

# Wageningen IMARES BV

## Institute for Marine Resources and Ecosystem Studies

Postbus 68  
1970 AB IJmuiden  
Tel.: 0255 564646  
Fax.: 0255 564644

E-mail: visserijonderzoek.asg@wur.nl  
Internet: www.rivo.wageningen-ur.nl

Vestiging Yerseke  
Centrum voor Schelpdier Onderzoek  
Postbus 77  
4400 AB Yerseke  
Tel.: 0113 672300  
Fax.: 0113 573477

Vestiging Texel  
Postbus 167  
1790 AD Den Burg  
TEXEL  
Tel: 0222 369700  
Fax: 0222 319235

## Rapport

Nummer: C015/06

## De productie van reststromen door de Nederlandse visteelt

Edward Schram<sup>1)</sup>, Vicky Sereti<sup>2)</sup> Fridtjof de Buissonje<sup>3)</sup>, Ep Eding<sup>2)</sup>, Hilko Ellen<sup>3)</sup> en Henk van der Mheen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Wageningen IMARES (vh RIVO)

<sup>2)</sup> Aquaculture and Fisheries Group, Wageningen UR

<sup>3)</sup> Praktijkonderzoek Veehouderij, Wageningen UR

Opdrachtgever: Ministerie van LNV  
Dienst Regelingen  
Contactpersoon: Dhr. R.J. van den Berg  
Postbus 1191  
3300 BD Dordrecht

Project nummer: 354 1223 01

Akkoord: drs. E. Jagtman  
Hoofd Onderzoeksorganisatie

Handtekening: \_\_\_\_\_

Datum: 13 april 2006

Aantal exemplaren: 10  
Aantal pagina's: 90  
Aantal tabellen: 34  
Aantal figuren: 12  
Aantal bijlagen: 3

In verband met de  
verzelfstandiging van de  
Stichting DLO, waartoe tevens  
RIVO behoort, maken wij sinds 1  
juni 1999 geen deel meer uit van  
het Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit. Wij  
zijn geregistreerd in het  
Handelsregister Amsterdam nr.  
34135929  
BTW nr. NL 811383696B04.

De Directie van het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV; opdrachtgever vrijwaart het Nederlands Instituut voor Visserij Onderzoek (RIVO) BV 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 van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave .....	2
Samenvatting, conclusies en aanbevelingen .....	5
1. Inleiding.....	12
2. De productie en afzet van reststromen door de Nederlandse visteelt.....	13
2.1 De Nederlandse visteeltsector.....	13
2.2 De productie van reststromen door recirculatiesystemen .....	13
2.3 Enquête onder viskwekers.....	15
2.4 Nederlandse recirculatiesystemen.....	15
2.5 Wijze van verwerking en afzet van reststromen.....	16
2.6 Afvalwater van viskwekerijen en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) .....	18
3. De samenstelling en de omvang van reststromen op basis van een theoretisch emissiemodel .....	20
3.1 Waarom modelleren?.....	20
3.2 Opbouw van het model.....	20
3.3 Resultaten van de modellering van reststromen .....	23
3.3.1 Inleiding .....	23
3.3.2 Productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector .....	24
3.3.3 De achtergrond van de verschillen in reststroomproductie tussen paling-, meerval en tilapia teelt. ....	25
3.4 Vergelijking van de resultaten van het emissiemodel met gegevens uit de praktijk....	26
4. Het effect van een groeiende Nederlandse visteeltsector op de samenstelling en omvang van reststromen .....	28
4.1 Inleiding .....	28
4.2 Materialen en methoden.....	28
4.2.1 Aanpak .....	28
4.2.2 Groeiscenario's voor de Nederlandse visteeltsector .....	29
4.2.3 Ontwikkelingen op het gebied van visvoerders .....	29
4.2.4 Ontwikkelingen op het terrein van waterzuivering .....	30
4.3 Resultaten.....	30
4.3.1 Productie van afvalstoffen per kilogram eindproduct.....	30
4.3.2 Groeiscenario 1 .....	31

---

4.3.3	Groeiscenario 2 .....	32
4.4	Oorzaken voor de verschillen tussen scenario's .....	32
4.4.1	Productie van stikstof.....	32
4.4.2	Productie van fosfor.....	33
4.4.3	Productie van CZV.....	33
4.4.4	Productie van spuislib .....	34
4.4.5	Productie van effluent .....	34
5.	Reststromen viskwekerijen in veehouderijperspectief.....	35
5.1	Inleiding .....	35
5.2	Stikstof en fosfor .....	35
5.3	Waterverbruik.....	37
6.	De uiteindelijke bestemmingen van de reststromen; veroorzaakt een groeiende Nederlandse visteeltsector een milieuprobleem? .....	38
6.1	Inleiding .....	38
6.2	De bestemming van reststromen van de Nederlandse visteelt in 2004.....	38
6.3	De emissie van stikstof .....	40
6.4	De emissie van fosfor.....	40
6.5	Het gebruik van grondwater .....	41
6.6	De emissie van kooldioxide .....	42
7.	Biologische processen voor de behandeling van opgeloste afvalstoffen in recirculatiesystemen.....	44
7.1	Inleiding .....	44
7.2	nitrificatie in aquacultuur.....	46
7.3	denitrificatie .....	49
7.4	Denitrificatie in aquacultuur .....	50
7.5	Heterotrofe bacteriën (eencellige eiwitten).....	53
7.6	Polychaeten (zeewater) .....	55
7.7	Fototrofe organismen.....	56
7.8	Fototrofe organismen in aquacultuur.....	57
8.	Toepassing van mestverwerkingstechnieken uit de veehouderij voor de verwerking van slib en effluent van viskwekerijen .....	60
8.1	Trommelfiltereffluent, bezonken slibfractie en effluent nabezinking.....	60

---

8.2	Efficiëntie van de nazuivering.....	60
8.3	Aanwending of verwerking van de bezonken fractie .....	61
8.4	Technieken met geen of weinig perspectief.....	61
8.4.1	Composteren, drogen, verbranden, vergassen, indampen, drogen en korrelen .....	61
8.4.2	Hygiënisatie .....	62
8.4.3	Vergisting .....	62
8.4.4	Opmenging van bezonken vissemest met toeslagstoffen ("mest op maat").....	62
8.4.5	Strippen.....	63
8.5	Technieken met mogelijk perspectief:.....	64
8.5.1	Scheiding.....	64
8.5.2	Beluchting (nitrificatie/denitrificatie).....	64
8.5.3	Scheiden, ultrafiltratie, omgekeerde osmose .....	66
8.5.4	Scheiden, verdampen, strippen, scrubben.....	67
8.5.5	Precipitatie .....	68
8.5.6	Samenvatting.....	69
8.6	Verwerken of lozen op het riool ?.....	70
8.7	Conclusie .....	70
8.8	Aanbevelingen.....	71
9.	Energiebesparing.....	72
9.1	Mogelijke energiebesparende maatregelen.....	72
9.2	Toepassing van aardwarmte en warmte-opslag in de bodem.....	72
10.	Literatuur.....	75
Bijlage 1	Tabellen	
Bijlage 2	Figuren	
Bijlage 3	Enquête onder viskwekers	

## Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

### *Inleiding*

In opdracht van het ministerie van LNV is onderzoek verricht naar de productie van reststromen door de Nederlandse visteelt en de beschikbaarheid van technische maatregelen om de productie van reststromen te beperken en te beheersen. Het belangrijkste doel van de studie was te onderzoeken of een groeiende Nederlandse visteeltproductie leidt tot een nieuw milieuprobleem.

### *De productie en afzet van reststromen door de Nederlandse visteelt*

De kweek van vis vindt in Nederland vrijwel uitsluitend plaats in recirculatiesystemen. In dergelijke systemen wordt het door de vis vervuilde kweekwater binnen het kweekstelsel gezuiverd en daarmee geschikt gemaakt voor hergebruik. Het kweekwater wordt continu rondgepompt tussen tanks met vissen en een interne waterzuiveringsinstallatie. Op deze wijze wordt de benodigde hoeveelheid water voor de kweek van vis in grote mate beperkt in vergelijking met een doorstroomsysteem. Daarnaast wordt energie bespaard door hergebruik van al verwarmd water. Een relatief klein deel van het kweekwater (5-20% van het totale volume per dag) verlaat continu het kweekstelsel en wordt vervangen door verversingswater. Het water dat op deze wijze het kweekstelsel verlaat vormt een reststroom met daarin opgeloste en gesuspendeerde stoffen. Dit zijn voerresten en de uitscheidingsproducten van de vissen en de stoffen die hieruit gevormd zijn als gevolg van de omzettingsprocessen in het kweekstelsel.

Onder de Nederlandse viskwekers is een schriftelijke, anonieme enquête uitgevoerd met als doelen het krijgen van inzicht in de wijze waarop reststromen worden afgezet, uit welke componenten de recirculatiesystemen bestaan en welke veranderingen en aanpassingen in de toekomst plaats zullen vinden. Deze informatie is gebruikt ten behoeve van de modellering van de productie van reststromen (zie hieronder). Uit de enquête volgt dat het effluent van het viskweekstelsel vaak wordt nabehandeld in een nabezinker voordat het de viskwekerij verlaat. In de nabezinker wordt het effluent van de viskwekerij gescheiden in een vloeibare en een vaste fractie. De wijze waarop deze twee reststromen afgezet worden verschilt per fractie en per individueel bedrijf. De belangrijkste afzetkanalen voor de vloeibare fractie zijn lozing op het riool, infiltratie in de bodem en uitrijden over het land. De vaste fractie wordt in vrijwel alle gevallen uitgereden over het land.

Nabehandeling van het effluent van viskwekerijen voorafgaand aan lozing van de vloeibare fractie op het riool, resulteert in door rioolwaterzuiveringen lastiger te zuiveren afvalwaterstroom dan wanneer het effluent van de viskwekerij onbehandeld op het riool geloosd zou worden. Rechtstreekse lozing op het riool resulteert echter in een hogere lozingsheffing, hetgeen rechtstreekse lozing voor de ondernemer financieel onaantrekkelijk maakt.

### *De samenstelling en omvang van reststromen op basis van een theoretisch emissiemodel*

Om de totale productie van reststromen door de huidige en toekomstige Nederlandse visteeltsector te kunnen berekenen is een emissiemodel gebouwd in MS Excel. De basis van dit model is dat alle nutriënten via het visvoer de viskwekerij binnenkomen en vervolgens in de vis terecht komen of anderszins een reststroom vormen. Belangrijke factoren hierin zijn de samenstelling van het visvoer en de vis, de vertering en benutting van het visvoer door de vis en de omzettingsprocessen zoals deze op viskwekerijen plaatsvinden.

Met het model is de huidige (2004) productie van reststromen door de Nederlandse visteelt berekend. Voor de uitgangspunten van deze berekening wordt verwezen naar Tabel 3.1 en 3.2. Hieronder worden de belangrijkste bevindingen samengevat voor stikstof, fosfor en organische stof. Algemeen geldt dat de omvang en samenstelling van op viskwekerijen geproduceerde reststromen verschillen tussen individuele bedrijven als gevolg van de teelt van verschillende vissoorten en verschillen in recirculatiesystemen en nabehandelingen. Verschillen in reststroomproductie tussen vissoorten zijn het gevolg van verschillen in samenstellingen van de vis, het gebruikte visvoer en vertering en benutting van visvoerders.

### Stikstof

Op viskwekerijen wordt 60 tot 80% van de totale hoeveelheid stikstof die via het voer binnenkomt niet vastgelegd in kweekvis. Een groot deel van deze stikstofproductie, 50-80%, wordt al op de viskwekerijen omgezet tot stikstofgas. Stikstofgas wijkt uit naar de lucht en vormt geen bedreiging voor het milieu aangezien ca. 80% van onze atmosfeer uit stikstofgas bestaat. Alle hieronder vermelde stikstofproducties zijn exclusief stikstofgas.

Uit modellering van de productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector volgt dat in 2004 bij een productie van ruim 10.000 ton marktwaardige vis, de totale stikstofproductie 229 ton bedroeg. Van de totale stikstofproductie werd in 2004 gemiddeld ca. 15% uitgescheiden via de vaste fractie en 85% via de vloeibare fractie van de reststroom.

### Fosfor

Op viskwekerijen wordt 40 tot 80% van de totale hoeveelheid fosfor die via het voer binnenkomt niet vastgelegd in kweekvis. Op viskwekerijen wordt fosfor niet daadwerkelijk verwijderd uit de reststroom. Alle niet in kweekvis vastgelegde fosfor moet daarom als reststroom worden aangemerkt.

Uit modellering van de productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector volgt dat in 2004 bij een productie van ruim 10.000 ton marktwaardige vis, de totale fosforproductie 107 ton bedroeg. Van de totale fosforproductie wordt gemiddeld ca. 70% uitgescheiden via de vaste fractie en 30% via de vloeibare fractie van de reststroom.

### Organische stof

Op viskwekerijen wordt 50 tot 70% van de totale hoeveelheid organische stof die via het voer binnenkomt niet vastgelegd in kweekvis. Een groot deel van deze organische stofproductie, 80-90%, wordt al op de viskwekerijen omgezet tot anorganisch kooldioxide en wijkt uit naar de lucht. De omzetting van organische stof naar kooldioxide is het gevolg van de metabolisering van organische stof door de kweekvis en de in het kweekstelsel aanwezige bacteriële biomassa.

Uit modellering van de productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector volgt dat in 2004 bij een productie van ruim 10.000 ton marktwaardige vis, de totale organische stofproductie 960 ton CZV bedroeg. Van de totale organische stofproductie werd in 2004 gemiddeld ca. 77% uitgescheiden via de vaste fractie en 23% via de vloeibare fractie van de reststroom.

### *Het effect van een groeiende Nederlandse visteeltsector op de samenstelling en omvang van reststromen*

De toekomstige productie van reststromen is afhankelijk van de groei van de Nederlandse visteeltproductie, de opkomst van nieuwe vissoorten als kweekvis, veranderingen in samenstelling en benutting van visvoerders en veranderingen in op viskwekerijen toegepaste waterzuiveringstechnieken. De verwachte toekomstige productie van reststromen is met het emissiemodel berekend voor twee groeiscenario's voor de Nederlandse visteeltsector. Deze groeiscenario's verschillen in totale productie in 2015 (32.000 ton/jaar en 48.000 ton/jaar) en in de soortensamenstelling van de productie. Voor beide groeiscenario's is de minimale en de maximale verwachte productie van reststromen berekend. De minimale productie van reststromen is tot stand gekomen door aan te nemen dat alle verwachte verbeteringen op het gebied van visvoerders en waterzuivering daadwerkelijk toegepast worden door de gehele Nederlandse visteeltsector. De maximale productie van reststromen is tot stand gekomen door aan te nemen dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering de situatie in 2015 ongewijzigd is gebleven ten opzichte van 2004. Voor alle uitgangspunten van de modelleringen wordt verwezen naar Tabel 4.1, 4.2 en 4.3. De werkelijke toekomstige producties van reststromen liggen waarschijnlijk binnen de range die wordt begrensd door het berekende minimum en maximum.

Uit de modellering volgt dat wanneer de Nederlandse visteeltproductie groeit naar 32.000 ton/jaar de totale verwachte stikstofproductie minimaal 166 en maximaal 673 ton/jaar bedraagt. Voor de verwachte fosforproductie geldt dat deze berekend is op minimaal 240 en maximaal 345 ton/jaar. De minimale en maximale producties van organische stof zijn berekend op respectievelijk 875 en 3591 ton CVZ/jaar. Het grote verschil tussen de minimale en

maximale productie van organische stof wordt veroorzaakt door het feit dat een groot deel (90%) van de organische stof op de viskwekerij kan worden afgebroken.

Voor de situatie waarin de Nederlandse visteelt productie groeit naar 48.000 ton/jaar is berekend dat de totale verwachte stikstofproductie minimaal 248 en maximaal 801 ton/jaar bedraagt. Voor de verwachte fosforproductie geldt dat deze berekend is op minimaal 306 en maximaal 462 ton/jaar. De minimale en maximale producties van organische stof zijn onder deze omstandigheden berekend op respectievelijk 1318 en 4591 ton CVZ/jaar.

Door toepassing van denitrificatie binnen het recirculatiesysteem, in de nabehandeling van het effluent van de viskwekerij of op beide locaties, is het mogelijk om een zeer groot deel (95%) van de stikstof die via het voer de viskwekerij binnenkomt, op de viskwekerij om te zetten in stikstofgas. Eventuele milieubelastende uitstoot van stikstof door viskwekerijen is daardoor te beperken.

Door optimalisatie van de nabehandeling van het effluent van viskwekerijen en door het gebruik van het in het viskweekwater aanwezige koolstof als koolstofbron voor denitrificatie, is een groot deel (90%) van de geproduceerde organische stof te verwijderen uit de reststromen. De organische stof wordt hierbij omgezet in kooldioxide en wijkt uit naar de lucht.

Het verwijderen van fosfor uit het effluent van viskwekerijen is in werkelijkheid een concentratie van fosfor in een vaste fractie. Dit resulteert niet in een reductie van de totale fosforuitstoot. Concentratie van fosfor in een vaste fractie biedt echter wel de mogelijkheid tot gecontroleerde afzet van fosfor. Visvoerders bevatten relatief hoge gehalten aan fosfor in vergelijking met de fosforgehalten van kweekvis. Als gevolg hiervan vormt een relatief groot deel van de fosfor die via het voer viskwekerijen binnenkomt een reststroom. Een beperking van de uitstoot van fosfor kan bereikt worden door een verlaging van het fosforgehalten van visvoerders en het verbeteren van de beschikbaarheid van het fosfor in het voer.

#### *De productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in veehouderijperspectief*

Ten einde de reststroomproductie door de Nederlandse visteelt in perspectief te kunnen plaatsen zijn de resultaten van de modellering vergeleken met de emissies vanuit de Nederlandse veehouderij. Hieruit volgt dat de productie van stikstof en fosfor door de Nederlandse visteelt zeer beperkt is: respectievelijk 0,05 en 0,10% van de stikstof- en fosforproductie door de gehele Nederlandse veehouderij in 2004. Flinke groei van de Nederlandse visteeltproductie tot 48.000 ton/jaar brengt hier nauwelijks verandering in. In die situatie komt de totale stikstof- en fosforproductie door de Nederlandse visteelt overeen met respectievelijk maximaal 0,18 en maximaal 0,64% van de stikstof- en fosforproductie door de gehele Nederlandse veehouderij, uitgaande van de veehouderijproducties in 2004. De geringe bijdrage van visteelt aan de gehele stikstof- en fosforproductie wordt veroorzaakt door het grote verschil in totale productie van eindproducten door visteelt in vergelijking met veehouderij.

Per kg eindproduct produceren paling en tilapia meer stikstof en fosfaat als reststroom dan vleeskuikens en vleesvarkens. Dit is het gevolg van het benutten van eiwitten als voornaamste energiebron door vis en de lage fosforbenutting door vis. De stikstof- en fosforproducties door meerval zijn vergelijkbaar met die van vleesvarkens en vleeskuikens. Dit wordt met name veroorzaakt door de lage voederconversie van meerval waardoor het effect van eiwit als energiebron en de lage fosforbenutting gecompenseerd worden.

#### *De uiteindelijke bestemmingen van de reststromen; veroorzaakt een groeiende Nederlandse visteeltsector een milieuprobleem?*

De bovenstaande vraag is beantwoord door de omvang van de verwachte toekomstige reststroomproductie te vergelijken met de productie van reststromen door de gehele Nederlandse veehouderij en ook de uiteindelijke bestemmingen van de reststromen uit de visteelt in beschouwing te nemen.

Uit een vergelijking met de reststroomproducties door de Nederlandse veehouderij blijkt dat de huidige visteeltsector nauwelijks bijdraagt aan de totale productie van stikstof en fosfaat en dat een flinke groei van de sector hier nauwelijks verandering in brengt. Daar komt bij dat een aanzienlijk deel van de stikstof en fosforuitstoot, respectievelijk 41 en 26%, op het riool geloosd wordt. Door het uitrijden van de vaste fractie van de reststroom (spuislib) op het land

wordt een deel van de daarin aanwezige nutriënten opnieuw benut voor plantaardige productie. Hoe groot dit deel precies is, is moeilijk aan te geven omdat de beschikbaarheid en benutting van nutriënten afkomstig uit Nederlandse recirculatiesystemen door gewassen niet onderzocht is.

Afzet van reststromen door lozing op het oppervlakte water of infiltratie in de bodem is gebonden aan regelgeving en vergunningen hetgeen zou moeten kunnen voorkomen dat reststromen uit de visteelt een te grote belasting van het milieu veroorzaken.

Het vaststellen van de daadwerkelijke bijdrage van de Nederlandse aquacultuur aan de totale Nederlandse kooldioxide-emissie vraagt om een uitgebreide analyse die buiten het kader van deze studie valt. De berekende kooldioxide-emissies in 2004 van 11.000ton/jaar is te verwaarlozen ten opzichte van de totale Nederlandse emissie van 180 miljoen ton/jaar. De groei van de visteeltproductie naar 48.000 ton vis/jaar verandert daar niets aan.

Op basis van het bovenstaande wordt geconcludeerd dat een groeiende kweekvisproductie geen nieuw milieuprobleem veroorzaakt.

#### *Biologische processen voor de behandeling van opgeloste afvalstoffen in de visteelt*

Trickling filters zijn in Nederland het meest gebruikte biofilter type voor nitrificatie op viskwekerijen. Van denitrificatie is aangetoond dat het toepasbaar is binnen recirculatie systemen. Het onderzoek hiernaar is echter beperkt en met name afkomstig van experimentele en pilot systemen. Gemeten denitrificatiesnelheden lopen sterk uiteen (1-166mg NO<sub>3</sub>-N/l/uur) als gevolg van verschillen in reactortype en gebruikte koolstofbron. Zowel in het systeem aanwezige organische stof als ook toegevoegde organische stoffen kunnen fungeren als koolstofbron voor denitrificatie. Het gebruik van de interne koolstofbron verdient de voorkeur vanwege de lagere kosten en de netto reductie van de uitstoot van organische stoffen door het kweekstelsel. In de Nederlandse visteelt treedt denitrificatie met name min of meer spontaan op in bezinkers op meervalkwekerijen en wordt op een klein aantal kwekerijen in *moving bed* reactoren toegepast.

Onderzoek heeft aangetoond dat het mogelijk is om eiwitrijke bacteriën (single cel proteïne) te kweken op het afvalwater van meervalkwekerijen. Een meervalkwekerij met een jaarlijkse productie van 100ton zou circa 8,5 ton bacterie-eiwit moeten kunnen produceren. Deze eiwitten kunnen worden toegepast voor de voeding van mens en dier. De uitstoot van stikstof vermindert met 90% en die van ortho-fosfaat met 80%. Het proces bevindt zich nog in de onderzoeksfase en moet nog verder geoptimaliseerd worden en scheiding en oogst technieken voor de cellen moeten nog verder worden ontwikkeld voordat dit goed in een recirculatiesysteem is in te passen. Een andere mogelijkheid om reststromen uit de aquacultuur om te zetten in bruikbare producten is het benutten van vaste afvalstoffen door "filter feeders". Deze organismen beschikken over de mogelijkheid om deeltjes die een aquacultuur kweekstelsel produceert in te vangen en te benutten. Polychaeten (zagers) kunnen bijvoorbeeld groeien op een dieet van detritus en bacteriën, en kunnen hiervoor in aanmerking komen. Deze mogelijkheid is slechts beperkt onderzocht maar de eerste resultaten laten zien dat de stikstof in de vaste fractie van de reststroom kan worden omgezet in een hoogwaardig product in de vorm van zagers.

Het idee om algen in te zetten voor de biologische zuivering van afvalwater is al 40 jaar oud. Micro- en Macro-algen zijn in staat om stikstof en fosfaat uit het afvalwater te verwijderen en tevens te voorzien van zuurstof. Belangrijk knelpunt voor toepassing in Nederland is het benodigde grote oppervlak en het niet jaarrond (ca. 240 dagen/jaar) kunnen draaien als gevolg van ons klimaat. Voor een meervalkwekerij met een productie van 100ton/jaar is circa 15-17ha nodig voor algenkweek waarmee dagelijks circa 180kg algen geproduceerd worden. Voor toepassing in Nederland zijn intensieve systemen nodig. Hier wordt momenteel onderzoek aan verricht. Vanwege de hoge kosten van algenproductie is de productie van een hoogwaardig product van belang.

#### *De toepassing van mestverwerkingstechnieken uit de veehouderij in de visteelt*

Verschillende mestverwerkingstechnieken die ontwikkeld zijn of in ontwikkeling zijn voor de veehouderij, zijn getoetst op toepasbaarheid voor de verwerking van de vaste fractie van de reststroom afkomstig van viskwekerijen, het spuislib. Hieruit volgt dat het lage droge stof gehalte van het spuislib een belangrijke beperkende factor is voor de toepassing van de



meeste technieken voor mestverwerking. Verder indikken van het spuislib zou meer mogelijkheden tot verwerking bieden. Een aantal zogenaamde 'natte' verwerkingstechnieken, zoals omgekeerde osmose, worden als mogelijk kansrijk betiteld en verdienen nader onderzoek.

#### *Energiebesparende maatregelen*

Ten behoeve van de besparing van energie op viskwekerijen is warmte-opslag in de bodem in combinatie met een warmtepomp wellicht een goede optie. Verder onderzoek moet echter uitwijzen of dit economisch haalbaar is. Met name de bedrijfsgrootte zal daarbij een belangrijke factor zijn.

### **Aanbevelingen**

#### *Zoveel mogelijk viskwekerijen op het riool laten lozen*

Door het lozen van reststromen van viskwekerijen op het riool wordt voorkomen dat deze in het milieu terechtkomen. Aanbevolen wordt daarom het lozen op het riool te stimuleren.

Lozing op het riool is echter niet vanzelfsprekend. Om een aantal redenen zullen niet alle viskwekerijen lozen op het riool:

- 1) Het ontbreken van riolering
- 2) Het niet toestaan van de lozing door het waterschap
- 3) Lozingsheffingen
- 4) Verplichte infiltratie in de bodem

Ad1) Niet overal in Nederland is het mogelijk een viskwekerij aan te sluiten op het riool vanwege het ontbreken van een riolering in buitengebieden.

Ad 2) Het kweken van zeevis leidt tot een effluent met een hoge saliniteit en een hoog chloride gehalte. Het lozen van zoutwater op het riool wordt door vele waterschappen niet toegestaan. Het enige alternatief is het lozen op zout of brak oppervlakte water.

Ad 3) Lozingsheffingen kunnen een aanzienlijk deel uitmaken van de kostprijs van de kweekvis. Ondernemers zullen in een aantal gevallen om die reden alternatieve afzetmogelijkheden voor reststromen willen benutten.

Ad 4) Onder andere in de provincie Brabant worden geen vergunningen voor de onttrekking van grondwater meer verleend wanneer het water niet wordt teruggevoerd in de bodem. Lozing op het riool is dan niet mogelijk.

#### *Bemestingsplannen voor het uitrijden van spuislib op laten stellen*

In de praktijk wordt een groot deel van de vaste fractie van de reststroom uit een viskwekerij (spuislib) en de daarin aanwezige stoffen uitgereden over het land. Niet bekend is of de maximale stikstof- en fosforgiften hierbij in beschouwing worden genomen. Wanneer dat inderdaad niet gebeurt, is het mogelijk dat door overschrijding van de maximale giften, lokale milieuproblemen ontstaan. Dit kan voorkomen worden door de stikstof- en fosforgift via spuislib door de gebruikers van het betreffende perceel mee te nemen in het bemestingsplan voor het perceel.

#### *Onderzoek naar de benutting van meststoffen afkomstig uit spuislib door gewassen*

Op dit moment is niet bekend in welke mate meststoffen afkomstig uit spuislib daadwerkelijk benut worden door gewassen. Daarom wordt onderzoek naar de benutting van meststoffen uit spuislib in relatie tot gewassoort en ook de behandeling van het spuislib op de viskwekerij aanbevolen. Op basis van de inzichten die dergelijk onderzoek oplevert, kunnen de meststoffen in spuislib doelmatig worden ingezet voor plantaardige productie.

#### *Onderzoek naar kansrijke alternatieve vormen van mestverwerking*

Het lage droge stofgehalte van het bezonken effluent van viskwekerijen is een belangrijke beperkende factor voor het toepassen van mestverwerkingstechnieken uit de veehouderij. Daar wordt aanbevolen te onderzoeken of het scheiden van bezonken vissenmest een kwalitatief hoogwaardige dikke fractie op kan leveren die zich leent voor verdere verwerking, zoals compostering. Daarnaast wordt aanbevolen te onderzoeken of zogenaamde "natte" verwerkingstechnieken (denitrificatie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose, precipitatie) technisch en economisch haalbaar zijn op bedrijfs- en/of regionaal niveau. Hierbij dienen de

benodigde arbeid en milieueffecten meegenomen te worden en vergeleken te worden met die van lozing op het riool en behandeling in een rioolwaterzuiveringsinstallatie.

*Onderzoek aan denitrificatie*

Voor een brede toepassing van denitrificatie door de Nederlandse visteeltsector is onderzoek naar de optimale procescondities op commerciële kwekerijen noodzakelijk. Het benutten van de interne koolstofbron verdiend de voorkeur.

*Onderzoek aan het terugwinnen van nutriënten uit reststromen*

De productie van bacteriële eiwitten, zagers en algen op basis van reststromen uit visteelt biedt de mogelijkheid om de reststroom te verkleinen, nutriënten terug te winnen uit de reststroom en nuttige producten te maken. Al deze processen bevinden zich echter nog in de onderzoeksfase. Verder onderzoek naar opschaling en de optimale procescondities onder Nederlandse omstandigheden is nodig om deze processen op commerciële schaal in te kunnen zetten

# 1. Inleiding

De aquacultuur is wereldwijd de snelst groeiend voedselproducerende bedrijfstak. Ook in Nederland wint de nu nog relatief kleine sector aan belang. De verwachting is dat de productie van gekweekte vis de komende jaren sterk zal groeien en dat ook het aantal gehouden soorten in Nederland zal toenemen.

Het ministerie van LNV onderkent de potentie van de aquacultuur. Tegelijkertijd onderkent zij dat aan een groei van de aquacultuur ook maatschappelijke risico's zijn verbonden. De overheid wil door het stellen van randvoorwaarden en het wegnemen van onnodige belemmeringen verdere groei van de sector op een duurzame wijze mogelijk maken.

Een van de randvoorwaarden is dat bij verdere groei van de aquacultuur, afvalproducten geen probleem gaan vormen voor het milieu. In Nederland wordt nagenoeg alle vis in recirculatiesystemen gekweekt, waarmee een kweker goede controle heeft over zijn systeem en alle reststromen kan beheersen. Negatieve effecten op het milieu zijn beperkt, maar ook deze systemen kennen een reststroom. Het is van belang om deze stromen goed in kaart te brengen, zodat bij de groei van de sector duidelijk wordt wat de omvang van de reststromen zal zijn. Daarnaast kunnen technieken ontwikkeld worden waarmee de omvang van de reststroom verminderd kan worden, of waarmee de reststroom verwerkt kan worden tot producten waaraan behoefte is.

De doelstellingen van het huidige onderzoek waren:

1. De productie en bestemming van reststromen door de huidige Nederlandse visteeltsector in kaart brengen, zowel kwalitatief als kwantitatief;
2. Het effect vaststellen van een groeiende en zich ontwikkelende Nederlandse visteeltsector op de productie van reststromen, zowel kwalitatief als kwantitatief;
3. De toepassingsmogelijkheden van mestverwerkingstechnieken uit de veehouderij in de visteelt te onderzoeken.
4. De mogelijkheden voor besparing van het energieverbruik in de visteelt te onderzoeken
5. Het in kaart brengen van nieuwe technieken voor waterzuivering in recirculatiesystemen
6. De huidige en toekomstige productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector in het perspectief van de gehele Nederlandse veehouderij plaatsen.
7. Vaststellen of een groeiende Nederlandse visteeltsector leidt tot een toekomstig milieuprobleem.

Onder reststromen worden verstaan de opgeloste en gesuspendeerde stoffen die zich in het effluent van het recirculatiesysteem bevinden en de gasvormige stoffen die als gevolg van omzetting van deze stoffen geproduceerd worden.

Bij het eventueel verder verwerken van de kweekvis tot eindproducten ontstaan ook reststromen, bijvoorbeeld in de vorm van slachtafval. Deze reststromen worden echter in deze studie buiten beschouwing gelaten.

## 2. De productie en afzet van reststromen door de Nederlandse visteelt

### 2.1 De Nederlandse visteeltsector

Ten opzichte van andere vormen van dierlijke productie in Nederland vormt visteelt slechts een kleine sector. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de samenstelling en omvang Nederlandse visteeltsector. Producenten van siervissen en vissen voor de hengelsport zijn buiten beschouwing gelaten. Gegevens omtrent de aantallen viskwekerijen en de bijbehorende productie van kweekvis worden niet centraal geregistreerd. De in tabel 2.1 vermelde gegevens zijn daarom schattingen.

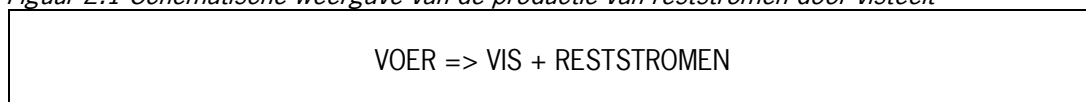
*Tabel 2.1 De omvang en samenstelling van de Nederlandse visteeltsector in 2004*

Vissoort	Aantal bedrijven	Totale productie (ton/jaar)	Gemiddelde productie per locatie (ton/jaar)
Paling	50	4900	100
Meerval	30	4000	130
Tilapia	5	1200	240
Tarbot	2	100	50
Zeebaars	1	20	20
Tong	1	-	-
Snoekbaars	1	50	50
Totaal	90	10.270	115

### 2.2 De productie van reststromen door recirculatiesystemen

De productie van kweekvis heeft de productie van reststromen tot gevolg. Deze reststromen ontstaan doordat niet alle nutriënten die via het voer op de viskwekerij worden geïntroduceerd uiteindelijk worden omgezet in kweekvis. Alle nutriënten die via het voer in het viskweekstelsel worden geïntroduceerd en niet door de vis worden vastgelegd in de vorm van groei moeten als reststroom beschouwd worden (Figuur 2.1).

*Figuur 2.1 Schematische weergave van de productie van reststromen door visteelt*



De vorm, omvang en samenstelling van de reststromen die de viskwekerij uiteindelijk verlaten, zijn sterk afhankelijk van de omzetting- en verwijderingsprocessen die op de viskwekerij plaatsvinden. De processen die binnen het recirculatiecircuit plaatsvinden zijn primair gericht op het handhaven van een voor de vissen acceptabele waterkwaliteit met als doel een groot deel van het kweekwater te kunnen hergebruiken. Daarnaast wordt in veel gevallen het effluent van het recirculatiesysteem nabehandeld voordat het geloosd wordt. Tijdens deze nabehandelingstap wordt eveneens een deel van de geproduceerde reststromen omgezet of geconcentreerd in een van de fracties waaruit de totale reststroom bestaat. De voornaamste processen die plaatsvinden binnen recirculatiesystemen en ook in nabezinkers zijn:

Nitrificatie: de omzetting van ammonia in nitraat door nitrificerende bacteriën in biologische filters.

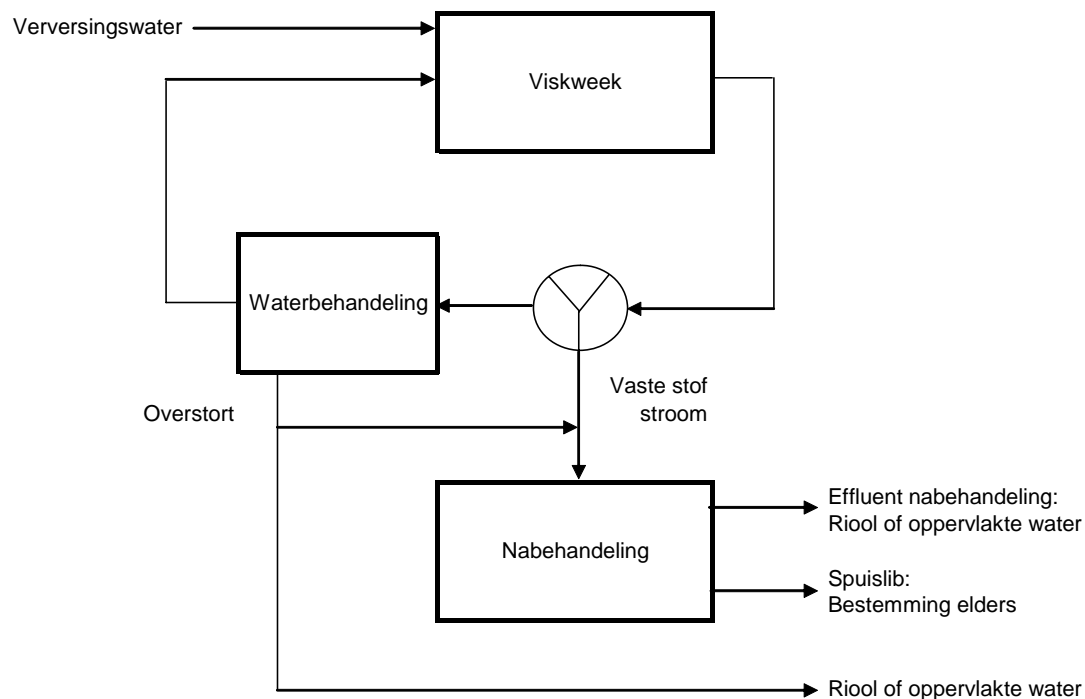
Denitrificatie: de omzetting van nitraat tot stikstofgas. Denitrificatie kan spontaan plaatsvinden op plaatsen in het recirculatiesysteem waar de zuurstofconcentratie laag is, bijvoorbeeld in bezinkers. Daarnaast vindt denitrificatie plaats in daartoe geïnstalleerde reactoren. Bij denitrificatie wordt ook organisch materiaal verbruikt.

Productie en afbraak van organische stof: heterotrofe bacteriën breken organische stoffen af tot kooldioxide in met name biologische filters. Organisch materiaal wordt gevormd door de productie van bacteriële biomassa. Per saldo vindt afbraak van organische stof plaats.

Afscheiding van vaste stoffen: door mechanische filtratie (drumfilters) en/of bezinking (bezinkers en opstroomfilters)

De vaste stof afscheider produceert een reststroom waarin vaste stoffen zijn geconcentreerd. Een groot deel van het kweekwater verlaat uiteindelijk het recirculatiesysteem langs deze weg. Daarnaast kan een deel van het kweekwater het recirculatiesysteem via een overstort verlaten wanneer meer verversingswater het recirculatiesysteem binnen komt dan dat er kweekwater het systeem verlaat via de vaste stof afscheider. Het effluent van de vaste stof afscheider en de overstort vormen tezamen het effluent van het recirculatiesysteem. Dit effluent wordt of geloosd op riool of oppervlakte water of ondergaat eerst een nabehandeling. Deze nabehandeling bestaat in de meeste gevallen uit nabezinking. In de nabezinker wordt de vloeibare en de vaste fractie van het effluent van elkaar gescheiden. De vloeibare fractie wordt geloosd op het oppervlaktewater of het riool. De vaste fractie wordt periodiek uit de nabezinker verwijderd en krijgt een bestemming elders (zie hieronder). Figuur 2.2 geeft een schematische weergave van de productie van reststromen door visteelt in een recirculatiesysteem. De uiteindelijke reststroom bestaat uit het effluent van het recirculatiesysteem of uit het effluent van de nabezinker en de vaste fractie in de nabezinker.

*Figuur 2.2 Schematische weergave van de productie van reststromen als gevolg van de productie van vis in een recirculatiesysteem*



## 2.3 Enquête onder viskwekers

Om inzicht te verkrijgen in de wijze waarop viskwekers in Nederland omgaan met reststromen, de omvang van reststromen en om kengetallen te verzamelen ten behoeve van de modellering van reststromen (hoofdstuk 3) is een schriftelijke enquête gehouden onder Nederlandse viskwekers. De volledige vragenlijst is opgenomen in Bijlage 3 van dit rapport. Alle 96 bij het RIVO bekende viskwekers hebben de schriftelijke vragenlijst toegestuurd gekregen. In totaal zijn 18 ingevulde enquêtes teruggestuurd naar RIVO. Tabel A in Bijlage 1 geeft een overzicht van de bedrijfsgrootte van de viskwekerijen waarvan een ingevulde enquête is ontvangen. Tabel 2.2 geeft per vissoort het aantal viskwekerijen weer waarvan een ingevulde enquête is ontvangen evenals de totale productie van die kwekerijen en het relatieve aandeel in de totale Nederlandse productie in 2004 van deze soort. Hieruit blijkt dat de respondenten een redelijk dwarsdoorsnede van de Nederlandse visteeltsector vertegenwoordigen. De resultaten van de enquête worden op verschillende plaatsen in dit rapport gebruikt.

*Tabel 2.2 Overzicht van de geënquêteerde viskwekerijen*

Vissoort	Aantal geënquêteerde viskwekerijen	Totale productie (ton/jaar)	Aandeel in totale NL productie van de soort (%)
Meerval	10	927	23%
Paling	6	252	5,1%
Tilapia	1	80	7%
Tarbot	1	20	17%

## 2.4 Nederlandse recirculatiesystemen

In de enquête is gevraagd aan te geven uit welke componenten het huidige recirculatiesysteem is opgebouwd. Daarnaast is gevraagd of de viskweker het voornemen heeft om in de komende vijf jaar het systeem uit te breiden of aan te passen en, zo ja, met welke onderdelen. Tabel 2.3 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 2.3 De opbouw van recirculatiesystemen en nabehandelingssystemen in 2005 en de verwachte uitbreiding hiervan in de komende 5 jaar.

Kwekerij Soort*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13/14	15	16	17	18
	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P/M	Ti	Ta	M	P
<b>Recirculatiesysteem</b>																	
Trickling filter	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Drumfilter	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Bezinker	X	X	X	X	X		X	X			X		X			X	X
Opstroomfilter										X		X					
Denitrificatiefilter											X			X			
Bandfilter							X										
Eiwit afschuimer			X											X	X		
UV		X	X					X	X			X	X	X			
Ozon														X	X		
<b>Nabehandeling</b>																	
Geen						X									X		
Nabezinking**	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X		X	X
Bandfilter							X										
Drumfilter											X						
<b>Uitbreiding Recirculatiesysteem***</b>																	
Trickling filter	X					X					X						X
Drumfilter											X						X
Bezinker						X					X			X			X
Opstroomfilter	X																
Denitrificatiefilter	X					X								X			
Bandfilter	X																
Eiwit afschuimer																	X
UV																	X
Ozon						X											
<b>Uitbreiding Nabehandeling</b>																	
Helofytenfilter / Planten	X														X		
Zandfilter				X													
Nabezinking						X					X						

\* P = paling, M = meerval, Ti = Tilapia, Ta = Tarbot

\*\* Nabezinking in een mestput, bezinktank, (folie)vijver of septictank

\*\*\* Uitbreidingen die zijn voorzien voor de komende 5 jaar (2005-2010).

Uit Tabel 2.3 blijkt dat vijf van de 18 viskwekers voornemens hebben om het huidige recirculatiesysteem op enige wijze uit te breiden. De genoemde redenen om het huidige recirculatiesysteem aan te passen of uit te breiden zijn:

- Verlaging van de productiekosten door een verlaagd waterverbruik (3)
- Verlaging van de productiekosten door een verlaagd energieverbruik (3)
- Verlaging van de productiekosten door een verlaagde lozingsheffing (3)
- 'Milieuwinst' (1)
- Uitbreiding van de productiecapaciteit (2)
- Betere waterkwaliteit voor de vis (2)

Drie van deze vijf viskwekers zijn tevens van plan de nabehandeling van het effluent van het recirculatiesysteem uit te breiden of aan te passen. Daarnaast zijn nog twee viskwekers van plan deze nabehandeling aan te passen. De genoemde redenen hiervoor zijn:

- Principe kwestie, duurzaam (2)
- Verlaging van de productiekosten door een verlaagde lozingsheffing (2)

## 2.5 Wijze van verwerking en afzet van reststromen

Uit Tabel 2.3 blijkt dat slechts twee van de 18 viskwekerijen het effluent van het recirculatiesysteem niet nabehandelen alvorens het te lozen. Het overgrote deel van de viskwekerijen blijkt enige vorm van nabezinking toe te passen. De enquête heeft voor 14 viskwekerijen bruikbare gegevens opgeleverd ten aanzien van de dimensies en management van de nabezinkers. Tabel 2.4 geeft hiervan een overzicht.



Tabel 2.4 Nabezinking op viskwekerijen

Vissoort	Volume nabezinker (m <sup>3</sup> )	Volume nabezinker (m <sup>3</sup> /ton productie)	Frequentie van legen van de nabezinker (x/jaar)
Meerval	800	8	0
Meerval	80	1,1	3
Meerval	100	8,3	0
Meerval	400	1,3	1
Meerval	90	0,9	2
Meerval	20	1,0	0
Meerval	13	0,8	1
Meerval	18	0,4	0,5
Paling	75	1,5	2
Paling	150	3,8	3
Paling	400	13,3	2
Paling	13	0,8	1
Paling	244	2,7	0
Tilapia	300	3,8	0

Uit tabel 2.4 blijkt dat vier van de 14 nabezinkers nooit geleegd worden. De andere nabezinkers worden variërend van 0,5 tot 3 keer per jaar geleegd. Het beschikbare nabezinkvolume in relatie tot de omvang van de productie loopt uiteen van 0,8 tot 13,3 m<sup>3</sup>/ton productie.

Tabel 2.5 geeft een overzicht van de bestemmingen van de reststromen die worden geproduceerd door viskwekerijen. Deze resultaten zijn afkomstig van de enquête. In de tabel worden de aantallen kwekerijen weergegeven per bestemming.

Tabel 2.5 Bestemmingen van het vloeibare effluent en het spuislib van viskwekerijen in Nederland. Per soort wordt weergegeven hoeveel viskwekerijen op een bepaalde wijze de reststroom afzetten.

	Paling	Meerval	Tilapia	Tarbot	Totaal
<b>Effluent</b>					
Lozing op riool	4	4			8
Bodem infiltratie	1	2			3
Lozing oppervlakte water		1		1	1
Uitrijden bouwland	1	2			3
Combinatie lozing oppervlakte water en bodeminfiltratie			1		1
<b>Spuislib</b>					
Geen lozing <sup>1)</sup>	1	4	1		6
Uitrijden over eigen grond of grond van derden	5	5			10
Lozing oppervlakte water <sup>2)</sup>				1	1

<sup>1)</sup> Dit betreft nabezinkers die nooit geleegd worden, in werkelijkheid vindt lozing op het riool plaats.

<sup>2)</sup> Geen scheiding van effluent viskwekerij in vloeibare en vaste fractie

Uit Tabel 2.5 blijkt dat lozing op het oppervlakte water weinig voor komt. Bijna de helft van de viskwekerijen uit de enquête lost het effluent op het riool. Aangaande de afzet van het spuislib kunnen twee belangrijke bestemmingen onderscheiden worden: geen afzet en uitrijden over het land. De viskwekerijen die de nabezinkers nooit legen, lijken geen spuislib als reststroom te produceren. Dit is echter niet geheel juist. Uit onderzoek van Kamstra et al. (1998) blijkt dat

nabezinkers die zelden of nooit gelegeerd worden, vaak slecht functioneren. Dit betekent dat een groot deel van het gesuspendeerde materiaal niet bezinkt maar uitspoelt met het effluent van de nabezinker. Het slib heeft dan uiteindelijk dezelfde bestemming als het vloeibare effluent, bijvoorbeeld het riool.

Uit de enquête blijkt dat voor zeven van de 18 viskwekers de afzet van het spuislib een kostenpost is. De viskwekers waarbij de nabezinker nooit wordt gelegeerd geven aan dat de afzet van spuislib geen kostenpost is. In werkelijkheid zal dit voor een aantal van hen niet juist zijn. De viskwekers met een slecht functionerende nabezinker lozen als gevolg daarvan waarschijnlijk vrijveel van het spuislib op het riool, hetgeen leidt tot een hogere lozingsheffing.

Zeven van de 18 viskwekers geven aan geen lozingsheffing te betalen. Alle viskwekers die het effluent op het riool lozen betalen daar een lozingsheffing voor. Van de kwekers die het effluent in de bodem infiltreert geeft slechts één kweker aan daarvoor een heffing te betalen. Een tweetal kwekers geeft spontaan aan dat de kosten voor lozing aanzienlijk zijn en dat zij deze graag willen reduceren.

## 2.6 Afvalwater van viskwekerijen en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI)

Een groot deel van de viskwekerijen in Nederland loost het afvalwater op het riool. Het rioolwater wordt in rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) tegen betaling van een lozingsheffing verder gezuiverd zodat het water uiteindelijk geloosd kan worden op het oppervlaktewater. Op dit moment is onduidelijk hoe beheerders van RWZI's aankijken tegen het afvalwater dat viskwekerijen lozen op het riool. Het verhaal gaat dat RWZI's vaak blij zijn met afvalwater van viskwekerijen omdat de samenstelling ervan bij zou dragen aan een goed zuiveringsproces. Meer dan een anekdote is dit echter niet. Viskwekers betalen voor de zuivering van hun afvalwater door RWZI's middels een lozingsheffing. Deze heffing wordt vastgesteld aan de hand van de samenstelling en omvang van de afvalwaterstroom. Door ver gaande zuivering en nazuivering op de viskwekerij kan de hoeveelheid afvalwater en de daarin aanwezige nutriënten beperkt worden hetgeen leidt tot een reductie van de lozingsheffing. De besparing op de lozingsheffing moet uiteraard opwegen tegen de kosten voor zuivering. Toekomstige veranderingen in de hoogte van de heffing en in de wijze waarop de lozingsheffing tot stand komt, bijvoorbeeld door fosfor in beschouwing te nemen, kunnen ver gaand zuiveren op de viskwekerij aantrekkelijker of juist minder aantrekkelijk maken.

In het kader van dit project is gecorrespondeerd met Dhr Van Houten, Hoofd afdeling advies zuiveren van het Waterschap Aa en Maas. Het doel van deze correspondentie was het krijgen van enig inzicht in:

- Hoe beheerders van RWZI's tegen het afvalwater van viskwekerijen aankijken;
- De toekomstige veranderingen in de totstandkoming van de lozingsheffing en de gevolgen daarvan voor viskwekers.

Het werkgebied van het Waterschap Aa en Maas is Noordoost Brabant. Dit waterschap is gekozen vanwege het relatief grote aantal viskwekerijen in deze regio. Ten behoeve van de correspondentie is de samenstelling van het afvalwater van viskwekerijen zoals in het kader van dit project is vastgesteld, beschikbaar gesteld aan het Waterschap Aa en Maas.

RWZI's zijn gebouwd voor het zuiveren van stedelijk afvalwater. Het afvalwater van viskwekerijen is daarom vergeleken met de influent gegevens van RWZI's. Wat opvalt is dat de concentratie CZV beduidend lager is dan van stedelijk afvalwater. Aan de andere kant zijn de nutriëntenconcentraties veel hoger dan die van stedelijk afvalwater. Dit leidt er toe dat in vergelijking met stedelijk afvalwater de verhoudingen CZV/N en CVZ/P in afvalwater van viskwekerijen veel ongunstiger zijn voor zuivering in een RWZI. Het afvalwater van viskwekerijen is daarom lastiger te zuiveren dan stedelijk afvalwater. Ten opzichte van de influentdebieten van RWZI's van 2.000 tot 14.000 m<sup>3</sup>/uur is het aanbod van afvalwater van een viskwekerij (20-200m<sup>3</sup>/dag) echter zeer gering. Om die reden zal afvalwater van viskwekerijen over het algemeen worden geaccepteerd door RWZI's. Echter wanneer het afvalwater van een bedrijf een doelmatige werking van een RWZI negatief beïnvloedt, kan een Waterschap de lozing

weigeren of via voorschriften een (gedeeltelijke) sanering van de lozing verlangen. Dit gebeurt bij veel bedrijfslozingen nu ook al.

Het effluent van een viskwekerij heeft over het algemeen een veel hoger CZV gehalte dan het effluent van de nabehandeling. Dit is het gevolg van de CZV afbraak in de nabehandeling. Nabehandeling van het effluent van een viskwekerij voor lozing leidt dus tot een afvalstroom die minder goed te zuiveren is door een RWZI. Dit is een klassiek probleem dat op meerdere bedrijfstakken van toepassing is. Ongezuiverd lozen is technologisch gezien vaak gunstiger voor de RWZI maar resulteert in een hogere lozingsheffing. Zuivering op het bedrijf voor lozing op het riool leidt tot een lagere lozingsheffing maar ook een moeilijker te zuiveren afvalwaterstroom door de RWZI.

De wettelijk voorgeschreven formule waarmee het aantal vervuilingseenheden (V.E.) wordt berekend waarover een heffing moet worden betaald, zal in de nabije toekomst niet substantieel veranderen. Met de invoering van de nieuwe Waterschapswet in 2007/2008 wordt alleen de vervuilingseenheidgrondslag gewijzigd. Op dit moment komt 1 VE nog overeen met 136g CZV, dit wordt 150g CZV per VE. Dit leidt er toe dat voor een gelijkblijvende afvalwaterstroom in de toekomst ca. 10% minder VE in rekening gebracht zullen worden. Een aantal Waterschappen zal mogelijk een heffing op fosfor invoeren. Hiertoe bestaat op dit moment echter geen wettelijke verplichting.

De belangrijkste bevindingen naar aanleiding van de correspondentie met het Waterschap Aa en Maas zijn:

- In tegenstelling tot anekdotes hieromtrent ontvangen RWZI's juist liever geen afvalwater van viskwekerijen omdat het leidt tot een minder makkelijk te zuiveren mengsel van afvalwater (slechte CZV/N en CZV/P verhouding).
- De totale bijdrage van een viskwekerij aan het influent van een RWZI is zeer gering, naar schatting altijd < 5%.
- Nabehandeling van het effluent van een viskwekerij leidt tot een voor RWZI's minder makkelijk te zuiveren afvalwaterstroom.
- Afhankelijk van het Waterschap kunnen viskwekerijen in toenemende mate te maken krijgen met een lozingsheffing op fosfor. Defosfatering van het effluent kan dan aantrekkelijk worden.
- Verder is van belang of tijdens de viskweek andere stoffen, zoals groeibevorderende middelen en medicijnen/antibiotica, worden gebruikt. Door de invoering van de Kader Richtlijn Water zullen voor veel van deze stoffen bij lozing aanvullende eisen worden gesteld, zonder dat nu al bekend is hoe deze eisen er uit gaan zien.

### 3. De samenstelling en de omvang van reststromen op basis van een theoretisch emissiemodel

#### 3.1 Waarom modelleren?

Zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk wordt het effluent van viskweekrecirculatiesystemen in de meeste gevallen geloosd op een nabehandelingsinstallatie alvorens de reststroom middels lozing op het riool of oppervlaktewater het bedrijf definitief verlaat. Het bemonsteren van het effluent van een viskweekrecirculatiesysteem is in de praktijk vrijwel onmogelijk. Door het ontbreken van een centrale afvoer van de kweeksystemen naar de nazuivering is op de meeste kwekerijen een kwantitatieve bemonstering niet mogelijk (Kamstra et al., 1999). Een berekening van de omvang en samenstelling van de reststromen uit viskweeksystemen is dan het enige alternatief. Ten behoeve van deze berekening is een model opgebouwd in MS Excel.

Het bemonsteren van het effluent van nabehandelinginstallaties voor het effluent van viskweekrecirculatiesystemen is in het verleden reeds uitgebreid gedaan door Kamstra et. al. (1999).

#### 3.2 Opbouw van het model

De productie van reststromen in een visteeltsysteem is uiteindelijk terug te voeren op de voergif. Alle nutriënten die via het voer in het kweekstelsel worden geïntroduceerd en niet door de vis worden vastgelegd in de vorm van groei moeten als reststroom beschouwd worden. De basis voor het emissiemodel wordt daardoor gevormd door de eenvoudige massabalans:

$$\text{Voer} = \text{Vis} + \text{Reststroom}$$

De basis van het emissiemodel is daarmee de gebruikte hoeveelheid voer en samenstelling van het voer, de geproduceerde hoeveelheid vis en de samenstelling van de vis, en de vertering en benutting van het voer door de vis. De uiteindelijke omvang en samenstelling van de reststromen zijn afhankelijk van de omzettingprocessen die plaatsvinden op de viskwekerijen. De door de vis geproduceerde afvalstromen worden in het recirculatiesysteem omgezet en/of afgescheiden van het viskweekwater. De mate waarin omzettingen en verwijdering plaatsvinden zijn afhankelijk van de aanwezige installaties voor waterbehandeling en het functioneren daarvan. Via het effluent verlaten de in het viskweekwater opgeloste en gesuspendeerde afvalstoffen het viskweekstelsel. In veel gevallen wordt het effluent van het viskweekstelsel tijdelijk opgeslagen en nabehandeld alvorens het de viskwekerij definitief verlaat.

Aangezien veel van de bovengenoemde factoren vissoortspecifiek zijn, is het noodzakelijk om voor elke relevante vissoort afzonderlijk het rekenmodel toe te passen.

In tabel 3.1 en 3.2 worden per vissoort de kengetallen weergegeven op basis waarvan de omvang en samenstelling van de reststromen is berekend door het model voor de situatie in 2004. De kengetallen die gebruikt zijn ten behoeve van de berekening van de verwachte reststromen ten gevolge van een groeiende en zich ontwikkelende visteeltsector worden vermeld in Hoofdstuk 5.

Waar nodig worden de kengetallen voorzien van een toelichting. In dit rapport wordt niet ingegaan op de wijze waarop alle berekeningen in het model zijn uitgevoerd.

Tabel 3.1 Gemiddelde samenstelling vis en voer

	Paling			Meerval			Tilapia		
	Vis <sup>1</sup>	Voer	Vtbh*	Vis	Voer	Vtbh	Vis <sup>2</sup>	Voer	Vtbh <sup>3</sup>
Droge stof	460	910		270	915		290	930	
Ruw eiwit	145	450	90	160	445	90	160	380	90
Ruw vet	300	250	95	70	125	95	85	100	97
Ruwe as	15	80	64	34	90	64	45	100	45
Overige koolhydraten	0	130	70	0	255	70	0	350	74
Fosfor	4 <sup>3</sup>	12	30	6	12	65	8	16	60

Samenstelling van vis en voer zijn uitgedrukt in (g/kg), verteerbaarheid (\* vtbh) in (%)

<sup>1)</sup> Garcia-Callego et al. (1998)

<sup>2)</sup> Schreckenbach et al. (2001)

<sup>3)</sup> Schneider et al. (2004)

De samenstelling van de visvoerders is gebaseerd op de samenstelling van de commerciële visvoerders van de voor de Nederlandse sector belangrijkste leveranciers. De samenstelling van de vis en de verteerbaarheden zijn gebaseerd op gegevens uit de literatuur. Op gemerkt dient te worden dat samenstelling van de vis afhankelijk is van de grootte van de vis. Daarom is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de samenstelling van vissen met een gewicht dat overeenkomt met het marktgewicht.

Tabel 3.2 Overige kengetallen gebruikt voor de berekening van de vuiluitstoot door viskwekerijen

Kengetal	Eenheid	Paling	Meerval	Tilapia	Bron
Totale productie in 2004	(ton)	4900	4000	1200	Hilbrands, 2005; Aartsen, pers. comm.
<i>Viskweekstelsel</i>					
Voerverspilling	(%)	1	1	1	Schatting
Verversingsdebiet	(l/kg voer)	303	68	50	Enquête <sup>2)</sup> ; Aartsen, pers. comm.
Voederconversie	(g/g)	1.36	0,84	1,3	Enquête <sup>2)</sup> ; Aartsen, pers. comm.
Ammonia omzetting (Nitrificatie)	(%)	76	81	99	Kamstra et al 1999; Aartsen, pers. comm.
Nitraatomzetting (Denitrificatie)	(%)	34	67	80	Kamstra et al 1999; Aartsen, pers. comm.
<i>Nabehandeling</i>					
Droge stof concentratie slib	(g/l)	25	25	25	Nijhof, 1994
Retentie gesuspendeerde delen	(%)	90	90	90	Kamstra et al., 1999.
Oplosbaarheid gesuspendeerd fosfor	(%)	10	10	10	
Retentie CZV	(%)	62	56	59 <sup>1)</sup>	Kamstra et al., 1999.
Retentie fosfor	(%)				
Nitraatomzetting (Denitrificatie)	(%)	48	74	61 <sup>1)</sup>	Kamstra et al., 1999.
Omzetting N-Kj	(%)	58	30	44 <sup>1)</sup>	Kamstra et al., 1999.
Omzetting opgelost CZV	(%)	20	20	20 <sup>1)</sup>	Kamstra et al., 1999.
Omzetting gesuspendeerd CZV	(%)	50	50	50 <sup>1)</sup>	Schatting

<sup>1)</sup> Gegevens ontbreken, het gemiddelde van paling en meerval is gehanteerd.

<sup>2)</sup> Het waterverbruik en voederconversie van individuele bedrijven zoals blijkt uit de enquête wordt weergegeven in Bijlage 2.

### *Voerverspilling*

Voerverspilling wordt uitgedrukt als percentage van de totale voergift. De voerverspilling betreft het voer dat niet door de vissen gegeten wordt. Aangezien voerverspilling zeer moeilijk te kwantificeren is op kwekerijen en nauwkeurige gegevens omtrent voerverspilling op kwekerijen ontbreken, zijn de in het rekenmodel gebruikte waarden schattingen.

### *Verversingsdebiet*

Het verversingsdebiet is vastgesteld op basis van de resultaten van de onder viskwekers gehouden enquête. Per soort is het gemiddelde genomen van het waterverbruik door individuele kwekers.

### *Voederconversie*

De voederconversie is berekend aan de hand van de productie en daar aan gerelateerd voerverbruik zoals dit naar voren kwam uit de onder viskwekers gehouden enquête. Per viskweker is de voederconversie berekend. Vervolgens is per vissoort de gemiddelde voederconversie berekend.

### *Ammonia en nitraatomzetting in kweeksystemen*

De mate van omzetting van ammonia naar nitraat (nitrificatie) en de omzetting van nitraat naar stikstofgas (denitrificatie) wordt uitgedrukt als het percentage van de productie van deze stoffen in het kweekstelsel. De gebruikte omzettingspercentages zijn vastgesteld op basis van door het RIVO in het verleden uitgevoerde metingen op viskwekerijen (Kamstra, 1998). Voor tilapia zijn deze waarden vastgesteld aan de hand van een telefonische enquête (Aartsen, pers. comm., 2005).

De verschillen in de mate van nitrificatie in de kweeksystemen tussen soorten worden veroorzaakt door verschillen in pH waarbij de vis gekweekt wordt. Nitrificatie is optimaal bij een pH waarde rond de 7. Wanneer de pH lager is dan 7 wordt nitrificatie suboptimaal.

### *Droge stof concentratie van het slib in de nabezinker*

Vanwege het ontbreken van gegevens is voor alle vissoorten gebruik gemaakt van de door Nijhof (1994) op palingkwekerijen vastgestelde droge stof concentratie. Naar verwachting zijn verschillen tussen vissoorten klein en leidt deze aanname niet tot een grote afwijking ten opzichte van de werkelijk situatie.

### *Retentie van gesuspendeerde delen en CZV in de nabezinker*

De retentie van gesuspendeerde delen en CZV in de nabezinker zijn maten voor de hoeveelheid gesuspendeerde delen en CZV die als gevolg van bezinking in de nabezinker wordt achtergehouden. De waarden zijn gebaseerd op basis van door het RIVO verrichte metingen op viskwekerijen (Kamstra, 1999).

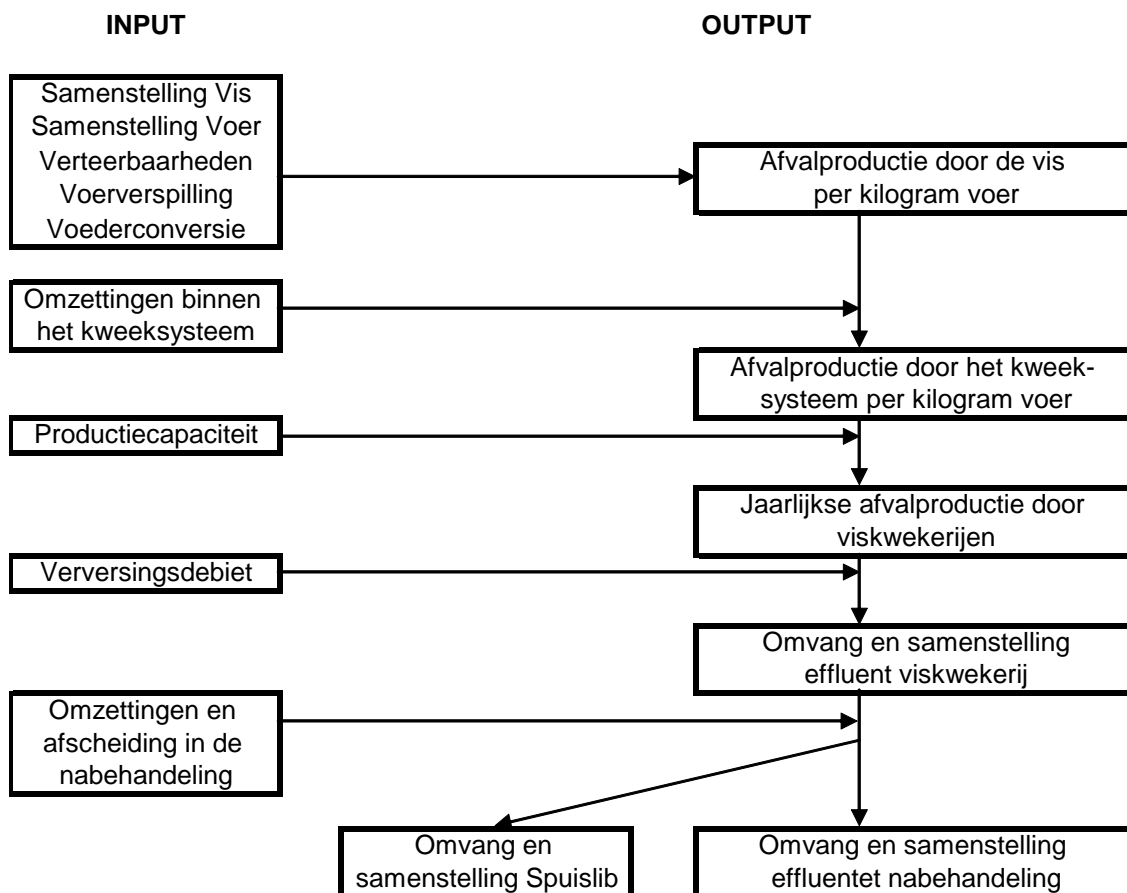
### *Omzettingen in de nabezinker*

De omzetting van nitraat (denitrificatie), Kjeldahl stikstof (N-Kj) en van CZV in de nabezinker worden uitgedrukt als het percentage van de hoeveelheden nitraat, Kjeldahl stikstof en CZV die de nabezinker binnen komen. De waarden zijn gebaseerd op basis van door het RIVO verrichte metingen op viskwekerijen (Kamstra, 1999). Voor CZV wordt onderscheidt gemaakt tussen opgelost en gesuspendeerd CZV. De omzetting van gesuspendeerd CVZ in de nabezinker is onbekend. Aangezien het mogelijk is om een zeer groot deel, tot 90%, van de totale CZV introductie in het kweekstelsel af te breken (Eding, pers. comm., 2005), is de afbraak van gesuspendeerd CZV waarschijnlijk aanzienlijk. Voor paling, meerval en tilapia wordt deze daarom voorlopig geschat op 50% van het CZV dat de nabezinker binnenkomt.

Het emissiemodel berekent na invoering van de bovengenoemde gegevens de omvang en samenstelling van de reststromen. In de eerste plaats wordt de productie van afvalstoffen door de vis per kilogram voer berekend. Vervolgens wordt op basis van de omvang van de productie en de omzettingen die plaatsvinden binnen het viskweekstelsel de totale jaarlijkse afvalproductie berekend. Op basis van de totale jaarlijkse afvalproductie en de omvang van het effluent ( $m^3$ /jaar) wordt de gemiddelde concentratie van afvalstoffen in het onbezonden effluent

van de viskwekerij berekend. Het effluent van de viskwekerij is het influent van de nabezinker. Aan de hand van de kenmerken van het effluent van de viskwekerij en de omzettings- en afscheidingsprocessen die plaatsvinden in de nabezinker wordt de omvang en samenstelling van het bezonken effluent van de nabezinker (spuislib) en het natte effluent van de nabezinker berekend.

Figuur 3.1 geeft de opbouw en de output van het rekenmodel schematisch weer.



Figuur 3.1. Schematische weergave van de opbouw van het rekenmodel ten behoeve van omvang en samenstelling van reststromen uit viskwekerijen.

### 3.3 Resultaten van de modellering van reststromen

#### 3.3.1 Inleiding

Met behulp van het emissiemodel is de totale omvang en samenstelling van de reststromen anno 2004 berekend voor paling, meerval en tilapia. Hieronder worden de eindresultaten van het emissiemodel gepresenteerd. De tussenliggende resultaten van de stapsgewijze berekeningen (figuur 3.1) worden niet weergegeven. Vervolgens wordt nader ingegaan op de samenstelling van reststromen en de achterliggende oorzaken hiervoor evenals de oorzaken voor de verschillen die tussen vissoorten bestaan. Als laatste wordt ingegaan op de uiteindelijke bestemmingen van de geproduceerde reststromen en de vraag in hoeverre reststromen uit de Nederlandse visteeltsector het milieu belasten.

### 3.3.2 Productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector

Tabel 3.3 geeft de stikstof-, fosfor- en CZV balansen weer voor de Nederlandse paling-, meerval en tilapia teelt zoals vastgesteld met het emissiemodel. In de tabel wordt de omvang en de bestemmingen van de verschillende reststromen weergegeven. De resultaten zijn exclusief van toepassing op de uitgangspunten zoals vermeld in de tabellen 3.1 en 3.2. De resultaten worden uitgedrukt in g per kg geproduceerde marktwaardige vis en als percentage van de hoeveelheid totale hoeveelheid van het betreffende nutriënt dat via het visvoer in het kweekstelsel wordt geïntroduceerd. Het totaal van de balans is de hoeveelheid van het betreffende nutriënt die via het voer de viskwekerij binnenkomt en bestaat uit twee fracties. Deze fracties zijn de retentie in de vis en de geproduceerde reststromen. Deze verdeling tussen vis en reststroom is afhankelijk van de samenstelling van het voer, de voergift en de benutting van het voer door de vis. De fractie reststromen wordt in Tabel 3.3 nader gespecificeerd door de uiteindelijke bestemmingen weer te geven. Deze zijn afhankelijk van de omzettings- en scheidingsprocessen die plaatsvinden in het kweekstelsel en in de nabehandeling van reststromen. Aan de hand van de gegevens in Tabel 3.3 kan voor elke bedrijfsgrootte, uitgedrukt als de hoeveelheid geproduceerde vis per jaar, de jaarlijkse productie van stikstof, fosfor en CZV vastgesteld worden.

Tabel 3.3 Stikstof (N), fosfor (P) en CZV balansen voor de teelt van paling, meerval en tilapia in Nederland op basis van de resultaten van het emissiemodel.

	Paling		Meerval		Tilapia	
	(g/kg vis)	(%)	(g/kg vis)	(%)	(g/kg vis)	(%)
<b>N-balans</b>						
Voer	102	100	60	100	79	100
Vis	23	23	26	43	26	32
Reststromen	79	77	34	57	53	68
<i>Specificatie</i>						
Opgelost in spuislib	<1	<1	>0	1	>0	>0
Gesusp. in spuislib	4	5	4	11	4	7
Opgelost in effluent	33	41	>0	1	3	6
Gesusp. in effluent	<1	<1	6	18	>0	1
Stikstofgas	42	53	23	69	45	85
<b>P-balans</b>						
Voer	19	100	10	100	21	100
Vis	4	21	6	60	8	38
Reststromen	15	79	4	40	13	62
<i>Specificatie</i>						
Opgelost in spuislib	>0	<1	>0	2	1	5
Gesusp. in spuislib	11	71	3	68	7	53
Opgelost in effluent	3	21	1	24	5	37
Gesusp. in effluent	1	8	<1	8	1	6
<b>CZV-balans</b>						
Voer	2108	100	1019	100	1506	100
Vis	1059	50	411	40	455	30
Reststromen	1050	50	608	60	1052	70
<i>Specificatie</i>						
Gas (CO <sub>2</sub> )*	942	90	534	88	881	84
Opgelost in spuislib	0	0	1	0	2	0
Gesusp. in spuislib	83	8	56	9	138	13
Opgelost in effluent	16	2	11	2	15	1
Gesusp. in effluent	9	1	6	1	15	1

\* Aangegeven wordt de hoeveelheid organisch materiaal (in g CZV) die wordt omgezet in anorganisch kooldioxide. De productie van kooldioxide (g) is gelijk aan 1,4\**CZV*.



Om de productie van reststromen en de verschillen tussen vissoorten hierin nader te illustreren worden in de figuren A, B en C in Bijlage 2 de balansen grafisch weergegeven voor stikstof (N), fosfor (P) en chemisch zuurstof verbruik (CZV).

Tabel 3.4 geeft de totale omvang en samenstelling weer van de twee uiteindelijke reststromen van Nederlandse viskwekerijen weer: het spuislib dat in de nabehandeling wordt geproduceerd en het effluent van de nabehandeling. De totale omvang en samenstelling van de reststromen betreffen de Nederlandse paling, meerval en tilapiateelt in 2004. Deze drie soorten beslaan 97% van de totale Nederlandse visteeltproductie in 2004. De omvang van de reststromen is vastgesteld op basis van de gegevens in Tabel 3.3 en de totale productie van de drie verschillende vissoorten zoals weergegeven in Tabel 3.2.

*Tabel 3.4. Totale omvang van de reststromen geproduceerd door de paling, meerval en tilapiateelt in Nederland in 2004 zoals berekend door het emissiemodel. Weergegeven worden het spuislib geproduceerd door nabehandeling (Spuislib) en het effluent van de nabehandeling (Effluent). Volumes zijn uitgedrukt in  $10^3 \cdot m^3$ /jaar, de afvalstromen in (ton/jaar)*

	Paling		Meerval		Tilapia		Totaal	
	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent
Volume	17	2003	10	218	5	73	32	2294
Droge stof	413	93	253	59	136	33	802	185
Totaal stikstof	20	162	9	27	5	6	34	195
Nitraat stikstof	1	127	1	11	0	6	2	144
Kjeldahl stikstof	19	36	8	16	5	1	32	53
Fosfor	53	21	12	5	9	7	74	33
CZV	405	124	228	68	105	30	738	222
Kooldioxide	6500		3000		1500		11000	

Op basis van de totale productie omvang van reststromen en het waterverbruik voor de verschillende visteelten kunnen de concentraties van de verschillende afvalstoffen in de effluenten van de viskwekerijen worden berekend. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabel B in Bijlage 1.

### *3.3.3 De achtergrond van de verschillen in reststroomproductie tussen paling-, meerval en tilapiateelt.*

Uit de Tabellen 3.2 t/m 3.4 blijken verschillen te bestaan tussen vissoorten wat betreft de productie van reststromen. Deze verschillen worden hieronder nader toegelicht en verklaard.

#### Effluent concentraties

De verschillen in effluent concentraties tussen vissoorten worden veroorzaakt door verschillen in de absolute hoeveelheden reststromen en verschillen in waterverbruik per teelt.

#### Hoeveelheid afvalstoffen

De verschillen in de absolute hoeveelheden afvalstoffen tussen de soorten worden veroorzaakt door verschillen in de omvang van de productie, verschillen in voer en voerbenuutting en verschillen in de omzettingsprocessen in de kweeksystemen

#### Volume van het effluent

Het volume van het effluent van palingkwekerijen is veel groter dan het volume van het effluent van meerval- en tilapiakwekerijen. Dit verschil wordt veroorzaakt door de hogere voederconversie in combinatie met het hogere waterverbruik per kilogram voer in de palingteelt ten opzichte van de meerval- en tilapiateelt.

### Productie van totaal stikstof

De omvang van de productie van stikstof als afvalstof staat in rechtstreeks verband met de voederconversie en de stikstofgehalten van vis en voer. Verschillen hierin verklaren de verschillen in stikstof productie tussen vissoorten. In de palingteelt is sprake van een hogere voederconversie, een hoger stikstofgehalte van het voer en een lager stikstofgehalte van de vis ten opzichte van meerval- en tilapia teelt, hetgeen resulteert in een hogere productie van stikstof als afvalstof door palingteelt.

### Productie van nitraat

Nitraat wordt geproduceerd in viskweeksystemen als gevolg van nitrificatie van ammoniak. De nitraatproductie is daarmee afhankelijk van de omvang van de ammoniakproductie en de mate waarin nitrificatie optreedt in het kweekstelsel. Naast nitraatproductie vindt ook nitraat verwijdering plaats in het viskweekstelsel of in de nabehandeling van het effluent als gevolg van denitrificatie. Nitraat wordt hierbij omgezet naar stikstofgas. Nitraatproductie door vis teelt is dus de resultante van productie en omzetting van nitraat. In het emissiemodel is de mate waarin denitrificatie optreedt gedefinieerd als percentage van de nitraatproductie. Verschillen in nitraatproductie tussen vissoorten zijn derhalve het resultaat van verschillen in de mate waarin denitrificatie optreedt in het kweekstelsel. In meervalssystemen wordt vrijwel alle geproduceerde nitraat genitriciseerd waardoor de nitraatuitstoot lager is dan in de palingteelt. Het stikstofgas dat als gevolg van denitrificatie wordt geproduceerd wijkt uit naar de lucht en wordt derhalve verwijderd uit het vloeibare effluent en de vaste reststroom van een viskwekerij. Denitrificatie leidt daardoor tot een verlaging van het stikstofgehalte van reststromen van viskwekerijen.

### Productie van fosfor

De omvang van de productie van fosfor in viskweeksystemen staat in rechtstreeks verband met de voederconversie en de hoeveelheid fosfor in het voer en in de vis. Verschillen hierin verklaren de verschillen in fosforproductie tussen vissoorten. In de palingteelt is sprake van een hogere voederconversie, een hoger fosforgehalte van het voer en een lager fosforgehalte van de vis ten opzichte van meerval- en tilapia teelt, hetgeen resulteert in een hogere productie van fosfor als afvalstof door palingteelt.

Fosfor wordt niet omgezet of verwijderd in viskweeksystemen. De hoeveelheid fosfor in reststromen is daardoor gelijk aan het verschil tussen de hoeveelheid die via het voer is aangevoerd en de retentie in de vis. Omzettings- en scheidingsprocessen in het viskweekstelsel of in de nabehandeling leidt slechts tot een verschuiving van de hoeveelheid fosfor tussen de verschillende fracties waaruit de reststroom bestaat.

### Productie van CZV

De omvang van de productie van CZV staat in rechtstreeks verband met de voederconversie en het CZV gehalte van het voer en van de vis. Verschillen hierin tussen vissoorten liggen ten grondslag aan verschillen in CZV productie tussen vissoorten.

Voor alle vissoorten geldt dat het grootste deel van de organische stof productie uiteindelijk omgezet wordt in CO<sub>2</sub>.

## 3.4 Vergelijking van de resultaten van het emissiemodel met gegevens uit de praktijk

Om de resultaten van het emissiemodel te toetsen zijn deze vergeleken met gegevens uit de praktijk. Kamstra et al. (1999) hebben de omzettingen op viskwekerijen en in de nabehandelingen van afvalwater uit viskwekerijen geïnventariseerd. In het kader van dat onderzoek zijn de effluentconcentraties van de nabehandelingsinstallaties bemonsterd van paling en meervalkwekerijen. Omdat de omzettingen op de kwekerijen en in de nabehandelingen zoals vastgesteld door Kamstra et al. (1999) gebruikt zijn in het huidige emissiemodel, kunnen de meetgegevens van Kamstra et al. (1999) niet gebruikt worden om de resultaten van het emissiemodel te evalueren.

Een van de doelen van de enquête die in het kader van dit project is gehouden onder viskwekers was het verkrijgen van gegevens uit de praktijk omtrent de uitstoot van reststromen om het emissiemodel te kunnen toetsen. Helaas heeft de enquête op dit gebied zeer weinig resultaten opgeleverd. De resultaten van de enquête en van het emissiemodel worden weergegeven in de tabellen 3.5 en 3.6. Vanwege het beperkte aantal gegevens uit de praktijk en de wetenschap dat tussen individuele bedrijven een grote variatie bestaat tussen de omvang en samenstelling van de reststromen (Kamstra et al., 1998) is het vergelijken van de resultaten van de enquête en het emissiemodel niet zinvol.

*Tabel 3.5 Concentraties van CZV, fosfor en Kjeldahl stikstof in de effluenten van nabehandelingsinstallaties van paling- en meervalkwekerijen op basis van de enquête en zoals berekend door het emissiemodel. Alle concentraties in (mg/l).*

	CZV	Kjeldahlstikstof	Fosfor
<b>Meerval</b>			
Enquête 2005	216	102	
Enquête 2005	235	63	10
Emissiemodel	195	66	15
<b>Paling</b>			
Enquête 2005	170	20	
Emissiemodel	40	17	8

*Tabel 3.6 Uitstoot van CZV, fosfor en Kjeldahl stikstof via de effluenten van nabehandelingsinstallaties van paling- en meervalkwekerijen op basis van de enquête en zoals berekend door het emissiemodel. De uitstoot is uitgedrukt in (kg/ton voer)<sup>1</sup>.*

	CZV	Kjeldahlstikstof	Fosfor
<b>Meerval</b>			
Enquête 2005	20,0	9,5	
Enquête 2005	21,7	5,8	0,9
Emissiemodel	12,7	3,2	1,0
<b>Paling</b>			
Enquête 2005	72,3	26,8	
Emissiemodel	11,9	5,1	2,3

## 4. Het effect van een groeiende Nederlandse visteeltsector op de samenstelling en omvang van reststromen

### 4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is de huidige productie van reststromen door de Nederlandse visteeltsector vastgesteld. De vraag doet zich voor hoe de samenstelling en omvang van deze reststromen zich in de toekomst zullen ontwikkelen. Op deze ontwikkeling is een aantal factoren van invloed. In de eerste plaats is dat de groei van de totale productie en het aandeel van de verschillende vissoorten daarin. In hoofdstuk 3 is gebleken dat de productie van reststromen verschilt tussen vissoorten. Verschuivingen in het aandeel van bepaalde soorten in de totale visteeltproductie en de opkomst van nieuwe soorten zijn daarom van invloed op de samenstelling en omvang van reststromen. Uiteraard is de omvang van de totale visteeltproductie eveneens van invloed op de omvang van de geproduceerde reststromen. Daarnaast zijn ontwikkelingen op het gebied van visvoerders van invloed op de omvang en samenstelling van reststromen. Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat de samenstelling van visvoerders en de benutting daarvan door de vis van grote invloed is op de omvang en samenstelling van de geproduceerde reststromen. Toekomstige veranderingen in de samenstelling en benutting van visvoerders zijn daarom van invloed op de samenstelling en omvang van reststromen. Als laatste factor moeten ontwikkelingen op het gebied van waterzuivering binnen recirculatiesystemen en buiten recirculatiesystemen (nabehandelingen voor lozing) meegenomen worden. Uit hoofdstuk 3 is gebleken dat de mate van omzetting en verwijdering van vervuilingen uit het viskweekwater en het effluent van de viskwekerij van invloed zijn op de samenstelling en omvang van reststromen zijn. Toekomstige ontwikkelingen op dit terrein zijn daarom van invloed op de geproduceerde reststromen. Het doel van dit onderdeel van deze studie is het vaststellen van de effecten van een groeiende Nederlandse visteeltsector op de samenstelling en omvang van de geproduceerde reststromen. De effecten van veranderingen in het aandeel van vissoorten in de totale productie en de ontwikkelingen op het terrein van visvoerders en waterzuivering worden hierin meegenomen.

### 4.2 Materialen en methoden

#### 4.2.1 Aanpak

Het uitgangspunt voor dit onderdeel van deze studie is de situatie waarin de Nederlandse visteelt zich in 2004 bevond en de bijbehorende productie van reststromen zoals is vastgesteld in hoofdstuk 3. Deze uitgangssituatie wordt weergegeven in de tabellen 3.1 en 3.2 in hoofdstuk 3.

Vervolgens zijn twee groeiscenario's voor de omvang van de visteeltproductie vastgesteld voor de periode 2005-2015. Voor elk van deze groeiscenario's is voor verschillende afvalstoffen en stromen de maximale en minimale verwachte productie berekend in relatie tot de omvang van de visproductie. De maximale productie van afvalstoffen is berekend door aan te nemen dat de situatie in 2005 tot 2015 ongewijzigd blijft en in deze periode dus geen verbeteringen plaatsvinden op het terrein van visvoerders en waterzuivering (pessimistisch scenario). De minimale productie van afvalstoffen is berekend door aan te nemen dat alle te verwachte verbeteringen op het terrein van visvoerders en waterzuivering voor de periode 2005-2015 onmiddellijk geïmplementeerd zijn (optimistisch scenario). De producties van de verschillende afvalstoffen zijn berekend met behulp van het in hoofdstuk 3 beschreven emissiemodel. Door het emissiemodel in te vullen met de kengetallen die onder het optimistische en pessimistische scenario gelden, wordt voor beide scenario's de producties van de verschillende afvalstoffen per kilogram geproduceerde vis berekend. Dit is gedaan voor de afzonderlijke vissoorten. Voor

de nieuwe en overige soorten is dit gedaan door de getallen voor paling, meerval en tilapia te middelen. Vervolgens is per vissoort voor beide groeiscenario's de jaarlijkse visproductie berekend voor de periode 2005-2015. Aan de hand van de totale jaarlijkse visproductie en de productie van afvalstoffen per kilogram geproduceerde vis, is per jaar en per soort de totale productie van de verschillende afvalstoffen berekend. Het optellen van de productie van een afvalstof door de afzonderlijke soorten leidt vervolgens tot de totale productie van deze afvalstof door de Nederlandse visteeltsector.

Per afvalstof begrenzen de berekende maximale en minimale productie de range waarbinnen de toekomstige productie van de afvalstof zich waarschijnlijk zal bevinden.

#### 4.2.2 Groeiscenario's voor de Nederlandse visteeltsector

De verwachte toekomstige productie van reststromen is berekend voor een tweetal groeiscenario's voor de omvang van de Nederlandse visteeltproductie. De relatieve groei van de productie uitgaande van de situatie in 2004 wordt per soort weergegeven in Tabel 4.1. In Tabel 4.1 worden ook de achtergronden voor de gekozen groei weergegeven.

*Tabel 4.1. Ontwikkelingen ten aanzien van de omvang van de jaarlijkse productie van vis door de Nederlandse visteeltsector.*

Groei-scenario	Ontwikkeling 2005-2015, relatieve groei van de productie per jaar per soort	Achtergrond
1	Paling 10% Meerval 10% Tilapia 10% Overige en nieuwe soorten 20%  Totale productie in 2015: ca. 32.000 ton/jaar	Conservatief groeiscenario dat min of meer gelijke tred houdt met de mondiale groei van aquacultuur. Voor de kleine soorten is een dubbele groei gekozen om een waarneembaar effect te krijgen.
2	Paling 3% Meerval 15% Tilapia 25% Overige en nieuwe soorten 50%  Totale productie in 2015: ca. 48.000 ton/jaar	Paling groeit beperkt al gevolg van glasaalschaarste Meerval groeit redelijk Tilapia groeit naar ruim 11.000 ton in 2015 Overige en nieuwe soorten groeien naar ca. 14.000 ton in 2015 onder andere al gevolg van stagnering in palingteelt.

#### 4.2.3 Ontwikkelingen op het gebied van visvoerders

Ten einde inzicht te krijgen in de verwachte ontwikkelingen op het gebied van visvoerders in de periode 2005-2015 is contact opgenomen met een grote fabrikant van visvoerders. Ontwikkelingen op het gebied van voeders zijn vastgesteld voor de voederconversie (VC), het eiwitgehalte van het voer en de eiwitverteerbaarheid, het vetgehalte van het voer en de vetverteerbaarheid en tevens het fosforgehalte van het voer en de fosforverteerbaarheid. Dit is gedaan voor paling, meerval, tarbot en tilapia. Tabel 4.2 geeft hiervan een overzicht. In de tabel wordt de relatieve verandering ten opzichte van de situatie in 2004 (tabel 3.1 en 3.2) in de periode 2005-2015 weergegeven. Voor paling wordt bijvoorbeeld verwacht dat de voederconversie in 2015 10% lager is dan in 2004. Dit betekent een daling van de voederconversie van 1.36 in 2004 (tabel 3.2) naar 1,22 in 2015.

Tabel 4.2. De verwachte relatieve veranderingen ten opzichte van de uitgangswaarden (Tabel 3.1, 3.2) op het gebied van visvoerders in de periode 2005-2015 (Roem, pers. comm.).

	VC	Eiwit%	Eiwit vtbh <sup>1</sup>	Vet%	Vet vtbh	Fosfor%	Fosfor vtbh
Paling	-10%	- 10%	+ 10%	0	0	- 10%	+ 10%
Meerval	0	- 10%	0	0	0	- 10%	+ 10%
Tarbot	0	- 10%	+ 10%	0	0	- 10%	+ 10%
Tilapia	-20%	- 10%	+ 10%	0	0	- 10%	+ 10%

0 = geen verandering

<sup>1)</sup>vtbh = verteerbaarheid

#### 4.2.4 Ontwikkelingen op het terrein van waterzuivering

De verwachte ontwikkelingen op het gebied van waterzuivering op viskwekerijen gaan uit van een hoge stikstofverwijdering van 90%. Maximale stikstofverwijdering vindt uiteraard alleen plaats wanneer alle huidige en toekomstige viskwekerijen de daartoe benodigde technologie daadwerkelijk toepassen. Omdat de mate van verversing van het viskweekwater veelal gestuurd wordt op basis van de nitraatconcentratie, leidt het toepassen van technieken voor stikstofverwijdering tot een lager waterverbruik. Uit RIVO onderzoek is gebleken dat een maximaal waterverbruik van 100L per kilogram voer haalbaar is in recirculatiesystemen (ref Blue label final report). Daarbij moet echter opgemerkt worden dat een dergelijke reductie van het verversingsdebiet mogelijk leidt tot groeiremming hetgeen de kwekers kan weerhouden van het reduceren van het verversingsdebiet ondanks de technische mogelijkheden daartoe. De verwijdering van fosfor is hier buitenbeschouwing gelaten. Zoals blijkt uit deelrapport 2 is de afscheiding van fosfor uit de effluenten van viskwekerijen technisch haalbaar. Er is echter geen sprake van daadwerkelijke omzetting of verwijdering van fosfor maar van een concentratie van fosfor in een van de fracties waaruit de totale reststroom bestaat. De absolute hoeveelheid fosfor die terecht komt in reststromen wordt daarom niet gereduceerd. Dit in tegenstelling tot stikstof. De omzetting van nitraat naar stikstofgas gevolgd door de uitwijking van dit gas naar de atmosfeer wordt wel beschouwd als een verwijdering van de afvalstof uit de af te zetten reststroom.

Tabel 4.3 geeft de verwachte ontwikkelingen weer op het terrein van recirculatietechnologie.

Tabel 4.3. Verwachte ontwikkelingen op het gebied van recirculatietechnologie in de periode 2005-2015

Ontwikkeling 2005-2015	Achtergrond
95% verwijdering van stikstof	Toepassing van denitrificatie op alle kwekerijen
Waterverbruik gereduceerd tot maximaal 100L/kg voer <sup>1</sup>	Toepassing van denitrificatie op alle kwekerijen
90% verwijdering van gesuspendeerd CZV	Optimale benutting nabezinkers.

<sup>1)</sup> Het waterverbruik voor de kweek van die vissoorten waarvoor het waterverbruik in 2005 reeds kleiner was dan 100L/kg voer blijft onveranderd.

## 4.3 Resultaten

### 4.3.1 Productie van afvalstoffen per kilogram eindproduct

Tabel 4.4 geeft een overzicht van de producties van afvalstoffen per kilogram geproduceerde vis voor paling, meerval, tilapia en de nieuwe & overige soorten voor het pessimistische en optimistische scenario. Het pessimistische scenario houdt in dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich in de periode 2005-2015 geen veranderingen voor doen en de situatie gelijk blijft aan de situatie in 2004. Het optimistische scenario houdt in dat alle verwachte verbeteringen in de periode 2005-2015 op het terrein van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zoals gedefinieerd in de tabellen 4.2 en 4.3 onmiddellijk geïmplementeerd worden.

Tabel 4.4. Producties van afvalstoffen en afvalstromen per ton visproductie voor paling, meerval, tilapia en de nieuwe en overige vissoorten in 2005 en in 2015 op basis van de verwachte ontwikkelingen in visvoeders en waterzuivering in de periode 2005-2015. Alle producties zijn uitgedrukt in de eenheid (kg/ton productie) met uitzondering van de slibproductie en het volume van het effluent welke zijn uitgedrukt in de eenheid (m<sup>3</sup>/ton productie).

	Paling		Meerval		Tilapia		O&N soorten <sup>1</sup>	
	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015
<b>Slib</b>								
Slib	3,4	0,3	3	0,3	5	0,4	5,6	0,3
DS <sup>2</sup>	84	6,9	63	6,7	114	9,4	139,3	7,7
N <sup>3</sup>	4,1	1,7	2	3,3	4	3,5	4,1	2,8
P <sup>4</sup>	10,8	8,1	3	2,2	7	4,2	6,6	4,8
CZV <sup>5</sup>	82	6,6	57	6,0	88	7,3	121,3	6,6
<b>Effluent</b>								
Volume	409	122	55	56,9	60	51,6	172,5	76,9
N	32,7	3,4	7	1,8	5	1,0	4,5	2,1
P	4,3	2,4	1	0,8	6	2,8	4,5	2,0
CZV	25,3	13,7	17	12,3	25	14,8	27,2	13,6
<b>Totaal</b>								
N	37,2	5,3	9	5,4	9	4,5	16,7	5,1
P	15,0	11,4	4	3,1	13	7,0	11,1	7,2
CZV	108	20,3	74	18,4	113	22,0	148,5	20,2
Kooldioxide	1320	1540	750	805	1230	995	1100	1670

<sup>1</sup> O&N soorten = Overige en nieuwe soorten <sup>2</sup> DS = droge stof <sup>3</sup> N = stikstof

<sup>4</sup> P = fosfor <sup>5</sup> CZV = Chemisch zuurstof verbruik

#### 4.3.2 Groeiscenario 1

Groeiscenario 1 leidt tot een totale Nederlandse kweekvisproductie van ruim 32.000 ton/jaar in 2015. Deze productie bestaat voor 40% uit paling, 32% uit meerval, 23% uit tilapia en 5% uit andere soorten. Het effect van de groeiende sector op de totale visproductie in Nederland wordt weergegeven in Figuur D in Bijlage 2.

Voor groeiscenario 1 is de ontwikkeling van de maximale en minimale verwachte productie van stikstof, fosfor, CZV, spuislib en effluent in de periode 2005-2015 berekend. Tabel 4.5 geeft een overzicht van de productie van de reststromen in 2004 en de verwachte producties van deze reststromen in 2015 voor respectievelijk het pessimistische en het optimistische scenario ten aanzien van de ontwikkelingen en implementatie daarvan op het terrein van visvoeders en waterzuiveringstechnieken. Het optimistische scenario geeft de minimale verwachte productie van reststromen weer terwijl het pessimistische scenario de maximale verwachte productie van reststromen weergeeft.

Tabel 4.5 Productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in 2004 en de minimale en maximale verwachte productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in 2015 op basis van groeiscenario 1. De absolute hoeveelheden stikstof, fosfor en CZV worden uitgedrukt in (ton/jaar). Spuislib en effluent worden uitgedrukt in (m<sup>3</sup>/jaar). Daarnaast wordt voor de minimale en de maximale productie van reststromen de relatieve verandering ten opzicht van 2004 weergegeven (%).

Reststroom	Productie in 2004	Minimale productie in 2015		Maximale productie in 2015	
		Absoluut	t.o.v. 2004	Absoluut	t.o.v. 2004
Stikstof	229	166	- 28%	673	+ 194%
Fosfor	107	240	+ 124%	345	+ 222%
CZV	960	875	- 9%	3.591	+ 274%
Spuislib	32.000	19.000	- 40%	130.000	+ 306%
Effluent	2.294.000	2.635.000	- 15%	6.459.000	+ 182%
Kooldioxide	11.000	41.800	+ 280%	63.500	+ 477%

Voor de verschillende reststromen wordt in de figuren E t/m I in Bijlage 2 de ontwikkeling van de productie in de tijd weergegeven voor de periode 2005-2015. Voor elk van de afvalstromen geven de maximale en minimale verwachte producties de range weer waarbinnen de werkelijke toekomstige productie verwacht wordt te liggen.

#### 4.3.3 Groeiscenario 2

Groeiscenario 2 leidt tot een totale Nederlandse kweekvisproductie van ruim 48.000 ton/jaar in 2015. Deze productie bestaat voor 14% uit paling, 33% uit meerval, 23% uit tilapia en 31% uit andere soorten. Het effect van de groeiende sector op de totale visproductie in Nederland wordt weergegeven in Figuur J in Bijlage 2.

Voor groeiscenario 2 is de ontwikkeling van de maximale en minimale verwachte productie van stikstof, fosfor, CZV, spuislib en effluent in de periode 2005-2015 berekend. Tabel 4.6 geeft een overzicht van de productie van de reststromen in 2004 en de verwachte producties van deze reststromen in 2015 voor respectievelijk het pessimistische en het optimistische scenario ten aanzien van de ontwikkelingen en implementatie daarvan op het terrein van visvoerders en waterzuiveringstechnieken. Het optimistische scenario geeft de minimale verwachte productie van reststromen weer terwijl het pessimistische scenario de maximale verwachte productie van reststromen weergeeft.

*Tabel 4.6 Productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in 2004 en de minimale en maximale verwachte productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in 2015 op basis van groeiscenario 2. De absolute hoeveelheden stikstof, fosfor en CZV worden uitgedrukt in (ton/jaar). Spuislib en effluent worden uitgedrukt in (m<sup>3</sup>/jaar). Daarnaast wordt voor de minimale en de maximale productie van reststromen de relatieve verandering ten opzicht van 2004 weergegeven (%).*

Reststroom	Productie in 2004	Minimale productie in 2015		Maximale productie in 2015	
		Absoluut	t.o.v. 2004	Absoluut	t.o.v. 2004
Stikstof	229	248	+ 8%	801	+ 250%
Fosfor	107	306	+ 186%	462	+ 332%
CZV	960	1.318	+ 37%	4.591	+ 378%
Spuislib	32.000	29.000	- 9%	164.000	+ 413%
Effluent	2.294.000	3.395.000	+ 48%	6.767.000	+ 195%
Kooldioxide	11.000	52.800	+ 380%	80.200	+ 630%

Voor de verschillende reststromen wordt in de figuren K t/m O in Bijlage 2 de ontwikkeling van de productie in de tijd weergegeven voor de periode 2005-2015. Voor elk van de afvalstromen geven de maximale en minimale verwachte producties de range weer waarbinnen de werkelijke toekomstige productie verwacht wordt te liggen.

## 4.4 Oorzaken voor de verschillen tussen scenario's

### 4.4.1 Productie van stikstof

Het verschil tussen de maximale en minimale verwachte stikstofproductie heeft een aantal oorzaken. De grote range van de verwachte stikstofuitstoot wordt met name veroorzaakt door de hoge mate van stikstofverwijdering in het optimistische scenario wat resulteert in een lage minimale stikstofproductie.

De andere oorzaak betreft het lagere eiwitgehalte in alle visvoerders in het optimistische scenario (Tabel 4.2). In visvoerders is eiwit de belangrijkste bron voor stikstof. Vissen benutten veelal eiwit als energiebron waarbij stikstof in de vorm van ammonia als afvalstof geproduceerd wordt. Bij een lagere eiwitgehalte wordt de absolute hoeveelheid eiwit die door de vis wordt gebruikt als energiebron kleiner, hetgeen eveneens leidt tot een lagere ammoniaproductie door



de vis. De mate waarin vissen in staat zijn andere energiebronnen dan eiwit te benutten is beperkt en verschilt tussen vissoorten. Een reductie van het eiwitgehalte in het voer is daarom in beperkte mate mogelijk. De lagere voederconversie in het optimistische scenario leidt eveneens tot een lagere productie van stikstof als reststroom. Bij een lagere voederconversie wordt bij een gelijke productie minder voer en daarmee minder stikstof geïntroduceerd in het kweekstelsel. Aangezien het stikstofgehalte van de vis vrijwel constant is, resulteert dit in een lagere stikstofuitstoot.

#### *4.4.2 Productie van fosfor*

Het verschil tussen de maximale en minimale fosforproductie heeft als oorzaak het lagere fosforgehalte van alle visvoerders en de daarmee verbonden betere relatieve benutting van fosfor door de vis in het optimistische scenario. De lagere voederconversies in het optimistische scenario versterken dit effect. Zoals hierboven vermeld leidt de toepassing van verwijderingstechnieken voor fosfor op viskwekerijen niet tot een reductie van de totale fosfor uitstoot omdat deze technieken slechts resulteren in de concentratie van fosfor in een van de fracties van de reststroom. Dit is zinvol wanneer dit mogelijkheden biedt om fosfor opnieuw te benutten, bijvoorbeeld als meststof. Voor de kweker kan het zinvol zijn of worden om fosfor uit het effluent te verwijderen omdat dit resulteert in een daling van de lozingsheffing. De enige manier om de uitstoot van fosfor werkelijk te reduceren is het verkleinen van het verschil tussen het fosforgehalte van het voer enerzijds en de fosforbehoefte van de vis anderzijds.

#### *4.4.3 Productie van CZV*

Het verschil tussen de maximale en minimale CZV productie wordt veroorzaakt door een combinatie van twee factoren. De verwachte veranderingen in de samenstelling van visvoerders resulteren in lagere CZV gehalten van de voeders, met uitzondering van meervalvoerders waar het CZV gehalte iets hoger wordt. Wanneer het CZV gehalte van de vis gelijk blijft, leidt een lager CZV gehalte van het voer tot een lagere CZV uitstoot. Dit effect wordt versterkt door de lagere voederconversies in het optimistische scenario. Het grootste deel van het verschil tussen de maximale en minimale CZV productie wordt echter veroorzaakt door de mogelijkheid om gesuspendeerd CZV ver gaand af te breken. Kamstra et al (1999) constateerden dat het biologisch afbreekbare deel van de op Nederlandse viskwekerijen geproduceerde opgeloste organische stof circa 19% bedraagt en dat deze geheel wordt afgebroken binnen viskweeksystemen. De maximale afbraak van opgeloste organische stof binnen viskweeksystemen is dus reeds bereikt en verdere ontwikkeling en uitbreiding van de waterzuivering op viskwekerijen leidt niet tot een reductie van de uitstoot van opgeloste organische stoffen. Op basis van nog niet gepubliceerde onderzoeksresultaten van Wageningen Universiteit kan de totale CZV afbraak op viskwekerijen oplopen tot 90% van het CZV dat de kwekerij via het voer binnenkomt (Eding, pers. comm., 2005). Deze ver gaande afbraak van CZV wordt met name gerealiseerd door afbraak van gesuspendeerd CZV in nabezinkers. De huidige afbraak van gesuspendeerd CZV is niet bekend en is geschat op 50% van het binnenkomende gesuspendeerde CZV. Mogelijk is dit een onderschatting en wordt het potentieel om CZV op viskwekerijen ver gaand af te breken reeds voor een groter deel benut. In dat geval de CZV uitstoot door viskwekerijen in het pessimistische scenario overschat. Een deel van het grote verschil tussen de maximale en minimale geproduceerde CZV is dus mogelijk veroorzaakt door een onderschatting van de afbraak van CZV in het pessimistische scenario. De vergelijking van de resultaten van het emissiemodel en op viskwekerijen gemeten waarden (hoofdstuk 3.x) biedt hier geen inzicht in omdat de gemeten waarden opgelost CZV betreft.

#### 4.4.4 Productie van spuislib

Spuislib bestaat oorspronkelijk voor en groot deel uit gesuspendeerd CZV. Aan het grote verschil tussen de maximale en de minimale spuislibproductie liggen daarom dezelfde oorzaken ten grondslag als voor de verschillen in CZV productie (zie hier boven).

#### 4.4.5 Productie van effluent

Het verschil tussen het maximale en minimale effluent volume wordt veroorzaakt door een tweetal factoren. In de eerste plaats is in het optimistische scenario het waterverbruik lager hetgeen leidt tot een kleiner effluent. Daarnaast is in het optimistische scenario de voederconversie lager. Aangezien het waterverbruik direct gerelateerd is aan de voergift, leidt een lagere voederconversie bij gelijke visproductie tot een kleiner effluent.

Het verder terugdringen van het waterverbruik door recirculatiesysteem is al jaren onderwerp van onderzoek. Een voorbeeld hiervan is het EU gefinancierde project Development of a Blue label for fish farms; towards a certified environmental performance (Kloet, et al., 2001) waarin onder andere RIVO participeerde. Uit dit onderzoeksproject is gebleken dat het technisch mogelijk is om het waterverbruik van palingkwekerijen terug te brengen tot circa 100 l/kg voer. Effecten op de productiviteit zijn echter buiten beschouwing gelaten in dat onderzoek.

Daarnaast zijn op laboratoriumschaal reeds zogenaamde zero-discharge systemen operationeel, zoals bijvoorbeeld beschreven door Gelfand et al. (2003). Dergelijke systemen hebben geen effluent maar moeten echter wel van water voorzien worden. Waterverbruik treedt namelijk op als gevolg van verdamping en het hoge watergehalte van het eindproduct. Voor de productie van tilapia in een zero-discharge systeem bedroeg het waterverbruik 93 l/kg vis (Gelfand, et al., 2003). Het waterverbruik door viskwekerijen kan dus niet tot nul worden teruggedrongen.

Wanneer in het viskweekstelsel stoffen sneller worden geproduceerd dan dat ze worden afgebroken treedt accumulatie van deze stoffen in het viskweekwater op. Accumulatie treedt op tot een concentratie waarbij de productie in evenwicht is met de afbraak in het systeem en/of afvoer via het effluent van de betreffende stof. Een verlaging van het waterverbruik leidt er toe dat stoffen accumuleren tot hogere concentraties. Deze stoffen betreffen excretieproducten van de vissen en stoffen die door bacteriën in de biologische filters geproduceerd worden. Voor een aantal stoffen is de productie en de consequenties daarvan goed gedocumenteerd en kunnen de nodige maatregelen getroffen worden om negatieve effecten op de vissen te voorkomen. Een goed voorbeeld hiervan is de productie van ammonia door de vissen en de installatie van nitrificerende biologische filters in viskweeksystemen ten einde het voor de vissen giftige ammonia om te zetten in het veel minder schadelijke nitraat. Wanneer geen of in beperkte mate denitrificatie, de omzetting van nitraat tot stikstofgas, optreedt in het kweekstelsel zal nitraat tot hoge concentraties accumuleren in het kweekwater. De mate van verversing van het kweekwater kan vervolgens worden afgesteld op het voorkomen van te hoge nitraatconcentraties. Het is echter zeer waarschijnlijk dat als gevolg van hergebruik van kweekwater allerlei andere, onbekende stoffen accumuleren in het kweekwater waarvan de effecten op de groeiprestaties en het welzijn van de vis volledig onbekend zijn. De concentraties van dergelijke stoffen in het kweekwater stijgen wanneer het waterverbruik door het viskweekstelsel, en daarmee de mate van verversing van het kweekwater, afneemt. Uit de praktijk zijn gevallen bekend waaruit blijkt dat veel kweekvissoorten in recirculatiesystemen minder goed groeien dan in doorstroomsystemen. Deze groeiremming wordt geweten aan de accumulatie groeiremmende stoffen in het kweekwater (Deviller et al, 2004; Hiriyama et al, 1988). Kortom het ver terugdringen van het waterverbruik van viskwekerijen en daarmee de mate waarin het viskweekwater wordt verversd, kan leiden tot de accumulatie van stoffen in het viskweekwater die de groeiprestaties van de vis en mogelijk ook het welzijn van de vis negatief beïnvloeden.

## 5. Reststromen viskwekerijen in veehouderij perspectief

### 5.1 Inleiding

Ten einde de productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in het perspectief van de Nederlandse dierlijke productie te plaatsen, is deze vergeleken met de productie van reststromen door vleeskuikens, vleesvarkens en de totale Nederlandse veehouderij. In tabel 5.1 wordt een overzicht gegeven van de omvang van de Nederlandse productie van vleeskuikens en vleesvarkens in 2004. De omvang van de Nederlandse visteeltproductie wordt weergegeven in tabel 2.1.

*Tabel 5.1 De Nederlandse productie van vleesvarkens en vleeskuikens in 2004*

Diersoort / product	Aantal bedrijven	Totale productie (ton/jaar)	Gemiddelde productie per locatie (ton/jaar)
Vleesvarkens	8.925	3.195.000	358
Vleeskuikens	771	744.000	965

Bron: PVE (2005)

### 5.2 Stikstof en fosfor

In tabel 5.2 wordt de stikstofuitstoot *per kilogram productie* van vis of vlees weergegeven als het verschil tussen de stikstofhoeveelheid in het daarvoor benodigde voer (N in voer) en het stikstofgehalte in het dier (N in dier). In tabel 5.3 is hetzelfde gedaan voor fosfor. Voor de berekeningen die ten grondslag liggen aan de cijfers in tabel 5.2 en 5.3 is uitgegaan van een vleesvarken in het traject van 26 tot 114 kilogram en een vleeskuiken van 2.100 gram. De cijfers voor vis zijn afkomstig van de in het kader van dit project uitgevoerde modellering (hoofdstuk 3) en hebben betrekking op 2004. De cijfers voor vlees zijn een prognose voor 2006 op basis van Jongbloed et al. (2005).

*Tabel 5.2 Stikstofbalans per kilogram productie*

		Paling	Meerval	Tilapia	Vleesvarken	Vleeskuiken
N in voer	g/kg productie	102	60	79	64	56
N in dier	g/kg productie	23	26	26	25	28
N uitstoot	g/kg productie	79	34	53	39	28

*Tabel 5.3 Fosforbalans per kilogram productie*

		Paling	Meerval	Tilapia	Vleesvarken	Vleeskuiken
P in voer	g/kg productie	19	10	21	12	8,9
P in dier	g/kg productie	4	6	8	5,3	4,7
P uitstoot	g/kg productie	15	4	13	6,7	4,2

De lage stikstofretentie van de vissen ten opzicht van de varkens en kippen wordt veroorzaakt doordat vissen met name eiwitten als energiebron benutten. Het eiwitgehalte (en daardoor het stikstofgehalte) van visvoerders is daarom hoger dan het eiwitgehalte van voeders voor vleesvarkens en vleeskuikens. Vissen, met name meerval, compenseren dit deels door een lagere voederconversie ten opzichte van de varkens en de kippen.

De lage fosforefficiëntie van de vissen wordt veroorzaakt door het relatief grote verschil in fosforbehoefte en het fosforgehalte in het voer. Met name de meerval compenseert dit wederom door een lage voederconversie ten opzichte van de varkens en de kippen.

De totale stikstof- en fosforproductie is uiteraard afhankelijk van de productieomvang van de verschillende sectoren. Tabel 5.4 geeft de jaarlijkse producties weer van de verschillende vormen van dierlijke productie en het totaal van de Nederlandse dierlijke productie.

*Tabel 5.4 De totale stikstof- en fosfaatuitstoot weer als gevolg van de Nederlandse productie van paling, meerval, tilapia, pluimvee, varkens en de gehele Nederlandse veehouderij (ton/jaar).*

	Paling	Meerval	Tilapia	Totaal NL visteelt <sup>1)</sup>	Vleeskuiken s	Vleesvarken s	Totaal NL veehouderij
N	387	136	64	587 <sup>2)</sup>	20.832	124.605	454.000
P	74	16	16	107	3.125	21.407	71.740

<sup>1)</sup> Het totaal van paling, meerval en tilapia hetgeen overeenkomt met 97% van de Nederlandse visteeltproductie in 2004.

<sup>2)</sup> Inclusief N<sub>2</sub>.

Uit Tabel 5.4 blijkt dat de huidige (2004) uitstoot van stikstof en fosfor door de gehele Nederlandse visteeltsector respectievelijk 0,13% en 0,10% van de totale stikstof en fosfaat uitstoot door de gehele Nederlandse veehouderij bedraagt. Hierbij is geen rekening gehouden met de afbraak van stikstofverbindingen tot stikstofgas. Wanneer wel rekening wordt gehouden met de afbraak van stikstofverbindingen tot stikstofgas op viskwekerijen en het gevormde stikstofgas niet als reststroom wordt aangemerkt, bedraagt de totale stikstofproductie door de Nederlandse visteelt circa 229 ton/jaar (Tabel 4.4). Dit komt overeen met 0,05% van de stikstofuitstoot door de gehele Nederlandse veehouderij.

Wanneer de Nederlandse visteeltsector groeit overeenkomstig het in hoofdstuk 4 beschreven groeiscenario 2 (totale visteeltproductie van 48.000 ton/jaar in 2015) en op het gebied van voeders en waterzuivering blijft de situatie onveranderd dan nemen de uitstoot van stikstof (exclusief N<sub>2</sub>) en fosfor toe tot respectievelijk 801 en 462 ton/jaar (Tabel 4.6). Bij een gelijkblijvende productie door de totale Nederlandse veehouderij komt dit overeen met respectievelijk 0,18% en 0,64% van de stikstof- en fosforproductie door de gehele Nederlandse veehouderij.

Op basis van het bovenstaande wordt geconcludeerd dat de productie van stikstof en fosfor door de Nederlandse visteeltsector slechts een zeer kleine fractie betreft van de totale productie door de gehele Nederlandse veehouderij. Een sterke groei van de Nederlandse visteeltsector tot een totale productie van 48.000 ton in 2015 brengt hier nauwelijks verandering in.

### 5.3 Waterverbruik

Visteelt verbruikt water in de vorm van verversingswater van het kweekstelsel. Echter tijdens de productie van andere landbouwhuisdieren wordt ook water verbruikt namelijk in de vorm van drinkwater. De vraag doet zich voor hoe de waterbehoefte van de Nederlandse visteelt zich verhoudt tot andere vormen van dierlijke productie. Tabel 5.5 geeft het waterverbruik weer voor paling-, meerval- en tilapiateelt. Dit betreft het verversingswater van de kweeksystemen. Daarnaast wordt het waterverbruik weergegeven voor vleesvarkens en vleeskuikens. Dit betreft het benodigde drinkwater voor de dieren. Andere vormen van waterverbruik zoals bijvoorbeeld water benodigd voor de reiniging van stallen is hier buitenbeschouwing gelaten. Voor alle teelten wordt het waterverbruik zowel weergegeven per kilogram heel eindproduct en voor de gehele Nederlandse sector. Het waterverbruik door de visteelten is gebaseerd op het waterverbruik per kilogram voer, de voederconversie en de totale productie in 2004 (tabel 3.2). Het waterverbruik door vleeskuikens is gebaseerd op een voederconversie van 1,7 en een water-voerverhouding van 1,7 hetgeen resulteert in een waterverbruik van 2,9 L/kg product. Het waterverbruik van vleesvarkens is gebaseerd op een voederconversie van 2,7 en een water-voerverhouding van 2,3 resulterend in een waterverbruik van 6,2 L/kg product. Het totale waterverbruik door de verschillende sectoren is gebaseerd op de omvang van de sectoren zoals vermeld in tabel 2.1 voor de visteelten en tabel 5.1 voor de vleesproductie.

*Tabel 5.5 Waterverbruik in 2004 door paling-, meerval- en tilapiateelt in vergelijking met vleeskuiken en vleesvarkensproductie. Het waterverbruik wordt uitgedrukt in (L/kg product) en (x 1000 m<sup>3</sup>)*

Sector	Waterverbruik in 2004	
	(L/kg product)	(x 1000 m <sup>3</sup> )
Palingteelt	412	2019
Meervalteelt	57	228
Tilapiateelt	65	78
Vleesvarkens	6,2	19.810
Vleeskuikens	2,9	2158

Uit tabel 5.5 blijkt dat de productie van kweekvis aanzienlijk meer water kost dan de productie van vleesvarkens en vleeskuikens.

## 6. De uiteindelijke bestemmingen van de reststromen; veroorzaakt een groeiende Nederlandse visteeltsector een milieuprobleem?

### 6.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is de productie van reststromen door de Nederlandse visteelt in kaart gebracht. In hoofdstuk 4 is vervolgens het effect van een groeiende visteeltproductie op de productie van reststromen vastgesteld. In hoofdstuk 5 is de productie van reststromen vergeleken met de productie van reststromen door andere vormen van veehouderij in Nederland. De vraag doet zich voor of de huidige en toekomstige productie van reststromen door de Nederlandse visteelt een milieuprobleem veroorzaakt. Getracht is deze vraag te beantwoorden door de uiteindelijke bestemmingen van de verschillende reststromen vast te stellen en de bijdrage van de Nederlandse visteelt aan de totale uitstoot van reststromen door veehouderij te kwantificeren. Naast de productie van reststromen is het verbruik van grondwater door visteelt een mogelijk milieuprobleem en tevens een beperking voor de groei van de visteeltproductie. Om die reden wordt in dit hoofdstuk nader in gegaan op dit onderwerp.

### 6.2 De bestemming van reststromen van de Nederlandse visteelt in 2004

In de onder viskwekers gehouden enquête is gevraagd naar de bestemmingen van de geproduceerde reststromen. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabel 2.6. Door per respondent de afzetwijze van reststromen te koppelen aan de omvang van de visproductie, is per vissoort een schatting gemaakt van de verdeling van de reststromen over de verschillende bestemmingen. De resultaten worden weergegeven in Tabel 6.1. Deze resultaten zijn vervolgens gebruikt om de bestemmingen van de reststromen door de gehele Nederlandse visteeltsector vast te stellen.

*Tabel 6.1 Bestemmingen van het vloeibare effluent en het spuislib van viskwekerijen in Nederland. Per soort en per bestemming wordt het relatieve deel van de totale productie weergegeven dat op deze wijze de reststroom afzet.*

	Paling	Meerval	Tilapia	Tarbot	Totaal
<b>Effluent</b>					
Lozing op riool	82%	35%			45%
Bodem infiltratie	11%	36%	50%		31%
Lozing oppervlakte water		11%	50%	100%	11%
Uitrijden bouwland	7%	17%			13%
<b>Spuislib</b>					
Geen lozing <sup>1)</sup>	26%	15%	100%		17%
Uitrijden over eigen grond of grond van derden	74%	85%			80%
Lozing oppervlakte water <sup>2)</sup>				100%	3%

<sup>1)</sup> Dit betreft nabezinkers die nooit gelegegd worden, in werkelijkheid vindt lozing op het riool plaats.

<sup>2)</sup> Geen scheiding van effluent viskwekerij in vloeibare en vaste fractie

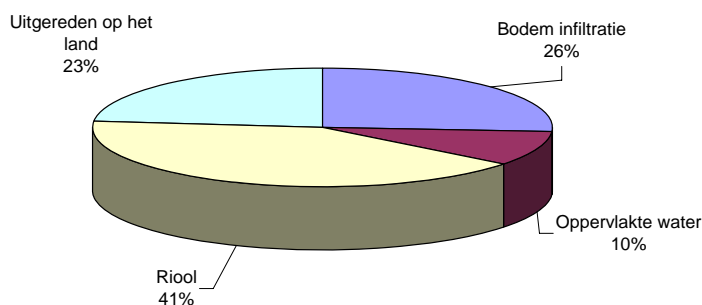
Op basis van de gegevens in Tabel 6.1 kan de bestemming van reststromen zoals weergegeven in Tabel 3.4 in hoofdstuk 3 nader gespecificeerd worden. Tabel 6.2 geeft hiervan een overzicht voor de gehele Nederlandse visteeltsector. In Tabel C in Bijlage 1 wordt de bestemming en omvang van de reststromen weer gegeven voor paling, meerval en tilapia afzonderlijk.

Tabel 6.2 Omvang en bestemmingen van de reststromen geproduceerd door de gehele Nederlandse visteeltsector in 2004. Alles weergegeven in (ton/jaar)

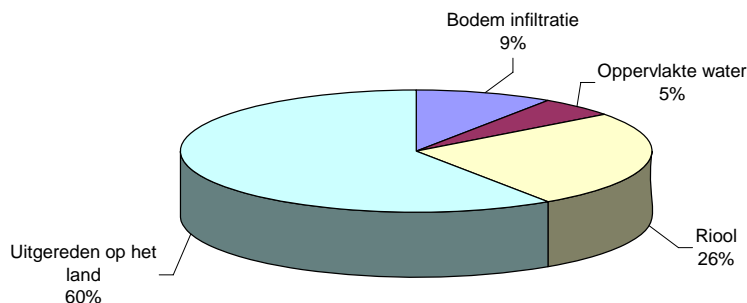
	Bodem infiltratie	Oppervlakte water	Riool	Uitgereden op land	Totaal
Droge stof	57	45	220	666	988
Totaal stikstof	60	22	94	53	229
Nitraat stikstof	44	15	65	21	145
Kjeldahl stikstof	16	7	29	33	85
Fosfor	10	6	28	63	107
CZV	68	47	226	620	961

In de Figuren 6.1, 6.2 en 6.3 worden de bestemmingen van respectievelijk stikstof, fosfor en CZV grafisch weergegeven. Aangegeven wordt de het relatieve aandeel van de verschillende bestemmingen van de reststroom in de totale afzet van de reststroom.

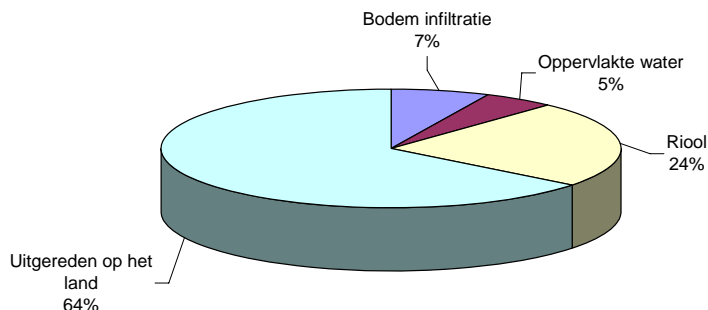
Figuur 6.1 De bestemmingen van de stikstofproductie door de Nederlandse visteeltsector in 2004. Per bestemming wordt het relatieve aandeel in de totale afzet van stikstof aangegeven.



Figuur 6.2 De bestemmingen van de fosforproductie door de Nederlandse visteeltsector in 2004. Per bestemming wordt het relatieve aandeel in de totale afzet van fosfor aangegeven.



*Figuur 6.3 De bestemmingen van de CZV productie door de Nederlandse visteeltsector in 2004. Per bestemming wordt het relatieve aandeel in de totale afzet van CZV aangegeven.*



### 6.3 De emissie van stikstof

Wanneer de Nederlandse visteeltproductie groeit naar 48.000 ton/jaar in 2015 dan wordt de stikstofemissie geschat op minimaal 248 ton/jaar en maximaal 801 ton/jaar (tabel 4.6). Dit komt overeen met respectievelijk 0,05% en 0,18% van de gehele stikstofemissie door de Nederlandse veehouderij in 2004 van 454.000 ton (van Bruggen, 2006). De stikstofemissie door de Nederlandse visteelt is daarmee verwaarloosbaar klein ten opzichte van de gehele Nederlandse veehouderij. De verwachte groei van de Nederlandse kweekvisproductie brengt hier nagenoeg geen verandering in. Op basis van een vergelijking met de gehele Nederlandse veehouderij wordt daarom geconcludeerd dat visteelt geen milieuprobleem veroorzaakt als gevolg van de emissie van stikstof.

Uit Figuur 6.1 blijkt dat 41% van de geproduceerde stikstof op het riool geloosd wordt. Aannemende dat rioolwaterzuiveringsinstallaties zorg dragen voor de omzetting van stikstofverbindingen tot stikstofgas, kan gesteld worden dat het deel van de stikstofproductie door viskwekerijen dat op het riool geloosd wordt geen enkele milieubelasting veroorzaakt. Uit Figuur 6.1 blijkt eveneens dat respectievelijk 23% en 26% van de geproduceerde stikstof op het land wordt uitgereden en in de bodem wordt geïnfiltrerd. Dit komt overeen met 113 ton stikstof in 2004. Afhankelijk van de grondsoort en het gewas dat verbouwd wordt, zijn maximale stikstofgiften vastgesteld ([www.minlnv.nl/loket](http://www.minlnv.nl/loket)). Een lokaal milieuprobleem zou kunnen ontstaan wanneer de maximale stikstofgift wordt overschreden. Het is niet bekend of viskwekers de maximale stikstofgift in acht nemen wanneer spuislib wordt uitgereden over het land of effluent in de bodem infiltreren. De beschikbaarheid van stikstofverbindingen afkomstig uit viskwekerijen voor plantaardige productie is nooit direct onderzocht. Het is daardoor niet bekend of deze stikstof daadwerkelijk benut wordt als meststof.

### 6.4 De emissie van fosfor

Wanneer de Nederlandse visteeltproductie groeit naar 48.000 ton/jaar in 2015 dan wordt de stikstofemissie ingeschat op minimaal 306 ton/jaar en maximaal 462 ton/jaar (tabel 4.6). Dit komt overeen met respectievelijk 0,43% en 0,65% van de gehele fosforemissie door de Nederlandse veehouderij in 2004 van 71.000 ton (van Bruggen, 2006). De fosforemissie door de Nederlandse visteelt is daarmee verwaarloosbaar klein ten opzichte van de gehele Nederlandse veehouderij. De verwachte groei van de Nederlandse kweekvisproductie brengt hier nagenoeg geen verandering in. Op basis van een vergelijking met de gehele Nederlandse



veehouderij wordt daarom geconcludeerd dat visteelt geen milieuprobleem veroorzaakt als gevolg van de emissie van fosfor.

Uit Figuur 6.2 blijkt dat 26% van de geproduceerde fosfor op het riool geloosd wordt. Aannemende dat rioolwaterzuiveringsinstallaties zorg dragen voor een afdoende verdere verwerking van het fosfor, kan gesteld worden dat het deel van de fosforproductie door viskwekerijen dat op het riool geloosd wordt geen enkele milieubelasting veroorzaakt. Uit Figuur 6.2 blijkt eveneens dat respectievelijk 60% en 9% van de geproduceerde fosfor op het land wordt uitgereden en in de bodem wordt geïnfiltreerd. Dit komt overeen met 73 ton stikstof in 2004. Afhankelijk van de grondsoort en het gewas dat verbouwd wordt, zijn maximale fosforgiften vastgesteld ([www.minlnv.nl/loket](http://www.minlnv.nl/loket)). Een lokaal milieuprobleem zou kunnen ontstaan wanneer de maximale fosforgift wordt overschreden. Het is niet bekend of viskwekers de maximale fosforgift in acht nemen wanneer spuislib wordt uitgereden over het land of effluent in de bodem infiltreren.

De beschikbaarheid van fosforverbindingen afkomstig uit viskwekerijen voor plantaardige productie is nooit direct onderzocht. Het is daardoor niet bekend of deze fosfor daadwerkelijk benut wordt als meststof.

Een beperking van de uitstoot van fosfor kan bereikt worden door een verlaging van het fosforgehalten van visvoerders en het verbeteren van de beschikbaarheid van het fosfor in het voer.

## 6.5 Het gebruik van grondwater

Vele viskwekerijen maken gebruik van grondwater als verversingswater van het viskweekstelsel. Hiertoe worden putten geslagen om het grondwater aan de bodem te onttrekken. Het grondwater wordt na gebruik als effluent van de viskwekerij op verschillende wijzen afgezet (zie hierboven).

Om verdroging en verzilting tegen te gaan en om in de toekomst niet met tekorten te worden geconfronteerd is het gebruik van grondwater aan regels gebonden. In 1984 is de Grondwaterwet ingevoerd en sindsdien zijn de provincies verantwoordelijk voor het grondwaterbeheer. In deze wet worden algemene regels gegeven voor het gebruik van grondwater. Deze regels zijn voor de provincies uitgewerkt in de Grondwaterverordeningen en waterhuishoudingplannen. Dit betekent dat de mogelijkheden tot het gebruik van grondwater en de regels die daaraan verbonden zijn, kunnen verschillen tussen provincies. Ter illustratie wordt het grondwaterbeleid van de provincie Brabant hier nader uitgewerkt.

Het grondwaterbeleid van de provincie Brabant is erop gericht dat de totale hoeveelheid onttrokken grondwater niet verder toeneemt maar juist afneemt. Alleen zo wordt verdroging tegengegaan en blijft er voldoende grondwater beschikbaar voor de drinkwatervoorziening. Dit zogeheten standstill-beleid is vastgelegd in het provinciale Waterhuishoudingsplan.

Alle grondwateronttrekkingen in Brabant zijn aan regels gebonden die zijn verwoord in de verordening Waterhuishouding. Zo zijn onttrekkingen tot 10 m<sup>3</sup>/uur en niet dieper dan 30 m onder maaiveld, niet gelegen in beschermde gebieden, vrijgesteld van vergunningplicht. Voor alle andere onttrekkingen is een vergunning noodzakelijk. Als er meer dan 10 m<sup>3</sup>/uur wordt onttrokken geldt ook de registratieplicht en heffingplicht. De registratieplicht houdt in dat de onttrokken hoeveelheid moet worden gemeten. Over de onttrokken hoeveelheid dient de provinciale Grondwaterheffing te worden betaald. Het tarief van de provinciale heffing bedroeg in 2005 € 0,019 per werkelijk onttrokken kubieke meter grondwater. Tabel 6.3 geeft een overzicht van de van toepassing zijnde instrumenten op grondwateronttrekkingen in Noord Brabant onder verschillende omstandigheden.

Tabel 6.3 Overzicht van instrumenten van toepassing op grondwateronttrekkingen in Noord-Brabant ([www.brabant.nl](http://www.brabant.nl))

Capaciteit onttrekking (m <sup>3</sup> /uur)	Diepte van de put (m onder maaiveld)	Ligging	Onttrekking is
< 10 m <sup>3</sup> /uur	< 30m	Beschermde gebieden	Vergunningplichtig
< 10 m <sup>3</sup> /uur	< 30m	Overige gebieden	Niet aan regels gebonden
< 10 m <sup>3</sup> /uur	> 30m	Geheel Noord-Brabant	Vergunningplichtig Registratieplichtig
> 10 m <sup>3</sup> /uur	Niet van belang	Geheel Noord-Brabant	Vergunning plichtig Registratieplichtig Heffingplichtig

Een palingkwekerij met een jaarlijkse productie van 100 ton marktwaardige paling, een waterverbruik van 300l/kg voer en een voederconversie van 1,36 verbruikt per dag circa 5 m<sup>3</sup> water per uur. Wanneer dit water onttrokken kan worden uit een bron die minder diep is dan 30 m onder maaiveld en niet plaatsvindt in een beschermd gebied, is de onttrekking niet vergunningplichtig en hoeft geen Grondwaterheffing te worden betaald. Voor viskwekerijen van gemiddelde omvang vormt de beschikbaarheid van grondwater buiten beschermde gebieden daarom geen beperking. Echter wanneer het grondwater op minder dan 30m diep van onvoldoende kwaliteit is en een bron dieper dan 30m noodzakelijk is, is onttrekking wel vergunningplichtig. Dit geldt ook voor grotere viskwekerijen met een grondwateronttrekking groter dan 10 m<sup>3</sup>/uur. De beschikbaarheid van grondwater kan onder die omstandigheden een beperking vormen. Wegens het bovengenoemde "stand-still" beleid van de provincie Brabant, worden in beginsel geen vergunningen meer verleend voor toepassingen waarbij het water niet in de bodem wordt teruggebracht. Dit betekent dat dergelijke kwekerijen het effluent niet op het riool kunnen lozen maar voorzieningen moeten treffen om het water terug te brengen in de bodem. Grondwaterverbruik wordt dan grondwatergebruik. Of op deze basis in de praktijk daadwerkelijk vergunningen zullen worden afgegeven is niet geheel duidelijk. Eveneens is onduidelijk welke technische maatregelen getroffen moeten worden en wat de kosten zijn. Al deze aspecten vallen buiten het kader van deze studie. Duidelijk is echter wel dat een verschuiving van lozing op het riool naar infiltratie in de bodem niet leidt tot een nieuw milieuprobleem. Aan het terug in de bodem te brengen water worden namelijk strenge eisen gesteld. In principe moet dit water minimaal dezelfde kwaliteit hebben als het opgepompte grondwater. Om dit te bereiken zal het effluent van de viskwekerij uitgebreid nabehandeld moeten worden. Hierbij wordt spuislib geproduceerd, net als bij de huidige voorafgaand aan lozing op het riool.

## 6.6 De emissie van kooldioxide

Op viskwekerijen wordt 50 tot 70% van de totale hoeveelheid organische stof die via het voer binnenkomt niet vastgelegd in kweekvis. Een groot deel van deze organische stofproductie, 80-90%, wordt al op de viskwekerijen omgezet tot anorganische koolstof in de vorm van kooldioxide en wijkt uit naar de lucht. Deze omzetting van organische stof naar kooldioxide is het gevolg van de metabolisering van organische stof door de kweekvis en de in het kweekstelsel aanwezige bacteriële biomassa. Kooldioxide is een belangrijk broeikasgas en daarom belangrijk om in beschouwing te nemen. Uit hoofdstuk 3 volgt dat de Nederlandse visteeltsector in 2004 bij een productie van ruim 10.000 ton marktwaardige vis, een totale organische stofproductie 960 ton CZV kende. De totale kooldioxideproductie door de Nederlandse visteeltsector in 2004 bedroeg naar schatting 11.000 ton.

Door optimalisatie van de nabehandeling van het effluent van viskwekerijen en door het gebruik van het in het viskweekwater aanwezige koolstof als koolstofbron voor denitrificatie, is een groot deel (90%) van de geproduceerde organische stof te verwijderen uit de reststromen. De organische stof wordt hierbij omgezet in kooldioxide en wijkt uit naar de lucht. Deze verlaging van de uitstoot van organische koolstofverbindingen door de afbraak hiervan op de viskwekerij, resulteert in de productie van anorganische koolstof in de vorm van kooldioxide en daarmee in een verhoging van de kooldioxide-emissie.

De daadwerkelijke bijdrage van de Nederlandse visteeltsector aan de emissie van kooldioxide is niet eenvoudig vast te stellen. De organische koolstof in het visvoer is afkomstig van de dierlijke en plantaardige ingrediënten in het voer. Deze koolstof is oorspronkelijk via fotosynthese door planten als kooldioxide uit de atmosfeer opgenomen en vastgelegd in organische verbindingen. Via voedselketens zijn de organische verbindingen uiteindelijk in de ingrediënten van visvoerders terechtgekomen. Wanneer kweekvis en bacteriën in het kweekstelsel deze organische stoffen vervolgens metaboliseren waardoor de koolstof weer in de vorm van kooldioxide vrijkomt, is de koolstofkringloop gesloten. Op basis hiervan kan gesteld worden dat visteelt niet leidt tot een netto verhoging van de kooldioxide emissie. Dit is echter niet geheel juist omdat ook het verbruik van fossiele brandstoffen tijdens de productie van visvoerders en kweekvis in beschouwing moet worden genomen. Hierbij moet bijvoorbeeld gedacht worden aan het verbruik van fossiele brandstof door de visserij ten behoeve van vismeelproductie, landbouwwerktuigen ten behoeve van de productie van plantaardige ingrediënten, het transport van ingrediënten en visvoerders en het verbruik van uit fossiele brandstoffen opgewekte energie op viskwekerijen zoals elektriciteit voor het verpompen van water. Duidelijk is dat het vaststellen van de daadwerkelijke bijdrage van de Nederlandse visteeltsector aan de emissie van kooldioxide vraagt om een uitgebreide analyse van het gehele productieproces en de productieprocessen voor alle grond- en hulpstoffen. Een dergelijke uitgebreide analyse valt buiten het kader van deze studie.

De afbraak van organische stoffen die via het voer op de viskwekerij komen, leidt tot kooldioxide-emissie van respectievelijk 11.000 ton in 2004 tot maximaal 80.000 ton in 2015. Wanneer deze kooldioxide-emissies vergeleken worden met de totale kooldioxide-emissie door de gehele Nederlandse landbouw en de totale Nederlandse kooldioxide-emissie van respectievelijk 9,7 miljoen ton en 180 miljoen ton in 2004 ([www.cbs.nl](http://www.cbs.nl)), kan geconcludeerd worden dat de kooldioxide-emissie door de Nederlandse visteelt te verwaarlozen is ten opzichte van de totale Nederlandse emissie. Dit geldt zowel voor de huidige emissie als ook de verwachte toegenomen emissie ten gevolge van een groeiende Nederlandse visteeltproductie.

## 7. Biologische processen voor de behandeling van opgeloste afvalstoffen in recirculatiesystemen

### 7.1 Inleiding

Moderne waterbehandelingstechnologie in recirculatiesystemen bestaat uit verwijdering van vaste stoffen, CO<sub>2</sub>-verwijdering, nitrificatie en controle over pH, O<sub>2</sub>, en opgeloste afvalstoffen. Nitrificatie is een sleutelproces in visteelt recirculatiesystemen. Vrijwel alle recirculatiesystemen gebruiken zogenaamde fixed-film bioreactoren, waarin de nitrificerende bacteriën op bevochtigde of ondergedompelde dragermaterialen groeien. Deze systemen worden gebruikt vanwege het beperkte management dat nodig is voor het laten functioneren van deze filters in vergelijking met actief slib installaties. Actief slib installaties, waarin de bacteriële biomassa gesuspendeerd is in plaats van op een dragermateriaal groeit, worden over het algemeen als instabiel beschouwd en geassocieerd met slechte waterkwaliteit.

De verwijderingscapaciteit voor ammonia van biologische filters is grotendeels afhankelijk van het totale oppervlak dat beschikbaar is voor de groei van de nitrificerende bacterien. Voor maximale efficiëntie moet het gebruikte dragermateriaal een groot specifiek oppervlak hebben en ook voldoende waterdoorlaatbaar zijn. De dragermaterialen moeten tevens inert, niet samendrukbaar en niet biologisch afbreekbaar zijn. In de visteelt worden als dragermateriaal in biologische filters gebruik gemaakt van zand, grind en plastic of keramisch materiaal in de vorm van o.a. bolletjes en ringen. De meest gebruikte biofilters in intensieve recirculatiesystemen zijn: ondergedompelde filters, *trickling filters*, *rotating biological contactors* (RBC), *floating bead biofilters*, *dynamic bead biofilters*, en *fluidized bed reactors* (Wheaton et al., 1991).

De in Nederland meest gebruikte systemen voor de teelt van paling en meerval worden weergegeven in Figuur 7.1. Het meer eenvoudige systeem dat wordt toegepast in de meervalteelt bestaat uit een plaatbezinker of drumfilter voor de verwijdering van gesuspendeerde vaste stoffen en een trickling filter voor nitrificatie. Palingsystemen maken met name gebruik van drumfilters voor de afscheiding van vaste stoffen, UV behandeling van het kweekwater en tricklingfilters. Septic tanks of nabezinkers worden gebruikt voor de nabehandeling van het effluent van viskweeksystemen (zie ook hoofdstuk 2). In de nabezinkers worden vaste stoffen afgebroken en worden ammonia, nitriet (NO<sub>2</sub>-N), nitraat (NO<sub>3</sub>-N), fosfaat (PO<sub>4</sub>-P) en fosfor (P) verwijderd. Een andere systeemconfiguratie die in Nederland wordt gebruikt voor palingteelt wordt weergegeven in Figuur 7.2. Dit systeem bevat een extra opstroomfilter, geplaatst voor het trickling filter, voor de verwijdering van fijn gesuspendeerd materiaal. De verwijderde vaste stoffen worden periodiek naar de nabezinker gespoeld. Daarnaast wordt in een aantal Nederlandse recirculatiesystemen denitrificatiereactoren toegepast. Figuur 7.3 geeft een schematische weergave van dergelijke systemen. Een denitrificatiereactor behandelt een deel van het effluent van het drumfilter waarna het water na afscheiding van de vaste stoffen terugkomt in het systeem. De denitrificatiereactor wordt gevoed met methanol als koolstofbron voor het denitrificatieproces en wordt gebruikt om de nitraatconcentratie in het systeem onder controle te houden. Denitrificatie wordt ook gebruikt om de vaste fractie uit drumfilters te behandelen. Meervalkwekers gebruiken over het algemeen grote bezinkers waarin spontaan denitrificatie optreedt. De eerste nabehandeling van de vaste fractie afkomstig uit drumfilters is vaak denitrificatie. Het water dat op deze wijze behandeld wordt, wordt niet meer als kweekwater gebruikt. Behalve denitrificatie, wordt de chemische verwijdering van fosfaten toegepast waarbij ijzerchloride (FeCl<sub>3</sub>) en polymeren worden gebruikt voor het neerslaan van fosfaatverbindingen.

Ten einde de verschillende technieken voor toekomstige toepassingen in recirculatiesystemen te categoriseren worden de biologische processen die aan de technieken ten grondslag liggen vergeleken. Deze biologische processen kunnen worden onderscheiden in twee categorieën. In de eerste categorie horen de processen die nutriënten omzetting in minder giftige

verbindingen, zoals nitrificatie, of nutriënten verwijderen zoals denitrificatie. In de tweede categorie horen de processen die de nutriënten omzetten in oogstbare producten. Deze tweede categorie is het minst verkend en ontwikkeld. Daarnaast betreffen een aantal processen in de tweede categorie de behandeling van de vaste afvalstoffen en een aantal andere processen de behandeling van de opgeloste afvalstoffen. In dit hoofdstuk worden beide categorieën beschreven en de toepassingsmogelijkheden ervan in RAS bediscussieerd.

Figure 7.1. Schematische weergave van een recirculatiesysteem voor de kweek van meerval (links) en voor paling (rechts).

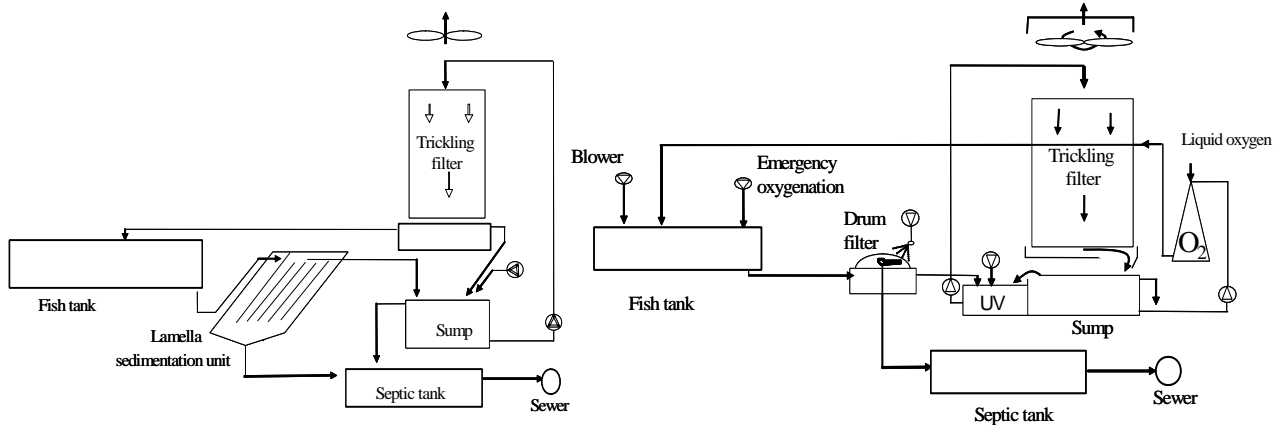


Figure 7.2. Schematische weergave van een recirculatiesysteem voor palingteelt waarin een opstroomfilter wordt toegepast (Inter aqua advance system, Royaal BV, Helmond).

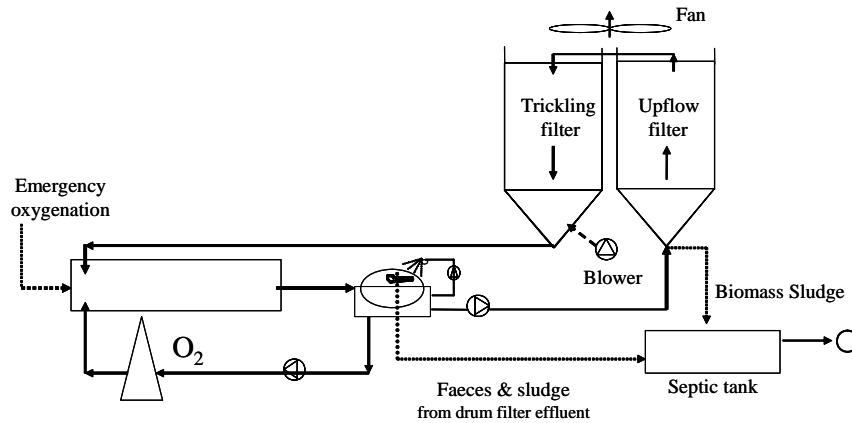
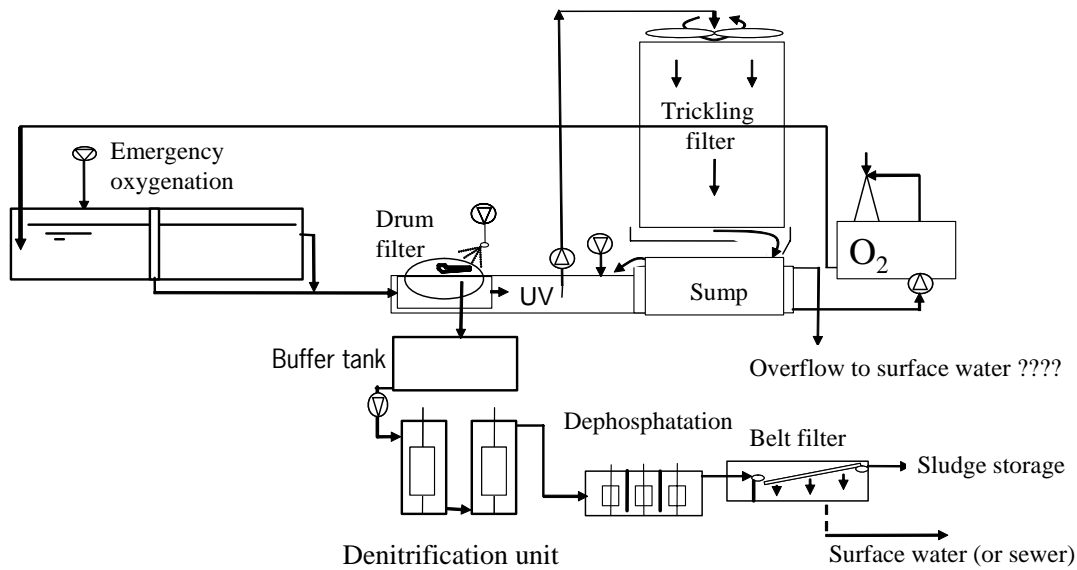
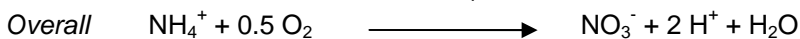
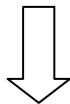
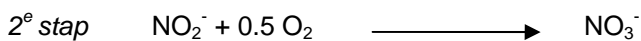
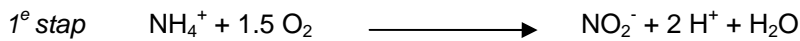


Figure 7.3 Schematische weergave van een recirculatiesysteem voor de teelt van tarbot (lr. C.J. Kloet, Ecomares Zeelandvis BV, Yerseke). De nabehandeling van het effluent bestaat uit denitrificatie, defosfatering, verwijdering van vaste stoffen (belt filter) en slibopslag.



## 7.2 nitrificatie in aquacultuur

Nitrificatie is een tweestaps aerobisch proces waarbij ammonia eerst wordt geoxideerd tot nitrite en vervolgens nitriet wordt geoxideerd tot nitraat. Hieronder worden de reactie vergelijkingen weergegeven:



Zoals vermeld in de introductie worden in RAS verschillende typen biofilters gebruikt. De verwijderingsnelheden van ammonia door verschillende typen biofilters worden weergegeven in Tabel 7.1

Tabel 7.1 Nitrificatiesnelheden voor verschillende typen biofilters (Summerfelt et al., 2001). De nitrificatiesnelheid wordt uitgedrukt in (g TAN/m<sup>2</sup>/d) waarbij TAN staat voor Total Ammonia Nitrogen oftewel totaal ammonia stikstof.

Biofilter type	Nitrification snelheid (g TAN/m <sup>2</sup> /d)
Fluidized bed (zand)	0.08-0.28
Packed bed (plastic bed)	0.08-0.51
Rotating biological contactor	0.19-0.78
Trickling filter	0.55-1.1
Upflow packed bed (zand)	0.06-0.15
Submerged filter (plastic)	0.36-0.42
Moving bed	0.10-1.00
Floating microbead filter	0.30

- *Trickling filters* worden veel toegepast in aquacultuur omdat ze eenvoudig te bouwen en te laten functioneren zijn. Daarnaast beluchten trickling filters zichzelf, zijn ze effectief in de verwijdering van kooldioxide, kunnen van het systeem gekoppeld worden vragen om relatief lage investeringen. De huidige trickling filters worden opgebouwd uit plastic dragermateriaal vanwege het lage gewicht, hoge specifieke oppervlak en geringe gevaar voor verstoppingen. Er zijn verschillende configuraties commercieel verkrijgbaar. De specifieke oppervlakten variëren van 150 tot 350 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Het meest toegepaste specifieke oppervlak loopt uiteen van 150-235 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.
- *Rotating biological contactors* RBCs functioneren door het biofiltermedium of dragermateriaal, bestaande uit schijven of buizen, door een tank met daarin het afvalwater. RBC's worden gekenmerkt door hoge ammoniaverwijderingsnelheden en zijn vergelijkbaar met trickling filters wat betreft beluchting en kooldioxide verwijdering. Vanwege operationele problemen met vooral de lagere assen is de commerciële toepassing van RBCs beperkt.
- *Fluidized-bed biofilters* zijn gebruikt in diverse grootschalige, commerciële viskweeksystemen. Het belangrijkste voordeel van dit type biofilters is het zeer hoge specifieke oppervlak dat uiteenloopt van 4.000 tot 45.000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> voor zand. Hierdoor zijn ze relatief klein en kosteneffectief ten opzichte van andere biofilters. De verwijdering van ammonia is efficiënt met verwijderingsnelheden in warmwater van 0,6 tot 1 kg TAN/m<sup>3</sup> geëxpandeerd bed volume/d en 0,2 tot 0,4 kg TAN/m<sup>3</sup> geëxpandeerd bed volume/d in koud water systemen. De belangrijkste nadelen van fluidized-bed biofilters zijn de hoge kosten voor het pompen van water door het filter en het feit dat het water niet ontgassen en beluchten zoals trickling filters en RBCs dat doen. Daar komt bij dat ze moeilijker te opereren zijn en kunnen kampen met ernstige onderhoudsproblemen., gewoonlijk als gevolg van slechte controle of gesuspendeerde vaste stoffen en biofouling. Om die reden is het ontwerp van het mechanisme voor de doorstroming van het bed uiterst belangrijk voor betrouwbaar functioneren van het filter. Een nieuw ontwerp is geïntroduceerd onder de naam Cyclo-Bio™.
- Het *floating bead filter* is een populair filter geworden voor de behandeling van kleine en middelgrote afvalwaterstromen, over het algemeen minder dan 1.000-2.000 l/min. Ze functioneren als mechanische filtratie door de verwijdering van vaste stoffen terwijl tegelijkertijd de groei van gewenste bacteriën gestimuleerd wordt die verantwoordelijk zijn voor de verwijdering van opgeloste afvalstoffen uit het water. De diameter van de *beads* is circa 3 mm. Terugspoelen van deze filters is vereist om afgevangen vaste stoffen te verwijderen en biofouling te voorkomen. In deze zelfde categorie horen ook de zogenaamde *microbead* filters. Deze filters maken gebruik van polystyreen beads met een diameter van 1 tot 3 mm. Microbeads hebben een dichtheid van 16 kg/m<sup>3</sup> en een specifiek oppervlak van 3936 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> (1 mm beads). Microbead filters worden beschouwd als een goedkoop alternatief voor fluidized bed zand filters vanwege de mogelijkheid tot opschaling tot grote systemen. Bead filters zijn beperkt tot een diepte van circa 50 cm waardoor ze veel meer ruimte in beslag nemen dan een fluidized bed zand filter dan enkele meters hoog gemaakte kan worden.
- *Moving-bed biofilm reactors* zijn ondergedompelde reactoren gevuld met kleine (7 mm lang en 10 mm diameter) en licht drijvende (0.97 *specific gravity*) polyethyleen buisvormige media. Dit is een nieuw type reactor dat sterk belucht moet worden om het bed in beweging te houden (Rusten et al., 1998). De combinatie van beluchting en beweging van het bed voorkomt zuurstof tekorten en problemen met kortsluitstromen. Deze biofilters worden over het algemeen voor 70% van het reactorvolume gevuld met plastic dragermaterialen maar dit levert een effectief oppervlak voor de aangroei van biofilm op van 850 m<sup>2</sup> per kubieke meter of biofilter volume. Dit type ondergedompeld biofilter vraagt om een relatieve lage hydraulische belasting voor de passage van het water door de reactor. Echter de benodigde zware beluchting resulteert in een relatief hoog energieverbruik.

De investeringsbehoefte voor de verschillende typen biofilters varieert zoals is weergegeven in Tabel 7.2

*Tabel 7.2 Geschatte investeringsbehoeften voor verschillende typen biofilters toegepast op een tilapiaakwekerij met een jaarlijkse productie van 454 ton. De kosten worden uitgedrukt in (€/kg productie/jaar) (Summerfelt et al. 2000).*

Biofilter type	Investering (€)	Kosten (€/kg productie/jaar)
Rotating biological contactor	551.230	0,25
Trickling biofilter	511.621	0,23
Bead filter	244.258	0,11
Conventional fluidized-sand biofilter	102.325	0,05
Cyclo-Bio filter	62.715	0,03

De belangrijkste voor en nadelen van in de aquacultuur het meest toegepaste filters worden weergegeven in Tabel 7.3.

*Tabel 7.3. Voor- en nadelen van de meest gebruikte filters in de aquacultuur.*

Biofilter type	Voordelen	Nadelen
Trickling filter	Eenvoudig te bouwen Eenvoudige te bedienen Zelfbeluchtend Strippen van kooldioxide Beperkte investeringsbehoefte	Laag specifiek oppervlak Goede verwijdering van gesuspendeerde stoffen voor het filter is essentieel Loslaten van bacteriën
Rotating biological contactor	Goede nitrificatiesnelheid Beluchting	Goede verwijdering van gesuspendeerde stoffen voor het filter is essentieel Problemen met bediening Laag specifiek oppervlak Investeringsbehoefte Loslaten van bacteriën
Fluidized-bed	Hoog specifiek oppervlak Eenvoudig op te schalen Beperkte investeringsbehoefte Beperkt ruimtebehoefte	Hoge kosten voor het verpompen van water Geen beluchting van het water Biofouling Moeilijk te bedienen Speciaal ontwerp voor waterinlaat nodig Constant debiet is noodzakelijk Uitspoelen van zand
Bead Filters	Verwijderen ook vaste stoffen Bestand tegen biofouling Laag waterverbruik bij terugspoelen	Moeten periodiek teruggespoeld worden
Ondergedompeld filter (plastic)		Sterke beluchting nodig Accumulatie van vaste stoffen Anaërobe condities Moeten periodiek teruggespoeld worden Hoge constructiekosten

In Nederland worden vooral trickling filters gebruikt in de visteelt. Door het toenemende aantal milieuproblemen wereldwijd gaan de ontwikkelingen in de behandeling van afvalwater snel, hetgeen resulteert in nieuwe reactor typen. Deze nieuwe technologieën moeten worden gespiegeld aan de huidige, populaire toepassingen van biofiltratie. Recentelijk werden bijvoorbeeld *moving bed reactors* relatief snel geïmplementeerd door internationale



producenten van recirculatie systemen. Deze voor de visteelt nieuwe technologie werd al op grote schaal toegepast in de industriële afvalwaterbehandeling (Gutierrez-Wing & Malone, in press). Vele Nederlandse viskwekers werken bij een pH van het kweekwater onder de 7 en ondanks de lange acclimatisatieperiode van het trickling filter aan deze omstandigheden leidt dit tot hoge concentraties van ammonia en nitriet in het kweekwater (Eding et al., in press). Bij dergelijke pH waarden wordt de nulde orde verwijderingsnelheid van ammonia met circa 70% verlaagd. (Bovendeur, 1989). Vergelijkbare verlaging van de ammoniaverwijderingsnelheid als gevolg van de lage pH is gevonden voor *rotating contact filters* en andere *fixed film* biofilters (Boller et al., 1994). Echter, Tarre et al. (2004) concludeerden op basis van nitrificatie experimenten met een *fluidized bed biofilm* reactor die draaide bij een pH van 4,5, toevoer van pure zuurstof en een temperatuur van 25°C dat de afname van de ammoniaverwijderingsnelheid als gevolg van een lage pH-waarde zoals gerapporteerd in de wetenschappelijke literatuur waarschijnlijk sterk overdreven is.

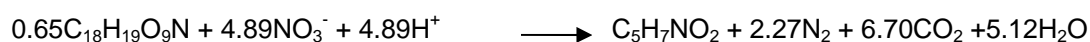
In vergelijking met ondergedomplede filters kunnen trickling filters CO<sub>2</sub> goed uit het water verwijderen. In plaats van de pH, is waarschijnlijk CO<sub>2</sub> limitatie tengevolge van een overvloedige CO<sub>2</sub> ontgassing de reden waarom hoge nitrificatie snelheden bij lage pH's niet eerder zijn waargenomen. Daarom en in overeenstemming met wat is aanbevolen door USEPA (2000), moet het effect van pH niet worden verwaarloosd bij het dimensioneren van trickling filters (Eding et al., in press).

### 7.3 denitrificatie

Denitrificatie is de dissimilatieve reductie van nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) naar stikstofgas (N<sub>2</sub>), via de productie van nitriet (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), gasvormig stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (N<sub>2</sub>O) als tussenproducten.



Of



Dit proces wordt uitgevoerd door heterotrofe bacteriën onder anoxische omstandigheden waarbij nitraat als elektronen acceptator wordt benut in de aanwezigheid van een koolstofbron. Een elektronendonor is nodig als koolstofbron en energiebron voor het denitrificatieproces. Heterotrofe denitrificeerders gebruiken organische stoffen als koolstofbron en elektronendonor. De koolstof die voor denitrificatie wordt gebruikt kan afkomstig zijn van zowel een interne koolstofbron, koolstof dat al aanwezig was in het afvalwater, of een externe koolstofbron, koolstof dat met het doel om verbruikt te worden bij denitrificatie in het systeem gebracht wordt. Eenvoudige verbindingen die in bulk aangeschaft kunnen worden zijn als externe koolstofbron getest: methanol, acetaat, glucose, ethanol en enkele anderen. Omdat methanol relatief goedkoop is, is het gebruik van methanol als externe koolstofbron voor denitrificatie wijdverspreid. Processen waarbij een externe koolstofbron wordt toegevoegd kunnen worden geïntegreerd of gebruikt als 'end op pipe' behandeling na de verwijdering van vaste stoffen. Denitrificatie waarbij gebruik gemaakt wordt van een interne koolstofbron moeten volledig worden geïntegreerd met het nitrificatieproces. Deze integratie moet de reservering van de interne koolstofbron voor denitrificatie veilig stellen en tegelijkertijd aerobe omstandigheden garanderen voor volledige nitrificatie, waarbij het nitraat voor denitrificatie geproduceerd wordt. Op een interne koolstofbron gebaseerde denitrificatie biedt vele voordelen voor de behandeling van afvalwater en een van de belangrijkste is de kostenbesparing op een externe koolstofbron (Rittman and McCarty, 2001).

De C/N verhouding die nodig is voor de volledige reductie van nitraat tot stikstofgas door denitrificerende bacteriën hangt af van de aard van de koolstofbron en de soort bacteriën. Voor

de meer direct beschikbare organische koolstofbronnen is een CZV/NO<sub>3</sub>—N (w/w) ratio van 3.0 tot 6.0 voldoende voor volledige nitraatreductie tot stikstofgas. Koolstoflimitatie resulteert in de accumulatie van tussenproducten zoals stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>), terwijl een overmaat aan koolstof de dissimilatoire reductie van nitraat tot ammonia bevordert (van Rijn et al., 2005).

Denitrificatie betreft zowel gesuspendeerde als biofilm systemen. In beide gevallen zijn de reactoren ontworpen op minimale beluchting. Hoewel de vloeistof in de reactor goed gemengd moet worden, moet contact met lucht vermeden worden. Vrijwel alle biofilm systemen werken goed voor denitrificatie zolang beluchting minimaal is en kortsluitstromen niet voorkomen.

Succesvolle systemen zijn:

- Circulerende bedden met een range aan lichtgewicht deeltjes.
- Ondergedomplede, gefixeerde bedden van steen, zand, kalksteen of plastic materiaal.
- *Fluidized beds* van zand en actieve kool.
- Membraan bioreactoren waarin de membraan H<sub>2</sub> aanvoert en het oppervlak is waaraan biofilm kan groeien.
- RBCs waarin de beluchting wordt beperkt.

Echter het reactortype dat het meest wordt gebruikt voor de behandeling van verschillende typen afvalwater is de UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Het succes van het UASB concept komt door de aanleg van een dicht bed op de bodem van de reactor waarin alle biologische processen plaatsvinden. Dit slibbed wordt gevormd door de accumulatie van binnenkomende gesuspendeerde stoffen en bacteriële groei. Ook is waargenomen dat in deze reactoren de cellen op natuurlijke wijze aggregeren en daarbij vlokken vormen. Deze dichte aggregaten hebben goede bezinkeigenschappen en spoelen niet makkelijk uit de reactor (Seghezzo et al., 1998).

## 7.4 Denitrificatie in aquacultuur

Denitrificatie binnen recirculatiesystemen wint aan populariteit vanwege de reductie van de nitraatconcentraties in het kweekwater. Naast het directe toxische effect op vis wordt nitraat om andere redenen verwijderd uit viskweekwater, namelijk: (1) milieuwetgeving en beperkingen in het lozen van nitraat; (2) stabilisering van de buffercapaciteit van het systeem; (3) waterbesparing door hergebruik van het behandelde water; (4) daardoor een lager energieverbruik voor het verwarmen van water en (5) de bijkomende verwijdering van organische koolstof, orthofosfaat en sulfide van het kweekwater.

Onderzoek en pogingen om denitrificatiereactoren te integreren in recirculatiesystemen zijn voornamelijk van de laatste 10 jaar. Verschillende reactoren zijn gebruikt voor de integratie van denitrificatie in experimentele recirculatiesystemen met en zonder gebruikmaking van een externe koolstofbron, zoals weergegeven in tabel 7.4. Alle gegevens in tabel 7.4 zijn afkomstig van experimentele systemen en niet van commerciële toepassingen.

Tabel 7.4 Denitrificatie reactoren in zoetwater recirculatiesystemen (van Rijn et al., 2005)

Denitrificatie reactor	Vissoort	Koolstof/elektronen donor	Referentie
Actief slib	Karper	Intern	Meske (1976)
Actief slib	Tilapia, aal	Glucose/methanol	Otte and Rosenthal (1979)
Actief slib	Forel	Gehydrolyseerd maiszetmeel	Kaiser and Schmitz (1988)
Verteringsstank en fluidized bed reactor	Tilapia	Intern	Van Rijn and Rivera (1990) Arbiv and van Rijn Shnel et al. (2002)
Actief slib	Aal	Intern	Knosche (1994)
Packed bed reactor	?	Methanol	Abeyasinghe et al. (1996)
Packed bed reactor	?	Intern	Philips and Love (1998)
Polymeren	Sierkarper	Intern	Nagadomi et al. (1999)
Polymeren	Siervis	Biologisch afbreekbare polymeren	Boley et al. (2000)
Packed bed reactor	Aal	Methanol	Suzuki et al. (2003)

Zoals blijkt uit tabel 7.4 is reeds een aantal externe koolstofbronnen gebruikt voor denitrificatie. De ideale koolstofbron voor viskwekers bevindt zich echter al in het viskweekstelsel, met name in de vaste fractie van de afvalstroom. Door gebruik te maken van deze interne koolstofbron kan zowel de totale hoeveelheid vaste afvalstof die ergens moet worden afgezet verminderd worden als ook de gehalten aan nitraat en fosfaat significant verminderd worden. Bij gebruik van methanol als externe koolstofbron wordt circa 3kg methanol verbruikt per kg omgezet nitraatstikstof ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Hiervan wordt circa 25-30% gebruikt voor de vorming van bacteriële biomassa. Wanneer alleen de vloeibare fractie van de afvalstroom wordt gebruikt voor denitrificatie, leidt deze productie van bacteriële biomassa tot een verhoging van de totale productie van vaste stoffen door het viskweekstelsel. Door Wageningen Universiteit uitgevoerde experimenten hebben aangetoond dat denitrificatie voor 100% kan plaatsvinden op basis van de vaste fractie afkomstig uit meervalkweeksystemen (Eding et al., 2004). Het gebruik van deze vaste fractie als koolstofbron voor denitrificatie kan echter leiden tot accumulatie van metabolieten en niet afbreekbare organische stoffen in het kweekstelsel. Daarnaast is het mogelijk dat grondsmak bevorderd wordt.

De toepassingsmogelijkheden van denitrificatie in aquacultuur zijn aangetoond in experimentele systemen. De verrichte inspanningen om deze stap in de behandeling van viskweekwater onder controle te krijgen zijn beperkt in vergelijking met nitrificatie. De oorzaak hiervan is dat vele gekweekte zoetwater vissoorten hoge nitraatconcentraties tolereren. Hoge nitraatconcentraties kunnen echter de groei van sommige commercieel belangrijke soorten beïnvloeden, zoals paling.

Reactor types die zijn geprobeerd in recirculatiesystemen zijn de *fluidized bed* reactor in combinatie met een verteringstank (Arbiv and van Rijn, 1995; Shnel et al., 2002), *packed bed* (Abeyasinghe et al., 1996; Suzuki et al., 2003.) en USB (actief slib) (Eding et al., 2003). Daarnaast zijn pogingen gedaan om nitraat te verwijderen met gefixeerde denitrificeerders. Het vasthouden van denitrificeerders is bewerkstelligd met niet-synthetische materialen zoals agar, chitosan en alginaten of met synthetische polymeren zoals PVC -polyvinylchloride, PP-polypropyleen en PS-polystyreen met en zonder de toevoeging van een externe koolstofbron (Tal et al., 2001). Biologisch afbreekbare polymeren die zowel als matrix en als koolstofbron dienen, zijn ook hiervoor gebruikt (Biedermann et al., 1992; Boley et al., 2000). Denitrificatie wordt niet algemeen toegepast door de Nederlandse visteeltsector en vindt voornamelijk (spontaan) plaats in de bezinkers van meervalkweeksystemen en in *moving beds* in continue geoerde reactoren onder toevoeging van methanol.

Informatie omtrent denitrificatie in viskweeksystemen is schaars en nitraatverwijderingsnelheden door denitrificatiereactoren worden slechts door enkele studies gerapporteerd. Tabel 7.5 geeft een overzicht van de nitraatverwijdering door verschillende typen denitrificatiereactoren toegepast op viskwekerijen en in aquaria.

Tabel 7.5. Denitrificatiesnelheden van een aantal denitrificatiereactoren (van Rijn et al., 2005)

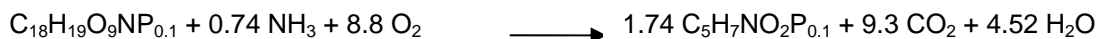
Denitrificatie reactor	Medium	Koolstofbron	Nitraatverwijderingsnelheid (mg NO <sub>3</sub> -N/l/uur)	Reference
Fluidized bed	Zand	Intern	35.8	Arbiv and van Rijn (1995)
Packed bed	Biologisch afbreekbare polymeren	PHB (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	7-41	Boley et al (2000)
Packed bed	Biologisch afbreekbare polymeren	PCL (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	21-166	Boley et al (2000)
Packed bed	Biologisch afbreekbare polymeren	Bionolle (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	1.5-77	Boley et al (2000)
Packed bed	Polyethyleen	Methanol	1.8	Suzuki et al (2003)
Verteringstank	Slib	Intern	5.9	Shnel et al (2002)
Fluidized bed	Zand	Intern	55.4	Shnel et al (2002)
Packed bed	Gevriesdroogde alginataat beads	Zetmeel	26.0	Tal et al (2003)
Verteringstank	Slib	Intern	1.5	Gelfand et al (2003)
Fluidized bed	Zand	Intern	43.3	Gelfand et al (2003)

De grote range (1-166mg NO<sub>3</sub>-N/l/uur) van de verwijderingsnelheden wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in operationele parameters zoals configuratie, type elektronen donor en de heersende nitraatconcentraties waarbij de verschillende reactoren draaiden. Het gebruik van een interne of externe koolstofbron leidt niet tot duidelijke verschillen in denitrificatiesnelheden (van Rijn et al., 2005). Als gevolg van de genoemde verschillen in operationele parameters zijn dergelijke vergelijkingen ook erg lastig. Uit gegevens afkomstige uit de behandeling van rioolwater blijken duidelijke verschillen in denitrificatiesnelheid als gevolg van de verschillende gebruikte koolstofbronnen. Bij 25°C geeft methanol of azijnzuur een denitrificatiesnelheid van circa 20 gNO<sub>3</sub>-N/(kg VSS uur) terwijl een interne koolstofbron resulteert in een denitrificatiesnelheid van 1 gNO<sub>3</sub>-N/(kg VSS uur), waarbij VSS een maat is voor de bacteriële biomassa in de reactor. De gerapporteerde nitraatverwijderingsnelheden geven een indicatie voor de benodigde omvang van denitrificatiereactoren. De snelheden zijn hoger dan voor nitrificatie hetgeen aangeeft dat nitraatverwijdering bewerkstelligd kan worden in kleinere reactoren vergeleken met ammoniaverwijdering. Daarnaast kan als gevolg van de behoefte aan anaërobe omstandigheden een denitrificatiereactor meer compact ontworpen worden. Naast de omvang van de reactor verschillen denitrificatie en nitrificatiereactoren aanzienlijk in debiet als gevolg van de verschillen in de maximaal toegestane ammonia en nitraatconcentraties in het kweekwater. Het laten draaien van een denitrificatiereactor bij relatief hoge nitraatconcentraties bevordert de verwijdering van nitraat per reactorpassage waardoor veel minder water tussen de reactor en de kweektanks hoeft te worden uitgewisseld. Het effect van denitrificatie op de alkaliniteit van het kweekwater kan erg belangrijk blijken voor viskwekers. Denitrificatie resulteert in een productie van 3,57 mg CaCO<sub>3</sub>/mg NO<sub>3</sub>-N en door integratie van denitrificatie in het kweekstelsel kan waarschijnlijk het gebruik van supplementen die de alkaliniteit bevorderen zoals natriumbicarbonaat beperkt worden. Een zwak punt van denitrificatie in recirculatiesystemen is dat het onderzoek alleen is uitgevoerd in laboratorium- en pilotschaal opstellingen. Dergelijke opstellingen kunnen de omstandigheden in commerciële recirculatiesystemen maar gedeeltelijk simuleren. Er is daarom behoefte aan meer kennis omtrent denitrificatie in grote commerciële systemen. Meer begrip van de dynamiek van stikstof, koolstof en andere anorganische nutriënten in specifieke systemen moet verworven worden voor een rationeel gebruik van een interne dan wel externe koolstofbron. Bovendien moet aandacht geschonken worden aan de kwaliteit van het kweekwater na de integratie van denitrificatie in het recirculatiesysteem omdat een lage verversing van het

kweekwater mogelijk leidt tot de accumulatie van stoffen in het kweekwater met een negatief effect op de vis.

### 7.5 Heterotrofe bacteriën (eencellige eiwitten)

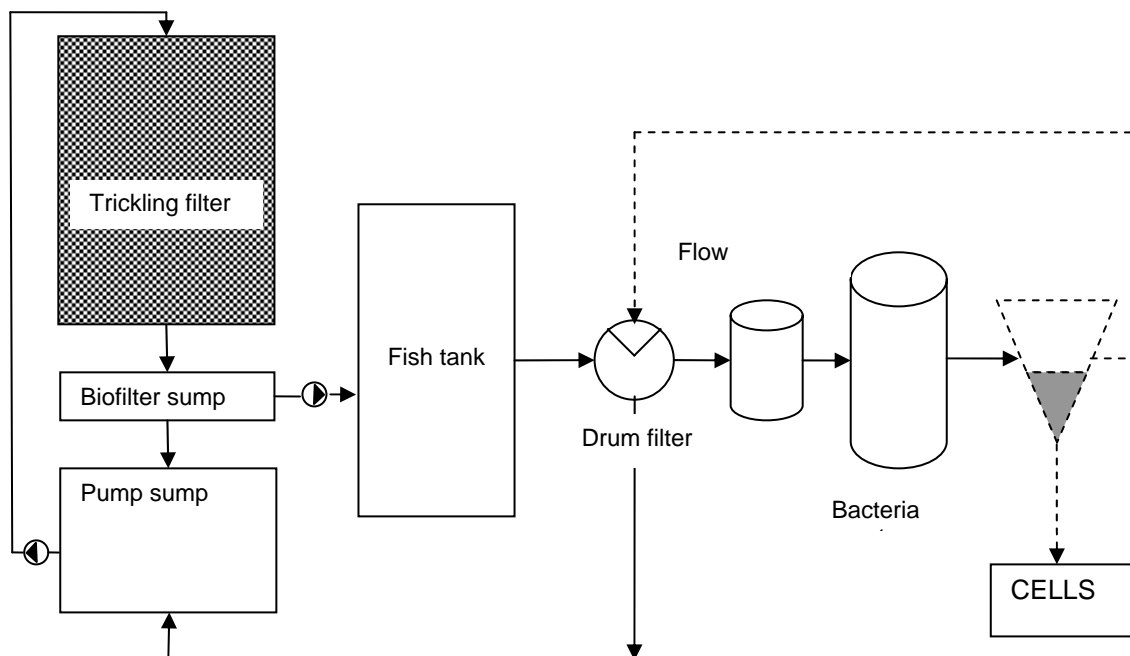
Heterotrofe bacteriën gebruiken koolstof (C), stikstof (N) en fosfor (P) als nutriënten om te groeien. In chemische reactie:



Hierin staat  $C_{18}H_{19}O_9NP_{0.1}$  voor organische materiaal en  $C_5H_7NO_2P_{0.1}$  voor de bacteriële biomassa. Het organisch materiaal dat aanwezig is in afvalwater kan worden omgezet tot bacterie biomassa in aanwezigheid van zuurstof met een opbrengst van 0.3-0.5 g biomassa/g organisch materiaal. Dit proces wordt gebruikt voor de omzetting van afval in bacterie materiaal. Bacteriën zijn rijk aan eiwitten en kunnen gebruikt worden als voedsel voor mensen en dieren. Deze bacteriën worden daarom eencellige eiwitten (single cel protein) genoemd (Litchfield, 1983).

Productie van heterotrofe bacteriën samen met algen productie zijn geïntegreerd in verschillen visvijver systemen met tilapia (Avnimelech et al., 1989), garnalen (Burford et al., 2004) en meerval plus tilapia (Brune et al., 2003). De universiteit van Wageningen probeert heterotrofe bacteriën te produceren met het afval van een drum filter in een RAS met Afrikaanse meerval (Scheider et al., 2003). Dit gebeurt door een bioreactor na een stromingsverdeler te plaatsen waarin de vaste delen van het afval worden omgezet in bacterie cellen (Figuur 7.4).

*Figuur 7.4 Experimentele opzet voor het omzetten van vaste afvalstoffen van een RAS naar bacterie cellen. De onderbroken lijn laat de extra onderdelen zien die nodig zijn voor deze integratie in een bestaan RAS.*



De cellen die in een bioreactor groeien waren een gemengde cultuur van bacteriën zoals die aanwezig zijn in het afval van een RAS. De productie werd verder ondersteund door natriumacetaat toe te voegen op die momenten wanneer de C:N verhouding in het afval water te laag werd voor de productie van heterotrofe bacteriën. Deze bacteriën prefereren een C:N

verhouding van boven de 10, terwijl deze verhouding in het slib van de drum filter rond de 3 ligt.

Door 6g natriumacetaat per liter slib toe te voegen en met constante beluchting was de productie van bacterie cellen 0.35 g biomassa/g C natriumacetaat. Dit resulteerde in een verwijdering van N en P zoals in Tabel 7.6 is weergegeven.

Tabel 7.6. Omzetting van TAN, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N en PO<sub>4</sub>-P in de heterotrofe bacterie reactor.

	TAN	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
mg/l/d	3.5	4.3	431.5	24.9

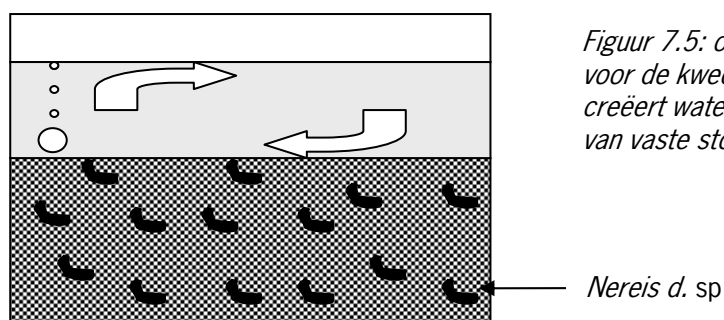
De eerste resultaten van dit onderzoek laten zien dat de geproduceerde biomassa gevoerd kan worden aan garnalen na slechts een minimale filtratie behandeling (Schneider et al., 2004). Een 100 ton meerval kwekerij zou 8.5 ton bacterie eiwit produceren. Uitstoot van stikstof vermindert met 90% en die van ortho-fosfaat met 80%. De grootte van de reactor is afhankelijk van de nutriënten stroom, maar ligt tussen de 28 en 51 l/kg voer.

Tot nu toe wordt dit proces als een “end of pipe” behandeling gebruikt. Het proces moet nog verder geoptimaliseerd worden en scheiding en oogst technieken voor de cellen moeten nog verder worden ontwikkeld voordat dit goed in een RAS is in te passen. Daarnaast is het ook nog mogelijk om organismen die niet direct in een RAS aanwezig zijn te kweken op het afval van een RAS. Mogelijk kunnen die organismen, zoals bacteriën, gisten, schimmels andere hoogwaardige producten produceren, bijvoorbeeld probiotics.

## 7.6 Polychaeten (zeewater)

Vaste afvalstoffen uit de aquacultuur kunnen door “filter feeders” worden benut. Deze organismen beschikken over de mogelijkheid om deeltjes die een aquacultuur kweekstelsel produceert in te vangen en te benutten. Polychaeten kunnen bijvoorbeeld groeien op een dieet van detritus en bacteriën, en kunnen hiervoor in aanmerking komen.

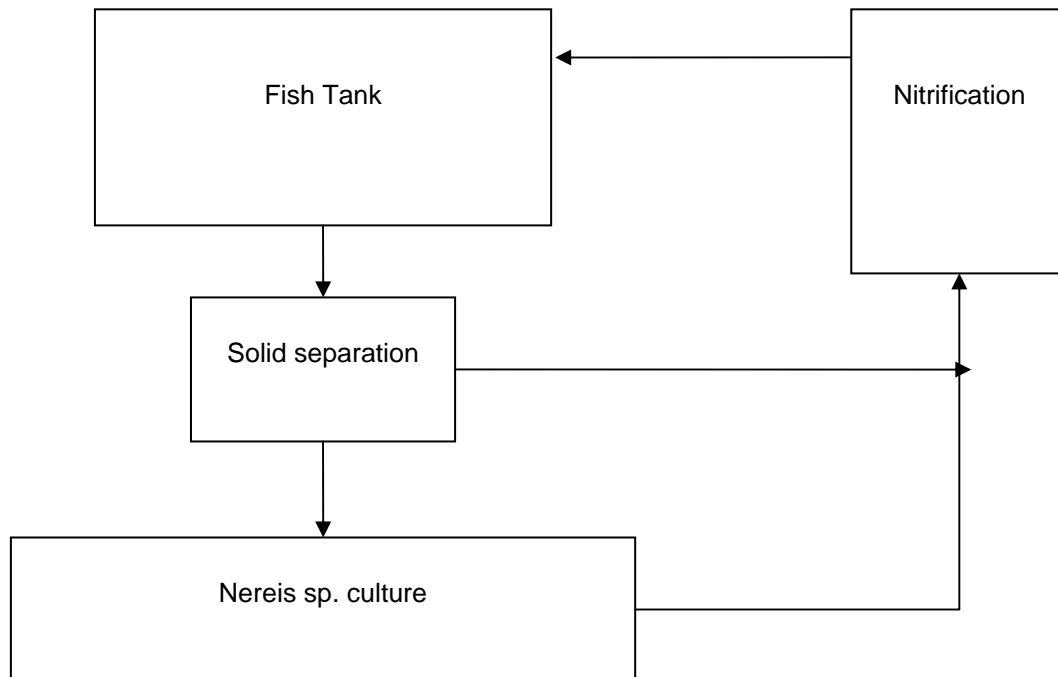
Experimenten zijn al uitgevoerd om vaste afval stoffen (meststoffen en voerresten) aan detritivore organismen *Nereis diversicolor* te voeren (Bischoff, 2003). *Nereis diversicolor* is een polychaete worm met een hoge concentratie aan meervoudig onverzadigde vetzuren (HUFAs). Figuur 7.5 laat een systeem zien waarin *Nereis* sp. werd gehouden in een kweekstelsel van 75 l kiezelzand (2-4 mm) en 25 l brakwater, dat was aangesloten op een lucht en nutriënten aanvoer.



Figuur 7.5: opzet van een kweekeenheid voor de kweek van *Nereis d.* De airlift creëert water circulatie die het bezinken van vaste stoffen verdeelt en vertraagd

Gebaseerd op dit experiment kunnen dichtheden van 2000 individuen per m<sup>2</sup> worden aangenomen. De N verwijdering in een dergelijk systeem van 159 µg per individuele worm per dag. Voor een meerval productie van 100 ton met een N slib productie van 600 gN/d (848\*253\*1000/360) zijn in dat geval 3.8 miljoen wormen nodig, en een kweek oppervlak van 1900 m<sup>2</sup>. Bij een water diepte van 0.5 m betekent dit een extra water volume van 950 m<sup>3</sup>. De eerste resultaten laten zien dat N omgezet kan worden in een hoogwaardig product, *Nereis d.* Een voorbeeld van deze integratie is gegeven in Figuur 7.6.

Figuur 7.6 theoretisch stroom diagram van een integratie van RAS met de kweek van *Nereis sp.*

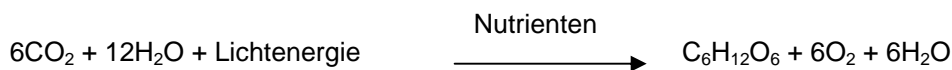


## 7.7 Fototrofe organismen

Fototrope organismen komen in alle milieus voor, van marien en zoetwatermilieus tot woestijnzand en van heet waterbronnen tot sneeuw en ijs. Ze variëren van kleine eencellige tot complexe meercellige vormen. Op basis van grootte kunnen ze ingedeeld worden in micro- en macro algen. Micro algen zijn eencellige of meercellige met een diameter van 3-5  $\mu\text{m}$  voor de kleinsten tot ongeveer 2 mm voor de filament typen. Belangrijke soorten in deze groep zijn de cyaanbacteriën of groenblauw algen (*Spirulina*, *Oscillatoria*), groenalgen (*Chlorella*, *Scenedesmus*), en diatomeeën (*Cyclotella*).

Soorten groter dan 2 mm worden macro-algen genoemd. Bekende soorten in deze categorie zijn *Laminaria*, *Gracilaria*, *Sargassum*, etc. een algemene naam voor macro-algen is zeewier. Tot de fototrofe organismen behoren ook macrofyten als wier, waterhyacint en eendenkroos.

Een belangrijke eigenschap van deze organismen is dat zij in staat zijn zonnenergie om te zetten in biomassa door middel van fotosynthese. Dit proces kan simpel beschreven worden met:



De groei wordt beïnvloed door een complexe interactie van factoren als temperatuur, lichtintensiteit, nutriënten, zoutgehalte, pH, menging, aanpassing, en het kweek systeem (Richmond, 1983; Oswald, 1988).

Biologische behandeling van afvalwater met algen om nutriënten, als stikstof en fosfaat, te verwijderen en tevens aërobie bacteriën van zuurstof te voorzien is 40 jaar geleden al voorgesteld door Oswald et al. (1969). Sinds die tijd hebben veel laboratoria zich hierin verdiept en zijn er verschillende zuiveringsinstallaties gebouwd.



Het wordt algemeen erkend dat algen een belangrijke rol spelen in de zuivering van natuurlijke wateren. Omdat algen zonenergie gebruiken, zuurstof voor bacteriën produceren, en nutriënten die verantwoordelijk zijn voor de eutrofiering omzetten in biomassa (De la Noue & De Pauw, 1988; Oswald, 1988), zijn zij mogelijk een goedkoop alternatief voor de meer traditionele vormen van waterzuivering.

Zowel open als gesloten kweektechnieken zijn gebruikt voor micro algen productie.

- Open kweeksystemen gebruiken verschillende open vijvers met een diepte van 10 tot 30 cm, en variërende grootte. Met behulp van een water rad wordt het water rondgepompt met een snelheid van 0.2-0.5 m/s. In water met de diepte kan de biomassa concentratie oplopen tot 1,000 mg/l en de productiviteit tot 60-100 mg/l/dag, of te wel 10-25 g/m<sup>2</sup>/d. Dit systeem staat bekend onder de naam; High Rate Algal Ponds (HRAP). Deze systemen worden soms als circulaire raceways gebouwd, en worden overal in de wereld gebruikt. HRAPs zijn efficiënt in het zuiveren van huishoudelijk en agrarisch afvalwater in termen van vermindering van BOD, TSS, nitraat, fosfaat en metalen. Zwakke punten van dit systeem zijn de water verliezen door verdamping, CO<sub>2</sub> emissie, en de constante dreiging van besmetting en vervuiling. Daarnaast zijn grote oppervlakten nodig voor de vijvers. Ook het doordringen van licht tot in de gehele waterkolom is vaak een zwak punt. Omdat celdichtheid relatief laag is het oogsten van de algen niet eenvoudig, en is het puur houden van de gewenste algen populatie een probleem (Pulz, 2001).
- Gesloten systemen worden gekarakteriseerd door het reguleren en controleren van bijna alle bio-technologische factoren. Kweek condities zijn te controleren en te optimaliseren, er is een verminderd risico van besmetting, geen co<sub>2</sub> emissie, controle over temperatuur, en een flexibel ontwerp. Met deze systemen kan een compromis gevonden worden tussen kosten en efficiëntie. Hoewel deze systemen gebruikt kunnen worden voor verschillende doeleinden, is het niet waarschijnlijk dat ze snel voor waterzuivering in aanmerkingen komen omdat daarvoor grote hoeveelheden water behandeld moeten worden (Pulz, 2001).

De kweek van macro algen gebeurt vooral in vijvers en tanks met brak en zout water. Dezelfde systemen als voor micro algen kunnen ook gebruik worden voor de kweek van macrophyten. Beluchting wordt gebruikt voor het mengen van het water en een betere verdeling van nutriënten in het water. Macroalgen en macrophyten zijn eenvoudiger te oogsten dan microalgen, maar de overige beperkingen gelden ook hier.

## 7.8 Fototrofe organismen in aquacultuur

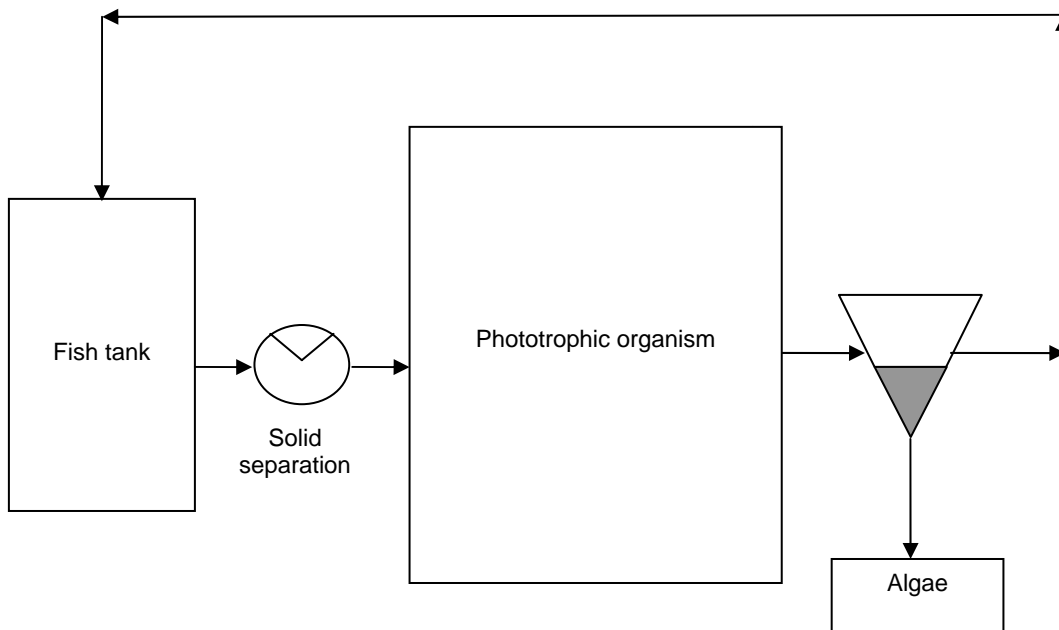
Er is een duidelijk verband tussen fototrofe organismen en aquacultuur omdat algen uitstekend voer is voor mariene dieren (Muller-Feuga, 2000). Ook het gebruik van micro en macro algen voor de behandeling van afvalwater uit intensieve aquacultuur systemen is al voorgesteld (Drapcho & Brune, 2000; Pagand et al., 2000; Neori et al., 2004; Sereti et al., 2005). Het meeste onderzoek hierop is verricht in gebieden met een gematigd klimaat dat open systemen mogelijk maakt (15-25 °C). De Clemson universiteit gebruikt micro-algen voor het verwijderen van N en P van meerval productie. Na het verwijderen van de vaste delen werd het afvalwater in aparte vijvers gebruikt voor algen kweek. Tilapia foerageert op de algen, waarna het water weer terug ging naar de meerval vijvers. Dit systeem produceerde twee soorten vis en daarnaast werd 0.28 g/m<sup>2</sup>/d aan N en 0.018 g/m<sup>2</sup>/d aan P omgezet in algen (Brune et al., 2003).

Macrophyten kunnen ook gebruikt worden voor het verwijderen van N en P van zoet water vis kweek. Experimenten aan de Wageningen Universiteit toonden aan dat 2 m<sup>2</sup> eendekroos 0.14 g N/m<sup>2</sup>/d en 0.02 g P/m<sup>2</sup>/d kon verwijderen als dit een trickling filter verving. Het totale volume van het hele systeem werd wel met 240% vergroot en ongeveer 3g dw/m<sup>2</sup>/d aan eendekroos werd geoogst (Verdegem et al., 2003). In een ander experiment werden het vaste stoffen verwijderaar en het trickling filter vervangen door een mix van algen en bacteriën op een

geperforeerde plaat. Dit resulteerde in een verwijdering van  $0.1 \text{ g N/m}^2/\text{d}$  en  $0.03 \text{ g P/m}^2/\text{d}$ , terwijl het volume iets kleiner was dan het originele filter systeem. Met deze systemen konden de geproduceerde fototrofe organismen eenvoudig worden geoogst. Onder experimentele omstandigheden konden zij het conventionele filter goed vervangen ( $32 \text{ g voer/m}^2/\text{d}$ ) (Sereti et al., 2005).

Een systeem zoals gegeven in figuur 7.7 is een fototrofe unit de enige zuivering is voor het verwijderen van TAN. Voor aquacultuur moet je dan rekening houden met de dagelijkse schommeling in zuurstof en ammonia als gevolg van de licht en donker periode. Daarnaast moet een kweker rekening houden met een mogelijke instorting van de algen kweek.

*Figuur 7.7. Vis kweek met geïntegreerde productie van fototrope organismen voor N en P omzetting.*



Het gebruik van fototrofe organismen voor nutriënten verwijdering heeft als grote nadeel de grote oppervlakte die nodig is. In Nederland kan het daarom alleen in intensieve vorm worden toegepast om de benodigde oppervlakte zo klein mogelijk te houden. De laatste jaren worden systemen van gefixeerde algen toegepast omdat deze sneller nutriënten kunnen verwijderen tegen lagere kosten. Er is echter nog veel ontwikkeling nodig om dit systeem verder te optimaliseren. Buiten systemen die in noord Ierland worden gebruikt tussen mei en september (153 dagen) halen een productiviteit van tussen de  $7.5$  en  $33 \text{ g/m}^2/\text{d}$ . Deze gemiddelde productie komt neer op een verwijdering van  $1.1$ - $1.6 \text{ gN/m}^2/\text{d}$  en  $0.2$ - $0.3 \text{ gP/m}^2/\text{d}$ . Onder de de klimatologische omstandigheden in Nederland (Tabel 7.7) kan een dergelijk systeem 240 dagen draaien (van maart tot oktober) met een gemiddelde productiviteit van  $12 \text{ g/m}^2/\text{d}$  waarbij het systeem  $0.7$ - $1.1 \text{ gN/m}^2/\text{d}$  en  $0.1$ - $0.2 \text{ gP/m}^2/\text{d}$  verwijdert.

Tabel 7.7 Gemiddelde klimatologische gegevens per maand voor Nederland over het tijdvak 1971-2000. Bron: KNMI, [http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/element\\_gegevens.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/element_gegevens.html)

	JAN	FEB	MRT	APR	MEI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC
Gem. Temperatuur (°C)	2.8	2.9	5.6	8.1	12.5	15.0	17.2	17.1	14.2	10.4	6.3	4.0
Gem. Min. Temp. (°C)	0.1	-0.1	2.0	3.6	7.5	10.3	12.5	12.3	10.0	6.7	3.4	1.4
Gem. Max. Temp. (°C)	5.1	5.8	9.2	12.5	17.1	19.4	21.6	21.9	18.4	14.0	9.0	6.3
Rel. Voghtigheid (%)	88	86	83	78	76	78	79	78	83	86	88	89
Neerslagduur (h)	71.7	49.6	67.1	43.8	40.5	45.4	36.3	31.8	49.8	58.7	71.5	73.3
Neerslag (mm)	65.8	45.1	62.1	42.5	54.7	69.5	66.0	59.5	74.6	77.0	79.1	74.7
Verdamping (mm)	8.3	15.7	32.9	56.4	85.1	90.2	95.1	83.1	50.3	27.8	11.5	6.5
Globale straling (J/cm <sup>2</sup> )	7225	13490	25649	40345	54184	54243	54698	47773	30757	18683	8716	5372
Zonneschijn (h)	51.1	78.3	112.4	160.9	207.5	189.2	199.4	196.0	133.4	104.3	59.1	42.3
Zonneschijn (%)	20	28	31	39	43	38	40	43	35	32	22	17
WIND:												
Gem. Windsnelheid (m/s)	5.5	5.1	5.1	4.6	4.2	4.1	4.0	3.8	4.0	4.4	5.0	5.3
Windvector:												
Snelheid (m/s)	3.2	2.5	2.2	1.7	1.4	1.8	1.8	1.6	1.9	2.1	2.7	3.1
Richting(graden)	211	192	221	290	335	283	283	260	232	202	215	211

Als wij dit vertalen naar een kweek systeem van 100 ton meerval productie met een voederconversie van 0.85 en ongeveer 30g N/kg voer and 6.7 g P/kg voer omzetting in vis kunnen wij berekenen dat 9.9kgN/d en 1.7 kg P/d het kweekstelsel verlaat. Om dit te behandelen met fototrope organismen is dan een reactor nodig van 15000-17000 m<sup>2</sup>. De productie aan fototrope organismen ligt dan rond de 180 kg/d.

Als alternatief voor buitenproductie moet in Nederland bekeken worden of algenkweek in kassen geen betere optie is. Technieken moeten in het bijzonder ontwikkeld worden om licht goed door te laten dringen in het kweek medium. Onderzoek naar intensieve reactoren die maximaal gebruik maken van licht wordt op dit moment uitgevoerd aan de universiteit van Wageningen. Daarnaast moet de haalbaarheid van de productie van heterotrofe algen van soorten met hoge kwaliteit onderzocht worden als optie om de hoge kosten van algen productie te compenseren.

## 8. Toepassing van mestverwerkingstechnieken uit de veehouderij voor de verwerking van slib en effluent van viskwekerijen

### 8.1 Trommelfiltereffluent, bezonken slibfractie en effluent nabezinking

Voor de toepassing van mestverwerkingstechnieken uit de veehouderij in de visteelt moeten drie afvalstromen in beschouwing genomen worden:

- het effluent van het viskweekrecirculatiesysteem voor nabehandeling in een nabezinker: het trommelfiltereffluent.
- het effluent van de nabezinker.
- de bezonken fractie in de nabezinker: het spuislib.

In de tabel B in Bijlage 1 worden voor paling, meerval en tilapia de gemiddelde berekende samenstellingen weergegeven van het effluent van de bezinktank en van de bezonken fractie in de bezinktank, het spuislib.

Het effluent van het trommelfilter heeft een laag droge stofgehalte van ca. 0,5 g/l (0,05 %) voor paling tot ca. 2,5 g/l (0,25 %) voor meerval. Deze cijfers zijn berekende gemiddelde waarden, in de praktijk zal een aanzienlijke variatie bestaan.

De bezonken fractie in de bezinktank bereikt gemiddeld een berekend droge stofgehalte van 25 g/l (2,5 %), dit is vergelijkbaar met dunnere mestsoorten uit de varkens- en rundveehouderij. Vanuit de visteeltpraktijk worden droge stofgehalten in oudere bezinklagen van mestkelders genoemd tot 10 à 20 % d.s. (Kamstra et al., 1999).

Het effluent van de bezinktank/mestkelder bevat nauwelijks droge stof en lage gehalten stikstof, fosfor en CZV. Deze fractie leent zich voor een verdere zuivering waardoor hergebruik of lozing tegen lage kosten mogelijk worden.

### 8.2 Efficiëntie van de nazuivering

In een studie uit 1999 (Kamstra et al., 1999) werd gevonden dat de gemiddelde retentie/afbraak in de nazuivering (nabezinking) van een 13-tal bedrijven als volgt was:

*Tabel 8.1: retentie/afbraak van verbindingen in de nazuivering*

Stof:	Retentie/afbraak %
Chemisch Zuurstof Verbruik	60
Ammonium	- 25
Nitrat	56
N-Kjeldahl	47
Fosfor	72

Met name bij bedrijven met een goed werkende nazuivering (dus een grote hydraulische verblijftijd) zijn de concentraties die uiteindelijk geloosd worden erg laag. De retentie/afbraak van N-Kjeldahl is de resultante van bezinking van organisch gebonden stikstof en het vrijkomen van ammonium bij de afbraak van organisch gebonden stikstof (-25 % betekent een toename van het ammoniumgehalte !). De fosfor is voornamelijk aan de vaste fractie gebonden en zal in de nazuivering bezinken (retentie 72 %).

In deze studie varieerde de hydraulische verblijftijd bij de bemonsterde bedrijven van 0,3 tot 15 dagen. Een aantal systemen functioneerde niet naar behoren omdat de putten vrijwel volledig met vaste delen waren gevuld, waardoor de hydraulische verblijftijd kort was. Hogere retenties dan in tabel 8.1 zijn dus bij goed management haalbaar.

### 8.3 Aanwending of verwerking van de bezonken fractie

Wanneer men over voldoende grond beschikt, kan de bezonken fractie als drijfmest worden uitgereden. Wanneer het materiaal echter over grotere afstanden getransporteerd moet worden, verdient een scheidingsstap wellicht de voorkeur. Hierdoor ontstaan een grote hoeveelheid dunne fosfaatarme fractie en een kleine hoeveelheid dikke fosfaatrijke fractie. De dunne fractie kan in de omgeving worden aangewend of geloosd terwijl de dikke fractie getransporteerd of verder verwerkt wordt.

Voor toepassing van mestverwerkingstechnieken in de visteelt dienen deze technieken robuust en goedkoop te zijn, om in aanmerking te komen als alternatief voor lozing op het riool of oppervlaktewater. Een negatieve eigenschap van (bezonken) vissenmest is het hoge vochtgehalte. Dit beperkt de verwerkingsmogelijkheden; met name is dit het geval voor technieken als verbranding of vergassing waarvoor droge stofgehalten van 60 tot 80 % noodzakelijk zijn. In de hierna volgende text wordt de geschiktheid van de verschillende mestverwerkingstechnieken uit de Quick Scan 2004 (Melse, R.W., et al., 2004) voor toepassing op al dan niet bezonken vissenmest toegelicht. Technieken met mogelijk perspectief worden meer uitgebreid beschreven.

### 8.4 Technieken met geen of weinig perspectief

#### *8.4.1 Composteren, drogen, verbranden, vergassen, indampen, drogen en korrelen*

*Composteren* is een biologisch proces waarbij, in aanwezigheid van zuurstof, organische stof wordt omgezet in stabiele humus. Daarbij komt warmte vrij waardoor ziektekiemen en onkruidzaden grotendeels worden gedood. Het verlies aan droge stof in een goed doorluchte composthoop kan oplopen tot circa 50 %. Dit geeft een ongeveer evenredige volumereductie. Voor composteren zijn de eigenschappen van het uitgangsmateriaal van groot belang. Zoals een goede luchtdoorlatende structuur, de afbreekbaarheid en een goede koolstof/stikstof (C/N) verhouding van het materiaal. Zo zal aan compacte mest met een lage C/N-verhouding een structuurverbeteraar als stro met een hoge C/N-verhouding moeten worden toegevoegd. Teveel vocht geeft zuurstofgebrek doordat de poriën gevuld raken met water, terwijl te weinig vocht de groei van de micro-organismen belemmert. In beide gevallen komt het proces moeilijk op gang. Het optimale vochtgehalte in het uitgangsmateriaal ligt op 40 – 50 %. Het mag duidelijk zijn dat dikke fractie vissenmest hiervoor niet geschikt is.

*Drogen* van varkensdrijfmest met circa 8 % droge stof met als doel er een bio-brandstof of mestkorrels van te maken, is een techniek in ontwikkeling die wordt gefrustreerd door steeds stijgende energieprijzen. Gezien het lage droge stofgehalte van bezonken vissenmest (2,5 %) lijkt droging weinig perspectief te bieden.

*Verbranden en vergassen* vereisen droge stofgehalten van minimaal 30 maar liefst boven de 60 %. Hiervoor is het materiaal dus veel te nat.

*Indampen, drogen en korrelen* van varkensdrijfmest met 5 tot 10 % droge stof kostte enkele jaren terug al circa € 20 per ton aan exploitatiekosten, voornamelijk energiekosten. Voor dikke fractie vissenmest komen daar de scheidingskosten nog bovenop, zodat de totale kosten minimaal op circa € 25 per ton uit zullen komen. Daar komt bij dat het onzeker is of

vissenmestkorrels een marktwaarde hebben, of dat er nog extra afzetkosten gemaakt moeten worden.

#### *8.4.2 Hygiënisatie*

Dit is een warmtebehandeling (1 uur bij 70 °C) die volgens Europese richtlijnen noodzakelijk is om een mestproduct te kunnen verhandelen of te exporteren. Doel is het afdoden van ziektekiemen. Hygiënisatie is in het beste geval toepasbaar op een dikke fractie, gezien de hoge kosten van € 5 - € 10 per ton. Het is echter onwaarschijnlijk dat in geval van export een dikke fractie vissenmest kan concurreren met droge mestsoorten (bijv. droge pluimveemest) gezien de relatief hoge transportkosten vanwege het hoge vochtgehalte en de daarmee samenhangende geringe bemestende waarde van het materiaal.

#### *8.4.3 Vergisting*

Deze techniek beoogt biogas, dat voornamelijk bestaat uit methaan, te produceren voor opwekking van Groene stroom. Dit is aantrekkelijk vanwege een MEP-subsidie (Milieukwaliteit ElektriciteitsProductie) van 9,7 eurocent per geleverde kWh bovenop de marktprijs.

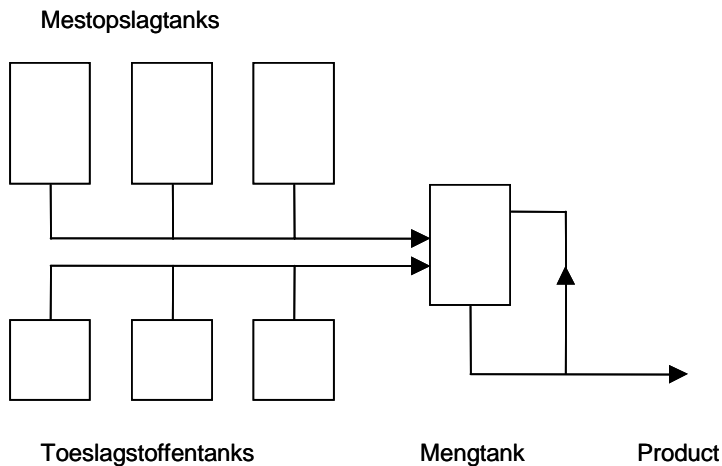
Het meest gebruikelijk is het mesofiele vergistingsproces waarbij anaërobe methaanvormende bacteriën bij een temperatuur van circa 35°C makkelijk afbreekbaar organisch materiaal omzetten in methaan en kooldioxide. Dikke fractie vissenmest bevat echter te weinig makkelijk afbreekbare organische stof. en in de nazuivering zal reeds enige koude vergisting (spontane methaanvorming) hebben plaatsgevonden. Zo is het vergisten van uitsluitend verse rundvee- en varkensdrijfmest op grote veehouderijbedrijven niet of nauwelijks rendabel gebleken. Daarvoor is co-vergisting, het toevoegen van materiaal met een hoog gehalte aan afbreekbare organische stof, zoals pluimveemest, energiemaïs, plantaardige vetten of zetmeelbijproducten uit de voedingsmiddelenindustrie, noodzakelijk om een voldoende hoge biogasopbrengst te realiseren. Daarnaast speelt de benodigde schaalgrootte een rol: de productie van afbreekbare organische stof op een viskwekerij is onvoldoende hoog om de investering in een vergistingsinstallatie te rechtvaardigen. In de Nederlandse veehouderijpraktijk is voor vergisting een schaalgrootte van 10.000 tot 20.000 ton per jaar noodzakelijk. Wanneer in de nabije omgeving een vergistingsinstallatie aanwezig is, kan dikke fractie vissenmest daar wellicht tegen betaling worden meevergist met andere mestsoorten. Hierbij wordt opgemerkt dat de aanwezigheid van antibiotica in mest het bacteriële vergistingsproces danig kan verstoren, met een verlaagde biogasopbrengst als gevolg. Mogelijkerwijs kan de overschotwarmte van de gasmotor (warmtekrachtkoppeling) van de vergistingsinstallatie 's winters op het visteeltbedrijf worden benut.

Het vergiste materiaal, digestaat genoemd, zal toch als mest moeten worden aangewend of afgezet. De mineralengehalten zijn immers niet veranderd door het vergistingsproces en de temperatuur van het mesofiele proces is onvoldoende om afdoding van ziektekiemen te garanderen. Er is eigenlijk geen sprake van mest*verwerking* maar van mest*bewerking*.

#### *8.4.4 Opmenging van bezonken vissenmest met toeslagstoffen ("mest op maat")*

Met varkensdrijfmest bleek het mogelijk om door gecontroleerde toevoeging van kunstmeststoffen een organische meststof met gegarandeerde mineralengehalten te bereiden. De hoge transport- en proceskosten maakten dit product duur ten opzichte van onbehandelde drijfmest. In 2002 werden de extra kosten per kuub varkensdrijfmest van een (regionale) installatie voor 25.000 ton per jaar ingeschat op € 9,-. De extra kosten werden niet terugverdiend door een hogere opbrengstprijis.

**In schema:**

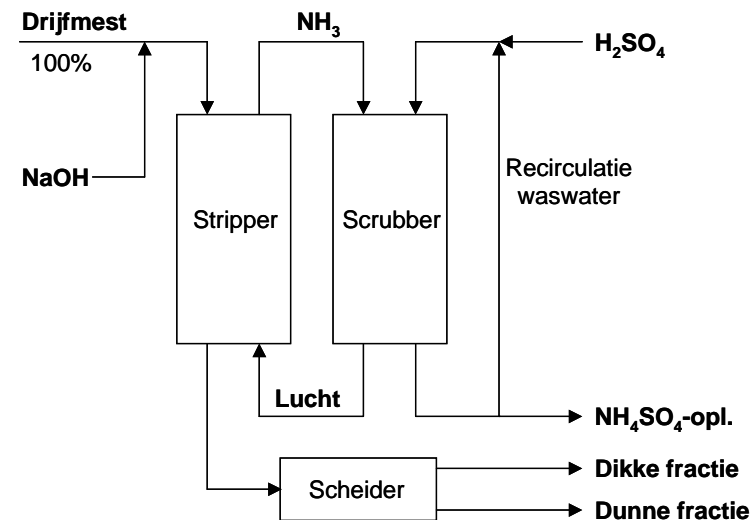


Hoewel het technisch mogelijk zal zijn om dit proces met bezonken vissenmest te realiseren, wordt de economische levensvatbaarheid laag ingeschat. Dit komt met name door de reeds genoemde schaalgrootte (regionaal), de kosten van toeslagstoffen, transportkosten en de onzekerheid over een eventuele meerwaarde van het mestproduct. Daarbij komt dat zowel het droge stofgehalte als de bemestende waarde van bezonken vissenmest aanzienlijk lager zijn dan van varkensdrijfmest.

*8.4.5 Strippen*

Met strippen van drijfmest wordt een vluchtige component in een vloeistof (hier ammoniak) door een behandeling overgebracht naar een gasfase (hier lucht). Drijfmest wordt behandeld in een mobiel systeem, bestaande uit een stripper, een scrubber en een scheider. Door het toevoegen van natronloog aan de drijfmest wordt de ammoniak vrijgemaakt en gestript met lucht. Deze lucht wordt vervolgens gewassen met zwavelzuur. Daarna wordt de drijfmest gescheiden. De verkregen dikke fractie kan eventueel worden gecomposteerd.

**In schema:**



Met deze techniek komt circa 65 % van de in de (varkens)mest aanwezige stikstof in een stikstofconcentraat terecht (ammoniumsulfaatoplossing). Gezien het lage droge stofgehalte en het lage stikstofgehalte van vissenmest in vergelijking met varkensdrijfmest lijkt toepassing van deze vrij dure techniek (ca. € 10 per ton mest excl. afzet producten) niet voor de hand te liggen.

## 8.5 Technieken met mogelijk perspectief

### 8.5.1 *Scheiding*

Hoewel de samenstelling van bezonken vissemest globaal overeenkomt met een dunne mestfractie van varkens of rundvee, zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar over de efficiëntie van een eventuele mechanische scheiding. Veel mineralen zijn deels in opgeloste vorm aanwezig en de fysische eigenschappen van het organisch materiaal kunnen wezenlijk verschillen. Denk hierbij aan slijmstoffen, algen en bacteriën. Scheidingsproeven kunnen hierover uitsluitsel geven.

Mechanische mestscheiders (voor varkens- of rundveedrijfmest) kunnen werken volgens verschillende principes: zeven of filteren zoals bij een vijzelpers, schroefpersfilter en zeefbocht(deeltjesgrootte), centrifugeren (soortelijke massa deeltjes), zeefbandpers (viscositeit van de mest). Een menginstallatie in de mestopslag is noodzakelijk om te zorgen voor een homogene meststroom naar de scheider toe. Alle scheiders produceren een dikke en een dunne fractie.

Organische stof en fosfaat hopen zich op in de dikke fractie. Hoe meer dikke fractie er wordt afgescheiden, hoe succesvoller de scheider.

De dunne fractie kan gebruikt worden als vloeibare meststof (liefst met hoog stikstof- en laag fosfaat-gehalte) of in een volgende stap van mestverwerking (bijv. biologische N-verwijdering), de fosfaatrijke dikke fractie kan worden gebruikt als bodemverbeteraar, gecomposteerd, gedroogd, gekorrelt of verbrand. Als er geen verdere mestbehandeling plaats vindt, is het doel van mestscheiding om tegen lagere kosten de mest af te kunnen zetten. Hierbij dienen de totale kosten lager te zijn dan de mestafzetkosten zonder mestscheiding. De capaciteit van mestscheiders kan variëren van enkele kuubs tot circa 30 kuub per uur.

De meest eenvoudige wijze van scheiding van drijfmest in een dikke en een dunne fractie is bezinking in de mestput. Hierdoor ontstaan een bovenstaande dunne fractie en een bezonken dikke fractie met vergelijkbare samenstellingen als de fracties afkomstig van mechanische scheiders (Dunne fractie: 20 - 22 g/kg droge stof, 0,6 – 1,1 g/kg fosfaat). Eventueel kan de bezinking worden bevorderd door toevoeging van poly-elektrolyten. Wanneer de mestput door middel van verticale overloopschotten in meerdere compartimenten is verdeeld, bezinkt de dikke fractie in de voorste compartimenten terwijl in de achterste compartimenten uitsluitend dunne fractie terecht komt.

Scheiding van varkensdrijfmest kost ca. € 3 – € 5 per ton mest bij continu gebruik van de scheider. Het inhuren van een mobiele scheider is voor veel bedrijven goedkoper dan zelf een installatie aan te schaffen, gezien de daarvoor benodigde investering van € 20.000 tot 60.000. Voor visteeltbedrijven zal dit zeker opgaan, gezien de beperkte hoeveelheden te scheiden materiaal.

### 8.5.2 *Beluchting (nitrificatie/denitrificatie)*

#### **Rioolwater**

In de jaren '50 is door Dr. Ir. Pasveer van TNO de zogenaamde Pasveersloot of oxidatiesloot ontwikkeld als biologische zuivering voor rioolwater. Dit was een ovaalvormige sloot met haaks daarop een rotor om het water met actief slib in rondgaande beweging te houden, zodat het slib niet bezinkt en om het mengsel te beluchten. De wanden van de sloot waren bekleed met kinderkopjes. Na een verblijftijd van twee of drie dagen werd de rotor stilgezet zodat het slib kon bezinken en het bovenstaande gezuiverde water kon worden geloosd op een naastgelegen waterloop. Het zuiveringsrendement bedroeg 90 %. Het slib werd via een slibput of bezinkingstank uit het systeem verwijderd, gedroogd en als meststof gebruikt. Deze Pasveersloot wordt wel de meest succesvolle ontwikkeling van TNO aller tijden genoemd, maar



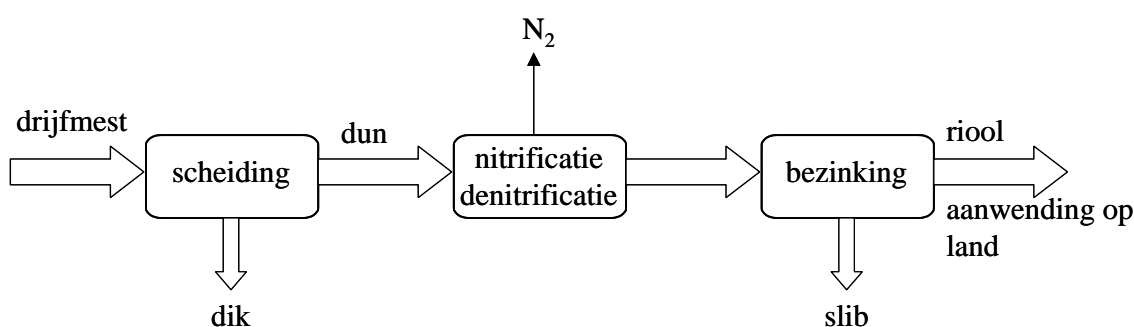
het is de vraag of ze in de Nederlandse situatie nog bruikbaar of toelaatbaar zijn. Eén van de laatste wordt als monument in stand gehouden in Streek- en landbouwmuseum Goemanszorg in Dreischor. Het principe van de Pasveersloot ligt aan de basis van alle later ontwikkelde biologische rioolwaterzuiveringssystemen (Timmerman, M.; ASG-DLO, persoonlijke mededeling).

### Drijfmest

Varkens- of rundveedrijfmest moeten eerst worden gescheiden. Het droge stofgehalte van de dunne fractie kan eventueel nog verder verlaagd worden in een flotatie-unit waar polymeren worden gedoseerd om uitvloeking te bevorderen. De resulterende dunne fractie wordt naar een beluchtingsinstallatie geleid. Hier wordt ammoniumstikstof met de luchtzuurstof omgezet in nitraat (nitrificatie). In een (niet beluchte) denitrificatieruimte wordt het gevormde nitraat voor het grootste deel omgezet in stikstofgas dat de lucht ingaat ( $N_2$ ). Bij niet optimale procesomstandigheden kan tot 10 % van de stikstof kan als lachgas ( $N_2O$ ) de lucht ingaan (Willers, H.C., et al., 1996). Dit is een ongewenst broeikasgas. Voor denitrificatie is een organische koolstofbron nodig. Indien deze in de mestvloeistof niet toereikend is, kan een andere koolstofbron (bijv. melasse) worden toegevoegd. Na bezinking van de gevormde biomassa (het slib) ontstaan uiteindelijk een dikke fractie (20-25% van ingaand volume) en een effluent (75-80% van ingaand volume). In de installatie kan eventueel nog gedefosfateerd worden, waarbij nagenoeg al het fosfaat in het slib terecht komt.

Het effluent kan op het land worden aangewend (al dan niet emissie-arm, afhankelijk van het stikstofgehalte). Het kan ook worden geloosd op het riool. Dit laatste hangt af van de waterbeheerder.

### In schema:



### Trommelfiltereffluent

Denitrificatie is in de visteelt een innovatieve techniek die sporadisch bij recirculatiesystemen wordt toegepast. Het trommelfiltereffluent wordt via een buffertank naar een denitrificatiekolom (Upflow Sludge Blanket Reactor of USB-reactor) gevoerd met daarin een langzaam draaiend roerwerk. Omdat in het trickling filter ammonium biologisch wordt omgezet in nitraat, is de nitrificatiestap overbodig. Door oxidatie van organische koolstof onder anoxische omstandigheden wordt de gevormde nitraat via nitriet en lachgas omgezet in stikstofgas ( $N_2$ ). Niet duidelijk is of hierbij ook lachgas ( $N_2O$ ) vrijkomt. Door het hergebruik van de slibfractie als koolstofbron in de denitrificatiekolom ontstaat een dikkere slibfractie met maximaal 4 % d.s. (Verdoes et al., 2002).

Vrijwel alle nitraatstikstof kan in een USB-reactor uit het materiaal worden verwijderd, evenals een deel van het organisch materiaal. Daarbij moet worden opgepast dat, wanneer alle nitraat is verwijderd, er geen voor de vissen giftig  $H_2S$  wordt geproduceerd. Uit de reactor komen twee vloeibare stromen: circa 98 % water dat wordt teruggevoerd via trommelfilter en trickling filter naar de kwekerij en circa 2 % bijna stikstofloos slib dat op het riool kan worden geloosd (Verdoes et al., 2002). Dit systeem levert behalve een besparing op de lozingskosten ook een enorme waterbesparing en (vooral in de winter) een energiebesparing omdat het water zonder grote temperatuurval kan worden hergebruikt.

Wanneer de nitrificatie in het trickling filter niet volledig is, komt er ook ammonium/ammoniak in het trommelfiltereffluent terecht en zal een extra nitrificatiestap noodzakelijk zijn. Hiervoor kan een reactor worden toegepast waarin zowel nitrificatie als denitrificatie plaats vindt, zoals een SBR (Sequencing Batch Reactor).

Groot verschil tussen de samenstelling van vissenmest en bijvoorbeeld varkensmest is dat in varkensmest een groot deel van de stikstof aanwezig is als ammonium/ammoniak terwijl in vissenmest veel nitraatstikstof aanwezig is als gevolg van nitrificatie in biologische filters. Mede daardoor zijn de kosten voor nitrificatie/denitrificatie van bijvoorbeeld varkensmest moeilijk vergelijkbaar met die van denitrificatie van vissenmest. In 2002 bedroegen de kosten per kuub verwerkte varkensmest € 10,-. Dit werd vooral veroorzaakt door hoge investeringskosten en hoge variabele kosten voor energie en benodigde toevoegmiddelen. De kosten van een USB-reactor voor vissenmest zijn niet bekend (Eding, E.; ASG-WU, persoonlijke mededeling).

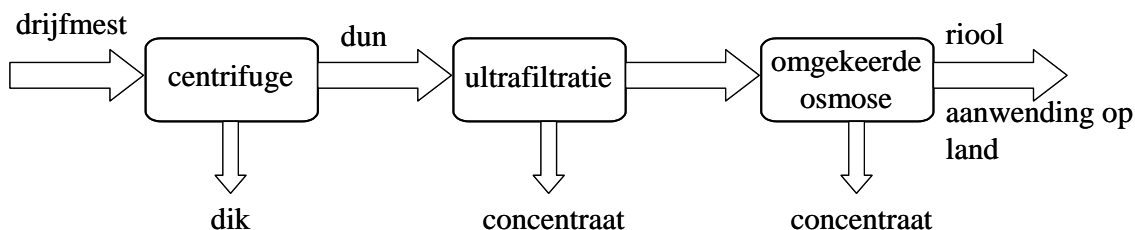
### 8.5.3 Scheiden, ultrafiltratie, omgekeerde osmose

Wanneer twee zoutoplossingen met verschillende concentratie gescheiden zijn door een semi-permeabel membraan, ontstaat er transport van water door het membraan. Het water stroomt van de oplossing met de lage zoutconcentratie naar de oplossing met de hoge zoutconcentratie. Dit wordt osmose genoemd. Het concentratieverschil tussen de oplossingen vormt de drijvende kracht (osmotische druk) voor de diffusie van water door het membraan. Een semi-permeabel membraan laat water veel beter door dan opgeloste stoffen.

Wanneer men een "zoute" vloeistof zoals een dunne mestfractie of het effluent van een trommelfilter of bezinktank wil concentreren, dient het watertransport door het semi-permeabel membraan juist in omgekeerde richting te gaan. Het water moet als het ware uit het effluent worden geperst. Hiervoor moet een tegendruk worden aangelegd die hoger is dan de osmotische druk van het effluent. Hierbij ontstaat een permeaat ("schoon water") en een concentraat.

Varkensdrijfmest wordt eerst gescheiden met behulp van een centrifuge of een andere mechanische scheider. De dikke fractie wordt afgezet naar een composteerder/pelleteerbedrijf. De dunne fractie wordt verder behandeld via ultrafiltratie en omgekeerde osmose tot een kleurloze heldere vloeistof die hergebruikt kan worden op het bedrijf (reiniging van stallen, spoelen van vrachtwagens) of op het riool geloosd kan worden. Bij zowel ultrafiltratie als omgekeerde osmose komt een concentraat vrij.

#### In schema:



Deze hoogtechnologische scheidingstechniek lijkt vooral interessant voor reststromen met een relatief lage belasting aan organisch materiaal, zoals het onbezonden effluent van het trommelfilter of nog liever het effluent van de nazuivering. Een goede voorfiltratie is dus essentieel om dichtslibben van de membranen met organisch materiaal (mest, slijmstoffen, voorresten, algen, bacteriën) te voorkómen. De laatste jaren is er veel vooruitgang geboekt met diverse nieuwe toepassingen van omgekeerde osmose, veelal in de voedingsmiddelenindustrie. Installaties zijn voor elke gewenste schaalgrootte beschikbaar.

*Tabel 8.2: Gehalten in ingaande dunne fractie varkensmest, verkregen uit een geavanceerd scheidingsproces en gehalten in het effluent van omgekeerde osmose (6)*

	Ingaande dunne fractie	Effluent omgekeerde osmose
Droge stof (g/kg)	10	< 6
Organische Stof (g/kg)	2	-
N-totaal (g/kg)	3,82	0,3
N-ammoniakaal (g/kg)	3,6	0,2
N-organisch (g/kg)	0,2	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	0,16	0,09
K (g/kg)	3,9	0,2
Na (g/kg)	1,2	< 0,6

Met name de stikstof- en kaliumgehalten zijn sterk verlaagd door toepassing van omgekeerde osmose (tabel 8.2). Trommelfiltereffluent heeft, vergeleken met deze dunne mestfractie, een gunstiger samenstelling (lagere gehalten) voor toepassing van omgekeerde osmose.

Het effluent van de nabezinking bevat gemiddeld een circa 100 keer lager gehalte aan droge stof (ca. 0,04 g/l) en ook veel lagere gehalten aan mineralen dan het effluent van een trommelfilter (tabel 1a en 1b). Hierdoor kan met een eenvoudiger voorfiltratie en een lager energiegebruik een schoner permeaat worden verkregen dat mogelijk zelfs op oppervlaktewater kan worden geloosd of hergebruikt in de kwekerij (mits het ammoniakgehalte voldoende laag is en er geen hygiënerisico's aan kleven).

Hier staat tegenover dat de watertemperatuur tijdens het bezinkproces is teruggelopen naar de temperatuur van de bezinktank, zodat het permeaat opnieuw opgewarmd dient te worden voor hergebruik.

De geschatte kosten van filtratie en omgekeerde osmose van effluent van viskwekerijen bedragen € 1 à 2 per kuub (exclusief afzet concentraat). Hoe zuiverder het effluent, hoe eenvoudiger en goedkoper de toepassing van filtratie en omgekeerde osmose. Het concentraat (ca. 10 % van het ingaande volume) moet als mest worden afgezet of geloosd.

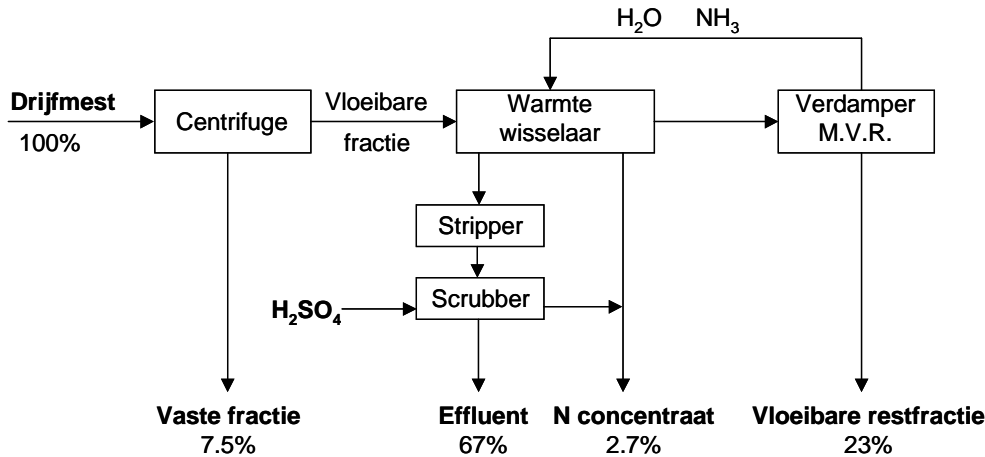
In het verleden zijn proeven gedaan met een mobiele (op een oplegger gemonteerde) installatie voor ultrafiltratie en omgekeerde osmose van varkensdrijfmest, de zogenaamde "mobiele mestontwatering" (Verdoes et al., 2002). De vermindering van het aantal (drijfmest)transportbewegingen door toepassing van een mobiele mestontwateringsinstallatie was en is van maatschappelijk belang. Per ton drijfmest werd 425 liter permeaat met < 200 mg N/liter geproduceerd. Dit permeaat mag niet emissie-arm worden verregend. De retentie voor N, P en K lag boven de 90 %. De kosten bedroegen in 2002 € 4 tot € 8 per ton, afhankelijk van het droge stofgehalte van de mest en de realiseerbare capaciteit.

#### *8.5.4 Scheiden, verdampen, strippen, scrubben*

Ook deze techniek is zeer geavanceerd. Varkensdrijfmest wordt eerst gescheiden met behulp van een centrifuge. De dikke fractie wordt direct afgezet of verder behandeld (bijv. compostering of droging). De dunne fractie wordt ingedampt met behulp van mechanische dampcompressie. De ammoniak/waterdamp die ontstaat wordt gewassen met zwavelzuur en gecondenseerd. Op deze manier wordt uit de dunne fractie een stikstofconcentraat, een hoeveelheid "water" (effluent) en een vloeibare restfractie (met een hoog kaliumgehalte) geproduceerd. De vrijkomende lucht wordt in een actief-koolfilter behandeld.

Enkele proefinstallaties hebben in Nederland op veehouderijbedrijven gedraaid. De techniek bleek eerst nogal storingsgevoelig en kostte veel energie (54 kWh per ton mest). Door lage mestafzetprijzen bleek het systeem niet rendabel te maken. De kosten per kuub mest, zonder afzet van de producten, bedroegen € 17. De vloeibare restfractie maakte 23 % uit van het ingaand volume (zie schema) en had een kaliumgehalte van 28,6 g/liter. Dit beperkt de aanwendingsmogelijkheden en het is niet duidelijk of deze restfractie kostenneutraal kan worden afgezet.

#### In schema:



De percentages in de figuur stellen de massaverdeling van de verschillende producten voor; (MVR = *mechanical vapour recompression*).

In geval van bezonken vissemest is het allereerst de vraag of een efficiënte scheiding mogelijk is. In het geval van trommelfiltereffluent is voor het indampen van dit relatief warm effluent met weinig organische stof minder energie nodig dan voor koude dunne fractie varkensmest. En de hittebehandeling als gevolg van het indampproces zorgt voor effluent dat geheel vrij is van ziektekiemen. Daar staat tegenover dat het stikstofgehalte van bezonken vissemest minder dan 1 gram per kg bedraagt, zodat er minder stikstof in het concentraat terecht komt dan bij andere mestsoorten (bij varkensdrijfmest 65 % van de stikstof in 2,7 % van het ingaand volume).

Gezien de ervaringen in de varkenshouderij, de benodigde schaalgrootte (14.000 ton varkensdrijfmest per jaar), het hoge energieverbruik en de onzekerheid wat betreft de geschiktheid van trommelfiltereffluent (aanwezigheid van slijmstoffen !) en wat betreft de afzetmogelijkheden van de producten wordt de toepasbaarheid in de visteelt niet hoog ingeschat.

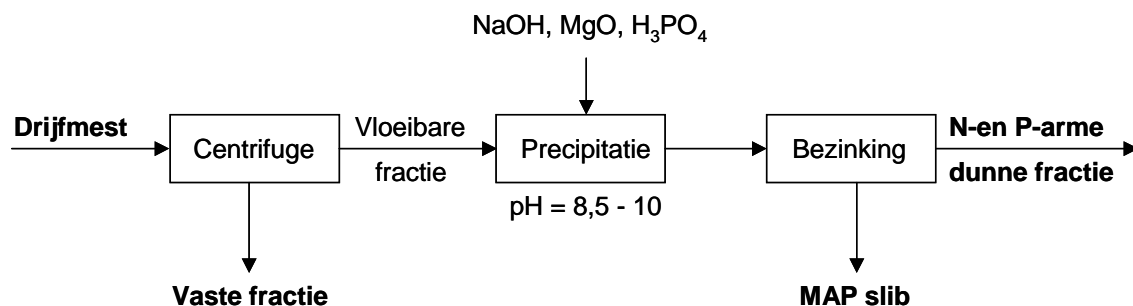
#### 8.5.5 Precipitatie

Deze techniek wordt in de visteelt in bijzondere situaties toegepast voor defosfatering van waterige reststromen (effluent van nabezinker, lozing op oppervlaktewater). Er zijn verschillende methoden waarbij ook verschillende chemicaliën worden toegepast. In de visteelt wordt ijzerchloride en een onbekende flocculant toegepast (Eding, E.; ASG-WU, persoonlijke mededeling). Over de kosten ervan zijn geen gegevens beschikbaar.

Varkensdrijfmest wordt eerst mechanisch gescheiden waarna de dunne fractie verder wordt behandeld. In het geval van struvietproductie (=  $MgNH_4PO_4$  oftewel Magnesium-Ammonium-Phosphate (MAP)) wordt de pH van de mest verhoogd waarna magnesium en fosfaat wordt toegevoegd om de juiste verhouding van Mg,  $NH_4$  en  $PO_4$  te bereiken. Op deze manier wordt ca. 90% van de N en P uit de dunne fractie verwijderd en wordt een MAP-slib geproduceerd. Het struvietproces wordt al jaren toegepast voor het defosfateren van effluent van

nitrificatie/denitrificatie van dunne fractie kalvergiel. Hierbij wordt, vanwege de afwezigheid van ammonium in dit effluent, een KaliumMagnesiumFosfaat geproduceerd dat wordt verwerkt in de fosforindustrie. De kosten in het geval van varkensmest worden geschat op ca. € 30 per ton mest waarvan de helft voor benodigde chemicaliën.

**In schema:**



### 8.5.6 Samenvatting

In tabel 8.3 worden de hierboven beschreven mestverwerkingstechnieken uit de Quick Scan 2004 (Melse et al., 2004) beoordeeld voor hun mogelijke geschiktheid voor verwerking van bezonken trommelfiltereffluent.

Tabel 8.3: *Inschatting geschiktheid mestverwerkingstechnieken uit Quick Scan 2004 voor toepassing op bezonken fractie vissenmest*

Mestverwerkingstechniek	Geschiktheid ( + goed, +/- matig of onduidelijk, - slecht) en opmerking
1 Scheiding bezonken fractie	+ ? Opm.: noodzakelijke eerste stap voor veel andere technieken
2 Composteren	- Opm.: materiaal te weinig structuur, te nat
3 Composteren en korrelen	- Opm.: materiaal te weinig structuur, te nat
4 Drogen en korrelen	- Opm.: materiaal te nat
5 Hygiëniseren	- Opm.: te kostbaar, evt. na scheiding
6 Opmenging van mest met toeslagstoffen	+/- Opm.: te kostbaar
7 Beluchting (nitrificatie/denitrificatie)	+ Opm.: denitrificatie reeds toegepast
8 Vergisting	- Opm.: laag gehalte organische stof, evt. na scheiding
9 Scheiden/ultrafiltratie/omgekeerde osmose	+ Opm.: perspectief voor trommelfilter- effluent of effluent nabezinking
10 Scheiden/verdampen/strippen/scrubben	+/- Opm.: hangt af van efficiëntie van scheiding
11 Verbranding	- Opm.: materiaal te nat
12 Vergisting/nitrificatie/indampen/korrelen (evt. na scheiding)	- Opm.: laag gehalte organische stof

13 Drogen en korrelen (drijfmest)*	- Opm: techniek niet bewezen voor varkensdrijfmest
14 Natte oxidatie*	- Opm.: enige installatie in Nederland is buiten bedrijf gesteld
15 Vergassing (pyrolyse)*	- Opm.: materiaal te nat
16 Vergisten/scheiden/indampen/pelleteren*	- Opm.: laag gehalte organische stof
17 Strippen*	+/- Opm.: te kostbaar
18 Precipitatie*	+/- Opm: precipitatie reeds toegepast
19 Indampen en korrelen*	- Opm.: materiaal te nat

\*: deze technieken (13 t/m 19) zijn geen bewezen technieken.

## 8.6 Verwerken of lozen op het riool ?

De vuiluitstoot van viskwekerijen voor heffingsdoeleinden wordt meestal uitgedrukt in Vervuilingseenheden (VE's). Het aantal berekende VE's per ton geproduceerde vis varieerde in 1999 tussen 1 à 2 voor meerval- en tussen 1 en 6 VE's voor palingkwekerijen. Het gemiddelde bedroeg 2,7 VE per ton. Voor lozing op het riool van één VE betaalt men ca. € 50. Voor een palingkwekerij met een productie van 100 ton per jaar moet al snel rekening worden gehouden met lozingskosten van € 10.000 – 15.000 per jaar.

Groot voordeel van lozing op het riool t.o.v. verwerking in een mestverwerkingsinstallatie is dat er nauwelijks geïnvesteerd hoeft te worden, er geen extra opslagcapaciteit of transport nodig is en er nauwelijks arbeidskosten of extra stress door storingsgevoeligheid aan verbonden zijn. Mestverwerkingsinstallaties zijn duurder per kuub verwerkt materiaal naarmate de hoeveelheid te scheiden materiaal kleiner is. Daarom zal mestverwerking sneller rendabel zijn op zeer grote visteeltbedrijven of bedrijvenparken.

Het (uitsluitend) scheiden van bezonken vissenmest kan economisch interessant zijn wanneer de kosten van scheiding gecompenseerd worden door een vermindering van de afzet- en transportkosten van de dunne en de dikke fractie.

## 8.7 Conclusie

Door het hoge vochtgehalte van (bezonken) effluent van viskwekerijen valt een aantal "droge" mestverwerkingstechnieken, zoals composteren en verbranden, direct af op basis van technisch/economische haalbaarheid. Wanneer bezonken vissenmest goed te scheiden valt in een dikke en een dunne fractie, komen composteren en vergisten van de dikke fractie mogelijk in beeld. De hiervoor benodigde schaalgrootte is dan weer een belemmering voor de toepassing op bedrijfsniveau.

Een aantal "natte" technieken als denitrificatie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose en in mindere mate precipitatie lijken het meest kansrijk als alternatief voor de huidige praktijk. Met name denitrificatie lijkt een interessante techniek uit het oogpunt van besparingen op lozingskosten, energie en watergebruik en omdat hiermee al enige ervaring is opgedaan, o.a. op de Haarvissen bij Zodiac in Wageningen. Ook ultrafiltratie en omgekeerde osmose lijkt perspectiefvol vanuit het oogpunt van besparing op lozingskosten en hergebruik van water, maar deze techniek lijkt meer geschikt voor relatief zuiver effluent.

Scheiden, verdampen, strippen, scrubben is een techniek met een aantal nadelen en onzekerheden ten aanzien van de verwerking van vismest. Maar er zijn ook mogelijke voordelen. Geschat wordt dat het kostenaspect (met name voor energie) hierbij in negatieve zin de doorslag zal geven.

Het gemak, de relatieve eenvoud en bedrijfszekerheid van lozing op het riool ten opzichte van technisch complexe, soms storingsgevoelige mestverwerkingsinstallaties kan voor individuele ondernemers zwaar wegen. Wanneer de reststromen op een centrale locatie verwerkt kunnen worden, bijvoorbeeld wanneer een aantal visteeltbedrijven op een bedrijvenpark geconcentreerd is, zal een investering in mestverwerking eerder aantrekkelijk zijn vanuit economisch en milieukundig oogpunt.

## 8.8 Aanbevelingen

Onderzocht dient te worden of het scheiden van bezonken vismest een kwalitatief hoogwaardige dikke fractie op kan leveren die zich leent voor verdere verwerking, zoals compostering.

Eveneens aanbevelenswaard is te onderzoeken of genoemde “natte” verwerkingstechnieken (denitrificatie, ultrafiltratie en omgekeerde osmose, precipitatie) technisch en economisch haalbaar zijn op bedrijfs- en/of regionaal niveau. Hierbij dienen de benodigde arbeid en milieueffecten meegenomen te worden en vergeleken te worden met die van lozing op het riool en behandeling in een rioolwaterzuiveringsinstallatie.

Voor het testen van ultrafiltratie en omgekeerde osmose op trommelfiltereffluent zijn kleinschalige proefinstallaties te huur. De mogelijke toepasbaarheid van “mobiele mestontwatering” van bezonken effluent door middel van ultrafiltratie en omgekeerde osmose dient eveneens onderzocht te worden.

Onderzocht dient te worden of toepassing in de visteelt van omgekeerde osmose op het effluent van de nabezinking uit economisch en milieukundig oogpunt te prefereren valt boven precipitatie met chemische hulpstoffen.

## 9. Energiebesparing

### 9.1 Mogelijke energiebesparende maatregelen

Het energieverbruik van viskwekerijen is hoog. Mogelijkheden tot besparing op het energieverbruik zijn slechts beperkt aanwezig. De teeltmethode is immers gericht op een optimale productie per kuub water of per vierkante meter bassin. De watertemperatuur bedraagt constant circa 25 °C en het water wordt continu rondgepompt, belucht en gefilterd. Dagelijks wordt circa 5 tot 10 % van het totale volume kweekwater afgescheiden d.m.v. trommel- of drumfilters.

Mogelijke energiebesparingen kunnen gevonden worden in:

- Goed geïsoleerde stallen met als doel een lager energieverbruik voor verwarming/koeling van stal en bassins (denk bij oudere stallen met name ook aan vloerisolatie),
- Energiezuinige frequentieregelde pompen voor het oppompen, rondpompen, beluchten van het kweekwater en voor het verpompen van reststromen,
- Door vervuiling kan het rendement van pompen teruglopen; gebruik liefst zelfreinigende pompen,
- Toepassing van frequentieregelde ventilatoren,
- Het vermijden van drukverliezen door een goed afgestemde dimensionering van pompen, leidingen, in- en uitstroomopeningen en bassins,
- Een goede afstemming tussen pompenleverancier en aannemer/installateur,
- Naarmate de diameter van leidingen groter is, zijn de drukverliezen en de stroomsnelheid van het water lager. Voorkom echter vervuiling van de leidingen door ervoor te zorgen dat de watersnelheid niet lager dan 0,3 m/s is ([www.energiebesparingww.nl](http://www.energiebesparingww.nl)).
- Indien geforceerde belichting wordt toegepast: gebruik energiezuinige plaatbeluchters in plaats van schotel- of buisbeluchters ([www.energiebesparingww.nl](http://www.energiebesparingww.nl)),
- Het vermijden van de noodzaak om water omhoog te pompen kan veel energie besparen. Hiervoor moet bij het ontwerp van een installatie en de keuze van het type pomp rekening worden gehouden.

Voor de verwarming van (grond)water van ca. 12 °C naar de benodigde ca. 25 °C is in de zomer nauwelijks of geen energie nodig, gezien de geringe verversingsgraad en de warmteproductie van elektromotoren en van de vissen. Bij warm weer is er zelfs een warmteoverschot. In de winter dekt de warmteproductie van de vissen en de elektromotoren circa 40 – 50 % van de totale warmtebehoefte (Ouwerkerk, 2002). Voor verwarming van kweekwater wordt veelal een gasgestookte CV-ketel toegepast.

De behandeling van trommelfiltereffluent (zie hoofdstuk 3) door middel van denitrificatie of omgekeerde osmose kan tot gevolg hebben dat een groot deel van het gezuiverde effluent geschikt is voor hergebruik in de viskwekerij. Vooral wanneer dit zonder temperatuurval kan, levert dit met name in de winter een besparing op aan verwarmingskosten.

### 9.2 Toepassing van aardwarmte en warmte-opslag in de bodem

De winning van geothermaal water (opgewarmd tot 70 – 90 °C door de met de diepte toenemende temperatuur in de aardkorst) gebeurt normaal gesproken met behulp van twee putten. Via de eerste put wordt het warme water opgepompt en langs bovengrondse warmtewisselaars geleid. Vervolgens komt het via een tweede put op enige afstand van de eerste weer terug in dezelfde watervoerende laag. Winning van diepe aardwarmte vindt in Nederland nog niet plaats. Met name de hoge kosten van de diepe boringen (1.000 – 2.000 m)



laten een commerciële toepassing niet toe. Een hogere aardgasprijs en/of subsidie op investeringen in schone energie maakt winning wellicht op termijn economisch interessant. Voorwaarde daarbij is dat er gebruik gemaakt kan worden van bestaande aardgas- of aardolieproductieboringen. Berekeningen voor de glastuinbouw in 2001 gaven aan dat het gebruik van aardwarmte economisch haalbaar werd bij een gasprijs van meer dan € 0,227 per kuub (Van de Braak et al., 2001). Door de stijgende energiekosten wordt de hiervoor benodigde grote investering sneller terugverdiend.

Bij **warmte-opslag** (of energieopslag) in de bodem wordt gebruik gemaakt van de warmte-opslagcapaciteit van de bodem. In de bodem wordt warmte uit de zomer opgeslagen voor gebruik in de winter, en koude uit de winter wordt opgeslagen voor gebruik in de zomer. Dit kan zowel door het oppompen en terugpompen van grondwater als door het pompen van water door slangen in de bodem onder het grondwaterniveau (op circa 4 m diepte). Hierdoor kan in de winter bespaard worden op stookkosten en in de zomer op ventilatiekosten.

In de zomer (ten tijde van koeling) wordt het water met een temperatuur van 8 a 10°C uit de grond gehaald van een diepte variërend tussen de 30 en 100 meter. Het opgewarmde water (circa 18°C) wordt teruggepompt in het systeem waardoor de bodem ter plekke opwarmt. Rondom het punt waar het warme water wordt teruggepompt in de bodem ontstaat een warme "bel" van warm water en zandkorrels in de bodem, die relatief goed is geïsoleerd en zich niet verplaatst (zie figuur 9.1).

In de winter (ten tijde van stalverwarming) draait de pomprichting van het grondwater om en wordt het warme water (18°C) opgepompt. Met behulp van een warmtepomp wordt dit water dan weer afgekoeld naar 10°C, dit water wordt weer teruggepompt in de bodem. De energie die vrijkomt bij de afkoeling van het water wordt door een warmtepomp gebruikt om water tot 50°C op te warmen. Dit warme water kan gebruikt worden voor verwarming (Van Wagenberg et al., 2004).

Een **warmtepomp** is een apparaat dat duurzame omgevingswarmte van een laag naar een hoger en bruikbaar temperatuurniveau brengt. De warmte kan worden onttrokken aan de omgeving: bodem, water, lucht of afvalwarmte. Voor het aandrijven van de warmtepomp is een beperkte hoeveelheid primaire energie nodig. Een warmtepomp kan tot ca. 50 % primaire energie besparen ten opzichte van een cv-ketel (Wagenberg et al., 2001). Een warmtepomp heeft altijd een bron nodig waaruit hij laagwaardige warmte onttrekt om hoogwaardige warmte te leveren.

De bodemopbouw in Nederland is vrijwel overal geschikt voor warmteopslag door de aanwezigheid van dikke zandlagen met weinig stroming in het water dat zich in de lagen bevindt. Omdat energieopslag de waterkwaliteit niet verandert, is het in nagenoeg heel Nederland, ook de drinkwaterwingebieden, toegestaan. Aanvankelijk werd energieopslag alleen gebruikt om relatief grote gebouwen, zoals ziekenhuizen, te koelen. Dankzij de ontwikkeling van de warmtepomp kan energieopslag ook gebruikt worden voor verwarming, onder andere in de woningbouw. Eind 2003 waren er in Nederland ongeveer driehonderd energieopslagprojecten bij de provincies geregistreerd. Daarnaast zijn er naar schatting rond de honderd kleine systemen aangelegd waarvoor geen vergunning van de provincie nodig is. Het vermogen varieert van 100 kW voor de zeer kleine systemen tot 25 MW voor grote collectieve systemen ([www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl)).

Warmteopslag in de bodem in combinatie met een warmtepomp kan in de visteelt worden gebruikt voor verwarming en koeling van het kweekwater en de stallucht. In de zomer kan koel water worden opgepompt, terwijl in de winter de opgeslagen (overschot)warmte kan worden benut om te verwarmen.

### **Aanbeveling**

Onderzocht dient te worden in hoeverre warmteopslag in de bodem in combinatie met een warmtepomp rendabel toepasbaar kan zijn in de visteelt. Met name de bedrijfsgrootte zal daarbij een belangrijke factor zijn.

*Fig 9.1: Aanleg van een horizontale warmtewisselaar in de bodem*



De keuze voor vestiging van viskwekerijen op een centrale locatie ligt in het geval van toepassing van aardwarmte of energieopslag in de bodem voor de hand. Hetzelfde geldt indien gebruik gemaakt kan worden van restwarmte van anderen, zoals koelwater van een energiecentrale, proceswater uit de industrie etc.. Op een centrale locatie zullen er ook meer mogelijkheden en incentives zijn voor verwerking van reststromen dan op geïsoleerde visteeltbedrijven.

## 10. Literatuur

- Abeysinghe, D.H., Shanableh, A., Rigden, B., 1996. Biofilters for water reuse in aquaculture. *Water Sci. Tech.* 34, 253–260.
- Anoniem (2005) Statistisch Jaarrapport uitgave 2005 'Vee, Vlees en Eieren in cijfers 2005' Productschappen Vee, Vlees en Eieren. Rapport nr. 0512.
- Arbiv, R., van Rijn, J., 1995. Performance of a treatment system for inorganic nitrogen removal from intensive aquaculture systems. *Aquacult. Eng.* 14, 189–203.
- Avnimelech, Y., Mokady, S., Schroeder, G.L., 1989. Circulated ponds as efficient bioreactors for single cell protein production. *Isr. J. Aquacult. Bamidgeh.* 41 (2), 58–66.
- Biedermann, J., Staniszewski, M., Wais, S., Sussmuth, R., 1992. Poly-b-hydroxybutyrate/b-hydroxyvalerate-copolymers as a substrate and a matrix for microorganisms in denitrification of drinking water. *FEMS Microbiol. Rev.* 103, 473–474.
- Bischoff AA., Growth and mortality of the polychaete *Nereis diversicolor* under experimental rearing conditions. Wageningen University, thesis nr 1677.
- Boley A., Muller WR., Haider G., 2000. Biodegradable polymers as solid substrate and biofilm carrier for denitrification in recirculated aquaculture systems. *Aquacult. Eng.* 22, 75-85.
- Braak, N.J. van de, et al.(2001) Toepasbaarheid van aquifers in de glastuinbouw voor aardwarmtewinning en warmteopslag, Imag-rapport P2001-120,
- Bruggen, C. van (2006) Dierlijke mest en mineralen 2004. Centraal Bureau voor de Statistiek
- Brune, D.E., Schwartz, G., Eversole, A.G., Collier, J.A., Schwedler, T.E., 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacult. Eng.* 28, 65–86.
- Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture.* 232(1-4), 525-537.
- De la Noue, J., de Pauw, N., 1988. The potential of microalgal biotechnology: a review of production and uses of microalgae. *Biotechnol. Adv.* 6 (4), 725–770.
- Deville, G., C. Aliaume, et al. (2004). High-rate algal pond treatment for water reuse in an integrated marine fish recirculating system: effect on water quality and sea bass growth, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Drapcho CM., Brune DE., 2000. The partitioned aquaculture system: impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production. *Aquacult. Eng.* 21, 151-168.
- Eding, E.H., Kamstra, A., Verreth, J.A.J., Huisman, E.A., and A. Klapwijk, 2005. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering.* In press.
- Eding EH., Klapwijk A., Verreth JAJ., 2003. Design and performance of an upflow sludge blanket reactor in a "zero" discharge recirculation system. In: Chopin, T., Reinertsen H. (Eds.), *EBT Beyond Monoculture.* Trondheim, Norway, pp. 172-173 (Special publication).
- Garcia-Callego, M. and H. Akharbach (1998) Evolution of body composition of European eels during their growth phase in a fish farm, with special emphasis on the lipid component. *Aquaculture International* 6, p. 345-356.
- Gelfand, I., Barak, Y., Even-Chen, Z., Cytryn, E., Krom, M., Neori, A., van Rijn, J., 2003. A novel zero-discharge intensive seawater recirculating system for culture of marine fish. *J. World Aquacult. Soc.* 34, 344–358.
- Gutierrez-Wing MT., Malone RF., Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacult. Eng.* In press.
- Hirayama, K., H. Mizuma, et al. (1988). "The accumulation of dissolved organic substances in closed recirculation culture systems." *Aquacultural engineering. Barking* 7(2): 73-87.
- Jongbloed A.W., en Kemme P.A (2005) De uitscheiding van stikstof en fosfor door varkens, kippen, etc. in 2002 en 2006,., ASG-rapport 05/101077
- Kaiser, H., Schmitz, O., 1988. Water quality in a closed recirculating fish culture system influenced by the addition of a carbon source in relation to the feed uptake by fish. *Aquacult. Fish. Manag.* 19, 265–273.

- Kamstra, A. en J.W. van der Heul (1999) Nabehandeling van afvalwater uit viskwekerijen; een inventarisatie. RIVO rapport C067/98.
- Kloet, C.J. (2001) Development of a Blue Label for fish farms; towards a certified environmental performance. Final report Fair CT98-9158.
- KNMI [http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/per\\_element/maand\\_norm-per-element.xls](http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/per_element/maand_norm-per-element.xls)
- Knosche, R., 1994. An effective biofilter type for eel culture in recirculating systems. *Aquacult. Eng.* 13, 71–82.
- Litchfield JH., 1983. Single-cell proteins. *Science.* 219, 740-746.
- Melse, R.W., et al.(2004) Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest, rapportage opdrachtgever 1390938000, ASG-DLO,
- Meske, C., 1976. Fish culture in a recirculating system with water treatment by activated sludge. In: Pillay, T.V.R., Dill, W.A. (Eds.), *Advances in Aquaculture*. Fishing News Ltd, Farnham, U.K, pp. 527–531.
- Nagadomi, H., Hiromitsu, T., Takeno, K., Watanabe, M., Sasaki, K., 1999. Treatment of aquarium water by denitrifying photosynthetic bacteria using immobilized polyvinyl alcohol beads. *J. Biosci. Bioeng.* 87, 189–193.
- Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann AH., Kraemer GP., Halling C., Shpigel M., Yarish C. 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture.* 231, 361-391
- Nijhof, M (1994) Theoretical effects of feed composition, feed conversion and feed spillage on waste discharge in fish culture. *Journal of applied ichthyology* 10(4) p. 274-283.
- Oswald WJ., Goluece CG., Tyler RW., 1967. Integrated pond systems for subdivisions. *J. of Water Poll. Control Fed.* 39(8), 1289-1304.
- Oswald WJ. Ponds in the twenty-first century. *Water Sci Technol.* 1995. 31:1-8.
- Otte, G., Rosenthal, H., 1979. Management of closed brackish-water system for high density fish culture by biological and chemical water treatment. *Aquaculture.* 18, 169–181.
- Ouwerkerk, E, van (2002) ANIPRO, simulatiesoftware voor klimaat- en energievraagstukken in de Veehouderij, Module visteelt, Versie 1.28, A&F-DLO
- Pagand P., Blanceton JP., Lemoalle J., Casellas C. 2000. The use of high rate algal ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. *Aquaculture research*, 31, 729-736.
- Phillips, J.B., Love, N.G., 1998. Biological denitrification using upflow biofiltration in recirculating aquaculture systems: pilotscale experience and implications for full-scale. In: *The Second International Conference on Recirculating Aquaculture, Cooperative Extension/Sea Grant, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia*, pp. 171–178.
- Pulz O., 2001. Photobioreactors: Production systems for phototrophic microorganisms *Applied Microb. Biotechnol.* 57 (3), pp. 287-293
- Richmond, A., 1986. *Handbook of Microalgae Mass Culture*. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Rittman BE., McCarty PL. *Environmental Biotechnology: Principles and applications*. McGraw-Hill, Boston, USA, 2001, pp 754.
- Schneider O., Sereti V., Verdegem M.C.J., Eding E.H., Verreth J.A.J.. Production of Bacterial Single Cell Protein on Carbon Supplemented Fish Waste. Beyond monoculture European Aquaculture Society, August 8-12, Trondheim, Norway. In *Extended abstracts and short communications* p.305, 2003.
- Schneider, O., Cong LT., Sereti V., Eding E.H., Verreth J.A.J. Comparison of feed preference of *Litopenaeus vannamei* fed SCP or commercial diets. *Biotechnologies for Quality European Aquaculture Society*, October 20-23, Barcelona, Spain. In *Extended abstracts and short communications* p.727, 2004.
- Schneider, O., Amirkolaie, A.K., Vera-Cartas, J., Eding, E.H., Schrama, J.W. and J.A.J. Verreth (2004) Digestibility, faeces recovery, and related carbon, nitrogen and phosphorus balances of five feed ingredients evaluated as fishmeal alternatives in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research* 35, p.1370-1379.
- Schreckenbach, K., Knosche, R. and K. Ebert (2001) Nutrient and energy content of freshwater fishes. *J. Appl. Ichtyol.* 17, p. 142-144.

- Seghezzeo L., Zeeman g., van Lier JB., hamelers HVM., Lettinga G., 1998. A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and UGSB reactors. *Bioresource technol.* 65, 175-190.
- Sereti V., Verdegem M.C.J., Eding E.H., and Verreth J.A.J.. Can an algal biofilm act as a sole treatment unit in a freshwater recirculation system? Lessons from the past to optimize the future European Aquaculture Society, August 5-9, Trondheim, Norway. In *Extended abstracts and short communications* p.411, 2004.
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., van Rijn, J., 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacult. Eng.* 26, 191–203.
- Summerfelt S., Bebak-williams J., Tsukuda S. 2001. Controlled Systems: Water reuse and recirculation. In: *Fish hatchery management 2<sup>nd</sup> edition* Eds. Wedemeyer G. pp285-395
- Suzuki, Y., Maruyama, T., Numata, H., Sato, H., Asakawa, M., 2003. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: toward zero emission. *Aquacult. Eng.* 29, 165–182.
- Tal Y., Schwartsburd B., Nussinovitch A., van Rijn J., 2001. Enumeration and factors influencing the relative abundance of adenitrifier *Pseudomonas* sp. JR12, entrapped in alginate beads. *Environ. Pollut.* 112, 99-106.
- Tal, Y., Nussinovitch, A., van Rijn, J., 2003. Nitrate removal in aquariums by immobilized denitrifiers. *Biotechnol. Prog.* 19, 1019–1021.
- Tal, Y., Schwartsburd, B., Nussinovitch, A., van Rijn, J., 2001. Enumeration and factors influencing the relative abundance of a denitrifier *Pseudomonas* sp. JR12, entrapped in alginate beads. *Environ. Pollut.* 112, 99–106.
- Timmons MB., Ebeling JM., Wheaton FW., Summerfelt ST., Vinci BJ., 2001. *Recirculating aquaculture systems* NRAC publication no. 01-002, Cayuga Aqua Ventures, Ithaca ,NY, 650 pp.
- van Rijn J., Tal Y., Schreier HJ, Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacult. Eng.* In press
- van Rijn, J., Rivera, G., 1990. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit: nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. *Aquacult. Eng.* 9, 1–18.
- van Rijn. 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture - A review. *Aquaculture.* 139 (3-4), 181-201.
- Verdegem M.C.J., Sereti V., Eding E.H.. Integration of algae, duckweed and periphyton as biological water treatment processes in freshwater recirculation systems. Beyond monoculture European Aquaculture Society, August 8-12, Trondheim, Norway. In *Extended abstracts and short communications* p.350, 2003.
- Verdoes, N.; et al.(2002) *Mestverwerking varkenshouderij, Mobiele mestontwatering*, Mestec te Papendrecht, *Praktijkboek* nr. 11, *Praktijkonderzoek Veehouderij*.
- Wagenberg, A.V. van; et al.(2004) *Duurzame energie in de pluimveehouderij*, *Pluimveehouderij*, nr. 46, 22-23
- Wagenberg, A.V. van, et al.(2001) *Haalbaarheidsstudie naar toepassing van warmtepompen in de varkenshouderij*, intern rapport 471, *Praktijkonderzoek Veehouderij*
- Wheaton, F., Hochheimer, J., Kaiser,G.E., 1991. Fixed film nitrification filters for aquaculture *Aquaculture and Water Quality.* pp272-303 D.E. Brune and J.R. Tomasso (Editors), *World Aquacult. Soc.*, Baton Rouge, LA.
- Willers, H.C., et al. (1996) Emission of ammonia and nitrous oxide from aerobic treatment of veal calf slurry, *Journal for Agricultural Engineering*, 63, 345-352

## Bijlage 1 Tabellen

*Tabel A Bedrijfsomvang van de geënuquêteerde viskwekerijen*

Vissoort	Bedrijfsomvang (ton/jaar)	Deel van de totale productie 2004 (%)
Meerval	100	2,5%
Meerval	75	1,9%
Meerval	12	0,3%
Meerval	300	7,5%
Meerval	100	2,5%
Meerval	50	1,3%
Meerval	120	3,0%
Meerval	20	0,5%
Meerval	100	2,5%
Meerval	50	1,3%
Totaal Meerval	927	23,2%
Paling	25	0,5%
Paling	50	1,0%
Paling	40	0,8%
Paling	30	0,6%
Paling	17	0,3%
Paling	90	1,8%
Totaal Paling	252	5,1%
Tilapia	80	6,7%
Tarbot	20	16,7%
Totaal	2458	25%

*Tabel B Gemiddelde concentraties van nutriënten in het spuislib geproduceerd door nabehandeling (Spuislib) en in het effluent van de nabehandeling (Effluent) voor paling, meerval en tilapia teelt op basis van het emissiemodel. Alle concentraties zijn uitgedrukt in (mg/l).*

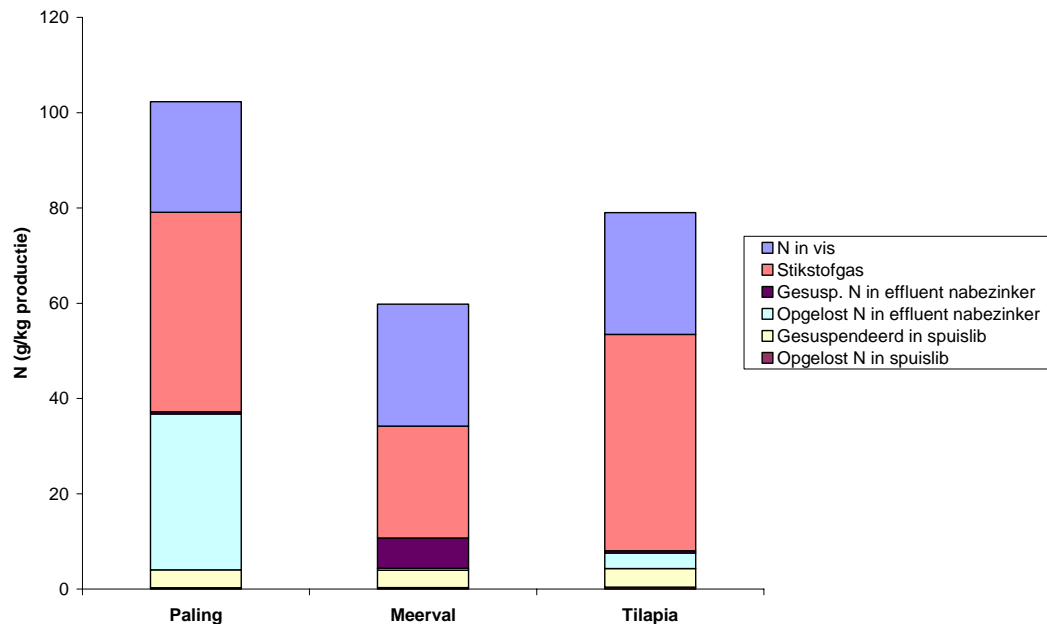
	Paling		Meerval		Tilapia	
	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent	Spuislib	Effluent
Droge stof	25000	19	25000	269	25000	452
Totaal N opgelost	80	80	116	116	57	57
Totaal N gesusp.	1124	0	732	8	537	8
Nitraat N	63	63	50	50	38	38
Kjeldahl -N opgelost	17	17	66	66	4	4
Kjeldahl -N gesuspendeerd	1124	1	732	8	537	8
Fosfor opgelost	8	8	18	18	81	81
Fosfor gesusp.	3182	3	1095	6	930	13
CZV opgelost	40	40	195	195	262	262
CZV gesusp.	24464	22	22362	115	18934	265

*Tabel C Omvang en bestemming van reststromen voor de gehele Nederlandse visteeltsector in 2004 gespecificeerd voor paling, meerval en tilapia. Alle hoeveelheden zijn uitgedrukt in (ton/jaar)*

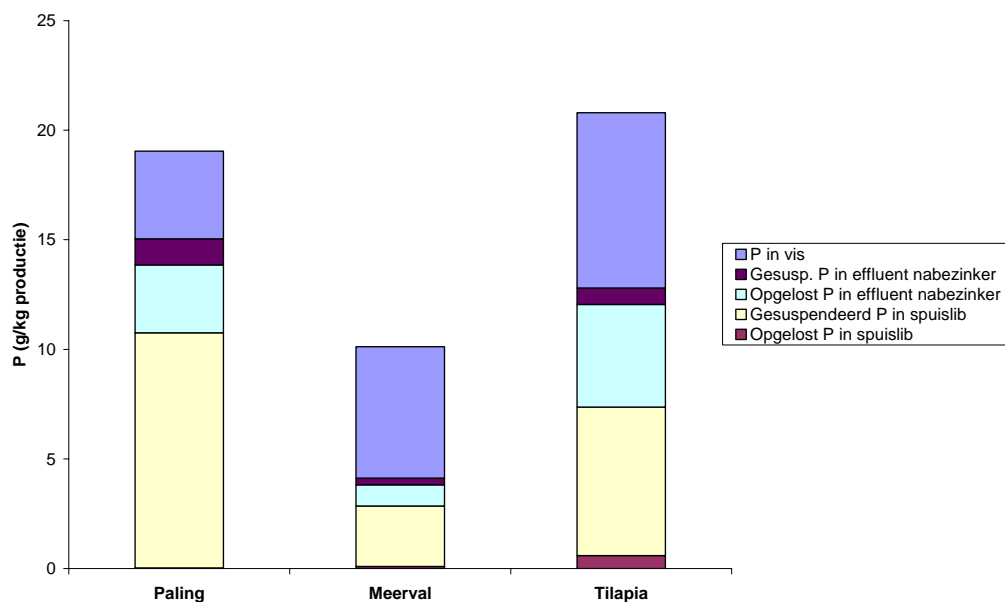
<b>Paling</b>	Bodem	Opp water	Riool	Land	Totaal
Droge stof	11	0	181	314	506
Totaal stikstof	18	0	137	26	182
Nitraat stikstof	14	0	104	10	128
Kjeldahl stikstof	4	0	34	17	55
Fosfor	2	0	31	41	74
CZV	14	0	205	310	529
<b>Meerval</b>	Bodem	Opp water	Riool	Land	Totaal
Droge stof	22	7	59	225	312
Totaal stikstof	10	3	11	12	36
Nitraat stikstof	4	1	4	3	12
Kjeldahl stikstof	6	2	7	10	24
Fosfor	2	1	4	11	17
CZV	25	8	58	205	296
<b>Tilapia</b>	Bodem	Opp water	Riool	Land	Totaal
Droge stof	16,5	84,5	0	68	169
Totaal stikstof	3	5,5	0	2,5	11
Nitraat stikstof	3	3	0	0	6
Kjeldahl stikstof	0,5	3	0	2,5	6
Fosfor	3,5	8	0	4,5	16
CZV	15	67,5	0	52,5	135

## Bijlage 2 Figuren

*Figuur A. Stikstofbalansen voor paling, meerval en tilapiateelt. Weergegeven worden de uiteindelijke bestemmingen van de stikstof die via het voer de viskwekerij binnen komt. Alle hoeveelheden worden uitgedrukt in (g/kg visproductie).*

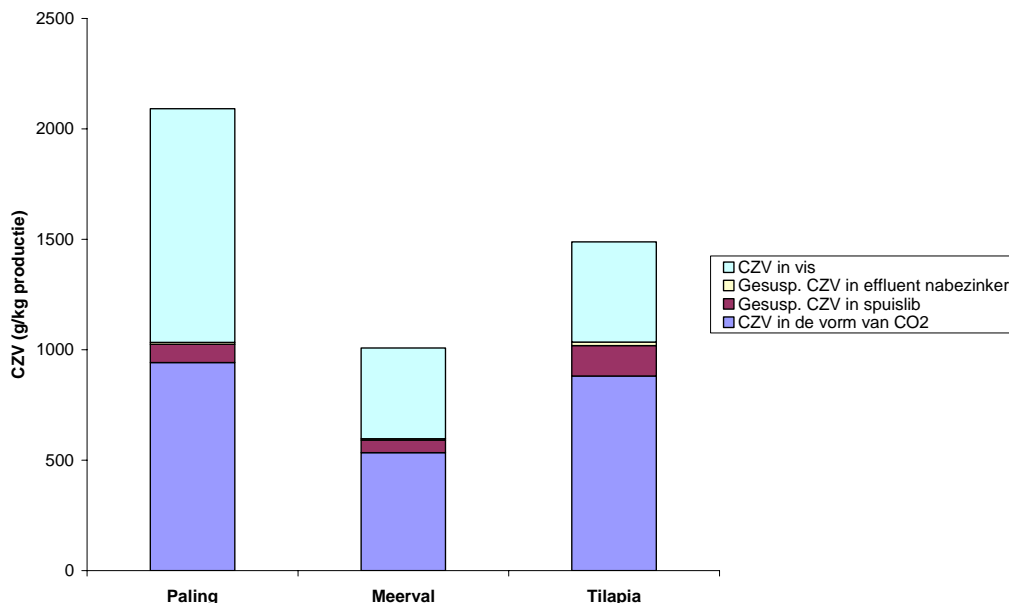


*Figuur B. Fosforbalansen voor paling, meerval en tilapiateelt. Weergegeven worden de uiteindelijke bestemmingen van de fosfor die via het voer de viskwekerij binnen komt. Alle hoeveelheden worden uitgedrukt in (g/kg visproductie).*

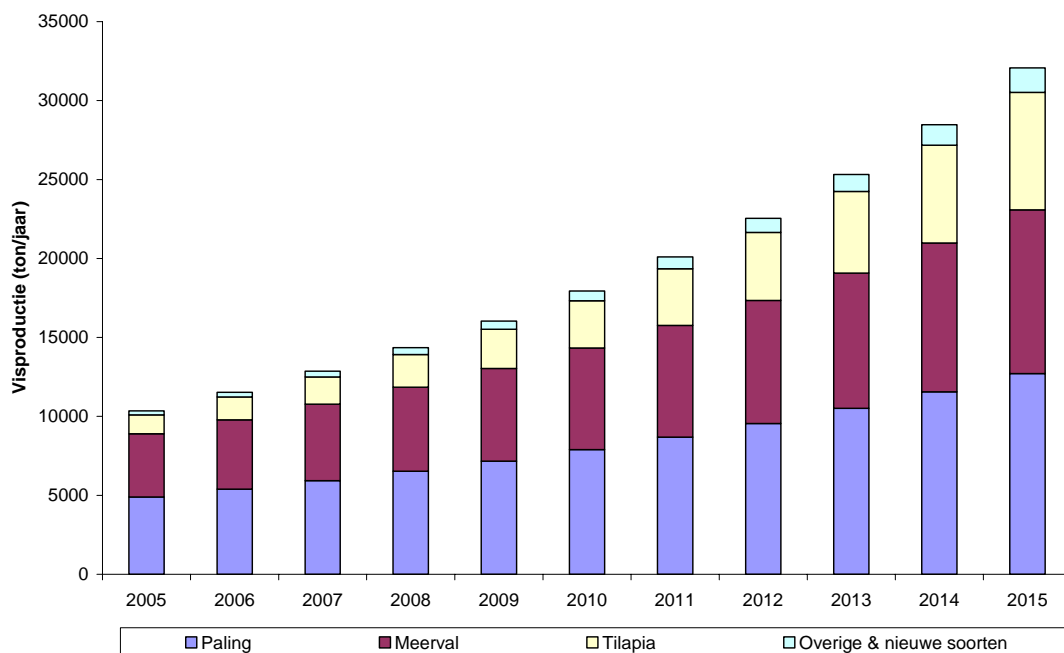




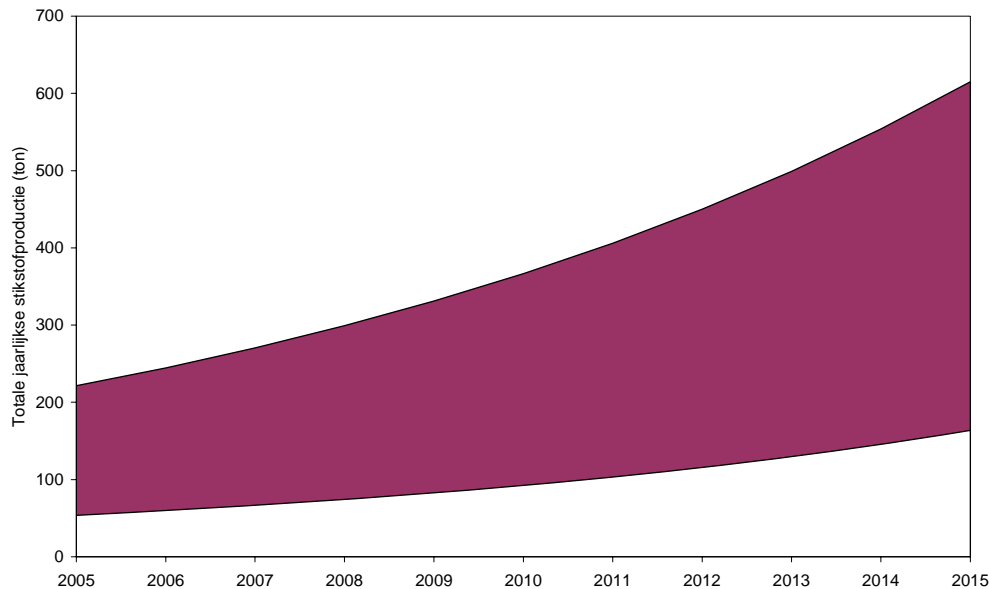
Figuur C. CZV balansen voor paling, meerval en tilapia teelt. Weergegeven worden de uiteindelijke bestemmingen van het CZV die via het voer de viskwekerij binnen komt. Alle hoeveelheden worden uitgedrukt in (g/kg visproductie).



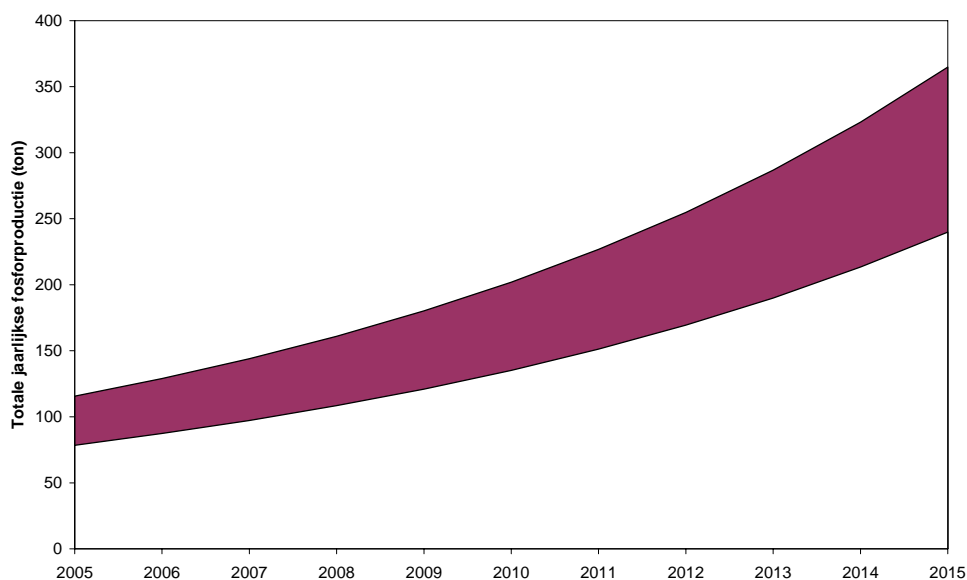
Figuur D. De totale visproductie door de Nederlandse aquacultuur in de periode 2005-2015 gebaseerd op een jaarlijkse groei van 10% voor paling en meerval en 20% voor tilapia en alle overige vissoorten.



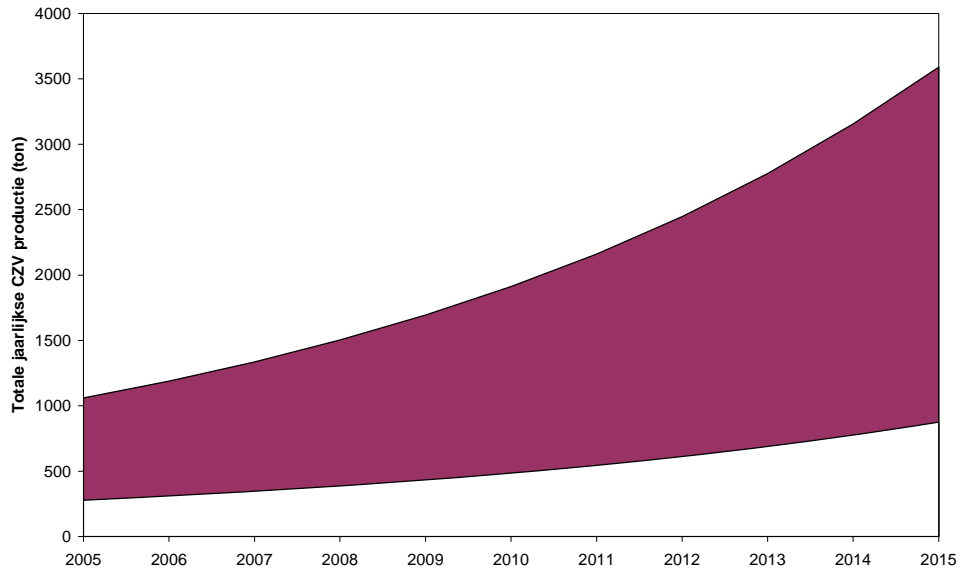
*Figuur E. De verwachte totale productie van stikstof door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een groei van de paling en meervalproductie van 10% per jaar en van de productie van tilapia en overige vissoorten van 20% per jaar. De maximale stikstofproductie is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. De minimale productie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



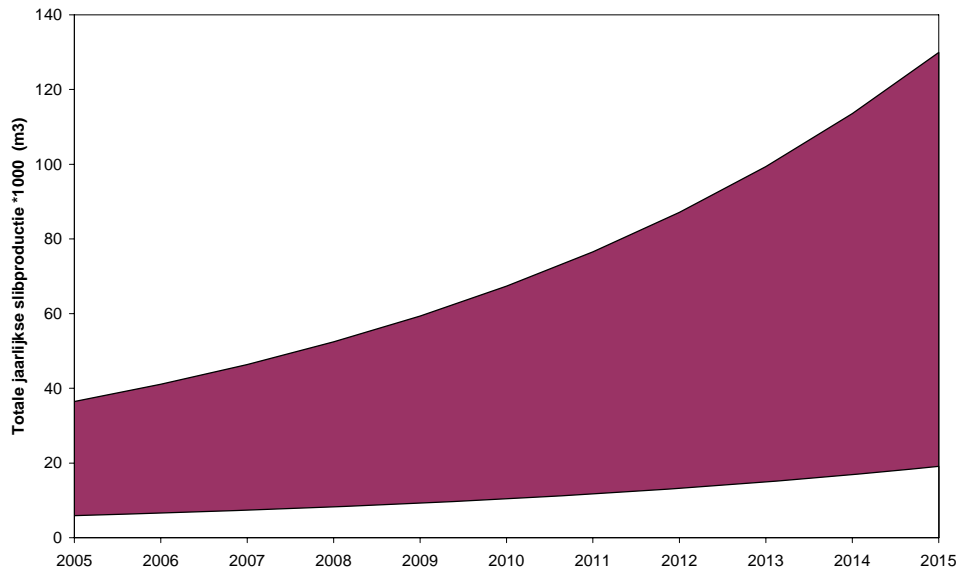
*Figuur F. De verwachte totale productie van fosfor door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een groei van de paling en meervalproductie van 10% per jaar en van de productie van tilapia en overige vissoorten van 20% per jaar. De maximale fosforproductie is gebaseerd op de aanname dat zich ten aanzien van visvoerders geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. De minimale productie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



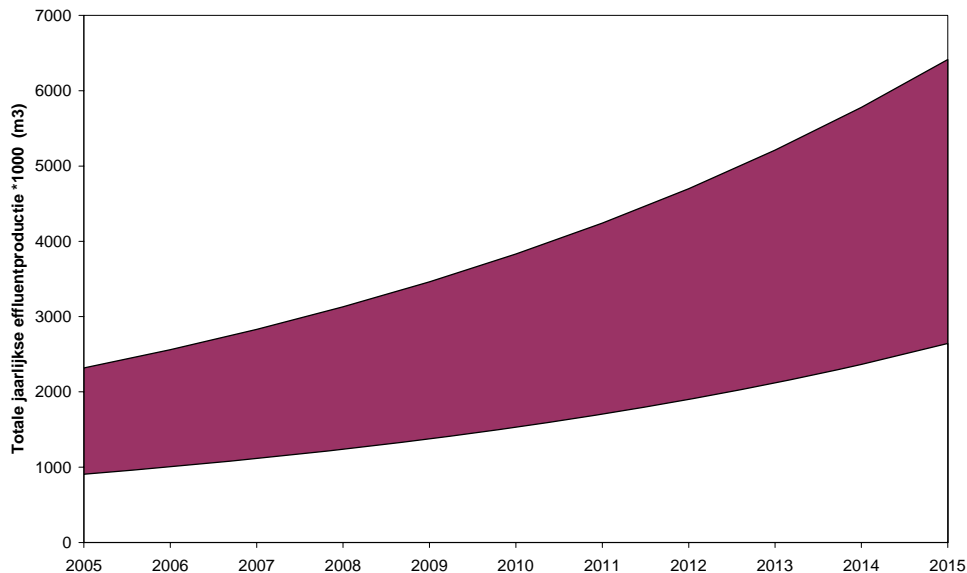
*Figuur G. De verwachte totale productie van CZV door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een groei van de paling en meervalproductie van 10% per jaar en van de productie van tilapia en overige vissoorten van 20% per jaar. De maximale CZV productie is gebaseerd op de aanname dat zich ten aanzien van visvoerders geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. De minimale CZV productie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



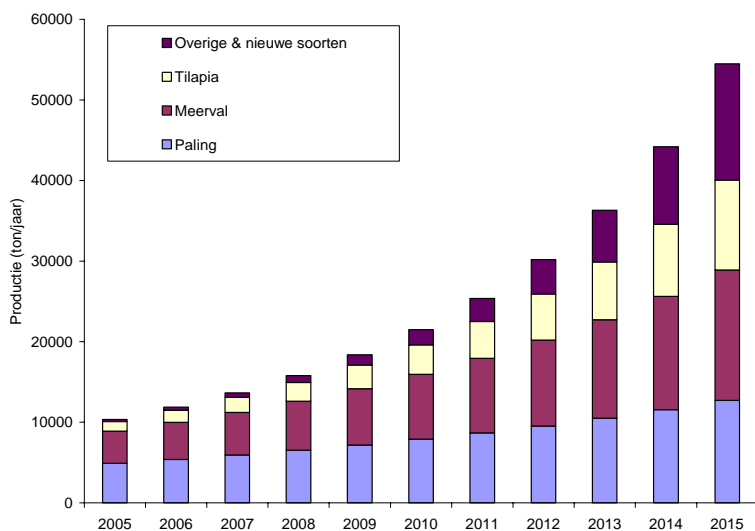
*Figuur H. De verwachte totale productie van spuislib door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een groei van de paling en meervalproductie van 10% per jaar en van de productie van tilapia en overige vissoorten van 20% per jaar. De maximale spuislibproductie is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. De minimale spuislibproductie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



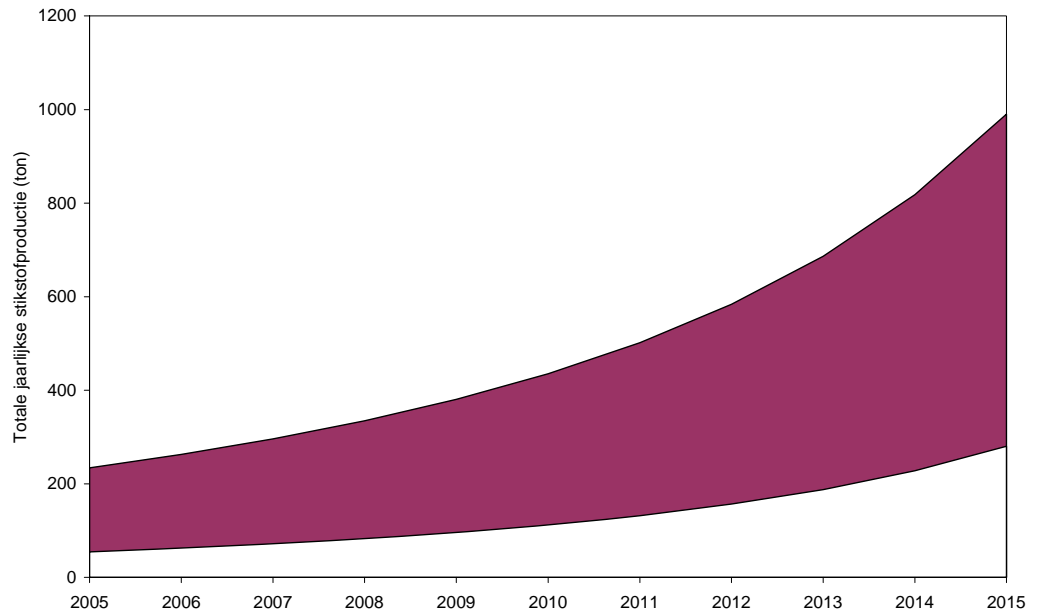
*Figuur I. Het verwachte totale volume van het effluent van de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een groei van de paling en meervalproductie van 10% per jaar en van de productie van tilapia en overige vissoorten van 20% per jaar. Het maximale volume is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. Het minimale volume is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



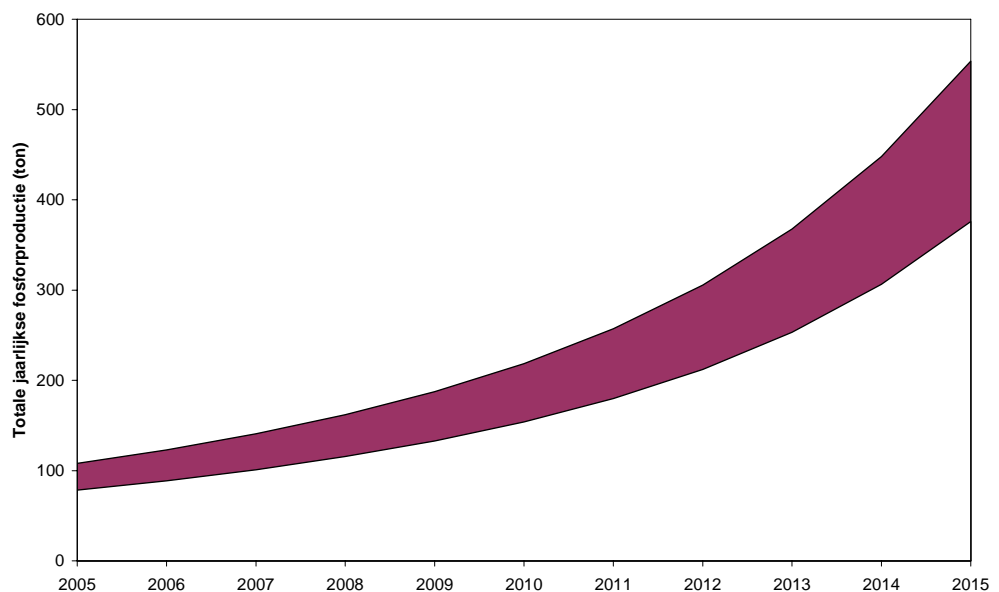
*Figuur J. De totale visproductie door de Nederlandse aquacultuur in de periode 2005-2015 gebaseerd op een jaarlijkse groei van 10% voor paling, 15% voor meerval, 25% voor tilapia en 50% voor alle nieuwe en overige vissoorten.*



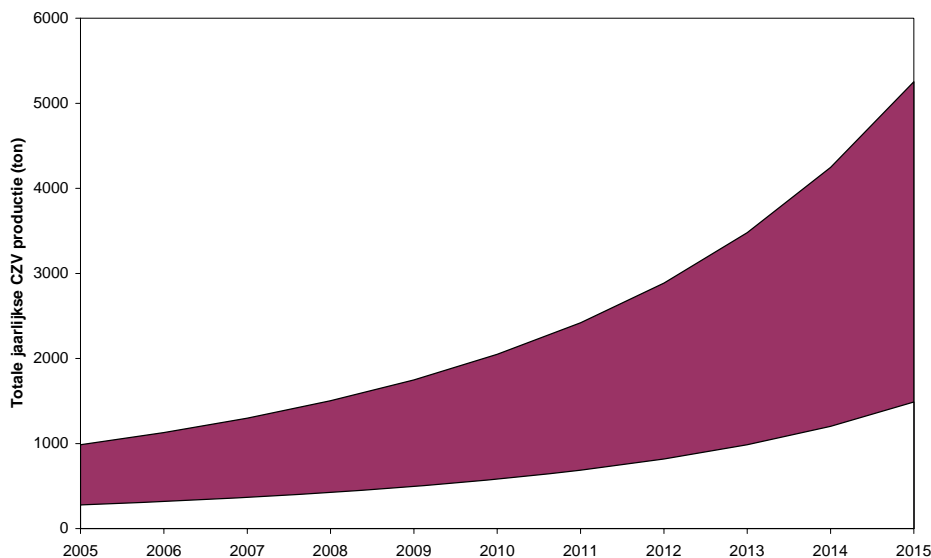
*Figuur K. De verwachte totale productie van stikstof door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een jaarlijkse groei van de producties voor paling van 10%, voor meerval van 15%, voor tilapia van 25% en voor de nieuwe en overige vissoorten van 50%. De maximale stikstofproductie is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. De minimale productie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



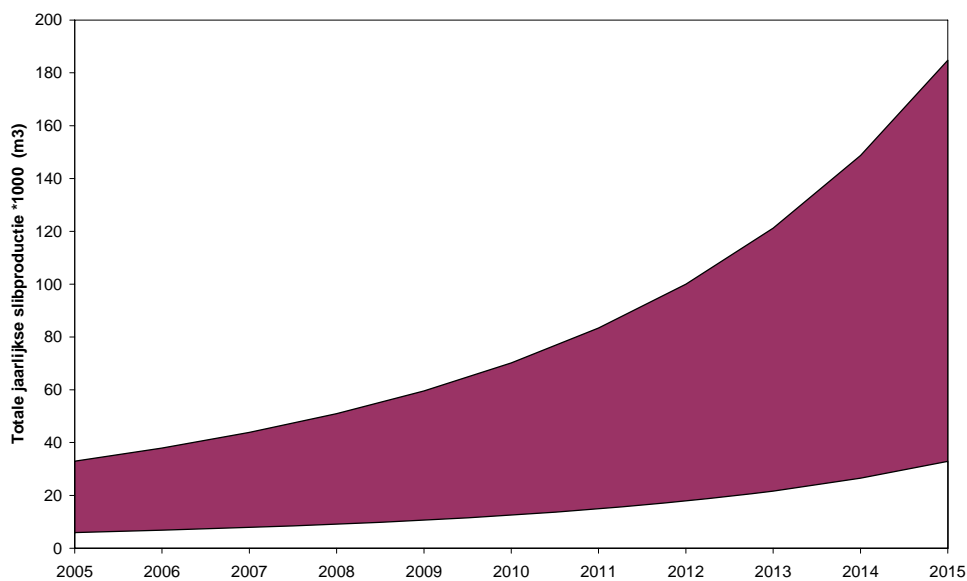
*Figuur L. De verwachte totale productie van fosfor door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een jaarlijkse groei van de producties voor paling van 10%, voor meerval van 15%, voor tilapia van 25% en voor de nieuwe en overige vissoorten van 50%. De maximale fosforproductie is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzicht van de situatie in 2005. De minimale fosforproductie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



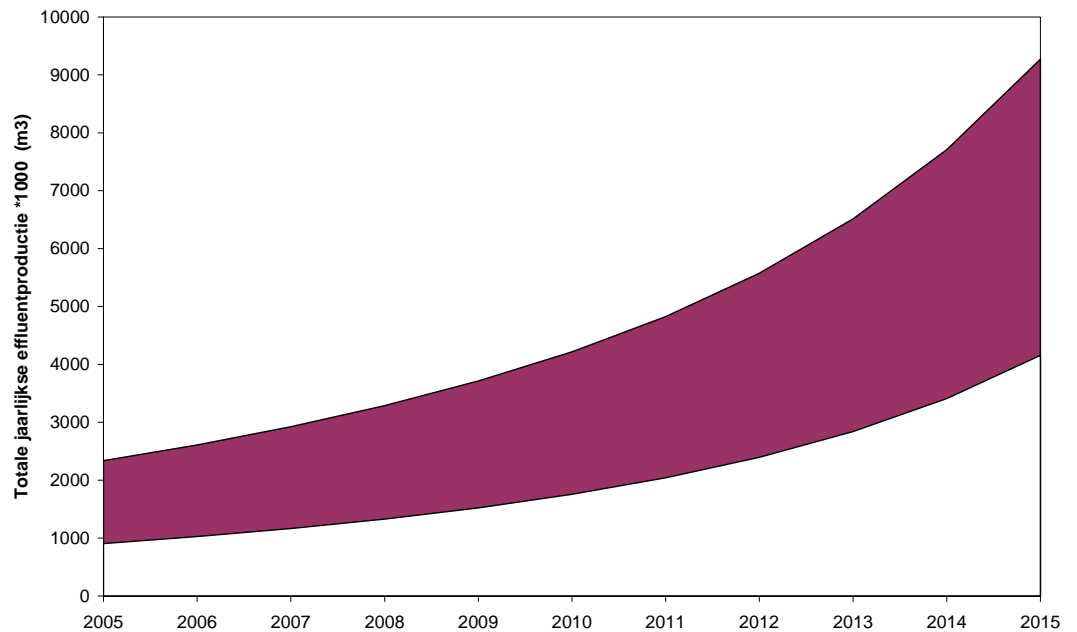
*Figuur M. De verwachte totale productie van CZV door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een jaarlijkse groei van de producties voor paling van 10%, voor meerval van 15%, voor tilapia van 25% en voor de nieuwe en overige vissoorten van 50%. De maximale CZV productie is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzichte van de situatie in 2005. De minimale CZV productie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



*Figuur N. De verwachte totale productie van spuislib door de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een jaarlijkse groei van de producties voor paling van 10%, voor meerval van 15%, voor tilapia van 25% en voor de nieuwe en overige vissoorten van 50%. De maximale spuislibproductie is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzichte van de situatie in 2005. De minimale spuislibproductie is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



*Figuur 0. Het verwachte totale volume van het effluent van de gehele Nederlandse visteeltsector als gevolg van een jaarlijkse groei van de producties voor paling van 10%, voor meerval van 15%, voor tilapia van 25% en voor de nieuwe en overige vissoorten van 50%. Het maximale volume is gebaseerd op de aanname dat ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen zich geen veranderingen voor doen ten opzichte van de situatie in 2005. Het minimale volume is gebaseerd op de aanname dat alle mogelijke verbeteringen ten aanzien van visvoerders en waterzuivering op viskwekerijen onmiddellijk worden geïmplementeerd.*



## Bijlage 3 Enquête

### Algemeen

1. Welke vissoort of vissoorten kweekt u (meerdere antwoorden mogelijk)?

- Meerval
- Paling
- Forel
- Tilapia
- Tarbot
- Anders namelijk .....

2. Hoe groot is uw huidige jaarlijkse productie?

..... ton.....(soort)

..... ton.....(soort)

3. Hoeveel bedraagt de gemiddelde dagelijkse voergift per soort?

..... kg voer per dag voor .....(soort).

..... kg voer per dag voor.....(soort)

4. Hoeveel bedraagt het gemiddelde waterverbruik van uw kweekstelsel per dag?

..... m<sup>3</sup>/dag

Ruimte voor een evt. toelichting

.....

### Kweekstelsel

5. Welke onderdelen voor waterbehandeling bevat het recirculatiecircuit van uw viskweekstelsel? (aankruisen wat van toepassing is):

- Tricklingfilter
- Drum- triangel- of discfilter
- Bezinker
- Opstroomfilter
- Beadfilter
- Denitrificatiefilter
- Bandfilter (defosfatering)
- Eiwitafschiemer
- UV
- Ozon
- Anders namelijk.....



**Uitbreiding of aanpassing van het recirculatiesysteem**

6. Hebt u plannen om in de komende 5 jaar de waterzuivering van uw recirculatiesysteem uit te breiden of aan te passen?

- Nee (u kunt vraag 7 en 8 overslaan)
- Ja

7. Wat is de reden dat u uw waterzuivering wilt uitbreiden of aanpassen? (meerdere antwoorden zijn mogelijk)

- Beter voldoen aan de waterkwaliteitseisen van de vis
- Verlaging van de productiekosten door een verlaagd waterverbruik
- Verlaging van de productiekosten door een verlaagd energieverbruik
- Verlaging van de productiekosten door een verlaging van de lozingsheffing
- Anders namelijk.....

8. Met welke onderdelen wilt u de komende 5 jaar uw waterzuivering uit breiden? (aankruisen wat van toepassing is)

- Trickling filter
- Drum- triangel- of discfilter
- Bezinker
- Opstroomfilter
- Beadfilter
- Denitrificatiefilter
- Bandfilter (defosfatering)
- Eiwitafschiuimer
- UV
- Ozon
- Anders namelijk.....

Ruimte voor een evt. toelichting

**Lozing en nabehandeling van het effluent van het recirculatiesysteem**

De volgende vragen gaan over de lozing en eventuele nabehandeling van het effluent dat het recirculatiesysteem verlaat.

9. Op dit moment betaalt u?

- Geen lozingsheffing
- Wel een lozingsheffing

Ruimte voor een eventuele toelichting op vraag 9

.....  
.....  
.....  
.....

## 10. Het effluent van uw recirculatiesysteem

- Wordt rechtstreeks op een riool geloosd (u kunt vraag 11 t/m 20 overslaan en doorgaan naar vraag 21)
- Wordt rechtstreeks op oppervlaktewater\* geloosd (u kunt vraag 11 t/m 20 overslaan en doorgaan naar vraag 21)
- Ondergaat een nabehandeling\*\* voordat het geloosd wordt

Wanneer op vraag 10 meerdere antwoorden mogelijk zijn, beantwoordt u de vraag dan voor het grootste deel van uw productie waarbij u ook de productieomvang aangeeft (ton/jaar).

\*) Vijvers aangelegd met als doel het opvangen en opslaan van het effluent van uw viskwekerij worden hier niet als oppervlaktewater maar als een vorm van nabehandeling gezien.

\*\*) Elke vorm van mechanische, chemisch of biologische behandeling van het effluent voordat dit uw bedrijf definitief verlaat wordt gezien als een vorm van nabehandeling. Ook de tijdelijke opslag van effluent in bijvoorbeeld vijvers wordt gezien als een vorm van nabehandeling omdat daarin hoogstwaarschijnlijk scheidings- en omzettingprocessen plaatsvinden.

## 11. Betreft de nabehandeling van het effluent van uw viskwekerij onder andere de afscheiding van vaste delen door nabezinking of bandfiltratie?

- Ja, door nabezinking
- Ja, door bandfiltratie ( u kunt vraag 12 t/m 17 overslaan en doorgaan naar vraag 18)
- Nee ( u kunt vraag 12 t/m 16 overslaan en doorgaan naar vraag 17)

## 12. De nabezinking van het effluent van uw viskwekerij vindt plaats in een:

- Septictank
- Bezinktank
- Mestput
- Aarden vijver
- Folievijver
- Anders namelijk.....

13. Het volume van uw nabezinker bedraagt circa ..... m<sup>3</sup>

## 14. Hoe vaak leegt u de nabezinker?

- Nooit
- ..... maal per jaar

## 15. Ondergaat het effluent van de nabezinker nog een behandelingstap voordat het geloosd wordt

- Nee (u kunt vraag 16 en 17 overslaan en doorgaan naar vraag 18)

Ja

16. Zo ja, wilt u omschrijven op welke wijze het effluent van de nabezinker verder behandeld wordt?

.....  
 .....  
 .....  
 .....

U kunt nu doorgaan naar vraag 18, vraag 17 kunt u overslaan.

**Nabehandeling van het effluent van het recirculatiesysteem anders dan nabezinking of bandfiltratie**

17. Wilt u uw nabehandelingssysteem omschrijven ?

.....

**Reststromen afkomstig uit de nabehandeling**

De volgende vragen gaan over de behandeling en bestemming van de reststromen afkomstig van de nabehandeling van het effluent van uw viskwekerij

18. Het effluent van de nabehandeling:

- Wordt op een riool geloosd
- Wordt op oppervlaktewater geloosd
- Wordt in de bodem geïnfiltreerd
- Anders, namelijk .....

Ruimte voor een eventuele toelichting op vraag 18

.....

19. Het slib afkomstig uit de nabehandeling krijgt de volgende bestemming (meerdere antwoorden zijn mogelijk):

- Niet van toepassing want de nabezinker wordt nooit geleegd
- Niet van toepassing want het nabehandelingssysteem produceert geen slib
- Wordt afgevoerd met een voor u onbekende bestemming
- Wordt afgevoerd naar een mestverwerkingsinstallatie
- Wordt uitgereden over uw eigen grond
- Wordt uitgereden over grond van derden
- Anders namelijk.....

Ruimte voor een eventuele toelichting op vraag 19

.....

20. Het afzetten van het slib

- Kost u geld
- Levert u geld op

- Geen van beiden (kosten neutraal)
- Niet van toepassing

### **Uitbreiding, aanpassing of aanleg van voorzieningen voor de nabehandeling van het effluent van het recirculatiesysteem**

21. In de komende 5 jaar bent u van plan:

- De huidige situatie met betrekking tot de nabehandeling van het effluent van het recirculatiesysteem niet te veranderen (u kunt vraag 22 en 23 overslaan).
- Voorzieningen aan te leggen voor de nabehandeling van het effluent van uw viskwekerij.
- De bestaande voorzieningen voor de nabehandeling van het effluent van uw viskwekerij uit te breiden, aan te passen of te vernieuwen.
- Het effluent van uw viskwekerij niet langer nabehandelen maar rechtstreeks lozen.
- Anders namelijk.....

22. Wanneer u in de komende 5 jaar voorzieningen voor de nabehandeling van het effluent van uw recirculatiesysteem wilt aanleggen, uitbreiden of vernieuwen, welke voorzieningen overweegt u?

- Enige vorm van nabezinking, namelijk ..... (zie vraag 12)
- Helofytenfilters
- Bandfiltratie
- Anders namelijk.....

23. Wat zijn de redenen dat u voorzieningen voor de nabehandeling van het effluent van uw recirculatiesysteem wilt aanleggen, uitbreiden of vernieuwen? (meerdere antwoorden zijn mogelijk)

- Aanscherping van de regels met betrekking tot de lozing van effluent
- Verlaging van de kosten voor lozing
- Bandfiltratie
- Anders namelijk.....

24. Om een goede indruk te krijgen van de kwaliteit van het water dat viskwekerijen verlaat, zou het RIVO graag inzage willen hebben in de analyseresultaten van de zogenaamde meetweken. Wanneer uw kwekerij inderdaad periodiek bemonsterd wordt en u bent bereid deze gegevens beschikbaar te stellen, wil ik u verzoeken de onderstaande tabel (voor zover mogelijk) in te vullen of een kopie van de rapportage van een recente meetweek retour te zenden.

Debiet		(m <sup>3</sup> /dag)
pH		
Droge stof		(mg/l)
CZV		(mg/l)
Organisch materiaal		(mg/l)
Ammonia		(mg/l)
Nitraat		(mg/l)
Kjeldahl stikstof		(mg/l)
Fosfaat		(mg/l)
