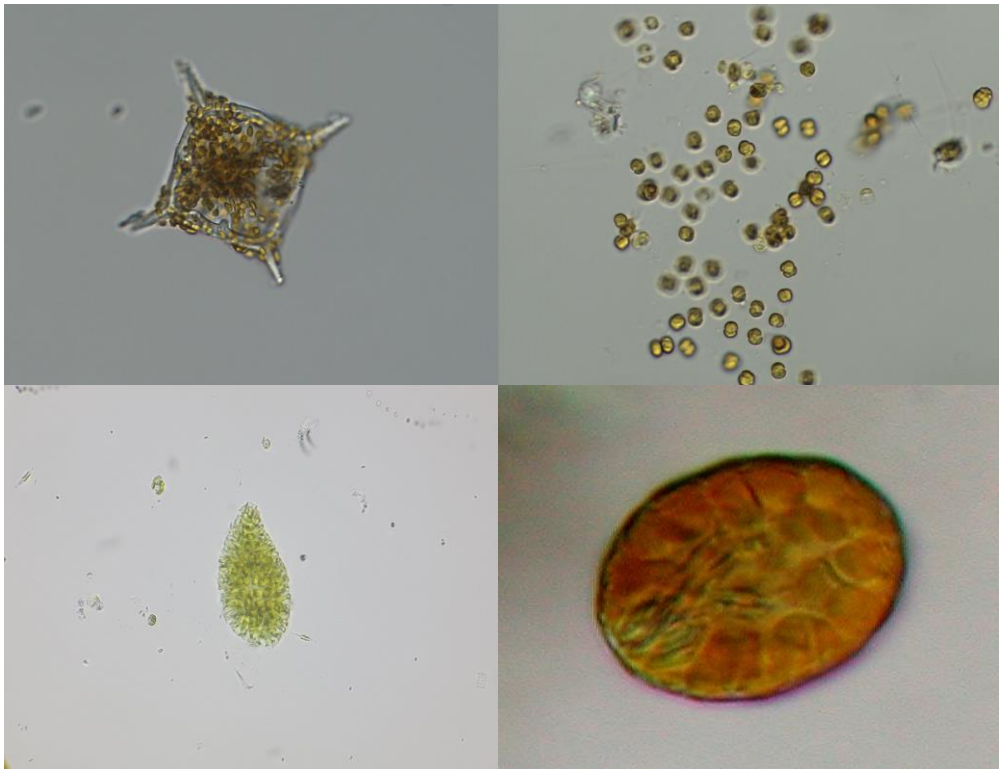
Fytoplanktontrends in de Noordwijkraai

Onderzoek naar de relatie tussen fytoplankton en fysisch-chemische parameters in de Noordwijkraai van de Noordzee van 2000 tot en met 2019



Lotte van Bortel
Hogeschool Van Hall Larenstein

Fytoplanktontrends in de Noordwijkraai

Onderzoek naar de relatie tussen fytoplankton en fysisch-chemische parameters in de Noordwijkraai in de Noordzee van 2000 tot en met 2019

Auteur: Lotte van Bortel[b]
lottevanbortel@gmail.com
000009147
Milieukunde Bachelor
Scriptie

Supervisie: A. van den Oever[a], G.L. Verweij[a], A. Valent[b], G. Truijen[b]

[a] Bureau Waardenburg B.V. Ecologie en Landschap Oosterweg 127 9751 PE Haren, Nederland
[b] Hogeschool Van Hall Larenstein Agora 1 8934 CJ Leeuwarden, Nederland

Afbeeldingen voorblad:
Linksboven: *Dictyocha fibula*
Rechtsboven: *Phaeocystis* kolonie
Linksonder: *Chattonella antiqua*
Rechtsonder: *Fibrocapsa japonica*
Bron: (Waardenburg, 2021)

Voorwoord

Deze scriptie, waarin fytoplankton in de Noordzee centraal staat, dient als afsluiting voor mijn schoolcarrière als Milieukunde studente op Hogeschool Van Hall Larenstein in Leeuwarden. De opdrachtgever van dit onderzoek is Bureau Waardenburg B.V. in Haren.

Tijdens een periode van vijf maanden heb ik onderzoek gedaan naar de trends van fytoplanktonsoorten- en groepssamenstelling in de Noordwijkraai van de Noordzee. Ook zijn de trends van fysisch-chemische parameters stikstof, fosfor, silica, temperatuur en saliniteit in deze raai in het onderzoek meegenomen.

Gedurende deze maanden ben ik inhoudelijk begeleid door Mw. A. van den Oever en Dhr. G.L. Verweij; allebei werkzaam bij Bureau Waardenburg B.V. met de nodige fytoplankton expertise. De procesmatige en deels inhoudelijke begeleiding vanuit Van Hall Larenstein kwam van Mw. A. Valent en Dhr. G. Truijen.

De afgelopen jaren heb ik een affiniteit opgedaan voor het willen beschermen van de aarde en haar natuur. Dit is één van de meest voor de hand liggende redenen dat ik Milieukunde ben gaan studeren. De overtuiging dat mensen meer zouden moeten doen om andere organismen te beschermen is de drijfveer geweest achter mijn enthousiasme voor mijn studie en mijn major Toegepaste Ecologie. Samen met mijn liefde voor de oceaan, o.a. dankzij mijn hobby duiken, past de opdracht die ik heb gekregen perfect bij mij. Met deze opdracht kan ik een bijdrage leveren aan het beter begrijpen van de fytoplanktonpopulaties in de Noordzee en daarmee lever ik ook een kleine bijdrage aan een beter beschermde aarde.

De bevonden resultaten zijn bruikbaar voor de actoren die meer kennis wensen over de dynamiek van fytoplankton en het leefmilieu in de Noordzee. Betrokken partijen als Bureau Waardenburg B.V. of Rijkswaterstaat kunnen met deze resultaten beter overwogen keuzes maken met betrekking tot fytoplanktonmonstername in de Noordzee.

Dit rapport is tot stand gekomen met de nodige hulp. Allereerst wil ik mijn vier begeleiders Mw. A. van den Oever, Dhr. G.L. Verweij, Mv. A. Valent en Dhr. G. Truijen bedanken, zonder wie ik geen scriptie van dit niveau neer had kunnen zetten. Daarbij wil ik de statistiek medewerker van Bureau Waardenburg B.V. Mv. H. Schepp nog bedanken voor alle hulp met de benodigde statistische programma's. Als laatste wil ik alle andere werknemers van Bureau Waardenburg B.V. bedanken voor alle overige tips, voorzieningen en gezelligheid.

Al met al heb ik een waardevolle en inspirerende tijd gehad bij Bureau Waardenburg B.V. en kijk ik met trots terug op mijn scriptie.

Lotte van Bortel

17-6-2021

Inhoud

Voorwoord **4**
1---Inleiding **12**
1.1 Situatieschets **12**
1.2 Doel en afbakening **13**
1.3 Onderzoeksvragen **14**
1.4 Relevantie **14**
1.5 Opdrachtgever **14**
1.6 Leeswijzer **15**
2---Theoretisch kader **17**
2.1 Fytoplankton **17**
2.2 De fysisch-chemische parameters **18**
3---Methodologie **20**
3.1 Dataverzameling **20**
3.2 Datakenmerken **21**
3.3 Betrouwbaarheid en validiteit **22**
3.4 Beschrijvende data-analyse **22**
3.5 Toetsende data-analyse **23**
4---Resultaten **24**
4.1 De Noordwijkraai **24**
4.1.1 Algemeen 24
4.1.2 De fysisch-chemische samenstelling van de Noordwijkraai 25
4.2 Fytoplankton **30**
4.2.1 Fytoplanktonabundantie 30
4.2.2 Fytoplanktongroepen 31
4.2.3 Fytoplanktongeslachten en -klassen 33
4.2.4 Soortdiversiteit 35
4.3 Significante verbanden **35**
5---Discussie **39**
5.1 Interpretatie van de resultaten **39**
5.1.1 De fysisch-chemische parameters 39
5.1.2 Totaal fytoplankton 40
5.1.3 Aandeel “overige taxa” 40
5.1.4 Phaeocystis 41
5.1.5 Raphidophyceae en Dictyocha 42
5.2 Limitaties van het onderzoek **42**
6---Conclusie **44**

7---Aanbeveling **46**
Bibliografie **47**
Bijlage I Chlorofyl-a gehaltes in de Noordwijkraai **i**
Bijlage II Boxplot fysisch-chemische parameters NW2 **ii**
Bijlage III Boxplot fysisch-chemische parameters NW70 **iv**
Bijlage IV Totaal aan algen per maand **vi**
Bijlage V Fytoplanktongroep verdeling **x**
Bijlage VI Totale fytoplankton toets uitkomsten in boxplot alle locaties **xi**
Bijlage VII Soortdiversiteit toets uitkomsten in boxplot alle locaties **xii**
Bijlage VIII NOORDWK2 toets uitkomsten in boxplot **xiii**
Bijlage IX NOORDWK10 toets uitkomsten in boxplot **xvi**
Bijlage X NOORDWK20 toets uitkomsten in boxplot **xix**
Bijlage XI NOORDWK 70 toets uitkomsten in boxplot **xxii**
Bijlage XII Chlorofyl-a toets uitkomsten in boxplot alle locaties **xxv**

Samenvatting

Momenteel is er weinig kennis over fytoplanktonsamenstelling, hun ecologische betekenis en de relatie met het abiotisch milieu in de Nederlandse Noordzee. Dit onderzoek dient als start om deze situatie in kaart te brengen in opdracht van Bureau Waardenburg B.V.. Zo kan dit gedeelte van het voedselweb van de Noordzee en het bijbehorende leefmilieu beter begrepen worden.

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van kennis over de trends in samenstelling en abundantie van de fytoplanktonsoorten- en groepen en de relatie die deze fytoplanktontrends hebben met het abiotisch leefmilieu in de Noordwijkraai over de periode 2000 tot en met 2019. De hoofdvraag die is opgesteld voor dit onderzoek luidt als volgt:

Welke fytoplankton (soorten- en groepen) trends zijn aanwezig in de vier meetstations van de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019 en welke van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit zijn belangrijk voor de ontwikkeling van het fytoplankton (soorten- en groepen)?

De bijbehorende methode omvat een beschrijvende en toetsende data-analyse om de trends van de in de hoofdvraag genoemde parameters te onderzoeken. Als kapstok is voorafgaand aan de data-analyse een literatuuronderzoek gedaan.

Uit de resultaten komt allereerst naar voren dat de chemische parameters N en P op alle locaties van de Noordwijkraai significant afnemen. Silica blijft ongeveer gelijk op NW20 na. Hier neemt silica af. Saliniteit stijgt licht. Temperatuurverschillen zijn klein en lijken per locatie een ander beeld te geven. De verschillen in temperatuur zijn niet significant.

Verder laten de absolute fytoplankton aantallen een stijgende trend zien op alle onderzochte locaties. De fytoplanktongroepen laat een verdeling zien met relatief weinig dinoflagellaten en een groot aandeel “overige taxa”. Van de drie onderzochte flagellaten nemen *Raphidophyceae* en *Dictyocha* toe in aantallen en blijft *Phaeocystis* gelijk. Tijdens de bloeiperiode neemt *Phaeocystis* wel in aantallen af. Als laatst neemt de soortdiversiteit op alle locaties af.

Dit onderzoek geeft een hoop resultaten die tegen de verwachtingen in zijn gegaan. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat niet één specifieke fysisch-chemische parameters aan te wijzen is die belangrijk is voor de ontwikkeling van fytoplankton. De één is gevoeliger voor bepaalde parameters dan de ander (zoals bijvoorbeeld *Phaeocystis* met N en P), maar er vindt altijd een wisselwerking plaats tussen de parameters.

Afsluitend is te concluderen dat de twee huidige fytoplanktonindicatoren *Phaeocystis* en chlorofyl-a niet goed te gebruiken zijn als maat voor de ontwikkeling van het fytoplankton in de Noordzee. Er zullen meerdere parameters gezamenlijk onderzocht moeten worden om een kloppend inzicht te krijgen in de ontwikkeling van fytoplankton gemeenschappen en daarmee de algehele ecologie in de Noordzee.

Summary

Currently there is not much knowledge on phytoplankton composition, their ecological value and the relationship with the abiotic environment in the Dutch North Sea. This research acts as a start for plotting this situation as an assignment for Bureau Waardenburg B.V. This part of the food web can be better understood this way.

The goal of this research is to obtain knowledge about the trends in composition and the abundance of phytoplankton species and groups and the relation that these trends have with the abiotic environment in the Noordwijk transect over a period that starts in 2000 and goes on until 2019. The main research question on this subject is:

What phytoplankton (species and groups) trends are present in the four measurement stations of the Noordwijk transect from 2000 to 2019 and what physical and chemical parameters N, P, Si, temperature and salinity are important for the development of the phytoplankton (species and groups)?

The used method consists of a descriptive and testing data-analysis to look into all the parameters mentioned in the main research question. A literature research was done before the data-analysis to achieve this.

The results show that the chemical parameters N and P go down significantly on all locations of the Noordwijk transect. Silica approximately remains on the same level. Salinity goes up a little and the temperature differences are minuscule and seem to show a different outcome on each location in the Noordwijk transect. The differences in temperature are not significant.

The total amount of phytoplankton shows an upward trend on all locations. Secondly, the phytoplankton group division show a relatively low number of dinoflagellates and a high amount of “other taxa”. Out of the three examined classes/genusses, *Dictyocha* and *Raphidophyceae* go up in numbers and *Phaeocystis* stay the same. *Phaeocystis* does go down in numbers during the seasonal blooms. Lastly, the species diversity goes down.

This research gives a lot of results that do not rhyme with the expectations. As a conclusion based on this, there is not one physical or chemical parameter that can be designated as important for the development for phytoplankton communities. One parameter can of course be more important for certain species (like N/P for *Phaeocystis*), but there is always an interaction between all parameters.

Occluding on this research it can be said that the two main phytoplankton indicators currently used in the Dutch North Sea; *Phaeocystis* and chlorophyl-a, are not a proper measurement for the development of phytoplankton. There need to be more parameters combined in a joint research to get a complete insight on the development of phytoplankton communities, and therefore the whole ecology in the North Sea.

Figuren en tabellenlijst

Figuur 1 MWTL-monitoringstations (Wagner-Cremer, 2018) 13
Figuur 2 Leeswijzer 15
Figuur 3 Globaal diepteprofiel van de Noordwijkraai (Batymetry viewing and download service, 2021) 24
Figuur 4 Stikstof in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 26
Figuur 5 Fosfor in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 27
Figuur 6 Silica in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 28
Figuur 7 Temperatuur in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 29
Figuur 8 Saliniteit in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 30
Figuur 9 Totaal aan fytoplankton in de Noordwijkraai 2000 tot en met 2019 31
Figuur 10 Fytoplanktongroep verdeling NW2 31
Figuur 11 Fytoplanktongroep verdeling NW2 inclusief grootste aandeelhouders in “overige taxa” . 32
Figuur 12 Phaeocystis aantallen in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 33
Figuur 13 Raphidophyceae aantallen in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 34
Figuur 14 Dictyocha aantallen in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019 34
Figuur 15 Fytoplankton soortdiversiteit per locatie 2000 tot en met 2019 35
Figuur 16 Phaeocystis NW2 maand/jaar 41
Figuur 17 Chlorofyl-a gehalte in de Noordwijkraai i
Figuur 18 Van boven naar onder: Stikstof, fosfaat, en silica boxplots 2000 tot en met 2019 NW2 ii
Figuur 19 Van boven naar onder: saliniteit en temperatuur boxplots 2000 tot en met 2019 NOORDWK2 iii
Figuur 20 Van boven naar onder: Stikstof, fosfaat, en silica boxplots 2000 tot en met 2019 NW70 . iv
Figuur 21 Van boven naar onder: Saliniteit en temperatuur boxplots 2000 tot en met 2019 NW70 .. v
Figuur 22 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW2 vi
Figuur 23 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW10 vii
Figuur 24 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW20 viii
Figuur 25 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW70 ix
Figuur 26 Fytoplanktongroep verdeling alle locaties 2000 tot en met 2019 x
Figuur 27 Totale fytoplankton toets uitkomsten in boxplots alle locaties xi
Figuur 28 Soortdiversiteit toets uitkomsten in boxplots alle locaties xii
Figuur 29 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW2 xiii
Figuur 30 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW2 xiv
Figuur 31 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW2 xv
Figuur 32 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW10 xvi
Figuur 33 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW10 xvii
Figuur 34 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW10 xviii
Figuur 35 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW20 xix
Figuur 36 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW20 xx
Figuur 37 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW20 xxi
Figuur 38 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW70 xxii
Figuur 39 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW70 xxiii
Figuur 40 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW70 xxiv
Figuur 41 Chlorofyl-a toets uitkomsten in boxplots alle locaties xxv

Begrippenlijst

Aquostandaard	Een standaard manier om iets te rapporteren. De Aquostandaard staat op de 'pas toe of leg uit'-standaarden lijst van de overheid.
Bloei	De plotselinge en buitengewoon snelle ontwikkeling van één algensoort.
Diatomeeën/kiezelwieren	Een stam van eencellige algen met een skelet van SiO_2. Vormt samen met dinoflagellaten een belangrijk aandeel in mariene ecosystemen.
Dinoflagellaten	Een stam van eencellige algen. Vormt samen met diatomeeën een belangrijk aandeel in mariene ecosystemen.
Flagellaten	Eencelligen met flagellen (zweepstaartjes). In dit onderzoek is gekeken naar drie flagellaten: *Dictyocha, Phaeocystis* en *Raphidophyceae.*
Fytoplanktongroepen	Indeling van fytoplanktonsoorten op basis van taxonomie en bijzondere eigenschappen van het fytoplankton. In dit onderzoek zijn drie groepen nader onderzocht: diatomeeën, dinoflagellaten en de groep "overige taxa".
KRM	Kader Richtlijn Marien. De KRM is een maatlat die Europese lidstaten verplicht om hun zeeën te onderhouden.
Leefmilieu	Omstandigheden waarin geleefd wordt.
Noordwijkraai	Een transect in de Noordzee aan de kust van Noordwijk waar meetstations vanaf 2 kilometer vanaf de kust tot 70 kilometer zee inwaarts loopt. In dit rapport is verwezen naar de meetstations als NW of NOORDWK met het cijfer van de afstand tot de kust erachter.
Plaagalg	Een alg die al dan niet toxisch is, maar hinder veroorzaakt wanneer er sprake is van een bloei.
Redfieldratio	Een consistente verhouding van koolstof, stikstof en fosfor van respectievelijk 106:16:1 in micro-organismen.
Shannon-index	In de ecologie een veelgebruikte maat om de diversiteit van voorkomende organismen uit te drukken.

Trend	Een, al dan niet, veranderende ontwikkeling in een bepaalde richting op lange termijn.

1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een introductie van het onderzoek met daarin het onderwerp, de probleemstelling, de doelstelling en uiteindelijk de onderzoeksvragen. Daarnaast staan er ook de volgende punten die belangrijk zijn; de relevantie van het onderzoek, informatie over de opdrachtgever en de leeswijzer.

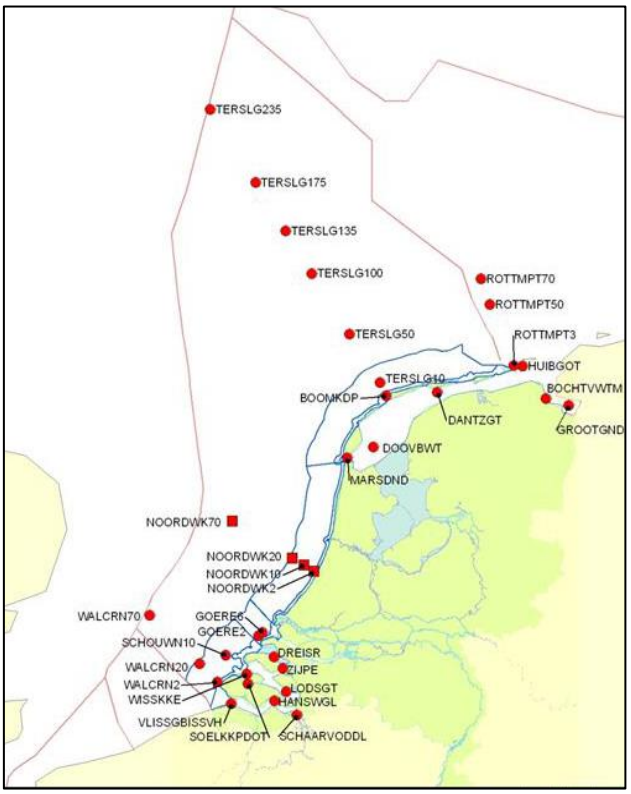
1.1 Situatieschets

Fytoplankton speelt een essentiële rol in aquatische ecosystemen als grootste primaire producent van zuurstof, als voedselbron en draagkrachtbepaler voor hogere trofische niveaus. In Nederland wordt het vóórkomen van fytoplanktonsoorten gecontroleerd via maandelijkse opnames met een aantal referentiepunten in zowel kustgebieden als offshore locaties. Deze opnames zijn deel van het 'Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands' (MWTL) van Rijkswaterstaat (RWS). Sinds 2019 is deze monitoring sterk verminderd. Of de monitoring wordt doorgezet en op welke manier dat dan gaat zijn is onzeker, doordat het belang van dit type onderzoek niet algemeen bekend is. Het voorkomen van fytoplankton als onderdeel van het bepalen van waterkwaliteit, is op het ogenblik in de Nederlandse kustwateren vooral gebaseerd op de hoeveelheid chlorofyl-a. Deze metingen geven een indicatie van de biomassa van primaire producenten in de waterkolom. Het zegt niets over de fytoplanktongemeenschap en hoe de onderlinge verhoudingen liggen tussen verschillende groepen of soorten. Er lijkt in een lichte daling te zijn in chlorofyl-a bij NW10, NW20 en NW70. NW2 blijft gelijk. Zie voor een grafiek die dit in beeld brengt Bijlage I Chlorofyl-a gehaltes in de Noordwijkraai.

Bureau Waardeburg B.V. (hierna ook te noemen BuWa/Waardenburg) heeft al sinds eind jaren '90 in opdracht van Rijkswaterstaat de fytoplanktonanalyses van de MWTL uitgevoerd. Momenteel is hierdoor een dataset beschikbaar met fytoplanktongegevens (aantallen en soortensamenstelling). Deze is als opdracht van Bureau Waardenburg opgesteld door de Universiteit Utrecht. Vooralsnog is dit de meest complete dataset van Nederland (Wagner-Cremer, 2018). Losse fytoplanktondata is beschikbaar tot en met 2019. Bureau Waardenburg denkt met behulp van de data te kunnen aantonen dat fytoplankton een indicator kan zijn voor de staat van het ecosysteem door veranderende trends in soorten(groepen)samenstelling uit te lichten. In combinatie met fysisch-chemische data die door Rijkswaterstaat ook beschikbaar is, kunnen dan veranderingen in het ecosysteem in de toekomst beter voorspeld worden. Zo kan het ecosysteem efficiënter beheerd en beschermd worden. Het probleem is dat er over fytoplanktonsamenstelling, hun ecologische betekenis en de relatie met het abiotisch milieu in de Nederlandse Noordzee weinig kennis is. Dit onderzoek dient als start om deze situatie in kaart te brengen. Zo kan dit gedeelte van het voedsel web van de Noordzee en de bijhorende dynamiek beter worden begrepen. Op basis van dit onderzoek kan vervolgens inzichtelijk gemaakt worden welke rol fytoplankton heeft bij waterkwaliteitsbepalingen in de Noordzee. Zo kan fytoplankton in de toekomst gebruikt worden als indicator voor de staat van het ecosysteem.

1.2 Doel en afbakening

De Noordwijkraai is gekozen als onderzoeklocatie.
De monsterpunten van de Noordwijkraai van de MWTL zijn te zien in Figuur 1. Onder de onderzochte fytoplanktongroepen vallen in dit onderzoek de diatomeeën, dinoflagellaten en “overige taxa”. Deze indeling wordt namelijk veelvuldig gebruikt in zoute wateren, omdat de diatomeeën en dinoflagellaten het grootste aandeel vormen (Hoppenrath, 2009a). Binnen deze groepen wordt in ieder geval gekeken naar de geslachten *Phaeocystis, Dictyocha* en de klasse *Raphidophyceae*, vanwege de potentiële schadelijk effecten van deze drie flagellaten in de Noordzee. De fysisch-chemische parameters die aan de orde komen zijn stikstof (N), fosfor (P), silica (Si), temperatuur en saliniteit. Het is zaak om de genoemde fytoplanktongroepen te vergelijken met de fysisch-chemische parameters.



Figuur 1 MWTL-monitoringstations (Wagner-Cremer, 2018)

Het doel van dit onderzoek is het verkrijgen van kennis over de trends in samenstelling en abundantie van de fytoplanktongroepen en de relatie die deze fytoplanktontrends hebben met het abiotisch leefmilieu in de Noordwijkraai over de periode 2000 tot en met 2019.

Hierbij is het belangrijk om te realiseren dat dit rapport dient als kapstok voor verder onderzoek op dit gebied. In de toekomst kunnen deze resultaten worden meegenomen in het vormen van een advies met betrekking tot onder anderen bemonstering van fytoplankton en hoe de fytoplanktongemeenschap een indicator kan zijn voor veranderingen in het ecosysteem van de Noordzee.

1.3 Onderzoeksvragen

Uit het doel komt de volgende hoofdvraag voortvloeien;

Welke fytoplankton (soorten- en groepen) trends zijn aanwezig in de vier meetstations van de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019 en welke van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit zijn belangrijk voor de ontwikkeling van het fytoplankton (soorten- en groepen)?

De hoofdvraag is op te delen in de volgende sub-vragen;

1. Hoe heeft de Noordwijkraai er van 2000 tot en met 2019 uitgezien op basis van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit?
2. Welke trend is aanwezig bij het voorkomen van alle fytoplankton in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
3. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van diatomeeën en dinoflagellaten en “overige taxa” in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
4. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van *Dictyocha, Phaeocystis* en *Raphidophyceae* in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
5. Welke trends zijn aanwezig in soortdiversiteit in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
6. Welk verband is er tussen parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit en de opvallende trends van fytoplanktonsoorten- en groepen in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?

Na beantwoording van deelvraag één is er genoeg inzicht in de abiotische omstandigheden van de Noordwijkraai om trends van deelvraag twee, drie vier en vijf te linken aan dit inzicht. Deelvraag zes toetst of er een significant verschil is in de parameters door de jaren heen.

1.4 Relevantie

De resultaten van dit onderzoek geven inzichten over het voorkomen en de verspreiding van fytoplanktonsoorten- en groepen van de afgelopen twintig jaar op de Noordwijkraai. Het is een start voor het in kaart brengen van de fytoplankton dynamiek in de Noordzee. De uitkomsten en aanbevelingen van dit onderzoek kan Rijkswaterstaat meenemen in de beslissingen over de MWTL in de toekomst.

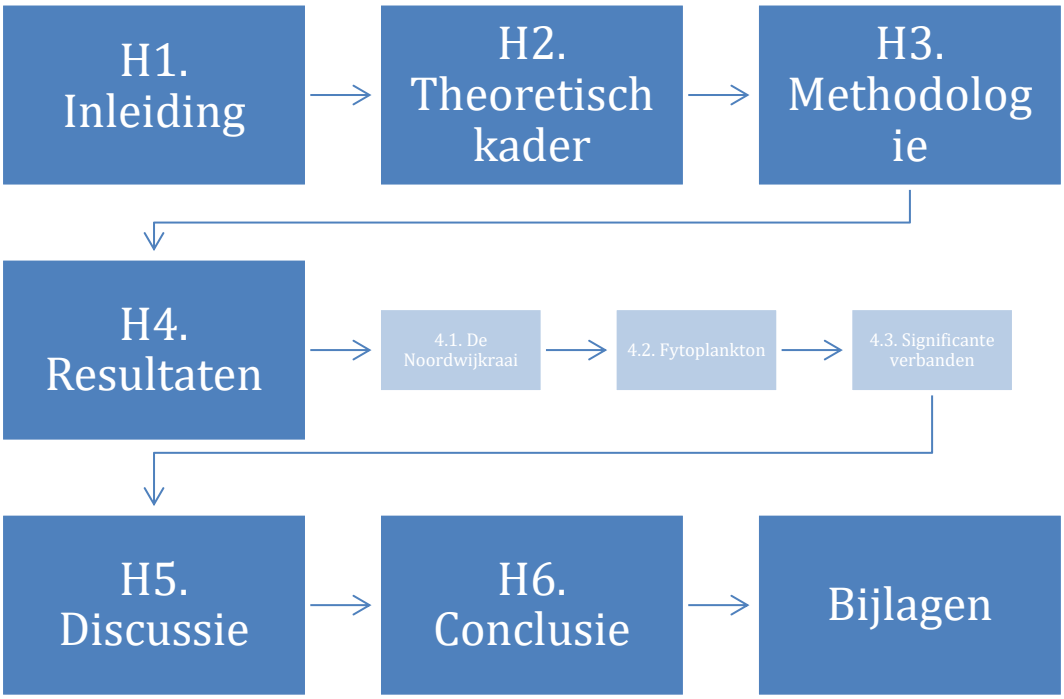
Voor opdrachtgever Bureau Waardenburg is het onderzoek relevant, omdat zij verwachten dat de MWTL-monitoring waardevol is, en de vermindering van deze monitoring vanaf 2019 de waarde van de data doet verminderen.

1.5 Opdrachtgever

De opdrachtgever Bureau Waardenburg B.V. is een onderzoeks-, advies- en ontwerpbureau op het gebied van ecologie, milieu en landschap.

Met ongeveer 120 werknemers op locatie Culemborg en 20 op locatie Haren is BuWa het grootste onafhankelijke groene adviesbureau van Nederland. De sectoren van BuWa zijn Natuur & Landschap, Vogelecologie en Aquatische ecologie. Het betreffende project ressorteert onder Aquatische ecologie op locatie Haren.

1.6 Leeswijzer



Figuur 2 Leeswijzer

Figuur 2 geeft in één oogopslag weer hoe de opzet van dit rapport is opgebouwd. In het volgende hoofdstuk komt eerst het theoretisch kader aan bod. Hierin staat alle achtergrondinformatie met betrekking tot fytoplankton en de fysisch-chemische parameters die nodig is tot het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

Na het theoretisch kader volgt het hoofdstuk methodologie. Hierin is informatie te vinden rondom het proces van het onderzoek.

Na de methode komt het hoofdstuk met resultaten. Deze is uitgesplitst op de biologische resultaten van fytoplankton en de fysisch-chemische resultaten van de parameters N, P, Si, saliniteit en temperatuur. Het hoofdstuk sluit af met de een overzicht van alle uitkomsten op de uitgevoerde statistische toetsen. In dit hoofdstuk komen alleen de zichtbare resultaten aan bod en niet de interpretatie daarvan.

De interpretatie van de resultaten volgt in de discussie. Na de interpretatie volgt nog een paragraaf met alle limitaties die aan bod kwamen tijdens het onderzoek.

Vervolgens komt het hoofdstuk conclusie. Hier is antwoord gegeven op de onderzoeksvragen. Als laatste hoofdstuk komt de aanbeveling op fytoplanktonmonitoring en volgende onderzoeken.

Aan het einde van het verslag staat de bibliografielijst en de bijlagen.

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk komen alle relevante begrippen en achtergrondinformatie aan bod die betrekking hebben tot fytoplankton en het leefmilieu in de Noordwijkraai.

2.1 Fytoplankton

Fyto komt van het Griekse woord phyton, wat ‘plant’ betekend. Plankton is de term die gebruikt wordt voor alle organismen die aangepast zijn om te leven in suspensie van alle open wateren (Reynolds, 2006). De term “fyto”-plankton is enigszins misleidend, omdat er soorten onder fytoplankton vallen die niet fotosynthetisch zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een aantal soorten dinoflagellaten. Feitelijk bekeken vallen deze soorten onder de micro-zoöplankton, maar worden in de taxonomie door elkaar gebruikt. De interacties van plankton populaties tussen elkaar en andere soorten zijn gecompliceerde netwerken waar alle trofische niveaus bij betrokken zijn. Dit maakt het belangrijk om deze relaties en alle betrokken actoren goed in kaart te brengen. Bestuderen van kleine delen van deze relaties zijn relevante hedendaagse uitdagingen (Hoppenrath, 2009a).

Dit onderzoek is onderverdeeld in drie groepen fytoplankton; diatomeeën, dinoflagellaten en alles wat daarbuiten valt onder de naam “overige taxa”. Ongeveer 1400 tot 1800 van de in totaal 10.000 tot 100.000 mariene soorten zijn diatomeeën. De cellen van diatomeeën zijn karakteristiek dankzij de silica frustule, wat dient als celwand (Hoppenrath, 2009b). Dinoflagellaten zijn onder te verdelen in ongeveer 2500 soorten. Hiervan zijn 90% marien fytoplanktonsoorten (Hoppenrath, 2009c).

Drie flagellaten die potentiële toxiciteit en/of hinder kunnen vormen tijdens een bloeiperiode zijn de geslachten *Phaeocystis* en *Dictyocha* en de klasse *Raphidophyceae*. Soorten onder het genus *Dictyocha* komen in Nederlandse kustwateren veel voor en zorgen in de Oostzee nabij de Zweedse westkust sinds 1983 voor grote bloeien (Jochem, 1989). De verwachting is dat deze bloeien veroorzaakt worden door een nutriëntentoevoer als gevolg van toenemende eutrofiëring. Ondanks het feit dat nutriënten de grootste veroorzaker zijn van fytoplankton bloeien spelen factoren als lichtinval of de afwezigheid van grazers ook een rol.

Raphidophyceae is in Nederlandse wateren een nog relatief onbekende klasse. Een soort die onder deze klasse valt is *Fibrocapsa japonica*. Onderzoek naar deze specifieke soort heeft vastgesteld dat er sprake is van permanent vestigen in Nederlandse kustwateren. Deze soort kan toxisch zijn voor mensen en lijden tot vissterfte. Er wordt gewaarschuwd dat Nederlandse kustwateren een gunstige plek is voor *Fibrocapsa japonica* vanwege het relatief lage zoutgehalte en hoge stikstofgehalte (de Boer, 2006). Het is waardevol om de verspreiding van de klasse goed in kaart te brengen als basis voor onderzoek naar andere soorten in de klasse *Raphidophyceae*.

Phaeocystis is een berucht geslacht in Nederland die door bloeien voor grote schuimwolken langs de kust zorgt. Op 11 mei 2020 zijn er in Scheveningen vijftal ervaren surfers in de problemen geraakt en verdronken. Het overheersende vermoeden heerst dat dit komt door een extreme bloei van de soort *Phaeocystis globosa* die op dat moment aanwezig was in de branding (Philippart, 2011). In Nederland wordt *Phaeocystis* gezien als indicator voor eutrofiëring (van Buuren, 2021).

2.2 De fysisch-chemische parameters

Stikstof en fosfor

Eutrofiëring is het verschijnsel waarbij grote hoeveelheden nutriënten zorgen voor een excessieve groei aan algen. Met name N en P zijn hier grote aandeelhouders in. De toename van algen zorgt voor minder lichtintensiteit aan de bodem, wat vervolgens zorgt voor mogelijke schade aan ecosystemen. Meststoffen en andere stoffen die in de landbouw worden gebruikt zijn een grote bron van nitraat en fosfaat in het marien milieu. Voor open oceanen is de atmosferische input van stikstof uit fossiele brandstoffen de grootste boosdoener (Castro, 2013).

In Nederland heeft de N en P input vooral in de jaren ‘60 tot de jaren ‘90 plaatsgevonden (Burson A. S., 2016). In 1985 is door vijftien Europese landen afgesproken om deze nutriënten flink terug te dringen. In 2002 was het fosfaat teruggedrongen van 50-70% en het nitraat van 20-30% (OSPAR commision, 2003). Deze disbalans zorgt voor een grote verschuiving in de Redfieldratio van 16:1 (N:P). Volgens onderzoek is deze ratio op sommige locaties in de Noordzee momenteel 375:1. Een disbalans van deze ratio kan negatieve effecten hebben in de trofische niveaus. (Burson A. S., 2016).

Autotrofe organismen en dus bijna alle fytoplankton gebruiken onder meer deze nutriënten voor twee doeleinden. Allereerst voor het produceren van grote organische moleculen die primaire productie mogelijk maken. Ten tweede worden deze nutriënten gebruikt voor de bouw van cellen (Garrison, 2013). Stikstof en fosfor zijn dus essentieel voor fytoplanktonpopulaties.

Silica

Silica is de naam voor de verbinding tussen silicium (Si^{+}) en zuurstof (O_2^{-}). In de rest van het verslag is er naar silica ook als Si verwezen. Zoals eerder al kort genoemd, zijn er silicaten nodig voor de algenbloei. Dit komt doordat diatomeeën deze stof nodig hebben voor de opbouw van hun celwand (Yool, 2003). Silicium is naast zuurstof het meest voorkomende element in de korst van de aarde. Daarbij is het de op één na meest gemaakte mineraal door organismen. Carbonaten staan aan de top als meest gemaakte mineraal door organismen. (Bümmer, 2003).

Fytoplanktonsoorten die silica nodig hebben voor de opbouw van de celwand zullen dit element waarschijnlijk als limiterende factor hebben en zullen naar verwachting dan weinig effecten vertonen bij toenemende eutrofiëring (Koeman, 2002).

Temperatuur

De parameter temperatuur maakt het mogelijk om de invloed van seizoenen op fytoplankton kenbaar te maken. Inzicht in de seizoenvoorkeuren van fytoplanktongroepen helpen bij het verklaren van mogelijke bloeien.

In de Noordzee zijn minstens twee fytoplanktongroepen (diatomeeën en dinoflagellaten) die regelmatig bloeien en in grote hoeveelheden voorkomen. Dit gebeurt allereerst tijdens temperatuur toename in het voorjaar wat gepaard gaat met meer lichtinval. In deze periode is de waterkolom vaak goed gemengd door wind en voorjaarsstromen vanuit de winter. Door de rijkdom aan voedsel en hogere lichtintensiteit wordt in de lente in kalm, gestratificeerd water een deken aan fytoplankton gevormd. Deze deken is gedomineerd door diatomeeën. Zolang er genoeg nutriënten aanwezig zijn, zet de bloei van deze algen voort.

Wanneer er minder silicaten en meer herbivoren die plankton consumeren aanwezig zijn in het water neemt deze algenbloei af. Stikstof en fosfaat zijn in dit stadium vaak nog wel aanwezig, wat zorgt voor de opmars van *Phaeocystis*.

In de zomer overheersen de dinoflagellaten in de algengemeenschap. Een volgende bloei, waar de diatomeeën weer domineren, ontstaat in de herfst en late zomer, wanneer er nog veel licht is en nutriënten weer beschikbaar komen door het mixen van het water. In de winter is er over het algemeen geen sprake van algenbloei door het turbulente water met weinig lichtinval. Door het goed mengen van het water in de winterperiode stijgen de nutriëntgehaltes in de waterkolom, die weer door de algen in het voorjaar gebruikt worden wanneer er meer licht is (Hoppenrath, 2009a).

Saliniteit

De term saliniteit zegt iets over de zoutheid van het water. Des te hoger de saliniteit, des te meer zouten er in het water aanwezig zijn. Saliniteit heeft geen eenheid, omdat het wordt gedefinieerd als het totaalgewicht aan anorganische zouten in grammen per kilogram water.

Het effect van schommelingen in saliniteit op fytoplanktonpopulatiesamenstelling is niet vaak onderzocht. De meeste kennis hiervan is opgedaan tijdens onderzoeken in laboratoria. De dataset van dit onderzoek maakt het mogelijk om een bijdrage te leveren aan de kennis over fytoplankton en de relatie met saliniteit. Wel is bekend dat soortdiversiteit over het algemeen laag is bij hoge saliniteitswaarden (Chakraborty, 2011).

3 Methodologie

De tekst in dit hoofdstuk geeft alle gebruikte methodes om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Het doel van dit hoofdstuk is om het onderzoek reproduceerbaar te maken en zo dus garant te staan voor de betrouwbaarheid van het onderzoek.

3.1 Dataverzameling

De onderzoekslocatie is de Noordwijkraai. De raai heeft de locatiecodes NOORDWK2, NOORDWK10, NOORDWK20 en NOORDWK70. De Noordwijkraai is als onderzoekslocatie gekozen, omdat het onderzoeken van de gehele Nederlandse Noordzee niet haalbaar is in de projectduur. Ook zijn in Nederland meer onderzoeken naar de Waddenzee en estuaria terwijl de Noordzee vaak over één kam geschoren wordt. Dit maakt de Noordzee juist aantrekkelijk voor een onderzoek. Ook is het een transect van de Noordzee waar verder geen grote zandbanken, geulen of riffen aanwezig zijn. Hier spelen bovengenoemde omgevingsfactoren geen rol en hebben dus ook geen invloed op de aan- of afwezigheid van fytoplankton (A. van den oever, persoonlijke communicatie mei 2021). In dit onderzoek is onderscheid gemaakt in verschillende locaties in de Noordzee, wat waardevol kan blijken door verschil in afstand van de kust. De gebruikte methodiek van dit onderzoek geeft mogelijkheid om dit onderzoek voor andere locaties in de Noordzee te herhalen.

Het onderzoek begint breed en eindigt smal. Zo wordt eerst onderzocht wat de ontwikkeling is van fytoplankton als geheel. Daarna wordt toegespitst op verschillende groepen. Deze trends zijn vergeleken met de trends van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit.

Samen met de dinoflagellaten zijn de diatomeeën, ofwel kiezelwieren, een grote component in mariene systemen wat betreft fytoplankton. Om deze reden is dit onderzoek zo afgebakend dat deze twee groepen als representatieve groepen onderzocht worden. Het overige fytoplankton valt onder de categorie “overige taxa”. Als laatst wordt dan nog gekeken naar specifieke flagellaten en de soortdiversiteit. De soortdiversiteit is aangeduid door middel van de Shannon-index, ook wel bekend als de Shannon-Weaver-index. Deze index is een maat in de ecologie voor het beschrijven van de diversiteit in soorten. Voor het berekenen van deze index is onderstaande formule gebruikt.

$$H' = -\sum_{i=1}^{S}(p_i \ln p_i)$$

N_i = het aantal individuen per soort
S = het aantal soorten
N = het totaal aantal individuen
P_i = het relatieve voorkomen van elke soort (N_i/N)

Het onderzoek betreft een methodische triangulatie, wat inhoudt dat er gebruik is gemaakt van kwantitatieve en kwalitatieve onderzoeksmethoden. Allereerst is de dataset gebruikt voor het maken van overzichtelijke grafieken, wat onderdeel uitmaakt van de beschrijvende statistiek. Vervolgens zijn de trends verder onderzocht met inductieve statistiek om de significantie van parameters door de jaren heen te bepalen.

De achterliggende theorie die van belang is voor de interpretatie van de data is bemachtigd door wetenschappelijke boeken ter beschikking gesteld door Bureau Waardenburg. Daarnaast is gebruik gemaakt van wetenschappelijke artikelen via Google Scholar. Door deze dataverzamelingsmethoden is dit onderzoek volledig te volbrengen door middel van deskresearch.

Methode monstername

De fytoplankton- en fysisch-chemische monsters zijn op de Noordzee genomen door Rijkswaterstaat. Voor fytoplankton zijn deze genomen conform het voorschrift (Rijkswaterstaat, 2016) en voor de fysisch-chemische parameters conform het voorschrift (Rijkswaterstaat, 2019). Volgens deze voorschriften worden de monsters doorgaans tussen de één en drie meter onder het wateroppervlak genomen.

3.2 Datakenmerken

De data die geanalyseerd is, is allereerst een fytoplanktondataset van 2000 tot en met 2014 die onderdeel uitmaakt van de MWTL. Daarbij is losstaande data van het MWTL van 2015 tot en met 2019 nog aan deze dataset toegevoegd. Vervolgens is er van Rijkswaterstaat fysisch-chemische data beschikbaar die geordend is voor dit onderzoek. De betreffende fytoplanktondata bevat het volgende voor alle gemonitorde locaties;

- een monstercode;
- locatiecode;
- bemonsteringsdatum;
- een code voor het compartiment waar het monster gewonnen is;
- de taxonomische naam;
- biologisch kenmerk conform Aquostandaard;
- taxonomische opmerkingen;
- het aantal getelde cellen;
- de berekende cel dichtheid;
- en de gebruikte eenheid voor de cel dichtheid.

De fysisch-chemische dataset bevat;

- de parameters (N, P, Si, temperatuur, saliniteit);
- locatiecode;
- datum;
- tijd;
- en de waarde.

De parameter P betreft totaal fosfaat. N is alleen stikstof.

Naast deze twee datasets zijn ook twee bijpassende datasets aangeleverd om de data-analyse beter te kunnen uitvoeren. De eerste bevat de volgende informatie;

- locatiecode;
- de naam;
- het waterlichaam;
- en de afstand tot de kust.

De tweede dataset bevat;

- de soortnaam;
- de hogere taxon;
- groep (diatomee, dinoflagellaat);
- en of de soort toxisch, een plaagalg of een exoot is.

Alle data voor de Noordwijkraai kan eenvoudig uit deze datasets gehaald worden om er vervolgens mee te rekenen. Met de berekeningen zijn voor fytoplankton de waardes van april tot en met september gebruikt, omdat deze maanden fytoplankton het meest frequent gemonitord is.

3.3 Betrouwbaarheid en validiteit

Met het gebruik van statistische toetsen zijn er harde conclusies getrokken en dus is de validiteit van dit onderzoek voldoende. De uitkomsten van statistische toetsen zullen altijd hetzelfde zijn, wat bijdraagt aan de betrouwbaarheid van het onderzoek. De hoofd- en deelvragen zijn representatief vanwege de afbakening. De uitkomsten van dit onderzoek geven aan hoe waardevol de MWTL is. Hierbij wordt ook duidelijk of vermindering of annulering van deze monitoring ernstige gevolgen heeft. Dit zorgt voor de waarborging van de interne validiteit van Waardenburg. De langdurige monitoring met veel beschikbare data zorgt voor een betrouwbaar onderzoek. Sommige parameters worden tijdens bepaalde jaren niet gemeten. Zo is bijvoorbeeld *Phaeocystis* in 2015 als enige van de fytoplanktonsoorten gemonitord. Hier wordt rekening mee gehouden voor de betrouwbaarheid en is in de discussie op teruggekoppeld. Ook zorgt de methodische triangulatie voor meer validiteit en betrouwbaarheid.

3.4 Beschrijvende data-analyse

De data is geanalyseerd door het uitlichten van de, in de deelvragen genoemde, trends in één raai van 2000 tot en met 2019. In plaats van het onderzoeken van alle data van twintig jaar voor de fysisch-chemische parameters, is ervoor gekozen om gemiddelden te nemen van 2000 tot en met 2003, 2008 tot en met 2011 en 2016 tot en met 2019. Deze intervallen zijn naar wens voor de opdrachtgever.

De jaren 2004 tot en met 2007 en 2012 tot en met 2015 worden dus buiten beschouwing gelaten. Dit kan worden gedaan, omdat deze tussenperiodes representatief zijn voor de jaren die wel meegenomen worden in het onderzoek. Om te bepalen of het valide is om de gemiddelden te nemen van een viertal jaren zijn er boxplots gemaakt van alle fysisch-chemische waarden per jaar. Een vuistregel die hierbij aangenomen wordt is dat het valide is om de gemiddelden te nemen op het moment dat de boxplots elkaar deels overlappen.

In Bijlage II Boxplot fysisch-chemische parameters NW2 en Bijlage III Boxplot fysisch-chemische parameters NW70, is te zien dat deze boxplots inderdaad overlappen. Hierin zijn alleen NW2 en NW70 meegenomen voor de fysisch-chemische parameters. Er is vanuit gegaan dat er voor NW10 en NW20 voor de fysisch-chemische parameters en alle locaties voor het fytoplankton een vergelijkbaar resultaat is. Het nemen van de gemiddelden maakt het eenvoudiger om trends te vergelijken en maakt grafieken overzichtelijker.

In sommige grafieken zijn alle jaren wel zichtbaar. Hier mist 2015, omdat dit jaar geen reguliere monsternames hebben plaatsgevonden. Dit jaar is alleen *Phaeocystis* gemeten.

Doordat de waarde van de dataset voor Waardenburg nog grotendeels onbekend is door het gebrek aan kennis over de dynamiek van fytoplanktonsoorten in de Noordzee, kunnen zijsprongen worden gemaakt bij interessante uitkomsten tijdens de data-analyse.

3.5 Toetsende data-analyse

De gemaakte boxplots die het nemen van gemiddelden rechtvaardigen zijn gemaakt in het programma R. Het uitvoeren van de toetsen met de bijbehorende grafieken die daar uitkomen zijn voortgekomen uit het programma Sigmaplot. Om iedere parameter te toetsen of significante verschillen in de tijdsperioden is een One-way ANOVA-toets gebruikt.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk staan alle bevindingen van de beschrijvende en toetsende statistiek. Hierin zijn een groot aantal grafieken opgenomen. Alle resultaten bevatten grafieken per locatie. Er is soms gekozen om alle grafieken in de lopende tekst op te nemen en soms staat één locatie in de lopende tekst en de rest in de bijlage. Voor de tweede optie is gekozen wanneer het de leesbaarheid van de grafieken niet ten goede komt om in de lopende tekst op te nemen, of wanneer één locatie vergelijkbaar is met de overige locaties.

4.1 De Noordwijkraai

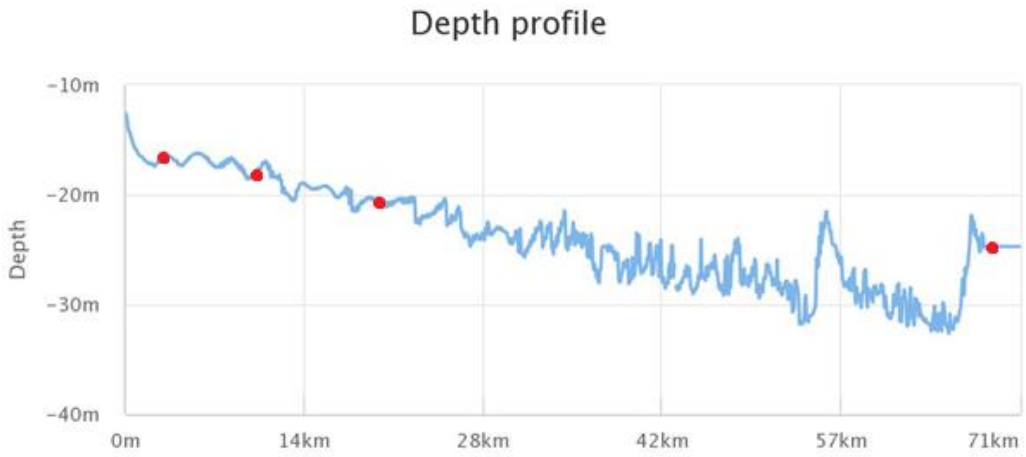
Deze paragraaf bevat literatuuronderzoek en resultaten uit de data die nodig zijn om de eerste deelvraag te beantwoorden;

Hoe heeft de Noordwijkraai er van 2000 tot en met 2019 uitgezien op basis van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit?

Allereerst volgt algemene informatie over de Noordwijkraai. Daarna is specifiek ingegaan op de data en de betrokken fysisch-chemische parameters.

4.1.1 Algemeen

De Noordwijkraai is een traject van meetstations op de Noordzee die één kilometer uit de kust start en 70 kilometer zee-inwaarts loopt. Op onderstaande Figuur 3 is weergeven hoe de diepte van dit traject er globaal uit ziet. De rode stippen in deze afbeelding staan voor de vier meetstations.



Figuur 3 Globaal diepteprofiel van de Noordwijkraai (Batymetry viewing and download service, 2021)

Locaties NW2, 10 en 20 is kustwater met ongeveer 1% Rijn- en Maaswater. Opvallend is dat NW70 zoet water aanvoer ontvangt door Engels kanaalwater.
Herkomst van water kan doorwerken op de uiteindelijke soortensamenstelling op deze locaties. Zo kunnen eutrofiëringseffecten sneller optreden op plekken met een groot aandeel rivierwater (Koeman, 2002).

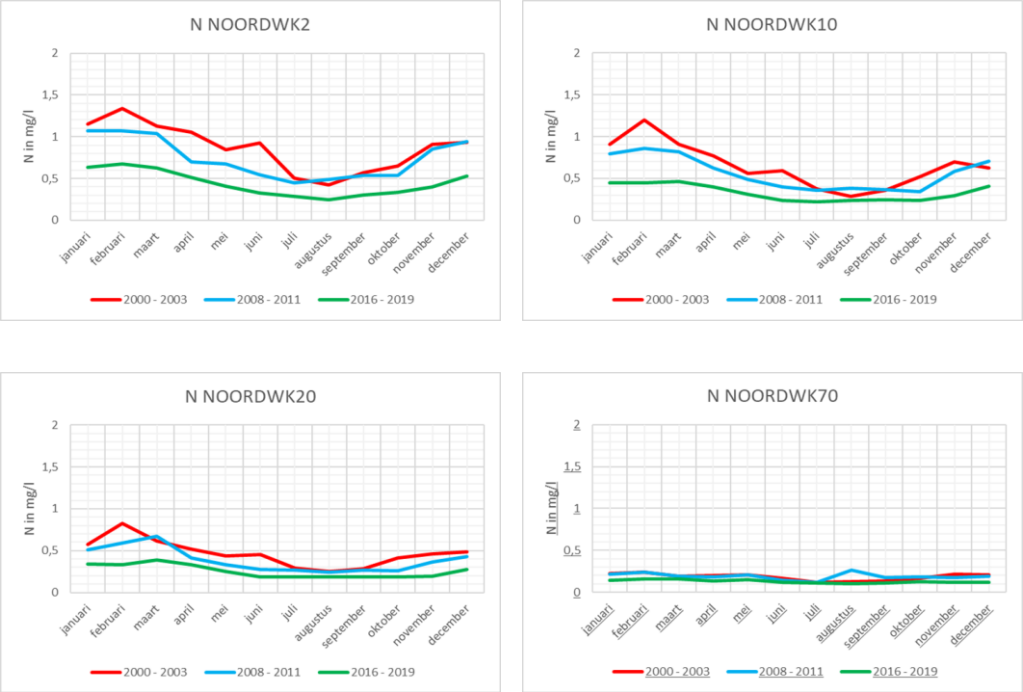
4.1.2 De fysisch-chemische samenstelling van de Noordwijkraai

Voor beantwoording van de eerste deelvraag moeten alle fysisch-chemische parameters in de Noordwijkraai visueel worden gemaakt. Er volgen in deze paragraaf een aantal grafieken die dit bereiken. De resultaten uit deze grafieken worden in deze paragraaf globaal toegelicht om daarna een goed beeld te schetsen van de veranderingen die deze parameters van 2000 tot en met 2019 hebben doorgemaakt. De trends die in deze paragraaf worden toegelicht zijn nog niet getoetst op significantie. Ook is er niet uitgebreid gekeken naar alle pieken en dalen, omdat deze door veel meer aspecten dan N, P, Si, temperatuur en saliniteit veroorzaakt kunnen worden. Als uit komende fytoplankton gerelateerde resultaten blijkt dat er een verband is tussen de parameters en fytoplankton, is er later in dit verslag dieper in de resultaten van de fysisch-chemische parameters gedoken.

Op de x-as van alle komende grafieken in deze paragraaf staan de maanden van het jaar weergegeven om zo de seizoenfluctuaties van de parameters in beeld te brengen. De eenheden voor N, P en Si zijn in milligram per liter. De temperatuur is in graden Celsius en de saliniteit is dimensieloos (DIMLSL). De saliniteit is dimensieloos, omdat deze wordt aangeduid in gram zout per kilogram water. Er zijn meer mogelijkheden om saliniteit aan te duiden, zoals bijvoorbeeld in percentage, maar dit is in dit rapport niet aan de orde.

Stikstof

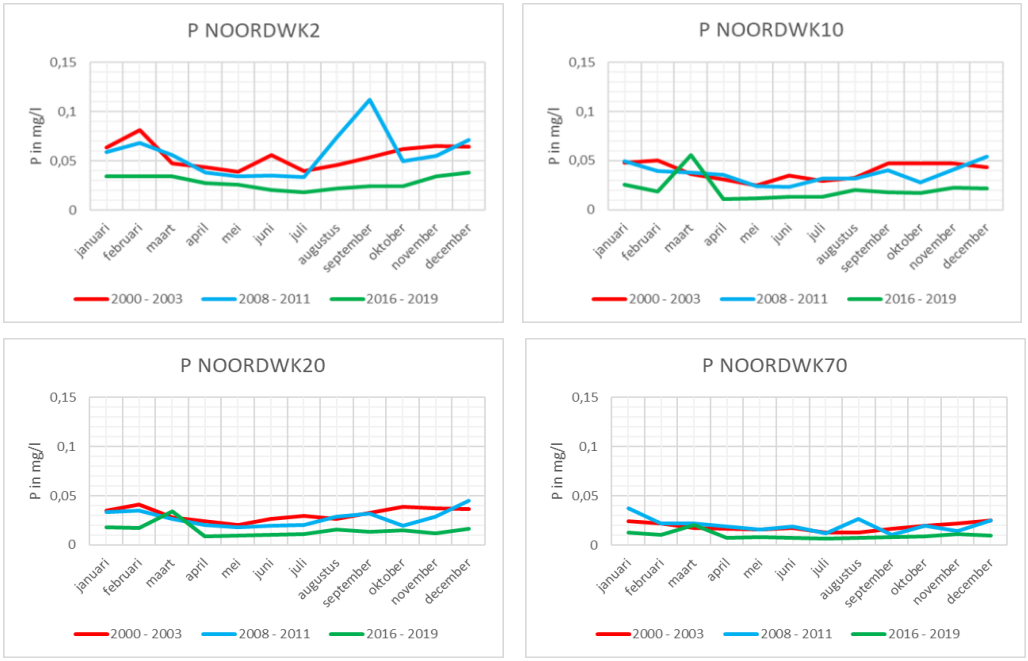
Wat allereerst opvalt in de grafieken van het stikstofverloop van Figuur 4 in onderstaande grafieken zijn de twee kleine pieken die op alle locaties terugkomen in februari en juni in de jaren 2000 – 2003. Deze zwakt in de loop der jaren af. Verder valt op dat de groene lijn consequent het laagste ligt, wat betekent dat de totale hoeveelheid stikstof door de jaren heen afneemt. Een grove schatting op basis van deze grafieken is dat het stikstofgehalte op sommige momenten met 50% is afgenomen. Ook heeft deze parameter een afvlakking op basis van twee invalshoeken. Allereest vlakt de waarde af naarmate de afstand tot de kust groter wordt. Ten tweede is er een afvlakking in de loop der tijd waar te nemen.



Figuur 4 Stikstof in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

Fosfor

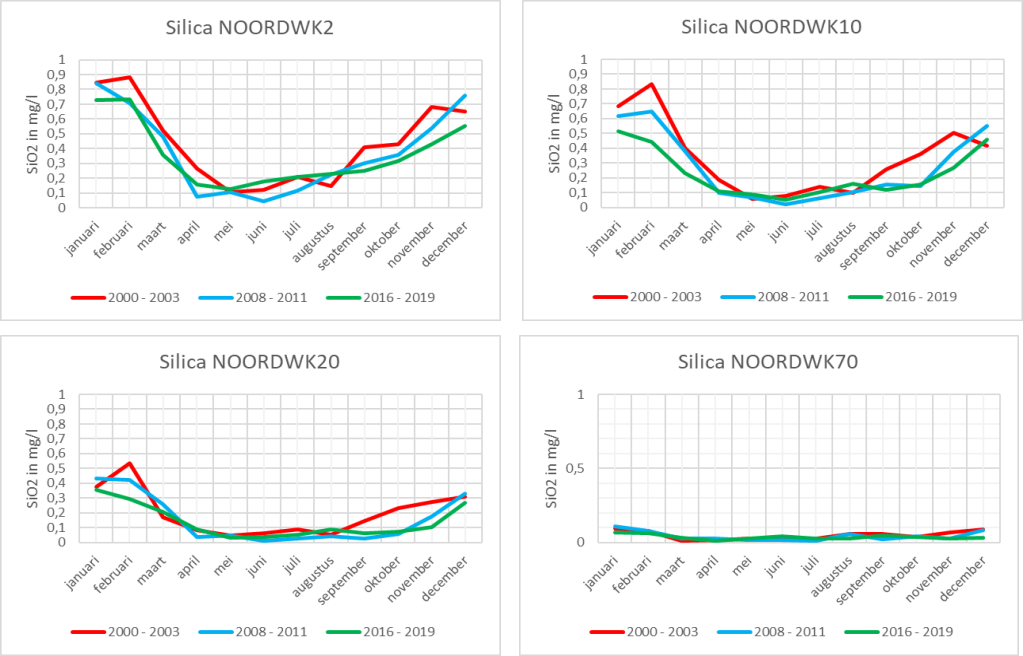
De grafieken van fosfor staan in Figuur 5. Voornamelijk dicht bij de kust is net als bij stikstof ook de twee pieken in februari en juni terug te herkennen. Van 2000 tot en met 2011 is het fosfor gehalte relatief stabiel gebleven. Vanaf 2016 is duidelijk te zien dat er een afname van dit nutriënt is in de raai. Fosfor heeft dezelfde afvlakking in afstand tot de kust als stikstof.



Figuur 5 Fosfor in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

Silica

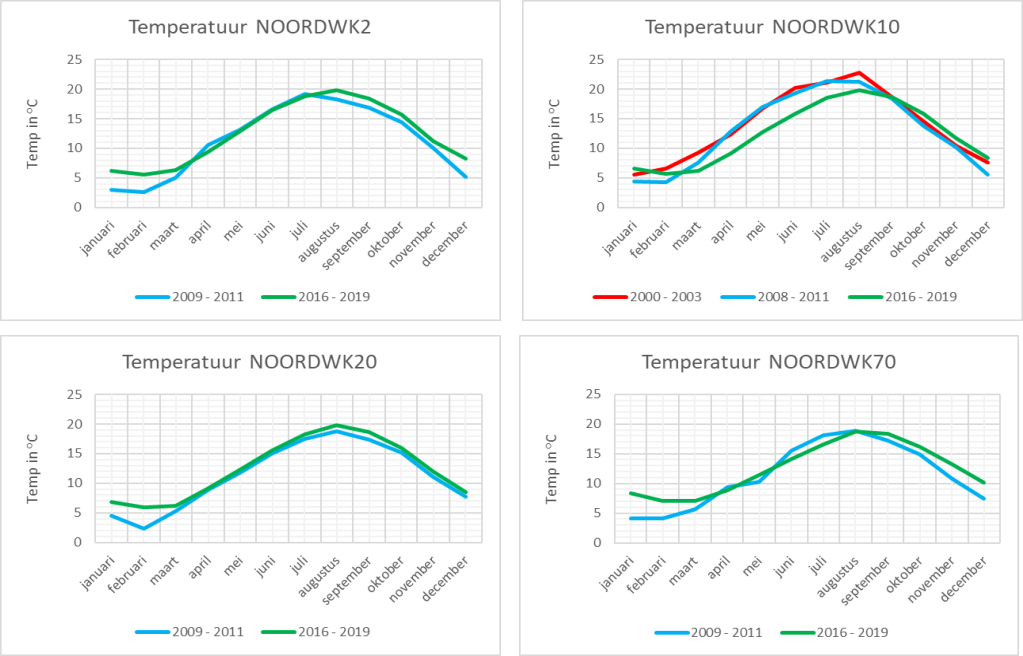
In de grafieken van silica hieronder valt direct op dat er op de locaties NW2, 10 en 20 een sterke daling is van februari tot mei en daarna weer gematigd toeneemt. In NW70 is de daling niet terug te herkennen zoals bij de andere drie locaties. De piek van silica in februari neemt verder gaand in de jaren aanzienlijk af. Verder verloopt de trend gestaag. In vergelijking met stikstof en fosfor verandert de hoeveelheid silica in de Noordwijkraai minder.



Figuur 6 Silica in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

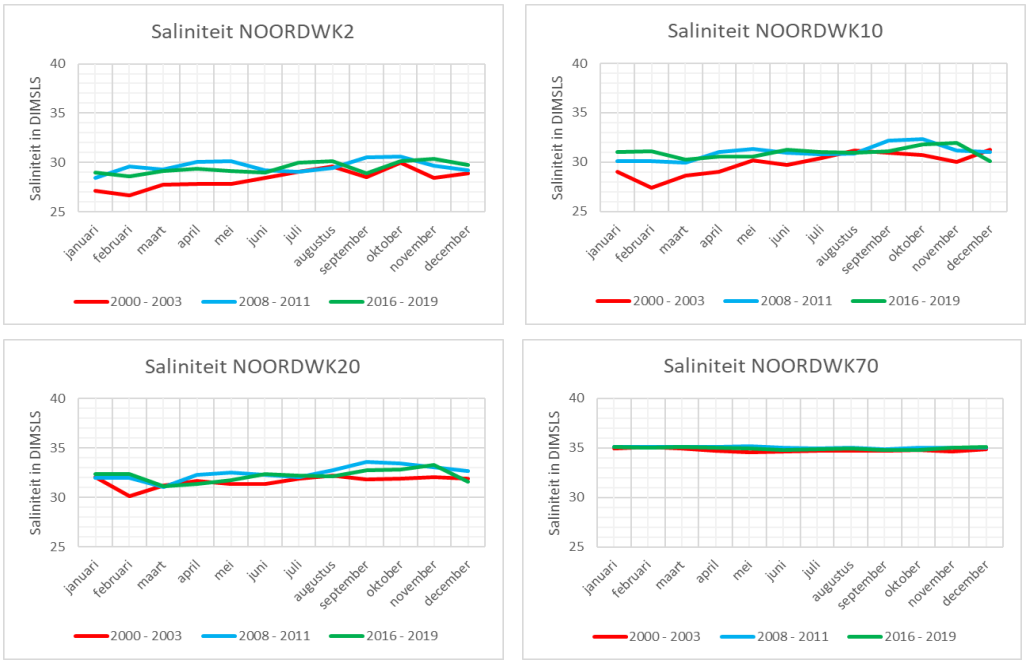
Temperatuur

Temperatuur is op NOORDWK 2, 20 en 70 niet gemeten tot 2009. Hier mist de lijn die 2000-2003 representeert. De grafieken hieronder voor de temperatuur in de Noodwijkraai laten zien dat de temperatuur langzaam maar zeker toeneemt. In de winter maanden is het grootste verschil te zien. Hier is een temperatuurtoename zichtbaar. NOORDWK10 is een uitzondering. Hier lijkt de temperatuur van 2016 tot en met 2019, met name in het voorjaar, juist af te nemen.



Figuur 7 Temperatuur in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

Saliniteit
In Figuur 8 lijkt de saliniteit vanaf 2003 wat te zijn toegenomen, maar stagneert tussen 2008 en 2019.



Figuur 8 Saliniteit in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

4.2 Fytoplankton

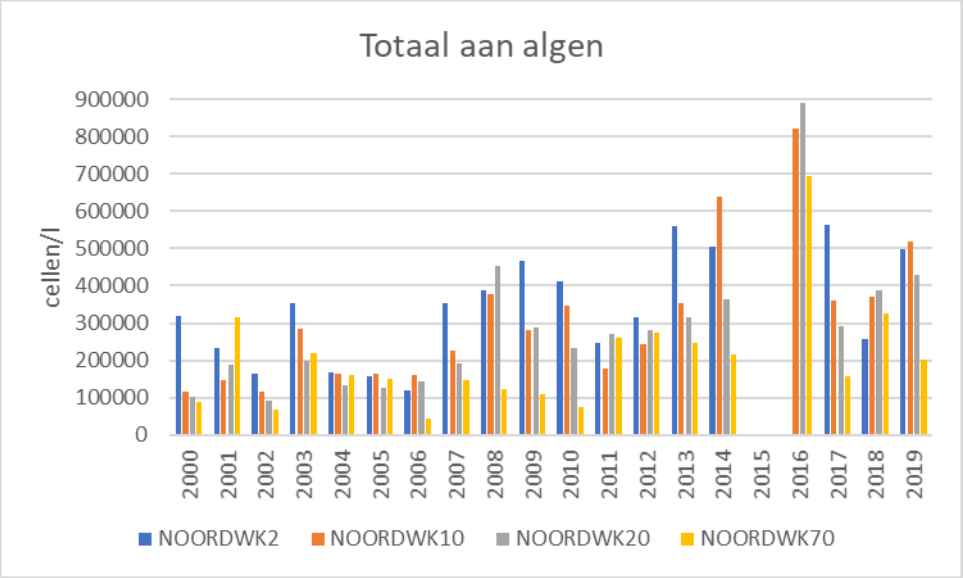
In deze paragraaf zijn de resultaten die betrekking hebben tot de volgende deelvragen uitgeschreven;

2. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van alle fytoplankton in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
3. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van diatomeeën en dinoflagellaten en “overige taxa” in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
4. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van Dictyocha, Phaeocystis en Raphidophyceae in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
5. Welke trends zijn aanwezig in soortdiversiteit in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?

4.2.1 Fytoplanktonabundantie

Deze paragraaf gaat over het totale aantal algen in de Noordwijkraai en of hier veranderingen in zichtbaar zijn. Voor interesse in de dynamiek van de fytoplanktonabundantie per maand; zie Bijlage IV Totaal aan algen per maand. Hierin is duidelijk de voorjaarspiek en de piek aan het einde van de zomer terug te herkennen, omdat de maanden op de x-as weergegeven zijn. Vooral NOORDWK2 heeft een rijke fytoplankton abundantie. De overige drie locaties verschillen minder van elkaar.

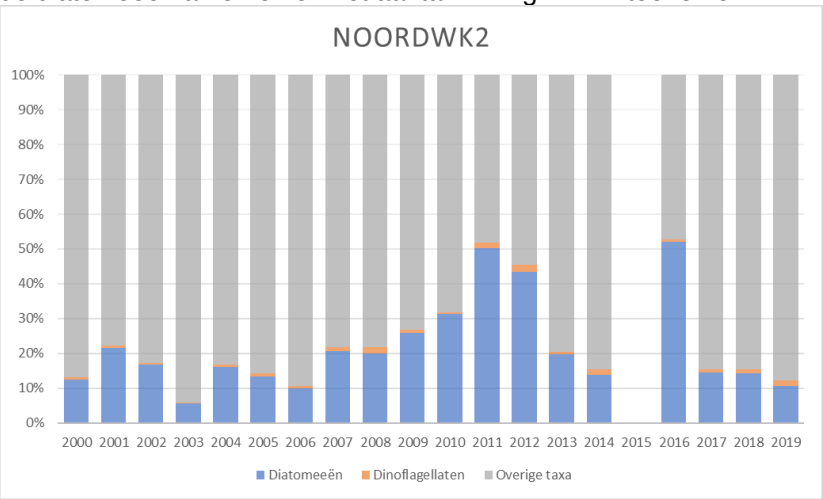
Op Figuur 9 is te zien hoe de fytoplanktonaantallen per locatie door de jaren heen zijn ontwikkeld. In vergelijking met de begin jaren 2000 lijkt hier sprake te zijn van een toename in totale aantallen. Het jaar 2015 mist hier, omdat toen alleen *Phaeocystis* is meegenomen in de tellingen.



Figuur 9 Totaal aan fytoplankton in de Noordwijkraai 2000 tot en met 2019

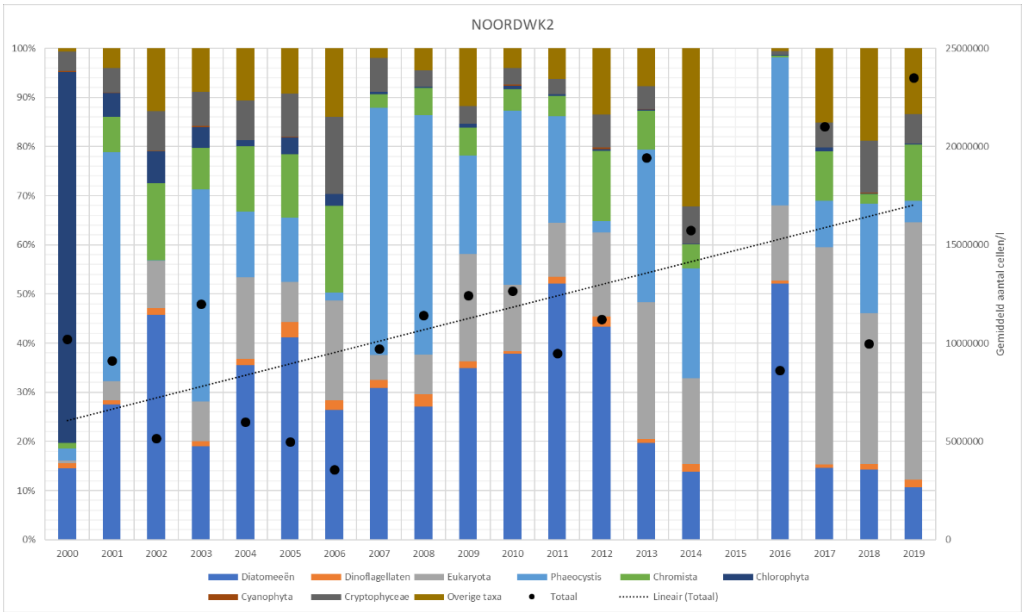
4.2.2 Fytoplanktongroepen

Omdat de fytoplanktonsamenstelling in mariene ecosystemen voornamelijk bestaan uit dinoflagellaten, diatomeeën en een aantal andere flagellaten (Hoppenrath, 2009b), is de verdeling van de diatomeeën en dinoflagellaten in de Noordwijkraai onderzocht. Echter viel op bij het maken van deze grafieken dat alle locaties een groot aandeel “overige taxa” bevatten. Hieronder staat als voorbeeld de betreffende grafiek van NOORDWK2. Op basis van deze grafiek is te stellen dat het de ratio in hoeveelheid in dinoflagellaten gelijk blijft, de diatomeeën afnemen en het aantal “overige taxa” toenemen.



Figuur 10 Fytoplanktongroep verdeling NW2

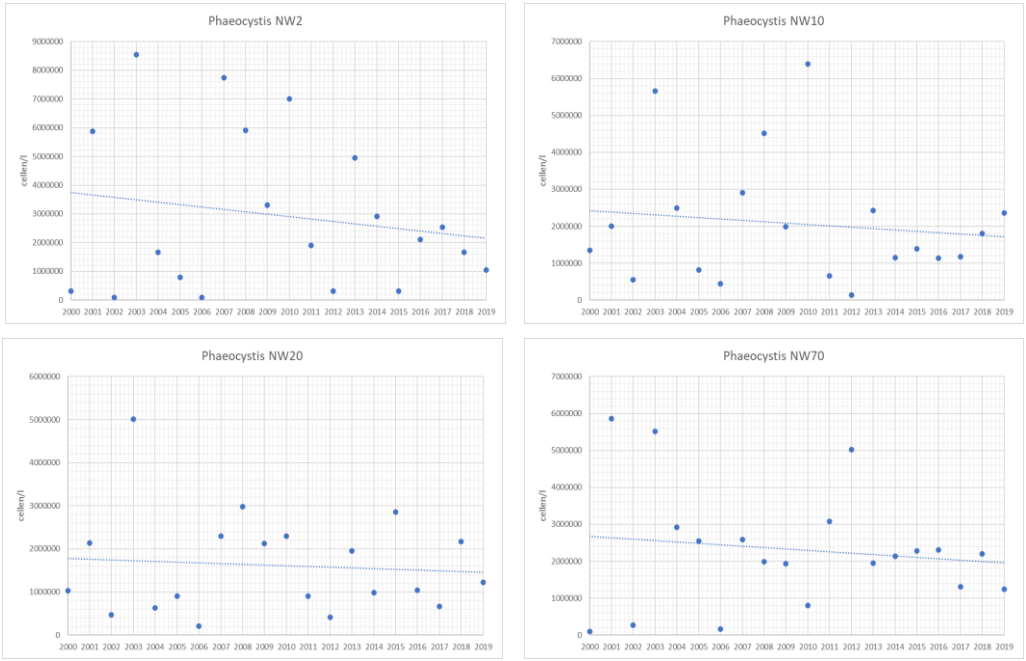
Om nader te onderzoeken welke soorten voor het grote percentage “overige taxa” zorgt, staat direct onder deze alinea een nieuwe grafiek voor NOORDWK2. Hierin staan de groepen die grotendeels de groep “overige taxa” representeren. Deze nieuwe grafiek is te vergelijken met Figuur 10 Fytoplanktongroep verdeling NW2. De zwarte punten geven het totaal aan fytoplanktoncellen weer van dat jaar. De trendlijn hoort bij deze punten. In Bijlage V Fytoplanktongroep verdeling staan de aangepaste grafieken voor alle locaties. Hierin staan de groepen dinoflagellaten, diatomeeën en de groepen die voornamelijk de “overige taxa” representeren.



Figuur 11 Fytoplanktongroep verdeling NW2 inclusief grootste aandeelhouders in “overige taxa”

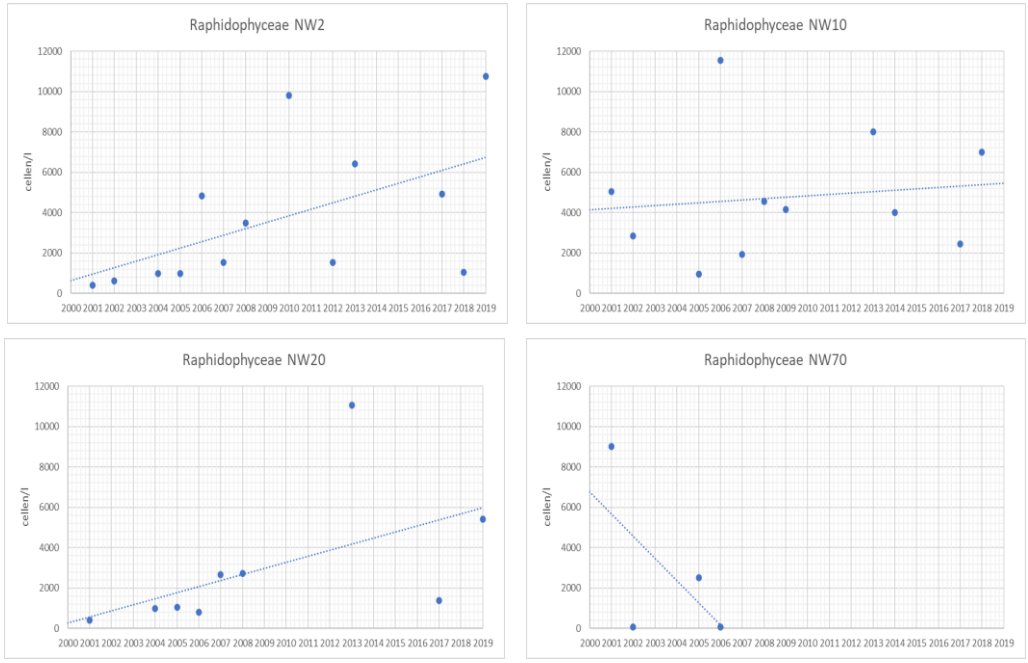
4.2.3 Fytoplanktongeslachten en -klassen

De komende bladzijden bevatten figuren die de absolute aantallen van *Phaeocystis, Raphidophyceae* en *Dictyocha* overzichtelijk weergeven in grafieken. Allereerst is in Figuur 12 de trend voor *Phaeocystis* te zien per locatie. De absolute aantallen *Phaeocystis* neemt af volgens deze grafieken.



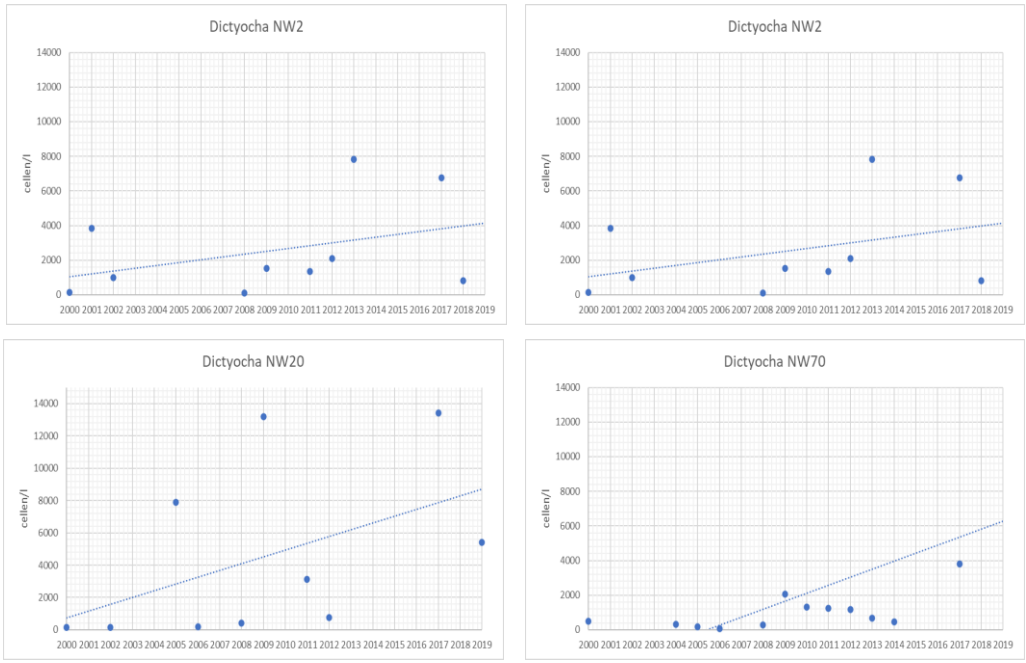
Figuur 12 Phaeocystis aantallen in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

De totale hoeveelheid *Raphidophyceae* neemt op basis van Figuur 13 op de volgende bladzijde toe, met uitzondering van NW70. Omdat hier maar vier metingen van bekend zijn, kan niet met veel betrouwbaarheid gesteld worden dat deze trend inderdaad zo steil afneemt als de grafiek doet geloven.



Figuur 13 Raphidophyceae aantallen in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

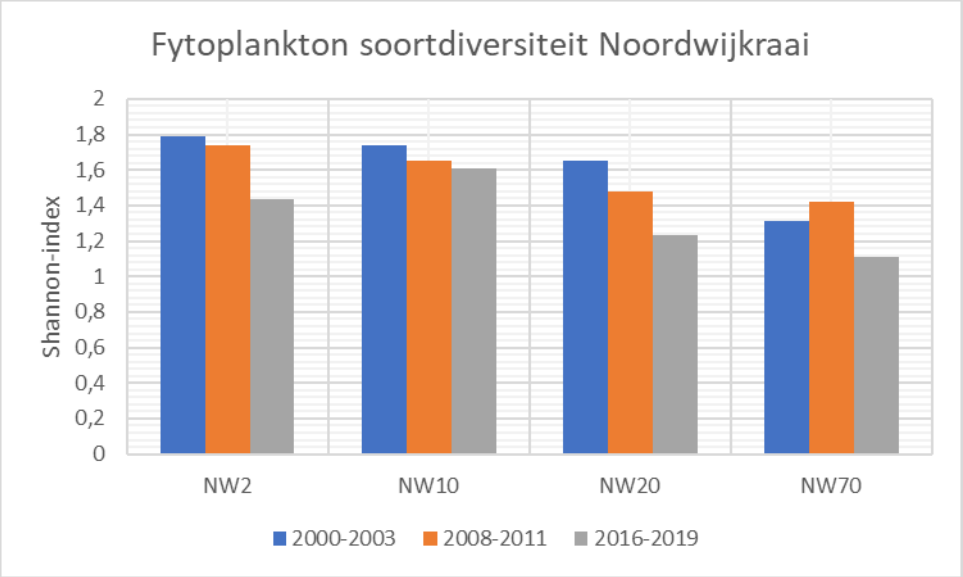
Op onderstaande Figuur 14 is te zien dat de *Dictyocha* trendlijn stijgt op alle locaties over de afgelopen jaren.



Figuur 14 Dictyocha aantallen in de Noordwijkraai van 2000 t/m 2019

4.2.4 Soortdiversiteit

In onderstaande Figuur 15 is te zien dat de soortdiversiteit voor alle locaties over het totale tijdsbestek afnemen.



Figuur 15 Fytoplankton soortdiversiteit per locatie 2000 tot en met 2019

4.3 Significante verbanden

In voorgaande paragrafen is al een beeld geschetst over de trend van de fysisch-chemische parameters, de groepen diatomeeën, dinoflagellaten, “overige taxa”, *Dictyocha, Phaeocystis* en *Raphidophyceae.* Om te bepalen of de uitkomsten met elkaar vergeleken kunnen worden is het eerst van belang het verloop tussen de drie tijdsperioden van al deze parameters en fytoplankton op significantie te toetsen.

In de volgende tabel staat een overzicht die weergeeft of de periodes een significant verband hebben. De pijlen in de laatste kolom geven aan of de parameter door de tijd een toename, afname of geen verschil ondervindt, ongeacht of deze significant is. Bij het toekennen van deze pijl is steeds de mediaan in alle drie de tijdsperioden met elkaar vergeleken. De enige uitzondering hierbij is *Phaeocystis.* De tijdsperioden die hier bij horen zijn op alle locaties niet significant verschillend. Wel is hier steeds te zien dat de uitschieters in de loop der jaren minder hoog worden. Dit betekent dat de bloeien in de latere jaren steeds minder cellen bevatten. De pijl van *Phaeocystis* geeft dit weer. Als twee periodes hetzelfde teken (A of B) hebben zijn deze periodes niet significant verschillend. Een uitgebreide variant in de vorm van boxplots is te vinden in Bijlage VI Totale fytoplankton toets uitkomsten in boxplot alle locaties tot en met Bijlage XI NOORDWK 70 toets uitkomsten in boxplot.

Tabel 1 Significante verbanden alle onderzochte parameters

	2000-2003	2008-2011	2016-2019	
		NOORDWK2		
Stikstof	A	A	B	↓
Fosfor	A	A	B	↓
Silica	A	A	A	↔
Temperatuur	-	A	A	↑
Saliniteit	B	A	A	↑
Totaal fytoplankton	A	AB	B	↑
Diatomeeën	A	A	A	↔
Dinoflagellaten	A	A	A	↔
“overige taxa”	A	A	B	↑
Dictyocha	A	A	A	↑
Phaeocystis	A	A	A	↓
Raphidophycea	A	A	A	↑
Soortdiversiteit	A	A	B	↓
		NOORDWK10		
Stikstof	A	A	B	↓
Fosfor	A	A	B	↓
Silica	A	A	A	↔
Temperatuur	A	AB	B	↓
Saliniteit	A	B	AB	↑
Totaal fytoplankton	B	A	A	↑
Diatomeeën	A	A	B	↔
Dinoflagellaten	B	A	A	↑
“overige taxa”	A	A	B	↑
Dictyocha	-	-	-	↑
Phaeocystis	A	A	A	↓
Raphidophycea	A	A	A	↑
Soortdiversiteit	A	AB	B	↓
		NOORDWK20		
Stikstof	A	A	B	↓

Fosfor	A	A	B	↓
Silica	A	B	AB	↓
Temperatuur	-	A	A	↔
Saliniteit	A	B	AB	↑
Totaal fytoplankton	B	A	A	↑
Diatomeeën	A	AB	B	↑
Dinoflagellaten	A	AB	B	↑
“overige taxa”	B	A	A	↑
Dictyocha	-	-	-	↑
Phaeocystis	A	A	A	↓
Raphidophycea	A	A	A	↑
Soortdiversiteit	A	A	A	↓
		NOORDWK70		
Stikstof	A	AB	B	↓
Fosfor	A	A	B	↓
Silica	A	B	A	↔
Temperatuur	-	A	A	↓
Saliniteit	B	A	A	↑
Totaal fytoplankton	AB	A	B	↑
Diatomeeën	A	AB	B	↔
Dinoflagellaten	A	AB	B	↑
“overige taxa”	B	A	A	↑
Dictyocha	A	A	A	↓
Phaeocystis	A	A	A	↓
Raphidophycea	-	-	-	-
Soortdiversiteit	A	A	A	↔

De uitkomsten in de tabel zijn per locatie weergegeven om in één opslag te kunnen zien wat er op alle vlakken voor veranderingen plaatsvinden per locatie.

Dit hele hoofdstuk samenvattend gebeurt er per parameter het volgende; Er is een dalende trend zichtbaar bij N en P, evenals de pieken van N/P-indicatorsoort *Phaeocystis* tijdens de bloeiperiode. *Phaeocystis* blijft in aantallen wel gelijk. Silica ondervindt geen verandering bij NW2, 10 en 70. Bij NW20 neemt het af. De diatomeeën blijven gelijk, op NW20 na. Hier neem het toe. Dinoflagellaten nemen overal toe, behalve bij NW2. Hier blijft het gelijk. “Overige taxa” neemt overal toe.

Dictyocha neemt af op NW70 en neemt toe bij de andere locaties. *Raphidophyceae* neemt op de drie getoetste locaties (NW2,10 en 20) toe. *Phaeocystis* blijft overal gelijk. Het totaal aantal fytoplanktoncellen in de Noordwijkraai nemen ook toe. De soortdiversiteit neemt af in de Noordwijkraai.

5 Discussie

In dit hoofdstuk komen alle interpretaties van de onderzoeksresultaten en de limitaties van het onderzoek aan bod. De beschrijvende en toetsende statistiek is samen behandeld.

5.1 Interpretatie van de resultaten

Bij de interpretatie van de resultaten zijn de opvallende onderzoeksresultaten toegelicht. Daarna volgen mogelijke verklaringen voor deze opvallende resultaten. Ook staan in deze paragraaf overige resultaten die niet direct antwoord geven op een deelvraag, maar wel belangrijk zijn voor de interpretatie daarvan.

5.1.1 De fysisch-chemische parameters

Allereerst opvallend bij de fysisch-chemische parameters zijn de pieken die bij fosfor terug te herkennen zijn. Gezien het feit dat deze parameter de P-totaal waarde weergeeft is het mogelijk dat deze te maken hebben met een grote hoeveelheid zwevend stof op het moment van monstername. Eerder is gezegd dat eutrofiëringseffecten sneller kunnen optreden bij locaties met een groot aandeel rivierwater (Koeman, 2002). Met deze redenering kan dit dan voorkomen bij NW70. Dit is echter niet het geval. Waarschijnlijk is het Engels kanaalwater wat deze locatie grotendeels ontvangt niet nutriëntrijk genoeg.

Verder is de temperatuur van NW10 opvallend. De laatste tijdsperiode 2016 tot en met 2019 lijkt de temperatuur hier af te nemen. De statistische toets bevestigt dit ook. Mogelijk ligt de oorzaak hiervan bij de stroming van de boven- en onderstroom van dit water. Door turbulentie van het water kan tijdens de monstername meer invloeden van de onderstromen ervaren worden.

Silica wordt door diatomeeën gebruikt voor de opbouw van de celwand en is hierdoor een belangrijk element voor deze groep (Yool, 2003). Dit is waarschijnlijk de reden dat de silica grafieken in paragraaf De fysisch-chemische samenstelling van de Noordwijkraai4.1.2 een diepe daling maken na de winter. Dit is het moment dat de diatomeeën opkomen en dus silica nodig hebben. De hoeveelheid aan silica in het water lijkt stabiel en lijkt vooralsnog geen limiterende factor te zijn voor diatomeeëngroei in de Noorwijkraai. Als laatst is bij de grafiek van NW70 te zien dat deze een minder diepte daling heeft in vergelijking met NW2, 10 en 20. Bij NW70 kan het zijn dat er minder diatomeeën voorkomen en dus minder silica nodig is op deze locatie.

Tenslotte is er volgens onderzoek duidelijk effect op de abundantie van fytoplankton op basis van de saliniteit (Ahel, 1996). Uit het onderzoek van Ahel komt naar voren dat fytoplankton, met chlorofyl-a als meetwaarde, toeneemt bij brak water, dus bij een lagere saliniteit. De saliniteit geeft in het onderzoek van de Noordwijkraai een geringe verandering aan, maar neemt wel significant toe. Op basis van deze resultaten gaat het tegen de verwachtingen in dat de fytoplanktonaantallen toenemen.

Als laatst is de reden voor de lagere saliniteit op de locaties dicht bij de kust in vergelijking met verder van de kust te verklaren, doordat deze meer gevoed worden door zoet water en dus minder zouten bevat.

5.1.2 Totaal fytoplankton

Zoals in Tabel 1 van paragraaf 4.3 of de bijbehorende boxplot in Bijlage VI Totale fytoplankton toets uitkomsten in boxplot alle locaties te zien is, neemt het totaal aan fytoplanktonaantallen toe. Dit is tegenstrijdig met het beeld dat in de inleiding geschetst is met betrekking tot het chlorofyl-a gehalte. Hier is namelijk gezegd dat deze in de afgelopen dertig jaar een lichte neerwaartse trend toont, terwijl uit dit onderzoek blijkt dat de absolute aantallen toenemen. Dit kan te maken hebben met een groter aantal kleine fytoplanktoncellen (die vaak, maar niet altijd, meer chloroplasten hebben) tegenover een vermindering grote fytoplanktoncellen. Hierdoor nemen de aantallen toe, maar neemt het chlorofyl-a gehalte niet per se toe. Omdat de trend in fytoplanktonaantallen tegen de verwachting in is ten opzichte van het chlorofyl-a gehalte, is er nog een toets uitgevoerd om de trend in de jaren beter te vergelijken. Twee dezelfde figuren zijn eenvoudiger te vergelijken dan boxplots van totale fytoplanktonaantallen en de lijngrafiek van chlorofyl-a. De uitkomsten van de statistische toets in de vorm van een boxplot is te vinden in Bijlage XII Chlorofyl-a toets uitkomsten in boxplot alle locaties. Ook hier is te zien dat er een lichte dalende trend zichtbaar is bij chlorofyl-a.

Er zit minder N en P in het ecosysteem, chlorofylwaardes laten een lichte daling zien, en toch blijken aantallen aan fytoplanktoncellen toe te nemen. Wat er precies gebeurt is nog niet duidelijk, maar wel kan hiermee worden aangetoond dat chlorofyl-a niets zegt over de fytoplanktongemeenschap en veranderingen die daarbinnen plaatsvinden. Eerder onderzoek laat hetzelfde beeld zien (Fernandez, 2015). Chlorofyl-a is de parameter die gebruikt wordt om de staat van fytoplankton een cijfer te geven in het KRM. Dit onderzoek maakt duidelijk dat chlorofyl-a als indicator geen totaalbeeld geeft over de staat van fytoplankton in de Noordzee.

De soortdiversiteit neemt ook significant af, wat betekent dat er meer fytoplanktoncellen van dezelfde soorten in de waterkolom komen.

Wat als laatste opvallend is met betrekking tot de hoeveelheid totale fytoplankton, is dat deze dus toeneemt, maar de hoeveelheid nutriënten afneemt. Mogelijk is er een grenswaarde van N en P, die zelfs met de afname door de tijd nog niet bereikt is. Zonder die grenswaarde te overschrijden heeft fytoplankton altijd genoeg nutriënten.

5.1.3 Aandeel “overige taxa”

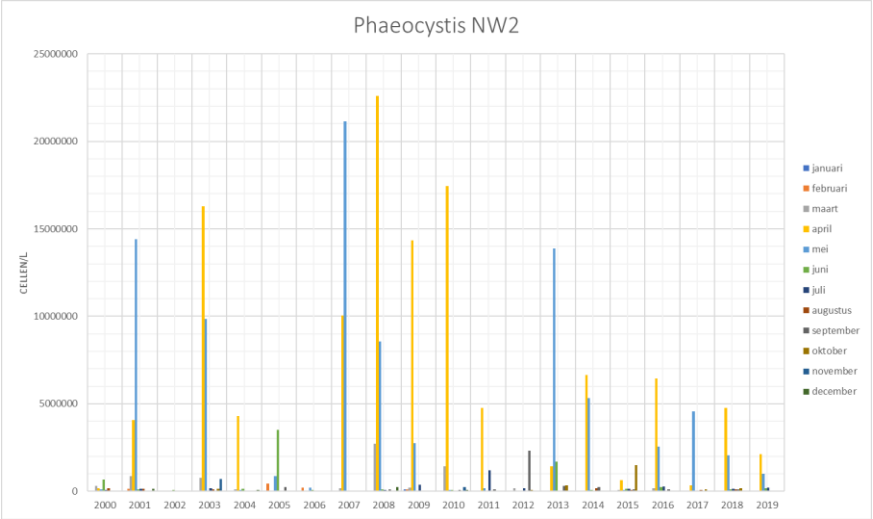
In paragraaf 4.2.2 komt naar voren dat in de fytoplanktonsamenstelling het aandeel “overige taxa” groter is dan verwacht. Met name de groepen *Chromista, Eukaryota* en het geslacht *Phaeocystis* zijn dominant op alle locaties. Hoogstwaarschijnlijk is dit doordat deze groepen zeer abundant in aantallen kunnen zijn.

De groepen *Chromista* en *Eukaryota* omvatten allerlei kleine (groen)algen, die vaak in grote getalen aanwezig kunnen zijn (A. van den oever, persoonlijke communicatie mei 2021).

Met de eenheid cellen/l is te zien dat de kleine organismen die in grote getalen voorkomen, het grootste aandeel van de totale hoeveelheid in de grafieken van Bijlage V Fytoplanktongroep verdeling. Diatomeeën en dinoflagellaten zijn in mindere mate aanwezig, maar zijn wel groter in massa. Met biomassa als eenheid zal er daarom een verdeling te zien zijn waar diatomeeën en dinoflagellaten een groter deel van het totaal representeren.

5.1.4 Phaeocystis

Phaeocystis neemt ook een groot aandeel van de totale verdeling fytoplankton in beslag. Deze flagellaat staat erom bekend grote bloeien te vormen waarbij het in een korte tijd een groot percentage van het totaal voorkomende soorten in beslag neemt en vervolgens de rest van het jaar niet meer in die mate aanwezig is (Peperzak, 2002). Als dit wordt uitgetrokken over een volledig jaar kan dit een vertekend beeld geven. Onderstaande grafiek geeft dit weer.



Figuur 16 Phaeocystis NW2 maand/jaar

Deze grafiek duidt aan dat het aandeel *Phaeocystis* in de fytoplanktonverdeling inderdaad wordt veroorzaakt door de bloeien die deze soort ondervinden in de maanden april en mei. In vergelijkbare grafieken uit 2000 is te zien dat deze bloei voornamelijk in mei tot en met juni was (Koeman, 2002). Op basis van deze resultaten kan gesteld worden dat de *Phaeocystis* bloeien eerder in het voorjaar voorkomen. De aantallen *Phaeocystis* per jaar blijven volgens de toets uitkomsten gelijk. De aantallen tijdens de bloeien nemen wel af.

Een verklaring hiervoor kan zijn dat deze soort tijdens de bloeiperiode wel een effect ervaart van de verminderde hoeveelheid nutriënten N en P en daardoor eerder aan het afbreekproces van de cellen begint.

Opvallend is dat vooral *Phaeocystis* nationaal gezien en gemonitord wordt als soort die veel gevaar met zich meebrengt, terwijl de grootte van de bloeien de afgelopen jaren afneemt.
Door de minder extreme bloeien van *Phaeocystis* zou gezegd kunnen worden dat de het goed gaat met het gevaar van plaagsoorten in de Noordzee. Onterecht dus, want andere plaagsoorten die minder of niet in de gaten gehouden worden kunnen net als *Raphidophyceae* en *Dictyocha* toenemen. Op basis hiervan kan gesteld worden dat *Phaeocystis* als enige ecosysteemindicator niet volstaat.

5.1.5 Raphidophyceae en Dictyocha

Beide zijn meegenomen in het onderzoek vanwege de zorgen over het herhaaldelijker tegenkomen tijdens determinatie afgelopen jaren. Uit deze resultaten blijkt dat de zorgen terecht zijn, aangezien er zeker een toename van deze soorten zichtbaar is.

In Nederland zijn tot op heden geen bloeien bekend van *Dictyocha.* Wel is eind jaren ’90 een bloei van *Raphidophyceae* waargenomen op NOORDWK10 (de Boer, 2006). Ook is bekend dat *Dictyocha* op andere plekken in de wereld al voor bloeien zorgt (Jochem, 1989). Het vóórkomen van bloeien is in toekomst mogelijk door veranderingen in het milieu, die wellicht gunstig zijn voor deze soorten.

5.2 Limitaties van het onderzoek

Factoren die mogelijk invloed hebben op de betrouwbaarheid en validiteit op dit onderzoek komen grotendeels bij de onderzoeksmethode vandaan. Zo is allereerst de groep ‘*biota*’ uit de fytoplanktondataset verwijderd. De reden hiervoor is dat deze groep na 2013 is toegevoegd aan de tellingen. Wanneer analisten niet weten of een cel een alg is, of dat het überhaupt leeft, is het aan deze groep toegevoegd. Het behouden van deze groep in de data geeft dan onbetrouwbare resultaten in het onderzoek.

Als tweede limitatie is het gebruik van de eenheid cellen/l voor fytoplankton te noemen. Dit geeft een vertekend beeld van het fytoplankton, omdat deze erg kunnen verschillen in grootte en massa.

In eerste instantie was het de bedoeling om het geslacht *Alexandrium* ook mee te nemen in het onderzoek, omdat dit een bekend potentieel toxisch geslacht is in de Noordzee. Het is bekend dat dit geslacht in het verleden extreme bloeien heeft veroorzaakt. Bijvoorbeeld die in Ouwerkerkse kreek waarbij de beoogde grenswaarde van 100 cellen per liter overschreden werd tot ruim een miljoen cellen per liter (Burson A. M., 2013). Ook is dit geslacht een veroorzaker van *paralytic shellfish poisoning* bij mensen die zich uit in symptomen als: overgeven, diarree en benauwdheid.

Extreme gevallen kunnen tot overlijden zorgen (Goldman, 2011). Echter was er te weinig data beschikbaar voor de Noordwijkraai om dit geslacht mee te kunnen nemen in dit onderzoek.

Verder is de weinige data voor de *Dictyocha* en *Raphidophyceae* een aandachtspunt. Hierdoor zijn de uitkomsten van deze toetsen minder betrouwbaar in vergelijking met de overige toetsen. Op dit punt na heeft de langdurige monitoring met veel beschikbare data gezorgd voor een betrouwbaar onderzoek.

De laatste limitatie van het onderzoek is het meenemen van chlorofyl-a in de discussie. Achteraf gezien was het een goede keus geweest om deze al in de deelvragen als biologische parameter op te nemen. Hier is in het begin van het project niet voor gekozen omdat chlorofyl-a al veelal onderzocht is als fytoplanktonindicator en dit onderzoek er juist over gaat om andere fytoplankton kennis op te doen. Nu de uitkomst van de resultaten weergeeft dat chlorofyl-a weinig zegt over de staat van fytoplankton in het ecosysteem, was het beter geweest om deze vanaf het begin mee te nemen voor de vergelijking met de overige resultaten. De vergelijking met het totaal aan fytoplanktonaantallen is nu in de interpretatie van de resultaten opgenomen.

6 Conclusie

Het beantwoorden van de onderzoeksvraag en terugkoppeling op de doelstelling staan centraal in dit hoofdstuk. Om deze reden is deze vraag samen met de bijbehorende deelvragen hieronder nog een keer te lezen. De hoofdvraag wordt dankzij interpretatie van de deelvragen uit hoofdstuk 5 beantwoord. Het hoofdstuk sluit af met terugkoppeling op de doelstelling.

Welke fytoplankton (soorten- en groepen) trends zijn aanwezig in de vier meetstations van de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019 en welke van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit zijn belangrijk voor de ontwikkeling van het fytoplankton (soorten- en groepen)?

De hoofdvraag is op te delen in de volgende sub-vragen;

1. Hoe heeft de Noordwijkraai er van 2000 tot en met 2019 uitgezien op basis van de fysisch-chemische parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit?
2. Welke trend is aanwezig bij het voorkomen van alle fytoplankton in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
3. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van diatomeeën en dinoflagellaten en “overige taxa” in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
4. Welke trends zijn aanwezig bij het voorkomen van *Dictyocha, Phaeocystis* en *Raphidophyceae* in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
5. Welke trends zijn aanwezig in soortdiversiteit in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?
6. Welk verband is er tussen parameters N, P, Si, temperatuur en saliniteit en de opvallende trends van fytoplanktonsoorten- en groepen in de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019?

Het eerste deel van de hoofdvraag gaat in op de trends die aanwezig zijn op de vier meetstations van de Noordwijkraai van 2000 tot en met 2019.

Op basis van de resultaten is de concluderen dat alle chemische parameters; N, P, Si en saliniteit een afvlakking doormaken naarmate de afstand tot de kust groter wordt. Ook valt op dat stikstof en fosfor allebei consequent in waarde zijn afgenomen. De temperatuur blijkt grotendeels gelijk door de jaren heen voor alle locaties. Een uitzondering hierop zijn de maanden december, januari en februari. Hier is een temperatuurtoename zichtbaar. De saliniteit blijft grotendeels gelijk.

Op basis van de toetsen klopt het beeld wat de beschrijvende statistiek geeft over de parameters N en P. Silica maakt alleen bij NW 2 een significante verandering door. Temperatuur blijkt op basis van de toetsen op NW2 toe te nemen, op NW10 en NW70 af te nemen en op NW20 blijft het gelijk.

Figuur 9 Totaal aan fytoplankton uit paragraaf Fytoplanktonabundantie geeft aan dat de fytoplanktonaantallen langzaam maar zeker toenemen. De uitgevoerde toets bevestigd dat er een significante toename is in absolute aantallen van 2000 tot en met 2019.

De grafieken van de beschrijvende statistiek geven het beeld dat de ratio van diatomeeën, dinoflagellaten en “overige taxa” zeker veranderen. Zo lijken de diatomeeën ruimte te maken voor de “overige taxa”. Het aandeel dinoflagellaten blijft gelijk.

De toetsen leggen vast dat de dinoflagellaten op NW2 gelijk blijven en op de andere drie locaties toeneemt. De diatomeeën nemen alleen op NW20 toe en blijven verder gelijk. Het aantal “overige taxa” neemt overal toe. Van de drie onderzochte flagellaten neemt *Phaeocystis* af terwijl *Dictyocha* en *Raphidophyceae* toenemen volgens de grafieken in paragraaf 4.2.3. De uitkomsten van de toetsen bevestigen dit voor *Dictyocha* en *Raphidophyceae*. Alleen lijkt *Dictyocha* in NW70 af te nemen volgens deze toetsen. *Phaeocystis* blijft volgens de toetsen gelijk, maar neemt in de bloeiperiode in aantallen af. De geringe hoeveelheid monsters van *Dictyocha* en *Raphidophyceae* zorgen ervoor dat de uitkomsten van de toetsen van *Dictyocha* en *Raphidophyceae* minder betrouwbaar zijn dan de uitkomsten van *Phaeocystis*.

Op alle onderzochte locaties neemt de soortdiversiteit significant af, behalve bij NW70. Hier blijft de soortdiversiteit gelijk. Er komen dus meer cellen voor van dezelfde soorten.

Een verband wat steeds terug te herkennen is op alle locaties is de afname van de nutriënten N en P en de toename van het totale fytoplankton. Samen met de hoger wordende saliniteit gaat het tegen de verwachtingen in dat de totale fytoplankton getallen toenemen. Door de afhankelijkheid van diatomeeën op silica zou volgens de verwachting de silica trend neerwaarts zijn wanneer die van diatomeeën toeneemt. Op NW2,10 en 70 blijven beide parameters gelijk. Op NW20 is een afname van silica en toename van diatomeeën volgens de verwachtingen terug te zien in de toets uitkomsten.

Slotconclusie

Het tweede deel van de hoofdvraag gaat in op de rol die de fysisch-chemische parameters hebben bij de ontwikkeling van fytoplankton. Dit onderzoek geeft een hoop resultaten die tegen de verwachtingen in zijn gegaan. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat niet één specifieke fysisch-chemische parameters aan te wijzen is die belangrijk is voor de ontwikkeling van fytoplankton. De één is gevoeliger voor bepaalde parameters dan de ander (zoals bijvoorbeeld *Phaeocystis* met N en P), maar er vindt altijd een wisselwerking plaats tussen de parameters zoals in het theoretisch kader al beschreven is.

Afsluitend wordt er in de conclusie teruggekoppeld op het doel van het onderzoek. Het doel is het verkrijgen van kennis over de trends in samenstelling en abundantie van de fytoplanktongroepen en de relatie die deze fytoplanktontrends hebben met het abiotisch leefmilieu in de Noordwijkraai over de periode 2000 tot en met 2019.

Dankzij dit onderzoek ligt er nu een basiskennis over de onderzochte trends om in de toekomst verder mee te kunnen werken. Het doel van dit onderzoek is daarmee bereikt. Een aanbeveling voor toekomstig onderzoek om nog verder in te gaan op dit doel is in het volgende hoofdstuk te lezen.

7 Aanbeveling

De aanbeveling is gericht aan de betrokkenen bij fytoplanktonmonitoring in de Noordzee. Het onderzoek is gestart vanwege de verminderde monitoring van de MWTL en de bijkomende vraag van Bureau Waardenburg hoe waardevol de data is die de MWTL de afgelopen twintig jaar heeft geleverd.

Dit onderzoek heeft aangetoond dat er naast chlorofyl-a en *Phaeocystis* meer aspecten van belang zijn om een volledig beeld te schetsen van de fytoplanktondynamiek in de Noordzee. Er zullen hiervoor meerdere parameters gezamenlijk onderzocht moeten worden. Dit onderzoek heeft al een aantal voorbeelden genoemd van mogelijk belangrijke groepen. De data van de MTWL maakt het mogelijk om potentiële plaagsoorten in de gaten te houden. Dit is één van de voordelen die een langdurige, uitgebreide en unieke monitoring als de MTWL met zich meebrengt. Door de langdurige monitoring voort te zetten, neemt de waarde van deze data verder toe. Fytoplankton is als primaire producent de basis van de ecologie in de Noordzee. Kennis en inzicht hierin is daarom van belang voor het gehele ecosysteem. Om deze reden is de aanbeveling na dit onderzoek dat het waardevol is om de MWTL draaiende te houden zoals dat van 2000 tot en met 2019 gebeurd is.

Hiernaast zijn er nog een drietal bijkomstigheden die geadviseerd worden. Allereerst is het aan te raden om het geslacht *Alexandrium* in de gaten te houden vanwege de mogelijke gevolgen die deze soort met zich mee kan brengen zoals extreme bloeien en het mogelijk oplopen van *paralytic shellfish poisoning* bij mensen. Inzicht in de ontwikkelingen kunnen zorgen dat het optreden van *Alexandrium* tijdig kan worden opgemerkt.

Vervolgens is het interessant om nader onderzoek te doen naar de verschuiving van de bloeiperiode van *Phaeocystis,* omdat dit geslacht een grote rol speelt als indicator voor de waterkwaliteit en gevaren met zich meebrengt door schuimvorming in de branding

Tenslotte is het voor volgende onderzoeken aan te raden om biomassa als eenheid mee te nemen in onderzoeken naast cellen/l als eenheid. Cellen/l als eenheid geeft een vertekend beeld van het fytoplankton, omdat deze erg kunnen verschillen in grootte en massa. Door biomassa ook mee te nemen, kan onderscheid gezien worden in de aantallen van soorten en de massa van soorten.

Bibliografie

Ahel, M. B. (1996). *Salinity gradients on the distibution of phytoplankton pigments in a stratified estuary.* Ruder BoZkovii. Institute, Center for Marine Research. Zagreb: Marine Ecology Progress Series. Retrieved maart 2021

Batymetry viewing and download service. (2021). Retrieved april 2021, from emodnet-bathymetry: https://portal.emodnet-bathymetry.eu/

Bümmer, F. (2003). *Silicon Biomineralization* (33 ed., Vols. Living Inside a Glass Box – Silica in Diatoms). Springer.

Burson, A. M. (2013, november 21). Termination of a toxic Alexandrium bloom with hydrogen peroxide. *ScienceDirect*, 125-135. doi:10.1016

Burson, A. S. (2016). Unbalanced reduction of nutrient loads has created an offshoregradient from phosphorus to nitrogen limitation in the North Sea. *ASLO*, 869-884. doi:10.1002/lno.10257

Castro, P. H. (2013). *Marine biology* (9 ed., Vol. 18). New York, USA: McGraw-Hill. Retrieved maart 2, 2021

Chakraborty, P. A. (2011). *Impact of salinity and pH on phytoplankton community in a tropical freshwater system: An investigation with pigment analysis by HPLC.* National Institute of Oceanography India, Visakhapatnam. Retrieved maart 8, 2021

de Boer, K. (2006). *Maze of Toxicity: Fibrocapsa japonica (Raphidophyceae) in Dutch coastal waters.* Thesis, University of Groningen, Department of Marine Biology , Haren. Retrieved maart 9, 2021

Fernandez, S. (2015). *Rhyme and Reason.* Wageningen universiteit. Wageningen: Wageningen universiteit. Retrieved juni 2021

Garrison, T. (2013). *Oceanography An Invitation to Marine Science* (8e ed., Vol. 14). Canada: Brooks/Cole cengage learning. Retrieved mei 2021

Goldman, L. S. (2011). *Goldman's Cecil Medicine* (24e ed., Vol. 114). Elsevier. Retrieved maart 9, 2021

Hoppenrath, M. E. (2009a). *Marine phytoplankton, selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt* (Vol. Introduction). Frankfurt, Germany: E.Schweizerbart'sche Verslagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Retrieved 2021

Hoppenrath, M. E. (2009b). *Marine phytoplankton, selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt* (Vol. Diatoms). Frankfurt, Germany: E.Schweizerbart'sche Verslagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Retrieved 2021

Hoppenrath, M. E. (2009c). *Marine phytoplankton, selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt* (Vol. Dinoflagellates). Frankfurt, Germany: E.Schweizerbart'sche Verslagsbuchhandlungl (Nägele u. Obermiller). Retrieved 2021

Jochem, F. B. (1989). Naked Dictyocha speculum — a new type of phytoplankton bloom in the Western Baltic. (U. Sommer, Ed.) *Marine biology*, 373-379. doi:10.1007/BF00397272

Koeman, R. B. (2002). *Biomonitoring van fytoplankton.* Haren: Koeman en Bijkerk. Retrieved mei 2021

OSPAR commision. (2003). *Nutrients in the Convention area.* OSPAR commision. Retrieved maart 2021

Peperzak, L. (2002). *The wax and wane of Phaeocystis globosa blooms.* Universiteit Groningen. Groningen: Universiteit Groningen. Retrieved mei 2021, from https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/9932226/samenvat.pdf

Philippart, K. B. (2011). *Zeeschuim.* Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee. NIOZ. Retrieved maart 9, 2021, from https://www.nioz.nl/application/files/flowpaper/quick_scan_ZEESCHUIM/#page=1

Reynolds, C. (2006). *Ecology of phytoplankton.* Verenigd Koningkrijk : Cambridge University Press. Retrieved from https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=gDz5jGsPWZYC&oi=fnd&pg=PA1&dq=phytoplankton&ots=tUuO1giBnK&sig=rZnCm2pm76yXZG_TRmHH1PuGnw8#v=onepage&q&f=true

Rijkswaterstaat. (2016, november 14). Bemonstering van brak en zout oppervlaktewater ten behoeve van de analyse van fytoplankton. *(2)*, 11. Nederland: Rijkswaterstaat. Retrieved juni 2021

Rijkswaterstaat. (2019, februari 25). Bemonstering van oppervlaktewater met een pompsysteem. *(5)*, 11. Nederland: Rijkswaterstaat. Retrieved juni 2021

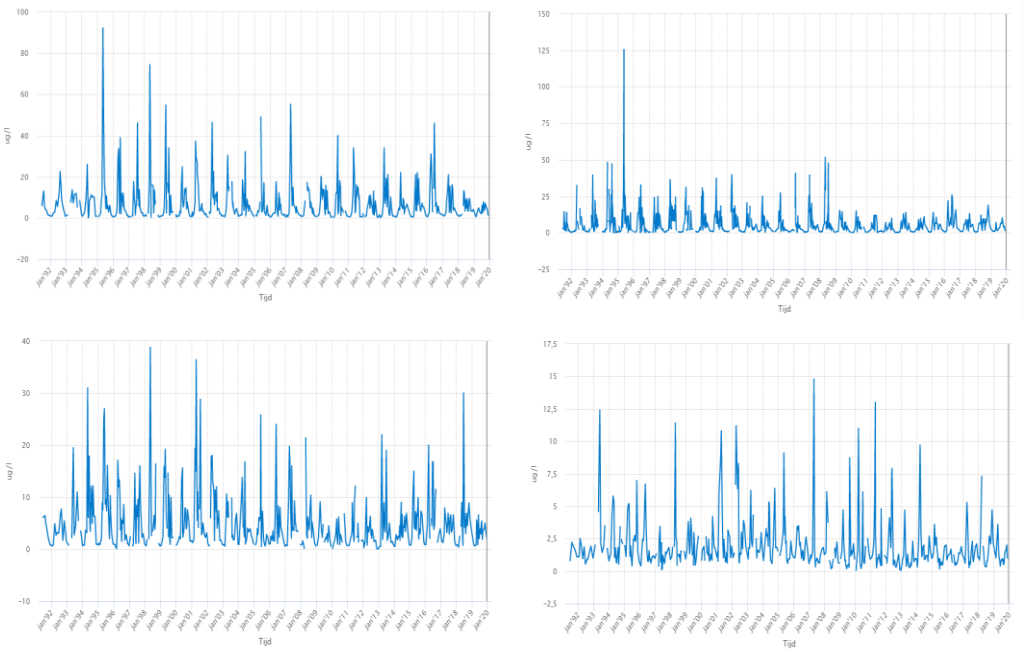
van Buuren, J. (2021). *De Noordzee en eutrofiëring.* Dienst Getijdewateren. Den Haag: Rijkswaterstaat. Retrieved mei 2021, from https://edepot.wur.nl/380427

Waardenburg, B. (2021). *Fytoplanktonsoorten.* Bureau Waardenburg B.V., Haren.

Wagner-Cremer, F. S. (2018, januari 19). Wat momentopnamen van fytoplankton ons kunnen vertellen over de geschiedenis van de kust. *H2O*, 8. Retrieved februari 2021

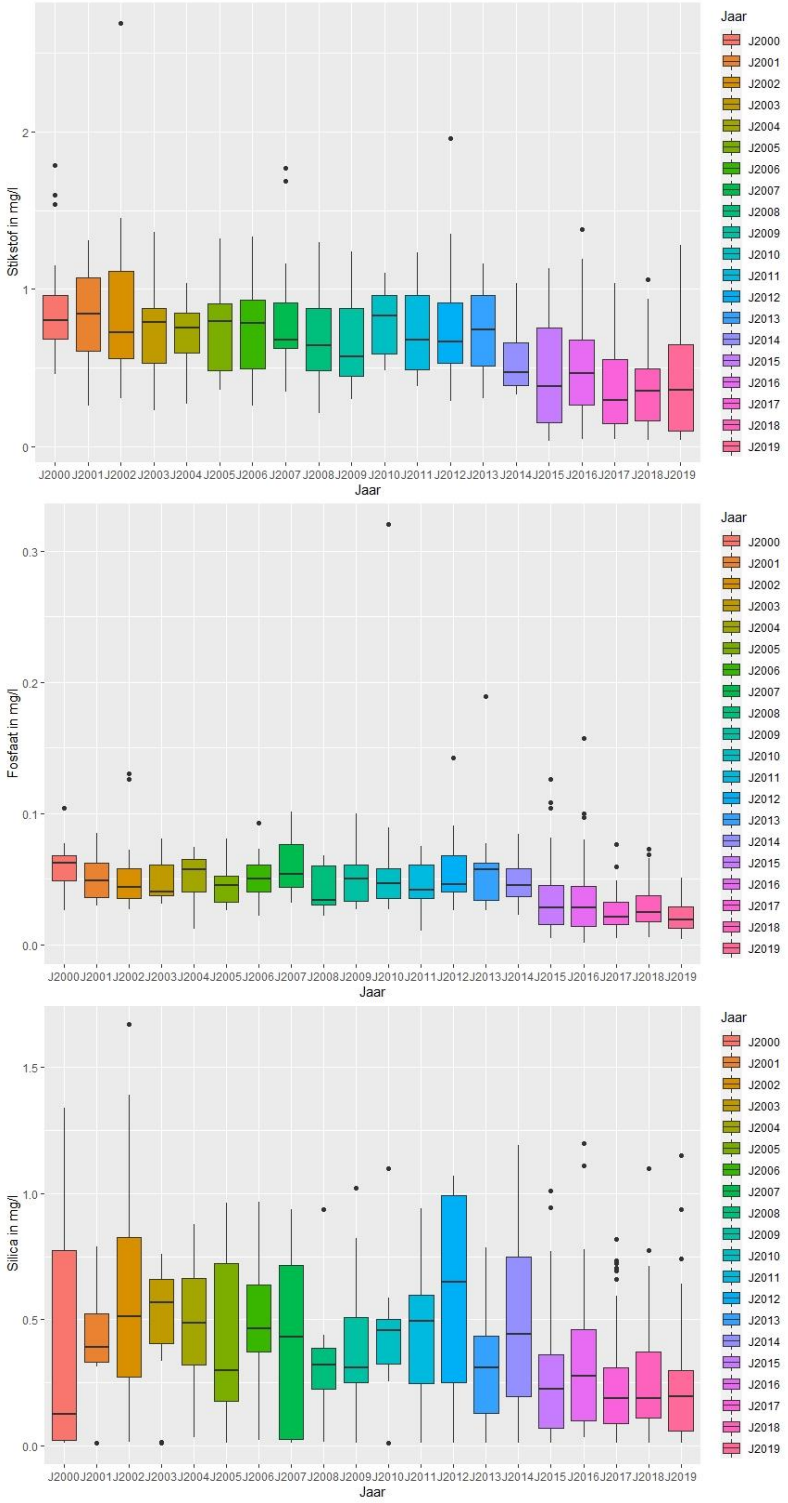
Yool, A. T. (2003). *Role of diatoms in regulating the ocean's silicon cycle.* Southampton Oceanography Centre. Southampton: Global Biochemical Cycles. doi:10.1029/2002GB002018

Bijlage I Chlorofyl-a gehaltes in de Noordwijkraai

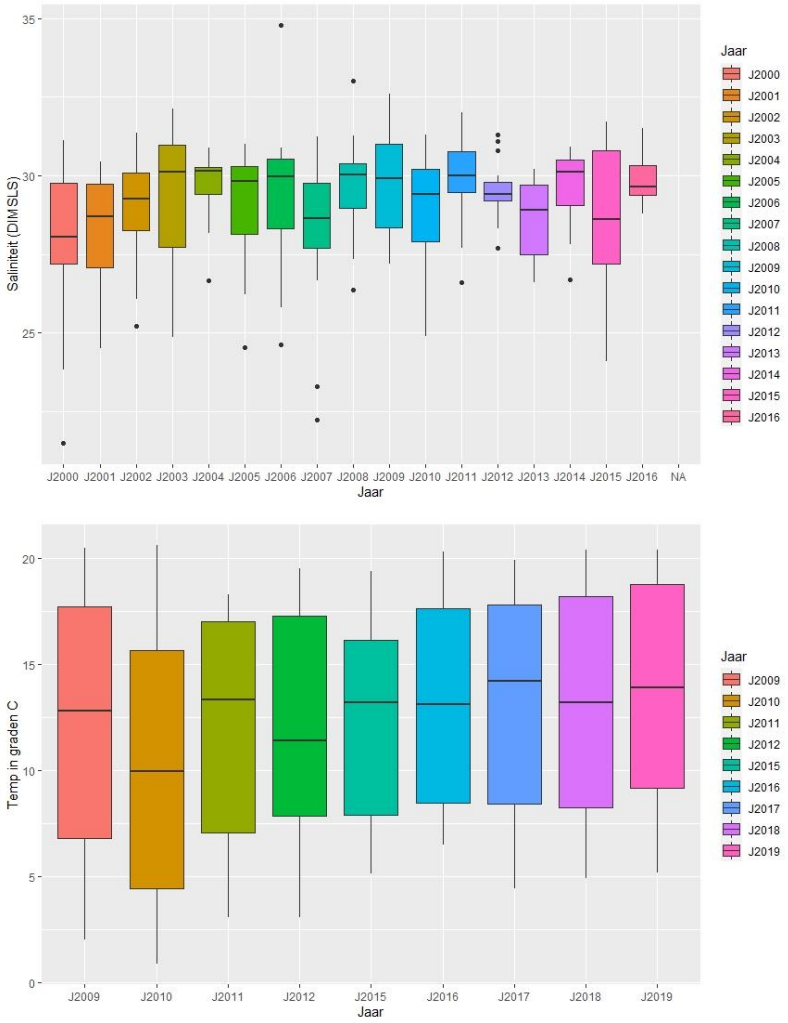


Figuur 17 Chlorofyl-a gehalte in de Noordwijkraai

Bijlage II Boxplot fysisch-chemische parameters NW2

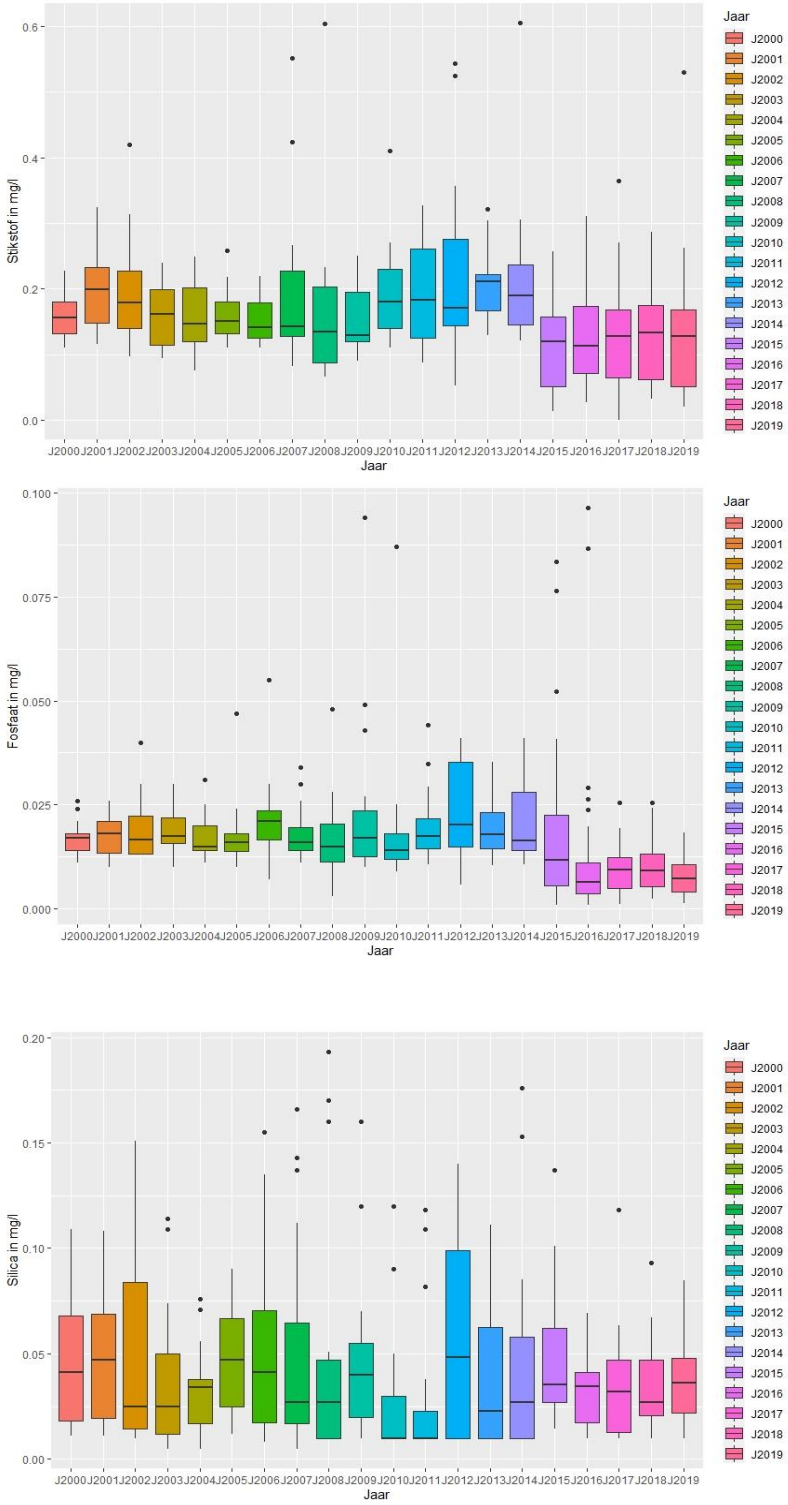


Figuur 18 Van boven naar onder: Stikstof, fosfaat, en silica boxplots 2000 tot en met 2019 NW2

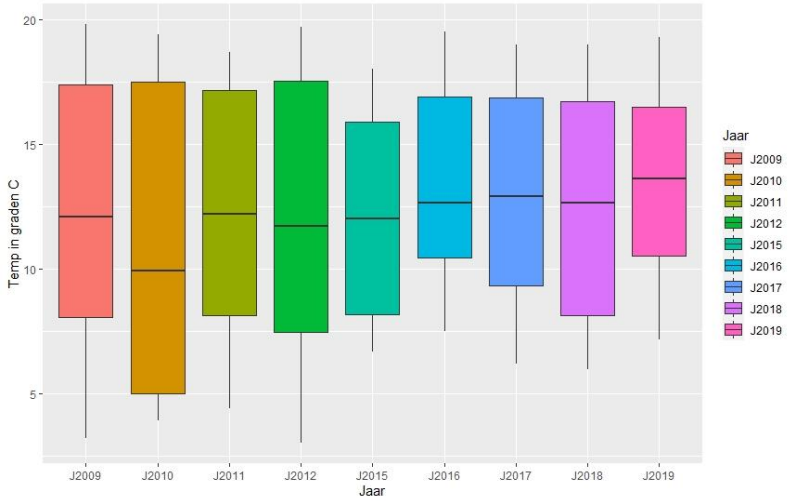


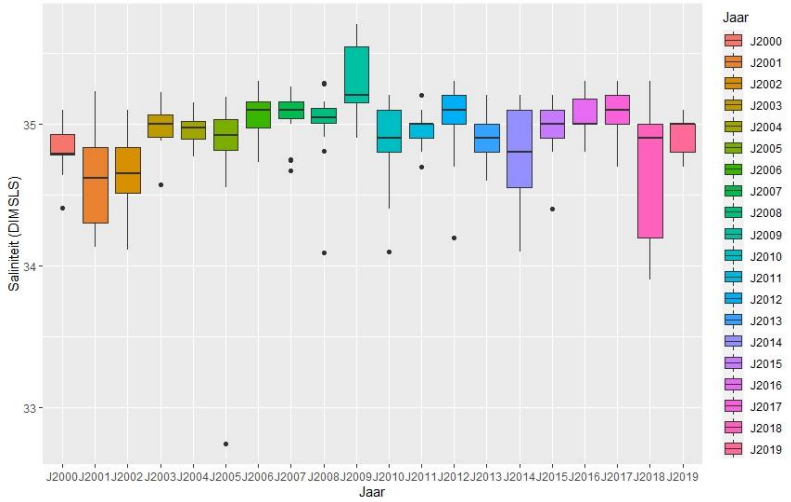
Figuur 19 Van boven naar onder: saliniteit en temperatuur boxplots 2000 tot en met 2019 NOORDWK2

Bijlage III Boxplot fysisch-chemische parameters NW70



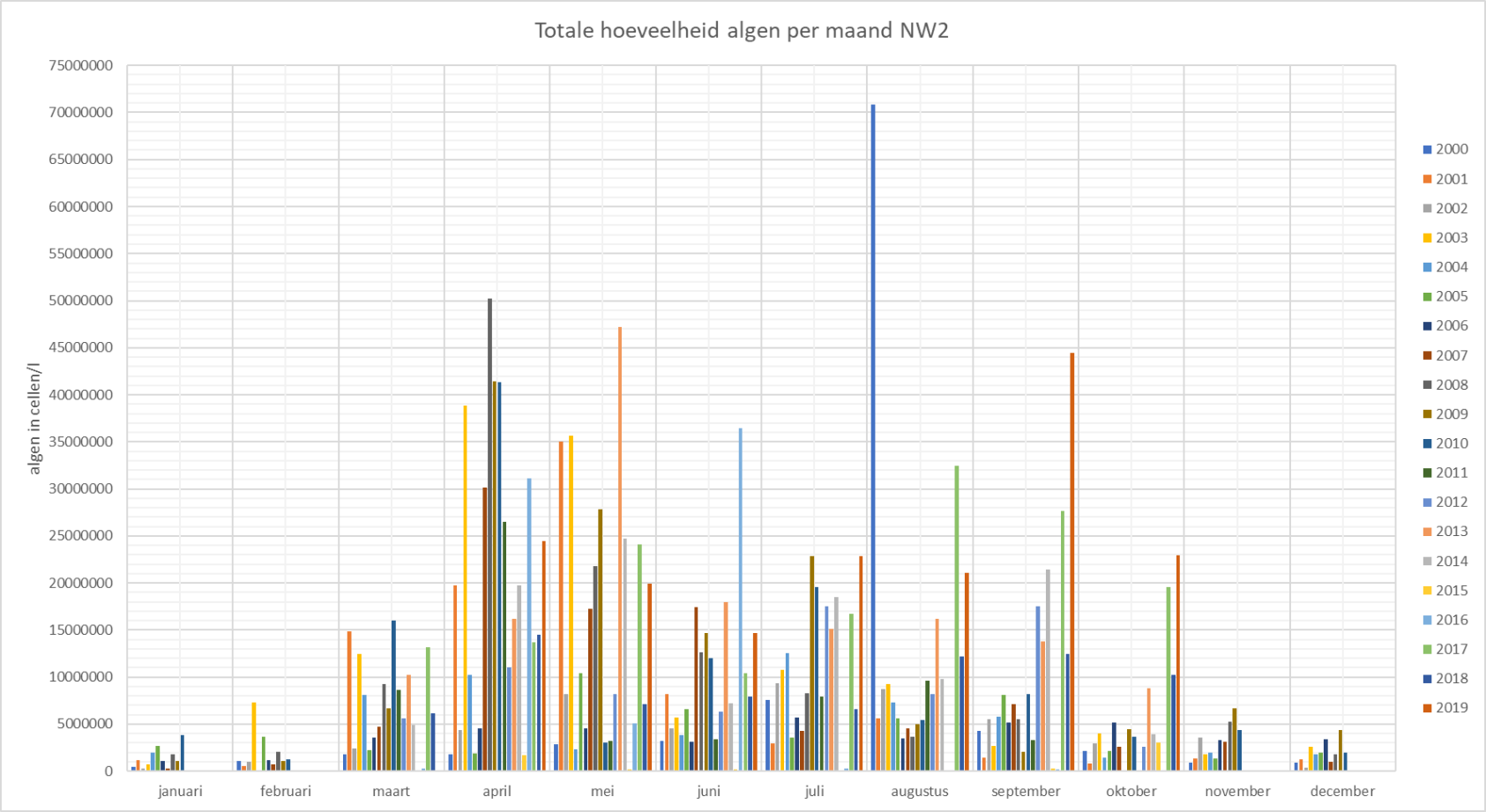
Figuur 20 Van boven naar onder: Stikstof, fosfaat, en silica boxplots 2000 tot en met 2019 NW70



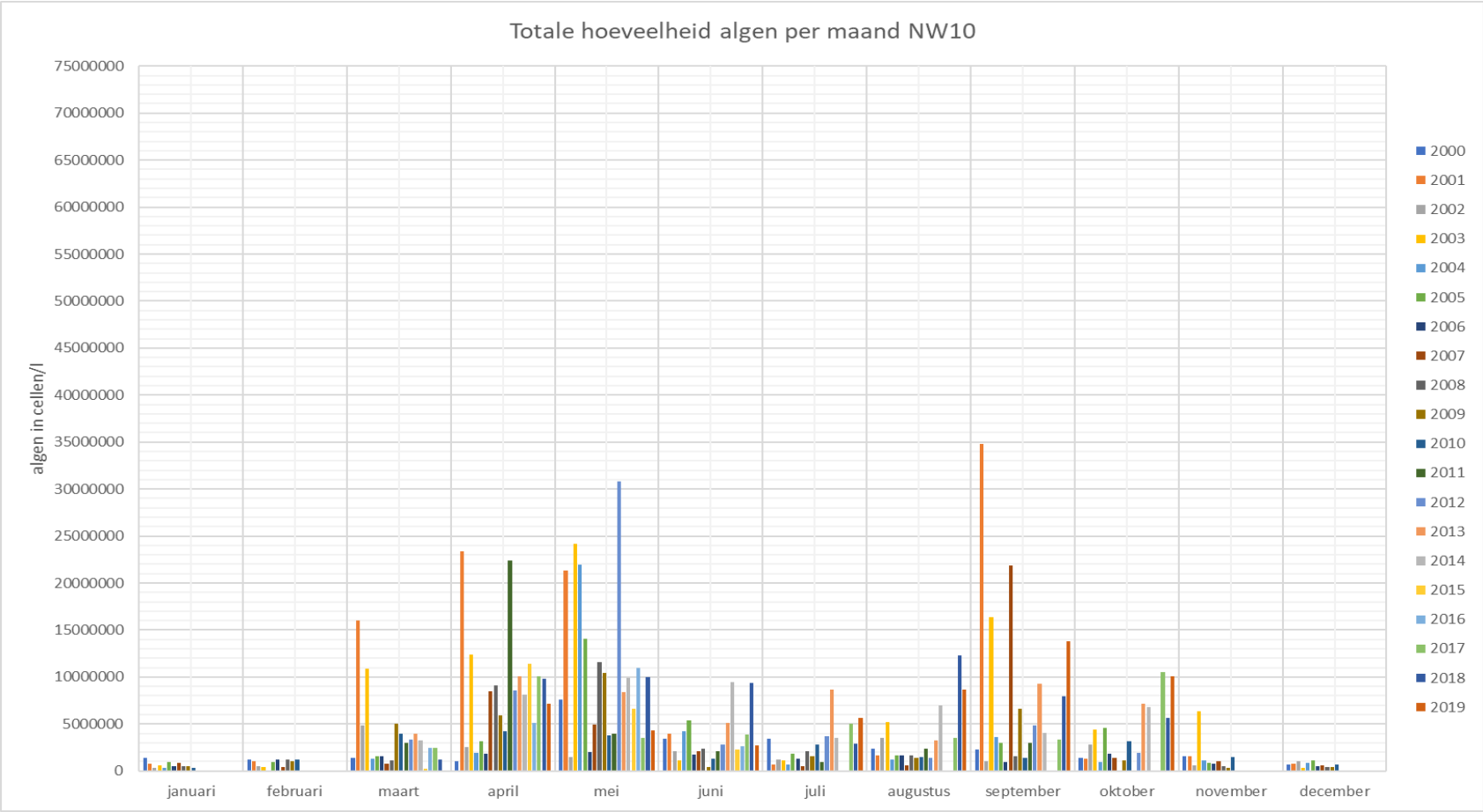


Figuur 21 Van boven naar onder: Saliniteit en temperatuur boxplots 2000 tot en met 2019 NW70

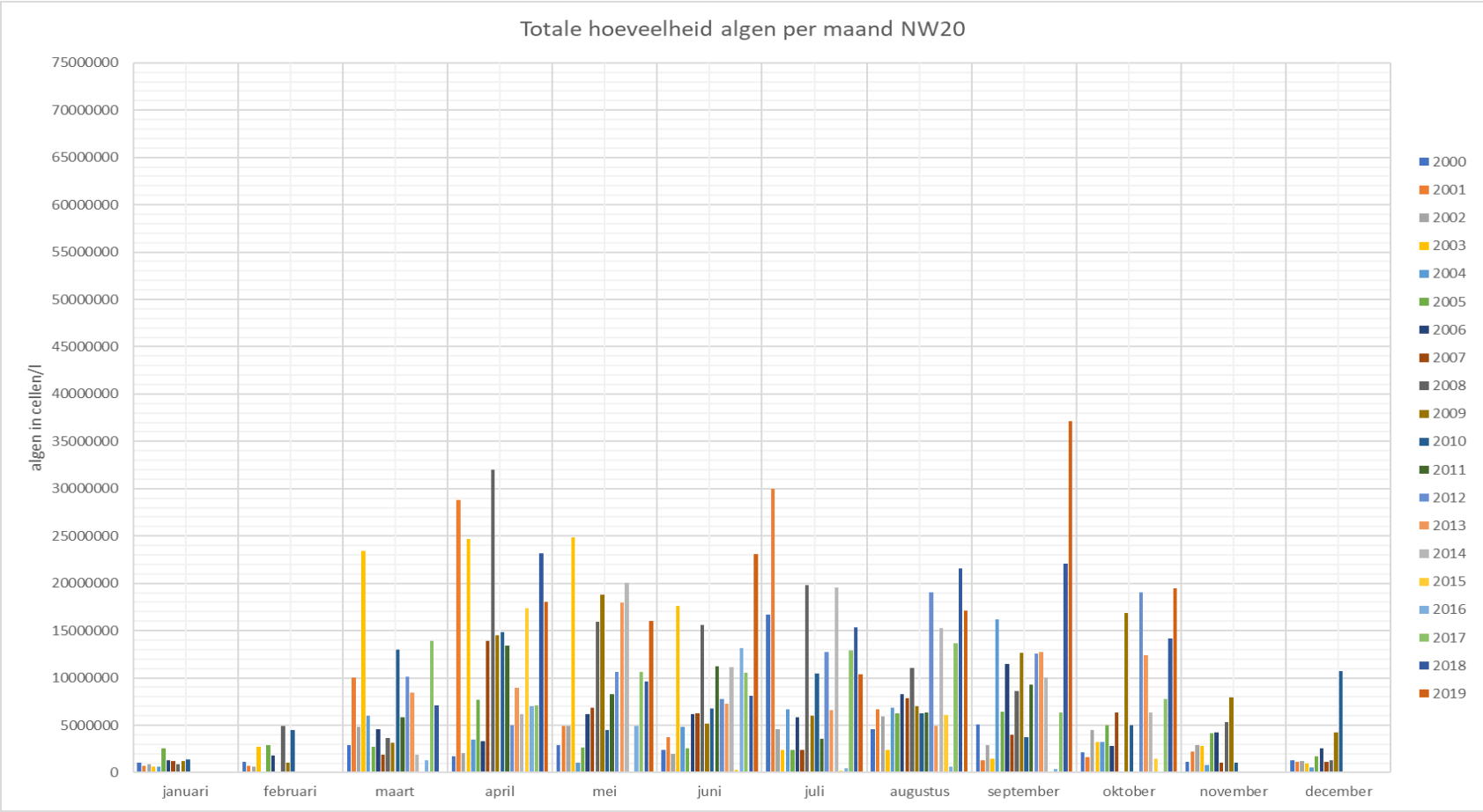
Bijlage IV Totaal aan algen per maand



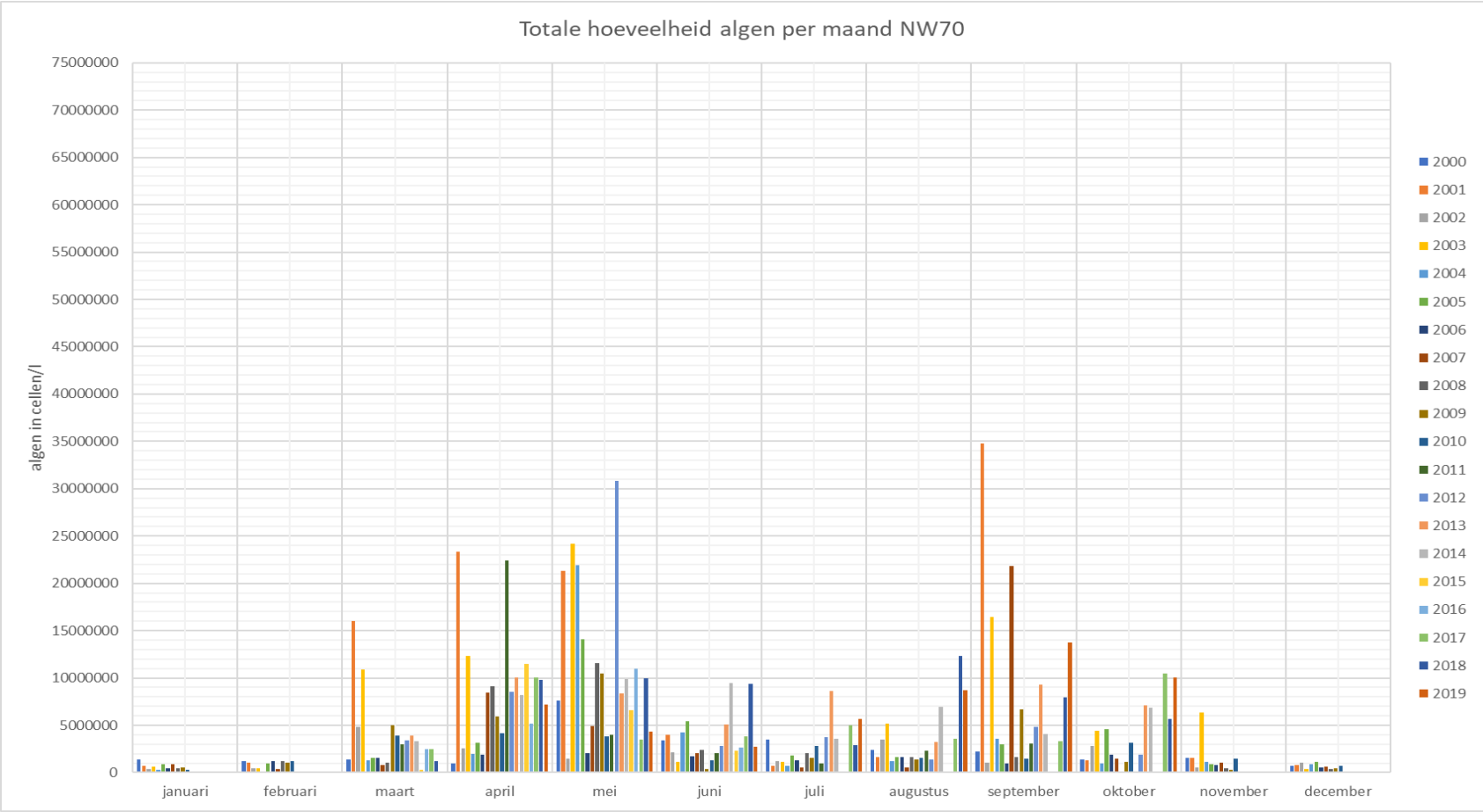
Figuur 22 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW2



Figuur 23 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW10

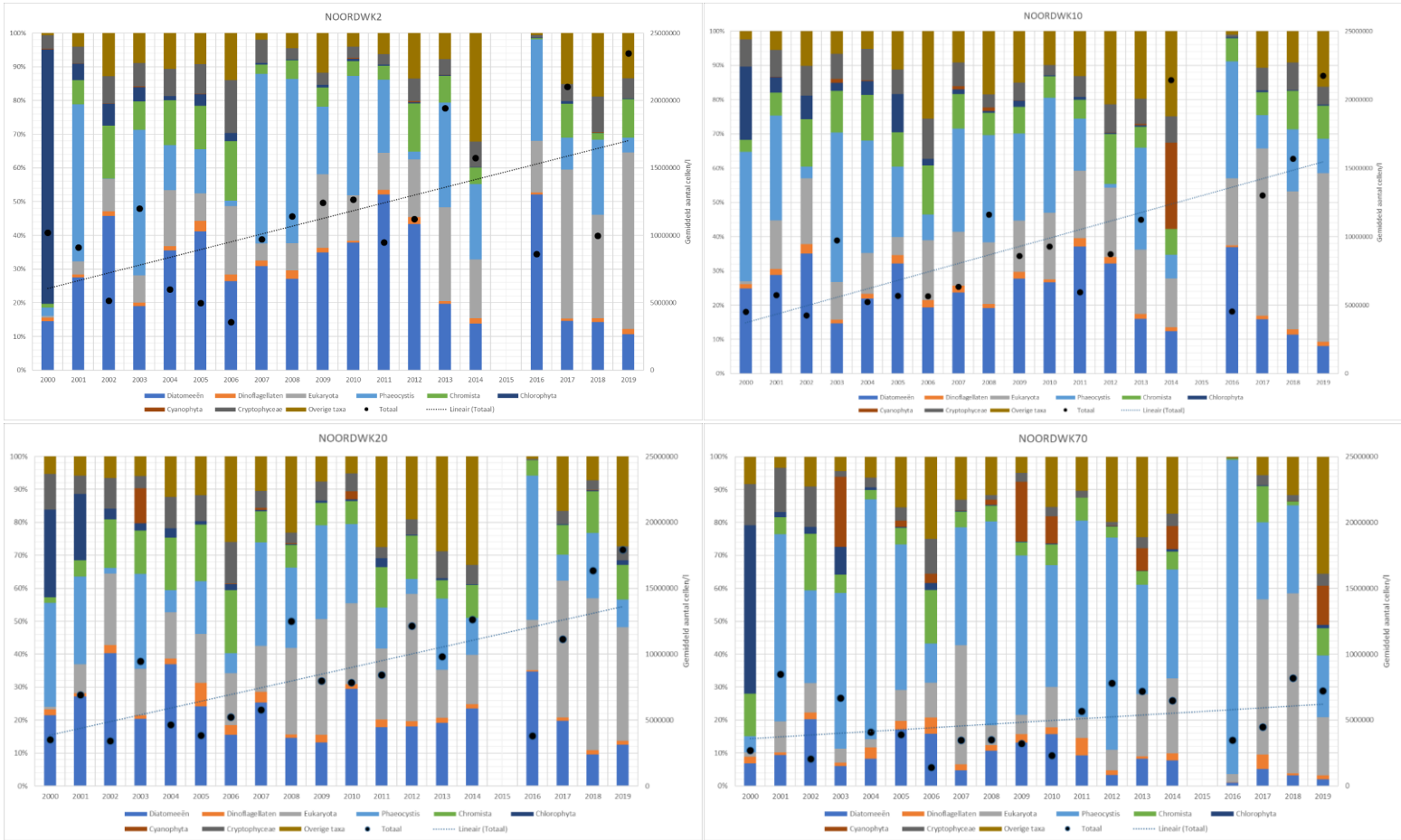


Figuur 24 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW20



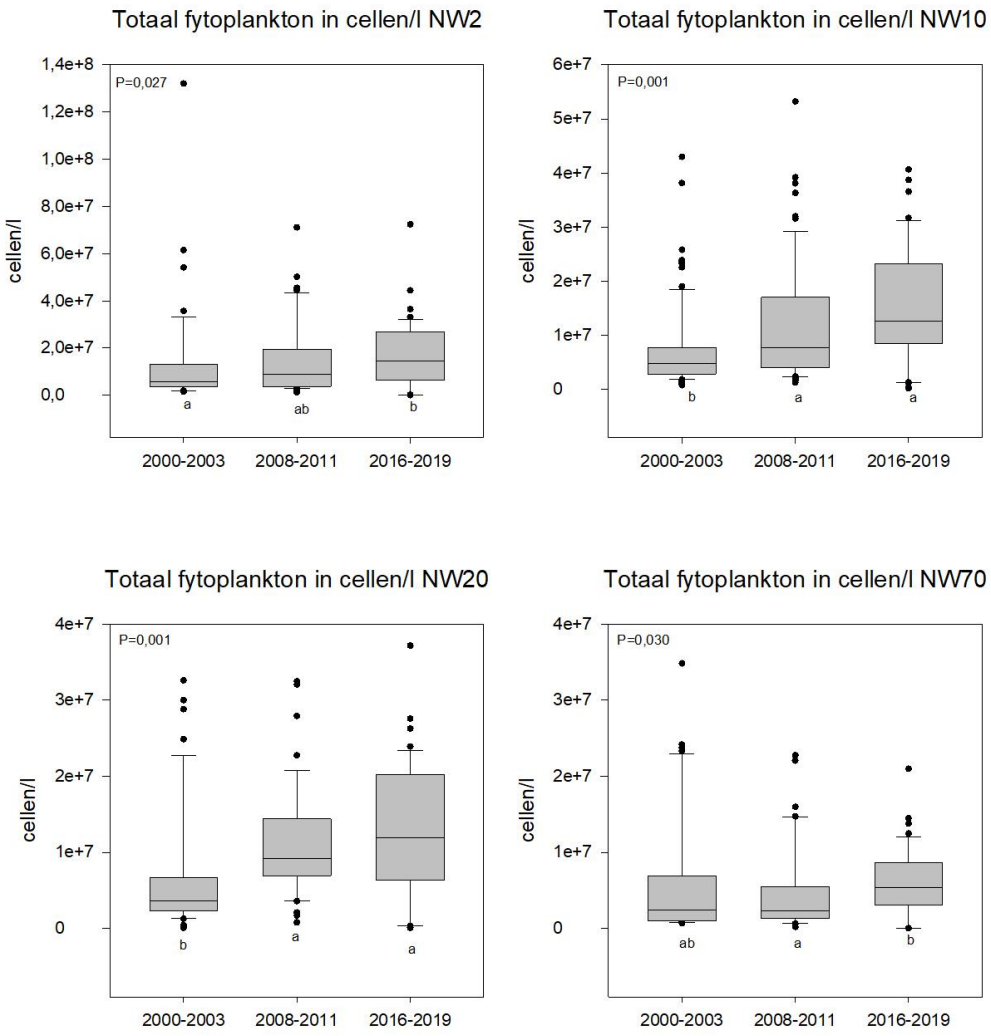
Figuur 25 Totale hoeveelheid fytoplankton per maand/ per jaar NW70

Bijlage V Fytoplanktongroep verdeling



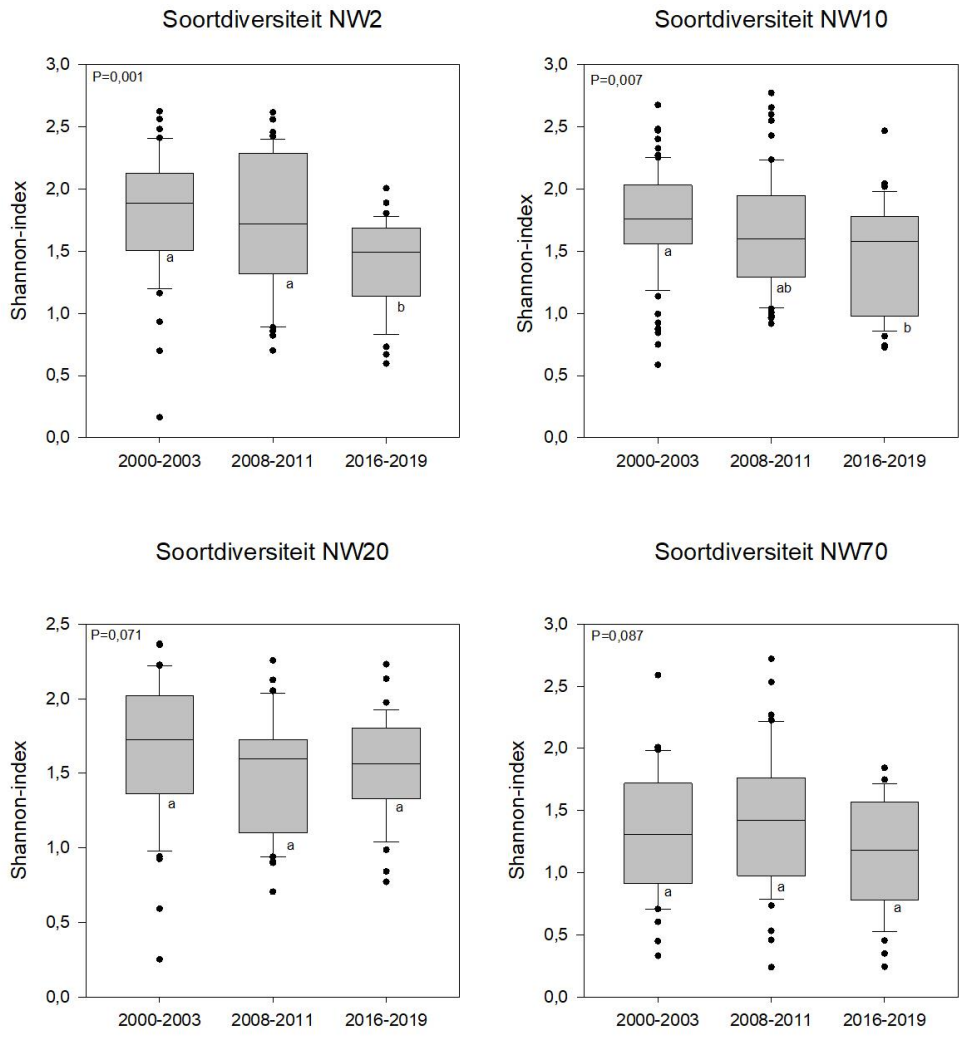
Figuur 26 Fytoplanktongroep verdeling alle locaties 2000 tot en met 2019

Bijlage VI Totale fytoplankton toets uitkomsten in boxplot alle locaties



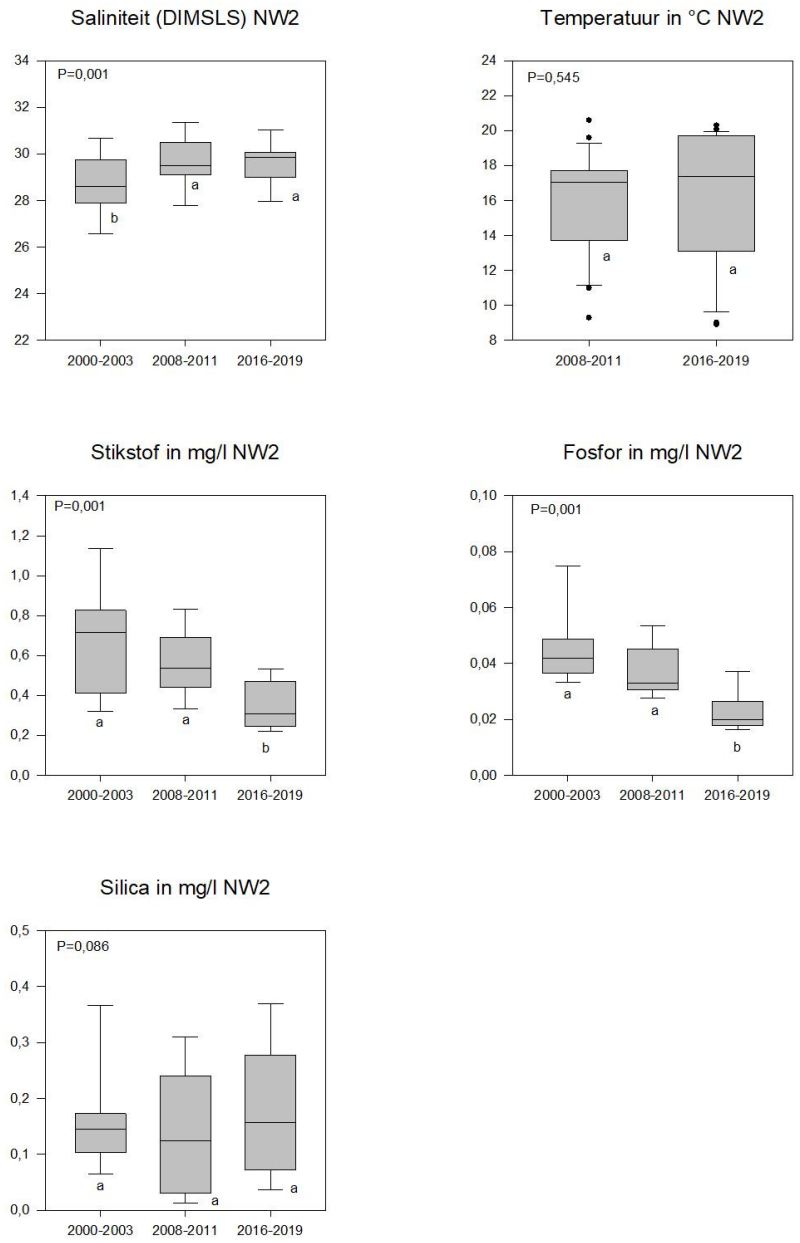
Figuur 27 Totale fytoplankton toets uitkomsten in boxplots alle locaties

Bijlage VII Soortdiversiteit toets uitkomsten in boxplot alle locaties

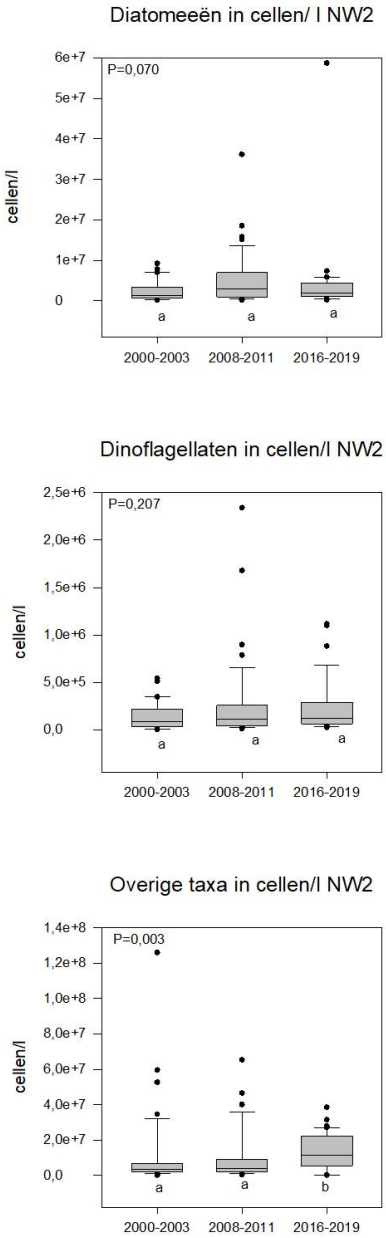


Figuur 28 Soortdiversiteit toets uitkomsten in boxplots alle locaties

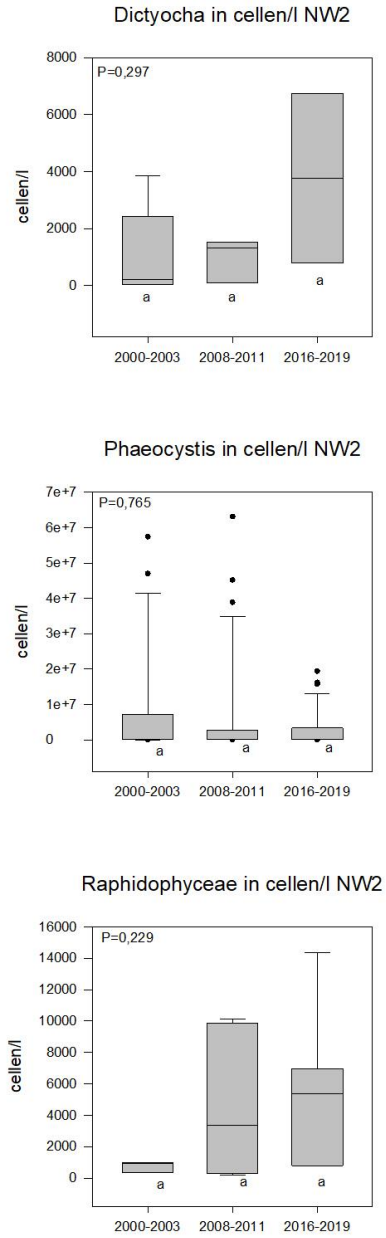
Bijlage VIII NOORDWK2 toets uitkomsten in boxplot



Figuur 29 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW2

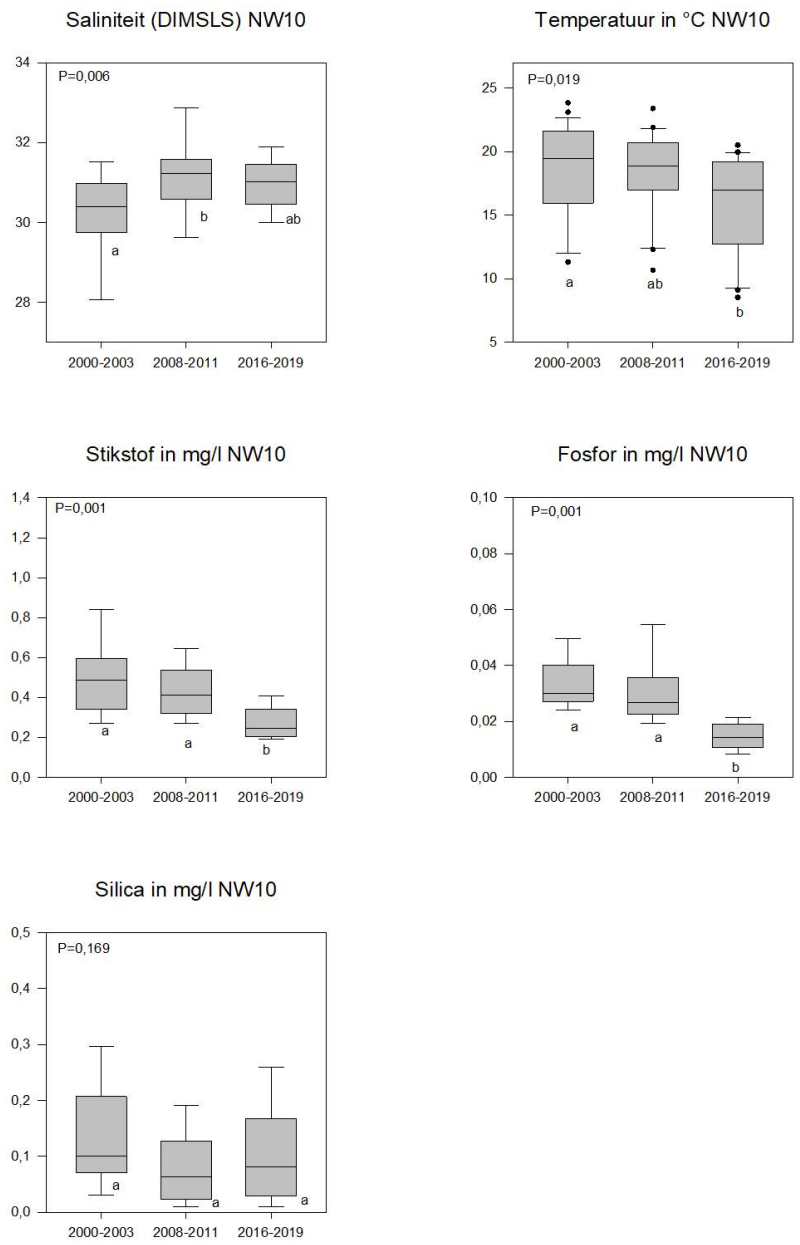


Figuur 30 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW2

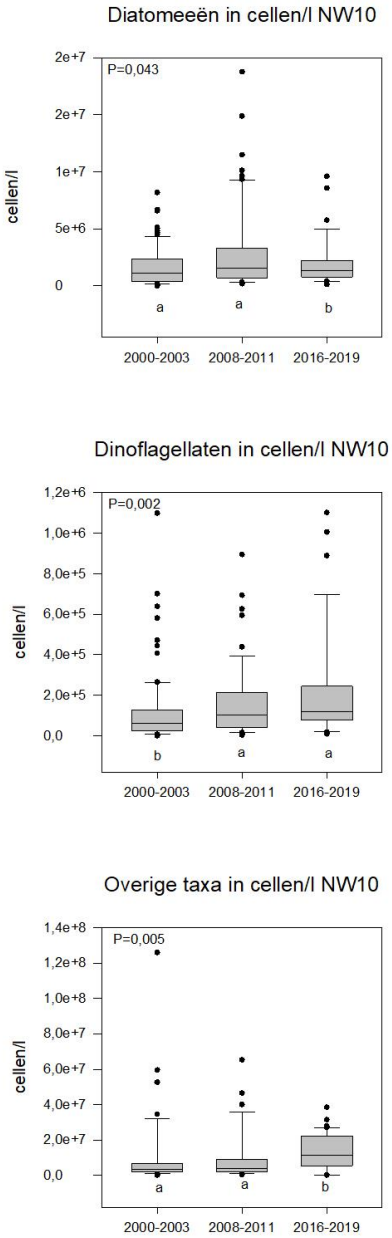


Figuur 31 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW2

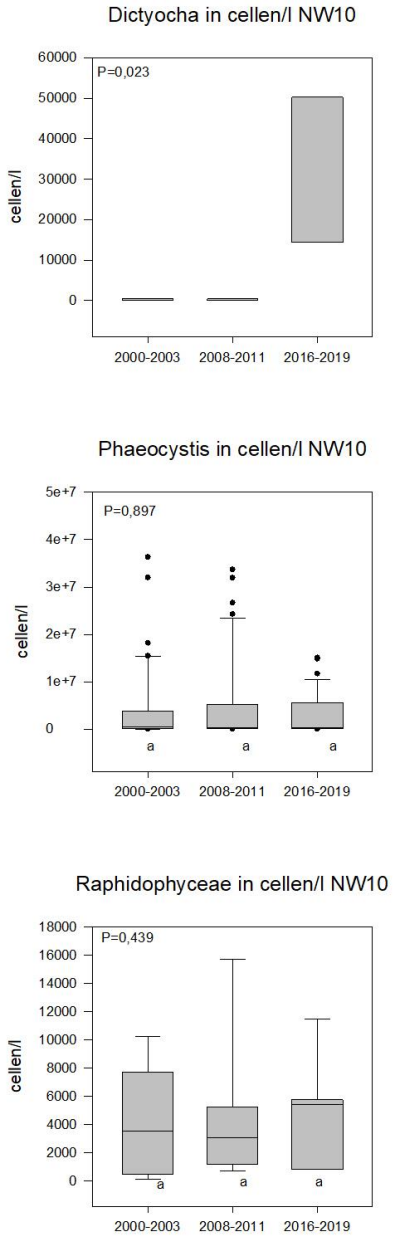
Bijlage IX NOORDWK10 toets uitkomsten in boxplot



Figuur 32 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW10

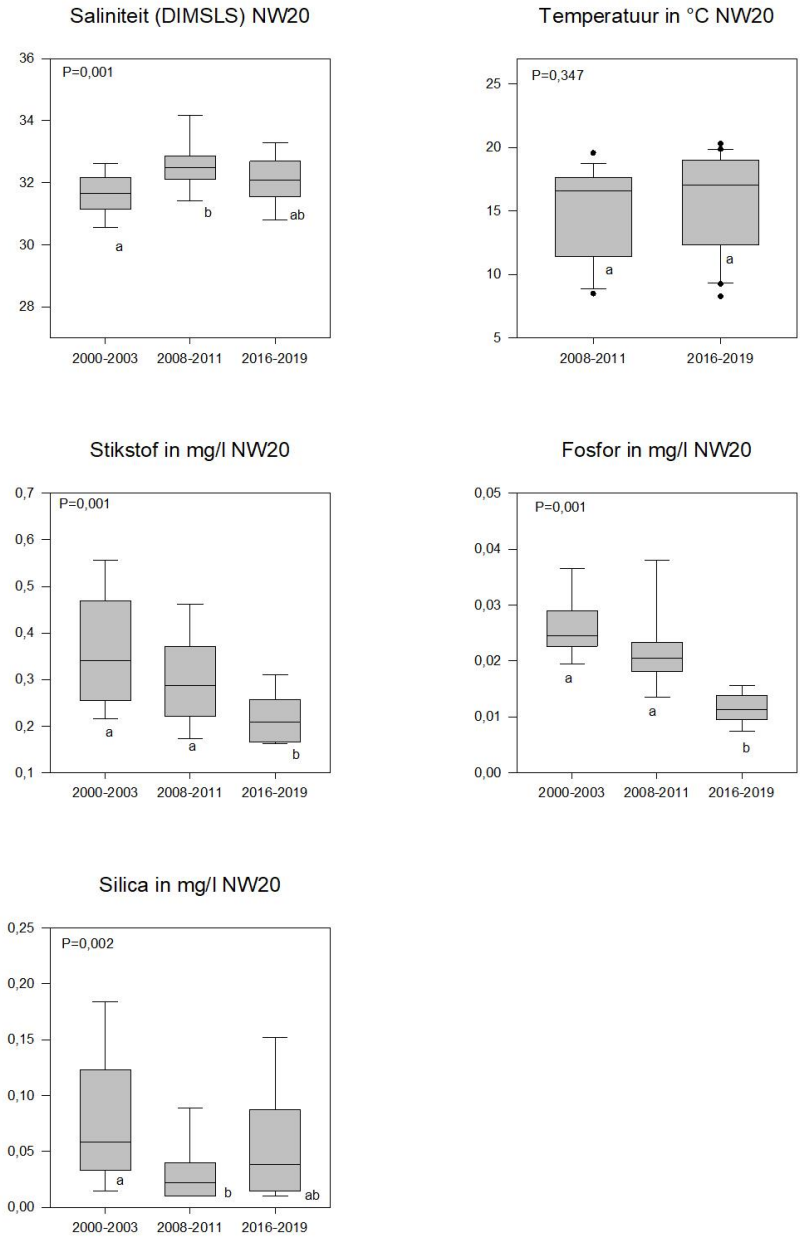


Figuur 33 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW10

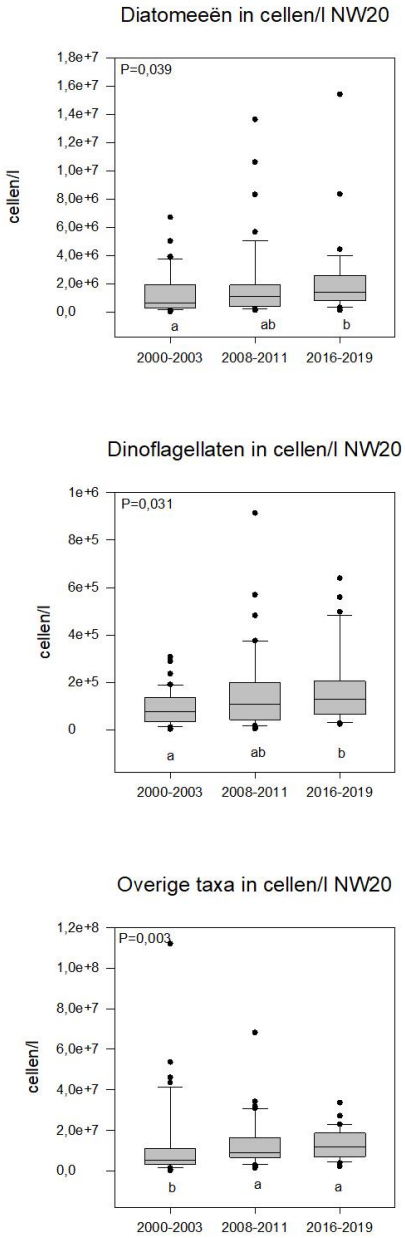


Figuur 34 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW10

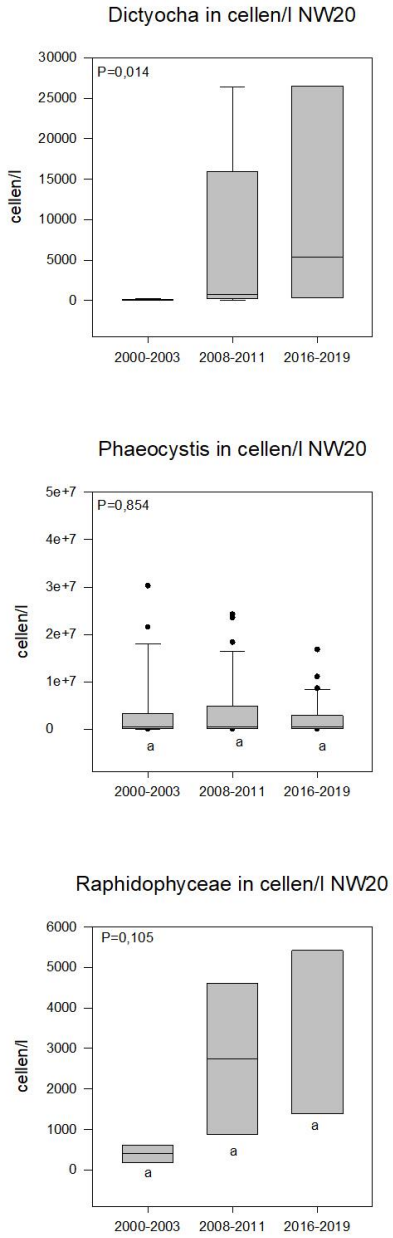
Bijlage X NOORDWK20 toets uitkomsten in boxplot



Figuur 35 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW20

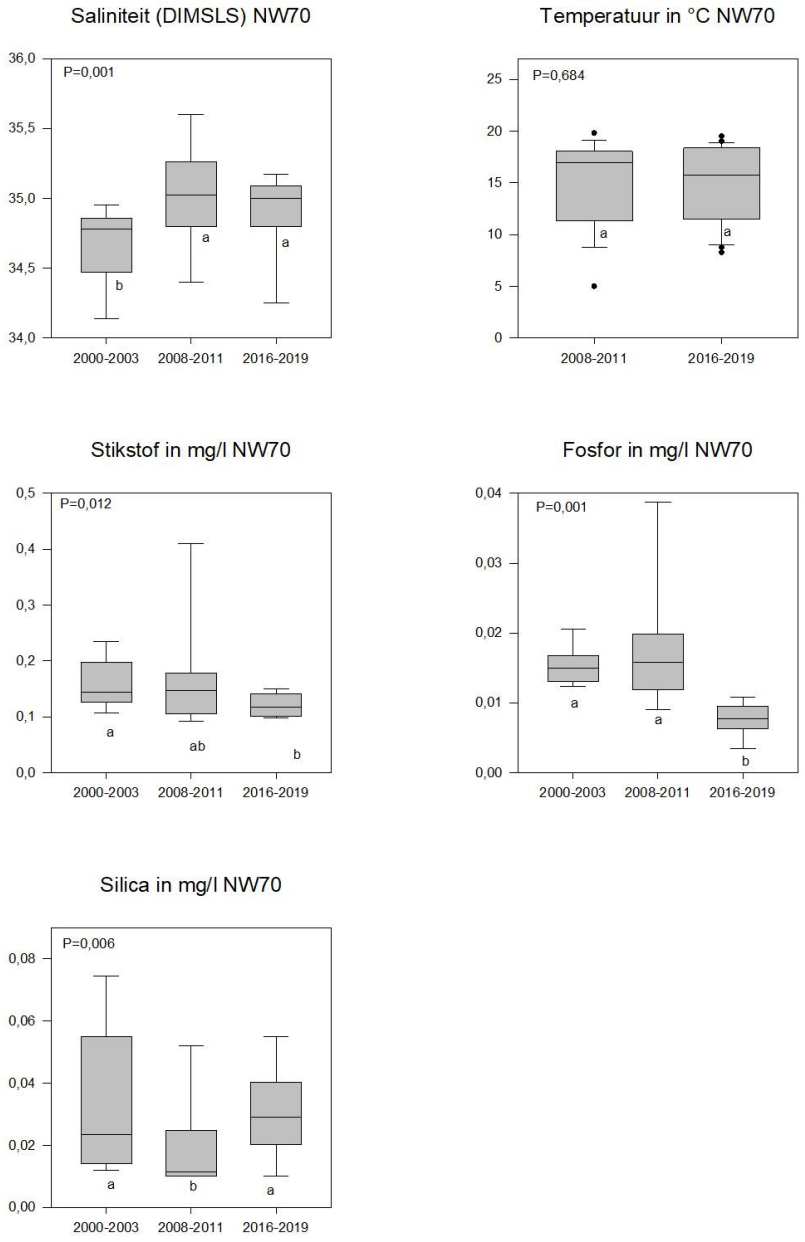


Figuur 36 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW20

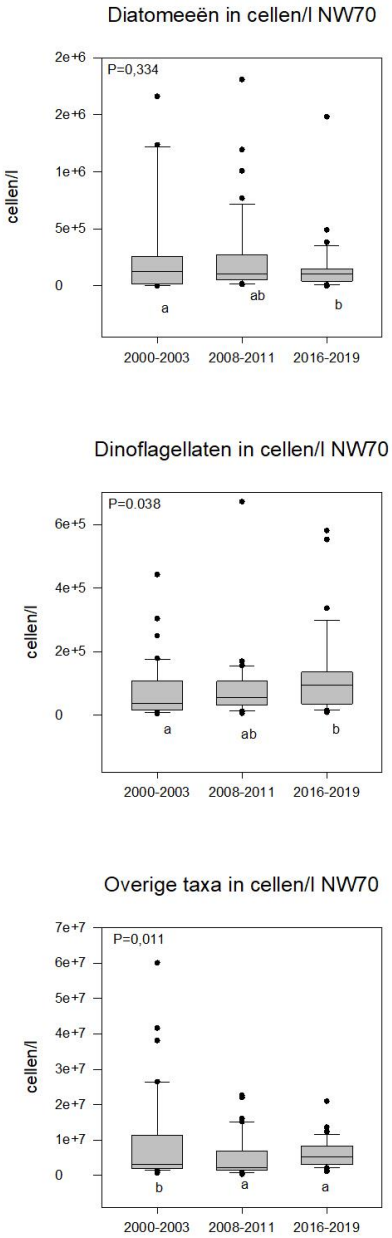


Figuur 37 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW20

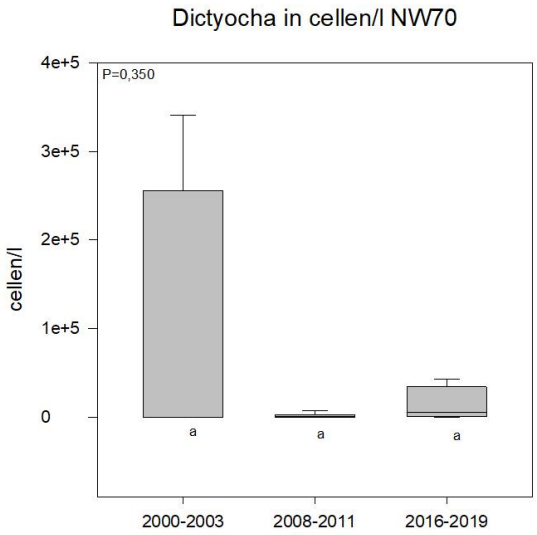
Bijlage XI NOORDWK 70 toets uitkomsten in boxplot

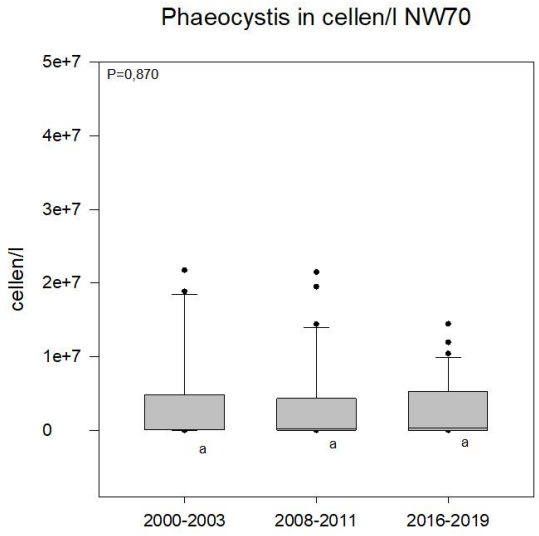


Figuur 38 Fysisch-chemische toets uitkomsten in boxplot NW70



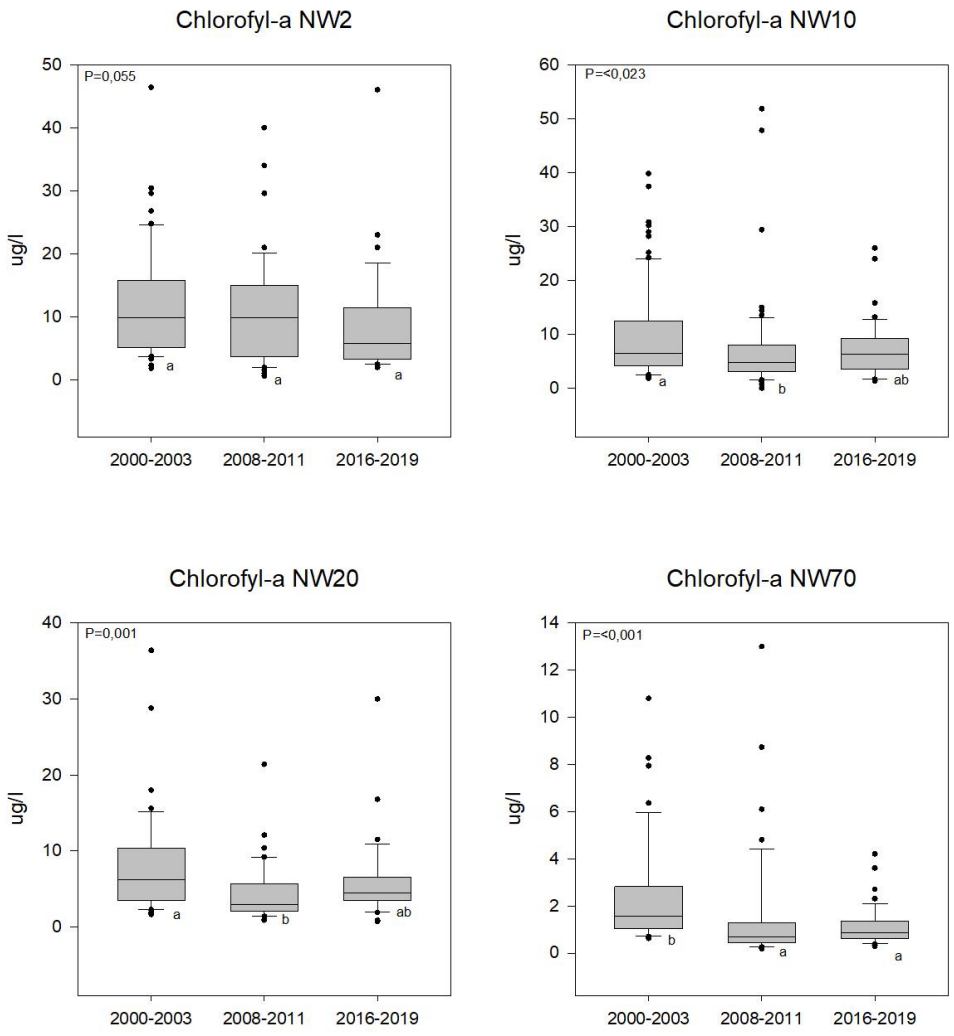
Figuur 39 Fytoplanktongroep toets uitkomsten in boxplot NW70





Figuur 40 Fytoplanktonsoort toets uitkomsten in boxplot NW70

Bijlage XII Chlorofyl-a toets uitkomsten in boxplot alle locaties



Figuur 41 Chlorofyl-a toets uitkomsten in boxplots alle locaties