

Zuurstofgehalte onder een kroosdek, een experiment

Auteur: Ernst Raaphorst, Hoogheemraadschap van Delfland

Gecontroleerd door: Djoline van den Berg

Datum: 8-12-2020

Inleiding

Zuurstofgehalte is een belangrijke omgevingsvariabele, die sturend is voor de ecologische waterkwaliteit. Zuurstof moet in voldoende mate aanwezig moet zijn om een gezond ecosysteem te ondersteunen.

In literatuur wordt vaak genoemd dat een overmatig kroosdek leidt tot een slechte zuurstofhuishouding (bijvoorbeeld Maessen, 2014) maar onderliggend onderzoek waarin dat nader wordt onderzocht is schaars. Veraart et. al (2010) signaleert wel lage zuurstofgehalten onder een krooslaag, vergeleken met macrofyten en geen planten, bij een eenmalig meetmoment en meetdiepte in een proefopzet naar denitrificatie. Morris & Barker (1977) laten zien dat een kroosmat de zuurstofdoorlaat naar het onderliggende water hindert, en dat de kroosmat zelf de meeste zuurstof aan de atmosfeer kwijtraakt.

De afgelopen jaren zijn bij Hoogheemraadschap van Delfland verschillende analyses van monitoringsdata en veldonderzoeken gedaan in het kader van het kroosonderzoek. Daar blijkt telkens dat bij het toenemen van de kroosbedekking, het zuurstofgehalte onder water afneemt (Raaphorst, 2017; Raaphorst, 2018; Overbeek, 2019; Raaphorst 2019; Raaphorst 2020). Uit Raaphorst 2018, 2019 en 2020 komen ook signalen naar voren dat het zuurstofgehalte in diepte ook sneller afneemt onder een kroosdek dan wanneer er geen kroosdek ligt. Het valt echter in de gebruikte opzetten niet goed uit te sluiten dat de verbanden direct aan elkaar gerelateerd zijn of dat er een andere onderliggende oorzaak. Zodoende was er de wens om dit in een proefopzet te testen, waarbij de aanwezigheid of afwezigheid van een kroosdek de enige variabele is, en de verandering in zuurstof zowel in tijd als in diepte de enige variabele.

Doel

Het doel van dit experiment is toetsen hoe het zuurstofgehalte verandert in een proefopzet, wanneer het toevoegen van een volledige sluitende krooslaag de enige verandering is die wordt aangebracht. Daartoe zijn de volgende onderzoeksvraag en subvragen geformuleerd:

- Heeft een kroosdek een negatieve invloed op de zuurstofhuishouding van het water?
 - o Is het zuurstofgehalte onder een kroosdek lager dan zonder kroosdek?
 - o Neemt het zuurstofgehalte in de diepte sneller af onder een kroosdek dan zonder kroosdek?

De volgende hypothesen zijn ter toetsing opgesteld: a) het toevoegen van een kroosbedekking aan een waterpartij veroorzaakt een afname van het zuurstofgehalte; en b) onder een kroosdek neemt het zuurstofgehalte meer af naarmate de diepte toeneemt dan zonder kroosdek.

Methode

Voor het experiment zijn 6 emmers gebruikt van 28cm doorsnede (bovenzijde) en 24cm diep. Het product stond omschreven als hebbende een (bruikbare) inhoud van 12 liter. De emmers zijn van zwart plastic, om te voorkomen dat licht zijdelings in de emmers valt. De emmers zijn gevuld met water, slootbodem en enkele stengels grof hoornblad (*Ceratophyllum demersum*). Het water en de bodem komen uit een sloot achter de Groenendaal in Zwijndrecht. Zowel het water als de bodem zijn vooraf geroerd om een zo uniforme verdeling als mogelijk over de emmers te krijgen. De bron is een voedselrijke sloot, de gebruikte bodem bestaat vooral uit kleiig materiaal met een beperkt aandeel slib. Dit is ingezet op 5-9-2020.

Het grof hoornblad is verzameld in het Arentsburghpark in Leidschendam-Voorburg, en komt uit 1 populatie. Het grof hoornblad is slechts zeer beperkt schoongemaakt, zodat micro-organismen ook mee konden komen, net als met het bodem- en watermateriaal. Er zaten geen grote(re) slakken of andere grote grazers tussen de planten. De planten zijn ingezet op 7-9-2020.

De emmers zijn genummerd volgens de opzet in figuur 1. Vervolgens hebben de emmers tijd gehad om te acclimatiseren tot 17-9-2020 (10 dagen). Na deze acclimatisatie lagen zuurstofgehalte, temperatuur en elektrische geleidendheid op een vergelijkbaar niveau in alle emmers, en waren er op het oog geen verdere opvallende verschillen.

In Raaphorst (2019) zijn in praktijksituaties de natgewichten (kort uitgelekt in een zeef) van een aantal kroosdekken bepaald. 5 kroosdekken hadden een massa van tussen de 2 en 3 kg kroos per m², met 1 uitschieter naar 7 kg/m². Deze metingen zijn hier ter referentie gebruikt, in die zin dat een gemiddeld kroosdek zo'n 2.5 kg/m² natgewicht aan massa/dichtheid heeft.

Op 17-9-2020 is kroos verzameld langs de Geerweg in Zwijndrecht. Het kroosdek bestond uit vooral dwergkroos (*Lemna minuta*). In de emmers 1, 3 en 5 is per emmer 75 gram kroos uitgezet. Dit is het natgewicht na kort uitlekken in een zeef, op dezelfde manier bepaald als de gewichten in Raaphorst (2019), en dit vertegenwoordigt een kroosdek van 1.2 kg/m². Dit is dus een niet al te dik kroosdek vergeleken met de referentie (+/- half zo dik). Het toegevoegde kroos is gelijkmatig over de oppervlakte van het water verdeeld. De opzet is te zien in figuur 2.

Op 20-9-2020 is in de emmers 1, 3 en 5 nog eens per emmer 75 gram extra kroos toegevoegd om het effect van het kroos op het zuurstofgehalte te versterken, voor een totaalgewicht van 2.4 kg/m². Dit vertegenwoordigt ongeveer een gemiddeld kroosdek zoals dit in de praktijk is gemeten door Raaphorst (2019). Het kroos is wederom gelijkmatig over het oppervlak verdeeld.



Figuur 1: Proefopzet bij inzet, met nummering.



Figuur 2: Proefopzet na 1^e inzet van kroos

Vanaf 16-9-2020 is met enige regelmaat het zuurstofgehalte, zuurstofverzadiging, temperatuur en elektrische geleidendheid in alle emmers, zowel direct onder het oppervlak (-1cm), halverwege (-8cm), als vlak boven de bodem (-15cm) gemeten. Initieel is 2 keer op de dag gemeten (ochtend en eind middag). Rond het inzetten van het kroos is nog een extra meting gedaan direct voor en na inzet. Na een paar dagen is de frequentie teruggeslagen naar enkel in de middag. Na het inzetten van extra kroos is vanwege praktische beperkingen na 1 week en na 2 weken een meting gedaan. Dit interval werd afdoende geacht, omdat de snelste wijzigingen kort na inzet van het eerste

kroos werden verwacht.

Helaas was geen lichtmeter beschikbaar voor het precies meten van de verduistering, dus op twee momenten is gedurende de proef voor de beeldvorming van het lichtklimaat onder water een beeldopname gemaakt.

Op 4-10-2020 is de proef beëindigt. Het kroos is, na kort uitlekken, gewogen ter indicatie van de vitaliteit en ter bepaling van toe- of afname van het kroosdek. Het grof hoornblad is visueel geïnspecteerd op vitaliteit, maar de precieze groei was verder geen beoogd onderdeel van de proef.

Een indruk van de tijdlijn van de proef is te zien in figuur 3, waar de belangrijke momenten zijn uitgezet tegen de meetmomenten en -resultaten.

Voor de significantiebepaling van de meetdata is de Mann-Whitney U test gebruikt. Deze test is gekozen omdat de dataset uit continue waarden bestaat die niet normaal verdeeld zijn, en de twee groepen onafhankelijk van elkaar zijn (er zijn geen gepaarde koppels in de proef gebruikt).

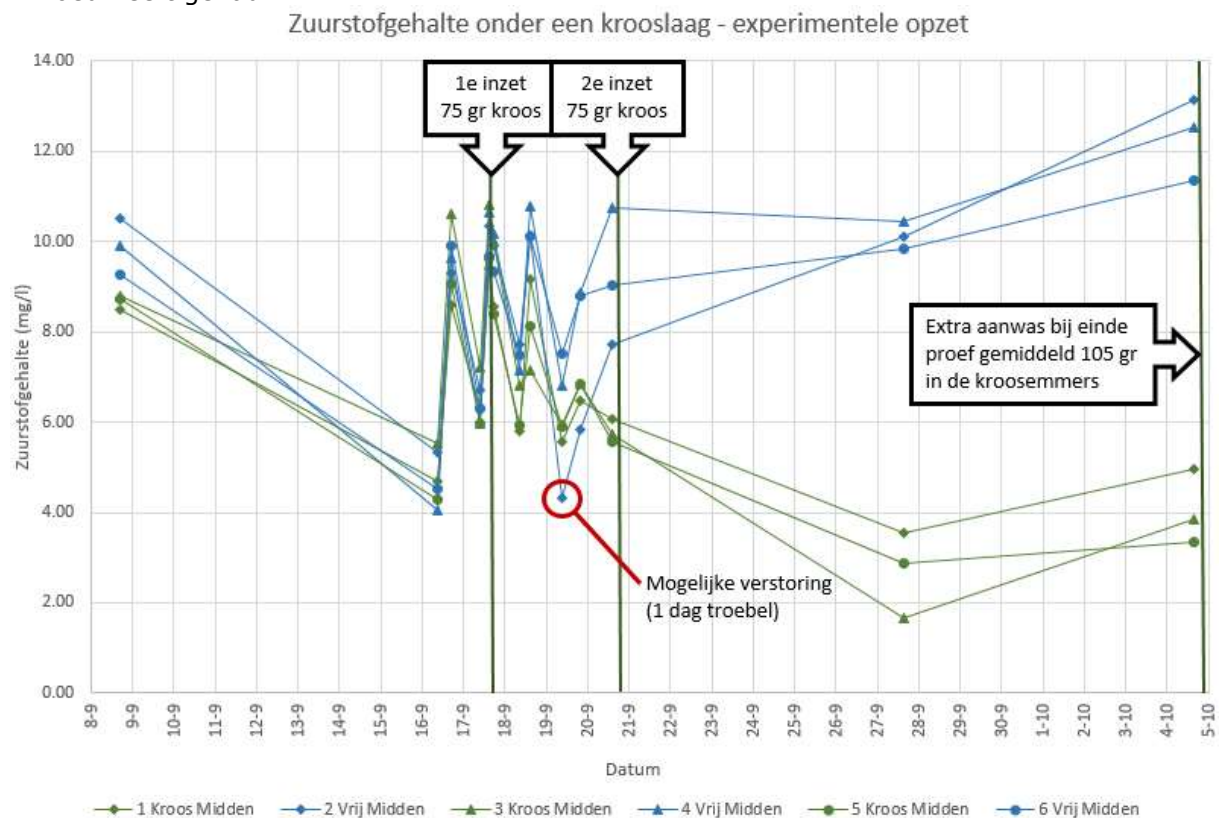
Evers et. al. (2018) beschrijft waardes waaraan een watergang moet voldoen om voldoende ecologisch potentieel te hebben, waaronder voor de zuurstofverzadiging. Gezien de kaders van

dit onderzoek is in Evers et. al. (2018) gekeken naar de waardes voor sloten. Omdat kroos een zomers probleem is, is de gegeven norm voor zuurstofverzadiging (%) voor sloten teruggerekend naar een zuurstofgehalte (mg/l). Daarbij is uitgegaan van een temperatuur van 18.5 graden, ongeveer de gemiddelde watertemperatuur in dit onderzoek. Zodoende wordt hier gesteld dat de ondergrens voor het minimaal gewenste zuurstofgehalte in deze onderzoeksopzet 3.3 mg/l is. De resultaten van deze proef worden o.a. daaraan afgewogen.

Resultaten

In de emmers was voorafgaand aan het inzetten van kroos in het zuurstofgehalte duidelijk een dag-nachtverschil te zien van zo'n 3 tot 5 mg/l. Hieruit blijkt dat planten en/of algen, zoals verwacht, overdag voor primaire productie zorgden. In figuur 3 zijn de zuurstofwaarden weergegeven. Hier is de zuurstofwaarde midden in de waterkolom gebruikt (op -8cm), en deze waarde is ook gebruikt voor het nu volgende deel van de analyse.

Initieel was het zuurstofgehalte in de emmers waarin kroos zou komen wat lager dan in de emmers zonder. Deze tweedeling moet op toeval berusten gezien de volledige mixing van materiaal bij inzet. Na de acclimatisatie van 9 dagen was er geen zichtbaar patroon meer in zuurstofgehalten tussen de emmers waarin een kroosdek beoogd was en de emmers die vrij van kroos gingen blijven. Het is dus de verwachting dat die initiële tweedeling geen verdere invloed heeft gehad.



Figuur 3: Zuurstofgehalte in de verschillende bakken (blauw zonder kroos, groen met kroos) in de tijd.

Vlak voor de inzet van het kroos lagen de zuurstofgehalten in alle emmers halverwege de middag grofweg tussen de 8.5 en 10.5 mg/l. Op de dag van inzet was dit vergelijkbaar.

De dag na inzet, 18-9 in de ochtend, leek direct enige differentiatie op te treden. Afhankelijk van het moment van de dag was het zuurstofgehalte in de bakken zonder kroos gemiddeld tussen de 1.1 en 2.2 mg/l hoger dan in de bakken met kroos.

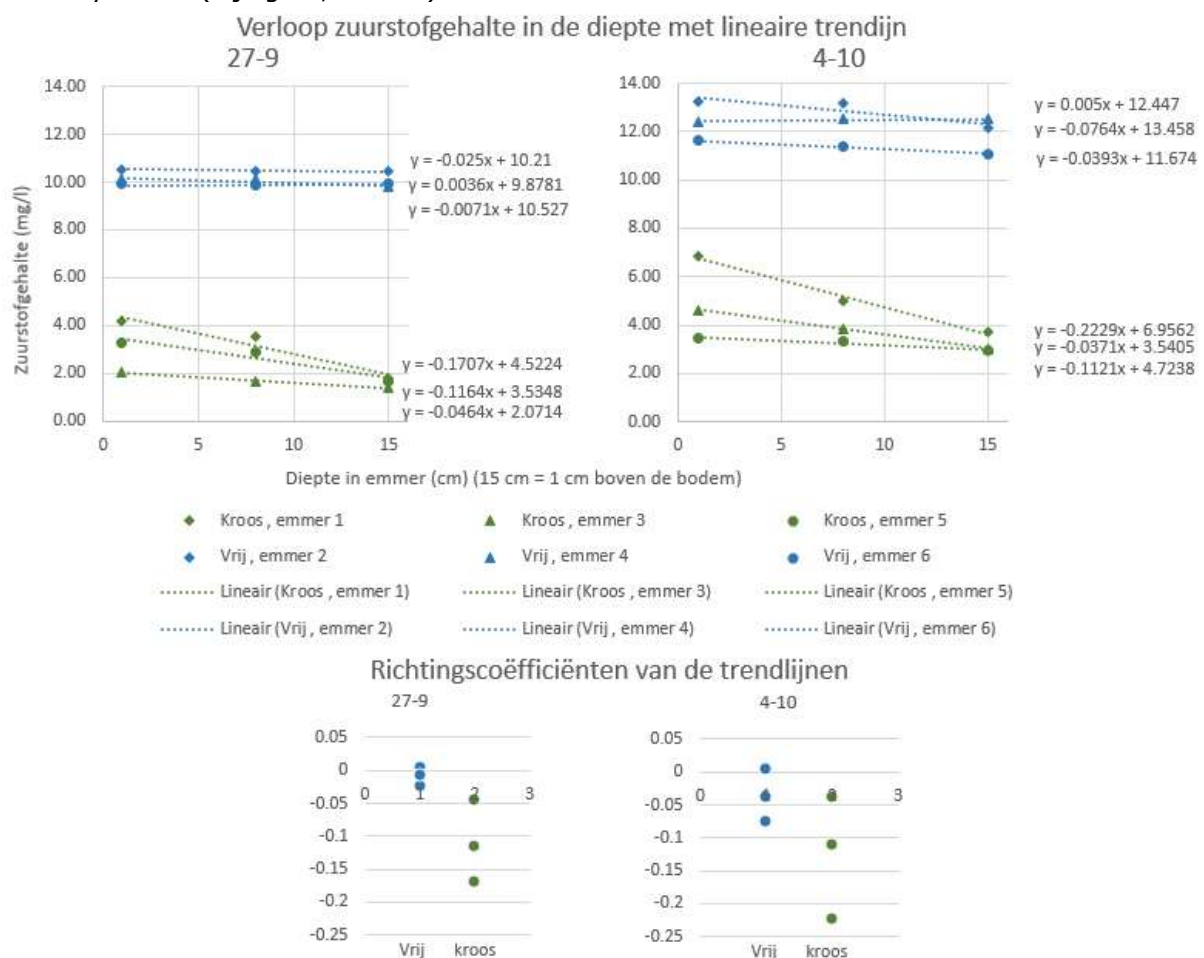
In de middag van 18-9 lagen in de bakken zonder kroos alle gehalten boven 10 mg/l, en in de bakken zonder kroos allemaal onder 10 mg/l. Wat opvalt op 19-9 is dat in emmer 2 (zonder kroos) het zuurstofgehalte één dag juist veel lager was. Dit trekt de gemiddelden van de emmers zonder kroos korte tijd omlaag. Deze bak was ook korte tijd erg troebel, en is vermoedelijk verstoord door een badderende merel, aangezien er merels bij de opzet zaten. Wanneer deze verstoring niet wordt meegenomen, zijn de overige verschillen vergelijkbaar met die van de 18^e. Deze dag was overigens in zijn geheel minder productief getuige het lagere

zuurstofgehalte in alle emmers vergeleken met de dag ervoor. Op 20-9 hadden de bakken met kroos in de middag gemiddeld 3.4 mg/l minder zuurstof dan de bakken zonder kroos. Er is geen ochtendmeting van de 20^e, dus de ontwikkeling van het dag-nachtritme is niet verder te volgen.

Na inzet van het extra kroos liepen de zuurstofgehaltes verder uit elkaar. Er was geen gelegenheid om de ontwikkelingen dagelijks te volgen. Op 27-9 lagen in de middag de gehalten, tussen de bakken zonder en met kroos, respectievelijk gemiddeld 7.4 mg/l uit elkaar. Op 4-10 lagen ze gemiddeld 8.3 mg/l uit elkaar. Hierbij is in de bakken met kroos het zuurstofgehalte gedaald tot niveaus die rond de afgeleide norm van 3.3 mg/l liggen. In de bakken zonder kroos is het zuurstofgehalte nog hoog, en regelmatig boven een verzadiging van 100%.

De significantie van deze resultaten is bepaald met een Mann-Whitney U Test, de resultaten staan in bijlage 2, tabel 1. Vanwege de kleine steekproef komt het er op neer dat er een significant verschil is in de gevallen waarop de 2 groepen (zonder kroos, met kroos) elkaar niet overlappen. Vanaf 18-9 is het verschil tussen de twee groepen zodoende altijd significant, behalve op 19-9 wanneer bak 2 verstoord lijkt.

Het zuurstofgehalte van de laatste twee meetmomenten is per emmer over de diepte uitgezet. Hierover is een trendlijn getekend, en daarvan zijn de formules gegeven. De richtingscoëfficiënten geven de steilheid van de trendlijnen, en daarmee de sterkte van de afname van het zuurstofgehalte in de diepte aan. Het resultaat is weergegeven in figuur 4. Te zien is dat in de emmers met kroos het zuurstofgehalte in de meeste gevallen sneller afneemt met de diepte, dan in de emmers zonder kroos. In de emmers zonder kroos is het zuurstofgehalte op de bodem gemiddeld 0.3 mg/l lager dan aan het oppervlak, terwijl in de emmers met kroos dit verschil gemiddeld 1.7 is. Dit verschil is significant volgens de Mann-Whitney U test (bijlage 1, tabel 2).



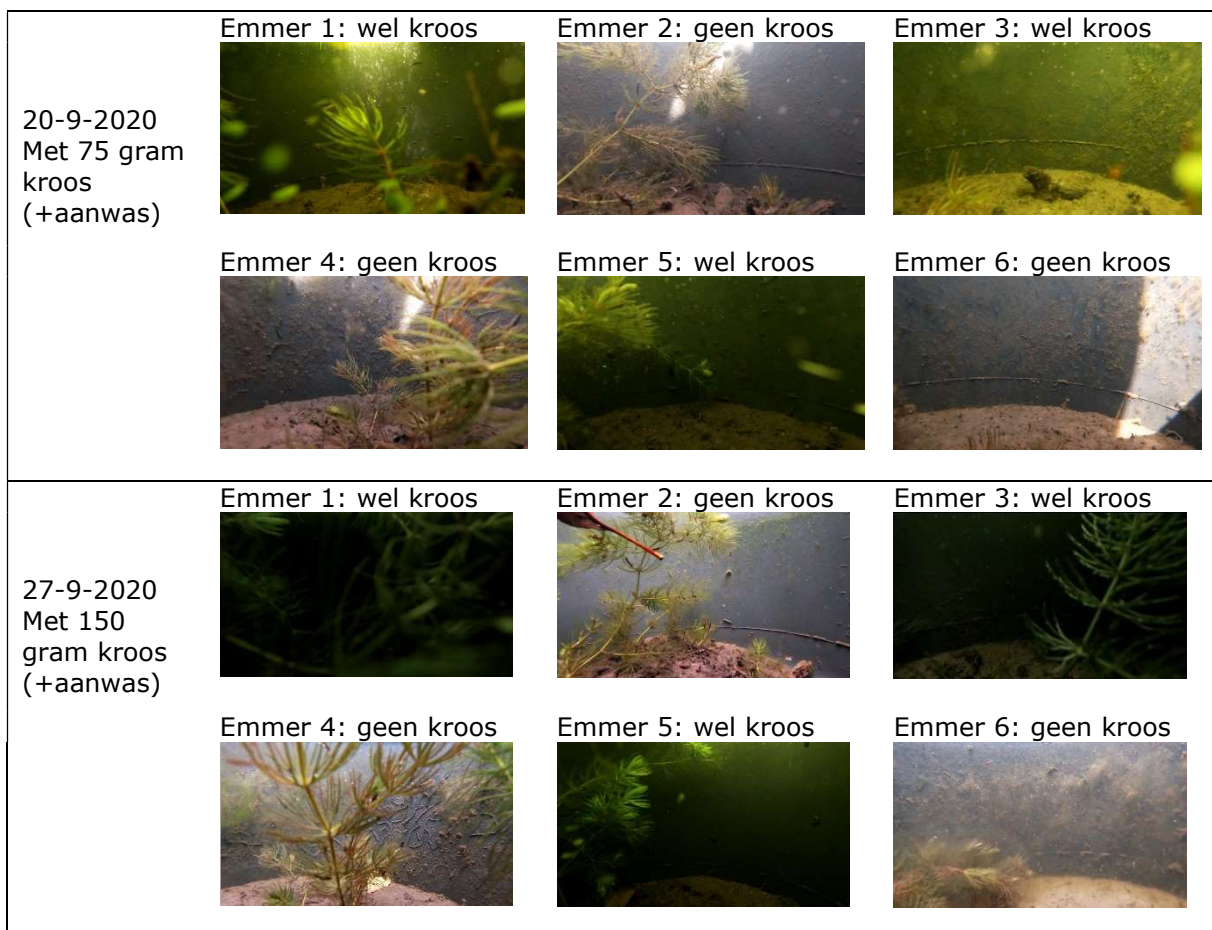
Figuur 4: Zuurstofgehalte in de diepte, op de laatste 2 meetmomenten (ten tijde van dikke krooslaag), en richtingscoëfficiënten van de trendlijnen.

De temperatuur was tussen de bakken onderling op de verschillende meetmomenten grofweg gelijk, enige variatie daargelaten. Vooral het moment van de dag en weersomstandigheden waren daarin bepalend. Dit was naar verwachting, en hier is geen indicatie op onverwachte beïnvloeding van (een deel van) de proefopzet.

De elektrische geleidendheid lag initieel tussen de 680 en 750 mS/cm, en er waren geen opmerkelijke verschillen tussen de bakken. Rond 28-9 gingen de waarden naar 550-600 mS/cm, en tegen het eind van de proef naar 450-500 mS/cm. Dit komt doordat een nattere periode aanbrak en regenwater voor verdunning zorgde. Er waren geen opmerkelijke verschillen tussen de bakken, dus ook hier geen indicatie van onverwachte beïnvloeding van een deel van de proef.

In figuur 5 zijn de beelden weergegeven die op 2 momenten zijn gemaakt onder water in de emmers. In emmer 1, 3 en 5 met kroosdek, in 2, 4 en 6 zonder kroosdek. Op 20-9 ligt er 75 gram kroos op het water, naar alle waarschijnlijkheid met enige aanwas erbij. Op 27-9 is er nog eens 75 gram toegevoegd voor een totaal van 150 gram, ook naar alle waarschijnlijk met nog wat aanwas.

Op de beelden is te zien dat het water in alle bakken helder was. Er zit een duidelijk verschil tussen de met kroos bedekte emmers en de emmers zonder kroos: eerstgenoemde zijn donkerder, en de kleurstelling is groener. Ook op de beelden van 27-9 onder de krooslaag donkerder dan op 20-9. Hier vallen geen cijfers aan te verbinden aangezien camera's met automatische instelling, zoals de gebruikte GoPro, corrigeren in donkere omstandigheden. Dit betekent overigens dat in de praktijk de situatie onder kroos donkerder kan zijn dan de foto suggereert.

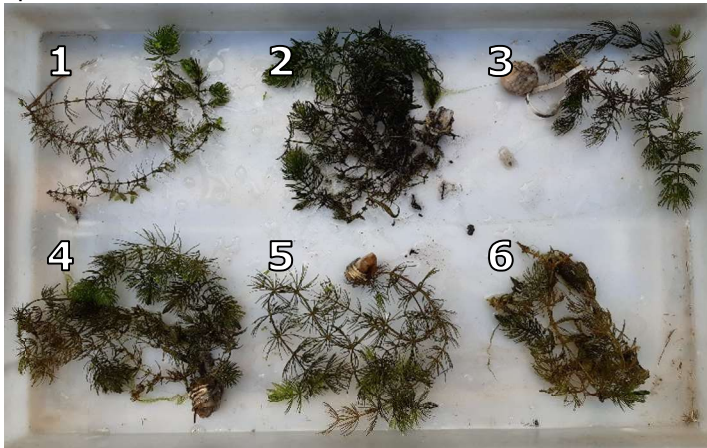


Figuur 5: Beelden onder water van de bakken met en zonder kroos, op 20-9-2020 en 27-9-2020.

Op het moment van uithalen van de proef was het kroos in de 3 kroos-emmers vitaal, zoals te zien in figuur 6. In de drie emmers zonder kroos waren wel enkele verdwaalde kroosplantjes begonnen met uitgroeien (zie tevens figuur 6), maar dit was zo weinig dat het effect hiervan als nihil is ingeschat. Het natgewicht van het kroos in de kroos-emmers was op dit moment 260 gram in emmer 1, 267 gram in emmer 3, en 238 gram in emmer 5. Gemiddeld komt dit neer op 4.1 kg/m², een vrij zwaar kroosdek. Er is dus groei geweest, gemiddeld 105 gram per emmer. Dit duidt er op dat het kroos vitaal was. Het kroos in de referentie-emmers was te weinig voor een meting.



Figuur 6: Proefopzet aan het eind van de proef.



Figuur 7: Grof hoornblad aan het eind van de proef.

Een eerste indruk van het grof hoornblad was dat in bak 2 en 4 de planten robuuster waren, en in bak 1, 3 en 5 ijler. In bak 6 had een algensoort het grof hoornblad nogal overwoekerd, en deze plant was er minder vitaal aan toe dan de andere 5 planten. Dit is te zien in figuur 7. Er zijn verder geen metingen gedaan aan het grof hoornblad, dus dit geeft slechts een indicatie.

Conclusie

Hypothese a) het toevoegen van een kroosbedekking aan een waterpartij veroorzaakt een afname van het zuurstofgehalte, wordt bevestigd door de resultaten van de proef. Het in deze proef toegepaste kroosdek heeft uiteindelijk geleid tot zo'n 8 mg/l minder zuurstof in het water in vergelijking tot de referentie.

Hypothese b) onder een kroosdek neemt het zuurstofgehalte in de diepte sneller af dan zonder kroosdek, wordt ook bevestigd door deze proef. In de emmers met kroosdek is met een toename van de diepte een grotere afname van het zuurstofgehalte waargenomen.

Discussie

Het resultaat begon zich al vrij snel af te tekenen na het inzetten van het kroos, en het zuurstofgehalte werd in de bedekte emmers van dag op dag wat lager. Op de emmers zonder kroos blijft het echter onverminderd hoog. Een uitzondering is emmer 2 op 19-9. Deze bak is gedurende die dag ook, als enige in de hele proefperiode, troebel geweest. Tevens zijn er enkele merels gezien die bij de bakken zaten. Het is dus zinvol te zorgen dat (grote) dieren een dergelijke proefopstelling niet kunnen verstoren, om dit uit te sluiten.

Na het toevoegen van extra kroos is het zuurstof nog verder gedaald in de kroos-emmers. Uit de gegevens valt niet in te schatten of deze daling groter is dan wanneer geen extra kroos was toegevoegd. Het primaire doel van de proef was echter onderzoeken of het effect optreedt, en niet in welke mate. Het is echter wel interessante informatie, en bij vervolgonderzoek valt te overwegen om een extra reeks uit te zetten, en zodoende een set te hebben waar eenmalig 75 gram wordt toegevoegd, en een set met eenmalig 150 gram kroos.

Het effect in de diepte is niet heel uitgesproken, maar wel consequent aanwezig. De krooslaag geeft dus ook een verandering in de zuurstofverdeling door het water heen.

De redenen voor het verschil liggen deels voor de hand: in de emmers zonder kroos is overdag de verzadiging regelmatig boven de 100% gestegen, wat betekent dat er productie van zuurstof plaatsvindt. Op de onderwaterbeelden is ook duidelijk een verschil in lichtinval te zien, wat

wordt bevestigd door eerder onderzoek. In de emmers met kroos is de productie en diffusie vanuit de atmosfeer te laag om het water verzadigd van zuurstof te houden. Een krooslaag heeft zodoende een behoorlijke impact op de zuurstofhuishouding. Wat echter nog onbekend is, is in welke mate verschillende processen de uiteindelijke zuurstofhuishouding bepalen. In de emmer zonder kroos vindt productie plaats door algen, waterplanten en cyanobacteriën. In de emmers met kroos is het niet volledig donker, dus de verwachting is wel dat deze soorten nog enige productie voeren, maar niet voldoende om het zuurstofgehalte op peil te houden. De voornaamste productie zit daar in de toplaag, door het kroos en algen daartussen. Tevens zorgt diffusie vanuit de atmosfeer voor invoer via deze weg, al wordt die belemmerd door de krooslaag (Morris & Barker, 1977). Het kan echter ook weer zo zijn dat het kroos de beweging door wind en daarmee de vermenging, en dus de snelheid van diffusie vertraagt, waardoor de gradiënt door het water groter wordt. De verhouding tussen deze processen is niet bekend, en heeft nader onderzoek.

Doordat er slechts drie replica's per behandeling gebruikt konden worden, is de statistische kracht niet heel groot. Doordat de resultaten vrij uitgesproken zijn, konden de hypothesen toch bewezen worden. Er is daardoor echter een groter risico voor verstoring, zoals in emmer 2 is gebleken, en bijvoorbeeld een vijftal replica's is wenselijker. Dit zou ook ruimte bieden om in wat meer detail bepaalde aspecten te onderzoeken, zoals de ontwikkeling van planten onder het kroos.

De volgende overwegingen kunnen worden meegenomen bij een vernieuwde, verdiepende onderzoeksopzet:

- Diepere bakken, meer in de richting van een gebruikelijke slootdiepte;
- Een opzet waarbij de invloed van mate van kroosbedekking (bijvoorbeeld 0, 25, 50, 75 en 100%) op het zuurstofgehalte wordt onderzocht.
- Een slib- en voedingsstofrijke bodem waarvan de nutriëntengehaltes ook bekend zijn.
- De waterplanten kunnen bij inzet en bij uithalen, en eventueel tussendoor, worden gewogen om de gezondheid, groei en afbraak te bepalen.
- Een lichtsterktemeter geeft meer inzicht in het daadwerkelijke lichtklimaat.

Literatuur

Evers C.H.M., Broek A.J.M van den, Buskens R., Leerdam A. van, Knoben R.A.E., Herpen F.C.J., Pot R.; 2018; Omschrijving MEP en maatlatten voor sloten en kanalen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027; Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)

Maessen M.; 2014; Kennis over kroos; Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)

Morris P.F., Barker W.G.; 1977; Oxygen transport rates through mats of *Lemna minor* and *Wolffia* sp. and oxygen tension within and below the mat; Canadian Journal of Botany, volume 55, number 14

Overbeek I.; 2019; Onderzoek naar effect van kroos op waterleven in sloten bij NME-centrum Harre Wegh in Park Kethel; Stichting Milieu Dichterbij

Raaphorst E.P.; 2017; 2- Kroos in Delfland, omvang en effecten op basis van informatie uit het gebied van Delfland; Intern verslag Hoogheemraadschap van Delfland

Raaphorst E.P.; 2018; Beknopte analyse van de monitoringsresultaten van de kroosproef Leidschendam-Voorburg 2018; Intern verslag Hoogheemraadschap van Delfland

Raaphorst E.P.; 2019; Veldonderzoek lichtinval en zuurstof onder kroosdekken; Intern verslag Hoogheemraadschap van Delfland

Raaphorst E.P.; 2020; Pilot kroosverwijdering Leidschendam-Voorburg, onderzoek naar macrofaunapopulatie en zuurstof; Intern verslag Hoogheemraadschap van Delfland

Veraart A.J., Bruijne W.J.J. de, Klein J.J.M. de, Peeters E.T.H.M., Scheffer M.; 2010; Effect of aquatic vegetation type on denitrification; Biogeochemistry (2011) volume 104, pages 267-274

Bijlage 1 – Resultaat Mann-Whitney U test

Tabel 1: Resultaat Mann-Whitney U test zuurstofgehalte metingen op 8 cm.

Meetdatum	U	z	p	Vershil significant?
08-09 17:00	0	-1.9640	0.0495	Ja
16-09 08:40	3	-0.6547	0.5127	Nee
16-09 16:45	3	-0.6547	0.5127	Nee
17-09 09:15	4	-0.2182	0.8273	Nee
17-09 15:00	3	-0.6547	0.5127	Nee
17-09 17:40	2	-1.0911	0.2752	Nee
18-09 08:40	0	-1.9640	0.0495	Ja
18-09 14:50	0	-1.9640	0.0495	Ja
19-09 09:30	3	-0.6547	0.5127	Nee
19-09 19:40	3	-0.6547	0.5127	Nee
20-09 14:00	0	-1.9640	0.0495	Ja
27-09 15:00	0	-1.9640	0.0495	Ja
04-10 15:30	0	-1.9640	0.0495	Ja

Tabel 2: Resultaat Mann-Whitney U test richtingscoëfficiënten

U	z	p	Vershil significant?
3	-2.401922307	0.016309172	Ja