

Licht onder water

Pilot-onderzoek naar het doorzicht voor duikers in Recreatieplas
De Berendonck

Laurens Zaal

Rapport 184

Licht onder water

Pilot-onderzoek naar het doorzicht voor duikers in Recreatieplas De Berendonck



Laurens Zaal

Doctoraalonderzoek Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer

Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Wetenschapswinkel Wageningen UR

Rapport 184

Januari 2003

LICHT ONDER WATER

Pilot-onderzoek naar het doorzicht voor duikers in Recreatieplas De Berendonck

Rapportnummer 184

Laurens Zaal, januari 2003

Duikteam De Kaaiman
Clubhuis Dennenstraat:
Dennenstraat 17
6543 JN Nijmegen
024 - 377 2888
e-mail: info@kaaiman.nl
www.kaaiman.nl

Duikteam De Kaaiman is een Nijmeegse duikvereniging met zo'n 200 leden en is aangesloten bij de NOB. De Kaaiman organiseert een wekelijkse zwembadtraining, een clubavond op de vrijdag en talloze andere activiteiten die de teamgeest bevorderen. Gekwalificeerde instructeurs leiden op tot gebrevetteerd 1*, 2*, 3* duiker. De plas De Berendonck bij Nijmegen is een vaste duikstek. In deze plas ligt op 18 meter diepte het internationaal begeerde duikobject 'Aquavilla', een onderwaterhuis.

De Nederlandse Onderwatersport Bond (NOB)
Nassastraat 12
3583 XG Utrecht
030-2517014
www.nob-nl.nl

De NOB is een vereniging van 290 duikverenigingen en duikscholen, die samen zo'n 20.000 aangesloten leden hebben. De NOB wil de belangen van de sportduikers behartigen en is een organisatie zonder winstoogmerk. Veiligheid bij het duiken staat voorop. De NOB is als enige sportduikorganisatie erkend door de Nederlandse overheid en aangesloten bij het NOC*NSF en bij de wereldbond, de Confederation Mondiale des Activites Subaquatiques (CMAS).

Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer
Postbus 8080
6700 DD WAGENINGEN
Nederland
0317-483898
e-mail: Marijke.Kuipers@wur.nl (secretariaat)
www.wur.nl



De Leerstoelgroep AEW biedt onderwijs aan en verricht onderzoek. Het onderzoek is gericht op het genereren van kennis ten behoeve van de ontwikkeling van effectievere en efficiëntere methoden van herstel en beheer van aquatische ecosystemen, zoals sloten, meren, beken en rivieren. Belangrijke sturende mechanismen worden geanalyseerd met behulp van een combinatie van veldonderzoek, experimenten en wiskundige modellen.

Wetenschapswinkel Wageningen UR
Postbus 9101
6700 HB Wageningen
0317-484661
e-mail: wetenschapswinkel@wur.nl
www.wur.nl/wewi of
www.wetenschapswinkels.nl



De Wetenschapswinkel van Wageningen UR bemiddelt bij onderzoek voor organisaties die niet over voldoende middelen beschikken. Aanvragen moeten aansluiten bij de werkgebieden van Wageningen UR: landbouw, milieu, natuur en voeding.

Colofon

Licht onder water, pilot-onderzoek naar het doorzicht voor duikers in
Recreatieplas De Berendonck
Auteur: Laurens Zaal
Leerstoelgroep: Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer Wageningen UR

Begeleiding: Dr.ir. Miquel Lüring
Co-begeleiding: Ir. Jeroen de Klein

Projectorganisatie: Elsje Oosterkamp, Wetenschapswinkel

Wetenschapswinkel Wageningen UR, rapportnummer 184
Januari 2003

ISBN: 90-6754-698-4
Omslag: Andrew Zeegers, Domino Design
Druk:
Prijs: € 6,50
www.wur.nl/wewi

VOORWOORD

Bij mooie duiklocaties denken veel mensen aan tropische bestemmingen met koraalriffen en vissen in allerlei soorten en maten. Maar ook in zoet water in Nederland zijn voor duikers mooie dingen te zien, zoals een jagende snoek of een grote school jonge baarzen. Jammergenoeg is het zicht vaak niet zo goed.

In de Berendonck, een plas bij Wijchen, wordt veel gedoken door de leden van Duikteam De Kaaiman. Het zicht leek er de afgelopen jaren langzaam maar zeker te verslechteren. Allerlei speculaties over mogelijke oorzaken en verschillende oplossingen zijn besproken in het Duikteam.

Uiteindelijk is besloten om het onderwerp bij de Wetenschapswinkel Wageningen Universiteit & Researchcentrum aan te bieden om een gedegen studie naar de factoren die het doorzicht beïnvloeden te verwezenlijken. Dit rapport beschrijft de eerste meetgegevens die zijn verzameld en vormt de aanzet tot verder onderzoek.

Met de vergaarde kennis hopen we een plan van aanpak voor het verbeteren van het doorzicht in de Berendonck te kunnen opstellen. Mogelijk kunnen de bevindingen en aanbevelingen uit dit project ook worden gebruikt om soortgelijke problemen in andere diepe plassen in Nederland te inventariseren en mogelijk op te lossen. Vandaar ook dat diverse andere belanghebbenden zoals de beheerder van de plas (RGV Holding B.V.), de Nederlandse Onderwatersport Bond, het Waterschap Rivierenland en de Hengelsportfederaties Veluwezoom en Betuwe bij het project betrokken zijn. De duiksport in Nederland groeit flink en de uitkomsten van dit onderzoek zorgen wellicht voor betere en veiligere duikomstandigheden voor alle duikers.

Erik Hamann
Voorzitter onderwaterhuiscommissie
Duikteam De Kaaiman

DANKWOORD

In mijn jeugd heb ik veel tijd doorgebracht in Recreatiegebied De Berendonck. Ik ging er al zwemmen, vissen, hardlopen, hangen met vriend(inn)en en windsurfen. Gaaf gebied. Veel enthousiasme voor de duiksport was ontstaan in 1999 tijdens mijn vakantie in Curaçao.

In april 2002 liep ik op de leerstoelgroep Waterkwaliteit en Aquatische Ecologie van de Wageningen Universiteit te zoeken naar een klein afstudeerproject ter afsluiting van mijn studie Milieuhygiëne. Duikteam De Kaaiman zocht een oplossing voor het troebele water op hun vaste duikplek en dat leek me een leuk thema. Dat het onderzoek al duikend in De Berendonck kon worden uitgevoerd, maakte de berg enthousiasme nog groter en dus ging ik aan de slag met een afstudeervak van 13 studiepunten.

De dinsdagen met boot en brakke auto naar de plas om daar te duiken en te meten waren leuk. Daarnaast had ik plezier in de vele praktische en theoretische aspecten van de waterwereld. De woensdagen in het lab werden al snel wat aangenamer met het gezelschap en de hulp van Marije. Bedankt hiervoor en succes met schrijven! Bovenal heb ik van dit onderzoek heel veel geleerd en daarvoor bedank ik Miquel. Keigave begeleiding, Mike! Ook bedank ik Jeroen voor zijn co-begeleiding, Gerhard voor het typ-werk in de RSI-weken, Mohamed (thanks for the cake and your very kind help on the Tuesdays) en Erik o.a. voor de betrouwbare fles met lucht. Last but not least bedank ik Elsje Oosterkamp van de Wetenschapswinkel en de Begeleidingscommissie voor de goede projectcoördinatie.

Veel leesplezier en houd de ogen open voor de vervolgrapporten van dit project!

Laurens Zaal

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	vi
Dankwoord	vii
Inhoudsopgave	viii
Samenvatting	x
Summary	xi
1. Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Probleemschets	1
1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen	2
1.4 Afbakening	2
1.5 Projectbegeleiding	3
2. Theorie van lichtklimaat in diepe plassen	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Diepe plassen en De Berendonck	5
2.3 Lichtklimaat	6
2.4 Hypothesen bij het doorzicht in De Berendonck	9
3. Materialen en methoden	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Monsterlocaties	11
3.3 Bemonstering en analyses	12
3.4 Gegevens te verkrijgen bij derden	15
4. Resultaten	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Resultaten fysische parameters	17
4.3 Doorzicht en troebelheid	20
4.4 Extinctie, verstrooiing en doorzicht	22
4.4.1 Algen, klei en doorzicht	22
4.4.2 Bepalende stoffen in De Berendonck	24
4.4.3 'Uitzicht' en andere lichtbeschrijvende modellen	25
4.5 Bodem en sedimentval	30
4.5.1 Onderwaterbodem	30
4.5.2 Sedimentatie	30
4.6 Overige resultaten	32
4.6.1 Nutriënten	32
4.6.2 Geschiedenis	33
4.6.3 Anderen	33
5. Discussie	34
5.1 Fysische variabelen	34
5.2 Doorzicht en troebelheid	34
5.3 Doorzicht bepalende stoffen en modellen	35
5.4 Bodemonsters en sedimentvallen	36
6. Conclusies en aanbevelingen	39
6.1 Conclusies	39
6.2 Aanbevelingen	40
Literatuur	43
Bijlagen	45

SAMENVATTING

Duikvereniging 'Duikteam De Kaaiman' is actief in Recreatieplas De Berendonck bij Nijmegen. De duikers klagen al jaren over een slechter wordend zicht bij het Onderwaterhuis in de diepere gedeelten van de duikplas. Voor een oplossing van dit probleem heeft de vereniging contact opgenomen met de Wetenschapswinkel WUR, die het probleem heeft doorgeleid naar de Leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer, welke bereid was onderzoek te doen naar dit probleem. Middels dit pilot-onderzoek is een start gemaakt met het project Berendonck dat tot tenminste juni 2003 loopt.

Doelstelling van deze pilot is inzicht te krijgen in de oorzaken van het door duikers als 'slecht' bestempelde doorzicht. Het secundaire doel is het opstellen van een aanzet voor verbeteringen. De onderzoeksvragen luiden:

- in welke mate is er sprake van slecht doorzicht en in welke waterlagen doet zich dit voor ?
- wat zijn de mogelijke oorzaken van dit verminderde doorzicht, gekeken naar de bepalende stoffen in het water en de gegevens van andere betrokken partijen ?
- welke voorstellen kunnen worden gedaan ter verbetering van het doorzicht ?

In de periode juni – juli 2002 zijn gedurende 6 weken metingen verricht in de duikplas en in een ander gedeelte van de Berendonck, dat fungeerde als referentieplas. De plassen komen qua morfologie overeen en zijn ruim 17 meter diep waardoor thermische stratificatie optreedt. In beide plassen is op verschillende dieptes het water geanalyseerd op diverse parameters, zoals temperatuur, zuurstofgehalte, pH, troebelheid en doorzicht-bepalende stoffen. Het doorzicht wordt bepaald door licht absorberende en licht verstrooiende stoffen zoals algen, klei, humuszuren en dood organisch materiaal (detritus). Naast deze analyses zijn enkele proeven gedaan, die inzicht verschaffen in de mechanismen waardoor deze in het water worden verspreid. Bodemonsters zijn geanalyseerd en sedimentatie-fluxen zijn bepaald met sedimentvallen.

De thermische stratificatie is terug te vinden in het temperatuurprofiel. De beluchting van het Onderwaterhuis veroorzaakt een lichte daling van de temperatuur in de bovenste laag. De duikplas wordt eerder zuurstofloos dan de referentieplas doordat licht in de duikplas eerder uitdooft. De gemeten troebelheid is vertaald naar horizontaal doorzicht volgens Secchi. Het doorzicht in de diepste lagen van de duikplas is met minder dan 1 meter slecht te noemen en het doorzicht in de referentieplas is beter. Ook de concentraties van doorzicht-bepalende stoffen zijn in de duikplas hoger. Zowel de gemeten uitdoving als de gemodelleerde uitdoving met 'Uitzicht' is in de duikplas hoger. Uit de bodemonsters blijkt dat het bovenste gedeelte van de bodem bestaat uit klei en organisch materiaal dat via het natuurlijke proces uit de trofogene laag neerdaalt. De sedimentatie-fluxen laten zien dat duikers bijdragen aan de resuspensie van dit bodemmateriaal, dat het doorzicht bepaalt. De gangbare relaties, die worden gebruikt om het lichtklimaat onder water te beschrijven, blijken niet de werkelijkheid weer te geven. Het model 'Uitzicht' schat de uitdovingscoëfficiënt te hoog in, maar benadert het Secchi-doorzicht redelijk. De resultaten van de nutriëntenanalyse worden uiteengezet in het verslag van MSc student Mohamed Abdel Rahman.

Om meer inzicht te krijgen in de situatie in de Berendonck is een aantal aanbevelingen gedaan. Het is noodzakelijk een beter beeld te krijgen van de sedimentatie-fluxen door deze te meten op meer dieptes en tevens te vergelijken met de sedimentatie in de referentieplas. Ook dient de bodem uitgebreider te worden geanalyseerd op voorkomen van klei of zand en op hoeveelheid organische stof, zodat het natuurlijke proces van slibvorming beter in kaart kan worden gebracht. Om het lichtklimaat onder water te beschrijven kan de lineaire relatie van Buiteveld (1994) wellicht worden ingevuld met parameters, die voldoen voor de Berendonck. Met de inzichten die volgen uit het vervolgonderzoek, kan meer worden gezegd over mogelijke oplossingen.

SUMMARY

The diversclub 'Diversteam De Kaaiman' is active in the Recreationlake De Berendonck near Nijmegen, The Netherlands. Since a number of years the divers complain about a worsening sight at greater depths near their Underwaterhouse in the diving lake. The club approached the Science Shop (Wetenschapswinkel) of Wageningen University and Research Centre (WUR) that found the Aquatic Ecology and Water quality Management Group prepared to start a research project on this problem. The present pilot-project marks the start of the Berendonck project that will run till at least June 2003.

The goal of this pilot-project is to gain insight into the causes of the poor sight. The secondary goal is to draft initial improvement proposals. The research questions are:

- to which degree is there a case of bad sight and in which water layers is it present ?
- what are the possible causes of this lesser sight, in view of determining matter in the water and determining events in the history of the lake ?
- which proposals can be made to improve the sight ?

In the June – July 2002 during a 6 weeks period measurements were taken in the diving lake and in an adjacent part of the Berendonck, which acted as reference lake. The morphology of these lakes is similar and they are more than 17 meters deep, in which occurs thermal stratification. In both lakes the water was analyzed at various depths for different parameters such as temperature, oxygen, pH, turbidity and sight-determining matter. Sight is determined by light absorbing and light scattering matter, such as algae, clay, dissolved organic matter and detritus. Besides these analyses, some experiments were done to provide insight in the origin and movement of these components.

Soilsamples were analyzed and sediment-fluxes were determined with sediment-traps.

The thermal stratification is mirrored in the temperature profile. The aeration of the Underwaterhouse produces a slight dip in the temperature in the topmost layer. The diving lake reaches sooner an anaerobic state than the reference lake, because light attenuates earlier in the diving lake. The measured turbidity was translated towards horizontal sight according to Secchi. The sight at the deepest layers of the diving lake is less than 1 meter, which can be qualified as poor; the sight in the reference lake is better. The concentration of the sight determining matter is higher in the diving lake. Both the measured attenuation and the modeled attenuation with 'Uitzicht' is higher in the diving lake. The soil samples show that the toplayer of the bottom consists of clay and organic matter, which descends via the natural process from the trophogene layer. The sediment fluxes make it probable that the divers themselves contribute to the resuspension of material, determining the sight. The usual relations, which are used to describe the light climate under water, appear not to reflect reality. The model 'Uitzicht' estimates the attenuation coefficient too high but reasonably reflects the Secchi -sight.

The outcome of the analysis of nutrients will be presented in the report by MSc student Mohamed Abdel Rahman.

A number of recommendations are given to gain more insight in the situation of the Berendonck. It is necessary to get a better picture of the sediment fluxes by measuring them at various depths and comparing them with sedimentation in the reference lake. Also the soil needs to be better investigated on the occurrence of clay or sand and on the quantity of organic matter, which allows a better understanding of the natural process of the creation of the sludge layer. In order to describe the light climate under water the linear relation of Buiteveld (1994) could be adapted with parameters responding to the Berendonck.

Possible solutions could follow from the insights provided by the continued research.

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Duikvereniging 'Duikteam De Kaaiman' is sinds 1969 actief in de omgeving van Nijmegen en heeft in de plas 'De Berendonck' in gemeente Wijchen een eigen duikstek. Het duikteam heeft 200 leden en heeft eigen gekwalificeerde instructeurs die opleiden tot gebrevetteerd 1-sters, 2-sters en 3-sters duiker volgens de kwalificatie van de Nederlandse Onderwatersportbond (NOB). Het in 1988 geplaatste onderwaterhuis in de vaste duikplek aan De Berendonck brengt nationale en internationale bekendheid [Bijl, 2001].

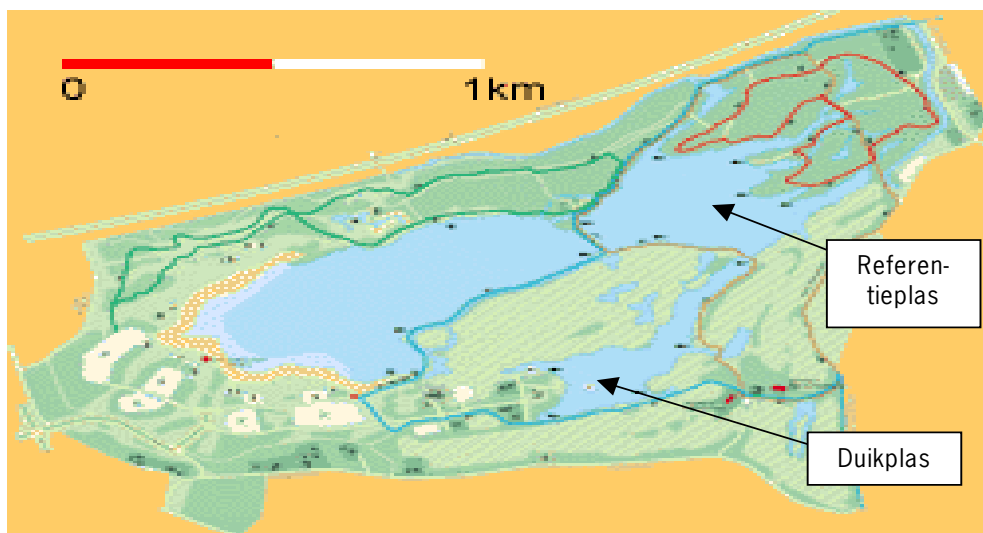
De duikers klagen al enkele jaren over een steeds slechter wordend zicht in de diepe gedeelten van de duikplas, met name in de buurt van het bekende onderwaterhuis. Dit was voor de vereniging aanleiding op zoek te gaan naar een oplossing voor dit probleem. Het project voor de veronderstelde schoonmaak heeft binnen de vereniging de naam 'Operatie Clean Sweep' gekregen.

In november 2001 is bij de Wetenschapswinkel Wageningen Universiteit & Researchcentrum een vraag binnen gekomen van Duikteam De Kaaiman naar de mogelijkheid voor een bijdrage aan Operatie Clean Sweep, die het doorzicht in recreatieplas De Berendonck moet herstellen.

De Wetenschapswinkel heeft geen fondsen ter beschikking voor de operatie zelf, maar heeft wel de mogelijkheid geboden voor onderzoek naar de oorzaken van het slechter wordende zicht in de plas en voor de ontwikkeling van een plan van aanpak. Daarom heeft de Wetenschapswinkel begin 2002 de vraag neergelegd bij de leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer van de Wageningen Universiteit & Researchcentrum (WUR).

1.2 Probleemschets

Recreatiegebied De Berendonck bestaat uit drie plassen, die zijn ontstaan door zandwinning. Deze plassen staan middels smalle, ondiepe gedeelten met elkaar in verbinding. In figuur 1.1 is een afbeelding van het recreatiegebied te zien.



Figuur 1.1: Recreatiegebied De Berendonck

De plassen hebben een grote diepte (ongeveer 17 meter) en zijn geïsoleerd. De kleinste en meest afgelegen plas, die wordt gebruikt voor de duiksport, heeft een oppervlakte van ca. 20.000 m² (2 ha). In deze plas is in 1988 een onderwaterhuis geplaatst in de vorm van een stalen container, voorzien van ramen. De ingang ligt op ongeveer 16 meter diepte. Deze 'Aquavilla' is indertijd ontworpen en ontwikkeld door leden van de vereniging en had het doel om onderwaterobservaties mogelijk te maken en om een trainingsplateau onderwater ten behoeve van duikopleidingen te realiseren. Inmiddels geniet het onderwaterhuis grote bekendheid en wordt de plas jaarlijks door honderden duikers bezocht. Hoewel het niet met harde gegevens is onderbouwd, is het idee ontstaan dat het doorzicht in de loop van de jaren achteruit is gegaan, waardoor het zicht op sommige plaatsen tot minder dan 1 meter is afgenomen. Dat komt het duikplezier niet ten goede. Bovendien dreigt met name voor de beginnende duikers in opleiding de veiligheid in het gedrang te komen.

Er is een groeiend aantal duikers in Nederland. Een snelle inventarisatie van Duikteam De Kaaiman heeft opgeleverd dat er meer plassen zijn waar het zicht slecht is en mogelijk verbeterd zou kunnen worden. In enkele plassen zijn doorzicht en duikwaarde verbeterd door beheer dat zich mede op deze aspecten richt. Een voorbeeld hiervan is Nationaal Onderwaterpark De Rauwbraken bij Tilburg. De ontwikkelingen rond de problematiek van Duikteam De Kaaiman kent reeds vele belangstellenden. Het probleem is maatschappelijk relevant.

Uit het projectvoorstel van de Wetenschapswinkel blijkt dat het onderzoek naar het probleem van het verminderde doorzicht moet leiden tot een plan van aanpak voor De Berendonck (fase 1). Vervolgens wordt gestart met de uitvoering van het plan van aanpak middels concrete beheersmaatregelen (fase 2). Hieruit dient aanvullend een algemene handleiding voor beheer voort te komen (fase 3). De doelstelling en de bijbehorende onderzoeksvragen kunnen in het kader van dit kleine afstudeervak gedeeltelijk worden overgenomen. In dit onderzoek wordt gekozen voor de uitvoering van een 'pilot'. In het tijdsbestek van 3 maanden wordt geprobeerd een degelijke start te maken met fase 1. Het primaire doel is om vast te stellen in hoeverre het doorzicht slecht is en wat de oorzaken daarvan zijn. Eerst moet worden vastgesteld wat er precies aan de hand is in De Berendonck alvorens een plan van aanpak kan worden beschreven. Het secundaire doel is om daadwerkelijk tot een plan van aanpak, of tenminste tot een aanzet voor een plan van aanpak, te komen.

1.3 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het doel van dit pilot-onderzoek is inzicht krijgen in de oorzaken van het door duikers als 'slecht' bestempelde doorzicht in recreatieplas 'De Berendonck'. Het secundaire doel is het opstellen van een aanzet voor verbetermogelijkheden.

De onderzoeksvragen die worden gesteld om dit doel te bereiken, luiden:

- In welke mate is er sprake van slecht doorzicht en in welke waterlagen doet dit zich voor ?
- Wat zijn de mogelijke oorzaken van het verminderde doorzicht, gekeken naar de bepalende stoffen in het water en de gegevens van andere betrokken partijen ?
- Welke voorstellen kunnen worden gedaan ter verbetering van het doorzicht ?

1.4 Afbakening

Duikteam De Kaaiman heeft zich laten informeren over mogelijke oplossingen voor hun probleem. Een oplossing die de vereniging zag als een serieuze optie was het wegzuigen van het bodemslib. De gedachte over dergelijke ingrijpende maatregelen zonder de oorzaak van het probleem te kennen, duidt op hoge verwachtingen rondom dit onderzoek; het zicht moet middels concrete maatregelen worden verbeterd en daarbij hoort een algemene handleiding voor beheer. Zoals reeds vermeld in paragraaf 1.3 heeft De Wetenschapswinkel in fase 2 en fase 3 van haar projectvoorstel deze verwachtingen overgenomen. Zelfs voor het gehele project, dat een looptijd zal hebben van minimaal een jaar, is het nog de vraag in hoeverre de

doelstellingen van dit voorstel kunnen worden gehaald. Duidelijk is dat in het kader van dit afstudeeronderzoek met een looptijd van 3 maanden, de doelstellingen een kleiner perspectief krijgen. Om een duidelijk beeld te krijgen van de processen bij veranderingen in omstandigheden in de verschillende jaargetijden, zijn gegevens van tenminste een geheel jaar nodig. De metingen die in de looptijd van dit onderzoek worden verricht, dienen dus als start.

In een eerste bijeenkomst van de Wetenschapswinkel, de NOB, De Kaaiman en de onderzoekers van de WUR is naar voren gekomen dat een groot aantal partijen in grote of kleine mate belang heeft bij de uitvoering van het gehele project, waarvan onderstaand rijtje de belangrijkste zijn.

1. Waterschap Rivierenland is de kwaliteit- en kwantiteitbeheerder;
2. RGV Holding B.V. is vanaf het begin betrokken bij De Berendonck;
3. Betrokkenheid van de NOB wordt door het Duikteam en de Wetenschapswinkel van belang geacht en heeft inmiddels gestalte gekregen;
4. De visvereniging heeft vaste visstekken in De Berendonck en beschikken over het visrecht;
5. De golfclub Burggolf Wijchen gebruikt het terrein rondom de duikplas van De Berendonck. De club beheert en bemest het terrein, wat mogelijk invloed heeft op de waterkwaliteit;
6. Het gebied valt onder de gemeente Wijchen;
7. De windsurfvereniging is actief op het recreatiegedeelte van de plas.

In deze pilot is ervoor gekozen die partijen te benaderen die een bijdrage kunnen leveren aan de wetenschappelijke waarde voor het oplossen van de onderzoeksvragen, zoals gegevens over geschiedenis, visuitzettingen en eerdere beheersmaatregelen. In vervolgonderzoek wordt aandacht besteed aan de bestuursrechtelijke verdelingen, processen in het creëren van maatschappelijk draagvlak, publicaties, potentiële subsidieverstrekkers, voorlichting en correspondentie met de partijen.

1.5 Projectbegeleiding

Duikteam De Kaaiman is opdrachtgever. Dr.ir. Miquel Lüring is verantwoordelijk voor het wetenschappelijke deel van het project en de procesbegeleiding ligt voorlopig in de handen van Elsje Oosterkamp van de Wetenschapswinkel, die daarbij een begeleidingscommissie bereid heeft gevonden het project te steunen.

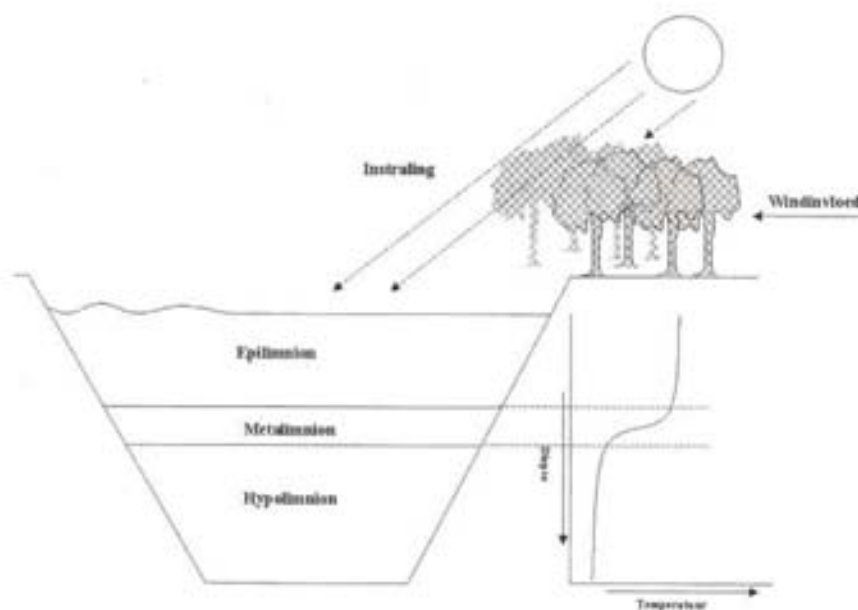
2. THEORIE VAN LICHTKLIMAAT IN DIEPE PLASSEN

2.1 Inleiding

Als diepe plassen worden beschouwd plassen die diep genoeg zijn voor thermische stratificatie. In het algemeen betreft dit plassen dieper dan 6 meter [Jaarsma, 2000]. De Berendonck kan worden beschouwd als een diepe plas. In paragraaf 2.2 komen enkele kenmerken van De Berendonck en diepe plassen naar voren, afkomstig uit literatuuronderzoek. Paragraaf 2.3 vormt een paragraaf omtrent de theorie van het lichtklimaat onder water, waarbij de nadruk wordt gelegd op het doorzicht, omdat dat voor de duikers belangrijk is.

2.2 Diepe plassen en De Berendonck

De Berendonck is een diepe plas, op sommige plekken is de plas zelfs ruim 17 meter diep. Doordat in de zomer het licht aan de oppervlakte de bovenste waterlaag verwarmt, treedt zomerstratificatie op. Zomerstratificatie is het fenomeen dat een laag warm water op een zwaardere koude laag water ligt, waardoor er geen menging tussen beide waterlagen optreedt. In de winter kan door afkoeling van de bovenste laag winterstratificatie optreden. Stratificatie wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid van het water dat ontstaat na opwarming of afkoeling van de bovenste waterlaag. Water heeft de hoogste dichtheid bij 4 graden Celsius. Vanwege de grote verschillen in temperatuur, en dus ook in dichtheid, is de zomerstratificatie stabielere dan een eventuele winterstratificatie. In het algemeen kan in diepe Nederlandse oppervlaktewateren een zomerstratificatie verwacht worden tussen mei en november. De verschillende waterlagen tijdens de stratificatie worden aangeduid met epilimnion voor de bovenste waterlaag en hypolimnion voor de onderste waterlaag. De waterlaag met de sterke temperatuurgradiënt tussen het epi- en het hypolimnion, wordt aangeduid als de spronglaag of het metalimnion. De situatie in de zomer is in onderstaande figuur schematisch weergegeven.



Figuur 2.1: Schematische weergave van stratificatie in diepe meren

De Berendonck is een dimictisch meer, dat wil zeggen dat twee maal per jaar een turnover, een menging van de waterlagen, plaatsvindt. Deze menging van de waterlagen kan een grote invloed uitoefenen op de waterkwaliteit en de ecologische samenstelling. Naast een gelaagdheid in temperatuur kunnen verschillende lagen in productie worden onderscheiden. In de trofogene laag wordt netto zuurstof geproduceerd. In de trofolytische laag wordt netto CO₂ geproduceerd, doordat afbraak plaatsvindt. Het hypolimnion maakt meestal deel uit van de trofolytische laag. In het hypolimnion kan door afbraak van organisch materiaal het water zuurstofarm of zelfs zuurstofloos worden [Jaarsma, 2000]. De chemische samenstelling tussen het epi- en het hypolimnion kan sterk verschillen. Een kenmerkend verschil is de neerslag van detritus (dood organisch materiaal) uit het epilimnion in het hypolimnion; over het algemeen vindt een voedselverrijking van het hypolimnion en een voedselverarming van het epilimnion plaats.

Naast de organische neerslag uit het epilimnion naar het hypolimnion speelt sedimentatie een rol in het doorzicht op grotere diepte. Over het algemeen vindt sedimentatie plaats in de diepste delen van een plas. Diepe delen fungeren als een soort sedimentval voor zowel organisch als anorganisch materiaal. Op de bodem kan zich een dikke sliblaag vormen [Jaarsma, 2000]. Het onderwaterhuis bevindt zich in het diepste gedeelte, dat uitstekend kan fungeren als sedimentval.

In 1990 is door het Stowa (Stichting Toegepast Onderzoek Water) een uitgebreide studie gedaan naar de mogelijkheid zand- klei- en grindgaten biologisch te beoordelen en algemene beheersmogelijkheden aan die beoordeling te koppelen. De Berendonck behoorde tot de 65 geselecteerde wateren die in dit kader zijn onderzocht. In 1990 werd aan De Berendonck volgens deze methode het hoogste ecologisch kwaliteitsniveau toegekend [Stowa, 1994]. De constante pH, het grote doorzicht aan het wateroppervlakte en de lage trofiegraad (graad voor de hoeveelheid aan nutriënten), zoals die zijn gevonden in De Berendonck in 1990, zijn factoren die bijdragen aan een ecologisch gezonde plas.

2.3 Lichtklimaat

Voor het zicht onder water zijn twee dingen belangrijk. Ten eerste moet een object onder water belicht worden en ten tweede moet het door het object gereflecteerde licht door het oog ontvangen worden [Blom, 1992]. De hoeveelheid invallend licht op een object onder water is afhankelijk van de instraling aan de oppervlakte, de hoek waaronder dat licht invalt, de mate van reflectie van het invallende licht en de hoeveelheid licht die onder water wordt geabsorbeerd. Absorptie is het proces waarbij er licht verdwijnt; de uitdoving van licht. Een ander belangrijk proces is verstrooiing van licht, wat invloed kan hebben op het juist waarnemen van het object, maar niet direct de hoeveelheid licht hoeft te beïnvloeden dat op een object valt. De verstrooiing draagt wel indirect bij aan de uitdoving van licht, doordat de weg van het licht verlengd wordt, waardoor het licht meer kans heeft geabsorbeerd te worden.

Een maat voor het zicht onder water is de *doorzichtsdiepte*: de loodrechte afstand tussen het wateroppervlak en het bovendak van een schijf volgens Secchi (zie paragraaf 3.3.1) indien deze zover is ondergedompeld dat ze nog net zichtbaar is [Scheffer, 1998]. Doorzichtsdiepte is omgekeerd evenredig met de *extinctie-coëfficiënt*, ook wel uitdovingcoëfficiënt genoemd. De extinctie-coëfficiënt is weer afhankelijk van de hoeveelheid (licht)absorptie en indirect van (licht)verstrooiing. De doorzichtsdiepte volgens Secchi is ook omgekeerd evenredig met de concentratie van allerlei lichtabsorberende en licht verstrooiende stoffen (1 meter gedeeld door Secchi = constante maal concentraties). Dat betekent dat zichtdiepte minder dan 1 meter relatief minder snel te verbeteren is, doordat de concentratieverandering minder invloed heeft.

Het zonlicht dat overblijft, nadat een deel op het wateroppervlakte is gereflecteerd, dringt binnen in de waterkolom. De hoeveelheid licht die daar wordt geabsorbeerd, is afhankelijk van de componenten die in een natuurlijk watersysteem voorkomen, waarvan *water*, opgeloste organische stof (in dit verslag ook wel *humuszuren* genoemd), en *zwevend stof* (waaronder algen) de drie belangrijkste zijn. De moleculen waaruit deze componenten bestaan, bezitten een absorptieband, waarin lichtfotonen van verschillende golflengten worden ingevangen (geabsorbeerd) en bijvoorbeeld worden omgezet in warmte. Opgeloste organische stof en algen met het pigment chlorofyl-a absorberen voornamelijk licht met golflengten tot 450 nm (laatstgenoemde kent nog een piek bij 650 nm), terwijl water vanaf 500 nm pas licht gaat absorberen. Dus:

- Water absorbeert licht met golflengten vanaf 500 nm. Dat betekent dat in zeer heldere diepe wateren vaak licht overblijft van korte golflengte, zodat het water op grote diepte een blauwe kleur heeft.
- Humuszuren blijven over na een niet volledige afbraak van algen- en plantenmateriaal. De opgeloste groep stoffen absorbeert licht van kleinere golflengten.
- Algen absorberen en verstrooien licht. Algen nemen voornamelijk licht op met een golflengte tot 450 nm. Het licht met de golflengte dat door algen wordt opgenomen, wordt PAR (Photosynthetic Active Radiation) genoemd. Algen gebruiken deze absorptie van licht door chlorofyl-a voor de productie van energie. Per milligram droge stof leveren algen een grote bijdrage aan absorptie.
- Dode zwevende stoffen, ook wel tripton genoemd, kunnen bestaan uit een organisch en een anorganisch deel. Het anorganische deel veroorzaakt vrijwel alleen verstrooiing en het organische deel (detritus) veroorzaakt zowel verstrooiing als absorptie van licht. In situaties waarin door opwerveling zwevende stof gevormd wordt, kan de dode zwevende stof de uitdoving bepalen [Blom, 1992].

De mate waarin *verstrooiing* van licht plaatsvindt is recht evenredig met de diameter van de verschillende componentdeeltjes aanwezig in de waterkolom. De componenten die deze *verstrooiing* van licht bewerkstelligen bestaan uit meer particulier materiaal, zoals anorganische stoffen (bijvoorbeeld kleideeltjes), zwevend organisch materiaal en algen [Kirk, 1994]. De mate van verstrooiing kan worden gemeten met een turbiditeitsmeter (zie paragraaf 3.3.5).

Het lichtklimaat in wateren wordt samenvattend als volgt weergegeven:

-Doorzicht is afhankelijk van:

- *Verstrooiing*
afhankelijk van particulier materiaal zoals:
 - algen
 - anorganische stoffen
 - dood zwevend organisch materiaal
- Hoeveelheid licht die overblijft na extinctie (*uitdoving*)
Extinctie door:
 - Absorptie, is weer afhankelijk van:
 - dood zwevend organisch materiaal
 - algen
 - opgeloste organische stoffen
 - Verstrooiing (indirect)

-Karakterisatie door middel van:

- Secchi: afhankelijk van absorptie en troebelheid
- Turbiditeit: verband met verstrooiing
- Extinctie-coëfficiënt: lineair verband met de absorptie

Voor de groei van algen en waterplanten is de hoeveelheid bruikbaar licht belangrijk. Deze hoeveelheid licht (Photosynthetic Active Radiation, PAR) is voor duikers van minder belang; voor hen is voornamelijk het doorzicht op grote diepte belangrijk. De relatie tussen de extinctie-coëfficiënt en de concentratie van verschillende componenten in het water is niet lineair, maar kan met een eenvoudig lineair verband benaderd worden. Op veel manieren zijn deze lineaire verbanden in de wetenschappelijke literatuur beschreven. De relatie tussen de extinctie en de Secchi-diepte is moeilijker, omdat, nogmaals, het doorzicht ook afhankelijk is van de verstrooiing. Daarom is de Secchi-diepte op zichzelf een bruikbaar gegeven [Scheffer, 1998].

Theoretisch is in dit onderzoek de bepaling van het horizontale doorzicht volgens Secchi op diepte bruikbaar.

In het laatste deel van deze paragraaf worden enkele mogelijkheden voor een modelmatige beschrijving van het lichtklimaat in De Berendonck behandeld. Begin jaren '90 is bij het RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling) een model ontwikkeld ter verbetering van de gangbare lineaire modellen, die tot dan toe het lichtklimaat onder water beschreven. Het computermodel 'UITZICHT' berekent *extinctie (UITdoving)* en *doorZICHT* uit de componenten die de *absorptie* en *verstrooiing* van licht bepalen met een niet-lineaire relatie [Buiteveld, 1994].

De componenten worden verkregen op basis van metingen in de plas. Als invoer zijn nodig de concentratie chlorofyl-a, de hoeveelheid droge stof, de gloeirest en de uitdoving van de humuszuren. Als uitvoer kan naast de extinctie en het doorzicht de bijdrage van de verschillende componenten worden afgelezen bij een bepaalde golflengte. De extinctie per golflengte wordt berekend met de volgende formule:

$$K(\lambda) = \frac{1}{\mu} \sqrt{a(\lambda)^2 + (0.425\mu - 0.19)a(\lambda)b(\lambda)}$$

waarin:

- K = extinctie-coëfficiënt (m^{-1})
- λ = golflengte (nm)
- a = absorptiecoëfficiënt (m^{-1})
- b = verstrooiingscoëfficiënt (m^{-1})
- μ = cosinus van de hoek waaronder het licht invalt (Zenith-hoek)

De Secchi-diepte wordt dan berekend met de volgende formule:

$$Sd = \frac{T}{c + Kd}$$

waarin:

- Sd = Secchi diepte (m)
- T = een constante met de waarde tussen 7 en 9
- c = bundelverzwakkingcoëfficiënt voor PAR (m^{-1})
- Kd = extinctie-coëfficiënt voor PAR (m^{-1})

Alhoewel de relatie voor extinctie en doorzicht niet-lineair is, beschrijft Blom (1992) een lineaire relatie. Voordeel van deze lineaire beschrijving is dat de bijdrage per component kan worden weergegeven.

$$\begin{aligned} Kd &= Kd_{\text{water}} + \alpha_y a_y(380) + \alpha_a \text{Chl} + \alpha_m \text{Min} + \alpha_d \text{Det} \\ Sd^1 &= Sd^1_{\text{water}} + \beta_y a_y(380) + \beta_a \text{Chl} + \beta_m \text{Min} + \beta_d \text{Det} \end{aligned}$$

waarin:

Kd_{water}	= Kd uitdoving door water (m^{-1})
Sd_{water}^{-1}	= bijdrage van water aan de inverse Secchi-diepte (m^{-1})
α_y, β_y	= coëfficiënt humuszuren (Gelbstoff)
α_a, β_a	= coëfficiënt algen ($m^{-1} \cdot \mu g^{-1} \cdot l$)
α_m, β_m	= coëfficiënt minerale zwevende stof ($m^{-1} \cdot mg^{-1} \cdot l$)
α_d, β_d	= coëfficiënt detritus ($m^{-1} \cdot mg^{-1} \cdot l$)

De parameters voor de lineaire relatie zijn afgestemd met behulp van de formule uit Uitzicht. Onderstaande parameters benaderen de extinctie-coëfficiënt en de Secchi-diepte voor een aantal meren in Nederland [Blom, 1992]:

E_{water}	0.627	Sd_{water}^{-1}	0.302
α_y	0.0498	β_y	0.0107
α_a	0.0209	β_a	0.0111
α_m	0.0253	β_m	0.0606
α_d	0.0490	β_d	0.0636

Ook De Lange (1999) heeft middels laboratorium experimenten, waarin extinctie is gemeten bij variërende hoeveelheden aan de bijdragende componenten, een lineair verband beschreven. Enkele parameters zijn met lineaire regressie bepaald.

$$KdPAR = 1.406 + 0.407Ka_{440} + 0.009 * Chl.a + 0.043 * AW$$

waarin:

$KdPAR$	= de extinctie-coëfficiënt (m^{-1}) voor het PAR-gebied
Ka_{440}	= de absorptie bij 440 nm (m^{-1})
$Chl.a$	= de concentratie chlorofyl-a ($\mu gr/l$)
AW	= het asgewicht of gloeirest (mg/l)

De Lange (1999) berekent vervolgens de Secchi-diepte met de gangbare empirische relatie uit Kirk (1994):

$$Sd = \frac{1.44}{Kd}$$

waarin:

Sd	= Secchi diepte (m)
Kd	= extinctie-coëfficiënt voor PAR (m^{-1})

In dit onderzoek zijn de bovenstaande relaties bekeken om bruikbaarheid ervan te bepalen voor de beschrijving van extinctie en doorzicht in De Berendonck.

2.4 Hypothesen bij het doorzicht in De Berendonck

Uit de theorie en een eerste globale probleemanalyse zijn de volgende hypothesen opgesteld:

- Het slechte doorzicht in het hypolimnion wordt veroorzaakt door opwerveling van bodemslib. Dat bodemslib kan bestaan uit door de jaren heen neergedaald materiaal uit het epilimnion. Jaarlijks wordt een groot aantal duiken gemaakt in de plas, waarvan een aanzienlijk deel naar grote diepte vanwege het onderwaterhuis (ingang op 16 meter diepte) en de andere duikattracties die op de bodem liggen. Duikers kunnen hierbij zelf de troebelheid veroorzaken. Daarnaast wordt het onderwaterhuis voorzien van lucht, waardoor een semi-continue stroom luchtballen (200 liter per minuut) ook turbulentie kan

veroorzaken en het slib in suspensie kan houden. In situaties waarin door opwerveling zwevende stof gevormd wordt, kan de dode zwevende stof uitdoving-bepalend zijn [Blom, 1992].

- Dimictische eigenschappen spelen wellicht een rol in het wisselende doorzicht. Duikers noemen het zicht in de plas wisselend. Gedurende enkele weken aan het eind van de lente is het zicht als goed bestempeld door een aantal duikers.
- Verandering in flora en fauna leveren een bijdrage aan het verminderde doorzicht. De veranderde vissamenstelling, meer witvis en gewone baarsjes, minder snoek, heeft geresulteerd in meer alg en minder waterplanten en watervlooien. Daartoe moeten gegevens worden opgevraagd over de uitgezette vis bij de visvereniging en het recreatieschap. Volgens Jan Oosterbaan (mondelijke mededeling) zijn eind jaren '80 graskarpers uitgezet om het wier terug te eten. Daarna is het water troebeler geworden. Hypothetisch zou er meer werveling van kleine deeltjes kunnen optreden, waardoor het zicht direct kan worden beïnvloed. Maar ook een verandering in ecologische samenstelling kan indirect het zicht verslechteren: minder snoek vanwege afname waterplanten, meer brasem en andere witvis die juist de bodem weer omwoelen en watervlooien eten. Dan zijn er weer minder watervlooien die de algen consumeren, enzovoorts. De kennis van de geschiedenis van de plas is hier van belang.
- Een toename van de productie in de bovenste waterlagen door meer nutriënten zorgt voor meer zwevende materiaal en een afname van het doorzicht. Ondanks dat de plas geïsoleerd is, zijn mogelijke bronnen van eutrofiëring de golfbaan, grondwater uit het Wijchens Ven en de Hatertse Vennen en het regenwater dat nutriënten uit de bovenste bodemlagen in de plas spoelt.

3. MATERIALEN EN METHODEN

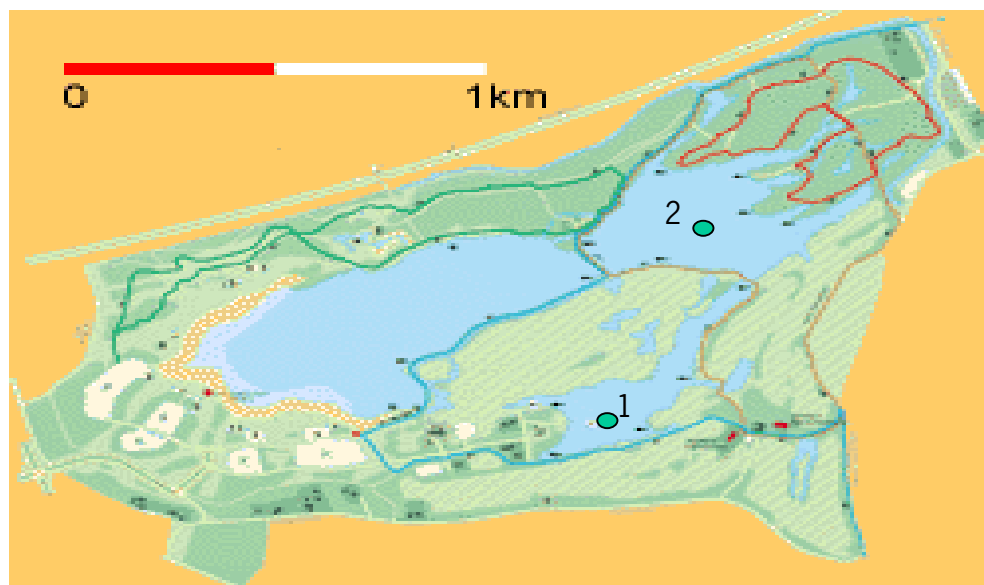
3.1 Inleiding

Het doel van de metingen die zijn gedaan in De Berendonck, was het verschaffen van inzicht in de processen omtrent doorzicht en het verschaffen van inzicht in het voorkomen van lichtbepalende stoffen. De meetlocatie is beschreven in §3.2. Het materiaal dat is gebruikt voor dit onderzoek wordt in dit hoofdstuk beschreven aan de hand van een globale indeling van materialen die nodig waren voor de metingen op de locatie en de materialen die nodig waren voor de analyse van de monsters (§3.3). In het kort wordt de theorie achter de verschillende proefmethoden behandeld (tevens §3.3). Duikteam De Kaaiman leverde enkele duikbenodigdheden en was ook bereid mee te werken aan dit onderzoek in de vorm van eenvoudige proeven over doorzicht tussen duikers onderling. Een kenmerk van de methoden die werden toegepast in dit onderzoek, was dat de metingen op de locatie al duikend werden gedaan. Naast de monstername kon, door eenvoudigweg waar te nemen, een realistisch beeld worden verkregen van de situatie en kon een indicatie van flora en fauna worden gegeven.

In dit onderzoek was het van belang dat relevante gebeurtenissen in de geschiedenis van de plas niet vergeten werden. Daartoe werd een aantal personen betrokken bij dit onderzoek (§3.4).

3.2 Monsterlocaties

In onderstaande kaart van De Berendonck (figuur 3.1) zijn met de groene stippen de twee locaties aangegeven waar wekelijks in de periode 18 juni tot en met 30 juli de monsters zijn genomen. De onderste plas op dit kaartje is de duikplas, waar zich ook het onderwaterhuis bevindt. In de bovenste plas zijn de referentiemonsters genomen, omdat de plas qua morfologie overeenkomt met de duikplas. In dit verslag worden de monsterplaatsen ook wel 'duikplas' en 'visplas' genoemd. In de visplas wordt vanaf de schiereilandjes van het natuurgebied regelmatig gevist. In dit onderzoek zal worden geprobeerd meer morfologische gegevens van beide gedeelten (plassen) naar boven te halen.



Figuur 3.1: De twee bemonsterde locaties in recreatiegebied De Berendonck (1 = Duikplas, 2 = Visplas).

3.3 Bemonstering en analyses

Ter plekke is op beide punten op een aantal parameters geanalyseerd en zijn experimenten uitgevoerd. In het kort worden de metingen en de experimenten beschreven die vanaf de oppervlakte en/ of al duikend zijn gedaan.

3.3.1 Doorzicht

Voor de bepaling van de *doorzichtdiepte* is een Secchi-schijf gebruikt. Dit is een schijf van wit porselein met een verdeling in zwarte en witte vlakken die voorzien is van een touw met een maatverdeling op afstanden. Vanaf de oppervlakte is de Secchi-schijf langzaam aan een lijn langzaam naar beneden gelaten tot aan het punt waarbij het witte vlak nog net zichtbaar was. De gemeten Secchi-dieptes, ook wel doorzicht genoemd, zijn later vergeleken met het doorzicht dat berekend is met het model. Naast de wekelijkse bemonstering vanuit de boot zijn er diverse doorzichtmetingen al duikend gedaan door het doorzicht horizontaal tussen twee duikers op verschillende dieptes te meten. Op hetzelfde moment werd een klein watermonster genomen, waarvan aan de kant de turbiditeit (troebelheid) is gemeten, zodat het horizontale doorzicht kon worden gerelateerd aan de troebelheid.

3.3.2 Extinctie

Met behulp van een lichtmeter (LI-COR TT-185B) is de lichtintensiteit op verschillende dieptes gemeten, te weten van de oppervlakte tot 2 meter diepte een interval van 20 cm en vanaf 2 m tot 9 m met halve meter intervallen. Per monsterplek is zo een aantal waarden verkregen die in een spreadsheet tot een grafiek zijn verwerkt en waarmee de extinctie-coëfficiënt is berekend volgens de wet van Lambert –Beer:

$$I_z = I_0 * e^{-(\epsilon * z)}$$

Volgens deze wet neemt de lichtintensiteit (I_z) exponentieel af met de diepte (z). Deze vergelijking kan worden omschreven, zodat uit de negatieve richtingscoëfficiënt de extinctie-coëfficiënt kan worden gehaald:

$$\ln I_z = -E * z + \ln I_0$$

waarin:

- I_z = lichtsterkte op diepte z (W/m^2)
- E = extinctie-coëfficiënt (m^{-1})
- I_0 = lichtsterkte aan het oppervlak (W/m^2)
- z = diepte vanaf het wateroppervlak (m)

Omdat de lichtmeter niet verder reikt dan 9 meter diepte en omdat gegevens over de variatie in de tijd konden worden verkregen, werden twee lichtsensoren (Bottermann) geplaatst in de buurt van het onderwaterhuis. Deze waren verbonden met een datalogger (Grant 1200 Serie Squirrel), die in het onderwaterhuis stond opgesteld. Daarmee kon de lichtintensiteit en de extinctie op 16 meter diepte worden bepaald.

3.3.3 Stratificatie (temperatuur en zuurstof)

Tijdens de bemonstering is met een interval van 1 meter van de oppervlakte tot de bodem de temperatuur gemeten met behulp van een elektronische zuurstof/ temperatuurmeter (WTW EOT196). Zo is een beeld verkregen van de variatie in de temperatuur over de diepte. Wetzel en Likens beschrijven de methode om deze gegevens te plotten naar isothermen in diepte en tijd [Wetzel en Likens, 1991]. De zomerse stratificatie wordt hierin duidelijk zichtbaar en voor De Berendonck is ook een dergelijk profiel gemaakt. Een stratificatie is ook te zien in de zuurstofconcentratie. De trofolytische laag valt vaak samen met het hypolimnion en deze is ook in kaart gebracht.

3.3.4 Watermonsters

Elke week zijn in de duikplas en in de referentieplas van verschillende dieptes watermonsters genomen. Vanaf de oppervlakte is met behulp van de waterhapper (een 1 liter Rüttnerfles) om de 2 meter 2 liter water omhoog gehaald, zoals op de foto te zien is (figuur 3.2). Ter plekke zijn de zuurgraad (pH), de troebelheid (turbiditeit) en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) gemeten. De monsters zijn in twee liter polyethyleenflessen gedaan en meegenomen naar de leerstoelgroep om vervolgens te analyseren op de hoeveelheden organische en anorganische componenten, op chlorofyl-a en op humuszuren.



Figuur 3.2: Watermonstername

3.3.5 Metingen ter plekke

- **Turbiditeit:**

Met een turbiditeitmeter (Hach 2100 P) is de turbiditeit, ofwel troebelheid, gemeten in NTU (Nephelometric Turbidity Units). Hierin wordt verstrooiing bepaald door de hoeveelheid licht te meten, die onder een hoek van 90 graden verstrooid is bij een bekende hoeveelheid licht aan het begin van een kolom [Blom, 1992]. De turbiditeit is namelijk sterk gerelateerd aan de verstrooiing. De gegevens over de turbiditeit zijn gekalibreerd met het doorzicht volgens de Secchi-schijf en met het doorzicht, zoals dat ervaren wordt door de duikers van De Kaaiman. Daarnaast zijn relaties weergegeven tussen de turbiditeit en een algenconcentratiereeks en een klei-concentratiereeks die in het laboratorium zijn gemaakt door een oplossing, waarvan de chlorofylconcentratie bekend is, te verdunnen met water. Voor de kleireeks is een afgewogen hoeveelheid gemalen baksteen met behulp van een staafroerder in demiwater verdeeld. Deze suspensie is daarna weer verdund. Vanwege tijdgebrek is de relatie met detritus niet labexperimenteel meegenomen.

- **pH en EGV:** Met behulp van een pH-meter (WTW pH320) en een EGV-meter (WTW LF92) is het water uit de waterhapper direct gemeten op zuurgraad en geleidbaarheid. De EGV-meter bepaalt de geleiding in Simons per centimeter en doordat de geleiding voornamelijk gebeurt door zouten (deeltjes die een lading kunnen bevatten) geeft de EGV meting een idee over de hoeveelheid zouten in het water.

3.3.6 Wateranalyses

- **Chlorofyl-a:** De bepaling van dit pigment, als maat voor de aanwezige algen, gebeurde volgens de NEN 6520-methode. Van elk monster is een bekende hoeveelheid afgefilterd over een Whatman GF/C glasvezelfilter, waarna het filter in een centrifugebuis met alcohol (80%) werd geschud met behulp van een Vortex apparaat. De buizen zijn na een incubatie in een waterbad bij 75°C afgecentrifugeerd en vervolgens is van de vloeistof de extinctie bepaald bij 750 nm (eerste piek) en 650 nm (maximale piek). Het chlorofyl-a gehalte (*Chl.a*) kon worden berekend met:

$$Chl.a = 29.6 \left[\left(E_{665}^0 - E_{665}^a \right) - \left(E_{665}^a - E_{750}^a \right) \right] * \frac{V}{V * l}$$

waarin:

- E_x = extinctie (m^{-1}) bij verschillende golflengten λ (10^{-9} m) met (a = aanzuren) of zonder nabehandeling (0)
 v = volume van pigment-extract (ml)
 l = weglengte van het licht door de cuvet (cm)
 V = volume (m^3)

- **Humuszuren:** Van het filtraat dat overbleef na de filtratie voor chlorofyl is met een Beckman DU-530 spectrofotometer de absorptie van de aanwezige humuszuren gemeten bij de ingestelde golflengte van 380 nm. Kirk (1994) bepaalt de absorptiecoëfficiënten voor de opgeloste fractie in het water (a_d) met de volgende formule:

$$a_d = 2.303 \frac{D}{r}$$

waarbij:

- D = absorptie gemeten met spectrofotometer
 r = weglengte (m)

- **Zwevende stof:** De bepaling van het zwevende stof gehalte is uitgevoerd volgens de NEN 6484-methode. De Whatman GF/F filters zijn gedroogd in aluminium kroesjes bij een temperatuur rond de $105^\circ C$ gedurende 2 uur. Vervolgens zijn deze in een exsicator geplaatst en gewogen. Van elk monster werd een bekende hoeveelheid afgefilterd over de filters. Daarna zijn de kroesjes met filters weer gedurende twee uur gedroogd in de droogstoof en is het drooggewicht (DW) bepaald. In de oven werden de kroesjes vervolgens verast bij $550^\circ C$ gedurende een uur, wederom afgekoeld in een exsicator en gewogen ter bepaling van het asvrij drooggewicht ofwel ADW . De handeling is gecorrigeerd met een blanco, die dezelfde uitvoering met demiwater heeft ondergaan. De volgende formules zijn gebruikt bij de berekening van DW en ADW :

$$DW = \frac{(m_d - m_o) - (bl_d - bl_o)}{V_m}$$

$$ADW = \frac{(m_d - m_v) - (bl_d - bl_v)}{V_m}$$

waarin:

- DW = drooggewicht ($mg\ l^{-1}$)
 ADW = asvrij drooggewicht ($mg\ l^{-1}$)
 m_d = gewicht van het filter + algen na drogen (mg)
 m_o = nulgewicht van het filter (mg)
 m_v = gewicht van het filter + algen na verassen (mg)
 bl_d = gewicht blanco-filter na drogen (mg)
 bl_o = nulgewicht blanco-filter (mg)
 bl_v = gewicht blanco-filter na verassen (mg)
 V_m = volume monster (l)

- **Nutriënten:** De watermonsters zullen in een parallelonderzoek, dat inmiddels is gestart bij de leerstoelgroep AEW (door MSc student Mohamed Abdel Rahman), geanalyseerd worden op de concentraties ammonium, nitraat en fosfaat. Daarom wordt er in dit rapport niet uitgebreid op ingegaan.

3.3.7 Sediment en onderwaterbodem

Op het dak van het onderwaterhuis en op de bodem in de buurt van het onderwaterhuis zijn sedimentvallen geplaatst. Deze sedimentvallen bestaan uit een plastic buis met een interne doorsnede van 2.7 centimeter en een lengte van 50 cm, die door een baksteen en een piepschuim rand verticaal staan en zo het in de bovenkant vallende sediment kunnen opvangen. De sedimentval verschaft inzicht in de mate waarin zwevend materiaal bezinkt.

Met behulp van steekbuizen zijn diverse sedimentmonsters genomen van de bodem in de duikplas en in de visplas. De bodemmonsters zijn later op de leerstoelgroep geanalyseerd op organische stofgehalte. Ook het monster zelf geeft reeds een indicatie van de bodemsamenstelling.

3.3.8. Diversen

- **Flora en fauna:** Een globale beschrijving van het voorkomen van waterplanten en vissen is al duikend gerealiseerd.

3.4 Gegevens te verkrijgen bij derden

Flora en fauna: Bij de KUN (Katholieke Universiteit Nijmegen) is een student bezig geweest met een onderzoek naar de flora-samenstelling van het recreatiegedeelte van De Berendonck en heeft proeven gedaan ten behoeve van de mogelijkheden van ecologisch beheer. Om de bevindingen globaal mee te nemen is contact opgenomen met Prof. dr. G van der Velde van de KUN.

Relevante geschiedenis van de plas:

- Het Recreatieschap Nijmegen en Omgeving is benaderd om relevante gegevens te verkrijgen over de geschiedenis van de plas. Enkele medewerkers zijn reeds vanaf het ontstaan van De Berendonck werkzaam bij het Recreatieschap en gegevens over de ontwikkeling in de jaren '70 zijn bij hen verkregen.
- Het Waterschap Rivierenland heeft een wettelijke taak meetgegevens te verstrekken als daarom wordt gevraagd. Er is contact gelegd met de heer Jan de Rooij van het Waterschap Rivierenland. De meetgegevens van het Waterschap betreffen helaas alleen de bovenste waterlaag i.v.m. de bewaking van de zwemwaterkwaliteit.

Diepe plassen:

- Er is contact gelegd met Guido Waajen, voorzitter van de Commissie 'Plassen en meren' bij het Hoogheemraadschap West-Brabant. In West-Brabant komen vergelijkbare plassen als De Berendonck veelvuldig voor.
- Ook is er contact gelegd met Frank van Oosterhout van de Stichting Onderwaterparken Nederland, die onderzoek heeft verricht in de Rauwbraken bij Tilburg en ervaring heeft in advisering over gelijksoortige probleemstellingen.

Nutriënten: Voor de nutriëntenhuishouding zijn oude gegevens van het STOWA en het Waterschap doorgenomen.

4. RESULTATEN

4.1 Inleiding

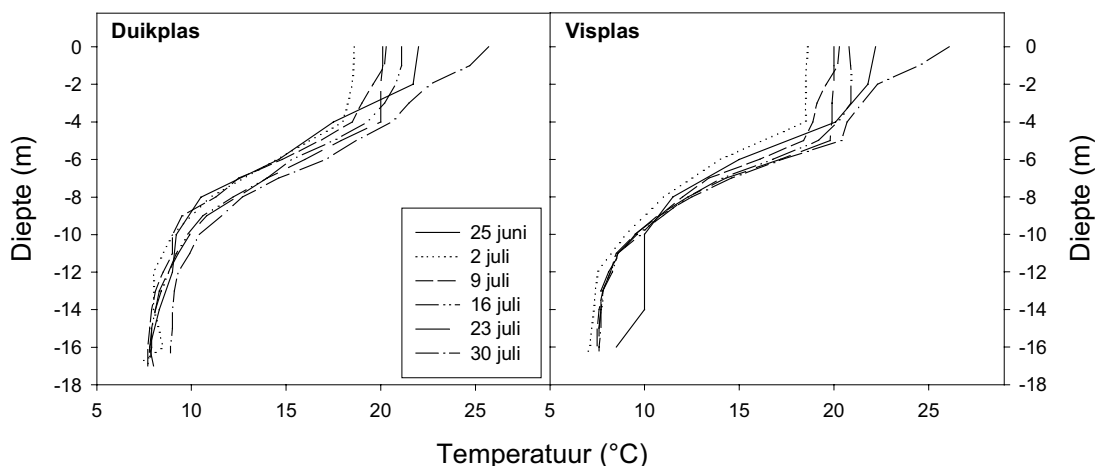
In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek beschreven. In paragraaf 4.2 worden de resultaten weergegeven van de metingen naar de fysische eigenschappen die in De Berendonck zijn verricht. In §4.3 worden resultaten beschreven van de turbiditeitsmetingen en wordt een vertaling naar doorzicht gemaakt. In §4.4 worden de bijdragen van de verschillende componenten uiteengezet die bijdragen aan de verstrooiing, aan de extinctie en aan het doorzicht in De Berendonck. In §4.5 worden enkele resultaten beschreven van de overige losse experimenten, waaronder de proeven van de sedimentvallen en de bodemmonsters. De informatie die is gevonden bij derden komt terug in §4.6.

In het onderzoek zijn gedurende 6 weken gegevens verzameld van verschillende dieptes van twee monsterlocaties. Het is met een dermate groot databestand aan resultaten niet handig om voor elke parameter voor elke monsterdatum het resultaat weer te geven in een grafiek, waarbij de diepte staat uitgezet tegen de betreffende parameter. Voor sommige parameters is dat voor de duidelijkheid wel gedaan, andere parameters zijn weergegeven in isoplotten. Deze isoplotten zullen in de resultatenbeschrijving vaak terugkomen.

4.2 Resultaten fysische parameters

4.2.1 Temperatuur:

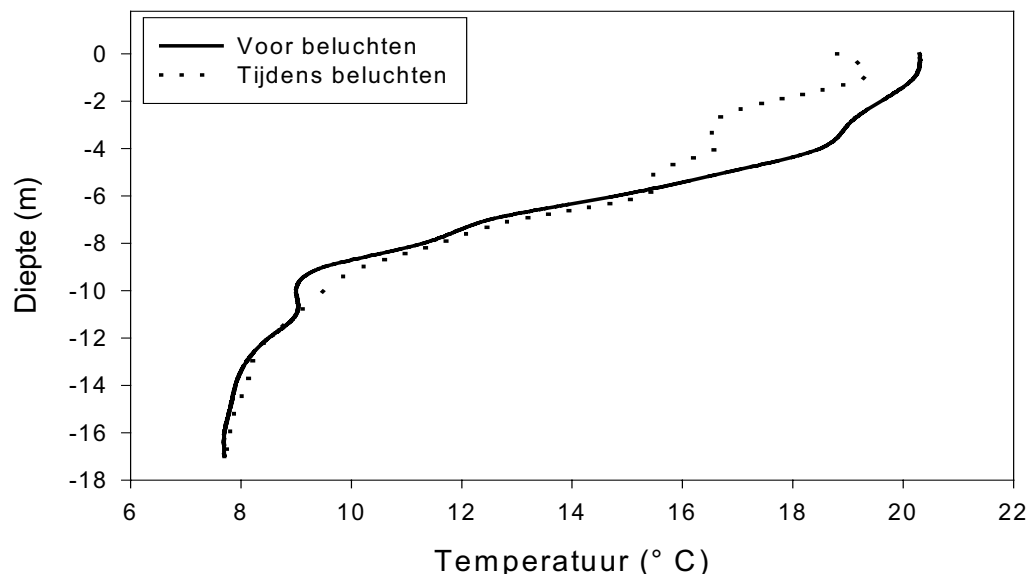
Een belangrijke verschijnsel in diepe meren is het optreden van stratificatie. Ook in De Berendonck is gedurende 6 weken de temperatuur op verschillende dieptes bijgehouden. Het resultaat staat weergegeven in onderstaande grafiek, waarbij voor verschillende data de temperatuur staat uitgezet tegen de diepte.



Figuur 4.1: Temperatuur door de diepte in de duikplas en in de visplas

Uit figuur 4.1 blijkt dat er zowel in de duikplas als in de visplas stratificatie optreedt. De curve van de temperatuur heeft dezelfde vorm als het voorbeeld in figuur 2.1 (§2.2). De temperatuur in de bovenste lagen van de plas loopt uiteen door de invloed van het weertype op de verschillende monsterdagen. Als de vreemde curve van 25 juni in de visplas vanaf 10 meter en dieper wordt weggelaten, dan is te zien dat in de visplas de curves van de verschillende dagen dichter bij elkaar liggen en een vaster stratificatieprofiel laten zien. Dat is mogelijk te verklaren doordat in de visplas de lagen minder worden gemengd. Om na te gaan of de beluchting van het onderwaterhuis een grote invloed heeft op de temperatuursverdeling is in

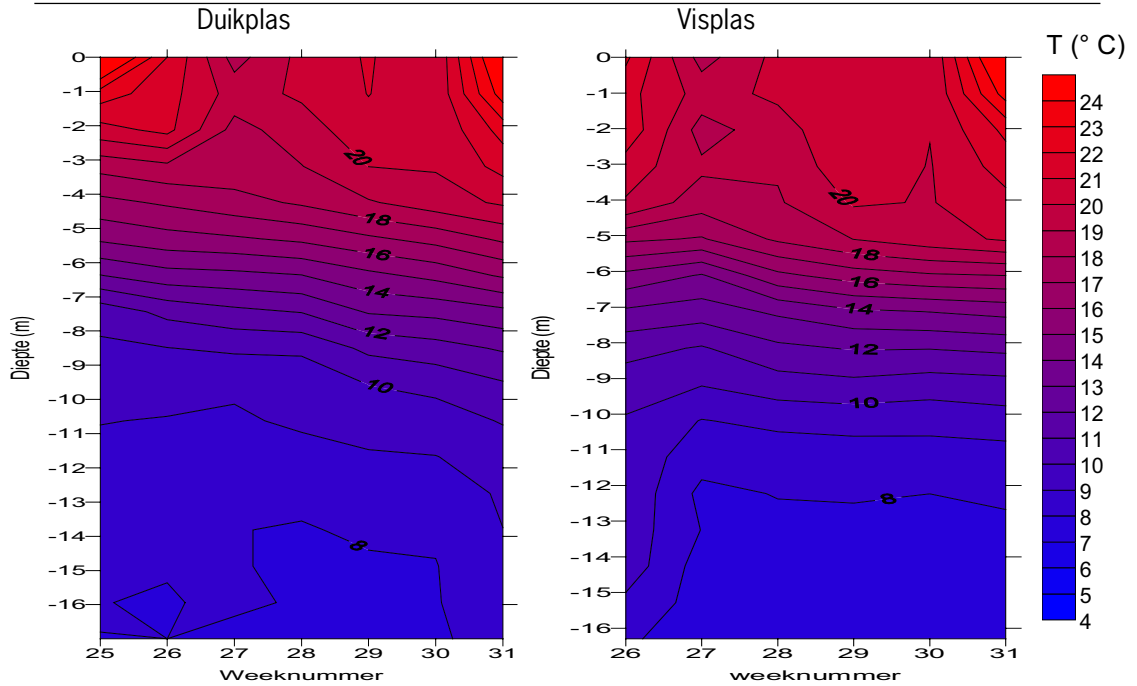
de middag van 16 juli de temperatuur gemeten vlak voor en tijdens het beluchten. Het resultaat is te zien in onderstaande figuur 4.2:



Figuur 4.2: Temperatuur in de duikplas voor en tijdens beluchting van het onderwaterhuis

Te zien is dat het water in de bovenste 6 meter enkele graden kouder wordt als gevolg van de beluchting. Koud water stijgt samen met de luchtballen richting de oppervlakte. Dieper dan 6 meter lijkt de beluchting geen invloed te hebben. De daling van de temperatuur in de bovenste waterlaag tijdens de beluchting duidt op een menging van de waterlagen. De verschillen tussen de duikplas en de visplas in figuur 4.1 worden mogelijk mede verklaard door deze menging van waterlagen.

De resultaten van de fysische parameters zijn opgemaakt in de zogenaamde isoplotten. Op deze manier kunnen de data overzichtelijk worden weergegeven, waarbij veranderingen door de tijd zichtbaar zijn. De tijd wordt namelijk per kalenderweek op de x-as vermeld. De diepte wordt op de y-as vermeld en de resultaten van de parameters worden als isoplotten, vergelijkbaar met de isobaren op de weerkaart, hierop weergegeven. Het is voor de temperatuur interessant om de gegevens in een isoplot weer te geven, omdat door de dimictische eigenschappen van diepe meren de temperatuur door de tijd typische veranderingen ondergaat. In de volgende figuur 4.3 is de isoplot weergegeven voor de weken 25 tot en met 31. Uit de figuur 4.3 blijkt dat de zomerstratificatie steeds stabiel wordt. De spronglaag, of het metalimnion, is te zien (de isothermuurlijnen liggen dicht bij elkaar) en deze laag komt steeds iets dieper te liggen doordat het oppervlaktewater opwarmt in de zomer.

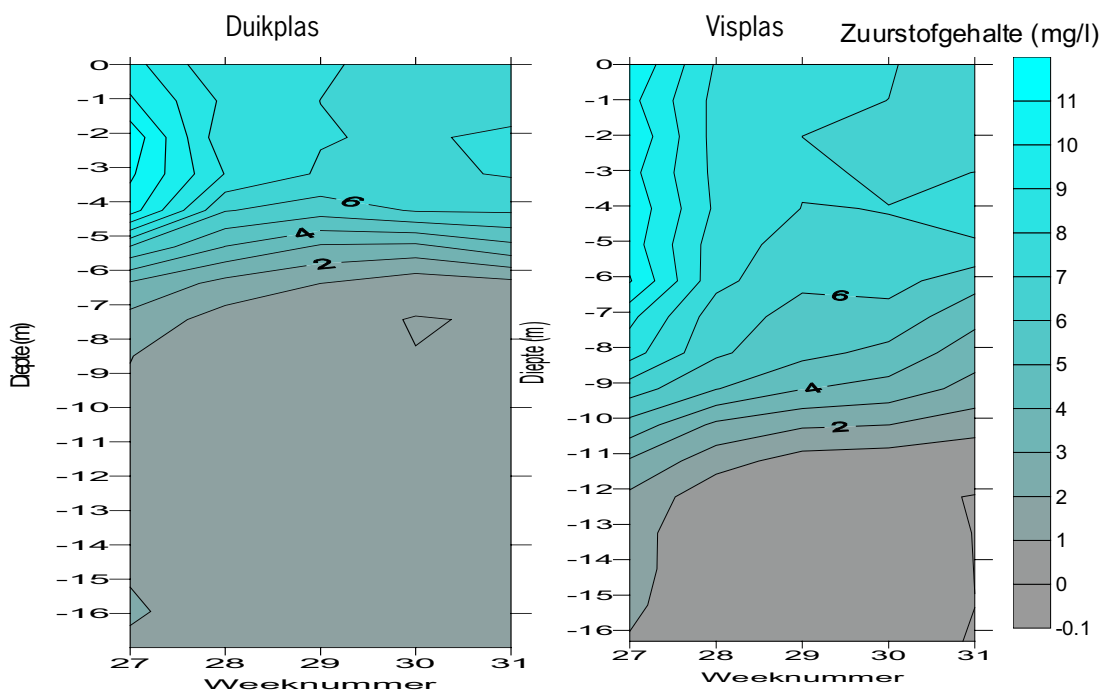


Figuur 4.3: Temperatuurplotten voor de duikplas (links) en de visplas (rechts)

Voor de visplas is een profiel te zien dat sterk overeenkomt met het profiel van de duikplas. De isothermuurlijnen van de visplas vertonen een iets stabielere patroon, maar het verschil is klein.

4.2.2 Zuurstof

Het verschijnsel stratificatie heeft tot gevolg dat de onderste waterlaag, het hypolimnion, geïsoleerd raakt en nog maar zeer weinig watermenging (en zuurstofuitwisseling) heeft met de bovenste waterlaag, het epilimnion. In het hypolimnion vinden afbraakprocessen plaats die zuurstof verbruiken, waardoor het hypolimnion vaak zuurstofloos wordt. Ook in De Berendonck is de zuurstofconcentratie gemeten. In onderstaande isoplotten staat de zuurstofconcentratie weergegeven in milligram zuurstof per liter voor de duikplas en de visplas (figuur 4.4).



Figuur 4.4 Zuurstofplotten voor de duikplas (links) en de visplas (rechts)

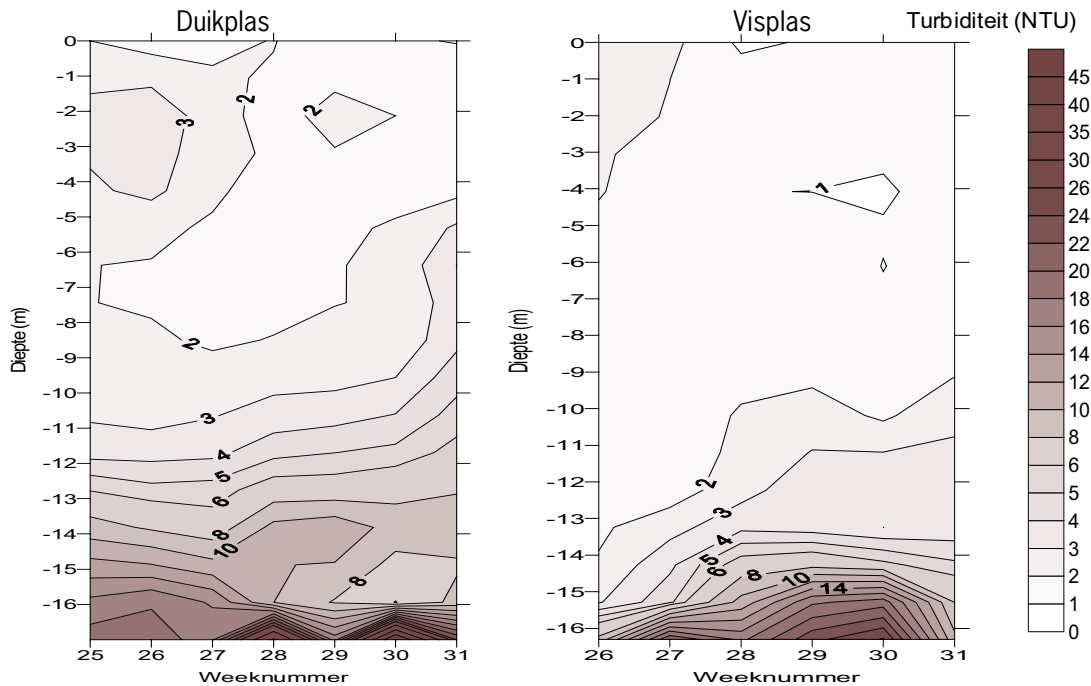
In de figuren is te zien dat de duikplas rond 7 meter diepte en dieper bijna zuurstofloos is. Dat betekent dat voor eventuele onderwaterobservaties van flora en fauna het onderwaterhuis in de zomer niet geschikt is, omdat door de zuurstofloosheid nauwelijks leven waarneembaar is. De visplas wordt zuurstofloos dieper dan 11 meter. Een verklaring voor het verschil met de duikplas zou kunnen zijn dat er in de visplas meer licht overblijft voor de fotosynthese door fytoplankton, de trofogene laag is groter. In het vervolgonderzoek wordt meer bekend over de situatie bij de verandering in stratificatie in de andere jaargetijden.

4.2.3 Overig

De isoplotten voor het EGV en de pH staan weergegeven in bijlage 4.1 en 4.2. Over deze parameters is in dit stadium van onderzoek niet veel te melden. Te zien is dat het EGV in de buurt van de bodem toeneemt en dat de pH in de diepte afneemt. De toename van het EGV zou kunnen duiden op een voeding van geleidende stoffen vanuit de bodem en de daling van de pH op een voeding met zuurder grondwater.

4.3 Doorzicht en troebelheid

Ook de turbiditeit (troebelheid) is gemeten in De Berendonck. De uitkomsten worden aangeduid met de eenheid NTU (Nephelometric Turbidity Units). Deze troebelheid is wederom verwerkt in isoplotten voor de duikplas en de visplas (figuur 4.5).

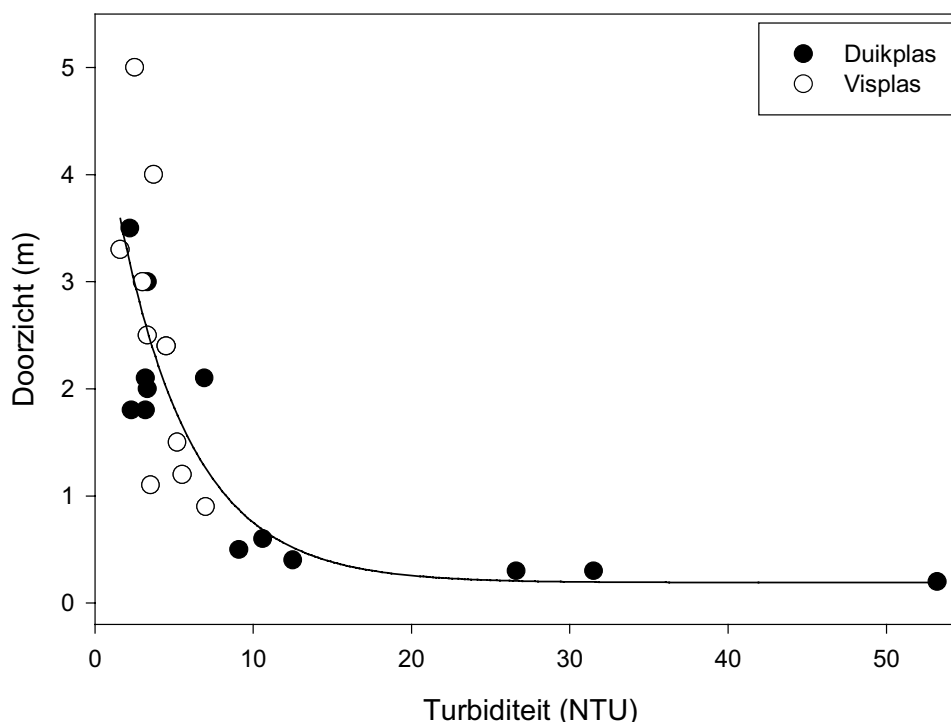


Figuur 4.5 Isoplotten voor de turbiditeit (in NTU) in de duikplas en in de visplas

De visplas lijkt op grote diepte vrij troebel te worden. Dit werd mede veroorzaakt door het raken van de bodem tijdens de monsternamen. Wegens het in deze periode ontbreken van een vaste boeilijn, is de meetlocatie elke week geschat aan de hand van herkenningspunten aan de oever. Hierdoor is niet steeds exact op dezelfde plek gemonsterd en varieerde de diepte van de monsterlocatie. Bij de bodem is het troebel en zo lijkt het bij een ondiepe meting, zoals in week 29 en 30, snel troebel te worden. In de duikplas wordt gemeten op een vaste locatie, waardoor steeds op dezelfde diepte de bodem te vinden is. De duikplas is over het geheel troebeler dan de visplas. Op 12 meter ontstaat al een turbiditeit van 4 à 5 NTU's. Tot 12 meter diepte is de visplas helder met een troebelheid tussen de 1 en 2 NTU's.

In dit onderzoek is geprobeerd een vertaalslag te maken van turbiditeit naar doorzicht. In dit geval naar het horizontale doorzicht volgens Secchi, al duikend gemeten. Daartoe is

gedurende de duiken zowel de turbiditeit als het doorzicht gemeten. In onderstaande grafiek staan de gevonden relaties (figuur 4.6).



Figuur 4.6: Relatie turbiditeit (troebelheid in NTU) en horizontaal doorzicht (in m)

Het blijkt dat de relatie doorzicht-turbiditeit bestaat uit een exponentieel verband dat kan worden beschreven met een functie:

$$Sd_{(m)} = Sd_{(0)} + a * e^{(-b * NTU)}$$

waarbij:

$Sd(m)$ = doorzicht met Secchi in meters

$Sd(0)$ = 0.19 meter

a = 4.79

b = 0.22

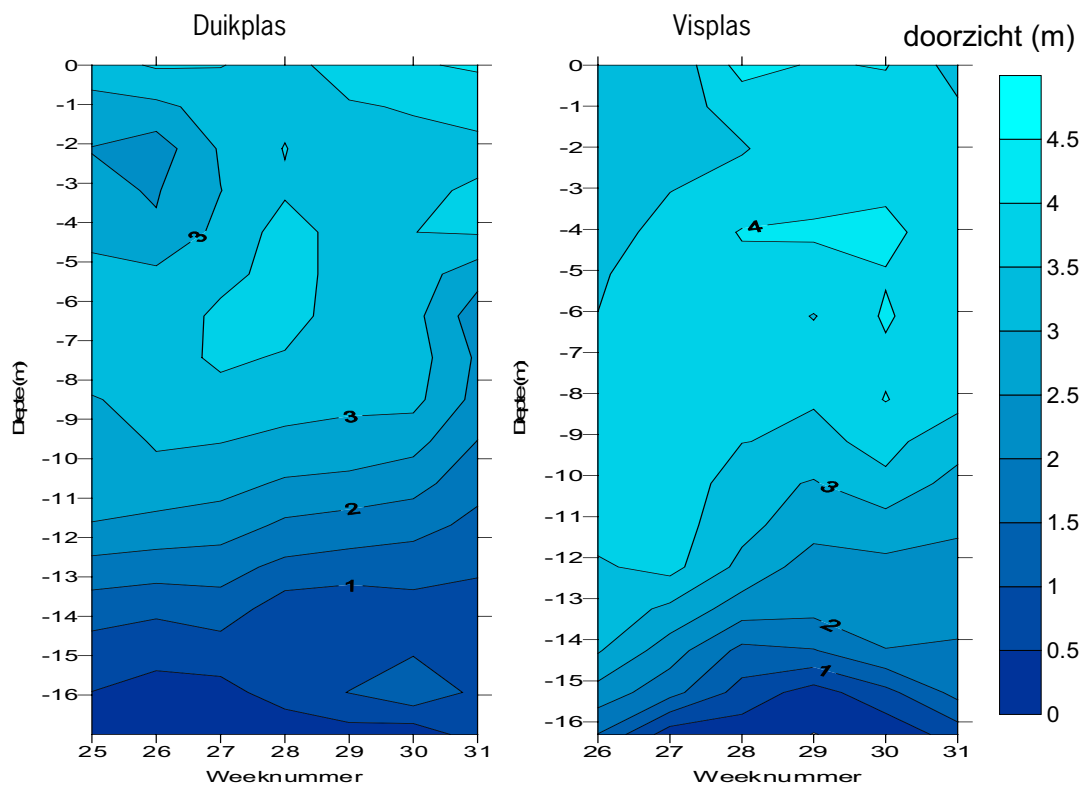
NTU = turbiditeit

De parameters a en b zijn statistisch significant ($r^2 = 0.65$), maar de $Sd(0)$ is niet significant. De uitkomst dat er altijd een Secchi-doorzicht is van 19 centimeter, is ook onwaarschijnlijk. De grote set aan gemeten NTU-waarden is middels de formule omgezet in waarden voor doorzicht. Als voorbeeld: op 30 juli is in de duikplas op 6 meter diepte een troebelheid van 3.7 NTU gemeten. Deze troebelheid geeft volgens de formule een doorzicht van 2.31 meter:

$$Sd_{(m)} = Sd_{(0)} + a * e^{(-b * NTU)} \Rightarrow$$

$$Sd_{(m)} = 0.19 + 4.7894 * e^{(-0.22 * 3.7)} = 2.31 \text{ meter}$$

Op deze manier zijn alle gemeten NTU-waarden doorgerekend en zijn isoplotten gemaakt voor doorzicht in beide plassen. Het resultaat is te zien in figuur 4.7:



Figuur 4.7: Isoplotten voor het berekende horizontale Secchi-doorzicht (in meters) in de duikplas en in de visplas

Uit de isoplotten blijkt dat het doorzicht in de visplas groter is dan het doorzicht in de duikplas. Op een diepte van 11 meter en zelfs dieper blijkt in de visplas nog een doorzicht van rond de 3 meter te zijn. Het zicht in de duikplas neemt vanaf 11 meter snel af tot minder dan 2 meter. Bij een troebelheid van 0 NTU wordt een doorzicht berekend van 4.98 meter. Later wordt deze waarde geverifieerd in het model Uitzicht door de troebelheid veroorzakende componenten op 0 te stellen (zie paragraaf 5.3).

4.4 Extinctie, verstrooiing en doorzicht

4.4.1 Algen, klei en doorzicht

Zoals genoemd in de theorie wordt het doorzicht en de extinctie in water bepaald door een aantal stoffen in het water. Morris e.a. (1995) hebben in een helder meer een uitdovingscoëfficiënt voor het PAR-gebied gevonden van 0.13 per meter. Volgens Kirk (1994) kan uit de coëfficiënt een doorzicht (S_d) worden berekend volgens onderstaande formule [Kirk, 1994].

$$S_d(m) = \frac{1.44}{Kd} \Rightarrow S_d = \frac{1.44}{0.13m^{-1}} \Rightarrow S_d = 11.08 \text{ meter.}$$

In een helder meer is dus een doorzicht van minstens 11 meter mogelijk. Algen, klei, detritus en andere stoffen verminderen dit doorzicht, met name door verstrooiing van het licht. Om inzicht te krijgen in de vertroebeling van de belangrijkste stoffen zijn op de leerstoelgroep algenreeksen en kleireeksen gemaakt en is de troebelheid, die samenhangt met het doorzicht, gemeten. Het resultaat is te zien in onderstaande figuren 4.8 – 4.10. De algenreeks bestaat uit een oplopende concentratie van de huisalg *Scenedesmus Obiquus*. De oplopende concentraties uit de buisjes op de foto zijn in de grafiek uitgezet tegen de turbiditeit. De gevonden relaties komen in de discussie in hoofdstuk 5 terug.



Chlor-a ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	0	128	287	755	1601	2266	3257
NTU	0.3	4.7	9.6	28.4	62.7	114	174

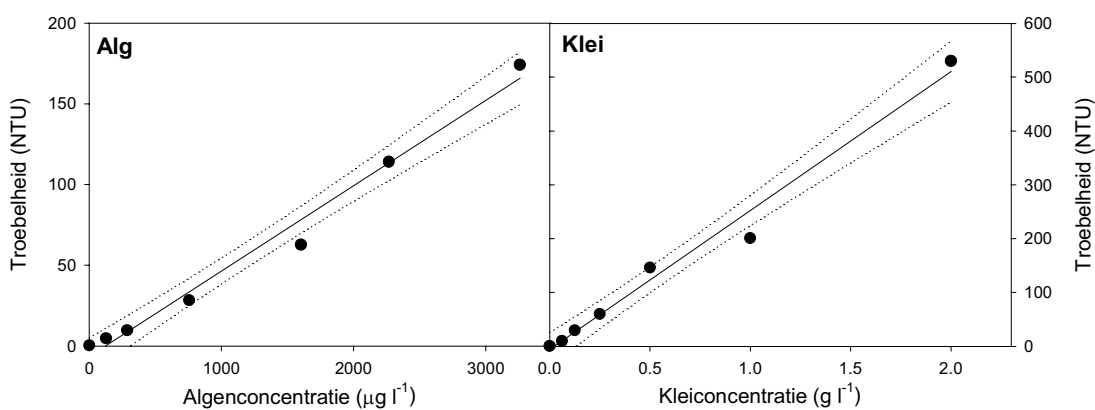
Figuur 4.8: Doorzicht algenreeks (van 0 tot 3257 μg chlorofyl-a l^{-1}) en bijbehorende troebelheid (NTU).



Klei ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	0	0.061	0.125	0.25	0.5	1	2
NTU	0.4	9.7	29.7	60	146	201	530

Figuur 4.9: Doorzicht kleireeks (van 0 tot 2 g klei $\cdot\text{l}^{-1}$) en bijbehorende troebelheid (NTU)

Bovenstaande tabellen zijn uitgezet in een grafiek waarbij de relatie is bepaald met behulp van lineaire regressie.



Figuur 4.10 Relaties tussen de algreeks en troebelheid (links) en de kleireeks en troebelheid (rechts)

Zowel de relatie alg-troebelheid als die tussen klei en troebelheid zijn te benaderen als een lineaire relatie (figuur 4.10). De stippellijnen geven het betrouwbaarheidsinterval weer. Uit de labexperimenten volgen de relaties:

alg-troebelheid:

$$\text{Troebelheid (NTU)} = -6.4 + 0.053 \cdot \text{chlorofyl-a } (\mu\text{g } \text{l}^{-1}) \quad (r^2 = 0.985)$$

klei-troebelheid:

$$\text{Troebelheid (NTU)} = -5.4 + 257.8 \cdot \text{klei (g l}^{-1}\text{)} \quad (r^2 = 0.983)$$

4.4.2 Bepalende stoffen in De Berendonck

De watermonsters die zijn meegenomen uit De Berendonck, zijn in het laboratorium geanalyseerd op gloeirest (een maat voor de hoeveelheid klei), chlorofylgehalte (een maat voor de hoeveelheid alg), drooggewicht (een maat voor de hoeveelheid zwevende stof) en humuszuren. Het materiaal dat na filtratie van een hoeveelheid water op het filter achterblijft, geeft al een duidelijke indicatie van de hoeveelheid zwevende stof per monster. Op de foto van de twee filterreeksen van oplopende diepte is al een duidelijk kleurverschil te zien: hoe donkerder het filter hoe meer zwevend materiaal (figuur 4.11):

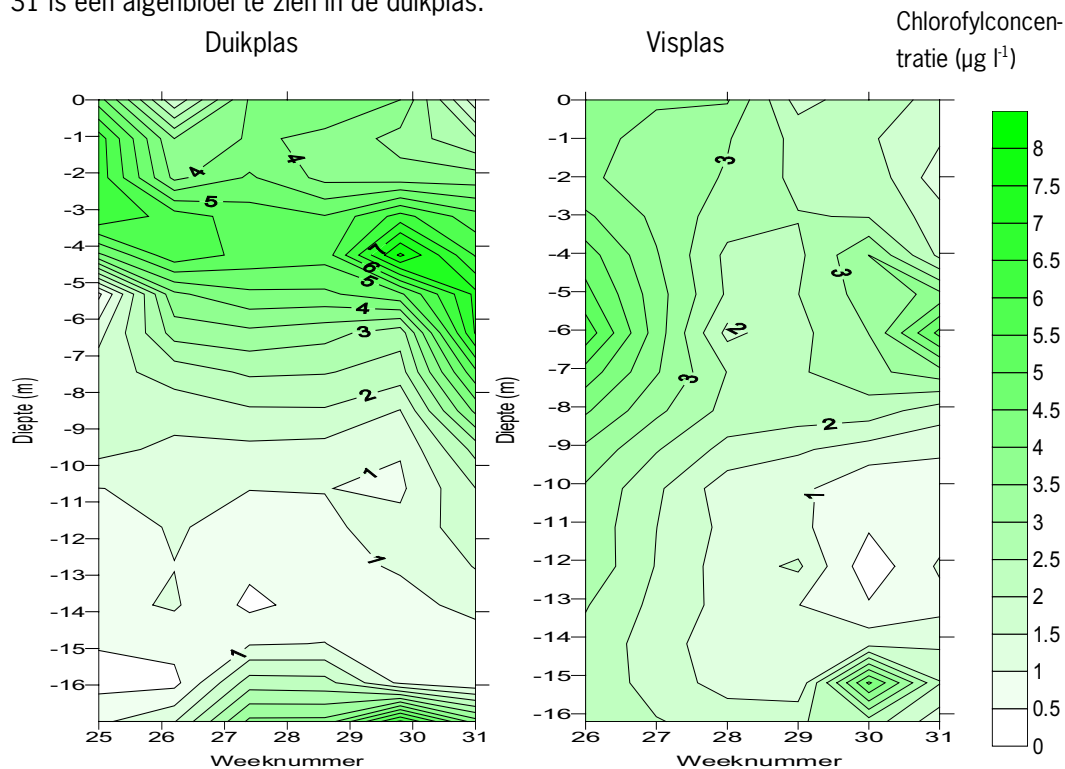


Figuur 4.11: Foto van filters nadat er een identieke hoeveelheid water per monster uit beide plassen over is gefilterd

De resultaten van deze analyses staan weergegeven in grafieken, waarbij de concentratie tegen de diepte staat weergegeven. Om een overzichtelijker beeld te krijgen van de grote hoeveelheid aan data zijn wederom de isoplotten gebruikt.

Chlorofyl-a

De grafiek met de gemiddelde chlorofyl-concentraties per diepte is te vinden in bijlage 4.3. De standaarddeviatie is middels de verticale streepjes links en rechts van de gemiddelde waarde terug te vinden. De chlorofyl-a concentratie als maat voor de algen is in beide plassen laag en ligt beneden de $10 \mu\text{g l}^{-1}$ (zie figuur 4.12). De concentraties zijn in de referentieplas lager dan in de duikplas. Ook per monsterdatum verschillen de concentraties en vooral in week 30 en 31 is een algenbloei te zien in de duikplas.



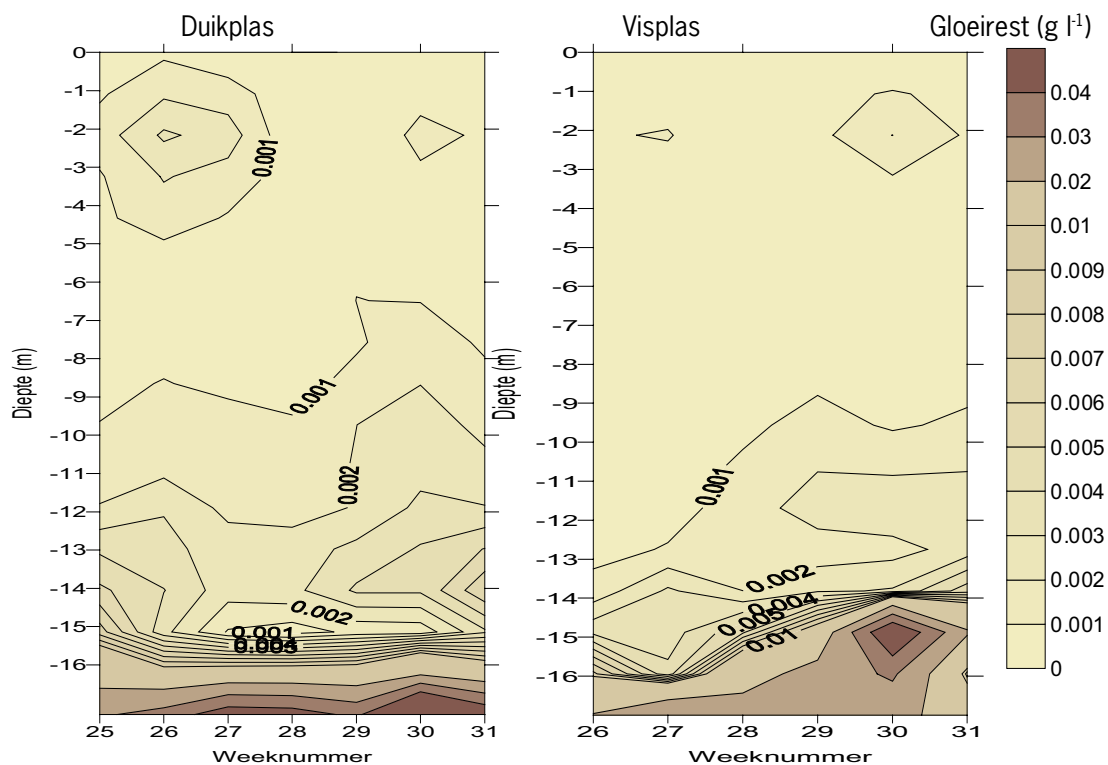
Figuur 4.12: Chlorofyl-a (in $\mu\text{g l}^{-1}$) isoplotten voor de duikplas en visplas

Drooggewicht

Net zoals bij de chlorofyl-concentratie zijn gemiddelden voor het drooggewicht per diepte, verplaatst naar de bijlagen (zie 4.4). Het drooggewicht bestaat uit het opgetelde gewicht van het organische gedeelte (algen, detritus en ander organisch materiaal) en het anorganische gedeelte (voornamelijk kleideeltjes). De resultaten van het drooggewicht alleen zijn vanwege de vele componenten weinig bruikbaar en dus is ook de isoplot van het drooggewicht verplaatst naar de bijlage (zie 4.5). Zoals te zien is in de bijlagen 4.4 en 4.5, zijn de drooggewichten voor de duikplas met name in de bovenste 14 meter groter dan de drooggewichten voor de visplas.

Gloeirest

Ook de gemiddelden van de gloeirest zijn geplaatst in de bijlagen (zie 4.6). De anorganische fractie die overblijft na verassen (gloeirest) geeft een grote bijdrage aan de verstrooiing en dus aan de troebelheid van het Berendonckwater. De isoplotten van deze asvrije drooggewichten (figuur 4.13) hebben een duidelijke overeenkomst met de isoplotten van de troebelheid in het begin van paragraaf 4.3.



Figuur 4.13: Isoplotten voor de gloeirest ($g\ l^{-1}$) voor de duikplas en de visplas

In week 30 is in de visplas gemeten op een plek waar het slechts 15 meter diep was, waardoor op 15 meter een groot anorganisch deel ontstaat, dat afkomstig is van de bodem. Dat was ook al te zien in de isoplot van de troebelheid.

De anorganische fractie is uiteengezet in bijlage 4.7. Uit de tabel is af te lezen dat de anorganische fractie richting de bodem toeneemt. In de trofogene bovenlagen komt de grootste organische fractie voor.

4.4.3 'Uitzicht' en andere lichtbeschrijvende modellen

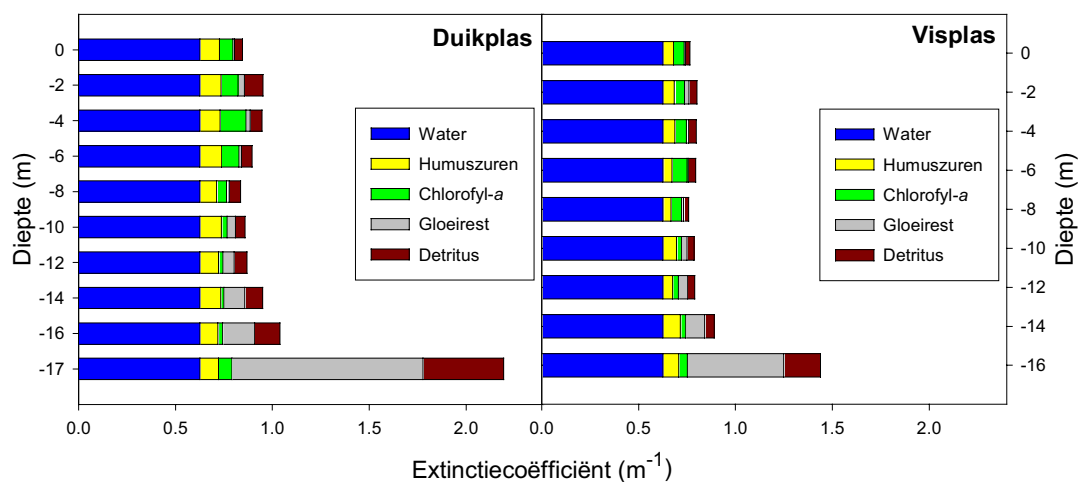
Voor de hoeveelheden chlorofyl-a, de drooggewichten en de gloeiresten uit de vorige paragraaf is per diepte een gemiddelde berekend. Deze gemiddelden uit de bijlagen 4.3, 4.4 en 4.6 zijn gebruikt om met het model Uitzicht de extinctie-coëfficiënt en het doorzicht te bepalen. Het model gebruikt de formule die is te vinden in §2.3. In onderstaande tabel kan

worden afgelezen wat het model Uitzicht heeft berekend voor het doorzicht en de extinctie-coëfficiënt:

Tabel 4.1 Berekende doorzicht (S_d , m) en uitdoving (K_d , m^{-1}) door het model 'Uitzicht' voor verschillende dieptes in de Visplas en de Duikplas

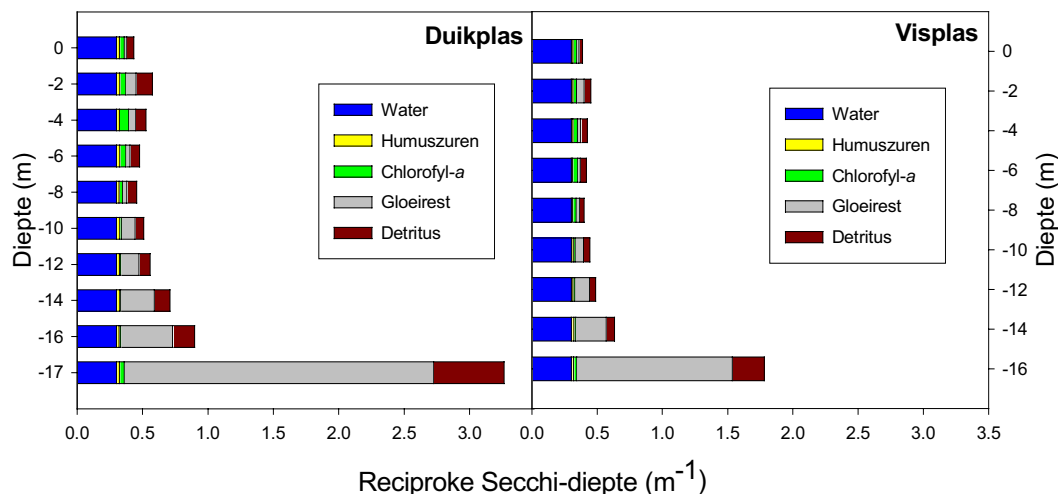
Diepte (m)	Duikplas		Visplas	
	S_d (m)	K_d (m^{-1})	S_d (m)	K_d (m^{-1})
0	3.53	0.59	4.67	0.46
2	2.15	0.73	3.43	0.52
4	2.41	0.71	3.83	0.50
6	2.89	0.66	3.89	0.49
8	3.32	0.57	4.48	0.45
10	2.80	0.62	3.72	0.50
12	2.44	0.62	3.12	0.50
14	1.69	0.73	2.00	0.65
16	1.22	0.82	0.54	1.18
17	0.28	1.83		

De gemiddelde waarden zijn ook gebruikt om de bijdrage per component te bepalen in de formules die Buiteveld (1994) heeft gebruikt om zijn lineaire verband te kalibreren in enkele randmeren in Nederland. Het lineaire verband is tevens te vinden in §2.3. In onderstaande figuren kan worden afgelezen wat per diepte de extinctie-coëfficiënt en het doorzicht volgens Secchi is en welke stoffen bijdragen aan deze uitdoving en doorzicht:



Figuur 4.14 Bijdragen per component aan extinctie (m^{-1}) in de duikplas en in de visplas

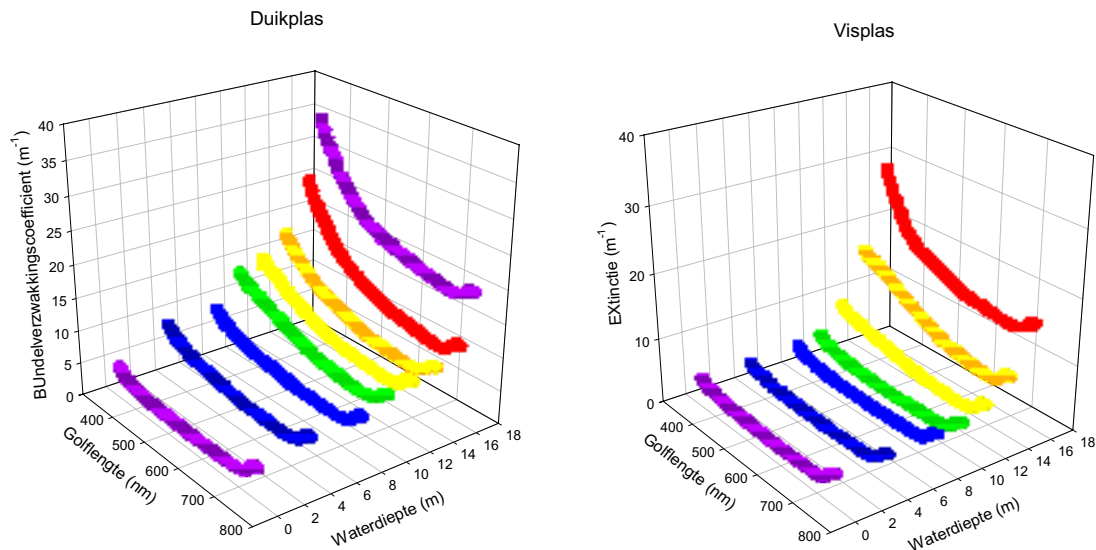
Te zien is dat in de lineaire relatie van Buiteveld water een dermate grote bijdrage levert aan de uitdoving van licht, dat de andere componenten onderling nauwelijks meer vergelijkbaar zijn. Er valt af te lezen dat in de bovenste waterlagen de extinctie voornamelijk wordt bepaald door humuszuren en chlorofyl-a en dat in de onderste waterlagen de gloeirest (anorganische fractie) een grotere rol speelt. Opvallend is de toename van de bijdrage van detritus in de buurt van de bodem. De bijdrage per stof aan extinctie is eenvoudiger de bijdrage aan de verslechtering van het doorzicht, omdat met het toenemen van de concentratie aan stoffen ook de extinctie toeneemt. Het doorzicht neemt af bij een toename van de concentraties en dus wordt in figuur 4.15 de bijdrage per stof aan de inverse van het Secchi-doorzicht gerelateerd.



Figuur 4.15 Bijdragen per component aan de reciproke Secchi-diepte (m^{-1}) in de duikplas en in de visplas

Wederom levert water een relatief grote bijdrage, maar in het geval van de reciproke Secchi-diepte kan duidelijk worden afgelezen dat, met name op grotere diepte, ook de gloeirest een grote bijdrage levert (figuur 4.15). Daarnaast geeft in de buurt van de bodem detritus nog een redelijk grote bijdrage.

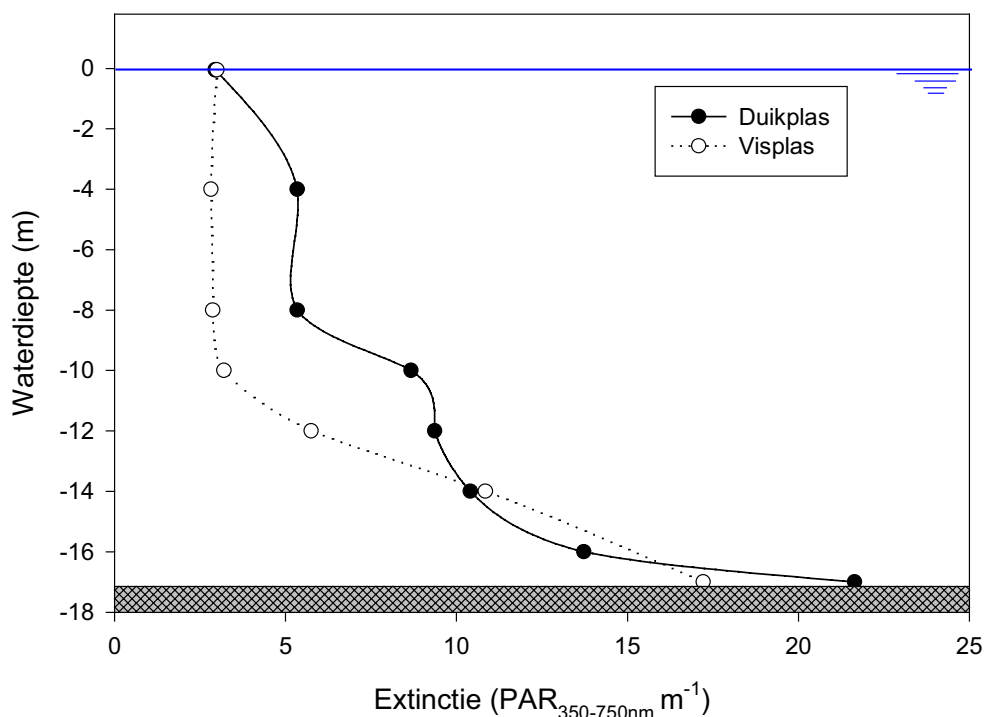
In de Beckman DU-530 spectrofotometer is de uitdoving van licht gemeten rond het PAR-gebied ('zichtbaar licht' tussen 350-750 nm). De resultaten zijn te zien in onderstaande figuur 4.16. De uitdoving (in dit verband wordt de bundelverzwakking als ongeveer gelijk beschouwd met de uitdoving) is te vergelijken met de gevonden uitdoving van de meetgegevens die zijn verwerkt in Uitzicht. De beschreven eigenschappen van de verschillende lichtabsorberende stoffen, zoals beschreven in hoofdstuk 2, kunnen worden vergeleken met de resultaten van onderstaande figuren.



Figuur 4.16: Bundelverzwakingscoëfficiënt per golflengte over de waterdiepte in de duikplas (links) en de visplas (rechts)

De bundelverzwakingscoëfficiënt van licht in de duikplas is aanzienlijk groter dan in de visplas. Tevens is duidelijk dat de coëfficiënt toeneemt in de diepte. De opname van licht met korte golflengtes (o.a. blauw licht) door humuszuren, algen en detritus is terug te vinden in deze figuur 4.16 waar de bundelverzwakingscoëfficiënt toeneemt met een afname van de golflengte van het licht. Licht van grotere golflengtes (geel, oranje licht) wordt minder goed geabsorbeerd, wat overeen komt met de verwachting.

In dit onderzoek is de uitdoving berekend rond het PAR-gebied door van de verschillende uitdovingcoëfficiënten het gemiddelde te nemen. In onderstaande figuur 4.17 staat voor beide plassen deze uitdoving uitgezet tegen de diepte.



Figuur 4.17: PAR-extinctie van de visplas en de duikplas

Absoluut kan de met Uitzicht berekende uitdoving uit tabel 4.1 niet worden vergeleken met de bundelverzwakking van de Beckman-meter. Bovendien bepaalt Uitzicht de coëfficiënt over het golflengtegebied van 400 tot 700 nanometer in plaats van de bovenstaande 350 tot 750 nm. Relatief vergelijkend is duidelijk te zien dat de uitkomsten van het model Uitzicht uit tabel 4.1 en de gemiddelde uitkomsten van de Beckman redelijk overeen komen voor de uitdoving, want de coëfficiënten vertonen een zelfde verloop. De gemeten bundelverzwakkingscoëfficiënt is in de visplas ook ongeveer constant tot 12 meter diepte. De gemeten bundelverzwakkingscoëfficiënt voor de duikplas lijkt bij 0 en 4 meter diepte wat aan de lage kant.

In het veld is de uitdoving ook nog gemeten met de lichtsensor en is de verticale Secchi-diepte bepaald. De resultaten, berekend volgens de formule van Lambert-Beer, staan in tabel 4.2 vermeld. Het betreft de gemiddelde uitdoving van de eerste 9 meter. De bepaling van de richtingscoëfficiënten is uiteengezet in grafieken. Deze zijn terug te vinden in bijlage 4.8 (duikplas) en 4.9 (visplas). In de duikplas is te zien dat de uitdoving over de eerste 9 meter een minder constant patroon geeft dan de uitdoving in de visplas. Aan het verloop van de $\ln I_z$ is te zien dat in de duikplas de uitdoving toeneemt tussen de 5 en 9 meter diepte. In de visplas heeft de uitdoving een constant verloop en dit komt overeen met de uitkomsten van de Beckman-metingen (figuur 4.17).

Tabel 4.2 Gemeten uitdoving (K_d , m^{-1}) over de bovenste 9 meter en het verticale doorzicht (S_d , m) in de Visplas en de Duikplas gedurende de periode 18 juni – 30 juli 2002.

Datum	Duikplas		Visplas	
	K_d (m^{-1})	S_d (m)	K_d (m^{-1})	S_d (m)
18-juni	0,21	1,5		
25-juni	0,22	2,4	0,16	2,7
2-juli		2,5		3,3
9-juli	0,20	3,0	0,16	4,8
16-juli	0,20	3,0	0,11	4,5

23-juli	0,23	3,3		
30-juli	0,28	3,5	0,15	4,1

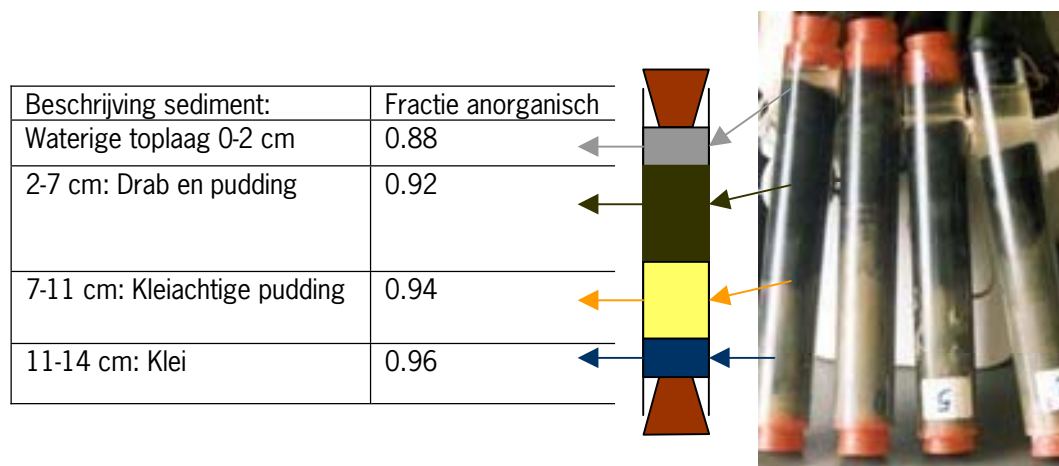
De extinctiewaarden uit tabel 4.2 geven een gemiddelde van de eerste 9 meter. Voor het doorzicht en de extinctie kunnen de uitkomsten van het model worden vergeleken met de uitkomsten van het doorzicht uit de praktijk. Voor de extinctie in de eerste 9 meter blijkt dat Uitzicht de coëfficiënten ongeveer een factor 3 te hoog inschat. Voor het doorzicht komen de waarden goed overeen, behalve de eerste meting in de duikplas, die voorziet in een waarde die veel lager is. Het gemiddelde verticale gemeten doorzicht (2.75 meter) komt overeen met de berekening die Uitzicht heeft gemaakt voor de bovenste meters.

Omdat het snoer niet langer is dan 9 meter kon de betrouwbare lichtmeter slechts tot 9 meter diepte worden gebruikt. Om extinctie op diepte te berekenen waren lichtsensoren opgehangen aan het onderwaterhuis, waarbij de datalogger door leden van De Kaaiman in het onderwaterhuis was geplaatst. Helaas heeft deze proef geen resultaten opgeleverd, omdat één van de lichtsensoren niet werkte. Het resultaat van de andere lichtsensor is onbruikbaar doordat er sedimentval op de sensoren heeft plaatsgevonden.

4.5 Bodem en sedimentval

4.5.1 Onderwaterbodem

Voor de analyse van de bodem is onder andere de fractie van het organisch materiaal bepaald van de verschillende bodemlagen. Naast de foto's staat een beschrijving van de verschillende lagen die zijn gevonden in de steekbuizen van de genomen bodemmonsters (figuur 4.18). De rechter sedimentbuis op de foto is gestoken direct onder de ingang van het onderwaterhuis. Te zien is dat de zwarte bodemlaag veel dunner is. De andere monsters zijn iets van het onderwaterhuis af genomen. De resultaten van de bepaling van de anorganische gewichtfractie staan naast de foto:



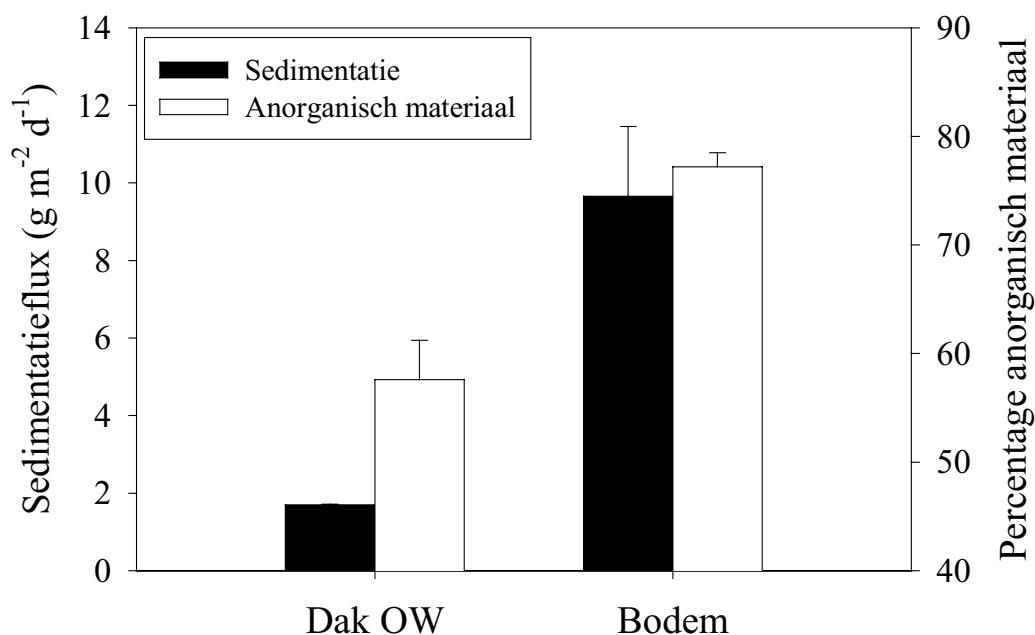
Figuur 4.18: Sedimentmonsters

Te zien is dat in de bovenste laag de kleinste fractie anorganische stof wordt gevonden (of de grootste fractie organische stof). Juist deze laag is bij de ingang van het onderwaterhuis niet aanwezig, zoals op de rechterfoto te zien is. Het organische deel komt vermoedelijk van het natuurlijke proces van het neervallen uit het epilimnion.

4.5.2 Sedimentatie

In dit pilot-onderzoek is een eerste indicatie gekregen van de hoeveelheid materiaal dat uit de waterkolom neerddarrelt. De hoeveelheid materiaal ingevangen in vier op het dak van het onderwaterhuis geplaatste sedimentvallen (10 m diepte) is vergeleken met de hoeveelheid ingevangen materiaal in drie sedimentvallen die één meter boven de bodem stonden (16 m

diepte). In de sedimentvallen nabij de bodem is aanzienlijk meer gesedimenteerd materiaal gevonden dan in de sedimentvallen die op het dak van het onderwaterhuis stonden. Voor elke buis is de sedimentflux berekend ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$) en deze sedimentatieflux is bij de bodem vele malen groter dan de sedimentatieflux op het dak van het onderwaterhuis (figuur 4.19). In de buurt van de bodem daalt ongeveer 5 keer zoveel materiaal neer als op het dak van het onderwaterhuis. Het percentage anorganisch materiaal uit de sedimentvallen is berekend en de sedimentvallen van het dak, net onder de trofogene laag, bevat een hoger percentage organisch materiaal (figuur 4.19).

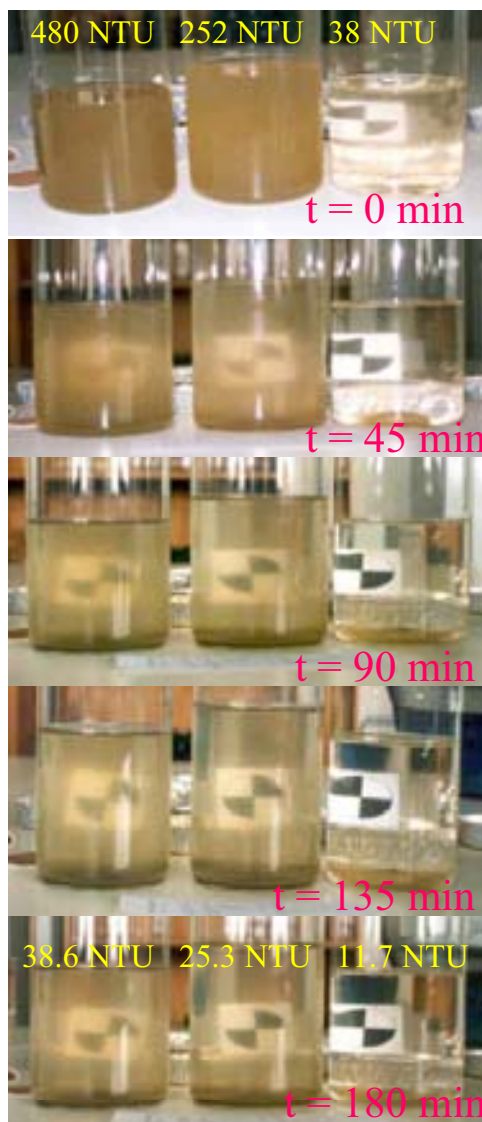


Figuur 4.19 Sedimentatiefluxen (zwarte in staafdiagram, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dag}^{-1}$) en het anorganisch deel van het gesedimenteerde materiaal (wit in staafdiagram, %) voor materiaal ingevangen

Bij enkele duiken die werden gemaakt in de referentieplas, ontstond na het aanraken van de bodem een grote troebele wolk van geresuspendeerd bodemmateriaal. Het doorzicht verslechterde sterk in korte tijd. Dit proces lijkt zich ook in de duikplas af te spelen.

In dit pilot-onderzoek zijn voor 7 sedimentvallen de resultaten verwerkt. Eén van de sedimentvallen heeft 4 weken op de bodem gestaan, omdat bij de eerste keer ophalen deze val niet werd gevonden. Het linker bekerglas op de foto bevat de inhoud van de sedimentval die 4 weken op de bodem heeft gestaan. De middelste bevat de inhoud van de sedimentval die 2 weken op de bodem heeft gestaan en het rechterbekerglas bevat de inhoud van één van de vallen op het dak van het onderwaterhuis. Na schudden is om de drie kwartier is een foto gemaakt van het sediment uit de vallen. De resultaten van de bezinkreeks zijn op de foto's rechts van deze tekst te zien (figuur 4.20).

Aan het begin en aan het einde van de reeks is de troebelheid gemeten. De troebelheid is aanzienlijk minder geworden na bezinking gedurende 180 minuten. Toch is te zien dat er voldoende gesuspendeerd materiaal overblijft, waardoor het water troebel blijft. Het bekerglas met sediment van 4 weken heeft na een bezinktijd van 180 minuten nog steeds een troebelheid van 38.6 NTU. De troebelheid in het bekerglas van de sedimentval op 10 meter diepte is afgenomen tot 11.7 NTU.



Figuur 4.20 Bezinkreeks van materiaal uit de sedimentvallen van de bodem en vallen van het dak van het OWH op verschillende tijdstippen met bijbehorende troebelheid in NTU's

4.6 Overige resultaten

4.6.1 Nutriënten

Van de genomen watermonsters zijn nutriëntenanalyses uitgevoerd in het laboratorium. Een indicatie van de resultaten is op te maken uit de eerste gegevens die zijn binnengekomen. De gegevens voor ammonium zijn weergegeven in bijlage 4.10. In de buurt van de bodem is de concentratie hoger. De gegevens van nitraat, fosfaat en ortho-fosfaat zijn nog niet duidelijk uiteengezet, maar worden uitgebreid beschreven in het rapport van Mohamed Abdel Rahman, die onder begeleiding van Ir. Jeroen de Klein (AEW, WUR) een nutriëntenstudie aan het realiseren is. Door onderwaterobservaties, waarbij filamenteuze alg en grote algenkwabben werden gesignaleerd, bestaat het vermoeden dat de duikplas meer eutroof is dan de referentieplas (de visplas). Bovendien is de concentratie chlorofyl-a in de duikplas aanzienlijk hoger. Uit het STOWA-rapport (STOWA 94-18) blijkt overigens dat de nutriëntenconcentraties in het najaar van 1990 zeer laag waren.

4.6.2 Geschiedenis

Bij het recreatieschap 'Nijmegen en Omgeving', tegenwoordig RGV Holding B.V. en uit de literatuur van het recreatieschap is diverse belangrijke informatie naar voren gekomen. Bij de ontwikkeling van de plas is waarschijnlijk het duikgedeelte niet gebruikt als slibstort. Daarnaast is genoemd dat voor het terugeten van het wier inderdaad 1000 kroeskarpers zijn uitgezet.

4.6.3 Anderen

De vraag naar informatie bij Prof dr. Gerard van der Velde (KUN) heeft geen resultaat opgeleverd, omdat de student nooit een verslag over zijn bevindingen in de Berendonck heeft ingeleverd en dat na drie jaar waarschijnlijk ook niet meer gaat doen. Van de Rauwbraken in Tilburg en van meneer Guido Waajen, voorzitter van de landelijke stichting 'Plassen en Meren', is nog niets vernomen, maar het contact is onderweg. Wel heeft de benadering van derden een contact opgeleverd met de heer Walther van Kesteren van WL/Delft Hydraulics. Het bedrijf voert regelmatig diverse werkzaamheden uit aan plassen, waarbij eisen worden gesteld aan doorzicht tijdens deze werkzaamheden. Op 26 september 2002 is een bezoek gebracht aan het bedrijf en zijn enkele onderzoeksresultaten ingezien van eerdere onderzoeken naar doorzicht in diepe plassen tijdens werkzaamheden aan die diepe plassen. Meer inzicht is verkregen in de mogelijkheden voor korrelgroottebepaling van de bodem, waarbij apparatuur van het bedrijf kan worden gehuurd. Ook is duidelijk geworden dat de coagulatie en dispersie van de humuszuren met de kleideeltjes een grote invloed kunnen hebben op de vertroebeling. Een voorbeeld is bekeken aan de hand van een foto, waarbij in een zelfde omstandigheid door verhoging van de pH de dispersie van de humuszuren voor een duidelijke vertroebeling zorgde. Daarnaast blijken bacteriën via deze weg in staat relatief snel een omslag in samenstelling van vertroebelende stoffen teweeg te kunnen brengen.

5. DISCUSSIE

5.1 Fysische variabelen

Het temperatuurverloop, zoals is te zien in de isoplotten, vertoont een normaal patroon dat te verwachten is in diepe zandwinputten. Het patroon komt overeen met het beeld dat Jaarsma (2000) heeft geschetst en met de metingen die zijn gedaan in de zandwinput 'De Maarsseveense Plassen'. De temperatuursdaling in de bovenste laag bij het beluchten van het onderwaterhuis duidt op een menging van de waterlagen, waarbij vermoedelijk het koude water uit de diepte naar boven wordt geleid. De luchtbellen komen vanaf de buizen aan de onderkant van het onderwaterhuis, waardoor ook doorzicht-verminderende stoffen naar boven kunnen worden geleid. Er zijn tijdens het beluchten echter geen metingen verricht naar troebelheid of andere parameters die doorzicht bepalen. Daarnaast is een beluchtingstijd gebruikt die vele malen korter was dan de tijd die De Kaaiman regelmatig hanteert voor beluchting.

De hogere zuurstofconcentratie in de referentieplas wordt vermoedelijk veroorzaakt door de fotosynthese, die bij het verder doordringende licht in de referentieplas nog mogelijk is. De uitdoving (E) is lager waardoor de eufotische diepte (Z_{eu}) groter is, zoals de formule van Scheffer (1998) dat beschrijft:

$$Z_{eu} \approx \frac{4.6}{E}$$

De productieve laag wordt ook wel trofogene laag genoemd en is in de referentieplas dus dikker en de zuurstofloze laag (trofolytische laag) is in de referentieplas dunner. Door de watermenging in de herfst kan het verschil in de dikte van deze lagen mogelijk een verschil in samenstelling teweeg brengen door de hele waterkolom heen.

De lichte daling van de pH richting de bodem wordt mogelijk veroorzaakt door de productie van lichte zuren (o.a. CO_2) bij de afbraak van het organisch materiaal dat op de bodem neervalt of door een voeding met zuurder grondwater. De stijging van de EGV richting de bodem kan mogelijk worden verklaard door een voeding van ionen-rijker grondwater, maar dat is nog te onzeker.

5.2 Doorzicht en troebelheid

In de vertaalslag van troebelheid naar doorzicht is de factor licht slechts indirect meegerekend. Bij de metingen van het doorzicht op grote diepte is de licht-intensiteit namelijk gering, waardoor de licht-beperkende factor voor doorzicht dus automatisch wordt verwerkt. Daarbij is verondersteld dat de troebelheid met de diepte toeneemt. Helaas is in de maand augustus op geringere diepte een grotere hoeveelheid vertroebelende en licht-absorberende stoffen gevonden, waardoor de vertaal-formule waarschijnlijk minder nauwkeurig zal werken. Bijvoorbeeld een algenbloei op enkele meters diepte kan een dermate grote hoeveelheid licht absorberen, dat op grote diepte nauwelijks licht overblijft. De situatie zou kunnen ontstaan dat de formule bij een geringe troebelheid op diepte een groter doorzicht voorspelt dan de werkelijkheid. Daarom zal in de toekomst de lichtintensiteit meegerekend moeten worden in een eventuele doorzichtformule. Voor de vertaling in de pilot voldoet de formule, omdat de troebele wolk nog voornamelijk in de buurt van de bodem hing. Daarnaast nemen duikers een lamp mee, waardoor de problemen met geringe lichtintensiteit omzeild kunnen worden. Wellicht dat een nieuwe relatie troebelheid – 'doorzicht met lamp' onderzocht kan worden. Eind september 2002 is geprobeerd meer inzicht te krijgen in de relatie lichtintensiteit – doorzicht door deze te meten bij gelijke troebelheid. Door een defecte lichtmeter is die proef mislukt en dus zal deze proef in het voorjaar worden herhaald. Dit zal gebeuren door op een onbewolkte dag gedurende de dag tot en met de zonsondergang de lichtintensiteit en het doorzicht te meten.

Het doorzicht volgens Secchi komt wellicht niet overeen met het doorzicht zoals duikers dat ervaren. De zwart-witte Secchi schijf kan voor een groter contrast zorgen dan bijvoorbeeld een zwart duikpak, terwijl een felle lamp onder water misschien beter zichtbaar is dan de Secchi-schijf.

5.3 Doorzicht bepalende stoffen en modellen

Uit de resultaten van de doorzicht bepalende stoffen is af te lezen dat de concentraties in de duikplas groter zijn dan in de referentieplas. Ook de chlorofylconcentraties zijn in de duikplas aanzienlijk groter, maar nog steeds zijn deze concentraties niet erg hoog. De gevonden relatie alg-troebelheid (zie paragraaf 4.5.1) resulteert, bij de hoogst gevonden concentratie chlorofyl-a ($7 \mu\text{g l}^{-1}$) in een troebelheid van 0,671 NTU. Hierbij is de richtingscoëfficiënt van de gevonden relatie gebruikt en is voor de NTU (0) de beginwaarde van 0.3 NTU genomen.

In de formule van De Lange (1999) zorgt een concentratie van $7 \mu\text{g l}^{-1}$ chlorofyl-a voor een uitdoving van $0,063 \text{ m}^{-1}$ en in de formule van Buiteveld zorgt deze concentratie voor een uitdoving van $0,15 \text{ m}^{-1}$. Beide waarden verschillen aanzienlijk maar de uitdovingcoëfficiënten zijn beide laag. Bij invoer van alleen chlorofyl in het model Uitzicht is de extinctie-coëfficiënt 0.42 m^{-1} en is het doorzicht bepaald op 4.6 meter (dat volgens de vertaalfomule overeenkomt met een troebelheid van 0.38 NTU). Kortom: algen dragen in De Berendonck niet veel bij aan de troebelheid.

Voor het anorganische stofgehalte geldt ook dat de gehalten in de duikplas hoger zijn dan in de referentieplas. De gevonden relatie klei-troebelheid (zie paragraaf 4.5.1) resulteert bij de concentraties die gevonden zijn in de duikplas ($0,002 \text{ g l}^{-1}$ vanaf 10 m. diepte) in een troebelheid van 0.916 NTU. In werkelijkheid is een grotere troebelheid gemeten, dus bovenstaande relatie lijkt niet nauwkeurig, alhoewel troebelheid door meerdere componenten wordt veroorzaakt. Wegens tijdgebrek zijn de verbanden tussen doorzicht en detritus en tussen doorzicht en humuszuren niet experimenteel in het laboratorium bepaald. Om een beter inzicht te krijgen is het de moeite waard deze verbanden wel te bekijken in het vervolgonderzoek. Met name het belang van het gedrag van humuszuren, die door hun colloïdale eigenschappen anorganische deeltjes aan elkaar kunnen kleven, moet nader worden bekeken. Deze humuszuren en de aanwezigheid van bacteriën zouden volgens Walther van Kesteren (persoonlijke mededeling) de korte heldere perioden kunnen veroorzaken in het voorjaar. De uitdovingcoëfficiënten die De Lange (1999) en Buiteveld berekenen met hun lineaire relaties zijn respectievelijk 0.086 m^{-1} en 0.051 m^{-1} . Ook deze uitdovingcoëfficiënten zijn laag, maar dit komt doordat de minerale stof voornamelijk voor vertroebeling zorgt.

De lineaire relatie van De Lange lijkt verder niet geschikt om de bijdragen per component weer te geven, eenvoudigweg omdat zij niet alle componenten in haar relatie betreft. Uitzicht betreft wel de meeste componenten, maar de berekening naar doorzicht en extinctie is te ingewikkeld om deze terug te koppelen naar afzonderlijke impact. Uit de lineaire relatie van Buiteveld, waarbij de bijdrage per component kan worden weergegeven, blijkt dat water een relatief grote bijdrage levert aan de extinctie-coëfficiënten (zie figuur 4.14). Ook aan de inverse Secchi-diepte levert water naast anorganische stof een grote bijdrage (zie figuur 4.15). De bijdrage van algen en detritus aan de extinctie-coëfficiënt vertoont een patroon dat begrijpelijk is door het natuurlijke proces van neerval van organisch materiaal uit de trofogene laag. In de bovenste waterlagen dragen de algen bij aan de extinctie en in de diepere gedeelten neemt het aandeel van detritus (dood organisch materiaal) toe. De invloed van humuszuren is te zien bij de extinctie-coëfficiënt en niet bij de reciproke Secchi-diepte. Dit is overeenkomstig de verwachting dat alleen particuliere deeltjes verstrooiing veroorzaken. De hoeveelheid particuliere deeltjes in de vorm van de gloeirest (anorganisch materiaal) is het grootst in de diepere delen, met name in de buurt van de bodem. In een meer in de buurt van Madrid (Spanje) kan de hoeveelheid inwaaierend anorganisch materiaal bepalend zijn voor de verstrooiing [Alvarez-Cobelas e.a., 2002]. In De Berendonck lijkt met de toename van de

hoeveelheid anorganisch materiaal met de diepte eerder de bodem als bron te fungeren. De hoeveelheid inwaaierend anorganisch materiaal kan worden bepaald met sedimentvallen op geringe diepte.

De relatief grote bijdrage van water doet het vermoeden rijzen dat de gebruikte modellen van De Lange en Buiteveld het lichtklimaat niet correct kunnen beschrijven, omdat de concentraties van bijdragende stoffen te laag zijn. De modellen werken beter voor troebel water. Voor De Berendonck kan wellicht een geschiktere relatie gevonden worden in beschrijvingen voor heldere meren. Dat de bijdrage van water volgens de relatie van Buiteveld wordt overschat, blijkt ook uit figuur 4.17, waarin de uitdoving per diepte wordt weergegeven. Bij dieptes van 0, 2 en 4 meter is de uitdoving nihil in vergelijking met de uitdoving op grotere dieptes. Uiteraard is de invloed van water door de gehele waterkolom min of meer gelijk.

Met de lichtmeter zijn de uitdovingcoëfficiënten bepaald voor de bovenste negen meter. De uitkomsten van Uitzicht zijn vergeleken met de werkelijke waarde met de lichtmeter. In de bovenste negen meter berekent Uitzicht een uitdovingcoëfficiënt van ongeveer 0.65 m^{-1} in de duikplas en 0.47 m^{-1} in de visplas. In werkelijkheid is de extinctie-coëfficiënt veel lager namelijk 0.24 m^{-1} en 0.15 m^{-1} en dus zit de benadering van Uitzicht te hoog. Om te verifiëren of Uitzicht ook relatief veel water meerekent, zijn de bepalende componenten op bijna 0 geprobeerd: bij invoer van waarden die nihil zijn, geeft Uitzicht een extinctie-coëfficiënt van 0.17 m^{-1} en een doorzicht van 27 m. Wederom is de extinctie-coëfficiënt aan de hoge kant.

In het kort kan worden gesteld dat de beschrijvingen van het lichtklimaat door de modellen niet geheel voldoen. Wel wordt duidelijk uit de berekende extinctie-coëfficiënten en de berekende doorzichten dat de problemen voornamelijk in de diepte liggen. De uitdoving over de eerste 9 meter is namelijk zeer klein en richting de bodem neemt het doorzicht snel af. Bepalende stoffen liggen in de diepte voornamelijk in het anorganische deel en in het detritus.

5.4 Bodemmonsters en sedimentvallen

De sedimentvallen op de bodem vangen aanzienlijk meer sediment dan de vallen op het dak van het onderwaterhuis. Er vanuitgaande dat er geen productie van deeltjes in het hypolimnion plaatsvindt, maar louter in het trofogene epilimnion, kan het verschil tussen de sedimentvallen op het dak en nabij de bodem alleen verklaard worden uit een resuspensie van bodemdeeltjes. Het is zeer aannemelijk dat het sediment uit de sedimentvallen nabij de bodem door duikers opgewerveld bodemmateriaal is, want het komt niet van boven en het proces is tevens ondervonden in de referentieplas. Zoals de foto's van figuur 4.20 laten zien, kan het sediment grote NTU-waarden veroorzaken. Dat de neerval van een dergelijke kwantiteit veroorzaakt wordt door de duikers kan worden geverifieerd door meer sedimentvallen te plaatsen, bij voorkeur ook in de referentieplas. Ook de anorganische fractie uit de sedimentvallen komt met 0.78 overeen met de anorganische fractie van de bovenste laag van de bodem. De anorganische fractie in de vallen op het dak bedraagt 0.45. Wederom wordt aangeraden de herkomst van dit materiaal te bekijken met behulp van sedimentvallen om bijvoorbeeld de door Alvarez-Cobelas et al. (2002) genoemde invloed van inwaaierend stof te kwantificeren. De organische fractie is afkomstig van de trofogene laag en wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het natuurlijke proces. Vanwege de grotere organische fractie die in suspensie is, wordt vermoed dat de valsnelheid van het organische materiaal lager is dan die van het anorganische materiaal. Deze valsnelheden kunnen in het laboratorium op de Leerstoelgroep AEW (WUR) worden bepaald [Verplanke, 2002]. Walther van Kesteren (WL/ Delft Hydraulics) noemde de mogelijkheid van resuspensie van bodemmateriaal door de grondwaterstroming, dus wederom kan met sedimentvallen in de referentieplas deze factor worden bekeken.

Lüring et al. (1995) gebruiken het eenvoudige model 'DYNEX', dat de resuspensie van bodemmateriaal door wind beschrijft. Wellicht dat de windfactor in dit model vervangen kan worden door een 'duikfactor'. Over de invloed van duikers is nog niet veel bekend en het is aan

te bevelen hierover meer te weten te komen. Om te beginnen kan een inventarisatie van het aantal duiken in de buurt van het onderwaterhuis worden gemaakt.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

Kwantificatie van doorzicht in de diepe plas De Berendonck:

- Beide plassen vertonen een gelaagdheid in temperatuur en in zuurstofconcentratie die kenmerkend is voor diepe plassen. De thermische stratificatie in de duikplas komt overeen met de stratificatie in de visplas. De duikplas wordt daarentegen wel eerder zuurstofloos, waarschijnlijk doordat licht voor de fotosynthese minder ver doordringt. De beluchting van het onderwaterhuis zorgt voor een kleine daling van de watertemperatuur in de bovenste waterlagen.
- Als antwoord op de eerste onderzoeksvraag kan worden gesteld dat het doorzicht in de duikplas slecht is, met name in de diepere gedeelten. Vanaf 13 meter diepte loopt het doorzicht volgens Secchi terug tot minder dan 1 meter. Het doorzicht is slechter dan in de referentieplas. De vertaling van turbiditeit naar doorzicht kan in deze pilot worden gemaakt, maar de methode blijft een globale benadering.

Bepalende componenten en mechanismen:

- Wat betreft de tweede onderzoeksvraag kan worden gesteld dat de concentratie aan lichtverstrooiende en lichtuitdovende stoffen, zoals algen en klei, in de duikplas groter is dan in de referentieplas. De uitdoving van licht over het PAR-gebied is groter in de duikplas, ook per golflengte. Het verschil in uitdoving doet zich voornamelijk voor tussen de 2 en de 14 meter diepte.
- De aanwezigheid van de lichtbepalende componenten komt waarschijnlijk voort uit de jarenlange natuurlijke neerval van organisch materiaal uit de trofogene laag. Daarnaast kan de bodem, die bestaat uit fijnere deeltjes, als bron fungeren. De concentraties aan componenten die bijdragen aan uitdoving en verstrooiing vertonen een logisch verloop door de diepte. De chlorofylconcentraties zijn het hoogst in de bovenste lagen, waar genoeg licht is voor fotosynthese, en de hoeveelheid detritus neemt toe in de buurt van de bodem. De hoeveelheid anorganische stof neemt toe met de diepte, met name in de buurt van de bodem.
- De relaties van Buiteveld en De Lange, die de bijdragen van de componenten beschrijven, voldoen niet voor De Berendonck. Alleen de relatie van Buiteveld geeft een redelijke indicatie, waardoor meer inzicht is verschaft in de componenten die het lichtklimaat onder water bepalen. Ook de in het laboratorium bepaalde relaties tussen klei/algen en troebelheid geven een idee over de invloed van algen en klei.
- Van de drie lichtrelaties (Buiteveld, De Lange en het model Uitzicht) die zijn meegenomen in dit onderzoek, benadert Uitzicht de werkelijkheid van het lichtklimaat onderwater het beste. Het doorzicht volgens Secchi komt aardig overeen met de werkelijke waarden, alhoewel op grotere diepte de verschillen groter worden. De uitdoving wordt echter overschat in Uitzicht, maar niet in de mate dat Buiteveld en De Lange dat doen. Een waarschijnlijke verklaring is dat De Berendonck te helder is voor de lineaire relaties die zijn gemaakt door Buiteveld en De Lange.
- De sedimentatieflux is op de bodem van de duikplas veel groter dan op het dak van het onderwaterhuis. Daarnaast komt de organische fractie overeen met die van de bovenste bodemlaag en de fractie in de sedimentvallen. Duikers dragen vermoedelijk bij aan het resuspenderen van het fijne bodemmateriaal dat in de bovenste laag van

het bodemslib voorkomt. Door opwerveling wordt het doorzicht slechter. In de referentieplas, waar niet wordt gedoken heerst een veel beter zicht.

- Het ontstaan van de makkelijk te suspenderen sliblaag is een natuurlijk proces. De iets grotere organische fractie van de bovenste bodemlaag is een bevestiging van dit vermoeden. Deze sliblaag is ook aanwezig in de referentieplas, maar wordt daar niet opgewerveld door duikers, waardoor deze plas helder blijft. Daarnaast is een grote hoeveelheid klei aanwezig in de bodemmonsters, dat mogelijk ook makkelijker in suspensie kan worden gebracht.

Oplossingsmogelijkheden:

- Na dit pilot-project kunnen wat betreft de mogelijke oplossingen slechts aanbevelingen gedaan worden tot verder onderzoek en deze zijn te vinden in de volgende paragraaf.

6.2 Aanbevelingen

Praktisch:

- De metingen in de referentieplas moeten worden gedaan op een vast punt teneinde de variatie in de afstand tot de bodem te elimineren. Daarnaast is in de theorie naar voren gekomen dat diepe delen kunnen fungeren als een soort sedimentval. Het onderwaterhuis bevindt zich in het diepste deel, dat wellicht fungeert als sedimentval. Om gelijke omstandigheden te creëren dient het profiel van de bodem in de referentieplas daarmee overeen te komen.

Theoretisch:

- Het lichtklimaat in De Berendonck kan wellicht met het model Uitzicht worden beschreven als het model op enkele punten wordt aangepast. Uitzicht dient gekoppeld te worden aan het extinctieprofiel dat vooraf gaat aan situatie op diepte, omdat het model niet voorziet in een variatie van lichtintensiteiten. Voor het doorzicht is ook de hoeveelheid licht van belang en dus moet de gangbare formule van Uitzicht worden herzien. Het is aan te bevelen de mogelijkheden tot de vorming van een lichtmodel voor diepe zandwinputten te bekijken. Een manier voor de bepaling van de lichtinvloed op doorzicht is het eenvoudigweg kalibreren van doorzicht met lichtintensiteit, waarbij de troebelheid hetzelfde blijft. Een manier om dit te doen is het meten van het doorzicht bij het invallen van de nacht, waarbij doorzicht en lage lichtintensiteiten op gelijke dieptes (dus bij gelijke turbiditeit) worden bepaald. Deze methode is vergelijkbaar met de kalibratie van het doorzicht met de turbiditeit.
- Naast de beschrijving in het model Uitzicht, kan er ook voor worden gekozen een lineaire relatie te bepalen die de situatie in De Berendonck beschrijft op een zelfde manier als Buiteveld dat heeft gedaan voor de Randmeren. De parameters dienen dan te worden aangepast voor De Berendonck. Er zijn waarschijnlijk voldoende gegevens beschikbaar om dit te realiseren.
- Het lichtklimaat is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid geresuspendeerd bodemmateriaal. Lüring et al. (1995) gebruiken het eenvoudige model 'DYNEX', dat de resuspensie van bodemmateriaal door wind beschrijft [Lüring e.a., 1995]. Wellicht dat de windfactor vervangen kan worden vervangen door een factor die samenhangt met het aantal duiken dat wordt gemaakt in de buurt van de bodem.

Oorzaken van het slechte doorzicht:

Mechanisme:

- Naast de temperatuur- en zuurstofmeting moet ook de troebelheid worden gemeten tijdens de beluchting van het onderwaterhuis.
- Om een beter inzicht te krijgen in de opwerveling door duikers moet een groter aantal sedimentvallen worden geplaatst op meerdere dieptes. Met de gegevens van de sedimentatiefluxen op verschillende afstanden van het onderwaterhuis kan een totaalbeeld van de duikplas worden verkregen. Daarnaast kan een uitgebreider onderzoek worden verricht naar de valsnelheden en de grootte en oorsprong van de deeltjes middels de methode van Verplanke (2002). De invloed van kleine deeltjes (met geringe valsnelheid) op het lichtklimaat verschilt van de invloed van grotere deeltjes. Ook voor het model 'DYNEX' is het noodzakelijk deze fractieverdeling van deeltjesgrootte te kennen [Lüring e.a., 1995].
- Om een beeld te krijgen van de snelheid waarmee de duikers bodemmateriaal resuspenderen moet het aantal duiken per periode worden geregistreerd. Het aantal duiken kan worden gerelateerd aan de troebelheid en de sedimentatiefluxen in de buurt van het onderwaterhuis.

Natuurlijke oorzaken:

- De neerval van organisch en anorganisch materiaal uit de trofogene laag moet worden gekwantificeerd. Dit kan gerealiseerd worden door extra sedimentvallen te plaatsen net onder de trofogene laag en door de bovenste sliblaag te onderzoeken op dichtheid, deeltjesgrootte en de anorganisch fractie. Ook kan de dikte van de sliblaag eventueel worden gerelateerd aan de leeftijd van de plas.
- De aanwezigheid van anorganisch materiaal (voornamelijk klei) kan verder onderzocht worden. De herkomst moet achterhaald worden; deze kan liggen in de bodem van de diepere delen zelf en/of in de resuspensie van eerder doorboorde kleilagen op geringere diepte. Daartoe kan een bodemscan gemaakt worden, wellicht met behulp van een Sonar van WL/Delft Hydraulics. Ook kunnen bodemprofielen, die gemaakt zijn tijdens de ontwikkeling van de plas, worden bestudeerd.
- De hoeveelheid aan nutriënten in de duikplas is mede bepalend voor de productie van organisch materiaal. Om meer inzicht te krijgen in het natuurlijke productieproces is het nodig de nutriëntenhuishouding te kennen.
- De invloed van de humuszuren en de eventuele bijdrage van de grondwaterstroming aan de resuspensie van (bodem)materiaal dient nader te worden bekeken. In het vervolgonderzoek kan hiertoe een korrelgrootteverdeling worden gemaakt met behulp van de zèta-potentiaalmeting. Marije van Hal zal in haar onderzoek de mogelijkheden voor gebruik nader bekijken en zal verder werken met de adviezen van Walther van Kesteren van WL/Delft Hydraulics.

Oplossingen

- Voor de eventuele uitvoering van de schoonmaak d.m.v. wegzuigen van het bodemslib is het van belang te weten wat zich onder de weg te zuigen sliblaag bevindt. Wellicht kan daartoe dezelfde sonar worden ingezet.
- Na de eerder aanbevolen kwantificatie van de natuurlijke slibvorming kan worden gedacht aan het aanbrengen van een deeltjes opnemende laag op de bodem in de vorm van grof zand of stenen. Bepaald dient te worden of een dergelijke laag geschikt is om de hoeveelheid neervallend materiaal voor een voldoende lange periode op te nemen.

- De luchtbellen die bij de beluchting van het onderwaterhuis af opstijgen, komen uit de onderkant van het onderwaterhuis, waardoor misschien transport van (bodem)materiaal naar de hogere waterlagen plaatsvindt. Wellicht kan dit worden voorkomen door de pijpen langer te maken, zodat de lucht op grotere hoogte ontsnapt.

LITERATUUR

Alvarez-Cobelas, M., Baltanas, A., Velasco, J.L., Rojo, C. (2002); *Daily variation in the optical properties of a small lake*; Freshwater Biology 2002 nr. 47, 1051-1063

Blom, G. (1992); *Licht onder water. Het belang van extinctiemetingen*; Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Natuurbeheer, Sectie Waterkwaliteitsbeheer

Bijl, J. van der (2001); *Aquavilla een uniek onderwaterhuis: Kaartje leggen op 14 meter diepte*; TotalFinaElf Impulse, najaar 2001, pag. 14 en 15

Buiteveld, H. (1994); *UITZICHT, een computermodel voor de berekening van doorzicht en extinctie*; H2O (27) 1994 nr. 6, blz. 168-174

Jaarsma, N.G. (2000); *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 8, wingaten*; LNV, Alterra

Kirk, J.T.O. (1994); *Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*; Second edition, Cambridge University Press

Lange, H.J. de (1999); *Effects of Ultraviolet-B Radiation on Phytoplankton-Zooplankton Interactions*; Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen

Lüring, M., Blom, G., Donk, E. van; *Resuspensie, sedimentatie en lichtklimaat in de Breukelveense Plas*; H2O (28) 1995 nr. 7, blz 192-198

Morris, P., Zagarese, H., Williamson, C.E., Balseiro, E.G., Hargreaves, B.R., Modenutti, B., Moeller, R., Queimalinos, C. (1995); *The attenuation of solar uv radiation in lakes and the role of dissolved organic carbon*; Limnology and Oceanography, Volume 40, No. 8, December 1995

Scheffer, M. (1998); *Ecology of Shallow lakes, Chapter 2 The abiotic environment*; Riza, Lelystad

Stowa 18 (1994); *Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. Beoordelingssysteem voor zand-, grind- en kleigaten op basis van fyto- en zoöplankton, macrofyten en epifytische diatomeeën*; 94-18

Stowa 19 (1994); *Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. Wetenschappelijke verantwoording van het beoordelingssysteem voor zand-, win- en kleigaten*; 94-19

Verplanke (2002); *De troebelheid van stromende wateren; Oorzaken en effecten op lichtklimaat en slibtransport. Een modelstudie in het Kromme Rijn gebied*; Wageningen Universiteit, Aquatische ecologie en waterkwaliteitsbeheer 014-2002

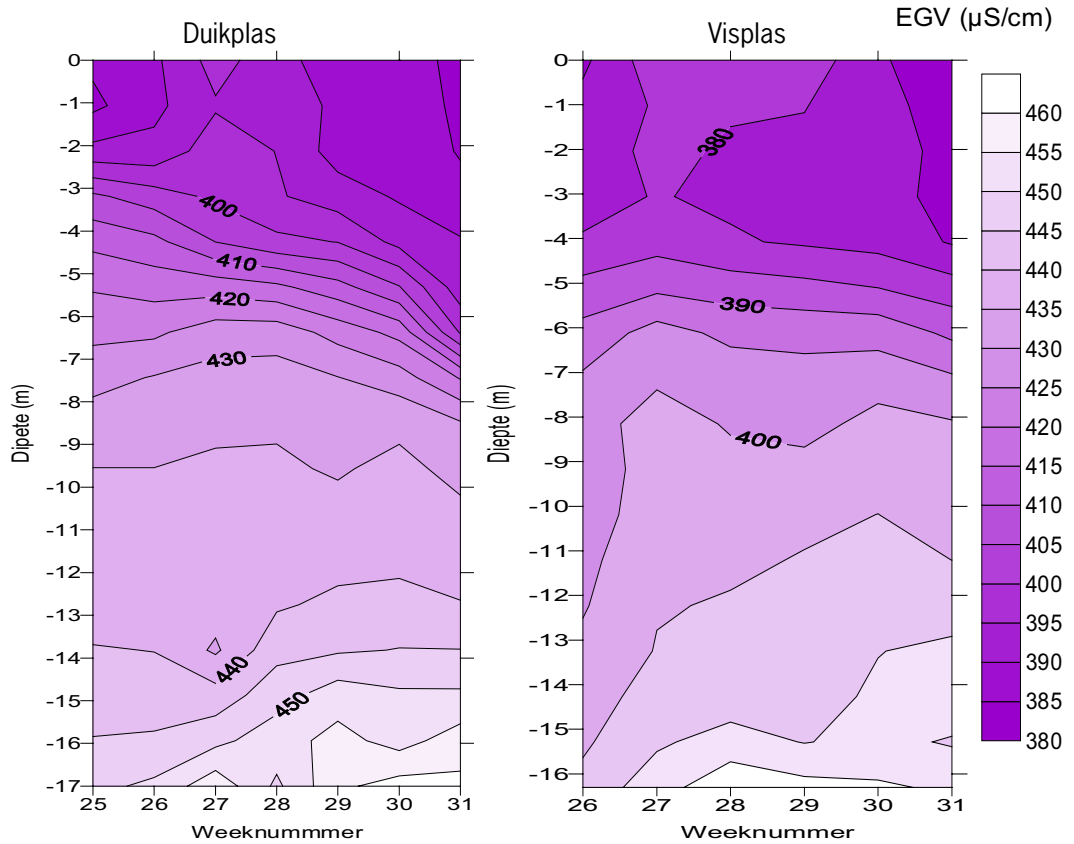
Wetzel, R.G. en Likens, G.E. (1991); *Limnological Analysis*; Second Edition, Springer New-York

<http://www.recreaschapnijm.nl/>

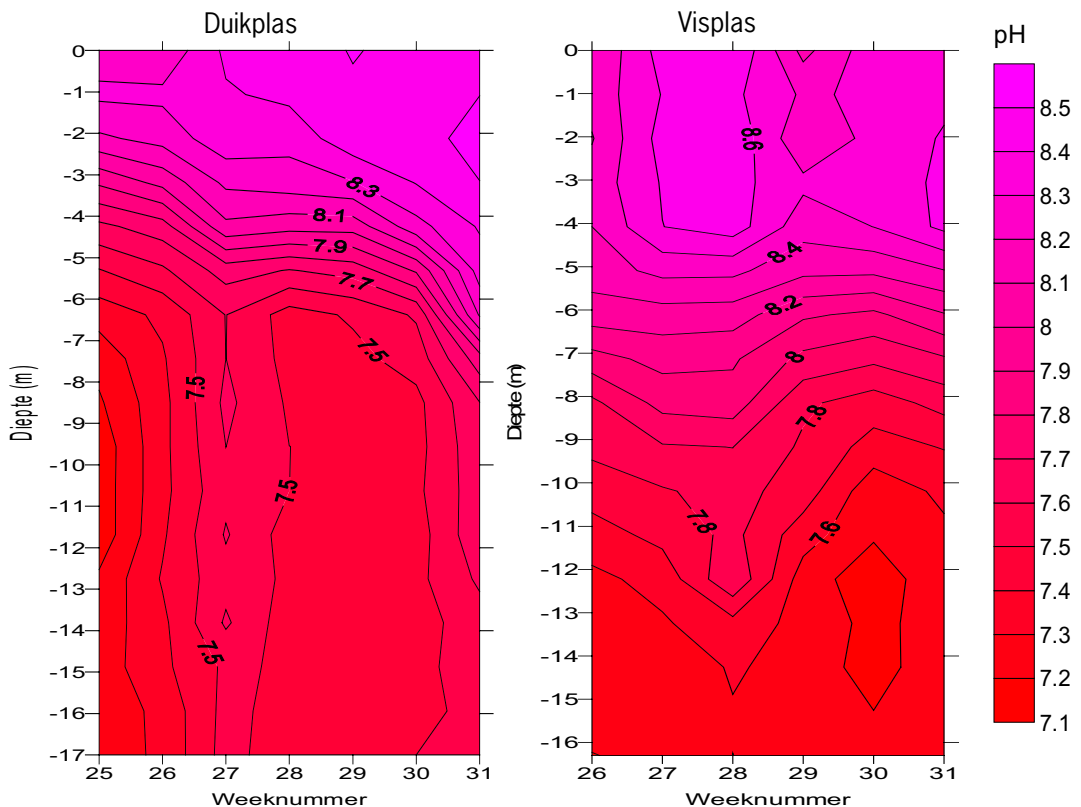
<http://www.wldelft.nl/>

BIJLAGEN

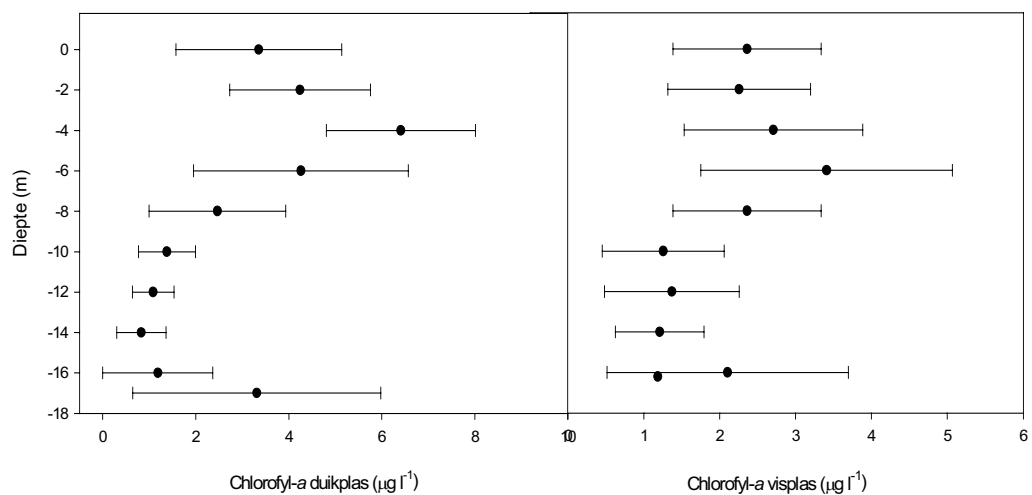
Bijlage 4.1 Isoplotten van het EGV ($\mu\text{S cm}^{-1}$) in de duikplas en in de visplas



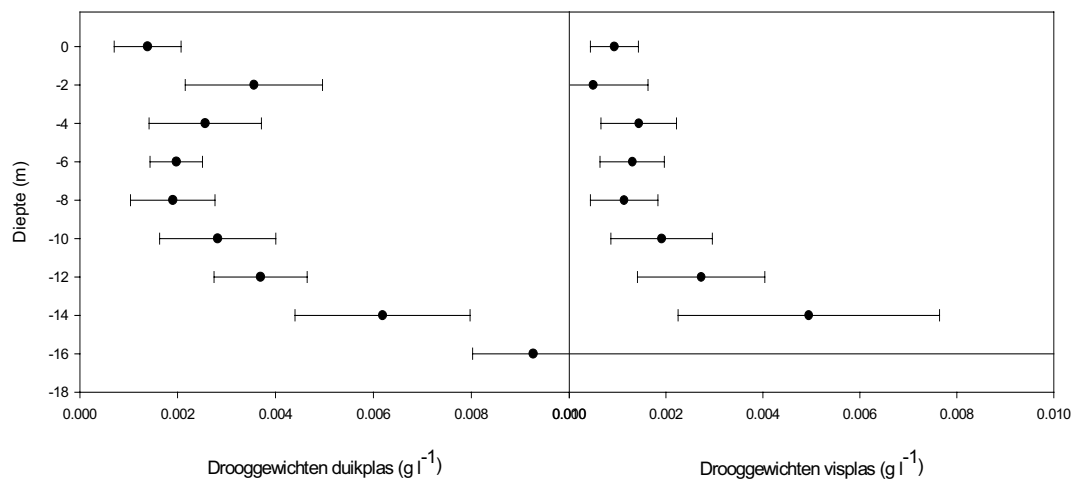
Bijlage 4.2 Isoplotten van de pH in de duikplas en in de visplas



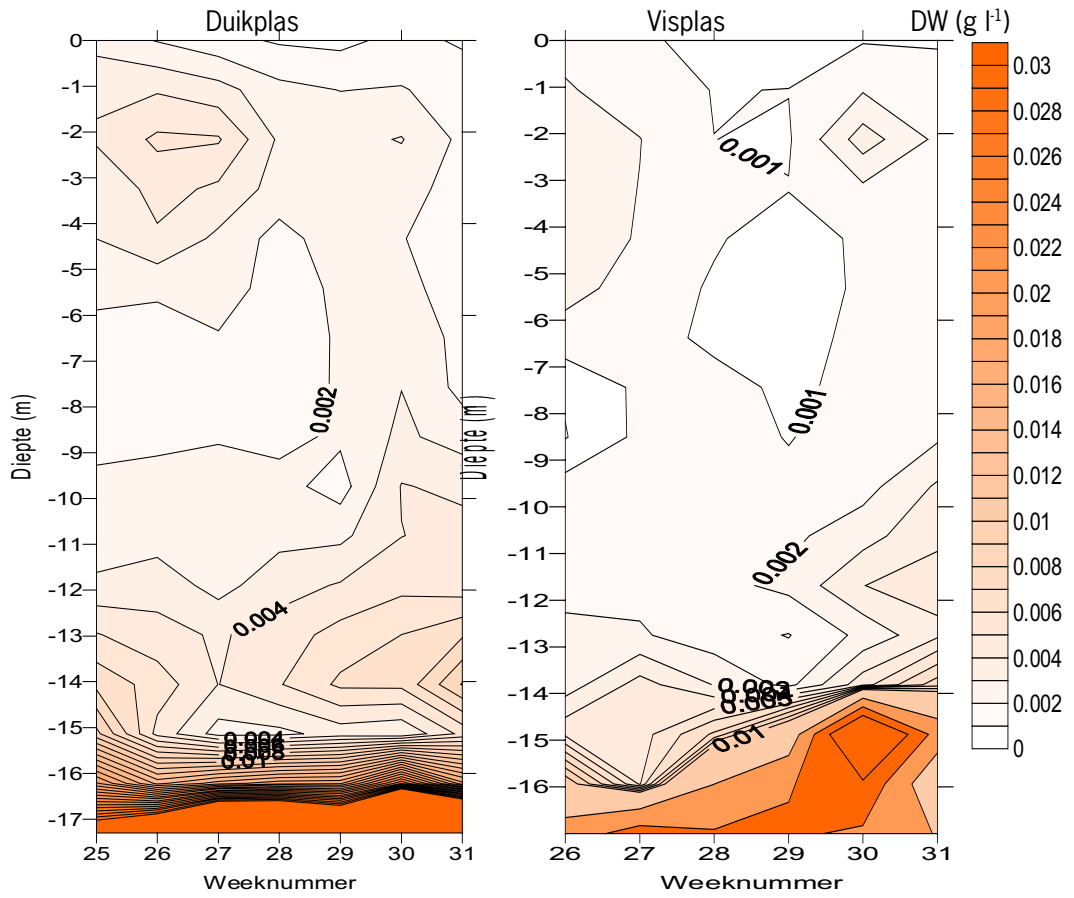
Bijlage 4.3 Gemiddelden chlorofylconcentratie ($\mu\text{g l}^{-1}$) door de diepte in de duikplas en in de visplas in de periode van 18 juni tot 30 juli 2002



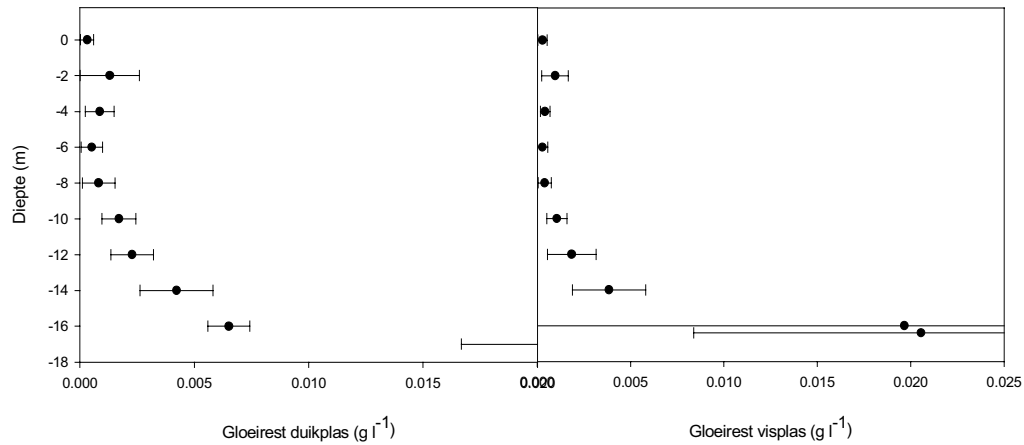
Bijlage 4.4 Gemiddelden van de drooggewichten door de diepte in de duikplas en in de visplas in de periode van 18 juni tot 30 juli 2002



Bijlage 4.5 Isoplotten van de drooggewichten (g l^{-1}) in de duikplas en in de visplas



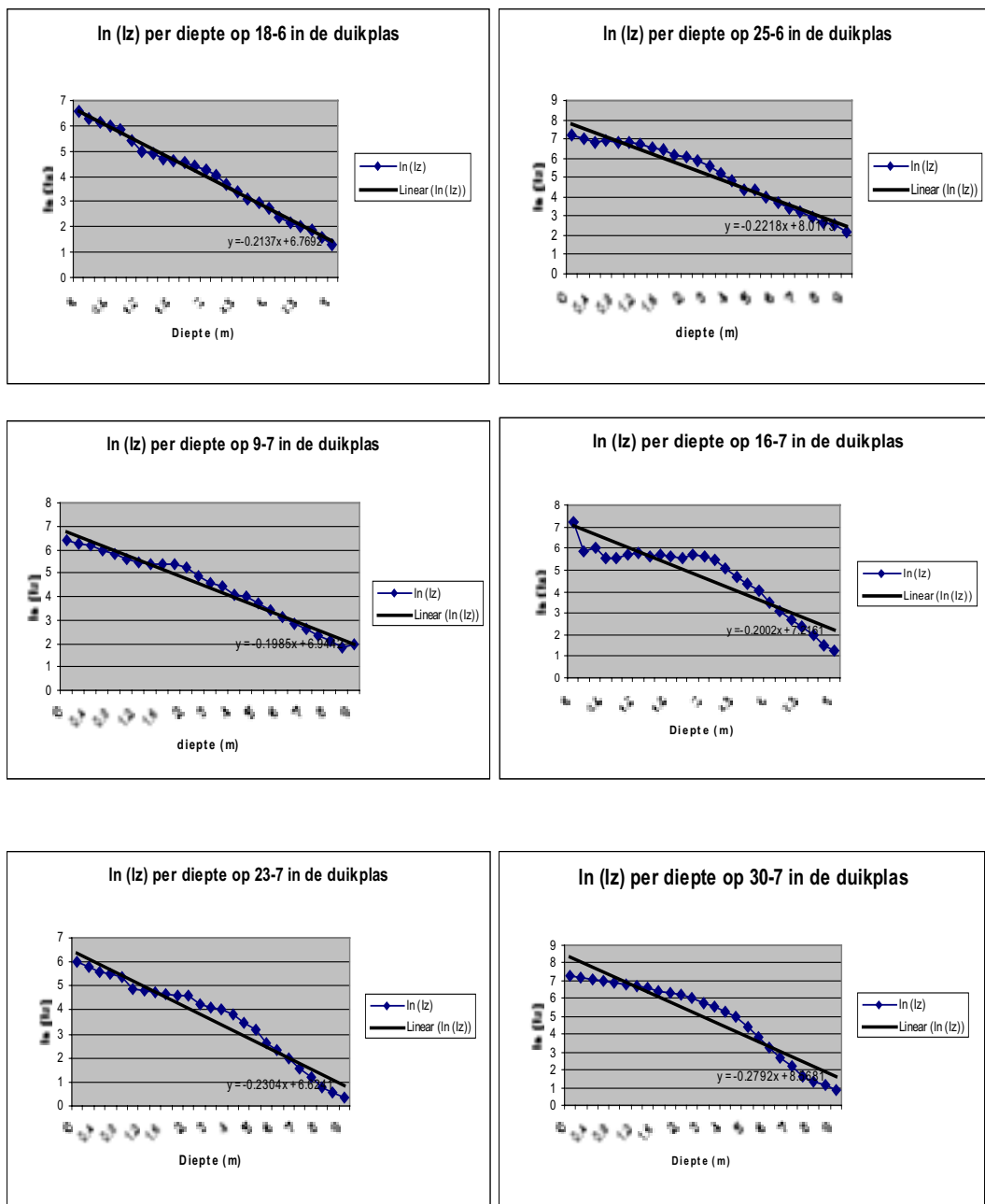
Bijlage 4.6 Gemiddelden van de gloeirest door de diepte in de duikplas en in de visplas in de periode van 18 juni tot 30 juli



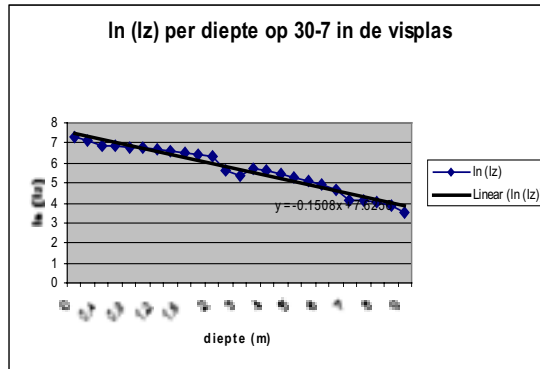
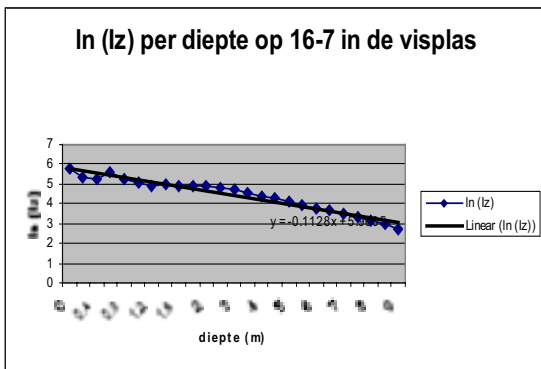
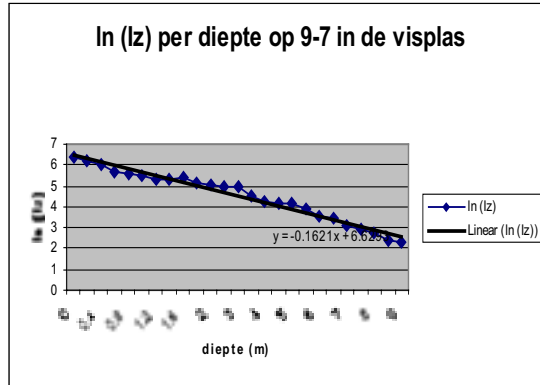
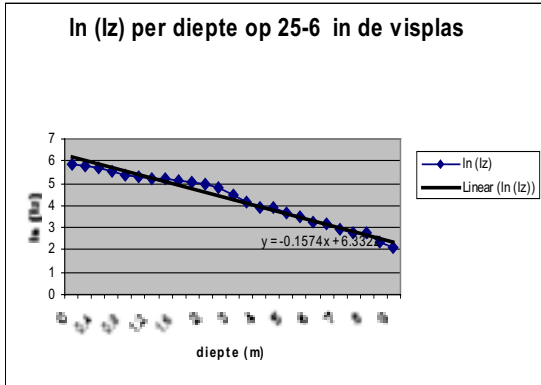
Bijlage 4.7 Tabel met de anorganische fractie in procenten voor verschillende dieptes in de visplas en in de duikplas

Diepte (m)	Duikplas	Visplas
	% anorganisch	% anorganisch
0	23	31
2	37	49
4	34	30
6	27	22
8	43	37
10	60	56
12	62	68
14	68	78
16	70	83
17	82	

Bijlage 4.8 Bepaling extinctie-coëfficiënten per monsterdatum over de eerste 9 meter in de duikplas



Bijlage 4.9 Bepaling extinctie-coëfficiënten (m^{-1}) over de eerste 9 meter in de visplas



Bijlage 4.10 Isoplotten voor ammonium (mg l^{-1}) in de duikplas en in de visplas

