

Het fytoplankton in de Rijn 2018



Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Rapport Nr. 273



Colofon

Uitgegeven door de

Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)

Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz, Duitsland

Postbus 20 02 53, 56002 Koblenz, Duitsland

Telefoon: +49-(0)261-94252-0, fax +49-(0)261-94252-52

[E-mail: sekretariat@iksr.de](mailto:sekretariat@iksr.de)

www.iksr.org

Het fytoplankton in de Rijn 2018

Rapportage en tekst:	Helmut Fischer, Bundesanstalt für Gewässerkunde;
Bewerking:	Mechthild Banning, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Wiesbaden; Thomas Ehlscheid, Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU); Jochen Fischer (voorzitter van de EG BMON), Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU); Paulin Hardenbicker, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV); Jochen Lacombe, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV); Guillaume Demortier, Agence de l'Eau Rhin-Meuse; David Monnier (voorzitter van de WG B), Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA); Marieke Ohm, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - Rijkswaterstaat - WVL; Franz Schöll, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG); Renate Semmler-Elpers, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW); Yael Schindler, Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Coördinatie en redactie:	Laura Poinsoot, Nikola Schulte-Kellinghaus, Internationale Commissie ter Bescherming van de Rijn (ICBR)

Inhoud

Samenvatting	3
1. Inleiding	4
2. Methodes	5
2.1 Omvang van het onderzoek	5
2.2 Methodes.....	6
3. Resultaten	7
3.1 Afvoer	7
3.2 Nutriënten	8
3.3 Fytoplankton	10
3.3.1 Ruimtelijke en seizoensdynamiek van het chlorofylgehalte	10
3.3.2 Taxonomische samenstelling van het fytoplankton	12
3.4 Zoöplankton.....	13
3.5 Vergelijking van de resultaten met vroeger onderzoek	14
4. Bibliografie	17

Samenvatting

Plankton is een verzamelnaam voor in het water zwevende, meestal microscopisch kleine organismen. In grote rivieren is het een essentieel bestanddeel van het ecosysteem. Eencellige algen, het zogenaamde fytoplankton, veroorzaken als ze tot bloei komen bekende eutrofiëringsverschijnselen, zoals toegenomen troebelheid en zuurstofverbruik bij de latere afbraak van de biomassa. In 2018 is er in het kader van het Rijnmeetprogramma biologie onderzoek gedaan naar het fytoplankton in de Rijn van het Bodenmeer tot en met het Deltagebied. Het monitoringsprogramma is gericht op de inventarisatie van het fytoplanktonbestand en op de vaststelling van de ontwikkeling van het fytoplankton in de ruimte en de tijd. Tevens geeft het programma invulling aan de bepalingen van de Europese Kaderrichtlijn Water in verband met de beoordeling van de ecologische toestand van de Rijn op basis van het fytoplankton en andere biologische elementen.

De chlorofyl-*a*-concentratie en het biovolume zijn een maat voor de biomassa van het fytoplankton. Op het riviertraject van het Bodenmeer tot Karlsruhe was de gemiddelde fytoplanktonbiomassa zeer laag. Vanaf het meetstation Karlsruhe nam de biomassa geleidelijk toe om aan de meetstations Bimmen/Lobith in de Duitse Nederrijn aan de Duits-Nederlandse grens haar piek te bereiken. De seizoensgebonden ontwikkeling van het fytoplankton werd sterk beïnvloed door de lang aanhoudende laagwaterperiode in de zomer van 2018. Terwijl een typische voorjaarsbloei van algen in 2018 alleen op de meetlocatie Bimmen in de Duitse Nederrijn is waargenomen, kwam er in augustus 2018 anders dan in vroegere jaren over de gehele rivier een sterke zomerbloei van algen tot ontwikkeling. Dit kwam tot uitdrukking in twee pieken, eerst als kiezelalgenbloei en daarna als groenalgenbloei. Tijdens deze bloeien zijn deels zeer hoge chlorofylconcentraties gemeten. Dergelijke concentraties waren sinds het begin van de jaren negentig van de vorige eeuw niet meer gezien. In de Rijndelta nam de fytoplanktonbiomassa weer enigszins af. In de zijrivieren Lahn, Moezel en in mindere mate ook in de Main kwam het fytoplankton eveneens in de zomer van 2018 tot volle wasdom. Een nieuw en zorgwekkend fenomeen was de sterke bloei van cyanobacteriën (blauwalgen) in de Moezel. De planktondichtheden in de zijrivieren Aare en verbazingwekkend genoeg ook de Neckar waren daarentegen gering.

Van de noordelijke Duits-Franse Bovenrijn tot de Duitse Nederrijn is er ook gekeken naar het dierlijke plankton (zoöplankton), dat zich onder meer voedt met fytoplankton. Het zoöplankton kwam niet in zeer groten getalen voor. Daarom is de reducerende invloed op het fytoplankton naar schatting ook gering. Het vaakst kwamen raderdiertjes (rotatoria) voor, maar in bepaalde periodes speelden ook in het water zwevende mossellarven en tijdens de blauwalgenbloei in de Moezel ook planktonkreeftjes een belangrijke rol in het zoöplankton.

De trend op lange termijn laat sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw een afname van de fytoplanktonbiomassa zien en correleert met de daling van de nutriëntenconcentraties en de emissie van fytoplankton uit het Bodenmeer. Deze afname heeft wellicht in zekere mate ook te maken met de filteractiviteit van uitheemse mosselen. Ook in het voorjaar van 2018 was de fytoplanktonbiomassa vergeleken met vroeger aanvankelijk relatief laag. Echter, in de zomer was de fytoplanktonbiomassa buitengewoon hoog. Uit de toekomstige, langdurige monitoring zal blijken of hier sprake was van een alleenstaand geval tijdens een extreem droog en warm jaar of dat de ontwikkeling van het klimaat dergelijke algenbloeien in de toekomst zal bevorderen en de inspanningen om de trofische toestand van de Rijn te verbeteren bijgevolg teniet zal doen.

1. Inleiding

Plankton (verzamelnaam voor in het water zwevende, meestal microscopisch kleine organismen) is in grote rivieren een essentieel bestanddeel van het ecosysteem. Eencellige algen, het zogenaamde fytoplankton, veroorzaken als ze tot bloei komen bekende eutrofiëringsverschijnselen, zoals toegenomen troebelheid en zuurstofverbruik bij de latere afbraak van de biomassa.

De groei van fytoplankton staat onder invloed van tal van factoren. Zoals alle groene planten heeft plankton licht en nutriënten nodig. Daarom is de ontwikkeling van fytoplankton in diepe watertrajecten vaak beperkt door de lichtomstandigheden. Daarnaast wordt de ontwikkeling van fytoplankton in de lengterichting van een rivier indirect gestuurd door de afvoer en de stromingsomstandigheden. Lage afvoeren of opstuwingen verlengen de verblijftijd van water en bijgevolg de tijd waarin fytoplankton tot ontwikkeling kan komen, terwijl hoge afvoeren de verblijftijd van water verkorten en het plankton uit het water spoelen. Dit laatste geldt nog meer voor dierlijk plankton (zoöplankton), dat als gevolg van zijn langere generatietijd alleen tot volle wasdom kan komen in de benedenloop van rivieren, in strangen of in door stuwen gereguleerde trajecten. Sterke fytoplanktonontwikkeling, zoals in de door stuwen gereguleerde zijrivieren van de Rijn, beïnvloedt de nutriëntenhuishouding en ook en vooral de zuurstofhuishouding.

Fytoplankton speelt een belangrijke rol in het voedselweb van grote rivieren. Het kan zowel worden opgenomen door zoöplankton als door filtrerende organismen op de waterbodem (mosselen, vooral de driehoeksmossel *Dreissena* sp. en de korfmossel *Corbicula fluminea*). Als de zoöplanktonconcentraties zeer hoog of de mosselpopulaties zeer groot zijn, kunnen daarbij aanzienlijke hoeveelheden fytoplankton worden verwijderd uit de waterkolom. De jonge stadia van veel vissoorten zijn voor hun voedsel aangewezen op zoöplankton. De primaire productie van plankton is dus een cruciale bron van voedsel voor de verdere voedselketen en bijgevolg voor hogere organismen, zoals vissen.

Fytoplankton wordt als biologisch kwaliteitselement gebruikt voor de beoordeling van de waterkwaliteit conform de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW, 2000/60/EG). Bij de berekening van de fytoplanktonindex in de Duitse beoordelingsmethode PhytoFluss wordt zowel rekening gehouden met de totale biomassa, gemeten als chlorofyl-*a* (Chl_a), als met de samenstelling van de levensgemeenschap. De resultaten van de beoordeling van de ecologische toestand van de Rijn worden toegelicht in de nationale beheerplannen. Het huidige, internationaal gecoördineerde stroomgebiedbeheerplan (SGBP) 2015-2021 is gebaseerd op de gegevens van het monitoringsprogramma 2012. De resultaten van het monitoringsprogramma 2018 worden verwerkt in het derde SGBP Rijn, deel A 2021-2027. Hierna wordt een beeld geschetst van de dynamiek van het plankton in de Rijn in 2018 en een vergelijking gemaakt met vroegere inventarisaties.

Met het onderzoek naar fytoplankton worden de volgende doelen nagestreefd:

- kwantitatieve en kwalitatieve inventarisatie van het fytoplankton in de Rijn van het Bodenmeer tot de Noordzee;
- bepaling van de verandering in de samenstelling en de biomassa van het fytoplankton in de lengterichting van de Rijn;
- bepaling van veranderingen in de samenstelling en de biomassa van het fytoplankton in de loop van de seizoenen;
- interpretatie van de resultaten en vergelijking met vroeger onderzoek.

2. Methodes

2.1 Omvang van het onderzoek

De Rijn is in het kader van het "Rijnmeetprogramma biologie 2018" van de ICBR onderzocht van de uitloop van de Untersee van het Bodensee (Hoogrijn) tot en met de Rijndelta in Nederland. In het programma is er ook gekeken naar de monding van grote zijrivieren (Aare, Neckar, Main, Nahe, Lahn en Moezel), zodat hun invloed op de planktonontwikkeling in de Rijn kon worden meegenomen.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de volgende instanties:

Duitsland: Baden-Württemberg: Deelstaatsdienst voor Milieu (*Landesanstalt für Umwelt, LUBW*), Karlsruhe

Rijnland-Palts: Deelstaatsdienst voor Milieu (*Landesamt für Umwelt, LfU*), Mainz

Hessen: Deelstaatsdienst voor Natuurbescherming, Milieu en Geologie (*Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, HLNUG*), Wiesbaden

Noordrijn-Westfalen: Deelstaatsdienst voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming (*Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, LANUV*), Recklinghausen

Nationaal niveau: Duitse dienst voor hydrologie (*Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG*), Koblenz

Nederland: Rijkswaterstaat (RWS) Water, Verkeer en Leefomgeving, Lelystad

In Frankrijk is het oorspronkelijke, natuurlijke type van de Rijn "zeer, zeer grote alpiene rivier". In het nationale referentiekader, dat is beschreven in de ministeriële decreten inzake de monitoring en de beoordeling van de toestand van de waterlichamen, is bepaald dat bij dit riviertype het kwaliteitselement fytoplankton niet relevant is voor de beoordeling van de ecologische toestand of het ecologische potentieel. Daarom is dit element noch opgenomen in het monitoringsprogramma noch in het beoordelingsschema.

Tabel 1: Lijst van meetlocaties en bevoegde instanties

Rijntraject	Rivier	Meetlocatie	Bevoegde instantie	Rivier-kilometer
Hoogrijn	Rijn	Öhningen	Baden-Württemberg, Zwitserland	23,0
Hoogrijn	Rijn	Reckingen	Baden-Württemberg, Zwitserland	90,1
Zuidelijke Bovenrijn	Rijn	Weil	Baden-Württemberg, Zwitserland	171/173
Zuidelijke Bovenrijn	Rijn	Breisach	Baden-Württemberg	225
Noordelijke Bovenrijn	Rijn	Karlsruhe	Baden-Württemberg	359,2
Noordelijke Bovenrijn	Rijn	Worms	Rijnland-Palts	443,3
Noordelijke Bovenrijn	Rijn	Mainz	Rijnland-Palts	498,5
Middenrijn	Rijn	Koblenz	BfG	590,3
Duitse Nederrijn	Rijn	Bad Honnef	Noordrijn-Westfalen	640,0
Duitse Nederrijn	Rijn	Bimmen	Noordrijn-Westfalen	865,0
Boven-Rijn	Rijn	Lobith	Nederland	863,3
Rijndelta	Rijn	Maassluis	Nederland	1.019
Zijrivieren van de Rijn				
Hoogrijn	Aare	Monding	Baden-Württemberg, Zwitserland	-

Noordelijke Bovenrijn	Neckar	Mannheim	Baden-Württemberg	3,0*
Noordelijke Bovenrijn	Main	Bischofsheim	Hessen	4*
Noordelijke Bovenrijn	Nahe	Bingen-Dietersheim	Rijnland-Palts	3,5*
Middenrijn	Lahn	Lahnstein	Rijnland-Palts	136,1**
Middenrijn	Moezel	Koblenz	BfG	2*

* De rivierkilometer geeft aan hoe ver de meetlocatie verwijderd is van de monding in de Rijn.

** Op dit traject van de Lahn worden de rivierkilometers geteld vanaf Gießen (Dutenhofen). Deze meetlocatie ligt ongeveer 1 km bovenstrooms van de monding in de Rijn.

De resultaten van 2018 zijn vergeleken met de resultaten van vroegere meetprogramma's en afgezet tegen ontwikkelingen op lange termijn.

Het meetprogramma voor fytoplankton is uitgevoerd tijdens de "vegetatieperiode" tussen maart en oktober, en omvatte de volgende analyses:

- Concentratie van chlorofyl-*a* (Chla) als indicator voor de biomassa van het fytoplankton (metingen over het algemeen minstens om de veertien dagen);
- analyse van de samenstelling van het fytoplankton (determinatie van de taxa, bepaling van het aantal cellen van de taxa, berekening van het celvolume), over het algemeen minstens maandelijks;
- berekening van het totale biovolume van het fytoplankton;
- registratie van abiotische parameters, zoals afvoer, nutriëntenconcentraties (totaal-P en totaal-N, orthofosfaat, nitraat, ammonium en opgelost silicium);
- inventarisatie van het zoöplankton op een selectie van meetlocaties.

2.2 Methodes

De methode voor de bemonstering en telling van het fytoplankton die in Duitsland wordt toegepast ten behoeve van de implementatie van de KRW wordt uitvoerig beschreven in MISCHKE & BEHRENDT (2007). Fytoplankton en chlorofyl worden telkens in deelmonsters van hetzelfde schepmonster bepaald.

De nutriëntenconcentraties (totaal-P, ortho-P, totaal-N, nitraat, ammonium, opgelost silicium) en het Chla-gehalte zijn in de laboratoria van de deelnemende instellingen conform DIN-standaarden bepaald. Anders dan in het rapport over de periode 2006/2007 (ICBR 2009), maar in overeenstemming met andere rapporten (bijv. ICBR 2002, 2015) en met de internationale praktijk wordt in de onderhavige beschrijving de "gecorrigeerde" chlorofyl-*a*-concentratie gebruikt.

De taxonomische (microscopische) fytoplanktonanalyse is uitgevoerd door middel van determinatie en telling van de in een Utermöhl-cuvet gesedimenteerde algen met behulp van een omkeermicroscop (UTERMÖHL-methode; beschrijving in MISCHKE & BEHRENDT 2007). Het biovolume van een taxon wordt verkregen door het getelde aantal cellen te vermenigvuldigen met een specifiek celvolume, dat hetzij per taxon is vastgelegd in de analysesoftware "Phytofluss", hetzij door eigen metingen wordt bepaald. De som van alle afzonderlijke algenvolumes resulteert in het totale biovolume van het monster.

In Nederland wordt er bemonsterd conform de Richtlijnen Monitoring Oppervlaktewater Europese Kaderrichtlijn Water (VAN SPLUNDER et al. 2006).

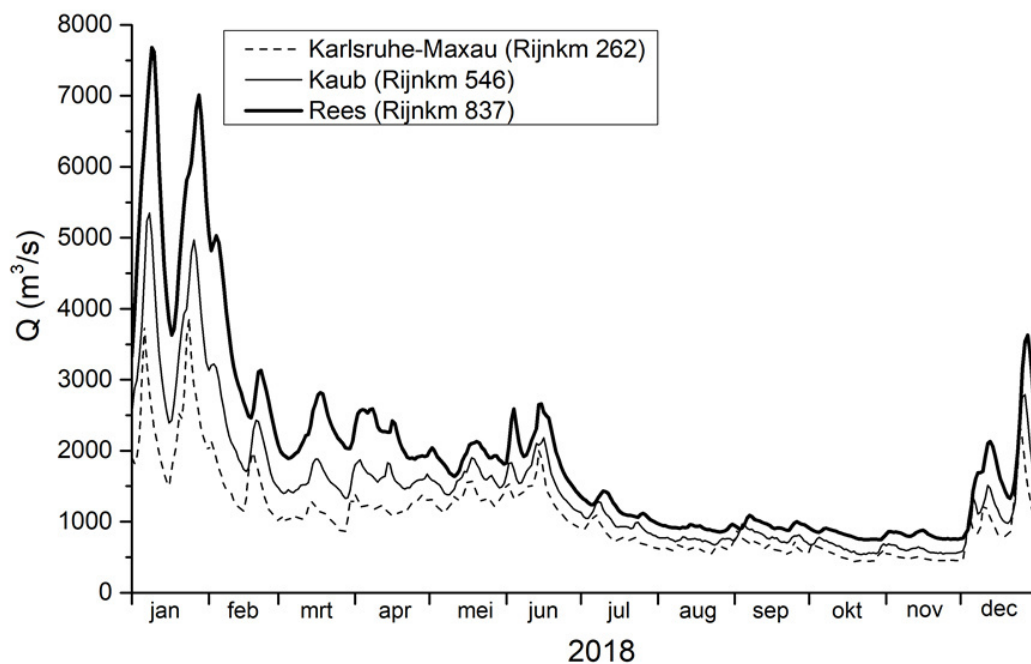
Vanaf Mainz en verder benedenstrooms zijn er op een selectie van meetlocaties monsters genomen van het zoöplankton, een factor met een mogelijke invloed op het fytoplankton. Hiervoor is minstens 20 liter water door een planktonnet met een maaswijdte van 55 µm gegoten, waarna de taxa in het gevangen zoöplankton en het aantal waarnemingen per taxon zijn bepaald.

3. Resultaten

3.1 Afvoer

De planktonontwikkeling is in grote mate afhankelijk van de verblijftijd van het water in een riviertraject. In de Alpenrijn is de stroomsnelheid te hoog om fytoplankton tot ontwikkeling te laten komen. Dit Rijntraject maakt dan ook geen deel uit van het onderhavige onderzoek. Het afvoerregime in de Hoogrijn en de Duits-Franse Bovenrijn wordt grotendeels bepaald door de toevoer van neerslag en smeltwater uit de Alpen, het Zwarte Woud en de Vogezen (dit is het zogenaamde "nivale afvoerregime"). De hoogste gemiddelde afvoeren worden hier tussen april en juni gemeten. Stroomafwaarts zien we een toename van de invloed van de watertoevoer uit de zijrivieren, waarvan het afvoerregime voornamelijk door neerslag is bepaald. De afvoerpieken verschuiven naar het vroege voorjaar en de winter (overgang naar het zogenaamde "pluviale afvoerregime").

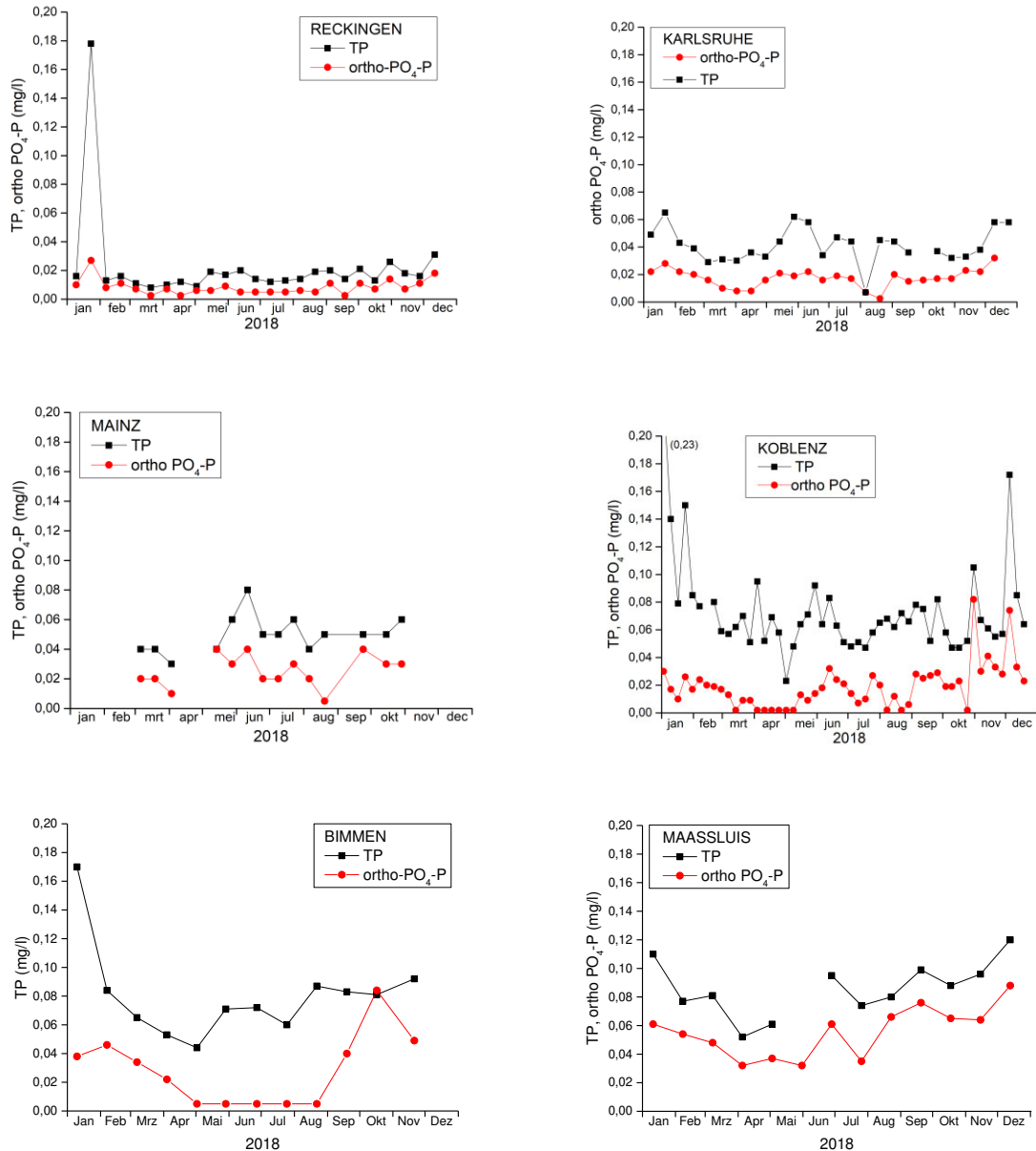
In figuur 1 zijn de afvoercurves op de meetpunten Karlsruhe-Maxau (Duits-Franse Bovenrijn), Kaub (Middenrijn) en Rees (Duitse Nederrijn) weergegeven voor het jaar 2018. De eerste van de twee afvoerpieken in januari bereikte op het meetpunt Rees een waarde van 7.680 m³/s en lag daarmee, net als de afvoer op andere locaties, duidelijk boven de langjarig gemiddelde hoogwaterafvoer (meetpunt Rees, MHQ 1930-2017: 6.510 m³/s). Later in het jaar daalden de afvoeren sterk, omdat er zeer weinig neerslag is gevallen in het stroomgebied, en vanaf eind juni waren ze duidelijk lager dan de gemiddelde laagwaterafvoer voor de maanden in kwestie. Vanaf eind juli lagen de afvoeren als gevolg van de lang aanhoudende laagwaterfase gedurende 126 dagen onder de jaargemiddelde laagwaterafvoer van 1.050 m³/s; deze situatie werd alleen onderbroken door een korte stijging in september. In oktober was de afvoer op de meetlocatie Rees het laagst en bedroeg toen 747 m³/s. Begin december kwam de laagwaterfase tot een eind dankzij stijgende afvoeren. Ook de watertemperaturen waren in 2018 uitzonderlijk. Ze bereikten daggemiddelden tot 28 °C op de meetlocatie Koblenz van de BfG en lagen gedurende meerdere weken boven de 25 °C.



Figuur 1: Daggemiddelde afvoer op de meetpunten Karlsruhe-Maxau (Duits-Franse Bovenrijn), Kaub (Middenrijn) en Rees (Duitse Nederrijn) in 2018 (Gegevens van de Water- en Scheepvaartadministratie van de Duitse Bond (WSV), beschikbaar gesteld door de BfG)

3.2 Nutriënten

Geregistreerd zijn de plantenvoedingsstoffen fosfor (totaal-P, orthofosfaat), stikstof (totaal-N, nitraat, ammonium) en silicium (opgelost kiezelzuur). Gelet op hun bijzondere relevantie voor de groei van fytoplankton worden hieronder de fosforconcentraties in de loop van de Rijn weergegeven (figuur 2).



Figuur 2: Concentraties van totaal-P (TP) en ortho-PO₄-P in 2018 op een selectie van meetlocaties aan de Rijn

De concentraties totaal-P (TP) correleren in de loop van het jaar met de afvoer, en vertonen wellicht door erosie veroorzaakte maxima tijdens de hoge afvoeren in januari. Over de lengte van de Rijn stijgen de TP-concentraties van gemiddeld 15 µg/l in Reckingen naar 62 µg/l in Koblenz, 68 µg/l in Bimmen en 88 µg/l in Maassluis (seizoensgemiddelde, maart-oktober). In Öhningen, waar de afvoer uit het inmiddels opnieuw door oligotrofie gekenmerkte Bodenmeer wordt gemeten, lagen de concentraties orthofosfaat-P tussen maart en oktober vrijwel constant onder de bepalingsgrens van 5 µg/l (gegevens niet weergegeven). In de loop van de rivier stegen deze concentraties naar seizoensgemiddelden van 19 µg/l in Koblenz en 50 µg/l in Maassluis.

In de planktonecologie is het gehalte van totaal-P als potentieel beschikbare plantenvoedingsstof een indicator voor de potentiële, maximale ontwikkeling van de biomassa. Opgelost orthofosfaat-P is daarentegen direct beschikbare plantenvoedingsstof, waarvan de concentratie zowel wordt beïnvloed door de emissies als door de opname van het fytoplankton. Daarom zijn de laagste orthofosfaatconcentraties veelal tijdens de voorjaarsbloei van het fytoplankton gemeten, in Koblenz en Bimmen ook tijdens de zomeralgenbloei (zie ook figuur 4). De groei van fytoplankton wordt doorgaans pas beperkt als de concentraties orthofosfaat-P duidelijk onder 20 µg/l vallen. Deze als positief te beoordelen toestand lijkt inmiddels, tenminste in het voorjaar, op enkele locaties te worden bereikt.

De concentraties van andere nutriënten (ammonium, nitraat, opgelost silicaat) zijn weergegeven in tabel 2. Tot in de jaren negentig van de vorige eeuw was silicium bij grootschalige planktonbloei groeibeperkend voor kiezelalgen, maar in 2018 is het zelfs tijdens de korte, maar sterke kiezelalgenbloei niet opgebruikt. Het fytoplankton blijft de siliciumconcentraties echter sterk beïnvloeden. Tijdens de zomerbloei van kiezelalgen lagen de laagste concentraties van SiO₂-Si in Bimmen en Lobith bijvoorbeeld onder 0,5 mg/l en dus ruim onder de jaargemiddelden in kwestie.

Tabel 2: Seizoensgemiddelde (maart-oktober 2018) van een selectie van nutriënten in de loop van de Rijn. De fosforgegevens zijn weergegeven in figuur 2.

Meetlocatie	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	TN (mg/l)	SiO ₂ -Si (mg/l)
Reckingen	0,03	0,90	1,1	-
Karlsruhe	0,03	1,2	-	1,4 (1,1 - 2,1)
Mainz*	-	1,5	1,8	2,0 (1,5 - 2,9)
Koblenz	0,03	1,61	2,12	1,5 (0,86 - 2,68)
Bimmen	<0,05	1,8	2,1	1,8 (0,48 - 3,3)
Maassluis	0,11	1,65	-	1,6 (0,45 - 3,0)

* Monster uit leiding 1 op de meetlocatie Mainz, representatief voor de Rijn zonder invloed van de Main.

De gemiddelde concentraties van totaal-fosfor en totaal-stikstof waren aan de monding van de grote zijrivieren duidelijk hoger dan op de overeenkomstige meetlocatie in de Rijn (zie tabel 3). In enkele zijrivieren was de minimumconcentratie van SiO₂-Si tijdens de kiezelalgenbloei lager dan 0,5 mg/l, de grens waaronder silicium groeibeperkend begint te zijn voor kiezelalgen.

Tabel 3: Seizoensgemiddelde (maart-oktober 2018) van een selectie van parameters aan de monding van zijrivieren* in de Rijn

Meetlocatie	TP (mg/l)	TN (mg/l)	SiO ₂ -Si (mg/l)
Neckar	0,13	4,4	2,5 (<0,5 - 3,8)
Main	0,19	4,4	3,9 (0,2 - 7,0)
Nahe	0,17	3,4	4,5 (2,1 - 7,9)
Lahn	0,13	3,0	6,4 (3,1 - 8,6)
Moezel	0,11	3,654,2	1,72 (0,28 - 3,61)

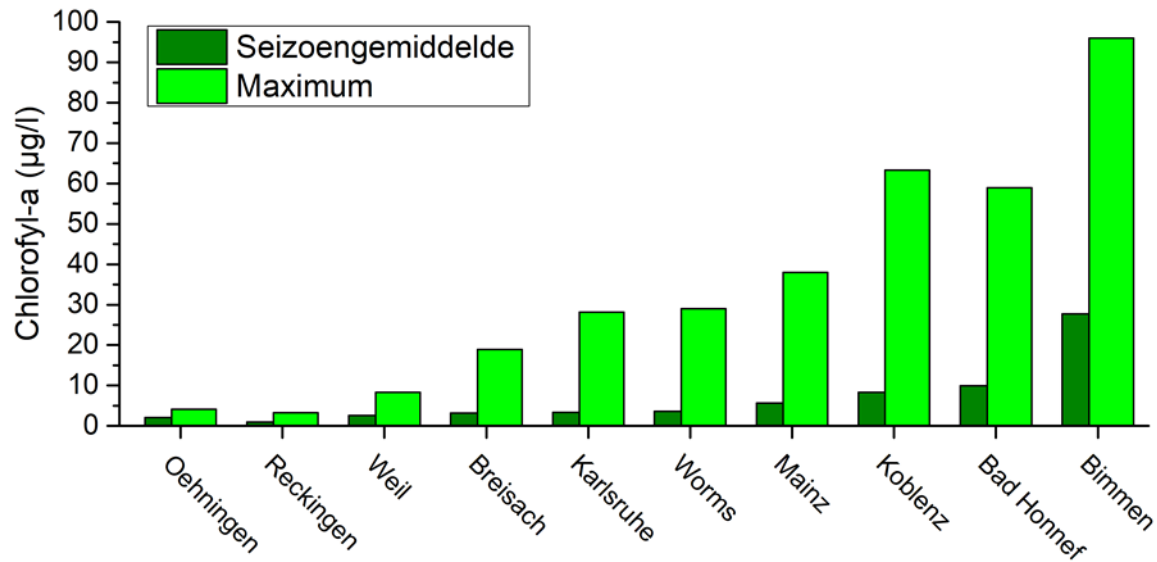
* De bovenstaande informatie is voor de Aare niet beschikbaar. De concentratie van nitraat-stikstof, dat doorgaans het grootste deel van totaal-stikstof vormt, lag bij 1,16 mg N/l.

3.3 Fytoplankton

3.3.1 Ruimtelijke en seizoensdynamiek van het chlorofylgehalte

De chlorofyl-*a* (Chl_a)-concentratie is een maat voor de biomassa van het fytoplankton en wordt hier gebruikt om de fytoplanktondynamiek te beschrijven. Weergegeven zijn de internationaal gebruikelijke, "gecorrigeerde" chlorofylconcentraties na aftrek van het aandeel faeopigment (vgl. MISCHKE & RIEDMÜLLER 2013).

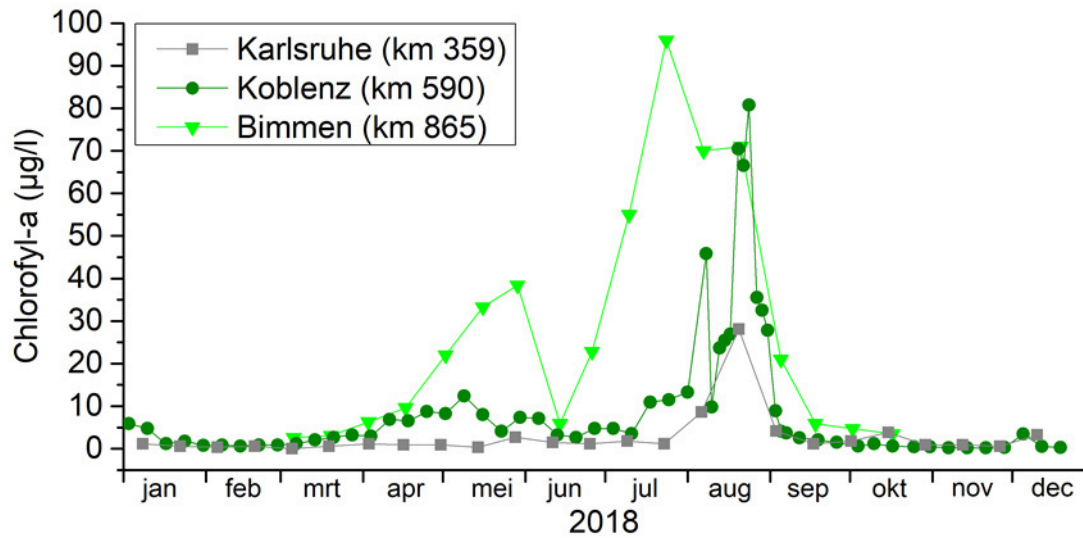
In figuur 3 wordt de ontwikkeling van de seizoensgemiddelde concentratie en de maximumconcentratie van fytoplankton in de loop van de Rijn in 2018 weergegeven. Aan de uitloop uit het Bodenmeer drukt de Untersee nog haar stempel op de planktondynamiek en het soortenspectrum. Als gevolg van de sterk oligotrofe toestand van het Bodenmeer zijn er maar vrij kleine hoeveelheden fytoplankton tot ontwikkeling gekomen (seizoensgemiddelde in de uitstroom in Öhningen: 2,1 µg/l Chl_a). De seizoensgemiddelden veranderden in de verdere loop van de Hoogrijn en over grote delen van de Duits-Franse Bovenrijn aanvankelijk amper. Echter, de maximumconcentraties van Chl_a lieten vanaf Weil am Rhein al een duidelijke toename in de loop van de rivier zien en bereikten in Breisach 29 µg/l, in Koblenz 63 µg/l en in Bimmen 96 µg/l (zie figuur 3). Op de meeste locaties zijn deze maximumwaarden niet in het voorjaar bereikt, zoals in vroegere jaren (zie ICBR 2015), maar tijdens de laagwaterfase in de zomer.



Figuur 3: Gemiddelde (seizoensgemiddelde van maart tot oktober) en maximale chlorofylconcentratie in de loop van de Rijn in 2018

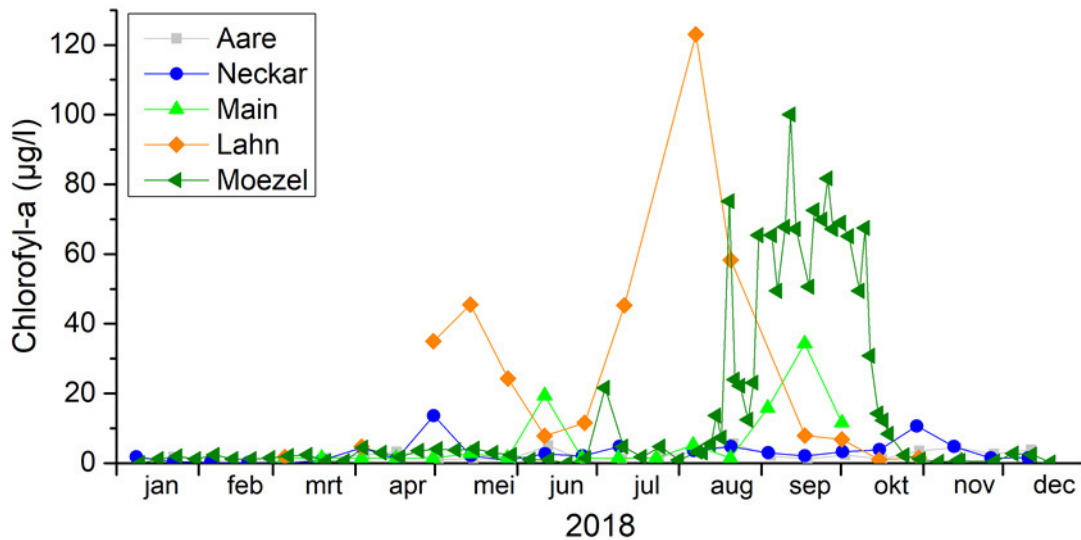
In figuur 4 is de seizoensdynamiek van de Chl_a-concentraties in de Rijn weergegeven voor de meetlocaties Karlsruhe, Koblenz en Bimmen. Als gevolg van de zeer lage afvoeren gecombineerd met hoge watertemperaturen kwam er een zomeralgenbloei tot ontwikkeling in de Rijn, die sinds het begin van de jaren negentig van de vorige eeuw in deze mate niet meer is opgetreden (zie ook hoofdstuk 3.5). In Karlsruhe zijn er al hoge Chl_a-concentraties van maximaal 28 µg/l gemeten, hetgeen erop wijst dat deze algenbloei grotendeels in de Rijn zelf en niet in de door stuwen gereguleerde zijrivieren Neckar en Main is ontstaan. Omdat deze algenbloei duidelijk te zien was met het blote oog, is de frequentie van de wekelijkse bemonsteringen op de meetlocatie Koblenz verhoogd, zodat de ontwikkeling van de algenbloei hier bijzonder goed kan worden gevolgd. In Koblenz was er sprake van Chl_a-concentraties tot maximaal 81 µg/l, die in meerdere, aparte pieken zijn gemeten. In Bimmen zijn er, hier weer bij tweewekelijkse bemonsteringen, Chl_a-waarden gemeten tot maximaal 96 µg/l.

In 2018 is er alleen in Bimmen een duidelijke voorjaarspiek van het fytoplankton gemeten met 40 µg/l Chla. Echter, in Koblenz en op de meetlocaties verder stroomopwaarts bleef de Chla-concentratie in het voorjaar relatief laag met een maximum van 12 µg/l.



Figuur 4: Seizoensontwikkeling van de chlorofylconcentratie op de meetlocaties Karlsruhe, Koblenz en Bimmen

De fytoplanktondynamiek in de zijrivieren van de Rijn in 2018 verschilde duidelijk van de dynamiek in 2012 en ook van de planktonontwikkeling in de Rijn. Zo is er anders dan in 2012 geen dan wel alleen een zeer kleine voorjaarsbloei van algen waargenomen in de Moezel en de Neckar (zie figuur 5). In de Main is er behalve een verhoogde chlorofylwaarde in juni evenmin een voorjaarsbloei van algen, maar wel een late zomeralgenbloei gemeten met waarden tot 34 µg/l Chla, die grotendeels door kleine centrische kiezelalgen (*Cyclotella meneghiniana*) was gevormd. Deze soort kwam in de Lahn in het voorjaar tot volle wasdom met maxima tot 46 µg/l Chla. In juni nam de Chla-concentratie in de Lahn af om in augustus weer sterk te stijgen naar waarden van maximaal 123 µg/l. Ook deze zomeralgenbloei werd voornamelijk gevormd door diatomeeën, in het bijzonder door de centrische kiezelalg *Aulacoseira granulata*, die typisch is voor de zomer. Bovendien waren ook de dinoflagellaten *Parvodinium umbonatum* en *Peridinium sp* in grote biomassa's aanwezig. Vanaf medio augustus was er in de Moezel sprake van een buitengewoon sterke bloei van cyanobacteriën (blauwalgen) met maxima tot 100 µg/l Chla. Deze bloei bestond vrijwel volledig uit het potentieel toxische geslacht *Microcystis*, dat 98% van de totale fytoplanktonbiomasse uitmaakte. Gelet op het voorgaande zijn er in Rijnland-Palts preventief waarschuwingen in verband met recreatie aan de Moezel afgegeven.



Figuur 5: Chlorofyl-a-concentratie in zijrivieren van de Rijn: Aare, Neckar, Main, Lahn en Moezel. Steeds gegevens van het meetstation dat het dichtst bij de monding is gelegen.

3.3.2 Taxonomische samenstelling van het fytoplankton

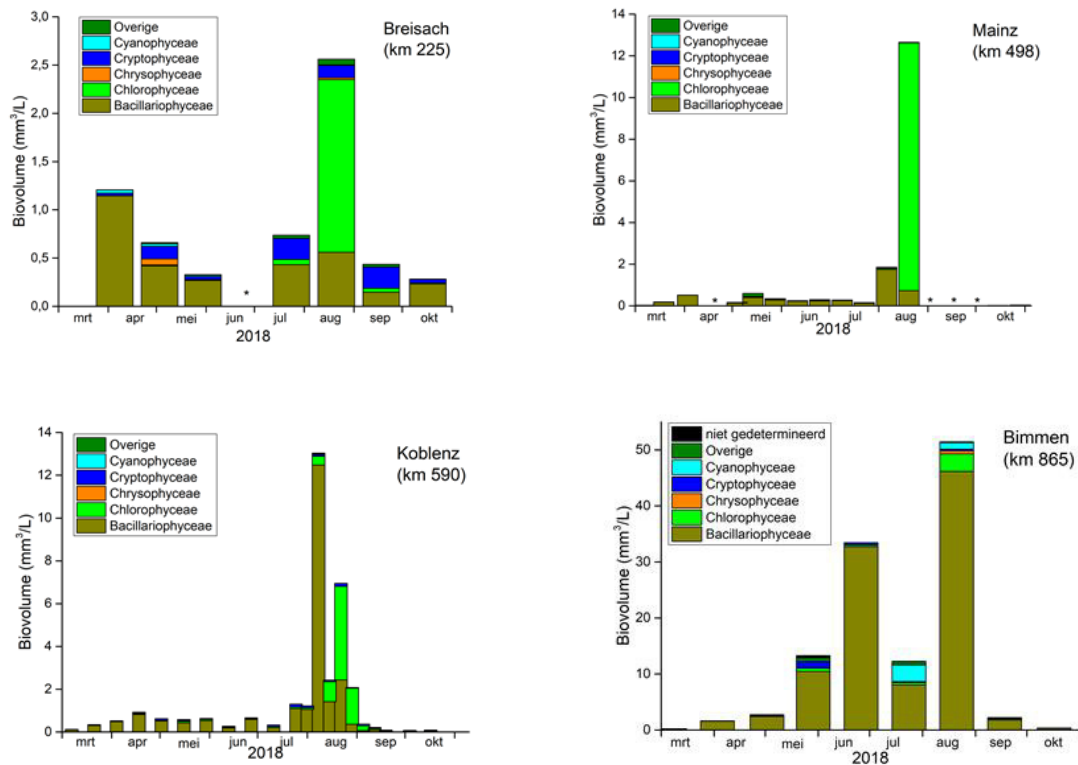
In figuur 6 wordt de taxonomische samenstelling van het fytoplankton op een selectie van meetlocaties weergegeven, uitgesplitst naar algenklassen. Kiezelalgen (hier nog samengevat als de klasse van de Bacillariophyceae) leverden meestal veruit de grootste bijdrage aan de biomassa. In het voorjaar maakten ze op de meetlocaties Koblenz en Bimmen duidelijk meer dan 90% uit van het totale fytoplanktonbiovolume. Bijzonder sterk vertegenwoordigd tijdens de algenpiek eind mei waren de centrische kiezelalgen *Skeletonema subsalsum*, *Aulacoseira normanii* en *Skeletonema potamos*. Verder stroomopwaarts in Breisach werden grotere aandelen van de totale fytoplanktonbiomassa ingenomen door kiezelalgen en daarnaast ook cryptomonaden (Cryptophyceae), in het bijzonder de soort *Rhodomonas lacustris*.

Op de meetlocatie Koblenz kon de taxonomische samenstelling van het fytoplankton tijdens de zomeralgenbloei gedifferentieerder worden bekeken. Hier is naar voren gekomen dat er eerst sprake was van een zeer sterke kiezelalgenbloei, die op 8 augustus voor 80% door de centrische kiezelalg *Skeletonema potamos* werd gevormd. Deze warmteminnende soort is typisch voor grotere rivieren en levert daar vaak een vrij groot aandeel aan de biomassa. Aangenomen wordt dat deze soort in de toekomst zal profiteren van temperatuurstijgingen als gevolg van de klimaatverandering (Duleba et al. 2014). Echter, bij de meting van 15 augustus was de biomassa van *Skeletonema potamos* op de meetlocatie Koblenz al naar twee procent van de waarde van 8 augustus gedaald. De inmiddels veel kleinere fytoplanktonbiomassa werd toen gedomineerd door de kiezelalg *Cyclotella meneghiniana*, die ook typisch is voor rivieren. Een week later, op 22 augustus, domineerden groenalgen van het geslacht *Coelastrum polychordum* de fytoplanktongemeenschap en ontstond er een tweede, geheel anders samengestelde fytoplanktonbloei.

De maandelijkse fytoplanktontellingen op de andere meetlocaties bevestigen de opvallende fytoplanktondynamiek op de meetlocatie Koblenz (zie figuur 6). De groenalg *Coelastrum polychordum*, die op 22 augustus een planktonbloei vormde op de meetlocatie Koblenz, is een typische soort voor de grote meren aan de voet van de Alpen. Dit strookt ook met het feit dat de soort ver stroomopwaarts tot aan de monding van de Aare in groten getale kon worden aangetroffen. Op 21 augustus maakte *Coelastrum polychordum* al nagenoeg 60% van de algenbiomassa uit op de meetlocatie Breisach. Op 20 augustus nam deze soort op de meetlocatie Mainz zelfs meer dan 90% van de totale fytoplanktonbiomassa in. Verder stroomafwaarts, op de meetlocatie Bimmen, waren de groenalgen op dat moment blijkbaar

nog niet tot volle wasdom gekomen. *Coelastrum polychordum* was al wel in vrij grote omvang aanwezig, maar de kiezelalgen scoorden toch nog hoger, zoals een week eerder ook in Koblenz.

De resultaten van het fytoplankton in de Rijn en zijn zijrivieren laten alles samengenomen zien dat de algenbiomassa in het voorjaar steeds kleiner wordt en de trofische toestand bijgevolg verbetert. Echter, de opvallende zomeralgenbloeien tonen aan dat er zowel in de Rijn als in zijn zijrivieren (in 2018 in de Moezel en de Lahn) een trofisch potentieel voor hoge algenbiomassa's aanwezig is, waarvan verschillende fytoplanktonsoorten kunnen profiteren.



Figuur 6: Biovolume van de verschillende algenklassen in de loop van het jaar op de meetlocaties Breisach, Mainz, Koblenz en Bimmen (* = geen bemonstering)

3.4 Zoöplankton

De meeste zoöplanktonorganismen in de Rijn en zijn zijrivieren voeden zich met bacteriën en fytoplankton. Zelf vallen ze ten prooi aan vissen, wat hen tot een belangrijke schakel in de voedselketen maakt, vooral in de oeverzone en in stilstaande wateren.

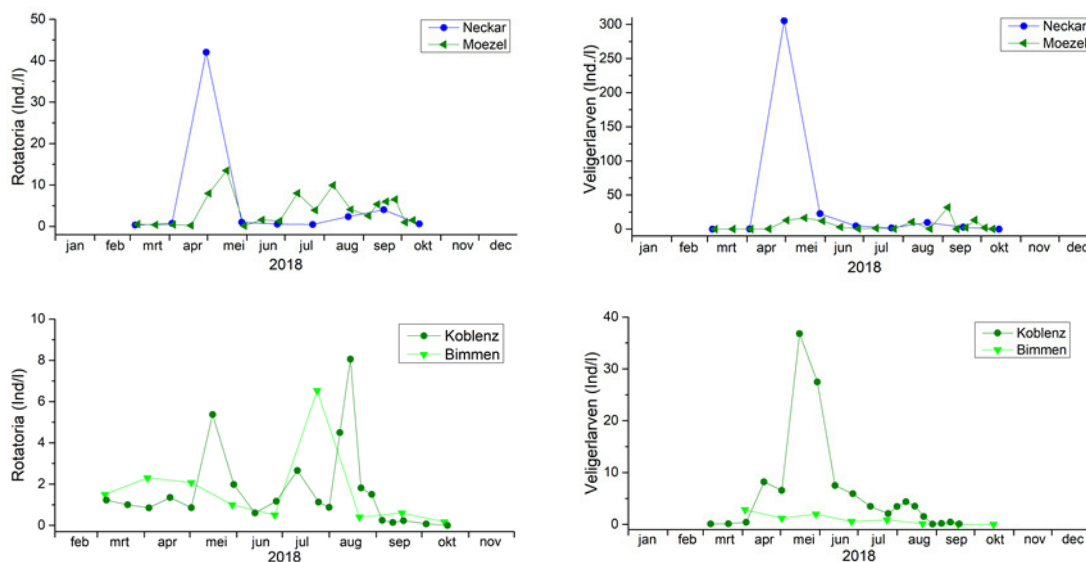
Omdat er tijdens de meetcampagne 2012 (zie ICBR 2015) maar weinig zoöplankton in een lage biomassa is gemeten, is het zoöplankton in 2018 alleen op enkele meetlocaties bemonsterd. Ook in 2018 waren het aantal en de biomassa van de zoöplanktonorganismen gering. Figuur 7 geeft het aantal geselecteerde zoöplanktonorganismen weer op de meetlocaties Koblenz en Bimmen voor de Rijn en voor de zijrivieren Neckar en Moezel.

Rotatoria ("raderdiertjes") zijn typische zoöplanktonorganismen in rivieren. Ze worden doorgaans in het voorjaar, gelijk met de fytoplanktonpiek, waargenomen (zie figuur 7). In 2018 was dit in de Neckar het geval, hoewel zowel de voorjaarsbloei van het fytoplankton (maximaal 20 µg/l Chla) als het maximum aantal rotatoria (40 individuen/l)

relatief beperkt waren. In de Moezel is er in 2018 geen voorjaarsbloei tot ontwikkeling gekomen. En het aantal rotatoria (maximaal 12 individuen/l) was bijgevolg nog lager dan in de Neckar. Dit geldt ook voor de Rijn, waar op de meetlocaties Koblenz en Bimmen gedurende de gehele meetcampagne maximaal 9 individuen/l zijn aangetroffen. Dit zeer lage aantal was een verrassing, omdat er tijdens de laagwaterfase uitgesproken fytoplanktonbloeiën waren opgetreden, die veel voedsel voor rotatoria boden. Echter, deze fytoplanktonbloeiën waren misschien te kort, zodat de rotatoria met hun langere generatietijden hierop niet hebben kunnen reageren.

Andere typische zoöplanktonorganismen in de Rijn zijn larven (zogenaamde "veligerlarven") van de driehoeksmosselen *Dreissena polymorpha* en *Dreissena rostriformis bugensis*. Ze worden aperiodiek afgegeven door adulte mosselen, en als er sprake is van een massaal voorkomen van mosselen kunnen ze gedurende korte periodes hoge aantallen van honderden individuen per liter bereiken. Echter, in 2018 was ook het aantal veligerlarven relatief laag. Alleen in de Neckar is er in mei een groot aantal veligerlarven aangetroffen (300/l). In de Moezel bleef het aantal mossellarven het hele jaar 2018 laag en ook in de Rijn zijn er bij de intensievere bemonsteringen in Koblenz niet meer dan 40 veligerlarven/l waargenomen. Misschien is dit lage aantal te wijten aan een achteruitgang van de uitheemse *Dreissena polymorpha* (driehoeksmossel), die in de Rijn is verdrongen door de enigszins grotere en minder vaak voorkomende *Dreissena rostriformis bugensis* (quaggamossel).

Andere zoöplanktonorganismen kwamen in de Rijn en zijn zijrivieren Neckar en Moezel alleen in kleinere aantallen voor. Planktonkreeftjes (watervlooien en roeipootkreeftjes, respectievelijk cladoceren en copepoden) kwamen slechts in uiterst geringe aantallen voor in de Rijn. In de monsters van de Rijn en de Neckar zijn er nooit meer dan twee individuen per liter geteld. In de Moezel kwamen kreeftachtigen vaker voor: hier zijn tijdens de cyanobacteriënbloei tot 26 individuen/l geteld, meestal jonge stadia van copepoden ("naupliuslarven").



Figuur 7: Concentratie van het zoöplankton (individuen/l) in de Rijn en enkele zijrivieren van de Rijn in 2018

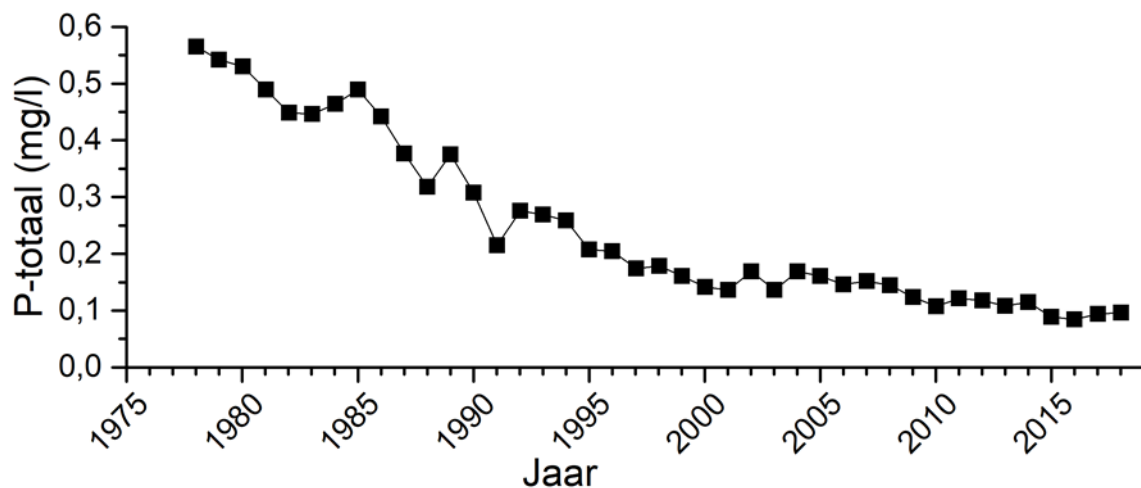
3.5 Vergelijking van de resultaten met vroeger onderzoek

De langetermijnontwikkeling van het fytoplankton in de Rijn wordt beschreven in FRIEDRICH & POHLMANN (2009) en HARDENBICKER et al. (2014). In beide onderzoeken wordt er gewezen op een duidelijke afname van de biomassa van het fytoplankton op lange termijn, die correleert met de daling van de concentratie totaal-P. Deze trend blijkt ook

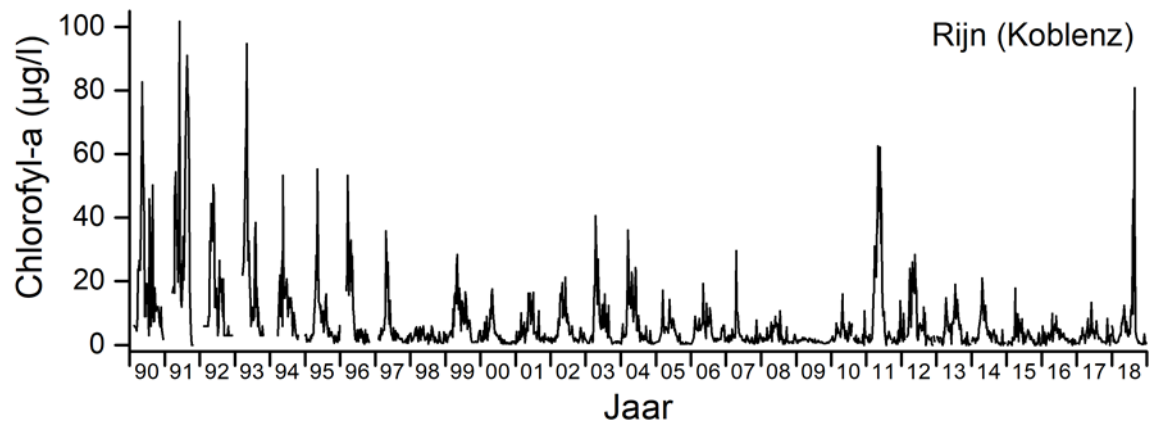
uit de figuren 8 en 9. Op de meetlocatie Koblenz is de jaargemiddelde concentratie totaal-P gedaald van 0,56 mg/l in 1978 naar 0,10 mg/l in 2018. Aan het begin van de jaren negentig van de twintigste eeuw werden hier nog fytoplanktonmaxima van 80 à 100 µg/l Chla bereikt, maar dergelijke waarden behoorden lange tijd tot het verleden. Echter, de algemene achteruitgang van de hoeveelheden fytoplankton in de Rijn heeft niet alleen te maken met de vermindering van de P-emissies, maar ook met de gereduceerde emissie uit het Bodensee en de zijrivieren, en ook en vooral met de toegenomen begrazing door de uitheemse driehoeksmossel (*Dreissena sp.*) en korfmosseel (*Corbicula sp.*) (WEITERE & ARNDT 2002, HARDENBICKER et al. 2014, ICBR 2015).

De actuele hydrologische en meteorologische omstandigheden kunnen echter interfereren met de trend op lange termijn, en seizoensgebonden algenbloeien bevorderen. De fytoplanktonontwikkeling is gering als de lente wordt gekenmerkt door een hoge afvoer, zoals in 2009 en in tendens ook 2018, terwijl een lente met lage afvoeren en veel zon, zoals in 2011, leidt tot een extreem hoge en aanhoudende fytoplanktonpiek (zie figuur 9). Tijdens de laagwaterfase in de zomer van 2018 is de invloed van de weersomstandigheden bijzonder duidelijk geworden. Het fytoplankton profiteerde van langere looptijden, hogere watertemperaturen en gereduceerde mosselactiviteit. Ondanks de duidelijk lagere totaal-P-concentratie kunnen er in potentie dus nog steeds algenbloeien tot ontwikkeling komen in de Rijn. De grote tussenjaarlijkse schommelingen in de fytoplanktonbiomassa zijn hier een bewijs van.

Naast de reeds beschreven opmerkelijke fytoplanktonpiek in de zomer valt op dat de voorjaarsbloei van algen in de Rijn in 2018 zwakker was dan in vroegere meetreeksen. In figuur 9 is dit weergegeven voor de meetlocatie Koblenz. Ook hier is de sterke tussenjaarlijkse variabiliteit in de fytoplanktonbiomassa duidelijk te zien. Over het geheel genomen maakt de buitengewone, door het weer beïnvloede fytoplanktondynamiek van 2018 duidelijk dat permanente monitoring van het fytoplankton op basis van een relatief fijnmazig tijdschema voor de bemonsteringen dringend noodzakelijk is. Trendanalyses van deze tijdreeksen kunnen, zoals voor de meetlocaties Koblenz en Düsseldorf-Flehe al is beschreven, de successen in het beheer zichtbaar maken en veranderingen in het milieu op lange termijn vastleggen (zie FRIEDRICH & POHLMANN 2009, HARDENBICKER et al. 2014).



Figuur 8: Ontwikkeling van de (jaargemiddelde) concentratie totaal-fosfor op de meetlocatie Koblenz in de periode 1978-2018



Figuur 9: Ontwikkeling van de chlorofyl-a-concentratie op de meetlocatie Koblenz sinds 1990

4. Bibliografie

DULEBA, M., ECTOR, L., HORVÁTH, Z., KISS, K.T., MOLNÁR, L.F., POHNER, Z., SZILÁGYI, Z., TÓTH, B., VAD, C.F., VÁRBÍRÓ, G., ÁCS, E. (2014): Biogeography and phylogenetic position of a warm-stenotherm centric diatom, *Skeletonema potamos* (C.I. Weber) Hasle and its long-term dynamics in the river Danube. *Protist* 165, 715-729. DOI: 10.1016/j.protis.2014.08.001

FRIEDRICH, G. & M. POHLMANN (2009): Long-term plankton studies at the lower Rhine/Germany. – *Limnologica* 39, 14-39.

HARDENBICKER, P., ROLINSKI, S., WEITERE, M. & H. FISCHER (2014): Temporal trends in the phytoplankton dynamics of the rivers Rhine and Elbe. - *International Review of Hydrobiology* 99, 287-299. DOI: 10.1002/iroh.201301680

ICBR (2002): Plankton in de Rijn. Rapport 129 (alleen beschikbaar in het Duits en het Frans)

ICBR (2009): Het fytoplankton in de Rijn. Rijnmeetprogramma biologie 2006/2007, deel II-A. Rapport 169.

ICBR (2015): Het fytoplankton in de Rijn in 2012. Rapport 224.

MISCHKE, U. & H. BEHRENDT (2007): Handbuch zum Bewertungsverfahren von Fließgewässern mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-WRRL in Deutschland. Weißensee Verlag, Berlin.

MISCHKE, U. & U. RIEDMÜLLER (2013): Überarbeitung des Phytoplanktonverfahrens nach WRRL für Fließgewässer und Tool PhytoFluss 3.0. FKZ 371024207. Niet gepubliceerd eindrapport.

VAN SPLUNDER, I., PELSMA, T.H.A.M. & A. BAK (2006) Richtlijnen Monitoring Oppervlaktewater Europese Kaderrichtlijn Water. Versie 1.3, augustus 2006. ISBN 9036957168.

WEITERE, M. & H. Arndt (2002) Top-down effects on pelagic heterotrophic nanoflagellates (HNF) in a large river (River Rhine): do losses to the benthos play a role? – *Freshwater Biology* 47, 1437-1450. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2002.00875.x