



Zicht op doorzicht

Ivo Roessink, Sanne van den Berg, Julius Rasenberg, Marc Koppelaars, Maud Siebers,
Jeroen de Klein

rapport 390
september 2024



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Wetenschapswinkel

Zicht op doorzicht

Ivo Roessink, Sanne van den Berg, Julius Rasenberg, Marc Koppelaars,
Maud Siebers, Jeroen de Klein

rapport 390
september 2024

Colofon

Titel	Zicht op doorzicht
Trefwoorden	Bronsbergermeer, beheer duikplas Zutphen, helder water
Keywords	Bronsbergermeer, management diving location Zutphen, clear water
Opdrachtgever	Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken
Projectuitvoering	Ivo Roessink, Sanne van den Berg, Marie-Claire Boerwinkel, Jasper van Smeden, Dick Belgers, Maud Siebers, Marc Koppelaar, Julius Rasenberg, Wendy Beekman, Jeroen de Klein
Projectcoördinatie	Dr. ir. Ivo Roessink
Financiële ondersteuning	Wageningen Wetenschapswinkel
Begeleidingscommissie	Patrick van Gemert - Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken Kees van Toor - Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken Hella Helsdingen – Gemeente Zutphen Bastiaan van Zuidam – Waterschap Rijn en IJssel Gerard Straver – Wageningen Wetenschapswinkel

Fotoverantwoording	De foto's, kaartjes en figuren zijn vervaardigd door de auteurs of de meewerkende studenten, tenzij anders aangegeven
Vormgeving	Wageningen University & Research, Communication Services
Druk	RICOH, 's-Hertogenbosch
Bronvermelding	Verspreiding van het rapport en overname van gedeelten eruit worden aangemoedigd, mits voorzien van deugdelijke bronvermelding
DOI	10.18174/672041

Wageningen, Wetenschapswinkel rapport 390

Zicht op doorzicht

Rapportnummer 390

Ivo Roessink, Sanne van den Berg, Julius Rasenberg, Marc Koppelaars, Maud Siebers, Jeroen de Klein
Wageningen, september 2024

Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken

Het doel van de stichting is het behartigen van de belangen van de in Zutphen e.o. geregistreerde duikverenigingen en duikscholen/bedrijven, in algemene zin, waaronder begrepen het organiseren van de inrichting onder water van o.a. het Bronsbergenmeer te Zutphen en het verrichten van al hetgeen met het vorenstaande verband houdt of daartoe bevorderlijk kan zijn.

Environmental Sciences Group, Wageningen University & Research

Team Environmental Risk Assessment, Wageningen Environmental Research, onderzoekt de impact van verschillende stressfactoren op het milieu. Leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer, Wageningen Universiteit, heeft zich tot doel gesteld om nieuwe inzichten te genereren om marine en zoetwaterecosystemen te behouden en te herstellen.

Wetenschapswinkel Wageningen University & Research

Postbus 9101
6700 HB Wageningen
(0317) 48 39 08
wetenschapswinkel@wur.nl

Maatschappelijke organisaties zoals verenigingen en belangengroepen, die niet over voldoende financiële middelen beschikken, kunnen met onderzoeksvragen terecht bij de Wageningen Wetenschapswinkel. Deze biedt ondersteuning bij de realisatie van onderzoeksprojecten. Aanvragen moeten aansluiten bij de werkgebieden van Wageningen University & Research: duurzame landbouw, voeding en gezondheid, een leefbare groene ruimte en maatschappelijke veranderingsprocessen.



Inhoud

Voorwoord	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Bronsbergenmeer	13
1.2 Onderwaterleven en abiotiek in diepe plassen	13
1.2.1 Stratificatie	14
1.2.2 Nutriënten	14
1.2.3 Resuspensie	15
1.3 Opzet onderzoek	15
1.3.1 Aanleiding en probleemstelling	15
1.3.2 Onderzoeksvragen	15
1.3.3 Betrokken partijen	15
1.3.4 Fasering project	16
2 Materialen en Methoden	17
2.1 Algemeen	17
2.2 Bemonstering	17
2.2.1 Fysische parameters	17
2.2.2 Troebelheid en doorzicht bepalende parameters	18
2.2.3 Sediment	19
2.2.4 Nutrienten	20
2.2.5 Biologische parameters	20
2.3 Waterschap data	21
2.4 PC – Lake meta model	21
2.4.1 Water balans	21
2.4.2 Nutrienten balans	22
2.4.3 Het PClake meta model	23
3 Resultaten	25
3.1 Algemeen	25

3.2	Fysische parameters	25
3.2.1	Diepte profiel	25
3.2.2	Temperatuur	26
3.2.3	Zuurstof	26
3.3	Troebelheid en doorzicht bepalende parameters	28
3.3.1	Extinctie	28
3.3.2	Secchi diepte	29
3.3.3	Chlorofyl-a	30
3.3.4	Zwevende stof	31
3.4	Sediment	32
3.4.1	Hydrocopter experiment	32
3.5	Nutriënten	33
3.5.1	Ammonium	33
3.5.2	Nitraat en nitriet	34
3.5.3	Totaal stikstof	35
3.5.4	Fosfaat	37
3.5.5	Totaal fosfor	37
3.6	Biologische parameters	39
3.6.1	Waterplanten	39
3.6.2	Snoek en algemeen visbestand	41
3.7	PC – Lake model	42
3.7.1	Water balans	42
3.7.2	Nutrienten balans	44
3.7.3	Het PC-lake meta model	44
4	Discussie	45
4.1	Algemeen	45
4.2	Toetsing aan normen en streefwaarden	45
4.3	Nutriënten	45
4.4	Bronsbergenmeer, het ecosysteem	46
5	Conclusies	49
	Referenties	51
	Bijlage 1	53

Voorwoord

De recreatieplas Bronsbergenmeer is in 1992 ontstaan uit een oude zandwinningsput gemaakt voor de aanleg van een nabijgelegen weg. Tegenwoordig beheert de stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken (OWWZ) de inrichting onderwater van de plas. De stichting OWWZ heeft tot doel de belangen van de in Zutphen en omstreken geregistreerde duikverenigingen en duikscholen/bedrijven te behartigen en ze pacht het Bronsbergenmeer van de gemeente Zutphen.

Duikers uit de regio en van ver daarbuiten komen graag naar Zutphen om te duiken in deze bijzondere plas. Als bestuursleden van OWWZ zijn wij hier ook regelmatig onder water te vinden. Het viel ons op dat het zicht in de plas steeds minder leek te worden en dat er minder waterplanten waren. Daarnaast hadden we ook het idee dat we minder vaak jonge snoek tegenkwamen. Van andere duikers die regelmatig een bezoek brachten aan het Bronsbergenmeer ontvingen we dezelfde signalen.

Voor ons was dit aanleiding om contact te zoeken met de Wetenschapswinkel van Wageningen UR en te vragen of er een mogelijkheid was om onderzoek te doen naar de toestand van het Bronsbergenmeer. Na een prettig verkennend gesprek kon er snel worden gestart met het onderzoek.

De onderzoeksvragen waren inmiddels duidelijk geformuleerd.

- Waardoor vermindert het doorzicht in de plas?
- Is het te achterhalen waarom de waterplantenvegetatie afneemt?
- Is de waargenomen achteruitgang, van met name de jonge snoek, te verklaren?

Ivo Roessink, Sanne van den Berg, Julius Rasenberg, Marc Koppelaars, Maud Siebers en Jeroen de Klein hebben we met een bootje op het meer watermonsters zien nemen, onder water aan het werk gezien en met de hulp van Zutphense duikers monsters van het sediment zien nemen. We zijn erg blij met hun inzet en met de begeleiding van de Wetenschapswinkel. In dit rapport krijgen we antwoord op onze vragen én worden mogelijke oplossingen aangeboden.

Kees van Toor en Patrick van Gemert

Samenvatting

Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken (OWWZ) heeft negatieve veranderingen in het onderwaterleven en de abiotiek van de plas Bronsbergermeer ervaren en heeft de Wetenschapswinkel van Wageningen UR gevraagd hier een onderzoek naar te doen. Dit onderzoek is uitgevoerd en verder toegespitst op: het onderwater doorzicht, het bestand van ondergedoken waterplanten en de hoeveelheid jonge snoek. Hiervoor zijn in 2019 en 2020 verschillende bemonsteringsrondes uitgevoerd waarbij op meerdere momenten doorzicht, waterkwaliteitsparameters en nutriëntengehaltes in de plas gemeten zijn en zijn er op enkele specifieke momenten tijdens duikexpedities waterplantinventarisaties uitgevoerd en sedimentmonsters genomen. Deze sedimentmonsters zijn in het laboratorium onderzocht op mogelijke nalevering van voedingsstoffen en dit alles is ondersteund door een computermodel excersitie met PC-lake.

Op basis van de gemeten nutriëntengehaltes en onderwatervegetatie is het Bronsbergermeer een water dat gekarakteriseerd wordt als een 'oligotroof (voedselarm) diep water', wat voor een visbestandstypering zou vallen onder het 'baars-blankvoorn' viswatertype. Dit is al een eerste indicatie dat snoek het niet gemakkelijk heeft in een dergelijke plas mede omdat de draagkracht van deze systemen laag is om dergelijke toppredatoren te onderhouden

Eventuele veranderingen in doorzicht konden niet worden geverifieerd in dit onderzoek, maar het is zeer goed mogelijk dat hier een link met de duikactiviteiten in plas bestaat. Meer onervaren duikers in het water, zou kunnen betekenen dat er meer opwoeling en daarmee mee troebelheid ontstaat. Echter zelfs bij gelijkblijvende duikdruk kan het zijn dat de andere oorzaken een verhoogde troebelheid in de hand werkt. De afgelopen jaren is de waterplantenvegetatie namelijk niet afgenomen, maar veranderd van waterpest (*Elodea nuttallii*) naar kranswier (*Chara* sp.). Omdat deze laatste plant veel lager blijft, kan dit visueel de indruk wekken dat er minder staan. Een kranswiervegetatie is eigenlijk de gewenste vegetatie voor een plas zoals het Bronsbergermeer en het is een zeer goed teken dat de plas zich verder naar zijn streefbeeld heeft ontwikkeld. Echter, omdat de kranswieren minder hoog de waterkolom in groeien, houden duikers die over de vegetatie zwemmen minder afstand tot het sediment. Daarmee wordt het veel makkelijker om onverhoopt het sediment te raken en op te wervelen dan wanneer er waterpest staat.

Tijdens de inventarisatie bleek dat Bronsbergen-Noord met 20 soorten waterplanten een zeer hoog aantal waterplanten herbergt. Dit maakt het Bronsbergenmeer een uitermate waardevolle lokatie en geeft aan dat de omstandigheden in de plas (waterkwaliteit en lichtregime) van zeer goede kwaliteit zijn om een dergelijke diversiteit te kunnen ondersteunen.

Hoewel het verkrijgen van een volledig beeld van de vispopulatie in het Bronsbergermeer niet binnen dit project paste, lijkt de visgemeenschap niet heel uitgebreid te zijn. Een vervolgactie om dit nader uit te zoeken is zeker zinvol. Helaas hoort de, door de duikers zo gewaardeerde snoek, niet thuis in dit watertype en is de toppredator hier eigenlijk de baars (*Perca fluviatilis*). Wat aangeeft dat de draagkracht van dit systeem onvoldoende is om een grote populatie snoeken te onderhouden. Nu de waterplantenvegetatie is verschoven naar de lagerblijvende kranswieren is er ook minder afpaai gelegenheid en dekking voor (jonge) snoek. Indien men toch enkele snoeken wil behouden voor de plas, zou men kunnen overwegen om enkele kunstmatige structuren ter beschutting op strategische plekken in de plas te plaatsen.

Het onderzoek heeft aangetoond dat het Bronsbergermeer een plas van hoge ecologische kwaliteit is met een uitzonderlijk rijke waterplantengemeenschap. Maar ook dat hier voorzichtig mee omgesprongen moet worden. Op dit moment gebruiken zwemmers en duikers de plas voor recreatieve doeleinden. Dit zijn activiteiten die goed bij de toestand van de plas passen omdat hiermee weinig overbelasting optreedt. Zwemmers zorgen überhaupt voor weinig belasting van het water en het aanwezig zijn van een duikplatform zorgt ervoor dat beginnende duikers kunnen oefenen zonder dat ze in hun onervarenheid op diepere delen van de plas het fijne sediment opwervelen. Het blijft voor de duikers wel een punt van aandacht dat alle onderwatervegetaties en het fijne sediment op grotere diepte zo min mogelijk verstoord worden. Dit zorgt ervoor dat het doorzicht in de plas zo helder en goed mogelijk blijft.

Andere recreatie-activiteiten passen niet goed bij het type water van het Bronsbergermeer en het bestaande gebruik ervan. Zo is er door de geringe draagkracht van het systeem weinig vis aanwezig welke interessant is voor sportvisserij. Om de hoge kwaliteit van het Bronsbergermeer te behouden, is het zeker zaak de visgemeenschap niet aan te passen. Dit omdat de voor de meeste vissers aantrekkelijke vissen karperachtigen zijn. Karperachtigen woelen de bodem om bij het voedselzoeken waardoor het water troebel wordt van het zwevend stof en er meer voedingsstoffen vrijkomen in het water. Ook worden deze vissen doorgaans naar vaste stekken gelokt door middel van het gebruik van zogenaamde 'boilies', lokvoer wat een enorme hoeveelheid voedingsstoffen in het water brengt waardoor er (blauw)algenbloei in de hand gewerkt wordt. Om over het fysiek 'aan de haak slaan' van een duiker nog maar niet te spreken.

Verder is gemotoriseerde waterrecreatie zoals het gebruik van boten uitgerust met buitenboordmotoren, jetski's, waterscooters en waterskiën levensgevaarlijk indien er duikers en zwemmers actief zijn op het water.

Hoewel het een natuurlijke ontwikkeling is van een diepe plas om over de loop der jaren steeds meer organisch materiaal in te vangen en daarmee op den duur ondieper en voedselrijker te worden, is het zaak om de potentiële instroom van organisch materiaal en nutriënten waar mogelijk te beperken. Zo kan het inlaten van 'vreemd' water negatief uitwerken omdat dit extra voedingsstoffen met zich meebrengt wat weer tot extra algenbloei en neerdalend organisch materiaal (zwevende stof) kan leiden. Er mag ook zeker geen vreemd materiaal in de plas ingebracht (gedumpt) worden zoals door Rijkswaterstaat in het kader van 'verondiepen' in andere wateren gedaan is. De stoffen die uit, dit doorgaans slecht onderzocht materiaal, weglekken zijn in veel gevallen uitermate ongunstig voor het leven in en het algemeen functioneren van de ontvangende plas.

Een goede indicatie van de ecologische toestand van het Bronsbergermeer zijn de nutriëntengehaltes, de waterplantenvegetaties en de zuurstofgehalten in de onderste waterlaag gedurende de stratificatie in de zomer. Zolang de nutriëntengehaltes onder de gestelde drempelwaarden blijven is het meer nog in de gewenste voedselarme situatie. Indien de waterplantvegetaties veranderen is dit een duidelijk signaal van een ecologische omslag. Subtieler is een mogelijke verandering van het zuurstofgehalte in het hypolimnion gedurende de zomer. Indien er meer organisch op de bodem terecht komt, zal de afbraak hiervan meer zuurstof vergen en zal de anoxische zone groter worden (dichter naar de spronglaag kruipen). Dit kan zeer negatief zijn voor waterdieren die af en toe ook in de diepere delen van het meer moeten en/of willen komen. Indien een dergelijke ontwikkeling uit monitoring van het zuurstofgehalte naar voren komt, is het raadzaam om na te gaan of er sediment uit de diepste delen van het meer (waar het fijne organische materiaal zich ophoopt) verwijderd kan worden zodat dit proces gestopt wordt. Het over de jaren laten afglijden van het meer naar een voedselrijke, gedeeltelijk zuurstofloze situatie kan uiteindelijk leiden tot een situatie van zeer lage ecologische kwaliteit waar toxische blauwalgenbloei (als gevolg van het voedselrijker worden) en een toenemende kans op botulisme (als gevolg van het ondieper en zuurstofloos worden) kunnen optreden. Hoewel het verwijderen van sediment een interessant kostenplaatje kan opleveren, is het niet ingrijpen zeker ook niet zonder kosten. Om hierin goed onderbouwde keuzes te kunnen maken, kan een eerste stap zijn om een meer uitgebreide monitoring van het opgeloste zuurstofprofiel in het Bronsbergermeer op te starten.

Summary

The foundation 'Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken (OWWZ)' experienced negative changes in the underwater life and abiotics of Lake Bronsbergen and contacted Wageningen UR's Science Shop (Wetenschapswinkel) for help in this matter. As a result, the research described in this report was conducted which focused on: water quality, underwater transparency, the presence of submerged aquatic plants and the amount of juvenile pike. To this end, several sampling rounds were carried out in 2019 and 2020, measuring transparency, water quality parameters (dissolved oxygen, pH, temperature et cetera) and nutrient levels in the lake at several times, while aquatic plant inventories and sediment samples were taken once during dedicated diving expeditions. The sediment samples were further examined in the laboratory for potential nutrient release to the water layer and all this was supported by a computer model excersision with PC-lake.

Based on the measured nutrient levels and underwater vegetation, Lake Bronsbergen characterised as an 'oligotrophic (nutrient-poor) deep water', which for a fish stock typology would fall under the 'perch-blank chub' fish water type. This is already a first indication that pike do not have it easy in such a lake as the carrying capacity of these systems is rather low to sustain such top predators.

Any changes in water transparency could not be verified in this study, but it is very possible that there is a link to diving activities in the lake. More unexperienced divers in the water, could mean more upwelling and therefore along with turbidity. However, even with a constant diving intensity, it is possible that the other causes are contributing to increased turbidity. By analysing underwater photographs taken over recent years, it became apparent that the aquatic plant vegetation has not decreased, but changed from waterweed (*Elodea nuttallii*) to plantlike Charophyte green algae (*Chara* sp.). Since the latter vegetation remains much lower, this results in a visual impression of fewer plants. However, this Charophyte vegetation is actually the desired vegetation for a waterbody like Lake Bronsbergen and it is actually a very good sign that the lake has developed further towards its target image. As a result of the Charophytes growing less high into the water column, divers swimming over the vegetation keep less distance from the sediment. This phenomenon makes it especially for inexperienced divers much easier to unexpectedly hit and swirl up the sediment than when there is a higher vegetation of waterweed (*Elodea nuttalli*) present.

During the dedicated aquatic macrophyte survey, Lake Bronsbergen-North was found to host a very high number of aquatic plants with 20 species. This makes Lake Bronsbergen an ecologically extremely valuable location and indicates that the lake conditions (water quality and light regime) are of very good quality to support such diversity.

Although obtaining a full picture of the fish population in Lake Bronsbergen did not fit within the duration and scope of this project, the fish community does not appear to be very extensive. A follow-up action regarding a fish monitoring certainly makes sense. Unfortunately, the pike (*Esox lucius*), so appreciated by divers, does not really belong in this water type and in this water the top predator actually is the perch (*Perca fluviatilis*). Which indicates that the carrying capacity of this system is insufficient to sustain a large population of pike. Now that the aquatic vegetation has shifted to lower-growing *Chara*-plants, there is also less spawning opportunity and cover for (young) pike. In order to facilitate a small pike population in the lake, one could consider installing some artificial structures for shelter and spawning at strategic positions in the lake.

This study indicated that Lake Bronsbergen is a lake of high ecological quality with an exceptionally rich aquatic plant community. In addition, the study showed also that the lake should be treated with care. Currently, swimmers and divers use the lake for recreational purposes. These activities match well with the state of the lake because they cause little pressure on the ecological status. Swimmers cause little pressure and the presence of a diving platform ensures that novice divers can practise without stirring up fine sediment in deeper parts of the lake. It does remain a point of attention for divers to minimise any disturbance of the underwater vegetation and fine sediment at deeper depths. This ensures that visibility in the lake remains as transparent and good as possible.

Other recreational activities such as sports fishing do not fit well within Lake Bronsbergen. For instance, due to the low carrying capacity of the system, there are few fish which are interesting for sport fishing. In order to maintain the high ecological quality of Lake Bronsbergen, the fish community should definitely not be modified by adding for instance carp-like fish (usually attractive to most anglers). Carp-like fish churn the bottom when foraging, making the water turbid and by doing so release more nutrients into the water. Also, these fish are usually lured to fixed locations through the use of so-called 'boilies', lures that introduce a huge amount of nutrients into the water, encouraging (blue) algal blooms. Not to mention that introducing sports fishing might actually result in physically 'hooking' a diver. Furthermore, other activities such as motorised water recreation including the use of boats equipped with outboard motors, jet skis, water scooters and water skiing is extremely dangerous when divers and swimmers are active on the water and cause too much disturbance of existing underwater vegetation.

Although it is a natural development of a deep lake to capture more and more organic material over the years and thus eventually become shallower and more nutrient-rich, it is important to limit the potential inflow of organic material and nutrients where possible. For instance, the inflow of 'foreign' water can have a negative effect because it brings in additional nutrients which in turn can lead to additional algal blooms and settling organic matter (suspended matter). Also, foreign material should definitely not be introduced (dumped) into the lake as has been done previously by government organisations in the context of 'un-deepening' other waters. This because substances leaking from, this usually poorly investigated materials, are in many cases extremely undesirable for all life in and general functioning of the receiving lake.

A good indication of the high ecological status of Lake Bronsbergen are the nutrient levels, aquatic plant vegetations and oxygen levels in the lower water layer during summer stratification. As long as the nutrient levels remain below the set threshold values, the lake is still in the desired nutrient-poor situation. If the aquatic plant vegetations change, this is a clear signal of an ecological change. More subtle is a possible change in oxygen content in the hypolimnion during the summer. If more organic matter reaches the bottom, its decomposition will require more oxygen and the anoxic zone will become larger (advancing closer to the jump layer). This could be very negative for aquatic animals that occasionally need and/or want to enter the deeper parts of the lake as well. If such a development emerges from oxygen content monitoring, it is advisable to consider whether sediment can be removed from the deepest parts of the lake (where the fine organic material accumulates) so that this process is stopped. Allowing the lake to drift into a nutrient-rich, partially oxygen-free situation over the years may eventually lead to a situation of very low ecological quality where toxic blue-green algal blooms (as a result of becoming more nutrient-rich) and an increasing risk of botulism (due to becoming shallower and deoxygenated) may occur. While sediment removal may result in substantial costs, non-intervention is certainly not without cost either. To make informed choices in this regard, a first step could be to initiate more comprehensive monitoring of the dissolved oxygen profile in Lake Bronsbergen to monitor the development of the lake in more detail.

1 Inleiding

1.1 Bronsbergenmeer

De duikplas Bronsbergenmeer Noord is in 1992 ontstaan uit een oude zandwinningsput gemaakt voor de aanleg van een nabij gelegen snelweg en wordt beheerd door de stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken (OWWZ). De stichting heeft tot doel om de belangen van de in Zutphen e.o. geregistreerde duikverenigingen en duikscholen/bedrijven te behartigen. Hieronder is o.a. begrepen het organiseren van de inrichting onder water van het Bronsbergenmeer te Zutphen en het verrichten van al hetgeen met het vorenstaande verband houdt of daartoe bevorderlijk kan zijn.

Het Bronsbergenmeer is een klein en diep meer vlakbij de stad Zutphen in de provincie Gelderland. Het totale oppervlakte van het meer ligt rond de 95.000 m² en de maximale diepte is zo'n 24 meter. Sinds 2003 opengesteld voor recreatie. Zwemmers en zonaanbidders zijn belangrijke gebruikers van het meer. Daarnaast is het meer populair onder duikers, voornamelijk wegens de uitzonderlijke helderheid van het meer in vergelijking met andere meren in Nederland.

Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken (OWWZ) beheert de plas en geeft aan dat ze de laatste jaren negatieve veranderingen in het onderwaterleven en de abiotiek van de plas waarneemt. Zo is er een afname waargenomen in i) het onderwater doorzicht, ii) het bestand van ondergedoken waterplanten, en iii) de hoeveelheid jonge snoek. Om deze redenen heeft OWWZ contact opgenomen met Wageningen Wetenschapswinkel, en is er een samenwerking tot stand gekomen tussen de leerstoelgroep Aquatische Ecologie & Waterkwaliteitsbeheer (AEW) van Wageningen Universiteit, en de onderzoeksgroep Environmental Risk Assessment (ERA) van Wageningen Environmental Research.

1.2 Onderwaterleven en abiotiek in diepe plassen

Doorzicht onderwater wordt doorgaans door twee factoren bepaald, namelijk de mate van lichtinstraling en de aanwezige hoeveelheid licht-absorberende deeltjes. Licht zorgt simpelweg voor een beter zicht, zowel boven als onder water. Zonlicht kan water echter niet ongehinderd binnendringen, doordat er deeltjes aanwezig zijn die licht absorberen en/of verstrooien in een andere richting. Deze deeltjes hebben daarmee een directe invloed op het doorzicht onderwater. Hoe diep licht in water kan doordringen is afhankelijk van de hoeveelheid (de concentratie) absorberende deeltjes. Invallend licht zal de bodem van een diep meer alleen bereiken als het water extreem helder is. Wanneer bijvoorbeeld de bovenste waterlaag erg troebel is, zal weinig licht door kunnen dringen naar de onderste waterlaag. Het lichtklimaat in de onderste waterlaag bepaalt in grote mate welke soorten organismen daar kunnen leven. De bepalende lichtabsorberende en verstrooiende componenten in water zijn:

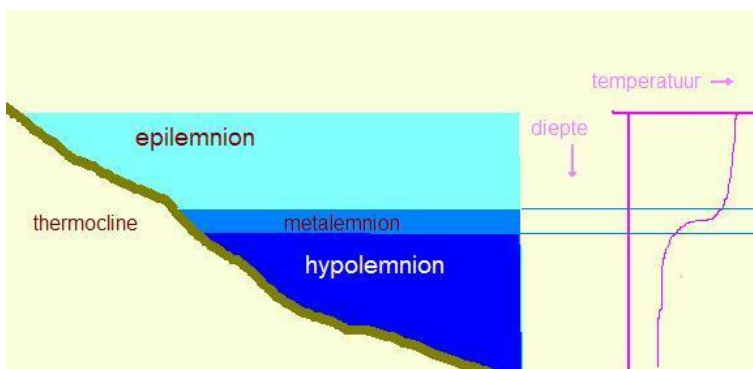
- water
- fytoplankton (algen)
- detritus (dood organisch materiaal)
- anorganisch materiaal

De concentratie en verdeling van bovengenoemde componenten is onder andere afhankelijk van de mate van bezinking (sedimentatie) en opwerveling (resuspensie), nutriëntconcentraties en de aan- of afwezigheid van stratificatie. Stratificatie is een situatie kenmerkend voor diepe plassen waarbij waterlagen van verschillende temperaturen ontstaan die niet mengen. In het algemeen geldt dat meren dieper dan 6 meter als een diepe plas gekarakteriseerd worden (Wetzel, 2001). Door de vorming van waterlagen is de verdeling van deeltjes anders dan wanneer een waterkolom volledig gemengd zou zijn. Paragraaf 1.2.1 zal dieper ingaan op stratificatie. De invloed van nutriëntenconcentraties op algengroei wordt verder toegelicht in paragraaf 1.2.2. Ten slotte komt de invloed van sedimentatie- en resuspensieprocessen aan bod in paragraaf 1.2.3.

1.2.1 Stratificatie

In diepe meren vind er iedere zomer stratificatie plaats (Figuur 1). Wanneer een meer gestratificeerd is, is er een verminderde uitwisseling van deeltjes tussen de verschillende lagen. Dit kan er voor zorgen dat bepaalde zwevende deeltjes alleen in specifieke lagen van het meer kunnen voorkomen. In gestratificeerde meren is de bovenste laag altijd het warmst. Aangezien warmer water een lagere dichtheid heeft dan kouder water, is deze stratificatie stabiel, en mengen de verschillende lagen zich dus niet (Boehrer en Schultze, 2008).

Over het algemeen worden er in een diep meer drie lagen onderscheiden: Het epilimnion, het metalimnion en het hypolimnion. Het epilimnion is de bovenste waterlaag, en staat in direct contact met de atmosfeer. Deze laag heeft de hoogste temperatuur. Het metalimnion is de middelste laag, en wordt ook wel de thermocline genoemd op het moment dat de temperatuur met meer dan 1°C per meter daalt (Jaarsma en Verdonschot, 2000). Het hypolimnion is de onderste laag, en is de waterlaag met de laagste temperatuur. In Nederland duurt stratificatie meestal tot het einde van de herfst, totdat de bovenste laag zodanig is afgekoeld dat mengen weer mogelijk is. Sterke windkracht en grote regenbuien kunnen ervoor zorgen dat stratificatie eerder verdwijnt, of tijdelijk afwezig of verminderd is.



Figuur 1 Een gestratificeerd meer met een hypothetisch temperatuur profiel gedurende een zomer. Afkomstig van www.waterwereld.nu.

1.2.2 Nutriënten

Een overschot aan nutriënten (voedingsstoffen) in meren kan leiden tot een verminderde biodiversiteit en een verhoogde productie, voornamelijk van algen. Dergelijke algenbloei in de lente en zomer kan ervoor zorgen dat het water groen en troebel wordt. De nutriënten stikstof en fosfaat zijn de belangrijkste nutrienten in het water. Deze nutrienten worden beiden toegepast als meststof in de landbouw, en kunnen het oppervlaktewater bereiken door grondwaterstroming of afspoeling. Stikstof kan ook via atmosferische depositie een plas binnenkomen. Ze kunnen daarnaast beiden vrijkomen bij de afbraak van organisch materiaal.

Algenbloei kan ervoor zorgen dat het zonlicht de bodem van het meer niet meer kan bereiken, waardoor de daar groeiende planten afsterven. De diepere lagen van een meer kunnen daardoor volledig anaeroob worden, wat op zijn beurt weer van invloed is op snelheid en manier waarop organisch materiaal wordt afgebroken en nutriënten vrijkomen. Zo komt er meer fosfaat vrij onder anaerobe omstandigheden, welke direct beschikbaar is voor primaire productie). Hierdoor kan de groei van algen weer verder toenemen. Voor stikstof kan anaeroob water daarentegen juist een afname veroorzaken. Doorgaans is een groot deel van het stikstof aanwezig in de vorm van nitraat en dit wordt onder anaerobe omstandigheden juist omgezet in anorganische stikstof, welke direct uitwisselbaar is met de atmosfeer.

Het afsterven van planten op de bodem kan nog meer negatieve effecten als gevolg hebben. Zo vervullen planten ook een belangrijke rol als veilig toevluchtsoord voor jonge vissen en ongewervelde dieren. Zonder vegetatie worden deze ongewervelde dieren gemakkelijk opgegeten door vissen, waardoor het voedselweb kan instorten. Soorten zoals watervlooien (*Daphnia* spp.) voeden zich met algen en helpen het water helder te houden (Scheffer, 1997). Als een meer of plas eenmaal belast is met teveel nutriënten is het lastig om de waterkwaliteit weer te verbeteren. De hoeveelheden nutriënten moeten substantieel afnemen om het systeem weer terug te brengen naar zijn oorspronkelijke heldere staat (Janse et al., 2008).

1.2.3 Resuspensie

Resuspensie vindt plaats wanneer het sediment opgewerveld wordt van de bodem van een waterlichaam. De eigenschappen van het sediment bepalen hoe gemakkelijk het sediment wordt opgewerveld (bij welke watersnelheid) en hoe lang het sediment in suspensie blijft. Zo werfelt klei bijvoorbeeld pas op bij een hogere watersnelheid, terwijl het tegelijkertijd vanwege de kleine deeltjesgrootte een lagere zinksnelheid heeft en dus langer in het water blijft wanneer het eenmaal in suspensie is.

Resuspensie wordt in het Bronsbergenmeer voornamelijk veroorzaakt door wind of stroming, activiteit van vissen, of activiteit van mensen. Golven gecreëerd door wind of stroming kunnen zoveel energie bevatten dat de golven het sediment bereiken (Weyhenmeyer, 1998). Benthivore vissen, vissen die hun voedsel in de waterbodem zoeken zoals brasem- en karpersoorten, staan erom bekend dat ze in het sediment roeren tijdens het eten (Breukelaar et al., 1994). Menselijke activiteiten, zoals zwemmen en duiken, kunnen daarnaast voor directe opwerveling van het sediment leiden.

De aanwezigheid van onderwatervegetatie voorkomt dat sedimenten opnieuw suspenderen. Wanneer deze vegetatie verdwijnt kunnen vissen en wind de sedimenten dus gemakkelijk resuspenderen, waardoor het water troebel kan worden. Daarnaast maakt een toename van benthivore vissen het voor waterplanten moeilijk om terug te keren (Scheffer, 1997). Omdat er op grotere diepte geen waterplanten zijn, wordt het sediment hier relatief gemakkelijk opgeschud.

1.3 Opzet onderzoek

1.3.1 Aanleiding en probleemstelling

De laatste jaren worden er negatieve veranderingen in het onderwaterleven en de abiotiek van de plas waargenomen. In een gesprek met voorzitter Kees van Toor en secretaris Patrick van Gemert wordt aangegeven dat het doorzicht slechter wordt, dat het bestand aan ondergedoken waterplanten aan het teruglopen is en dat het visbestand aan het veranderen is, waarbij duidelijk opvalt dat er al enige tijd geen kleine snoek meer wordt waargenomen. Omdat het de stichting niet duidelijk is waar deze veranderingen door veroorzaakt worden en of ze hier iets aan kan bijsturen, heeft ze Wageningen Wetenschapswinkel benaderd.

De duikers van de OWWZ hebben al enkele maatregelen in eigen beheer proberen te nemen (inzetten zebramosselen, aanbrengen extra substraat voor ei-afzet snoek) en geven in het kennismakingsgesprek aan naarstig op zoek te zijn naar antwoorden op hun vragen. Hieruit blijkt een groot draagvlak voor de inbreng van de Wetenschapswinkel binnen de eigen organisatie. Omdat het Bronsbergermeer een zeer populaire duiklocatie is, die mensen uit het hele land aantrekt, geeft dit aan dat ook buiten de OWWZ belang gehecht wordt aan een goede toestand van het meer.

1.3.2 Onderzoeksvragen

De stichting OWWZ wil graag weten waardoor de toestand van de duikplas nu precies verandert en wat mogelijke handelingsperspectieven zijn. Deze vraag is daarom onderverdeeld in drie deelvragen:

- Waardoor vermindert het doorzicht in de plas?
- Is het te achterhalen waarom de waterplantenvegetatie afneemt?
- Is de waargenomen achteruitgang, van met name de jonge snoek, te verklaren?

1.3.3 Betrokken partijen

Om de kwaliteit en de maatschappelijke relevantie van het onderzoek te waarborgen, is er een begeleidingscommissie opgezet. De begeleidingscommissie bestaat uit Patrick van Gemert en Kees van Toor (Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken), Hella Helsdingen (Gemeente Zutphen), Bastiaan van Zuidam (Waterschap Rijn en IJssel) en Gerard Straver (Wageningen Wetenschapswinkel).

1.3.4 Fasering project

Dit onderzoek zal uitsluitend geven over: 1) of de door de duikers ervaren vermindering van het zicht veroorzaakt wordt door een algenbloei of dat deze veroorzaakt wordt door opwervend sediment of andere zwevende stof, 2) of de waterplanten populatie in het Bronsbergermeer nog vitaal is en de door de duikers geobserveerde teruggang is te stoppen of zelfs omgekeerd kan worden en 3) of er mogelijkheden zijn om weer jonge snoek in het meer te krijgen.

Tijdens het project zijn meerdere bijeenkomsten met de begeleidingscommissie gehouden waarin voorlopige resultaten getoond en besproken zijn. Dit gaf een eerste gelegenheid tot een discussie over een mogelijke implementatie van maatregelen met de betrokken actoren. De definitieve aanbeveling zijn vastgelegd in deze afsluitende rapportage en worden besproken in een afsluitende bijeenkomst met de begeleidingscommissie zodat alle actoren er van op de hoogte zijn. Verdere implementatie van verschillende maatregelen/oplossingen zal dan door de Stichting OWWZ met de desbetreffende betrokken partijen opgepakt moeten worden.



Figuur 2 Duiker bij een van de afgezonken objecten in het Bronsbergermeer. Foto: Patrick van Gemert (Zutphens Perbureau)®.

2 Materialen en Methoden

2.1 Algemeen

Voor een periode van bijna een jaar (april – november 2019) is het Bronsbergenmeer iedere maand bemonsterd (met uitzondering van mei en juni). Per bemonstering zijn er monsters genomen op de twee diepste locaties in het meer. Deze locaties dienden dus als replicas. De monsters zijn van verschillende diepten genomen om het verticale profiel te bepalen, en vond plaats vanaf een kleine boot. De volgende parameters zijn direct in het veld gemeten:

- Doorzicht (secchi)
- Zuurstof
- Temperatuur
- Extinctie (uitdoving van licht)

De volgende parameters zijn in het lab geanalyseerd:

- Chlorofyl-a
- Zwevend stof
- Nutriënten

Naast de watermonsters zijn een aantal sedimentmonsters gestoken op verschillende locaties (8, 15, en 22 meter). Met deze steekbuizen zijn 'sediment release' en resuspensie experimenten uitgevoerd, om zowel de nutriëntenafgifte- als de resuspensie-capaciteit van het sediment te bepalen. Deze experimenten wordt nader beschreven in paragraaf 2.2.3.

2.2 Bemonstering

Met een waterhapper van 1 liter (Rüttner fles) zijn watermonsters genomen op 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 en 21 meter diepte. Voor de te verrichten metingen is per diepte 2 liter water nodig. Ter plekke wordt per monster de zuurstofconcentratie, temperatuur en extinctiecoëfficiënt bepaald. In het laboratorium worden per diepte de chlorofyl-a concentraties, zwevend stof concentraties en nutriëntconcentraties gemeten. Bij terugkomst in het laboratorium zijn de genomen monsters meteen in de koelkast gezet.

2.2.1 Fysische parameters

Diepte profiel

Allereerst hebben we een nieuwe en nauwkeurige kaart van het meer gemaakt. Dit hebben we gedaan met behulp van een vissonar van het merk Lowrance (type HDS 7). Een dergelijke sonar maakt met behulp van geluidsgolven een gedetailleerde dieptekaart van het meer. We hebben deze sonar aan een kleine boot vastgemaakt, en middels een vast patroon over het meer gevaren. Tussen elk pad is geprobeerd een afstand van maximaal 25 meter te hebben om de nauwkeurigheid van de uiteindelijke kaart te verbeteren en ervoor te zorgen dat er geen grote hiaten in de dataset zijn.

Temperatuur en zuurstof

Temperatuur en zuurstof zijn gelijktijdig bepaald met behulp van een WTW Oxi 320 meter. Voor zuurstof is zowel de concentratie (mg / l) als de verzadiging (%) gemeten. De kabel van de sensor had een lengte van 10 meter. Tot de 10 meter zijn de temperatuur en zuurstof dus direct in het water gemeten. Voor de diepere locaties is de temperatuur en zuurstof gemeten in de Rutner-sampler, vlak voor het legen. Hiermee wordt voorkomen dat zuurstof het ongestoorde water in de monsternemer binnendringt.

2.2.2 Troebelheid en doorzicht bepalende parameters

Extinctie en doorzicht

De extinctiecoëfficiënt is bepaald met behulp van twee lichtmeters: een Li-Cor LI-250A lichtmeter en een UWQ onderwater kwantumsensor. De eerste is dicht bij het wateroppervlak op zijn plaats gehouden en diende voor referentiemetingen (als correctie voor eventuele fluctuaties in lichtintensiteit, bijvoorbeeld door bewolking). De tweede lichtmeter is gebruikt om onder water te meten, en werd meter voor meter verlaagd. Voor elke meter zijn de waarden van beide sensoren genoteerd. Beide lichtmeters hadden een maximale kabellengte van 9 meter, waardoor diepere lichtmetingen niet mogelijk waren. Beide sensoren meten licht tussen de 400 en 700 nanometer. Vervolgens is de extinctiecoëfficiënt bepaald met behulp van de extinctiewet van Lambert-Beer:

$$I(z) = I_0 e^{-Ez}$$

Daarin is E de extinctiecoëfficiënt, I_0 de lichtintensiteit aan de oppervlakte (lichtmeter 1), I_z de lichtintensiteit onder water (lichtmeter 2), en Z de diepte van lichtmeter 2. De extinctiecoëfficiënt kan berekend worden op iedere diepte, waardoor het mogelijk wordt om vast te stellen welke lagen meer troebel zijn. Voor plotdoeleinden gebruiken we ook de Lambert-Beer-vergelijking in de volgende formulering:

$$\frac{I(z)}{I_0} = e^{-Ez}$$

Het doorzicht in het meer wordt middels een zogenaamde Secchi-schijf vastgesteld. Dit is een schijf welke in zwarte en witte kwadranten is verdeeld en de diepte waarop de kwadranten niet meer te onderscheiden zijn, is de zgn. Secchi-diepte.

Chlorofyl-a

De fytoplanktonanalysator Phyto-PAM is gebruikt om de hoeveelheid cyanobacteriën, groene algen en diatomeeën in de watermonsters te meten. De monsters zijn op de dag dat ze zijn genomen in een koelkast gezet en de volgende ochtend geanalyseerd. Dit om te voorkomen dat algen afsterven of worden opgegeten door ongewervelde dieren die ook in het monster aanwezig kunnen zijn. De Phyto-PAM geeft voor elke meting drie waarden (blauw, groen en bruin), die respectievelijk staan voor cyanobacteriën, groene algen en diatomeeën.

Zwevende stof

Van ieder monster is 750 milliliter (V_s) gefilterd met behulp van glasvezelfilters (45 μm poriengrootte) en een vacuümpomp (om het filterproces te versnellen). Het watermonster wat overblijft na filtratie is in een aparte container bewaard en ingevroren voor latere nutriëntenanalyse. De gebruikte filters zijn voor gebruik afgespoeld, gedroogd bij 55 graden Celsius, en gewogen (m_o). Nadat de monsters over de filters zijn gegaan, zijn de filters nogmaals 24 uur gedroogd bij 55 graden, en gewogen (m_d). Dit geeft het gewicht van de totale hoeveelheid zwevend materiaal (ZS):

$$ZS = \frac{m_d - m_o}{V_s}$$

Om het gewicht van de organische en minerale verbindingen te bepalen, zijn de filters vervolgens verwarmd tot 550 graden Celsius. Tijdens dit proces verbrandt al het organische materiaal en blijven alleen de minerale delen achter. Door de filters opnieuw te wegen, krijgen we het gewicht van de minerale fractie (m_v). Het is nu mogelijk om het gewicht van het verbrande organische materiaal (OM) te berekenen met de volgende formule:

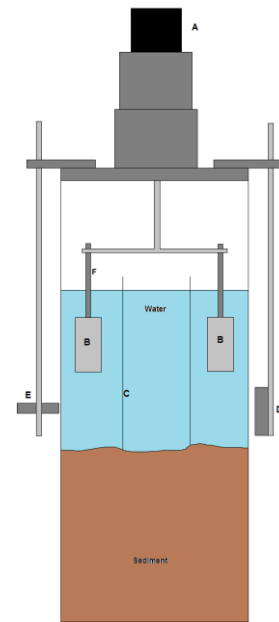
$$OM = \frac{m_d - m_v}{V_s}$$

2.2.3 Sediment

2.2.3.1 Hydrocopter experiment

Om de kritische stroomsnelheid voor resuspensie te vinden hebben we een experiment uitgevoerd met de zogenaamde mini-hydrocopter. Dit is een kleinere versie van de Hydrocopter Zambrano et al., 2005. De mini-Hydrocopter was zo ontworpen dat hij bovenop de cilinders (Perspex buizen, 14 cm diameter) geplaatst kon worden waarin de sedimentkernen waren gestoken (Figuur 3). De mini-hydrocopter bestaat uit een kleine motor (A) die twee bladen (B) laat draaien. Daarnaast hebben we een extra cilinder (5.9 cm diameter) bovenop het sediment geplaatst, waardoor er een laag water werd gecreëerd tussen de binnenste- en buitenste-cilinder (C in Figuur 3). De bladen werden 1 cm boven het sediment geplaatst, waardoor er naar alle waarschijnlijkheid een laminaire waterstroming werd veroorzaakt (parallel aan het sediment, met weinig tot geen turbulentie).

Een HQ Power, PS12015 1.5A DC gereguleerde voeding was aangesloten om de stroomsnelheid te reguleren. Deze voeding kan een spanning leveren van 1,3 tot 12,6 Volt, waardoor het mogelijk was om de rotatiesnelheid stap voor stap te verhogen. Voor dit experiment werd het vermogen elke stap met 0,5 volt verhoogd. Daarnaast werd een lichtsensor (Bottemanne, $200\mu\text{E} = 44\text{mV}$) toegevoegd (D) en werd aan de andere kant van de kolom een lichtbron (OLIGHT, i2 EOS) gemonteerd (E). De lichtbron heeft drie verschillende intensiteiten. Voor dit experiment werd de hoogste intensiteit gebruikt. Tussen de sensor en de lichtbron ging een lichtstraal door de waterkolom. Wanneer resuspensie optreedt doordat de stroomsnelheid de kritische stroomsnelheid overschrijdt, verzwakken deeltjes een deel van het licht en neemt de hoeveelheid licht die de sensor meet af. Uit de relatie tussen stroomsnelheid en de gemeten hoeveelheid licht, kon de kritische stroomsnelheid worden afgeleid.

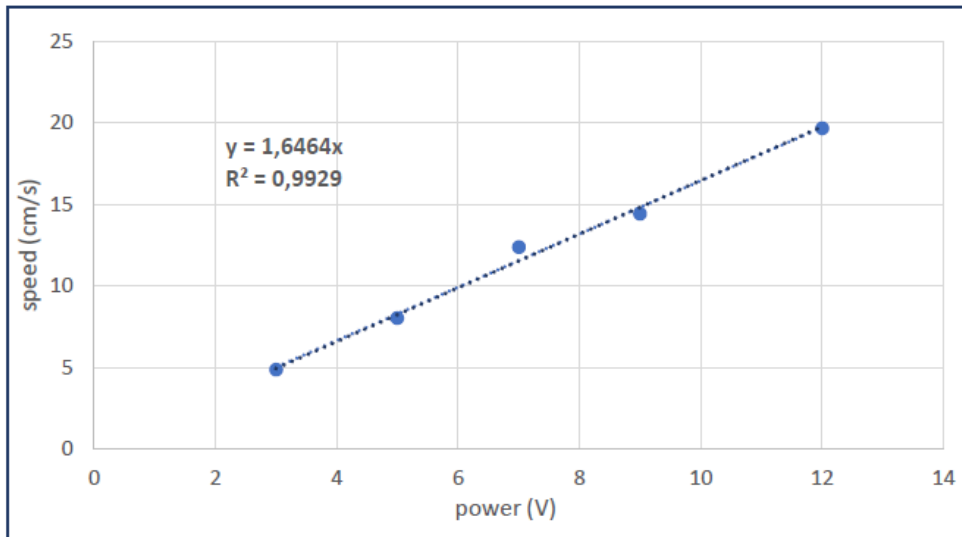


Figuur 3 Schematische weergave van de hydrocopter in een kolom met sediment en water (niet op schaal).

Zoals eerder vermeld had de voeding een bereik van 1,3 tot 12,6 Volt. Het vermogen werd verhoogd met stappen van 0,5 Volt. Bij elke stap werd de hoeveelheid licht gemeten door de lichtsensor in millivolt. Met een lage rotatiesnelheid was er nauwelijks resuspensie. Maar bij bepaalde snelheden begon het sediment te zweven. Wanneer het grootste verschil tussen lichtintensiteit werd gemeten, wordt dat geïnterpreteerd als de kritische stroomsnelheid. Dit experiment werd twee keer herhaald, dus het gemiddelde van de twee experimenten zal een betrouwbaardere waarde geven. Nadat de maximale snelheid was bereikt, werd de hydrocopter uitgeschakeld en is gemeten hoe snel het zwevende sediment weer naar de bodem zakt, wat een maat is voor hoe lang de troebelheid duurt. Als 80% van de oorspronkelijke lichtintensiteit was bereikt werd dit als helder water beschouwd, omdat de tijd die het duurt voordat de lichtintensiteit weer 100% was meerdere dagen bedroeg. Het verschil tussen 80% en 100% is voor het menselijk oog niet waarneembaar. Om over een lange tijd van het experiment betrouwbare gegevens te hebben, werd een datalogger (Grant 2010-serie) gebruikt, welke was ingesteld om de gegevens elke minuut van de lichtsensor op te nemen.

Calibratie van de hydrocopter

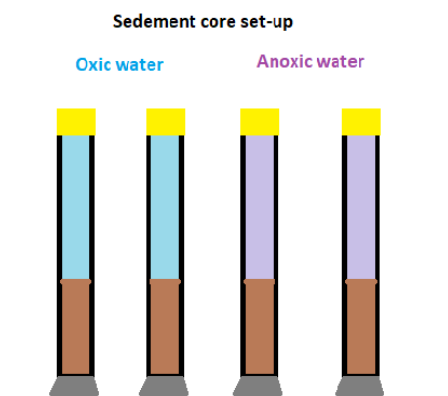
Om de hydrocopter te calibreren is de werkelijke rotatiesnelheid berekend op basis van de tijd die nodig was om een keer te roteren en de afstand die de bladen afleggen. Bij vijf verschillende vermogens werd de rotatietijd genoteerd. Bij elke stand van het vermogen werd het experiment vier keer herhaald om een betrouwbaar gemiddelde te krijgen. De afgelegde afstand is berekend als de omtrek van een cirkel ($\pi * diameter$). De diameter van de grote cilinder is 14,0 cm. De diameter van de kleinere cilinder is 5,9 cm. De bladen van de hydrocopter zijn precies tussen deze buizen geplaatst. Daarom is de diameter van de baan van de wieken 9,45 cm. De afstand die de bladen afleggen in een rotatie is dan dus 29,7 cm. De resultaten van de calibratie zijn uitgezet in Figuur 4, waarin te zien is dat de relatie tussen spanning en snelheid zeer lineair is. De hoge R^2 waarde (0.99) laat zien dat de omzetting van spanning naar rotatiesnelheid als nauwkeurig kan worden aangenomen. De conversiefactor die we later gebruiken om het vermogen om te rekenen naar snelheid is $1,6464 \text{ cm s}^{-1} \text{ V}^{-1}$.



Figuur 4 Calibratie stroomtoevoer.

2.2.3.2 Release (sediment) experiment

Er is een sediment release experiment uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de nutriëntenbalans van het meer. Op 8, 15, en 22 meter diepte zijn sedimentmonsters gestoken. Op elke diepte zijn 4 sedimentmonsters genomen welke afgesloten in de koelkast zijn bewaard tot het begin van het volgende naleveringsexperiment. In het veld is 20 liter water verzameld en meegenomen voor het naleveringsexperiment. In het lab is 10 liter zuurstofloos (anoxisch) gemaakt door het water te doorborrelen met N₂-gas, en is de andere 10 liter belucht (oxisch) door het water te doorborrelen met zuurstof. Voor het experiment zijn twee kernen van elke diepte gevuld met aëroob meerwater en afgesloten met kappen om verdamping te minimaliseren. De andere twee kernen zijn gevuld met anoxisch meerwater en zijn afgesloten met rubberen stoppen zonder luchtballen (Figuur 5). Watermonsters zijn genomen op dag 1, 4, 9 en 14 van het experiment door 20 ml water af te nemen met een injectiespuit en dit te filtreren en in te vriezen. De kernen zijn vervolgens weer gevuld met het water uit de jerrycans, die eventueel weer worden geborrelt. De bevroren monsters zijn vervolgens getest op N en P concentraties. Deze concentraties zijn later omgerekend naar mg P per m² per jaar met behulp van de hoogte van de waterlaag in de steekbuis.



Figuur 5 Schematische weergave van de opzet van het sediment release experiment. Deze opzet is voor iedere diepte herhaald.

2.2.4 Nutrienten

Voor deze analyse zijn zowel gefilterde en ongefilterde watermonsters gebruikt. De monsters zijn in de vriezer bewaard tot de dag dat ze zijn gemeten. Het ongefilterde water is gebruikt om de totale hoeveelheden stikstof en fosfor te meten, terwijl het gefilterde water is gebruikt om nitraat en (ortho) fosfaat te meten. Beide metingen zijn gedaan door een auto-analyzer (aanwezig op de leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer).

2.2.5 Biologische parameters

2.2.5.1 Waterplanten

Op basis van beschikbare onderwaterfoto's van de heer Van Gemert is een eerste inschatting gemaakt van de waterplanten vegetatie die in de plas voorkwam. Daarnaast is er een nieuwe inventarisatie gemaakt van de aanwezige plantengroei. Bij deze inventarisatie is de hulp van bij de vereniging aangesloten duikers ingezet. De verschillende soorten waterplanten zijn door experts van de WUR op naam gebracht. De duikers

hebben geassisteerd met het in kaart brengen van de plekken waar de planten staan, waarmee een globale bedekkingsgraad geschat is.

2.2.5.2 Jonge snoek en visbestand

De duikers zijn gevraagd worden om hun waarnemingen van de verschillende soorten vissen en hun aantallen te registreren en aan de onderzoekers door te geven. Deze waarnemingen geven een globaal beeld van het visbestand in het Bronsbergermeer en kunnen mogelijk een aanwijzing vormen waarom de jonge snoek afgenomen is.

2.3 Waterschap data

Sinds 2002 is het Bronsbergenmeer een officiële zwemlocatie. Dit betekent dat Waterschap Rijn & IJssel verplicht is om waterkwaliteitscontroles uit te voeren. Deze resultaten zijn beschikbaar op hun Website (<https://waterdata.wrij.nl/wqm.php?wat=metingen&mpn=53811&pakket=71643>). Door hun historische waterkwaliteitsmetingen te analyseren, kunnen trends binnen het Bronsbergenmeer worden gezien. Dit kan helpen om te zien hoe de huidige problemen zich in de loop van de tijd hebben ontwikkeld.

2.4 PC – Lake meta model

PC-Lake is een bijzonder nuttig hulpmiddel om de kritische waarden van nutriëntenbelasting te bepalen die leiden tot plotselinge verschuivingen. In het geval van het Bronsbergenmeer zijn we geïnteresseerd in de overgang van helder naar troebel water. Om het effect van een specifieke externe variabele (bijv. fosfaat) te testen, wordt het model geëvalueerd voor een reeks parameterwaarden (bijv. toenemende nutriëntenbelasting) en voor verschillende initiële condities (bijv. hoeveelheid water die door het Bronsbergenmeer stroomt). Om te kijken hoe ver het Bronsbergenmeer nog afstaat van een verschuiving van helder naar troebel water, hebben we enerzijds de water- en nutriënten-balans voor het Bronsbergenmeer opgesteld, en hebben we anderzijds het PC-Lake model toegepast.

2.4.1 Water balans

De waterbalans (ΔS) van het Bronsbergenmeer is het verschil tussen de hoeveelheid water die instroomt (Q_{in}) en de hoeveelheid water die uitstroomt (Q_{out}):

$$\Delta S = Q_{in} - Q_{out}$$

In de volgende paragrafen lichten we de verschillende parameters die de instroom en uitstroom opmaken verder toe.

2.4.1.1 Instroom

De instromende factoren voor Bronsbergenmeer zijn neerslag, instroom van grondwater en instroom van regenwater.

De hoeveelheid neerslag is genomen van het weerstation in Hupsel. Dit is het dichtsbijzijnde KNMI weerstation.

Het Bronsbergenmeer is een afgesloten systeem. Er zijn dus geen directe oppervlaktewateren die het meer instromen. Het peil van het Bronsbergenmeer wordt echter wel sterk beïnvloed door het peil van de IJssel via instroom van grondwater. Om een schatting te maken van de hoeveelheid grondwater die vanuit de IJssel het Bronsbergenmeer instroomt, hebben we de Wet van Darcy toegepast:

$$Q = -k * A * i$$

Daarin is Q het totale debiet in m³/dag, k de doorlatendheidscoëfficiënt in m/dag, A de frontale oppervlakte in m² en i het verhang ($\frac{dh}{dL}$). Het frontale oppervlakte bestaat in dit geval uit de dikte van het freatische pakket (bovenste watervoerende laag) maal de afstand tussen de IJssel en het Bronsbergenmeer. Het verhang wordt bepaald door het verschil in waterniveau van de IJssel en het Bronsbergenmeer (dh), en de gemiddelde afstand die het water af moet leggen vanaf de IJssel naar het Bronsbergenmeer (dL).

Als input voor het PCLake model hebben we het debiet per jaar nodig. Daarom wordt het debiet per dag vermenigvuldigd met het aantal dagen in een jaar waarop het waterniveau van het Bronsbergenmeer hoger is dan het waterniveau van de IJssel. Aangezien het waterniveau van beide waterlichamen aanzienlijk fluctueert over het jaar, hebben we dit afzonderlijk gedaan voor de zomer en de winterperiode. De dikte van het freatische pakket, en de waterniveaus van het Bronsbergenmeer en de IJssel zijn met behulp van het Waterschap Rijn en IJssel verkregen (<https://www.wrij.nl/statisch/berkel/kopie-waterkwaliteit/zwemwater/>). Afstanden zijn verkregen met behulp van Google Maps, en de doorlatendheidscoëfficiënt is verkregen met behulp van een bodemprofiel van het DinoLoket.

Als laatste instroom factor bespreken we instroom van regenwater. In samenwerking met het Waterschap Rijn en IJssel hebben we de totale oppervlakte van de stranden en weiden rondom het Bronsbergenmeer bepaald. Vervolgens is de hoeveelheid instroom van regenwater bepaald door in te schatten bij welke hoeveelheid neerslag de bodem volledig is verzadigd, het aantal dagen per jaar dat dit voorkomt, en hoeveel regen er precies valt op die dagen. Hiervoor is de eerder verkregen neerslag data van de KNMI gebruikt.

2.4.1.2 Uitstroom

De uitstromende factoren voor Bronsbergenmeer zijn verdamping, uitstroom van oppervlaktewater, en uitstroom van grondwater.

De hoeveelheid verdamping is genomen van het weerstation in Hupsel. Dit is het dichtstbijzijnde KNMI weerstation.

De enige uitstroom van oppervlaktewater in het Bronsbergenmeer is mogelijk via een duiker aan de noordzijde van het meer. Deze duiker is alleen tijdens een hoge waterstand actief, en zorgt er dan voor dat het water via de duiker naar de Vierakkerse Laak kan stromen.

Het Bronsbergenmeer ligt in een zone van matige kwel. Uitstroom van grondwater is in de huidige analyse nog niet meegenomen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat dit mogelijk een onderschatting gegeven hebben omdat het peil van de plas sterk door de nabijgelegen rivier de IJssel beïnvloed kan worden. Theoretisch kan dit mogelijk resulteren in zowel een uitstroom van grondwater bij dalend peil in de rivier, als ook in een doorstroom van grondwater. In dit laatste geval kan de plas aan één kant grondwater ontvangen en aan de andere kant weer grondwater verliezen. Dit gebeurt dan in de richting van de overwegende grondwaterstroming en wordt ook sterk beïnvloed door het verhang in grondwaterpeil (en daarmee peil in de rivier de IJssel).

2.4.2 Nutrienten balans

We hebben de nutrientenbalans van zowel fosfor (P) en stikstof (N) bepaald door middel van literatuuronderzoek en een sedimentafgifte-experiment (voor sedimentafgifte-experiment, zie paragraaf 2.2.3). Aangezien het PCLake meta model alleen de hoeveelheid instromende nutrienten nodig heeft, hebben we het kwantificeren van de uitstroom van nutriënten achterwege gelaten.

2.4.2.1 Instroom

De instromende factoren voor Bronsbergenmeer zijn instroom van nutriënten via oppervlaktewater, sedimentafgifte van nutriënten, atmosferische depositie, en uitstoot van nutriënten door duikers en zwemmers.

De instroom van nutriënten via oppervlaktewater is gebaseerd op de waterbalans. De hoeveelheid water die het meer ingaat, geeft een indicatie van de hoeveelheid voedingsstoffen die het meer ingaan. Omdat de omgeving van Het Bronsbergenmeer een grote invloed kan hebben op de nutriëntenbalans in het meer via de instroom van grondwater of oppervlaktewater, wordt in de literatuur gezocht naar een getal voor de uitspoeling van de omgeving. Daarvoor moet de dominerende omgeving worden bepaald, bijvoorbeeld landbouw enstedelijk gebied. Door de stroomsnelheid van de waterbalans te vermenigvuldigen met een concentratie aan nutriënten kan de hoeveelheid nutriënten in het meer worden geschat.

De sedimentafgifte van nutriënten is bepaald middels een sedimentafgifte-experiment, welke verder wordt toegelicht in sectie 2.2.3.

Voor het schatten van de atmosferische depositie van stikstof en fosfor wordt Het Compendium van de Leefomgeving gebruikt (<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/compendium-voor-de-leefomgeving>). Deze website geeft informatie over de hoeveelheid nutriënten in atmosferische depositie en geeft een bruikbaar getal in combinatie voor het gebied van Het Bronsbergenmeer.

Er is in de literatuur gezocht naar een getal voor de bijdrage van duikers of zwemmers. Daarnaast is de duikvereniging van het Bronsbergenmeer gevraagd het aantal zwemmers en duikers per dag in te schatten. Dit geeft een indicatie van de vervuiling van voedingsstoffen door zwemmers en duikers.

2.4.3 Het PClake meta model

Het PClake meta model is beschikbaar op de website van PBL (Plan Bureau Leefomgeving, <https://themasites.pbl.nl/modellen/pclake/>). In deze versie van het PClake model is het beperkt mogelijk om parameters aan te passen. Tabel 1 geeft een overzicht van de parameters die aangepast kunnen worden, en welke waarde we voor iedere parameter ingevuld hebben. Hoewel er in het model een maximale diepte van 4 meter is toegestaan, willen we in dit geval toch nader bekijken of het model zich leent voor gebruik in het veel diepere Bronsbergermeer. Er is geen moeras in het Bronsbergenmeer aanwezig, dus deze is op 0 gezet. De strijklengte is bepaald door de maximale noord-oost breedte van het Bronsbergenmeer te meten met behulp van Google Maps. Het debiet van het Bronsbergenmeer is bepaald in sectie 2.4.1, en is aanzienlijk lager dan de minimale waarde mogelijk (4 mm/d). Om deze reden wordt hier de minimum waarde gehanteerd. Lichtextinctie was gemeten in het veld, en kwam gemiddeld op 0.3 uit. De bovenste laag van het sediment bestaat uit klei.

Tabel 1 Ingevoerde parameter-waardes van het PClake Meta model.

Parameter in model	Waarde
Diepte	Max. 4 m
Aandeel moeras	0
Strijklengte	500m
Debiet	4 mm/d
Extinctie	0.3
Sedimenttype	Klei



3 Resultaten

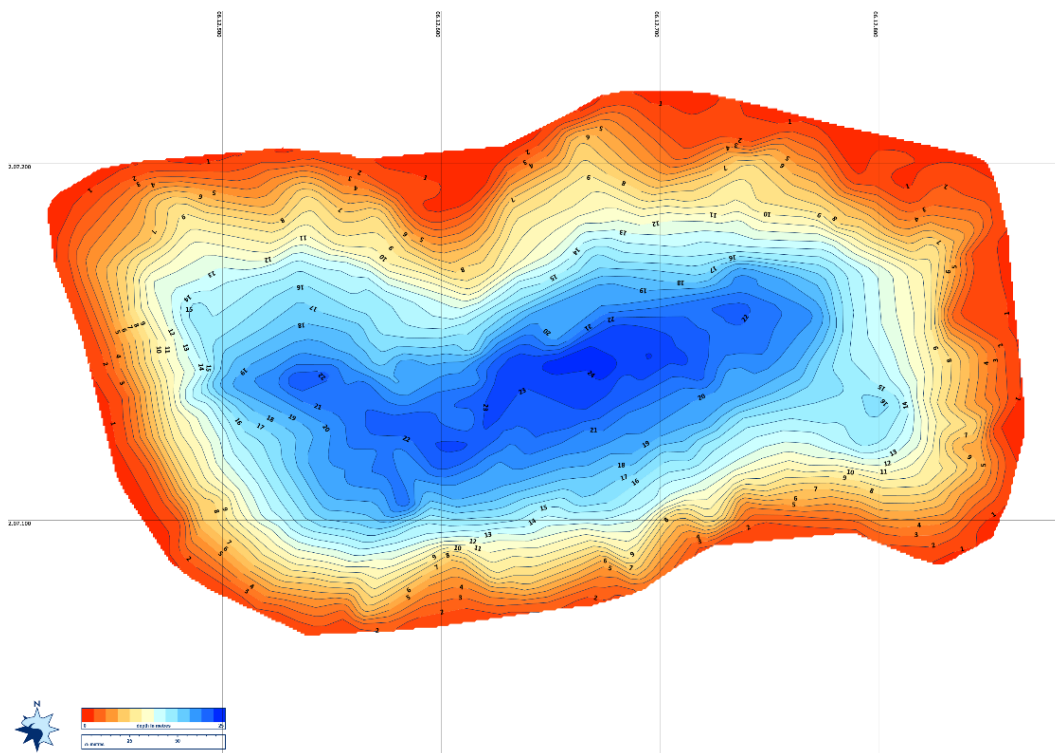
3.1 Algemeen

Voor de fysische, troebelheid en doorzicht bepalende parameters hebben we diepte-profielen over de tijd gemaakt. Voor elke plot geldt dat de variabele, bijvoorbeeld de temperatuur of het zuurstofgehalte, uitgezet is over de diepte (y-as) in de tijd (x-as). Op de x-as staan de maanden vermeld. In april 2019 heeft de eerste monsterring plaatsgevonden en in november heeft de laatste bemonsterring plaatsgevonden. In juli, augustus, september, oktober en november is 1x per maand bemonsterd. In mei en juni 2019 is niet bemonsterd, en deze data, plus alle momenten tussen de maandelijkse metingen, zijn dus geëxtrapoleerd van de gemeten data. De daadwerkelijk gemeten tijd-diepte locaties zijn weergegeven in de verschillende plots. In juni 2020 heeft nog een extra bemonsterring plaatsgevonden om specifieke patronen in het chl-a profiel nader te onderzoeken. Dit laatste meetmoment is echter niet meegenomen in de diepte-profielen, omdat er een te grote periode tussen de metingen zat.

3.2 Fysische parameters

3.2.1 Diepte profiel

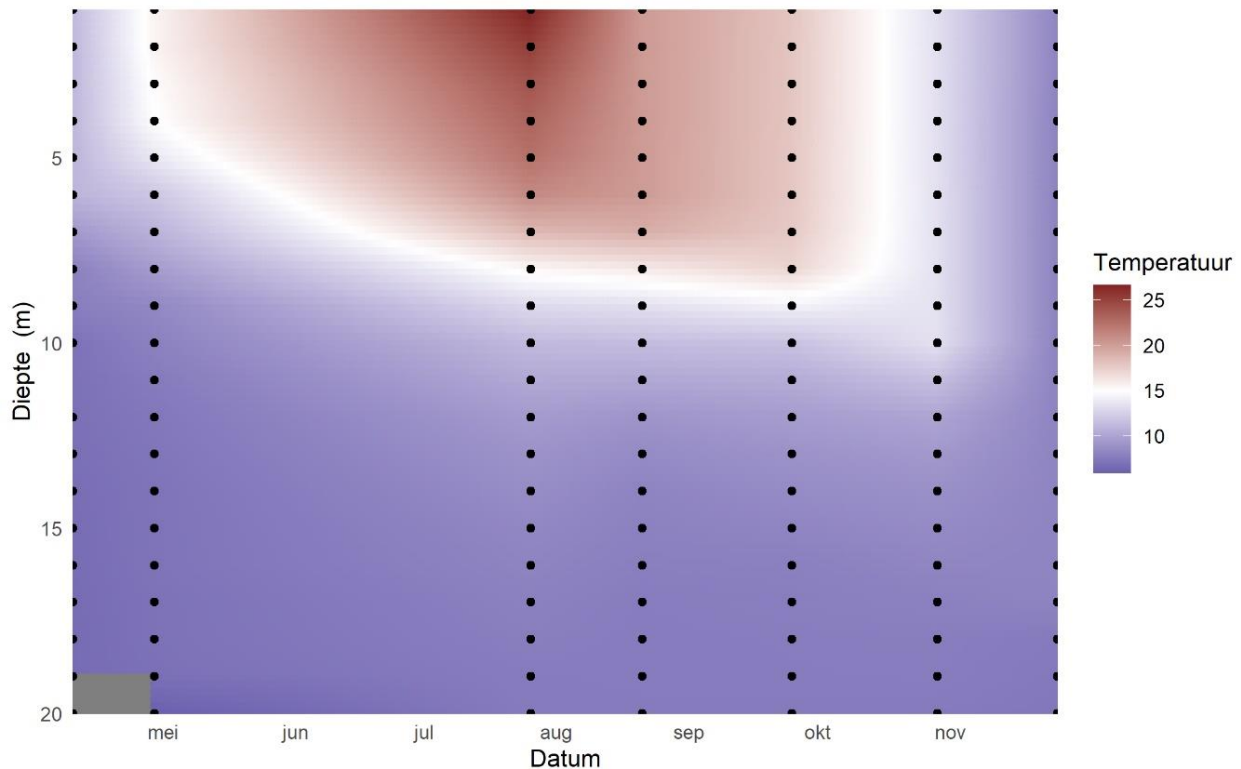
Figuur 6 toont het diepteprofiel van het Bronsbergenmeer. Het Bronsbergenmeer is maximaal 24 meter diep. Aan de randen van het meer heeft de bodem een vlakke helling die eindigt in een richel, waarna het snel steil wordt en naar beneden duikt tot ongeveer 20 meter diepte. Op basis van het profiel van het meer kan worden verwacht dat het meeste sediment zich in het diepste deel van het meer zal verzamelen. Een duikexcursie uitgevoerd op 29 april 2019 maakte echter duidelijk dat er zelfs op een diepte van 22 meter zeer weinig organisch afval (<0,5 cm) aanwezig was bovenop de dikke laag klei die daar werd aangetroffen.



Figuur 6 Diepteprofiel van het Bronsbergenmeer gemaakt op 10 april 2019.

3.2.2 Temperatuur

Figuur 7 geeft een duidelijke weergave van de temperatuur van het Bronsbergenmeer gedurende het jaar. Het laat een duidelijke stratificatie zien die begint in mei, sterker wordt gedurende juli en augustus, en uiteindelijk ergens tussen september en november verdwijnt. Een dergelijke stratificatie is te verwachten bij een dergelijk diepe plas.

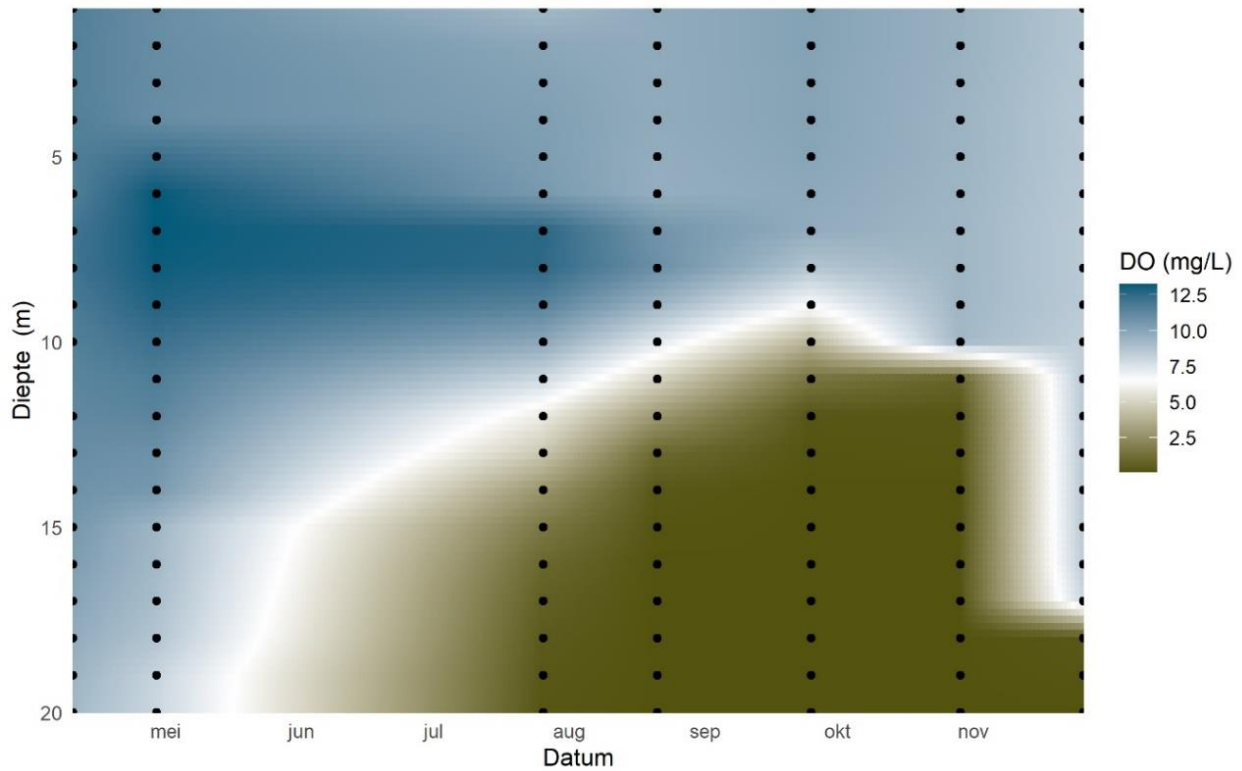


Figuur 7 Temperatuur (°C) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapoleerd.

3.2.3 Zuurstof

Ook in de zuurstofprofielen is stratificatie zichtbaar (Figuur 8). De eerste 6 meter van het meer heeft een vrij constante zuurstofconcentratie over de hele meetperiode. Dit geeft aan dat deze laag goed gemengd is. Tijdens de maanden mei, juni, en juli is te zien dat de bovenste laag minder zuurstof bevat dan de laag daar direct onder (5-10 meter diepte). Daar er geen duidelijk verband gevonden werd met de hoeveelheid beschikbare nutriënten in het water en de hoeveelheid algen (Chl-a), lijkt dit een fysisch proces te zijn omdat warm water minder zuurstof kan bevatten dan kouder water (Tromans, 1998). De koelere wateren direct onder het epilimnion houden derhalve meer zuurstof vast maar met toenemende diepte wordt de hoeveelheid zuurstof wel lager. Deze stratificatie is het duidelijkst zichtbaar tussen augustus en november.

De gelaagdheid verhindert dat water onder het epilimnion in contact komt met zuurstof in de atmosfeer. Als er voldoende zonlicht beschikbaar is, kunnen algen zuurstof produceren in het hypolimnion (onderste laag). Op een diepte van ongeveer 10 meter is de zuurstofverzadiging minder dan 100%. Dit geeft aan dat er op diepten van meer dan 10 meter sprake is van een netto zuurstofverbruik. Rottend organisch materiaal op de bodem van het meer verbruikt zuurstof (Nijburg en Verhoeven, 1999). De gelaagdheid wordt gehandhaafd tot na het einde van de zomer. Gedurende deze tijd wordt het hypolimnion afgesloten van atmosferische zuurstof en algen produceren weinig of geen zuurstof, waarschijnlijk door een gebrek aan licht. De hoeveelheid zuurstof in het hypolimnion blijft afnemen totdat de lagen weer worden gemengd.



Figuur 8 Opgeloste zuurstof (DO in mg/L) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapoleerd.

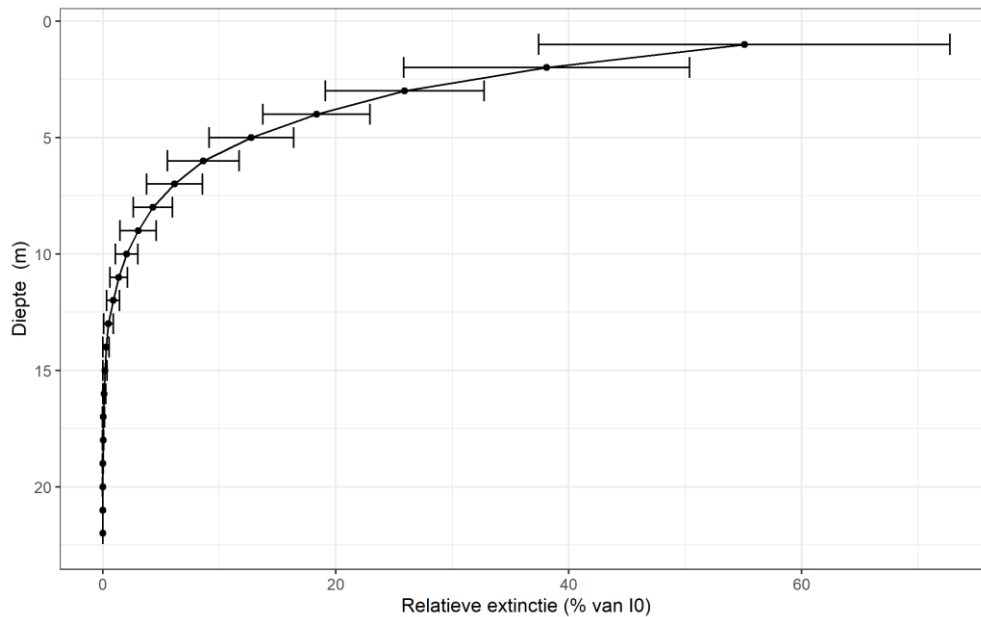


Figuur 9 Impressie van de bemonsteringen op het Bronsbergermeer.

3.3 Troebelheid en doorzicht bepalende parameters

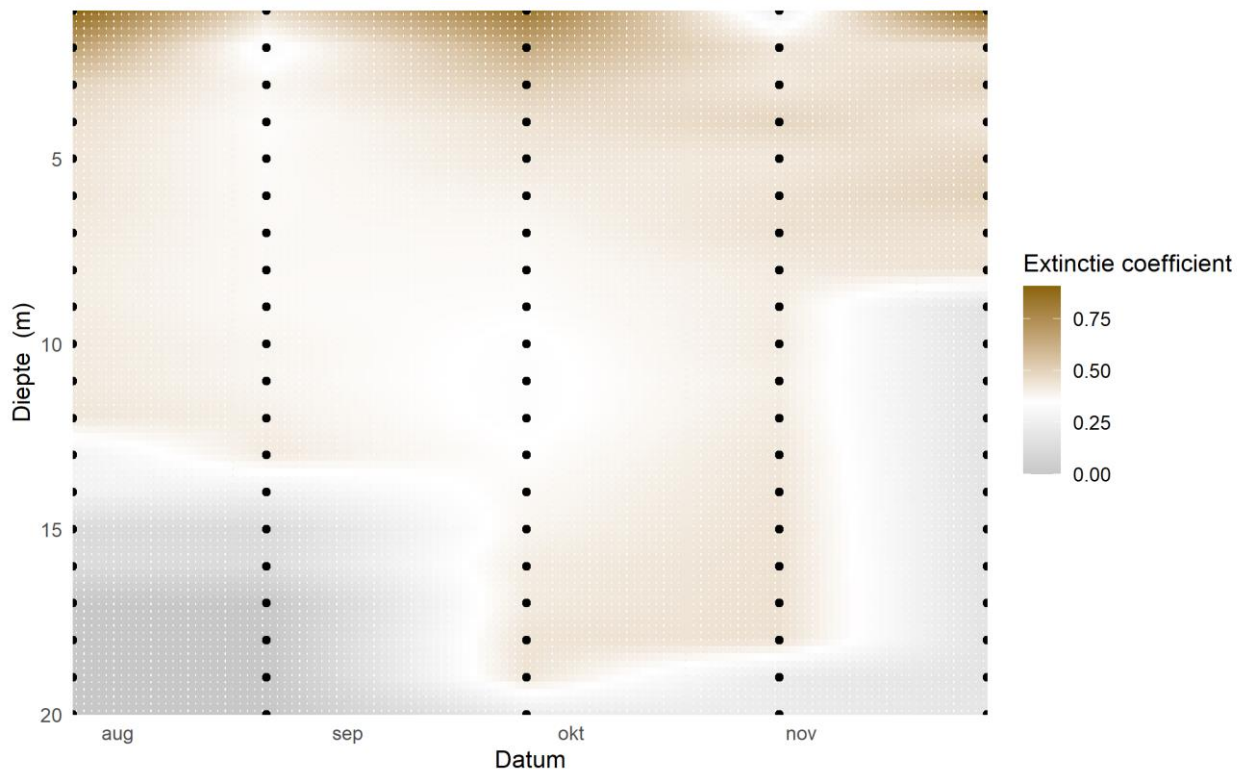
3.3.1 Extinctie

De lichtintensiteit neemt exponentieel af met de diepte (Figuur 10). De seizoensafhankelijke variatie hierin is het sterkst in de bovenste lagen, en neemt af naarmate het dieper wordt. Met behulp van de lichtintensiteit kan de eufotische diepte bepaald worden. De eufotische diepte is de grens waar ongeveer 1% van de lichtintensiteit aan het wateroppervlak aanwezig is (Kirk, 1994). De eufotische diepte is van belang omdat hier beneden niet genoeg fotonen aanwezig zijn voor een netto productie door fotosynthese. De eufotische diepte ligt het Bronsbergenmeer gemiddeld rond de 9 meter. Waterplanten komen voor tot een maximale diepte van 6,5 m (zie sectie 3.6.1) en op die diepte is ongeveer 8% van de lichtintensiteit aan het wateroppervlak beschikbaar.



Figuur 10 Exponentiële afname lichtinstraling (% van I0) over de diepte (gemiddeld \pm SD) voor de periode april-november 2019.

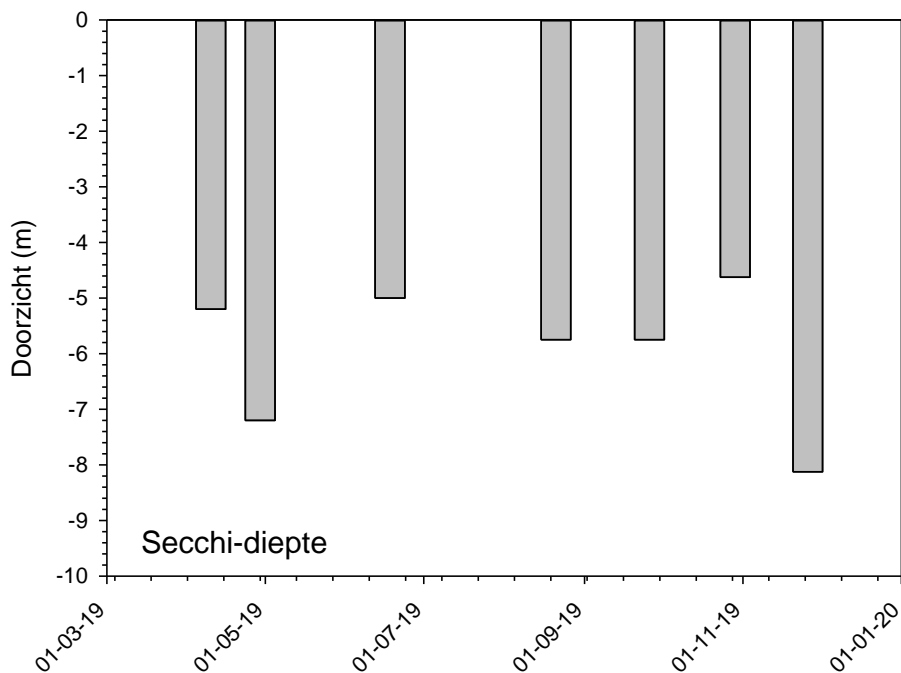
Figuur 11 laat het diepte-profiel van de extinctiecoëfficiënt over tijd zien. Gedurende de zomer en de herfst is er een hogere extinctiecoëfficiënt gemeten in de bovenste waterlaag (meer uitdoving van licht) wat mogelijk veroorzaakt wordt door algen in deze waterlaag. Gedurende eind september tot begin november neemt de extinctiecoëfficiënt ook toe op grotere diepte wat kan betekenen dat er meer (dode) algen op diepte voorkomen omdat de stratificatie in deze periode opgeheven wordt en de waterlagen weer gaan mengen.



Figuur 11 Extinctie coefficient (ratio I0:Iz) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende juli - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapoleerd.

3.3.2 Secchi diepte

Doorzicht gedefinieerd als de zogenaamde Secchi-diepte, de diepte waarbij een zwart-witte schijf, nog zichtbaar is, laat een ietwat hoger doorzicht zien in de metingen van het voorjaar en najaar (Figuur 12). Dit kan mogelijk worden veroorzaakt door algen in de bovenste waterlaag, al is dit niet heel duidelijk terug te zien in de Chl-a metingen (zie sectie 3.3.3). Er zijn helaas geen doorzichtmetingen in de periode juli genomen.



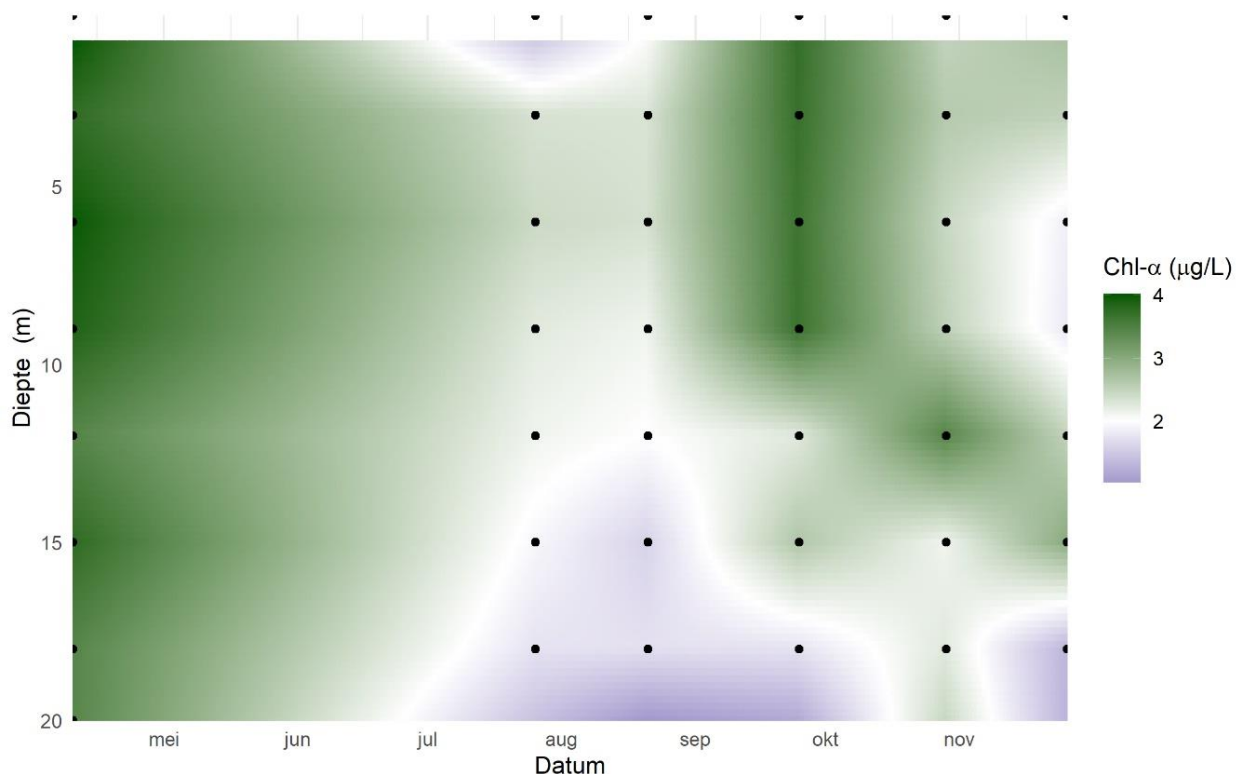
Figuur 12 Secchi diepte in het Bronsbergenmeer gedurende juli - november 2019.

3.3.3 Chlorofyl-a

We hebben voor iedere maand waarin er is gemeten de gemiddelde chlorofyl-a gehalten over de waterkolom berekend (Tabel 2). De duikplas heeft gedurende de gemeten maanden een relatief laag chlorofyl-a gehalte. De hoogste gemiddelde chlorofyl-a concentratie is gemeten in april, wat inderdaad een hoogtepunt kan zijn van de voorjaarsbloei. De voorjaarsbloei treedt op in de periode maart - mei. De voorjaarsbloei wordt gevolgd door lagere concentraties chlorofyl -a in juli en augustus. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de toename van begrazing van algen door watervlooien. In Figuur 13 is te zien dat in de duikplas de hoeveelheid chlorofyl-a redelijk gelijkmatig over de hele diepte van het meer verspreid is. Opvallend is de grote hoeveelheid chlorofyl-a die eind oktober op een diepte van 10-15 meter gevonden wordt. Deze toename kan verklaard worden door het uitzakken van de algen. Onder invloed van de zwaartekracht en door het dalen van de thermocline, zakken algen makkelijker uit naar de bodem.

Tabel 2 Gemiddelde chlorofyl-a waarden over de waterkolom ($\mu\text{g l}^{-1} \pm$ standaarddeviatie (SD)) voor de duikplas over de gehele meetperiode (gemiddeld) en over de losse maanden.

Periode	Chl-a ($\mu\text{g/L}$)	SD ($\mu\text{g/L}$)
April-2019	3.7	0.3
Juli-2019	1.9	0.8
Augustus-2019	1.8	0.7
September-2019	2.8	1.2
Oktober-2019	2.6	0.5
November-2019	2.1	1.0
Juni-2020	3.1	1.9
Gemiddeld	2.5	1.3



Figuur 13 Chlorofyl-a ($\mu\text{g/L}$) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is getrapoleerd.

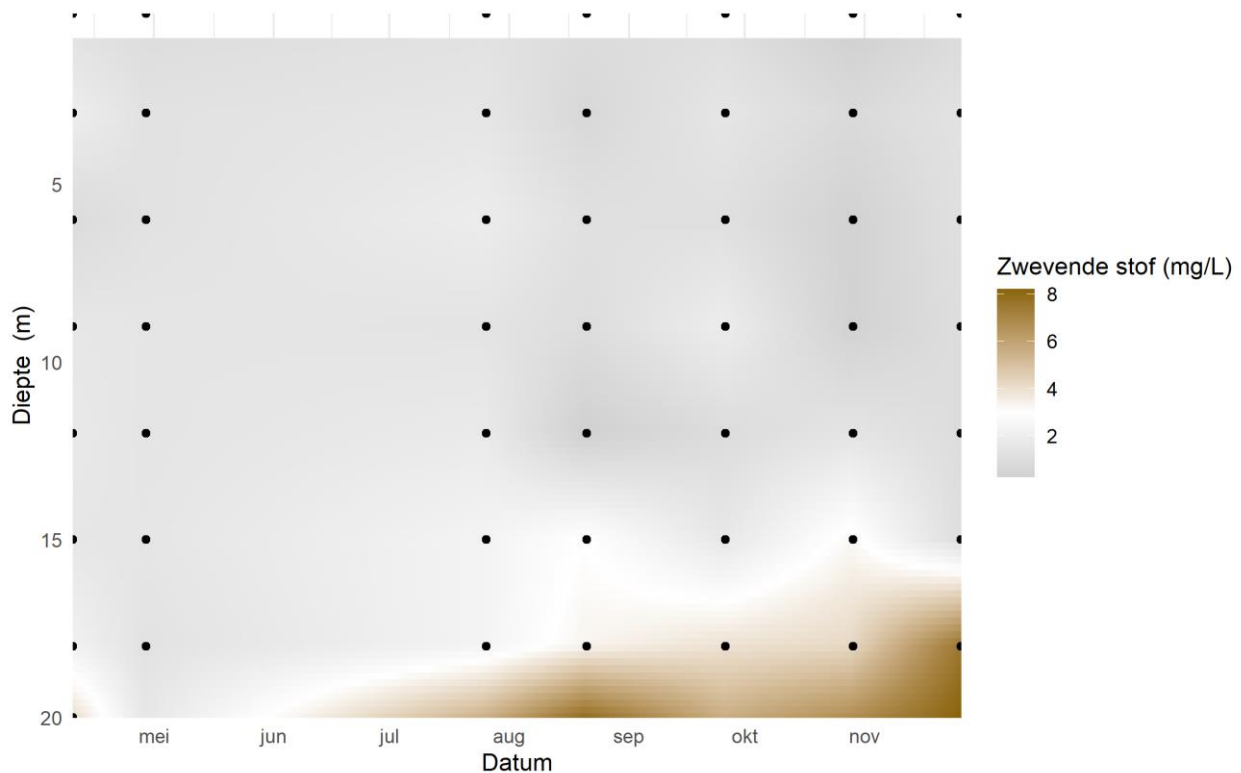
Het waterschap heeft sinds 2012 chlorofyl-a gemeten in het zomerseizoen. Het chlorofyl-a gehalte is in de hele meetreeks laag, doorgaans tussen 0 en 5 µg/l, met een incidentele hogere meetwaarden tot 20 µg/l. Er is geen trend zichtbaar in het chlorofyl-a gehalte. Bij deze zwemwatermonitoring zijn overigens geen blauwalgdrijflagen aangetroffen.

3.3.4 Zwevende stof

Hoewel in Tabel 3 te zien is dat de gemiddelde hoeveelheid zwevend stof in de gehele waterkolom relatief stabiel is over de periode juli-oktober. Laat Figuur 14 zien dat aan het einde van de zomer de concentratie van het zwevende stof nabij de bodem van de plas wel begint toe te nemen. Bijlage 1 beschrijft de verdeling tussen de anorganische en organische fractie van het zwevend materiaal. Het zwevend materiaal bestaat hoofdzakelijk uit organisch materiaal. Enkel in de onderste meters van de plas bestaat het zwevend materiaal voor een groot gedeelte uit anorganische deeltjes, zoals kleideeltjes en zand. Dit lijkt daarmee een gevolg lijkt te zijn van resuspensie van bodemmateriaal en niet zozeer van uitzakkende algen aan het einde van het groeiseizoen.

Tabel 3 Gemiddelde hoeveelheid zwevende stof over de waterkolom (mg l-1 ± standaarddeviatie (SD)) voor de duikplas over de gehele meetperiode (gemiddeld) en over de losse maanden.

Periode	Total Suspended Solids (mg/L)	SD (mg/L)
April-2019	1.5	0.7
Juli-2019	2.1	1.5
Augustus-2019	2.0	2.6
September-2019	2.0	1.6
Oktober-2019	1.9	2.3
November-2019	2.4	2.9
Gemiddeld	2.0	1.9



Figuur 14 Hoeveelheid zwevende stof (mg/L) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëtrapoleerd.

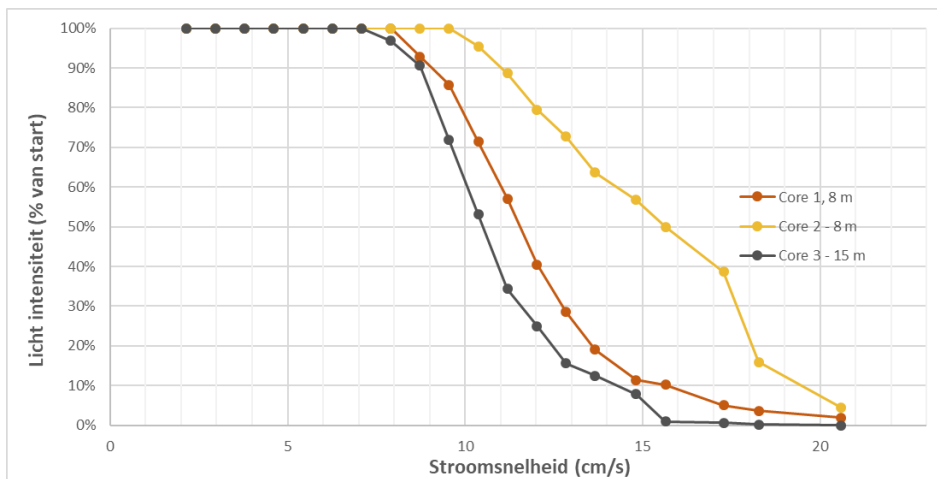
3.4 Sediment

3.4.1 Hydrocopter experiment

Figuur 15 laat de resultaten van het hydrocopter-experiment zien. Het hydrocopter-experiment is in duplo uitgevoerd.

Figuur 15 toont het gemiddelde van die twee metingen voor elk sedimentmonster. Er zitten grote verschillen tussen de samples van 8 meter, wat aangeeft dat het meer een grote ruimtelijke variabiliteit bevat. De verschillen kunnen worden verklaard door morfologische verschillen, omdat de monsters op 3 meter van elkaar zijn genomen.

De kritische stroomsnelheid werd gedefinieerd als het grootste verschil in lichtintensiteit. De kritische stroomsnelheid van het sedimentmonster van 15 meter diepte was 9,5 cm s⁻¹. De kritische stroomsnelheden van de sedimentmonsters van 8 meter diepte waren respectievelijk 10,8 cm s⁻¹ en 12,5 cm s⁻¹ waren. Deze snelheden komen overeen met andere snelheden die in eerder studentenonderzoek op de leerstoelgroep zijn gevonden.



Figuur 15 Gemiddelde licht-intensiteit (% van start) van de drie geteste cores.

Voor de bezinksnelheid zijn er niet erg duidelijke verschillen tussen de monsters (Tabel 4). Hiervoor moet echter rekening gehouden worden met de variërende hoogte van de waterkolom bovenop het sediment. De diepte van de waterkolom is van belang voor zowel de resuspensie als de sedimentatie (Scheffer, 2004). Indien er een hogere waterkolom bovenop het sediment aanwezig was, kon het geresuspendeerde materiaal zich door een groter volume water verspreiden. Dit kon ertoe leiden dat er meer geresuspendeerde deeltjes in het water konden worden gehouden voordat het verzadigd was. Dus de verschillen in sediment- en waterhoogtes hebben potentieel een fout geïntroduceerd.

Tabel 4 Gemiddelde tijd (min) die nodig is om 80% van de lichtintensiteit die aanwezig was aan het begin van de meting na opwerveling te verkrijgen.

ID	Gemiddelde settling time (min)
Core 1 - 8 m	15
Core 2 - 8 m	11
Core 3 - 15 m	15



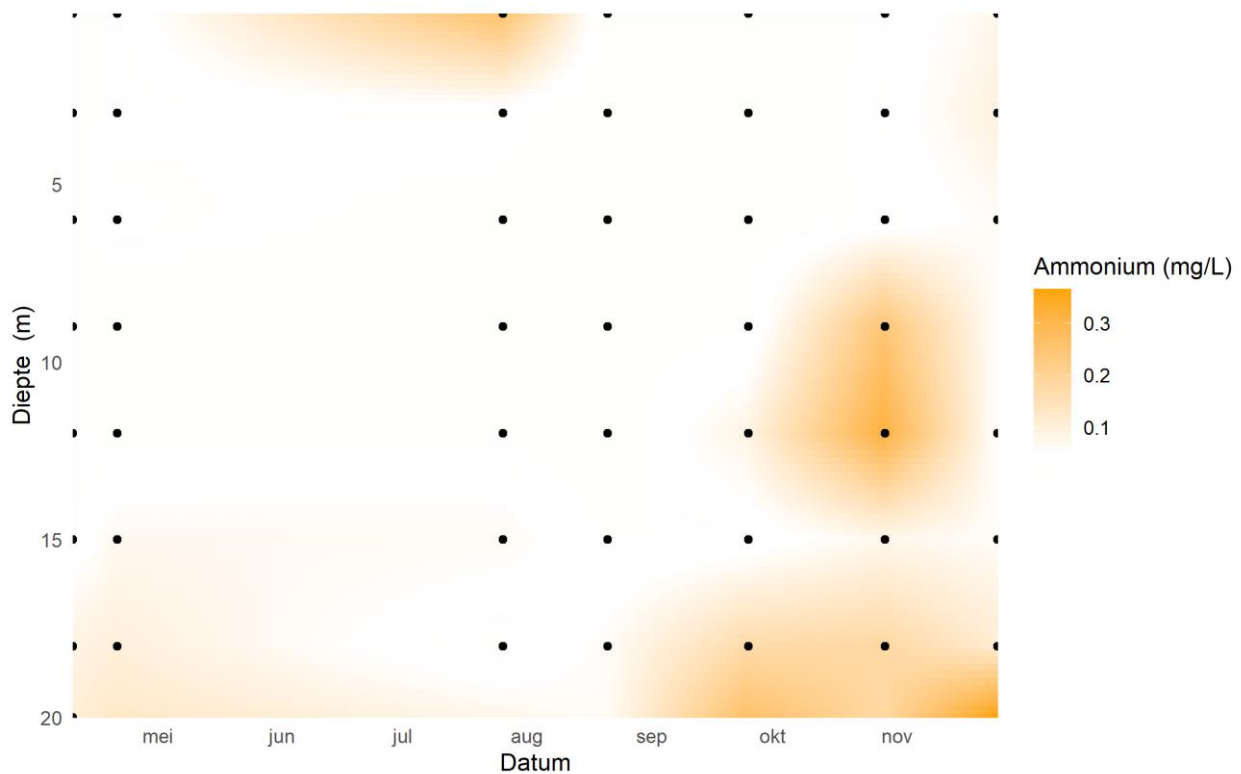
Figuur 16 Impressie van het verzamelen van sediment op grotere dieptes in het Bronsbergermeer. Projectleider Ivo Roessink werd hierbij onderwater vergezeld door enkele vrijwilligers van de Stichting OWWZ. Foto: Patrick van Gemert (Zutphens Persbureau)®.

3.5 Nutriënten

3.5.1 Ammonium

Uit Figuur 17 blijkt dat er in de gehele duikplas geen hoge concentraties ammonium-N zijn gevonden. Vanaf september neemt de hoeveelheid ammonium iets toe, vooral tussen de 8 tot 12 meter en 16 tot 20 meter diepte. Het moment waarop ammonium tussen de 8 en 12 meter toeneemt, komt overeen met het moment waarop de najaarsomkering plaatsvindt. Het detectielimiet voor ammonium is 0,01 mg N l-1.

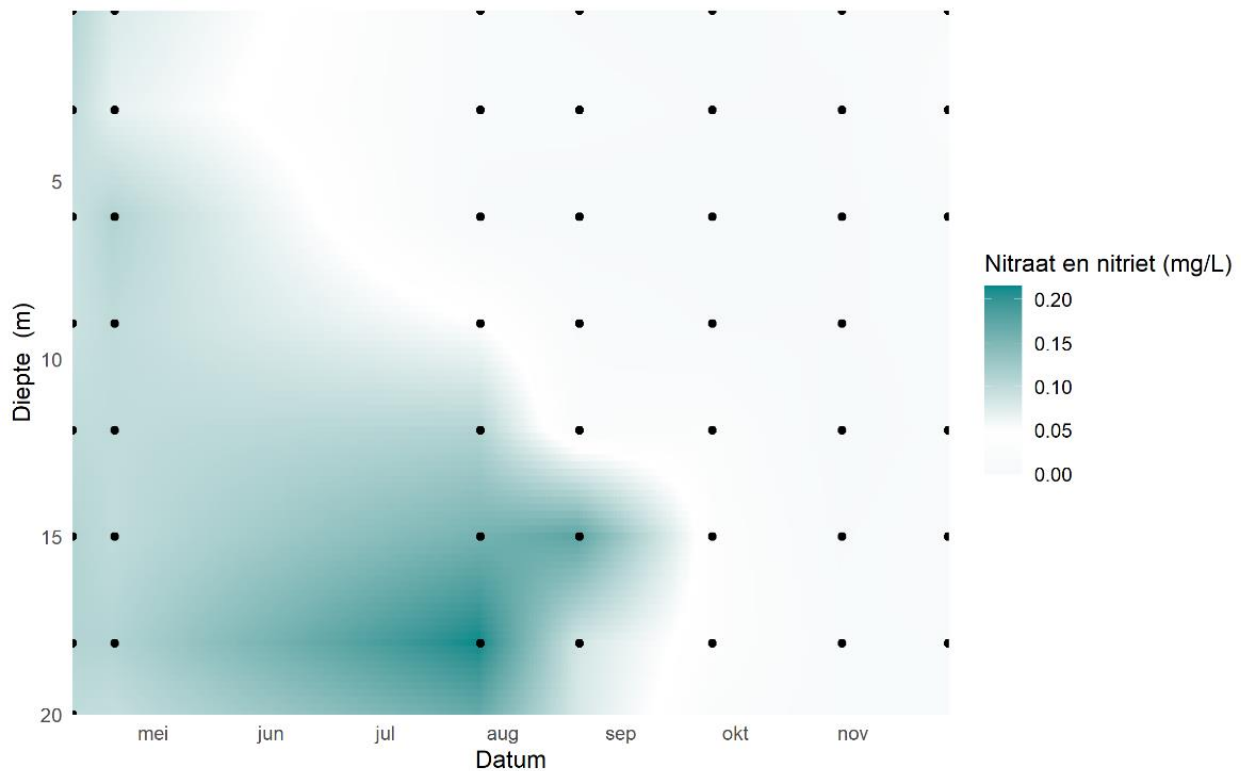
Het waterschap meet éénmalig in het zomerseizoen ook het ammoniumgehalte in de plas. Dit is vrijwel altijd beneden de detectielimiet (<0.1 mg-N/L). Dat er weinig ammonium gevonden wordt, is in overeenstemming met onze metingen.



Figuur 17 Hoeveelheid ammonium (mg N/L) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapolerd.

3.5.2 Nitraat en nitriet

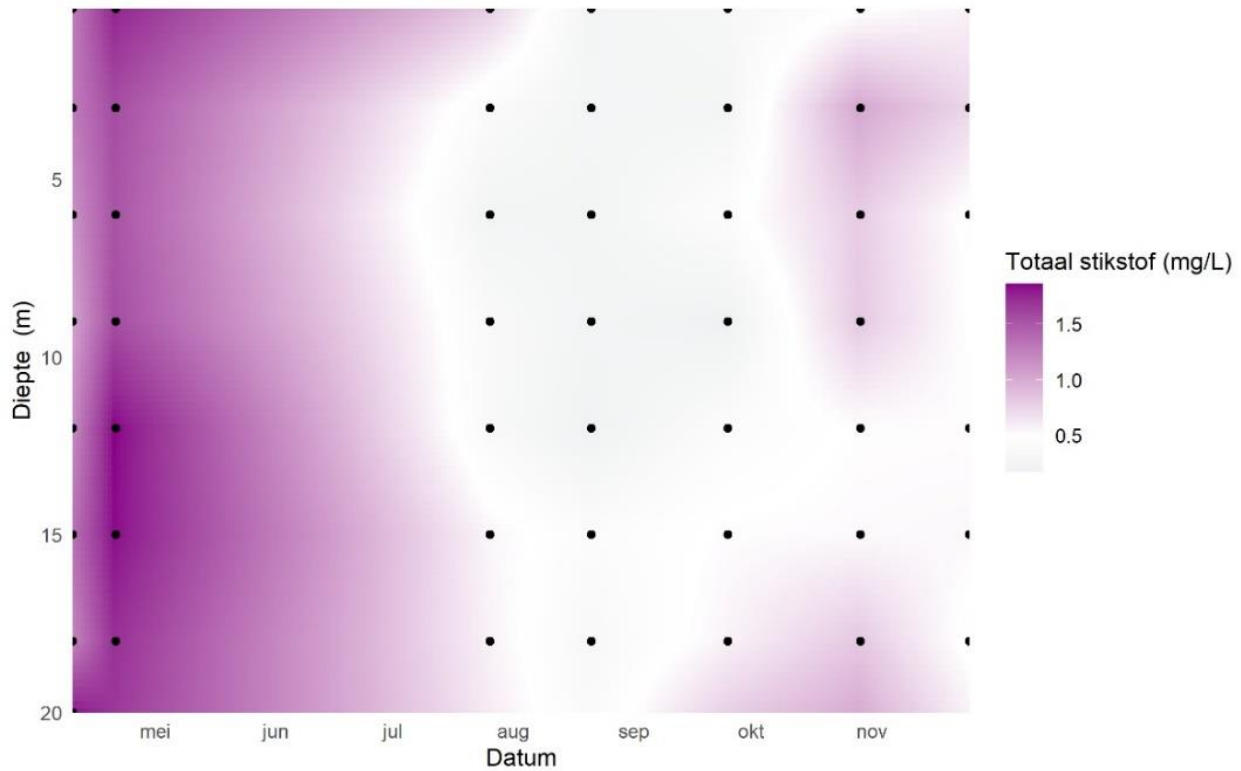
De hoeveelheid nitriet en nitraat blijft ook het gehele jaar laag (max 0.20 mg/L), met relatief hogere concentraties in de diepere waterlaag in juli en augustus (Figuur 18). Gedurende het najaar is de concentratie nitraat en nitriet op zijn laagst. Het lijkt erop dat het nitraat in het ondiepe water vanaf het voorjaar wordt opgenomen door algen. In het diepere water blijft het nitraat langer beschikbaar, namelijk tot einde zomer. Mogelijk wordt er in diepere water ook nitraat gevormd vanuit afbraak van organisch materiaal op de bodem. Rond september verandert dit: dan wordt er in het diepere water ammonium gemeten in plaats van nitraat (zie sectie 3.5.1). Dit zou het gevolg kunnen zijn van de zuurstofarme omstandigheden die vanaf de zomer onderin de plas voorkomen (zie sectie 3.2.3). Er is op dat moment duidelijk te weinig zuurstof of de redox-condities zijn te laag om het ammonium dat vrijkomt bij afbraak van organisch materiaal om te zetten naar nitraat. De detectielimiet voor nitraat is 0,01 mg N l-1.



Figuur 18 Hoeveelheid nitraat en nitriet (mg N/L) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapoleerd.

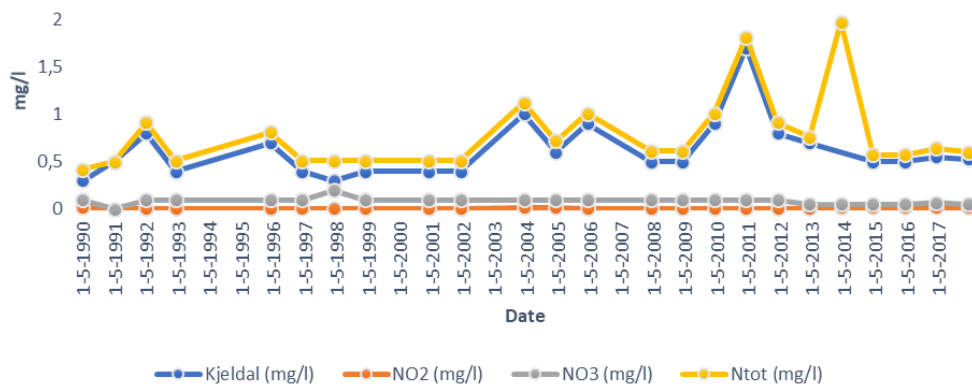
3.5.3 Totaal stikstof

De totale hoeveelheid stikstof varieert aanzienlijk over tijd, met hogere concentraties van 1.7 mg/L in het voorjaar en najaar maar een gemiddelde concentratie van 0.7 mg/L in de zomer (Figuur 19). Hier lijkt het seizoens-effect sterk naar voren te komen. In het voor- en najaar zijn de primaire producenten (algen en waterplanten) niet actief en zijn voedingstoffen daardoor vrijelijk beschikbaar in de waterkolom. Als de algen en waterplanten gaan groeien, gebruiken ze deze nutriënten en wordt het water dientengevolge armer. Het vergelijken van Figuur 17, Figuur 18 en Figuur 19 maakt duidelijk dat de totale hoeveelheid stikstof in de waterkolom van de maanden april tot augustus voornamelijk uit nitraat en nitriet bestaat, terwijl het in de maanden oktober en november voornamelijk uit ammonium bestaat. De detectielimiet voor stikstof in de uitgevoerde analyses is 0.1 mg N l-1.



Figuur 19 Totale hoeveelheid stikstof (mg N/L) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapolerd.

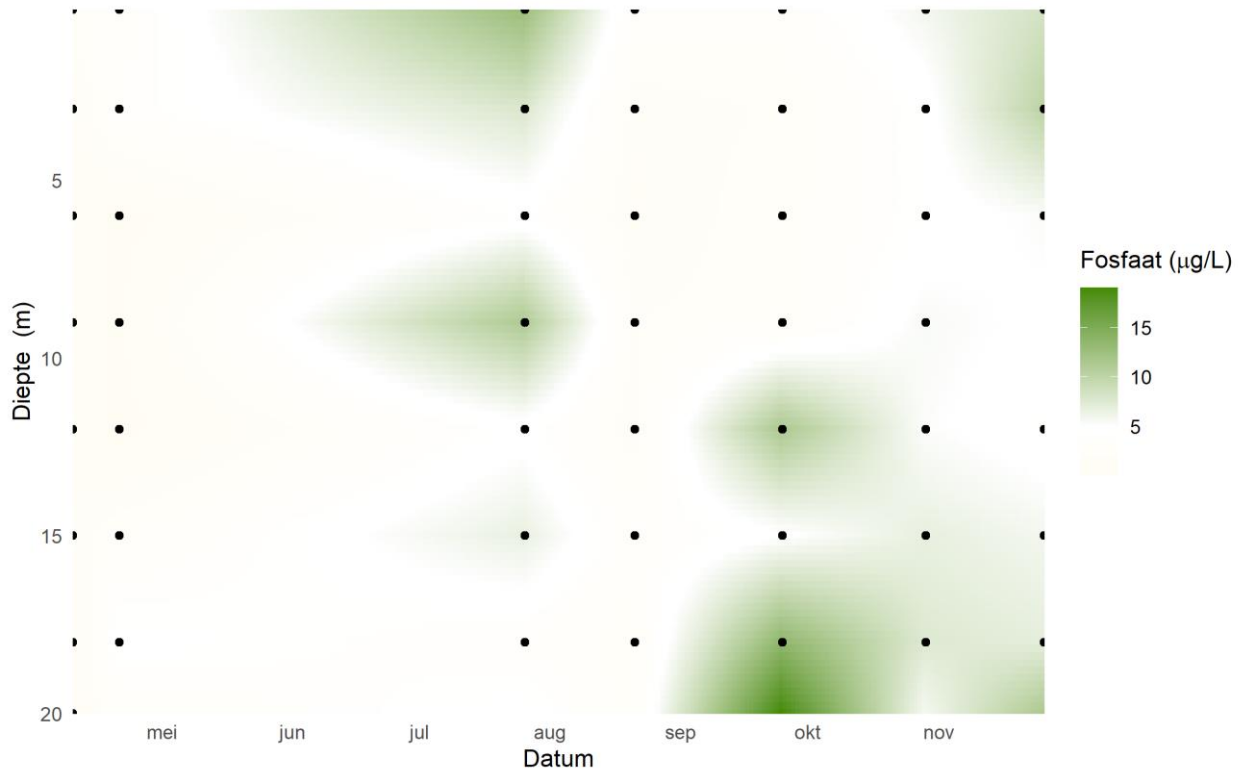
Alle stikstofhoudende verbindingen worden eenmaal per jaar in april ook gemeten door het waterschap. In de loop van de tijd zijn de pieken van de Kjeldahl-stikstof (alle organische stikstofverbindingen – inclusief het stikstof opgeslagen in algen - plus ammonium en ammoniak) wat hoger geworden, hoewel er geen duidelijke stijgende trend zichtbaar is (Figuur 20). Omdat de totale hoeveelheid stikstof in het water voornamelijk uit de Kjeldahl-verbindingen bestaat, volgt de totale hoeveelheid stikstof (Ntot) de Kjeldahl-lijn op de voet. Dit betekent dat bijna alle stikstof in het water deel uitmaakt van organische verbindingen. De totale stikstofconcentratie verandert nauwelijks in de tijd, wat aangeeft dat het water niet voedselrijker wordt. Van 1990 tot 2012 liggen bijna alle nitraatwaarden (NO₃) op of onder de detectielimiet van 0,1 mg/l. De meting in 1998 vormt hier de uitzondering op, met een nitraatconcentratie van 0,2 mg/l. Vanaf 2013 is de detectielimiet verschoven naar 0,05 mg/l en vanaf dat moment liggen de meetwaarden voor nitraat op of net boven die waarde. De totale stikstofconcentraties liggen gemiddeld rond 0,5 mg/l.



Figuur 20 Stikstof (mg/L), zoals gemeten door het waterschap.

3.5.4 Fosfaat

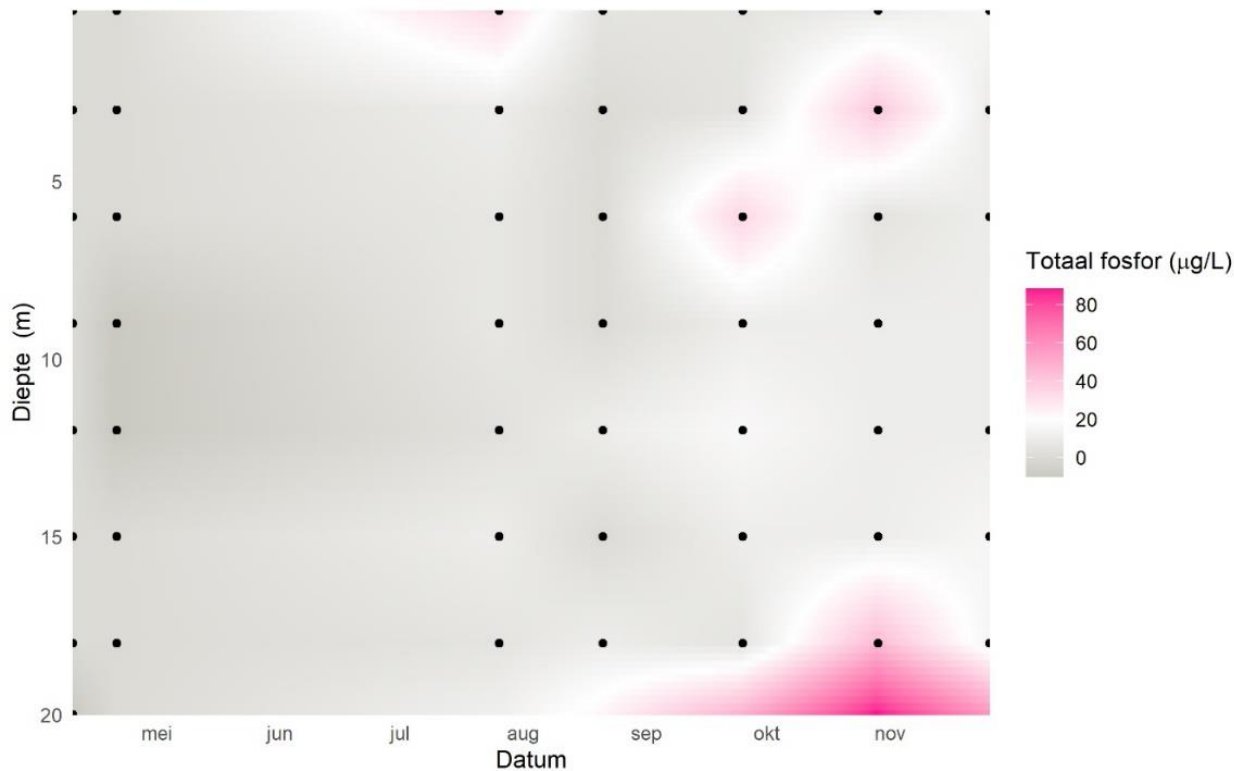
De fosfaatconcentratie blijft durende het gehele jaar laag (Figuur 21, let op de eenheid ($\mu\text{g/L}$)). Er is hierbij echter geen duidelijke koppeling te maken met het einde van de stratificatie van de waterlagen omdat de hogere waterconcentraties net in andere periodes gemeten worden. De detectielimiet voor ortho-fosfaat is $40 \mu\text{g P l-1}$.



Figuur 21 Hoeveelheid fosfaat ($\mu\text{g-P/L}$) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapoleerd.

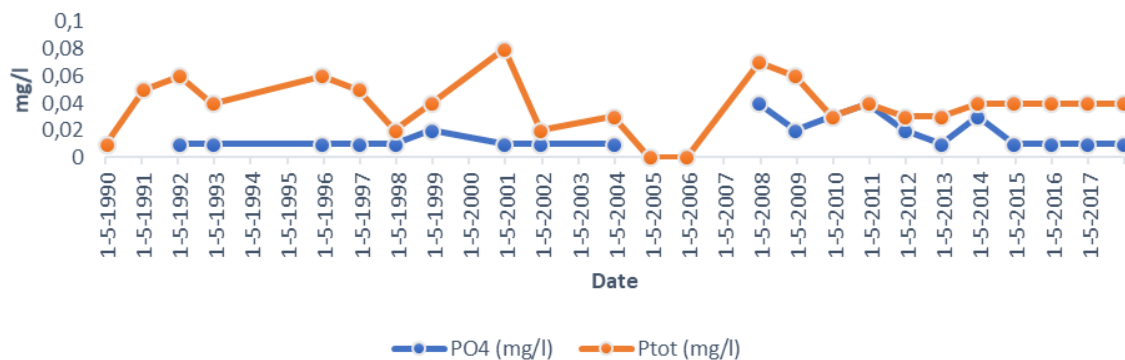
3.5.5 Totaal fosfor

De totale hoeveelheid fosfor komt over de gehele waterlaag en de gehele periode niet boven de $80 \mu\text{g/L}$ uit (Figuur 22). De concentratie over de waterlaag is vrij stabiel. Alleen in het najaar worden er wat hogere concentraties in de onderste waterlaag gevonden (12-20 meter), wat hoogstwaarschijnlijk komt door een opwerveling van sediment gedurende het mengen van de verschillende waterlagen of door nalevering uit het sediment onder zuurstofloze omstandigheden. De detectielimiet is $40 \mu\text{g P L-1}$. De totale nutriëntenbalans is verder uitgewerkt in sectie 3.7.2.



Figuur 22 Totale hoeveelheid fosfor ($\mu\text{g/L}$) over de diepte van het Bronsbergenmeer gedurende april - november 2019. De zwarte punten geven de daadwerkelijke metingen weer. Alles daartussen is geëxtrapoleerd.

Net als stikstof wordt fosfor één keer per jaar in april gemeten door het waterschap. De fosfaatconcentratie lijkt in de loop van de tijd niet toe te nemen (Figuur 23). Merk op dat de detectiegrens voor fosfaat in het overgrote deel van de meetreeks 0,01 mg/l is, dus de waarden voor veel metingen kunnen zelfs nog lager zijn.



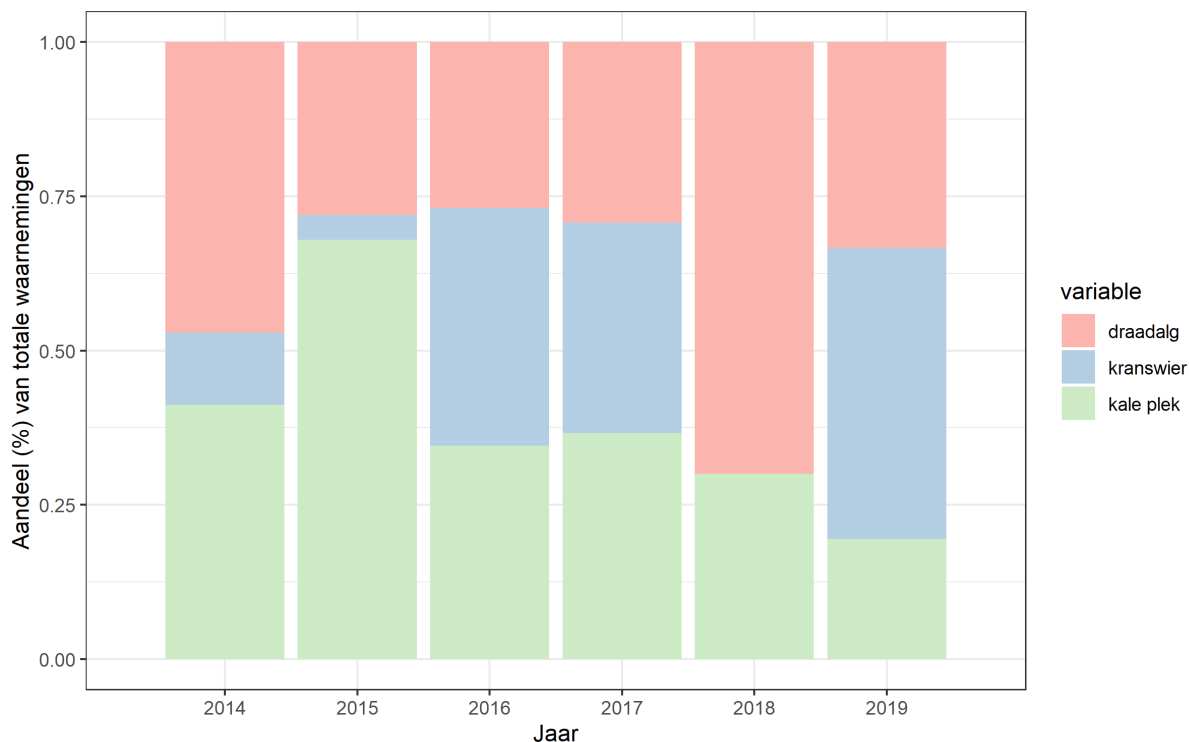
Figuur 23 De totale concentratie fosfor (Ptot, mg/L) en de concentratie fosfaat (PO4mg/L).

De gegevens voor de totale hoeveelheid fosfor van het waterschap sluiten goed aan bij onze eigen metingen van nutriëntenconcentraties.

3.6 Biologische parameters

3.6.1 Waterplanten

De trend in waterplanten is gemonitord via de fotocollectie van Dhr. van Gemert. Hierbij is gebruik gemaakt van beelden die gemaakt zijn tijdens de verschillende duiken van dat jaar. Hierbij moet opgemerkt worden dat niet alle delen van de plas evenredig bezocht zijn en dat de duikdiepte natuurlijk van grote invloed geweest is op het aantal waterplanten wat op de foto's teruggevonden kon worden. Hierdoor moet het onderstaande resultaat meer als een indicatie van de waterplantenbedekking gezien worden (Figuur 24).



Figuur 24 Het relatieve aandeel draadalg, kranwier en kale plek over de jaren 2014 – 2019.

Interessant is dat de plas veel kranwieren (*Chara* sp.) bevat. Deze planten zijn dominant in een groot deel van de plas. Hoewel er enige fluctuatie is tussen de dominantie van kranwier en draadalg, neemt de laatste in 2019 af tot het laagste bedekkingspercentage uit de meetreeks. Ook is de hoeveelheid kaal zand waargenomen in 2019 lager dan in het jaar er voor en is de hoeveelheid kranwier het hoogst.

Tevens, is er ook een duiksessie gefocussed op waterplanten georganiseerd onder leiding van John Bruinsma (Plantensociologische Kring Nederland – PKN). Deze duiksessie vond plaats op 18 juni 2020, waarbij zes duikers in drie teams drie lokaties van de plas verkende. De grootste variatie aan soorten staat vóór het recreatie-terrein. Langs de zuidoever is de bedekking hoger, met één soort – *Nitellopsis obtusa* – dominantier dan elders. Langs de noordoever eindigt de vegetatie in de diepte met een losse begroeiing van algen. De onderste macrofytengrenzen (OMG) van Bronsbergen-Noord ligt ongeveer op 6,5 m. Tijdens de duik welke op drie verschillende plekken werd uitgevoerd, was de totale waterplantenbedekking binnen die diepte ongeveer 50%.

Het gemiddeld aantal soorten voor een plas als Bronsbergermeer in de Database Diep water is doorgaans 8,3. Tijdens de inventarisatie bleek dat Bronsbergen-noord met 20 soorten waterplanten een zeer hoog aantal planten herbergt (Tabel 5). Dit maakt het Bronsbergenmeer een zeer waardevolle lokatie en geeft aan dat de omstandigheden in de plas (waterkwaliteit en lichtregime) van zeer goede kwaliteit zijn om een dergelijke diversiteit te kunnen ondersteunen.



Figuur 25 Impressie van de waterplantenvegetaties in het Bronsbergermeer. Van boven naar onder: rij 1 – waterpest (*Elodea nuttallii*) en draadalg. Rij 2 – Kranswieren (*Chara* sp.), aarvederkruid (*Myriophyllum* sp.) en waterarranokel (*Ranunculus* sp.). Foto's: Patrick van Gemert (Zutphens Persbureau) ©.

Tabel 5 Een overzicht van plantensoorten gevonden tijdens de inventarisatie van juni 2020. Voor iedere soort is aangegeven hoeveel individuen er gevonden werden en op welke diepte.

Latijnse naam	Nederlandse naam	0-2m	2-5m	5-6,5m
<i>Alisma</i> species	Waterweegbree (G)	1	1	-
<i>Chara aspera</i>		3	-	-
<i>Chara</i> cf. <i>connivens</i>	Gebogen kransblad	6	6	1
<i>Chara contraria</i> v. <i>contraria</i>		4	4	4
<i>Chara globularis</i> v. <i>globularis</i>		1	-	-
<i>Chara vulgaris</i> v. <i>longibracteata</i>	Gewoon kransblad	2	2	-
<i>Chara vulgaris</i> v. <i>vulgaris</i>		6	2	-
<i>Drepanocladus</i> species	Sikkelmos p.p. (G)	-	1	-
<i>Elodea nuttallii</i>	Smalle waterpest	4	2	1
<i>Lycopus europaeus</i>	Wolfspoot	1	-	-
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Aarvederkruid	4	2	-
<i>Nitella opaca</i>	Donker glanswier	-	2	2
<i>Nitellopsis obtusa</i>	Sterkranswier	2	6	-
<i>Potamogeton berchtoldii</i>	Klein fonteinkruid	2	2	2
<i>Potamogeton crispus</i>	Gekroesd fonteinkruid	1	1	1
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Schedefonteinkruid	3	6	-
<i>Potamogeton pusillus</i>	Tenger fonteinkruid	2	4	2
<i>Ranunculus circinatus</i>	Stijve waterarranokel	1	1	-
<i>Zannichellia palustris</i> s. <i>palustris</i>	Zittende zannichellia	2	-	-
<i>Zygmales</i> species	Draadwier	2	2	-

3.6.2 Snoek en algemeen visbestand

Algemeen visbestand

Het Bronsbergermeer is een water dat gekarakteriseerd wordt als een 'oligotroof (voedselarm) diep water', wat voor een visbestandstypering zou vallen onder het 'baars-blankvoorn' viswatertype. Als gevolg van de voedselarme omstandigheden is de draagkracht voor vis van het baars-blankvoornviswatertype gering, maar 10 tot 100 kg per hectare. De baars en de blankvoorn zijn twee kenmerkende vissoorten uit deze visgemeenschap en andere, begeleidende vissoorten zijn de kleine modderkruiper, de bittervoorn, de riviergrondel, het vetje, de driedoornige- en de tiendoornige stekelbaars.

Op basis van de duiken uitgevoerd in 2019 en 2020 en de fotocollectie van Dhr. van Gemert zijn baars, blankvoorn en stekelbaars aangetroffen en lijkt de visgemeenschap in het Bronsbergermeer daarmee dus enigszins arm. Het kan zeker interessant zijn om een nadere inventarisatie van het visbestand te doen om na te gaan wat er nog meer aan vis aanwezig is in de plas. Van de aan dit viswatertype geassocieerde vissen is de Kleine modderkruiper doorgaans goed tijdens nachtduiken waar te nemen, terwijl de andere vissen gedurende de dag zichtbaar zijn.



Figuur 26 Foto impressie van het visbestand in het Bronsbergermeer. Van boven naar beneden: rij 1 - De exoten van het meer: drie koikarpers die al jaren in het meer verblijven en een sterlet. Rij 2 – Koppel volwassen baarzen en jonge baarsjes. Rij 3 – snoek en jonge snoek in de dekking. Foto's: Patrick van Gemert (Zutphens Persbureau)®.

Snoek (*Esox lucius*)

De snoek (*Esox lucius*) is weliswaar een imposante vis om onder water tegen te komen, maar is geen soort gerelateerd aan het watertype in het Bronsbergermeer. Dit is al een eerste indicatie dat deze soort het niet gemakkelijk zal hebben in een dergelijke plas mede omdat de draagkracht van deze systemen laag is om dergelijke toppredatoren te onderhouden. Het water in het Bronsbergermeer is voedselarm en hierdoor groeit er weinig prooivis zoals blankvoorn op. Hierdoor is het voedselaanbod voor snoek beperkt en is een hoge snoekdichtheid niet te verwachten in deze plas.

Naast voldoende voedsel heeft snoek ook beschutting van waterplanten nodig. De vissen paaien in het voorjaar tussen de vegetatie en zetten daar de eiren af. De jonge snoeken leven voornamelijk tussen de planten (dekking tegen predatie) en eten eerst allerlei macrofauna (ongewervelde waterbestjes) en schakelen bij een lengte van ongeveer 10 cm over op een dieet van vis. Snoek is hierbij enorm kannibalistisch en veel jonge snoeken vallen ten prooi aan hun eigen broers, zussen of zelfs ouders.

De door de duikers geconstateerde afname in jonge snoek kan meerdere oorzaken hebben. Doordat de vegetatie door kranswieren gedomineerd wordt, is deze minder hoog. In het verleden stond er meer waterpest (*Elodea nuttallii*) wat een hogere plant is en dientengevolge dus meer dekking geeft.

Hoewel kranswier duidelijk bij dit watertype hoort, is het mogelijk dat hierdoor minder paaigelegenheden en minder dekking voor de snoek ontstaan is. Dit kan deels gecompenseerd worden door de toenemende bedekking met waterplanten van de plas, maar anders kan voor het stimuleren van het afpaaien van de snoek ook van kunstmatige constructies gebruik gemaakt worden.

3.7 PC – Lake model

3.7.1 Water balans

Aangezien er een groot verschil zit in de gemiddelde afstand tussen de IJssel en het Bronsbergenmeer, hebben we het gebied opgesplitst in twee (rood en groen, Figuur 27).



Figuur 27 Overzichtskartaal van het gebied tussen de IJssel en het Bronsbergenmeer. Het gebied is opgesplitst in twee gebieden (rood en groen), afhankelijk van de gemiddelde afstand tussen de twee waterlichamen.

De verschillende parameters en berekeningen die nodig zijn om de grondwater instroom te bepalen met behulp van de Wet van Darcy zijn samengevat in Tabel 6. De berekening van het debiet staat in dezelfde tabel, en komt uiteindelijk uit op 12.6 mm/jaar. Het debiet is nodig als input variabele voor het PCLake meta model.

Tabel 6 Overzicht van parameterwaarden gebruikt voor het berekenen van het totale debiet in m³/jaar, met een verwijzing naar de bron waar deze waarden uit afgeleid zijn zijn.

Parameter	Waarde	Eenheid	Opmerkingen en referentie(s)
Doorlatendheidscoëfficiënt (k)	10	m/dag	Volgens het DinoLoket (https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens) bestaat het grondprofiel van het Bronsbergenmeer uit matig fijn zand, zwak slibhoudend. De k-waarde correspondeert met dit type grond volgens Tabel 2.5 uit (Bot, 2011).
Dikte freatische pakket (f)	5	m	https://www.wrij.nl/statisch/berkel/kopie-waterkwaliteit/zwemwater/
Afstand tussen de IJssel en het Bronsbergenmeer (a)	Rood - 1200; Groen - 320	m	De afstand tussen de IJssel en het Bronsbergenmeer verschilt voor het rode en het groene gebied in Figuur 27 Bepaald met behulp van Google Maps.
Frontale oppervlakte (A)	Rood - 6000; Groen - 1600	m ²	$A = f * a$
Vershil in waterniveau van de IJssel en het Bronsbergenmeer (dh)	Zomer - 1; Winter - 0.7	m	Het verschil in waterniveau van de IJssel en het Bronsbergenmeer varieert in de zomer en de winter.
Afstand die het water af moet leggen vanaf de IJssel naar het Bronsbergenmeer (dL)	Rood - 900; Groen - 500	m	De afstand tussen de IJssel en het Bronsbergenmeer verschilt voor het rode en het groene gebied in Figuur 27. Bepaald met behulp van Google Maps
Dagen waarop het waterpeil van de IJssel hoger is dan het waterpeil van het Bronsbergenmeer	Zomer - 10; Winter - 6	dagen	
Q _{zomer}	890.7	m ³ /zomer	$Q_{zomer} = k * A_{rood} * \frac{dh_{zomer}}{dL_{rood}} + k * A_{groen} * \frac{dh_{zomer}}{dL_{groen}}$
Q _{winter}	534.4	m ³ /winter	$Q_{winter} = k * A_{rood} * \frac{dh_{winter}}{dL_{rood}} + k * A_{groen} * \frac{dh_{winter}}{dL_{groen}}$
Q _{totaal}	1425.5	m ³ /jaar	$Q_{totaal} = Q_{zomer} + Q_{winter}$
Oppervlakte Bronsbergenmeer (opp)	113 e ³	m ²	
Q _{totaal}	12.6	mm/jaar	$\frac{Q_{totaal}}{opp} * 1000$

Tabel 7 geeft een overzicht van de andere in- en uitstromende factoren die gezamenlijk de waterbalans opmaken. De uiteindelijke waterbalans komt uit op 100 mm/jaar. De waterbalans is nodig als input variabele voor het PCLake meta model. In de waterbalans van Het Bronsbergenmeer is neerslag de grootste bron van inkomend water. Verdamping is de grootste bron van uitgaand water.

Tabel 7 Overzicht van parameterwaarden gebruikt voor het berekenen van de waterbalans, met een verwijzing naar de bron waar deze waarden uit afgeleid zijn zijn.

Parameter	Waarde in mm/jaar (+ = in; - = uit)	Opmerkingen en referentie(s)
Neerslag	823 (+)	https://www.wrij.nl/statisch/baakse-beek/kopie-2/waterverdeling/
Instroom oppervlaktewater	-	
Instroom grondwater	12.6 (+)	Tabel 6
Opp. strand en weides (O)		450.000 m ² , Waterschap Rijn en IJssel 2015
Infiltratie capaciteit (I)		0.05 m/dag (Bot, 2011)
Dagen > infiltratie capaciteit (D)		6 dagen, KNMI
Regen > infiltratie capaciteit (R)		0.005 m/dag > infiltratie capaciteit
Oppervlakte Bronsbergenmeer (opp)		113 e ³ m ²
Inspoeling regenwater	11.9 (+)	$\frac{U * R * O}{...}$
Verdamping	564 (-)	https://www.wrij.nl/statisch/baakse-beek/kopie-2/waterverdeling/
Uitstroom oppervlaktewater	201 (-)	
Uitstroom van grondwater	-	Is verwaarloosbaar ten opzichte van de hoeveelheid grondwater die binnenkomt
Waterbalans (ΔS)	100	Dit is gebaseerd op een aanname, omdat berekening niet mogelijk was vanwege de aanwezigheid van een duiker ¹

1 Niet een duiker die zwemt, maar de duiker die het overschot aan water afvoert.

3.7.2 Nutrienten balans

De nutrientenbalans laat zien dat er elk jaar 3.82 g N/m² en 0.042 g P/m² het Bronsbergenmeer binnenkomt (Tabel 8). Voor stikstof is verreweg de grootste bron atmosferische depositie. Helaas zijn door enkele technische problemen in het laboratorium tijdens het uitvoeren van het experiment de resultaten van het sediment release experiment onbetrouwbaar bevonden, en mist deze factor in de uiteindelijke berekening. Nalevering uit het sediment kan aanzienlijk zijn, waardoor de huidige nutrientenbalans een onderschatting kan zijn van de daadwerkelijke situatie.

Tabel 8 Nutrientenbalans van stikstof en fosfor in de duikplas.

	Input	Stikstof of fosfor (g/m ² /year)	Opmerkingen en referentie(s)
Stikstof	Q _{totaal}		1425100 L/jaar, Tabel 6
	Stikstof grondwater (N _{grond})		0.048 g/L, https://www.clo.nl/indicatoren/nl027109-nitraat-in-het-uitspoelend-water-onder-landbouwbedrijven
	Oppervlakte Bronsbergenmeer (opp)		113 e ³ m ² of 11.3 ha
	Grondwater	0.6	$\frac{Q_{totaal} * N_{grond}}{opp}$
	Atmosferische depositie N (A _N)		2250 mol/ha, https://www.clo.nl/indicatoren/nl0189-stikstofdepositie
	Moleculaire massa N (MW _N)		14 g/mol, https://nl.wikipedia.org/wiki/Stikstof_(element)
	Atmosferische depositie	3.1	$\frac{A_w * MW_N}{10000}$
	Sediment release	-	Sediment-release experiment, zie paragraaf 3.4.2.
	N uitstoot per recreant (R _N)		0.94 g/recreant/dag
	Aantal recreanten per jaar (n)		50.000 zwemmers en 500 duikers
	Stroomgebied (recreatie/divers)	0.42	$\frac{R_N * n}{opp}$
	Totale input stikstof	3.82	
	Fosfor	Fosfor grondwater (P _{grond})	
Grondwater		0.9 ^{e-3}	$\frac{Q_{totaal} * P_{grond}}{opp}$
Atmosferische depositie		-	Bestaat niet
Sediment release		-	Sediment-release experiment, zie paragraaf 3.4.2.
P uitstoot per recreant (R _P)			0.094 g/recreant/dag
Stroomgebied (recreatie/divers)		0.042	$\frac{R_N * n}{opp}$
Totale input fosfor		0.042	

3.7.3 Het PC-lake meta model

Het resultaat van het PClake meta model is te zien in Tabel 9. Onze huidige nutriëntenbalans (Tabel 8) laat zien dat de fosfor-lading aanzienlijk lager is dan de waarde waarbij een transitie van helder naar troebel te verwachten is volgens het PClake model.

Tabel 9 Output PClake meta model.

Status	Waarde
Helder naar troebel	0.06 g P/m ² /jaar ¹
Troebel naar helder	0.02 g/m ² /jaar
Verblijftijd	1000 dagen

¹ Dit is de kritische drempelwaarde voor een ondiep meer. Gezien de afmetingen van het Bronsbergermeer is de drempelwaarde van 0.04 of zelfs 0.01 mg Ptot/L voor diepe plassen wellicht reëler om te gebruiken.

4 Discussie

4.1 Algemeen

In het vorige hoofdstuk zijn de resultaten van een aantal parameters aan bod gekomen. Voor sommige van deze parameters, zoals het chlorofyl-a gehalte of het totaal-fosfor gehalte, zijn op landelijk niveau normen vastgesteld waaraan wateren moeten voldoen, zo ook voor het Bronsbergermeer. In de volgende paragraaf komt de huidige normering, volgens de Vierde Nota Waterhuishouding, aan bod waar het Bronsbergermeer aan zou moeten voldoen.

Naast de normen waaraan wateren op dit moment of vrij recent aan moeten voldoen, zijn er streefwaarden opgesteld waaraan wateren in de toekomst moeten voldoen. Om uitvoering van het beleid te vergemakkelijken zijn er natuurdoeltypen opgesteld. De (aquatische) natuurdoeltypen geven richting aan het streefbeeld voor de veldsituatie. Een dergelijke bepaling van het 'type' water kan belangrijk zijn bij eventuele toekomstige beleid- en beheervorming.

4.2 Toetsing aan normen en streefwaarden

De totale stikstofconcentraties liggen gemiddeld rond 0,7 mg/L wat onder de streefwaarde van 1 mg/L uit de Vierde Nota Waterhuishouding ligt. Dit zou worden aangemerkt als 'goed' voor dit type meer (middelgrote diepe meren, M20).

De gemiddelde totale hoeveelheid fosfor bedraagt ongeveer 0,08 mg/L (80 µg/L). Dit is hoger dan de landelijke streefwaarde van 0.05 mg/L en klassificeerd daarmee als matige ecologische toestand (STOWA, 2007). Op basis van de waterschapsgegevens is het Bronsbergenmeer een oligotroof (voedselarm) meer en is er geen duidelijke trend dat het meer eutroof (voedselrijker) wordt.

4.3 Nutriënten

Er zijn verschillende parameters waaruit de voedselrijkdom van een water kan worden afgeleid.

Hieronder zullen verschillende abiotische parameters een voor een besproken worden. Aangezien de relatief korte periode van het nutriëntonderzoek vormen deze resultaten slechts een indicatie van de werkelijke situatie.

De plas wordt gekenmerkt door een minerale tot matig organische zand- of kleibodem.

In het algemeen geldt dat water in dit soort plassen helder is. Aan de hand van het chlorofyl-a gehalte kan gezegd worden hoe voedselrijk een plas is. Meren met een chlorofyl-a gehalte tussen de 0,3-4,5 worden als oligotroof (voedselarm) gekarakteriseerd en meren met een chlorofyl-a gehalte tussen de 3-11 µg l⁻¹ als mesotroof (matig voedselrijk) (Wetzel, 2001). Aan de hand van deze indeling is volgens Wetzel is de duikplas Bronsbergermeer te karakteriseren als een overwegend oligotrofe plas.

Epilimnion

De nutriëntenconcentraties in het epilimnion zijn over het algemeen lager dan in het hypolimnion. Nutriëntenconcentraties zijn alleen bekend van de periode februari tot november 2019 en juni 2020. In het epilimnion is de ammoniumconcentratie < 0,04 mg N l⁻¹, de totale stikstofconcentratie is < 0,6 mg N/L en de fosfaatconcentratie is gemiddeld 0.01 mg P/L. De zuurstofverzadiging ligt tussen de 8.5 en 13.3 mg/L. Het totaal P gehalte van het epilimnion ligt in het voorjaar (voor stratificatie) onder de grenswaarde van 0,04 mg/l. Dit geeft aan dat de P belasting van deze plas niet te hoog is en dat er dus een lage kans is op

schadelijke algenbloeien. Dit komt overeen met de observatie dat er geen blauwalgbloeien voorkomen in het bronsbergermeer en de observatie dat er een soortenrijke vegetatie inclusief kranswieren aanwezig is.

Hypolimnion

In het hypolimnion, met name in de onderste paar meters, verschilt de situatie van het epilimnion. Zo is het gehalte aan zwevende stof er hoger en komen er hogere concentraties ammonium voor. De gemiddelde concentratie ammonium onderin de plas (18 – 21m diep) is 0.13 mg N l⁻¹ wat onder de landelijke streefwaarde voor oppervlakte water ligt (Vierde Nota waterhuishouding). De nitraatconcentratie is gemiddeld < 0,35 mg N l⁻¹ en de concentratie totaal fosfaat is < 0,03 mg P l⁻¹. Op een diepte van ongeveer 10 meter is de zuurstofverzadiging minder dan 100%. Dit geeft aan dat er op diepten van meer dan 10 meter sprake is van een netto zuurstofverbruik. Wanneer het meer gestratificeerd is, duiden de toestandsvariabelen in het hypolimnion op een karakterisering als een gemeenschap grote, diepe zwak gebufferde wingaten (Jaarsma en Verdonschot, 2000). Uit de karakterisering met behulp van de verschillende abiotische parameters zoals beschreven door Jaarsma & Verdonschot (2000), lijkt de duikplas zich te laten typeren als zijnde tussen een "groot, diep zwakgebufferd" en een "groot, diep oligo-mesotroof matig tot sterk gebufferd wingat". Hoewel in onze metingen de plas karakteristieken van beide heeft, laten additionele metingen van het waterschap zien dat het meer toch meer neigt naar een sterk gebufferd systeem. Dit omdat het bronsbergermeer een alkaliniteit heeft van ca 3 meq/l en een HCO₃ concentratie bevat van rond de 180 mg/l (Metingen waterschap).

Verder bleek uit het hydrocopter experiment dat sediment op 15 meter diepte makkelijker in suspensie komt dan sediment dan 8 op meter diepte. Dit heeft ongetwijfeld te maken met het feit dat het fijne materiaal naar het diepste punt van de plas zinkt. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit diepe monster niet op het diepste deel van de plas gestoken is, wat een indicatie is dat het sediment op 18 en 20 meter diepte nog fijner kan zijn. Fijn materiaal komt nu eenmaal makkelijker in suspensie dan grof materiaal en over het algemeen overschrijden duikers de kritische stroomsnelheid, zodat ze kunnen bijdragen aan resuspensie van zwevend materiaal in het diepe deel van de plas.

4.4 Bronsbergenmeer, het ecosysteem

Het ecosysteem van het Bronsbergermeer verkeert in een goede toestand. De gemeten nutriëntengehaltes zijn laag. Zo is in het voorjaar de het totaal fosfaat onder 0,04 mg/l (STOWA, 2010) en geven de Chlorofyl-a aan dat er weinig algen en al helemaal geen overduidelijke blauwalg aanwezig zijn. Hierdoor is er een goed doorzicht en heeft er zich een waardevolle soortenrijke onderwatervegetatie ontwikkeld. Door de lage productiviteit van het systeem is er wel een lage dichtheid van vis, maar dit hoort bij de kenmerken van een dergelijke plas. Hierbij moet worden opgemerkt dat het zuurstofloos (anoxisch) worden van de onderste waterlaag van de plas in de zomer een punt van aandacht is. Er is blijkbaar veel organisch materiaal op de waterbodem aanwezig waarvan het afbraakproces in die periode veel zuurstof vraagt, wat door de stratificatie niet meer wordt aangevuld. Mocht de hoeveelheid organisch materiaal toenemen dan kan de anoxische zone mogelijk groter worden en het gehele hypolimnion gaan bestrijken. Dit kan op termijn een ecologisch probleem gaan vormen.

De Nederlandse wateren zijn onderverdeeld in zogenaamde natuurdoeltypen, welke gelden als een centrale terminologie voor het natuurbeleid (Bal et al., 2001). Elk watertype beschrijft in principe de natuurlijke ecologische situatie van (een deel van) een watersysteem (Jaarsma en Verdonschot, 2000). Met behulp van deze typering kunnen toetsbare doelstellingen voor gebieden geformuleerd worden (Bal et al., 2001) en bijvoorbeeld een beheersplan worden opgesteld.

Hierbij is het goed om te weten dat de meeste diepe plassen in Nederland zijn ontstaan door ingrepen van de mens waardoor deze afwijken van andere diepe wateren in Europa (denk hierbij aan bijvoorbeeld kratermeren in de Eiffel). Dit betekent dat wanneer wordt gekeken naar de waterkwaliteit, het lastig is om oorspronkelijke referentiewaarden te definiëren. Daarom heeft het in deze gevallen de voorkeur om te spreken van een ecologisch optimale situatie: een situatie waarin zo weinig mogelijk beïnvloeding van de

mens aanwezig is en de soortensamenstelling een afspiegeling is van een gezonde leefomgeving (Jaarsma en Verdonschot, 2000).

Het gemiddeld aantal soorten waterplanten voor een plas als Bronsbergermeer in de Database Diep water is doorgaans 8,3. Tijdens de inventarisatie bleek dat Bronsbergen-noord met 20 soorten waterplanten een zeer hoog aantal planten herbergt. Dit maakt het Bronsbergenmeer een zeer waardevolle lokatie en geeft aan dat de omstandigheden in de plas (waterkwaliteit en lichtregime) van zeer goede kwaliteit zijn om een dergelijke diversiteit te kunnen ondersteunen.

Het Bronsbergermeer is een water dat gekarakteriseerd wordt als een 'oligotroof (voedselarm) diep water', wat voor een visbestandstypering zou vallen onder het 'baars-blankvoorn' viswatertype. Als gevolg van de voedselarme omstandigheden is de draagkracht voor vis van het baars-blankvoornviswatertype gering, maar 10 tot 100 kg per hectare. De baars en de blankvoorn zijn twee kenmerkende vissoorten uit deze visgemeenschap en andere, begeleidende vissoorten zijn de kleine modderkruiper, de bittervoorn, de riviergrondel, het vetje, de driedoornige- en de tiendoornige stekelbaars. Op basis van de inventarisatie van het Bronsbergermeer zijn baars, blankvoorn en stekelbaars aangetroffen en lijkt de visgemeenschap in het Bronsbergermeer daarmee dus enigszins arm.



Foto: Patrick van Gemert (Zutphens Persbureau)®.



5 Conclusies

Op basis van de zorgen die Stichting Onderwaterwereld Zutphen en Omstreken (OWWZ) heeft neergelegd, is dit onderzoek uitgevoerd. Hierin heeft de focus gelegen op de door de OWWZ ervaren negatieve veranderingen in het onderwaterleven en de abiotiek van de plas dit is verder toegespitst op: het onderwater doorzicht, het bestand van ondergedoken waterplanten en de hoeveelheid jonge snoek.

Op basis van de gemeten nutriëntengehaltes en onderwatervegetatie is het Bronsbergermeer een water dat gekarakteriseerd wordt als een 'oligotroof (voedselarm) diep water', wat voor een visbestandstypering zou vallen onder het 'baars-blankvoorn' viswatertype. Dit is al een eerste indicatie dat snoek het niet gemakkelijk heeft in een dergelijke plas mede omdat de draagkracht van deze systemen laag is om dergelijke toppredatoren te onderhouden

Eventuele veranderingen in doorzicht konden niet worden geverifieerd in dit onderzoek, maar het is zeer goed mogelijk dat hier een link met de duikactiviteiten in plas bestaat. Meer duikers in het water, zou kunnen betekenen dat er meer opwoeling en daarmee mee troebelheid ontstaat.

Echter zelfs bij gelijkblijvende duikdruk kan het zijn dat de andere oorzaken een verhoogde troebelheid in de hand werkt. De afgelopen jaren is de waterplantenvegetatie namelijk niet afgenomen, maar veranderd van waterpest (*Elodea nuttallii*) naar kranswier (*Chara* sp.). Omdat deze laatste plant veel lager blijft, kan dit visueel de indruk wekken dat er minder staan. Een kranswiervegetatie is eigenlijk de gewenste vegetatie voor een plas zoals het Bronsbergermeer en het is een zeer goed teken dat de plas zich verder naar zijn streefbeeld heeft ontwikkeld. Echter, omdat de kranswieren minder hoog de waterkolom in groeien, houden duikers die over de vegetatie zwemmen minder afstand tot het sediment. Daarmee wordt het veel makkelijker om onverhoopt het sediment te raken en op te wervelen dan wanneer er waterpest staat.

Tijdens de inventarisatie bleek dat Bronsbergen-Noord met 20 soorten waterplanten een zeer hoog aantal waterplanten herbergt. Dit maakt het Bronsbergenmeer een uitermate waardevolle lokatie en geeft aan dat de omstandigheden in de plas (waterkwaliteit en lichtregime) van zeer goede kwaliteit zijn om een dergelijke diversiteit te kunnen ondersteunen.

Hoewel het verkrijgen van een volledig beeld van de vispopulatie in het Bronsbergermeer niet binnen dit project paste, lijkt de visgemeenschap niet heel uitgebreid te zijn. Een vervolgactie om dit nader uit te zoeken is zeker zinvol. Helaas hoort de, door de duikers zo gewaardeerde snoek, niet thuis in dit watertype en is de toppredator hier eigenlijk de baars (*Perca fluviatilis*). Wat aangeeft dat de draagkracht van dit systeem onvoldoende is om een grote populatie snoeken te onderhouden. Nu de waterplantenvegetatie is verschoven naar de lagerblijvende kranswieren is er ook minder afpaai gelegenheid en dekking voor (jonge) snoek. Indien men toch enkele snoeken wil behouden voor de plas, zou men kunnen overwegen om enkele kunstmatige structuren ter beschutting op strategische plekken in de plas te plaatsen.

Het onderzoek heeft aangetoond dat het Bronsbergermeer een plas van hoge ecologische kwaliteit is met een uitzonderlijk rijke waterplantengemeenschap. Maar ook dat hier voorzichtig mee omgesprongen moet worden. Op dit moment gebruiken zwemmers en duikers de plas voor recreatieve doeleinden. Dit zijn activiteiten die goed bij de toestand van de plas passen omdat hiermee weinig overbelasting optreedt. Zwemmers zorgen überhaupt voor weinig belasting van het water en het aanwezig zijn van een duikplatform zorgt ervoor dat beginnende duikers kunnen oefenen zonder dat ze in hun onervarenheid op diepere delen van de plas het fijne sediment opwervelen. Het blijft voor de duikers wel een punt van aandacht dat alle onderwatervegetaties en het fijne sediment op grotere diepte zo min mogelijk verstoord worden. Dit zorgt ervoor dat het doorzicht in de plas zo helder en goed mogelijk blijft.

Andere recreatie-activiteiten passen niet goed bij het type water van het Bronsbergermeer en het bestaande gebruik ervan. Zo is er door de geringe draagkracht van het systeem weinig vis aanwezig welk interessant is voor sportvisserij. Om de hoge kwaliteit van het bronsbergermeer te behouden, is het zeker zaak de visgemeenschap niet aan te passen. Dit omdat de voor de meeste vissers aantrekkelijke vissen karperachtigen zijn. Karperachtigen woelen de bodem om bij het voedselzoeken waardoor het water troebel

wordt van het zwem=nd stof en er meer voedingsstoffen vrijkomen in het water. Ook worden deze vissen doorgaans naar vaste stekken gelokt door middel van het gebruik van zogenaamde 'boilies', lokvoer wat een enorme hoeveelheid voedingsstoffen in het water brengt waardoor er (blauw)algenbloei in de hand gewerkt wordt. Om over het fysiek 'aan de haak slaan' van een duiker nog maar niet te spreken.

Verder is gemotoriseerde waterrecreatie zoals het gebruik van boten uitgerust met buitenboordmotoren, jetski's, waterscooters en waterskiën is levensgevaarlijk indien er duikers en zwemmers actief zijn op het water.

Hoewel het een natuurlijke ontwikkeling is van een diepe plas om over de loop der jaren steeds meer organisch materiaal in te vangen en daarmee op den duur ondieper en voedselrijker te worden, is het zaak om de potentiële instroom van organisch materiaal en nutriënten waar mogelijk te beperken. Zo kan het inlaten van 'vreemd' water negatief uitwerken omdat dit extra voedingsstoffen met zich meebrengt wat weer tot extra algenbloei en neerdalend organisch materiaal (zwevende stof) kan leiden. Er mag ook zeker geen vreemd materiaal in de plas ingebracht (gedumpt) worden zoals door Rijkswaterstaat in het kader van 'verondiepen' in andere wateren gedaan is. De stoffen die uit, dit doorgaans slecht onderzochte materiaal, weglekken zijn in veel gevallen uitermate ongunstig voor het leven in en het algemeen functioneren van de ontvangende plas.

Een goede indicatie van de ecologische toestand van het Bronsbergermeer zijn de nutriëntengehaltes, de waterplantenvegetaties en de zuurstofgehalten in de onderste waterlaag gedurende de stratificatie in de zomer. Zolang de nutriëntengehaltes onder de gestelde drempelwaardes blijven is het meer nog in de gewenste voedselarme situatie. Indien de waterplantvegetaties veranderen is dit een duidelijk signaal van een ecologische omslag. Subtieler is een mogelijke verandering van het zuurstofgehalte in het hypolimnion gedurende de zomer. Indien er meer organisch op de bodem terecht komt, zal de afbraak hiervan meer zuurstof vergen en zal de anoxische zone groter worden (dichter naar de spronglaag kruipen). Dit kan zeer negatief zijn voor waterdieren die af en toe ook in de diepere delen van het meer moeten en/of willen komen. Indien een dergelijke ontwikkeling uit monitoring van het zuurstofgehalte naar voren komt, is het raadzaam om na te gaan of er sediment uit de diepste delen van het meer (waar het fijne organische materiaal zich ophoopt) verwijderd kan worden zodat dit proces gestopt wordt. Het over de jaren laten afglijden van het meer naar een voedselrijke, gedeeltelijk zuurstofloze situatie kan uiteindelijk leiden tot een situatie van zeer lage ecologische kwaliteit waar toxische blauwalgenbloei (als gevolg van het voedselrijker worden) en een toenemende kans op botulisme (als gevolg van het ondieper en zuurstofloos worden) kunnen optreden. Hoewel het verwijderen van sediment een interessant kostenplaatje kan opleveren, is het niet ingrijpen zeker ook niet zonder kosten. Om hierin goed onderbouwde keuzes te kunnen maken, kan een eerste stap zijn om een meer uitgebreide monitoring van het opgeloste zuurstofprofiel in het Bronsbergermeer op te starten.

Referenties

- Bal, D., H. Beije, M. Fellingner, R. Haveman, A. Opstal and F. J. Zadelhoff (2001). Handboek Natuurdoeltypen.
- Boehrer, B. and M. Schultze (2008). 'Stratification of lakes.' Reviews of Geophysics 46(2).
- Bot, B. (2011). Grondwaterzakboekje. Rotterdam, Bot Raadgevend Ingenieur.
- Brinkman, A. W., E. H. Lammens, J. G. K. Breteler and I. Tatrai (1994). 'Effects of benthivorous bream (*Abramis brama*) and carp (*Cyprinus carpio*) on sediment resuspension and concentrations of nutrients and chlorophyll a.' Freshwater biology 32(1): 113-121.
- Jaarsma, N. and P. F. M. Verdonchot (2000). Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 8, wingaten; achtergronddocument bij het 'Handboek Natuurdoeltypen in Nederland, EC-LNV.
- Janse, J. H., L. N. D. S. Domis, M. Scheffer, L. Lijklema, L. Van Liere, M. Klinge and W. M. Mooij (2008). 'Critical phosphorus loading of different types of shallow lakes and the consequences for management estimated with the ecosystem model PCLake.' Limnologica 38(3-4): 203-219.
- Kirk, J. T. (1994). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, Cambridge university press.
- Nijburg, J. W. and E. A. M. Verhoeven (1999). Effecten van stratificatie op de waterkwaliteit in ontgrondingsplassen: spookbeeld of te 'controleren' natuurverschijnsel? Boxtel, Adviesbureau De Meent.
- Scheffer, M. (1997). Ecology of shallow lakes, Springer Science & Business Media.
- Scheffer, M. (2004). The story of some shallow lakes. Ecology of shallow lakes, Springer: 1-19.
- STOWA (2007). Toelichting op ecologische doelen voor nutriënten in oppervlaktewateren, STOWA: 49.
- STOWA (2010). Een heldere kijk op diepe plassen. Amersfoort, STOWA: 174.
- Tromans, D. (1998). 'Temperature and pressure dependent solubility of oxygen in water: a thermodynamic analysis.' Hydrometallurgy 48(3): 327-342.
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology: lake and river ecosystems, gulf professional publishing.
- Weyhenmeyer, G. A. (1998). Resuspension in lakes and its ecological impact-a review. Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.
- Zambrano, L., J. Beijer, F. Roozen and M. Scheffer (2005). 'A method for measuring effects of bioturbation and consolidation on erosion resistance of aquatic sediments.' Archiv für Hydrobiologie 162(3): 327-337.

Bijlage 1

datum	Locatie	Diepte (m)	Total suspended material (mg/l)	Organic particles (mg/l)	Mineral Particles (mg/l)
26-7-2019	1	0.2	1.3	1.3	0
26-7-2019	1	3	2.2	2.2	0
26-7-2019	1	6	2.4	2.2	0.2
26-7-2019	1	9	1.8	1.8	0
26-7-2019	1	12	2.285714	2.3	0
26-7-2019	1	15	2.333333	2.3	0
26-7-2019	1	18	3.333333	3	0.333333
26-7-2019	1	21	7	6	1
26-7-2019	2	0.2	1.2	1.2	0
26-7-2019	2	3	0.8	0.8	0
26-7-2019	2	6	1.4	1.4	0
26-7-2019	2	9	1	1	0
26-7-2019	2	12	1.25	1.25	0
26-7-2019	2	15	2.333333	2.333333	0
26-7-2019	2	18	1.333333	1.333333	0
21-8-2019	1	0.2	1.8	1.8	0
21-8-2019	1	3	1.4	1.4	0
21-8-2019	1	6	1.6	1.6	0
21-8-2019	1	9	1.6	1.6	0
21-8-2019	1	12	0.5	0.5	0
21-8-2019	1	15	3.3	3.333333	0
21-8-2019	1	21	10.0	7	3
21-8-2019	2	0.2	0.2	0.2	0
21-8-2019	2	3	0.0	0	0
21-8-2019	2	6	0.8	0.8	0
21-8-2019	2	9	0.4	0.4	0
21-8-2019	2	12	0.0	0	0
21-8-2019	2	15	2.7	2.666667	0
21-8-2019	2	18	3.3	3.333333	0
26-9-2019	1	0.2	1	1	0
26-9-2019	1	3	1.769231	1.769231	0
26-9-2019	1	6	1	1	0
26-9-2019	1	9	2.923077	1.923077	1
26-9-2019	1	12	1.333333	1.333333	0
26-9-2019	1	15	1.75	1.666667	0.083333
26-9-2019	1	18	4	2.5	1.5
26-9-2019	1	21	6.4	2.6	3.8
26-9-2019	2	0.2	1	1	0
26-9-2019	2	3	1.230769	1	0.230769
26-9-2019	2	6	1.307692	1.307692	0
26-9-2019	2	9	0.923077	0.923077	0
26-9-2019	2	12	0.583333	0.583333	0
26-9-2019	2	15	1.5		10.5
26-9-2019	2	18	3.8	3.8	0
29-10-2019	1	-0.2	0.2	1.1	0.0
29-10-2019	1	-3	1.0	2.0	0.0
29-10-2019	1	-6	0.3	1.4	0.0
29-10-2019	1	-9	0.5	1.4	0.0
29-10-2019	1	-12	2.5	2.3	0.2
29-10-2019	1	-15	3.8	2.8	1.0
29-10-2019	1	-18	5.6	3.9	1.7

datum	Locatie	Diepte (m)	Total suspended material (mg/l)	Organic particles (mg/l)	Mineral Particles (mg/l)
29-10-2019	1	-21	7.9	4.2	3.7
29-10-2019	2	-0.2	0.1	1.0	0.0
29-10-2019	2	-3	0.6	1.6	0.0
29-10-2019	2	-6	0.3	1.6	0.0
29-10-2019	2	-9	0.2	1.3	0.0
29-10-2019	2	-12	0.3	1.3	0.0
29-10-2019	2	-15	2.5	2.1	0.4
29-10-2019	2	-18	2.9	2.1	0.7
26-11-2019	1	-0.2	0.8	1.1	0.0
26-11-2019	1	-3	1.7	1.4	0.3
26-11-2019	1	-6	1.6	1.4	0.2
26-11-2019	1	-9	1.2	1.2	0.0
26-11-2019	1	-12	0.9	0.9	0.0
26-11-2019	1	-15	0.9	0.9	0.0
26-11-2019	1	-18	6.0	2.9	3.1
26-11-2019	1	-21	8.6	3.9	4.7
26-11-2019	2	-0.2	0.8	1.1	0.0
26-11-2019	2	-3	0.9	1.2	0.0
26-11-2019	2	-6	0.8	1.2	0.0
26-11-2019	2	-9	0.9	1.0	0.0
26-11-2019	2	-12	1.0	1.0	0.1
26-11-2019	2	-15	1.2	1.0	0.2
26-11-2019	2	-18	9.0	2.8	6.1
10-4-2019	1	-0.2	1.2	0.8	0.4
10-4-2019	1	-3	2.0	1.6	0.4
10-4-2019	1	-6	0.9	0.4	0.5
10-4-2019	1	-9	1.6	1.0	0.5
10-4-2019	1	-12	1.7	1.2	0.5
10-4-2019	1	-15	1.6	0.8	0.8
10-4-2019	1	-18	2.2	1.2	1.1
10-4-2019	1	-20	4.1	0.8	3.3
29-4-2019	1	-0.2	0.9	0.6	0.3
29-4-2019	1	-3	1.6	1.1	0.5
29-4-2019	1	-6	1.2	0.7	0.5
29-4-2019	2	-0.2	1.0	0.6	0.4
29-4-2019	2	-3	1.2	0.8	0.3
29-4-2019	2	-6	1.7	1.1	0.6
29-4-2019	2	-9	1.7	0.9	0.7
29-4-2019	2	-12	1.1	0.9	0.3
29-4-2019	2	-15	1.4	1.0	0.5
29-4-2019	3	-3	1.1	0.7	0.4
29-4-2019	3	-6	0.9	0.6	0.2
29-4-2019	3	-9	1.3	0.9	0.5
29-4-2019	3	-12	1.8	1.4	0.3
29-4-2019	3	-15	1.6	0.9	0.6
29-4-2019	3	-18	1.3	0.9	0.4
29-4-2019	3	-21	1.7	0.8	0.9



Wageningen University & Research
Wetenschapswinkel
Postbus 9101
6700 HB Wageningen
T 0317 48 39 08
E wetenschapswinkel@wur.nl
wur.nl/wetenschapswinkel

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

