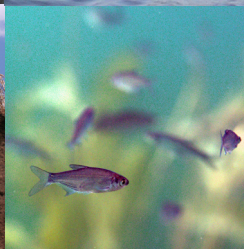
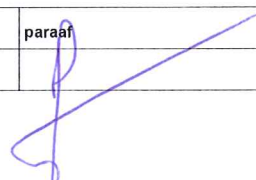


Onderzoek neveneffecten
luchtmenginstallaties op diepe
plassen



Onderzoek neveneffecten luchtmenginstallaties op diepe plassen

referentie	projectcode	status
LEDN176-1/posm/006	LEDN176-1	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
ir. N.G. Jaarsma	drs. M. Klinge	14 juli 2011

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	ir. N.G. Jaarsma	

SAMENVATTING

1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doel	1
1.3. Leeswijzer	1
2. VISIE OP HET PROJECT EN GEVOLGDE AANPAK	3
2.1. Visie op het project	3
2.1.1. Ecologisch functioneren van diepe plassen	3
2.1.2. Mogelijke effecten van luchtmenging	4
2.1.3. Laat de data spreken!	5
2.1.4. Onderbouwen van de bevindingen en aanvullen met literatuur	5
2.1.5. Vertalen van de bevindingen naar algemene effecten en KRW-beoordeling	5
2.2. Gevolgde aanpak	6
2.2.1. Data-analyse	6
2.2.2. Literatuuronderzoek	6
2.2.3. Effectbeoordeling	6
3. RESULTATEN DATA-ANALYSE RIJNLANDSE Plassen	7
3.1. Algemene kenmerken en trends in de waterkwaliteit	7
3.1.1. Algemene trends in de Rijnlandse boezemmeren	7
3.1.2. Ontwikkeling van chloride in de plassen	9
3.1.3. Ontwikkeling overige parameters	10
3.1.4. Samenvatting ontwikkelingen boezem en plassen	15
3.2. Fysisch-chemische effecten van luchtmenging	15
3.2.1. Effecten van beluchten in diepte en tijd	16
3.2.2. Effecten op fysisch-chemische kwaliteitselementen KRW	22
3.2.3. Effect op temperatuurverloop	23
3.2.4. Effecten op opgelost stikstof in het epilimnion	26
3.2.5. Samenvatting fysisch-chemische effecten	28
3.3. Ecologische effecten van beluchten	29
3.3.1. Algen	29
3.3.2. Macrofyten	32
3.3.3. Macrofauna	33
3.3.4. Vis	33
3.3.5. Samenvatting ecologische effecten	34
4. LITERATUURONDERZOEK EN SYNTHESE	37
4.1. Aanvullend literatuuronderzoek	37
4.2. Doorvertaling naar effecten op de ecologie	38
4.2.1. Effecten via helderheid op plantengroei	38
4.2.2. Effecten op vis	39
4.3. Synthese effecten van luchtmenging en KRW	40
4.3.1. Fysisch-chemische effecten	40
4.3.2. Ecologische effecten en KRW	42
4.4. Effecten op aangrenzende wateren (kwalitatief)	43

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	45
5.1. Conclusies	45
5.2. Aanbevelingen	45
6. LITERATUUR	47
laatste bladzijde	47
BIJLAGEN	
I Analyseresultaten, afbeeldingen en tabellen	zie cd-rom
II Toelichting werkwijze data-analyse	zie cd-rom

SAMENVATTING

Voorliggend rapport gaat in op de effecten van verticaal mengen door beluchting (luchtmenging) van diepe plassen. Luchtmenging is een maatregel die is gericht op het voorkomen of verminderen van problemen met blauwalgen in diepe plassen. De maatregel is in de meeste gevallen zeer effectief, dit blijkt ook uit de resultaten van deze studie. Blauwalgen nemen door diepe menging sterk af, ten gunste van niet-overlast veroorzakende soorten. In het algemeen neemt ook de dichtheid van de algen in het water af, dit is gunstig.

Hoogheemraadschap van Rijnland heeft Witteveen+Bos gevraagd om in deze studie specifiek te kijken naar de eventuele neveneffecten van luchtmenging, dus effecten die niet in eerste instantie worden beoogd. Dit is onderzocht door middel van analyse van beschikbare meetgegevens en aangevuld met literatuur. Hieruit komt het volgende beeld naar voren.

In een onbeluchte plas treedt 's zomers stratificatie (gelaagdheid) op onder invloed van temperatuurverschillen. Dit leidt tot zuurstofloosheid in de diepe delen, als gevolg van afbraakprocessen. Door menging wordt de stratificatie doorbroken en verandert het functioneren van de diepe plas volledig. In de meeste plassen met een goed functionerende luchtmenging (Bosplas, Zegerplas en Nieuwe Meer) is dat ook duidelijk te zien. Hier zijn temperatuur en zuurstof in de zomerperiode over de gehele waterkolom vrijwel gelijk. In de Vlietlanden functioneert de menging niet optimaal en ontstaan verschillen in temperatuur en zuurstof over de diepte.

De effecten van luchtmenging op de nutriëntengehalten (P en N) zijn niet eenduidig uit de analyse af te leiden. Wat wel gezegd kan worden is dat in de onderzochte plassen luchtmenging niet leidt tot een duidelijke verhoging van de totale nutriëntengehalten, eerder een verlaging. Voor stikstof leidt luchtmenging 's zomers wel tot een toename van het gehalte nitraat (NO_3) in de bovenlaag (epilimnion) van de plas. In enkele gevallen wordt de jaarlijkse N-limitatie daardoor opgeheven. Dit leidt echter niet tot een toename in de algendichtheden.

Het doorzicht in plassen lijkt door luchtmenging te verbeteren, dit komt overeen met de eerder genoemde afname in algendichtheden. Ook dit is gunstig, met name voor de kansen voor ondergedoken waterplanten.

Behalve het effect op algen, is het niet mogelijk gebleken om biologische effecten aan te tonen met de beschikbare data. Op basis van de waargenomen fysisch-chemische effecten en de gebruikte literatuur, mag echter worden verwacht dat de biologische effecten van luchtmenging overwegend gunstig zijn. Een verbeterd doorzicht vergroot de groeipotenties voor ondergedoken waterplanten, waar vissen en ongewervelde dieren weer van kunnen profiteren.

Een belangrijk aandachtspunt dat uit deze studie naar voren komt is de verwachte toename van bodemvoedselende vis, zoals brasem. Dit is het gevolg van het toegankelijk worden van het diepe deel van de plas. Zolang de diepe delen zuurstofloos zijn, zal er weinig leven zijn en zal de vis dit mijden. Door luchtmenging wordt ook dit deel productief, waar de vis van kan profiteren. Dit is op zichzelf niet nadelig, een toename van het beschikbare areaal voor vis kan ook positief worden beoordeeld. Een toename van het aandeel brasem wordt echter door de KRW maatlaten wel negatief beoordeeld. Van belang is te realiseren dat de maatlat uitgaat van een niet-gemengde (stratificerende) plas. Voor een plas met luchtmenging is de uitgangssituatie wezenlijk anders.

Ook kan als gevolg van een toename van de brasemstand, het ondiepe deel van de plas negatief worden beïnvloed (bodemwoeling). Daarom verdient het aanbeveling om dit effect te verdisconteren in de KRW-doelstellingen voor de diepe plassen met luchtmenging.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Hoogheemraadschap van Rijnland past ter bestrijding van overlast van blauwalgen in een aantal diepe plassen, de Nieuwe Meer, de Haarlemmermeerse Bosplas, de Zegerplas en Vlietlanden, diepe luchtmenging toe. Deze maatregel is zeer effectief in het bestrijden van de algenoverlast en heeft tegelijkertijd als belangrijk neveneffect dat het de gelaagdheid doorbreekt die zomers in diepe plassen optreedt. Het optreden van gelaagdheid is een wezenlijk proces in het ecologisch functioneren van diepe plassen en beïnvloedt vele andere fysisch-chemische en biologische processen. De vraag is dan ook welke gewenste en ongewenste neveneffecten de diepe luchtmenging heeft op het ecologisch functioneren van een diepe plas. Daarbij is men ook in het bijzonder geïnteresseerd in de effecten op de KRW beoordeling. Een analyse van meetgegevens van genoemde diepe plassen, in combinatie met literatuuronderzoek, moet inzicht geven in deze effecten. De studie dient ter onderbouwing van de beslissing voor het al dan niet realiseren van twee nieuwe luchtmenginstallaties in diepe plassen van Rijnland.

1.2. Doel

Het doel van de studie is het in beeld brengen van de fysisch-chemische en biologische effecten van luchtmenging van diepe plassen. Dit wordt uitgevoerd door een combinatie van data-analyse en literatuuronderzoek. De studie moet inzicht geven in deze effecten, zodat een onderbouwde beslissing kan worden genomen voor toepassing van deze maatregel op twee andere locaties.

1.3. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst de aanpak belicht, vervolgens in hoofdstuk 3 de resultaten van de analyse. In hoofdstuk 4 worden ontbrekende onderdelen aangevuld met de resultaten van het literatuuronderzoek en wordt het geheel samengevoegd in de synthese. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies en aanbevelingen.

Literatuurverwijzingen bevinden zich in hoofdstuk 6, alle overige resultaten en grafieken in de bijlagen (op cd-rom).

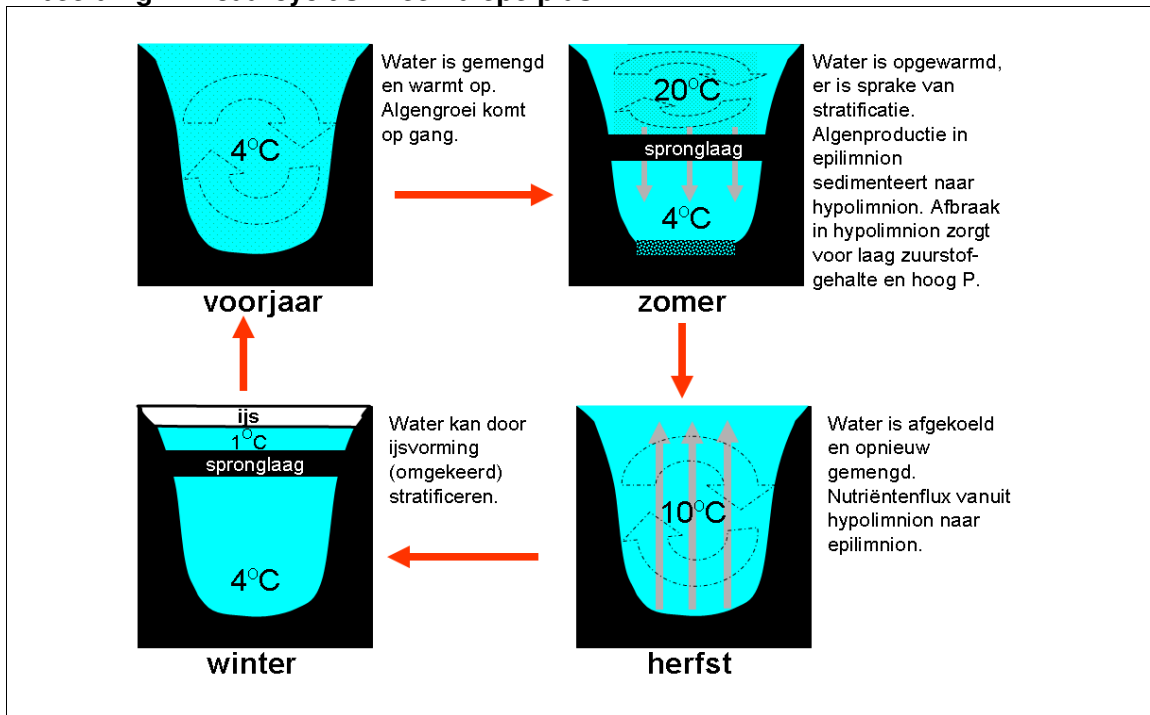
2. VISIE OP HET PROJECT EN GEVOLGDE AANPAK

2.1. Visie op het project

2.1.1. Ecologisch functioneren van diepe plassen

Het ecologisch functioneren van een diepe plas wordt sterk bepaald door de diepte en de daarmee samenhangende processen als stratificatie (gelaagdheid onder invloed van temperatuur) en sedimentatie (bezinking van zwevende deeltjes). Deze processen zorgen ervoor dat diepe plassen relatief helder zijn (ten opzichte van ondiepe plassen), maar bijvoorbeeld ook dat bepaalde soorten blauwalgen het 'goed doen' in diepe plassen. 's Zomers is een diepe plas gestratificeerd en is een groot deel van de plas koud, zuurstofarm of zelfs zuurstofloos en daarmee ongeschikt voor veel organismen. De afbraakprocessen in de diepe delen zorgen voor zuurstofconsumptie en leiden aldaar tot hoge nutriëntengehalten. Deze nutriënten zijn in de zomer door de stratificatie echter niet of nauwelijks beschikbaar voor algen en planten. Tijdens de najaarsomkering komen de nutriënten weer in de bovenlaag terecht. Onderstaande afbeelding uit de STOWA publicatie 'een heldere kijk op diepe plassen' illustreert de jaarcyclus van een diepe plas.

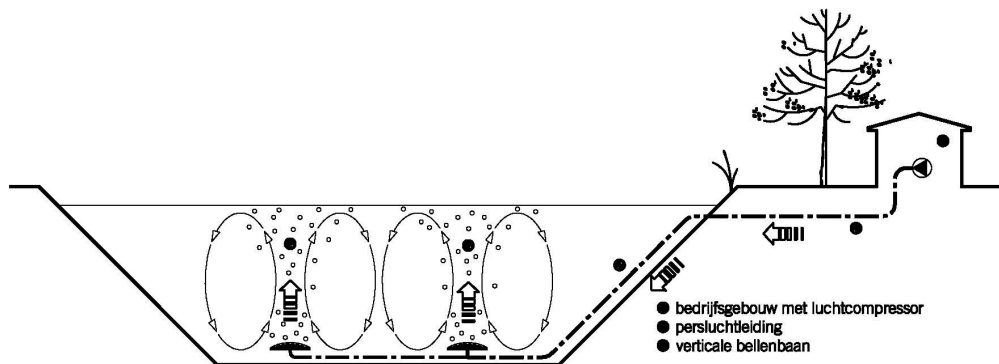
Afbeelding 2.1. Jaarcyclus in een diepe plas



Diepe luchtmenging doorbreekt deze jaarcyclus volledig! Dit verklaart het succes van diepe luchtmenging in de bestrijding van algenoverlast, maar roept tegelijkertijd ook terecht de vraag op of dat niet allerlei (gewenste of ongewenste) neveneffecten heeft.

Beluchting of menging

In dit rapport wordt gesproken over (diepe) luchtmenging. Dat is namelijk wat er gebeurt in de plassen in Rijnland; er wordt onder hoge druk lucht in de diepe delen gebracht, wat leidt tot (en vooral ook is bedoeld voor) menging van de waterkolom (zie onderstaande figuur). Dit is anders dan bijvoorbeeld menging met een door de wind aangedreven menginstallatie. Dit is in de zwemplas De Kuil toegepast. Het belangrijkste werkingsmechanisme van zowel diepe luchtmenging als diepe menging is dat het optreden van stratificatie wordt tegengegaan. Dit leidt tot het verdwijnen van het competitieve voordeel voor drijfslagvormende blauwalgen. Er is echter nog een bijkomend effect, namelijk het aëren van het hypolimnion en daarmee ook het sediment. Dit effect is bij diepe luchtmenging in principe sterker, doordat er lucht met zuurstof wordt ingebracht. Het aëren van het hypolimnion wordt in het buitenland ook als zelfstandige maatregel toegepast (Chorus & Bartram 1999). De bedoeling is om via oxidatie van de toplaag van het sediment, de afgifte van fosfaat te verminderen. Of een verbeterde aëratie van het sediment zal leiden tot een afname van de P-flux of juist een toename als gevolg van een sterkere afbraak van organisch materiaal in de diepe delen is echter nog de vraag (zie ook 2.1.2).



2.1.2. Mogelijke effecten van luchtmenging

Voorafgaand aan de studie hebben we een overzicht gemaakt van de belangrijkste effecten die we mogen verwachten van luchtmenging. In het vervolg van de studie is daar aan de hand van data en literatuur naar gekeken. De volgende mogelijke effecten hebben we benoemd:

- doorbreken van temperatuur- en zuurstofstratificatie;
- toename van het zuurstofgehalte in de diepe delen en afname van het zuurstofgehalte in de bovenlaag;
- toename van de afbraak van organisch materiaal in diepe delen door toevoer van zuurstof;
- vermindering van de nalevering van ijzergebonden fosfaat door het opheffen van anoxische condities in de diepe delen;
- beïnvloeding concurrentiekracht van soorten, menging is bijvoorbeeld nadelig voor blauwalgen;
- afname algendichtheid (per volume) maar mogelijk toename van de totale biomassa (productiviteit);
- vergroting van het leefgebied voor zuurstofbehoevende organismen zoals vis;
- toename algehele productiviteit.

Er zijn dus vele effecten te verwachten, waarbij op voorhand niet altijd direct duidelijk is welke kant het opgaat. Daarbij is het ook nog van belang om onderscheid te maken in ecologische effecten in de plas zelf en de effecten op de omgeving. Dat laatste speelt bijvoorbeeld bij plassen die in een groter (boezem)stelsel liggen.

Door het toepassen van luchtmenging zou een diepe plas bijvoorbeeld als bron van fosfaat kunnen gaan fungeren in de boezem, in plaats van als een sink (door sedimentatie van zwevend stof).

Het is belangrijk om de beïnvloeding van de fysisch-chemische processen door luchtmenging te kennen om vervolgens de effecten daarvan op de biologie te begrijpen. Voor de verschillende plassen is het van belang dit te doorgronden om de plasspecifieke maar ook vooral de algemene effecten te kunnen identificeren.

2.1.3. Laat de data spreken!

Van de vier Rijnlandse plassen, waar luchtmenging wordt toegepast, zijn lange reeksen van fysisch-chemische en biologische data aanwezig. Hier hebben we optimaal gebruik van gemaakt, omdat deze data ons daadwerkelijk kunnen laten zien wat er gebeurt in deze specifieke gevallen. Overigens hebben we ter vergelijking ook data van andere Rijnlandse plassen, waar geen menging is toegepast, in de analyse betrokken.

In de data is gezocht naar veranderingen in fysisch-chemische en biologische parameters in de tijd. Hiervoor zijn verschillende technieken gebruikt, daarop wordt in de aanpak ingegaan. Voor de fysisch-chemische data volstaat veelal het uitzetten van de parameterwaarden in de tijd, voor de biologische data is dat wat complexer omdat het om vele soorten gaat. Dan ligt het voor de hand om de analyse te richten op veranderingen in de voorkomende gemeenschappen. Dit zijn combinaties van algemene en kenmerkende soorten en de bijbehorende milieuomstandigheden. We verwachten dat het toepassen van luchtmenging leidt tot een dusdanig ander milieu dat dit effect heeft op het niveau van gemeenschappen. Dit blijkt ook al uit de ervaringen in de Nieuwe Meer. Hier werden de algemeenschappen gedomineerd door (drijfvaagvormende) blauwalgen. Na menging werden deze vervangen door gemeenschappen van groenalgen, flagellaten en diatomeeën met een beperkt deel blauwalgen. Voor andere soortgroepen zijn ook dergelijke 'shifts' te verwachten. Hier ligt uiteraard ook een belangrijke koppeling met de KRW.

2.1.4. Onderbouwen van de bevindingen en aanvullen met literatuur

De data-analyse laat zien wat er verandert in de Rijnlandse plassen onder invloed van luchtmenging. Om de resultaten van de analyse kracht bij te zetten, is in de (inter)nationale literatuur gezocht naar studies waar de effecten van luchtmenging zijn onderzocht. Gekeken is of de bevindingen in overeenstemming zijn met wat de data-analyse laat zien en of er dus sprake is van generieke effecten. Dit helpt om ook in toekomstige gevallen in staat te zijn om vooraf een inschatting te geven van de effecten. Voor die effecten waarvan we op basis van de data-analyse geen uitspraken kunnen doen, is de literatuurstudie aanvullend. Dit geldt vooral voor het effect op vis.

2.1.5. Vertalen van de bevindingen naar algemene effecten en KRW-beoordeling

Het belangrijkste doel van de studie was om te zoeken naar algemeen optredende effecten van luchtmenging op fysisch-chemische en ecologische parameters in de plassen. Dit met het oog op de eventuele toekomstige toepassingen van luchtmenging in andere plassen en op de gevolgen voor de KRW beoordeling. Door bij de analyse meerdere plassen te betrekken waar luchtmenging is toegepast, naast (vergelijkbare) plassen waar dat niet is gedaan, hebben we gepoogd hier zo goed mogelijk invulling aan te geven. Tegelijkertijd weten we dat nooit alle vragen beantwoord kunnen worden met data die niet specifiek met dit doel is verzameld. Literatuur en gericht onderzoek naar specifieke effecten zullen dus aanvullend nodig zijn.

2.2. Gevolgde aanpak

De algemene aanpak volgt vrijwel direct op de visie en bestond uit de volgende drie stappen:

1. data-analyse;
2. aanvullen ontbrekende informatie met literatuuronderzoek
3. effectbeoordeling

Hieronder zijn de stappen één voor één uitgewerkt.

2.2.1. Data-analyse

Het uitgangspunt van deze studie is om de data te laten spreken: hierbij hebben we de effecten zoveel mogelijk laten zien op basis van de beschikbare data. De werkwijze is in bijlage II toegelicht.

2.2.2. Literatuuronderzoek

Voor sommige effecten ontbreken de data om deze (voldoende) te kunnen beoordelen. Voor zover de data-analyse de benodigde informatie voor de beoordeling van (neven)effecten niet voldoende afdekt, is dit aangevuld met literatuur. Het literatuuronderzoek is als volgt uitgevoerd:

1. vaststellen van ontbrekende en benodigde informatie;
2. zoektermen kiezen;
3. bronnen raadplegen;
4. invullen van informatie m.b.v. gevonden literatuur.

2.2.3. Effectbeoordeling

Zowel de fysisch-chemische data als de data over de biologie geven informatie over het veranderen van het systeem onder invloed van de luchtmenginstallaties. Deze effecten en neveneffecten willen we beoordelen. Belangrijk hierbij is hoe we dit hebben gedaan. We zijn uitgegaan van het volgende beoordelingskader:

1. KRW, normen en maatlatten;
2. afwenteling, effecten op oppervlaktewater in de omgeving;
3. overig, bijvoorbeeld effecten in het hypolimnion.

De 'overige' effecten betreffen vooral de effecten in het hypolimnion. Deze worden niet rechtstreeks door de KRW beoordeeld, omdat deze alleen beoordeelt op basis van metingen/bemonsteringen in het epilimnion.

Uitgangspunt effectbeoordeling

Het uitgangspunt bij de effectbeoordeling is dat luchtmenging alleen een oplossing is voor plassen met een algen- of nutriëntenprobleem. Met andere woorden, de plassen bevinden zich in een ongewenste ecologische toestand. Dit is van belang omdat beluchten van een 'goede' plas wellicht anders beoordeeld zou worden. Tevens gaan we er van uit dat dit probleem niet op een andere (duurzame, brongerichte) wijze en tegen maatschappelijk aanvaardbare kosten is op te lossen. De KRW vraagt namelijk deze afweging te maken.

3. RESULTATEN DATA-ANALYSE RIJNLANDSE PLASSEN

3.1. Algemene kenmerken en trends in de waterkwaliteit

In de volgende pagina's staan de resultaten van de analyse van de fysisch-chemische data. Vanwege de omvang is hierbij een selectie gemaakt uit de resultaten. Alle resultaten zijn te vinden in de bijlagen (cd-rom). De beschikbare dataset bestaat uit zeven diepe plassen waarvan er vier worden belucht. In tabel 3.1 zijn enkele onderscheidende karakteristieken van de plassen opgenomen. De indeling in de tabel is gebaseerd op verschillen in het chlorideverloop, dit wordt in paragraaf 3.1.2. toegelicht.

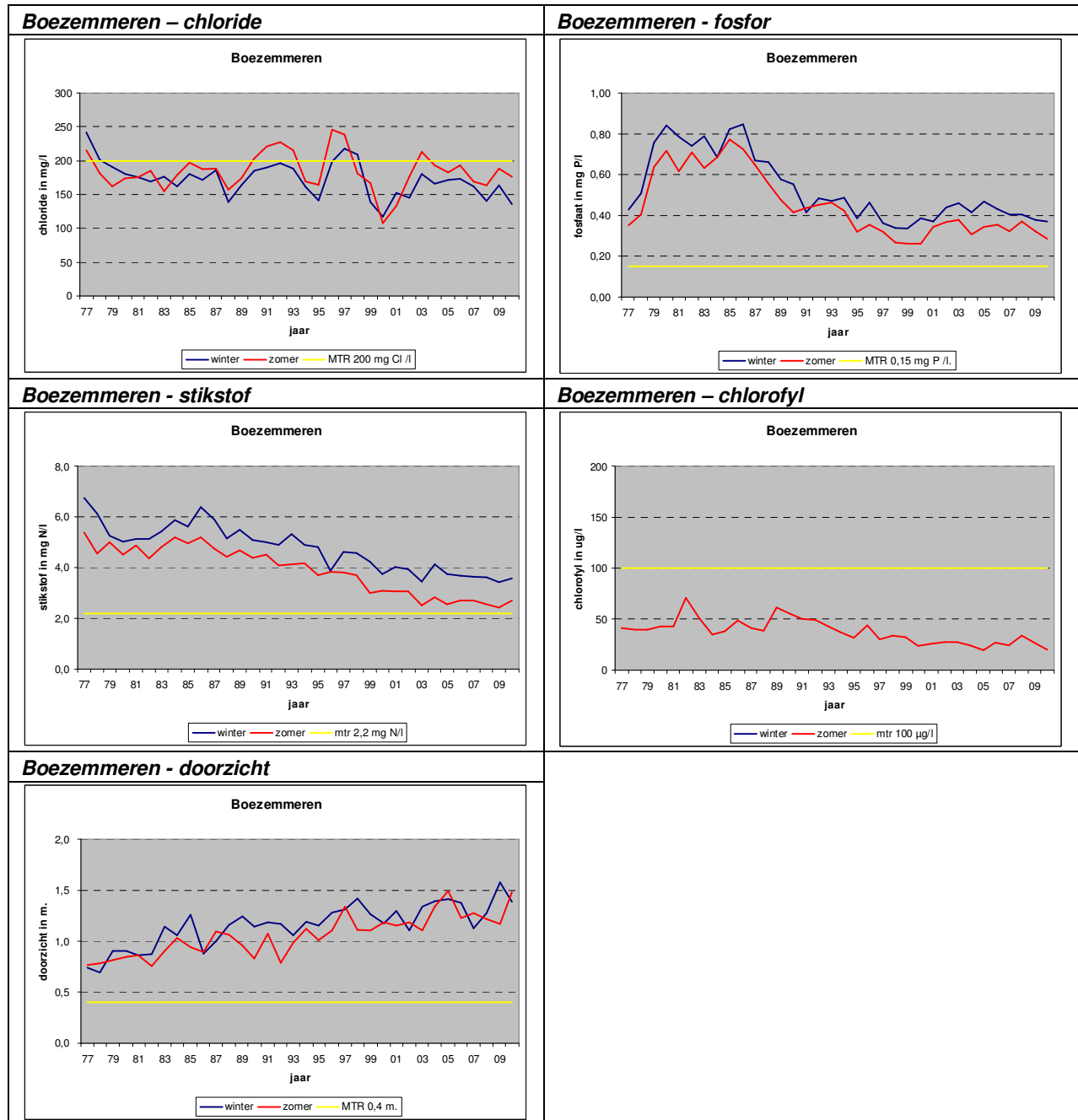
Tabel 3.1. Indeling van de plassen op basis van luchtmenging, chlorideverloop en hydrologische situatie, dimensies en verblijftijd

plas	luchtmenginstallatie	belangrijkste voeding inschatting op basis van chlorideverloop (zie par. 3.1.2.)	hydrologische situatie volgens Michiels en RPS/BCC, 2008	oppervlakte (ha)	verblijftijd (jaar) diepe putten atlas/MEP-GEP's	gem. / max. diepte
Bosplas	ja, sinds 1999	geïsoleerd, voeding door neerslag(afvoer)	geïsoleerd + inlaat (polder)	25	20 - 50	11 / 21
Broekvelden-Vettebroek	nee	geïsoleerd, voeding door neerslag(afvoer)	geïsoleerd (polder)	174	77	14 / 32
't Joppe	nee	niet geïsoleerd, beperkt wisselende voeding	niet geïsoleerd (boezem)	93	?, doorstroomd	13 / 42
Vlietlanden	ja, sinds 2008	niet geïsoleerd, matig wisselende voeding	niet geïsoleerd (boezem)	150	0,5	? / 35
Zegerplas	ja, sinds 2008	niet geïsoleerd, beperkt wisselende voeding	niet geïsoleerd (boezem)	70	0,55	18 / 34
Nieuwe Meer	ja, sinds 1993	niet geïsoleerd, sterk wisselende voeding	niet geïsoleerd (boezem)	126	0,75	14 / 31
Zoetermeerse plas	nee	niet geïsoleerd, sterk wisselende voeding	niet geïsoleerd (polder)	88	0,5 - 1	? / 30

3.1.1. Algemene trends in de Rijnlandse boezemmeren

Alvorens naar de plassen zelf te kijken, wordt eerst kort ingegaan op veranderingen (trends) in de waterkwaliteit van de boezemmeren (diep en ondiep) van Rijnland. Deze algemene trends zijn namelijk van invloed op wat er in de individuele plassen wordt waargenomen, tenminste in die gevallen waarbij de plassen in (open) verbinding staan met de boezem (zie tabel 3.1). Onderstaande afbeeldingen laten voor de periode 1977-2010 zien welke veranderingen in chloride, nutriënten, algen en doorzicht zijn opgetreden. Het chloridegehalte fluctueert grofweg tussen 100 en 250 mg/l, er is geen duidelijke trend waarneembaar. Voor de andere parameters zijn wel duidelijke trends te zien, nutriënten en chlorofylgehalten nemen sterk af. Het doorzicht neemt sterk toe. Zomer en winter laten een vergelijkbaar patroon zien. Opvallend is dat zowel chlorofyl-a als doorzicht 'goed scoren' ondanks de hoge nutriëntengehalten. Blijkbaar zijn andere factoren beperkend voor de algengroei. Wellicht is dit beeld beïnvloed doordat ondiepe en diepe meren beide in de analyse zijn betrokken (zie ook onderstaande box over de trendanalyse die Rijnland in 2011 heeft laten uitvoeren).

Afbeelding 3.1. Waterkwaliteit Rijnlandse boezemmeren (diep en ondiep) in de periode 1977-2010



Trendanalyse meetnetten Rijnland

In 2011 is in opdracht van Rijnland een trendanalyse uitgevoerd op de data van de meetnetten. Er is daarbij gekeken naar de oppervlaktewaterkwaliteit over langere periode (vanaf 1985) en recentere data (vanaf 2002). In ruim de helft van de gevallen (51 %) blijkt er over de lange termijn sprake van een statistisch significante kwaliteitsverbetering en slechts in 11% van de gevallen van een verslechtering. In de overige 38 % van de gevallen is er geen statistisch significante trend gedetecteerd. Voor wat betreft de recente korte termijn blijkt er nog maar in 20 % van de gevallen sprake van een statistisch significante kwaliteitsverbetering, tegen 10 % met een verslechtering. In de meeste gevallen (70 %) is er geen statistisch significante trend gedetecteerd. Voor eutrofiërende stoffen geldt dat voor het merendeel van de locaties sinds 1985 een significante daling is opgetreden. Wanneer de ontwikkeling van het doorzicht in de boezem in 2002-2010 wordt bekeken in de trendanalyse, blijkt dat in circa de helft van de meetpunten geen trend is, in een kwart verslechterd het doorzicht en in circa 20 % verbeterd het doorzicht. Voor de boezemmeren uit afbeelding 3.1 wijkt de situatie af van de algemene trends. Opvallend is bijvoorbeeld de ontwikkeling van het doorzicht, deze lijkt spectaculair. Het doorzicht in de boezemmeren lijkt hiermee beter te scoren dan het doorzicht in de rest van de boezem.

3.1.2. Ontwikkeling van chloride in de plassen

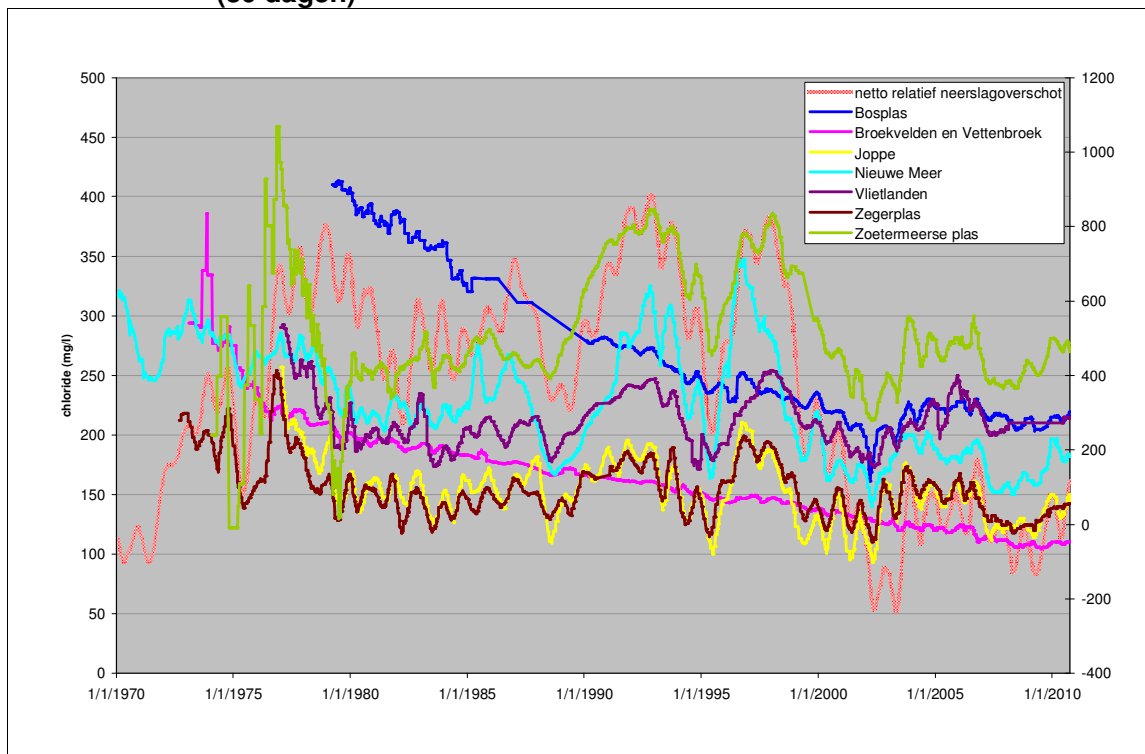
Binnen de dataset variëren de plassen in de hydrologische karakteristieken, vooral de mate van isolatie (van de boezem) en wellicht ook in de invloed van neerslag en grondwater. Zonder een diepgaande analyse van de hydrologie uitgevoerd te hebben, kunnen we dit aan de hand van de data illustreren (zie ook Michielsen, 2002). Het verloop van het chloridengehalte in de tijd is erg illustratief voor de (hydrologische) verschillen tussen de plassen. Afbeelding 3.2 laat het verloop van chloride zien voor de zeven plassen voor de periode 1970 tot 2010. Op basis van de afbeelding kunnen we al een grove indeling maken in de plassen:

- Bosplas en Broekvelden en Vettenbroek laten over een lange periode een monotoon dalende trend zien. Dit wijst op verdunning door bijvoorbeeld regenwater na de aanleg, waarbij de initiële kwaliteit waarschijnlijk vooral zal zijn bepaald door de grondwatersamenstelling. Deze plassen zijn naar verwachting in sterke mate hydrologisch geïsoleerd van het omringende oppervlaktewater. Overigens laat de Bosplas na 2002 weer een (lichte) toename van chloride zien;
- een aantal plassen laat een chloridenverloop zien met grote amplitude, dit zijn de Nieuwe Meer en Zoetermeerse plas. Hiervan wordt verwacht dat ze juist sterk en wisselend beïnvloed worden door bronnen met verschillende chloridengehalten, zoals neerslag, grond- en oppervlaktewater;
- verder is er nog een aantal plassen dat tussen deze twee uitersten ligt, dit zijn 't Joppe, Vlietlanden en de Zegerplas. Deze laten een gelijkmatiger (meer gedempt) patroon zien en worden waarschijnlijk minder sterk beïnvloed door wisselende bronnen. Ze lijken hydrologisch dynamischer dan Bosplas en Broekvelden en Vettenbroek, maar wel minder dynamisch dan de Nieuwe Meer en de Zoetermeerse plas.

Relatie met neerslagoverschot

Opvallend zijn de pieken in de chloridengehalten rond 1993 en 1997. In de afbeelding is naast het verloop van chloride van de plassen ook het netto relatieve neerslagoverschot weergegeven. Dit is het cumulatieve neerslagoverschot (neerslagverdamming) op dagbasis, gecorrigeerd voor een gemiddelde situatie. De waarde neemt toe in een nat jaar en daalt in een droog jaar. Wat opvalt is dat de chloridenpieken van de plassen met een fluctuerend chloridengehalte, samenvallen met de natte jaren. Het neerslagoverschot beïnvloedt samenstelling van het water blijkbaar vrij rechtstreeks.

Afbeelding 3.2. Chloridenverloop voor de verschillende plassen, zwevend gemiddelde (30 dagen)



3.1.3. Ontwikkeling overige parameters

Om de effecten van menging te duiden is het goed om eerst een beeld te hebben van de langjarige ontwikkeling in de plassen. Na aanleg kan een plas sterk veranderen, in sommige gevallen in positieve zin, in andere gevallen juist negatief. De Ausgangssituatie na aanleg wordt bepaald door de kwaliteit en samenstelling van het initiële voedingswater (grondwater en/of oppervlaktewater). Ook kan de bodem in belangrijke mate bepalend zijn, niet alleen de bodem na aanleg maar ook eventuele retourstromen (veen, klei), grondstromen van elders of zelfs afval. De ontwikkeling in de jaren daarna wordt vooral bepaald door de samenstelling en kwaliteit van het voedingswater. Omdat de verblijftijden - van geïsoleerde plassen - vaak erg lang zijn kan het effect van de 'aanlegtoestand' erg langdurig zijn. Dit is bijvoorbeeld te zien in het chloridenverloop van de plas Broekvelden Vettebroek, dit lijkt pas 35 jaar na aanvang van de metingen af te vlakken.

Belangrijke parameters waar we naar kijken zijn fosfaat, stikstof, doorzicht en chlorofyl-a.

Limiterende factoren in de plassen

Michielsen (2002) heeft een analyse gemaakt van de limitatie van algengroei in diepe Rijnlandse plassen door opgeloste nutriënten ($\text{NO}_3\text{-N}$ en $\text{PO}_4\text{-P}$). Voor de plassen die in deze rapportage worden beschouwd, kwam hij tot de volgende resultaten:

- Bosplas: periodieke N-limitatie van juni-augustus;
- Broekvelden Vettebroek: periodiek P limitatie in mei - augustus en N-limitatie vanaf augustus;
- 't Joppe: zelden N-limitatie, overwegend lichtlimitatie verwacht;
- Vlietlanden: geen sprake van P of N-limitatie, lichtlimitatie?
- Zegerplas: N- en P-limitatie in 1999;
- Nieuwe Meer: waarschijnlijk lichtlimitatie, geen limitatie door opgeloste nutriënten;
- Zoetermeerse plas: N-limitatie in augustus-oktober, soms ook P-limitatie.

Mogelijk dat luchtmenging invloed heeft op de limiterende nutriënten, bijvoorbeeld oor binding van opgelost P aan de bodem of beïnvloeding van de denitrificatie (omzetting van nitraat, via ammonium naar luchtstikstof).

Fosfaat

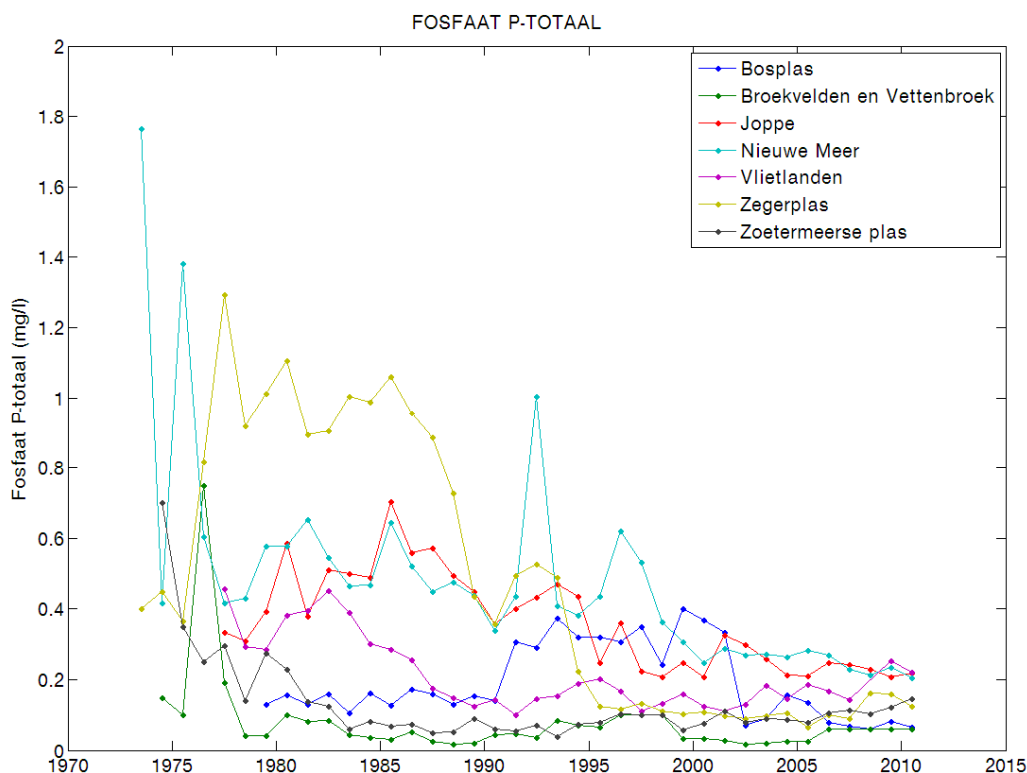
In afbeelding 3.3 is het verloop te zien van zomergemiddelde totaalfosfaat in de plassen, sinds het begin van de (beschikbare) metingen. Afbeeldingen van wintergemiddelden en metingen per plas staan in bijlage I (cd-rom). Er is globaal genomen een dalende trend sinds 1980. Verder valt het volgende op:

- de totaal-P gehalten zijn voor diepe plassen extreem hoog, vooral rond 1980 maar ook daarna. Alleen de plas Broekvelden-Vettebroek laat gehalten zien die de streefwaarde (rond 0,01 mgP/l) benaderen (NB. let op de detectielimiet);
- totaal-P in de Bosplas zit sinds 1985 in een stijgende lijn, deze trend wordt vrij acuut afgebroken rond 2002 (maatregelen luchtmenging en afkoppelen P-belasting), sinds 2005 ligt totaal-P globaal tussen 0,05 en 0,1 mgP/l;
- de Zoetermeerse plas laat in de jaren 1985-1995 redelijke P-gehalten zien (vaak < 0,05 mgP/l), sinds 2000 lijkt er echter een verslechtering op te treden;
- ook de Vlietlanden laat vanaf 2000 stijgende en sterker fluctuerende P-gehalten zien (0,2 - 0,3 mgP/l). In de periode 1990-2000 waren de gehalten echter ook al hoog, tussen circa 0,1 en 0,2 mgP/l;
- de Zegerplas laat sinds 1995 een sterke verbetering zien, de gehalten zijn echter nog steeds erg hoog (globaal tussen 0,05 en 0,2 mgP/l);
- 't Joppe zit sinds 1985 in een dalende trend, gehalten zijn echter nog steeds erg hoog (0,2 - 0,3 mgP/l);
- Nieuwe Meer: sinds 1980 - 1995 redelijk constant dalend van circa 0,6 naar 0,4 mgP/l, in 1996 een stijging naar 0,6 mgP/l en sindsdien dalend en fluctuerend tussen circa 0,05 en 0,3 mgP/l.

Seizoenspatroon

Onder invloed van stratificatie en destratificatie wordt een seizoenspatroon in totaal-P verwacht. 's Zomers neemt dit af en na destratificatie weer toe. In de Bosplas vóór 2000 en 't Joppe is dit niet of nauwelijks zichtbaar in de individuele meetpunten (zie bijlagen op cd-rom). Hier overschaduwde de aanvoer van P in de zomer blijkbaar de jaarcyclus.

Afbeelding 3.3. Verloop zomergemiddelde totaal fosfaat concentratie in de diepe plassen.

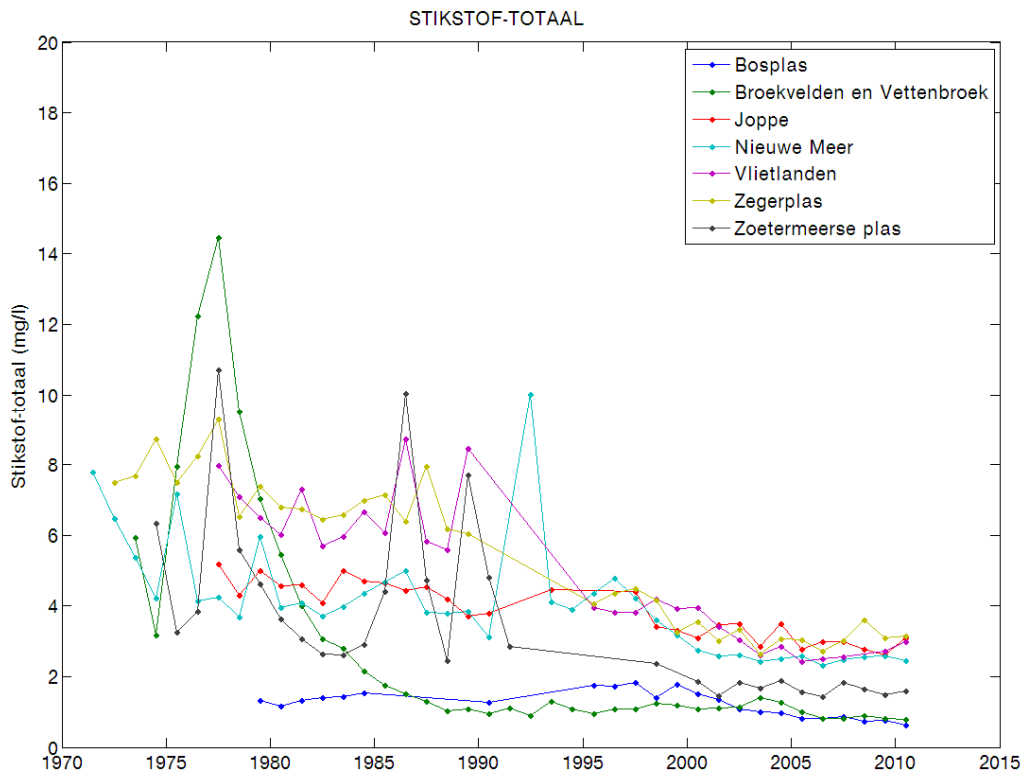


Stikstof

Ook voor stikstof is een dalende trend te zien vanaf 1980. In de periode 1980-1995 is er daarbij in een aantal gevallen sprake van periodieke uitschieters (onrustig beeld). Na 1995 is het beeld opvallend veel rustiger en is er in de meeste gevallen sprake van een licht dalende trend. Daarnaast valt op dat:

- Broekvelden Vettebroek een zeer karakteristiek patroon laat zien; na 1975 neemt het stikstofgehalte zeer sterk toe tot circa 15 mgN/l, daarna daalt het eerst snel en dan gestaag naar een waarde van rond 1 mgN/l in de huidige situatie. Overigens is dit vooral NO₃. Een en ander lijkt te wijzen op een (interne) bron van stikstof na de aanleg, bijvoorbeeld afbraak van organisch materiaal zoals veen;
- het andere uiterste is de Bosplas, deze heeft gedurende de gehele meetperiode relatief lage stikstofgehalten. In de periode 1990-2000 heeft deze plas echter opvallend hoge NH₄ en NH₃-gehalten (0,02-0,09 mg/l, de norm voor karperachtigen ligt op 0,02 mg/l). Dit wijst op zuurstofloosheid in combinatie met hoge pH, bijvoorbeeld als gevolg van een hoge (organische) belasting;
- voor de andere plassen ligt ammonium sinds 1995 vrijwel voortdurend op of rond de detectielimiet (die is verhoogd naar 0,2 mgN/l), die overigens wel erg hoog ligt (metingen geven geen informatie meer over beschikbaarheid NH₄ voor algengroei);
- nitraat; laagste waarden worden gemeten in de Bosplas, daarna in Broekvelden Vettebroek. Mogelijk dat in deze plassen de beschikbaarheid van N (NO₃ of NH₄) in de zomer beperkend is voor de algengroei. In de overige plassen liggen de zomergemiddelde waarden duidelijk hoger, op enkele milligrammen per liter.

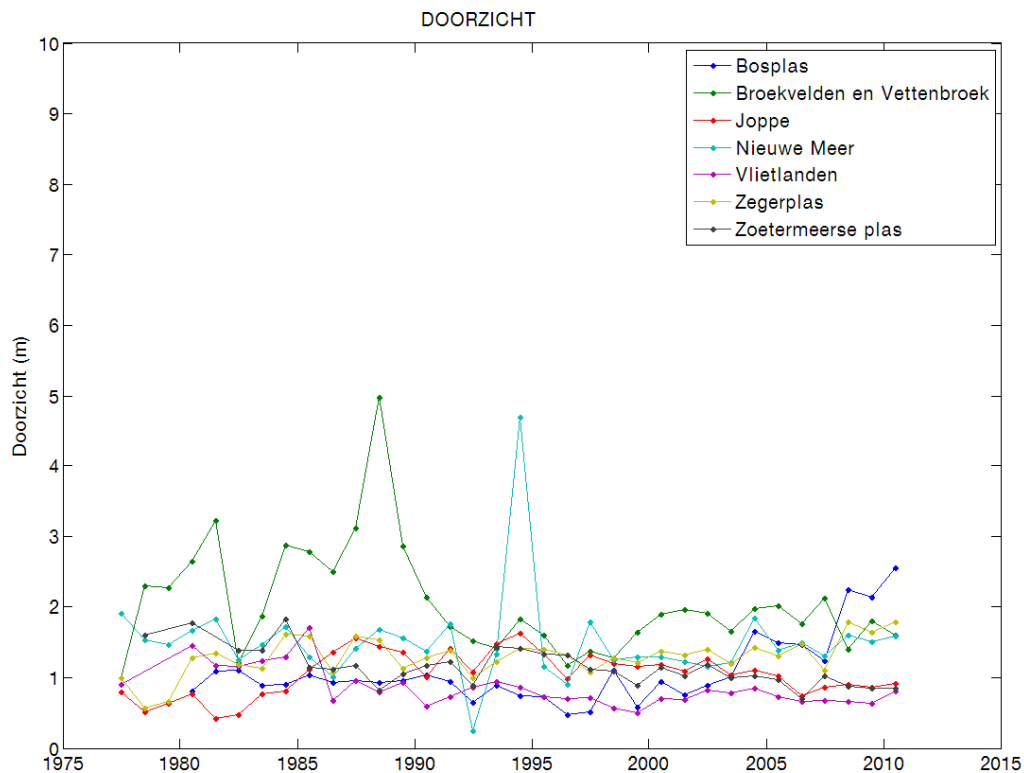
Afbeelding 3.4. Verloop zomergemiddelde totaalstikstof



Doorzicht

Het zomergemiddelde doorzicht in de plassen is overwegend slecht tot matig (voor diepe plassen) en varieert globaal tussen een halve m tot 2 m. Een goede diepe plas kent doorzichten van 3-4 m of meer. Alleen in Broekvelden Vettebroek treedt dit soms op, met name in de periode 1980-1990. Ook deze plas kent echter daarna jaren met geringere doorzichten. De laatste jaren ligt het doorzicht in 't Joppe, Vlietlanden en Zoetermeerse plas rond een meter, in de overige plassen is het doorzicht hoger en fluctueert het tussen 1,5 en 2,5 m, waarbij er sprake lijkt te zijn van een positieve trend.

Afbeelding 3.5. Ontwikkeling van het zomergemiddelde doorzicht

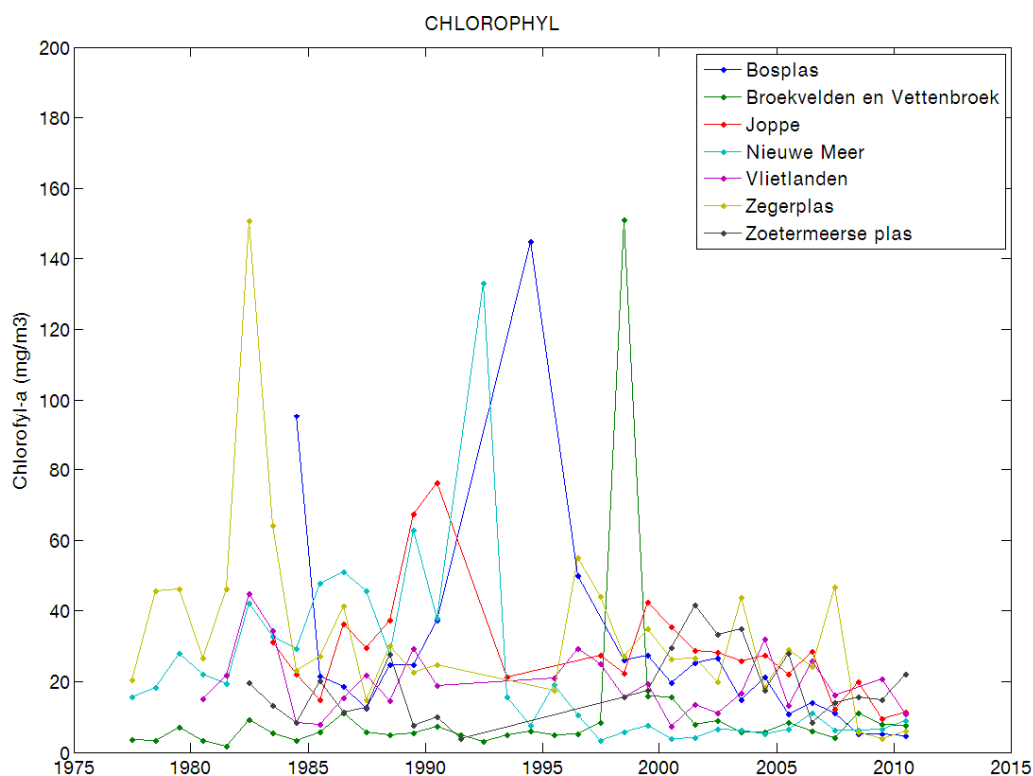


Chlorofyl-a

De grafiek van zomergemiddelde chlorofyl-a wordt in sterke mate bepaald door pieken in de waarnemingen van voor 2000. In het geval van de Bosplas is de piek in 1994 toe te schrijven aan één enkele meting, ook in de jaren daarvoor en daarna is chlorofyl-a niet of nauwelijks gemeten in deze plas: tussen 1990 en 1996 zijn vrijwel geen chlorofyl-a metingen verricht.

De laatste jaren, vanaf circa 2000, lijkt er in vrijwel alle plassen sprake te zijn van een dalende trend in chlorofylgehalten. De waarnemingen zitten dan (zomergemiddeld) onder 20 µg/l. Alleen Broekvelden - Vettebroek verandert weinig, deze plas is al langere tijd onder 10 µg/l.

Afbeelding 3.6. Ontwikkeling zomergemiddelde chlorofyl-a concentraties



3.1.4. Samenvatting ontwikkelingen boezem en plassen

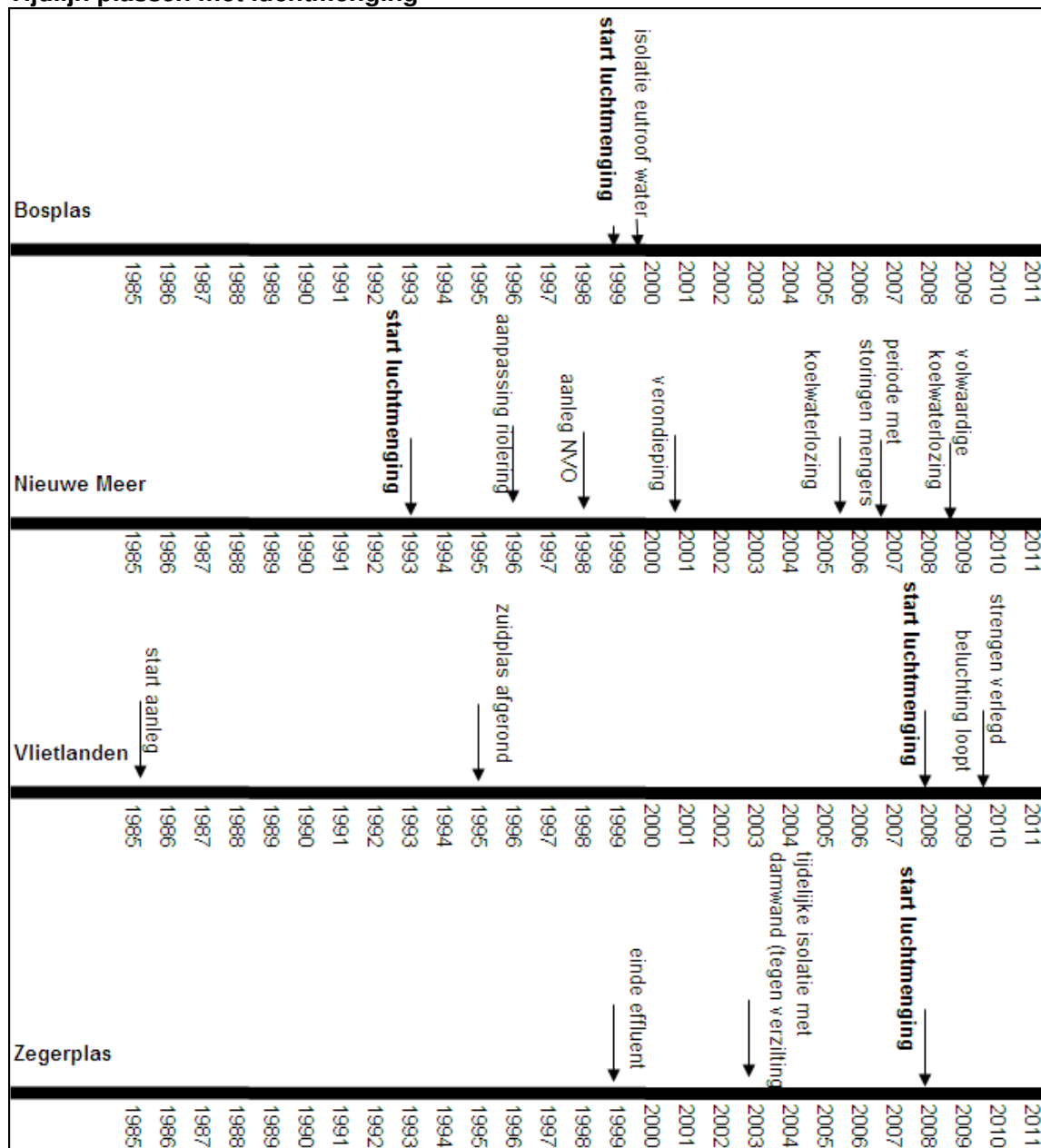
Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat er zowel in de boezem als in de plassen in de meeste gevallen sprake is van een trend van afnemende eutrofiering. Hiermee samenhangend neemt de algengroei af (lager chlorofyl-a gehalte) en neemt het doorzicht toe. In bepaalde gevallen lijkt er daarbij ook daadwerkelijk sprake te zijn van nutriëntenlimitatie, dit is echter niet overal het geval. Bij de interpretatie van de effecten van luchtmenging moet deze - autonome - trend in beschouwing worden genomen.

3.2. Fysisch-chemische effecten van luchtmenging

De effecten van het beluchten worden in twee delen geïllustreerd. Eerst beschrijvend wat de effecten zijn aan de hand van diepte-tijd-profielen. Hierna volgt een kwantificering, waarbij de effecten van het beluchten worden gevat in kentallen en wordt gekeken naar het effect in termen van KRW. Eerst wordt echter voor de plassen met luchtmenging een 'tijdlijn' gepresenteerd die de start van de luchtmenging en de belangrijkste ingrepen in de tijd aangeeft. Dit maakt het mogelijk om de effecten van luchtmenging te kunnen onderscheiden van de andere ingrepen in het watersysteem. De tijdlijn begint in 1985, van de voorafgaande jaren is weinig informatie direct beschikbaar. Opvallend zijn:

- Bosplas, isolatie van eutroof water, vlak na instellen luchtmenging;
- Nieuwe Meer, diverse ingrepen, echter niet in de eerste jaren na start luchtmenging;
- Vlietlanden, pas vrij recent geïnstalleerd en kort na aanleg aanpassingen aan het luchtmengingsysteem zelf;
- Zegerplas, pas vrij recent geïnstalleerd.

Tijdlijn plassen met luchtmenging



3.2.1. Effecten van beluchten in diepte en tijd

In alle plassen is gedurende de tijd niet alleen aan het oppervlak bemonsterd, maar ook op diepte. Hierdoor zijn er gegevens beschikbaar van de ontwikkeling van de parameters, niet alleen in de tijd maar ook in de diepte. Om deze data inzichtelijk te maken zijn er diepte-tijd plots gemaakt waarin, zoals de naam aangeeft, een parameter in zowel diepte als tijd is uitgezet.

De zwarte punten zijn de daadwerkelijk gemeten meetwaarden, de isolijnen en gekleurde vlakken zijn interpolaties van de data. Omdat de meetwaarden niet uniform zijn verdeeld in tijd en ruimte is het lastig om een schatting te maken voor gedeeltes van de grafiek waar weinig of geen punten liggen.

Om deze reden zijn de weergegeven waarden in deze gedeeltes niet erg betrouwbaar. De delen waar wel meetwaarden zijn weergegeven, zijn wel betrouwbaar. Hoe dichter de meetpunten bij elkaar liggen, hoe betrouwbaarder de grafiek.

Iedere bemonstering heeft dus een diepte, tijd en een waarde voor een bepaalde parameter. Om dit op papier (in 2D) weer te geven zijn de waarden als kleuren weergegeven. Ook zijn er isolijnen (zwart) getrokken. Deze lijnen snijden de vlakken bij een bepaalde waarde. De punten op een isolijn hebben dus allen dezelfde waarde.

In het volgende gedeelte wordt het effect van beluchten geïllustreerd aan de hand van de voorbeeldplas de Nieuwe Meer. De Nieuwe Meer heeft veel metingen in zowel tijd als ruimte. Verder reageert de plas representatief op de luchtmenging.

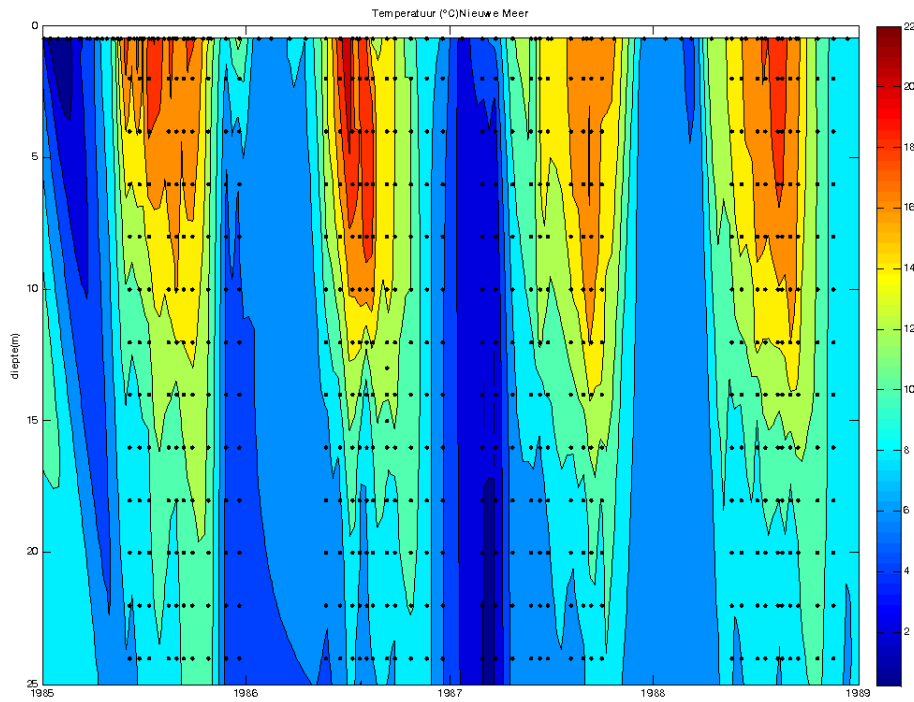
Andere plassen laten dezelfde patronen zien (bijlage I op cd-rom). Verder zijn er een aantal grafieken van de Vlietlanden opgenomen. Deze plas reageert afwijkend ten opzichte van de andere plassen.

In de Nieuwe Meer is de luchtmenginstallatie in 1999 in gebruik genomen. Deze luchtmenginstallatie heeft een hoge capaciteit. Voor de ingebruikname is er sprake van een duidelijke stratificatie (afbeelding 3.7A). De watertemperatuur op 25 m is maximaal 10°C.

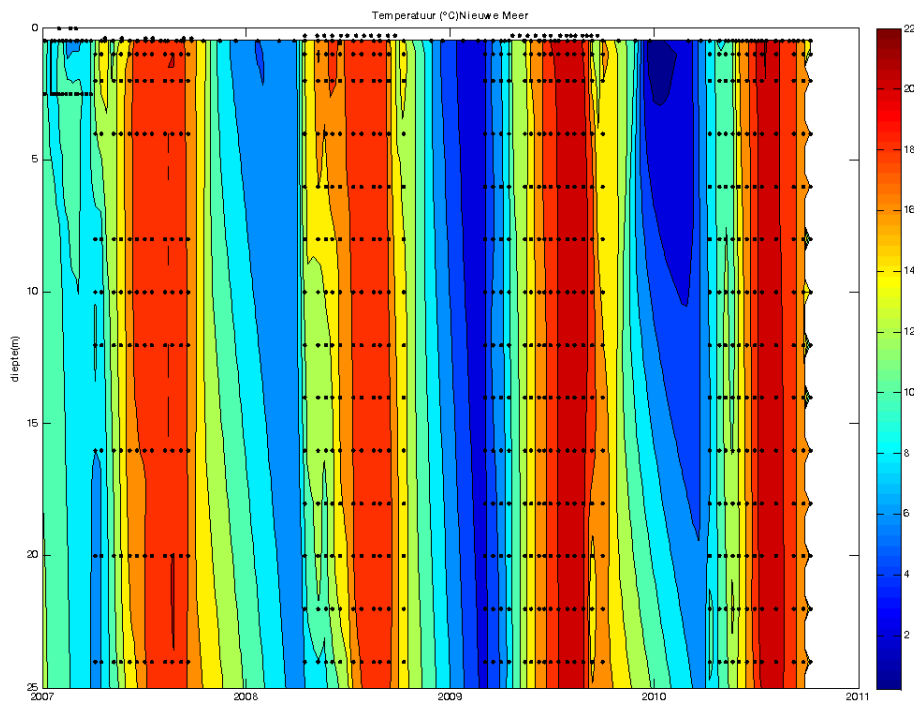
Door het beluchten wordt de waterkolom sterk gemengd. Zelfs op dieptes van 25 m is de temperatuur in de zomer nagenoeg gelijk aan de temperatuur aan het oppervlak (>20°C).

Afbeelding 3.7. Voorbeeld effect van luchtmeninging op temperatuur Nieuwe Meer. A: situatie voor luchtmeninging, 's zomers is stratificatie zichtbaar. B: na ingebruikname luchtmenginstallatie, waterkolom heeft vrijwel uniforme temperatuur over de diepte

A



B

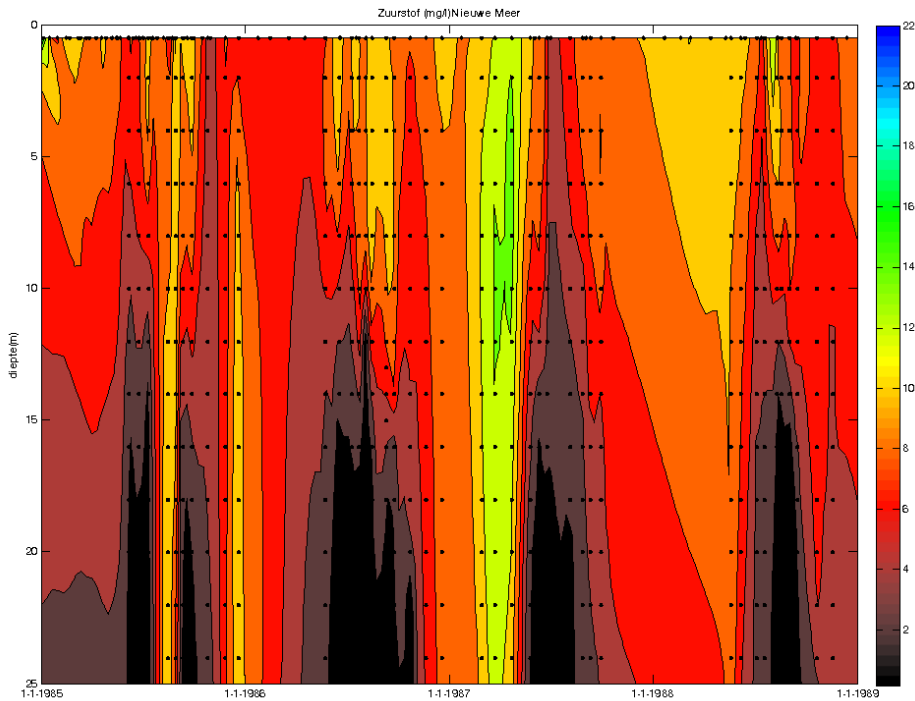


De menging van de waterkolom heeft grote invloed op andere fysisch-chemische parameters in de plas. In afbeelding 3.8 zijn de grafieken voor zuurstof in de Nieuwe meer te zien. Vóór beluchten wordt het hypolimnion in de zomer zuurstofarm. In het voorjaar treedt soms overmatige algengroei op waardoor de zuurstofconcentratie juist erg hoog is (bijvoorbeeld in 1987).

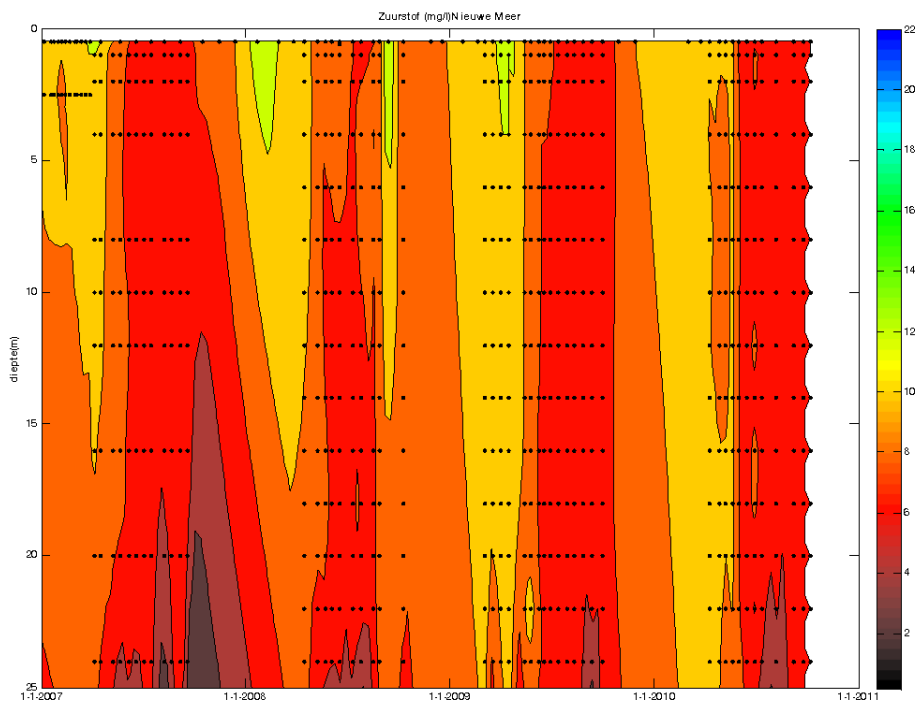
Na luchtmenging treedt het zuurstofloos worden van het hypolimnion niet meer op. De zuurstofconcentraties zijn uniformer over de diepte. In het epilimnion blijft het zuurstofgehalte gedurende de zomer dicht bij het verzadigingsniveau. Voor beluchten werd vaak oververzadiging waargenomen, als gevolg van algengroei.

Afbeelding 3.8. De effecten van luchtmenging op zuurstofconcentraties in de nieuwe meer zijn duidelijk. A: de situatie voor beluchten, 's zomers wordt het hypolimnion zuurstofloos. Soms is de zuurstofconcentratie hoger dan 10mg/l (oververzadiging) vanwege overmatige algengroei. B: met luchtmenging zijn de zuurstofconcentraties hoger en uniformer

A

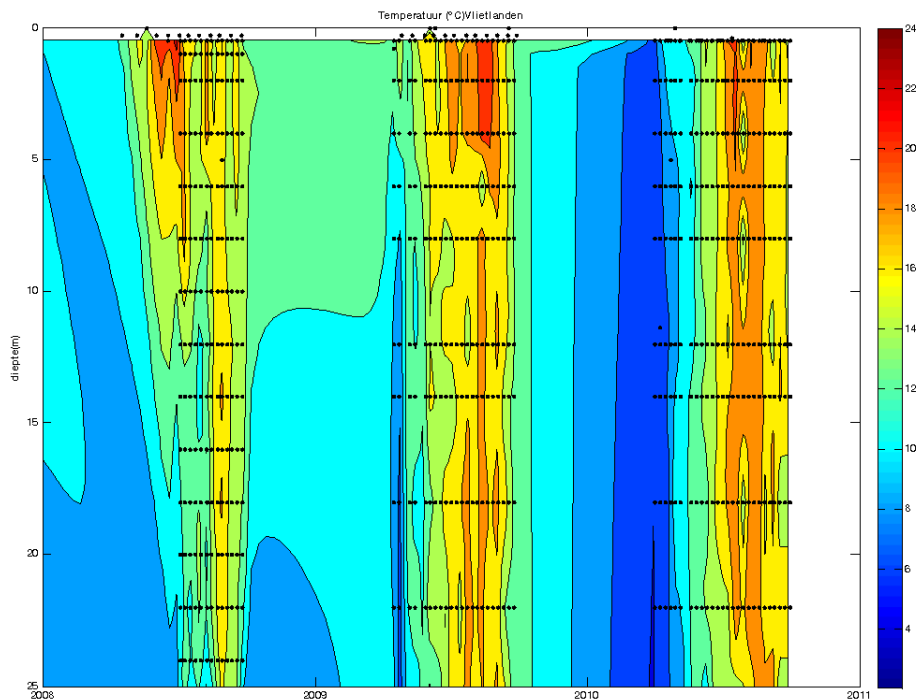


B



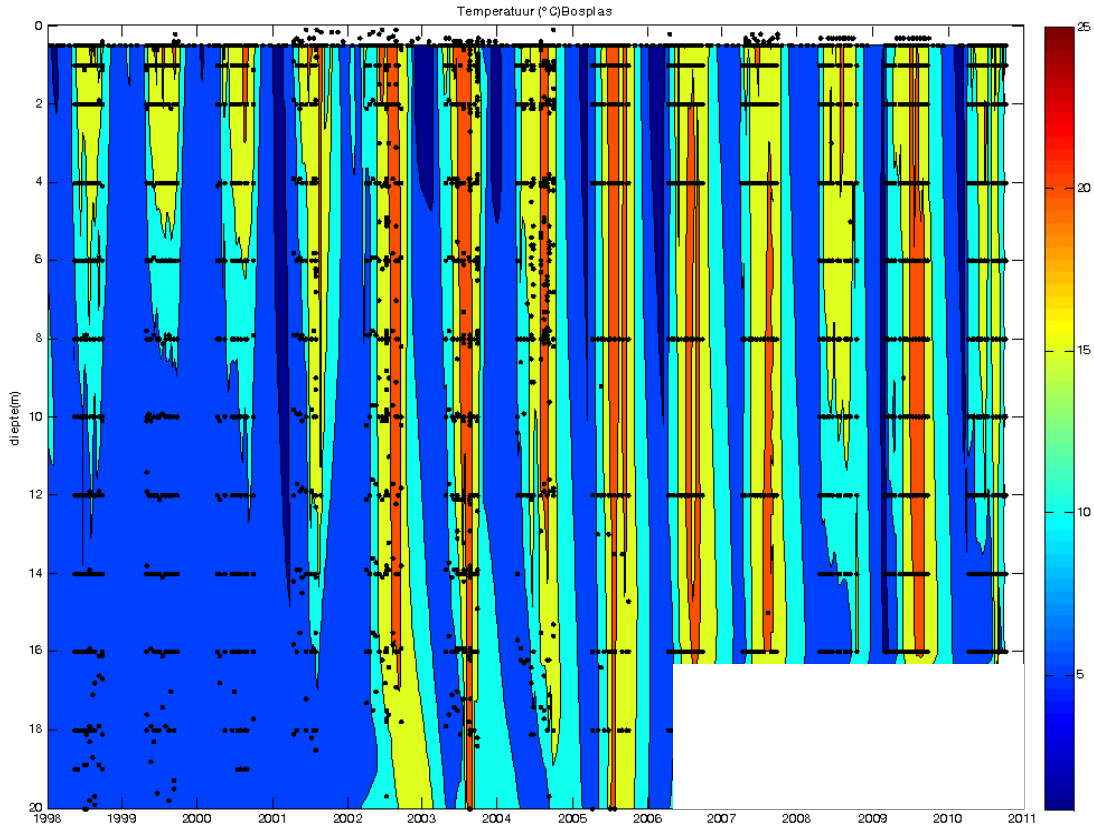
In de Vlietlanden heeft de luchtmenginstallatie lagere capaciteit. Bovendien staat deze plas onder invloed van boezemwater. Hierdoor lijkt de luchtmenginstallatie minder effect te hebben. De waterkolom wordt niet goed gemengd. In deze plas is de luchtmenginstallatie in 2009 in gebruik genomen. Voor die tijd (2008) is de stratificatie niet heel duidelijk te zien. In de periode waarin belucht wordt zijn 'bellen' te zien in het temperatuursverloop. Dit houdt waarschijnlijk ook verband met de hydrologische situatie in de Vlietlanden.

Afbeelding 3.9. In 2009 is in de Vlietlanden de luchtmenginstallatie in gebruikgenomen. Zowel stratificatie voor beluchten als menging na beluchten zijn niet heel sterk, waarschijnlijk onder invloed van hydrologie en beperkte capaciteit



Ook de Bosplas wijkt af. Uit de temperatuursgrafieken blijkt dat de eerste jaren (1999-2002) de luchtmenginstallatie de plas nog niet voldoende wist te mengen (zie afbeelding 3.10). In deze periode treedt er in de Bosplas stratificatie op, waarschijnlijk door onvoldoende capaciteit van de luchtmenginstallatie. Hierdoor is deze periode niet representatief om het effect van de luchtmenginstallatie aan te tonen. Om deze reden is voor het berekenen van effecten voor de Bosplas het jaar 2002 genomen in plaats van 1999, het jaar waarin de installatie in gebruik genomen is.

Afbeelding 3.10. In 1999 is in de Bosplas de luchtmenginstallatie in gebruik genomen. Aan het temperatuursverloop in de periode 1999-2002 is te zien dat de plas nog niet goed gemengd wordt. Na 2002 wordt de plas goed gemengd door de luchtmenginstallatie, behalve in de jaren 2008 en 2010



3.2.2. Effecten op fysisch-chemische kwaliteitselementen KRW

De resultaten van vergelijking tussen voor en na beluchten zijn samengevat in onderstaande tabel (per plas). Hierbij zijn de gemiddelden per parameter weergegeven inclusief de standaarddeviatie, als indicator voor spreiding. Hierbij is de periode van 3 jaar voor en 3 jaar na het starten van de luchtmenginstallatie als uitgangspunt genomen. Hieruit zijn alleen de metingen tussen april en oktober gebruikt, toetsing aan KRW-norm vereist dat alleen data uit deze periode gebruikt worden. De toetsingswaarde is voor iedere parameter per jaar bepaald. Voor een aantal parameters dient een aangepaste berekening te worden gebruikt. Voor temperatuur is het 98-percentiel gebruikt; de gemiddelde zuurgraad is berekend op basis van (H⁺)ionenconcentratie; het gemiddelde doorzicht is bepaald door de reciproke waarden te middelen. Voor deze beide parameters is vanwege deze bewerking geen standaarddeviatie bepaald.

Tabel 3.2. Waarden voor fysisch chemische kwaliteitselementen KRW in het epilimnion, 3 jaren vóór en na luchtmenging (s.d. = standaarddeviatie)

parameter	beluchten	KRW-norm GEP	Bosplas		Nieuwe Meer		Vlietlanden		Zegerplas	
			waarde	s. d.	waarde	s. d.	waarde	s. d.	waarde	s. d.
maximale dagtemperatuur	voor	≤ 25 °C	22.6	0.9	21.9	1.6	22.9	1.4	23.7	1
	na		23.5	1.1	21.5	2.1	22.6	0.1	22.4	1.2
zuurstofverzadiging	voor	60 - 120 %	126.5	8.2	116.6	8.2	101.6	8.2	120.2	8.2
	na		103.3	3.3	94.8	3.3	98.6	3.3	97.1	3.3
chloride	voor	≤ 200 mg Cl/l	222	11.3	255	11.3	222	11.3	148	11.3
	na		219	9.9	271	9.9	214	9.9	132	9.9
zuurgraad	voor	6.5 - 8.5	8.8	-	8.3	-	8.4	-	8.5	-
	na		8.3	-	8	-	8.3	-	8.2	-
totaal fosfaat	voor	≤ 0.03 mgP/l	0.34	0.07	0.56	0.07	0.17	0.07	0.09	0.07
	na		0.11	0.04	0.46	0.04	0.24	0.04	0.15	0.04
totaal stikstof	voor	≤ 0.9 mgN/l	1.51	0.2	5.65	0.2	2.49	0.2	2.97	0.2
	na		0.97	0.11	4.29	0.11	2.86	0.11	3.28	0.11
doorzicht	voor	≥ 1.7 m	0.5	-	0.5	-	0.6	-	1	-
	na		0.7	-	0.7	-	0.6	-	1.4	-

Voor de KRW worden alleen metingen in het epilimnion beoordeeld. Er zijn geen normen voor metingen in het hypolimnion. We zijn uiteraard wel geïnteresseerd in wat er gebeurt in het hypolimnion. Vanwege het kleine aantal metingen dat is uitgevoerd op diepte, is voor tabel 3.3 data uit de periode 4 jaar voor en 4 jaar na de ingebruikname van de luchtmenginstallatie gebruikt. Hiervoor zijn alle metingen dieper dan 10 m gebruikt.

Tabel 3.3. Effecten luchtmenging op fysisch chemische milieu in het hypolimnion (diepte > 10 m diep). Een lege cel betekent dat er geen gegevens beschikbaar zijn

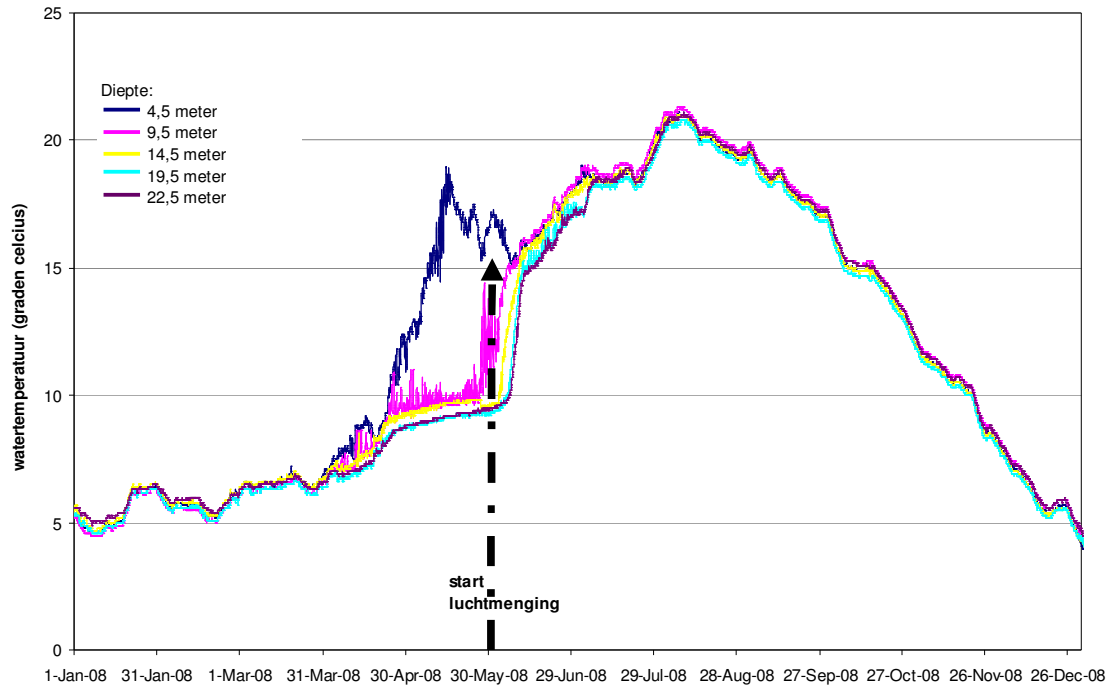
parameter	beluchten	Bosplas		Nieuwe Meer		Vlietlanden		Zegerplas	
		waarde	s. d.	waarde	s. d.	waarde	s. d.	waarde	s. d.
maximale dagtemperatuur	voor	10.3	6.4	16.0	-	18	-	8.1	-
	na	22.3	1.3	20.4	1.9	21.2	0.2	19	-
zuurstofverzadiging	voor	15.8	11.1						
	na	73.5	7.2						
zuurgraad	voor	7.36	-						
	na	8	-						
totaal fosfaat	voor	0.67	0.09			0.4	0.09		
	na	0.1	0.03			0.26	0.03		
totaal stikstof	voor	2	0.22			2.94	0.22		
	na	1.18	0.11			3.02	0.11		

3.2.3. Effect op temperatuurverloop

Een van de mogelijke effecten van luchtmenging is het optreden van een temperatuurschok wanneer de mengers in werking worden gezet. In de meeste plassen van Rijnland is dat gewoonlijk op 1 mei, in de Nieuwe Meer op 1 april. Afhankelijk van de weersomstandigheden, en het tijdstip waarop stratificatie inzet, wordt hier van afgeweken. De menginstallatie wordt dan eerder aangezet, in 2011 bijvoorbeeld 1½ week eerder. Het is goed voorstelbaar dat de bovenlaag van de plas al is opgewarmd en dat deze vrij plotseling afkoelt nadat menging op gang komt. Om dit goed vast te stellen is een continue meting van het temperatuurverloop nodig. Dit is gedaan in de Nieuwe Meer in 2008 (zie afbeelding 3.11). De menginstallatie is toe pas op 2 juni in werking gezet. Te zien is dat er zich vanaf eind april al stratificatie aan het vormen was en dat rond half mei het temperatuurverschil tussen epi- (4,5 m diepte, 19°C) en hypolimnion (ca. 10°C) al is opgelopen tot circa 9°C. Na half mei zet zich echter in het epilimnion een daling van de temperatuur in tot circa 15,5°C en vervolgens weer een stijging tot 17°C. Zonder menging daalt de temperatuur dus in de orde van 3,5°C.

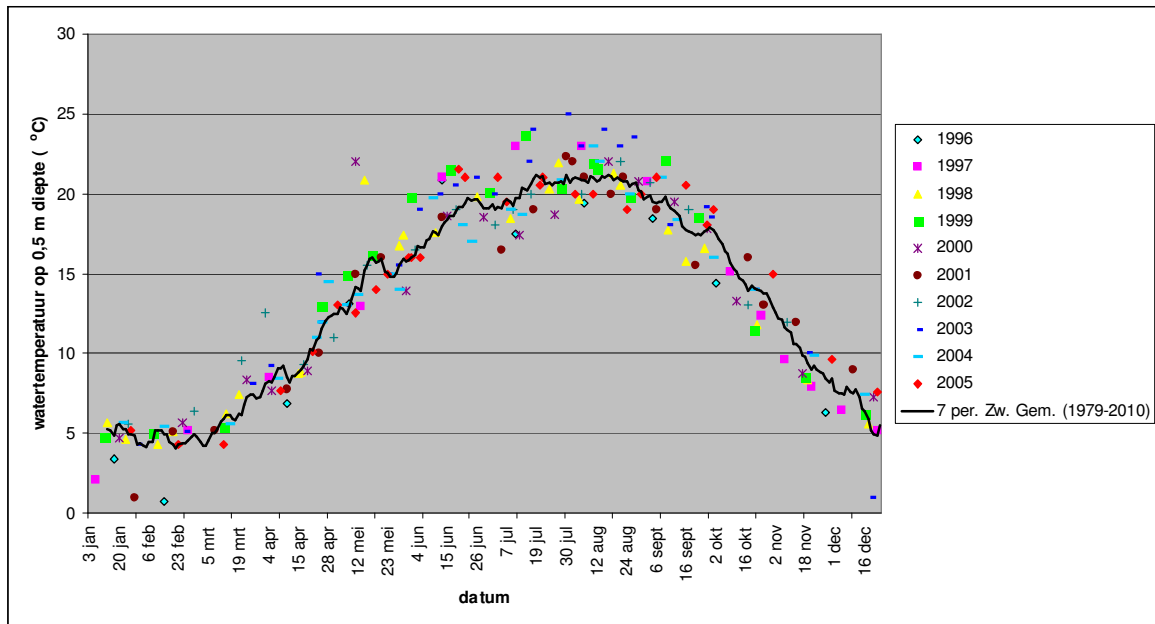
Na de start van de menging wordt het temperatuurverschil tussen epilimnion en hypolimnion al vrij snel opgeheven (circa 10 dagen). De temperatuur in het epilimnion daalt met circa 2 °C, tot 15°C. Het lijkt er in dit geval dus op dat de fluctuatie (daling) in de temperatuur onder invloed van weersinvloeden groter is dan die onder invloed van menging.

Afbeelding 3.11. Temperatuurverloop in de Nieuwe Meer in 2008, op 2 juni (twee maanden later dan gewoonlijk) is de luchtmenginstallatie in werking gesteld.



Voor de overige plassen hebben we dergelijke metingen niet. Wel zijn er jaarlijkse meetreeksen van de temperatuur tijdens de reguliere bemonsteringen. Deze zijn in afbeelding 3.12 voor de Bosplas uitgezet voor de periode 1996 - 2005. Sinds 1999 wordt in deze plas luchtmenging toegepast. De afbeelding laat de individuele waarnemingen over het jaar zien, naast het zwevend gemiddelde van alle waarnemingen in de periode 1979-2010.

Afbeelding 3.12. Jaarlijkse temperatuurverloop in de Haarlemmermeerse Bosplas in de periode 1996-2005

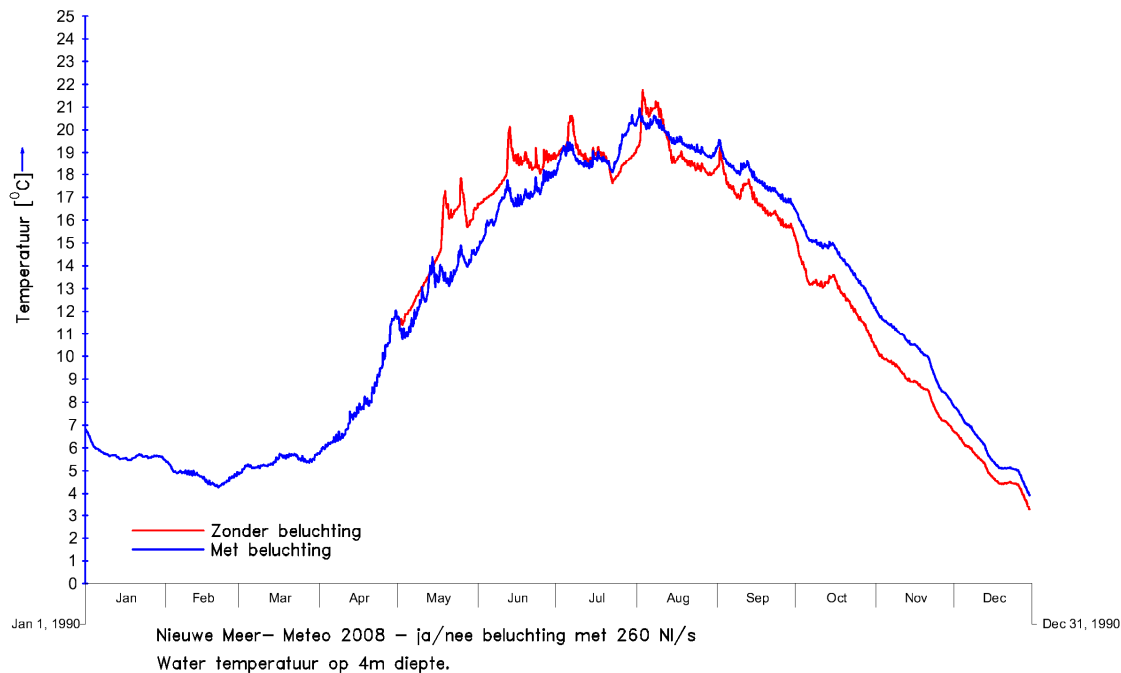


Wanneer menging een sterk effect op de temperatuur zou hebben (temperatuursprong) zou dit zichtbaar kunnen zijn als een afwijking ten opzichte van het gemiddelde. Deze afwijkingen zijn soms wel zichtbaar, maar dan gedurende het hele jaar en zowel voor de periode voor 1999 als na 1999. Op basis van de data van de Bosplas komt het effect dus niet duidelijk naar voren.

De reden voor de verschillen tussen afbeelding 3.11 en 3.12 is dat de menginstallatie in de Nieuwe Meer pas laat in het seizoen werd aangezet, stratificatie had zich toen al ingezet.

Wanneer de mengers worden aangezet voordat zich stratificatie vormt, is er geen sprake van een temperatuurschok, hoogstens van een wat vertraagde opwarming. Afbeelding 3.13 laat zien wat mag worden verwacht (theoretisch, op basis van modelberekeningen) in een gemengde en een ongemengde Nieuwe Meer in 2008. Te zien is dat er sprake is van een vertraagde opwarming in het voorjaar en een vertraagde afkoeling in het najaar. Ook worden de pieken in het temperatuurverloop iets afgevlakt.

Afbeelding 3.13. Gemodelleerde temperatuurverloop in de Nieuwe Meer in 2008 op 4 m diepte, met en zonder menging vanaf april (bron: Deltares)



Mogelijke effecten van beïnvloeding van het temperatuurverloop

Een plotselinge temperatuurdaling zou mogelijk een effect kunnen hebben op planten en dieren, bijvoorbeeld op de paai of opgroei van vis. Er is veel onderzoek gedaan naar de effecten van temperatuur op biota, meestal gaat het daarbij om temperatuurstijging onder invloed van warmtelozingen. Eén of enkele graden temperatuurstijging kan al grote effecten hebben, met name wanneer dit optreedt tijdens warme perioden. In dit geval gaat het juist om een (tijdelijke) daling in de bovenlaag in het voorjaar. Hierover is veel minder bekend. Op basis van deze beperkte analyse kan een effect niet worden uitgesloten, echter naar verwachting zal het effect gering zijn omdat:

- een grote daling van de temperatuur niet is te verwachten als de luchtmenginstallatie wordt aangezet voordat stratificatie zich inzet (normaal bedrijf). Temperatuurdalingen van enkele graden zijn te verwachten wanneer menging pas wordt aangezet nadat stratificatie zich al heeft ingesteld;
- er ook voorafgaand aan luchtmenging 'natuurlijke variaties' zijn, deze zijn in orde grootte vergelijkbaar met een eventueel effect van menging;
- de watertemperatuur bij de start van de menging nog vrij laag is (circa 10°C).

Aanbevolen wordt om enkele weken voorafgaand aan en na het in werking stellen van de mengers de temperatuur continue te meten om een indruk te krijgen van de temperatuurschok.

3.2.4. Effecten op opgelost stikstof in het epilimnion

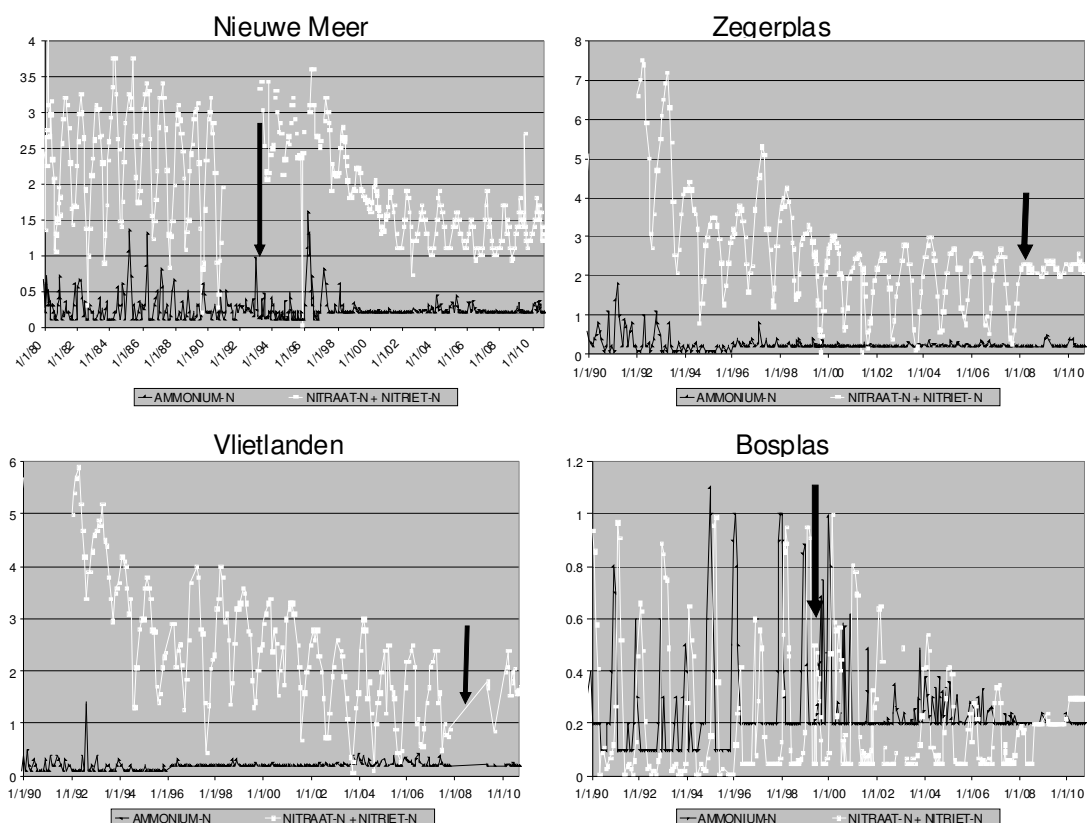
Hoewel er geen duidelijk effect van luchtmenging is geconstateerd op de totaalgehalten van P en N, is wel door Rijnland geconstateerd dat het nitraatgehalte in de Nieuwe Meer is veranderd. Nadat de menginstallaties in werking zijn gesteld is het nitraatgehalte gedurende het jaar veel constanter. Van tevoren trad in de zomer periodiek limitatie van beschikbaar N (nitraat) op, daarna niet meer.

Afbeelding 3.14 laat dat zien voor de Nieuwe Meer en de overige plassen waar luchtmen-
ging wordt toegepast. Het blijkt dat in de Zegerplas iets dergelijks optreedt (duidelijk) en ook
in de Vlietlanden (minder duidelijk want weinig metingen). In de Bosplas is het beeld anders,
hier zijn de gehalten veel lager en is ammonium relatief veel belangrijker. Wel lijkt sinds het
instellen van de beluchting het ammonium en nitraatgehalte gestaag te zijn afgenomen, dit
zal echter ook zeker te maken hebben met de verminderde belasting.

Een plausible verklaring voor het effect op het nitraatgehalte is dat er na menging voortdu-
rend nitraat vanuit de diepe delen wordt aangevoerd. In een gestratificeerde plas treedt dat
niet op en raakt de bovenlaag gedurende de zomer uitgeput. In de diepe delen zal opgelost
stikstof vooral in de vorm van ammonium aanwezig zijn.

De precieze gevolgen hiervan voor de ecologie zijn lastig in te schatten. In een gemengde
toestand is de menging zelf, en de daarmee samenhangende lichtbeperking, voor de algen-
groei waarschijnlijk limiterend. Echter in een gestratificeerde toestand hebben blauwalgen,
naast voordeel door een stabiele waterkolom, ook een competitief voordeel ten opzicht van
groenalgen bij N-limitatie. Dit raken ze kwijt door menging. Het is moeilijk te zeggen hoe
groot het 'nutrienteffect' nog is ten opzichte van het 'mengeffect'.

**Afbeelding 3.14. Verloop van nitraat en ammonium in de bovenste 0,5 m van plassen
met luchtmenging**



3.2.5. Samenvatting fysisch-chemische effecten

Onderstaand worden de fysisch-chemische waarnemingen samengevat. Deze zijn gebaseerd op bovenstaande afbeeldingen, de afbeeldingen in de bijlagen (cd-rom) en op bovenstaande vergelijking tussen de situatie vóór en na luchtmenging.

Waarnemingen voorafgaand aan luchtmenging of in plassen zonder luchtmenging

- Enkele plassen zijn jaarlijks duidelijk gestratificeerd in de zomer, dit zijn de Bosplas, de Nieuwe Meer, de Zegerplas, Broekvelden Vettebroek.
- De Vlietlanden en de Zoetermeerseplas lijken maar kort of beperkt gestratificeerd, ook 't Joppe is niet heel duidelijk gestratificeerd.
- De meeste plassen laten ook een duidelijke zuurstofloze zone zien gedurende de zomer, het meest extreem is de zuurstofarmoede in de Zoetermeerse plas, het minst in de Vlietlanden in 1985 en 1986.
- Stratificatie is terug te vinden in de parameters temperatuur, zuurstof(verzadiging), zuurgraad en fosfor. Er zijn duidelijke verschillen te zien in deze parameters tussen het epilimnion en het hypolimnion van gestratificeerde plassen.

Na luchtmenging

- Bosplas, Nieuwe Meer en Zegerplas zijn (enige jaren) na luchtmenging keurig gemengd.
- Voor de Vlietlanden geldt dat niet, hier worden 'bellen' met warmer of kouder water aangetroffen in de verticaal. Dit is interessant en correspondeert met de bevindingen voorafgaand aan de luchtmenging (geen volledige stratificatie).
- In de beluchte plassen die goed mengen is de oorspronkelijke zuurstofloosheid in het zomerhalfjaar verdwenen (in de metingen) of zo goed als verdwenen. Wanneer de menging door luchtmenging even stagneert, zoals in de Bosplas in een aantal jaren, treedt zuurstofloosheid weer spoedig in. Echter slechts gedurende een korte periode en een beperkt deel van de waterkolom.
- De beperkte metingen van fosfaat in de diepte (Bosplas en Vlietlanden) laten beide wel zien dat de oorspronkelijk hoge P gehalten in het hypolimnion in de zomer, niet meer worden gemeten. In het geval van de Bosplas is het gehalte zeer sterk afgenomen, van circa 0,5 - 1 mg P/l voor luchtmenging tot < 0,1 mg P/l na luchtmenging. **NB vrijwel tegelijkertijd is ook de belasting van de plas verminderd, het effect op P kan dus zeker niet alleen worden toegeschreven aan de luchtmenging.**

Effecten van luchtmenging

- Uit de data volgt niet dat de maximale dagtemperaturen (extreme waarden, 98 percentiel) in het epilimnion veranderen onder invloed van beluchten. De temperatuur overstijgt de KRW-norm alleen in de Vlietlanden vóór luchtmenging.
- De (maximale) temperatuur in het hypolimnion neemt wel sterk toe (~6 - 7 °C) door het mengen van de waterkolom.
- Zoals verwacht neemt de zuurstofverzadiging in het hypolimnion toe.
- In het epilimnion benadert het zuurstofgehalte vaker de verzadigingswaarde, dat wil zeggen dat zowel overproductie (door algen) als onderverzadiging (als gevolg van afbraak) niet of nauwelijks meer optreden. Dit is waarschijnlijk een gevolg van beter menging en zuurstoftoevoer in de diepte, mogelijk dat ook een verminderde productie in het epilimnion hieraan bijdraagt. Overigens is dit voor de KRW gunstig.
- Verschillen in chloridgehalten voor en na luchtmenging zijn gering, hieruit blijken in ieder geval geen grote veranderingen in de hydrologie.
- De zuurgraad in het epilimnion neemt iets toe (pH neemt af!). De zuurgraad van diepe plassen wordt gewoonlijk vooral beïnvloed door primaire productie door algen. Deze beïnvloeden het koolzuurbicarbonaat evenwicht, waardoor de pH stijgt bij hoge productiviteit.

In het hypolimnion neemt de zuurgraad juist af (pH stijgt!), dit kan zowel samenhangen met menging met het epilimnion als een verminderde zuurproductie bij afbraakprocessen in de waterbodem.

- Fosforconcentraties nemen soms af (Bosplas, Nieuwe Meer) en soms toe (Zegerplas). Voor beluchten waren de concentraties in het hypolimnion vaak hoog, na beluchten lijkt dit verminderd. De grootste verandering is opgetreden in de Bosplas, dit hangt echter samen met een lagere P-belasting. Dit wil zeggen dat het beeld op basis van de data niet eenduidig is.
- Stikstofconcentraties nemen zowel toe als af, waarschijnlijk ook afhankelijk van autonome trends. Wel nemen onder invloed van luchtmenging de ammonium- en ammoniakconcentraties af en de nitraat- en nitrietconcentraties toe. Vooral in het epilimnion is de toename van nitraat duidelijk. De vorm waarin stikstof voorkomt verandert dus wel.
- Het doorzicht in de plassen neemt in alle plassen toe, of blijft tenminste gelijk, door luchtmenging.
- Het effect van luchtmenging op het temperatuurverloop is complex, zowel opwarming van de plas in het voorjaar als afkoeling in het najaar zijn vertraagd. Onder normale bedrijfsvoering is een grote daling van de temperatuur niet te verwachten omdat een stratificatie zich nog niet heeft ingezet. Temperaturdalingen van enkele graden zijn te verwachten wanneer menging pas wordt aangezet nadat stratificatie zich al heeft ingesteld.

3.3. Ecologische effecten van beluchten

Met de beschikbare data is een analyse gemaakt van de ecologische effecten van luchtmenging op de biologie. Het grootste deel van de dataset bestond uit gegevens van fytoplankton (algen).

3.3.1. Algen

Effecten op chlorofyl-a gehalte en productiviteit

In tabel 3.4 zijn de effecten van beluchten op de chlorofyl-a concentraties te vinden. Hiervoor is dezelfde methode gehanteerd als voor het bepalen van de effecten op fysisch-chemische data: de meetwaarden 3 jaar voor en 3 jaar na de ingebruikname van de luchtmenginstallatie zijn gebruikt voor het berekenen van zomergemiddelden. Te zien is dat de chlorofyl-a concentraties in alle gevallen na luchtmenging afnemen. Voor de Nieuwe Meer is het verschil zeer groot, dit hangt samen met hoge chlorofylgehalten gedurende de zomer van 1992. Dit wordt geïllustreerd door de hoge standaarddeviatie in chlorofyl-a in de jaren voor luchtmenging.

Tabel 3.4. Zomergemiddelde concentraties van chlorofyl-a (s.d. = standaarddeviatie) voor en na luchtmenging in de vier plassen

	Bosplas		Nieuwe Meer		Vlietlanden		Zegerplas	
	ZGM	s.d.	ZGM	s.d.	ZGM	s.d.	ZGM	s.d.
voor	24.4	4.1	85.5	67.4	21.1	6.8	33.4	11.8
na	21.1	5.8	14.1	6.0	16.0	7.3	5.3	1.1

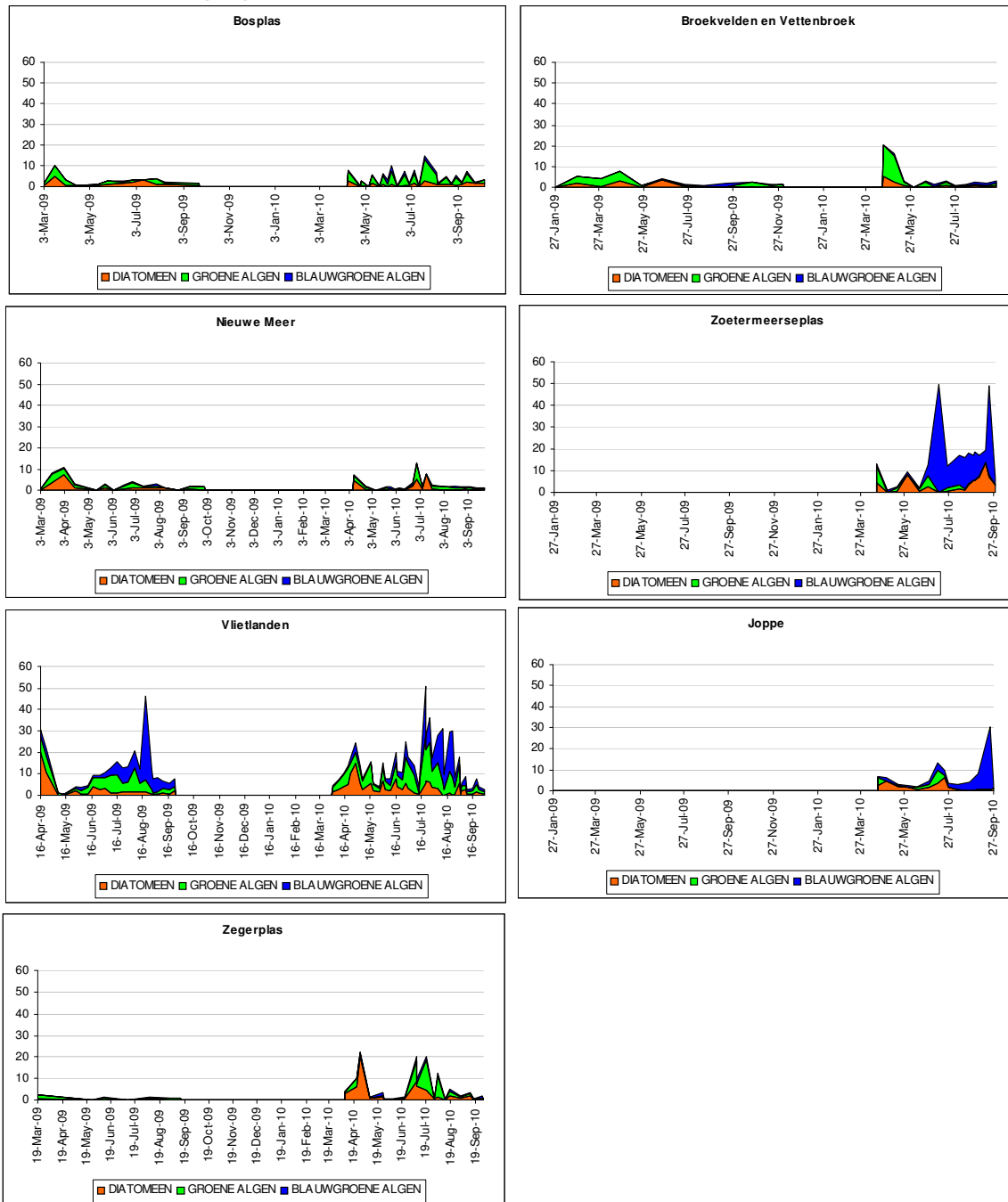
Een afname van het chlorofyl-a gehalte in het epilimnion hoeft niet automatisch te betekenen dat de *algenproductie* over de gehele waterkolom afneemt. Menging zorgt er namelijk ook voor dat algen over een grotere diepte (met een zekere abundantie) voorkomen. Omdat menging ook leidt tot een toename van het doorzicht (minder algen per liter) neemt ook de eufotische diepte toe. Als gevolg van deze beide factoren kan het zelfs zo zijn dat de totale productie per m² juist toeneemt. Helaas zijn er niet voldoende data beschikbaar om dit te ondersteunen voor de Rijnlandse plassen.

Uit de literatuur is dit overigens wel bekend (zie hoofdstuk 4). Overigens is ook de samenstelling van de algen bepalend voor de productiviteit. Sneller groeiende soorten kunnen een hogere turnover hebben en daarmee ook zorgen voor een hogere productiviteit.

Voorkomen van hoofdgroepen

Onderstaande afbeeldingen laten het voorkomen van hoofdgroepen van fytoplankton zien. In afbeelding 3.15 zijn metingen van chlorofyl per hoofdgroep (diatomeeën, groenalgen en blauwalgen) in 2009 en 2010. Van de overige jaren zijn deze metingen niet beschikbaar.

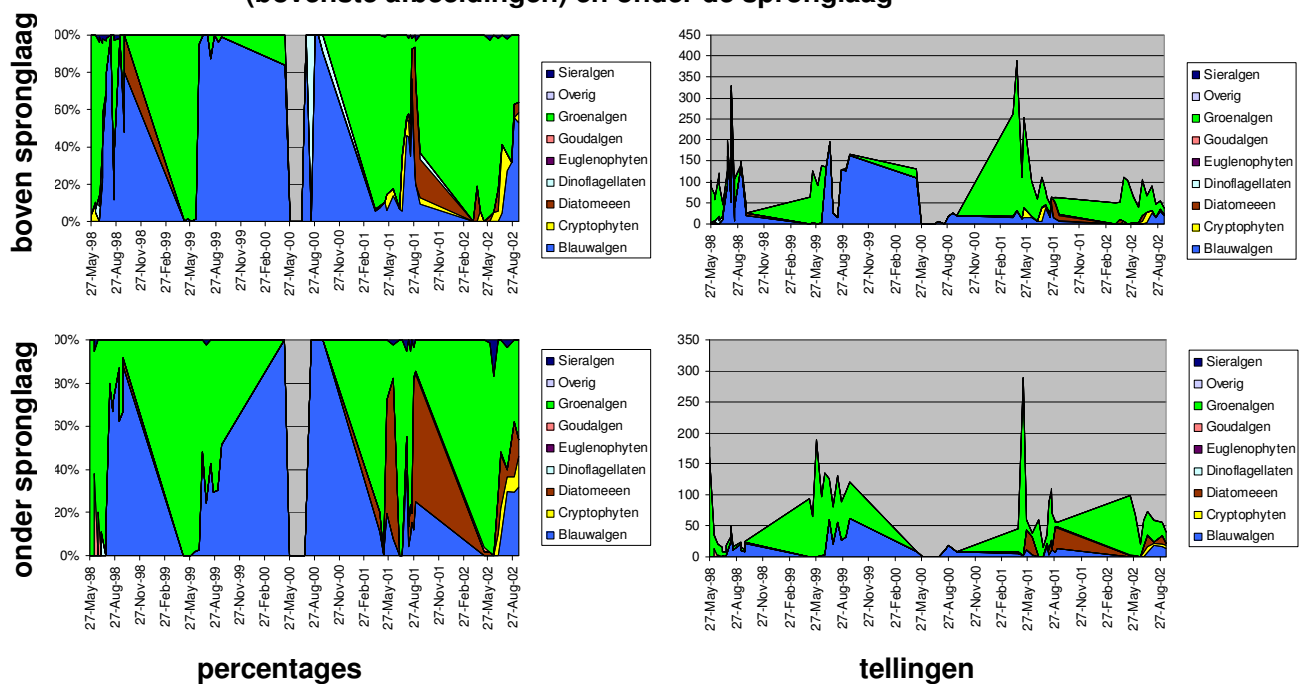
Afbeelding 3.15. Chlorofylgehalten per hoofdgroep per plas in 2009 en 2010. Linkergrafieken zijn plassen met luchtmenging, rechts zonder luchtmenging



De afbeeldingen laten hele duidelijke verschillen zien tussen plassen met dominantie van blauwalgen in het najaar, Vlietlanden, Zoetermeerse Plas en 't Joppe, en plassen die dat niet hebben. Ook de absolute chlorofylgehalten van alle groep samen zijn duidelijk verschillend, waarbij de plassen met de meeste blauwalgen ook de hoogste chlorofylgehalten hebben. Van de plassen met luchtmenging valt op dat de Bosplas en de Nieuwe meer de laagste chlorofylgehalten kennen, vrijwel geen blauwalgen (meer) hebben en relatief veel diatomeeën. De Zegerplas kent iets hogere chlorofylgehalten maar vertoont verder een vergelijkbaar beeld. Dit geldt overigens ook voor de niet-beluchte plas Broekvelden Vettebroek. De Vlietlanden laat een volstrekt ander beeld zien, met veel hogere chlorofylgehalten en dominantie van blauwalgen in het najaar. Ook de biologie ondersteunt de (fysisch-chemische) waarneming dat de luchtmenging in deze plas niet het beoogde effect heeft.

Afbeelding 3.16 laat het beeld zien van tellingen van fytoplankton in de Bosplas van de periode 1998-2002, dus ten tijde van het ingebruikstellen van de luchtmenging (1999). Hieruit lijkt er een verschuiving van de relatieve dominantie van blauwalgen naar dominantie van groenalgen en diatomeeën op te treden (vanaf 2000). Er was overigens pas vanaf 2002 sprake van 'volledige' menging tot 20 m diepte door luchtmenging.

Afbeelding 3.16. Tellingen van algen in de Haarlemmermeerse Bosplas rond het instellen van de luchtmenging. Verdeling in hoofdgroepen procentueel (linker afbeeldingen) en tellingen (rechts) boven de spronglaag (bovenste afbeeldingen) en onder de spronglaag (onderste afbeeldingen)



NB. De afbeeldingen van de tellingen van overige plassen zijn weinig betrouwbaar omdat de methode van bemonstering en telling niet gedurende de gehele periode consistent lijkt te zijn geweest.

Gemeenschappen van algen

Het voorkomen van combinaties van algengemeenschappen is onderzocht met behulp van multivariate analyse. Algengemeenschappen zijn bepaalde combinaties van soorten die onder specifieke milieuomstandigheden voorkomen.

Het is interessant om te kijken of er een shift is waar te nemen in de gemeenschappen, onder invloed van luchtmenging. Helaas is gebleken dat de data hiervoor niet geschikt waren. In bijlage II staat dit toegelicht.

3.3.2. Macrofyten

Van macrofyten zijn maar beperkt gegevens beschikbaar. Tevens geldt dat alleen de meest recente data volgens KRW methode is verzameld, de oudere data zijn weer anders verzameld. Een analyse van de effecten van luchtmenging op de vegetatie is daarom niet mogelijk. Wel is, om een indruk te krijgen van de vegetatie van de plassen, van iedere plas de meest recente opname gescreend op waterplanten (omdat deze de meest duidelijke relatie hebben met het watermilieu). Tabel 3.5 laat dit zien, ter toelichting, de 5 waarnemingen meest links in de tabel betreffen gemiddelde waarden (bedekkingspercentages) van de KRW transecten. De gemiddelden per plas en per soort zijn bepaald door de aangetroffen percentages van alle transecten te sommeren en dit te delen door het totaal aantal transecten. De beide rechter waarnemingen zijn niet volgens de KRW methode uitgevoerd, dit betreft raun Blanquet bedekkingen. Het volgende valt op:

- de bedekking met ondergedoken waterplanten is in het algemeen gering, alleen Broekvelden-Vettebroek heeft een flinke bedekking met ondergedoken waterplanten. Ook in de Zoetermeerse plas worden lokaal velden met waterplanten aangetroffen;
- *Chara* wordt alleen in Broekvelden Vettebroek (27 %) en een heel gering percentage in de Zoetermeerse plas aangetroffen. In veel diepe plassen is *Chara* algemeen voorkomend en vaak over grote oppervlakten;
- ook wat betreft de andere soorten wordt er opvallend weinig aangetroffen, *Elodea nutalli* (smalle waterpest) heeft een zeer geringe bedekking en ook *Myriophyllum spicatum* (aarvederkruid) komt maar beperkt voor;
- ook fonteinkruiden (*Potamogeton* spp.) komen vrijwel alleen maar voor in beide genoemde plassen en in de Bosplas. In de overige plassen is draadwier (in de tabel zijn dit ook de genera *Cladophora* en *Enteromorpha*) vaak dominant.

Tabel 3.5. Aangetroffen waterplanten in de diepe plassen van Rijnland

eenheid	gemiddeld bedekkingspercentage					Braun Blanquet	
	T Joppe	Vlietlanden	Zegerplas	Broekvelden Vettebroek	Zoetermeerse Plas	Nieuwe Meer	Haarlemmermeer Bosplas
plas							
naam	8-Jul-10	30-Jul-09	3-Aug-09	3-Aug-09	30-Jul-09	10-Sep-04	25-Jul-06
Callitriche platycarpa					1		
Ceratophyllum demersum					2		
Ceratophyllum submersum					1		
Chara				2			
Chara vulgaris				27	0.3		
Cladophora		4	4	0	3		
Draadwieren (ondergedoken)						3	4
Elodea nuttallii		1		6	1		
Enteromorpha					2		2
Lemna minor					1		
Myriophyllum spicatum				8	1		
Persicaria amphibia	1			1			2
Persicaria maculosa				1			
Potamogeton crispus				1	1		5
Potamogeton lucens					0.5		
Potamogeton pectinatus		2		2	1		3
Potamogeton pusillus				1			2
Ranunculus circinatus				2	0.4		
Zannichellia palustris					1		2
totale bedekking	1	7	4	50	17		
aantal soorten	1	3	1	10	14	1	6

3.3.3. Macrofauna

Van macrofauna zijn te weinig gegevens beschikbaar om een analyse op uit te voeren.

3.3.4. Vis

De visstand is in 4 van de 7 plassen onderzocht. Het bemonsteren van vis in diepe plassen is lastig, dat bleek ook wel tijdens de bemonsteringen. Vooral in Broekvelden Vettebroek waren er problemen in verband met de vegetatie. Daarom is de verwachting dat de visstand is onderschat. Tabel 3.6 laat de bestandsschattingen in kg/ha van de vier bemonsterde plassen zien. Opvallend is dat er veel verschil is in biomassa en in samenstelling. Broekvelden Vettebroek heeft een zeer lage geschatte visbiomassa, waarbij baars, blankvoorn en snoek de grootste biomassa vertegenwoordigen. De Zoetermeerseplas heeft de hoogste biomassa, grotendeels bestaande uit brasem. De plassen die verbonden zijn met de boezem, 't Joppe en Vlietlanden hebben naast brasem ook een substantiële snoekbaarspopulatie.

Tabel 3.6. Resultaten visstandonderzoek diepe plassen van Rijnland. In de tabel is per soort de schatting van het bestand in kilogram per hectare weergegeven

Vissoort	't Joppe, 2006	B&V, 2007	Vlietlanden, 2009	Zoetermeerseplas, 2009
Aal/Paling	10	0,8	0,1	1
Baars	3,3	3,4	0,9	2,9
Blankvoorn	6,2	1,7	9,3	16,7
Brasem	47,8	0,3	12,3	90,6
Driedoornige stekelbaars		0,0	0,0	
Hybride			0,1	0,2
Karper				6,9
Kolblei	3,7		0,9	0,4
Pos	1,8	0,0	0,1	0,9
Snoekbaars	22,6	0,0	10,9	1,1
Bot			0,1	
Spiering	1,1		0,6	
Rietvoorn/Ruisvoorn	0,0	0,0		0,1
Zeelt		0,1		0,5
Rivierdonderpad	0,0	0,0		
Snoek	1	3,7	2,2	2,7
Totaal	97,5	10,0	37,5	124,0

Tijdens het visstandonderzoek in 2009 is in de Vlietlanden en de Zoetermeerse plas ook de visstand op meer dan 10 m diepte bemonsterd. In beide gevallen was de aangetroffen biomassa laag, minder dan 2 kilogram per hectare. Qua soorten werden brasem, snoekbaars, bot, spiering en paling aangetroffen. De visstand in de ondiepe delen was echter voor het overgrote deel bepalend voor de totale bestandsschatting.

Effect beluchten op vis

Een van de hypothesen voor de effecten van luchtmenging op vis is dat het areaal aan habitat voor soorten als brasem toeneemt door luchtmenging. In het beluchte deel van de Vlietlanden werd echter slechts een gering aandeel vis aangetroffen in 2009. Er is dus in ieder geval niet aangetoond dat de vis er als gevolg van luchtmenging een groter areaal leefgebied gebruikt. Het tegendeel is echter ook niet aangetoond, bemonsteren in diepe plassen is namelijk lastig (vis kan zijn gemist). Daarnaast is de luchtmenging pas kort operationeel en werkt nog niet optimaal.

De biomassa's in 't Joppe en de Zoetermeerseplas zijn erg hoog voor diepe plassen. Voor de Zoetermeerseplas werd het grote areaal ondiep water als een van de belangrijkste oorzaken genoemd van deze hoge biomassa. Algemeen wijst een hoge biomassa op voedselrijkdom. Qua KRW beoordeling scoren alle plassen, met uitzondering van Broekvelden Vettebroek, ontoereikend of slecht. De hoge aandelen brasem en het geringe aandeel plantminnende vis is hiervoor verantwoordelijk.

3.3.5. Samenvatting ecologische effecten

Het is niet mogelijk om op basis van de beschikbare data een goed beeld te krijgen van de ecologische effecten van luchtmenging. Dit werd overigens op voorhand ook niet verwacht, daarvoor is in een literatuuronderzoek voorzien. Wat de data wel laten zien is:

- een afname van blauwalgen, vooral ten gunste van diatomeeën;
- een afname van het chlorofyl-a gehalte.

Voor de overige groepen is te weinig data beschikbaar. Wel valt op dat er weinig vegetatie aanwezig is in de plassen.

Alleen Broekvelden Vettebroek is plantenrijk, met 50 % bedekking en 10 soorten. De Zoetermeerse plas is overigens soortenrijker met 14 soorten maar heeft een geringere bedekking (17 %). De visstand is erg wisselend met hoge biomassa's en dominantie van brasem in 't Joppe en de Zoetermeerseplas, een vrij geringe biomassa in de Vlietlanden met brasem en snoekbaars als dominante soorten en een lage biomassa met voornamelijk baars en snoek in Broekvelden Vettebroek.

Ten aanzien van de ecologische effecten van luchtmenging op de groepen macrofyten en vis hebben we de volgende hypothesen:

- positief effect van luchtmenging op doorzicht is van belang voor de potenties van ondergedoken waterplanten;
- luchtmenging leidt tot een hogere visbiomassa, in het bijzonder een toename van brasem.

4. LITERATUURONDERZOEK EN SYNTHESE

4.1. Aanvullend literatuuronderzoek

De data-analyse heeft enkele duidelijk bruikbare effecten van luchtmenging laten zien. Vooral de effecten op het fysisch-chemische milieu komen wel duidelijk naar voren. Wat betekent dit echter voor de biologie, de biologische data geven daar slechts beperkt antwoord op. Er is daarom vooral behoefte aan inzicht in de effecten op de biologie. Alleen voor algen konden enkele effecten uit de data worden gedestilleerd. Via de effecten op algendichtheden, nutriënten en het lichtklimaat kan vervolgens een doorvertaling worden gemaakt naar de effecten op macrofyten. Deze zijn op hun beurt weer sturend voor macrofauna en vis. Deze effecten gelden echter vooral voor de bovenlaag, het epilimnion. Dit is overigens ook wat door de KRW wordt beoordeeld. Alleen voor vis ligt dat wat anders, wanneer deze na luchtmenging ook gebruik kunnen maken van het hypolimnion (foerageren), kan de visbiomassa sterk toenemen. Dit kan vooral gaan ten gunste van benthivore (bodemvoedselende) vis zoals brasem en karper. Dit is nadelig voor de KRW score op de vissenmaatlat. Overigens kan een hoge visbiomassa ook beperkend zijn voor de plantengroei (bodemwoelen). Het effect op vis heeft daarom specifieke aandacht gekregen in de literatuurstudie. Daarnaast is gekeken in hoeverre de literatuur onze bevindingen kan ondersteunen.

Onderstaand worden een drietal interessante artikelen aangehaald waarin de effecten van luchtmenging op het ecosysteem van een diepe plas is onderzocht. De bevindingen komen overeen met onze bevindingen en met de verwachtingen.

Effecten op fytoplankton

Woo-Myung Heo & Bomchul Kim, 2004. De auteurs beschrijven het effect van kunstmatige destratificatie op fytoplankton. Ze vinden het volgende:

- er treedt een shift op van blauwalgen naar diatomeeën. Dit is aardig want hier leek ook in Rijnlandse plassen sprake van te zijn. Menging zorgt er voor dat de relatief zware diatomeeën in suspensie blijven en dat de concurrentiekracht van blauwalgen (zweefvermogen) wordt uitgeschakeld;
- de biomassa van algen en waarschijnlijk ook de productiviteit neemt spectaculair toe als gevolg van mengen. Hierbij moet worden opgemerkt dat er sprake is van een extern hoog belast systeem met een lage interne belasting.

Hansrudolf Bürgi & Pius Stadelmann, 2002. Veranderingen in fytoplanktongemeenschappen tijdens restauratie (door middel van luchtmenging). Een lastig leesbaar artikel met toch wel interessante conclusies:

- de auteurs vinden een toename van de diversiteit van het fytoplankton met (net als bovenstaande auteurs) een shift naar diatomeeën;
- ze vinden tevens een toename van de biomassa van algen op een diepte van 0-15 m (dus een toename van de biomassa per vierkante meter maar wellicht een afname van de biomassa per kubieke meter);
- ze vinden een afname van zooplankton per vierkante meter (dus minder graasdruk), dit hangt samen met een toename van filamenteuze algen aldus de auteurs;
- ze vinden een toename van kieming van sporen en een beter uitkomen van 'rusteieren';
- oligochaeten (borstelwormen) en muggenlarven in het diepe sediment nemen duidelijk toe, dit leidt tot een toename van de bioturbatie, wat mooi te zien is in een sediment core.

Effecten op zoöplankton

In het (Nederlandse) waterbeheer is betrekkelijk weinig aandacht voor zoöplankton. Het is bijvoorbeeld ook geen onderdeel van de KRW-beoordeling. Er is niet gericht gezocht naar internationale literatuur over de effecten van menging op zoöplankton. In de literatuur die we hebben bekeken wordt deze groep vaak slechts zijdelings behandeld. Er wordt daarom ook slechts kort op ingegaan. Wat wel is gevonden is dat menging leidt tot een verspreiding van zoöplankton tot een grotere diepte (Fast, 1971) en daarmee over een groter volume (verdunning) en dat dit leidt tot een verminderde predatiedruk op fytoplankton (Hansrudolf Bürgi & Pius Stadelmann, 2002). In dat opzicht mag worden verwacht dat menging leidt tot een lagere top-down (begrazing) controle van fytoplankton. Belangrijker is naar verwachting het directe effect van menging op fytoplankton (zie hierboven).

Effecten op P-retentie en vis

Muller en Stadelmann, 2004. De auteurs beschrijven de effecten van luchtmenging van enkele diepe plassen in Zwitserland.

Hun belangrijkste bevindingen zijn als volgt:

- het lukt wel om tot 4 mg/l zuurstof in hypolimnion te brengen maar dat leidt niet tot een betere P-retentie in het sediment. Dat wijten de auteurs aan een te hoge belasting, waardoor het sediment nog steeds veel organisch materiaal accumuleert en zuurstof verbruikt. Luchtmenging helpt volgens de auteurs dus alleen indien de externe belasting voldoende is gereduceerd (vergelijk Bosplas en Vlietlanden);
- de auteurs vinden een toename in leefgebied voor vis en benthische evertebraten. Luchtmenging leidt ook tot grotere visvangsten, na jaren van afnemende vangst. Overigens betreft dit vooral coregoniden, vissoorten die wij in Nederland niet hebben maar die wel heel kenmerkend zijn voor diepe meren. Een toename van de vangst geldt overigens ook voor wat wij witvis noemen, cypriniden zoals brasem en blankvoorn. Dit artikel ondersteunt dus de hypothese dat de visbiomassa toeneemt;
- vissterfte die destijds optrad is na beluchten verleden tijd. Ook afname van sterfte zal naar verwachting leiden tot een hogere visbiomassa.

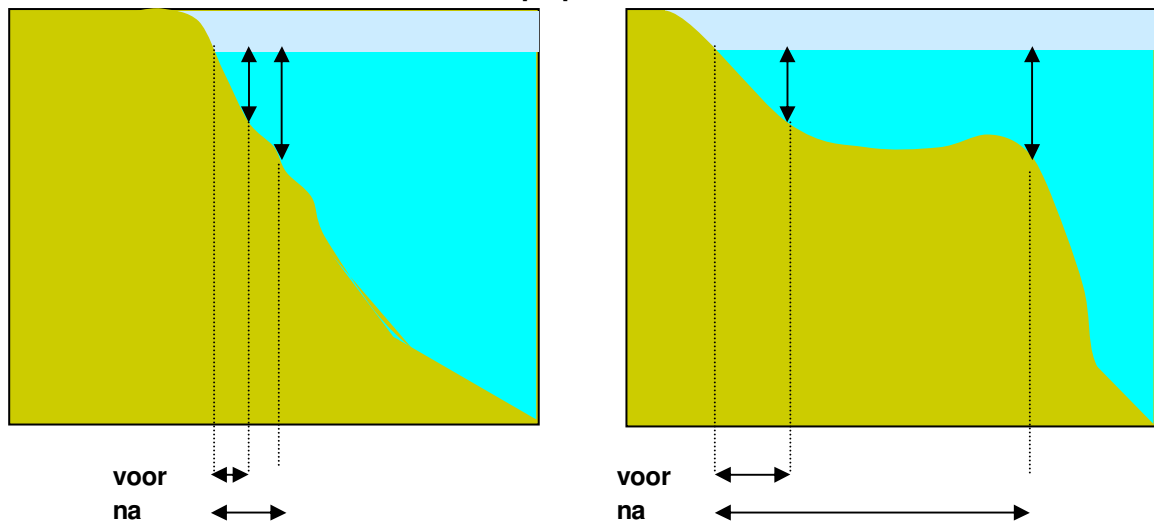
4.2. Doorvertaling naar effecten op de ecologie

4.2.1. Effecten via helderheid op plantengroei

In de analyse van fysisch-chemische parameters hebben we gezien dat zowel het doorzicht toeneemt als de chlorofyl-a concentraties afnemen onder invloed van luchtmenging.

Lichtklimaat is een belangrijke factor in het functioneren in diepe plassen. Hoeveel licht er doordringt in de waterkolom bepaalt in sterke mate tot op welke diepte ondergedoken waterplanten kunnen voorkomen. Het areaal dat begroeid kan worden met waterplanten kan dus door luchtmenging toenemen. Wat dit betekent is plasspecifiek, in plassen met steile taluds levert dit weinig oppervlaktetoename op, in plassen met uitgebreide ondiepe zones kan dit veel uitmaken. Dit wordt onderstaand geïllustreerd voor 2 situaties, waarbij is uitgegaan van een toename van het doorzicht van 1 m naar 1,4 m als gevolg van luchtmenging (dit komt overeen met waarnemingen in de Zegerplas). De toename van het doorzicht kan worden vertaald naar een potentiële diepte met voldoende licht voor plantengroei. Scheffer (1998) houdt hiervoor een factor 1,6 aan. Planten hebben voldoende licht om te groeien tot circa 1,6 maal de Secchidiepte. In het voorbeeld is dat dus respectievelijk 1,6 m en 2,24 m.

Afbeelding 4.1. Illustratie van het effect van een toename van het doorzicht op het begroeibaar areaal voor ondergedoken waterplanten bij verschillende taludvormen van een diepe plas



Of planten daar ook daadwerkelijk zullen gaan groeien is uiteraard van meerdere factoren afhankelijk. De visstand kan bijvoorbeeld via bodemwoeling een beperkende factor zijn. Afgezien daarvan is de (toename van) de helderheid een belangrijk kwaliteitskenmerk van diepe plassen (zie ook Oste, et. al., 2010), waar de ecologische potenties sterk mee samenhangen.

4.2.2. Effecten op vis

Op een aantal momenten is het effect van luchtmenging op vis al ter sprake gekomen. Hier wordt dat verder uitgewerkt. Er zijn een aantal fysisch-chemische effecten van beluchten die mogelijk invloed hebben op vissen. De volgende worden onderstaand besproken:

1. Toename temperatuur van het hypolimnion;
 2. Temperatuursprong epilimnion;
 3. Toename zuurstofconcentraties in het hypolimnion → toename leefgebied voor vis;
 4. Toename doorzicht in het epilimnion → toename planten → toename leefgebied voor plantminnende vis + paaigebieden.
1. Toename temperatuur hypolimnion kan een negatief effect hebben op salmoniden en coregoniden (Fast, 1971). Deze soortgroepen komen nauwelijks voor in diepe plassen in Nederland. Het is ook niet de verwachting dat er andere soorten in diepe plassen aanwezig zijn die negatief worden beïnvloed door temperatuursstijging van het hypolimnion. Sterker nog, het hypolimnion is zonder luchtmenging grotendeel zuurstofloos en dus per definitie ongeschikt voor vis (zie 3).
 2. Uit de data kon geen duidelijk temperatuursprong in de bovenlaag worden afgeleid. Wel was duidelijk dat de watertemperatuur, ook in een situatie zonder luchtmenging, in vrij korte tijd (enkele dagen-weken) een sprong van enkele graden kan maken. Dit is orde grootte vergelijkbaar met wat mag worden verwacht tijdens menging. De vraag is dan of het effect van menging valt buiten de range van de natuurlijke variatie, metingen zouden hier inzicht in kunnen geven. Overigens worden onderstaand de paaiperioden en -gebieden van enkele algemeen voorkomende soorten weergegeven. Hieruit blijkt dat snoek en baars al vroeg en snoekbaars en brasem wat later in het voorjaar paaieren. Voor de vroege paaiers zal het effect vooral van belang zijn op de juveniele vis, voor de latere paaiers wellicht ook op de paai zelf of op de eieren en larven.

Blankvoorn en karper (reproduceert beperkt) paaien volgens het overzicht voornamelijk na het in werking stellen van de luchtmenging. Een toename van de helderheid van het water en het zuurstofgehalte zal overigens vooral gunstig zijn voor de overleving van de eieren van deze soorten.

Overzicht paaiperioden en –gebieden van vissoorten (Bron: H. de Nie, 1996; H.D. Bakker en W.J. Schouten, 1992; B.J. Lucas en R.B. Zoetemeyer, 2001)		
Soort	Periode	Gebied
Snoek	februari - april	Ondergelopen grasland, riet (oever)
Baars	maart - mei	Ondiep water, waterplanten, boomwortels en dode takken
Snoekbaars	april - half juni	Ondiep water (voorkeur), nest in harde bodem, tussen wortels en vrij van slib of detritus
Brasem	half april - juli	Oeverplanten, dood of hard materiaal
Blankvoorn	mei - half augustus	Ondiep water, water- en oeverplanten
Karper	juni - augustus	Ondergelopen grasland, ondiep water, waterplanten

3. Door de toename van zuurstofconcentraties in het hypolimnion wordt het potentieel beschikbare gebied voor vissen vergroot. Dit is ook aangetoond door Muller en Stadelman (2004). Dit kan een positief effect hebben. Wanneer het hypolimnion zuurstofrijker wordt, is het ook geschikt voor meer benthische macrofaunasoorten. Hierdoor zal het benthische voedselweb zowel in soorten als biomassa gaan toenemen. Bodemwoelende vis als brasem kunnen hier mogelijk gebruik van maken. Soorten die tolerant zijn voor lage zuurstofgehalten, de zogenaamde zuurstoftolerante soorten uit de KRW maatlat, zouden door luchtmenging juist aan concurrentiekracht kunnen verliezen. De belangrijkste soort (qua voorkomen en biomassa) van deze groep is zeelt. Dit is wel een soort die relatief veel in diepe plassen wordt gevangen tijdens visstandonderzoek. Of deze soort nadelig wordt beïnvloed weten we niet. Waarschijnlijk wordt de zeelt vooral veel aangetroffen onder plantenrijke omstandigheden in het epilimnion van diepe plassen. Mogelijk maken ze nauwelijks gebruik van een zuurstofarm hypolimnion, omdat hier geen (onderwater)vegetatie aanwezig is.
4. Door toename van het doorzicht zal het voor (ondergedoken)waterplanten begroeibaar areaal toenemen. In de praktijk kan dit leiden dat er tot grotere diepten waterplanten voor zullen komen. Dit heeft een positief effect op het voorkomen van leefgebied voor bijvoorbeeld plantminnende vis (zie o.a. Jaarsma, et. al, 2007, achtergronddocument vissen).

4.3. Synthese effecten van luchtmenging en KRW

4.3.1. Fysisch-chemische effecten

De effecten van beluchten op de fysisch-chemische parameters zijn voor de verschillende plassen gekwantificeerd in de eerdere paragrafen (3.3). In onderstaand schema (tabel 4.1) zijn de effecten van beluchten op de fysisch-chemische kwaliteitselementen uit KRW-beoordeling weergegeven. Een en ander wordt kort toegelicht.

Tabel 4.1. Kwalitatieve effecten beluchten en vertaling naar KRW-beoordeling. De effecten op epi- en hypolimnion hebben betrekking op de absolute waarde van de parameter, de effecten op KRW hebben betrekking op de maatlat-score

fysisch-chemisch kwaliteitselement	effect beluchten epilimnion	effect beluchten hypolimnion	effect op score KRW
T	+/-	+	+/-
O ₂	-	+	+
Cl	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
zuurgraad	-	+	+
P	+/-	-	+/-
N	+/-	+/-	+/-
doorzicht	+	+	+

Het effect van beluchten op de temperatuur in het epilimnion is niet duidelijk waarneembaar, terwijl de temperatuur in het hypolimnion wel duidelijk toeneemt. Omdat er voor de KRW-score alleen naar de temperatuur in het epilimnion wordt gekeken heeft beluchten geen invloed op de KRW-score.

De zuurstofverzadiging neemt af onder invloed van beluchten. Voor het beluchten is het epilimnion in plassen met algenproblematiek door de hogere algendichtheden vaak oververzadigd. Door het beluchten neemt de verzadiging af naar een situatie waarbij het water ongeveer volledig verzadigd is (100 %). Zowel een te lage zuurstofverzadiging als een oververzadiging in het epilimnion wordt in de KRW-beoordeling als negatief beschouwd. Hierdoor heeft de daling van de zuurstofverzadiging in het epilimnion een positief effect op de KRW-scores. De zuurstofverzadiging in het hypolimnion neemt fors toe, maar was voor het luchtmenging ook zeer laag. Dit blijft in de KRW beoordeling buiten beschouwing.

Luchtmenging heeft geen (direct) effect op chloride.

De pH daalt onder invloed van het beluchten in het epilimnion en stijgt in het hypolimnion. In een aantal gevallen is de pH (volgens de KRW-beoordeling) te hoog als gevolg van algenproductie. In deze gevallen heeft beluchten een positief effect op de KRW-score. De effecten op de pH in het hypolimnion worden niet meegenomen in de KRW-score.

Het effect van beluchten op het fosfaatgehalte in het epilimnion is niet eenduidig, in het hypolimnion (weinig metingen) lijken de gehalten wel te dalen door het beluchten. Het effect op de KRW-beoordeling is derhalve niet eenduidig.

De totale stikstofconcentraties veranderen niet duidelijk onder invloed van luchtmenging. In twee plassen is er een daling te zien, in de andere twee plassen een stijging. Wel verschuift de vorm van stikstof van ammonium en ammoniak richting nitraat en nitriet. Ook hier is het effect op de KRW-score dus niet eenduidig.

Het doorzicht neemt in alle gevallen toe. Dit heeft een positief effect op de KRW-score en is ook een verbetering.

4.3.2. Ecologische effecten en KRW

De effecten van luchtmenging zijn, zoals bovenstaand is toegelicht, in het algemeen positief te noemen. Ook wanneer we redeneren vanuit de KRW-doelstellingen. Voor de fysisch-chemische parameters kon dat ook voor een deel getalsmatig worden onderbouwd. Voor de biologische parameters is een vertaalslag nodig. De redenatie is hierbij als volgt:

- beluchten leidt tot een afname van het chlorofylgehalte en een toename van het doorzicht. De samenstelling van het fytoplankton wordt naar verwachting diverser;
- een toename van het doorzicht leidt in potentie tot een toename van het begroeibaar areaal van een diepe plas, hoe veel dat is, hangt af van de vorm van de plas (diepteprofiel). Tot een diepte van circa 1,7 maal de secchi-diepte komt voldoende licht op de bodem voor plantengroei. Dit is in ecologisch opzicht gunstig. Hoe het echter voor de KRW uitpakt is niet altijd duidelijk, dit komt omdat de maatlat beoordeelt op het % van het begroeibaar areaal dat daadwerkelijk is begroeid. De crux zit hem in het afleiden van het begroeibaar areaal, de methode hiervoor is niet eenduidig. Momenteel (2011) wordt nagedacht over de aanpassing van de maatlat op dit onderdeel;
- een toename van het areaal vegetatie en een toename van de helderheid is eveneens gunstig voor macrofauna. De soorten uit de maatlat (Pot et. al, 2007) zijn grotendeels gevoelig voor trofie en saprobie (met name zuurstof). Onder invloed van luchtmenging verbetert de zuurstofdynamiek (minder fluctuaties, dichter bij verzadiging). Dus ook van de macrofaunagemeenschap mag worden verwacht dat deze positief reageert op luchtmenging (in vergelijking met de situatie voor luchtmenging);
- Ook de vis, met name de plantminnende soorten zoals zeelt, snoek, kroeskarper en ruisvoorn, profiteren van helder en plantenrijk water. Verwacht mag worden dat in de ondiepe delen het aandeel van deze soorten zal toenemen. De visstand van Broekvelden Vettebroek illustreert dit ook (met de problemen bij de bemonstering als kanttekening);
- luchtmenging kan mogelijk wel zorgen voor een toename van het aandeel brasem. Doordat de diepe delen toegankelijk worden voor vis en de macrofauna zich daar kan uitbreiden, zal naar verwachting de totale visbiomassa toenemen ten gunste van brasem. Deze soort kan, mits de biomassa sterk toeneemt, ook in de ondiepe delen een negatief effect hebben door foerageergedrag in het sediment.

In tabel 4.2 zijn de verwachte effecten nog eens samengevat.

Tabel 4.2. Ecologische effecten beluchten op maatlatscore KRW

deelmaatlat	verwachte effect van beluchten
fytoplankton	
abundantie	dichtheid (uitgedrukt in microgram per liter) neemt af, dit is positief
soortensamenstelling	verschuiving naar diatomeeën en groenalgen, minder blauwalgen, diversiteit neemt naar verwachting toe, dit is positief
overige waterflora	
bedekking (% van het begroeibaar areaal)	begroeibaar areaal neemt toe door betere lichtcondities, dit is positief maar effect op KRW is afhankelijk van de wijze waarop de maatlat wordt toegepast (wijze waarop % begroeibaar areaal wordt bepaald)
soortensamenstelling	van een toename van de helderheid en een afname van de algenbiomassa mag een positief effect op de soortensamenstelling worden verwacht
macrofauna	positief effect via toename helderheid en afname trofiegraad op kenmerkende taxa (KM), dominant positieve (DP) en dominant negatieve taxa (DN)
vis	positief effect op KRW score via toename helderheid en afname trofiegraad, geldt voor alle indicatoren behalve % brasem negatief effect op KRW score via met name % brasem doordat ook hypolimnion toegankelijk wordt

Voor KRW maatlaten is luchtmenging dus overwegend gunstig. Mogelijk leidt luchtmenging wel tot een lagere score op de vissenmaat. Er zijn echter goede argumenten voor een doelverlaging op deze maatlat, namelijk:

1. de maatregel is nodig om waterkwaliteitsproblemen (in zwemwater) op te lossen (dat is taak van waterbeheerder);
2. door de maatregel verandert het karakter van de diepe plas, waardoor het sterker op een ondiepe plas gaat lijken (bodem blijft toegankelijk voor vis);

Dit zou voldoende onderbouwing moeten zijn voor wat minder strikte doelen (hoger % brasem). Daarbij geldt wel het voorbehoud dat andere (brongerichte)maatregelen niet mogelijk zijn of te duur. Deze afweging dient te allen tijde te worden gemaakt. Overigens is er ook nog een meer fundamenteel argument dat kan worden gebruikt als verdere onderbouwing om de doelstellingen voor vis aan te passen (zie kader).

Leidt beluchting tot een ander KRW-type?

Menging leidt tot het verdwijnen van stratificatie, hierdoor wordt het (ecologisch) functioneren van het watersysteem dusdanig veranderd, dat de vraag is of er nog wel sprake is van een diepe plas volgens de definities van de KRW-typen. Wellicht is in bepaalde gevallen een beoordeling met de maatlaten van een ondiepe plas wel verdedigbaar. Dit geldt bijvoorbeeld voor de visstand, waar menging betekent dat de gehele diepe bodem toegankelijk wordt voor vis en de productiviteit naar verwachting sterk zal stijgen. Het aandeel bodemvoedsel-etende vis zoals brasem zal daardoor naar verwachting toenemen.

Overigens zijn eventuele negatieve effecten op de KRW-beoordeling geen directe reden om luchtmenging af te wijzen. De KRW vraagt dat ook niet. Wanneer uit het oogpunt van (zwem)functies van een plas luchtmenging nodig is om de kwaliteit te garanderen, is dat vanuit KRW-oogpunt prima verdedigbaar. De KRW vraagt echter wel om naar alternatieven te kijken en/of mitigerende maatregelen te nemen.

4.4. Effecten op aangrenzende wateren (kwalitatief)

Het inzetten van een luchtmenginstallatie in een diepe plas is een maatregel die het functioneren van de plas volledig verandert. Doordat diepe plassen soms onderdeel zijn van een groter watersysteem kan het zijn dat de effecten van luchtmenging niet alleen in de plas maar in een groter gebied merkbaar zijn. Dit kan mogelijk gevolgen hebben voor de waterkwaliteit in aangrenzende wateren. Er wordt gedacht aan de volgende effecten:

- afwenteling van nutriënten;
- gemengde diepe plas als leefgebied voor vis.

Afwenteling van nutriënten

Nutriënten uit een diepe plas kunnen naar een ander water worden getransporteerd. Wanneer er in een diepe plas veel fosfaat uit de bodem vrijkomt kan dit een zekere invloed op het ontvangende water hebben.

Metingen en analyses leveren geen eenduidig beeld van de verandering van de fosforconcentraties onder invloed van luchtmenging. Wat wel blijkt is dat de gehalten in ieder geval niet sterk stijgen. Verder weten we dat het omringende water vaak voedselrijker is dan de plas zelf. Hierdoor wordt verwacht dat afwenteling in de beschouwde gevallen geen probleem is. Er zijn ook geen aanwijzingen dat dit elders wel zal optreden.

NB! Wellicht is voorzichtigheid geboden in plassen met een organische (veen)bodem die onder invloed van luchtmenging sterker kan gaan mineraliseren.

Er zijn geen duidelijke, algemeen optredende, effecten op het totaal stikstofgehalte door beluchten. Wel is de samenstelling anders (meer NO_3 , minder NH_4). In die gevallen waar luchtmenging leidt tot een toename van het aandeel beschikbaar stikstof ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) kan mogelijk wel een effect optreden in het ontvangende water. Op dit moment is echter het beeld dat de totale hoeveelheid beschikbaar N grofweg gelijk blijft.

Gemengde diepe plas als paai-, opgroei- en leefgebied voor vis

Onder invloed van luchtmenging kan de aantrekkelijkheid van een diepe plas voor vis toenemen. De toename in helderheid en plantenrijkdom in het epilimnion maakt dit geschikt(er) als paaigebied voor veel soorten vissen en als leefgebied voor plantminnende vis. De zuurstofrijkere condities in het hypolimnion zijn juist weer gunstig voor benthivore vis als brasem, karpers en pos. Ook kan het hypolimnion, ondanks de toename van temperatuur onder invloed van luchtmenging, tijdens warme perioden mogelijk toch een tijdelijk refugium voor vis vormen. De opwarming van het diepe water zal minder snel gaan dan in ondieper water en zuurstof is door luchtmenging voldoende aanwezig.

Voor de visstand als geheel moet dit als positief worden gezien, op meerdere vlakken neemt de habitatgeschiktheid voor vis toe.

Wel kan het zijn dat bepaalde soorten, zoals brasem, daar onevenredig (meer) van profiteren. Of dit ook in aangrenzende wateren zichtbaar zal zijn is moeilijk algemeen te zeggen en hangt ook vooral af van de verhouding van de diepe plas en het omliggende water. Op voorhand wordt vooral verwacht dat het effect in de plas het grootst zal zijn en dat het effect in de omgeving niet snel merkbaar zal zijn. Vooral wanneer gekeken wordt in de zomerperiode wanneer de vis redelijk homogeen verspreid is over het leefgebied.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1. Conclusies

In plassen met een algen- of nutriëntenprobleem heeft het toepassen van een luchtmenginstallatie in het algemeen een positief effect op de waterkwaliteit en ecologie in de plas. Enkele belangrijke algemeen optredende positieve effecten lijken te zijn:

- afname algenbiomassa en chlorofyl-a concentraties;
- verschuiving algensamenstelling van blauwalgen naar diatomeeën;
- verdwijnen zuurstofloosheid hypolimnion (in laagbelaste plassen is het hypolimnion gedurende het gehele jaar zuurstofhoudend, in het buitenland komt dit vaak voor, in Nederland is dit uitzonderlijk);
- toename van het doorzicht;

De verwachte afname van fosfaatgehalten in de plassen kon niet eenduidig worden aangetoond, wel lijkt het P-gehalte in het hypolimnion af te nemen. Ook is geen eenduidig effect op stikstof gevonden. Wel lijkt er een verschuiving te zijn in de vorm waarin stikstof in de zomer overwegend aanwezig is, van ammonium naar nitraat. In het epilimnion blijft het nitraatgehalte het hele jaar door relatief hoog, waardoor de soms optredende N-limitatie in de zomer verdwijnt. Als biologische respons op de veranderingen wordt:

- een toename van het begroeibaar areaal voor waterplanten verwacht;
- dit heeft positieve effecten op macrofauna en (plantminnende) vis.

Mogelijk heeft de inzet van luchtmenging ook negatieve effecten op de ecologie van de plas:

- toename van visbiomassa, met name de toename van brasembiomassa;
- afname van het habitat voor (laag)zuurstoftoleranten zoals zeelt.

Voor de KRW wordt verwacht dat luchtmenging een overwegend positief effect zal hebben op de maatlatcores, mogelijke uitzondering is de vissenmaatlat (aandeel brasem en aandeel zuurstoftoleranten). Alles overziend is de balans echter positief.

5.2. Aanbevelingen

Op basis van de ervaringen in deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- *kritische beschouwing van het monitoringsprogramma.* Tijdens de analyse van de biologische data bleek dat er gedurende de meetperiode vaak op verschillende wijzen is bemonsterd of gedetermineerd. Dit is niet goed vastgelegd, waardoor de bruikbaarheid van de data voor analyses beperkt is. Er is winst te behalen door een optimalisatie van het monitoringsprogramma en het beheer van de data, vooral op gebied van biologie.
- *aanvullend meten van specifieke parameters, gerichte metingen voor specifieke vragen.* In vervolg op het voorgaande verdient het aanbeveling om de monitoring af te stemmen op gerichte vragen, zoals bijvoorbeeld naar het optreden van een temperatuurschok, of gericht op specifieke soortgroepen, zoals macrofauna. Wellicht is het dan beter om op minder plekken maar diepgaander te meten;
- *onderzoeken van de rol van de hydrologie op de effectiviteit van luchtmenging.* Uit de fysisch-chemische data van de Vlietlanden blijkt dat het (stratificatie)gedrag in deze plas afwijkt van de andere plassen, vaak treedt er geen volledige stratificatie op. Naar verwachting speelt de hydrologie (open verbinding met de boezem) hierin een rol. Mogelijk dat dit één van de oorzaken is voor het niet optimaal functioneren van de luchtmenging in deze plas. Het verdient aanbeveling om de rol van de hydrologie op de effectiviteit van een luchtmenginstallatie verder te onderzoeken. Met deze kennis kan de inzet van luchtmenging, en het bepalen van de benodigde capaciteit, naar verwachting worden geoptimaliseerd.

6. LITERATUUR

1. Bürgi, H., Stadelmann, P. (2002) Change of phytoplankton composition and biodiversity in Lake Sempach before and during restoration. *Hydrobiologia*, 469, pp. 33-48.
2. Chorus, I. and Bartram, J. (1999) *Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management*. Für WHO durch E & FN Spon/Chapman & Hall, London, 416 pp.
3. Fast, A.W. (1971) The effects of artificial aeration on lake ecology. Environmental Protection Agency, Water Pollution Research Service 16010 EXE 12/71.
4. Heo, W.-M., Kim, B. (2004) The effect of artificial destratification on phytoplankton in a reservoir. *Hydrobiologia*, 524 (1), pp. 229-239.
5. Michielsen, B. (2002) *De Waterkwaliteit van Rijnlands Diepe Putten*. Hoogheemraadschap van Rijnland. 134pp.
6. Molen, D.T. van der & R. Pot [red] (2007) Referenties en concept-maatlatten voor meren en rivieren voor de Kaderrichtlijn Water. Waterdienst en STOWA.
7. Müller, R., Stadelmann, P. (2004) Fish habitat requirements as the basis for rehabilitation of eutrophic lakes by oxygenation. *Fisheries Management and Ecology*, 11 (3-4), pp. 251-260.
8. Jaarsma, N., Klinge, M., Pot, R. [red] (2007) Achtergronddocument referenties en maatlatten vissen ten behoeve van de kaderrichtlijn water.
9. RPS/BCC (2008) *Diepe putten atlas*. Bijlage van Rapportage Implementatie Diepe putten-beleid. Hoogheemraadschap van Rijnland. 24pp.
10. Scheffer, M. (1998) *Ecology of shallow lakes*. In *Population and Community Biology Series 22*. Chapman & Hall, London: 357 pp.
11. Osté, L., Jaarsma, N., van Oosterhout, F. (2010) Een heldere kijk op diepe plassen. Kennisdocument diepe meren en plassen: ecologische systeemanalyse, diagnose en maatregelen. STOWA rapportnummer 38. Amersfoort.
12. Baggelaar, P.K., van der Meulen, E.C.J., Pot, R. (2011) *Trendanalyse meetnetten*. Hoogheemraadschap van Rijnland. 124 pp.

