

De relatie tussen waterkwaliteit en welzijn bij Afrikaanse meerval en tong op Nederlandse viskwekerijen

Wout Abbink, Ainhoa Blanco, Jan van der Heul, Ad van Gool,
Edward Schram en Hans van de Vis.

Rapport C109/09

IMARES Wageningen UR

(IMARES - institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

Opdrachtgever: Dr. Ing. Hans Hopster
Wageningen UR Livestock Research
Edelhertweg 15
8219 PH, LELYSTAD

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het Beleidsondersteunend onderzoek in het kader van LNV-programma BO-07-011 Dierenwelzijn, projectnummer BO-07-011-028

Publicatiedatum: 28-10-2009

- Wageningen **IMARES** levert kennis die nodig is voor het duurzaam beschermen, oogsten en ruimte gebruik van zee- en zilte kustgebieden (Marine Living Resource Management).
- Wageningen **IMARES** is daarin de kennispartner voor overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties voor wie marine living resources van belang zijn.
- Wageningen **IMARES** doet daarvoor strategisch en toegepast ecologisch onderzoek in perspectief van ecologische en economische ontwikkelingen.

© 2009 Wageningen **IMARES**

Wageningen IMARES is geregistreerd in het Handelsregister Amsterdam nr. 34135929, BTW nr. NL 811383696B04.

De Directie van Wageningen IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen IMARES; opdrachtgever vrijwaart Wageningen IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets uit dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

A_4_3_1-V6.2

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1	Inleiding..... 6
1.1	Doelstelling 6
1.2	Meerval- en tongteelt in Europa 6
1.3	Kweekomstandigheden..... 6
1.4	Voortplanting 7
2	Welzijn 8
2.1	Europa..... 8
2.2	Nederland 8
2.3	Ontwikkelingen..... 9
3	Waterkwaliteit 10
3.1	Natuurlijke situatie..... 10
3.2	Waterkwaliteit 10
3.3	Onderzoek..... 11
4	Waterkwaliteitsparameters..... 12
4.1	Ammoniak 12
4.2	Nitriet 13
4.3	Nitraat 15
4.4	pH 15
4.5	Zuurstof 16
4.6	Koolstofdioxide..... 16
4.7	Temperatuur..... 17
4.8	Saliniteit 17
4.9	Fosfaat 18
5	Managementfactoren..... 19
5.1	Doorstroming 19
5.2	Troebelheid 19
5.3	Voerregime 19
5.4	Bezettingsdichtheid 19
5.5	Omgevingsverrijking 20
5.6	Lichtregime 20

6	Gezondheid	21
6.1	Management	21
6.2	Uiterlijke Kenmerken	21
6.3	Ziekten.....	22
7	Bemonstering waterkwaliteit	23
7.1	Kwekerijselectie.....	23
7.2	Bemonstering	23
7.3	Wateranalyses	23
7.4	Tongkwekerij	24
7.5	Meervalkwekerijen.....	27
	7.5.1 Eerste meervalkwekerij.....	27
	7.5.2 Tweede meervalkwekerij.....	29
8	Conclusies.....	31
8.1	Meerval.....	31
8.2	Tong	31
	Referenties	32
	Verantwoording	39

Samenvatting

Het doel van deze literatuurstudie is het beschrijven van de mogelijke knelpunten in de relatie tussen het welzijn van vissen en de waterkwaliteit in recirculatiesystemen (RAS), gespecificeerd op de Afrikaanse meerval (*Clarias gariepinus*) en tong (*Solea solea*). Hiernaast is bij een tongkwekerij en bij twee meervalkwekerijen een studie uitgevoerd naar de waterkwaliteit. De resultaten tonen aan dat de temperatuur, pH en zuurstofconcentratie van het water constant zijn. Het TAN-niveau (Total Ammonia Nitrogen) laat een variabel beeld zien bij de meervalkwekerijen, bij de tongkwekerij is het TAN-niveau constant laag.

Verschillende aspecten van de waterkwaliteit zijn in hoge mate afhankelijk van de managementstructuur van de kwekerij, zoals het lichtregime, het voederregime, de bezettingsdichtheid en de doorstromingssnelheid van het water. Deze aspecten hebben direct of indirect een grote invloed op de waterkwaliteit en daarmee het welzijn van de vissen. Voor diverse van deze waterkwaliteitsparameters is nog niet bekend wat de grenswaarden zijn gerelateerd aan welzijn. Onderzoek dat is uitgevoerd is vooral gericht op factoren als groei en voeding.

Voor de Afrikaanse meerval is TAN in relatie tot de zuurgraad een belangrijk aspect in de relatie tussen de waterkwaliteit en het welzijn. De toxiciteit van ammonia is sterk pH-afhankelijk en ook de concentratie van het eveneens giftige nitriet wordt mede bepaald door het TAN-niveau in het water. Dit maakt nitriet en de waarde van de pH eveneens belangrijke factoren van de waterkwaliteit die van invloed kunnen zijn op het welzijn van de vissen.

Voor tong is de pH-waarde van het water een belangrijk aspect in relatie tot het welzijn. De waarde van de pH heeft invloed op diverse andere belangrijke parameters in de waterkwaliteit. Op de tongkwekerij was de pH 7,2-7,8, wat vergeleken met de pH bij de meervalkwekerijen (5,5-6,5) hoog is. Bij een lagere pH verschuift het NH_3 - NH_4 evenwicht van het giftige NH_3 naar het minder giftige NH_4 . Hiernaast heeft een lagere pH invloed op de microflora en is er een hogere oplosbaarheid van metalen, wat het welzijn van de vissen kan beïnvloeden. Het TAN-niveau in de tongkwekerij was zeer laag (max. 0,35 mg/l) vergeleken met de meervalkwekerijen (pieken tot 60 mg/l), waardoor de invloed van de pH-waarde op het welzijn van de vis een belangrijke parameter is voor nader onderzoek.

Naar aanleiding van deze studie zullen studies worden uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen de waterkwaliteitsparameters pH (tong) en ammonium (meerval) en het welzijn van de vissen in RAS.

1 Inleiding

1.1 Doelstelling

Het doel van deze literatuurstudie, als onderdeel van het beleidsondersteunend onderzoek 'ongerief bij vissen in recirculatiesystemen', is het beschrijven van de mogelijke knelpunten in de relatie tussen het welzijn van vissen en de waterkwaliteit in recirculatiesystemen (RAS), gespecificeerd op de Afrikaanse meerval (*Clarias gariepinus*) en tong (*Solea solea*). Hiernaast is bij een tongkwekerij en twee meervalkwekerijen een studie uitgevoerd naar de waterkwaliteit. De resultaten hiervan staan in dit rapport beschreven. Aan de hand van dit rapport is voor beide vissoorten het meest urgente knelpunt in de relatie tussen welzijn en waterkwaliteit binnen RAS bepaald en vervolgens is deze parameter nader onderzocht door middel van experimenteel onderzoek.

Hiernaast wordt de bestaande kennis over de invloed van verschillende waterkwaliteitsparameters op het welzijn en gezondheid bij Afrikaanse meerval en tong in recirculatiesystemen beschreven. Uitgebreid en gefundeerd inzicht over ongerief bij vissen is noodzakelijk voor een betere afstemming tussen de houderijcondities en het welzijn van vissen en met het oog op gedragscodes die naar verwachting door de sector verder worden ontwikkeld.

1.2 Meerval- en tongteelt in Europa

De Afrikaanse meerval (*Clarias gariepinus*) is in 1977 door de toenmalige Landbouwuniversiteit Wageningen in Europa geïntroduceerd voor onderzoek en onderwijs (Verreth en Eding, 1993). De Afrikaanse meerval blijkt zeer geschikt te zijn voor de kweek en is vanaf 1983 in commerciële productie gebracht (IJzerman et al., 1997). De ontwikkeling van de tongkweek bevindt zich nog in de experimentele fase. In Nederland is één kwekerij actief en er vindt onderzoek plaats naar de kweekomstandigheden.

De bulk van de Europese productie van Afrikaanse meerval vindt in Nederland plaats. Op basis van statistieken van de Federation of European Aquaculture Producers (FEAP) werd in Europa in 2008 7.775 ton meerval gekweekt, waarvan ongeveer 4.500 ton in Nederland, op een totale Europese viskweekproductie van 1,7 miljoen ton.

Kamstra et al. (2001) heeft een studie verricht naar de mogelijkheden voor tongkweek in Nederland door een bio-economisch model op te stellen met gegevens uit de literatuur en experimenteel werk. De enige tongkwekerij in Nederland is mede hierdoor tot stand gekomen. Hiernaast wordt tong in Europa slechts op een aantal kwekerijen gekweekt, in Zuid Europa gaat het bovendien in de meeste gevallen om de verwante *Solea senegalensis*.

1.3 Kweekomstandigheden

De optimale watertemperatuur voor groei van Afrikaanse meerval ligt tussen de 25 en 30°C (Hogendoorn et al., 1983). Hierdoor is het kweken van Afrikaanse meerval in Nederland alleen mogelijk wanneer het kweekwater verwarmd wordt. Om dit economisch mogelijk te maken is hergebruik van het water door recirculatietechnologie noodzakelijk. In een RAS wordt door middel van een waterzuiveringsinstallatie voorkomen dat bij hergebruik van het viskweekwater de (toxische) uitscheidingsproducten van de vis tot onaanvaardbare hoogten oplopen. In RAS bestaat deze waterzuivering over het algemeen uit een bezinker waarmee zwevende delen (mest, voerresten) worden verwijderd en een biologisch tricklingfilter, waarin opgeloste producten, met name ammonia, door bacteriën omgezet worden tot voor de vis minder schadelijke stoffen.

Tong wordt al jaren gezien als een soort met een groot potentieel als kweekvis (Howell, 1997). Door technische vooruitgang in de aquacultuur en een sterk verbeterde ondervanging van ziekten is de kweek van tong nu mogelijk geworden, al is de schaal waarop tong gekweekt wordt gering vergeleken met de Afrikaanse meerval. Een belangrijk aspect bij de kweek van tong is de watertemperatuur. Tong heeft een optimale groei bij een watertemperatuur van rond de 20°C, waardoor geschikte locaties voor kweek in open water schaars zijn (te denken valt aan de nabijheid van elektriciteitscentrales). Met de ontwikkeling van RAS kan de watertemperatuur jaarrond gecontroleerd worden, waardoor dit belangrijke aspect gewaarborgd is.

Afrikaanse meervallen kunnen deels in hun zuurstofbehoefte voorzien door aan het wateroppervlak atmosferische lucht op te nemen (Babiker, 1979; Graham, 1997). De vis heeft vergrote kieuwholtes die twee sterk doorbloede absorberende organen bevatten, de dendritische of bloemkoolorganen. In het wild helpt deze aanpassing de vis door ingegraven in de bodem het droge seizoen te overleven (Graham, 1997). Door deze aanpassing is het vergeleken met veel andere vissoorten minder noodzakelijk het kweekwater te verrijken met zuurstof. De oppervlakte-inhoud verhouding en bezettingsdichtheid moeten dusdanig zijn dat alle meervallen voldoende de mogelijkheid hebben om zuurstof uit de lucht op te kunnen nemen.

De door de vis geproduceerde en aan het water afgegeven kooldioxide wordt door ventilatie in de tricklingfilters uit het systeem verwijderd. De Afrikaanse meerval wordt in recirculatiesystemen uitsluitend met kunstmatig droogvoer (pellets) gevoerd, dat in de meeste gevallen door pendelautomaten verstrekt wordt. Via deze zogenaamde "demand feeders" kunnen de vissen naar behoefte voer opnemen.

In een RAS wordt jaarrond de optimale temperatuur voor groei gehandhaafd, waardoor productie continu plaats kan vinden. Bij Afrikaanse meerval is het mogelijk om in 3 tot 4 maanden pootvis van 10 gr op te kweken tot marktwaardige meerval van 1,5 tot 2 kg. De bezettingsdichtheid is 5 kg/m³ voor pootvis en 400 tot 500 kg/m³ voor marktwaardige vis. Voor tong duurt het ongeveer 2 jaar om vanaf de voortplanting tot marktwaardige vis te komen. De dichtheid wordt uitgedrukt per m², omdat de vissen in zeer ondiepe bakken gehouden kunnen worden, waarin de vissen op de bodem verblijven.

1.4 Voortplanting

De productie van pootvissen van de Afrikaanse meerval vindt plaats op een klein aantal gespecialiseerde bedrijven door kunstmatige voortplanting. Ouderdieren worden hier gehouden in doorstroom-systemen bij een bezettingsdichtheid van 100 kg/m³. Vrouwelijke dieren worden eens in de 6 tot 7 weken ingespoten met karperhypofyse-extracten of Human chorionic gonadotropin (Hcg), waarna na 11 tot 16 uur, afhankelijk van het gebruikte hormoon en de temperatuur, eieren onder verdoving afgestreeken worden (Richter et al., 1993). Sperma wordt gewonnen door mannelijke dieren te doden en de testis te verwijderen. Er vindt onderzoek plaats naar methoden voor het afstrijken van sperma bij meervallen (Viveiros, 2002). Zodra deze methode operationeel is, is het niet langer noodzakelijk mannelijke dieren te doden voor de winning van sperma, hierbij moet wel met diervriendelijkheid van de methode rekening gehouden worden.

Bevruchting vindt plaats door menging van de gewonnen eieren en het sperma met toevoeging van water. De eieren komen bij een incubatietemperatuur van 25°C na ongeveer 27 uur uit, het uitkomstpercentage ligt rond de 50%. De eerste drie dagen leven de larven op hun dooierzak, waarna gedurende zeven dagen pekeltkreeftjes (*Artemia salina*) gevoerd worden en geleidelijk wordt overgegaan op droogvoer. Na twee tot drie weken zijn de larven volledig gewend aan droogvoer. Vervolgens worden de visjes in zeven tot acht weken opgekweekt tot pootvis van 5 tot 10 gr. De mortaliteit ligt op 20% en wordt voornamelijk veroorzaakt door kannibalisme. Vanwege verschillen in groeisnelheid is het noodzakelijk om de vissen in deze periode eenmaal te sorteren (Richter et al., 1993).

Ook de voortplanting van tong in kwekerijen bevindt zich nog in de ontwikkelfase en vindt plaats met ouderdieren uit het wild. Deze vissen planten zich in gevangenschap makkelijk voort en de eitjes zijn makkelijk te verzamelen (Imslund et al., 2003; Baynes et al., 2008). De omstandigheden waaronder voortplanting plaatsvindt kunnen variëren, maar houden wel verband met de temperatuur van de winter voorafgaand aan het voortplantingsseizoen (Baynes et al., 1993; Baynes en Howell, 1996). De tijd van voortplanting kan enkele maanden opgeschoven worden door manipulatie van het lichtregime en/of watertemperatuur (Devauchelle et al., 1987, Lenzi en Slavatori, 1989). De temperatuurrange voor voortplanting is 8-12°C en voor het uitkomen van de eitjes is een temperatuur van 13-15°C gegeven (Devauchelle et al., 1987) en een saliniteit van 20-35 g/l. Voor de opgroei van de larven tot juvenielen is een temperatuur van 19-22°C gewenst. De metamorfose levert weinig problemen op (Howell, 1997) en de kleine visjes worden gevoerd met artemia en/of rotifera.

2 Welzijn

2.1 Europa

Er is in de maatschappij in toenemende mate aandacht voor dierenwelzijn, inclusief het welzijn van vissen. Het begrip welzijn kan op verschillende manieren worden gedefinieerd en kan gebaseerd zijn op gevoelens, functionele biologie en de natuur (Duncan en Fraser, 1997). De Raad van Europa heeft in al 1976 een conventie opgesteld voor dierenwelzijn. Dit verdrag behandelt met name dieren die gehouden worden voor productiedoeleinden in de intensieve landbouw. In het kader van de "European Convention for Protection of Animals kept for Farming Purposes" van de Raad van Europa is een "Draft Recommendation Concerning Farmed Fish" aangenomen in 2005. In deze aanbeveling worden in een twintigtal artikelen algemene eisen aan de houderij van vis gesteld. Daarnaast worden in een speciaal hoofdstuk, voorafgaand aan de algemene eisen, zogenaamde biologische karakteristieken voor vissen algemeen geformuleerd. In aparte Appendices zijn specifieke normen voor diverse vissoorten opgenomen.

In navolging hiervan heeft de Farm Animal Welfare Council (FAWC, een onafhankelijk adviesorgaan van de Engelse overheid) in 1979 gesteld dat dieren in de veeteelt recht hebben op de 5 "vrijheden" die zijn opgesteld voor warmbloedige landbouwhuisdieren door Brambell (1965). Om deze vrijheden voor vissen van toepassing te laten zijn, zijn ze door de Fisheries Society of the British Isles (FSBI, 2002) aangepast tot:

- Vrijheid van honger en dorst
- Vrijheid van ongerief
- Vrijheid van pijn, verwondingen en ziekte
- Vrijheid om normaal natuurlijk gedrag te uiten
- Vrijheid van angst en stress

Op Europees niveau wordt veel waarde gehecht aan het kennisniveau van viskwekers. Voor de waarborging hiervan wordt gedacht aan een certificeringssysteem en de Raad van Europa heeft gesteld dat nieuwe huisvestingsmethoden moeten worden onderzocht op welzijnsaspecten als natuurlijk (zwem)gedrag en voedselvoorziening. Hiernaast is de kweker verplicht alle automatische systemen dagelijks te controleren en een logboek bij te houden over onder andere voeding, visdichtheid en medicijngebruik.

Er wordt op EU-niveau gewerkt aan een strategie omtrent duurzame aquacultuur. De komende jaren kunnen de Aanbevelingen van de Raad van Europa omgezet worden in richtlijnen en regelgeving. In 2006 is een Europese richtlijn opgesteld over het gebruik van diergeneesmiddelen in de aquacultuur (Aquacultuurrichtlijn 2006/88/EG). De belangrijkste doelstelling van de richtlijn behelst het treffen van maatregelen om visziekten in de aquacultuur te voorkomen en te bestrijden. In de concept EU Verordening inzake de bescherming van dieren bij het doden zijn vissen niet opgenomen. Voor de vissen zal later een apart traject voor regelgeving voor het bedwelmen en doden worden opgestart.

2.2 Nederland

In Nederland is de ministerraad in oktober 2007 akkoord gegaan met het wetsvoorstel Dieren, waarin verschillende bestaande wetten worden gebundeld, waaronder de Gezondheids- en welzijnswet voor Dieren (GWWD). De verhouding tussen mens en dier op gebieden als dierenwelzijn, diergezondheid, dierlijke producten en diergeneesmiddelen staat hierbij centraal. Ook onderdelen van de Landbouwwet en de Landbouwkwaliteitswet op het gebied van vleeskleuring en illegale groeibevorderaars worden in deze wet opgenomen. Het recente rapport "Intrinsieke waarde van performance dieren" gaat in op de discussie wat de intrinsieke waarde voor (warmbloedige) dieren inhoudt. Voor warmbloedige dieren is de erkenning van de intrinsieke waarde al lastig te hanteren, voor vissen is deze discussie nog niet begonnen en is een intrinsieke waarde nog lastiger te geven. Voor toekomstig beleid zal hiermee echter wel rekening mee moeten worden gehouden.

De huidige kaderwet GWWD is in 1992 van kracht geworden en geldt voor alle dieren die door mensen gehouden worden (productiedieren, hobbydieren en gezelschapsdieren). De wet is gebaseerd op het 'nee, tenzij' principe en behandelt algemene regels over diergezondheid, welzijn, transport, slacht en huisvesting. In de wet zijn met betrekking tot vissen regels voor welke vissoorten voor productie gehouden mogen worden (zgn. positieflijst voor productiedieren), voor het hanteren van voortplantingstechnieken en voor het doen van ingrepen, met name op

het gebied van toegestane technieken voor identificatie van vissen. Op welzijnsgebied is onder meer bepaald dat het verboden is onnodig letsel of pijn te veroorzaken, of de gezondheid of welzijn aan te tasten.

Als leidraad heeft het Productschap Vis een gedragscode opgesteld voor viskwekers om op een verantwoorde wijze en op een ethische basis vis te kweken (Productschap Vis, 2005).

2.3 Ontwikkelingen

Veel welzijnsaspecten zijn soortspecifiek en zullen voor iedere vissoort afzonderlijk moeten worden vastgesteld. Hiernaast is het voor veel vissoorten moeilijk om natuurlijk gedrag te toetsen, omdat er onvoldoende kennis is over het natuurlijk gedrag van vissoorten in kwekerijen en de eisen die aan de omgeving gesteld worden. Er is wel kennis aanwezig over het natuurlijk gedrag van vissen in het wild (migratie, eetgedrag, voortplanting), maar het is niet bekend welke beperkingen van dit natuurlijk gedrag in kweeksystemen voor vissen dermate belastend zijn dat dit leidt tot onacceptabele welzijnproblemen.

Tot op heden zijn op zowel Europees als nationaal niveau geen duidelijke richtlijnen voor het houden van vissen in kweeksystemen en het welzijn van vissen in de wetgeving opgenomen. Er wordt hieraan wel gewerkt en de aandacht gaat hierbij vooral uit naar kweekvis voor menselijke consumptie.

Een van de belangrijkste redenen van het ontbreken van heldere richtlijnen op het gebied van vissenwelzijn is het gebrek aan kennis over vissenwelzijn en het meten ervan en de mate waarin vissen pijn en chronisch ongerief kunnen ervaren op fysiologisch, gedragsmatig, emotioneel en fysiek niveau. Er zijn de laatste jaren verschillende onderzoeken gedaan naar pijn en ongerief bij vissen (Rose, 2002; Sneddon, 2002; Sneddon et al., 2003) en er zijn diverse reviews verschenen (Braithwaite en Huntingford, 2004; Chandroo et al., 2004) op dit gebied. De onderzoeken tonen aan dat vissen het vermogen hebben om pijn te voelen en ongerief te beleven, maar het is waarschijnlijk dat de ervaring van ongerief niet te vergelijken is met hetgeen mensen kunnen ervaren (Braithwaite en Huntingford, 2004). Hiernaast kan de mate van domesticatie invloed hebben op de mate van aanpassing van de gehouden vissen (Pottinger en Pickering, 1997). In deze literatuurstudie wordt niet verder ingegaan op de wetenschappelijke discussie over de betekenis van pijn voor vissen (Munro en Dodd, 1983; Rose 2002; Sneddon, 2003; Chandroo et al., 2004; Braithwaite en Huntingford, 2004; Huntingford et. al., 2006).

3 Waterkwaliteit

3.1 Natuurlijke situatie

Kennis over natuurlijke gedragingen en habitatpreferentie van vissen in de natuur is belangrijk voor de aquacultuur om het kweken van vissen te optimaliseren. De Afrikaanse meerval komt in de natuur voor in wateren die in droge seizoenen droog kunnen vallen. De meerval overleeft in deze situaties door zich in te graven in de modder (Bruton, 1979; Van der Waal, 1998). De capaciteit om lucht te kunnen ademhalen draagt hierbij in hoge mate bij aan het overlevingssucces van deze vis.

De habitatvoorkeur van de Afrikaans meerval is afhankelijk van de ontwikkelingsfase. Volwassen meervallen leven vooral in diepe wateren (Goudswaard en Witte, 1997), larvale en juveniele vissen hebben een voorkeur voor ondiepe wateren met veel schuilmogelijkheden. De Afrikaans meerval is een omnivore vis die individueel of in groepen voornamelijk 's nachts op de bodem foerageert (Bruton, 1979; Merron, 1993). Het menu is afhankelijk van het ontwikkelingsstadium en bestaat onder andere uit vissen, viseitjes, plankton en insecten (Spataru et al., 1987; Dadebo, 2000).

De tong komt voor in de Oostelijke Atlantische Oceaan en in de Middellandse Zee. De tong komt voor op waterdiepten vanaf één meter, maar wordt vooral in water vanaf 10 tot 70 meter diepte gevonden. In de wintermaanden komt de vis voor in diepere wateren tot 120 meter en trekt dan meer naar de warmere wateren van het zuidelijke deel van het verspreidingsgebied.

Tong heeft een voorkeur voor modderige- of zandbodems, waar de vis zich overdag in verschuilt. Foerageren vindt vooral 's nachts plaats op weekdieren en wormachtigen. Voortplanting vindt plaats voor de kust. De larven drijven zowel passief als actief naar de Waddenzee, dat als belangrijkste opgroeigebied wordt gezien. Wanneer de larven ongeveer 1 cm groot zijn vindt de metamorfose plaats tot platvis en begint het lichaam zich aan te passen aan het bodemleven.

3.2 Waterkwaliteit

Vissen zijn voor de aanvoer van zuurstof en de afvoer van afvalstoffen afhankelijk van het water. Wanneer afvalstoffen niet snel genoeg vanuit het water worden afgevoerd kan accumulatie optreden en raakt het water vervuild (self pollution). De Afrikaanse meerval is voor de opname van zuurstof en de afgifte van koolstofdioxide niet volledig afhankelijk van het water, omdat deze vis in staat is tot het opnemen van atmosferische zuurstof en het gelijktijdig uitscheiden van kooldioxide aan het wateroppervlak.

Toch kan ook bij de Afrikaanse meerval "self pollution" optreden, wanneer de vissen in een te hoge bezettingsdichtheid worden gehouden, een hoge metabole activiteit hebben (snel groeien) en de waterzuivering hiermee niet in evenwicht is

In tegenstelling tot de Afrikaanse meerval is tong voor de gasuitwisseling wel geheel afhankelijk van het water. Hierdoor moet het kweekwater van tong belucht worden en moeten hoge zuurstofconcentraties in het water gehandhaafd blijven (zie paragraaf 'zuurstof'). Ook bij meerval is beluchten nodig. Door de hoge groeisnelheid kan de dichtheid te hoog worden, wat tot moeilijkheden bij het lucht ademhalen kan leiden en zuurstoftekort in het water.

Voor de normstelling voor waterkwaliteitsparameters in visteelssystemen zijn chronische en subletale effecten belangrijke normen. In dit verband zijn 'no-observable effect concentration (NOEC)' of 'maximum acceptable toxicant concentration (MATC)' belangrijkere factoren dan de letale LD₅₀-waarde. De NOEC of MATC is de hoogste concentratie waarbij nog geen effect op de groei, voortplanting en overleving van de vissen wordt waargenomen (Mayes et al., 1986), maar dat garandeert geen optimaal welzijn. Voor de Afrikaanse meerval is voor de meeste waterkwaliteitsparameters geen of onvoldoende onderzoek verricht naar de directe relatie met het welzijn. Vastgestelde NOEC of MATC bieden vooralsnog de beste aanknopingspunten voor het vaststellen van grenswaarden voor de verschillende waterkwaliteitsparameters in relatie tot welzijn voor de Afrikaanse meerval

en tong. Het is wel nodig deze waarden te onderbouwen met fysiologische parameters en gedragswaarnemingen.

Wanneer sprake is van een suboptimale waterkwaliteit kan het effect hiervan op het welzijnsniveau van de vissen versterkt worden, wanneer andere condities die het welzijnsniveau van de meerval of de tong bepalen, zoals voerregime, lichtregime, bezettingsgraad, schuilplaatsen of de configuratie van de tanks, niet in orde zijn.

De waterkwaliteit in viskwekerijen wordt in sterke mate bepaald door (chemische) interacties tussen waterkwaliteitsparameters en de watertoevoer, onder de voorwaarde dat de zuiveringcapaciteit van systeem is afgestemd op het dier en de houderijomstandigheden. Een verlaging van de doorstroming doet de zuurstofconcentratie dalen en de kooldioxide- en ammoniacconcentratie naar rato stijgen. De meeste waterkwaliteitsparameters vertonen een kleine dagelijkse variatie die afhankelijk is van het tijdstip van voeding en van de plaats in het viskweekstelsel waar gemeten wordt.

In een recirculatiesysteem wordt bij het in stand houden van de waterkwaliteit veel gebruik gemaakt van technische middelen, waardoor de waterkwaliteit direct gevoelig is voor technische storingen en elektriciteitsuitval. De watertemperatuur, zuurstofconcentratie en accumulatie van afvalstoffen zijn belangrijke waterkwaliteitsparameters die vatbaar zijn voor technische mankementen. Hierbij speelt ook het lichtregime een rol, aangezien voor meerdere vissoorten, zoals karper en paling, is aangetoond dat het gedrag en de fysiologie gekoppeld zijn aan een natuurlijke lichtcyclus. Een noodstroomaggregaat en alarmsystemen op essentiële apparatuur kan eventuele storingen in een vroegtijdig stadium opmerken en zo bijdragen aan een constante waterkwaliteit.

3.3 Onderzoek

Er is weinig onderzoek verricht naar de effecten van de waterkwaliteit op het welzijn van vissen in het algemeen en dit geldt ook voor de Afrikaanse meerval en de tong. Onderzoek dat verricht is naar de waterkwaliteit op viskwekerijen in relatie tot de vissen heeft zich tot nu toe vooral gericht op de voor de industrie belangrijke aspecten. Dit is in de eerste plaats de groei, met daarnaast hieraan verwante parameters als voedselopname en bezettingsdichtheid.

Door het gebrek aan kennis over de relatie tussen het welzijn en de verschillende waterkwaliteitsparameters die in deze studie behandeld worden, wordt teruggegrepen op aspecten als groei en voedselopname om grenswaarden aan te geven waarbinnen een parameter moet voldoen om het welzijn niet negatief te beïnvloeden.

De groei van vissen in kwekerijen wordt beïnvloed door het welzijn en wanneer de waterkwaliteit het welzijn negatief beïnvloed resulteert dit in een acute of chronische stressrespons, wat invloed kan hebben op de groei, voedselopname en gedrag. Hierdoor kunnen deze aspecten gebruikt worden om een range aan te geven waarbinnen een waterkwaliteitsparameter dient te voldoen om het welzijn van de vissen in de kwekerij niet negatief te beïnvloeden. Hierbij geldt dat een snelle groei geen maat is voor een goed welzijn, dus voor het nauwkeuriger maken van deze range moet specifiek onderzoek gedaan worden naar het welzijn van de vissen

Hiernaast wordt teruggegrepen op de hoogste concentratie waarbij nog geen effect op de groei, voortplanting en overleving van de vissen wordt waargenomen (NOEC of MATC). Deze waarde is voor verschillende waterkwaliteitsparameters bekend voor diverse vissoorten en kan als aanwijzing gebruikt worden voor het welzijn van de vissen. Ook deze range biedt geen garantie voor het welzijn van de vissen, daarom is het noodzakelijk om directe metingen te verrichten aan het welzijn in de vorm van stressfysiologie, neurologie, groei en gedrag om het effect van de waterkwaliteit op het welzijn te bestuderen.

4 Waterkwaliteitsparameters

4.1 Ammoniak

Ammoniak is een eindproduct van eiwitmetabolisme en wordt toxisch wanneer het in het lichaam accumuleert. Wanneer ammoniak (NH_3) door vissen wordt uitgescheiden stelt zich in het water het volgende evenwicht in: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$. Een oplossing van ammoniak in water wordt aangeduid als ammonia. In water komt ammoniak voor in geïoniseerde vorm (ammonium, NH_4^+) en ongeïoniseerde vorm (ammoniak, NH_3). De vorming van ammonium uit ammoniak (er wordt een H^+ proton gekoppeld aan NH_3) in water is afhankelijk van de pH en de temperatuur, bij een hogere pH neemt het aandeel van het giftige $\text{NH}_3\text{-N}$ toe ten koste van het minder giftige $\text{NH}_4^+\text{-N}$. De toxiciteit van ammoniak is hiermee sterk pH-afhankelijk.

Ammoniak kan zowel actief als passief worden afgegeven aan het water. Bij een passieve excretie wordt het ammoniak met de diffusiegradiënt mee afgegeven aan het water. Wanneer de ammoniakconcentratie in het water te hoog is en boven de waarde van het bloed uitkomt (2,2 - 2,4 mM; Ip et al., 2004) diffundeert ammoniak vanuit het water het bloed in en kan de concentratie in het bloed tot een toxische waarde accumuleren. Er is dan actieve uitscheiding van ammoniak noodzakelijk, waarbij geïoniseerd ammonium wordt afgegeven aan het water en Na^+ wordt opgenomen via actieve transporters in de chloridecellen van de kieuwen (Evans et al., 2005). Het blootstellen van vissen aan subletale ammoniakconcentraties in het water veroorzaakt fysiologische, biochemische, histologische en gedragsveranderingen, die de groei en het immuunsysteem onderdrukken en het welzijn van de vissen beïnvloeden (Rand en Petrocelli, 1985).

Uit de weinige studies naar de toxiciteit van ammoniak specifiek voor de Afrikaanse meerval blijkt dat dit een ammoniaktolerante vis is (Ip et al., 2004). Bij blootstelling aan hoge externe ammoniakconcentraties van 10, 50 of 100 mM NH_4Cl (resp. 0,18, 0,90 en 1,80 g/l NH_4^+) blijft de ammoniumconcentratie in de weefsels en in het plasma laag (2,2-2,4 mM; dit is 39,6-43,2 mg/l NH_4^+). De vis kan bij hoge externe concentraties ammoniak blijven afgeven aan het water, waarbij de concentratie in het externe milieu tot 4 mM kan stijgen (214 mg/l).

De hoogste concentratie waarbij nog geen effect op de groei, voortplanting en overleving van de vissen wordt waargenomen is de NOEC of MATC. Voor ammoniak is voor de Afrikaanse meerval deze waarde niet bekend, waardoor een grenswaarde voor ammonia mede moet worden vastgesteld op basis van onderzoeksgegevens over verwante meervalsoorten. Het vaststellen van waterkwaliteitscriteria voor ammonia wordt bemoeilijkt door de complexiteit van de toxiciteit van ammonia bij vissen (Hargreaves en Kucuk, 2001) en door de verschillen in blootstellingstijden die bij de verschillende onderzoeken wordt gebruikt (het vaststellen van de LD_{50} waarde na 24, 48 of 96 uur).

De acute toxiciteit van ammonia (LD_{50} , 24 uur) bij larven van de Afrikaanse meerval *Heterobranchus longifilis* is vastgesteld op 0,98-1,65 mg/l $\text{NH}_3\text{-N}$ (Metongo et al., 1998). Sripumun en Somsiri (1982) vonden bij de meerval *Clarias batrachus* een acute letale dosis (van 15,8 mg/l totaal $\text{NH}_3\text{-N}$. Krainara (1988) vond voor deze soort een 96-uurs LD_{50} van 4,25 mg/l $\text{NH}_3\text{-N}$.

Hargreaves (2001) geeft voor de Amerikaanse meervalsoort channel catfish (*Ictalurus punctatus*) een overzicht van de letale doses voor $\text{NH}_3\text{-N}$ bij verschillende onderzoeken. Hieruit blijkt dat bij een pH tussen de 8,1 en 8,7 de gevonden LD_{50} varieert van 3,13 tot 1,50 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$. Hargreaves stelt de MATC waarden als 5% van de LD_{50} waarde, waardoor de MATC waarde voor de channel catfish tussen de 0,08 en 0,10 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$ bij een pH tussen de 8,1 en 8,7 ligt. Knepp en Arkin (1973) vonden dat channel catfish bij een concentratie van 30 mg/l NH_4^+ (0,88 mg $\text{NH}_3\text{-N/l}$ bij een pH van 7,8) stopten met eten en stelden dat de concentratie $\text{NH}_3\text{-N}$ in het viskweekwater onder deze waarde gehouden moet worden. Sheehan en Lewis (1986) onderzochten bij channel catfish de relatie tussen de toxiciteit van ammonia en de pH en vonden een letale doses (LD_{50} , 24 uur) van 0,74-1,91 mg/l $\text{NH}_3\text{-N}$ bij een pH van respectievelijk 8,8 en 6,0.

Voor larvale meervallen gelden veel lagere waarden vergeleken met volwassen vissen. Bader en Grizzle (1992) vonden voor channel catfish larven van één en zeven dagen oud een NOEC van respectievelijk 0,082 en 0,093

mg NH₃/l en een letale concentratie van (LD₁₀₀ bij 96 uur) van 0,263 en 0,147 mg NH₃/l voor respectievelijk larven van 1 en 7 dagen oud.

Volgens Desmares (1993) komen op Nederlandse meervalkwekerijen ammoniumconcentraties voor van 80 mg/l bij een pH van 6,3, wat overeen komt met 0,09 NH₃ mg/l. Het is niet bekend of dergelijke ammoniakconcentraties invloed hebben op het welzijn van de Afrikaanse meerval. Op basis van de resultaten van Desmares (1993) zou voor Afrikaanse meerval zou een grenswaarde voor ongeïoniseerd ammonia van 0,1 NH₃ mg/l aangehouden moeten worden, wat resulteert in grenswaarden voor totaal ammonia van 176, 17,8 en 1,9 mg/l bij pH waarden van respectievelijk 6, 7 en 8 bij 25°C.

In het huidige bemonsteringsonderzoek (zie hoofdstuk 7) was de TAN (Total Ammonia Nitrate) concentratie op de eerste meervalkwekerij in het instromende, gefilterde water 2-15 mg/l. In het uitstromende water was de TAN concentratie 16-25 mg/l (bij een pH van 5,2-6,7). Op de tweede kwekerij was de TAN in het instromende water 0,5-6 mg/l, bij een pH van 5,8-6,5.

Op de tongkwekerij was de TAN in het instromende water 0,1-0,2 mg/l en 0,2-0,3 in het uitstromende water, bij een pH van 7,3-7,9. Voor tong is weinig onderzoek gedaan naar de invloed van ammoniacconcentraties in het water (Alderson, 1979). Er is sprake van een NOEC voor ammoniak die op 0,07 mg NH₃-N/l is gesteld voor tong (verschillende pH-waarden tussen de 6.85 en 8.1 hadden geen effect op de NOEC). Boven deze waarde daalde de groeisnelheid naarmate het ongeïoniseerde ammonia toenam.

Voor de verwante *S. senegalensis* is gevonden dat blootstelling voor 52 dagen aan TAN concentraties van 23,2 mg/l TAN (0.50 mg/l NH₃; pH 7,9) een sterk verminderde groeisnelheid leidt. Blootstelling aan een lagere concentratie van 11,6 mg/l TAN (0,25 mg/l NH₃; pH 7,9) leidde tot een geringe daling in de groei ten opzichte van de controle vissen (Pinto et al., 2007).

Het giftige ammoniak wordt in het biologische filter omgezet in het voor vissen relatief onschadelijke nitraat. Deze omzetting verloopt in twee stappen, waarbij het giftige nitriet als tussenproduct gevormd wordt. In een RAS kan nitraat in aanzienlijke concentraties voorkomen.

4.2 Nitriet

Zoetwatervissen nemen actief nitriet op in het bloed via een chloridepomp in de kieuwen (Bath en Eddy, 1980). Hierdoor zorgt een verhoogde nitrietconcentratie in het water tot een stijgende nitrietconcentratie in het bloedplasma, vanwaar het naar de rode bloedcellen diffundeert. De toxiciteit van nitriet wordt veroorzaakt door de oxidatie van het ijzer (van Fe²⁺ naar Fe³⁺) in het bloedeiwit hemoglobine, waardoor het wordt omgezet in methemoglobine. Dit eiwit kan, in tegenstelling tot hemoglobine, geen zuurstof binden. Hierdoor wordt de transportcapaciteit voor zuurstof in het bloed verminderd en kan een zuurstofgebrek optreden. Chloride in het water beconcurrert nitriet bij de actieve opname in de kieuwen, waardoor het een beschermde werking tegen nitrietvergiftiging heeft (Lewis en Morris, 1986).

Voor nitriet geldt een grenswaarde 1,5 mg NO₂-N/l in afwezigheid van chloride. Voor elke toename van de chlorideconcentratie van 10 mg/l kan de grenswaarde voor nitriet verhoogd worden met 0,15 mg/l. In de praktijk komen hogere nitrietconcentraties voor zonder dat dit een negatieve weerslag heeft op de groei. Dit suggereert dat de Afrikaanse meerval hogere nitrietconcentratie tolereert dan de hierboven gestelde grenswaarde van 1,5 mg NO₂-N/l. Mogelijk is gewinning hiervan de oorzaak. Er is zeer weinig onderzoek gedaan over de invloed van toxische nitrietconcentraties op het welzijn van vissen. Hierdoor worden NOEC en MATC aangenomen als concentraties in relatie tot het welzijn van de vissen. Zoals eerder benadrukt bieden deze waarden geen garantie voor het welzijn van vissen (zie 'onderzoek', pagina 10-11).

Hilmy et al. (1987) onderzocht de acute en chronische toxiciteit van nitriet bij meerval *Clarias lazera* en vond 96 uren LD₅₀ waarden van 28 en 32 mg/l, zonder vermelding van de chlorideconcentratie. Voor de verwante channel catfish staat in Hargraves en Tomasso (2004) een uitgebreid literatuuroverzicht over LD₅₀ waarden voor nitriet en ammonia, die afhankelijk van de blootstellingstijd en pH varieert tussen de 5 en 30 mg nitriet als NO₂-N (zonder vermelding van chloortoevoeging). Met toevoeging van chloride (22 mg/l) is de LD₅₀ 30,0 mg NO₂-N/l (Palachek en Tomasso, 1984). Dezelfde auteurs vonden letale nitrietconcentraties (LD₅₀, 96 uur) voor channel catfish van

7,1±1,9 mg NO₂-N/l bij een pH tussen de 7,7 en 8,2, zonder vermelding van de chlorideconcentratie, maar gezien de lage LD₅₀ waarde is dit experiment waarschijnlijk zonder extra chloride in het water uitgevoerd. Een studie door Ajani et al. (2007) laat zien dat bij de Afrikaanse meerval een 96-uurs blootstelling aan 0,1 g NO₂-N /l nitriet resulteert in dalende ionenconcentraties (Na⁺, Cl⁻, K⁺), glucose en hemoglobine en een toename van cortisol; effecten die op stress duiden.

De NOEC of MATC zijn voor nitriet voor de Afrikaanse meerval bij de auteurs niet bekend. Hargreaves (2001) stelt voor ammonia de MATC als 5% van de letale dosis (LD₅₀), wanneer dit voor nitriet wordt toegepast resulteert dit in een grenswaarde voor nitriet van 1,5 mg NO₂-N/l in afwezigheid van chloride (Hilmy et al., 1987). Het effect van chloride op de toxiciteit van nitriet is dusdanig dat bij het vaststellen van een grenswaarde voor nitriet rekening moet worden gehouden met de chlorideconcentratie (Lewis en Morris, 1986).

Op basis van resultaten van Russo en Thurston (1977) stellen Lewis en Morris (1986) voor regenboogforel dat een toename van de chlorideconcentratie van 1 mg/l resulteert in een toename van de letale dosis voor nitriet met 0,29 mg NO₂-N/l. Voor de MATC zou dit vervolgens betekenen dat deze met 0,145 mg/l toeneemt voor elke toename van de chlorideconcentratie van 10 mg/l (0,29 mg NO₂-N/l * 10 / 100% * 5). De regenboogforel is een nitrietgevoelige vis en het beschermde effect van chloride is minder groot is bij vissen die gevoeliger zijn voor nitriet (Lewis en Morris, 1986), waardoor de inschatting van het effect van chloride op de MATC voor meerval waarschijnlijk een onderschatting is.

De nitrietconcentratie in bemonsteringsonderzoek dat is uitgevoerd is gelijk in het behandelde en onbehandelde water. Tijdens de drie weken is er een geleidelijke afname van 0,5-0,6 mg/l in week 1 tot 0,2-0,3 mg/l in week 3.

Tabel 1. De literatuurgegevens voor aan Afrikaanse meerval verwante soorten voor ammonia, nitriet en nitraat. Veel onderzoek naar waterkwaliteitsparameters is aan deze soorten uitgevoerd.

parameter	waarde	Soort	referentie
ammoniak	24-uurs LD ₅₀ van 15,8 mg/l totaal NH ₃ -N	<i>Clarias batrachus</i>	Sripumun en Somsiri, 1982
	96-uurs LD ₅₀ van 4,25 mg/l NH ₃ -N	<i>Clarias batrachus</i>	Krainara, 1988
	24-uurs LD ₅₀ van 3,13 - 1,50 mg NH ₃ -N/l bij een pH van 8,1-8,7	<i>Ictalurus punctatus</i>	Hargreaves, 2001
	MATC van 5% van de LD ₅₀	<i>Ictalurus punctatus</i>	Hargreaves, 2001
	MATC van 0,88 mg NH ₃ -N/l bij een pH van 7,8	<i>Ictalurus punctatus</i>	Knepp en Arkin, 1973
	24-uurs LD ₅₀ van 0,74-1,91 mg/l NH ₃ -N bij een pH van 8,8-6,0	<i>Ictalurus punctatus</i>	Sheehan en Lewis, 1986
	24-uurs LD ₅₀ van 1,82 mg/l NH ₃ -N bij een pH van 8	<i>Ictalurus punctatus</i>	Tomasso et al., 1980
	24-uurs LD ₅₀ van 1,39 mg/l NH ₃ -N bij een pH van 7	<i>Ictalurus punctatus</i>	Tomasso et al., 1980
nitriet	24-uurs LD ₅₀ , van 1,49 mg/l NH ₃ -N bij een pH van 9	<i>Ictalurus punctatus</i>	Tomasso et al., 1980
	96-uurs LD ₅₀ van 28 en 32 mg/l zonder vermelding van chloride	<i>Clarias lazera</i>	Hilmy et al., 1987
	MATC van 0,1 g NO ₂ -N /l	<i>Clarias gariepinus</i>	Ajani et al., 2007
	LD ₅₀ van 5mg NO ₂ -N/l zonder chloor	<i>Ictalurus punctatus</i>	Palachek en Tomasso, 1984
	LD ₅₀ 30,0 mg NO ₂ -N/l met 22 mg/l chloor	<i>Ictalurus punctatus</i>	Palachek en Tomasso, 1984
nitraat	LD ₅₀ , 96 uur van 7,1±1,9 mg NO ₂ -N/l zonder chloor	<i>Ictalurus punctatus</i>	Palachek en Tomasso, 1984
400 mg/l (± 90 mg NO ₃ -N/l)	<i>Ictalurus punctatus</i>	Knepp en Arkin, 1973	

4.3 Nitraat

Nitraat is het eindproduct van het nitrificatieproces. Verversen van het viskweekwater en het proces van denitrificatie beperkt accumulatie van nitraat in het RAS. Denitrificatie is de omzetting van nitraat naar stikstofgas in een anoxische milieu. Er is, vergeleken met nitriet en ammoniak, weinig bekend over de toxiciteit van nitraat voor vissen en wat nitraatconcentraties betekenen voor het welzijn van de vissen. Nitraataccumulatie is een typisch probleem voor RAS en in de meeste gevallen wordt een nitraatconcentratie van 100 mg NO₃-N/l (Verreth en Eding, 1993) als maximale aanvaardbare concentratie in het viskweekwater aangehouden. Volgens Desmares (1993) lopen in de praktijk de nitraatconcentraties op tot 140 mg NO₃-N/l zonder dat dit negatieve gevolgen lijkt te hebben voor de productie.

In het bemonsteringsonderzoek dat voor dit project is uitgevoerd zijn op de meervalkwekerijen nitraatconcentraties (NO₃-N) van 10-50 mg/l gemeten over de periode van drie weken. Er was geen duidelijk verschil tussen het ingaande en uitgaande water. Op de tongkwekerij lag de nitraatconcentratie (NO₃-N) op vergelijkbare waarden van 10-60 mg/l over een periode van 3 weken.

Knepp en Arkin (1973) toonden aan dat bij channel catfish een nitraatconcentratie van 400 mg/l (\pm 90 mg NO₃-N/l) een negatief effect heeft op de groei en voeropname.

4.4 pH

De pH (zuurgraad) van het water is belangrijk voor het functioneren van vissen en is voor veel soorten goed onderzocht. Vissen kunnen zich goed aanpassen aan een geleidelijke verandering van de pH. Daarentegen treden bij een acute pH-verandering van het water veranderingen in de mineraalhuishouding op bij vissen (van Dijk en van den Thillart, 1993; van Ginneken en van Eersel, 1997).

Een lage pH in RAS heeft effecten op diverse andere waterkwaliteitsparameters. De nitrificatie verloopt minder goed, wat leidt tot accumulatie van ammonium. Het evenwicht tussen NH₃-NH₄ verschuift van het giftige NH₃ naar het minder giftige NH₄. Het carbonaat evenwicht verschuift in de richting van CO₂, waardoor het filtersysteem meer CO₂ uit het water moet strippen. Daarnaast heeft een verlaagde pH invloed op de microflora en is er een hogere oplosbaarheid van metalen, wat het welzijn van de vissen kan beïnvloeden.

Specifiek voor de Afrikaanse meerval zijn geen publicaties verschenen omtrent de effecten van pH, maar voor channel catfish is gevonden dat de letale dosis (LD₅₀, 24 uur) voor NH₃-N hoger ligt bij een pH van 8 (1,82 mg NH₃-N/l) vergeleken bij een pH van 7 (1,39 mg NH₃-N/l) en 9 (1,49 mg NH₃-N/l; Tomasso et al., 1980). Wanneer de pH stijgt neemt het aandeel van het giftige ammoniak (NH₃-N) toe ten koste van het minder giftige ammonium (NH₄⁺-N; zie ook paragraaf 'ammoniak'). Hiernaast vonden Straus en Tucker (1993) bij channel catfish een lineair verband tussen de pH en de giftigheid (LD₅₀) van kopersulfaat. Uit deze onderzoeken blijkt de invloed van pH op de toxiciteit van in het water opgeloste stoffen en de fysiologie van vissen.

Bij larven van 3 en 19 dagen oud van de channel catfish treedt mortaliteit op bij een pH van respectievelijk 9,4-9,8 en 10,2-10,5 (Bergerhouse, 1990), waaruit blijkt dat vissen tijdens de ontwikkeling toleranter worden voor extremere pH-waarden.

In meervalkwekerijen ligt de pH rond de 6,4 (Desmares, 1993). In het huidige onderzoek is op beide meervalkwekerijen een pH gemeten van 5,2-6,7 en 5,8-6,5. De grootst gemeten acute verandering was niet meer dan 0,2 punten binnen 15 minuten en 0,5 punten in een uur. Op de tongkwekerij heerste een meer constante pH van 7,3-7,9, waarbij acute veranderingen niet meer dan 0,1 punt per 15 minuten of 0,2 punten per uur waren.

In een RAS heeft denitrificatie dat in bezinkers optreedt een pH-verhogend effect. Wanneer het systeemwater niet wordt gebufferd of wanneer er geen of niet genoeg verversingswater wordt toegevoegd kan de pH tot onder de 5 zakken. Er zijn geen gegevens beschikbaar voor grenswaarden voor waarbinnen plotselinge fluctuaties van de pH moeten blijven, voor geleidelijke veranderingen is een pH van 5 tot 9 acceptabel.

Voor tong is bij de verwante *S. senegalensis* larven een 24-uurs LD₅₀ gevonden voor pH van 4,88 en 5,76 als ondergrens en 8,94 en 9,57 als bovengrens (Parra en Yufera, 2002). Een variatie in pH tussen de 6,85 en 8,10 heeft geen veranderingen in de ammonia tolerantie tot gevolg, met een NOEC van 0.066 mg/l (Alderson 1979).

4.5 Zuurstof

De Council of Europe heeft in 2000 bepaald dat voor meerval een minimale zuurstofconcentratie in het water van 5 mg/l gehandhaafd moet worden. Hiernaast moeten de meervallen de mogelijkheid hebben om atmosferische zuurstof op te nemen. Dit houdt in dat het oppervlaktewater vrij van schuim moet zijn (Council of Europe, 2000).

De Afrikaanse meerval is een 'air breathing fish' en kan in een deel van zijn zuurstofbehoefte voorzien door het aan het wateroppervlak opnemen van atmosferische lucht (Graham, 1997; Haylor, 1993). Ondanks dat meervallen in kwekerijen goed groeien bij lage zuurstofconcentraties in het water, is het niet bekend of dit (en dus de noodzaak tot het opnemen van atmosferische zuurstof) leidt tot een aantasting van het welzijn van de Afrikaanse meerval.

Voor de kweek van Afrikaanse meerval betekenen de dendritische organen dat het vergeleken met andere vissoorten minder noodzakelijk is het viskweekwater te verrijken met zuurstof en dat een relatief lage doorstroming van de kweekbassins gehanteerd kan worden. In meervalkwekerijen is de zuurstofconcentratie 0,5-3 mg/l (Desmares, 1993). Het is waarschijnlijk dat de Afrikaanse meerval met atmosferische luchtaademhaling compenseert voor een lage zuurstofconcentratie in het water, een situatie die zowel in de natuurlijke omgeving als in meervalkwekerijen voorkomt. Hierdoor moeten meervallen in kwekerijen altijd de mogelijkheid hebben om atmosferische zuurstof op te nemen. In het geval van hoge dichtheden moet de oppervlakte-inhoud verhouding en bezettingsdichtheid dus zodanig zijn dat alle meervallen voldoende de mogelijkheid hebben om zuurstof uit de lucht op te kunnen nemen.

Voor jonge meervallen is een goede zuurstofvoorziening in het water noodzakelijk, omdat de dendritische organen nog niet voldoende ontwikkeld zijn (Babiker, 1979). Ongeveer 14 dagen nadat jonge meerval begint met eten nemen de vissen atmosferische lucht op, waarna dit proces zich verder ontwikkelt door de vorming van de dendritische organen (Haylor, 1993). Volwassen meervallen kunnen voor ongeveer de helft van de totale zuurstofbehoefte voorzien door het opnemen van atmosferische lucht.

Wanneer de Afrikaanse meerval geen atmosferische zuurstof op kan nemen is de minimale zuurstofconcentratie in het water waarbij de vis overleeft tussen de 2,2 en 1,5 mg/l bij een respectievelijk gewicht van 40-212 en 400-1126 gram (Babiker, 1979). Wanneer de vissen wel de mogelijkheid hadden tot het opnemen van atmosferische zuurstof trad geen mortaliteit op bij deze lage zuurstofconcentraties. Hiernaast werd waargenomen dat de meervallen meer water over de kieuwen laten stromen bij een lage zuurstofconcentratie in het water. Het overleven van de vissen bij deze temperatuur zegt niets over het welzijn van de vissen. Hierdoor is de aanbeveling van de Council of Europe dat het zuurstofgehalte voor meervallen minimaal 5 mg/l moet bedragen de minimale concentratie die aangehouden moet worden om het welzijn niet negatief te beïnvloeden.

Op de tongkwekerij was de zuurstofconcentratie tussen de 7,7 en 10,1 mg/l. Tong is tolerant voor lage zuurstofconcentraties in het water, doordat de vis al bodembewoner in het natuurlijk milieu regelmatig geconfronteerd wordt met hypoxische condities (Dalla Via et al., 1994, 1998).

4.6 Koolstofdioxide

Voor elke gram zuurstof die een Afrikaanse meerval opneemt wordt ongeveer 1,3 gram CO₂ aan het water afgegeven (Bovendeur et al., 1987), dat uit het kweekwater verwijderd wordt door ontgassing in het tricklingfilter. In het water reageert CO₂ met het water, waarbij waterstofcarbonaat en (HCO₃⁻) en carbonaat (CO₃²⁻) gevormd wordt. Het evenwicht dat ontstaat tussen CO₂, HCO₃⁻ en CO₃²⁻ wordt beïnvloed door de pH, waardoor de concentratie CO₂ in het viskweekwater pH-afhankelijk is.

Er is weinig onderzoek gedaan naar chronische blootstelling van vis aan CO₂. Van forel is bekend dat een chronische blootstelling tot 25 mg/l geen effecten heeft op de groei (Smart en Knox, 1979). Onder experimentele omstandigheden stijgt bij de Afrikaanse meerval de frequentie waarmee atmosferische lucht wordt

opgenomen bij een verhoogde CO₂-concentratie in het water (Babiker, 1979). Volgens Desmares (1993) loopt de CO₂-concentratie in kwekerijen op tot boven 100 mg/l. Niet bekend is wat de welzijnseffecten hiervan op de vis zijn. In kwekerijen is een goede ventilatie nodig om te voorkomen dat zich een deken van uitgedemde CO₂ vormt boven het wateroppervlak, wat atmosferische ademhaling bemoeilijkt.

4.7 Temperatuur

De watertemperatuur heeft grote invloed op de groei van vissen. Iedere vissoort heeft een optimale groeitemperatuur en bij sub-optimale watertemperaturen neemt de groeisnelheid geleidelijk af. Over het algemeen geldt dat de temperatuur waarbij maximale groei plaatsvindt, afneemt naarmate vissen groter worden (Britz en Hecht, 1987). De watertemperatuur heeft in navolging hiervan ook een grote invloed op het welzijn van vissen. Direct onderzoek naar de invloed van verschillende watertemperaturen op het welzijn van tong en meerval zijn niet gedaan. Temperatuurstudies richtten zich op de relatie tussen temperatuur en groei.

Volgens Hogendoorn et al. (1983) ligt de optimale groeitemperatuur voor jonge Afrikaanse meervallen tussen de 27,5°C en 32,5°C en voor volwassen meerval tussen de 25°C en 27,5°C. Bij watertemperaturen van 20 en 30°C nam de groei sterk af. Dit betekent dat op kwekerijen een goede temperatuurregulatie van groot belang is voor de groei, ondanks dat de Afrikaanse meerval een temperatuurtolerante vis is.

Onder laboratoriumomstandigheden is bij de verwante Afrikaanse meerval *Clarias lazera* geen effect op het voergedrag, ademhaling (zowel lucht- als kieuwademhaling) en gedrag waargenomen bij watertemperaturen van 18°C tot 45°C (Babiker, 1984). Bij temperaturen beneden de 15°C en boven de 50°C aten de vissen niet en temperaturen tussen de 6°C en 12°C leidden bovendien tot een verlaagde activiteit. Donnelly (1973) heeft aangetoond dat een dagelijkse temperatuurschommeling tussen de 13,5°C en 27,5°C geen effect heeft op de overleving van volwassen vissen. Er is niet onderzocht wat grote temperatuurswisselingen betekenen voor het welzijn van de vissen. In lijn hiermee heeft Klyszejko et al. (1993) de tolerantie van Afrikaanse meerval voor acute temperatuursveranderingen onderzocht en vond dat voor zowel de letale temperatuur als de temperatuur waarbij een stressreactie optreedt afhangt van de acclimatisatietemperatuur van de vissen. De alarmreactie bestaat uit ontsnappingsgedrag, agressie en een toename in luchtaademhaling.

Op meervalkwekerijen is de watertemperatuur constant 25°C (Verreth en Eding, 1993). In het huidige bemonsteringsonderzoek was de temperatuur op beide meervalkwekerijen 25,7-26,9°C en 25,6-25,8°C. Bij meervallen die aan deze temperatuur geacclimatiseerd zijn, is de onder- en bovengrens van de letale temperatuur 13°C en 40°C en de temperaturen waarbij een welzijnsverstoring optreedt 21°C en 36°C (Klyszejko et al., 1993). Voor Afrikaanse meerval is een watertemperatuur tussen de 25°C en 32,5°C optimaal, afhankelijk van de grootte van de vissen.

Op de tongkwekerij was de temperatuur tijdens de bemonsteringsdagen 19,3-19,9°C. Er is wel enig onderzoek gedaan naar de effecten van verschillende temperaturen op de groei van tong (Fonds, 1976; LeFrançois en Claireaux, 2003). Uit deze studies komt een beeld naar voren dat de groei toeneemt bij een stijgende temperatuur, vanaf 9°C tot een ideale groeitemperatuur tussen de 20-25°C.

Ook voor de temperatuur geldt dat deze zoveel mogelijk stabiel moet worden gehouden en dat acute schommelingen van meer dan 2°C moeten worden vermeden om welzijnsproblemen te voorkomen.

4.8 Saliniteit

De Afrikaanse meerval is als zoetwatervis tolerant voor saliniteit. Volwassen Afrikaanse meerval van 600 tot 1500 gram groeit en plant zich voort bij een saliniteit tot 2,2 g/l. De hoogste saliniteit waarbij alle meervallen overleefden was 15 g/l, al werd bij deze saliniteit een sterke fysiologische stressrespons waargenomen (Clay, 1977). Bij blootstelling aan een saliniteit van 25 g/l stierven alle vissen. Op basis van de studie stelt Clay (1977) dat de bovengrens voor de saliniteit van het viskweekwater tussen de 10 en 15 g/l ligt.

Bij een saliniteit hoger dan 12-12,5 g/l verandert het water van hypotoon naar hypertoon ten opzichte van het bloed van de vis (Job, 1969), wat betekent dat vissen in water met een saliniteit vanaf deze waarden de osmoregulatie dusdanig moet aanpassen dat dit waarschijnlijk tot een aantasting van het welzijn zal leiden. De tong heeft als zoutwatervis dus een andere osmoregulatie dan de meerval. Het milieu voor tong is hypertoon ten opzichte van het bloed (bij meerval is dit hypotoon). Champabert et al. (1994) heeft aangetoond dat juveniele tong tolerant is voor lagere saliniteiten tot 11 g/l. Meer onderzoek naar saliniteitstolerantie is gedaan naar de verwante *Solea senegalensis*. Hieruit blijkt dat deze soort tolerant is voor zowel hogere (tot 55 g/l) als lagere (tot 5 g/l) saliniteiten en de osmoregulatie hierop aanpast om de homeostase in stand te houden (Arjona et al., 2007). Aanpassingen aan extreme saliniteiten leidt op de korte termijn tot stress, wat een aantasting van het welzijn suggereert. Op de lange termijn is deze vis goed in staat zich aan te passen. Het is niet bekend of dit ook geldt voor *Solea solea*.

Verschillende studies tonen aan dat ook Afrikaanse meervallarven tolerant zijn voor een matige saliniteit (Chervinski, 1984; Wu et al., 1998). Britz en Hecht (1989) namen bij saliniteiten tot 5 g/l geen nadelige effecten op groei en overleving van Afrikaanse meervallarven waar. Vanaf 2,5 g/l nam de conditiefactor van de larven af, bij 7,5 g/l daalde de groei en het overlevingspercentage en bij 10 g/l stierven alle larven binnen 48 uur. Uit de resultaten concluderen Britz en Hecht (1989) dat een saliniteit tot 2,5 g/l acceptabel is voor de het opkweken van Afrikaanse meervallarven. Kortstondige blootstelling aan hogere saliniteiten (2,5-7,5 g/l) als behandeling tegen ectoparasieten heeft geen effect op de overleving of groei van de vis.

Voor larvale Afrikaanse meerval is de grenswaarde voor de saliniteit van het viskweekwater 5,0 g/l. Kortstondige blootstelling aan een hogere saliniteit tot 7,5 g/l is acceptabel. Voor volwassen dieren kan een grenswaarde voor de saliniteit van het viskweekwater worden vastgesteld van 10 g/l. Er is niet bekend wat de grenswaarde moet zijn voor acute saliniteitsveranderingen.

4.9 Fosfaat

Fosfaat (PO_4) is de vorm waarin fosfor (P) in het milieu het meest voorkomt. Een verhoogde fosforconcentratie in het kweekwater wordt veroorzaakt door de slechte verteerbaarheid van fosforhoudende bestanddelen in het voer, waardoor fosfor niet wordt vastgelegd als biomassa in de vis, maar wordt uitgescheiden via de ontlasting en zo in het water terecht komt als opgeloste stof en in de vaste-stof fractie. Er is zeer weinig onderzoek verricht naar de invloed van fosfor in het water op vissen in RAS. Enig onderzoek is verricht naar fosfaat in het sediment in viskwekerijen in zout water (Lefebvre et al., 2001).

Voor zover bekend leidt fosfor in RAS niet tot welzijnsproblemen voor de vissen als de kwaliteit van de waterhuishouding en reststromen voldoende zijn, zodat de fosforconcentraties niet oplopen. De fosforniveaus in kweekwater worden door vissen niet als toxisch ervaren, al kan een sterk verhoogde concentratie tot osmotische stress leiden. Er is geen informatie over de fysiologische en gedragsmatige reactie van meerval op een verhoogde fosforconcentratie in water. De meeste studies op dit gebied richten zich op fosfor in voer (Cho en Bureau, 2001).

Bij de ontwikkeling van nieuwe voeders moet de verteerbaarheid van fosforhoudende bestanddelen verbeteren. Hiernaast kan bij de ontwikkeling van waterzuiveringstechnieken de fosfaatafbraak als parameter worden meegenomen.

5 Managementfactoren

5.1 Doorstroming

Een goede doorstroming van het water is van essentieel belang voor het viskweekstelsel en het welzijn van de vis. Afname van de watertoevoer resulteert in accumulatie van afvalstoffen, zoals ammoniak en koolstofdioxide en een daling van de zuurstofconcentratie. Het debiet dat gebruikt moet worden is onder meer afhankelijk van het gebruikte waterzuiveringsstelsel en de hoeveelheid voer. Het is belangrijk dat de continuïteit van de waterstroom gehandhaafd blijft volgens de specificaties van het stelsel. Wanneer de waterstroom stagneert kunnen afvalstoffen ophopen en de zuurstofconcentratie dalen, wat tot een verslechterde waterkwaliteit en welzijn van de vis leidt.

5.2 Troebelheid

De troebelheid van het water is een verzamelnaam voor alle vaste, zwevende stoffen in het water en de aard van de troebelheid is mede bepalend voor de gevoeligheid van vissen hiervoor. Per vissoort moet apart onderzoek verricht worden naar de gevoeligheid voor troebelheid. De Afrikaanse meerval is tolerant voor troebel water, waar dit voor tong veel minder geldt. De troebelheid van het water kan aanwijzingen geven over de staat van de waterzuivering in een RAS en over het welzijn van de vissen.

5.3 Voerregime

In de meervalkweek wordt gebruik gemaakt van "demand feeders" (Verreth en Eding, 1993), waarbij de vissen zelf door middel van een pendel voer in het water laten komen. Als er meer voer in het water terecht dan de vissen opeten heeft dit een negatieve invloed op de waterkwaliteit en het welzijn van de vissen. Het vullen van de voederautomaten moet in overeenstemming zijn met de verwachte voeropname in relatie tot de grootte van de vissen, om waterkwaliteit- en welzijnsproblemen als gevolg van voeren te voorkomen. Het voedermanagement is op kwekerijen aangepast aan de vissoort die gekweekt wordt, waarbij gestreefd wordt de natuurlijke situatie na te bootsen. Zo is het voergedrag van tong toegespitst op meerdere malen per dag een kleine hoeveelheid voer (Howell, 1997).

5.4 Bezettingsdichtheid

De bezettingsdichtheid in het kweekstelsel is van grote invloed op de waterkwaliteit en het gedrag van de vissen (Blackburn en Clarke, 1990; Kebus et al., 1992; Procarione et al., 1999). Zowel een te hoge bezettingsdichtheid als een verminderde waterkwaliteit resulteert in een stressrespons (Wendelaar Bonga, 1997) en tast het welzijn van de vissen aan. Voor verschillende vissoorten is de relatie tussen bezettingsdichtheid, groeisnelheid, voeropname, kannibalisme en (agressief) gedrag onderzocht (Haylor 1991, 1993; Hossain et al., 1998; Hengsawat et al., 1997).

De bezettingsdichtheid verschilt sterk per vissoort en per ontwikkelingsstadium waarin de vissen zich bevinden. Een hoge bezettingsdichtheid kan, afhankelijk van de vissoort, zowel een negatief als een positief effect hebben op de groei. Agressief gedrag kan toenemen, wat resulteert in meer stress en energieverbruik en het ontstaan van hiërarchieën. Dit geldt onder andere voor zalm (Ewing en Ewing, 1995) en zeebaars (Vazzana et al., 2002). Aan de andere kant kan een hoge bezettingsdichtheid de groei bevorderen, doordat vissen kunnen ontsnappen aan agressief gedrag en de vorming van territoria wordt onderdrukt (Hecht en Uys, 1997). Dit geldt onder meer voor tilapia en Afrikaanse meerval.

Bij Afrikaanse meervallarven daalt de agressie (Hecht en Appelbaum, 1988; Kaiser et al., 1995) en het kannibalisme bij een toenemende bezettingsdichtheid Haylor (1991), maar neemt ook de groeisnelheid af (Kaiser et al., 1995; Appelbaum en Van Damme, 1988).

Bij juveniele meervallen neemt de groeisnelheid juist toe en bij een toenemende dichtheid (Almazan-Rueda et al., 2001; Oellermann, 1996; Hossain et al., 1998). De agressie, bestaande uit opjagen, bijten in de kop, vinnen en

staart en kannibalisme, neemt af (Hecht en Uys, 1997). Vanaf een dichtheid van 415 kg/m³ neemt de agressie weer toe en stijgt de groeisnelheid niet meer (Oellermann, 1996). De hogere groeisnelheid bij een hogere dichtheid is afhankelijk van het behoudt van een goede waterkwaliteit.

Op commerciële meervalkwekerijen is de bezettingsdichtheid 5 kg/m³ voor pootvisjes (ca. 10 g) en 400-500 kg/m³ voor marktwaardige vissen (1-1.2 kg). Het is voor Afrikaanse meerval onvoldoende onderzocht in hoeverre beschadigingen door agressief gedrag op kwekerijen voorkomen en wat de omvang en oorzaken van uitval van vissen tijdens de opkweekfase is.

Voor tong is door Howell (1998) onderzocht wat het effect van de groeisnelheid op verschillende dichtheden was en het blijkt dat de groei en dichtheid negatief gecorreleerd zijn. Howell (1998) suggereert dat het eetgedrag hieraan ten grondslag ligt. Tong is gewend om meerdere keren per dag kleine hoeveelheden voedsel te eten, wat meer sociale interactie uitlokt, wat veel energie kost wat ten koste kan gaan van de groei. In kwekerijen worden de vissen gevoerd met pellets die zich over het wateroppervlak verspreiden, waardoor sociale interactie mogelijk minder dominant wordt (Howell, 1997). Het is niet bekend wat sociale interactie als gevolg van verschillende dichtheden betekenen voor het welzijn van de tong.

5.5 Omgevingsverrijking

Wanneer in kweeksystemen omgevingsverrijkende elementen op de juiste manier worden aangebracht maken vissen hiervan gebruik. Afhankelijk van de vissoort kunnen deze substraten bestaan uit rustnetten of schuilmogelijkheden (Kamstra, 2001). Er is weinig onderzoek verricht naar de effectiviteit van substraatverrijking op het welzijn van de vissen. Hossain et al. (1998) onderzocht de effecten van dichtheid, lichtregime en schuilmogelijkheden op de groei en overleving van pootvissen voor de productie van Afrikaanse meerval en vond dat de aanwezigheid van schuilmogelijkheid de groei bevordert.

Er is in de wetenschappelijke literatuur geen informatie gevonden over de mogelijkheid dat substraten de waterkwaliteit kunnen beïnvloeden door het veranderen van de doorstroming of het ontstaan van anaerobe zones.

5.6 Lichtregime

Het lichtregime en de lichtintensiteit beïnvloeden de voedselinname en daarmee het gedrag en groei van de vissen en de waterkwaliteit in het RAS (Boeuf en Le Bail, 1999; Almazan Rueda, 2005). Er is tot op heden onvoldoende onderzoek verricht naar de specifieke behoeften van verschillende vissoorten aan lichtregimes. Voor meerval is aangetoond dat deze vis een dag-nacht ritme heeft voor luchtaademhaling (Babiker, 1979). Zo is paling vooral in het donker actief, waarbij perioden van grote activiteit worden afgewisseld met perioden van passiviteit. Overdag zitten palingen veelal in schuilplaatsen (Baras et al., 1998). Ook in een RAS is het lichtregime een bepalende factor voor activiteit en het foerageergedrag van paling (Dou en Tsukamoto, 2003). Dit geldt ook voor de Afrikaanse meerval, die in de natuur vooral in het donker foerageert. In een RAS worden de vissen overdag bij een matige lichtintensiteit gevoerd, het is niet bekend wat dit betekent voor het welzijn van de vissen.

Een constant lichtregime in aquacultuur-settings, vergeleken met de natuurlijke situatie, zorgt ervoor dat vissen meer groeihormonen produceren en het metabolisme toeneemt (Woiwode en Adelman, 1991). Het is niet bekend wat dit voor het welzijn van de vissen betekent. Voor de meeste platvissoorten neemt de groeisnelheid toe bij een langere lichtperiode (Imsland et al., 1995; Simensen et al., 2000). Voor tong is slechts een studie verschenen en de resultaten hiervan lieten geen hogere groeisnelheid zien bij een langere lichtperiode (Fuchs, 1978). Bij warmbloedige dieren is sprake van aantasting van het welzijn als er geen lichtcyclus wordt gehanteerd, dit kan ook voor vissen het geval zijn.

6 Gezondheid

6.1 Management

Vele factoren in een RAS hebben invloed op de gezondheid van de vissen, zoals de doorstroming, het lichtregime, het voerregime, configuratie van de tanks en de waterkwaliteit. Sub-optimale omstandigheden van deze factoren leiden tot een stressrespons, die is onder te verdelen in een primaire, secundaire en tertiaire respons (Wendelaar Bonga, 1997).

Gedragsveranderingen als gevolg van chronische stress, zoals een sub-optimale waterkwaliteit, kunnen zich op vele manieren uiten; meer agressie of passiviteit, ontsnapingsgedrag, stereotiep gedrag en een toename in luchthappen en veranderingen in het eetgedrag (Wiepkema en Koolhaas, 1993). Een goede managementstructuur, waarbij het functioneren van de systemen (waterkwaliteit, filters en voeding) en diverse uiterlijke gezondheidsaspecten van de vissen (huid, vinerosie, mortaliteit, deformaties, kleur, zichtbare parasieten en de kieuwcondities) wordt bijgehouden, vermindert de kans op het uitbreken van ziekten.

Voor de beheersing van het welzijn van de vissen tijdens de kweek kan een procesbeheersingssysteem opgezet worden, zoals thans gangbaar is in de levensmiddelenindustrie rond voedselveiligheid. Deze HACCP benadering (Hazard Analysis and Critical Control Points) wordt gebruikt om de voedselveiligheid tijdens de productie van levensmiddelen te borgen. In de HACCP benadering wordt het gehele proces beschreven en vervolgens worden risico's vastgesteld (in dit geval schade aan het welzijn bij vissen). Om deze risico's te beheersen worden vervolgens kritische stappen in het proces vastgesteld. Door deze stappen te monitoren en hierbij grenswaarden te hanteren voor de verschillende risicovolle parameters (zoals zuurstofgehalte) kan het welzijn in het kweekproces worden beheerst.

6.2 Uiterlijke Kenmerken

De waterkwaliteit speelt een belangrijke rol bij uiterlijke gezondheidsaspecten van vissen in een RAS. Een verkleuring van de kieuwen of feitelijke beschadiging aan de kieuwbogen, filamenten of lamellen zorgen voor stressreacties die de osmoregulatie (ionenuitwisseling, Na^+/K^+ -ATPase activiteit) en gasuitwisseling (O_2 opname en CO_2 afgifte) tussen het milieu en de vis beïnvloeden (Evans et al., 2005).

Beschadigingen aan de opercula (kieuwdeksels) zijn relatief makkelijk waar te nemen in RAS, hierbij bedekken de kieuwdeksels de kieuwbogen niet meer volledig, waardoor de kieuwen zichtbaar zijn. De kwetsbare kieuwen zijn in deze gevallen extra gevoelig voor invloeden van het externe milieu en beschadigingen veroorzaakt door andere vissen (Evans et al., 2005).

Huidbeschadiging komt bij kweekvissen voor door onderlinge agressie of door het schuren van de huid aan de rand van de kweekbakken. Dit kan lijden tot afgesleten schubben en eventueel tot open wonden. Necrose (celdood) kan een gevolg zijn van stress of agressie door andere vissen of schuren aan de randen van de bakken. Dit kan wellicht verminderd worden door lagere dichtheden of gladde bakranden te gebruiken. Vinerosie is een veelvoorkomende beschadiging bij vissen. De vinnen zijn kwetsbare extremiteiten die bij agressie of door het schuren tegen de bakranden kunnen beschadigen (Hatlen et al., 2006). Morfologische malformaties zijn bij vissen veelal aangeboren of ontstaan in de larvale stadia. In kwekerijen kunnen deze vissen al in een vroeg stadium worden uitgeselecteerd.

Kleurverandering komt bij vele vissoorten voor als gevolg van een stressreactie. De mate van kleurverandering verschilt sterk per vissoort en is ook afhankelijk van het geslacht en dominantie. Er is onvoldoende onderzoek verricht naar de mate van kleurverandering bij een verminderde waterkwaliteit (van der Salm, 2005). Innervatie van kleurverandering is een gecombineerd genetisch en neurologisch proces waarbij het hormoon $\alpha\text{-MSH}$ (Melanocyte Stimulating Hormone) een belangrijke rol speelt, waardoor kleurverandering snel kan optreden (Hatamoto en Shingyoji, 2008).

Parasieten kunnen zowel op de huid als in de organen van de vis zitten. Parasieten activeren het immuunsysteem en een stressrespons en kunnen voor uiterlijke beschadigingen zorgen. Wanneer vissen door een sub-optimale waterkwaliteit chronische stress hebben is de weerstand tegen parasieten verminderd (Lafferty en Kuris, 1999).

6.3 Ziekten

De Afrikaanse meerval is vatbaar voor een aantal bacteriële en parasitaire ziekten en schimmels. Virussen hebben weinig invloed op de Afrikaanse meerval. Bacteriële infecties waar de Afrikaanse meerval vatbaar voor is zijn *Aeromonas hydrophila*, *A. sobria* en *Citrobacter freundii*, deze bacteriën komen voor in de biofilters van een RAS en kunnen in stressvolle situaties, zoals een verminderde waterkwaliteit, voor (secundaire) infecties bij de vissen zorgen. Er zijn diverse parasieten die bij de Afrikaanse meerval voorkomen (Paperna, 1996, Hassan et al., 2007).

Tong is vergeleken met meerval vatbaarder voor ziekten. Black patch necrosis (BNP) wordt gezien als de meest schadelijke ziekte voor tong (McVicar en White, 1979). Deze bacteriële infectie wordt veroorzaakt door de bacterie *Flexibacter maritimus* (Bernadet et al., 1990). Goede voeding en verzorging van de tanks, eventueel aangevuld met zandsubstraat (McVicar en White, 1982) lijken de beste methode om uitbraak van BNP te voorkomen (Baynes en Howell, 1993).

Hiernaast is vibriose een ziekte waar tong vatbaar voor is, al heeft onderzoek aangetoond dat juveniele tong bestand is tegen matige infecties van *Vibrio anguillarum* (Baudin-Laurencin, 1986). Vinrot is bij tong te behandelen met antibiotica, maar rode stip bleek niet te behandelen, omdat de ectoparasieten zich snel voortplanten en het ziektebeeld pas laat tot uiting komt (Flüchter, 1979).

Op de website www.aquacultuur.wur.nl staat een uitgebreide beschrijving van ziekten die in een RAS voorkomen.

7 Bemonstering waterkwaliteit

Bij twee meervalkwekerijen en een tongkwekerij is een waterkwaliteitsbemonstering uitgevoerd. Gedurende 24 uur werd één maal per uur een watermonster genomen op twee plaatsen in de kwekerij: bij de uitvoer waar het water van de vistanks naar het filter gevoerd wordt en bij de instroom, waar het water uit het filter naar de vistanks stroomt. Dit is gedurende drie weken op dezelfde dag uitgevoerd.

7.1 Kwekerijselectie

Voorafgaand aan de metingen van de waterkwaliteit bij de kwekerijen is op basis van informatie van het Productschap Vis en beschikbare gegevens bij Wageningen IMARES een keuze gemaakt uit de te bezoeken kwekerijen. Belangrijke aspecten hierbij waren een al eerder getoonde positieve houding van kwekers ten aanzien van onderzoek, representativiteit voor de sector en bereidheid om te innoveren. Van de 19 meervalkwekerijen in Nederland zijn uiteindelijk zes bedrijven benaderd, welke een productievolume vertegenwoordigden van 40-50% van de totale meervalproductie in Nederland. Uiteindelijk hebben twee meervalkwekerijen meegewerkt aan de bemonstering. Voor wat betreft de tongkwekerij is momenteel maar een bedrijf in Nederland actief en dit bedrijf heeft aan de studie meegewerkt. Tijdens het bemonsteren zijn op alle drie de kwekerijen geen incidenten gemeld die de waterkwaliteit kunnen beïnvloeden.

7.2 Bemonstering

Om de waterkwaliteit in de kwekerijen te bepalen zijn twee monsterpunten gekozen; in de tank waarin het water vanuit het filtersysteem naar de vissen toestroomt (het behandelde water) en op het punt waar het uitstromende water vanuit de vistanks naar het filtersysteem stroomt, het onbehandelde water.

Elk van de kwekerijen is drie maal bemonsterd gedurende drie weken, met een interval van een week. Gedurende 24 uur werd om het uur een watermonster van 500 ml genomen. Bemonstering van het water werd uitgevoerd door autosamplers (Teledyne Isco 3700 Portable meter). Bij het monsterpunt van het onbehandelde water werd gedurende 24 uur om de 15 minuten de zuurstofconcentratie, pH en watertemperatuur gemeten met een Hach Lange HQ40d multimeter.

Door de hoge watertemperatuur, vooral in de meervalkwekerijen, was het noodzakelijk de watermonsters tijdens het verzamelen en de opslag in de autosampler te koelen met ijs in de autosampler tussen de collectievaten.

7.3 Wateranalyses

Vanuit de drie kwekerijen werden de watermonsters na het laatste monstertijdstip gekoeld naar Wageningen IMARES vervoerd en aldaar geanalyseerd. Totaal ammonium stikstof (TAN; $\text{NH}_4\text{-N}$), nitriet-stikstof ($\text{NO}_2\text{-N}$) en nitraat-stikstof ($\text{NO}_3\text{-N}$) zijn elk uur gemeten. De analyses zijn spectrofotometrisch uitgevoerd (Hach Lange Spectrofotometer DR 5000) volgens de methoden die beschreven staan in het Datalogging Colorimeter Handboek van Hach Lange, 2005).

De monsters van de tongkwekerij zijn verdund om storing van de hoge zoutconcentraties van het water bij de analyses te voorkomen. De watermonsters van de meervalkwekerijen werden verdund om storing van de meting door de hoge troebelheid te voorkomen.

Tabel 2. Gegevens over de betrokken kwekerijen op het gebied van biomassa, filters, systeemvolume en voederregime.

	tongkwekerij	meervalkwekerij 1	meervalkwekerij 2
stroomsnelheid (m ³ /uur)	375	100	70
gewicht (kg)	0,03-0,5	0,3-1,2	1,2
biomassa (ton)	30	6-23	23-25
totaal voer (kg/dag)	60	197	125-130
tankvolume (m ³)	7,56	6	5,5
systeemvolume tank (m ³)	250	120	85
verversingsgraad (l/kg voer)	600	70	80
dichtheid (kg/m ³ of m ²)	9 kg/m ²	95-380	218
doorstroomsnelheid (min)	40	-	60
tijdstip van voeren	18.00; 24.00	09.00; 14.30; 20.30	06.30; 16.30

Tabel 3. De resultaten van de metingen bij de kwekerijen die voor deze studie gemonsterd zijn. De temperatuur is gegeven in °C, de overige parameters staan weergegeven in mg/l (behalve pH).

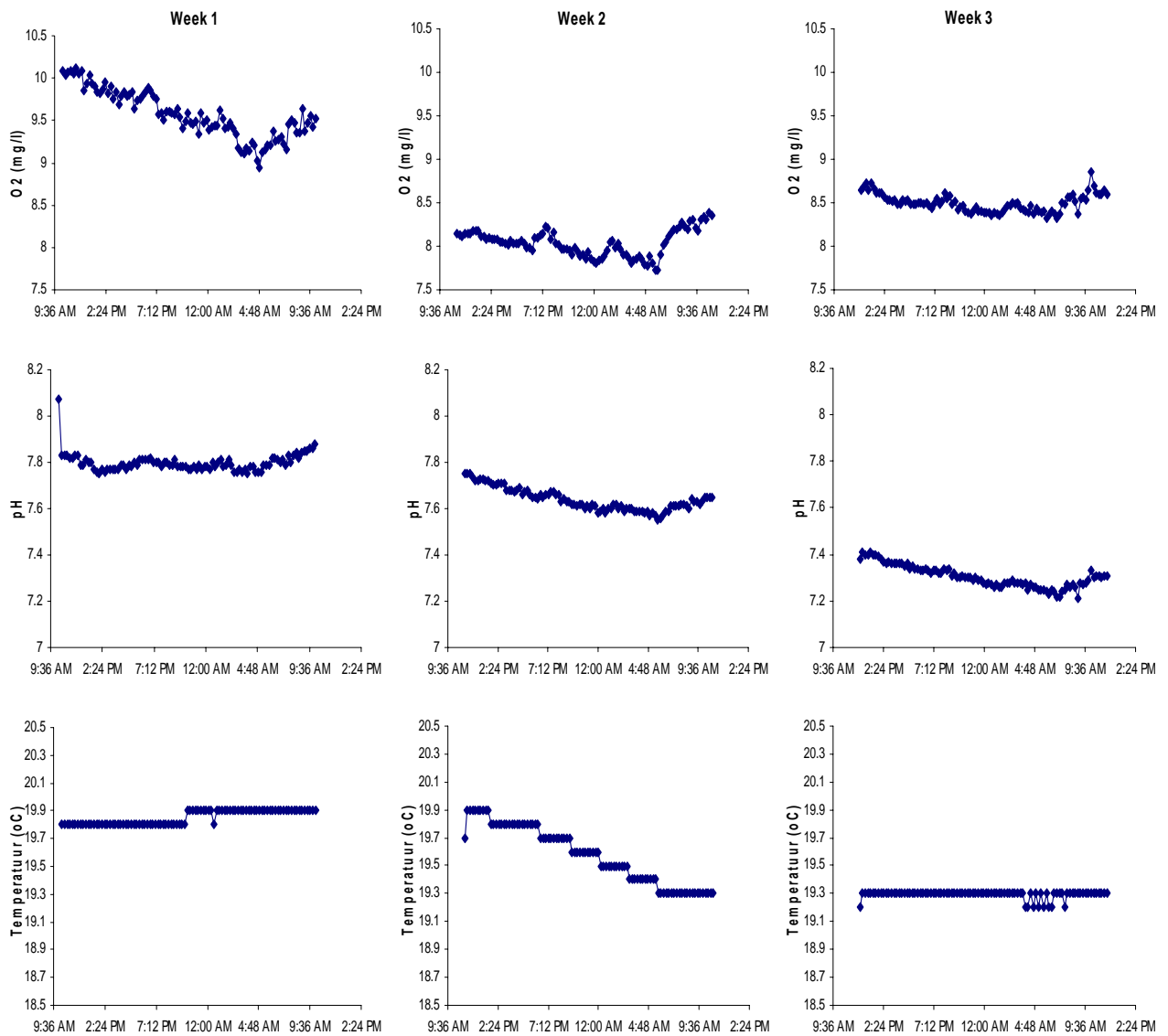
	pH	Temp.	O ₂	TAN in	TAN uit	NO ₂ in	NO ₂ uit	NO ₃ in	NO ₃ uit
Tongkwekerij									
Week 1	7,5-7,8	19,8-19,9	9-10	0,1-0,2	0,2- 0,35	0,5-0,6	0,5-0,6	30-40	10-40
Week 2	7,5-7,8	19,9-19,3	8	0,1-0,2	0,2-0,35	0,3-0,5	0,3-0,5	20-40	10-50
Week 3	7,2-7,3	19,3-19,4	8	0,1-0,2	0,2-0,35	0,2-0,3	0,2-0,3	25-60	30-80
Meervalkwekerij 1									
week 1	5,8-6,7	26,7-26,9		30-70	30-70	0-0,1	0,2-1,0	15-63	15-63
Week 2	5,6-6,7	26,2-26,6		2	11	0,2-0,4	0,1-0,3	22-44	15-20
Week 3	5,1-5,9	25,8-26,2		15,4-17,8	16,3-20	0,1-0,3	0,3-0,6	5-24	5-24
Meervalkwekerij 2									
Week 1	6,1-6,7	25,5-25,8		0,6	3-6	0,4-0,8	0,4-0,8	6-14	6-14
Week 2	6,0-6,3	25,5-25,8		1,8-7,7	7,7-16,2	0,7-0,9	0,7-0,9	8-16	8-16
Week 3	6,1-6,8	25,5-25,8		1,4	3-6	0,7-1,4	0,7-1,4	10-18	10-18

7.4 Tongkwekerij

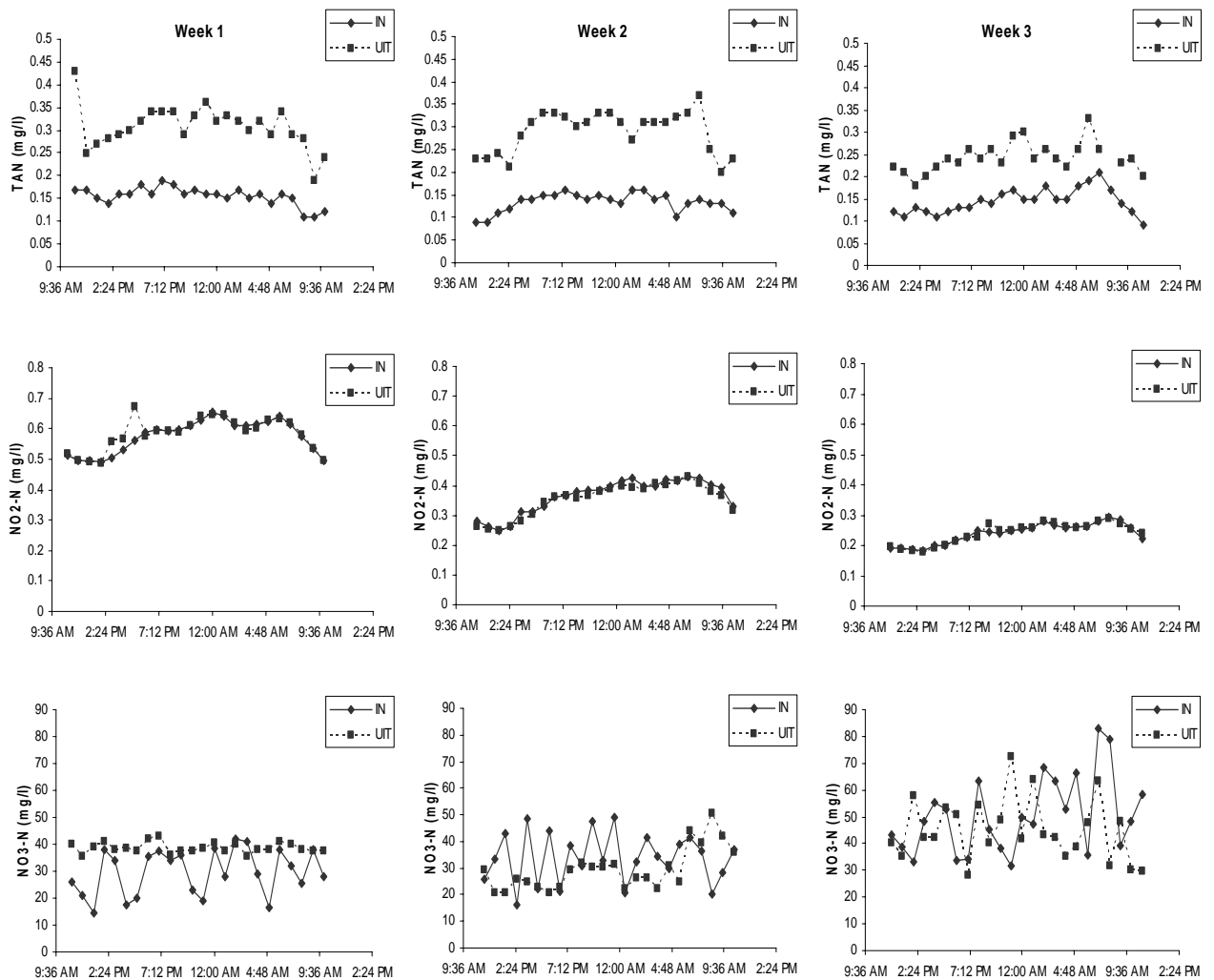
De zuurstofconcentraties in de tongkwekerij (fig. 1) in de eerste week (9-10 mg/l) zijn iets hoger dan die in de tweede en derde bemonsteringsdag (8 mg/l). Variaties in de zuurstofconcentratie op eenzelfde dag zijn laag. De pH (fig. 1) bleef constant tijdens het bemonsteren. Op de derde bemonsteringsdag was de pH iets lager (7,2-7,3) vergeleken met de eerste twee dagen (7,5-7,8).

De temperatuur (fig. 1) is constant tijdens de bemonsteringsdagen en daalt licht tijdens de drie weken. Op de eerste en derde dag fluctueert de temperatuur 0,1°C (19,8°C-19,9°C en 19,3°C-19,2°C, respectievelijk). De tweede dag laat een hogere variatie zien van 0,6°C met een afname van 19,9°C naar 19,3°C.

Het TAN-niveau (fig. 2) in het aanvoerende water (0,1-0,2 mg/l) is lager vergeleken met de TAN concentratie in het afvoerende water (0,20-0,35 mg/l) door ammoniaproductie door de vis. Er was geen verschil in TAN tussen de 3 bemonsteringsweken. De nitrietconcentratie (fig. 2) is gelijk in het behandelde en onbehandelde water. Tijdens de drie weken is er een geleidelijke afname van 0,5-0,6 mg/l in week 1 tot 0,2-0,3 mg/l in week drie. De nitraatconcentratie (fig. 2) laat een consistent patroon zien tijdens de drie monsterweken, met een hogere concentratie op dag drie vergeleken met de eerste twee dagen. Er is geen verschil tussen het aanvoerende en afvoerende water. De nitraatconcentratie varieert tijdens een 24-uurs periode, met een grotere variatie in het afvoerwater vergeleken met het aanvoerwater. De concentratie varieert tussen 10-50 mg/l in week één en twee en 30-75 mg/l in week drie.



Figuur 1. De zuurstofconcentraties (mg/l), pH en temperatuur (°C) zoals gemeten in de tongkwekerij. Elk van de drie kolommen vertegenwoordigt een week. De resultaten laten zien dat er relatief kleine verschillen per week zijn gemeten, maar dat de verschillen binnen een periode van 24 uur klein zijn, waardoor de vissen zich goed kunnen aanpassen (zuurstof; 7,7-10,1 mg/l, pH; 7,9-7,2 en temperatuur; 19,2-19,8°C).



Figuur 2. TAN (bovenste rij) op de tongwekerij laat een duidelijk verschil zien tussen het behandelde en onbehandelde water. Nitrietconcentraties (middelste rij) zijn op beide meetpunten gelijk. Nitraatniveaus (derde rij) variëren per uur, waarbij de variatie in het behandelde water groter zijn dan in het behandelde water.

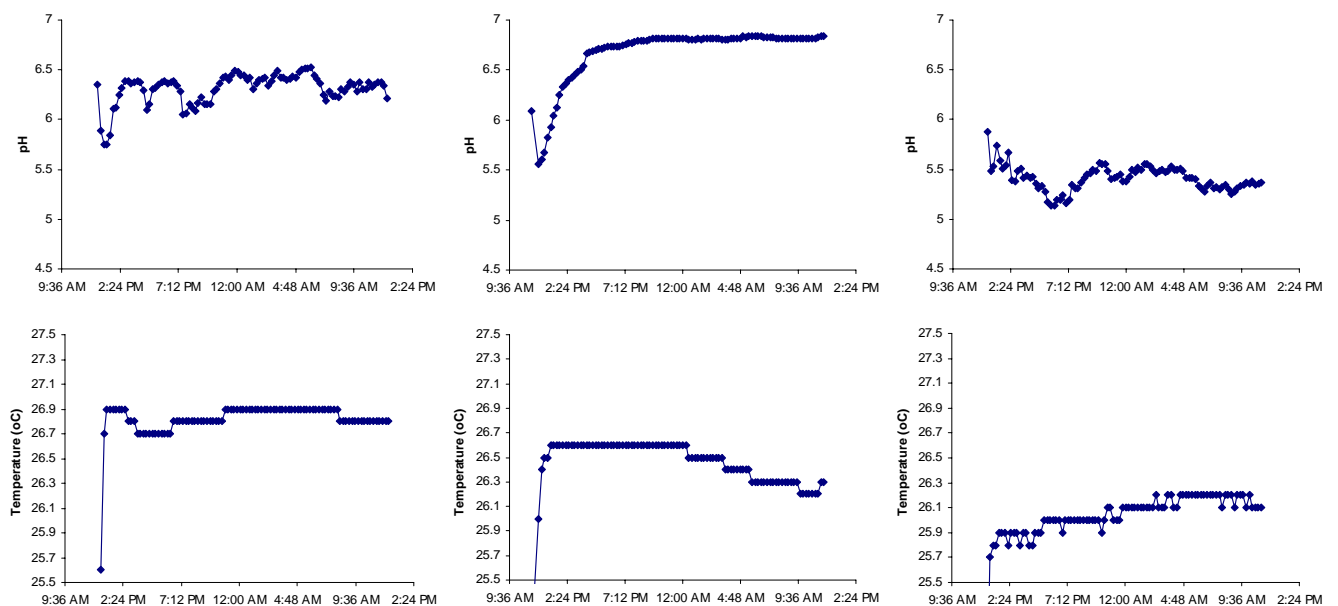
7.5 Meervalkwekerijen

Het meten van de zuurstofconcentratie in de meervalkwekerijen is niet gelukt, doordat de sensor bedekt raakte met zwevende deeltjes in het water.

7.5.1 Eerste meervalkwekerij

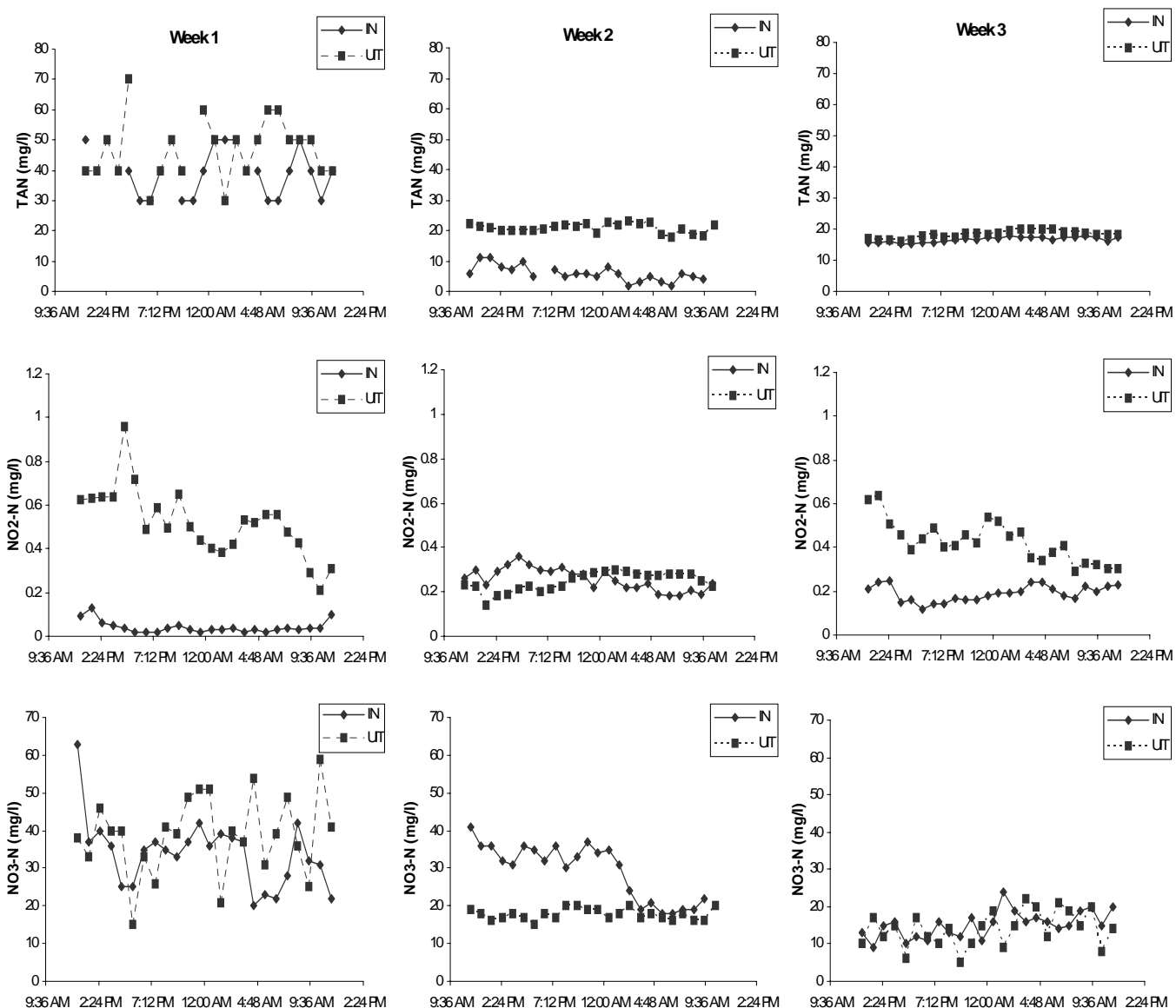
De pH (fig. 3) fluctueert van 5,75 tot 6,72 en van 5,14 tot 5,88 gedurende de eerste en derde bemonsteringsdag in week één en drie. Tijdens de tweede bemonsteringsdag in week twee stijgt de pH in de eerste uren van de meting sterk van 5,56 tot 6,67 en blijft daarna zeer constant.

De hoogste temperaturen (fig. 3) werden geregistreerd tijdens de metingen in de eerste week (26,7-26,9°C) en de laagste waarden tijdens de metingen in de derde week (25,8-26,2°C). De tweede week laat een geleidelijke afname zien van 26,6°C tot 26,2°C. Tijdens de drie monsterweken is het temperatuurverschil 1°C.



Figuur 3. De resultaten voor de temperatuur en pH metingen op de eerste meervalkwekerij laten zien dat de schommelingen gering zijn. De zuurstofconcentratie metingen zijn mislukt, doordat de sensor bedekt raakte met zwevende deeltjes in het water.

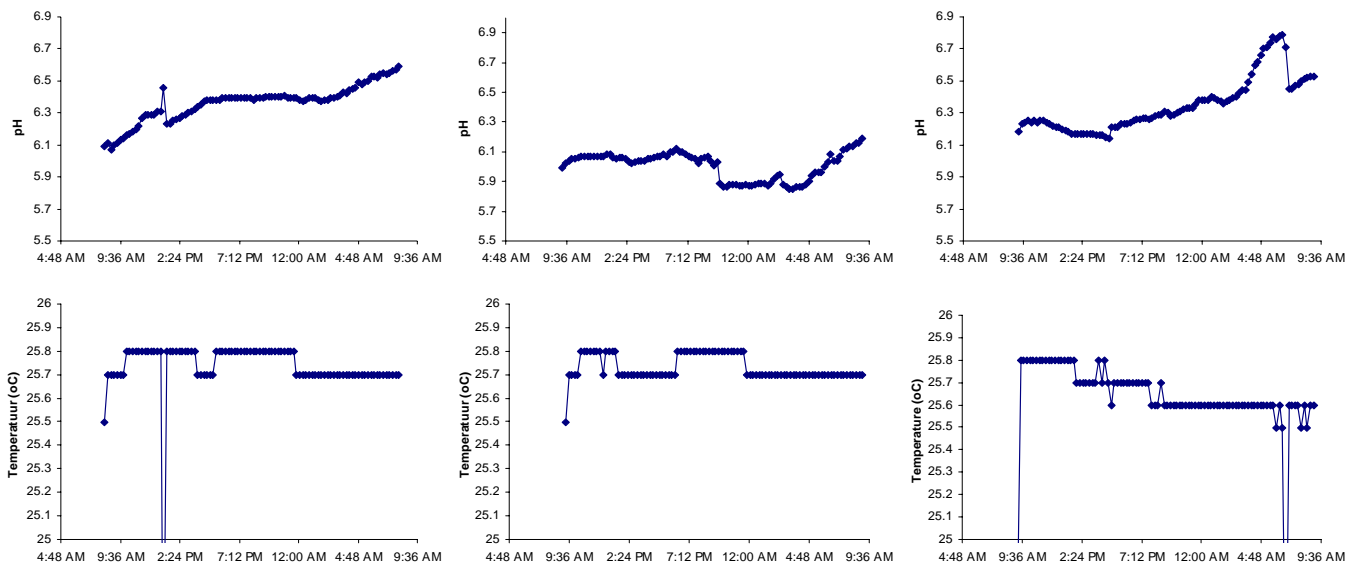
De TAN concentratie (fig. 4) varieert tussen de drie weken. Op de meetdag in de eerste week fluctueert de TAN concentratie sterk in zowel het toevoerende als het afvoerende water (30-70 mg/l). Tijdens de metingen in de tweede en derde week blijft de TAN concentratie constant, waarbij in de tweede week het TAN gehalte in de afvoer hoger is (11 mg/l) vergeleken met de toevoer (2 mg/l). In de derde week zijn de TAN in de toevoer (15,4-17,8 mg/l) en afvoer 16,3-20 mg/l) gelijk.



Figuur 4. De resultaten voor TAN, nitriet en nitraat laten een wisselend beeld zien over de weken op de eerste meervalwekerij. TAN is een factor 100 hoger vergeleken met de tongwekerij, omdat meerval toleranter is voor ammonia dan tong. Nitriet- en itraatconcentraties zijn in de meervalwekerij vergelijkbaar met de tongwekerij.

Nitriet (fig. 4) is in de eerste en derde week verschillend in het behandelde (toevoer) en onbehandelde (afvoer) water. Beide weken laten dezelfde trend zien met een lagere nitrietwaarde in de toevoer (0,02-0,13 mg/l in de eerste week en 0,12-0,25 mg/l in de derde week) vergeleken met de afvoer (0,21-0,96 mg/l en 0,3-0,6 mg/l in week één en drie respectievelijk). De tweede week laat relatief gelijke waarden zien voor het toevoerende (0,18-0,36 mg/l) en afvoerende water (0,13-0,29 mg/l).

Nitraat (fig. 4) fluctueert vooral tijdens de eerste en derde bemonsteringsdag, waarbij de fluctuatie in de eerste dag (15-63 mg/l) groter is dan in de derde dag (5-24 mg/l). Verschillen tussen het toevoerende en afvoerende water zijn laag. Tijdens de tweede week zijn de nitraatconcentraties in de afvoer vrij stabiel (15-20 mg/l), terwijl de concentratie in de toevoer een daling laat zien naar het einde van de bemonstering van 44 mg/l tot 22 mg/l.



Figuur 5. De pH en temperatuur zijn voor beide meervalkwekerijen vergelijkbaar. De meervallen kunnen zich goed aanpassen aan een temperatuurverschil van maximaal 0,3°C en een pH verschil van 0,5.

7.5.2 Tweede meervalkwekerij

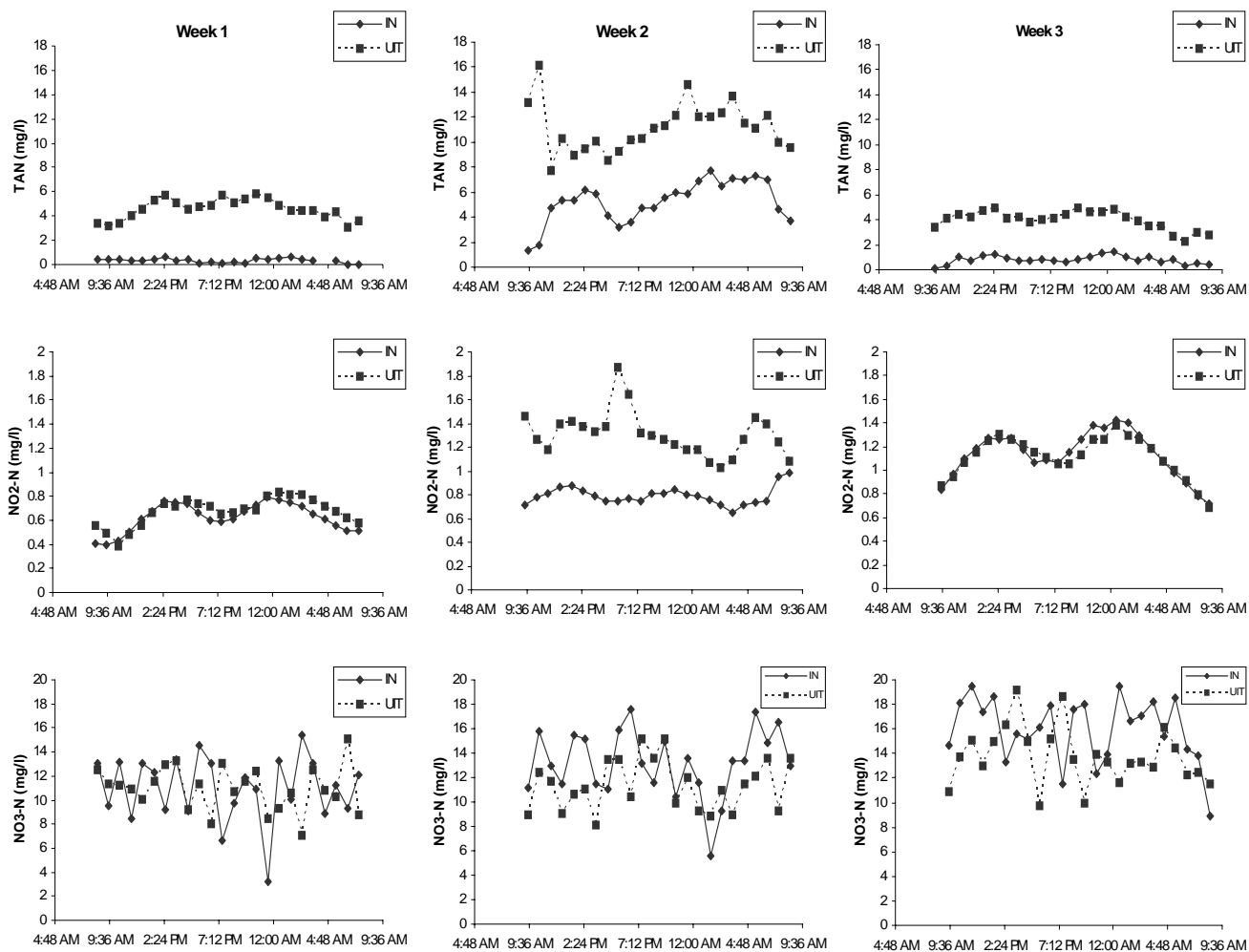
De pH (fig. 5) neemt tijdens alle drie de monsterdagen naar het einde van de meetdag toe (6,1-6,7 in week één, 6,0-6,3 in week twee en 6,1-6,8 in week drie).

De temperatuur (fig. 5) blijft constant tijdens de drie monsterdagen, met een dagelijkse variatie niet groter dan 0,3°C, van 25,5-25,8°C.

De TAN concentratie (fig. 6) in het behandelde water is lager dan in het onbehandelde water tijdens alle drie de bemonsteringsdagen. De eerste en derde week laten eenzelfde patroon zien, met waarden van 0,6 mg/l (week 1) en 1,4 mg/l (week 3) in de toevoer en een vergelijkbare waarde van 3-6 mg/l in de afvoer. De concentratie TAN en de variatie tijdens de monsterdag in de tweede week is hoger in zowel de toevoer (1,8-7,7 mg/l) als de afvoer (7,7-16,2 mg/l).

De nitrietconcentratie (fig. 6) laat in week 1 en 3 geen verschil zien tussen het behandelde en het onbehandelde water. De concentraties in de eerste week (0,38-0,83 mg/l) zijn iets lager dan die in de derde week (0,68-1,42 mg/l). In de tweede week is het verschil tussen het toevoer water (0,7-0,9 mg/l) en het afvoer water (1-1,8 mg/l) groter.

Nitraatgehalten (fig. 6) laten een constant patroon zien, met in alle drie de weken een hoge variatie in het behandelde en onbehandelde water.



Figuur 6. TAN, nitriet en nitraatconcentraties op de tweede meervalkwekerij zijn vergelijkbaar met de metingen op de eerste meervalkwekerij. Vooral de nitraatconcentratie varieert sterk per monstertijdpunt.

8 Conclusies

8.1 Meerval

Voor de Afrikaanse meerval is de ammoniakconcentratie in relatie tot de zuurgraad van het water een belangrijk knelpunt in de relatie tussen de waterkwaliteit en het welzijn van de vissen. Ammoniak vormt het eindproduct van eiwitmetabolisme en is toxisch voor vissen. De concentraties van het eveneens giftige nitriet en in mindere mate nitraat worden mede bepaald door de concentraties en de verhouding ammoniak/ammonium in het water. Deze verhouding en daarmee de toxiciteit van TAN voor vissen is sterk pH-afhankelijk. Dit maakt TAN een belangrijk aspect voor nader onderzoek naar de relatie tussen de waterkwaliteit en het welzijn van vissen. Op de gemonsterde meervalkwekerijen was de TAN concentratie in het uitstromende water tot 25 mg/l, bij een pH tot 6,7.

Experimenteel onderzoek is opgezet en is gericht op het bepalen van de stressfysiologische respons, de groeiratio en het voeder- en zwemgedrag van Afrikaanse meerval als welzijnsparameters in relatie tot een chronische blootstelling aan verschillende concentraties TAN in het water. Deze studie zal de kennisleemte op dit gebied opvullen.

Naast ammonium zijn pH, nitriet en nitraat belangrijke aspecten in de relatie tussen waterkwaliteit en welzijn. Voor nitraat en nitriet geldt dat een goede beheersing van de ammoniumhuishouding in het water de concentraties nitraat en nitriet onder controle houdt. De waarde van de pH beïnvloedt de stikstofhuishouding, waardoor veranderingen in de pH de waterkwaliteit en daarmee het welzijn van de vissen op verschillende manieren kan beïnvloeden.

8.2 Tong

Voor tong is de pH waarde van het water een belangrijk knelpunt in de relatie tussen de waterkwaliteit en het welzijn. De waarde van de pH heeft invloed op diverse andere belangrijke waterkwaliteitsparameters. In de tongkwekerij was de pH tussen de 7,2-7,8, wat, vergeleken met de pH bij de meervalkwekerijen (5,5-6,5), hoog is. Een belangrijk aspect bij de pH waarde van het water is dat bij een lagere pH het evenwicht tussen $\text{NH}_3\text{-NH}_4$ van het giftige NH_3 naar het minder giftige NH_4 verschuift. Hiernaast verschuift het carbonaatevenwicht naar CO_2 , waardoor het filtersysteem meer CO_2 uit het water moet strippen. Ook heeft een lagere pH invloed op de microflora en is er een hogere oplosbaarheid van metalen, wat het welzijn van de vissen kan beïnvloeden.

Voor tong zal een experiment uitgevoerd worden waarbij de relatie tussen een verlaagde pH en het welzijn van de vissen wordt onderzocht aan de hand van de fysiologische respons, groei en gedrag.

Ook voor tong is de TAN huishouding een belangrijk aspect in de relatie tussen de waterkwaliteit en het welzijn van de vissen. Op de tongkwekerij was het TAN-niveau in de tongkwekerij constant laag (max. 0,35 mg/l) vergeleken met de meervalkwekerijen (pieken tot 60 mg/l), waardoor voor tong de pH van het water een meer urgente parameter voor nader onderzoek is om de relatie tussen welzijn en waterkwaliteit te onderzoeken.

Referenties

- Ajani, F., Olukunle, O. A. en Agbede S. A. 2007. Hormonal and haematological responses of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) to nitrite toxicity. *Journal of Fisheries International* 2 (1): 48-53.
- Alderson, R. 1979. The effect of ammonia on the growth of juvenile Dover sole, *Solea solea* (L.) and turbot, *Scophthalmus maximus* (L.). *Aquaculture* 17: 91–309.
- Almazán-Rueda, P., van Helmond, A. T. M., Verreth, J. A. J. en Schrama, J. W. 2005. Photoperiod affects growth, behaviour and stress variables in *Clarias gariepinus*. *Journal of Fish Biology* 67(4): 1029-1039.
- Almazan-Rueda, P., Klein, H., en Verreth, J. A. J. 2001. Effect of photoperiod, light intensity and stock density on voluntary feed intake and growth of the African catfish *Clarias gariepinus*. Burchell. *Aquaculture* 2001. Lake Buena Vista, USA. 16.
- Arjona, J., Vargas-Chacoff, L., Ruiz-Jarabo, I., Martín del Río, M. P., en Mancera, J. M. 2007. Osmoregulatory response of Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) to changes in environmental salinity. *Comp. Biochem. Physiol. A*. 148: 413–421.
- Appelbaum, S., en Van Damme, P. 1988. The feasibility of using exclusively artificial dry feed for the rearing of Israeli catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) larvae and fry. *Journal of applied ichthyology*. 4: 105-110.
- Babiker, M. M. 1979. Respiratory behaviour, oxygen consumption and relative dependence on aerial respiration in the African lungfish (*Protopterus annectens*, Owens) and an air-breathing teleost (*Clarias lazera*, C.). *Hydrobiologia*. 65 (2): 177-187.
- Babiker, M. M. 1984. Aspects of the biology of the catfish *Clarias lazera* related to its economic cultivation. *Hydrobiologica* 110: 295-304.
- Bader, J. A., en Grizzle, J. M. 1992. Effects of ammonia on growth and survival of recently hatched channel catfish. *Journal of aquatic animal health* 4 (1): 17-23.
- Baras, E., Jeandrain, D., Serouge, B., en Philippart, J. C. 1998. Seasonal variation in time and space utilization by radio-tagged yellow eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small stream. *Hydrobiologia* 371/372: 187–198.
- Bath, R. N., en Eddy, E. B. 1980. Transport of nitrite across fish gills. *J. Exp. Zool.* 214: 119–121.
- Baynes, S. M., Howell, B. R., en Beard, T. W. A. 1993. Review of egg production by captive sole, *Solea solea* (L.). *Aqua. Fish. Man.* 24: 171–180.
- Baynes, S. M., en Howell, B. R. 1996. The influence of egg size and incubation temperature on the condition of the *Solea solea* (L.) larvae at hatching and first feeding. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 199: 59–77.
- Baynes, S. M., Howell, B. R. 1993. Observations on the growth, survival and disease resistance of juvenile common sole, *Solea solea* (L.), fed *Mytilus edulis* (L.). *Aqua. Fish. Man.* 24: 95–100.
- Baudin-Laurencin, F. 1986. Sensitivity of the sole (*Solea solea*) to vibriosis. In: Vivares, C. P., Bonami, J. R., and Jaspers, E. (eds.), *Pathology in Marine Aquaculture*. European Aquaculture Society, Special Publication no. 9, Bredene, Belgium, 345–350.
- Brambell, F. W. R. 1965. Report of the Technical Committee to Enquire Into the Welfare of Animals Kept Under Intensive Livestock Husbandry Systems, Her Majesty's Stationery Office, London.

- Bergerhouse, D. L. 1990. Lethal effects of elevated pH and ammonia on early life stages of several sportfish species. Dissertation abstracts international part B: science and engineering. 51 (6): 268.
- Bernadet, J. F., Campbell, A. C., en Buswell, J. A. 1990. *Flexibacter maritimus* is the agent of "black patch necrosis" in Dover sole in Scotland. Dis. Aquat. Org. 8: 233–237.
- Blackburn, J., en Clarke, W. C. 1990. Lack of density effect on growth and smolt quality in zero-age coho salmon. Aquacultural Engineering. 9: 121-130.
- Braithwaite, V. A. en Huntingford, F. A. 2004. Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering? Animal Welfare 13: S87-S92.
- Boeuf, G., en Le Bail, P.-Y. 1999. Does light have an influence on fish growth? Aquaculture 177: 129–152.
- Bovendeur, J., Eding, E. H., en Henken, A. M. 1987. Design and performance of a water recirculation system for high density culture of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture. 63: 329-353.
- Britz, P. J., en Hecht, T. 1987. Temperature preferences and optimum temperature for growth of African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) larvae and post-larvae. Aquaculture. 63: 205-214.
- Britz, P. J., en Hecht, T. 1989. Effects of salinity on growth and survival of African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) larvae. Journal of applied ichthyology. 5: 194-202.
- Bruton, M. N. 1979. The role of diel inshore movements by *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae) for the capture of fish prey. Trans. Zool. Soc. Lond. 35: 115–138.
- Champalbert, G., Marchand, J. en Campion, J. L. 1994. Rheotaxis in juvenile sole *Solea solea* (L.): influence of salinity and light conditions. Neth. J. Sea Res. 32: 309–319.
- Chandoo, K. P., Stephanie, Y en Moccia, R. D. 2004. An evaluation of current perspectives on consciousness and pain in fishes. Fish and fisheries sciences 5: 281–295.
- Chervinski, J. 1984. Salinity tolerance of young catfish, *Clarias lazera* (Burchell). Journal of fish biology. 25 (2): 147-149.
- Cho, C. Y. en Bureau, D. P. A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. Aquaculture Research 32 (Suppl. 1): 349–360
- Clay, D. 1977. Preliminary observations on salinity tolerance of *Clarias lazera* from Israel. Bamidgeh. 29 (3): 102-109.
- Dadebo, E. 2000. Reproductive biology and feeding habits of the catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) (Pisces: Clariidae) in Lake Awassa, Ethiopia, SINET: Ethiop J Sci 23: 231–246.
- Dalla Via, J., Van den Thillart, G., Cattani, O., en De Zwaan, A. 1994. Influence of long-term hypoxia exposure on the energy metabolism of *Solea solea*. II. Intermediary metabolism in blood, liver and muscle. Marine Ecology Progress Series 111: 17–27.
- Dalla Via, J., Van den Thillart, G., Cattani, O., en Cortesi, P. 1998. Behavioural responses and biochemical correlates in *Solea solea* to gradual hypoxic exposure. Can. J. Zool. 76: 2108–2113.
- Devauchelle, N., Alexandre, J. C., Le Corre, N. en Letty, Y. 1987. Spawning of Sole (*Solea solea*) in captivity. Aquaculture 66: 125–147.
- Desmares, S. 1993. Description of mass balances in intensive farming systems of African catfish (*Clarias gariepinus*). M.Sc, Wageningen Agricultural University, Wageningen.

- Dijk van, P. L. M., en Thillart van den, G. E. E. J. M. 1993. The influence of gradual water acidification on the acid/base status and plasma hormone levels in caro. *Journal of fish biology*. 42: 661-671.
- Donnelly, B. G. 1973. Aspects of behaviour of the catfish *Clarias gariepinus* (Pisaces: Clariidae) during periods of habitat desiccation. *Arnoldia*. 6 (9): 1-7.
- Dou, S., Miller, M. J., en Tsukamoto, K. 2003. Growth, pigmentation and activity of juvenile Japanese eels in relation to temperature and fish size. *J. Fish Biol.* 63 (Suppl. A): 152-165.
- Duncan, I. J. H., en Fraser, D. 1997. Understanding animal welfare. In Appleby, M. C., en Hughes, B. O. (Eds), *Animal Welfare*, CABI, Oxford, UK, 19-31.
- Evans, G., Piermarini, P. M., en Choe, K. P. 2005. The Multifunctional Fish Gill: Dominant Site of Gas Exchange, Osmoregulation, Acid-Base Regulation, and Excretion of Nitrogenous Waste. *Physiol. Rev.* 85: 97-177.
- FAO. 2001. FAO yearbook, Fishery Statistics, Aquaculture production 1999, vol 88/2, FAO, Rome.
- FSBI (2002). Fish Welfare. Briefing Paper 2, Fisheries Society of the British Isles, Granta Information Systems, 82A High Street, Sawston, Cambridge CB2 4H.
- Fonds, M. 1976. The influence of T and salinity on the growth of young sole *Solea solea* L. 10th Eur. Ecol. Prog. Ser. 1: 91-99.
- Flüchter, J. 1979. Identification and treatment of diseases in the common sole (*Solea solea* L.). *Aquaculture* 16: 271-274.
- Fuchs, J. 1978. Influence of photo period on growth and survival during rearing of larvae and juvenile sole (*Solea solea*). *Aquaculture* 15: 63-74.
- Ginneken van, V. J. T., en van Eersel, R. 1997. Tilapia are able to withstand long-term exposure to low environment pH, judged by their energy status, ionic balance and plasma cortisol. *Journal of fish biology*. 51: 795-806.
- Graham, J. B. 1997. Air-breathing fishes: evolution, diversity and adaptation. Academic Press, San Diego USA.
- Goudswaard, K. P. C., en Witte, F. 1997. The catfish fauna of Lake Victoria after the Nile perch upsurge. *Env. Biol. Fish.* 49: 21-43.
- Hargreaves, J. A., en Kucuk, S. 2001. Effects of diel un-ionized ammonia fluctuation on juvenile hybrid striped bass, channel catfish, and blue tilapia. *Aquaculture*. 195 (1-2): 163-181.
- Hargreaves, J. A., en Tomasso, J. R. 2004. Biology and culture of channel catfish. In Tucker, C. S., and Hargreaves, J. A., (Eds.), *Environmental Biology*, Edition 2, Elsevier, Amsterdam, 36-69.
- Hassan A. A., Bamidele, A., en Adegbaaju W. A. 2007. Haemoparasites Of *Clarias Gariepinus* And *Synodontis Clarias* From Lekki Lagoon, Lagos Nigeria. *Journal of American Science*. 3(3): 61-67.
- Hatlen, B., Grisdale-Helland, B., en Hjelland, S. J. 2006. Growth variation and fin damage in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) fed at graded levels of feed restriction. *Aquaculture* 261: 1212-1221.
- Hatamoto, K., en Shingyoji, C. 2008. Cyclical training enhances the melanophore responses of zebrafish to background colours. *Pigment Cell & Melanoma Research*. 21 (3): 397-406.
- Haylor, G. S. 1991. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): growth and survival. 152: 67-76

- Haylor, G. S. 1993. Aspects of the biology and culture of the African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) with particular reference to developing African countries. In Muir, J. F. and Roberts, R. J. (Eds.), Recent advances in aquaculture IV. Institute of Aquaculture, Blackwell scientific publications, Oxford, UK, 233-294.
- Hengsawat, K., Ward, F. J., en Jarutjaramorn, P. 1997. The effect of stocking density on yield, growth and mortality of African catfish (*Clarias gariepinus* Burshell 1822) cultured in cages. *Aquaculture* 152: 67–76.
- Hecht, T., en Appelbaum, S. 1988. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae: Pisces) under controlled conditions. *J. Zool. Lond.* 214: 21-44.
- Hecht, T., en Uys, W. 1997. Effect of density on the feeding and aggressive behaviour in juvenile African catfish, *Clarias gariepinus*. *South African Journal of Science.* 93: 537-541.
- Hilmy, A. M., El-domaity, N. A., en Wershana, K. 1987. Acute and chronic toxicity of nitrite to *Clarias lazera*. *Comp. Biochem. Physiol.* 86C (2): 247-253.
- Hogendoorn, H., Jansen, J. A. J., Koops, W. J., Machiels, M. A. M., Van Ewijk, P. H., en Van Hees, J. P. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.) II Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. *Aquaculture.* 34: 265-285.
- Hossain, M. A. R., Beverigde, M. C. M., en Haylor, G. S. 1998. The effects of density, light and shelter on the growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) fingerlings. *Aquaculture.* 160: 251-258.
- Howell, B. R. 1997. A re-appraisal of the potential of the sole, *Solea solea* (L.), for commercial cultivation. *Aquaculture* 155: 359–369.
- Howell, B. R. 1998. The effect of stocking density on growth and size variation in cultured turbot, *Scophthalmus maximus*, and sole *Solea solea*. *ICES CM 1998/L:10.*
- Huntingford, F. A., Adams, C. E., Braithwaite, V. A., Kadri, S., Pottinger, T. G., Sandoe, P., en Turnbull, J. F. 2006. Current issues in fish welfare. *Journal Of Fish Biology* 68 (2): 332-372.
- Imsland, A. K., Folkvord, A., en Stefansson, S. O. 1995. Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different temperatures and photoperiods. *Neth. J. Sea Res.* 34: 149–159.
- Imsland, A. K., Dragsnes, M., en Stefansson, S. O. (2003) Exposure to continuous light inhibits maturation in turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 219: 911–919.
- Ip, Y. K., Chew, S. F., Wilson, J. M., en Randall, D. J. 2004. Defenses against ammonia toxicity in tropical air-breathing fishes exposed to high concentrations of environmental ammonia: a review. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology* 174(7): 565-575.
- IJzerman, H. C. A., Hoogland, J. P., Boon, J. H., en Wit, W. 1996. De Analyse van kwekerijen van Afrikaanse meerval in Nederland. *Aquacultuur* 10, (6): 14-21.
- Job, S. V. 1969. The respiratory metabolism of *Tilapia mossambica* (Teleostei) II. The effect of size, temperature, salinity and partial pressure of oxygen. *Marine Biology* 2: 121-126.

- Kaiser, H., Weyl, O., en Hecht, T. 1995. Observations on agonistic behaviour of *Clarias gariepinus* larvae and juveniles under different densities and feeding frequencies in a controlled environment. *Journal of applied ichthyology*. 11: 25-36.
- Kamstra, A., van den Briel, V., van der Vorst, J., en de Wilde, J. 2001. Farming of sole (*Solea solea*) in recirculation systems; prospects and constraints. In: Abstracts of Contributions Presented at the International Conference Aquaculture Europe 2001. Special Publication no. 29 European Aquaculture Society, 127-128.
- Kebus, M. J., Collins, M. T., Brownfield, M. S., Amundson, C. H., Kayes, T. B., en Malison, J. A. 1992. Effects of rearing density on the stress response and growth of Rainbow trout. *Journal of aquatic animal health*. 4 (1): 1-6.
- Klyszejko, B., Glebocka, G., en Skucinska, E. 1993. Thermic tolerance of *Clarias gariepinus* (African catfish) to rapid changes in water temperature. *Acta Ichthyologica et piscatoria*. 23 (1): 119-124.
- Knepp, G. L., en Arkin, G. F. 1973. Ammonia toxicity levels and nitrate tolerance of channel catfish. *Progressive fish culturist*. 35 (4): 221-224.
- Krainara, T. 1988. Effects of ammonia on walking catfish, *Clarias batrachus* (Linnaeus),", Kasetsart University, Bangkok.
- Lafferty, K. D., en Kuris, A. M. 1999. How environmental stress affects the impacts of parasites. *Limnol. Oceanogr.*, 44 (3, part 2): 925-931.
- LeFrançois, C., en Claireaux, G. 2003. Influence of ambient oxygenation and temperature on metabolic scope and scope for heart rate in the common sole, *Solea solea*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 259: 273-284.
- Lefebvre, S., Bacher, C., Meuret, A., en Hussenet, J., 2001. Modelling approach of nitrogen and phosphorus exchanges at the sediment-water interface of an intensive fishpond system. *Aquaculture* 195: 279-297.
- Lenzi, M., en Salvatori, R. 1989. Management of a module for sole eggs production. In: De Pauw, N., Jaspers, E., Ackefors, H. and Wilkins, N. (eds.), *Aquaculture: A Biotechnology in Progress*. Proceedings of the Aquaculture Europe 1987 Conference. European Aquaculture Society, Bredene, Belgium, 549.
- Lewis, W. M., en Morris, D. P. 1986. Toxicity of nitrite in fish: A review. *Transactions of the American fisheries society*. 115 (2): 183-195.
- Mayes, M., Alexander, H. C., en Hopkins, D. L. 1986. Acute and chronic toxicity of ammonia to freshwater fish: a site-specific study. *Environ. Toxicol. Chem.* 5: 437-442.
- McVicar, A. H., en White, P. G. 1979. Fin and skin necrosis of cultivated Dover sole, *Solea solea*. *J. Fish Dis.* 2: 557-562.
- McVicar, A. H., en White, P. G. 1982. The prevention and cure of infectious disease in cultivated juvenile Dover sole, *Solea solea* (L.). *Aquaculture* 26: 213-222.
- Merron, G. 1993. Pack hunting in two species of *Clarias gariepinus* and *Clarias ngamensis*, in the Okavango Delta, Botswana, *J. Fish Biol.* 43: 575-584.
- Metongo, S. B., Luquet, P., en Oteme, Z. J. 1998. Toxicity of ammonia in the African catfish, *Heterobranchus logifilis*. *Journal ivoirien d'oceanologie et de limnologie*. 3 (1): 17-24.
- Munro, A. D., en Dodd, J. M. 1983. Forebrain of fishes: neuroendocrine control mechanisms. In: G. Nistico and L. Bolis, (Eds), *Progress in Nonmammalian Brain Research* vol. III, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2-78.

- Oellermann, L. K. 1996. A comparison of the aquaculture potential of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) and its hybrid with *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) in southern Africa, Rhodes university, Grahamstown.
- Parra, G. en Yu' fera, M. 2002. Tolerance response to water pH in larvae of two marine fish species, gilthead sea bream, *Sparus aurata* (L.) and Senegal sole, *Solea senegalensis* (Kaup), during development. *Aquac. Res.* 33: 747–752.
- Palachek, R. M., en Tomasso, J. R. 1984. Toxicity of nitrite to channel catfish (*Ictalurus punctatus*), tilapia (*Tilapia aurea*), and largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Evidence for a nitrite exclusion mechanism. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences.* 41 (12): 1739-1744.
- Paperna, I. 1996. Parasite, Infections and Disease of Fishes in Africa- An update. CIFA Technical paper 31: 1-220
- Pinto, W., Aragao, C., Soares, F., Dinis, M. T. en Conceicao, L. E. C. 2007. Growth, stress response and free amino acid levels in Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858) chronically exposed to exogenous ammonia. *Aquaculture Research.* 38: 1198-1204.
- Procarione, L. S., Barry, T. P., en Malison, J. A. 1999. Effects of high rearing densities and loading rates on the growth and stress responses of juvenile Rainbow trout. *North American Journal of Aquaculture.* 61: 91-96.
- Rand, G. M., en Petrocelli, S. R. 1985. Introduction, In G. M. Rand, G. M., and Petrocelli, S. R. (Eds.), *Fundamentals of aquatic toxicology*, Hemisphere publishing, Washington DC, USA, 1-28.
- Richter, C. J. J., Eding, E. H., Verreth, J. A. J., en Fleuren, W. L. G. Year. Broodstock management and egg and larval quality in the African catfish, *Clarias gariepinus*. Workshop on broodstock management and egg and larval quality. Stirling. 243-275.
- Russo, R. C., en Thurston, R. V. 1977. The acute toxicity of nitrite to fishes. In: Tubb R.A. (ed), *Recent Advances in Fish Toxicology*, EPA Ecol Res, U.S. Environ Prot Agen, Corvallis, OR, USA, EPA-600/3-77-085.
- Rose, J. D. 2002. The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Fisheries Sci.* 10: 1–38.
- Salm, van der, A. L., Spanings, F. A. T., Gresnigt, R., Wendelaar Bonga, S. E., en Flik, G. 2005. Background adaptation and water acidification affect pigmentation and stress physiology of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 144: 51-59.
- Sheehan, R. J., en Lewis, W. M. 1986. Influence of pH and ammonia salts on ammonia toxicity and water balance in young channel catfish. *Transactions of the American fisheries society.* 115 (6): 891-899.
- Simensen, L. M., Jonassen, T. M., Imsland A. K., en Stefansson, S. O. 2000. Photoperiod regulation of growth of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 190: 119–128
- Sneddon, L. U. 2002. *Anatomical and electrophysiological analysis of the trigeminal nerve in the rainbow trout, Oncorhynchus mykiss.* *Neurosci. Lett.* 319: 167–171.
- Sneddon, L. U. 2003. Trigeminal somatosensory innervation of the head of the teleost fish with particular reference to nociception. *Brain Res.* 972: 44–52.
- Sneddon, L. U., Braithwaite, V. A., en Gentle, M. J. 2003. Do fish have nociceptors: evidence for the evolution of a vertebrate sensory system. *Proc. Roy. Soc. Lond. B* 270: 1115–1121.
- Smart, G. R., en Knox, D. 1979. Nephrocalcinosis in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson; the effect of exposure to elevated CO₂ concentrations. *Journal of fish diseases.* 2 279-289.

- Sripumun, C., en Somsiri, C. 1982. Acute toxicity of ammonia and nitrite to the walking catfish. Thai fish. gaz. 35 (4): 373-378.
- Spataru, P., Viveen, W. J. A. R., en Gophen, M. 1987. Food composition of *Clarias gariepinus* (= *C. lazera*), (Cypriniformes, Clariidae) in Lake Kinneret (Israel). Hydrobiologica 144: 77-82.
- Straus, D. L., en Tucker, C. S. 1993. Acute toxicity of copper sulfate and chelated copper to channel catfish *Ictalurus punctatus*. Journal of the world aquaculture society. 24 (3): 390-395.
- Tomasso, J. R., Goudie, C. A., Simco, B. A., en Davis, K. B. 1980. Effects of environmental pH and calcium on ammonia toxicity in channel catfish. Trans. Am. Fish. Soc. 109 (2): 229-234.
- Vazzana, M., Cammarata, M., Cooper, E. L., en Parrinello, N. 2002. Confinement stress in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) depresses peritoneal leukocyte cytotoxicity. Aquaculture. 210: 231-243.
- Verreth, J. A. J., en Eding, E. H. 1993. European farming industry of african catfish (*Clarias gariepinus*): facts and figures. Aquaculture Europe. 18 (2): 6-13.
- Viveiros, A. 2002. Semen collection and preservation in African catfish, *Clarias gariepinus*, PhD, Wageningen University, Wageningen.
- Waal van der, B. C. W. 1998. Survival strategies of sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in desiccating pans in the northern Kruger National Park, Koedoe 41: 131-138.
- Wendelaar Bonga, S. E. 1997. The stress response in fish. Physiological reviews. 77 (3): 592-616.
- Wiepkema, P. R., en Koolhaas, J. M. 1993. Stress and animal welfare. Anim. Welfare. 2: 195-218.
- Woiwode, J. G., en Adelman, J. R. 1991. Effects of temperature, photoperiod and ration size on growth of hybrid striped bass × white bass. Transactions of the American Fisheries Society 120: 217-229.
- Wu, G., Chen, K., Luo, J., Lin, G., en Li, D. 1998. The effects of salinity on embryonic development of *Clarias fucus*, *Clarias lazera* and their hybrid F1. Journal of fisheries science of China/Zhonguo Shuichan Kexue. 5 (3): 43-46.
- Keulartz, F. W. J. en Swart, J. A. A. 2009. De intrinsieke waarden van dieren in performance-praktijken. Animal Sciences Group, Wageningen UR. (Rapport / Animal Sciences Group (216).

Verantwoording

Rapport C109/09
Projectnummer: 4304302902

Verantwoording

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het betreffende afdelingshoofd van Wageningen IMARES.

Akkoord: dr. J.W. van der Vis
Onderzoeker

Handtekening:



Datum: 28-10-2009

Akkoord: ir. H.W. van der Mheen
Afdelingshoofd Aquacultuur

Handtekening:



Datum: 28-10-2009