van de Eem, IJmeer en de Zuidelijke Randmeren. De Zuidelijke Randmeren bestaan uit het Gooimeer, Eemmeer en het Nijkerkernauw (Hop, 2009). De meren liggen ten zuiden van Flevoland en ten noorden van Utrecht.

De Eem is de enige rivier met een beginbron in Nederland en niet in het buitenland, zoals de grote voorbeelden van de Maas en de Rijn. De rivier ontspringt vanuit Amersfoort en mondt uit in het Eemmeer (Soes, 2006).

De Eem wordt met water gevoed door het Eemland waar in de hogere gronden rondom de rivier het water wordt gelost met een beekstelsysteem op vrije val. In het lage gebied van het Eemland wordt tijdens hevige regenval het overtollige water met gemalen doorgelaten vanuit de lage gebieden naar de Eem. Het heeft een gemiddelde diepte van -3.90 meter N.A.P. Wat kan veranderen afhankelijk van de windrichting en de windsterkte (Rijkswaterstaat, 2017).

Het water wat de Eem binnenkomt stroomt door de 19 km lange rivier naar het Eemmeer. Het Eemmeer wordt gevoed door de omliggende polders en het water vanuit de Eem die de stroming creëert om het water voort te stuwen (Bischof, Veensta-Huisman, Schuurman, & Koopal, 2013). Het water vanuit de Eemmeer zal doorstromen naar het Gooimeer, dat met het water vanuit de IJmeer tezamen komt. De gemiddelde diepte is bij het Eemmeer 1,90 meter en bij het Gooimeer 1 meter (zie figuur 4). De diepte in het Gooimeer varieert van 3,60 meter



Figuur 4: Diepte Gooimeer en Eemmeer (Rijkswaterstaat, 2016).

tot 1,20 meter in het Natura 2000-gebied, door zandwinningspunten (Rijkswaterstaat, 2016).

Het Eemmeer en het Gooimeer hebben tezamen een oppervlakte van 4100 ha, waarvan 1600 ha wordt gebruikt als Natura 2000-gebied. Het IJmeer ligt ten noorden van het Gooimeer, heeft een grootte van 4300 ha en is gemiddeld 2 tot 3 meter diep (zie figuur 5) (Rijkswaterstaat, 2016). Ten zuiden van het meer ligt een grote zandwinningsput (Rijkswaterstaat, 2013; Jans, Stuijtzand, Lammens, & Platteeuw, 2005).



Legenda

Hoogte t.o.v. NAP (water)

	< -40 m
	-40 - -30 m
	-30 - -20 m
	-20 - -15 m
	-15 - -10 m
	-10 - -7,5 m
	-7,5 - -5 m
	-5 - -3 m
	-3 - -2 m
	-2 - -1 m
	-1 - -0,5 m
	-0,5 - 0 m

Hoogte t.o.v. NAP (land)

	< -10 m
	-10 - -5 m
	-5 - -2,5 m
	-2,5 - -1 m
	-1 - 0 m
	0 - 1 m
	1 - 2,5 m
	2,5 - 5 m
	5 - 10 m
	10 - 20 m
	20 - 30 m
	> 30 m

N2000-grens

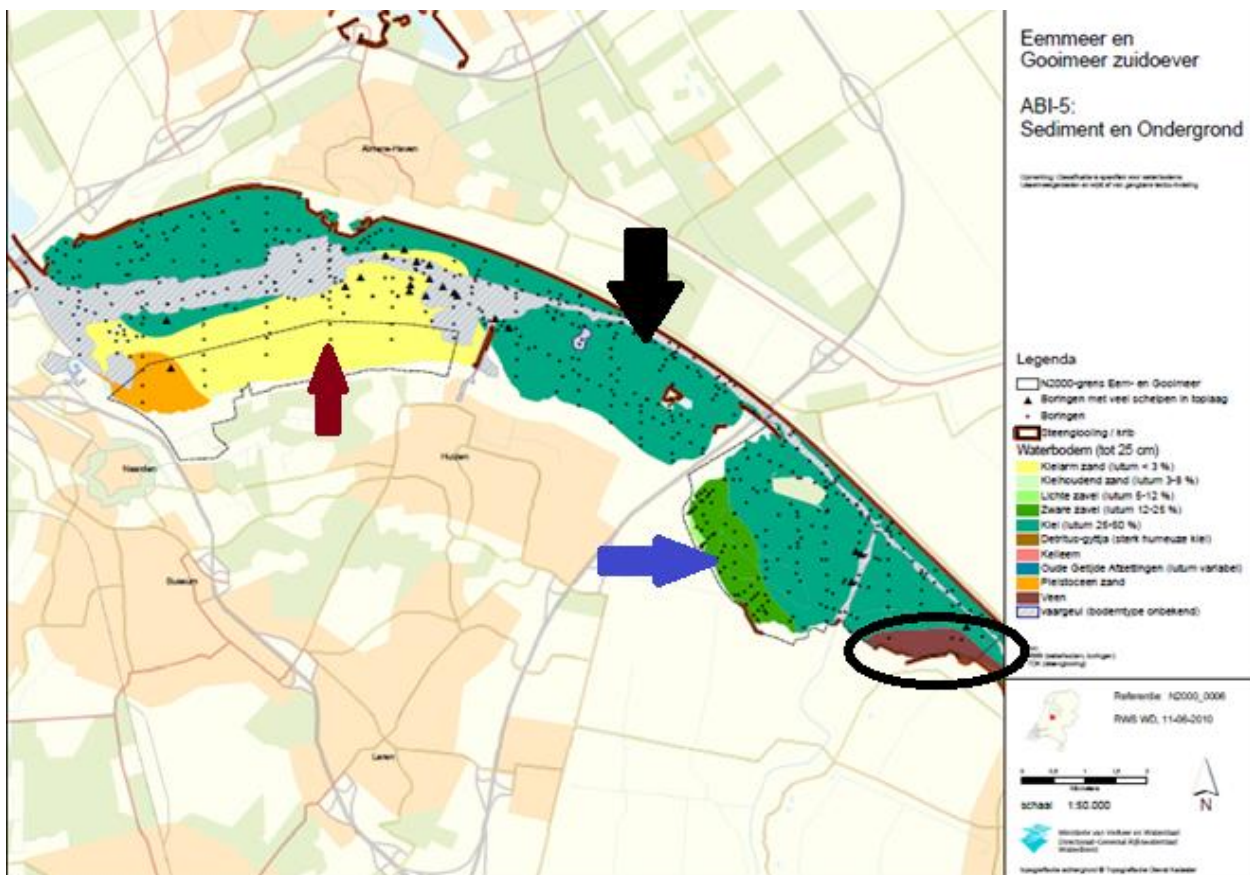
Vogelrichtlijn- en habitatrichtlijngebied

Figuur 5: Diepte IJmeer (Rijkswaterstaat, 2013).

3.2 Bodem

De Zuidelijke Randmeren worden door twee fysisch-geografische regio's afgezet. In het noorden het Zuiderzeegebied (voornamelijk klei met veen) en ten zuiden het Midden-Nederlandse zandgebied. De Eem bevat veengronden die worden omheind door het zandgebied. In de randgebieden van de Zuiderzee zijn zwak ontwikkelde kwelderwallen gevormd, die bestaan uit zandige klei. Daarachter ligt kalkloze klei en verder landinwaarts klei op veen (Bischop, Veensta-Huisman, Schuurman, & Koopal, 2013; van Nieuwpoort, 2009). De Zuidelijke Randmeren worden getypeerd als voornamelijk klei en klei-arm zand (klei = zwarte pijl en klei-arm zand = rode pijl in figuur 6). Toch zijn er ook andere bodemsoorten zoals veen en zware zavel bij het Eemmeer (veen = zwarte cirkel en zware zavel = blauwe pijl in figuur 6). De bodem van het IJmeer bestaat uit lichte en zware zavel (zie bijlage VI) (Benjamins, et al., 2007).

Door opwervelend slip krijgt het water van de meren en rivieren nutriënten waar blauwalgen van kunnen groeien. De belangrijkste nutriënt die het water verkrijgt van de bodem is fosfaat (Raaphorst, Brinkman, & Lijklema, 1985). De meren bevatten voornamelijk klei met een hoog lutumgehalte en lichte zavel. De Eem heeft een grote veen afzetting waar veel fosfaat in is opgeslagen. Deze bodems bevatten veel slip dat door opwelling wordt verspreid (Bischop, Veensta-Huisman, Schuurman, & Koopal, 2013).

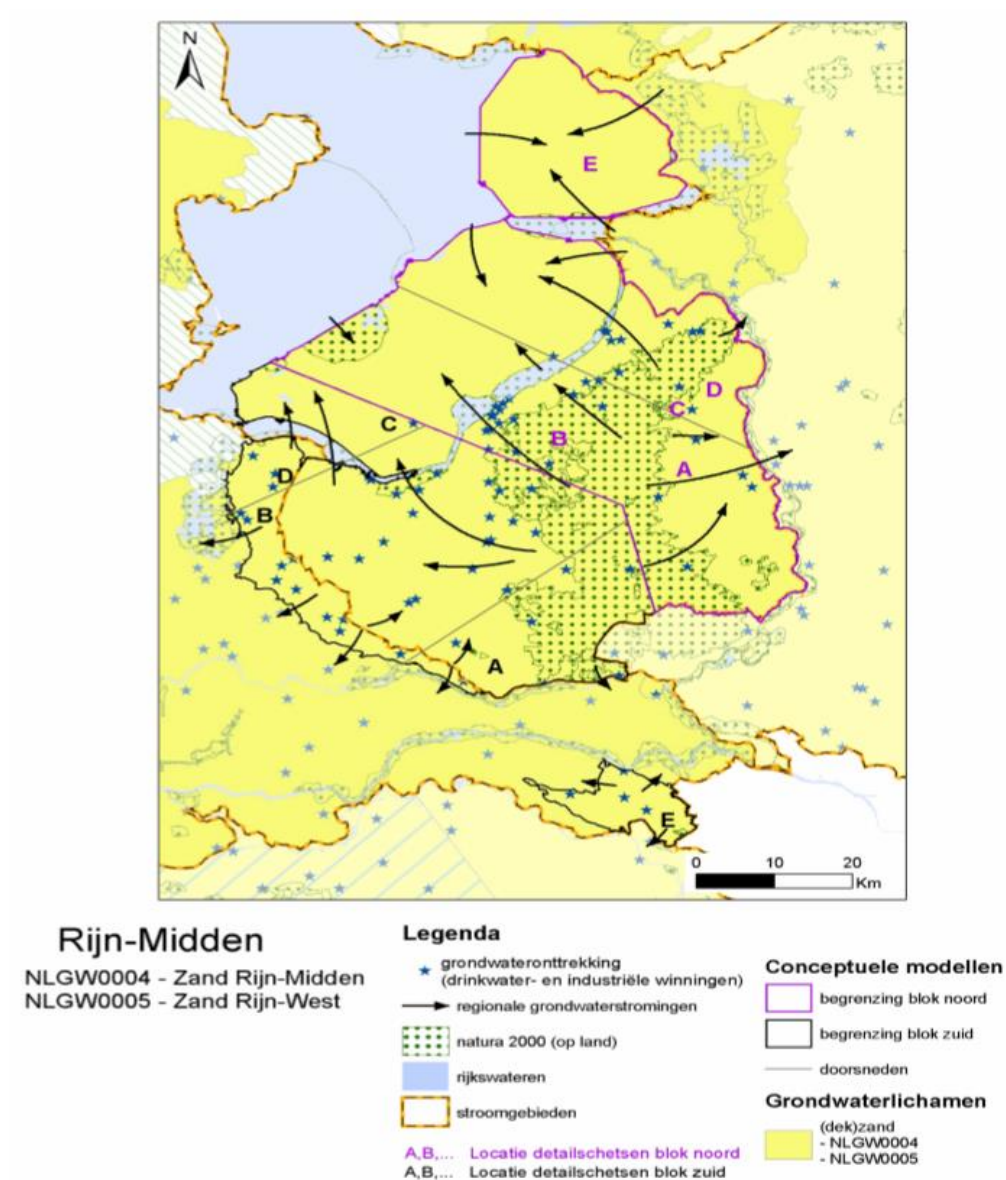


Figuur 6: Bodemkaart Gooi- en Eemmeer met aanwijspunten van type bodems; rode pijl: klei arm zand, zwarte pijl: klei, blauwe pijl: zware zavel, zwarte cirkel: veen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2010).

3.3 Instroom grondwater

Water stroomt van een hoge gradiënt naar een lage. De Eem verkrijgt zijn water bij weinig regenval van het hoge Eemland en het Veluwegebied dat uitspoelt door het zand. De omliggende lage gronden van de Eem lozen het water naar de Eem bij overtollige hoeveelheden met bijvoorbeeld lange periodes van veel neerslag (van Nieuwpoort, 2009).

Het water stroomt vanuit de Eem het Eemmeer in. De omliggende polders lozen hun wateren rechtstreeks af op het Eemmeer. Bij overtollige hoeveelheden stroomt het water tevens uit de lage gebieden (polders) en vanuit het Nijkerkernauw. Het Nijkerkernauw ligt ten noorden van het Eemmeer en verkrijgt voor een groot deel water vanuit de Veluwe (zie figuur 7). Het water stroomt van het Eemmeer richting het Gooimeer, dat weer via de grond teruggaat naar Zuid-Flevoland of naar het Naardermeer gebied. De hoeveelheid en de snelheid van de in- en uitstroom in deze gebieden wordt beïnvloed door de neerslag en grondsoort (Bischof, Veensta-Huisman, Schuurman, & Koopal, 2013).



Figuur 7 stroomrichtingen (KRW, 2014).

3.4 Debiet

Stroming van het water speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling van blauwalgenbloei. Door het debiet van een rivier te vergroten kun je de blauwalg weg laten drijven naar een andere plek (Verspagen, Boers, Laanbroek, & Huisman, 2005). Door de blauwalgen weg te spoelen van de zwemstranden vermindert dit lokaal de overlast. De blauwalgen hebben een voorkeur voor rustig en stilstaand water (Henn, 2016). Door obstakels en de stroming kan het water stagneren hierdoor kan er lokaal veel blauwalg voorkomen, doordat het bij elkaar gedreven wordt. De windrichting speelt ook een rol bij het ophopen van blauwalgen. Zo kan de drijfslag met de wind mee worden gevoerd. Verder bereikt stilstaand water sneller een hogere temperatuur, wat voor de blauwalg een gunstige factor is (Havens, 2008).

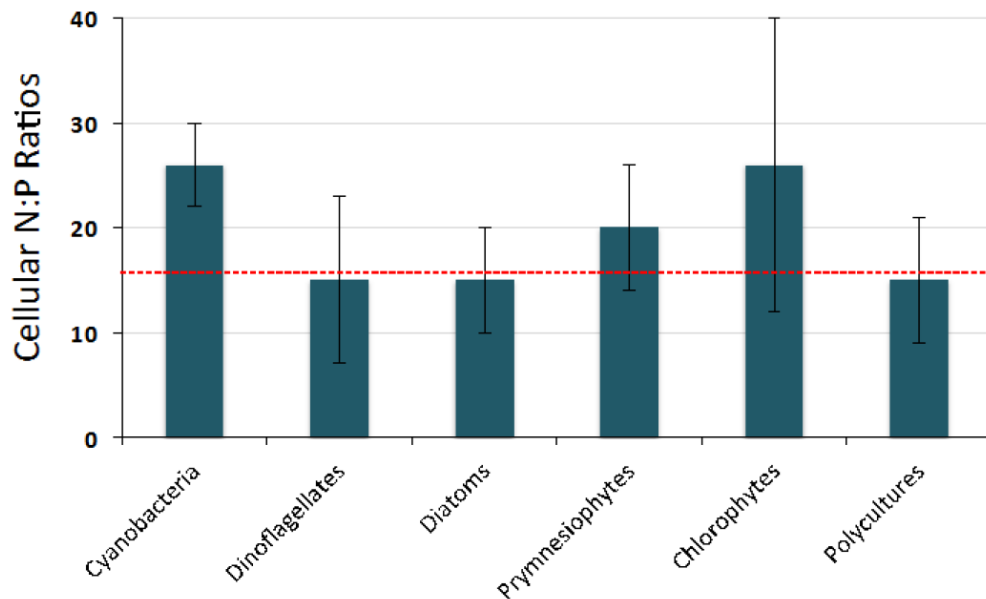
In het Eemmeer stromen nutriënten vanuit de Eem binnen. De hoeveelheid nutriënten die door de Eem worden afgevoerd hangt samen met het debiet. Als er veel regen is gevallen dan wordt het debiet van de Eem groter, waardoor ook meer nutriënten naar de Zuidelijke Randmeren worden afgevoerd. Een groot debiet hoeft niet slecht te zijn omdat blauwalg voornamelijk de voorkeur heeft voor langzaam en stilstaand water (Henn, 2016).

De stroming van het water in de meren is richting het westen en het noordwesten, waardoor er een aantal plekken ontstaan die door stagnatie van het water gevoelig worden voor blauwalgenbloei. Door de zuidwesterwind en de stroming is vooral Almere haven kwetsbaar voor een ophoping van blauwalg (BVR, 2008).

3.5 Nutriënten

Nutriënten spelen een belangrijke rol bij de blauwalgenbloei. Voornamelijk N en P spelen hierbij een grote rol. Cyanobacteriën kunnen een grote variëteit aan stikstofbronnen gebruiken voor de groei. Ammonium (NH_4^+), nitraat (NO_3^-), Nitriet (NO_2^-), ureum ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), aminozuur ($-\text{NH}_2$), cyanaat (OCN^-) zijn stikstofbronnen waaruit cyanobacteriën stikstof kunnen opnemen om mee te groeien. Enkele soorten cyanobacteriën kunnen zelfs het gas N_2 opnemen als stikstofbron (Berg & Sutula, 2015). Het gas N_2 wordt alleen opgenomen als er geen andere stikstofbron beschikbaar is, omdat het opnemen van N_2 een proces is waarbij veel energie verbruikt wordt (Berg & Sutula, 2015). Als fosforbron nemen cyanobacteriën orthofosfaat op. Een aantal vormen van orthofosfaten zijn: fosfaat (PO_4^{3-}), waterstoffosfaat (HPO_4^{2-}) en di-waterstoffosfaat (H_2PO_4^-) (Hoogenboom, 2016).

Bij blauwalgen is er een N:P ratio tussen de 25 (Geider & La Roche, 2002; Ho, et al., 2003; Klausmeier, Litchman, Daufresne, & Levin, 2004). Dit betekent dat bij een N:P ratio van > 25 fosfor limiterend is en bij een N:P ratio van < 25 stikstof limiterend is (Figuur 8), hier tussen kunnen beiden elementen limiterend zijn (Koerselman & Meulenman, 1995). In Nederland worden de zomergrenswaarden van 0.15 mg/l totaal P en 2.2 mg/l totaal N gehanteerd, dit kan afwijken als wateren gevoed worden door een nutriëntrijke kwel (Boers, et al., 1993). Bij waarden lager dan de zomergrenswaarden is geen dominantie door draadvormige blauwalg aangetroffen (Molen, Portielje, & Klapwijk, 1998).



Figuur 8: De N:P ratio's in verschillende fytoplankton taxa. De rode lijn geeft een indicatie van het gemiddelde N:P ratio van 16, ook wel Redfield ratio genoemd (Hillebrand, et al., 2013).

3.5.1 De bron van de nutriënten

Ammonium komt op verschillende manieren in het water terecht. Dit kan door rioolwater overstorten, landbouw (mest) en indirect door stikstof fixatie, gas uitwisseling met de atmosfeer en de afbraak van organisch materiaal (EPA, 2017). Nitraat en Nitriet komt vooral in het systeem door landbouw en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWS) (Wankel, Kendall, Francis, & Paytan, 2006). Ureum wat in het oppervlaktewater terecht komt is meestal afkomstig uit de plantenteelt waar het gebruikt wordt als meststof. Distikstof komt voor in de atmosfeer en is vrij beschikbaar voor de blauwalgen. Amino-zuren komen vrij met de afbraak van organische stoffen en cyanaat is een zuurrest van organisch zuur. Fosfor komt voornamelijk voor in het oppervlaktewater door uitspoeling van landbouwgronden (zie bijlage VII) (Puijenbroek, Cleij, & Visser, 2010).

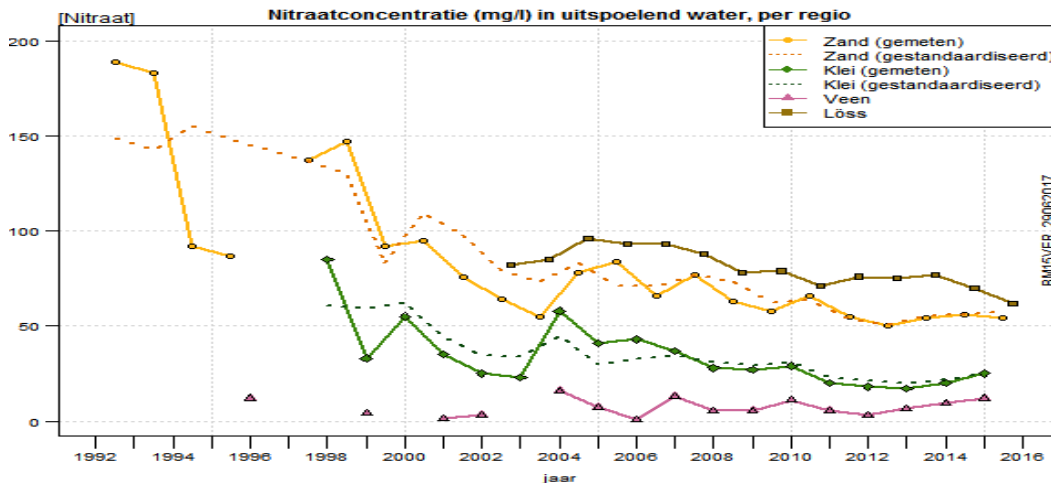
3.5.2 Nutriënten door bemesting

De bemesting van landbouw in het gebied kan de hele zomer doorlopen tot augustus wanneer de uitrijperiode is afgelopen. Hierdoor kan er gedurende het zomerseizoen een continue toevoer van nutriënten zijn in het water. Dit kan in combinatie met de hogere temperaturen een uitermate geschikt klimaat zijn voor blauwalgen.

Met behulp van uitspoeling komen een deel van de toegevoegde nutriënten die zijn toegediend op landbouwgronden terecht in het water. Deze uitgespoelde nutriënten dragen bij aan blauwalgenbloei in ontstaan en groei. De belangrijkste nutriënten voor blauwalg die in de mest zitten zijn nitraat en fosfaat. Rondom de Randmeren liggen veel akkers waarvan nutriënten direct in de meren kunnen uitspoelen. Op dezelfde wijze komen er nutriënten vanuit het grondwater de meren in. De bodemsoorten rondom de meren zijn zand, veen en Klei. Voor akkerlanden op zand geldt dat de gemiddelde uitspoelingsfractie 0,9 is wat betekent dat 90% van het stikstofoverschot uitspoelt (zie bijlage VIII) (LMM, 2015). De kans op uitspoeling van stikstof is met name aanwezig bij hoger gelegen zandgronden met een diepe grondwaterstand. Door het geringe vochtvasthoudende vermogen van zandgronden verdwijnt een klein neerslagoverschot al snel naar diepere grondlagen waarbij het de vrijgekomen stikstof meeneemt. Zowel het water als de stikstof is dan onbereikbaar geworden voor de plantenwortels en kan zo in beeklopen terecht komen. Op de lagere, nattere gronden blijft het

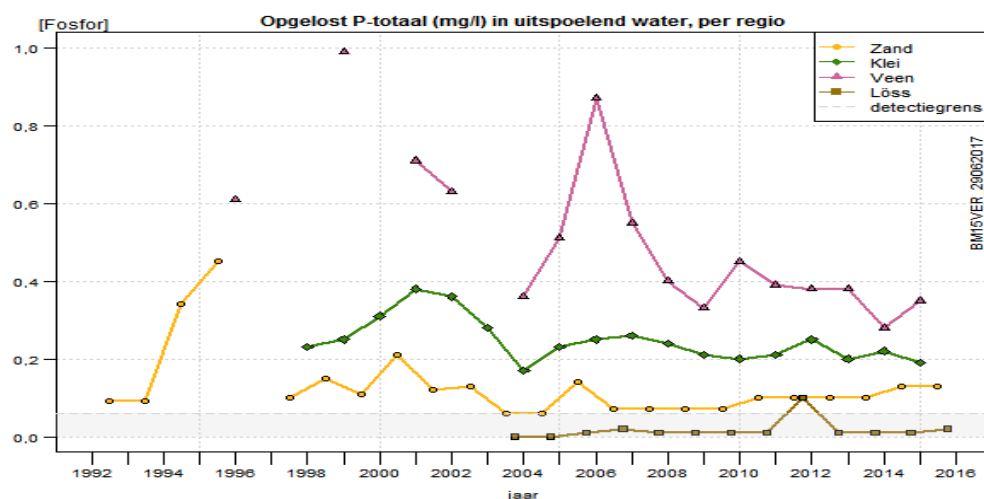
water langer binnen het bereik van plantenwortels en waarbij een deel van de vrijgekomen stikstof onder luchtarme omstandigheden omgezet wordt in luchtstikstof (denitrificatie: $\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$). Hierdoor is de uitspoeling van nitraat naar het oppervlaktewater vaak minder (Udo Prins, 2014).

In figuur 9 is de nitraat concentratie in uitspoelend water gemeten per grondsoort. Er is te zien dat voor alle grondsoorten de concentraties gedaald zijn. Wel is er te zien dat de laatste jaren een lichte stijging is in de regio's klei, zand en Veen. Bij het veen en klei spoelt het minste nitraat uit en zand heeft het grootste aandeel bij het uitspoelen van nitraat.



Figuur 9: De concentraties nitraat die uitspoelen per bodemtype.

Voor fosfaat zijn in figuur 10 de waardes gegeven voor hoeveel mg/l er in uitspoelend water zit. Bij het uitspoelen van fosfaat is het andersom als bij de uitspoeling van nitraat, hierbij spoelt het meeste uit bij veen en daarna klei bodems. De zandgronden hebben hier een kleiner aandeel. Aangezien een groot gedeelte van de bodems rondom de Zuidelijke Randmeren bestaat uit veen en klei is er te verwachten dat er veel fosfaat uitspoelt (zie figuur 11). De landbouwgronden in de Gelderse vallei zijn verzadigd met Fosfaat (Gerritsen, 2010). Het fosfaat spoelt uit in de Eem, in de meren of word via het grondwater in het systeem gebracht.



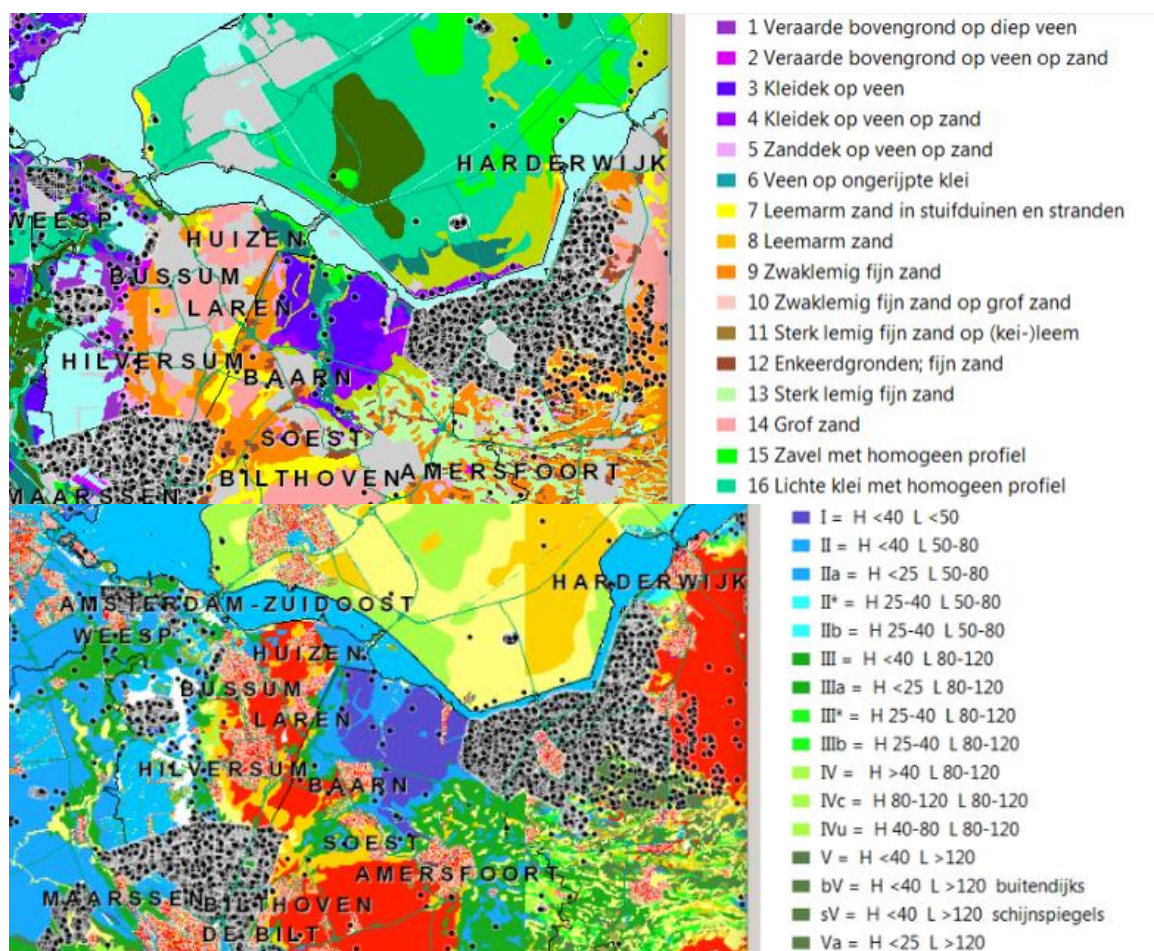
Figuur 10: De concentraties fosfaat die uitspoelen per bodemtype.

In de omgeving van de Zuidelijke Randmeren heeft het grootste gebied een grondwatertrap I en II in het zuidwesten met een kleidek op veen op zand en met klei op veen en in het noordoosten grondwatertrap IV met lichte klei (zie figuur 12 en tabel 1). Het grondwater is in het zuidwesten relatief hoog. Dat betekent dat plantenwortels het water en haar nutriënten goed kunnen bereiken en dat de uitspoeling hier een stuk lager is dan bij zandgronden met een lage grondwaterstand (Udo Prins, 2014). In het noorden van Flevoland is er een lagere grondwaterstand met lichte klei. Klei staat bekend dat het goed nutriënten en water vast kan houden. Ook in de figuren (zie figuur 9, 10) staat weergegeven dat klei relatief weinig fosfaat en nitraat laat uitspoelen (zie bijlage VIII).

Grondwatertrap	Gemiddeld hoogste en laagste stand	Bodem
I	H<40 L<50	Kleidek op veen op zand
II	H<40 L 50-80	Meeste kleidek op veen
IV	H<40 L 80-120	Lichte klei

Tabel 1 grondwatertrap en bodem

Figuur 11: Bodemsoorten rondom de Zuidelijke Randmeren.



Figuur 12: Bodemkaart en grondwatertrappen rondom de Zuidelijke Randmeren.

3.6 Recreatie en scheepvaart

Veel nutriënten slaan neer op de bodem en kunnen geresuspendeerd worden door waterstroming ten gevolge van onder andere wind en scheepvaart. Scheepvaart heeft een grote invloed op de suspensie van bodemmateriaal en zorgen voor een tijdelijke vertroebeling. De schroeven van mechanische schepen creëren een werveling wat het slib doet verspreiden door het water.

Met de CEMT-klasse worden schepen in klasse opgedeeld. Per klasse zijn er maximale afmetingen voor een schip vastgelegd (TU Delft). Daarnaast is elk rivier, meer of waterdoorgang bepaald met deze klasse. Zo kunnen schippers weten of hun schip erlangs kan of niet ter voorkoming van botsingen en of vast komen te staan met laagstaand water. De Zuidelijke Randmeren zijn beoordeeld met een maximum grootte van de klasse IV en in de Eem schepen passeren die afmetingen hebben van klasse III (zie tabel 2). Voor deze klasse boten wordt er gebruik gemaakt van sterke mechanische motoren die opwelling doet veroorzaken in het water waar deze boten varen. De opwelling veroorzaakt een omwoeling van delen slib dat losraakt van de bodem. Het slib wordt bevat fosfaat nutriënten die blauwalgen gebruiken als voedingsstof voor groei en vermeerdering. De op werveling van slib met fosfaat geeft bijdrage aan de hoeveelheid fosfaatbelasting wat de waterhuishouding bepaald in hoeveelheid vis, groei van waterplanten en aanwezigheid van blauwalg. De fosfaatbelasting is een benaming voor de hoeveelheid fosfaat dat aanwezig is in een waterlichaam. Het bepaalt het omslagpunt dat berekend kan worden wanneer een waterlichaam kan omslaan van helder water naar troebel water. Bij fosfaatbelasting hebben meerdere factoren van invloed zoals de instroom uit een nutriëntrijk gebied of een aanwezige nutriëntenrijke bodem. Toch beoefend de totale P-belasting door scheepvaart en recreatie op het Eemmeer maar 3% op de verspreiding van nutriënten (slib). Dit is een te lage bijdrage om als grote voedselbron te dienen voor blauwalgen (Portielje, Oostinga, & Boender-Daane, 2001). Gegevens over de bijdrage van scheepvaart op het fosfaat in het Gooimeer, IJmeer en de Eem zijn niet gevonden.

Tabel 2: CEMt-klasse maximale afmetingen. Klasse III maximale grootte voor de Eem en klasse IV in de zuidelijke randmeren (Sluispedia, 2014).

Klasse	RWS-klasse	Lengte	Breedte	Gewicht	Diepte
III	M4	67-73	8.2m	901-1050kg	6,3-5.1
IV	M6	80-105m	9,5m	1251-1750kg	6.7-5.3

3.7 Waterplanten

In dit hoofdstuk wordt de betekenis van waterplanten voor een aquatisch ecosysteem behandeld. Hierbij worden onder andere de habitattypen met kenmerkende soorten besproken. Maar ook andere zaken zoals de monitoring en het onderhoud van waterplanten in de Zuidelijke Randmeren.

3.7.1 Belang van waterplanten

Waterplanten zijn van groot belang voor een gezond, evenwichtig ecosysteem en een goede waterkwaliteit. Zo is de kwaliteit van een ecosysteem vaak gemakkelijk af te lezen aan de plantensoorten die er voorkomen, mede door de verschillende eisen die soorten stellen aan hun omgeving (Weeda, 2011). Waterplanten zijn afhankelijk van schoon en helder water, maar ze zorgen er ook voor dat het water schoon en helder blijft. Ze leggen zwevende deeltjes en de bodem vast en nemen voedingsstoffen op uit de bodem. Daarnaast concurreren ze ook met algen door licht en aanwezige voedingsstoffen te gebruiken. Hierdoor is er minder licht en voedingstof beschikbaar voor (plaag)algen en wordt hun groei afgeremd. Ook dienen waterplanten onder andere als voedselbron en habitat voor veel soorten vissen, vogels en ongewervelden (Geest, van & Noordhuis, 2014; Rijkswaterstaat, 2012; Rijkswaterstaat, z.d.; Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, z.d.; van den Berg, Doef, & Postema, 2001). Zo bestaat het dieet van watervogels voor een deel uit waterplanten. Voor vissen spelen waterplanten een belangrijke rol als paai-, opgroei, leef- en foerageergebied, maar ook als schuilplaats (Torenbeek, 2016; van den Berg, Doef, & Postema, 2001). De groei van waterplanten verloopt langzamer dan bij algen, ze houden het dan ook langer vol tijdens een uitputting van mineralen. In voedselrijke situaties groeien algen zo snel, dat het water in korte tijd troebel kan worden. Als gevolg hiervan ontstaat er een gebrek aan licht voor de waterplanten, waardoor deze zullen afsterven. Hierdoor zijn de afgelopen jaren landelijk al veel soorten waterplanten verdwenen, waardoor er minder concurrentie is voor algen. Dit heeft weer tot gevolg dat de algen zich veelvoudig kunnen uitbreiden (Mulderij, 2003; Rijkswaterstaat, z.d.). In algenrijk en troebel water ontstaat er vrijwel altijd een ontwikkeling van blauwalgen. Echter kunnen algen zich ook ontwikkelen in matig voedselrijk water met veel waterplanten. Maar hier is het dan vaak plaatselijk en is de impact veel geringer (Rijkswaterstaat, 2012).

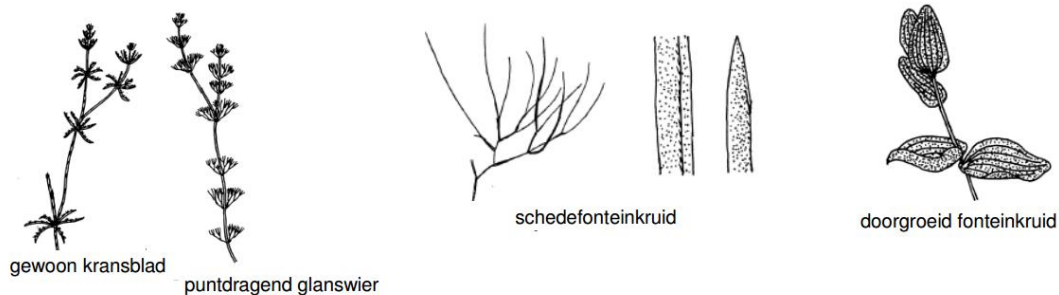
3.7.2 Habitattypen

De Zuidelijke Randmeren behoren tot de habitattypen 'Kranswierwateren (H3140)' (Veluwerandmeren, Markermeer en IJmeer) en 'Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden (H3150)' (Veluwerandmeren). Beide habitattypen kenmerken zich door de aanwezigheid van een aantal typische soorten. Voor 'Kranswierwateren' zijn dit vooral ondergedoken waterplanten met fijne bladeren, zoals verschillende kransbladsoorten (*Chara*) en glanswiersoorten (*Nitella*). Voor het habitatype 'Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden' zijn het vooral begroeiingen van drijvende en ondergedoken waterplanten, met als typische soorten groot blaasjeskruid (*Utricularia vulgaris*), krabbenscheer (*Stratiotes aloides*) en verschillende fonteinkruidsoorten (*Potamogeton*). Daarom is ervoor gekozen om in dit hoofdstuk de focus te leggen op kranswieren en fonteinkruiden (zie figuur 13) (Ministerie van Landbouw, Natuur en voedselkwaliteit, 2009; Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2008). Deze soorten worden verder uitgewerkt in het hoofdstuk 3.7.3.

3.7.3 Voorkomende soorten

In het Randmerengebied groeien verschillende soorten waterplanten. De meest voorkomende soorten zijn kranswieren, fonteinkruiden en aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) (Rijkswaterstaat, z.d.). Het Markermeer en de Veluwerandmeren vormen de grootste groeigebieden van kranswervegetaties in Europa. Deze grote kranswiervelden zijn in combinatie met het veelvoudig voorkomen van fonteinkruiden, van groot belang geweest voor het herstel na hevige eutrofiëringsproblemen in de Veluwerandmeren. Ondanks dat het doorzicht van het Markermeer is afgenomen, heeft de vegetatie van ondergedoken waterplanten wel kunnen toenemen. Met name doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*), die plaatselijk door sterkranswier (*Nitellopsis*

obtusa) wordt verdreven naar diepere wateren. In het Gooimeer zijn meer waterplanten aanwezig dan in het Eemmeer, waar vergeleken met de andere Randmeren maar weinig waterplanten voorkomen. In het Gooimeer werd in 2006 voor het eerst een redelijke hoeveelheid kranswieren gevonden. In beide meren vindt er een toename in de hoeveelheid waterplanten plaats (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, z.d.).



Figuur 13: Kranswieren en fonteinkruiden (Rijkswaterstaat, 2012).

Kranswier

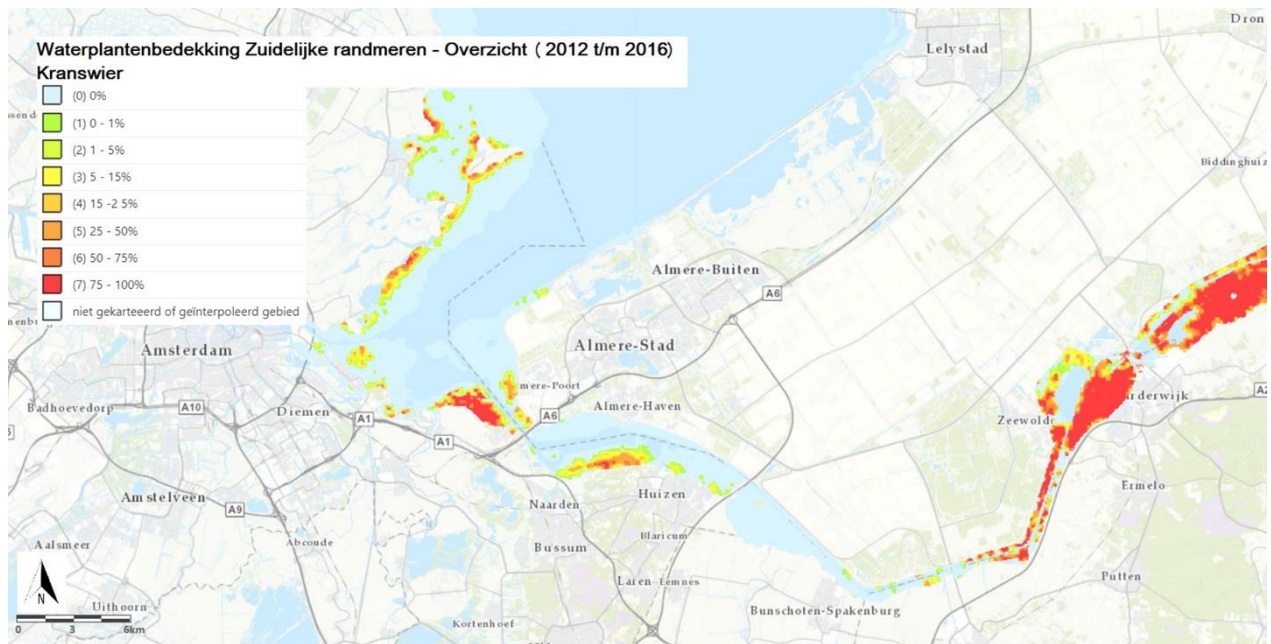
Kranswieren zijn een typische indicatiesoort voor een goede waterkwaliteit (Offermans, 2004). Het is een kenmerkende soort voor helder, voedselarm water en een voedselarme tot matig voedselrijke bodem. De soort komt voor tot op een diepte van ongeveer 3 meter (Geest, van & Noordhuis, 2014). Het is een belangrijke soort in de Nederlandse ecosystemen. Doordat ze het opwervelen van slib tegengaan en veel voedingsstoffen vastleggen, wordt de helderheid van het water in stand gehouden (Ministerie van Landbouw, Natuur en voedselkwaliteit, 2009; Torenbeek, 2016). Ook kunnen ze zeer snel groeien en is het vaak een van de eerste soorten die (tijdens herstel van een meer) opkomt (Mulderij, 2003; Torenbeek, 2016). Uit onderzoek van blijkt dat kranswieren een belangrijke rol spelen bij het ecologisch herstel van ondiepe meren (van den Berg, Doef, & Postema, 2001).

Doorgroeid fonteinkruid

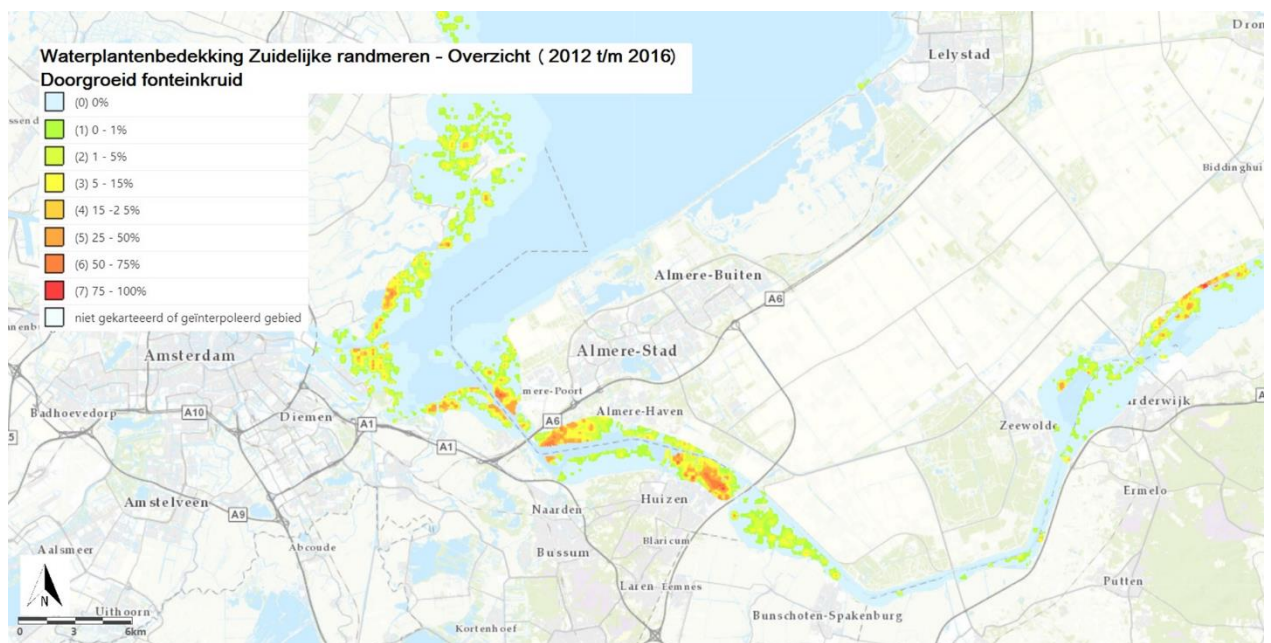
Doorgroeid fonteinkruid heeft een bloeitijd van juni tot september. De soort groeit goed op een bodem die rijk is aan nutriënten en in matig voedselarm tot voedselrijk water. Ze zijn goed bestand tegen golfslag en waterbeweging (Ministerie van Landbouw, Natuur en voedselkwaliteit, 2009; NDFF & FLORON, 2018). Doordat kranswieren de afgelopen jaren zijn toegenomen, wordt doorgroeid fonteinkruid steeds meer verdrongen naar diepere wateren (Gastvrije Randmeren, z.d.; Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, z.d.).

3.7.4 Monitoring

Sinds de jaren negentig wordt elke drie jaar de waterplantenbedekking in het IJsselmeergebied gemonitord. In 2014 is er in het IJsselmeer gemonitord, in 2015 in de Randmeren, in 2016 in het Markermeer en IJmeer, 2017 is nog onbekend (Rijkswaterstaat, z.d.). In figuur 14 en 15 zijn de bedekkingskaarten van doorgroeid fonteinkruid en kranswier te zien van (onder andere) de Randmeren. Het betreft overzichtskaarten van de jaren 2012, 2013, 2015 en 2016.



Figuur 14: Overzichtskaart van de bedekking van Kranswier (*Chara*) over de jaren 2012, 2013, 2015 en 2016. De bedekking staat in percentages weergegeven (GeoWeb 5.1 Rijkswaterstaat, z.d.).



Figuur 15: Overzichtskaart van de bedekking van doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*) over de jaren 2012, 2013, 2015 en 2016. De bedekking staat in percentages weergegeven (GeoWeb 5.1 Rijkswaterstaat, z.d.).

In figuur 15 is te zien dat tussen 2012 en 2016 de gemiddelde dichtheid ongeveer 50 tot 75% is. Met de hoogste concentraties in het Nuldernaauw en Wolderwijd, van wel 75 tot 100%. Opvallend is dat er in het Eemmeer geen kranswieren zijn aangetroffen.

In figuur 15 is te zien dat tussen 2012 en 2016 de gemiddeld dichtheid voor doorgroeid fonteinkruid rond de 5 tot 20% ligt. In het Gooimeer zijn de laagste concentraties doorgroeid fonteinkruid aangetroffen, dit betreft ongeveer 15% met op een aantal locaties tot 75%.

3.7.5 Allelopathie

Het is bekend dat verschillende soorten waterplanten in staat zijn om stoffen uit te scheiden die de groei van algen remmen. Het gaat hierbij vooral om stoffen als fenolen, alkaloiden en zwavelverbindingen. Dit proces wordt allelopathie genoemd en wordt gebruikt om de concurrentie om licht en voedingsstoffen te winnen (Barten, 2004). Uit onderzoek blijkt dat de groei van algen niet geheel wordt geremd, in vergelijking met een controlegroep neemt het met ongeveer 7 tot 25% af (Mulderij, Van Donk, & Roelofs, 2003). De stoffen die de planten uitscheiden blijken ook selectief te zijn wat betreft de soort algen die ze afremmen (Barten, 2004). Het is al bewezen dat onder andere kranswier, hoornblad (*Ceratophyllum*), waterpest (*Elodea*), krabbenscheer en aarvederkruid in staat zijn om allelopathie uit te voeren. Er wordt ook beweerd dat fonteinkruid in staat is tot het uitvoeren van allelopathie, dit is echter nog niet aangetoond. Wel is er veel onderzoek gedaan naar het allelopathisch vermogen van kranswieren. Deze soort lijkt het grootste effect te hebben op het verminderen van algen (Barten, 2004; Mulderij, 2003).

De aanwezigheid van waterplanten in de Randmeren zouden dus voor een remming in de algenbloei kunnen zorgen (zie figuur 14 en 15). Maar zoals eerder al is benoemd zijn de stoffen die de planten uitscheiden soort specifiek. Het hoeft dus niet te betekenen dat de aanwezigheid van de genoemde soorten ook blauwalgsoorten afremmen (Barten, 2004).

3.7.6 Maaibeheer

Echter kunnen waterplanten ook voor overlast zorgen. Zo kunnen recreanten vast komen te zitten met hun vaartuig of buitenboordmotor. Maar ook tijdens het zwemmen kunnen recreanten overlast ondervinden van waterplanten (Geest, van & Noordhuis, 2014). Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het wegen en water netwerk. Een onderdeel hiervan is het bevaarbaar houden van de vaargeulen door de waterplanten te maaien. In het algemeen gebeurt dit alleen wanneer er overlast wordt ondervonden door de scheepvaart. Over het algemeen is de mate van overlast in de vaargeulen beperkt, maar dit kan per jaar en groeiseizoen verschillen (Rijkswaterstaat, 2012). Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor zowel het onderhouden van de vaargeulen, als het realiseren van de ecologische doelstellingen. Om ervoor te zorgen dat het ecosysteem niet te veel wordt beschadigd door maaierwerkzaamheden zijn er zeven regels opgesteld die worden uitgewerkt in het rapport 'Handreiking waterplanten maaibeheer'. In het kort hebben deze regels betrekking op het percentage oppervlakte dat gemaaid mag worden (10% van het totale areaal), de datum en het aantal keer per jaar dat er gemaaid mag worden (eenmaal na de maand juli, met uitzondering van woekerende exoten), de minimale maaidiepte (60 cm boven de bodem), er mogen geen beschermde soorten worden gemaaid (bijvoorbeeld kranswieren), het verantwoord verzamelen en afvoeren van het maaisel en het aan- en afmelden van de maaierwerkzaamheden (Rijkswaterstaat, 2012). Het maaien dient uitgevoerd te worden op de piekmomenten van de algenbloei in augustus en september. Hierdoor worden de meeste nutriënten verwijderd uit het systeem waardoor de algenbloei klein blijft. Om te voorkomen dat de nutriënten uit het maaisel in het water lekken dient het maaisel verantwoord verzameld en afgevoerd te worden. Het jaarlijks maaien van de vegetatie is optimaal voor de zuivering. Omdat ieder jaar de nutriënten opgeslagen worden in bijvoorbeeld rietvegetatie. Wel dient hierbij altijd rekening gehouden te worden met de aanwezige natuurwaarden, zoals fauna en specifieke vegetatietypen die ander onderhoud nodig hebben. Een goed alternatief hiervoor is het gefaseerd maaien in ruimte en/of tijd. Deze maatregelen zorgen ervoor dat er zo veel mogelijk nutriënten afgevoerd worden waardoor er minder voedingsstoffen aanwezig zijn in het water voor de algenbloei (STOWA, 2011).

3.7.7 Biomassaproductie

Soms wordt de rol van vegetatie bij het verbeteren van de waterkwaliteit onderschat. De reden hiervoor is dat een (groot) deel van de opgenomen nutriënten na het afsterven van de vegetatie weer terugkomt in het watersysteem (Krolikowska, 1997). Toch zitten er ook wel degelijk voordelen aan de vegetatie. Vegetatie is namelijk altijd aanwezig in het groeiseizoen van de algen. De vegetatie kan daarom zorgen voor zo veel mogelijk nutriënten op te nemen, waardoor minder nutriënten in de waterkolom aanwezig zijn voor de algen om te bloeien (STOWA, 2011). Hierdoor blijft het water helder. Het zonlicht kan daardoor de bodem bereiken, waardoor de groei van vegetatie gestimuleerd wordt. Hierdoor komt er meer vegetatie in het water, wat de zuivering op haar beurt stimuleert (STOWA, 2011). Daarnaast kunnen waterplanten de helderheid van het water bevorderen door zwevende deeltjes in het water vastleggen in de bodem (Rijkswaterstaat, z.d.). Vooral omvat vooral soorten die zich met hun wortels verankeren in de bodem zijn. Deze soorten waterplanten worden ook wel helofyten genoemd. De bladeren en bloeiwijze van deze soorten komen wel boven het water uit. Enkele voorbeelden van deze plantensoorten zijn riet (*Phragmites australis*), grote lisdodde (*Typha latifolia*), kleine lisdodde (*Typha angustifolia*), diverse biezensoorten en gele lis (*Iris pseudacorus*). Door de grote biomassaproductie zijn helofyten uitermate geschikt voor het opnemen van grote hoeveelheden nutriënten (Verhoeven & Meuleman, 1999; Toet, Van Logtestijn, Schreijer, Kampf, & Verhoeven, 2005; Weisner & Thiere, 2010). Als helofyten niet kunnen groeien vanwege een te grote waterdiepte, is het (zoveel mogelijk) stimuleren van onderwaterplanten belangrijk. Deze onderwaterplanten nemen ook nutriënten op. De relatie tussen een begroeide en lagere nutriëntenconcentraties is dan ook vaak gevonden (Van Donk, Gulati, Iedema, & Meulemans, 1993; Kufel & Kufel, 2002; Sollie, Coops, & Verhoeven, 2008).

3.7.8 Opname van nutriënten door vegetatie

De planten (helofyten) nemen de meeste nutriënten op gedurende het groeiseizoen van de algen. Dit groeiseizoen begint in maart en eindigt in september. De nutriënten worden voornamelijk uit de bodem opgenomen. Een klein deel wordt direct uit het oppervlaktewater opgenomen (STOWA, 2011). Het is vanzelfsprekend dat een directe opname efficiënter is voor de verwijdering van nutriënten dan een indirecte opname via de bodem. Het voordeel hiervan is dat de concentraties verlagen door diffusie, maar een groot risico is dat de nutriënten weer in de waterkolom terecht komen als de vegetatie afsterft. Dit biedt weer de mogelijkheid aan de algen om tot bloei te komen, omdat er meer nutriënten in het oppervlaktewater aanwezig zijn (STOWA, 2011).

De hoeveelheid nutriënten die de planten op kunnen slaan is afhankelijk van de aanwezige biomassa. Hoe meer biomassa er aanwezig is, hoe meer nutriënten er opgeslagen kunnen worden in de vegetatie. Hoe groter de hoeveelheid opgeslagen nutriënten, hoe minder algenbloei er aanwezig zal zijn (STOWA, 2011). Helofyten kunnen grote hoeveelheden nutriënten in hun biomassa opslaan. In augustus/september wordt de maximale biomassa en de maximale hoeveelheid nutriënten bereikt. Hierna worden de nutriënten verplaatst naar de wortelstokken (rizomen) van de helofyten, om het jaar daarna (deels) weer gebruikt te worden voor de groei. De afgestorven stengels blijven over het algemeen rechtop staan en komen pas na een aantal jaar in contact met het water wanneer de stengels omvallen. Pas op dit moment komen de achtergebleven nutriënten in het oppervlaktewater terecht. Deze hoeveelheid is maar een kleine hoeveelheid in vergelijking met de hoeveelheid nutriënten in levend materiaal (Gessner, 2001).

3.7.9 Bodemtype- en samenstelling

Submerse soorten worden sneller afgebroken dan emerse soorten (Bastviken, Eriksson, Premrov, & Tonderski, 2007). Als er sprake is van eutrofe omstandigheden dan hebben snelgroeiende planten een groter voordeel dan langzaam groeiende planten. Welke soorten planten dan groeien is afhankelijk van zowel de voedselrijkheid van het water als de samenstelling van de bodem. Indien er sprake is van eutroof water dan neemt de biodiversiteit wel af. Voor optimale zuivering is het streven om een vegetatie te creëren met een dominantie van een of meerdere plantensoorten. Dit kan gerealiseerd worden door de bodemsamenstelling aan te passen, door bijvoorbeeld de bodem voedselarmer te maken. Deze optimale zuivering zorgt er dan voor dat er minder nutriënten in het water aanwezig zijn waardoor de algenbloei beperkt wordt (STOWA, 2011).

3.8 blauwalgen families

Niet iedere blauwalg is hetzelfde. Zo vormen sommige soorten drijflagen en ander verdelen zich in het wateroppervlak. De soorten blauwalg verschillen van elkaar. Zo zijn er soorten blauwalg die de voorkeur geven aan minder voedselrijk water. Het is dus van belang om te kijken welke soorten voorkomen in de Randmeren. In de periode van 2014 tot 2017 zijn 5 families blauwalg waargenomen bij de zwemwatermonitoring. Het gaat om de *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystic*, *Planktothrix* en de *Worochinia* familie. Bij aanwezigheid van blauwalg is een meting gedaan om de soort te bepalen. Deze metingen nemen ieder jaar toe. Zo waren er in 2014 17 locaties met blauwalgen en in 2017 is dit opgelopen tot 24. In tabel 3 hieronder zijn per soort de belangrijkste kenmerken gegeven.

Tabel 3: Kenmerken van de blauwalgen families die zijn aangetroffen in de zuidelijke randmeren (Hauer, 2013).

Soort	Kenmerken
<i>Anabaena</i>	Solitair of in vrije clusters, komt onderwater voor op stenen en waterplanten.
<i>Aphanizomenon</i>	Solitair vrij drijvend.
<i>Microcystic</i>	Vormt gas daardoor drijflagen. Kolonies, komt over de hele wereld voor.
<i>Planktothrix</i>	Solitair, meestal gas vesicles, vormen niet snel een bloei komt vooral voor in mesotroof tot licht eutroof water voor.
<i>Worochinia</i>	Specifieke voorkeuren, kolonies.

Alle families bevatten soorten die toxische stoffen produceren (Hauer, 2013). De families *Anabaena* en *Microcystic* komen het meeste voor. Waarbij de soorten van de *Microcystic* familie in drijflagen voorkomen en zich makkelijk kunnen verspreiden en ophopen door de stroming en de windrichting. Soorten in de *Anabaena* familie zijn het tegenovergestelde van de *Microcystic*, deze zijn solitair en vormen zich op het substraat in het water zoals op waterplanten (Hauer, 2013). De *Anabaena* soorten zullen zich niet snel verspreiden over het gebied. Zo zorgen beide soorten voor problemen door de groei van waterplanten te belemmeren en vormen beide een bloei als het water eutroof is. De soorten van de *Aphanizomenon* familie worden regelmatig waargenomen maar zijn niet zo dominant voorkomend als de twee families die hierboven vernoemd staan. De *Aphanizomenon* zijn drijvende soorten en zullen net zoals de *Microcystic* familie snel verspreiden en clusters vormen ondanks de van nature solitaire leefvorm (Hauer, 2013). De soorten van de families *Planktothrix* en *Worochinia* komen het minst voor en wanneer aangetroffen dan enkel in een laag biovolume en dus weinig individuen. De *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystic* en *Planktothrix* familie zijn vanaf 2014 tot en met 2017 waargenomen. Hiervan komen de *Aphanizomenon* en de *Planktothrix* familie het minste voor. Opvallend is wel dat de soorten van de *Worochinia* alleen in 2015 en 2016 worden aangetroffen.

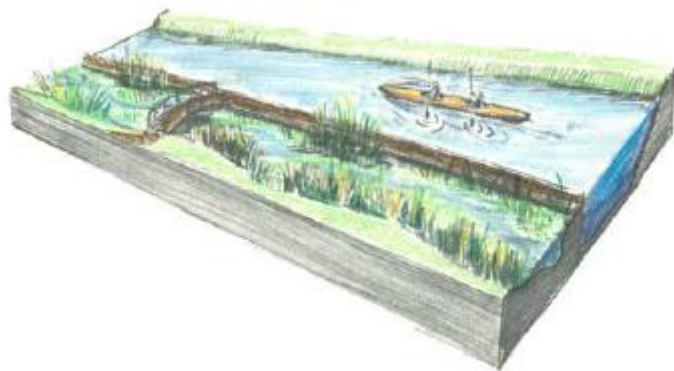
3.9 Zuivering in natuurvriendelijke oevers

De vorige paragrafen hebben aandacht besteed aan de mogelijke invloeden en oorzaken van de blauwalgenbloei op basis van literatuurstudies. Het literatuuronderzoek naar mogelijke onderzoeken is bij de start van deze paragraaf (3.9) afgerond. In deze paragraaf (3.9) en de volgende paragraaf (3.10 Curatieve bestrijdingsmethoden) wordt aandacht besteed aan het voorkomen en de bestrijding van de blauwalgenbloei.

Deze paragraaf besteedt aandacht aan het onderdeel zuivering in natuurvriendelijke oevers. Dit onderwerp komt hedendaags steeds meer aan bod. Ook omdat dit de waterkwaliteit verbeterd door zuivering en paai- en schuilmogelijkheden biedt aan vissen. Waterbeheerders passen natuurvriendelijke oevers steeds meer toe bij het beheer van waterlichamen. Hierdoor is de vraag gerezen in hoe grote mate de natuurvriendelijke oevers de nutriënten die algenbloei veroorzaken vast kunnen leggen, oftewel hoe groot de zuiverende werking is van de natuurvriendelijke oevers. Daarnaast zal deze paragraaf aandacht besteden aan de verschillende methoden om de nutriëntenconcentraties te reduceren (hoofdoorzaak). Tot slot worden er tips gegeven om de zuivering van de natuurvriendelijke oevers zo groot mogelijk te laten zijn.

3.9.1 Zuivering in oevers algemeen

Natuurvriendelijke oevers dragen bij aan het verbeteren van de (chemische) waterkwaliteit (zie figuur 16). Het verbeteren van de waterkwaliteit vindt plaats door het vastleggen van en verwijderen van nutriënten uit oppervlaktewater en drainagewater (STOWA, 2011). Deze nutriënten worden vastgelegd door de aanwezige planten (helofyten) die groeien op de natuurvriendelijke oever. Vaak worden deze oevers aangelegd om het ecologisch functioneren te versterken.



Figuur 16: Voorbeeld natuurvriendelijke oever (STOWA, 2011).

Er is tot op heden nog weinig onderzoek gedaan naar de zuiverende werking van natuurvriendelijke oevers. Door deze reden worden natuurvriendelijke oevers dan ook nog niet specifiek aangelegd met als doel om het water te zuiveren. Dit hoofdstuk zal dieper in gaan in de zuiverende processen van de natuurvriendelijke oevers en zal informatie verschaffen welke methoden en welke oplossingen er gehandhaafd kunnen worden ter preventie van de blauwalgenbloei.

3.9.2 Korte beschrijving zuiverende processen

Nutriënten kunnen door uitspoeling van meststoffen uit landbouwgronden, of door woeling van de bodem in de wateroppervlakte terecht komen. De limiterende nutriënten zoals stikstof (N) en fosfaat (P) zijn de grootste oorzaken van algenbloei. Deze nutriënten kunnen tijdelijk of permanent vastgelegd worden of permanent verwijderd worden. Vastlegging kan in de bodem, via opslibbing of in de vegetatie. Permanente verwijdering kan gerealiseerd worden beheer zoals maaien en afvoeren (STOWA, 2011). Permanente verwijdering is het meest effectief. Hierdoor zijn de nutriënten in het groeiseizoen niet/minder beschikbaar voor de algen. Het gevolg hiervan is dat er minder tot geen blauwalgenbloei op zal treden. De belangrijkste processen waarbij nutriënten uit de oppervlakte worden verwijderd, zijn opname door planten, denitrificatie, binding aan ijzer, calcium en/of aluminium, en invang van organische stof (Sollie & de Kwaadsteniet, 2009). In tabel 4 is een overzicht gegeven van deze processen.

Tabel 4: Zuiverende processen (STOWA, 2011).

PROCES	STIKSTOF	FOSFOR	TIJDELIJK/PERMANENT
Opname door planten	NO_3^- , NH_4^+	PO_4^{3-}	tijdelijk (bij maaien deels permanent)
Denitrificatie	NO_3^-	-	permanent
Fosfaatbinding	-	PO_4^{3-}	tijdelijk
Invang van org. materiaal	NO_3^- , NH_4^+ en TN	PO_4^{3-} en TP	tijdelijk (bij uitkrabben/baggeren permanent)

3.9.3 Peilbeheer

De eerste sleutelfactor is peilbeheer. Peilbeheer vindt door heel Nederland plaats. Hierdoor kan de hoeveelheid gebiedsvreemd water (instroom) geregeld worden, maar ook de hoeveelheid uitstroom bij een te hoge waterstand. De hoeveelheid water die stroomt wordt debiet genoemd. Hoe groter het debiet hoe meer er sprake zal zijn van erosie aan de oevers. De oevers slijten uit waardoor deze steil worden. Hierdoor kan er geen brede kraag van helofyten groeien die nodig zijn voor een effectieve zuivering. Hierdoor is de zuiveringscapaciteit lager waardoor er meer nutriënten beschikbaar blijven voor de algenbloei.

Het is daarom aan te raden om flexibel peilbeheer toe te passen. Er wordt dan niet gewerkt met stuwen en sluizen, maar mag het waterpeil op een natuurlijke manier fluctueren. Het is dus niet erg om af en toe een wat hogere of lagere waterstand te hebben. Hierdoor is de mate van erosie minder waardoor de brede kraag van de helofyten beter bewaard blijven. De zuiveringscapaciteit blijft hierdoor hoger omdat er een grotere biomassa is van de vegetatie.

De processen die zorgen voor de verwijdering van N en P uit het water zijn direct afhankelijk van het peilbeheer en de waterstand. Door wisselende waterpeilen wordt denitrificatie gestimuleerd en is de vastlegging van P aan Fe vergroot (STOWA, 2011).

3.9.4 Uitwisseling en verblijftijd

De uitwisseling van water is een belangrijke factor bij zuivering van nutriënten in de oever. Het te zuiveren water moet namelijk voldoende in contact staan met de oever waarin de zuivering plaatsvindt. Stroming en wind bepalen de richting waarin het oppervlaktewater stroomt (STOWA, 2011).

Voor een optimale zuivering van het oppervlaktewater in de natuurvriendelijke oever, is het van belang dat er voldoende uitwisseling is tussen de oeverzone en het te zuiveren water. Om de zuiverende functie van de oever maximaal te benutten is het belangrijk om deze strategisch te plaatsen (STOWA, 2011). Vaak zijn RWZI's (Riool Waterzuivering Installatie) een bron van toevoer van nutriënten. Deze nutriënten zijn een voedselbron voor de algen waardoor er bij een slechte zuivering grote algenbloei op kan treden.

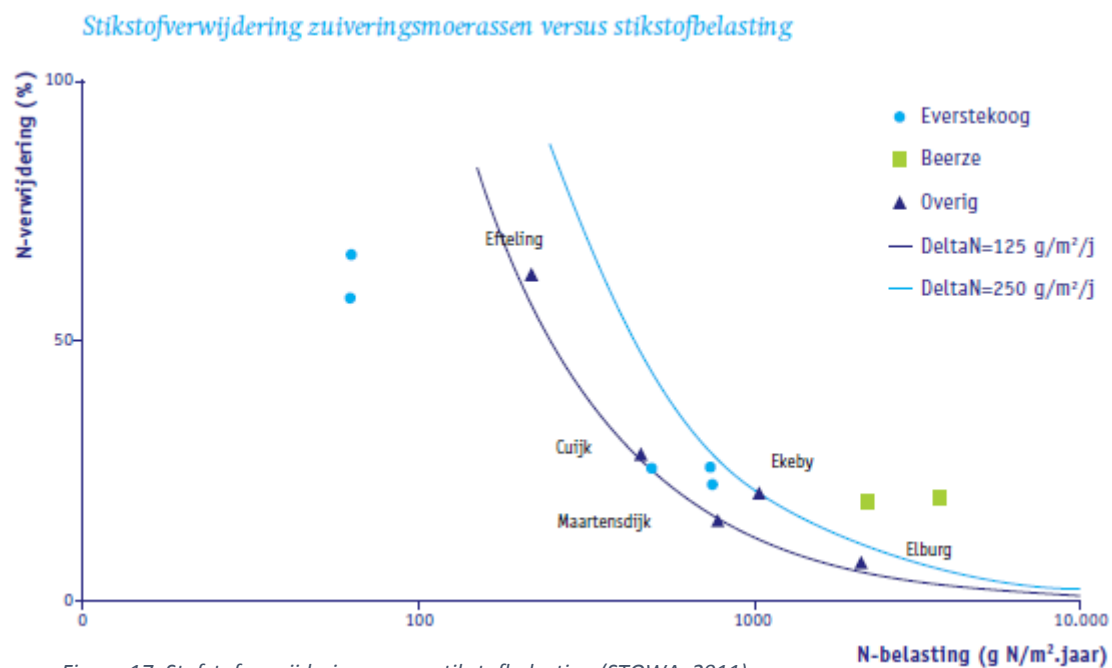
3.9.5 Relatief oeveroppervlak van de natuurvriendelijke oever

Op lokale schaal bewerkstelligen natuurvriendelijke oevers een verlaging van nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater (Sollie, 2007). Er is een duidelijk verschil in relatief oeveroppervlak tussen meren/plassen en lijnvormige wateren. Omdat meren over het algemeen meer wateroppervlakte hebben dan lijnvormige wateren (zoals kanalen) is de verhouding van het oeveroppervlakte en het wateroppervlakte kleiner. Daarnaast is de afstand tussen het midden van het waterlichaam tot de oever groter. Dit zorgt ervoor dat er minder uitwisseling tussen het water en de oever in meren zal zijn in vergelijking met lijnvormige wateren. Het is daarom belangrijk om goed

na te denken waar de natuurvriendelijke oevers aangelegd worden in deze meren. Door de minder efficiënte uitwisseling en het relatief kleine oeveroppervlak kunnen de oevers met een zuiverende werking beter aangelegd worden nabij een nutriëntenbron (instroom beek, gemaal en afvloeiing landbouwgebied) (STOWA, 2011).

3.9.6 Nutriëntenbelasting

Zowel bij N als bij P geldt dat het zuiveringsrendement afneemt met toenemende belasting (zie figuur 17, 18). Dit komt omdat er een bepaalde capaciteit voor zuivering aanwezig is per vierkante meter. De capaciteit blijft (nagenoeg) gelijk, ook bij een overmaat en nutriënten, waardoor het rendement af neemt (STOWA, 2011). Het is dus belangrijk om de belasting zo klein mogelijk te houden waardoor de zuiveringscapaciteit hoog blijft en er dus weinig algenbloei aanwezig zal zijn.

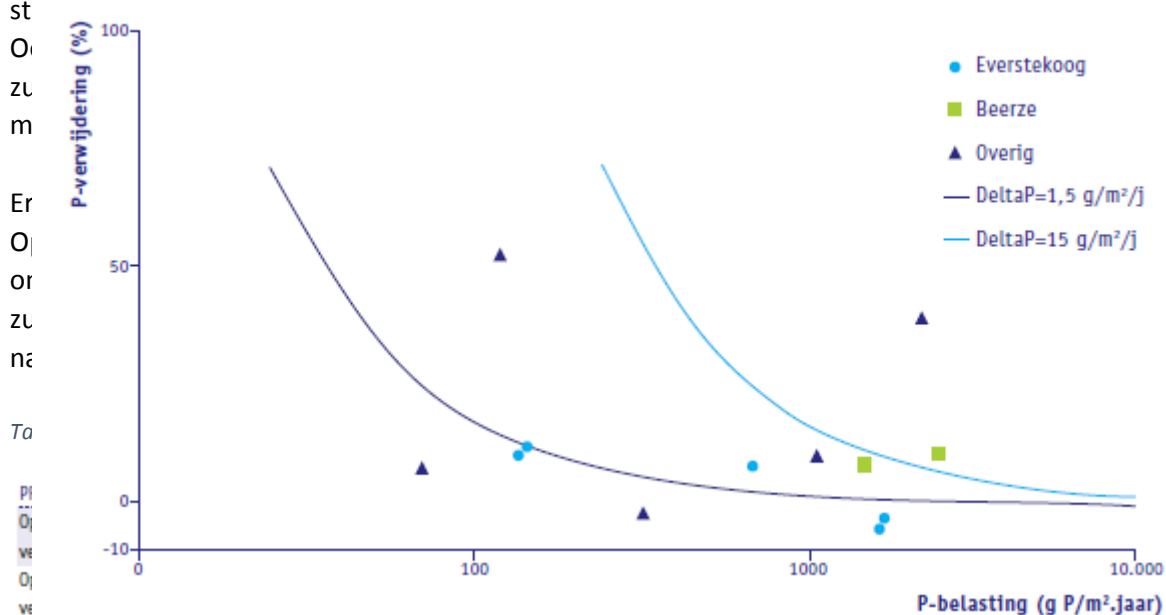


Figuur 17: Stofstofverwijdering versus stikstofbelasting (STOWA, 2011).

3.9.7 *R* Figuur 18: Fosforverwijdering versus fosforbelasting (STOWA, 2011).

Het is erg lastig om de exacte zuiverende werking te berekenen van de oever in combinatie met

de *Fosforverwijdering zuiveringsmoerassen versus fosforbelasting*



Accumulatie/ sedimentatie	Meer	200	20	Sollie, 2007
Denitrificatie	Meer	29	-	Sollie en Verhoeven, 2008
Denitrificatie	Meer	62-130	-	Van Luijn, 1997

		N(%)	P(%)	
TN en TP verwijdering	Beeksysteem	23-84	39-72	Klein, 2008
TN en TP verwijdering	57 wetlands	1-100	5-100	Fisher en Acreman, 2004
TN en TP verwijdering	5 wetlands	1-41	20-58	Nichols, 1983
TN en TP verwijdering	Overstro- mingsmoeras	20-50	10-36	Mouissie et al., 2005

Tabel 6: Zuivering door aangelegde vloeivelden (STOWA, 2011).

PROCES	WATERTYPE	N (kg ha ⁻¹ j ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹ j ⁻¹)	BRON
TN en TP verwijdering	Vloeiveld	365-8395	0-912	STOWA, 2005
		N(%)	P(%)	
TN en TP verwijdering	Bufferstrook	3-11	>100	STOWA, 2008, uitgevoerd onderzoek
TN en TP verwijdering	Bufferstrook	60-99	30-90	STOWA, 2008, literatuurstudie

Het is moeilijk om op basis van de tabellen één kental vast te stellen voor de zuivering in begroeide oeversystemen. Dit is echter wel gedaan in een groot Europees project met de naam EuroHarp. Dit is op basis van een internationaal handvat voor het berekenen van retentie (STOWA, 2011). Om de jaarlijkse retentie uit te rekenen op basis van openwateroppervlak, de waterafvoer en de nutriëntenvracht wordt u verwezen naar het rapport van Van Gerven et al. (2009). Hieronder volgen een paar richtlijnen om het zuiveringsrendement van de natuurvriendelijke oever te berekenen.

Berekening van het zuiveringsrendement

Het zuiveringsrendement berekenen voor een specifieke oever of vloeiveld is maatwerk. Deze zuivering zorgt ervoor dat de nutriëntenconcentraties verlaagd worden waardoor er minder nutriënten aanwezig zijn voor de (blauw)algenbloei. Daarnaast kan er wanneer de benodigde verlaging bekend is, een berekening gemaakt worden van het benodigde zuiverende oppervlak (STOWA, 2011).

De volgende onderstaande gegevens zijn nodig om een schatting te kunnen maken van de zuivering van in de oever:

- Gewenste verblijftijd (d)
- Gewenste stroomsnelheid (m s⁻¹)
- Kental voor zuivering (kg ha⁻¹ j⁻¹)
- Debiet instroom (m³ maand⁻¹)
- Nutriëntenconcentratie instromend water (mg l⁻¹)
- Gewenste nutriëntenconcentratie uitstromend water (mg l⁻¹) (bijvoorbeeld de wettelijke norm)
- Beschikbaar oppervlak (ha)

Door de bovenstaande gegevens in beeld te brengen kunnen de volgende stappen worden doorlopen (STOWA, 2011):

1. Bepaal het oppervlak van de zuiverende oever benodigd voor een verblijftijd tussen 1 en 10 dagen.

$$\text{Verblijftijd (dag)} = (\text{doorsnede zuiverende oever (m}^2\text{)} * \text{lengte zuiverende oever (m)}) / \text{debiet (m}^3\text{/dag)}$$

2. Bepaal de doorsnede van de zuiverende oever benodigd voor een stroomsnelheid tussen 2 en 40 cm s⁻¹.

$$\text{Stroomsnelheid (m/s)} = \text{debiet (m}^3\text{/sec)} / \text{doorsnede zuiverende oever (m}^2\text{)}$$

3. Bepaal de vracht aan N en P die in de oever stroomt.

$$\text{Vracht (kg/ha/j)} = (\text{concentratie (mg/l)} * \text{debiet (m}^3\text{/maand)}) / (12 * \text{oppervlak zuiverende oever (ha)})$$

4. Bepaal het kental (in kg/ha/j) dat behoort bij het te berekenen systeem.
5. Trek het kental af van de vracht en bereken het rendement.
Rendement (%) = ((vracht (kg/ha/j) – kental (kg/ha/j)) / vracht (kg/ha/j)) * 100%
6. Bereken het gewenste rendement.
Gewenst rendement (%) = ((concentratie instroom (mg/l) – gewenste concentratie uitstroom (mg/l)) / concentratie instroom (mg/l)) * 100%
7. Vergelijk of het te behalen rendement gelijk of groter is dan het gewenste rendement.

Bij de bovenstaande stappen gelden de volgende opmerkingen (STOWA, 2011):

- Het kan zijn dat het benodigde oppervlak op basis van verblijftijd en stroomsnelheid niet beschikbaar is. In dat geval kan het instroomdebiet worden verkleind door een deel van het debiet rechtstreeks op het open water uit te laten en niet door de oever te leiden.
- De vorm/route van de zuiverende oever bepaalt hoe het oppervlak is ten opzichte van de doorsnede. Variatie hierin maakt variatie in stroomsnelheden en verblijftijden mogelijk.
- Bepaal of het kental geldt voor het gehele oppervlak dat in de berekening wordt meegenomen. Is er overal gemiddeld evenveel vegetatie? Is de waterdiepte overal nagenoeg gelijk?
- Indien nodig of bij grote onzekerheid is het verstandig om een range van kentallen te nemen. Hiermee worden verwachte maximale en minimale rendementen berekend.
- Hoe groter de doorsnede van de oever is, hoe groter de kans op voorkeursstromingen. De uitwisseling tussen het oppervlaktewater en het gehele oppervlak is dan niet optimaal.

3.9.8 Kosten aanleg natuurvriendelijke oever

Aanlegkosten, afschrijvingskosten en kosten voor beheer en onderhoud zijn kosten voor een natuurvriendelijke oever. Deze kosten kunnen erg uiteenlopen door de verschillende oevertypes, locaties van de oevers en de tijd van het jaar waarin de oevers worden aangelegd en onderhouden (STOWA, 2009).

De hoeveelheid grond die aangekocht zal moeten worden voor de aanleg van een natuurvriendelijke oever bepaald in grote mate de aanlegkosten van deze oever. Een veelgebruikte norm voor de kosten van het realiseren van een natuurvriendelijke oever is 45 euro per strekkende meter. Dit is wanneer de grondverwerving buiten beschouwing wordt gelaten. De kosten kunnen variëren tussen 20 euro tot 160 euro per strekkende meter. Daarnaast zijn de kosten ook afhankelijk of de aanleg van een natuurvriendelijke oever gecombineerd kan worden met onderhoud aan de bestaande oevers (STOWA, 2009).

De afschrijvingskosten van een natuurvriendelijke oever liggen gemiddeld een stuk lager dan voor een traditionele oever. Door een natuurvriendelijke oever op een zodanige manier aan te leggen zodat deze goed functioneert, dan vernieuwt de oever zichzelf door natuurlijke processen. Met andere woorden, de oever is veel duurzamer dan een traditionele oever, waarvan de materialen na verloop van tijd moeten worden vervangen. Voor een traditionele oever dient de beschoeiing vaak eenmaal per 6 tot 10 jaar vervangen te worden (STOWA, 2009).

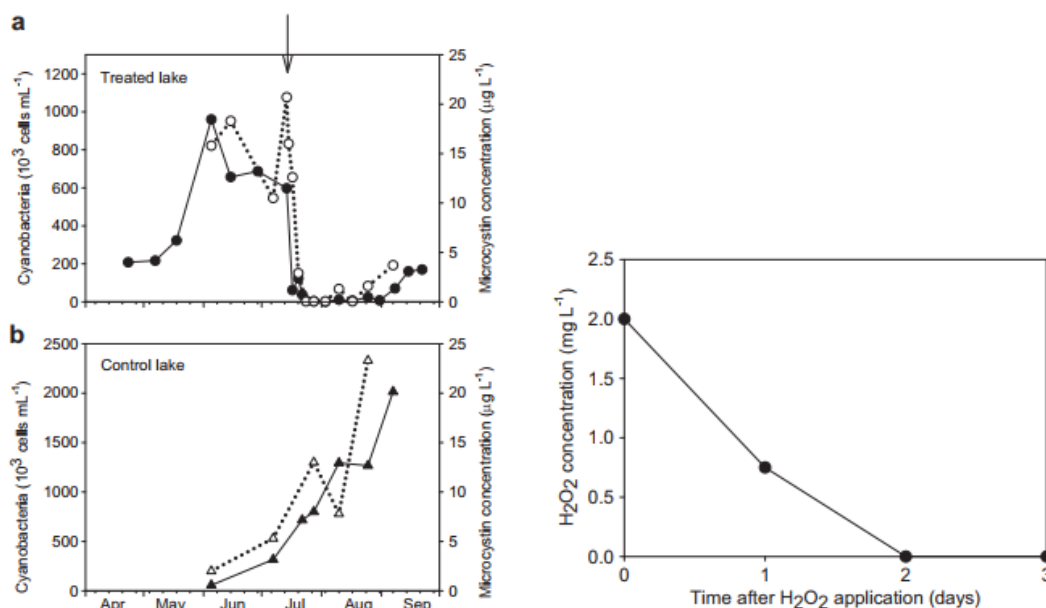
De onderhoudskosten van een natuurvriendelijke oever en een traditionele oever zijn meestal vergelijkbaar. Een natuurvriendelijke oever hoeft namelijk minder vaak gefaseerd gemaaid te worden. Hierbij is het wel zo dat het maaisel bij traditioneel maaien niet wordt meegenomen waardoor de kosten hoger kunnen uitvallen door transportkosten (STOWA, 2009).

3.10 Curatieve bestrijdingsmethoden cyanobacteriën

In de voorgaande hoofdstukken zijn verklaringen gezocht voor de aanwezigheid van blauwalg in het watersysteem. Indien cyanobacteriën al aanwezig zijn kan gebruik worden gemaakt van curatieve bestrijdingsmethodes om het systeem van blauwalg te ontdoen. In dit hoofdstuk staan twee bestrijdingsmethoden beschreven: bestrijding met waterstofperoxide en de Flock & Lock-methode.

3.10.1 Waterstofperoxide (H_2O_2)

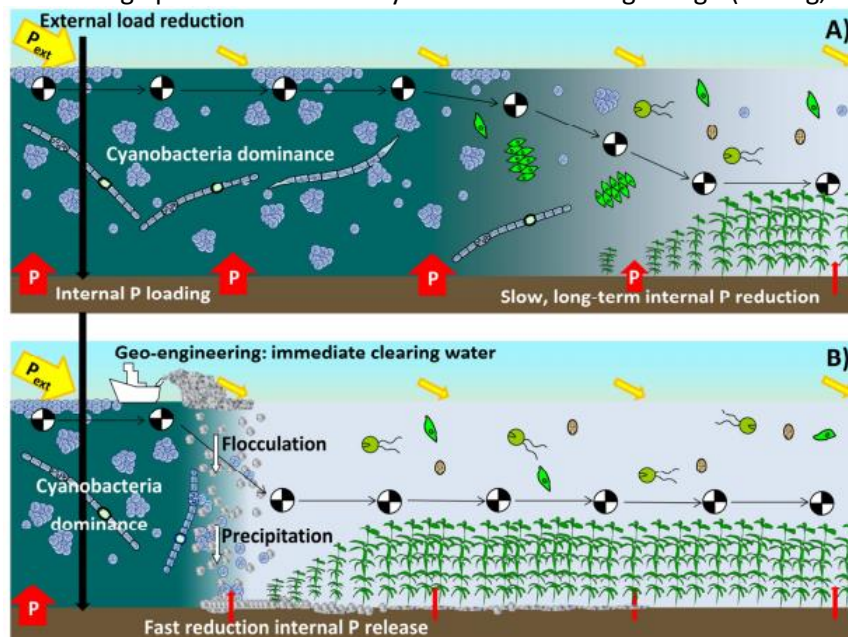
Waterstofperoxide wordt op dit moment in de Nederlandse blauwalgbestrijding al veelvuldig gebruikt. De stof wordt door Arcadis zelfs “de Achilleshiel van cyanobacteriën” genoemd, aangezien cyanobacteriën vijf tot tien keer gevoeliger zijn voor waterstofperoxide dan groenalgen (Matthijs, 2012). De stof is makkelijk en natuurvriendelijk bruikbaar, omdat het na ongeveer 1-2 dagen uit zichzelf ontbindt in water (H_2O) en zuurstof (O_2) volgens deze formule: $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ (Weenink, 2015). Echter kan de stof wel schadelijk zijn voor bepaalde organismen, mits het in een te hoge concentratie wordt gebruikt. De aangeschreven verdunning van het waterstofperoxide is 15000x, of een 3%-oplossing, dit is dezelfde hoeveelheid als in monswater (Matthijs, 2012). De minimale hoeveelheid voor effectieve bestrijding is dat de cyanobacteriën gedurende 5 dag-uren blootgesteld worden aan een hoeveelheid van 2 mg/L-waterstofperoxide (Matthijs, 2012). Onderzoek wijst uit dat bij een dosis van 3 mg/L-waterstofperoxide een verhoogde sterfte van bepaalde soorten *Daphnia* (watervlooien) plaatsvindt, zoals *Daphnia carinata* (Barrington, 2013). Bij gebruik van de juiste concentratie worden alleen de cyanobacteriën aangepakt en ondervinden bepaalde soorten fyto- en zoöplankton geen last. Grotere organismen, zoals vissen, zullen bij deze concentratie ook niet worden getroffen (Barrington, 2013). Onderzoek van Arcadis wijst uit dat waterstofperoxide effectief is in grotere waterlichamen als gehele meren (Matthijs, 2012). Dit resultaat is te zien in figuur 19.



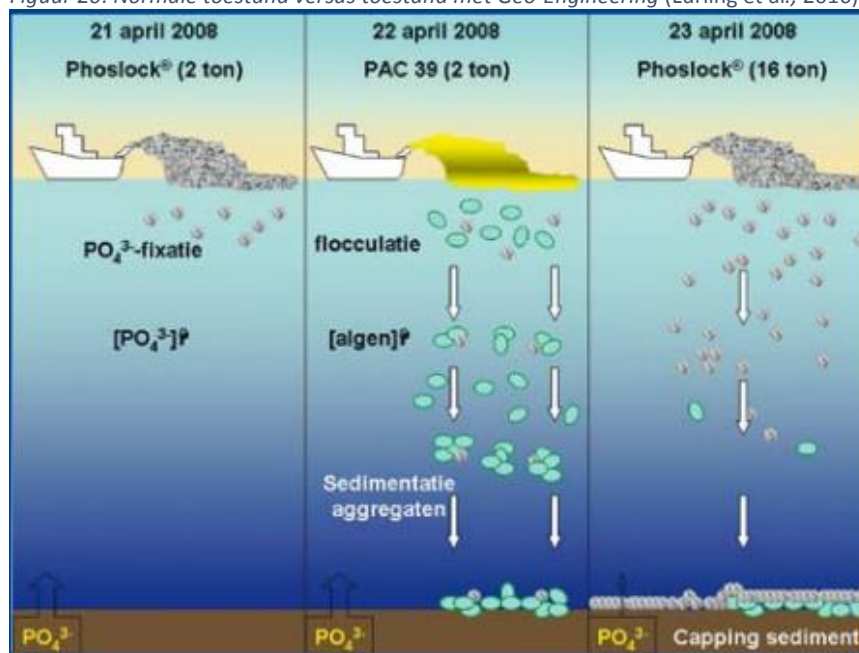
Figuur 19: Onderzoek van Arcadis naar effecten van waterstofperoxide tegen blauwalg. In de grafieken links is te zien hoe de concentratie cyanobacteriën daalt over de tijd en in de rechtergrafiek is te zien hoe de H_2O_2 vanzelf uit het systeem verdwijnt (en dus wordt omgezet in H_2O en O_2) (Matthijs et al., 2011).

3.10.2 Geo-engineering

Wageningen Universiteit heeft onderzoek uitgevoerd naar geo-engineering (hier gedefinieerd als “activiteiten die ingrijpen in biochemische cycli om eutrofiëring van binnenlandse wateren tegen te gaan”) als oplossing tegen nutriëntenoverschotten, in het bijzonder fosfaat (P) (Lürling, 2016). Deze bestrijdingsmethode omvat 2 verschillende maatregelen. De eerste maatregel beschrijft de flocculatie (vlokvorming) van de cyanobacteriecellen. Vervolgens worden de cellen afgedekt met een fosfaatfixatief, wat ervoor zorgt dat er geen fosfaat vrijkomt uit de bodem van het betreffende waterlichaam. Hierdoor is de essentiële voedselbron voor blauwalgen niet meer beschikbaar en wordt de massale ontwikkeling dus gestopt (zie figuur 20) (Lürling, 2016). Deel van deze methode wordt door Wageningen University ook wel de “Flock & Lock-methode” genoemd (zie figuur 21) (Lürling, 2016). De Flock & Lock-methode is in feite een manier om het fosfaat te laten flocculeren en op de grond vast te leggen door middel van “Phoslock”. De methode kan worden ingezet op de plaats waar de blauwalg zich ophoopt in grotere watersystemen. Het kan dus niet zomaar op het willekeurige plek aan het watersysteem worden toegevoegd (Lürling, 2016).



Figuur 20: Normale toestand versus toestand met Geo-Engineering (Lürling et al., 2016).



Figuur 21: Flock & Lock-methode (Lürling et al., 2016).

4. Resultaten data-analyse

In dit hoofdstuk worden de verzamelde resultaten geanalyseerd en uitgewerkt.

4.1 Temperatuur

De temperatuur is een belangrijke factor bij de groei van blauwalgen. Een hogere temperatuur zorgt voor een snellere en explosievere groei van blauwalgen. In dit hoofdstuk wordt bekeken wat de temperaturen zijn van de afgelopen 4 jaar. Aangezien de watertemperatuur van 2017 ontbreekt, wordt zowel de lucht- als de watertemperatuur behandeld. Aan de hand van deze resultaten kunnen er 2 uitspraken worden gedaan;

- 1) Wat effect is van de temperatuur op de blauwalgengroei.
- 2) Of de temperatuur kan zorgen voor een toename van blauwalgen

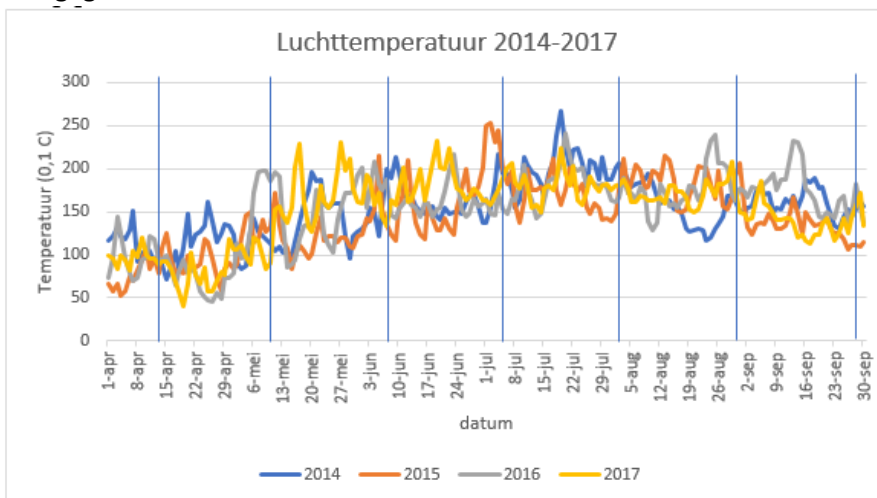
Om hierachter te komen worden de temperaturen van 4 jaar met elkaar vergeleken. Ook wordt de temperatuur vergeleken met het biovolume van blauwalgen.

Luchttemperatuur



Figuur 22: Weerstation Lelystad.

Het dichtstbijzijnde weerstation die de luchttemperatuur meet is gevestigd in Lelystad (figuur 22). De data is opgevraagd en staat hieronder weergegeven in een grafiek. Ook zijn er resultaten van de watertemperatuur. Deze zijn één keer per maand gemeten. De luchttemperatuur van 2014 tot en met 2017 met de meetmomenten van de watertemperatuur staan in de grafiek hieronder weergegeven.



Figuur 23: Temperatuur in de periode van 2014 tot 2017 wanneer algenbloei kan optreden en werd waargenomen

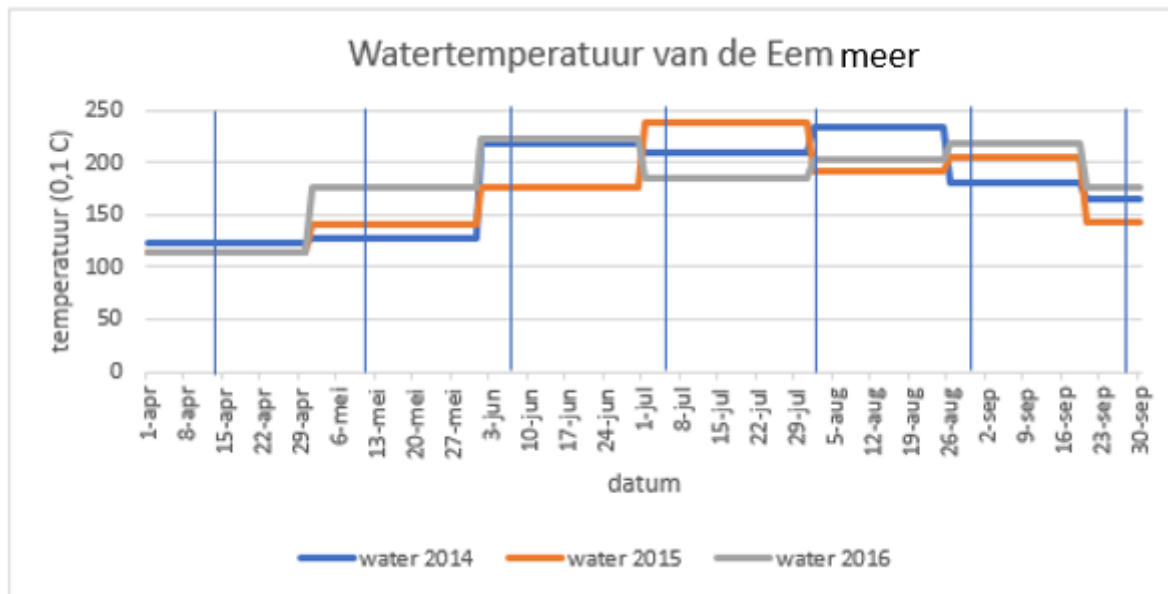
De temperatuur staat weergegeven in de periode van april tot oktober, aangezien tussen deze periode de blauwalgen zijn waargenomen. Alle jaren zijn redelijk gelijk aan elkaar op een paar uitschieters na. In 2016 waren er pieken rond 26 augustus en 14 september. Het jaar 2017 was een jaar met weinig uitschieters vergeleken met de andere jaren. Wel was de temperatuur op 14 september hier het laagst (waar in 2016 de temperatuur het hoogst was) en was de temperatuur op 15 mei en 27 mei vrij hoog. Verder is er nog een lage temperatuur in 2014 waargenomen op 24 augustus.

Tabel 7: Beschrijving van de luchttemperatuur per meetpunt.

Meetpunt	Beschrijving
1 (12-apr)	Gelijk
2(12-mei)	2016 het hoogst
3 (6-jun)	2014 en 2016 hoger dan 2015 en 2017
4 (5-jul)	2015 het hoogst
5 (2-aug)	2014 hoger dan 2015
6 (1-sep)	2015 het hoogst
7 (27-sep)	2015 het laagst

In de periode april tot oktober zijn er elk jaar gemiddeld 7 meetpunten geweest waar zowel de water- als de luchttemperatuur werd gemeten. Bij het eerste, meetpunt ligt de luchttemperatuur van alle jaren vrijwel gelijk. Bij het tweede meetpunt is 2016 behoorlijk warmer dan andere jaren. Bij het derde meetpunt zijn 2014 en 2016 hoger dan 2015 en 2017. Bij het vierde meetpunt heeft 2015 een hogere luchttemperatuur dan andere jaren. Bij het vijfde punt is 2014 duidelijk hoger dan 2015. Bij het zesde meetpunt is 2015 het hoogst en bij het laatste meetpunt is 2015 juist het laagst.

Watertemperatuur



Figuur 24: Watertemperatuur van de Eemmeer

Hierboven staat de watertemperatuur van april tot oktober weergegeven met de bijbehorende meetpunten van het Eemmeer. De data van 2017 ontbreekt echter. Verder blijkt dat de watertemperatuur heel erg overeenkomt met de luchttemperatuur. De beschrijving per meetpunt zijn in tabel 8 op een rijtje gezet.

Meetpunt	Beschrijving watertemperatuur
1 (12-apr)	Gelijk
2 (12-mei)	2016 het hoogst
3 (6-jun)	2014 en 2016 hoger dan 2015
4 (5-jul)	2015 het hoogst
5 (2-aug)	2014 hoger dan 2015 en 2016
6 (1-sep)	2016 het hoogst
7 (27-sep)	2015 het laagst

Tabel 8: beschrijving van de watertemperatuur per meetpunt

Bijna het gehele rijtje is hetzelfde als de luchttemperatuur. Het verschil is bij meetpunt 6. De watertemperatuur is in 2016 hoger dan 2015 (die bij de luchttemperatuur juist het hoogst was). Het verschil kan verklaard worden vanwege de enorme piek in luchttemperatuur in 2016 vlak voor het zesde meetpunt (figuur 23).

Tabel 9: beschrijving blauwalgen Eemmeer

Meetpunt	Beschrijving biovolume blauwalgen Eemmeer
1 (12-apr)	Geen
2 (12-mei)	Geen
3 (6-jun)	Geen
4 (5-jul)	Geen
5 (2-aug)	Op één na hoogste piek 2014 en minuscule groei in 2016
6 (1-sep)	Minuscule groei 2014, grootste piek van geheel 2015 en 2016 heeft op dit punt de hoogste algengroei
7 (27-sep)	Geen

Hierboven staat de samenvatting (tabel 9) van de waarnemingen van het biovolume van blauwalgen in het Eemmeer (gebaseerd op figuur 30 in hoofdstuk 4.3). Wat opvalt is dat er op meetpunt 4 (waar de warmste watertemperatuur is gemeten) geen blauwalgen zijn waargenomen. Echter laat de tabel wel gelijkenissen zien bij meetpunt 5 en 6. Op meetpunt 6 is de hoogste temperatuur van 2014 gemeten en de op één na grootste hoeveelheid blauwalgen van 2014. Op meetpunt 6 is 2016 het warmst en ook de hoeveelheid algengroei van dit jaar het grootst. 2015 is hier ongeveer 1 graden Celsius kouder en ook hier is de grootste hoeveelheid algen aangetroffen van heel 2015. 2014 is ongeveer 3,5 graden kouder vergeleken met 2016 en hier is ook bijna geen algengroei te zien.

Tabel 10: beschrijving blauwalgen Gooimeer

Meetpunt	Beschrijving biovolume blauwalgen Gooimeer
1 (12-apr)	Geen
2 (12-mei)	Geen
3 (6-jun)	Geen
4 (5-jul)	Geen
5 (2-aug)	Veruit de grootste blauwalgengroei in 2014 ook grote algengroei in 2016
6 (1-sep)	Algengroei in 2014. Nog steeds blauwalgen in 2015 maar nemen af. Flinke blauwalgengroei in 2016
7 (27-sep)	Geen

Aangezien het Eemmeer en het Gooimeer qua bodemsamenstelling, diepte en nutriëntenhuishouding veel gemeen hebben, wordt ook de temperatuur met het Gooimeer vergeleken (tabel 10) vergeleken met de watertemperatuur (tabel 8). Hierboven staat de tabel van het Gooimeer weergegeven. Uit meetpunt 5 en 6 blijkt weer dat de temperatuur voor een grote algengroei zorgt.

Aan de hand van deze resultaten kunnen we concluderen dat de optimale watertemperatuur voor blauwalgen boven de 20 graden Celsius is en dat watertemperatuur een belangrijke factor is voor blauwalgengroei. Echter blijkt ook uit meetpunt 4 (waar de temperatuur bijna 25 graden Celsius is en er geen blauwalgengroei is gezien) dat de temperatuur alleen niet een blauwalgengroei kan veroorzaken. Uit de literatuur blijkt dit ook en daarom worden er in dit rapport meerdere factoren behandeld.

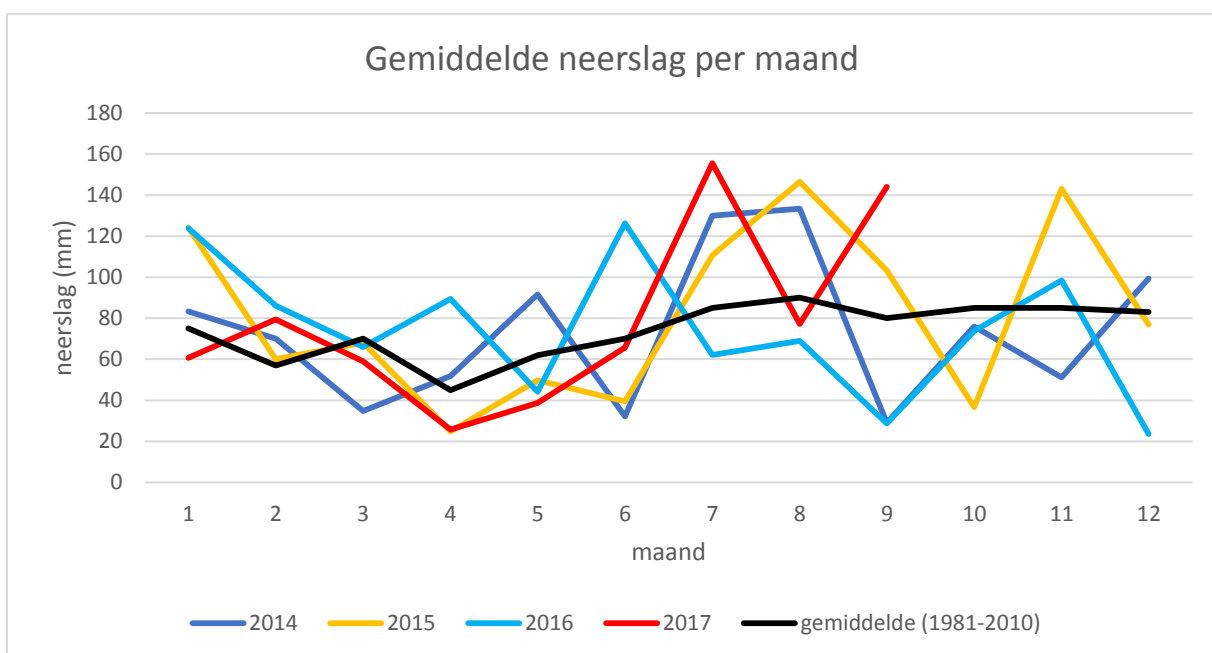
4.2 Neerslag

Nederland is een land onder zeeniveau, waarover het gehele jaar neerslag plaatsvindt. In totaal valt gemiddeld zo'n 800 mm per jaar (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2017). Neerslag heeft invloed op de landbouw, scheepvaart, uitspoeling van de bodem en bepaald de pH van watersystemen (Goor, 2013). Om een duidelijk beeld te krijgen van de neerslag rondom het IJmeer, Gooimeer en Eemmeer zijn drie weerstations uitgekozen (zie figuur 23).



Figuur 25: Weerstations KNMI

Van de drie weerstations is de gemiddelde neerslag per maand berekend gedurende 4 jaar (van 2014 tot en met Oktober 2017). Deze data staat weergegeven in de onderstaande grafieken (zie figuur 26).



Figuur 26: Gemiddelde neerslag per maand in de periode 2014 tot en met 2017.

Om een duidelijke lijn weer te geven of gedurende de afgelopen vier jaar veel of weinig neerslag is gevallen, is ook de gemiddelde neerslag van 1981 tot en met 2010 weergegeven (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2017). Met behulp van de gemiddelde uit 1981-2010 kan er worden bepaald per jaar of we een droog of nat voor- of najaar hebben gehad.

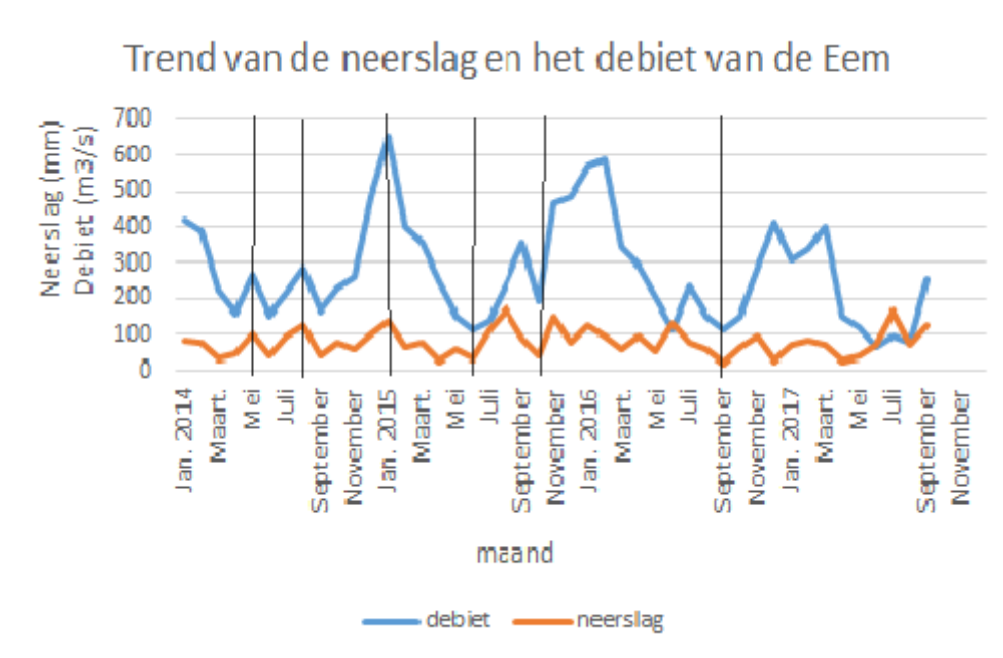
De grafiek toont aan dat er een groot verschil is in de neerslag per maand en er kan aan de hand van deze grafiek geconcludeerd worden dat 2014 een zeer extreem jaar was qua neerslag. Met een zeer droge maand maart en een zeer natte maand mei, die wordt opgevolgd door een zeer droge maand juni. Ook september was een droge maand (50 mm minder neerslag dan het gemiddelde).

In 2015 begon het jaar erg nat. Echter werd de hoeveelheid neerslag minder en bleef het droger dan het gemiddelde, dit duurde tot de maand juni. Vanaf juni nam de neerslag weer toe tot een punt van 140 mm neerslag in augustus, wat de natste maand was in 4 jaar tijd.

2016 was een nat jaar tot in de maand juni. De maanden juli, augustus en september waren droog. Na september begon er weer wat meer neerslag te vallen.

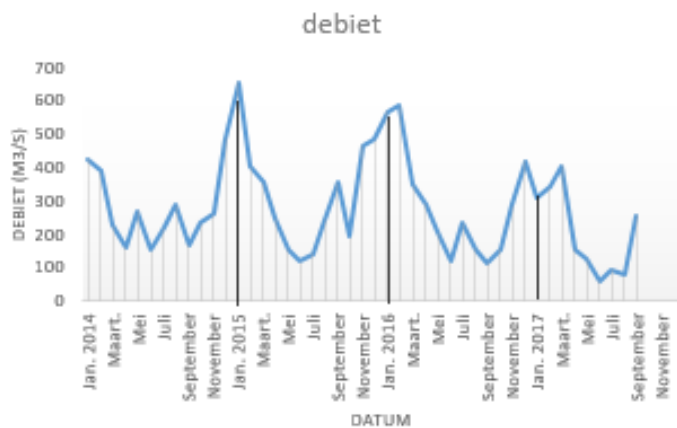
In 2017 waren de maanden april en mei vrij droog. In juli is er een enorme piek te zien in de neerslag (70 mm meer neerslag dan het gemiddelde) en was het erg nat. Na juli kwam er een normale regenval in augustus, waarna vervolgens weer een piek ontstond in de maand september. Ook 2017 was een jaar van extremen qua neerslag.

De hoeveelheid water wat uit de Eem het Eemmeer in stroomt is grotendeels afhankelijk van de neerslag rondom de Eem. Bij neerslag lozen de omliggende polders direct hun overtollige water in de Eem. Hierdoor stromen er grotere hoeveelheden nutriënten via de Eem het Eemmeer binnen en dit heeft de grootste invloed op de balans van nutriënten en water in het Eemmeer (Rob Poriëlje, 2003). Volgens figuur 27 blijkt dat het debiet erg afhankelijk is van de neerslag rondom de Eem.



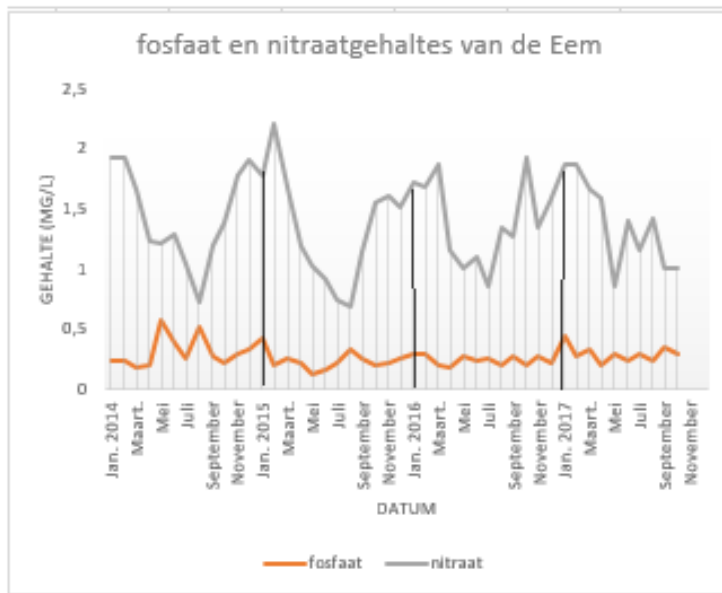
Figuur 27: Trend van de neerslag en het debiet van 4 jaar.

Om erachter te komen hoeveel fosfaat en nitraat de Eem afvoert naar het Eemmeer zijn dagelijkse metingen nodig. Helaas ontbreekt deze data en is alleen de data per maand beschikbaar. Hierdoor kan geen uitspraak gedaan worden over de exacte hoeveelheid fosfaat of nitraat via de Eem in het Eemmeer terecht is gekomen. Wel kan gekeken worden wanneer de grootste hoeveelheden fosfaat en nitraat richting het Eemmeer stromen. De trends van het debiet en de hoeveelheid nitraat en fosfaat is in figuur 28 weergegeven.

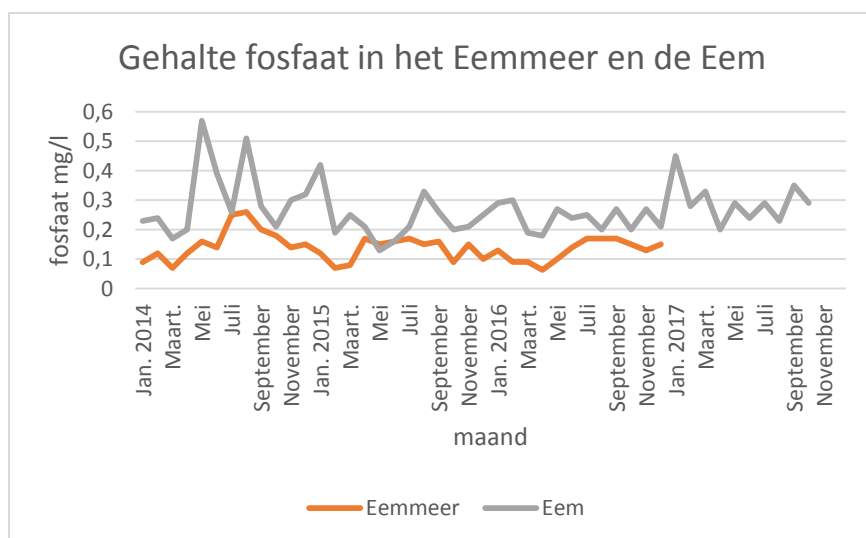


Figuur 28: Trends van het debiet en de fosfaat- en nitraatgehaltes

Uit grafiek 28 blijkt dat de hoeveelheid nitraat en het debiet veel overeenkomsten hebben. Rond mei, juni en juli is de hoeveelheid nitraat en het debiet het laagst en rond november, januari en februari is de hoeveelheid nitraat en het debiet het hoogst gedurende 4 jaar.

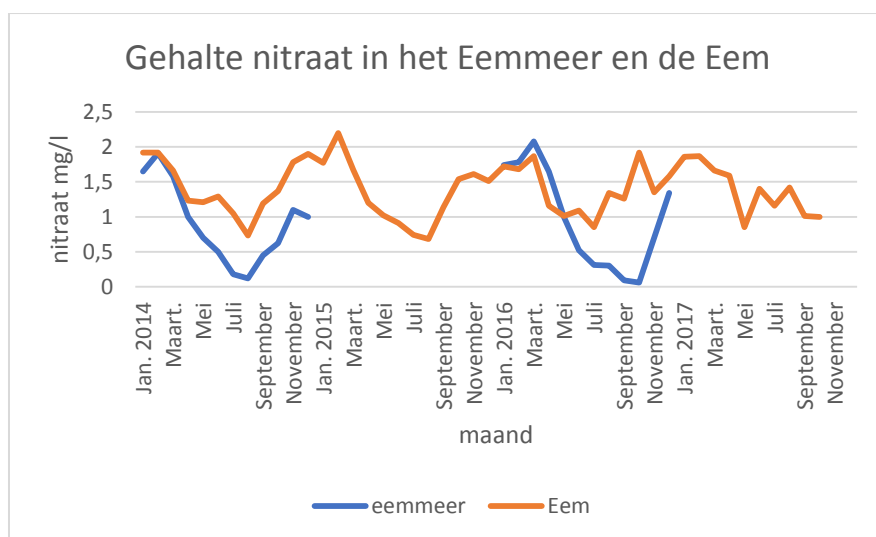


Omdat het debiet van de Eem veel overeenkomsten heeft met de hoeveelheid nitraat is het mogelijk dat het debiet de nitraatbalans in het Eemmeer kan beïnvloeden, aangezien de Eem alles afvoert op het Eemmeer. In de onderstaande grafieken (grafiek 29 & 30) worden de gehalten van de Eem en het Eemmeer met elkaar vergeleken.



Figuur 29: gehalte fosfaat in het Eemmeer en de Eem

Uit grafiek 29 blijkt dat er weinig tot geen overeenkomsten zijn met de gehalten van fosfaat in de Eem en het Eemmeer.

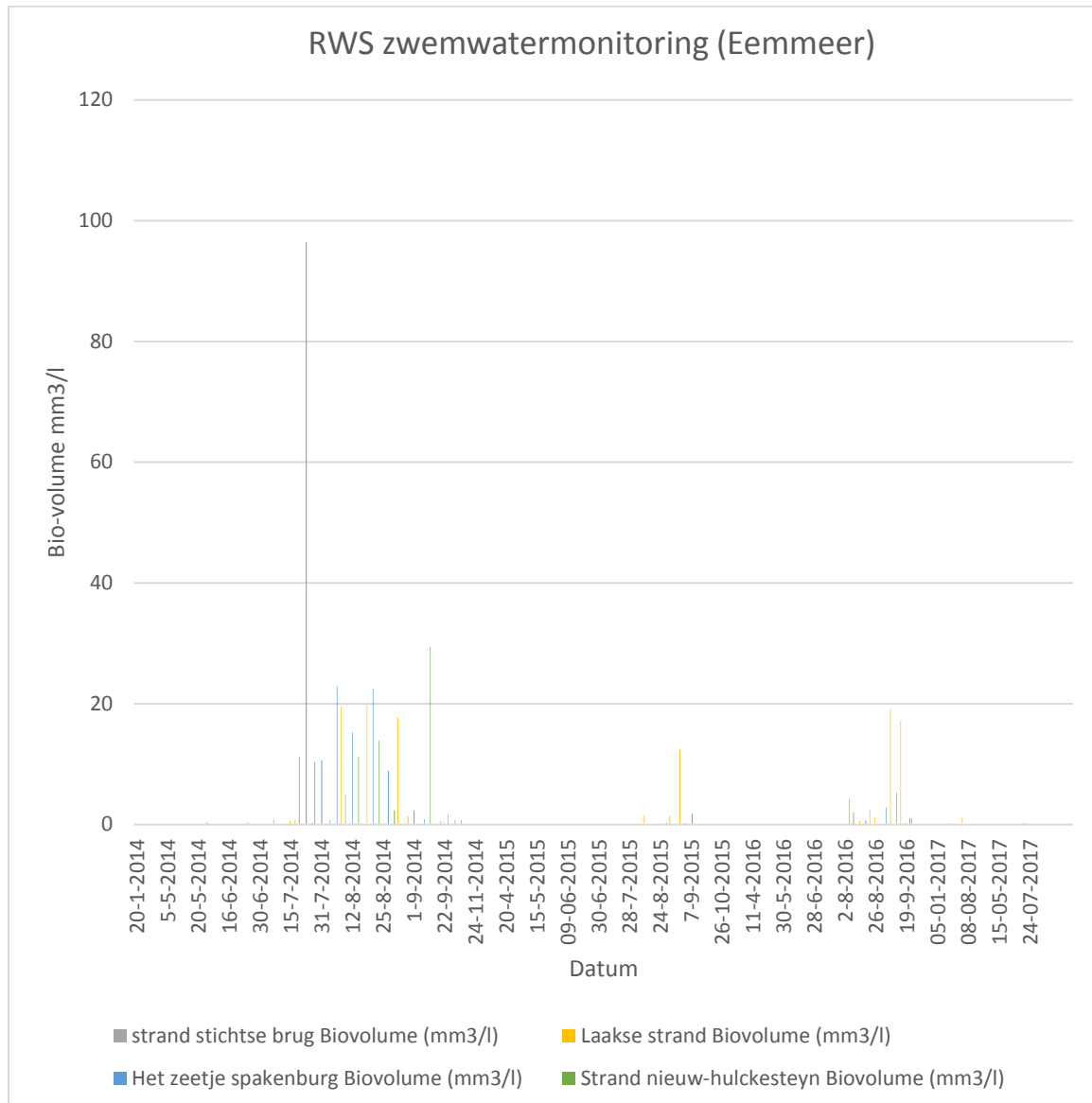


Figuur 30: gehalte nitraat in het Eemmeer en de Eem

De trend van de hoeveelheden nitraat in de Eem en het Eemmeer komen veel met elkaar overeen. Er missen 2 jaar, maar uit de andere 2 jaar is er een soort cyclus te zien waarbij de grootste hoeveelheid nitraat in maart is te zien en de laagste rond juli. Echter begint de stijging na het dal in 2016 later dan in 2014. Aan de hand van deze resultaten kan er geconcludeerd worden dat de Eem de nitraatbalans in het Eemmeer beïnvloedt.

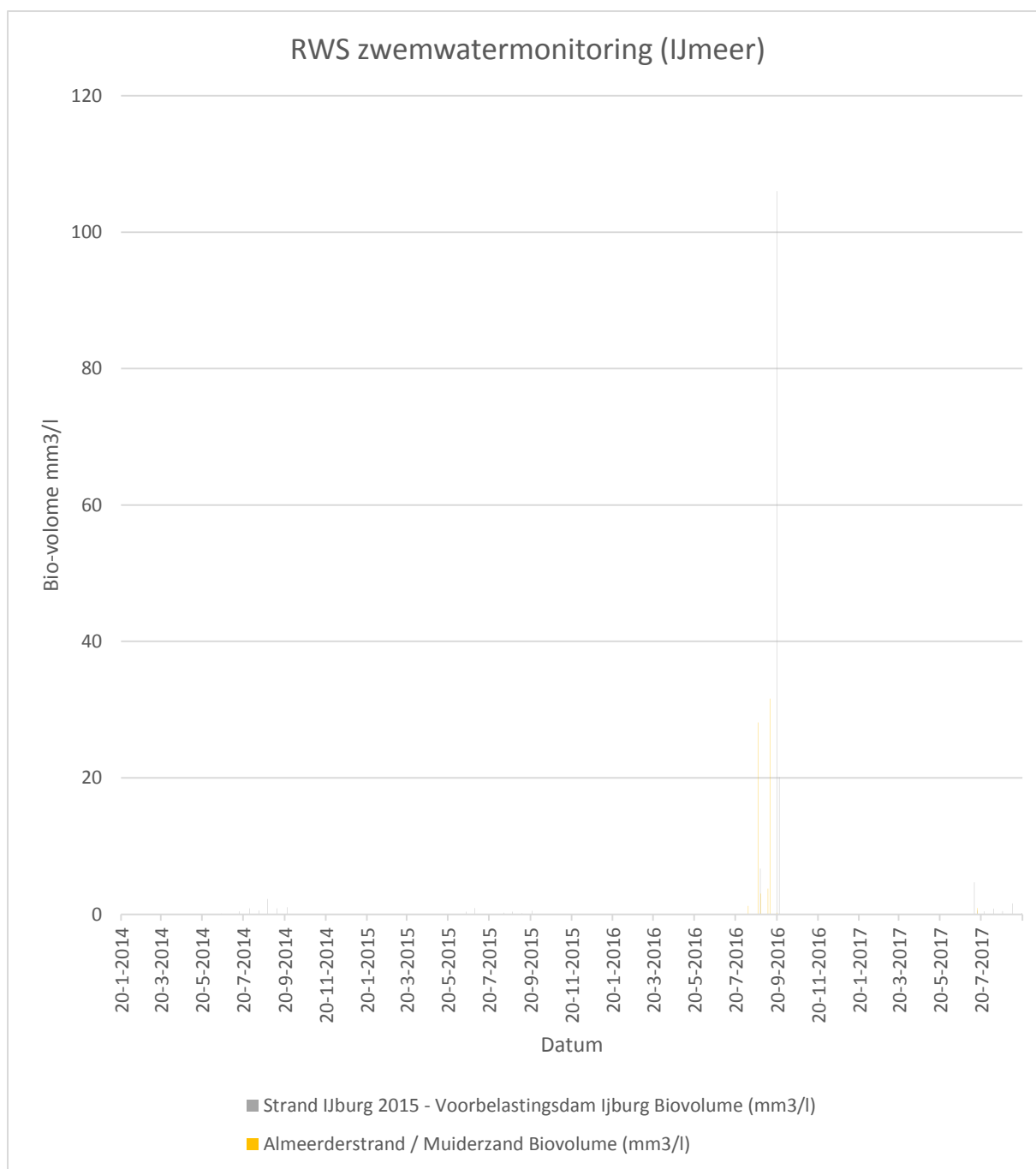
4.3 Blauwalgen voorkomen en biovolume blauwalg

Om een overzicht te krijgen van de hoeveelheid blauwalgen rondom de zwamwatergebieden in de meren, zijn de resultaten van de zwemwatermonitoring in kaart gebracht. Per meer is er gekeken naar de zwemlocaties die zich rondom dit meer bevinden. Vervolgens is de datum, plaats en het biovolume blauwalg ingevoerd en weergegeven in de onderstaande grafieken (zie figuur 31, 32).



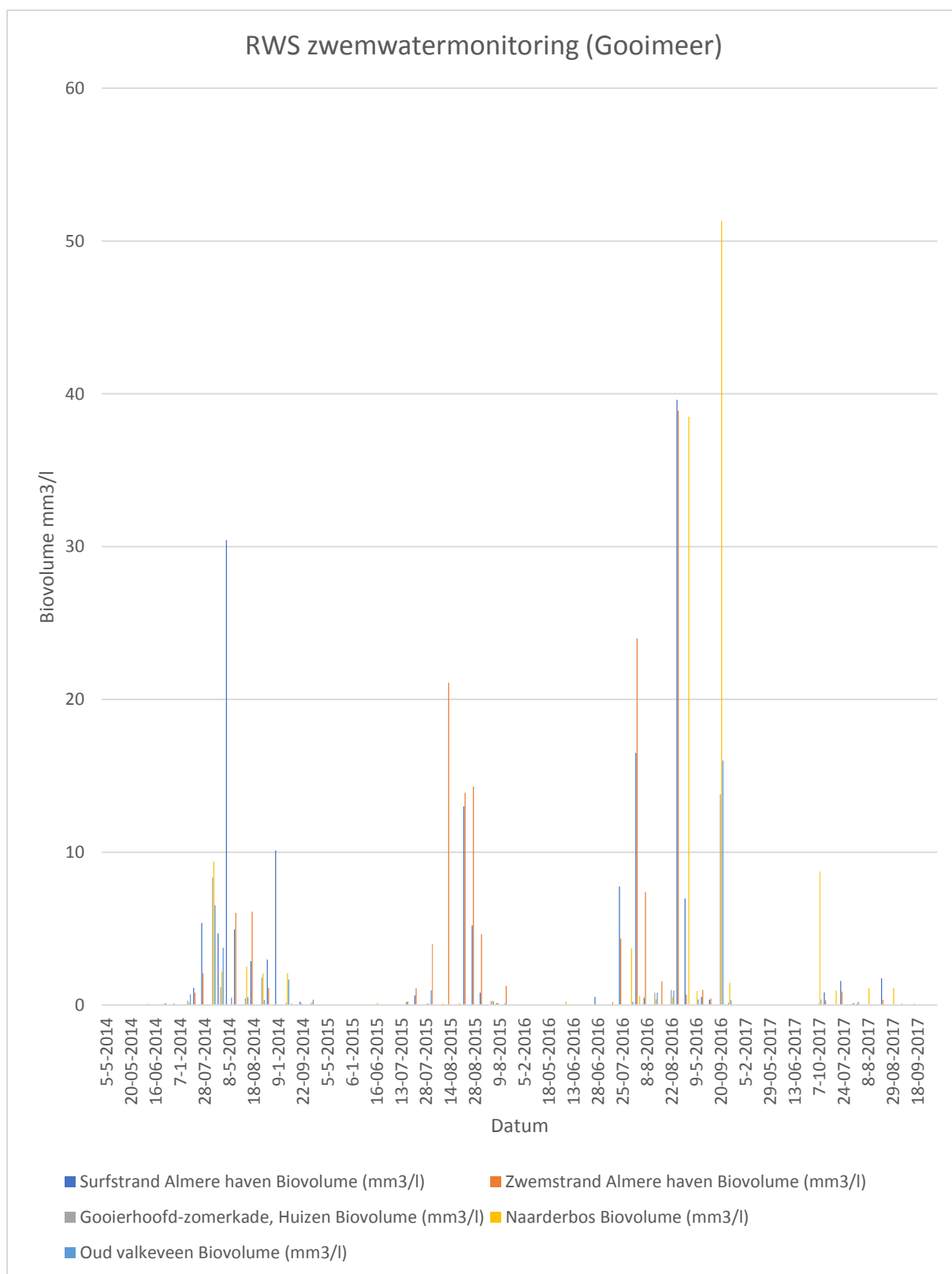
Figuur 31: Zwemwater monitoring Eemmeer. Y-as: biovolume blauwalg, X-as: datum.

Rondom het Eemmeer liggen er 4 zwemwaterlocaties waar de blauwalgen worden gemonitord. De grafiek geeft de resultaten vanaf 2014 tot en met 2017 weer. Uit de resultaten blijkt dat voornamelijk 2014 een jaar was waar veel blauwalg (volume) voorkwam. Vooral de locatie 'het zeetje' en 'Laakse strand' hebben dit jaar veel last van blauwalgen gehad. Ook strand nieuw-Hulckensteyn heeft hier eenmalig een grote hoeveelheid blauwalgen gehad. Verder blijkt uit de resultaten dat in 2015 de overlast van blauwalg weinig was, op één piek rond 5 september na bij het Laakse strand. In 2016 zijn er meer blauwalgen gevonden dan in 2015. Ook hier werden de meeste hoeveelheden blauwalgen bij het Laakse strand gevonden. In 2017 werden er bijna geen blauwalgen in het Eemmeer gevonden tijdens de zwemwatermonitoring, dit in tegenstelling tot eerdere waarnemingen.



Figuur 32: Zwemwater monitoring IJmeer. Y-as: biovolume blauwalg, X-as: datum.

In het IJmeer zijn er 2 locaties waar is gemonitord. Uit de resultaten blijkt dat in 2016 het probleem met blauwalgen veruit het grootst was. In september 2016 is hier de grootste hoeveelheid blauwalgen aangetroffen in 4 jaar tijd van alle meren (Femmeer, Gooimeer en IJmeer) met een hoeveelheid van boven de 100 mm³ blauwalgen per liter. In de overige jaren zijn er slechts minuscule hoeveelheden blauwalgen gevonden.



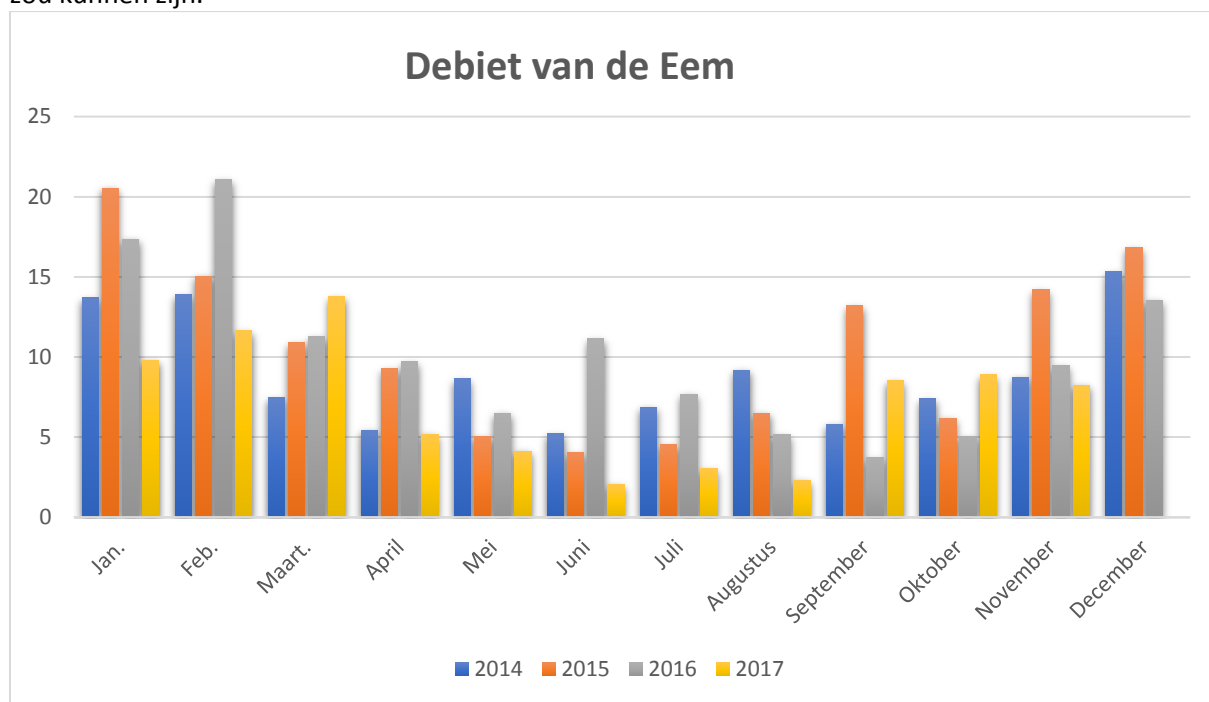
Figuur 33: Zwemwater monitoring Gooimeer. Y-as: biovolume blauwalg, X-as: datum.

In het Gooimeer zijn er 5 locaties waar gemonitord werd. In de grafiek is duidelijk te zien dat in het Gooimeer het vaakst blauwalgen worden aangetroffen (zie figuur 33). Ieder jaar tussen juli en september zijn er pieken te zijn van grote hoeveelheden blauwalg. In 2016 is er het meest

aangetroffen, gevolgd door 2014 en 2015. 2017 is vergeleken met de voorgaande jaren een enorm rustig jaar geweest qua blauwalgenoverlast. In 2017 is er één piek te zien (die de 10 mm³ blauwalg per liter nog niet haalt) op 10 juli.

4.3 Debiet

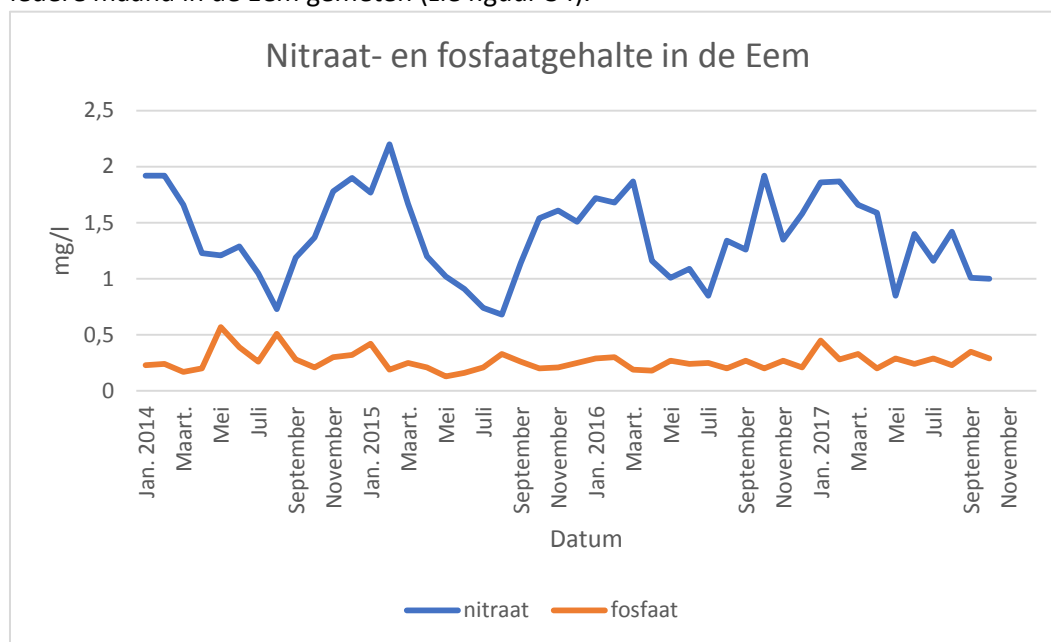
Het debiet van de Eem is hieronder in figuur 33 weergegeven per maand vanaf 2014 tot en met 2017. Het debiet is iedere dag gemeten hiervan zijn de gemiddelde per maand berekend. Opvallend is dat het debiet in 2017 relatief laag is ten opzichte van de andere jaren. Het lage debiet duidt ook aan dat de stroomsnelheid minder is geworden waardoor de stroming in de Randmeren ook minder zou kunnen zijn.



Figuur 33: Het gemiddelde debiet per maand van de Eem vanaf 2014 t/m 2017.

4.4 Nutriënten uit de Eem

De Eem zorgt voor een nutriënten toevoer naar de Zuidelijke Randmeren. Zoals eerdergenoemd zijn de twee belangrijkste nutriënten stikstof en fosfaat, deze zijn gedurende 2014 tot en met 2017 iedere maand in de Eem gemeten (zie figuur 34).

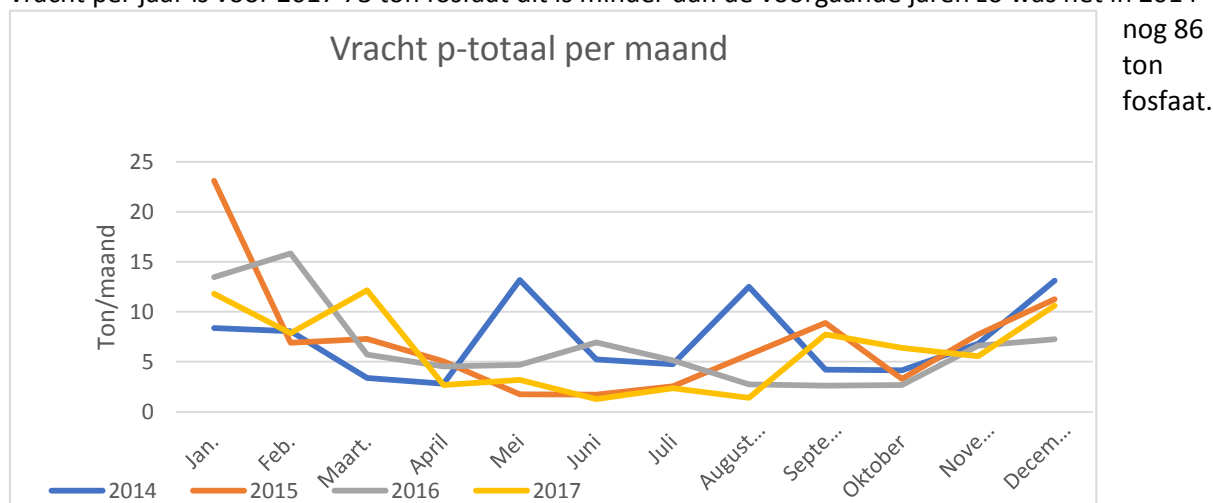


Figuur 34 Nitraat en Fosfaatconcentraties van 2014 t/m 2017 in de Eem

Vooraf de nitraat concentraties zijn gedurende eind 2016 tot en met augustus 2017 hoog wat kan leiden tot een verhoogde toevoer van nitraat. Wat betreft fosfaat is uit figuur 34 op te maken dat deze concentraties relatief hoog zijn gedurende 2017. De verhoogde toevoer van deze nutriënten is gunstig voor de ontwikkeling van de blauwalg. In 2014 zijn hoge pieken, Het gehele jaar wordt veel nitraat en fosfaat in de Eem aangetroffen. Te zien in de Figuur is dat in de jaren 2015 en 2016 minder toevoer van fosfaat en nitraat is. In 2017 stijgen de nitraat concentraties gemiddeld 2.2% en de fosfaatconcentraties gemiddeld 11% tegen over de voorgaande jaren.

Vanaf 2014 is het waterschap Vallei en Veluwe bezig met dijkverstevingen langs de Randmeren en de Eem om de veiligheid te verbeteren. Deze werkzaamheden zijn niet continu bezig geweest maar in bepaalde periodes. De werkzaamheden kunnen ook voor zorgen dat er meer nutriënten in het water komen en worden afgevoerd door de Eem.

Doormiddel van de fosfaatconcentraties en de debiet gegevens is de vracht (hoeveelheid ton fosfaat per maand) van de Eem te berekenen. De vracht is voor iedere maand brekend vanaf 2014 tot 2017. In de grafiek hieronder is de vracht te zien van de 4 jaren per maand (zie figuur 35). In de grafiek is te zien dat in 2017 op de piek in maart en september na een lage vracht heeft. Deze lage vracht komt vooral door het lage debiet in 2017 want de concentratie fosfaat is niet lager geworden. De totale vracht per jaar is voor 2017 73 ton fosfaat dit is minder dan de voorgaande jaren zo was het in 2014



nog 86
ton
fosfaat.

Figuur 35: De vracht fosfaat in ton per maand van 2014 t/m 2017.

De kritische fosfaat waarde van het Eemmeer en het Gooimeer zijn nodig om inzicht te krijgen in de productiviteit van het water. Deze waarde is te berekenen met het metamodel PCLake, De PCLake is voor de twee meren samen berekend aangezien deze open aan elkaar verbonden zijn. Uit het meta model komt de kritische fosfaat waarde van $0,3P/g/m^2/jaar$. Om te kijken of het aan deze norm voldoet moet de belasting worden berekend, dit kan door de vracht naar gram om te rekenen en daar na te delen door de oppervlakte van het Gooi en het Eemmeer (4300 ha). In tabel 9 zijn de ingevoerde waardes terug te vinden en de uitkomsten. De Belasting van de Eem is $1,7P/g/m^2/jaar$ dit is boven de kritische waarden. Dit betekend dat ondanks de afname van de totale vracht fosfaat vanuit de Eem dat er nog steeds te veel wordt afgevoerd. De belasting op het Gooi en Eemmeer is te hoog waardoor de blauwalg genoeg toevoer van fosfaat krijgt.

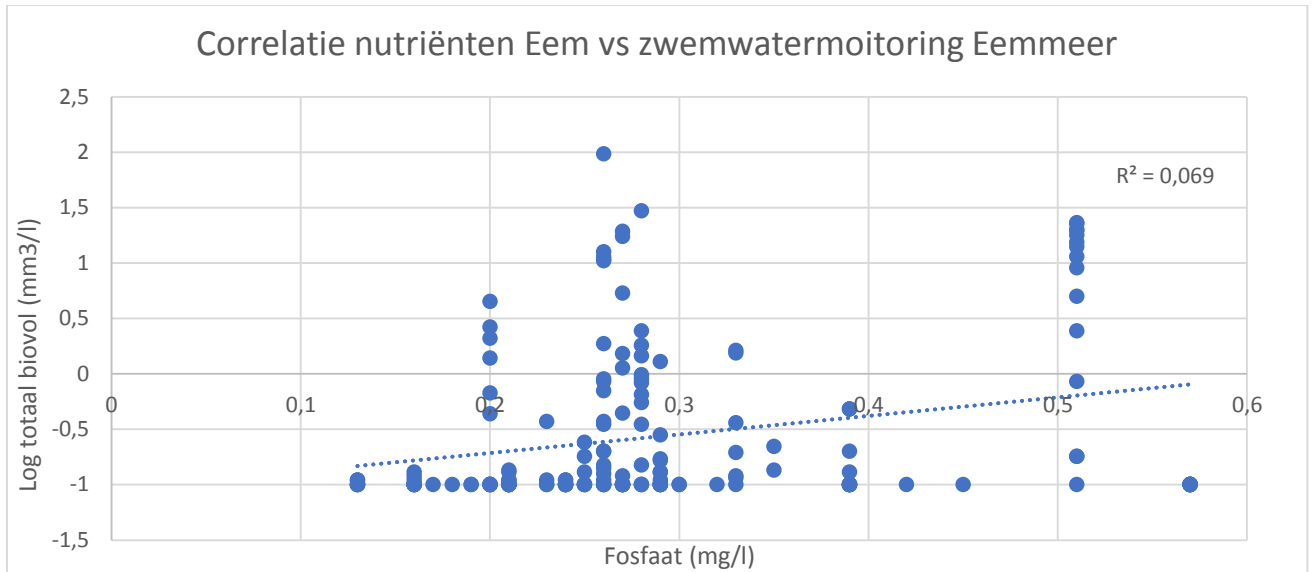
Invoer modelrun	
Diepte	2.4 m
Aandeel moeras	0.5 (ratio)
Strijklengte	300 m
Debiet	11.53 mm/d
Extinctie	0.5 m
Sedimenttype	Klei
Resultaat modelrun	
Helder naar troebel	2.61 mg P/m ² /d
	0.95 g P/m ² /jaar
Troebel naar helder	0.81 mg P/m ² /d
	0.30 g P/m ² /jaar
Verblijftijd	208.1526452732 dagen

Tabel 9: Invoer en uitkomsten meta-model PCLake.

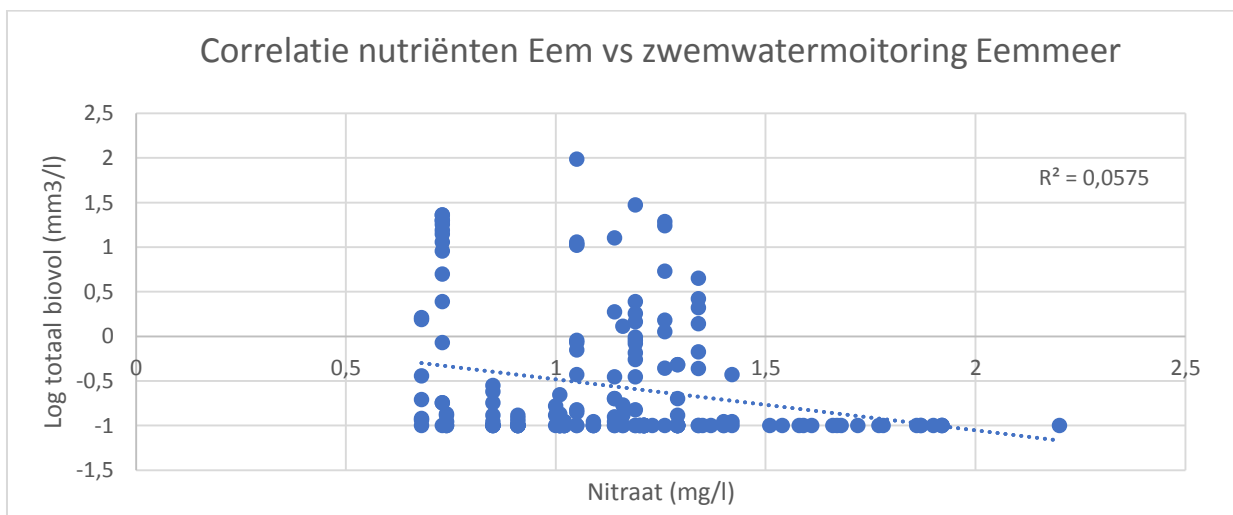
4.5 Correlatie nutriënten met biovolume blauwalg

Om een beter beeld te krijgen van de oorzaak van de blauwalgen bloei is er gekeken naar de correlatie tussen nutriënten en biovolume blauwalg. Van alle Zuidelijke Randmeren wordt alleen

gekeken naar het Eemmeer en het IJmeer omdat alleen in deze twee meren data over nutriënten gehalten beschikbaar is. Omdat veel tussenliggende data ontbrak is de ontbrekende data geïnterpoleerd door het gemiddelde van de twee dichtstbijzijnde meetpunten te nemen. In figuur 36 is te zien dat er een zeer zwakke correlatie is tussen fosfaat en biovolume blauwalg. De nutriënten zijn gemeten in de Eem (wat de bron van de nutriënten is) en de blauwalg in het Eemmeer (waar de zwemwatermonitoringen zijn uitgevoerd). Wanneer het fosfaat gehalte stijgt gaat het biovolume blauwalg met een zwakke stijging omhoog. Dit in tegenstelling tot figuur 37 waar de correlatie tussen nitraat en biovolume blauwalg in het eemmeer word weergegeven, hier is te zien dat wanneer het nitraat gehalte stijgt er juist minder biovolume blauwalg voorkomt. Dit is tevens een zeer zwakke correlatie.

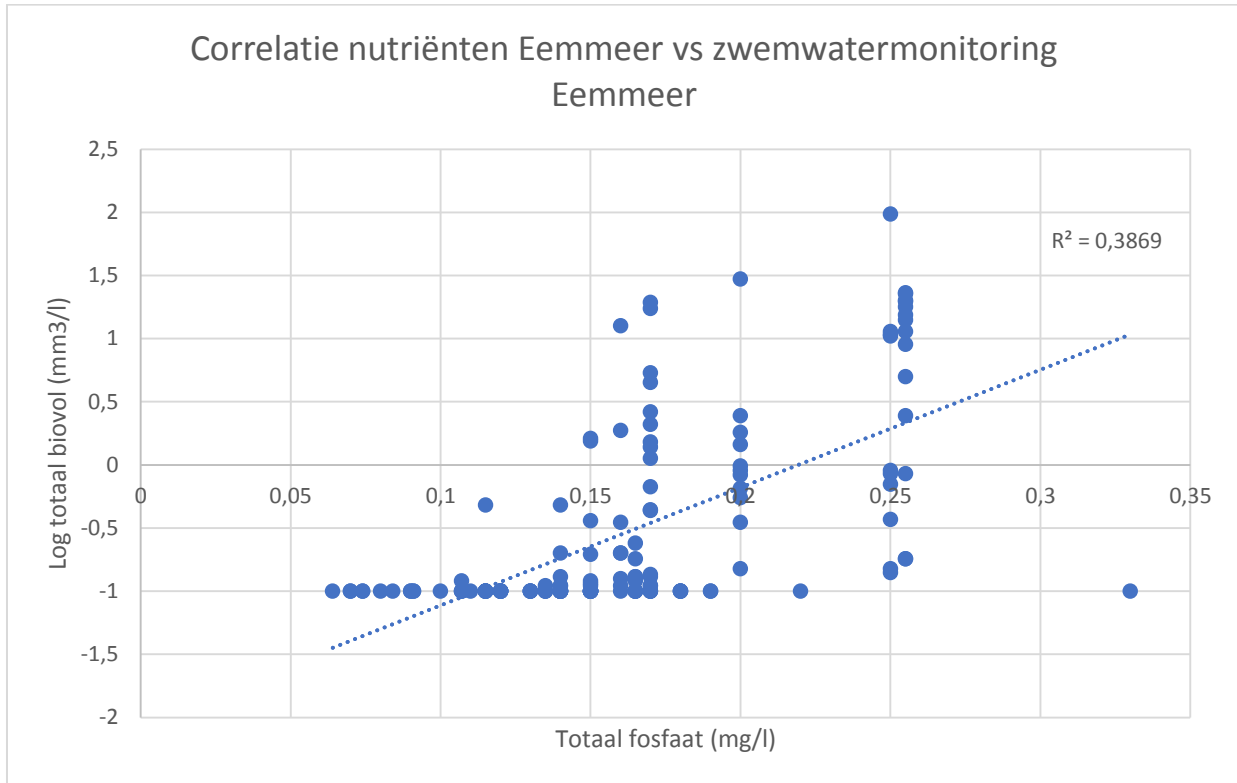


Figuur 36: Correlatie tussen fosfaat en biovolume blauwalg 2013 t/m 2017. Zeer zwakke correlatie: $R^2 = 0.069$. Formule: $y = -0,5718x + 0,0914$. Blauwalg biovolume is omgezet met behulp van $\text{Log}(x+0.1)$.

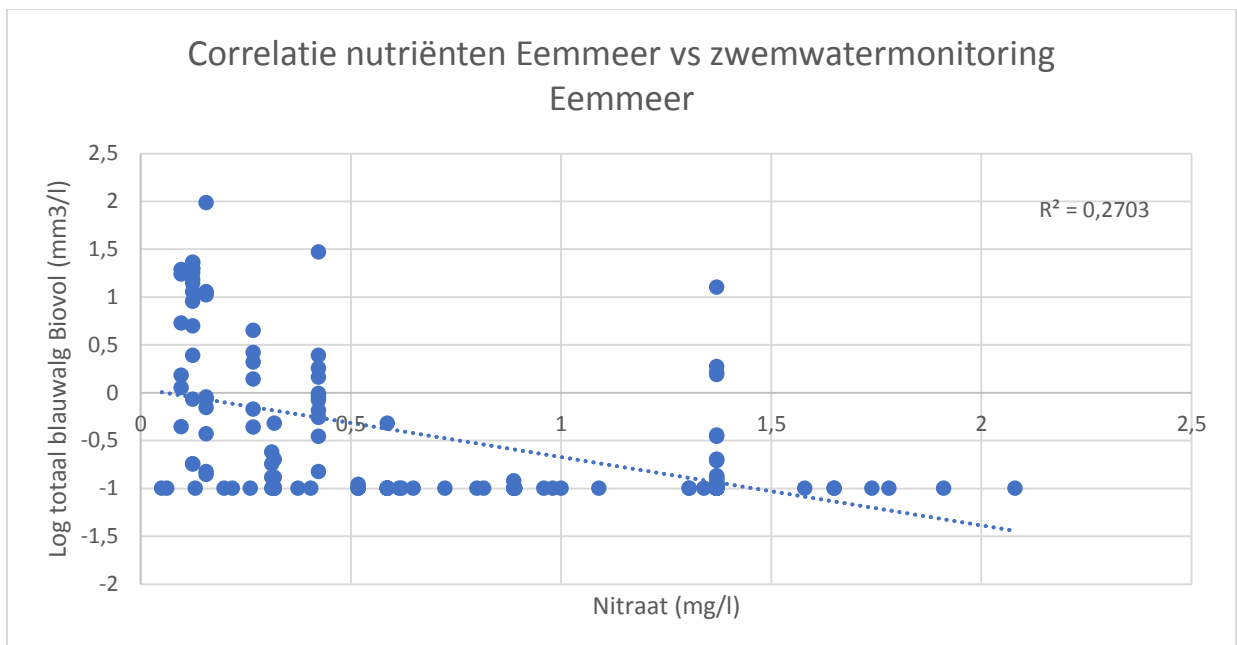


Figuur 37: Correlatie tussen nitraat en biovolume blauwalg 2014 t/m 2017. Zeer zwakke correlatie: $R^2 = 0.0575$. Formule $y = 1,6788x - 1,0503$. Blauwalg biovolume is omgezet met behulp van $\text{Log}(x+0.1)$.

De correlatie tussen de nutriënten uit het Eemmeer en het biovolume blauwalg (beiden in het Eemmeer) laten een vergelijkbare trend zien. In figuur 38 is af te lezen dat wanneer het nitraat gehalte stijgt, biovolume blauwalg daalt. De correlatie van $R^2 = 0.2703$ (zie figuur 39) is lichtelijk hoger dan de correlatie uit figuur 36. Zoals te zien is in figuur 38 is er een stijging van biovolume blauwalg wanneer het totaal fosfaat omhooggaat, echter dit is nog steeds een zwakke correlatie: $R^2 = 0.3869$.

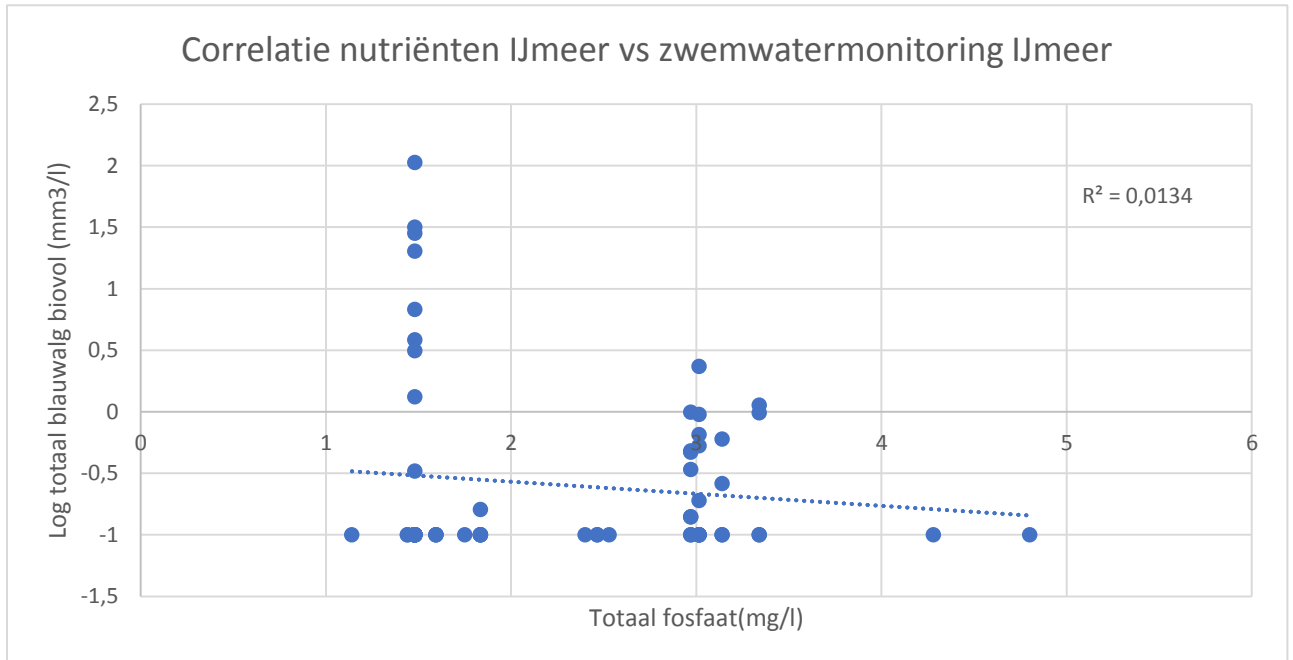


Figuur 38: Correlatie tussen fosfaat en biovolume blauwalg 2014 t/m 2016. Zwakke correlatie: $R^2 = 0.3869$. Formule: $y = 9,3365x - 2,0471$. Blauwalg biovolume is omgezet met behulp van $\text{Log}(x+0.1)$.

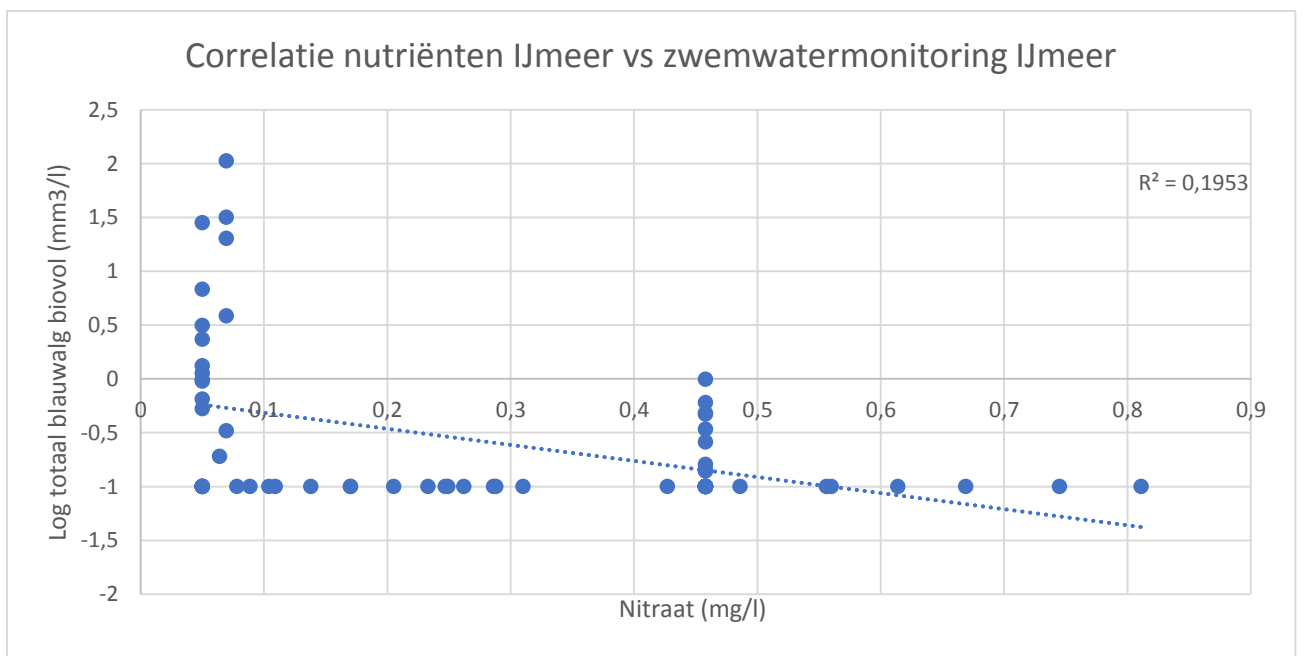


Figuur 39: Correlatie tussen nitraat en biovolume blauwalg 2014 t/m 2016. Zwakke correlatie: $R^2 = 0.2703$. Formule: $y = -0,714x + 0,042$. Blauwalg biovolume is omgezet met behulp van $\text{Log}(x+0.1)$.

Zowel fosfaat en nitraat in het IJmeer hebben een zeer zwakke negatieve correlatie Figuur 40, wanneer er meer fosfaat of nitraat is komt minder biovolume blauwalg voor. De correlatie tussen biovolume blauwalg en totaal fosfaat heeft een R^2 waarde van 0.0134 wat aangeeft dat er een zeer zwakke correlatie is figuur 40. De correlatie tussen nitraat en biovolume blauwalg is zwak met een R^2 waarde van 0.1953 figuur 41.



Figuur 40: Correlatie tussen fosfaat en biovolume blauwalg 2014 t/m 2016. Zeer zwakke correlatie: $R^2 = 0.0134$. Formule: $y = -0,0982x - 0,3715$. Blauwalg biovolume is omgezet met behulp van $\text{Log}(x+0.1)$.



Figuur 41: Correlatie tussen fosfaat en biovolume blauwalg 2014 t/m 2016. Zwakke correlatie: $R^2 = 0.1953$. Formule: $y = -1,4929x - 0,1647$. Blauwalg biovolume is omgezet met behulp van $\text{Log}(x+0.1)$.

5. Ecologische sleutelfactoren

Door de kaderrichtlijn water zijn er doelen opgestelde om de waterkwaliteit te verbeteren. Het vaststellen van deze doelen en de daarbij passende maatregelen vereisen een goede ecologische kennis. De ecologische sleutelfactoren (ESF) zijn opgesteld door het STOWA als kapstok voor het beoordelen van de kwaliteit van een watersysteem. Totaal zijn er negen sleutelfactoren opgesteld, maar voornamelijk de eerste drie spelen een rol bij het voorkomen b(lauw)algen. Deze drie sleutelfactoren worden gebruikt om te bepalen waar in het systeem het mis gaat en zo een mogelijke verklaring te krijgen over de oorzaak van de blauwalgenbloei in de Zuidelijke Randmeren.

5.1 De eerste drie ecologische sleutelfactoren

Ecologische sleutelfactoren vormen belangrijke voorwaarden voor een goed functionerend aquatisch ecosysteem (von Meijenfeldt, et al., 2014). De eerste drie sleutelfactoren hebben betrekking op de succesvolle groei van waterplanten, met name ondergedoken waterplanten zoals doorgroeid fonteinkruid en kranswier. ESF 1 heeft betrekking op de productiviteit van het water, ESF 2 over de beschikbare hoeveelheid licht voor de waterplanten en ESF 3 gaat over de productiviteit van de waterbodem (Schip, van der Wal, & van der Wijngaart, 2015). Deze drie sleutelfactoren zijn voorwaarden waaronder deze planten kunnen groeien. Wanneer er aan al deze voorwaarden wordt voldaan, zou er een gezond en evenwichtig ecosysteem kunnen ontstaan. Dit betekent dus ook een soortenrijke waterplantenvegetatie, die niet overwoekerd en geen blauwalgenbloei.

5.1.1 Ecologische sleutelfactor 1: Productiviteit van het water

Deze sleutelfactor heeft betrekking op beschikbaarheid van nutriënten. Deze bevorderen de groei van zowel planten als algen (von Meijenfeldt, et al., 2014). De vraag die centraal staat bij deze sleutelfactor is “Zijn de condities van het watersysteem zodanig dat de aanwezigheid van algen of kroos geen belemmering vormt voor de groei van ondergedoken waterplanten?”. Wanneer er wel spraken is van een dominantie van algen of kroos, wordt er niet voldaan aan de voorwaarden van deze sleutelfactor. De oorzaak kan zijn dat de externe belasting van fosfor of nitraat hoger is dan de kritische belasting van fosfor of nitraat (Schip, van der Wal, & van der Wijngaart, 2015). Om deze sleutelfactor te bepalen is de belasting berekend en de kritische belasting.

5.1.2 Ecologische sleutelfactor 2: Lichtklimaat

Licht is van groot belang voor de groei van planten en algen. Daarom is het belangrijk om te weten of er genoeg licht bij de planten kan komen voor een succesvolle groei. De centrale vraag bij deze sleutelfactor is daarom “Dringt er voldoende licht door tot op de bodem voor de groei van waterplanten?”. Wanneer het water troebel is, kan het licht niet genoeg doordringen en wordt er dus niet voldaan aan de voorwaarden. Er vindt geen belemmering voor de waterplanten plaats als op ten minste 70% van de bodem (met een minimale diepte van 50 cm) van een watersysteem, meer dan 4% licht valt. In dit geval hebben de wortelende waterplanten voldoende licht om te groeien (Schip, van der Wal, & van der Wijngaart, 2015). De aanwezigheid van kranswieren zegt veel over de toestand van een aquatisch ecosysteem. De soort is erg gevoelig en heeft sterke eisen voor de directe groeiomgeving, waaronder zeer helder water. Om deze reden kan ervan uit worden gegaan dat deze sleutelfactor op ‘groen’ staat (Torenbeek R., 2018).

5.1.3 Ecologische sleutelfactor 3: Productiviteit van de bodem

De centrale vraag bij deze sleutelfactor is “Is de beschikbare hoeveelheid nutriënten in de bodem zodanig laag dat er een diverse ontwikkeling van ondergedoken waterplanten mogelijk is?”. Hiervoor kan het totale fosfor-gehalte in de bodem worden vergeleken met het kritische fosfor-gehalte. De grenswaarde van het totale fosfor-gehalte is vastgesteld op 500 mg/kg bodem. Wanneer het totale gehalte aan fosfor in de bodem lager is dan 500 mg/kg bodem, zou het ontstaan en voorkomen van

een soortenrijke en niet woekerende onderwatervegetatie niet belemmerd moeten worden. Wanneer het totale fosfor gehalte hoger is dan 500 mg/kg bodem, vind er wel een belemmering plaats voor het voorkomen van een diverse soortensamenstelling die niet overwoekerd (Schip, van der Wal, & van der Wijngaart, 2015). Van de nutriënten gehalten in de bodem is geen data. Deze Sleutelfactor is bepaald met behulp van de nutriënten gegevens die wel beschikbaar waren. Verder is er gekeken naar wat de soorten waterplanten zeggen over de bodem. Met deze gegevens is er een aanname gemaakt of deze sleutelfactor voldoet.

6. Discussie

Uit de resultaten bleek dat de toevoer van nutriënten in 2017 hoog was en het debiet van de Eem laag. Verder waren er geen bijzonderheden in de temperatuur van 2017. Zo was dit gemiddeld een kouder jaar tegenover de voorgaande jaren. Tot slot is er data gevonden die aangeeft dat er waterplanten aanwezig zijn zoals kranswieren. In deze discussie wordt de data geanalyseerd om zo de blauwalgenbloei te kunnen verklaren. De analyse gebeurt als volgt: eerst worden de hoofdstukken met de informatie uit het literatuuronderzoek geanalyseerd en vervolgens de data uit hoofdstuk 4: Data-analyse. Door dat er veel aspecten aanbod komen worden deze apart behandeld. Als er een link is tussen aspecten wordt deze gelegd of deze aspecten worden samengevoegd zoals debiet en neerslag.

6.1 Dieptes en Oppervlakte

In dit hoofdstuk is er een stuk gebiedsomschrijving in meegenomen om een duidelijk beeld te weergeven over het studiegebied. Het heeft weinig bijdrage geleverd en zegt verder niks over de blauwalgenbloei waar deze studie over schrijft. De oppervlakten en dieptes zijn meegenomen in de berekeningen van de vracht op de meren en is vooral gekeken bij de Eem (zie hoofdstuk 4.4). Het Eemmeer en Gooimeer zijn tezamen meegenomen in de totale oppervlakte en niet apart door geen bronnen te hebben gevonden die dat apart weergaven. Door zandwinputten in het Gooimeer en IJmeer zijn plaatsen in de meren dieper dan het gemiddelde weergeeft, hiervan worden deze dieptes tevens niet gebruikt in het gemiddelde. Dit ter voorkoming van een veel grotere gemiddelde diepte dan er in werkelijkheid is.

6.2 Bodem

De bodem kan wat zeggen over de toevoer van nutriënten aan het water. De bodem in het Gooi- en Eemmeer uit een mengsel bestaat van zware zavel, Klei en zandrijke bodems. Bij de monding van de Eem begint de bodem in het Eemmeer over te gaan naar veen. De Eem bestaat vervolgens uit veen gerelateerde gronden die buiten het riviergebied over wordt genomen met zandgronden. Het is niet duidelijk en ontbreekt aan data hoeveel deze soorten bodems aan nutriënten uitwisselen met het water. Zo zijn er wel waterkwaliteitsmetingen aan de zwemwateren uitgevoerd, maar niet in het midden van het meer en/of monsters mee genomen van de bodem. Dit onderwerp kan weinig tot niets vertellen over de afgifte van nutriënten aan de blauwalgen. Het hoofdstuk bodem zal niet worden meegenomen naar de conclusie maar zal een aanbeveling over worden gegeven voor een start aan bodemanalyse te midden van de meren. Van deze analyse kan het nutriëntengehalte worden bepaald dat bij hoge aanwezige hoeveelheden een oorzaak kan geven aan de hoeveelheid blauwalg.

6.3 Instroom grondwater

Vanuit de Veluwe en bij grote neerslag uit het Eemland komt het water de Eem binnen via de bodem. Het Eemmeer krijgt water uit de Eem en omliggende polders dat naar het Gooimeer stroomt. Vanuit het Gooimeer stroomt het water in noordelijke richting naar Flevoland of in zuidelijke richting naar het Naardermeer gebied. De beweging van het water in het IJmeer is niet in de resultaten verwerkt door geen duidelijke literatuurbron die aangaven waar het water precies heen stroomt. De stroming van het IJmeer kan bepalen of de blauwalgenlagen van het Gooimeer naar IJmeer gaan of juist tegen worden gehouden met een tegenstroming. De richting waar blauwalgenlagen op stromen (wordt tevens bepaald door windrichting en sterkte) geeft aan waar veel ophopingen zullen plaatsvinden waar met voorbereiding dit voorkomen kan worden. Denk aan de Flock & Lock methode (zie hoofdstuk 3.10.2) of het opvangen van de drijfslagen en verplaatsen/vernietigen.

6.4 Debiet en Neerslag

Voor het debiet zijn de gegevens van iedere dag vanaf 2014 tot en met 2017 bekend. Van deze data is het gemiddelde debiet per maand berekend. In de resultaten is te zien dat 2017 een laag debiet heeft, gemiddeld is het debiet 22% lager dan de voorgaande jaren. Door het laag debiet is er minder doorstroming van de meren, hierdoor wordt het water rustiger en geschikter voor blauwalgbloei (Henn, 2016). Het debiet van de Eem wordt sterk beïnvloed door de neerslag, In de trendlijn van het debiet en de neerslag over 2014 tot en met 2017 is te zien dat als de hoeveelheid neerslag toeneemt het debiet stijgt. De resultaten van de neerslag laten zien dat in 2017 minder neerslag is gevallen dit zou dan ook de verklaring kunnen zijn dat het debiet in 2017 lager is.

6.5 Scheepvaart

Een bekeken punt in de verspreiding van de nutriënten is de omwoeling van schepen die het studiegebied bevaren. De precieze hoeveelheden aan schepen die op de meren komen zijn niet weergegeven in data wegens privacy voor scheepvaarders. Toch blijkt dat scheepvaart met de recreatievaart tezamen maar 3% uitoefenen op de verspreiding van nutriënten (Portielje, Oostinga, & Boender-Daane, 2001). Het rapport dat de 3% vermeld is in het jaar 2001 geschreven, het zou kunnen dat in 2017 de cijfers anders kunnen worden bevonden. Het is een oud rapport om hier een duidelijke aanname voor te geven, het zou als vervolgstudie kunnen worden gegeven in het advies. De vervolgstudie zou een verduidelijking maken en een tegenwoordige rapportage geven over het effect van scheepvaart op de meren in de verspreiding van nutriënten. Scheepvaart zal ook niet meegenomen worden in de conclusie maar zal als advies worden vermeld voor verder onderzoek in de verspreiding op de nutriënten huishouding.

6.6 Waterplanten

De bedekkingskaarten van doorgroeid fonteinkruid en kranswier zijn vergeleken met de blauwalg drijfslagkaarten van Rijkswaterstaat. Omdat drijfslagen zich kunnen verplaatsen bij waterbewegingen, is het lastig om te bepalen waar de waargenomen drijfslagen zijn ontstaan. De locaties die staan aangegeven op de drijfslagkaarten omvatten vooral plekken langs stranden en eilanden of voor sluizen. Hieruit kan dus niet worden geconcludeerd of de omvang van de drijfslagen op de aangegeven locaties iets met de aanwezigheid van waterplanten te maken heeft.

De bedekkingskaarten geven percentages weer over de dichtheden van waterplanten. Echter zijn de percentages per meer slechts eens in de drie jaar beschikbaar en niet voor ieder jaar. Hierdoor valt niet precies te zeggen hoe de ontwikkelingen van de waterplanten verloopt. Op de kaarten is wel enige toename te zien voor doorgroeid fonteinkruid en kranswier (GeoWeb 5.1 Rijkswaterstaat, z.d.). Doorgroeid fonteinkruid laat een uitbreiding van het verspreidingsgebied zien. In 2012 en 2013 was de verspreiding veel meer gegroepeerd dan in 2015 en 2016. Ook de percentages voor de dichtheden lijken groter te worden, met plaatselijk tot 75%. Tussen 2012 en 2016 zal de gemiddeld dichtheid rond de 5 tot 20% liggen. Voor kranswier lijkt het verspreidingsgebied ook toe te nemen, alleen worden de dichtheden kleiner. Zo was de dichtheid in 2012 gemiddeld rond de 50% en in 2015 gemiddeld 25%. Echter zijn er in 2015 wel toenemende dichtheden te zien ten opzichte van 2012, in het Nuldernauw en het Wolderwijd. Dit betreft nieuwe verspreidingslocaties met lage dichtheden van gemiddeld 15%.

Zoals eerder genoemd vindt de monitoring van waterplanten in de Randmeren slechts eens in de drie jaar plaats. Hierdoor is op basis van de bedekkingskaarten niet te zeggen hoe deze toename verloopt over de jaren heen (GeoWeb 5.1 Rijkswaterstaat, z.d.).

Om te zien of de aanwezigheid van waterplanten een gunstig effect heeft op het biovolume van blauwalg in de Randmeren is meer frequentere en gedetailleerdere data nodig, onder andere over de

dichtheden en ontwikkelingen van de waterplanten. Omdat er binnen dit thema alleen beschikking was over bedekkingskaarten van waterplanten met percentages die eens in de drie jaar zijn verzameld (zie figuur 14 en 15), kon het niet worden vergeleken met de andere verzamelde data. Wenselijk was om het biovolume van blauwalgen te kunnen koppelen aan de dichtheden van waterplanten, om zo te zien of er bij hoge dichtheden planten ook daadwerkelijk een lager biovolume blauwalg is.

Om een beter beeld te krijgen van de ontwikkelingen van de waterplanten in de Randmeren, zou de biomassa per jaar uitermate geschikt zijn. Deze data is helaas pas laat tijdens het project beschikbaar gekomen, te laat om het nog mee te kunnen nemen in dit rapport.

6.7 Blauwalgen families

De blauwalgen die het meest voorkomen in de zuidelijke randmeren behoren met name tot de mycrostic en anabaena familie. De anabaena familie bevat vooral soorten die solitair leven en deze bevinden zich met name op het substraat. Deze soorten vormen geen drijflagen en zullen dus niet snel verspreiden. De familie die voor de meeste problemen kan zorgen is die van de mycrostic. De soorten uit deze familie leven in kolonies en vormen drijflagen. Deze drijflagen kunnen zich verplaatsen over het hele gebied, ze worden vaak door windrichting en stroming bij elkaar gedreven waardoor de omvang groter wordt. De data over de specifieke soorten is laat verkregen en niet compleet zo ontbreekt het jaar 2017 in zijn geheel en deze worden daarom niet meer meegenomen. Toch zeggen de families wel iets zo hebben ze beide voorkeur voor eutroof water. Het is lastig om een beter analyse te maken over de precieze omstandigheden omdat deze per soort in de familie kunnen verschillen.

6.8 Curatieve bestrijdingsmethoden

Indien blauwalg aanwezig is in een waterlichaam kunnen de curatieve bestrijdingsmethoden worden ingezet, beschreven in H3.10. Van de twee beschreven methodes is de meest effectieve methode tegen cyanobacteriën in grote waterlichamen het inbrengen van waterstofperoxide (H_2O_2). Het handige van waterstofperoxide (H_2O_2) is dat de stof na 1-2 dagen in het watersysteem 'oplost', ofwel omgezet wordt in water (H_2O) en zuurstof (O_2). Hierbij moet echter heel goed rekening gehouden worden met de hoeveelheid die in het waterlichaam wordt gepompt, omdat er anders massale sterfte onder andere organismen dan cyanobacteriën kan plaatsvinden, zoals zoöplankton (bijv. watervlooien). Daarom is de andere manier, de Flock & Lock-methode, veiliger. Bij deze methode zijn de risico's voor andere organismen dan cyanobacteriën nihil.

6.9 Natuurvriendelijke oevers

Natuurvriendelijke oevers kunnen ingezet worden ter bestrijding van de (blauw)algenbloei. Echter is het wel belangrijk waar deze oevers aangelegd worden. De natuurvriendelijke oevers zullen niet het gehele wateroppervlakte kunnen zuiveren, simpelweg omdat de oeveroppervlakte/wateroppervlakte ratio niet groot genoeg is. Niet al het wateroppervlakte zal langs de helofyten kunnen stromen van de natuurvriendelijke oever waardoor niet het gehele wateroppervlakte gezuiverd word. Het is daarom de vraag of het bedrijf geld wil investeren in deze maatregelen. Er kan dan wel gekozen worden om deze oevers op een strategische plek aan te leggen (denk hierbij aan effluentplaatsen van rioolwaterzuivering installaties). Daarnaast hebben deze oevers een betere zuiverende werking in lijnvormige wateren dan in meren, omdat de verhouding van wateroppervlakte kleiner is in lijnvormige wateren dan in meren. Wel zijn deze oevers duurzamer dan gewone oevers, waardoor de afschrijvingskosten lager zullen zijn. Daarnaast is een bijkomend voordeel dat deze oevers zichzelf in stand houden waardoor de onderhoudskosten gedrukt worden. Wel zijn er maaikosten aan

verbonden omdat de nutriënten afgevoerd dienen te worden die opgeslagen zijn in de rietvegetatie bijvoorbeeld.

6.10 Temperatuur

Bij onderzoek naar blauwalgengroei wordt er gebruik gemaakt van de watertemperatuur. Helaas ontbreekt de watertemperatuur van 2017. Echter bleek uit de resultaten dat de luchttemperatuur veel gemeen heeft met de watertemperatuur. Daardoor kan er toch een indicatie gemaakt worden of de temperatuur invloed heeft op de blauwalgengroei in het Eemmeer, Gooimeer en IJmeer. Uit de resultaten van hoofdstuk 4.3 blijkt dat het biovolume aan blauwalgen in alle meren van 2017 was afgenomen in vergelijking met voorgaande jaren. Mogelijk kan de lucht- en watertemperatuur iets zeggen over de blauwalgengroei gedurende 4 jaar.

Uit de resultaten van de watertemperatuur blijkt dat deze wel degelijk effect heeft op de blauwalgengroei. In de periodes dat de watertemperatuur hoog is, worden er ook meer blauwalgen gevonden. Doordat de watertemperatuur in 2017 ontbreekt, kan alleen de luchttemperatuur iets zeggen over de oorzaken van de blauwalgengroei in 2017.

In 2017 zijn er enkele periodes waar de luchttemperatuur iets hoger ligt dan andere jaren, maar over het algemeen is de luchttemperatuur aan de lage kant. De periodes waar 2017 een hoge luchttemperatuur heeft, wordt ook geen toename aan blauwalgen gevonden. Aan de hand van de ontbrekende data van de watertemperatuur in 2017 kan er geen duidelijk oordeel gegeven worden of de kleine hoeveelheden blauwalgengroei in 2017 komt door de lage temperatuur. Wel is de kans zeer aanwezig dat de lage luchttemperatuur (vergeleken met voorgaande jaren) ook de kleine hoeveelheden blauwalgen in 2017 heeft veroorzaakt.

6.11 Nutriënten uit Eem

Voor de Eem is met de gegevens van het debiet en de concentraties fosfaat in de Eem de vracht berekend. Voor de berekening zijn de gemiddelde waardes gebruikt omdat het fosfaat maar een keer per maand gemeten is. Doordat er gerekend is met de gemiddeldes is als gevolg dat de hoge pieken van het debiet/fosfaat niet meegenomen worden. Desondanks geeft het wel een goed beeld van de situatie aangezien dit voor alle jaren op deze manier berekend is. Verder is om een zo goed mogelijk weerspiegeling van de vracht deze eerst per ton/dag en dan naar ton/maand berekend, hierdoor vallen de pieken er niet volledig uit. De resultaten laten zien dat de vracht ieder jaar vanaf oktober stijgt en rond maart weer afneemt. Dit komt doordat het debiet in de winter hoger ligt en de concentraties fosfaat zijn in deze maanden ook hoger. De hoge concentraties zouden kunnen verklaard worden doordat in de winter maanden de 4^{de} rioolzuivering afgesloten wordt om energie te besparen. Ondanks dat de ander 3 wel actief zijn is het waarschijnlijk wel een mogelijke verklaring voor verhoogde concentraties fosfaat. De vracht is in 2017 is het laagste van de 4 jaren, echter komt deze daling vooral door het lage debiet aangezien de concentraties fosfaat in 2017 gemiddeld 11% hoger liggen. De nitraat concentraties zijn ook gemiddeld 2.2% hoge. Deze hoge concentraties zijn verontrustend als deze hetzelfde blijven en de neerslag toeneemt ten opzichte van 2017 zal de vracht van de Eem weer gaan toenemen.

Dit is alleen voor het jaar 2017 brekend omdat de ander jaren een hoger vracht hadden en de kritische fosfaat waarde niet verandert, in de voorgaande jaren wordt de kritische fosfaat waarde dan nog meer overschreden. De eerste sleutel krijgt een rood licht door de hoge belasting dit in combinatie met de verlaagde doorstroming zou een oorzaak kunnen zijn voor de blauwalgenbloei in 2017.

6.12 Correlatie nutriënten met biovolume blauwalg

De trend dat wanneer veel fosfor aanwezig is er meer biovolume blauwalg is, is waar te nemen maar zeer zwak (figuur 38), hier kan niet met zekerheid worden gezegd dat fosfor de oorzaak is van blauwalgenbloei in het Eemmeer. Dit komt door een zwakke R^2 waarde die niet hoger uitkomt als 0.3869 zoals in (figuur 38).

Opvallend is dat nitraat een negatieve relatie heeft met biovolume blauwalg (figuur 39), dit geeft de indicatie dat nitraat niet de limiterende factor is. Fosfaat laat daarentegen een zwakke positieve correlatie zien, fosfaat is waarschijnlijk de limiterende factor in het systeem. In het IJmeer (figuren 40, 41) hebben zowel nitraat als totaal fosfaat een negatieve correlatie met biovolume blauwalg.

Blauwalgen bloei is, gegeven dat er optimale temperatuur en instraling is, recht evenredig aan de hoeveelheid nutriënten (N en P) in de waterkolom (Berg & Sutula, 2015). Wanneer gekeken wordt naar de resultaten uit het onderzoek naar de correlatie tussen nutriënten en biovolume blauwalg zoals aangegeven in (figuren 37,39,40,41) is het opvallend dat de resultaten verkregen in dit onderzoek hier niet mee overeenkomen.

Meerdere factoren kunnen hier een rol in spelen. Allereerst zijn de metingen naar biovolume blauwalg zwemwatermetingen. Dit houdt in dat deze metingen alleen verricht zijn op stranden waar zwemrecreatie plaatsvindt. Er zijn geen blauwalg metingen uitgevoerd in andere delen van het meer (waar de blauwalg eventueel ontstaat). Dit geeft mogelijk een vertekend beeld van het werkelijke biovolume blauwalg. Dit vertekende beeld van de werkelijkheid kan ontstaan door de ophoping van blauwalg. Wanneer de blauwalgen drijfvlagen vormen en de wind deze naar de zwemrecreatie gebieden stuwt zullen hier hoge resultaten worden weergegeven. Gelijkerwijs is het mogelijk dat de blauwalg juist weg gestuwd wordt en er geen of lage concentraties gemeten worden.

Ten tweede is maar op één locatie per meer Eemmeer, IJmeer een nutriënten meting verricht, de concentratie nutriënten kan verschillen in het meer bijvoorbeeld dicht bij de nutriëntenbron (de Eem) kunnen hogere concentraties nutriënten zijn dan ver van de bron. Ook zijn de metingen naar de nutriënten niet constant, zo is er geen data van de concentratie nitraat in het jaar 2015 en 2017 beschikbaar en geen data van fosfaat totaal in 2017. Door een tekort aan meetpunten is het lastig een trend te ontdekken en kan weinig over het jaar 2017 worden gezegd, dit in tegenstelling tot eerder verkregen informatie van Rijkswaterstaat dat in 2017 veel overlast van blauwalg plaatsvond.

6.13 Blauwalgen en volume

Uit de resultaten blijkt dat de hoeveelheid blauwalgen in 2017 enorm laag was. Wel zijn het aantal locaties met blauwalgen toegenomen. De verklaring hiervoor is onbekend. Vooral het Gooimeer heeft in 2014, 2015 en 2016 grote hoeveelheden blauwalgen. Het Eemmeer heeft in 2014 en het IJmeer in 2016 de grootste hoeveelheden blauwalg. Waarom deze verschillen door de jaren heen wordt gezien kan verklaard worden door de temperatuur in dat jaar of door de wind die drijfvlagen naar bepaalde punten toe waait. Alleen de invloed van temperatuur is in dit rapport meegenomen vanwege tijdsgebrek.

7. Conclusie & Aanbeveling

Op basis van de resultaten kunnen een aantal conclusies worden getrokken over de oorzaak van de aanwezigheid van blauwalgen in 2017 in de Zuidelijke Randmeren. De neerslagpiek in 2017 kan een reden zijn voor de aanwezigheid van blauwalg. De neerslag in het gebied is in het voorjaar enorm laag geweest en werd vervolgd door een enorme piek in juli. Deze neerslagpiek kan reden zijn voor de aanwezigheid van blauwalg, door de vergroting van de uitspoeling van nutriënten. De neerslag heeft ook invloed gehad op het lage debiet van de Eem in 2017. Door het lage debiet was de vracht in 2017 ook lager dan in de voorgaande jaren. Ondanks de lagere vracht zijn de concentraties van de nutriënten in de Eem gemiddeld hoger geworden. De belasting van fosfaat op het Eem-en Gooimeer is te hoog deze overschrijdt de kritische fosfaat waarde die uit de PCLake komt. Doordat de kritische fosfaat waarde wordt overschreden krijgt de eerste sleutelfactor een roodlicht. Dit geeft aan dat er te veel fosfaat in het water zit en dit kan een blauwalgenbloei veroorzaken.

De aanwezigheid van waterplanten in het gebied is een goed teken, met name de kranswieren. Waterplanten hebben licht nodig het water moet dus helder zijn voor het voorkomen van waterplanten. De aanname kan dan worden gemaakt dat het doorzicht in de zuidelijke randmeren voldoende is. Doordat het lichtklimaat in orde is krijgt de tweede sleutelfactor groenlicht, dat betekent dat sleutelfactor 2 in orde is.

De derde sleutelfactor gaat over de nutriënten huishouding in de bodem van de meren. De nutriëntengehaltes uit de bodem is geen data beschikbaar van dus hier is het lastig om een conclusie uit te trekken. Met behulp van een aantal factoren zal er een uitslag aan deze sleutelfactor worden gegeven. Het nitraatgehalte in de meren correleert met verhoging en verlaging van het debiet in de Eem. Dit kan betekenen dat het debiet een verhoging van het nitraatgehalte veroorzaakt. In de eerste alinea wordt al aangegeven dat de belasting te groot is. De Meren bevatten door deze belasting veel nutriënten deze komen ook in de bodem terecht. Dit in combinatie van het dominant voorkomen van doorgroeid fonteinkruid wat vooral op voedselrijke bodems wordt aangetroffen is het waarschijnlijk dat er ook te veel nutriënten in de bodem zitten. De Derde sleutelfactor is dus niet in orde en krijgt roodlicht.

Een blauwalgengroei kan door veel factoren worden beïnvloed. De blauwalgengroei in 2017 wordt niet veroorzaakt door de temperatuur, aangezien dit lager was dan voorgaande jaren. De aanwezige soorten blauwalgen hebben baat bij hogere lucht- en watertemperaturen dan die in 2017. De eerste drie sleutel factoren zeggen het meeste als het gaat om in het systeem een blauwalgenbloei kan voorkomen. De eerste en de derde sleutelfactor zijn niet in orde dit is een van de redenen dat er blauwalgenbloei voorkomt. De aangevoerde nutriënten en de concentraties die al in het systeem zitten zijn te hoog. Verder was de stroomsnelheid door het lage debiet ook minder in de meren. Deze twee factoren samen kunnen de oorzaak zijn voor de blauwalgenbloei in 2017. Echter zal er ook met de windrichting rekening moeten worden gehouden. Door een bepaalde windrichting kunnen de drijfslagen van de *Microcystic* familie op bepaalde punten ophopen, hierdoor lijkt de aanwezigheid op het oog groter dan dat deze in werkelijkheid is in de meren.

Nu alle (mogelijke) oorzaken van de blauwalgenbloei in kaart zijn gebracht kan gekeken worden naar de mogelijke oplossingen en preventies ter voorkoming van een blauwalgenbloei van dergelijk formaat in de komende jaren. Dit hoofdstuk zal aandacht besteden aan de aanbevelingen die gedaan kunnen worden ter verbetering van het werkproces en ter voorkoming en vermindering van de blauwalgenbloei

Ter verbetering van het werkproces:

Een exacte oorzaak voor het voorkomen van blauwalgenbloei in 2017 kon niet gegeven worden omdat er enkele belangrijke info/data ontbrak. De volgende info ontbrak:

- Nutriëntendata nitraat 2015;
- Geen meetpunten naar biovolume blauwalg in het midden van het meer (op dit moment alleen metingen in zwemwater);
- Nutriëntendata Gooimeer ontbreekt in zijn geheel;
- Waterplanten data ontbreekt van 2017 (wellicht dat op het moment van tot stand komen van dit rapport hieraan gewerkt wordt).

Om goede verklaringen te kunnen geven is het van belang dat de volgende data verzameld wordt:

- Nogmaals het rapport 'Rapport Scheepvaart op nutriëntenbestrijding 2001' nalezen en het eventueel uitvoeren;
- Structureel ieder jaar de nutriëntenmetingen uitvoeren;
- Ook biovolume metingen in het midden van het meer uitvoeren;
- Metingen uitvoeren naar nutriënten in het Gooimeer;
- Waterplanten data van 2017 beschikbaar stellen.

Daarnaast is het sterk aan te raden om een centrale database te maken waar alle relevante informatie op het gebied van blauwalgenbloei opgeslagen wordt. Hierdoor is het makkelijker en sneller om informatie te vinden in de komende jaren en overzichtelijker om alle metingen bij te houden.

Ter vermindering van de limiterende nutriënten die algenbloei veroorzaken:***Natuurvriendelijke oevers***

Vanzelfsprekend zijn er oplossingen toe te passen die de nutriëntenbelasting in het water omlaag brengen. Eén van deze oplossingen is het toepassen van natuurvriendelijke oevers. Alléén het aanbrengen van deze oevers zullen niet de bloei van blauwalgen in zijn geheel voorkomen. Wel zorgen deze oevers door de zuiverende werking van de helofytenfilter ervoor dat het nutriëntengehalte in het water minder wordt en daardoor ook de voedingsbodem van de blauwalgen. Het is effectiever om deze oevers in lijnvormige wateren aan te leggen (wateren zoals een kanaal, wetering, etc.) dan in meren. Dit heeft alles te maken met het oeveroppervlakte ten opzichte van het wateroppervlakte. Lijnvormige wateren hebben over het algemeen minder wateroppervlakte ten opzichte van meren. De kans is dus groter dat er meer wateroppervlakte uitgewisseld wordt met het oeveroppervlakte waardoor de zuivering in deze oevers groter is. De optimale zuiveringstijd in de oever is vijf tot 10 dagen. Het is dus optimaal dat het water vijf tot 10 dagen in de oever verblijft. De nutriënten kunnen dan bezinken en worden dan opgenomen in de planten en in de bodem. Hierdoor wordt het nutriëntengehalte minder in het water waardoor de blauwalgen minder voedingsbodem hebben en dus minder bloei zal optreden. Meren hebben een groter wateroppervlakte dan lijnvormige wateren. De kans is dus velen malen kleiner dat het gehele wateroppervlakte langs de oeveroppervlakte komt. Het is daarom aan te raden om de natuurvriendelijke oevers op een strategische plek aan te leggen in dit geval. Denk hierbij aan plekken zoals de uitstroom van effluent van RWZI's (Riool Waterzuivering Installaties) en het aanleggen van oevers op de plekken waar de wind vaak op blaast.

Flok and Lock methode

Deze methode bestaat uit het uitvoeren van drie stappen. De eerste stap is het toedienen van het vlokmiddel (Phoslock). Dit vlokmiddel zorgt voor de fixatie van fosfaat. Vervolgens wordt het middel PAC 39 toegediend. Dit middel zorgt ervoor dat het gefixeerde fosfaat en de algen flocculeren (stollen). De cellen stollen en zakken hierdoor naar de bodem. Vervolgens wordt er nogmaals het middel Phoslock toegediend als fosfaatfixatief. Hierdoor komt er geen fosfaat meer uit de bodem en dood de cellen waardoor er minder fosfaatvrij komt.

Waterstofperoxide

Deze methode is effectief als de juiste concentratie gehanteerd wordt. Cyanobacteriën dienen gedurende 5 dagen blootgesteld te worden aan 2mg/l oplossing van waterstofperoxide. Dit is een 15000x verdunning, 3% oplossing (eigenlijk mondwater). Op deze manier blijft de schade aan andere organismen minimaal. Bij een hogere concentratie is dit middel erg schadelijk voor andere organismen, hierdoor kan er zelfs een grote vissterfte ontstaan. De toevoer dient continu aanwezig te zijn, dus hierbij kan gedacht worden aan een continue circulatie van het water. Na een of twee dagen lost de waterstofperoxide op in water en zuurstof. Dit zijn water eigen stoffen. Hierdoor blijven er geen schadelijke stoffen achter.

8. Bibliografie

- (2008). Opgehaald van Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit:
https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/documenten/profielen/habitattypen/Profiel_habitatype_3150.pdf
- (2009). Opgehaald van Ministerie van Landbouw, Natuur en voedselkwaliteit:
https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/documenten/profielen/habitattypen/Profiel_habitatype_3140.pdf
- Asaeda, Nam, Hietz, Tanaka, & Karunaratne. (2002). *Seasonal fluctuations in live and dead biomass of Phragmites australis as described by a growth and decomposition model: implications of duration of aerobic conditions for litter mineralization and sedimentation. Aquatic Botany* 73:223-239.
- Barrington, D. J. (2013). The use of hydrogen peroxide to remove cyanobacteria and microcystins from waste stabilization ponds and hypereutrophic systems. *Ecological Engineering*, 50, 86-94.
- Barten, D. (2004). *Waterplanten als algicide*. Opgeroepen op December 4, 2017, van The Pond Library: <http://www.pondlibrary.com/waterplanten/waterplanten-als-algicide/>
- Bastviken, Eriksson, Premrov, & Tonderski. (2007). *Potential denitrification in wetland sediments with different plant species detritus. Ecological Engineering* 25 (2): 183-190.
- Benjamins, M., van den Brenk, S., van Ginkel, E., Houkes, M. C., Waldus, W., & Zuidhoff, F. S. (2007). *Parallelspoort bodemwaarden Markermeer IJmeer*. Amersfoort: ADC Heritage.
- Berg, M., & Sutula, M. (2015). *Factors affecting the growth of cyanobacteria with special emphasis on the Sacramento-San Joaquin delta*. technical report.
- Bischof, I. C., Veensta-Huisman, C. E., Schuurman, F. J., & Koopal, I. A. (2013). *Projectplan veiligheid zuidelijke randmeren en eem*. Apeldoorn.
- Boers, P., Laane, W., Liere, L. v., Peeters, C., Parma, S., & Does, J. v. (1993). *Eutrofiering en beleid in Nederland, hoe verder?* RIVM.
- BVR. (2008). *ONTWIKKELINGSVISIE 2030 ZUIDELIJKE RANDMEREN*. Rotterdam.
- de Lange, de Wit, Harmsen, & Koelmans. (2006). *Nalevering van verontreinigende stoffen uit waterbodems, deelrapport A. Een literatuurstudie naar processen. Alterra-rapport 1404*.
- EPA. (2017, 12 19). *Aquatic Life Criteria - Ammonia*. Opgehaald van United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/wqc/aquatic-life-criteria-ammonia#where>
- Fisher, & Acreman. (2004). *Wetland nutrient removal; a review of the evidence. Hydrology and Earth System Sciences* 8(4):673-685.
- G. Mulderij, E. v. (2003). Differential sensitivity of green algae to allelopathic substances from Chara. *Hydrobiologia*, 261-271.
- Gastvrije Randmeren. (z.d.). *Waterplanten maaien*. Opgeroepen op December 11, 2017, van Gastvrije Randmeren:
http://www.gastvrijerandmeren.nl/Beheer+_+Onderhoud/Waterplanten+maaien/default.aspx

- Geest, van, G., & Noordhuis, R. (2014). *Sturen op watervegetaties*. Deltaris.
- Geider, R., & La Roche, J. (2002). Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalga and its biochemical basis. *European Journal of Phycology*, 1-17.
- GeoWeb 5.1 Rijkswaterstaat. (z.d.). *Waterplantenbedekkingen*. Opgeroepen op december 4, 2017, van GeoWeb-viewer:
https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/ext/geoweb51/index.html?viewer=MN_Waterplantenbedekking
- Gessner. (2001). *Mass loss, fungal colonisation and nutrient dynamics of Phragmites australis leaves during senescence and early aerial decay*. *Aquatic Botany* 69: 325-339.
- Goor, H. v. (2013). *Invloed Waterkwaliteit op de Onderwater Flora en Fauna*. Nederland.
- Hauer, K. &. (2013). *CyanoDB.cz On-line database of cyanobacterial genera*. Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR.
- Havens, K. (2008). Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems. *Advances in experimental medicine and biology*, 733-747.
- Henn, C. (2016). *Cyanobacteria*. Beachapedia.
- Hillebrand, H., Steinert, G., Boersma, M., Malzahn, A., Meunier, C., Plum, C., & Ptacnik, R. (2013). Goldman revisited: faster-growing phytoplankton has lower N:P and lower stoichiometric flexibility. *Limnology and Oceanography*, 2076-2088.
- Hitzfeld, B. C., Höger, J., & Dietrich, D. R. (2000). Cyanobacterial Toxins: Removal during Drinking Water Treatment, and Human Risk Assessment. *Environmental Toxicology*, 113-122.
- Ho, T., Quigg, Z., Finkel, A., Milligan, K., Wyman, P., Falkowski, & Morel. (2003). The elemental composition of some marine phytoplankton. *Journal of Phycology*, 1145-1159.
- Hoogenboom, H. (2014). *Aquatische ecologie*. Zeist: KNNV Uitgeverij.
- Hoogenboom, H. (2016). Zeist: KNNV.
- Hop, J. (2009). *Visstandbemonstering Zuidelijke Randmeren 2009*. Geldermalsen.
- Jans, L., Stuijzand, S., Lammens, E., & Platteeuw, M. (2005). *Eindrapport monitoring ROM IJmeer*. Rijkswaterstaat RIZA.
- Janse, J. S. (2010). *Estimating the critical phosphorus loading of shallow lakes with the ecosystem model PCLake: Sensitivity, calibration and uncertainty*. *Ecol. Mod.*
- Klausmeier, C., Litchman, E., Daufresne, T., & Levin, S. (2004). Optimal nitrogen-to phosphorus stoichiometry of phytoplankton. *Nature*, 171-174.
- Koerselman, W., & Meulenman, A. (1995). De N:P ratio: een eenvoudige hulpmiddel bij ecologisch beheer van waterwingebieden. *H2O*, 94-97.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2017, December 19). *zwarte neerslag*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/zwarte-neerslag>

- Krolikowska. (1997). *Eutrophication processes in a shallow, macrophyte-dominated lake - species differentiation, biomass and the distribution of submerged macrophytes in Lake Luknajno (Poland)*. *Hydrobiologia* 342/343:411-416.
- KRW. (2014). *Factsheet Zand Rijn-Midden*.
- Kufel, & Kufel. (2002). *Chara beds acting as nutriënt sinks in shallow lakes – a review*. *Aquatic Botany* 72:249-260.
- Lüring, M. M. (2016). A critical perspective on geo-engineering for eutrophication management in lakes. *Editorial*.
- Matthijs, H. C. (2012). Selective suppression of harmful cyanobacteria in an entire lake with hydrogen peroxide. *water research*. *water research*, 46(5), 1460-1472.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2010). *Eemmeer en Gooimeer zuidoever, Sediment en Ondergrond*.
- Molen, D. v., Portielje, R., & Klapwijk, S. (1998). *Vierde Eutrofiëringsevenquête van de Nederlandse meren en plassen*. H2O.
- Mulderij, G. (2003). Opgeroepen op December 11, 2017, van <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/het-belang-van-waterplanten-in-het-helder-maken-van-nederlandse-meren/>
- Mulderij, G., Van Donk, E., & Roelofs, J. (2003). *Hydrobiologia*, 261-271.
- NDF, & FLORON. (2018). *Potamogeton perfoliatus L. - Doorgroeid fonteinkruid*. Opgeroepen op Januari 5, 2018, van FLORON Verspreidingsatlas Vaatplanten: <https://www.verspreidingsatlas.nl/0999>
- Nijboer, R., Jaarsma, N., Verdonschot, N., van der Molen, D., Geilen, N., & Backx, J. (2000). *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 3, Wateren in het riveierengebied*. Wageningen: Expertisecentrum LNV.
- Offermans, R. (2004). *Kranswier*. Opgehaald van Wieren & Planten: <http://static.digischool.nl/bi/onderwaterbiologie/html/biologie/zoetwate/kranswier.htm>
- Pearl, H., Xu, H., McCarthy, M., Zhu, G., Qin, B., Li, Y., & Gardner, W. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a hyper-eutrophic lake (Lake Taihu, China): the need for a dual nutrient (N&P) management strategy. *Water Res*, 1973-1983.
- Plaatsengids*. (2010). Opgehaald van Eemmeer en Gooimeer Zuidoever: <https://www.plaatsengids.nl/eemmeer-en-gooimeer-zuidoever>
- Portielje, R., Oostinga, K. D., & Boender-Daane, C. W. (2001). *Effecten van maatregelen op de waterkwaliteit van de zuidelijke randmeren*.
- Puijenbroek, P. v., Cleij, P., & Visser, H. (2010). *Nutriënten in het Nederlandse zoete oppervlakte water: toestand en trends*. Den Haag/Bilthoven: Plan Bureau voor de Leefomgeving.
- Raaphorst, W. v., Brinkman, A. G., & Lijklema, L. (1985). *Onderzoek naar de fosfaatuitwisseling tussen water en bodem in het Veluwemeer/Drontermeer*. Twente: Riza.
- Rijkswaterstaat . (2006). *Bezem: Eerlijk helder water*.

- Rijkswaterstaat. (2012).
- Rijkswaterstaat. (2013). *Natura 2000 ontwerp-beheerplan IJsselmeergebied 2014 - 2019*.
- Rijkswaterstaat. (2016). *Natura 2000 ontwerp-beheerplan ijsselmeergebied 2016-2021*.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Vaarwegen in Nederland*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (sd). *IVS90*. Opgehaald van Rijkswaterstaat:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/verkeersmanagement/scheepvaart/scheepvaartverkeersbegeleiding/ivs90/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). Opgeroepen op Januari 6, 2018, van
<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/waterkwaliteit/waterplanten.aspx>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). Opgeroepen op December 4, 2017, van
https://geoservices.rijkswaterstaat.nl/ext/geoweb51/index.html?viewer=MN_Waterplantenbedekking
- Schep, S., van der Wal, B., & van der Wijngaart, T. (2015). *Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie*. Amersfoort: STOWA.
- Schindler, D. (2012). The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proc Biol Sci*, 4322-4333.
- Sluispedia. (2014, Oktober 29). *CEMT-Klasse*. Opgehaald van Sluispedia:
<http://www.sluispedia.nl/CEMT-klasse>
- Soes, D. M. (2006). *Musculum Transverum (Sphaeriidae) in de Eem*. Culemborg: Bureau Waardenburg.
- Sollie. (2007). *Littoral zones in shallow lakes - contribution to water quality in relation to water level regime*. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Sollie, & de Kwaadsteniet. (2009). *Gebruik begroeide oeverzones voor verbetering waterkwaliteit*. H2O 6:27-29.
- Sollie, Coops, & Verhoeven. (2008). *Natural and constructed littoral zones as nutrient traps in eutrophicated shallow lakes*. *Hydrobiologia* 605:219-233.
- Sollie, S., Coops, H., & Verhoeven, J. (2008). Natural and constructed littoral zones as nutrient traps in eutrophicated shallow lakes. *Hydrobiologia*(605), 219-233.
doi:<https://doi.org/10.1007/s10750-008-9356-6>
- STOWA. (2008). *Van helder naar troebel en weer terug*. STOWA rapport nr. 2008-04.
- STOWA. (2008b). *Moerasbufferstroken langs watergangen; haalbaarheid en functionaliteit in Nederland*. STOWA rapport nr. 2008-07.
- STOWA. (2009). *Handreiking natuurvriendelijke oevers. Een hulpmiddel bij het proces van ontwerp tot aanleg van een natuurvriendelijke oever*. Rapport 2009-37. Utrecht: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA.
- STOWA. (2011). *Handreiking NVO*. STOWA-rapportnummer 2011-19. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

- SynBioSys Natura 2000 Database. (2018). Opgehaald van <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=8&id=n2k77>
- SynBioSys Natura 2000-database. (2018).
- Toet, Van Logtestijn, Schreijer, Kampf, & Verhoeven. (2005). *The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant. Ecological Engineering 25: 101-124.*
- Torenbeek, R. (2016). *Kranswieren*. Opgeroepen op Januari 5, 2018, van Werkgroep Ecologisch Waterbeheer: <http://www.wew.nu/bw40/item.php?id=42>
- TU Delft. (sd). *Effecten op de scheepvaart*.
- Udo Prins, A. d. (2014). *Vermindering uitspoeling nutriënten in het Drentsche Aa gebied*. Louis Bolk Instituut .
- van den Berg, M., Doef, R., & Postema, J. (2001). Waterplanten in het IJsselmeergebied. *De Levende Natuur*, pp. 237-241.
- Van Donk, Gulati, Iedema, & Meulemans. (1993). *Macrophyte-related shifts in the nitrogen and phosphorus contents of the different trophic levels in a biomanipulated shallow lake. Hydrobiologia 251:19-26.*
- Van Gerven, Smit, Groenendijk, Van der Bolt, & De Klein. (2009b). *Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus. Wageningen, Alterra-rapport 1848.*
- van Nieuwpoort, J. M. (2009). *Veiligheid Zuidelijke Randmeren MER Fase 2*. Deventer: Witteveen + Bos.
- Verhoeven, & Meuleman. (1999). *Wetlands for wastewater treatment: opportunities and limitations. Ecological Engineering 12:5-12.*
- Verspagen, J., Boers, P., Laanbroek, H., & Huisman, J. (2005). *bestrijding van blauwalgen in het volkerak-zoommeer*. Wageningen.
- von Meijenfildt, N., Moria, L., Ouboter, M., Schep, S., van der Wal, B., & van der Wijngaart, T. (2014). *Ecologische sleutelfactoren*. Amersfoort: STOWA.
- Wankel, S. D., Kendall, C., Francis, C. A., & Paytan, A. (2006). Nitrogen sources and cycling in the San Francisco Bay Estuary: A nitrate dual isotopic composition approach. *Limnol. Oceanogr*, 1654-1664.
- Waterschap Vallei en Eem. (2009). *Waterbeheerplan 2010 - 2015*. Amersfoort: Reproka.
- Weeda, E. (2011). *Waterplanten als maat voor de biologische kwaliteit van oppervlaktewateren*. Alterra, Wageningen UR.
- Weenink, E. F. (2015). Combatting cyanobacteria with hydrogen peroxide: a laboratory study on the consequences for phytoplankton community and diversity. . *Frontiers in microbiology*, 6.
- Weisner, & Thiere. (2010). *Effects of vegetation state on biodiversity and nitrogen retention in created wetlands: a test of biodiversity - ecosystem functioning hypothesis. Freshwater Biology 55(2): 387-396.*

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Gulf Professional Publishing.

Xingcheng, Y., Xiaoguang, X., Mingyue, W., Guoxiang, W., Songjun, W., Zhichun, L., . . . Yunhao, Y. (2017). Climate warming and cyanobacteria blooms: Looks at their relationships from a new perspective. *Water Research*, 449-457.

(z.d.). Opgeroepen op Januari 6, 2018, van Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=n2k&groep=0>

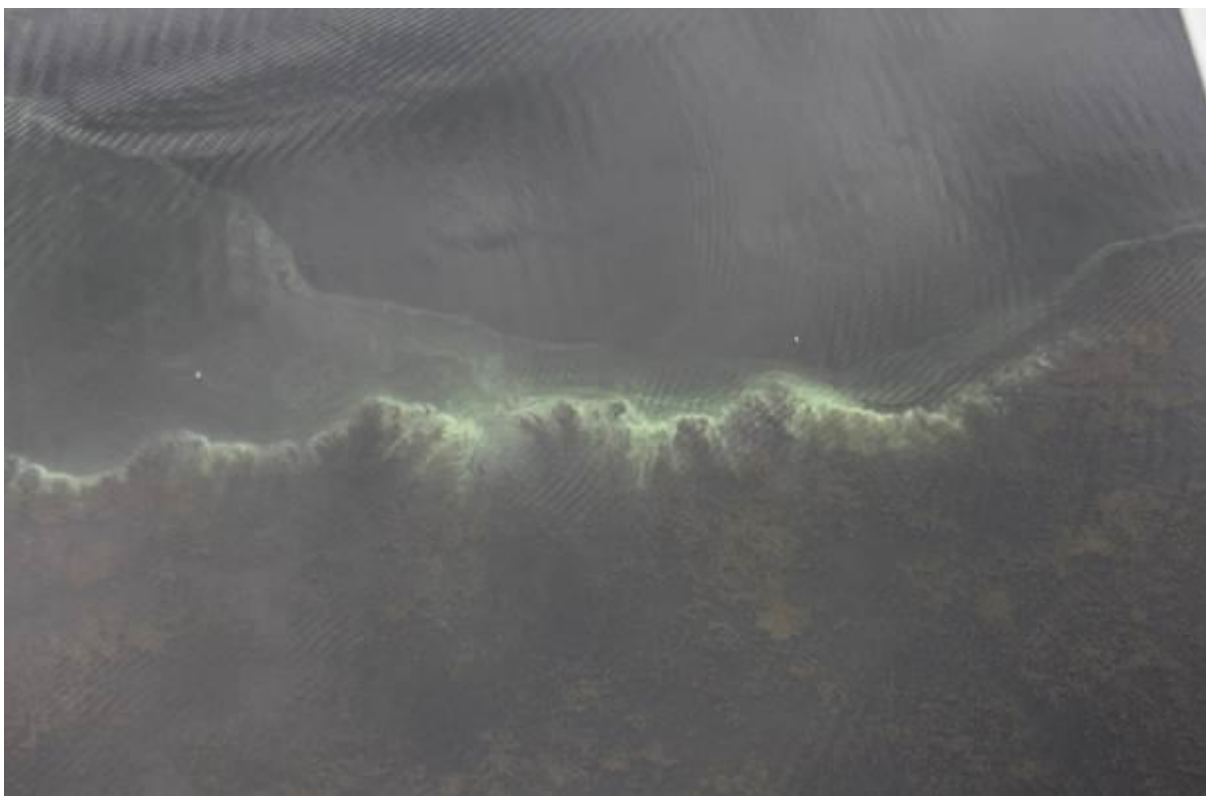
Bijlage I: Luchtfoto's



Figuur 42: Toont het Gooimeer, waarvan de Zuidelijke oever deel is van het Natura 2000-gebied. Dit meer ontvangt water vanuit het IJmeer (westen) en het Eemmeer (oosten).



Figuur 43: Toont het Eemmeer, wat volledig deel uitmaakt van het Natura 2000-gebied. Water wordt hierbij aangevoerd vanuit de Eem (rivier zuidelijk op de kaart). De eilanden in het Noordwesten heten De Dode Hond en De Visdief.



Figuur 44: Drijfalgen Gooimeer, 11-08-2017.

Bijlage II: Planning schema's

Tabel 10: Tijdsplanning met onderzoeksmethoden.

Weken→	Wk46	Wk47	Wk48	Wk49	Wk50	Wk51	Wk52	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk5
startdatum week	13-nov	20-nov	27-nov	4-dec	11-dec	18-dec	25-dec	1-jan	8-jan	15-jan	22-jan	29-jan
Einddatum week	17-nov	24-nov	1-dec	8-dec	15-dec	22-dec	29-dec	5-jan	12-jan	19-jan	26-jan	2-feb
Activiteiten↓												
Overleg met coach												
Overleg met opdrachtgever												
LT1: Vooronderzoek/PVA												
Literatuurstudie												
Onderzoeken & Modelleren												
Inleveren concept versie												
Feedback moment												
Inleveren definitieve versie												
Individueel PVA												
LT2: Inleiding												
Literatuurstudie												
Onderzoeken & Modelleren												
Inleveren concept versie												
Feedback moment												
LT2: Materiaal & Methode												
Literatuurstudie												
Onderzoeken & Modelleren												
Inleveren concept versie												
Feedback moment												
LT2: Resultaten												
Literatuurstudie												
Onderzoeken & Modelleren												
Observaties												
Inleveren concept versie												
Feedback moment												
Discussie												
Onderzoeken & Modelleren												
Adviseren												
Inleveren concept versie												
Feedback moment												
Conclusie + Advies												
Modelleren												
Observaties												
Adviseren												
Inleveren concept versie												
Feedback moment												
LT3: Expert inhuren												
Analyseren												
Onderzoeken & Modelleren												
Interview												
Adviseren												
Assessment												
Presentatie opdrachtgever												
Overige werkzaamheden												
	kerstvakantie											
	Tijdsduur hoofdtak											
	Tijdsduur subtaak											
	Eventuele werkzaamheden in vakantie											

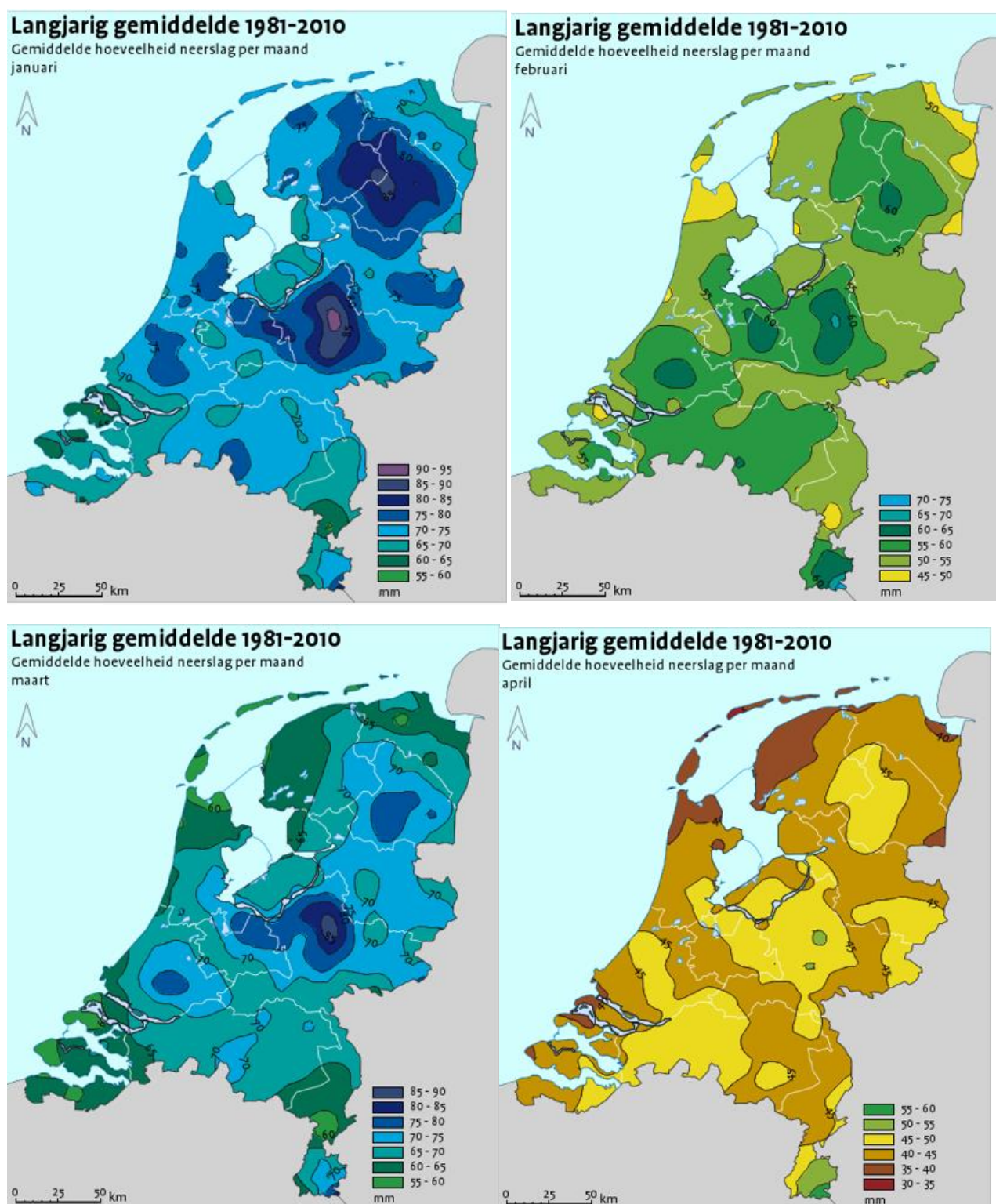
Tabel 11: Urenverdeling per groepslid, per hoofdstuk.

Hoofdstukindeling rapport blauwalgen (uren)	Arjo	Barend	Erwin	Ilan	Koen	Marvin	Sascha
Plan van Aanpak	6	6	6	6	6	6	6
Inleiding	10	10	10	10			
Materiaal en methode					10	10	10
Debiet				25			
Waterplanten							36
Nutriënten in het water	23		36				
Buitentemperatuur		30					
Watertemperatuur	23						
Regenval		30					
Natuurvriendelijke oevers					25		
Abiotische factoren (diepte, doorzicht, enz.)	23						
Scheepvaart	23						
Mest periode boeren				25			
Visstand					25		
Mogelijk bestrijdingsmethode						36	
Recente werkzaamheden in/rond het water					25		
Expertise regelen				25			
Analyseren data	23	30	36	25	25	36	36
Discussie	21	30	36	25	25	36	36
Conclusie	21	30	36	25	25	36	36
Advies	23	30	36	30	30	36	36
Totaal	196	196	196	196	196	196	196

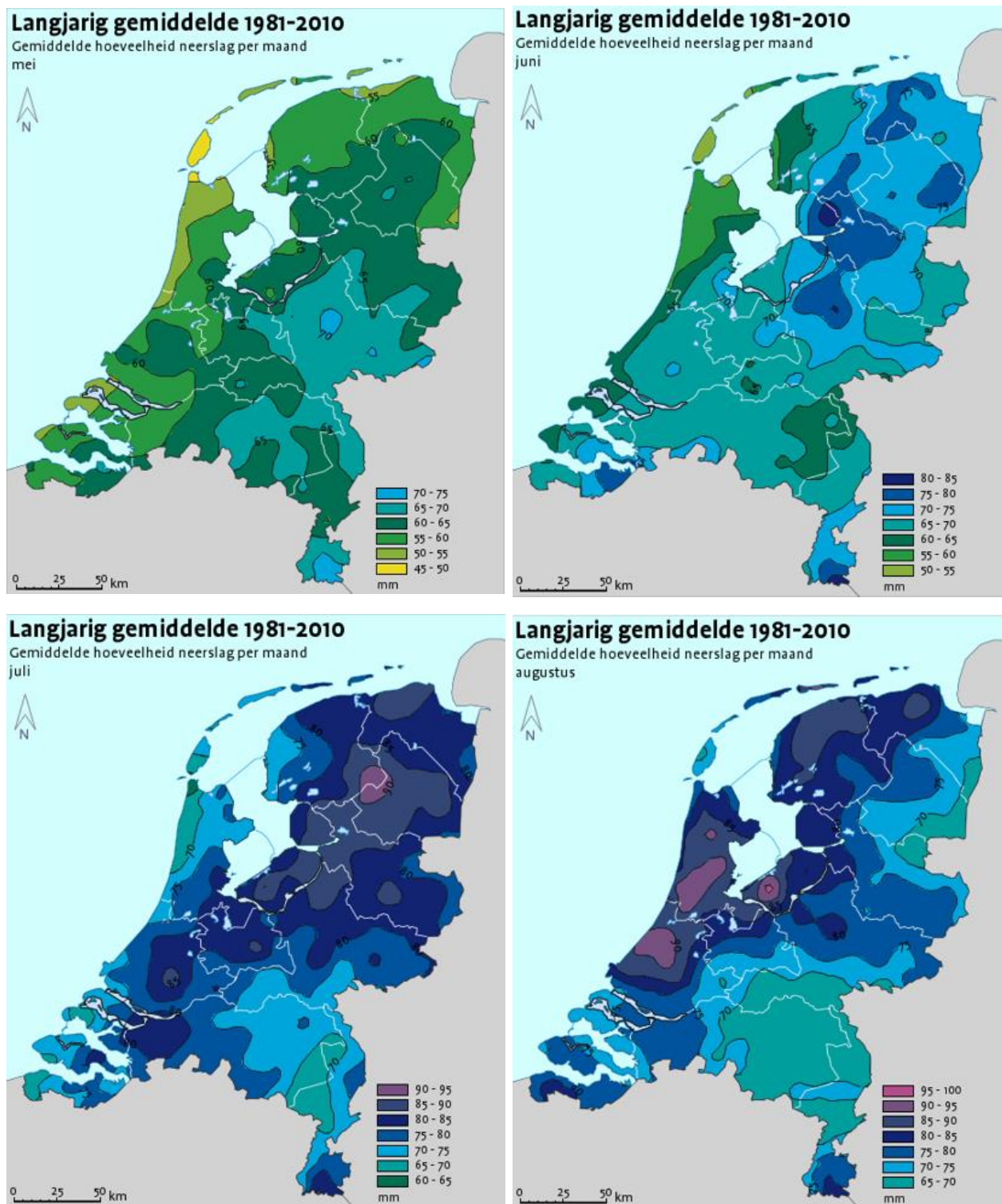
Tabel 12: Planning voorzitter en notulist tijdens de vergaderingen.

Dag	Datum	Arjo	Sascha	Marvin	Barend	Erwin	Ilan	Koen
maandag	11-20-17							
vrijdag	24-11-17							
maandag	27-11-18							
vrijdag	1-12-17							
maandag	4-12-17							
vrijdag	8-12-17							
maandag	11-12-01							
vrijdag	15-12-17							
maandag	18-12-17							
vrijdag	22-12-17							
maandag	8-1-18							
vrijdag	12-1-18							
maandag	15-01-18							
vrijdag	19-01-18							
	Notulist							
	Voorzitter vergadering							

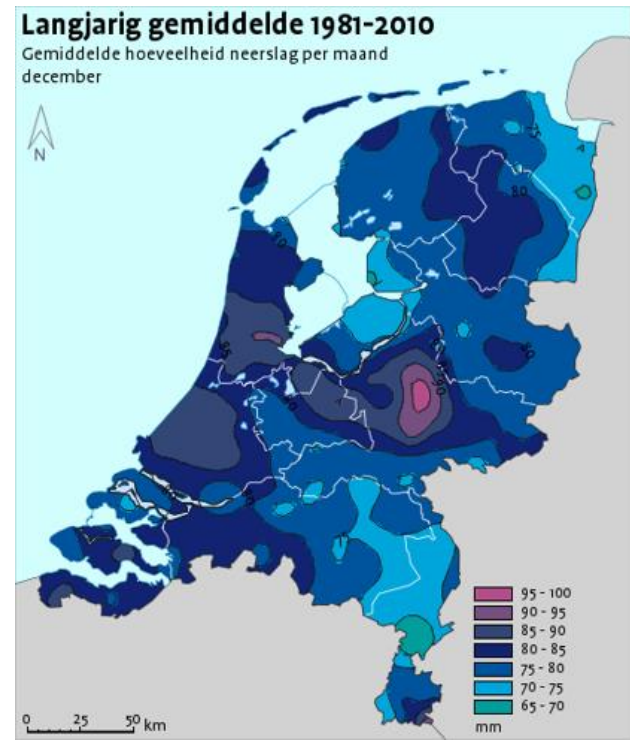
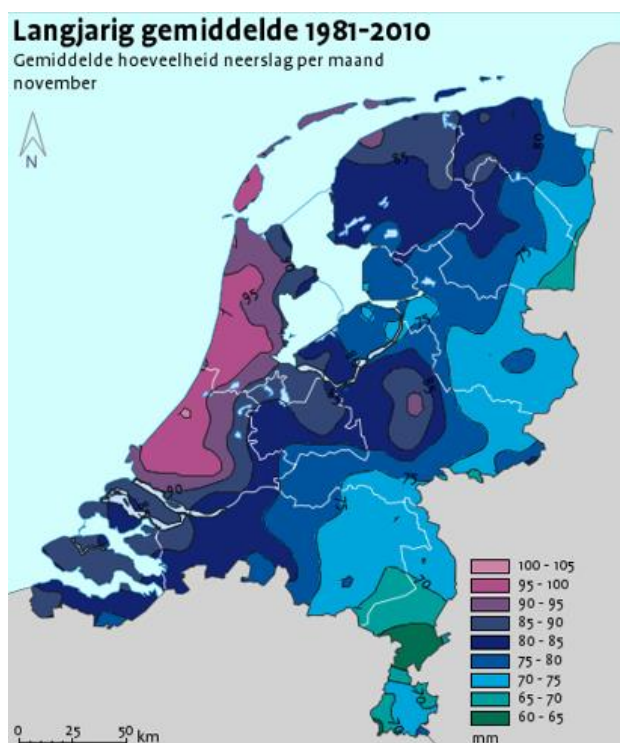
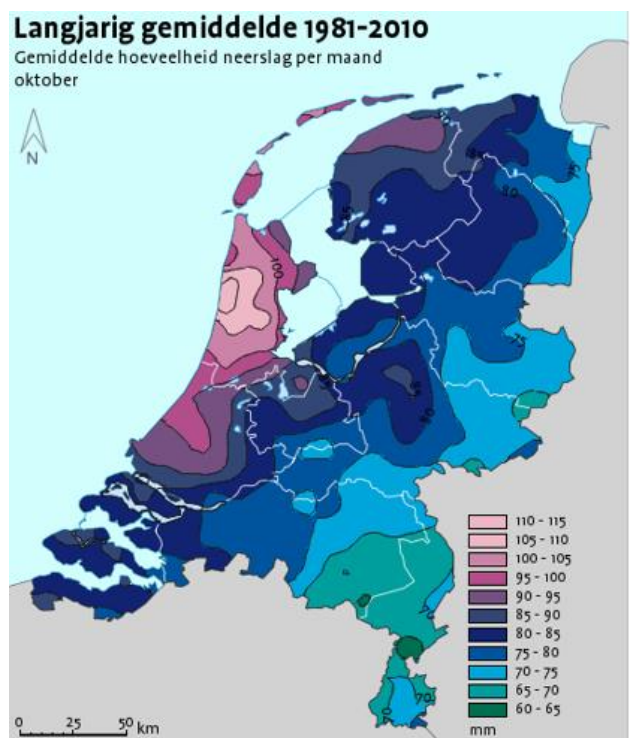
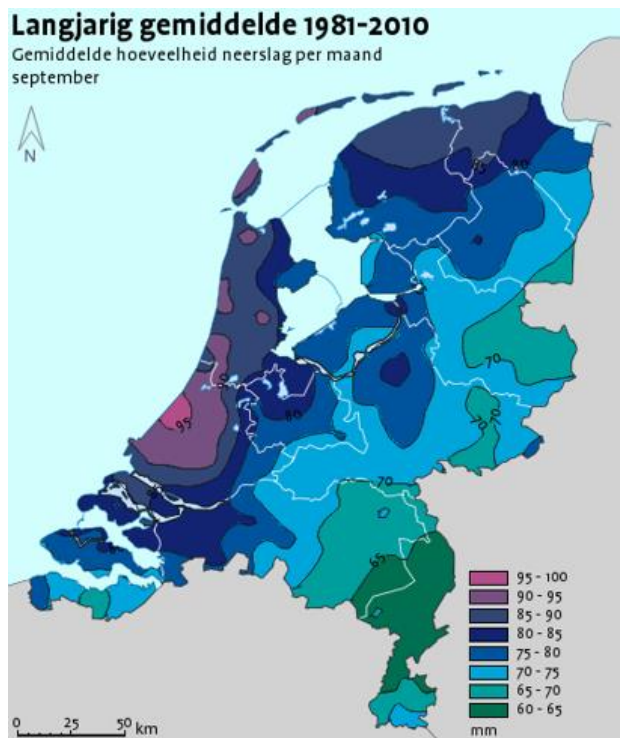
Bijlage III: Neerslag kaarten KNMI



Figuur 45: Neerslagkaarten Nederland, KNMI. Januari, februari, maart en april



Figuur 46 Neerslagkaarten Nederland, KNMI. Mei, juni, juli en augustus.



Figuur 47: Neerslagkaarten Nederland, KNMI. September, oktober, november en december

Bijlage IV: Dataset neerslag

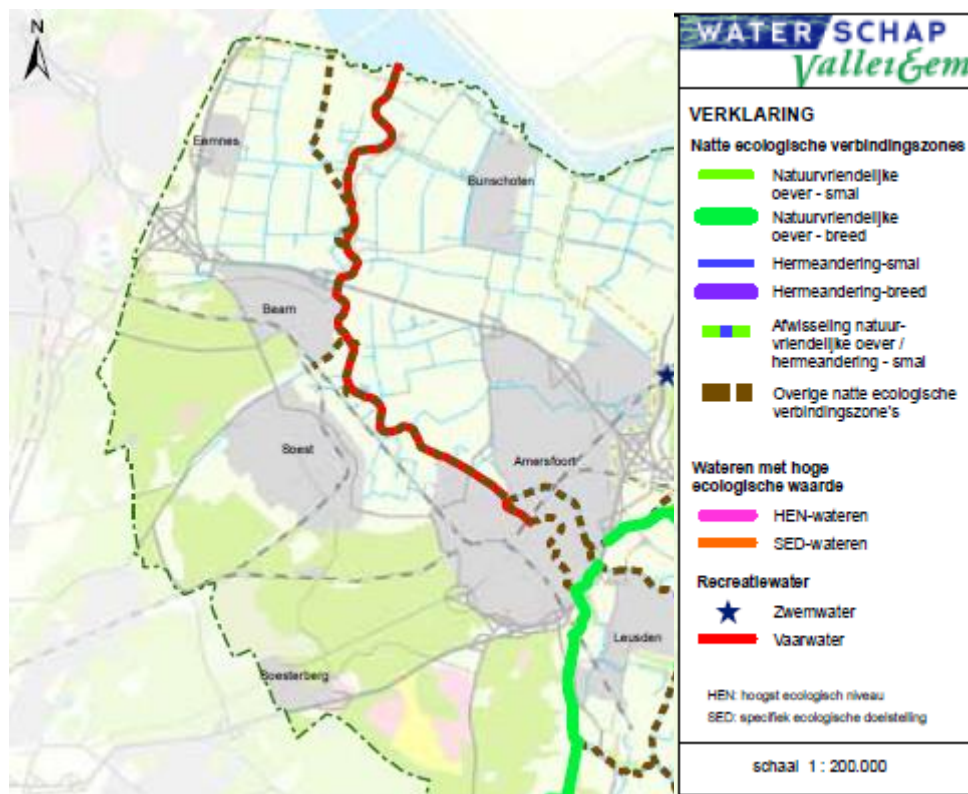
Tabel 17: Dataset van de neerslag 2014 tot en met 2017.

maand	Eemnes	Weesp	Marken	maand	Eemnes	Weesp	Marken	maand	Eemnes	Weesp	Marken	maand	Eemnes	Weesp	Marken
1	80,7	84,5	84,6	1	140,6	122,1	109,9	1	126,7	128,3	116,5	1	69,5	60,1	52,7
2	76	66	68,1	2	62,1	64,5	53,8	2	94,8	84,6	78,9	2	84,4	82	71,9
3	33,5	36,7	34,1	3	77,3	67,1	59,5	3	59,8	59,1	79,2	3	67,8	54,1	55
4	47,1	52,1	56,3	4	25,4	22	27,2	4	93,9	84,9	89,5	4	24,9	32,1	20,3
5	105,3	81,2	88,1	5	61	47,3	41,1	5	51,2	44,6	36,8	5	39,5	42,3	34,5
6	40,1	19,8	36,5	6	33,1	37,1	48,1	6	131,6	121,8	125,4	6	68,8	67,2	61,2
7	98,8	126,8	164,2	7	117,7	128,9	85,1	7	80,1	57,8	48,2	7	165,8	142	159
8	130,8	122,3	147	8	172,7	137	129,9	8	59,7	72,7	74,5	8	72,2	82,6	76,9
9	39,8	25,3	22	9	88,8	113,8	107,1	9	22,7	34,2	29,4	9	129,7	163,4	138,7
10	74,8	95,7	57,5	10	39,9	32,3	37,9	10	63,3	73,2	85	10			
11	57,9	50,7	45	11	151,6	141,2	136,4	11	96,4	93,9	105,2	11			
12	102,7	102,5	93,1	12	79	76,5	75,2	12	23,4	22,1	25,3	12			
2014															
2015															
2016															
2017															

Bijlage V: Resultaten gebiedsgebruik

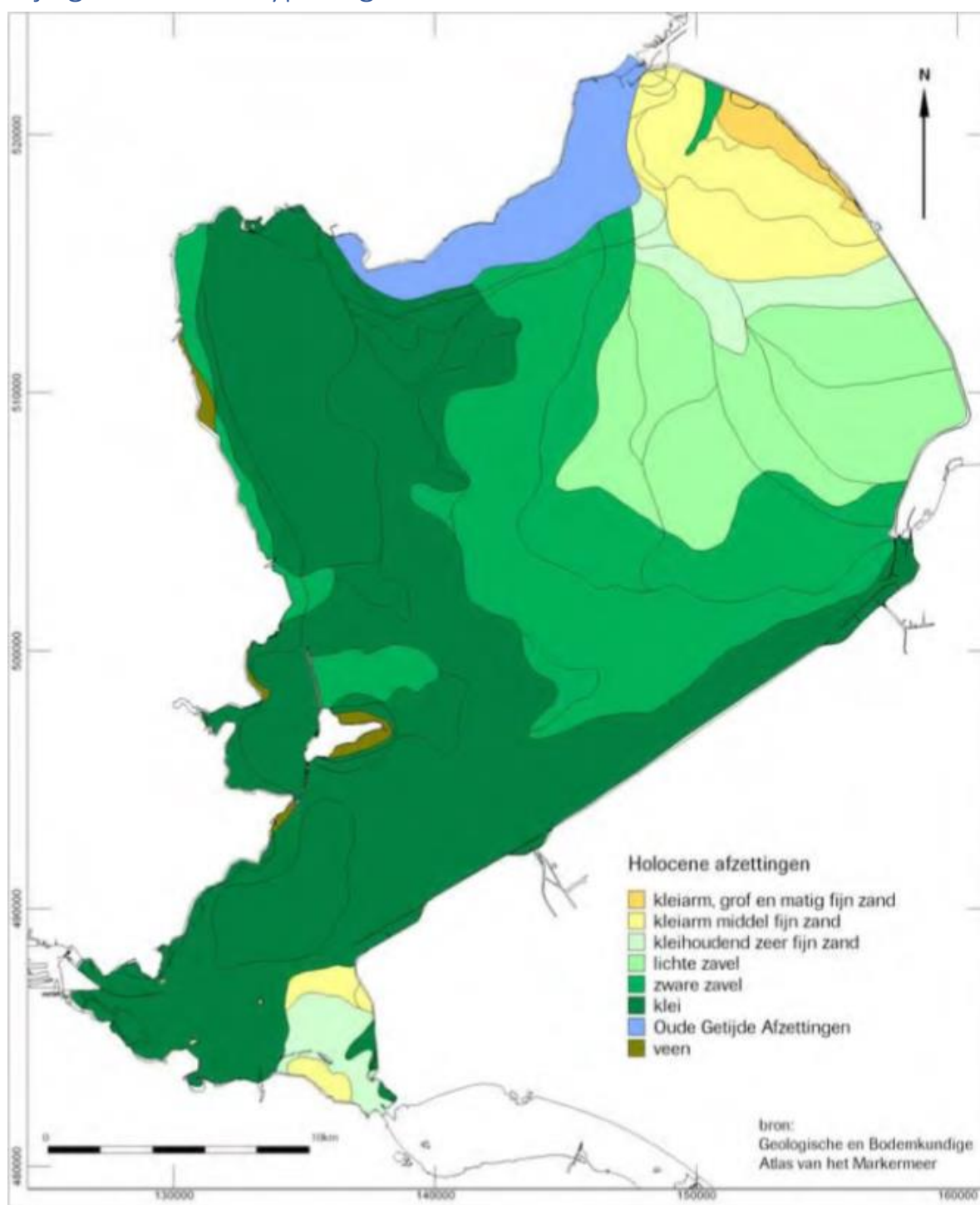


Figuur 48: Verklaring gebiedsfunctie



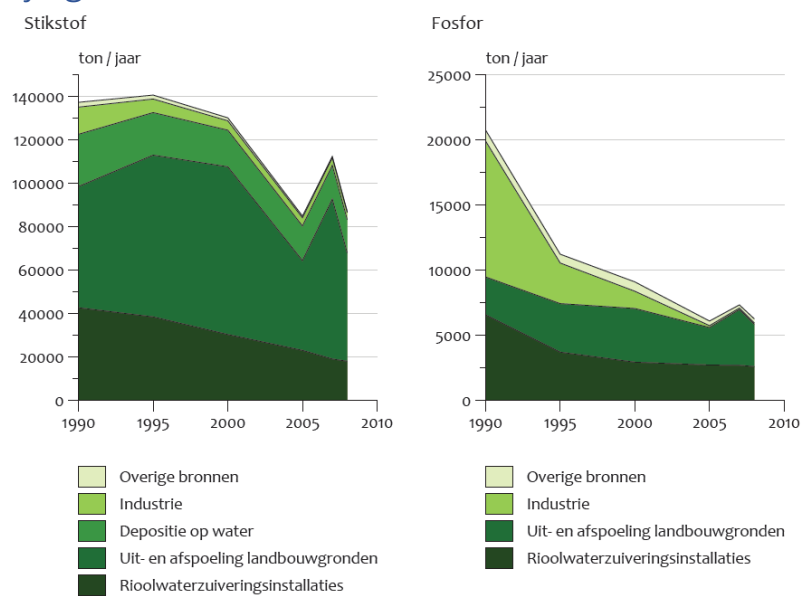
Figuur 49: Verklaring Natte ecologische verbindingzones

Bijlage VI: Bodemtypering Markermeer & IJmeer

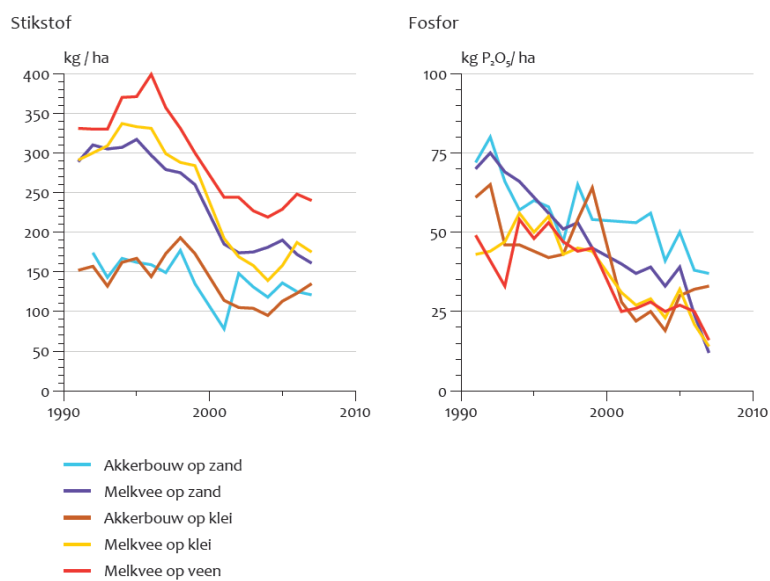


Figuur 49: Bodemtypering kaart Markermeer en IJmeer (Benjamins, et al., 2007).

Bijlage VII: Nutriënten



Figuur 50 emissie naar oppervlaktewater (Puijenbroek, Cleij, & Visser, 2010).



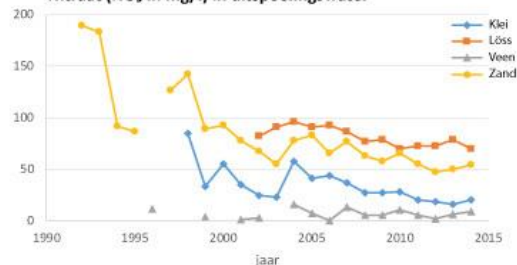
Figuur 51 bodemoverschot (Puijenbroek, Cleij, & Visser, 2010).

Bijlage VIII: LMM-nutriëntengehalte

Resultaten LMM per grondsoort regio

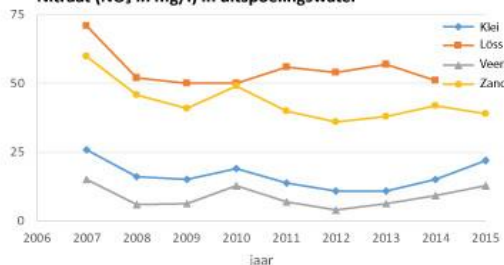
Basismeetnet

Nitraat (NO_3 in mg/l) in uitspoelingswater

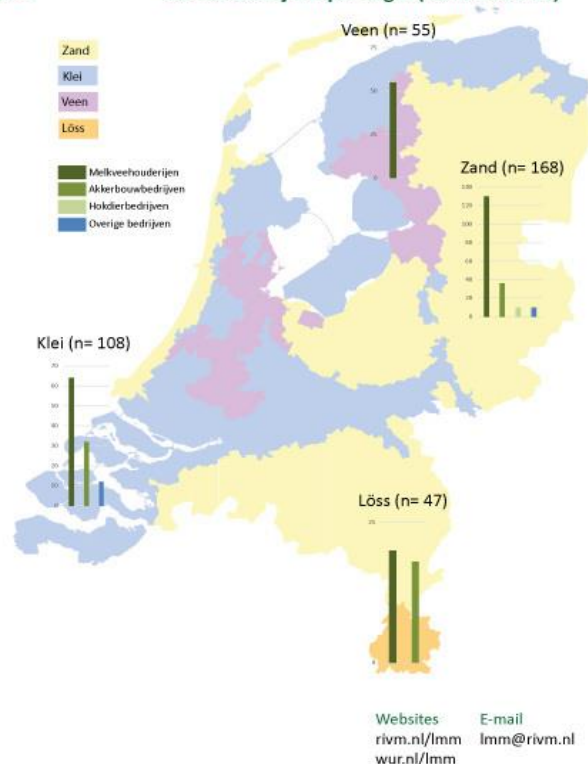


Derogatiemeetnet

Nitraat (NO_3 in mg/l) in uitspoelingswater



Aantal bedrijven per regio (Basismeetnet)



Figuur 51 LMM-nutriëntengehalte per grondsoort regio (Rivm, 2015)

Bijlage IX: Kosten tabellen natuurvriendelijke oevers

Tabel 13: Overzicht kosten kentallen aanleg Incl. BTW en 12% staartkosten (Peildatum, maart 2009, bron: Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap Noorderkwartier, Waterschap Hunze en Aa, Waterschap Vallei en Eem, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland, Hoogheemraadschap Delfland, Waternet).

Omschrijving	Eenheid	Kental per eenheid
Grond ontgraven	m3	Tot € 3
Grond vervoeren (0 tot 1 km)	m3	€ 1,50 (0-1 km afstand) – € 5 (15-20 km afstand)
Grond verwerken	m3	Tot € 2
Egaliseren verwerkte grond	are	€ 5 – 15
Grondbewerkingen: spitten/ploegen	are	€ 5 – 7
Grondbewerkingen: frezen	are	Tot € 3,50
Grondbewerkingen: woelen	are	€ 2 – 3,50
Grondbewerkingen: eggen	are	€ 2
Grondbewerkingen: cultiveren	are	Tot € 1,50
Duikers (diameter 0,3m)	m	€ 50
Duikers (diameter 0,5m)	m	€ 60 – 120
Duikers (diameter 0,6m)	m	€ 70 – 160
Duikers (diameter 0,7m)	m	€ 100 – 210
Duikers (diameter 0,8m)	m	€ 125 – 275
Duikers (diameter 1,0m)	m	€ 200 – 400
Duikers (rechthoekig 1,50/2,25m)	m	€ 1800 – 2500
Brug (fietsbrug)	m	pm
Brug (80 km weg)	m	pm
Fauna in- en uitteedplaats	m	pm
Vispassage	m	pm
Visvriendelijke stuw	m	pm
Afrastering	m	€ 5 -10
Afrastering (hek)	st	€ 350 – 1300, afhankelijk van type
Drainage (horizontale drainage)	m	Tot € 5
Drainage (hulpstukken)	st	€ 6 – 22
Zaaien	m	€ 1,50 – 12, afhankelijk van zaadmengsel en breedte oever
Riet herplanten	m2	€ 3
Betuining: 1,5 – 2,5m lange palen; 0,5m ertussen met doek erachter	m	€ 16 – 28
Betuining: 1,5 - 3,5m lange palen; met 4,0m lange houten tussenschotten	m	€ 35 – 80
Faunavoorziening	st	€ 400 – 10.000, afhankelijk van type
Tijdelijke beschoeiing, bv. Wilgenhout	m	€ 24
Florama	m	€ 32

Tabel 14 Onderhoudskosten Incl. BTW en 12% staartkosten (Peildatum, maart 2009, bron: Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap Noorderkwartier, Waterschap Hunze en Aa, Waterschap Vallei en Eem, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland, Hoogheemraadschap Delfland, Waternet).

Omschrijving	Eenheid	Kental per eenheid
Verwijderen baggerspecie Landelijk gebied Klasse 0 - 2 Breedte tot 8m	m3	Orde € 1 -2
Verwijderen baggerspecie Landelijk gebied Klasse 0 - 2 Breedte tot 8m en meer	m3	Orde € 10
Verwijderen baggerspecie Stedelijk gebied Klasse 0 - 2 Breedte tot 8m	m3	Orde € 10
Opschonen van duikers	m	Orde € 10
Afvoeren van baggerspecie tot 10 km	m3	Orde € 10
Afvoeren van baggerspecie 10 km en meer	m3	Orde € 11,50
Verwijderen van fysische verontreinigingen	are	Orde € 15, afhankelijk van aard verontreinigingen
Vangen en overplaatsen van vis	are	Orde € 30

Tabel 15 Onderhoudskosten bij vervuilde baggerspecie, Incl. BTW en 12% staartkosten (Peildatum, maart 2009, bron: Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap Noorderkwartier, Waterschap Hunze en Aa, Waterschap Vallei en Eem, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland, Hoogheemraadschap Delfland, Waternet).

Omschrijving	Eenheid	Kental per eenheid
Verwijderen baggerspecie Landelijk gebied Klasse 3-4	m3	Orde € 10
Afvoeren van vervuild baggerspecie	m3	€ 12
Opschonen van duikers in vervuild gebied	m	€ 11

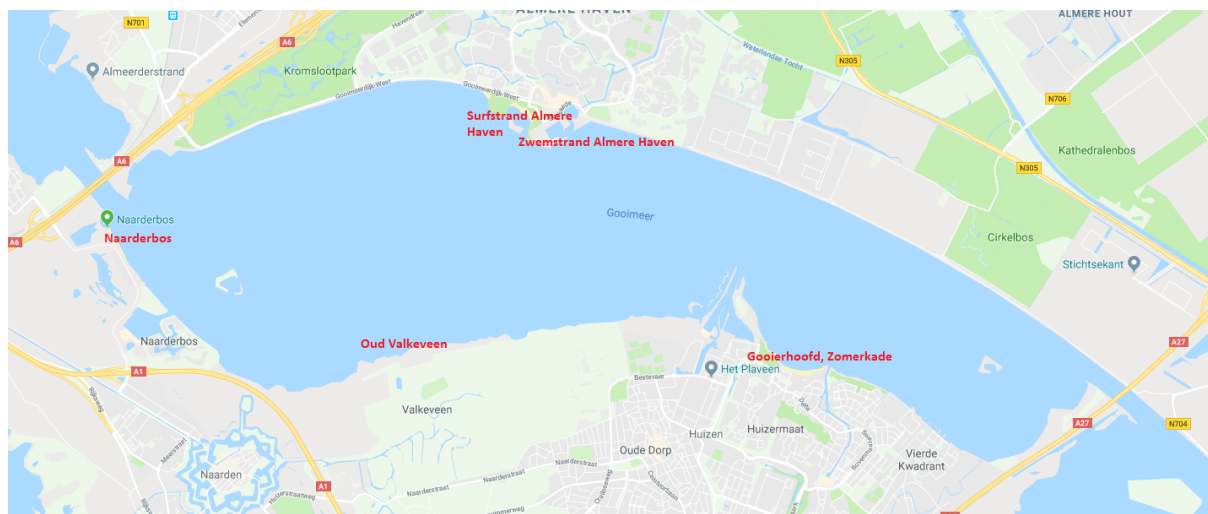
Tabel 16 Onderhoudskosten maaionderhoud Incl. BTW en 12% staartkosten (Peildatum, maart 2009, bron: Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap Noorderkwartier, Waterschap Hunze en Aa, Waterschap Vallei en Eem, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Waterschap Rivierenland, Hoogheemraadschap Delfland, Waternet).

Omschrijving	Eenheid	Kental per eenheid
Maaaien hoofdwatgang breedte > 6m	m	Orde € 0,50
Maaaien wegsloten breedte<6m	m	Orde € 0,50 – 1
Maaaien dijksloten	m	Orde € 0,50 – 1
Maaaien bermen en taluds	are	Orde € 1,50 – 3
Maaaien natuurvriendelijke oever 1x per 2 jaar	m	Orde € 0,50 – 1

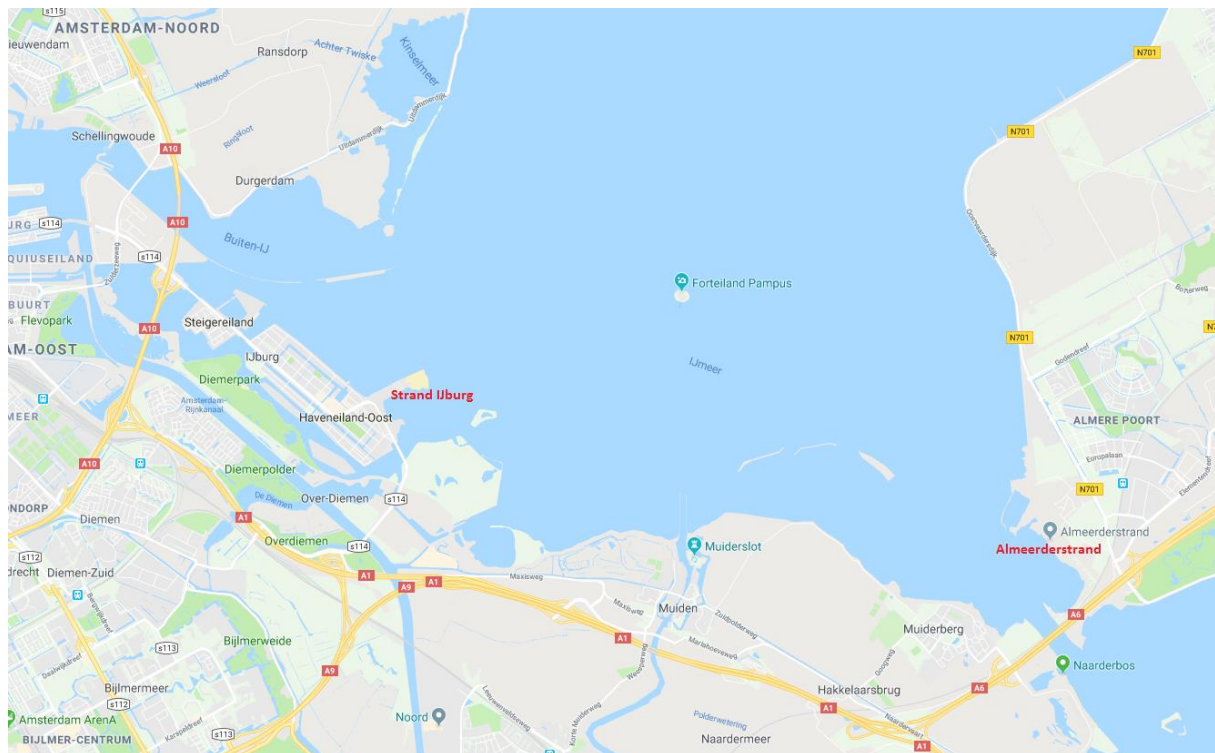
Bijlage X: Zwemwatermonitoring locaties



Figuur 52: Zwemwatermonitoring locaties Eemmeer.



Figuur 53: Zwemwatermonitoring locaties Gooimeer.



Figuur 54: Zwemwatermonitoring locaties IJmeer.