

RIJKSINSTITUUT VOOR VISSERIJONDERZOEK

Haringkade 1 - Postbus 68 - 1970 AB IJmuiden - Tel.: +31 2550 64646

Afdeling: Aquakultuur

Rapport: AQ 90 - 10

Metingen aan waterkwaliteit, vuilproductie
en vuilverwijdering in een semi-praktijk-
systeem voor palingteelt

Auteur: A. Kamstra, J.W. van der Heul
en J.J. Kesteloo-Hendrikse

Project: 60.027 Technisch/biologisch onderzoek aalteelt
Projectleider: Ir. A. Kamstra
Datum van verschijnen: november 1990

Inhoud		blz
	Samenvatting	1
	Summary	1
1.	Inleiding	2
2.	Materiaal en methoden	2
3.	Resultaten	6
3.1	Metingen aan het zuurstofgehalte	6
3.2	Metingen van de pH	8
3.3	Metingen aan zwevende stof	9
3.4	Metingen aan produktie en omzetting van stikstof	12
3.4.1	Ammonium	12
3.4.2	Nitriet	13
3.4.3	Nitraat	14
3.5	Metingen verricht in het tricklingfilter	15
3.6	De berekening van massa-balansen	20
3.6.1	Water-balans	20
3.6.2	Balans van droge stof en stikstof	20
3.7	Uitstoot van vuil door het recirculatiesysteem	21
3.7.1	Kjeldahl-N, CZV en de berekening van het aantal inwoner-equivalenten (i.e.)	21
3.7.2	Fosfaat	22
4.	Discussie	22
5.	Conclusies	24
6.	Literatuur	24

Bijlage 1 Groeigegevens en samenstelling van vis en voer.

**DIT RAPPORT MAG NIET GECITEERD WORDEN ZONDER TOESTEMMING VAN
DE DIRECTEUR VAN HET R.I.V.O.**

SAMENVATTING

In dit rapport wordt verslag gedaan van een intensief bemonsteringsprogramma waarin, over een periode van twee dagen, waterkwaliteit en vuilproductie en -verwijdering in een zwaar belast palingteeltsysteem (semi-praktijkschaal) is onderzocht. Tijdens de meetcyclus is het verloop van O_2 , pH, NH_4-N , NO_2-N , NO_3-N , N_{kj} , CZV en zwevende stof op diverse plaatsen in het systeem gevolgd. Op basis van deze gegevens zijn voor diverse stoffen totale produktie en balansen berekend. De exacte produktie aan zwevende stof blijkt moeilijk meetbaar. NO_2-N blijkt sterk in samenhang met NH_4-N te fluctueren en blijkt door onvolledige nitrificatie te ontstaan.

Metingen aan het verloop van nitrificatie in het filter tonen aan dat de nitrificatie-capaciteit homogeen over het filter is verdeeld en niet wordt beïnvloed door de hoge CZV-belasting.

De retentie van voedingsstoffen in aal is relatief gering, met benuttinspercentages voor droge stof, N en P van respectievelijk 21, 16 en 11%. Het aantal inwoner-equivalenten in het totale effluent bedraagt gemiddeld 2.4 per kg voer.

SUMMARY

This report describes the results of an intensive sampling program in which, over a period of two days, water quality and production and removal of waste was studied in a recirculation system for eel (pilot-scale). In the program the following parameters were measured over time at several places in the system: O_2 , pH, NH_4-N , NO_2-N , NO_3-N , N_{kj} , COD and suspended solids. From these data total production and mass-balances of several components were calculated. The exact production of zwevende stof appeared hard to quantify. Fluctuations in NO_2-N are strongly related to fluctuations in NH_4-N . The accumulation of NO_2-N is mainly caused by incomplete nitrification.

Research on nitrification within the filter shows that the capacity for nitrification is distributed homogeneously through the filter and is not affected by the high load of COD.

The retention of material from the feed is relatively small for eel with percentages of utilization for dry matter, N and P of 21, 16 and 11%, respectively. The number of inhabitant-equivalents in the total discharge amounts to 2.4 per kg feed.

1. INLEIDING

Het ontwerp en de dimensionering van warmwater recirculatiesystemen heeft met name door het werk van Bovendeur (1989) een aantal stevige fundamenten gekregen, die in Nederland op grote schaal toepassing hebben gevonden bij de bouw van commerciële installaties. Over concrete resultaten met grotere opstellingen, ontworpen met bovengenoemde dimensioneringsgrondslagen, is echter weinig bekend. Door werk van Van der Heul, Kamstra en Kesteloo-Hendrikse (1989) en Heinsbroek en Kamstra (1990) is een aanzet gemaakt met het evalueren van bestaande systemen. In bovengenoemd onderzoek is echter veelal gemeten aan niet volledig belaste systemen, gedurende een klein deel van het etmaal.

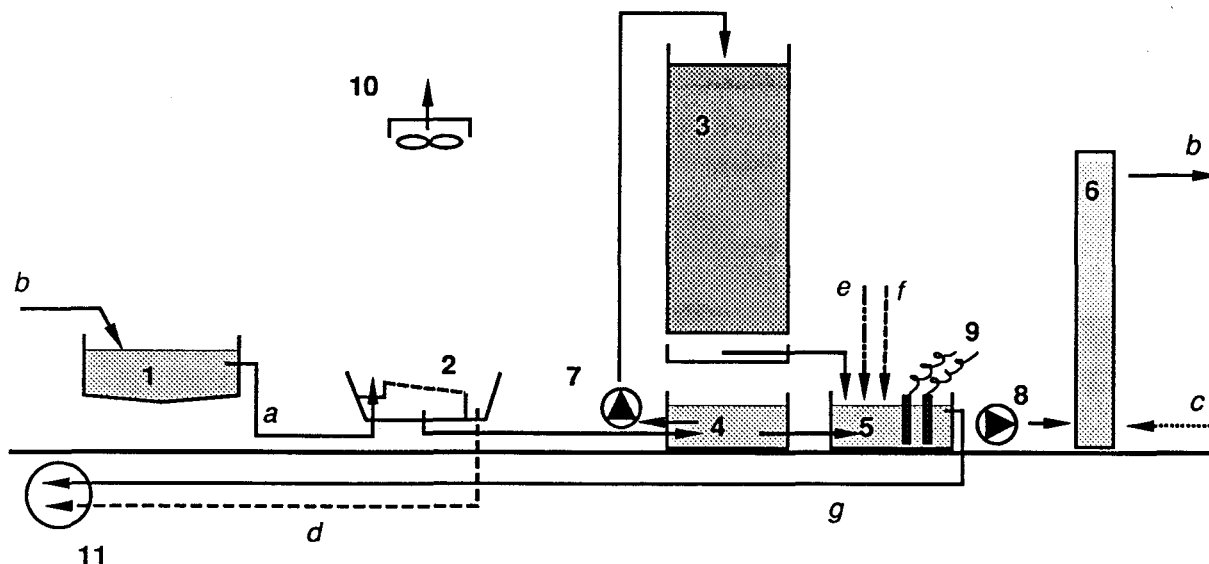
In het najaar van 1989 trad, tijdens een experiment op het RIVO met aal, een relatief zware belasting van de proefopstelling op. Van deze gelegenheid is gebruik gemaakt om gedurende twee etmalen gedetailleerde metingen aan productie en afbraak van afvalstoffen te verrichten. Naast de metingen in het recirculatiesysteem zelf, zijn metingen gedaan aan de uiteindelijke vuilproductie die buiten het systeem terecht komt.

Met name dit laatste punt is momenteel belangrijk gezien ook de aanscherping van de eisen die er aan afvalwaterlozingen zullen worden gesteld (Van der Loo, 1990).

2. MATERIAAL EN METHODEN

Figuur 1 geeft een overzicht van het recirculatiesysteem waaraan de metingen zijn verricht.

Figuur 1. Schematisch overzicht van het recirculatiesysteem (niet op schaal).



- | | | | |
|-----|-----------------------------|----|-----------------------------|
| 1: | teeltbassin | a: | centrale afvoer |
| 2: | zeefplaatfilter | b: | centrale aanvoer |
| 3: | tricklingfilter | c: | zuurstof |
| 4: | pompbak van tricklingfilter | d: | afvoer slib zeefplaatfilter |
| 5: | pompbak circulatie-pompen | e: | suppletiewater |
| 6: | zuurstofreactor | f: | bicarbonaat |
| 7: | pomp tricklingfilter | g: | afvoer overstort |
| 8: | circulatie-pomp | | |
| 9: | verwarming | | |
| 10: | ventilator | | |
| 11: | riool | | |

De vissen in het systeem werden gehouden in een zestal polyester bassins met een diameter van 1.3 m. De visbiomassa bestond uit een drietal groepen met een gemiddeld gewicht van 40, 55 en 77 gram. Naast de verversing (leidingwater) via de pompbak vond tevens suppletie plaats via het sproeiwater van het zeefplaatfilter.

Van het totale recirculatiedebiet werd ca. 60% over het tricklingfilter geleid. Het tricklingfilter is aan de onderkant en bovenkant open en werd niet geforceerd geventileerd. Het zuurstofgehalte van het water in de aanvoer werd verhoogd door toediening van zuivere zuurstof in een reactor.

De pH werd gestabiliseerd door toediening van natriumbicarbonaat (NaHCO_3) via een transportband (10.00-04.00 uur).

In tabel 1 worden enkele relevante technische en biologische gegevens met betrekking tot het recirculatiesysteem gegeven.

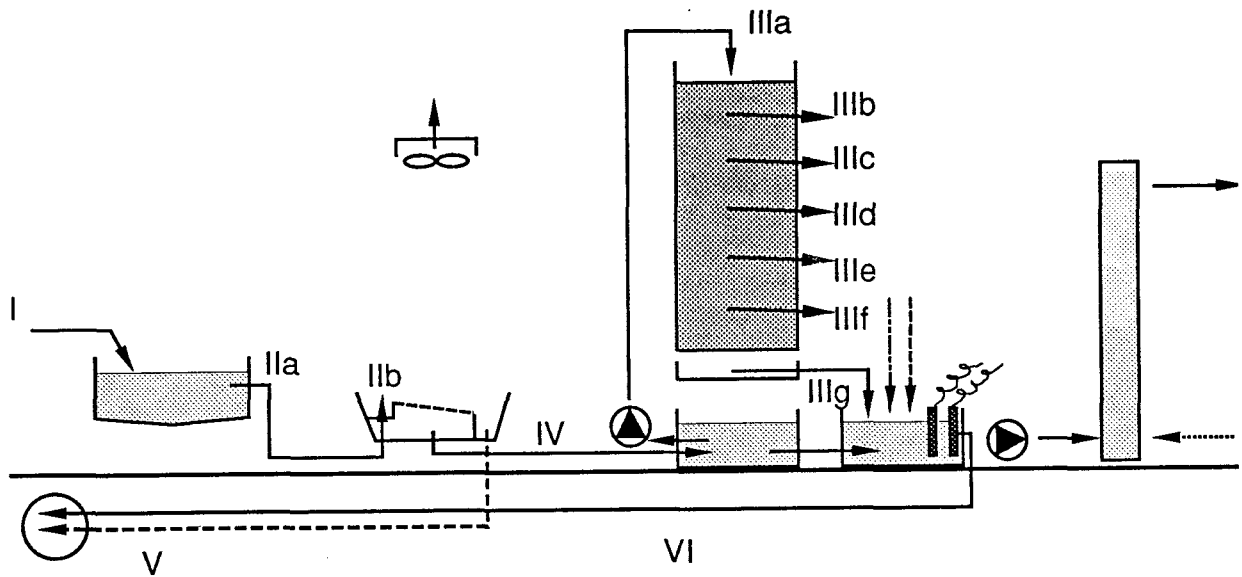
Tabel 1. Overzicht van technische en biologische gegevens.

Systeeminhoud	m^3	4.9
Teeltoppervlak	m^2	8.0
Recirculatiedebiet	$\text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$	15.7
Pompvermogen	kW	2 x 0.37
Solids verwijdering	type	Triangelfilter [®] (12-RB), 110 micron
Debiet tricklingfilter	$\text{m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$	9.6
Pompvermogen	kW	1 x 0.75
Dimensies tricklingfilter	lxbxh (m)	1.11x1.11x2.40
Inhoud tricklingfilter	m^3	3.0
Filter medium	type	Filterpac. ($\pm 200 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)
Biomassa vis	kg	389
Gemiddeld gewicht	g	± 60
Voer	type	Provimi Grower, 2 mm
Voedergift	$\text{kg} \cdot \text{dag}^{-1}$	6.3
Voedermethode		transportband, 18 uur , 10.00-04.00 uur
Temperatuur	$^{\circ}\text{C}$	24.1 ± 0.2
Lichtregime		08.00-18.00 L

De genoemde debieten zijn het gemiddelde van een meting vóór en na de meetcyclus. De debieten zijn bepaald met behulp van een stopwatch en emmer. De totale visbiomassa in het systeem is geschat op basis van interpolatie van afvisgegevens van vóór en na de meetcyclus.

In figuur 2 wordt een schematisch overzicht gegeven van de bemonsterde punten.

Figuur 2. Overzicht monsterpunten



I:	centrale aanvoer
IIa:	afvoer teeltbassin
IIb:	centrale afvoer (=aanvoer zeefplaatfilter)
IIIa:	aanvoer tricklingfilter
IIIb:	38 cm vanaf bovenkant tricklingfilter
IIIc:	76 " " "
IIId:	114 " " "
IIIe:	152 " " "
IIIf:	190 " " "
IIIg:	afvoer tricklingfilter
IV:	afvoer zeefplaatfilter
V:	afvoer slib zeefplaatfilter
VI:	overstort pompbak

De bemonstering op punt IIa vond plaats in het bakje van de borstelmachine. De bemonstering op punt IIIa werd uitgevoerd door een emmer onder de sproeiarm van het filter te plaatsen. Op de punten IIIb t/m IIIf werd water uit het binnenste van het filter verzameld met behulp van in de lengterichting gehalveerde plastic buizen die onder een kleine hoek tot in het centrum van het filter waren geslagen. Op de punten V en VI werd continu al het geloosde water verzameld in een grote bak die regelmatig werd geleegd en bemonsterd.

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de uitgevoerde metingen met monsterpunt en frequentie.

Tabel 2. Gemeten waterkwaliteitsparameters, monsterpunt en frequentie.

parameter	monsterpunt	frequentie
O ₂	I,IIa,IIb,IIIa,IIIg,IV	ieder uur
	IIIb t/m IIIf	4 maal
pH	I,IIa,IIb,IIIa,IIIg,IV	ieder uur
	IIIb t/m IIIf	4 maal
NH ₄ -N	I,IIb,IIIa,IIIg,	iedere twee uur
	IIIb t/m IIIf	4 maal
NO ₂ -N	I,IIb,IIIa,IIIg,	iedere twee uur
	IIIb t/m IIIf	4 maal
NO ₃ -N	I,IIb	4 maal
	V,VI	enkele malen
N _{Kj}	IIIa,IIIg	8 maal
	IIIb t/m IIIf	4 maal
CZV	IIIa,IIIg	8 maal
	IIIb t/m IIIf	4 maal
Zwevende stof	I,IIb,IV	iedere twee uur

De totale monsterperiode besloeg 46 uur en werd gestart om 10.00 uur 's morgens. Het op punt V, over een periode van enkele uren, verzamelde effluent werd een uur bezonken, waarna de bovenstaande vloeistof voorzichtig werd afgeheveld. Aan 8 monsters van dit bezonken slib is het gehalte N_{Kj} en CZV bepaald. Deze bepalingen zijn tevens enkele malen aan het afgehevelde water verricht. Aan een zestal slibmonsters is totaal-P bepaald. Monsters bezonken slib van punt V zijn gevriesdroomd om de totale geproduceerde hoeveelheid droge stof te bepalen. Aan het suppletiewater is éénmaal NO₃-N bepaald.

Voor de gehanteerde analyse methoden wordt, wat betreft NH₄-N, NO₂-N en zwevende stof, verwezen naar Van der Heul et al (1989). NO₃-N, N_{Kj}, CZV en totaal-P zijn bepaald volgens Standard Methods.

O₂ en pH zijn direct op de monsterpunten gemeten met behulp van respectievelijk een WTW OXI 196 en een WTW pH 196. Ten behoeve van de chemische analyses werd er op ieder monsterpunt ca. 10 liter water verzameld, waaruit submonsters voor de diverse analyses werden genomen. Bij de monsternamen ten behoeve van de bepaling van zwevende stof, CZV en Kjeldahl-N werd het water goed gemengd. Voor de andere bepalingen werd het water ca. een minuut voorbezonden.

Waterverbruik via het spoelwater van het Triangelfilter en de suppletie in de pompbak werd gemeten met watermeters, die ieder etmaal werden afgelezen.

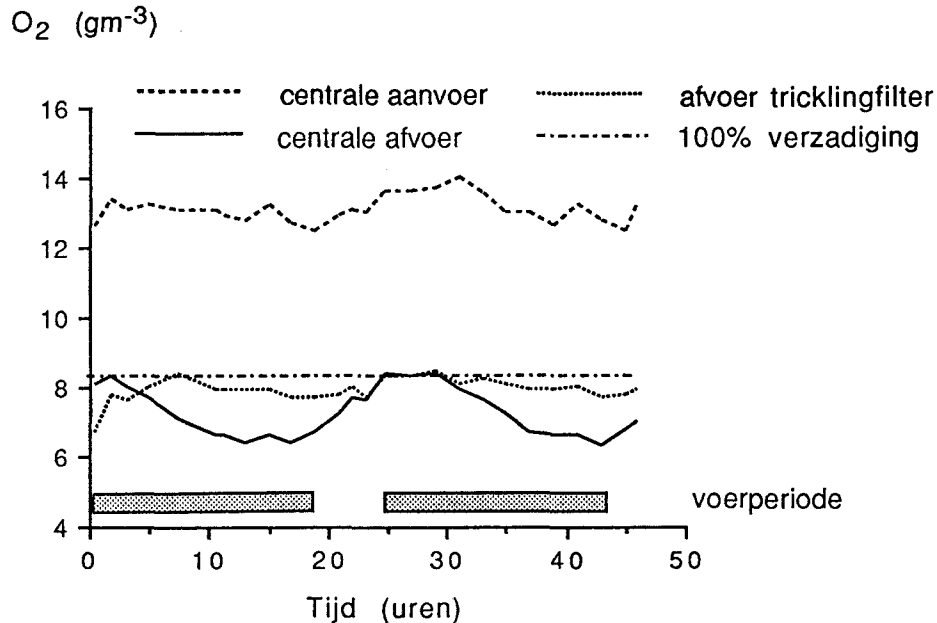
Van voer en visbiomassa zijn gehalten aan droge stof, vet, stikstof, as en fosfaat bepaald. Droge stof werd bepaald door middel van vriesdrogen; vet met behulp van de methode van Blich en Dyer (1959). Het eiwit-gehalte werd berekend door vermenigvuldiging van het gehalte N_{Kj} met 6.25. De as-rest werd bepaald door verhitten bij 550 °C.

3. RESULTATEN

3.1 Metingen van het zuurstofgehalte

In figuur 3 is het verloop van de zuurstofconcentratie op een drietal punten in het systeem gedurende de monsterperiode weergegeven.

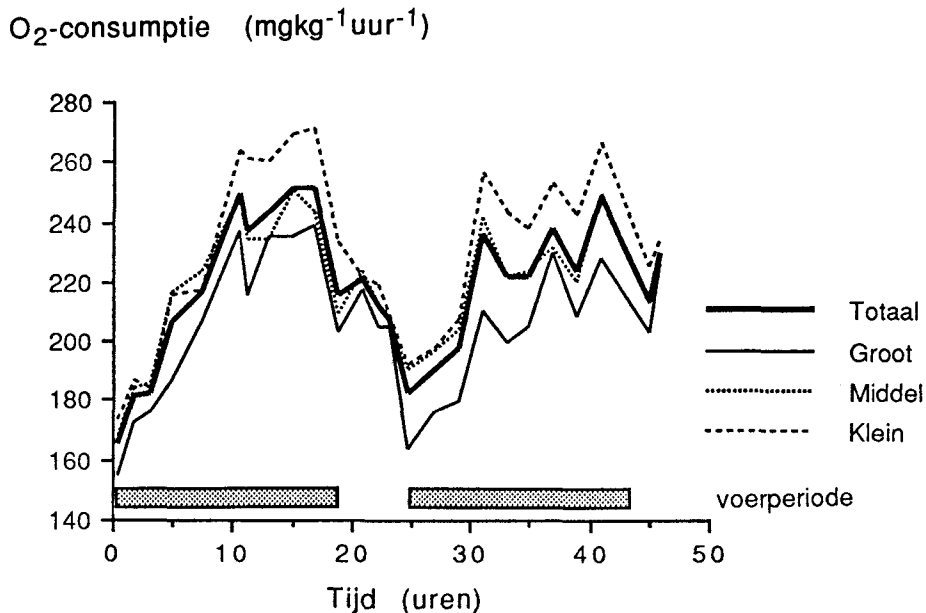
Figuur 3. Het zuurstofgehalte in centrale aanvoer (I), centrale afvoer (IIb) en afvoer van het tricklingfilter (IIIg) gedurende de monsterperiode.



De zuurstofconcentratie in de afvoer neemt af gedurende de voerperiode en neemt weer toe wanneer er niet gevoerd wordt. Deze fluctuaties worden zwak weerspiegeld in de aanvoer. In het tricklingfilter vindt tijdens de voerperiode een duidelijke reaeratie plaats, die echter niet tot 100 % verzadiging leidt.

Met behulp van de zuurstofconcentratie in aan- en afvoer van de bakken kan de momentane zuurstofconsumptie (mg.kg⁻¹.uur⁻¹) berekend worden. Het verloop hiervan is in figuur 4 weergegeven.

Figuur 4. Verloop van de momentane zuurstofconsumptie van de totale visbiomassa en de drie te onderscheiden grootteklassen.



De groepen groot, middel en klein hebben een gemiddeld visgewicht van respectievelijk 77, 55 en 40 gram en een biomassa van respectievelijk 125.2, 123 en 124.8 kg. Totaal is het gemiddelde over de hele visbiomassa berekend uit $[O_2]$ aanvoer - $[O_2]$ afvoer visbassins (I-IIb). Het in figuur 3 gesignaleerde verband tussen voeropname en zuurstofconsumptie wordt in figuur 4 verduidelijkt.

Door sommatie van de zuurstofconsumpties per tijdseenheid is de totale zuurstofconsumptie per dag per kg metabolisch gewicht en per kg voer berekend (tabel 3). In tabel 3 is tevens de verhouding tussen maximale en gemiddelde zuurstofconsumptie weergegeven (d_{max}).

Tabel 3. Zuurstofconsumptie per etmaal van drie grootteklassen aal, uitgedrukt per kg gewicht, per kg metabolisch gewicht en per kg voer.

<i>zuurstofconsumptie (g. kg⁻¹. dag⁻¹)</i>			
	<i>klein</i>	<i>middel</i>	<i>groot</i>
<i>dag1</i>	5.54 ± 0.01	5.30 ± 0.09	5.02 ± 0.11
<i>dag 2</i>	5.51 ± 0.08	5.20 ± 0.15	4.80 ± 0.03
<i>gemiddelde</i>	5.53	5.25	4.91

<i>zuurstof consumptie (g. kg^{-0.8}. dag⁻¹)</i>			
	<i>klein</i>	<i>middel</i>	<i>groot</i>
<i>dag1</i>	2.92 ± 0	2.97 ± 0.04	2.95 ± 0.07
<i>dag 2</i>	2.91 ± 0.05	2.91 ± 0.06	2.82 ± 0.03
<i>gemiddelde</i>	2.92	2.94	2.89

<i>zuurstof consumptie (g. kg voer⁻¹. dag⁻¹)</i>			
	<i>klein</i>	<i>middel</i>	<i>groot</i>
<i>dag1</i>	336.6 ± 4.9	326.6 ± 16.1	310.7 ± 5.7
<i>dag 2</i>	334.9 ± 1.1	320.5 ± 19.6	303.9 ± 3.1
<i>gemiddelde</i>	335.8	323.6	307.3

<i>d_{max}</i>	1.19	1.19	1.20
------------------------	------	------	------

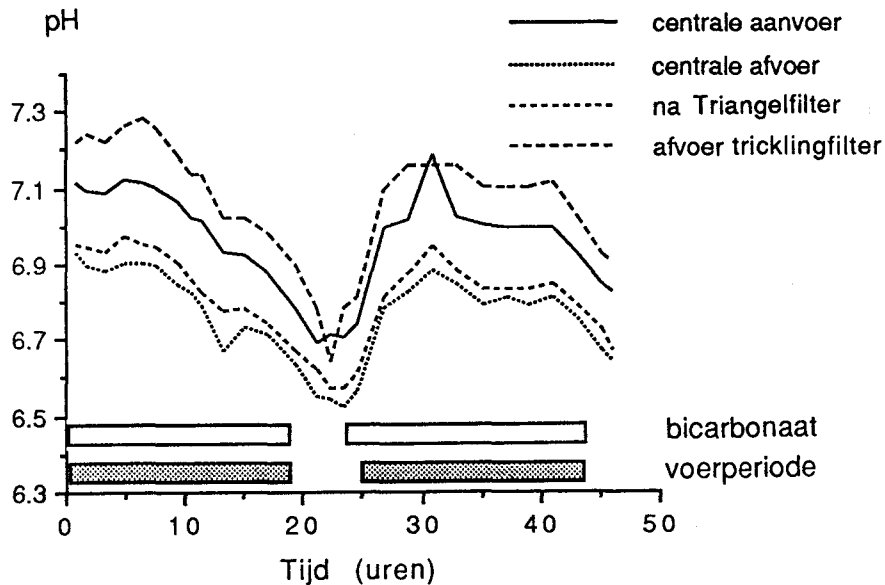
Ondanks de kleine verschillen in gemiddeld gewicht tussen de groepen, is het duidelijk dat de kleine exemplaren per kg biomassa of per kg voer meer zuurstof verbruiken. De verschillen op basis van metabolisch gewicht zijn, zoals valt te verwachten, gering. De totale zuurstofconsumptie bedraagt voor de hele biomassa 321 g per kg voer. De maximale fluctuaties in de zuurstofconsumptie, uitgedrukt als d_{max} , liggen voor alle groepen in dezelfde range.

Bij bovenstaande berekeningen is geen rekening gehouden met zuurstof-uitwisseling aan het wateroppervlak van de bassins. Deze is waarschijnlijk gering gezien het feit dat het zuurstofgehalte op deze plaats tegen verzadiging aan zit.

3.2 Metingen van de pH

De resultaten van de pH-metingen zijn in figuur 5 weergegeven.

Figuur 5. pH in centrale aanvoer (I), centrale afvoer (IIb), na triangelfilter (IV) en in de afvoer van het tricklingfilter (IIIg).



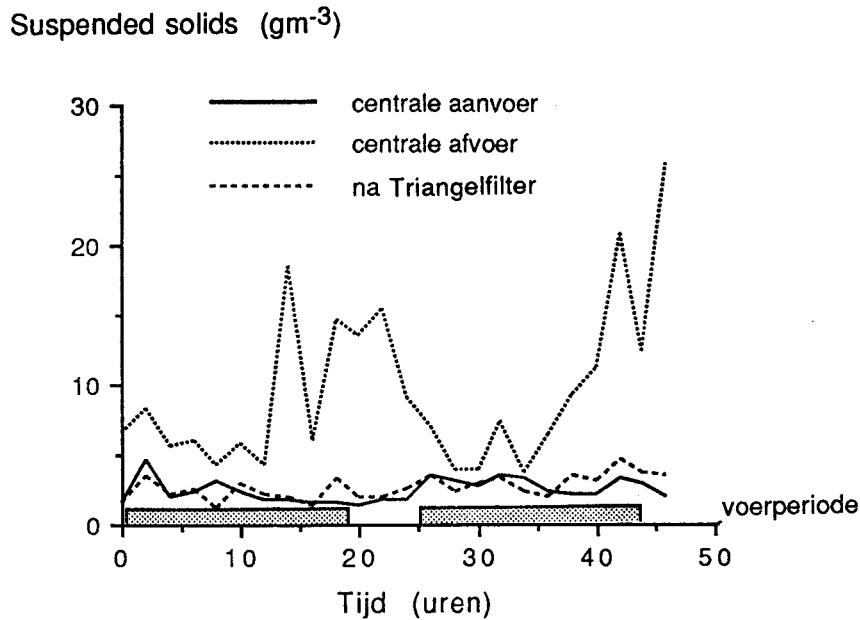
De produktie van CO_2 door de vissen zorgt voor een groot verschil in pH tussen aanvoer en afvoer van de bassins. De toename van de pH over het triangelfilter is gering vergeleken met die over het tricklingfilter, waar sterke ontgassing plaats vindt. De pH van de aanvoer ligt tussen die van de afvoer en de afvoer van het tricklingfilter in, omdat slechts 60% van het recirculatiedebiet over het tricklingfilter wordt gestuurd. De gemeten waarde op 31 uur in de aanvoer is waarschijnlijk een meetfout.

Uit figuur 5 blijkt dat met name de eerste dag de toediening van bufferend vermogen in de vorm van bicarbonaat en verversing onvoldoende is om de zuurproduktie als gevolg van nitrificatie te neutraliseren. Bij volledige nitrificatie is een hoeveelheid alkaliniteit in de vorm van natriumbicarbonaat nodig van 6 g per gram $\text{NH}_4\text{-N}$. De produktie $\text{NH}_4\text{-N}$ bedraagt gemiddeld 39 g per kg voer (tabel 5). Dit levert samen 234 g bicarbonaat per kg voer. De verversing bedraagt gemiddeld 341 l per kg voer. Dit water heeft een carbonaat hardheid van ca. 15 °d en levert een hoeveelheid alkaliniteit equivalent met 153 g bicarbonaat. Hoewel de toegediende hoeveelheden bicarbonaat van 83 g en 149 g per kg voer op respectievelijk dag 1 en 2 in theorie voldoende zou moeten zijn, blijkt dit in de praktijk (figuur 5) niet zo te zijn.

3.3 Metingen aan zwevende stof

In figuur 6 zijn de uitkomsten van de metingen aan zwevende stof op een drietal plaatsen in het systeem weergegeven.

Figuur 6. Verloop van de concentratie van zwevende stof in centrale aanvoer (I), centrale afvoer (IIb) en na het triangelfilter (IV).



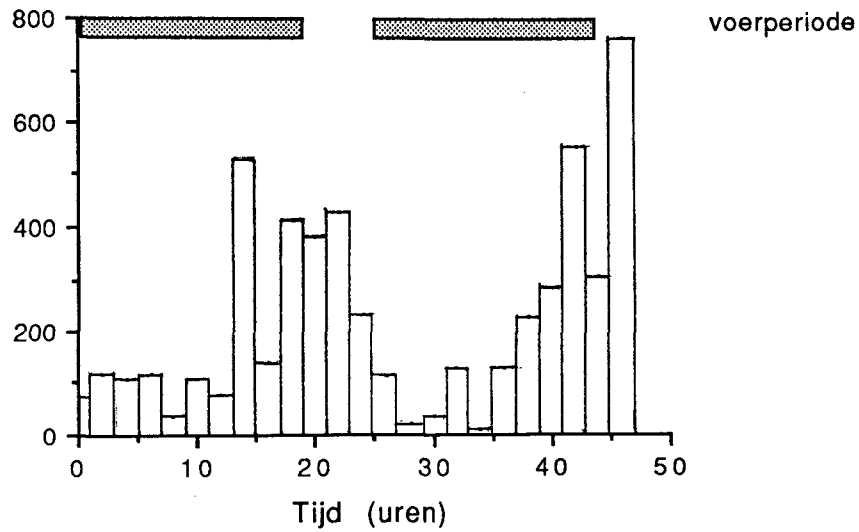
Ondanks de hoge belasting van het systeem (6 kg ds op 5 m³ systeemvolume) blijven de gehalten over het algemeen erg laag. Uit figuur 6 blijkt dat produktie van zwevende stof met name aan het eind van en tussen de voerperioden plaats vindt. De piek tussen voerperioden kan tevens veroorzaakt worden door verstoring van de vis gepaard gaande met sterke zwemaktiviteit, waarbij een efficiënt transport van zwevende stof vanuit de bassins naar het zeefplaatfilter teweeg wordt gebracht.

De efficiëntie van de verwijdering bedraagt bij lage concentraties ca. 25% en loopt op tot maximaal 86% bij de hoogste belasting. Uit figuur 6 blijkt dat er een vaste hoeveelheid zwevende stof recirculeert, die niet door het filter wordt afgevangen. De gehalten na het triangelfilter en in de aanvoer zijn praktisch identiek, wat aangeeft dat de slibproduktie vanuit het tricklingfilter gering is.

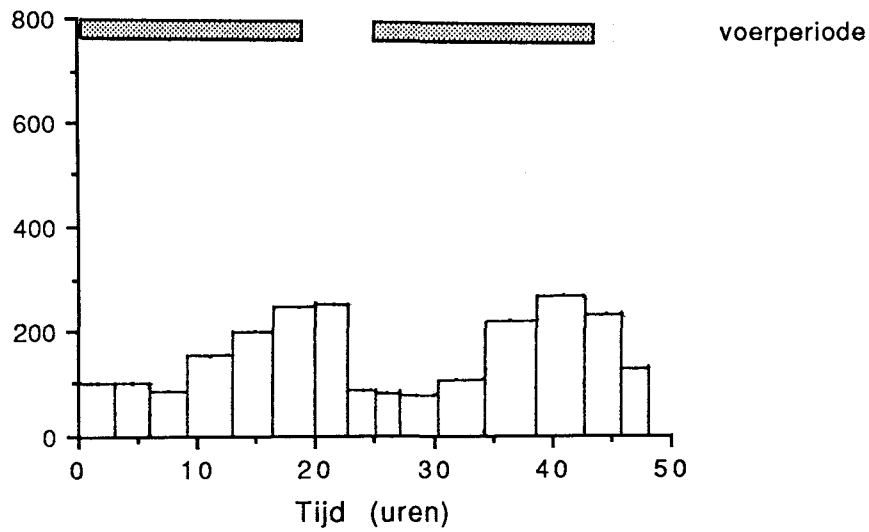
Het verloop van de produktie aan zwevende stof kan beschreven worden aan de hand van de concentratieverschillen tussen aan- en afvoer van het Triangelfilter en het debiet over het filter of met behulp van de kwantitatieve bemonstering van zwevende stof in de slibafvoer van het Triangelfilter. In figuur 7a,b is dit verloop weergegeven.

Figuur 7a,b. Verloop van de productie aan zwevende stof per tijdvak berekend uit het concentratieverschil tussen aan- en afvoer van het Triangelfilter (a) en gemeten in de slib-afvoer van het Triangelfilter (b).

a) Productie Suspended solids (g)



b)



De totale productie aan zwevende stof kan op twee manieren worden berekend:

- 1: productie per tijdseenheid = $([\text{afvoer}] - [\text{afvoer Triangelfilter}]) \times Q_{\text{rec}}$
waarin Q_{rec} het recirculatie debiet
- 2: productie per tijdseenheid = hoeveelheid ds opgevangen na Triangelfilter

In tabel 4 zijn de berekende producties volgens beide methoden vermeld.

Tabel 4. Produktie van zwevende stof per kg voer per dag (g), berekend volgens methode (1) en (2).

<u>methode</u>	<u>(1)</u>	<u>(2)</u>
dag 1	449	197
dag 2	416	191
gemiddeld	433	194

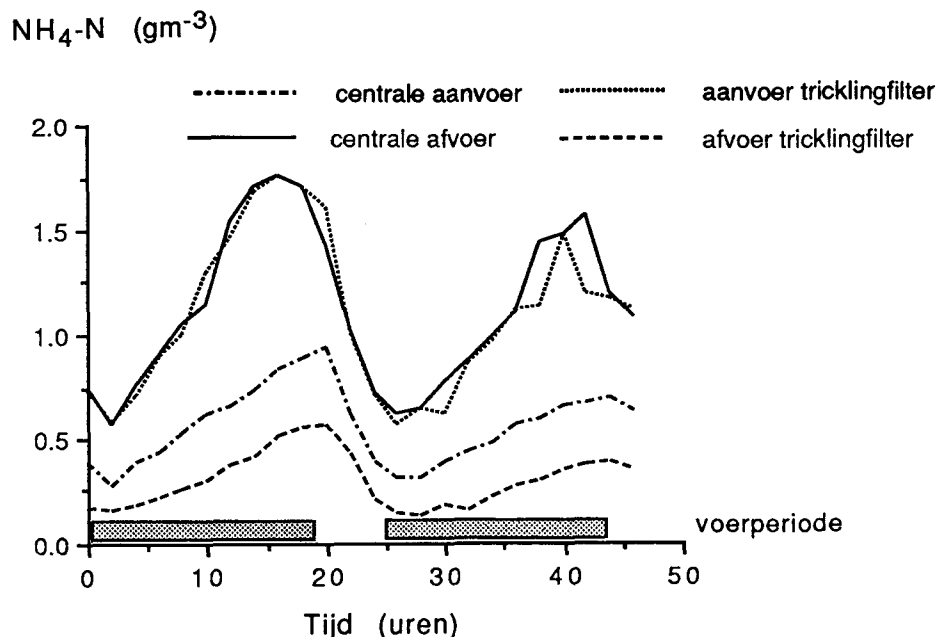
Uit grafiek 7 en tabel 4 blijkt dat de totale hoeveelheid droge stof die ná het filter wordt opgevangen een factor twee lager ligt dan wat er volgens methode 1 wordt geschat. Figuur 7 leert dat de verschillen met name te verklaren zijn door enkele pieken in de zwevende stof concentratie in de afvoer aan het eind van de voer periode. Aan het begin van de voerperiode liggen beide schattingen op eenzelfde niveau. De reeds eerder genoemde verstoring van de vis vormt een mogelijke verklaring voor het optreden van pieken tijdens de bemonstering.

3.4 Metingen aan productie en omzetting van stikstof

3.4.1 Ammonium

Het verloop van de concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ in het systeem wordt in figuur 8 beschreven.

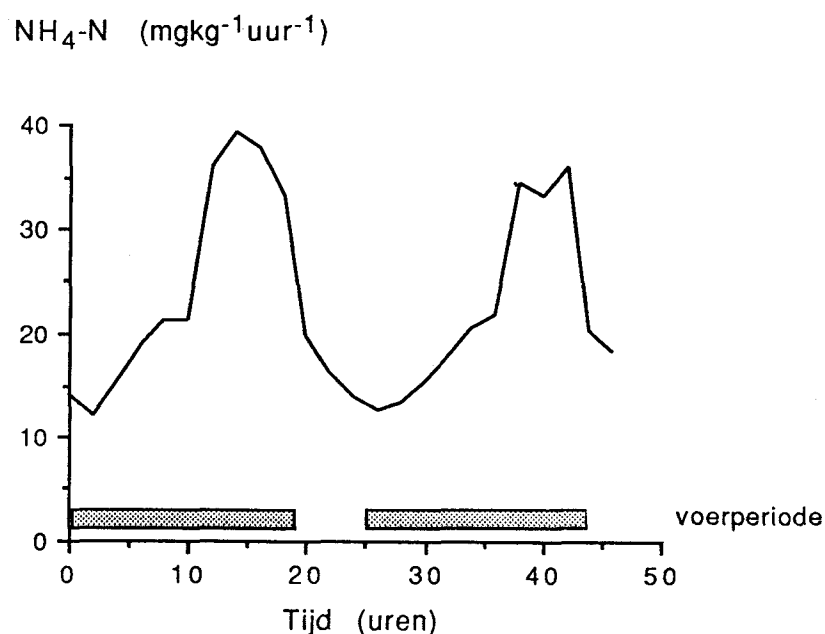
Figuur 8. Concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ in centrale aanvoer (I), centrale afvoer (IIb), aanvoer tricklingfilter (IIIa) en afvoer trickling filter (IIIg).



Uit figuur 8 blijkt duidelijk de sterke toename van de concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ tijdens voeropname en verwerking. Rond uur 40 zijn er in aanvoer tricklingfilter en afvoer Triangel-filter enkele onverklaarbare concentratieverschillen. Tijdens de passage van het tricklingfilter vindt een sterke reductie van de ammoniumconcentratie plaats, waarbij fluctuaties in de aanvoer zichtbaar blijven in de afvoer van het filter. Gedurende de voerperiode is de momentane productie groter dan de omzettingssnelheid waardoor ammonium accumuleert. De ammonium concentratie in de centrale aanvoer ligt hoger dan in de afvoer van het tricklingfilter, omdat slechts 60% van het recirculatiedebiet over het tricklingfilter wordt gestuurd.

De momentane $\text{NH}_4\text{-N}$ productie kan worden berekend uit het concentratieverschil tussen aan- en afvoer van de bassins en het recirculatiedebiet (figuur 9).

Figuur 9. Momentane productie $\text{NH}_4\text{-N}$ ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{uur}^{-1}$)

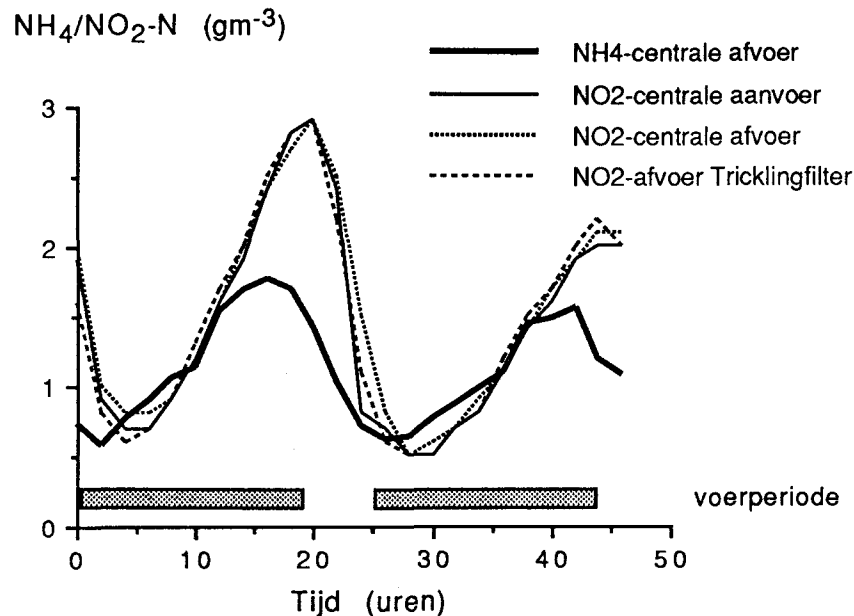


Figuur 9 laat een sterke stijging van de ammonium-productie tot het eind van de voederperiode zien, waarbij maximaal waarden van 35 à 40 mg.kg⁻¹.uur⁻¹ worden bereikt. De verhouding tussen maximale productie en gemiddelde productie (d_{max}) bedraagt 1.7.

3.4.2 Nitriet

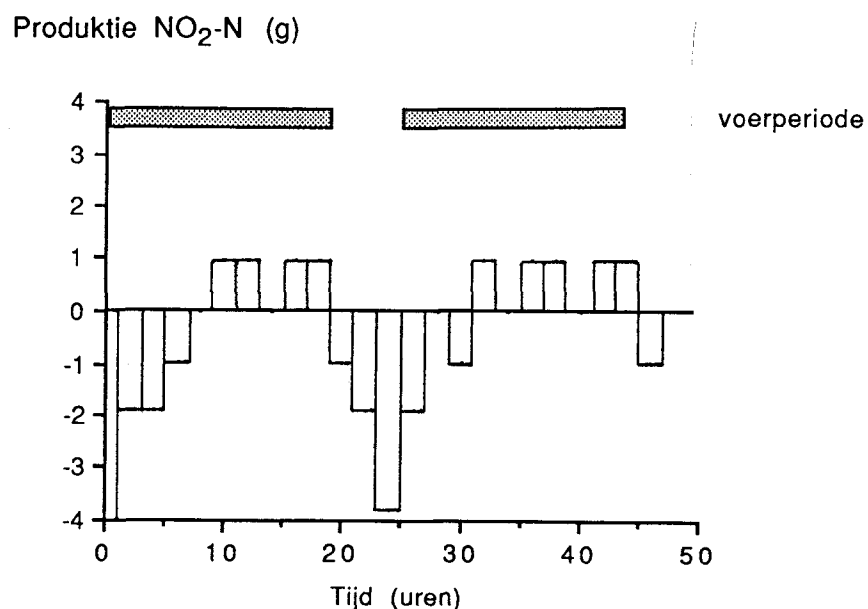
Het verloop van de concentratie NO₂-N, zoals dat in figuur 10 is weergegeven, is sterk gerelateerd aan dat van NH₄-N.

Figuur 10. Verloop van de concentratie NO₂-N in centrale aanvoer (I), centrale afvoer (IIb) en afvoer tricklingfilter (IIIg). Ter illustratie is tevens de concentratie NH₄-N in de centrale afvoer vermeld.



Tussen het verloop van NH₄-N en NO₂-N lijkt een faseverschil van ca. 2 uren te bestaan, waarbij de pieken voor NO₂-N een factor 2 hoger liggen ($d_{max} = 1.9$). Tijdens de voederperiode vindt een geringe toename van de NO₂-concentratie over de bassins en in het tricklingfilter plaats (figuur 11).

Figuur 11. Productie van NO₂-N door het tricklingfilter per tijdseenheid.



Tussen de voederperioden vindt er in het filter een netto omzetting van nitriet plaats, waarbij omzettingssnelheden van maximaal $0.15 \text{ gm}^{-2}\text{dag}^{-1}$ worden bereikt (productie van $\text{NO}_2\text{-N}$ uit $\text{NH}_4\text{-N}$ niet meegerekend).

Met behulp van de concentratieverschillen van $\text{NH}_4\text{-N}$ tussen aanvoer en afvoer van de bakken en het recirculatiedebiet kan de totale productie van $\text{NH}_4\text{-N}$ door de vissen worden berekend. Omdat gebleken is dat een klein deel van de geproduceerde hoeveelheid $\text{NH}_4\text{-N}$ in de afvoer reeds tot $\text{NO}_2\text{-N}$ wordt omgezet, is in tabel 5 daarom naast de productie van $\text{NH}_4\text{-N}$ ook een berekening van de stikstofproductie op basis van $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ gemaakt.

Tabel 5. Productie van $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ door de visbiomassa uitgedrukt per kg voer.

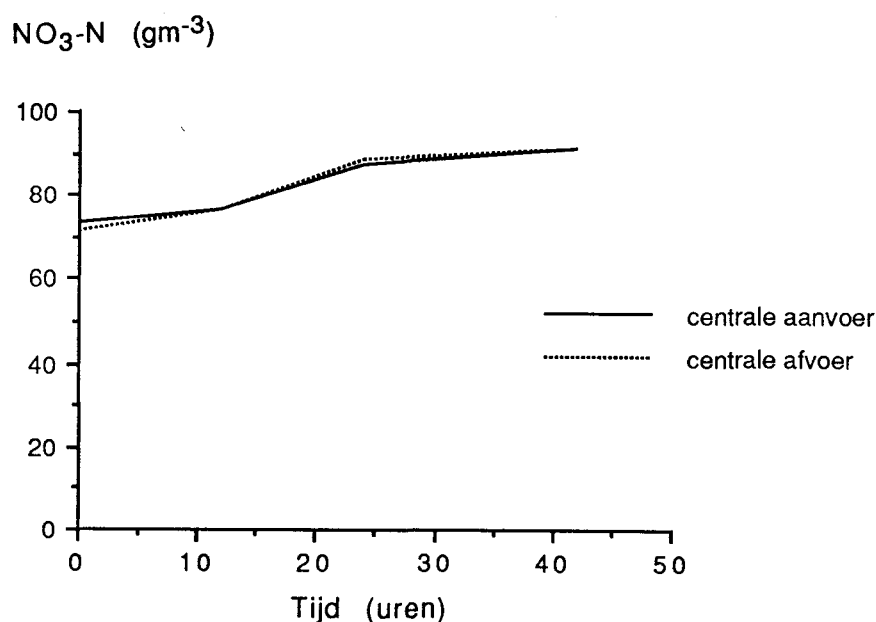
	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$
dag 1	36.7	40.8
dag 2	33.0	38.0
gemiddeld	34.9	39.4

Uit tabel 5 blijkt dat de totale stikstof uitscheiding met $\text{NO}_2\text{-N}$ meegerekend ca. 13% hoger ligt.

3.4.3 Nitraat

De concentratie $\text{NO}_3\text{-N}$ loopt gedurende de meetcyclus langzaam op van ca. 70 gm^{-3} tot 90 gm^{-3} , zonder grote schommelingen (figuur 12).

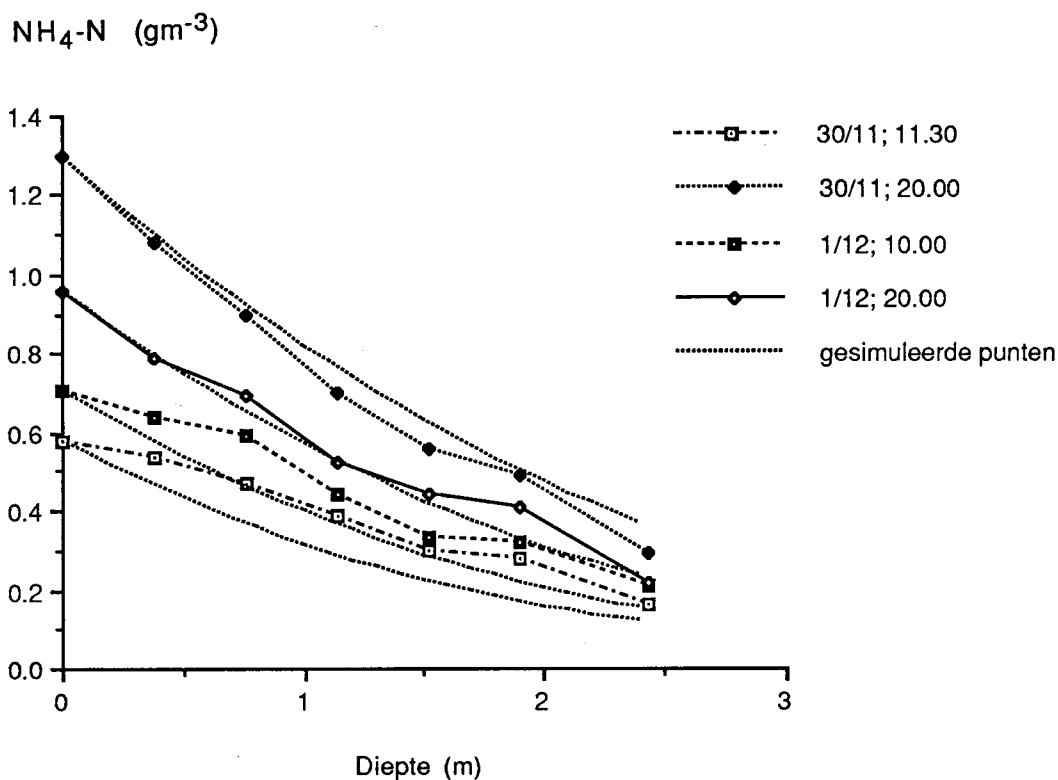
Figuur 12. Verloop van de concentratie $\text{NO}_3\text{-N}$ op een tweetal punten gedurende de monsterperiode.



3.5 Metingen verricht in het tricklingfilter

Tijdens de meetcyclus is op een viertal tijdstippen een profiel van het concentratieverloop van een aantal waterkwaliteitsparameters in het tricklingfilter bepaald. In figuur 13 zijn de uitkomsten van deze metingen weergegeven voor $\text{NH}_4\text{-N}$.

Figuur 13. Het verloop van $[\text{NH}_4\text{-N}]$ bij passage door het tricklingfilter op een viertal tijdstippen.



De omzettingssnelheid van $\text{NH}_4\text{-N}$ (r , $\text{gm}^{-2}\text{dag}^{-1}$) is evenredig met $\sqrt{[\text{NH}_4\text{-N}]}$ ($r = 0.55 \sqrt{[\text{NH}_4\text{-N}]} - 0.12$, Nijhof et al, 1990). Hierdoor is de afname van de concentratie per filtersegment bovenin het filter het grootst. In figuur 13 zijn naast de gemeten waarden, gesimuleerde profielen uitgezet op basis van bovenstaande formule. Hiertoe is de afname van de concentratie per filtersegment van 0.1 m volgens onderstaande formule berekend, waarbij de omzettingssnelheid continu aan de concentratie is aangepast.

$$C_{\text{uit}} = C_{\text{in}} - \frac{r \cdot h \cdot \emptyset \cdot a}{Q} \quad (1)$$

$$r = 0.55 \sqrt{C_{\text{in}}} - 0.12$$

waarin,

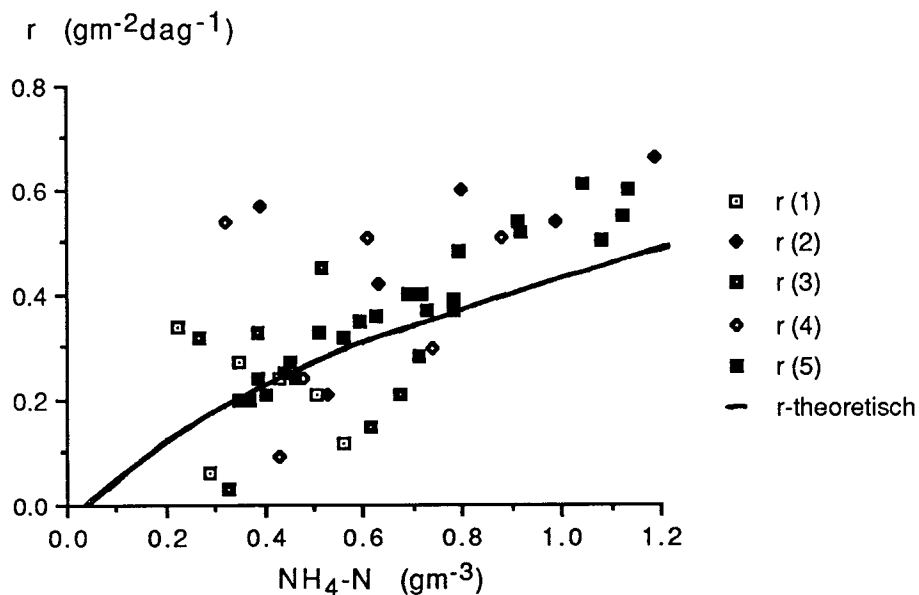
- C_{uit} en C_{in} : de uit- en ingaande concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ (gm^{-3})
- r : specifieke omzettingssnelheid ($\text{gm}^{-2}\text{dag}^{-1}$)
- h : hoogte filtersegment (m)
- \emptyset : diameter filter (m^2)
- a : specifiek oppervlak filtermateriaal (m^2m^{-3})
- Q : debiet over het filter ($\text{m}^3\text{dag}^{-1}$)

Met name bij de hogere ingangconcentraties blijken de gemeten waarden goed overeen te komen met de berekende punten. Bij de lagere ingangconcentraties blijkt de omzetting in het bovenste deel van de filterkolom langzamer te verlopen dan voorspeld. De omzetting in het op één na laatste compartiment lijkt systematisch te worden geremd. Kortsluiting van de waterstroom tussen meetpunt IIIe en IIIf kan echter ook een verklaring voor dit fenomeen zijn.

Op basis van figuur 13 kan geconcludeerd worden dat de nitrificatiecapaciteit, globaal genomen, over de hele filterkolom gelijk is.

Op basis van (1) kan de omzettingssnelheid (r) voor ieder filtersegment en voor de gehele filterkolom worden berekend. In figuur 14 zijn de berekende omzettingssnelheden uitgezet tegen de gemiddelde concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ per segment.

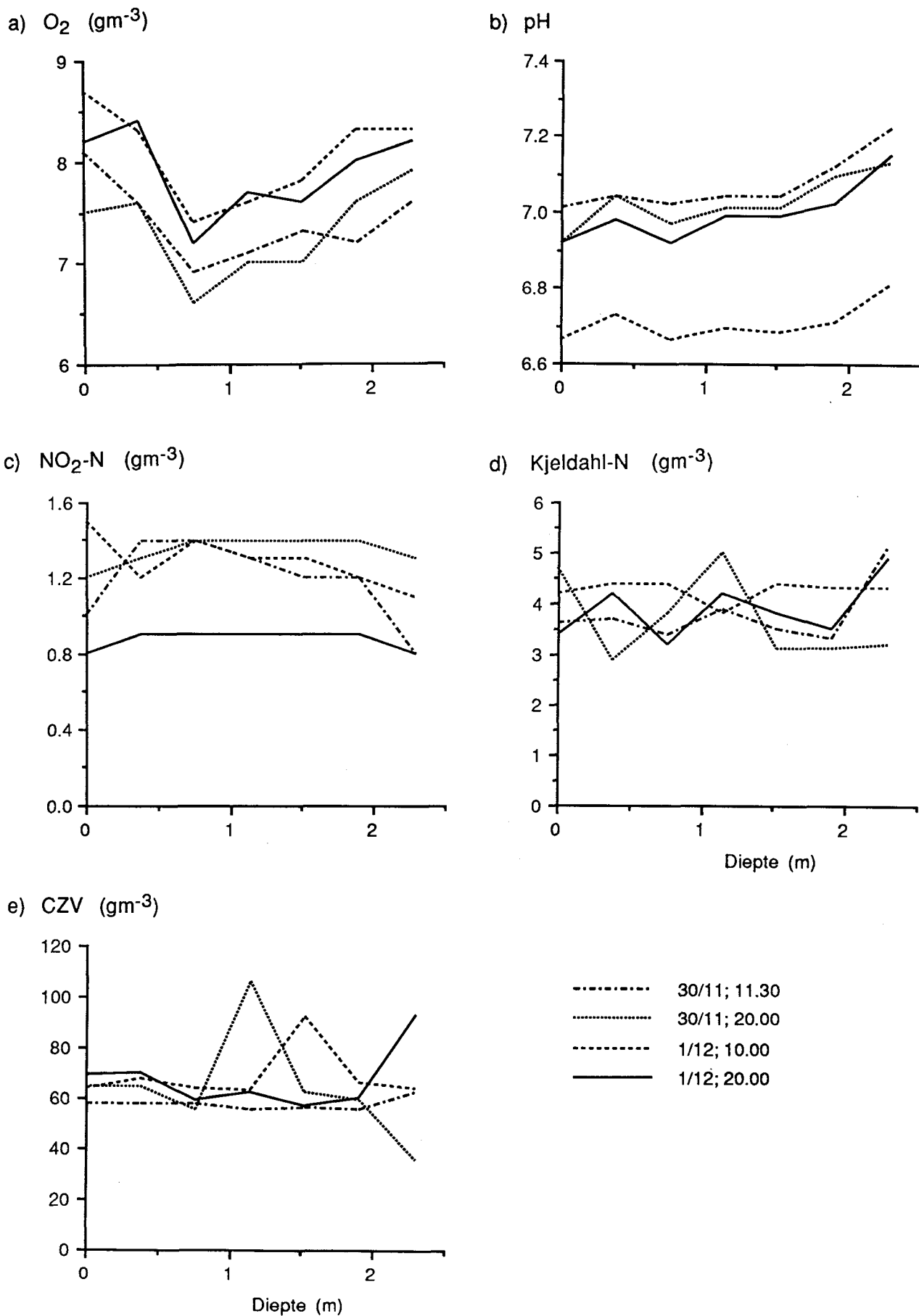
Figuur 14. Relatie tussen concentratie $\text{NH}_4\text{-N}$ en de omzettingssnelheid r . De punten r 1 t/m 4 zijn berekend aan de hand van de profielen 1 t/m 4 (zie legenda figuur 13). r (5) is berekend met behulp van het concentratieverschil van $\text{NH}_4\text{-N}$ tussen aanvoer en afvoer van het tricklingfilter. De relatie gevonden door Nijhof en Bovendeur (1990) is eveneens weergegeven



Uit figuur 14 blijkt, dat met name bij de hogere concentraties $\text{NH}_4\text{-N}$, de omzettingssnelheid hoger ligt dan volgens de theorie verwacht mag worden.

In figuur 15 wordt het concentratieverloop van O_2 , de pH, $\text{NO}_2\text{-N}$, Kjeldahl-N en CZV over de filterkolom beschreven.

Figuur 15. Het verloop van $[O_2]$ (a), de pH (b), $[NO_2-N]$ (c), $[Kjeldahl-N]$ (d) en $[CZV]$ (e) over de filterkolom .



Uit figuur 15a blijkt dat er in het tweede compartiment (tussen IIIb en IIIc) een sterke consumptie van zuurstof plaats vindt. Met behulp van de gegevens uit figuur 13 valt de bijdrage van de nitrificatie aan de zuurstofconsumptie te berekenen. Bij een theoretisch zuurstofverbruik van 4.57 g O₂ per g NH₄-N bedraagt de afname van het zuurstofgehalte door nitrificatie in het tweede compartiment maximaal 0.82 gm⁻³. De afname van de zuurstofconcentratie in het tweede compartiment ligt, ook bij relatief geringe nitrificatie, in de orde van 1 gm⁻³. Hierbij dient men zich te realiseren dat er continue reaeratie met atmosferische zuurstof plaats vindt. Zo kan in het eerste compartiment deze rearatie globaal aan de vraag naar zuurstof voor nitrificatie voldoen. Met name in het tweede compartiment blijkt afbraak van organische stof plaats te vinden, wat eveneens weerspiegeld wordt in een daling van de pH door CO₂ produktie.

Figuur 15b laat zien dat verwijdering van CO₂, resulterend in een stijging van de pH, met name onder in het filter plaats vindt en in het filter als geheel vrij gering is. Het feit dat het water vóór het laatste monsterpunt sterk wordt belucht door de vrije val in de opvangbak zorgt voor een duidelijke toename van de pH in het laatste compartiment. Wanneer we de Δ pH na versproeien boven het filter en de vrije val uit het filter optellen en vergelijken met de Δ pH over het filter zelf (0.16 en 0.10 respectievelijk), dan blijkt dat er in de filterkolom zelf relatief weinig CO₂ wordt verwijderd. Blijkbaar is de natuurlijke ventilatie in de beschreven situatie gering.

Uit figuur 15c blijkt dat aan de bovenkant van het filter een geringe toename van de concentratie NO₂-N plaatsvindt; in het laatste compartiment neemt de concentratie in alle gevallen af. De omzetting van NO₂-N uit de bulk vloeistof is in alle gevallen gering.

In de figuren 15d en e zijn de concentraties Kjeldahl-N en CZV over de kolom uitgezet. In deze metingen is geen duidelijke lijn te ontdekken; N_{Kj} en CZV bedragen gemiddeld 3.9±0.6 gm⁻³ en 64±13 gm⁻³. Voor beide parameters valt er geen duidelijk profiel over het filter waar te nemen. De totale belasting van het tricklingfilter met CZV bedraagt gemiddeld 27 g.m⁻².dag⁻¹.

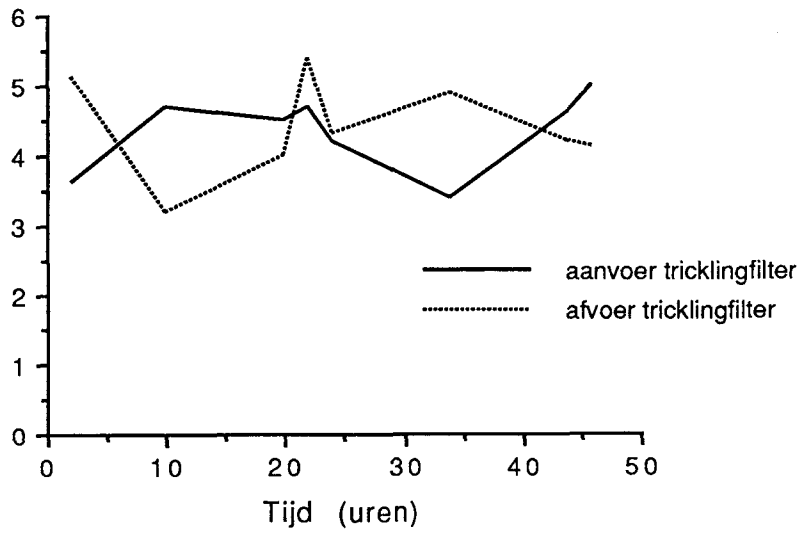
De bijdrage van de zwevende stof aan N_{Kj} en CZV valt te berekenen uit de hoeveelheid N_{Kj} en CZV per kg zwevende stof (zie 3.7.1). Deze waarden bedragen 41.9 mg/g en 1.35 g/g voor respectievelijk N_{Kj} en CZV. Uitgaande van een gemiddeld gehalte aan zwevende stof in het tricklingfilter van ca. 3 gm⁻³ (zie figuur 6), bedraagt de hoeveelheid N_{Kj} en CZV in de vorm van zwevende stof 0.13 gm⁻³ en 4.1 gm⁻³.

Om de hoeveelheid N_{Kj} en CZV in de vorm van organisch opgelost of colloïdaal materiaal te berekenen, dient gecorrigeerd te worden voor NH₄-N en NO₂-N. Deze berekening leert dat de totale hoeveelheid N_{Kj} voor minimaal 72% uit opgelost of colloïdaal materiaal bestaat en de CZV voor ca. 90%.

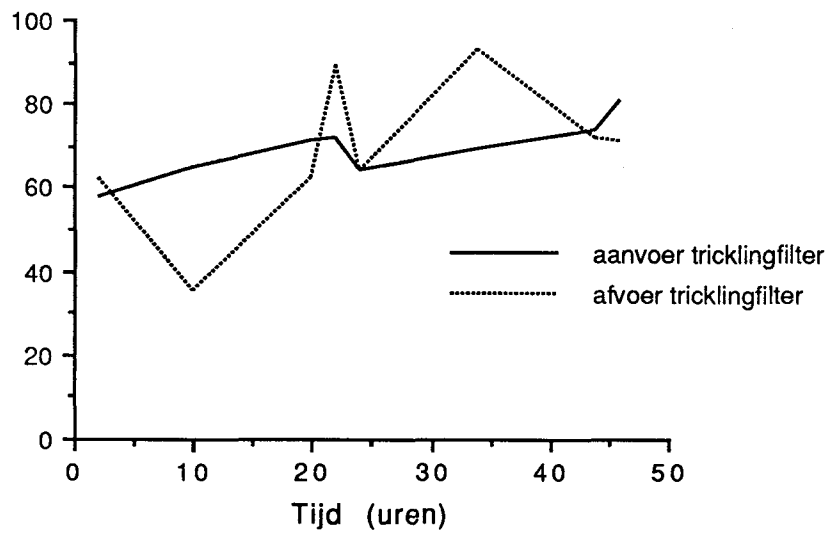
De geringe lijn die in de verwijdering van N_{Kj} en CZV in het filter valt te ontdekken wordt ondersteund door figuur 16, waarin de concentraties N_{Kj} en CZV in aan- en afvoer van het tricklingfilter zijn weergegeven over de gehele meetcyclus. Gedurende het eerste etmaal lijkt er omzetting van N_{Kj} en CZV in het filter plaats te vinden. In het tweede etmaal treedt er echter een netto-produktie van N_{Kj} en CZV in het filter op.

Figuur 16a,b. Verloop van de concentratie N_{Kj} (a) en CZV (b) in aanvoer en afvoer van het tricklingfilter gedurende de monsterperiode.

a) Kjeldahl-N (gm^{-3})



b) CZV (gm^{-3})



3.6 De berekening van massa-balansen

3.6.1 Water-balans

Verversing van water in het systeem vindt plaats via een kraan in de pompbak en via het sproeiwater van het Triangelfilter. Een klein deel van het sproeiwater van het filter komt direct in het spui van het filter terecht. Het verbruik langs deze wegen wordt door middel van een watermeter gemeten. Afvoer van water vindt plaats via een overstort in de pompbak en via het spuiwater van het Triangelfilter. Tabel 6 geeft de hoeveelheden water die langs de verschillende wegen zijn af- en aangevoerd.

Tabel 6. Aanvoer en afvoer van water (l) uit het systeem en de daaruit berekende verdamping.

	aanvoer		afvoer		verdamping
	pompbak	sproeiwater	pompbak	spui Triangelf.	
dag 1	1279	801	1230	580	270
dag 2	1257	811	1304	590	174

Gemiddeld blijkt er 343 l water per kg voer te zijn verbruikt, waarbij ca. 10% van het ververste water als verdamping verdwijnt. Ongeveer 32% van het suppletiewater verdwijnt via de spui van het Triangelfilter. Het is met name in praktijksituaties van belang om deze stroom gescheiden te houden van het veel grotere en schonere overstort-debiet. Op deze manier kan een betere retentie van het spuislib bewerkstelligd worden.

3.6.2 Balans van droge stof en stikstof

Aan de hand van de gegevens in bijlage 1, betreffende groei en lichaamssamenstelling van de visbiomassa, is de hoeveelheid droge stof en stikstof omgezet in groei berekend.

Tabel 7. Verdeling van droge stof en stikstof uit het voer over groei en vuilproductie per etmaal. Vermeld zijn g.kg voer⁻¹ met tussen haakjes percentages.

Dag	Droge stof		Stikstof	
	1	2	1	2
Voer	953 (100)	953 (100)	75 (100)	75 (100)
Faeces & Voerresten	188 (18)	182 (19)	8 (11)	7 (9)
Niet faecaal verlies	50 (5)	46 (5)	39 (52)	36 (48)
Respiratie	229 (24)	229 (24)	-	-
Groei	202 (21)	202 (21)	12 (16)	12 (16)
Onbekend	284 (32)	294 (31)	16 (21)	20 (27)

In tabel 7 zijn de hoeveelheden droge stof en stikstof onder de post Faeces en Voerresten berekend volgens methode 2 (zie par. 3.3). De post respiratie is berekend door de zuurstofconsumptie per kg voer te delen door de hoeveelheid CZV per gram droge stof (1.4). Uit tabel 7 blijkt dat er een aanzienlijke hoeveelheid materiaal "zoek is geraakt". Met name een onderschatting op de post Faeces en Voerresten zou hiervoor verantwoordelijk kunnen zijn (zie 3.3). Tevens is een deel van de zwevende stof in oplossing gegaan. De retentie van droge stof en stikstof is met respectievelijk 21 en 16% bij aal relatief ongunstig.

3.7 Uitstoot van vuil door het recirculatiesysteem

3.7.1 Kjeldahl-N, CZV en de berekening van het aantal inwoner-equivalenten (i.e.)

Bij het berekenen van de vuilproductie door het systeem hebben we te maken met een drietal bronnen.

- 1: de overstort van de pompbak; hier wordt ca. 2/3 van de totale hoeveelheid verversings-water geloosd met een samenstelling die gelijk is aan die van het aanvoerwater van de bassins.
- 2: het slib van het spui van het Triangelfilter, dat na een uur bezinken kan worden verzameld en wordt achtergehouden.
- 3: het water dat wordt afgeheveld van het bezonken slib.

Op regelmatige tijdstippen zijn concentraties Kjeldahl-N en CZV bepaald in bovengenoemde bronnen. Dit gegeven levert samen met de volumes die per tijdseenheid langs de verschillende wegen zijn verwijderd, de totale uitstoot die in tabel 8 staat vermeld. De vuilproductie per etmaal, uitgedrukt in aantal inwoner-equivalenten (i.e.), is berekend met de formule:

$$Q (CZV + 4.57 N_{Kj})/136 \quad \text{waarin } Q \text{ het debiet per etmaal.}$$

Tabel 8. Hoeveelheid Kjeldahl-N, CZV en aantal i.e.'s, verwijderd via de overstort (1), het bezonken slib (2) en het afgehevelde water (3), uitgedrukt per kg voer per dag.

<u>Kjeldahl-N (g)</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>totaal</u>
dag 1	0.8	8.7	0.9	10.4
dag 2	0.9	7.5	0.9	9.3
<u>CZV (g)</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>totaal</u>
dag 1	12.2	287.3	15.6	315.1
dag 2	14.0	237.1	15.6	266.7
<u>I.E.</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>totaal</u>
dag 1	0.1	2.4	0.1	2.6
dag 2	0.1	2.0	0.1	2.2

Uit tabel 8 blijkt dat 80 à 90% van de Kjeldahl-N en de CZV in het bezonken slib terecht komt. De concentraties N_{Kj} en CZV in het slib bedragen respectievelijk gemiddeld 41.9 mg en 1.35 g per g droge stof. Het droge stof gehalte van het bezonken slib bedraagt ca. 1.5%.

De uitstoot aan opgeloste stikstof-verbindingen kan op identieke manier, als boven beschreven voor N_{Kj} en CZV, worden berekend. In tabel 9 zijn de hoeveelheden en concentraties in het effluent vermeld, waarbij overstort en hevelwater zijn gesommeerd. De hoeveelheden in het bezonken slib zijn buiten beschouwing gelaten.

Tabel 9. Uitstoot van $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ en N_{Kj} via het effluent van het systeem in g per kg voer per etmaal en de concentraties van deze stoffen in het effluent.

	dag 1	dag 2	concentraties (gm^{-3})
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.2	0.2	0.5-1.8
$\text{NO}_2\text{-N}$	0.5	0.5	0.5-3.0
$\text{NO}_3\text{-N}^*$	18.6	24.1	70-90
N_{Kj}	1.7	1.8	3-5

* gecorrigeerd voor $\text{NO}_3\text{-N}$ in suppletiewater

Uit tabel 9 blijkt dat de ca. 40 g $\text{NH}_4\text{-N}$ per kg voer, die oorspronkelijk door de vis is uitgescheiden (tabel 5), vrijwel geheel wordt genitrificeerd. Deze nitrificatie levert uiteindelijk 40 g $\text{NO}_3\text{-N}$. Het feit dat de gemeten $\text{NO}_3\text{-N}$ uitstoot 50% lager uitvalt impliceert een aanzienlijke denitrificatie in het systeem, waarbij $\text{NO}_3\text{-N}$ grotendeels wordt omgezet in atmosferische stikstof.

3.7.2 Fosfaat

Het gehalte aan totaal-fosfaat is bepaald in het voer, in een aantal slibmonsters en in de vismonsters. De gehalten in voer, vis en slib bedragen gemiddeld respectievelijk 1.1%, 0.23% en 136 mg/l. De gehalten in de vis zijn lager dan waarden die voor Salmoniden worden gevonden (Håkanson et al, 1988).

Een kg voer levert 11.0 g P waarvan 1.2 g (11%) in de vis achterblijft en 1.7 g (15%) in het slib terecht komt. De rest van het fosfaat verlaat in opgeloste vorm via de waterfractie het systeem. De retentie van fosfaat in het slib is laag vergeleken met literatuurgegevens voor andere vissoorten (Håkanson et al, 1988).

4. DISCUSSIE

Hoewel er aan de berekende zuurstofconsumpties methodologische bezwaren kleven, zijn de resultaten vergelijkbaar met waarden gevonden in de literatuur (Heinsbroek, 1989). De zuurstofconsumptie van $2.9 \text{ gkg}^{-0.8}\text{dag}^{-1}$ bij een groei van $4.5 \text{ gkg}^{-0.8}\text{dag}^{-1}$ komt overeen met wat Heinsbroek (1989) vindt met een voer met dezelfde samenstelling als het hier gebruikte. De gemeten zuurstofconsumptie van gemiddeld 321 g per kg voer ligt lager dan de zuurstofconsumptie waarmee in de praktijk systemen worden gedimensioneerd.

De metingen van de pH (figuur 6) laten zien welke snelle veranderingen deze parameter in een zwaar belast systeem kan ondergaan. Een daling van de pH kan op korte termijn een daling van de nitrificatiecapaciteit veroorzaken (Bovendeur en Klapwijk, 1989). Het geautomatiseerd meten en regelen van de pH in recirculatiesystemen, ter voorkoming van bovengenoemde ongewenste effecten, lijkt dan ook voor de hand te liggen.

De metingen aan de produktie van zwevende stof illustreren de grote methodologische problemen die aan deze bepaling zijn verbonden. Hoewel het kwantitatief verzamelen van alle geproduceerde zwevende stof (methode 2) uiteraard de meest betrouwbare methode is, lijken de gevonden waarden een onderschatting van de werkelijke waarden te geven. Een gemiddelde produktie aan zwevende stof van 194 g per kg voer (tabel 4) betekent immers dat de schijnbare verteerbaarheid voor droge stof van het gebruikte voer in de orde van 80% moet liggen.

Uit figuur 7a blijkt dat bepaling van de produktie op basis van concentratieverschillen tussen aan- en afvoer van het triangelfilter tot overschatting leidt, omdat teveel waarde wordt gehecht aan irreële pieken in de afvoer.

Schattingen van de produktie van zwevende stof in de literatuur (Heinsbroek en Kamstra, 1990) liggen tussen bovengenoemde uitersten in.

Wat betreft de metingen aan stikstofproduktie en afbraak zijn met name de metingen aan $\text{NO}_2\text{-N}$ interessant. Het verband tussen $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$ uit figuur 10 doet meteen vermoeden dat de produktie van $\text{NO}_2\text{-N}$ in dit geval gerelateerd is aan nitrificatie en niet aan denitrificatie zoals over het algemeen wordt aangenomen (Bovendeur en Klapwijk, 1989). Een geringe "lekkage" van $\text{NO}_2\text{-N}$ uit de biofilm, zoals die uit figuur 11 blijkt, gekoppeld aan het ontbreken van enige omzetting van $\text{NO}_2\text{-N}$ uit de bulkvloei stof tijdens perioden met sterke nitrificatie (figuur 15d), vormt een goede verklaring voor de waargenomen fluctuaties in $\text{NO}_2\text{-N}$. Uit figuur 11 en 15d blijkt dat omzetting van $\text{NO}_2\text{-N}$ vanuit de bulkvloei stof slechts plaats vindt bij een geringe produktie van $\text{NO}_2\text{-N}$ in de biofilm zelf. Deze conclusie is in tegenspraak met bevindingen van Bovendeur en Klapwijk (1989), die concluderen dat in een volgroeide biofilm de capaciteit voor $\text{NO}_2\text{-N}$ verwijdering veel hoger ligt dan voor $\text{NH}_4\text{-N}$ verwijdering.

Metingen aan praktijksystemen uitgevoerd door Van der Heul et al (1989) laten in enkele gevallen eveneens een duidelijk verband tussen de concentraties van $\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_2\text{-N}$ zien.

De metingen verricht in het tricklingfilter tonen aan dat de capaciteit en omstandigheden voor nitrificatie over de hele filterkolom gelijk verdeeld kunnen worden geacht. Hoewel de belasting met CZV van $27 \text{ gm}^{-2}\text{dag}^{-1}$ bijzonder hoog is, blijkt dit geen nadelige gevolgen voor de omzetting capaciteit van de biofilm te hebben (figuur 13). In commerciële systemen zal echter met name de bijdrage van CZV in de vorm van zwevende stof hoger zijn.

De verhoogde zuurstofconsumptie in het tweede compartiment van het filter (figuur 15a) lijkt een direct gevolg van het invangen van zwevende stof en een voorbode van naderend onheil. Enkele weken na de metingen leidde een opeenhoping van organisch materiaal in deze laag tot een verstopping van het filter.

De metingen aan de verwijdering van N_{Kj} en CZV geven geen eenduidige resultaten. Een nadere karakterisering van de gemeten totale hoeveelheden N_{Kj} en CZV is nodig om te bepalen in hoeverre het hier gaat om afbreekbare en/of opgeloste stoffen.

De metingen van de vuiluitstoot door het systeem op basis van i.e.'s komen goed overeen met wat op basis van een theoretische benadering verwacht mag worden. Heinsbroek (1988) komt op basis van een dergelijke theoretische benadering tot een totale uitstoot van 2.6 i.e. per kg voer; in deze studie vinden we gemiddeld 2.4 i.e. per kg voer. Het vaststellen van het aantal i.e.'s op basis van het waterverbruik en een afvalwatercoëfficiënt van 0.024 i.e. per m^3 , zoals dat door zuiveringssystemen veelal wordt gedaan, zou in deze studie leiden tot 3.0 i.e. per kg voer.

De vuilproduktie door een systeem is in hoge mate afhankelijk van de manier waarop het water in het recirculatiesysteem wordt gezuiverd. In systemen waarin upflowfilters of bezinkers worden gebruikt om zwevende stof te verwijderen, zal een deel van de CZV in het systeem zelf worden afgebroken. In dergelijke systemen wordt waarschijnlijk ook een groter deel van het gevormde $\text{NO}_3\text{-N}$ gedenitrificeerd. Bovengenoemde waarden zijn daarom in een aantal gevallen niet extrapoleerbaar naar de praktijk.

Uit tabel 8 blijkt dat de totale uitstoot van vuil met 80 à 90% is te reduceren door een efficiënte retentie van het spuislib. Deze retentie van spuislib kan in de praktijk in veel gevallen verbeterd worden door het scheiden van de afvalstroom in verversingswater en afgescheiden slib, zoals dat in het onderhavige systeem plaats vindt.

5. CONCLUSIES

Het ontwerp en de dimensionering van het onderzochte systeem zijn ruim voldoende om de beoogde productiecapaciteit (op basis van 6 kg voer per dag) te bereiken.

Gezien de sterke fluctuaties die de pH in zwaar belaste systemen kan ondergaan, verdient het aanbeveling om de pH continu te meten en de toediening van bufferend vermogen te automatiseren.

De nitrificatiecapaciteit is, ondanks een continu hoge belasting met CZV, gelijkmatig over de hele filterkolom gespreid. De gevonden omzettingssnelheden voor ammonium liggen gemiddeld boven waarden uit de literatuur.

Accumulatie van nitriet blijkt sterk gerelateerd te zijn aan accumulatie van ammonium en lijkt eerder beperkend voor de productie dan ammonium. De capaciteit van de biofilm om nitriet om te zetten is lager dan de capaciteit voor omzetting van ammonium.

De benutting van mineralen door aal is relatief gering. Met name door verlaging van het fosfaat-gehalte in het voer kunnen fosfaatverliezen drastisch worden beperkt.

6. LITERATUUR

Bligh, E.G. en W.J.Dyer (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can.J.Biochem.Physiol.*, 37: 911-917.

Bovendeur, J. en A.Klapwijk (1989). Effects of substrate loading regime, dissolved oxygen and pH on fixed-biofilm nitrification in aquacultural water recirculating systems. In: J.Bovendeur (1989). Fixed-biofilm reactors applied to waste water treatment and aquacultural water recirculating systems. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen.

Bovendeur, J.(1989). Fixed-biofilm reactors applied to waste water treatment and aquacultural water recirculating systems. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen, 166 pp.

Håkanson, L., Ervik, A., Mäkinen, T. en B.Möller (1988). Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farming. Nordic council of ministers, Copenhagen.

Heinsbroek, L.T.N. (1988). Productie en lozing van afval bij intensieve visteelt. *Aquacultuur-nieuws* 3(6), pag. 28-33.

Heinsbroek, L.T.N. (1989). Vuilproductie en -verwijdering in palingteelt systemen. *Aquacultuur-nieuws* 4(5), pag. 11-18.

Heinsbroek, L.T.N. en A.Kamstra (1990). Design and performance of water recirculation systems for eel culture. *Aquacult.Eng.* in press.

Nijhof, M. en J.Bovendeur (1990). Fixed film nitrification characteristics in sea water recirculating fish culture systems. *Aquaculture*, 87; 133-143.

Van der Heul, J.W., Kamstra, A. en J.J.Kesteloo-Hendrikse (1989). Waterkwaliteit in aalmesterijen; praktijkmetingen aan recirculatiesystemen. RIVO-raport AQ 89-01.

Van der Loo, H.(1989). Afvalwaterproblematiek vismesterijen. Lezing voor het Nederlands Genootschap voor Aquacultuur, Ede juni 1990.

Bijlage 1. Groeigegevens en samenstelling van vis en voer.

Bak nr.	gewicht ¹ g	FCR ² -	SGR ² %/dag	droge stof ³ %	eiwit ⁴ %	vet %	as %	totaal-P %
1	44.4	1.87	0.82	37.5	15.4	19.9	1.52	0.23
3	46.6	1.83	0.82	36.8	15.4	20.4	1.54	0.25
2	62.1	1.76	0.85	39.3	14.8	22.4	1.48	0.23
6	58.8	1.75	0.84	36.6	13.8	21.7	1.29	0.23
4	78.6	1.91	0.77	40.6	15.5	23.3	1.54	0.17
5	77.3	1.79	0.85	41.0	15.2	24.1	1.57	0.23
voer				95.3	44.7	18.3	9.60	1.10

1) gemiddeld gewicht op 6/12/89

2) bepaald over de periode eind oktober-begin december

3) lichaamssamenstelling op 6/12/89

4) gehaltenes eiwit, vet, as en totaal-P in vers produkt