

Effecten van waterrecirculatie op voeropname en voederbenutting van paling

A. Kamstra¹, A. Vreden², G. Roding² en J.H. van Weerd²

¹: Afdeling Technologie, RIVO-DLO, IJmuiden

²: Vakgroep Visteelt en Visserij, LandbouwUniversiteit Wageningen

Recirculatie van water in visteelsystemen veroorzaakt sterke en complexe veranderingen in waterkwaliteit. Visteelt in recirculatiesystemen vereist daarom grondige kennis van de behoeften die vissen aan de waterkwaliteit stellen. Voor een relatief klein aantal parameters, zoals zuurstof, pH, ammonium, nitriet en nitraat kunnen deze veranderingen goed beschreven worden. Voor die parameters zijn bij paling redelijk goed onderbouwde grenswaarden ontwikkeld. Met behulp van dergelijke grenswaarden kunnen systemen ontworpen worden en kan met het dagelijkse management de waterkwaliteit bijgestuurd worden.

Achtergrond en doelstelling van het onderzoek

De waterzuivering in palingteeltsystemen is er over het algemeen op gericht om (het giftige) ammonium volledig in nitraat om te zetten en het nitraat vervolgens door middel van waterverversing binnen bepaalde grenzen te houden. De grenswaarden voor nitraat zijn niet bekend, maar in de praktijk worden over het algemeen concentraties van 50 tot 150 g/m³ NO₃-N aangehouden. Dit betekent dat een verversing in de range van 300 tot 800 liter water per kg voer nodig is, ervan uitgaand dat er in het systeem geen nitraat wordt omgezet (denitrificatie). De waterzuivering is daarmee grotendeels gericht op enkele stikstofhoudende componenten. Het staat echter geenszins vast dat genoemde stoffen de meest beperkende factoren in recirculatiesystemen zijn. Naast ammonium, uitgescheiden door de vis, kunnen namelijk een groot aantal stoffen geproduceerd worden, met een mogelijk negatief effect op de vis. Men kan daarbij denken aan:

- Uitscheidingsprodukten van vissen, anders

dan ammonium, bijvoorbeeld stoffen waarmee het gedrag van soortgenoten kan worden beïnvloed (feromonen).

- Verbindingen afkomstig uit voerresten of mest, bijvoorbeeld zink of koper.
- Verbindingen geproduceerd door de bacteriële biomassa in de biologische filters. Een goed voorbeeld hiervan zijn de hoog-moleculaire en moeilijk afbreekbare organische stoffen, die de geelkleuring van recirculatie-water veroorzaken.

Het is uiteraard een moeilijke opgave om in een complex 'soepje' als recirculatie-water, onbekende stoffen te gaan onderzoeken met mogelijk negatieve effecten voor de vis. Het is voor een praktische benadering echter ook niet altijd nodig om individuele stoffen te kennen. Het aantal mogelijke technische maatregelen om waterkwaliteit te sturen is, zeker in bestaande systemen, toch erg beperkt. Voor een kweker is het in eerste instantie voldoende om te weten hoe schadelijke effecten vermeden kunnen worden zonder de aard van die stoffen te kennen. Wanneer men uitgaat van

een bestaand systeemontwerp, dan is het echter relatief eenvoudig om in een proefopstelling effecten van bepaalde zuiveringstechnieken, bijvoorbeeld waterverversing of denitrificatie, ten opzichte van een standaard te meten. Er zullen dan meerdere waterkwaliteitsfactoren tegelijk veranderen, waarvan slechts op termijn de individuele effecten ontrefeld kunnen worden.

In ons onderzoek hebben we ons allereerst bezig gehouden met de vraag of in een systeem, met een waterkwaliteit, zoals die gemiddeld in praktijksystemen voorkomt, beperkende factoren voor paling voorkomen. Om dat te kunnen doen moet je de prestaties van paling in een dergelijk systeem vergelijken met die in een doorstroomsysteem, waar het water maar één keer wordt gebruikt zodat er in principe geen schadelijke stoffen kunnen accumuleren. Een dergelijk experiment is technisch gezien niet eenvoudig te realiseren (kost veel warm water) en op praktijkschaal onuitvoerbaar. Slechts eenmaal eerder zijn voor Afrikaanse meerval (Fleuren, 1985) de prestaties in een doorstroomsysteem vergeleken met die in een recirculatiesysteem. In dat onderzoek groeiden de vissen bij recirculatie langzamer, wat geweten werd aan accumulatie van 'schrikstoffen'.

Wanneer we effecten van waterkwaliteit op vis bestuderen, dan zijn we met name geïnteresseerd in effecten op groei en voederconversie. Enerzijds omdat dit bedrijfseconomisch gezien doorslaggevende factoren zijn, ander-

zijds omdat groei een goede 'overall' indicator is voor een complex van moeilijk meetbare fysiologische veranderingen. Veranderingen in groei kunnen langs twee lijnen plaats vinden: via veranderingen in voeropname (tussen groeisnelheid en voeropname bestaat binnen bepaalde grenzen een rechtlijnig verband) en veranderingen in voederbenutting. Een verandering in voeropname kan bijvoorbeeld een gevolg zijn van een verandering in de zuurstofopnamecapaciteit. Effecten op voederbenutting (conversie) kunnen optreden, wanneer een vis extra energie moet mobiliseren om zich te weer te stellen tegen schadelijke stoffen en deze energie niet voor groei kan worden benut. In onze experimenten zijn beide factoren steeds afzonderlijk bestudeerd.

Opzet en uitvoering van de experimenten **Proefopzet**

In tabel 1 zijn de belangrijkste kengetallen van de twee uitgevoerde experimenten weergegeven. Het belangrijkste verschil tussen de systemen is de mate van verversing die is toegepast (gecorrigeerd voor verdamping).

De systemen A zijn volledige doorstroomsystemen, vandaar het hoge waterverbruik per kg voer. NB, het uitdrukken van verversing als percentage van het systeemvolume, zoals dat in de praktijk nog wel eens gebeurt, is nietszeggend. Systeem B in experiment 1 heeft geen biologisch filter: de verversing is in dit systeem afgesteld op verwijdering van ammo-

	Experiment 1	Experiment 2
Aantal systemen	4	6
Verversing per systeem (m ³ /kg voer)	A: 161.3 / B: 13.0 C: 0.48 / D: 0.059	A: 165.9 / B: 0.49 / C: 0.20 D: 0.166 / E: 0.091 / F: 0.030
Aantal aquaria per systeem	6	4
Adaptatieperiode (dgn)	5	14
Periode I (dgn)	26	26
Periode II (dgn)	25	26

♦ Tabel 1. Enkele gegevens betreffende de proefopzet van de uitgevoerde experimenten.

nium door verversing. Deze behandeling is ingevoerd om eventuele effecten van een biologisch filter op de prestaties van de vis te onderzoeken. De behandelingen C in experiment 1 en B in experiment 2, zijn verversingen die in de praktijk over het algemeen worden gehanteerd.

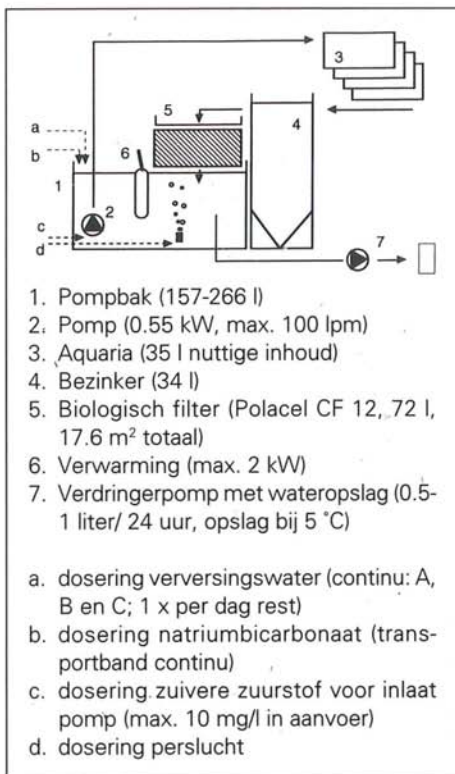
Per systeem werd de helft van de beschikbare aquaria ad libitum (tot verzadiging) gevoerd om effecten van waterkwaliteit op voeropname te bestuderen. De andere helft werd gerespecteerd gevoerd om effecten op voederbenutting te onderzoeken. Om er zeker van te zijn dat al het voer werd opgegeten is het voederniveau in de laatstgenoemde groepen steeds afgesteld op de slechtst etende groep. In experiment 1 was de adaptatieperiode vrij kort; de biologische filters werden hier bij het begin van periode I aangesloten. In experiment 2 werden de filters aan het begin van de adaptatieperiode geïntroduceerd. In dit experiment werden de systemen gedurende de adaptatieperiode in gelijke mate verversd (ca. 500 l/kg voer).

De benodigde palingen werden verkregen via een palingkwekerij. Het gemiddeld gewicht van de paling bij de start van het experiment bedroeg ca. 25 gram in beide experimenten. Ieder aquarium werd bezet met ca. 120 individuen. De vissen werden met de hand gevoerd van 9 tot 10 uur 's ochtends met Provimi Grover (2 mm). Met deze manier van voeren konden de vissen tot verzadiging worden gevoerd, zonder dat er sprake was van voerverspilling.

Systemen

Figuur 1 geeft een schematisch overzicht van de toegepaste recirculatiesystemen. In de doorstroomsystemen was geen biologisch filter en bezinker aanwezig.

Voor de inlaat van de pomp werd zuivere zuurstof ingeblazen om het zuurstofgehalte in de aanvoer te verhogen en het benodigde recirculatie-debiet te verkleinen. Vanuit de aquaria werd het water onder verval naar een centrale bezinker geleid, die dagelijks werd afgeheveld.

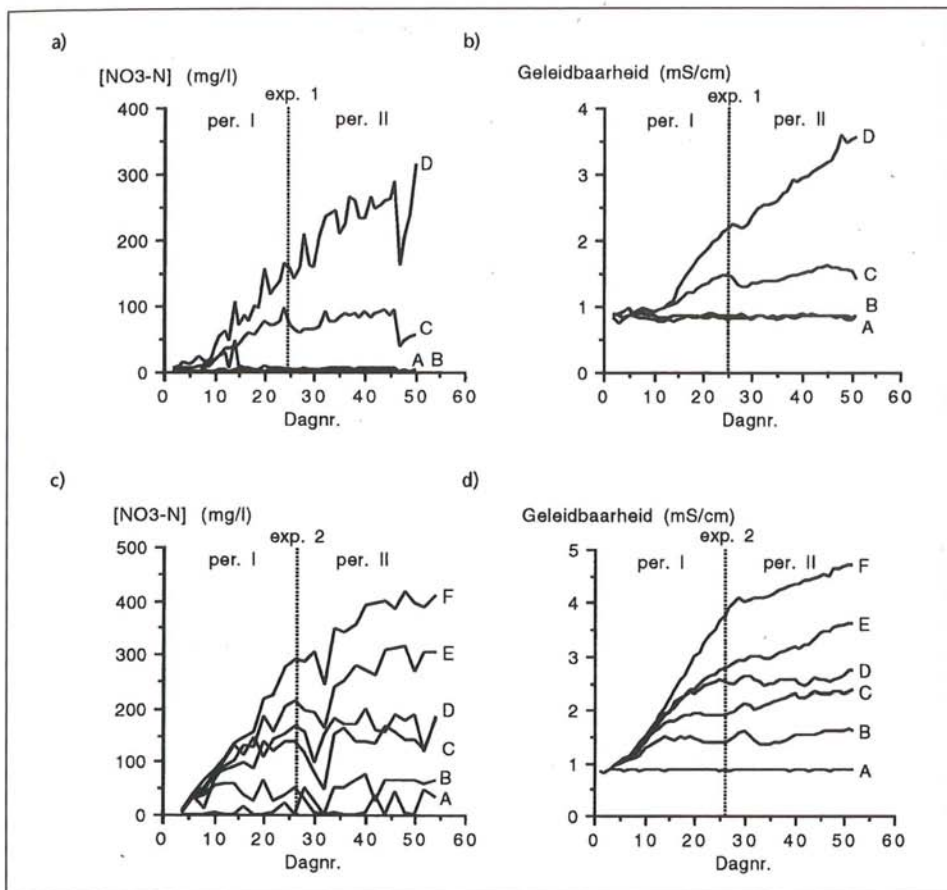


◆ *Figuur 1. Schematische weergave van de toegepaste recirculatiesystemen*

Via een verdeelplaat liep het water vervolgens over een blok filtermateriaal en kwam weer in de pompbak terug.

Metingen

Het verloop van de waterkwaliteit in de verschillende systemen werd intensief gevolgd. De volgende parameters werden dagelijks gemeten: temperatuur, pH, zuurstofgehalte, ammonium, nitriet, nitraat en geleidbaarheid (EC). De extinctie (maat voor kleur) werd één maal per week gemeten. Omdat er gedurende korte tijd gevoerd werd, kunnen de fluctuaties van met name zuurstof-ammonium en nitrietgehalte groot zijn. Om toch een goed beeld te krijgen van de gemiddelde waterkwaliteit in



◆ *Figuur 2. Het verloop van het nitraat-gehalte en de geleidbaarheid (EC) in de verschillende systemen. NB: nitraat op N-basis; getallen met 4.4 vermenigvuldigen voor nitraat. Experiment 1: a,b ; experiment 2: c,d.*

ieder systeem, werd er continu met een verdrijperpomp water verzameld voor een dagelijks mengmonster. Op een aantal tijdstippen is er gedurende een etmaal water bemonsterd om een idee van de fluctuaties binnen een etmaal te krijgen.

Bij de aanvang en het einde van de proefperioden werden de vissen geteld, gewogen en werd een monster verzameld voor analyse van de lichaamssamenstelling (droge stof, vet, eiwit en as). Tijdens de bemonsteringen werd

eveneens bloed van individuele dieren verzameld, waarvan de haematocriet- en leucocriet-waarde werden bepaald. De sterfte en voeropname werden dagelijks geregistreerd.

Resultaten en discussie

De gerealiseerde waterkwaliteit

Gezien het grote aantal parameters dat is gemeten, is het in het kader van dit verhaal ondoenlijk om alle metingen te vermelden. We volstaan hier met de mededeling dat de water-

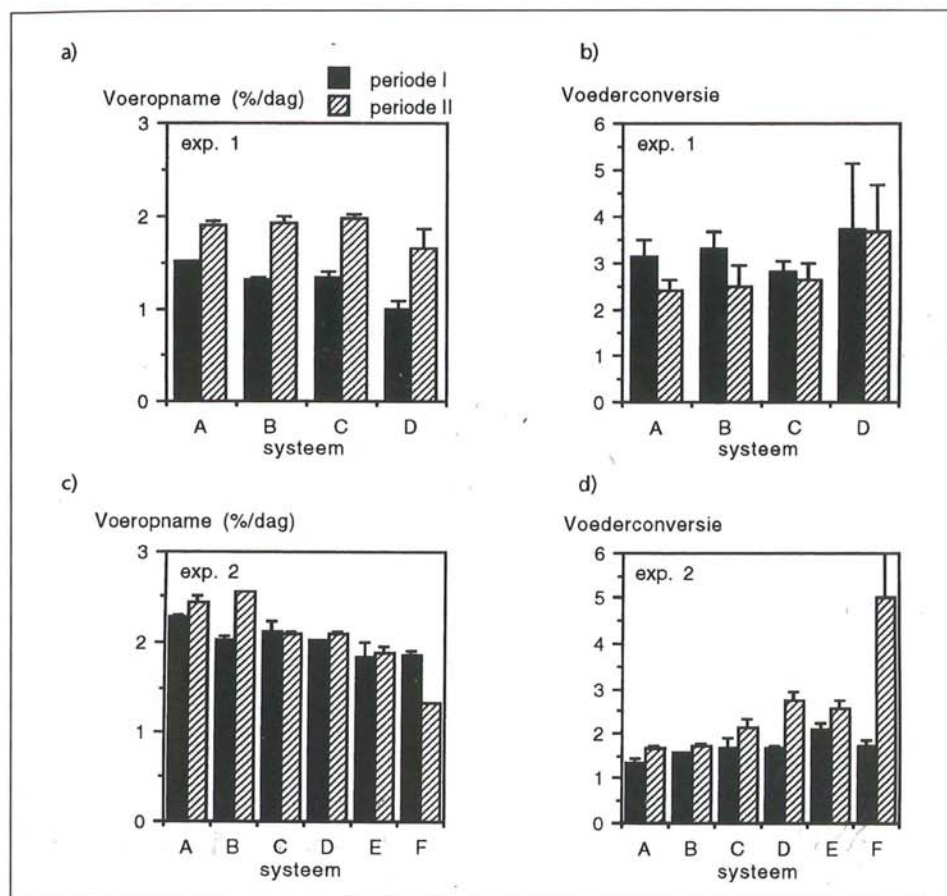
temperatuur en het gehalte aan zuurstof, ammonium, nitriet binnen de aan te houden grenswaarden voor paling bleven. Slechts zeer sporadisch werden voor één van de parameters (temperatuur, ammonium) grenswaarden overschreden, zonder dat dit overigens een effect op de voeropname van de vis had.

Figuur 2 illustreert de grote verandering in nitraat-gehalte en geleidbaarheid die door verschillen in verversing worden geïnduceerd.

In experiment 1 wordt een maximaal nitraat-gehalte van 300 mg N/l bereikt bij een geleidbaarheid van ca. 3.5 mS/cm. In experiment 2 liggen de maximaal bereikte gehalten hoger. De geleidbaarheid blijkt een snelle en goedkope meting, waarmee het effect van recirculatie goed kan worden gekarakteriseerd.

Voeropname en voederbenutting

In figuur 3 zijn de belangrijkste resultaten van de twee experimenten vermeld.



♦ *Figuur 3. De gemiddelde voeropname van ad lib gevoerde groepen en de gemiddelde voederconversie van gerespecteerd gevoerde groepen in experiment 1 (a,b) en 2 (c,d). De standaardafwijking is met een verticale streep weergegeven.*

Afgezien van periode I in experiment 1, waar de korte adaptatieperiode een sub-optimale voeropname veroorzaakt, is de maximale voeropname globaal genomen erg goed voor vissen van het gebruikte gewicht. Uit figuur 3a blijkt dat met name de voeropname in systeem D in beide perioden achterblijft bij de rest. De voeropname van vissen in een 'normaal' recirculatiesysteem (verversing 500 l/kg voer; C exp. 1 en B exp. 2) en een volledig doorstroomsysteem (A in exp. 1 en 2) is niet significant verschillend. Figuur 3c laat zien dat bij sterke reductie van de verversing de voeropname langzaam terugloopt.

Het gemiddelde voederniveau in de gerestricteerd gevoerde groepen bedroeg 0.63 en 0.73 %/dag in periode I en II van experiment 1 en 1.18 en 0.96 %/dag voor respectievelijk periode I en II in experiment 2. Uiteraard veroorzaakt deze beperkte voeding relatief slechte voederconversies; voor ons onderzoek zijn de verschillen tussen behandelingen echter alleen relevant. In experiment 1 is de voederconversie in behandeling D significant verhoogd. In experiment 2 is de hoge conversie in periode II in F deels een artefact omdat de voeropname daar bleef steken bij 0.2 %/dag. De figuren 3 b en d laten zien dat een verversing van minder dan ca. 500 l/kg voer oplopende voederconversies geeft (D, exp. 1; C t/m F exp. 2). De benutting van eiwit en energie, die berekend wordt op basis van de lichaamssamenstelling van de vis en de groei, vertoont globaal het zelfde beeld. Een verhoging van de voederconversie kan verklaard worden door een toename van het onderhoudsmetabolisme van de vis: het dier verbruikt extra energie om zich te weer te stellen tegen bepaalde stoffen en kan deze energie niet benutten voor groei.

De sterfte vertoonde met name in experiment 1 een interessant verloop. In de eerste periode trad in systeem D na ca. 14 dagen een verhoogde sterfte op die resulteerde in een cumulatieve sterfte over de eerste periode van 5%. In de andere systemen varieerde de sterfte in die periode van gemiddeld 1 tot 2%. Op-

vallend was ook het lage haematocriet-gehalte in groep D aan het eind van periode I in experiment 1 (gemiddeld 19.8% t.o.v. $\pm 35\%$ in andere groepen). Aan het eind van de tweede periode was het gehalte weer vergelijkbaar met dat van de andere groepen. De vissen in groep D gedroegen zich bijzonder apatisch. Sterfte als gevolg van onderlinge agressie was in deze groep dan ook afwezig en de vissen waren qua uiterlijk bijzonder gaaf. De problemen in groep D tijdens experiment 1, zijn niet te verklaren vanuit gemeten veranderingen in waterkwaliteit. De meest waarschijnlijke hypothese voor de waargenomen verschijnselen is een acute vergiftiging door stoffen afkomstig uit het biologische filter. Na introductie van biofiltermateriaal, afkomstig uit een ander systeem, zal de aanwezige bacteriële biomassa zich aan veranderende omstandigheden moeten aanpassen. Dit proces kan gepaard gaan met het afstoten en sterfte van materiaal dat in potentie giftig is. Omdat in experiment 1, in tegenstelling tot experiment 2, de geplande verversing direct na introductie van het biofiltermateriaal is ingesteld, krijgen eventuele toxinen in een systeem met geringe verversing (D) niet de kans om uit te spoelen. Het fenomeen wat zich in systeem D afspeelt, is daarmee een onbedoelde maar interessante illustratie van een verschijnsel dat zich in de praktijk waarschijnlijk veel vaker afspeelt, namelijk vergiftigingsverschijnselen veroorzaakt door bacteriële toxines.

Een belangrijke conclusie die getrokken kan worden is, dat bij een verversing van minimaal 500 l/kg voer (systeem B en C exp. 1 en B exp. 2) geen duidelijk remmende factoren wat betreft waterkwaliteit aanwezig zijn. Potentiële factoren, zoals genoemd in de inleiding, kunnen bij een dergelijke verversing blijkbaar geen waarden bereiken die schadelijk zijn. Dit in tegenstelling tot de situatie bij Afrikaanse meerval waar dit wel het geval is (Fleuren, 1985). Introductie van nieuwe waterbehandelingmethodieken lijkt in een normaal functionerend systeem voor paling daarom niet voor de hand te liggen.

Bij een verversing van minder dan 500 l/kg voer kan remming op voeropname en voederconversie van paling worden waargenomen (systeem C, D, E en F van exp. 2). Vraag is nu welke waterkwaliteitsfactor(en) is/zijn hiervoor verantwoordelijk? Nitraat is een potentiële factor. In onderzoek door RIVO-DLO (ongepubliceerd) is een 96uur LC50 (de concentratie waarbij 50% van de populatie binnen 96 uur sterft) voor nitraat bij paling gevonden van ± 1800 g/m³ NO₃-N. Van sommige gifstoffen is bekend dat ze reeds chronische schade kunnen veroorzaken bij een concentratie van 5 tot 10% van de LC50. Dit betekent dat chronische sublethale schade door nitraat mogelijk zou kunnen zijn bij concentraties vanaf 100 g/m³ NO₃-N. In een aantal gevallen wordt op commerciële bedrijven met geringere verversing en hogere nitraatconcentraties gewerkt. In dergelijke omstandigheden kan dus al sprake zijn van verminderde teeltresultaten. In dit opzicht is de geringe aandacht die er in de praktijk aan meting en sturing van waterverbruik wordt gegeven sowieso opvallend.

De hoeveelheid 'gele kleurstoffen' in het systeemwater verandert parallel aan de nitraatconcentratie. Diverse auteurs (Hirayama et al., 1988; Takeda en Kiyono, 1990) hebben aangetoond dat dergelijke stoffen in potentie schadelijk kunnen zijn. Effecten van deze stoffen zijn bij geringe verversing dan ook niet uit te sluiten.

Conclusies

- In een recirculatiesysteem kunnen, door onbekende oorzaak, stoffen geproduceerd worden die giftig zijn voor paling wanneer ze niet voldoende snel worden afgevoerd. De oorsprong van deze stoffen is mogelijk gelegen in het biologische filter.
- Wanneer de waterverversing meer dan 500 l/kg voer bedraagt, dan verschilt bij paling de voeropname en voederbenutting niet significant ten opzichte van een volledig doorstroomd systeem.
- Een waterverversing van minder dan 500 l/kg voer resulteert in een verminderde voer-

opname en voederbenutting bij paling.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

In de praktijk bestaat grote belangstelling om het waterverbruik in recirculatiesystemen verder terug te dringen. Her en der wordt al gedacht aan toepassing van denitrificatie. Het ligt dan ook voor de hand om in een volgend experiment denitrificatie te gaan toepassen. Daarmee kan onderzocht worden in welke mate de verversing verder verminderd kan worden en wat daarbij een mogelijk volgend knelpunt is. Het is daarbij belangrijk dat men zich realiseert dat er altijd een limiterende waterkwaliteitsfactor zal blijven bestaan die door verversing moet worden opgeheven. Complete gesloten systemen zijn een illusie. Met bovengenoemd onderzoek kan toepassing van denitrificatie in de praktijk goed onderbouwd en gestuurd worden. Overigens leent de beschreven proefopstelling en proefopzet zich ook uitermate goed voor het onderzoeken van effecten van andere waterkwaliteitsfactoren zoals bijvoorbeeld temperatuur of pH.

Literatuur

- Fleuren, W., 1985.
*Een vergelijking tussen twee verschillende produktiesystemen ('open flow' doorstroom en 'recycled flow' (recirculatie)) m.b.t. groei, groeisamenstelling, voederbenutting en consumptiegeschiktheid van *Clarias gariepinus*. Doctoraalverslag nr 1168, Vakgroep Visteelt en Visserij, LandbouwUniversiteit Wageningen.*
- Hirayama, K., Mizuma, H. en Mizue, Y., 1988.
The accumulation of dissolved organic substances in closed recirculation culture systems. Aquacultural Engineering 7: 73-87.
- Takeda, S. en Kiyono, M., 1990.
The characterisation of yellow substances accumulated in a closed recirculation system for fish culture. The second Asian Fisheries Forum, pp 991.