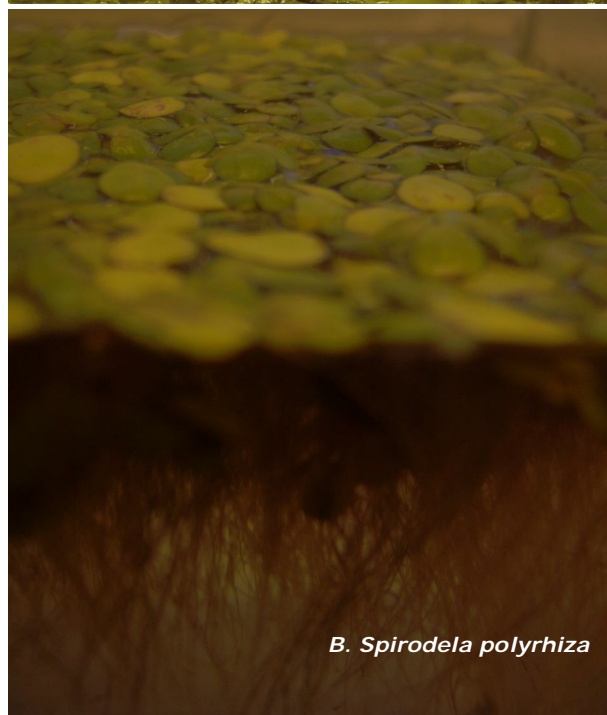
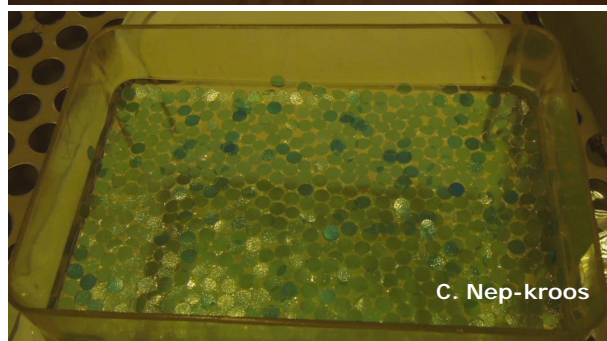




A. Kweek *Spirodela polyrhiza*



B. *Spirodela polyrhiza*



C. Nep-kroos



D. Overzicht opstelling



E. Suspensie

Invloed van kroos op de reaëratiesnelheid

ABG Janssen

Registratie nr:

861125 394 090

Begeleiders:

*Edwin Peeters
Jeroen van Zuidam*

Invloed van kroos op de reaëratiesnelheid

ABG Janssen

Registratie nr:
861125 394 090

Begeleiders:

Edwin Peeters

Jeroen van Zuidam

Wageningen, april 2010

Voorwoord

Tijdens mijn studie Bodem Water en Atmosfeer en in mijn Master Hydrologie en Waterkwaliteit (beide aan de WUR¹ in Wageningen) ben ik met name bezig geweest met het modelleren van systemen. Om deze systemen beter te begrijpen zocht ik naar een praktischer onderwerp voor mijn *capita selecta*. Bij de vakgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer (WUR) kon ik onderzoek doen naar de invloed van kroosbedekking op reaëratie. Dit rapport is hieruit voortgekomen. Ik wil iedereen bedanken die geholpen heeft bij mijn onderzoek, in het bijzonder Jeroen van Zuidam en Edwin Peeters. Daarnaast wil ik ook Femke van Beersem bedanken voor het helpen bij o.a het maken van het nepkroos.

¹ Wageningen University and Research Center

INHOUD

1. Inleiding	5
2. Methode	6
3. Resultaten	9
4. Discussie & Conclusie	12
Samenvatting	15
Literatuur	16
Appendix I Berekening van de hoeveelheid Na_2SO_3	17
Appendix II Nep-kroos	18
Appendix III Data-set	19

1. Inleiding

Van kroos wordt vaak beweerd dat het de reaëratie in het water negatief beïnvloedt. Aangenomen wordt dat kroos zelf geen zuurstof in het water vrijlaat en een dikke laag kroos bovendien het licht tegenhoudt waardoor fotosynthese onder de laag (bijna) onmogelijk wordt. Daarnaast belemmert het kroos de diffusie doordat het wateroppervlak bedekt is (Pokorný en Rejmánková, 1983). Omdat het precieze mechanisme onbekend is, wordt de invloed van kroos in de literatuur vaak als een zwarte doos beschouwd (Jupsin et al. 2005). Het is van belang om te weten wat kroos met de reaëratiesnelheid doet omdat deze kennis meegenomen kan worden bij beheer van zoetwatersystemen. Kroos kan namelijk een plaag zijn in Nederland doordat het bij hoge bedekking problemen oplevert bij recreatie en het kan ophopen bij kunstwerken (Roovers, 2005).

De data uit het onderzoek van Meeuwssen (2009) laat ten opzichte van de literatuur een tegenovergesteld verband zien: de reaëratie is sneller als er een kroosdek aanwezig is. Om te kijken wat de oorzaak van deze resultaten kan zijn, en of dit effect vaker optreedt is er vervolgonderzoek nodig. Hiervoor is een onderzoeksvraag opgesteld.

Wat is het effect van kroos op reaëratie van het water onder de krooslaag?

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen of een krooslaag inderdaad een snellere reaëratie geeft dan bij afwezigheid van kroos. Daarnaast zal gekeken worden of er een mogelijke oorzaak voor het verband gevonden kan worden.

Een oorzaak van een hogere reaëratie bij kroosbedekking kan zowel door biologische factoren (productie van kroos of algen die aan het kroos gehecht zijn) als door abiotische factoren worden veroorzaakt. In het laatste geval kan bijvoorbeeld een krooslaag grotere warmteverschillen veroorzaken dan bij afwezigheid van kroos, waardoor er meer convectie optreedt (Coates en Ferris, 1994).

Om de rol van de dikte van de krooslaag in de reaëratieprocessen te onderzoeken en mogelijke oorzaken te achterhalen, is een aantal subvragen opgesteld:

- *Wat is de invloed van een kroosbedekking op de reaëratiesnelheid?*
- *Beïnvloedt kroos de reaëratiesnelheid met niet-biologische factoren?*
- *Spelen algen een rol bij de reaëratie van het water?*

2. Methode

Bij de methode is zoveel mogelijk aangesloten bij de werkwijze van Meeuwse. Verder is er gebruik gemaakt van de methodes beschreven in de practicumhandleiding van het vak AEW-20706 (2009). Als maat voor de snelheid waarmee zuurstofloos water weer naar een evenwichtsconcentratie toe gaat is de reaëratieconstante (K_L) genomen. Hoe hoger de reaëratieconstante, hoe sneller het water zuurstofrijker wordt. De reaëratieconstante wordt berekend volgens Adeney en Becket (1919) (vergelijking 2.1):

$$K_L = \frac{H}{t} \ln \left(\frac{C_s - C_0}{C_s - C_t} \right) \quad \text{Vergelijking 2.1}$$

Hierbij is H de waterdiepte gemeten vanaf het wateroppervlak waar de meting wordt gedaan (m), t de tijd (min), de C_s concentratie zuurstof in verzadigde toestand (vergelijking 2.2), C_0 de zuurstofconcentratie bij de start van de meting en C_t de concentratie zuurstof op tijdstip t (mg/l).

$$C_s = 14.652 - 0.41022 \cdot T + 0.00799 \cdot T^2 - 7.7774 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 \quad \text{Vergelijking 2.2}$$

In totaal zijn er drie verschillende reaëratie-experimenten uitgevoerd. Bij experiment [1] is gebruik gemaakt van Veelwortelig kroos (*Spirodela polyrhiza*) en kraanwater en is het experiment is uitgevoerd in het licht (zie ook tabel 2.1). *Spirodela polyrhiza* is één van de kroossoorten die in de experimenten van Meeuwse (2009) (2009) ook is gebruikt. Bij experimenten [2] en [3] werd de zuurstofconcentratie bij nepkroos gemeten. Experiment [2] werd in het donker uitgevoerd met gebruik van demiwater, experiment [3] in het licht met kraanwater en toevoeging van een algenoplossing. De bedekkinggraad van het nepkroos bij experiment [3] was bij alle aquaria 100%.

Tabel 2.1: specificaties experimenten

Experiment	Kroossoort	Licht/ donker	Algen toegevoegd?	Replica's met bedekking van				Type water
				0%	50%	100%	200%	
1	SP	Licht	Nee	3	3	3	3	K
2	NK	Donker	Nee	4	4	4	4	D
3	NK	Licht	Ja	-	-	8	-	K

Verklarende woordenlijst

NK Nepkroos

K Kraanwater

SP *Spirodela polyrhiza*

D Demiwater

De experimenten zijn uitgevoerd in series van 4 metingen in transparante plasticen aquaria (1,8L). Bij experiment [1] en [2] werd eerst 1,6 L water en bij experiment [3] 1,4 L water in de aquaria gegoten waarna de aquaria enige tijd in een waterbad (21 ± 1 °C) op temperatuur konden komen. Vervolgens is in elk aquarium de zuurstofconcentratie (C_{O_2})

en de watertemperatuur bepaald. Met behulp van vergelijking 2.3 is de hoeveelheid natriumsulfiet ($m_{Na_2SO_3}$) berekend die nodig is om een volume (V) van 1,8 L water zuurstofloos te maken (zie ook appendix I).

$$m_{Na_2SO_3} = 2 \frac{C_{O_2} \cdot V \cdot 126}{32} \text{ (g)} \quad \text{Vergelijking 2.3}$$

Om te voorkomen dat het water voor langere tijd zuurstofloos zou raken en om bovendien binnen het meetbereik van de meters te blijven, is 90% van de berekende hoeveelheid natriumsulfiet samen met een mespuntje kobaltchloride ($CoCl_2$), opgelost in 0,2 L water.

De natriumsulfiet-oplossing is toegevoegd aan de aquaria. Bij experiment [3] werd ook algenoplossing (0.2 L) toegevoegd (*Scenedesmus obliquus*). Per aquarium verschilde de toegevoegde concentratie algenoplossing. Omdat in het experiment aangenomen wordt dat een zekere hoeveelheid algen aan elk kroosplantje hecht, is er gekozen om in chlorofylldichtheden te rekenen (μg chlorofyll / cm^2 kroosbedekking). In tabel 2.2 staan de verschillende chlorofylldichtheden die zijn gebruikt.

Tabel 2.2 Aantal replica's per chlorofylldichtheid (*Scenedesmus obliquus*)

Chlorofylldichtheid $\mu g/cm^2$	Replica's
0	2
0.05	2
0.1	2
0.5	1
1	1

In verband met de korte tijd die er beschikbaar was, is ervoor gekozen de algen via een oplossing aan de aquaria toe te voegen. De chlorofylldichtheden zijn daarom omgerekend naar concentraties in de aquaria ($\mu g/l$) (vermenigvuldigingsfactor van $202/1,8=112 \text{ cm}^2/l$). Met de Phytopam is de concentratie in een geconcentreerde algenoplossing bepaald. Deze concentratie is naar de juiste hoeveelheid verdund.

Bij alle experimenten werd als laatste stap in de voorbereiding het (nep-)kroos verdeeld over de aquaria. Het nepkroos werd gemaakt van plastic insteekhoezen waar met een perforator rondjes van circa 5 mm werden geperforeerd. Het nepkroos werd verdeeld met behulp van het gewicht per oppervlak (appendix II). Op die manier is per replica de zuurstofconcentratie gemeten bij aquaria met 0%, 50%, 100% en 200% nepkroosbedekking.

De *Spirodela polyrhiza* werd met behulp van een referentieoppervlak verdeeld. Dit referentieoppervlak werd als 100% bedekking beschouwd. Door het oppervlak te bedekken met *Spirodela polyrhiza* werd de benodigde hoeveelheid bepaald.

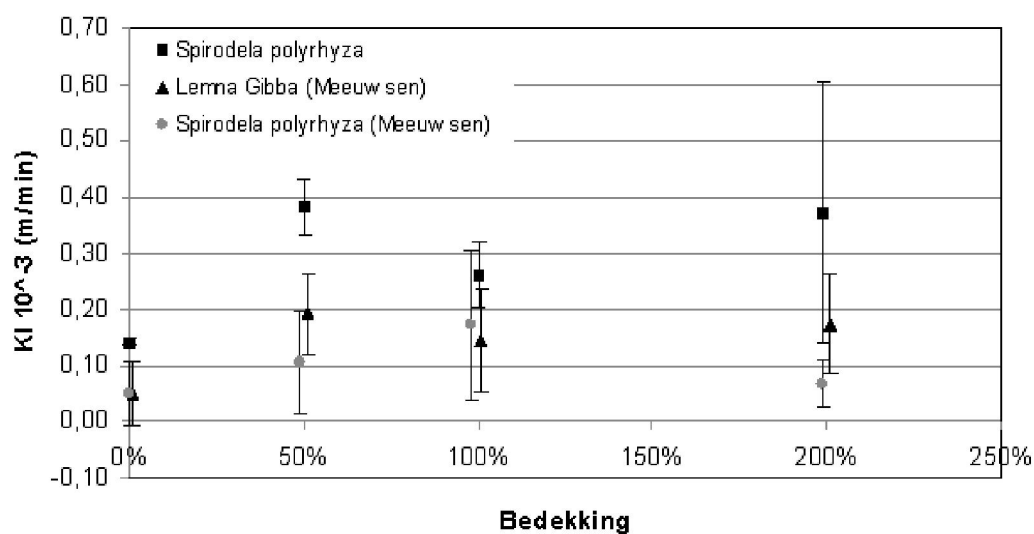
Voor experiment [1] zijn alle kroosplantjes met het oog gecontroleerd op afwezigheid van algen. Bij alle experimenten is er geen rekening gehouden met de oppervlakte die de sensor in het water inneemt. Na de toevoeging van het (nep)-kroos is de meting gestart en is de zuurstofconcentratie en de watertemperatuur voor alle experimenten gemeten gedurende 8 uur met intervallen van 15 minuten.

3. Resultaten

Bij alle experimenten zijn de eerste 3 uur buiten beschouwing gelaten. Deze keuze is gemaakt omdat het systeem in de eerste 180 minuten de tijd nodig had om zich in te stellen en daardoor een hele grote spreiding geeft. In Appendix III is de gehele dataset in diagrammen weergegeven. Hierbij is ook aangegeven welk deel niet is meegenomen in de analyse.

De resultaten van experiment [1] zijn weergegeven in figuur 3.1. De figuur laat zien dat wanneer er een krooslaag aanwezig is, de reaëratieconstante (K_L) hoger is (gemiddeld tussen $2.61 \cdot 10^{-4}$ en $3.83 \cdot 10^{-4}$ m/min) dan bij afwezigheid van een krooslaag ($K_L = 1.42 \cdot 10^{-4} \pm 0.03 \cdot 10^{-4}$ m/min). De spreiding neemt toe met toenemende bedekking. Bij een bedekking van 200% is de gemiddelde reaëratieconstante hoger dan bij geen bedekking, maar door de spreiding is dit verschil niet significant. Er is geen verband te zien tussen de mate van bedekking en de grootte van de reaëratieconstante.

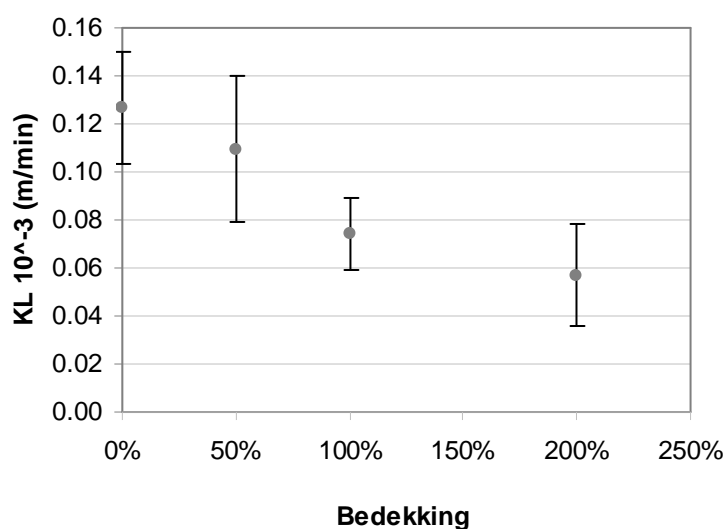
Ter vergelijking zijn de gegevens van *Lemna gibba* en *Spirodela polyrhiza* uit het onderzoek van Meeuwsen (2009) ook in figuur 3.1 verwerkt. De waarden voor de reaëratieconstante van experiment [1] zijn allemaal hoger (factor 2.3 ± 1.7) dan de waarden uit de experimenten van Meeuwsen.



Figuur 3.1 Resultaten experiment [1]: reaëratieproef bij Spirodela polyrhiza. Op de horizontale as is de bedekking in procenten weergegeven. 100% komt overeen met een complete bedekking van het referentievlak (één krooslaag). Op de verticale as staat de reaëratieconstante. De spreiding in de meting wordt gegeven door de balken (tweemaal de standaardafwijking). De donkere vierkanten geven de metingen van dit onderzoek aan. De lichtgrijze rondjes en driehoeken geven de metingen van Meeuwsen (2009) aan.

Experiment [2] was uitgevoerd om te kijken of de bevindingen van experiment [1] te verklaren zijn door abiotische factoren geïntroduceerd door kroos. De resultaten van experiment [2] zijn te zien in figuur 3.2. De figuur laat zien dat de gemiddelde reaëratiesnelheid afneemt bij een toenemende bedekking van nekroos. De spreiding bij

50% bedekking is het grootst, de spreiding valt bijna geheel in de range van de 0% bedekking.

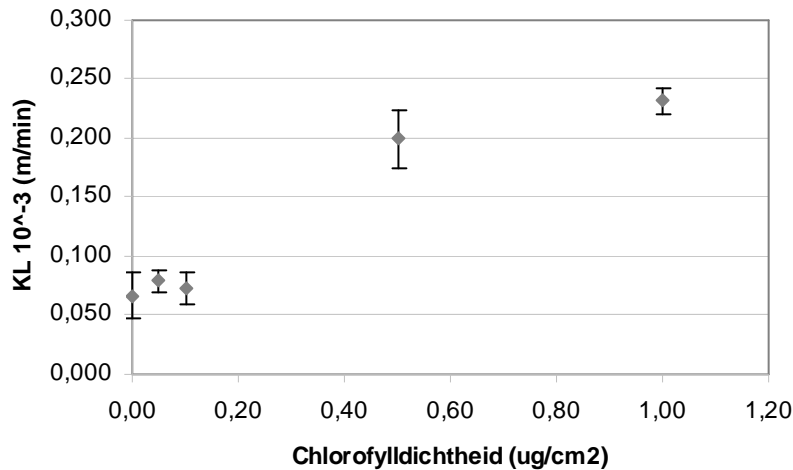


Figuur 3.1 Resultaten experiment [2]: reaëratieproef bij nepkroos (uitgevoerd in het donker). Op de horizontale as is de bedekking in procenten weergegeven. Op de verticale as staat de reaëratieconstante K_L . De grijze stippen geven de gemiddelde gemeten reaëratiesnelheid (K_L) aan voor de verschillende bedekkinggraden. De spreiding in de meting wordt gegeven door de zwarte balken (tweemaal de standaardafwijking).

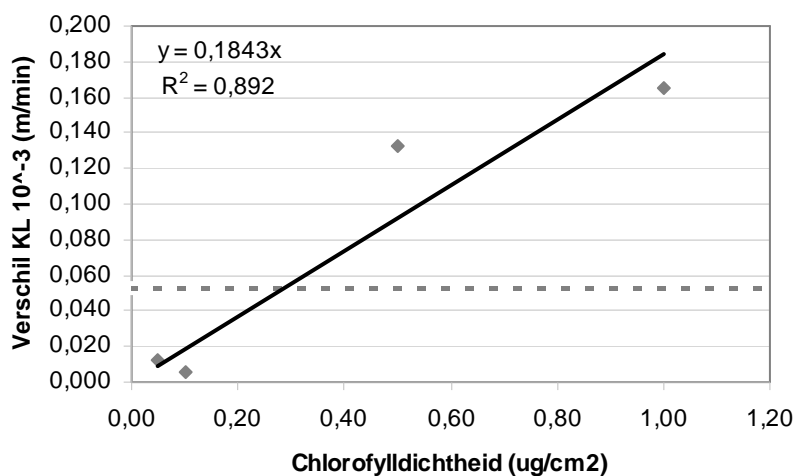
Om te kijken of algen de bevindingen van experiment [1] kunnen verklaren is een derde experiment uitgevoerd. In figuur 3.3 zijn de resultaten van experiment [3] weergegeven. De algemene trend is de toename van de reaëratiesnelheid bij een hogere chlorofylldichtheid. De reaëratieconstante bij een chlorofylldichtheid van $0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ heeft een gemiddelde waarde van $6,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}/\text{min}$. Deze waarde ligt binnen de range die in experiment [2] is gemeten ($7,4 \cdot 10^{-5} \pm 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}/\text{min}$). De waarden voor $0,05$ en $0,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ verschillen statistisch niet van $0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. De reaëratieconstante bij $0,5$ en $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ zijn statistisch wel groter dan in het aquarium zonder toevoeging van algen.

In figuur 3.4 is het verschil tussen $0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ chlorofyll en de andere metingen bij experiment [3] te zien. De zwarte lijn geeft de trendlijn weer. Deze trendlijn heeft een correlatiecoëfficiënt van $R^2 = 0,892$. Het verschil tussen de reaëratieconstante bij 0% en 100% bedekking in experiment [2] is gemiddeld $5,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}/\text{min}$ en is in figuur 3.4 weergegeven met de grijze onderbroken lijn. Het snijpunt tussen de trendlijn en de onderbroken lijn geeft de hoeveelheid chlorofyll aan die nodig is om de reaëratieconstante bij 100% bedekking van nepkroos minstens net zo hoog te laten zijn als bij 0% bedekking van nepkroos. Dit betekent dat er minstens $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ chlorofyll nodig is om de reaëratieconstante bij bedekking van 100% nepkroos te laten stijgen tot het niveau van 0% bedekking.

De verschillen in de reaëratieconstante bij geen bedekking en wel bedekking van *Spirodela polyrhiza* vallen buiten het meetbereik van de verschillen die te zien zijn in figuur 3.4.



Figuur 3.3 Resultaten experiment [2]: reaëratieproef bij 100% bedekking van nepkroos (uitgevoerd in het licht en mét toevoeging van algen).. De grijze stippen geven de gemiddelde reaëratieconstante (K_L) voor de verschillende chlorofylldichtheden. De spreiding in de meting wordt gegeven door de zwarte balken (tweemaal de standaardafwijking).



Figuur 3.4 Effect van algen op de reaëratieconstante. De grijze vierkanten geven het verschil tussen de reaëratieconstante zonder toevoeging van chlorofyll en de metingen met toevoeging van chlorofyll. De zwarte doorgetrokken streep geeft de trendlijn weer. De grijze stippellijn geeft het verschil aan tussen de reaëratieconstante bij 0% en 100% bedekking in experiment [2] zondertoevoeging van chlorofyll. Het snijpunt tussen de grijze stippellijn en de zwarte trendlijn geeft het effect van algen bij 100% bedekking van nep-kroos.

4. Discussie & Conclusie

Experiment [1] is uitgevoerd om te kijken of de resultaten van Meeuwsen (2009) te reproduceren zijn. Haar resultaten van het experiment gaven tegen de algemene gedachte in, een hogere reaëratieconstante bij bedekking van kroos. De huidige resultaten komen dus overeen met dat wat Meeuwsen (2009) gevonden had. Jupsin et al. (2005) hebben een vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd (volgens de standaard methode (ASCE, 1984), gebruik van N_2 in plaats van Na_2SO_3) en kwamen op resultaten die het tegenovergestelde suggereerden: hogere bedekking geeft een lagere reaëratieconstante. Bij hun onderzoek gaat het wel om de kroossoort *Lemna gibba*, die bij experiment [1] niet is gebruikt, maar bij Meeuwsen (2009) wel resultaten gaven die de theorie niet volgen.

Wilson en Macleod (1973) schrijven dat een afwijking van de resultaten op de verwachting op drie manieren kan worden veroorzaakt:

1. Experimentele fouten in de data
2. Fouten in de evaluatie van parameters van een model
3. Fundamentele fouten in een model, de aannames waarop het model is gebaseerd of de wiskundige analyse

De fouten van de eerste categorie zijn vrijwel uitgesloten; de spreidingsbalken geven aan dat zelfs binnen de spreiding, een krooslaag voor een hogere reaëratieconstante zorgt. De waarden die in het huidige experiment gevonden zijn, liggen weliswaar ruim een factor 2 boven de waarden die Meeuwsen (2009) gevonden had, maar dat kan ook veroorzaakt worden door andere (lab)omstandigheden waardoor parameters anders zijn (fouten tweede categorie).

Fouten van de tweede categorie zijn niet uit te sluiten. Het feit dat er bij experiment [1] hogere waarden zijn gevonden dan bij Meeuwsen (2009) is mogelijk veroorzaakt door fouten uit deze categorie. Bijvoorbeeld door een andere definitie voor H of C_s . In beide onderzoeken wordt een H van 9,2 cm gebruikt, maar verschil tussen wateroppervlak en de definitie voor het meetpunt van de sensor kan verschillend zijn. Verschil in H van 0.5 cm geeft al ruim 5% verschil in het antwoord.

Fouten van de tweede categorie zijn waarschijnlijk geen oorzaak van de hogere waarden voor de reaëratieconstante bij aanwezigheid van een krooslaag. Dit effect is namelijk reproduceerbaar. De afwijking van de verwachting moet dus waarschijnlijk gezocht worden in de derde categorie. Bij deze categorie gaat het om bijvoorbeeld aannames die ten onrechte zijn genomen. Fouten van de deze categorie kunnen mogelijk ook het verschil tussen de resultaten van Jupsin et al. (2005) en de bevindingen van experiment [1] verklaren. Voorbeelden zijn aanwezigheid van andere organismen anders dan kroos of extra convectie dat optreedt onder sommige omstandigheden. Convectie zou dan veroorzaakt kunnen worden door temperatuurverschillen tussen open plekken in het kroosoppervlak en het water onder het kroos, waardoor een watercirculatie plaats kan gaan vinden. De watercirculatie kan dan zorgen voor extra zuurstofmening in het water (Coates en Ferris, 1994).

Een andere fout binnen de derde categorie is mogelijk de algemene aanname dat kroos onder geen enkele omstandigheid zuurstof aan het water toevoegt. Wellicht is deze aanname (gedeeltelijk) onjuist.

Om te testen wat de oorzaak mogelijk kan zijn van de resultaten uit het eerste experiment, zijn er nog twee experimenten uitgevoerd. Experiment [2] was uitgevoerd om te kijken of de bevindingen van experiment [1] te verklaren zijn door abiotische factoren van kroos. De resultaten uit experiment [2] geven een duidelijk verband aan: hoe groter de bedekking met nep-kroos, hoe lager de reaëratieconstante. De kans is dus groot dat de abiotische factoren van kroos geen verhogende invloed op de reaëratieconstante hebben bij een grotere kroosbedekking. Kanttekening is wel dat enig structuur van wortels bij het nepkroos ontbrak, de dikte van het nepkroos niet overeen kwam met de *Spirodela polyrhiza* en het nepkroos bovendien doorschijnend was. Deze punten hebben beide invloed op het ontstaan van convectie.

Om te kijken of de oorzaak bij algen kan liggen is experiment [3] uitgevoerd. Hieruit bleek dat ongeveer $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ chlorofyll nodig is om de reaëratieconstante van water dat bedekt is met 100% nepkroos op vergelijkbaar niveau te krijgen als water zonder een krooslaag. Hierbij is wel uitgegaan van een lineair verband tussen chlorofyll en de reaëratieconstante. De R^2 is hierbij ruim 0,8, maar de vraag is of dat geen schijn nauwkeurigheid is, gezien het kleine aantal meetpunten. Elósegui en Pozo (1998) hebben chlorofyllconcentratie per oppervlak op stenen onderzocht. Zij vonden waarden die 100 of zelfs 1000 maal hoger waren dan $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ chlorofyll die in dit experiment gevonden zijn. Het gaat bij Elósegui en Pozo wel om een ander proces, maar het geeft aan dat slechts een klein verschil in chlorofyll grote invloed kan hebben.

Overigens was in experiment [3] de chlorofyll als oplossing toegevoegd (niet gehecht aan het kroos zelf). Een hoeveelheid van $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ kwam daarmee overeen met ongeveer $34 \mu\text{g}/\text{l}$. Vergeleken met chlorofyllconcentratie gemeten in diverse diepe en ondiepe meren (met een range tussen $0,2$ and $390 \mu\text{g}/\text{l}$) (Vörös et al, 1998) blijkt het als concentratie ook aan de lagere kant.

De verschillen bij experiment [1] tussen de reaëratieconstante bij 0%-bedekking en de overige metingen zijn groter dan bij de experimenten met nepkroos. Bovendien laat *Spirodela polyrhiza* minder licht door dan het nepkroos. Als algen de oorzaak zijn van de hogere reaëratie bij kroos, dan is er waarschijnlijk meer chlorofyll nodig dan $0,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Hoeveel chlorofyll nodig is om het verschil te kunnen maken is niet achterhaald. Maar als het een oorzaak is van de afwijking met de literatuur, moet de hoeveelheid algen in ieder geval minder zijn dan dat er met het blote oog te zien is. De resultaten van de experimenten hebben het wel aannemelijker gemaakt dat algen een rol hebben gespeeld bij de experimenten.

Tot slot is er in alle aquaria na uitvoering van het experiment in het licht en bij gebruik van kraanwater een groene suspensie aangetroffen (figuur E, kaft). Aanvankelijk werd er gedacht aan algengroei, maar een aantal observaties maakte deze optie erg onwaarschijnlijk:

- Het water werd gefilterd om een hogere concentratie van de suspensie te krijgen. Het gedrag van het filtraat leek op een olieachtig vliesje.

- Onder de microscoop waren geen algen te zien in het filtraat. Er zijn wel hoekige stukjes waargenomen.
- Ook een analyse van het water met de Phytopam wees niet op algen.
- De groene suspensie ontstond binnen 24 uur, wat erg snel is voor algengroei

Er is verder gekeken naar mogelijke oorzaken en het bleek dat de suspensie alleen ontstond bij toevoeging van kobaltchloride en natriumsulfiet aan het water. De grootste hoeveelheid ontstond bij kraanwater. Vermoedelijk gaat het om een neerslag die ontstaat tussen de componenten die in het water zijn opgelost en de toegevoegde stoffen natriumsulfiet en/of kobaltchloride.

De invloed van de neerslag op de resultaten van het experiment is niet bekend. De suspensie was binnen elk experiment in elk aquarium ongeveer in gelijke mate ontstaan. Het zal dus nauwelijks invloed hebben op de conclusies gebaseerd op resultaten binnen één experiment. Alleen in experiment [2] was er geen suspensie aangetroffen. Omdat bij experiment [3] de suspensie wel was ontstaan, kunnen er fouten zijn ontstaan.

Terugkomend op de onderzoeksvragen wijst dit onderzoek uit dat een kroosbedekking een positieve invloed heeft op de reaëratiesnelheid. Niet-biologische factoren lijken daar geen oorzaak van te zijn. Algen kunnen mogelijk wel een positieve rol spelen bij het reaëratieproces. Er is waarschijnlijk een zeer kleine hoeveelheid chlorofyll (met het blote oog niet waarneembaar) nodig om het verschil te maken. Maar het is niet uitgesloten dat er ook andere oorzaken zijn.

Voor vervolgonderzoek wordt aanbevolen om de invloed van algen verder te onderzoeken. In dit onderzoek is alleen de invloed van algen in een niet-biologische omgeving onderzocht (aquarium met nepkroos). Er is niet gekeken naar de invloed van algen bij een krooslaag van echt kroos. Daarnaast zijn er veel aannames gemaakt. Zo is aangenomen dat algen als concentratie toegevoegd, hetzelfde effect hebben als hechtend aan een oppervlak. Ook is gebruikgemaakt van het algensoort *Scenedesmus obliquus* zonder na te gaan of dat soort is, dat zich vaak hecht aan *Spirodela polyrhiza*. Bij vervolgonderzoek kan gekeken worden welke hoeveelheid algen/chlorofyll er van welk soort zich aan kroos hecht, en wat het effect is van deze hoeveelheid algen.

Naast verder onderzoek naar het effect van algen, kan er ook gekeken worden naar de validiteit van de algemene aanname dat kroos onder geen enkele omstandigheid zuurstof aan het water toevoegt.

Tot slot kan er ook gekeken worden naar de invloed van de suspensie op de reaëratie bij een hogere kroosbedekking. Mogelijk is de suspensie in experiment [1] een oorzaak van het gevonden positieve verband tussen reaëratie en kroosbedekking doordat het bijvoorbeeld de productie van kroos beïnvloedt.

Samenvatting

Eerder onderzoek van Meeuwsen (2009) liet zien dat een krooslaag de reaëratiesnelheid positief beïnvloedt, iets wat niet overeenkomt met de algemene gedachte. In dit rapport worden experimenten beschreven die moeten uitwijzen of de resultaten uit het eerdere onderzoek reproduceerbaar zijn en bovendien wordt er gekeken naar mogelijke oorzaken van de gevonden resultaten. Er is een drietal experimenten uitgevoerd. Het eerste experiment met *Spirodela Polirhiza* is bedoeld voor de reproductie van de resultaten uit het eerdere onderzoek. Experimenten [2] en [3] kijken of de oorzaak gevonden kan worden bij abiotische factoren (2) dan wel biologische activiteit van algen (3). De resultaten geven aan dat de eerder gevonden resultaten van Meeuwsen (2009) inderdaad reproduceerbaar zijn. De hogere reaëratiesnelheid bij bedekking van kroos is zeer waarschijnlijk niet te verklaren door abiotische factoren. Mogelijk kunnen algen wel een belangrijke factor zijn in het reaëratieproces.

Literatuur

ASCE (1984), *ASCE standard for Measurement of oxygen transfer in clean water*, American Society Civil Engineers

Adeney W. E., Becket H. G. (1919) *The determination of the rate of solution of atmospheric nitrogen and oxygen by water*. Phil. Magi. 38, 317-337.

Klein J. J. M., Beijer J.A.J., Kosten S., Beekman-Lukassen W.D., Lurling M.F.L.L.W., Gillissen F., Koelmans A.A., Oosterhout van F., Harmsen J., (2009) *Werkboek voortzetting water (Water Quantity and Quality) AEW-20706* Wageningen University Research centre Vakgroep Aquatische ecologie

Coates M.; Ferris J.; (1994) *The radiatively driven natural convection beneath a floating plant layer* Limnol. Oceanogr. 39(5) pp. 1186-1194

Elósegui A., Pozo J., (1998) *Epilithic biomass and metabolism in a north Iberian stream* Aquatic Sciences Vol. 60 pp 1-16

Jupsin H., Richard H., Vasel J.L., (2005) *Contribution of floating macrophytes (Lemna sp.) to pond modelization* Water Science & Technology Vol. 51 (12) pp. 283-289

Meeuwssen I., (2009) *Zuurstofgehalten in water bij verschillende bedekkingen kroos* Stageverslag, Studente Land- en Watermanagement Hogeschool van Hall Larenstein

Porkny J., Rojmankova E., (1983) *Oxygen regime in a fishpond with duckweeds (Lemnaceae) and Ceratophyllum* Aquatic Botany, 17 pp. 125-137

Roovers S., (2005) *Kroos en andere ongewenste waterplanten, van beschrijving tot beheerstrategie* Stagerapport Waterschap Brabantse Delta

Vörös L., Callieri C., Balogh K.V., Bertoni R. (1998) *Freshwater picocyanobacteria along a trophic gradient and light quality range* Hydrobiologia 369/370: 117-125

Wilson G.T. Macleod N., (1973) *A critical appraisal of empirical equations and models for the prediction of the coefficient of reaeration of deoxygenated water* Water Research Vol. 8 pp. 341-366

Appendix II Nep-kroos

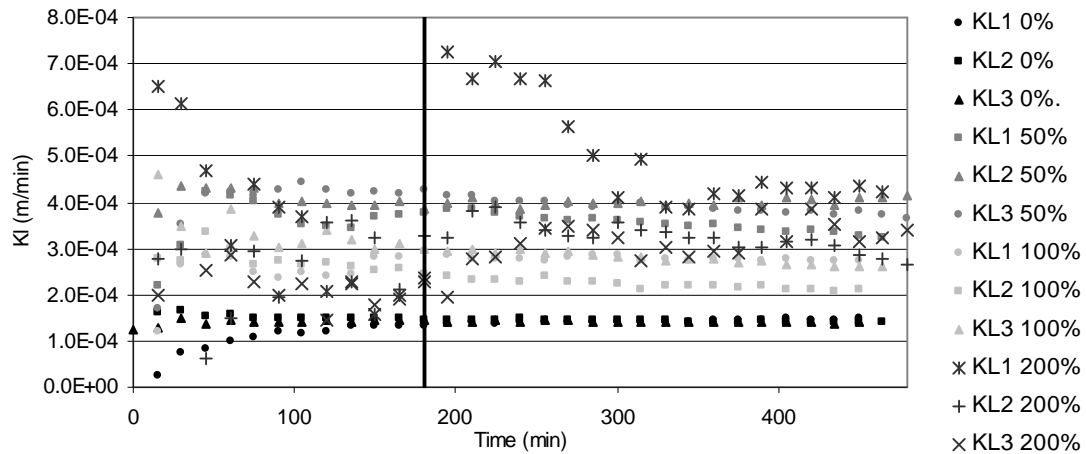
Het nepkroos is gemaakt van plastic insteekhoezen met behulp van een perforator. Voordat de insteekhoezen werden geperforeerd, is het gewicht bepaald (gemiddeld 12,58 g per insteekhoes). Om het gewicht per oppervlak te bepalen is het gewicht gedeeld door het oppervlak (1364 cm²). Ook is het oppervlak van de aquaria bepaald (202 cm²). Met behulp van vergelijking 2.2 is de hoeveelheid nepkroos per aquarium bepaald. Hierin is B de bedekkinggraad in procenten.

$$m_{nepkroos} = \frac{B}{100} \frac{m_{insteekhoes}}{A_{insteekhoes}} \cdot A_{aquarium} \text{ (g)} \quad \text{Vergelijking 2.2}$$

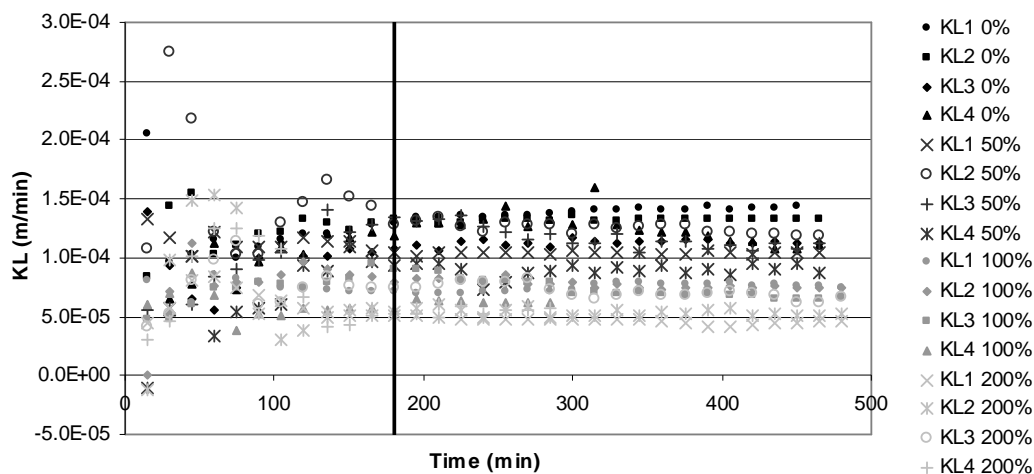
Voor elk experiment zijn vier aquaria klaargemaakt met respectievelijk 0, 50, 100 en 200% bedekking ofwel 0; 0,94; 1,87 en 3,74 gram nep-kroos.

Appendix III Data-set

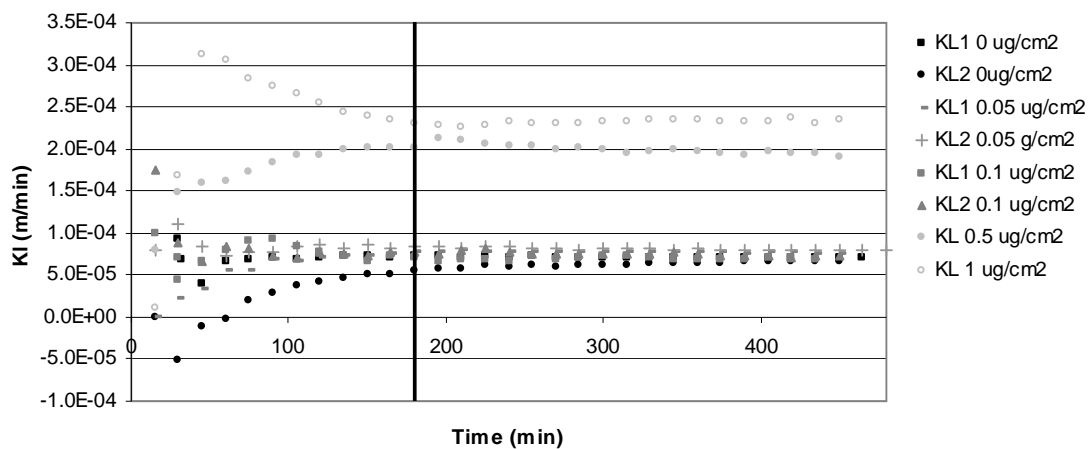
Figuur a tot en met c laten zien de dataset zien. De zwarte lijn geeft aan welke data is meegenomen in de analyse (na $t=180$ minuten).



Figuur a. Data uit experiment [1] met *Spirodelia polyrhiza*.



Figuur b. Data uit experiment [2] met nepkroos zonder algen.



Figuur c. Data uit experiment [3] met 100% bedekking van nepkroos en toevoeging van algen.