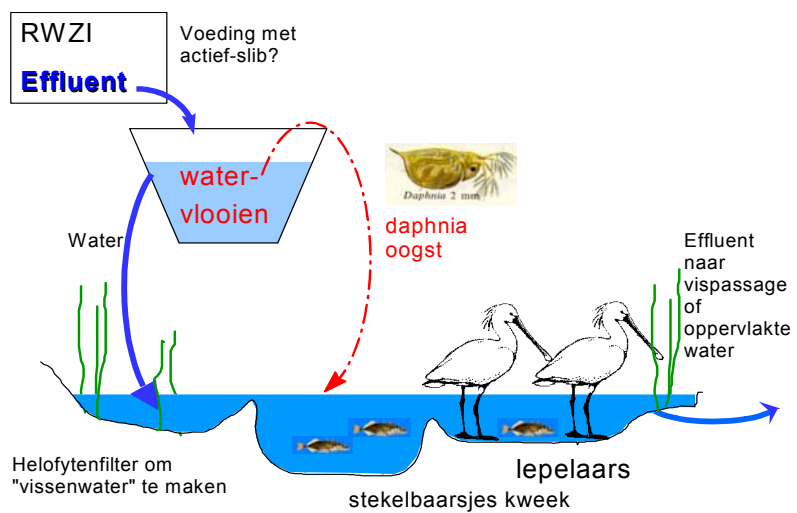


Haalbaarheid en mogelijkheden van het gebruik van effluent van de rwzi De Cocksdorp voor natuurdoeleinden



Gebruik van effluent van de rwzi Cocksdoorp voor
natuurdoeleinden:
Haalbaarheid en mogelijkheden

Datum:
juni 2000/juni 2003

Auteurs:
R. G. Jak ¹
R. Kampf ²
E.M. Foekema ¹
H.P. van Dokkum ¹

Met medewerking van:
B. J. Eenkhoorn ²
S. B. Gaastra ²
A.H. van der Kraan ²
G. J.M. Wintermans ³
J. Kemper ⁴

¹ MEP-TNO, Den Helder
² Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen, Edam
³ Wintermans Ecologen Bureau, Oosterend, Texel
⁴ Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein

TNO-rapport nr. TNO-MEP - R 2000/138
TNO-project nr. 30581

Het project is gesubsidieerd door de Provincie Noord-Holland in het kader van de Deelverordening Fonds Natuur en Landschapsbescherming Noord-Holland 1999

Luchtfoto titelblad: Simon Smit, Den Burg



Contactadressen:

R.G. Jak, MEP-TNO, Postbus 57, 1780 AB Den Helder, 0223 638814, r.jak@mep.tno.nl
R. Kampf, Hoogheemraadschap van Hollands Noorderkwartier, Postbus 850, 1440 AW
Purmerend, 0299-3914290, r.kampf@hbnk.nl

Voorwoord

Dit rapport beschrijft de mogelijkheden en de haalbaarheid van het gebruik van effluent van rwzi De Cocksdorp (Texel) voor natuurdoeleinden. Het onderzoek is gefinancierd door het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier (USHN) en is deels gesubsidieerd door de Provincie Noord-Holland in het kader van de Deelverordening Fonds Natuur- en Landschapsbescherming Noord-Holland 1999.

De uitkomsten van deze studie kunnen gebruikt worden voor de afweging om hetzij de rwzi De Cocksdorp te sluiten en het rioolwater met een persleiding af te voeren naar rwzi Eversteekoog, of rwzi De Cocksdorp te behouden en een helofytenfilter aan te leggen, eventueel gecombineerd met een kweekstelsel voor natuurontwikkeling. Daarnaast kan de studie worden gebruikt voor de uitwerking van het Masterplan Water Texel.

Behalve de nazuivering wordt beoogd de voedselsituatie van Lepelaars op Texel te verbeteren, door enerzijds het verbeteren van de waterkwaliteit en -kwantiteit voor een zoetwaterlokstroom van een reeds aangelegde vishevelpassage waardoor meer stekelbaarzen, welke als voedsel dienen voor Lepelaars, vanuit zee naar het zoete oppervlaktewater kunnen migreren, anderzijds door verbetering van de groei van stekelbaarzen door de kweek van watervlooien. Voor het onderzoek naar de verbetering van de voedselsituatie van Lepelaars is een subsidie verleend door de Provincie Noord-Holland.

Het onderzoek is uitgevoerd door TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, afdeling Ecologische Risico's in samenwerking met USHN. Een projectteam is opgesteld waarin de auteurs en medewerkers van USHN (B. Eenkhoorn, S. Gaastra, A. van der Kraan) hebben deelgenomen met het doel inhoudelijke afstemming te verzorgen met andere lopende projecten. Daarnaast heeft een begeleidingscommissie het project beoordeeld, waarin naast de projectgroep ook werd deelgenomen door vertegenwoordigers van Waterschap Hollands Kroon (J. Steenis), de Organisatie voor Verbetering van de Binnenvisserij (J. Kemper) en Wintermans Ecologen Bureau (G. Wintermans). Door de laatste zijn ook gegevens en tekstuele bijdragen aan het rapport geleverd.

Sinds januari 2003 is het hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen opgegaan in het hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK).

Samenvatting

De studie die in dit rapport wordt beschreven onderzoekt de mogelijkheden voor nazuivering van het effluent van rwzi De Cocksdorp in combinatie met de kweek van organismen door het optimaliseren van natuurlijke ecologische processen. Het doel is een ontwerp te maken van een gecombineerd moeras- en kweekstelsel op basis van min of meer natuurlijke systemen die worden gestuurd voor mens én natuur. Dat wil zeggen, de kwaliteit van het effluent wordt verbeterd en er wordt gebruik gemaakt van het voedselrijke effluent voor de kweek van organismen in een getrappt systeem bestaande uit verschillende elementen of bouwstenen van het aquatische ecosysteem. Beschouwd zijn de kweek van achtereenvolgens algen, watervlooien, stekelbaarzen en vervolgens Lepelaars. Tevens is de mogelijkheid van het gebruik van actief slib als voedselbron voor watervlooien onderzocht: het “kweekstelsel”.

Achtergrond

De rwzi De Cocksdorp is een van de vijf locaties op Texel waar afvalwater, vrijwel geheel afkomstig van huishoudens, wordt gezuiverd. In de zomermaanden is de rwzi overbelast en wordt het afvalwater niet optimaal gezuiverd. Dit leidt tot een matige kwaliteit van het oppervlaktewater tussen het lozingspunt en De Cocksdorp.

De effluentkwaliteit en de watervoorziening op het eiland Texel maken het nodig de rol van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) De Cocksdorp te herzien.

Hierbij zijn de volgende opties gewogen:

1. De capaciteit van de huidige rwzi De Cocksdorp wordt, zoals in het waterbeheersplan (WBP2) wordt aangegeven, voorzien van een moerassysteem al dan niet in de vorm van een kweek-/moerassysteem.
2. Het rioolwater wordt met een persleiding afgevoerd naar een andere rwzi op Texel.

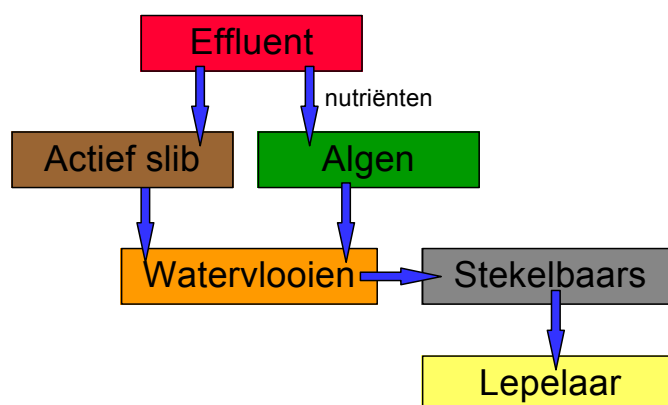
In dit rapport zijn de mogelijkheden van een moerassysteem in de vorm van een kweek-/moerassysteem, “het kweekstelsel”, verder onderzocht, waarbij de potenties en randvoorwaarden zijn beschreven aan de hand van beleidsmatige, ecologische en economische overwegingen. Uiteindelijk wordt een afweging gemaakt tussen handhaving van rwzi De Cocksdorp met verschillende mogelijkheden voor inrichting van een helofytensysteem (verder genoemd “moerassysteem” en het sluiten van rwzi De Cocksdorp en het via een persleiding afvoeren van rioolwater naar een andere rwzi op Texel (optie 2).

Een belangrijk positief effect van het behoud van een rwzi bij De Cocksdorp is dat het effluent als lokstroom voor een reeds aangelegde vispassage kan worden toegepast. Voor deze vispassage blijkt het wateraanbod beperkend te zijn waardoor deze niet optimaal wordt benut. De vispassage is bedoeld om de intrek van vissoorten, vooral stekelbaarzen en glasaal, te bevorderen. Stekelbaarzen vormen de belangrijkste voedselbron voor Lepelaars op Texel. Door het effluent beschikbaar te stellen kan ook aan de kwantitatieve vraag naar water door de vispassage worden voldaan.

Het concept

Het voorgestelde ontwerp betreft de nazuivering van effluent waarbij nutriënten en/of actief slibdeeltjes, die als afvalstoffen in het effluent van een rwzi aanwezig zijn, gebruikt worden voor het kweken van dierlijke biomassa. Deze dierlijke biomassa wordt gevormd door watervlooien die niet alleen algen consumeren, maar, zo blijkt uit verkennend onderzoek, ook in staat zijn te groeien op actief slibdeeltjes in het effluent. Watervlooien vormen de basis van een voedselketen, waarbij de watervlooien (van het geslacht *Daphnia*) worden geconsumeerd door stekelbaarzen en de stekelbaarzen als voedsel dienen voor de Lepelaar (zie figuur hieronder). De Lepelaar is een vogelsoort die op de Rode Lijst staat.

Tijdens het productie proces vindt tevens een nazuivering van het effluent plaats, waardoor het water minder milieubelastend is. Dit water kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt, onder andere door op een andere manier de voedselvoorziening van Lepelaars te verhogen, namelijk door dienst te doen als lokstof voor een vispassage die bedoeld is om vanuit zee migrerende visjes naar het zoete binnen water te hevelen. Ook deze visjes, voornamelijk stekelbaarzen, verhogen het voedselaanbod voor Lepelaars. De hoeveelheid effluent die geloosd wordt is toereikend om aan de vraag van de vispassage te voldoen.



De beschouwde productieketen kan worden geoptimaliseerd door fysieke scheiding van de (ecologische) processen, waardoor ongewenste natuurlijke interacties tussen organismen, die een optimale productie belemmeren, uitblijven. Daarnaast worden nutriënten (voedingsstoffen voor algen) uit de waterfase verwijderd of opgenomen in biomassa in het kweekstelsel, waardoor natuurlijke ecosystemen minder

worden belast. In het moeras-/kweekstelsel vindt tevens een goede desinfectie plaats. Behalve de verwijdering van reststoffen bestaat ook de mogelijkheid slib actief om te zetten in biomassa, waarbij in de verschillende stappen in het productieproces biomassa, en energie, verloren gaat. Op deze wijze wordt slib op biologische wijze verwerkt.

Beleidsmatige inpasbaarheid

Het landelijk beleid en de regionale en lokale doelstellingen van het integrale waterbeheer worden voor het eiland Texel uitgewerkt in het Masterplan Water Texel. Het voorgestelde concept is een aansprekend voorbeeld van een innovatieve en integrale oplossing voor verschillende, aan water gerelateerde problemen. Verder verhoogt de aanwezigheid van Lepelaars de natuurwaarde en hoogstwaarschijnlijk ook de recreatieve attractiviteit van het eiland. Er zijn echter een aantal knelpunten gesignaleerd:

- Ruimtebeslag: Op Texel is de verhouding tussen het areaal grond voor landbouw, natuur en recreatie een knelpunt (convenant met de agrarische sector). Het zuiveringsmoeras legt beslag op een bepaalde hoeveelheid (schaarse) grond.
- Waterkwantiteit/ verdroging: In het concept wordt voorgesteld het nagezuiverde effluent deels te gebruiken voor de vis-waardoor het niet bijdraagt aan de watervoorziening van Texel. Water van een laagwaardige kwaliteit (effluent) wordt geschikt gemaakt voor een hoogwaardiger toepassing (lokstroom vispassage en landbouw), wat in een situatie van schaarste van oppervlaktewater en grondwater van goede kwaliteit een goed uitgangspunt is. Aangezien de waterkwantiteit van het effluent slechts voor ca. 0,3% bijdraagt aan de wateraanvoer van Polder Eijerland is de betekenis voor verdroging gering. Opgemerkt kan verder worden dat het effluent van oorsprong leidingwater is, dat vanaf de vaste wal is aangevoerd.

Duurzaamheid

Aan het ontwerp liggen een aantal principes ten grondslag die zorgen dat het een duurzaam karakter heeft. Deze principes zijn van belang bij de afweging van de verschillende opties voor het aanpakken van de problematiek rond De Cocksdorp. De duurzaamheidsprincipes zijn:

- er wordt nuttige biomassa (achtereenvolgens watervlooien, stekelbaarzen en Lepelaars) uit afvalstoffen geproduceerd. Er bestaat de mogelijkheid om surplus-slib als voedselbron te 'hergebruiken';
- het effluent wordt nagezuiverd, waardoor de ecologische waterkwaliteit van het effluent en het ontvangende oppervlaktewater verbeterd wordt;
- er ontstaat een helofytenmoeras met natuurwaarde als foerageergebied voor vogels;
- er wordt beoogd een beschermd diersoort in zijn ontwikkeling te stimuleren door verbetering van zijn voedselsituatie op Texel.

Ecologisch-technische mogelijkheden en haalbaarheid

De verschillende stappen in het kweek- en nazuiveringssysteem ('moeras') zijn

nader onderzocht op hun potenties voor de toepasbaarheid voor de situatie van rwzi De Cocksdoorp. Deze stappen zijn de kweek van algen op nutriënten die in het effluent aanwezig zijn, de kweek van watervlooien op actief slib dat aanwezig is in het effluent als reststof of toegevoegd kan worden (surplus-slib), de kweek van stekelbaarzen op watervlooien en Lepelaars op stekelbaarzen. Belangrijke overwegingen zijn hierbij:

- de randvoorwaarden voor de kweek (voedselbron, groeisnelheid, gevoeligheid voor variaties, robuustheid);
- de randvoorwaarden van de kweekorganismen (voedselaanbod, effluentkwaliteit, afwezigheid predatoren);
- de opbrengst (duurzaamheidscriteria);
- de technische uitvoerbaarheid (ruimtebeslag, aanleg en onderhoud).

Op basis van deze criteria lijkt de kweek van algen niet haalbaar voor de rwzi De Cocksdoorp. Verwacht wordt dat de beheersinspanning te hoog zal zijn voor de verafgelegen en onbemande rwzi en het ruimtebeslag te groot voor de lokatie. Daarnaast is de opbrengst relatief laag en variabel als gevolg van de beperkte hoeveelheid licht en variaties daarin en mogelijke ‘plagen’ van ziekteverwekkers en predatoren (bijvoorbeeld watervlooien). Slechts een deel van de nutriënten kan worden omgezet in algenbiomassa. Bovendien bestaan er rond de praktische uitvoering verschillende onzekerheden. Zo is reeds in verkennend onderzoek geconstateerd dat de groei van algen geremd wordt door het effluent van vooral rwzi De Cocksdoorp en in mindere mate ook van rwzi Eversteekooi. Daarnaast is onduidelijk of er voor watervlooien begraasbare algen tot ontwikkeling komen.

De kweek van watervlooien lijkt kansrijk, omdat is gebleken dat watervlooien ook in staat zijn actief slib (naast algen) als voedselbron te benutten voor groei. Uit experimenten met statische systemen (‘batch cultures’) blijkt dat tot maximaal 50% van de slibproductie verwijderd zou kunnen worden. Dit dient echter nog geverifieerd te worden met doorstroomsystemen. Dit betekent wel dat nog een restant van het slib afgevoerd moet worden uit het kweekstelsel. Verschillende experimenten laten een verschillende respons op de effluentkwaliteit zien, onzeker is nog in hoeverre dit van invloed is op de stabiliteit van de kweek. Hetzelfde geldt voor een wisselend voedselaanbod. Bij een maximale belasting van het kweekstelsel met surplus-slib kan een productie van ca. 1,5 kg watervlooien (droge stof) per dag gekweekt worden, waarvoor een volume van het kweekstelsel van ongeveer 300 m³ vereist is. Nader onderzoek is nog nodig om uit te zoeken welke oogstmethode toegepast kan worden en hoe de productie hierdoor geoptimaliseerd kan worden.

Voor de kweek van stekelbaarzen lijkt de beste optie deze onder te brengen in een min of meer natuurlijk moerassysteem. Onder deze condities kan voor een voldoende waterkwaliteit worden gezorgd en is er sprake van een min of meer natuurlijke habitat. Belangrijk is dat eerst een gunstige waterkwaliteit (hoge zuurstofconcentratie) wordt gecreëerd. Dit kan bereikt worden door het water eerst door een helofyten(deel)compartiment te leiden en de watervlooien toe te dienen

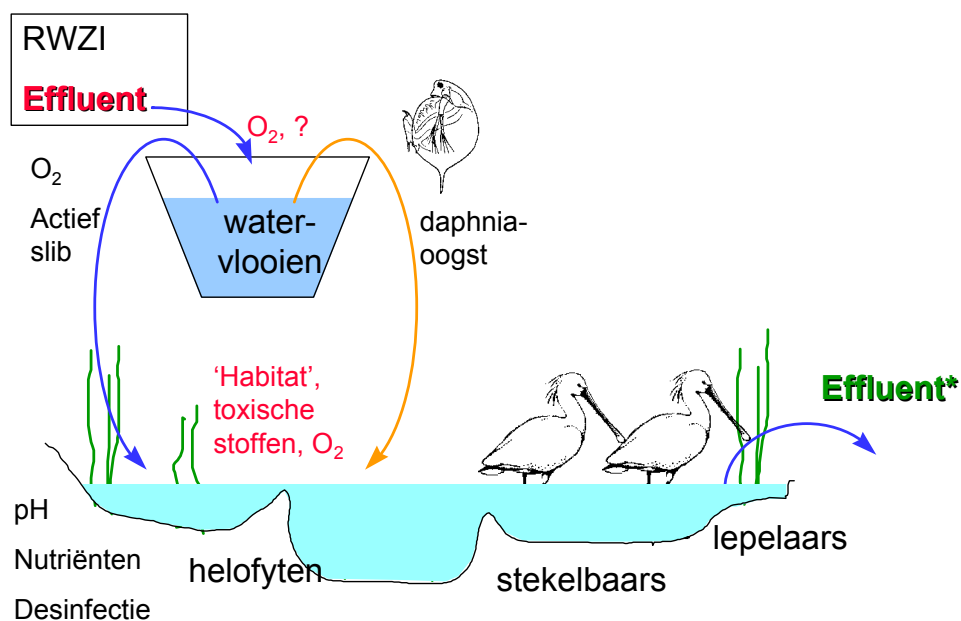
aan een stekelbaarzencompartiment waar de diepte voldoende is om predatie door Lepelaars te voorkomen of te verminderen. De laatste stap zou een ondiep moeras zijn waar Lepelaars op stekelbaarzen kunnen foerageren.

Een bijkomend voordeel van een natuurlijk systeem is dat de kosten van aanleg en onderhoud laag zijn ten opzichte van een conventioneel moerassysteem. Deze betreffen alleen de aanleg en onderhoud van een vistrap die nodig is om de introductie van stekelbaarzen vanuit het oppervlaktewater mogelijk te maken. Onzeker is nog in welke mate dit zal gebeuren en of er ook andere soorten dan Lepelaars van stekelbaarzen als voedselbron gebruik gaan maken. Berekend is dat bij een maximale watervlooiënproductie ongeveer 7,5 kg stekelbaarzen per dag kan worden geproduceerd welke ongeveer 20 tot 30 Lepelaars kunnen onderhouden.

Geschat wordt dat de kosten van een systeem waarin watervlooiën in een afzonderlijk compartiment worden gekweekt en waar stekelbaarzen opgroeien in een moerassysteem ongeveer f 0,05-0,10 per m^3 meer bedragen dan voor een conventioneel moerassysteem zoals op rwzi Everstekeog (ca. f 0,10 per m^3).

Voorontwerp

Het voorontwerp kan als volgt worden geschetst. Actief slib uit het effluent wordt toegevoegd aan een watervlooiënkweekstelsel waarin actief slib wordt geconsumeerd en de zuurstofcondities van het water enigszins verbeteren. Mogelijk remmen lage zuurstofconcentraties en eventueel toxische stoffen de productie. Watervlooiën (*Daphnia*) wordt geoogst en aangeboden aan stekelbaarzen in een moerassysteem. In het moerassysteem worden de zuurstofcondities verder verbeterd en vindt verdere desinfectie en nutriëntverwijdering plaats. De effecten van toxische stoffen worden hier niet verwacht. Het moerassysteem moet technisch zo worden ingericht dat er geschikte en ongeschikte delen zijn voor Lepelaars om te foerageren, om uitputting van het stekelbaarzenbestand te voorkomen. Met een vistrap kunnen stekelbaarzen uit het omliggende oppervlaktewater, aansluitend op de vispassage, worden aangetrokken. Een deel van het effluent kan gebruikt worden voor de lokstroom van de vispassage, de rest vormt een kwalitatief hoogwaardig water dat in het oppervlaktewater wordt gebracht (onder andere ten behoeve van landbouw).



Vragen

Op basis van de nog resterende onzekerheden zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld. De onzekerheden zijn:

- hoeveel slib kan aan de watervlooiën worden toegediend;
- hoe kunnen watervlooiën geoogst worden en hoe kan de productie daarbij geoptimaliseerd kan worden;
- wat is de invloed van de effluentkwaliteit op watervlooiën;
- treedt er doovertgiftiging op van 'onbekende' stoffen.

Inhoud	pagina
Voorwoord	1
1. Inleiding	9
1.1 Aanleiding	9
1.2 Achtergrond vispassage	10
1.3 Doelen	11
1.4 Leeswijzer	12
2. Nazuivering en toepassing van effluent rwzi De Cocksdorp	13
2.1 Rwzi De Cocksdorp	13
2.2 Vispassage de Cocksdorp	18
2.3 Biomassakweek	21
2.4 Conclusies en uitwerking	24
3. Beleidsmatige overwegingen en randvoorwaarden	27
3.1 Huidig beleid	27
3.2 Effluent-eisen	32
3.3 Beleidsmatige gewenstheid en knelpunten voor het ontwerp	33
4. Ecologisch-technische overwegingen en randvoorwaarden	35
4.1 Aquatische ecosystemen	35
4.2 Is het mogelijk algen te kweken op effluent?	41
4.3 Groeien watervlooiën op effluent?	47
4.4 Potenties en randvoorwaarden stekelbaarzen	56
4.5 Potenties en randvoorwaarden Lepelaars	68
4.6 Aandachtspunten voor ontwerp van systeem voor De Cocksdorp	68
5. Varianten ecologische nazuivering en biomassakweek De Cocksdorp	76
5.1 Huidige situatie Cocksdorp	76
5.2 Huidige situatie Everstekooog	77
5.3 Watervlooiën kweekstelsel	78
5.4 Kweekstelsel voor stekelbaarzen	81
5.5 Integratie: functioneel ontwerp	83
6. Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek	86
6.1 Beleidsmatige haalbaarheid van ecologische nazuivering	86
6.2 Duurzaamheid	87
6.3 Functioneel ontwerp en eco(toxico)logische haalbaarheid	88
6.4 Kosten	89
6.5 Onzekerheden en vervolgonderzoek 2000	89
7. Literatuur referenties	92
Bijlage Verklaring 'Box-Whisker plot'	98

1. Inleiding

Ter inleiding van deze studie wordt een kort overzicht gegeven van de aanleiding en de achtergronden die geleid hebben tot onderzoek naar de mogelijkheden om effluent van de rwzi De Cocksdorp na te zuiveren en tevens te gebruiken voor verbetering van de voedselsituatie van Lepelaars op Texel.

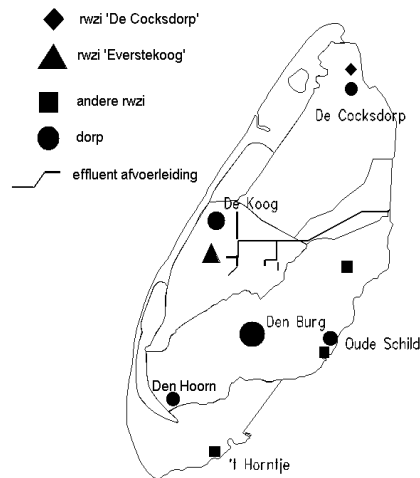
1.1 Aanleiding

Op het eiland Texel wordt het huishoudelijk afvalwater op vijf locaties gezuiverd (Figuur 1). De rwzi De Cocksdorp is in de zomermaanden overbelast, waardoor het afvalwater niet optimaal gezuiverd wordt. De effluentkwaliteit en de watervoorziening op het eiland Texel maken het nodig de rol van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) De Cocksdorp te herzien. Om de kwaliteit van het effluent van de rwzi te kunnen waarborgen worden verschillende mogelijkheden overwogen.

1. a. De capaciteit van de huidige rwzi De Cocksdorp wordt uitgebreid en het effluent wordt nagezuiverd met een moerassysteem;
- b. De capaciteit van de huidige rwzi De Cocksdorp wordt uitgebreid en het effluent wordt nagezuiverd met een gecombineerd kweek-/moerassysteem;
2. Het rioolwater wordt met een persleiding afgevoerd naar een andere rwzi op Texel.

In dit rapport worden de mogelijkheden voor optie 1b verder onderzocht. Daarbij worden potenties en randvoorwaarden beschreven aan de hand van beleidsmatige, ecologische en economische overwegingen. Op basis van de potenties en eventuele knelpunten kan de haalbaarheid worden geschat en vergeleken met optie 1a en 2.

Een bijkomend positief effect van het behoud van een rwzi bij De Cocksdorp is dat het effluent dan als lokstroom voor een reeds aangelegde vispassage kan worden toegepast. Voor deze vispassage blijkt het wateraanbod beperkend te zijn waardoor deze niet optimaal wordt benut. De vispassage is bedoeld om de intrek van vissoorten, vooral stekelbaarzen en glasaal, te bevorderen. Stekelbaarzen vormen de belangrijkste voedselbron voor Lepelaars op Texel. Door het effluent beschikbaar te stellen zou aan de kwantitatieve vraag naar water door de vispassage kunnen worden voldaan.



Figuur 1 Zuivering van huishoudelijk afvalwater op Texel.

1.2 Achtergrond vispassage

Op het eiland Texel bevindt zich een aantal belangrijke broedkolonies van Lepelaars. De hoeveelheid voedsel, vooral bestaand uit stekelbaarzen, is in de beschikbare foerageergebieden vaak beperkt. Stekelbaarzen vertonen in het voorjaar een trek van het zoute water naar het zoete water om daar eieren af te zetten en de jongen te verzorgen. Doordat de natuurlijke overgangen van land naar zee zijn veranderd in barrières in de vorm van dijken wordt de instroom van stekelbaarzen beperkt. Met het doel deze instroom te vergroten is nabij de Cocksdorp een vishevelpassage geïnstalleerd, die voor een verhoging van het voedselaanbod voor Lepelaars zorgt (Wintermans, 1997).

Vanwege de waterschaarste op het eiland Texel is de vispassage al enkele malen stil gelegd. Voor het aanlokken van stekelbaarzen is namelijk een zoetwaterstroom van bijna 400 m³ per dag nodig, waarvoor polderwater via de vispassage naar de Waddenzee wordt gepompt. In tijden van waterschaarste wordt dit niet toegestaan. Een aanleiding voor dit onderzoek was de overweging dat er vlakbij wel effluent, gezuiverd afvalwater, van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) De Cocksdorp beschikbaar is. Kunnen we, als er geen polderwater beschikbaar is, dit water gebruiken als lokstroom? Een negatief aspect hierbij is dat deze rwzi in de zomer overbelast is. Een positief aspect is dat er momenteel een studie wordt uitgevoerd over de vraag of het haalbaar en effectief is het afvalwater met een lange persleiding naar de rwzi Eversteekoog af te voeren (Doelmatigheidsstudie centralisatie afvalwaterzuivering Texel), waardoor relevante informatie beschikbaar komt.

Mede door de overbelasting in de zomerperiode is het effluent van de rwzi De Cocksdorp ecologisch gezien van matige kwaliteit, hoewel het grote potenties

heeft; het water is rijk aan mineralen en is van oorsprong van hoogwaardige kwaliteit (drink-, grond- en regenwater). Het effluent bevat actief slibdeeltjes die uit de zuiveringsinstallatie vrijkomen. Uit verkennend onderzoek (Groot, 1998 en Kampf *et al.*, 1998, zie ook <http://leden.tref.nl/~rekel#Everstekoog>) is gebleken dat deze slibdeeltjes door watervlooiën gegeten kunnen worden. Deze watervlooiën zijn een uitstekende natuurlijke voedselbron voor stekelbaarzen, die op hun beurt de belangrijkste voedselbron voor Lepelaars vormen.

Door het effluent stapsgewijs naar een kweekstelsel voor respectievelijk watervlooiën en stekelbaarzen te leiden wordt in synergie zowel voedsel geproduceerd voor Lepelaars, als een nazuivering van het rwzi effluent bewerkstelligd. Een laatste stap in het systeem zou een aan te leggen moeras kunnen zijn waar de opgekweekte stekelbaarzen naartoe worden geleid en Lepelaars kunnen foerageren.

Voorzien wordt dat het voedselaanbod voor de Lepelaars op Texel wordt verbeterd door zowel de verbetering van de wateraanvoer ten behoeve van de vispassage als de verhoging van het voedselaanbod door de getrapte kweek van stekelbaarzen.

1.3 Doelen

Deze studie dient meerdere doelen. In de eerste plaats ter reductie van de onzekerheden die na het verkennend onderzoek van 1998 zijn blijven bestaan. Vragen betreffen onder meer hoe de kweek van organismen geoptimaliseerd kan worden, wat de kwantitatieve productie van watervlooiën op slib kan zijn, en welke beleidsmatige en beheersaspecten een rol spelen. Het wegnemen van deze onzekerheden dient het volgende doel, namelijk een aanzet te maken tot een ontwerp voor een systeem dat een efficiënte productie van gewenste biomassa (in de vorm van watervlooiën en stekelbaarzen) oplevert, een effectieve nazuivering levert en voldoet aan de eisen van een foerageergebied voor de Lepelaar.

Voor het voorontwerp wordt een beknopte haalbaarheidsstudie uitgevoerd om de technische mogelijkheden en de benodigde financiële middelen en beheer af te kunnen wegen tegen het alternatief van een persleiding naar rwzi Everstekoog.

Een laatste doel is een product te leveren dat als basis voor voorlichting kan dienen, ter vergroting van het (publieke) draagvlak bij eventuele aanleg van het ontworpen systeem.

Doelstellingen

In de studie wordt nagegaan of het (na)zuiveren van effluent gecombineerd kan worden met het vergroten van natuurwaarden door nuttig gebruik te maken van effluent. De aanpak daarbij is om een haalbaarheidsstudie uit te voeren, waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt wordt van bestaande gegevens en waar nodig experimenteel onderzoek wordt uitgevoerd ter opvulling van bestaande leemten in kennis. Daarnaast wordt een kweek- en nazuiveringssysteem ontworpen waarbij beide bovengenoemde doelstellingen worden geïntegreerd. Het experimenteel onderzoek is gericht op het kwantificeren van de mogelijke productie van de geschetste voedselketen slib → watervlooiën → stekelbaars. Ook de kweek van algen ter verwijdering van nutriënten en als (additionele) voedselbron voor watervlooiën is in overweging genomen. Tevens dient onderzocht te worden of aan de kwaliteit van het voedsel voor de Lepelaars geen ecotoxicologische risico's zijn verbonden. Het voorontwerp van het moerassysteem dient te voldoen aan randvoorwaarden ten aanzien van de kwaliteit als foerageergebied voor Lepelaars en technische mogelijkheden voor aanpassingen aan de inrichting van het gebied. Het systeem zal, net zoals het moerassysteem Eversteekooig schoon water leveren voor de landbouw.

Een belangrijk aspect van het moeras-/kweekstelsel is dat het eenvoudig te beheren moet zijn. Vooral door de ligging op de noordpunt van Texel, ver van de centrale, bemande rwzi Eversteekooig, moeten het onderhoud en de sturing van het systeem eenvoudig zijn.

1.4 Leeswijzer

Het rapport behandelt eerst de rwzi De Cocksdorp, de invloed van het effluent op de waterbalans rond de rwzi, de vispassage en het concept van het "kweekelbaarsjessysteem". Vervolgens wordt ingegaan op de beleidsmatige overwegingen en randvoorwaarden (hoofdstuk 3), en de ecologisch-technische overwegingen (hoofdstuk 4). Op basis van deze informatie worden in hoofdstuk 5 varianten besproken voor de nazuivering van effluent, waarna in hoofdstuk 6 de conclusies worden getrokken en voorstellen worden gedaan voor vervolgonderzoek.

2. Nazuivering en toepassing van effluent rwzi De Cocksdorp

In dit hoofdstuk wordt het concept beschreven voor het toepassen van effluent als medium voor een ecologisch kweekstelsel waarbij ook nazuivering van het effluent optreedt. Beide aspecten leiden tot een verbetering van de ecologische waterkwaliteit.

2.1 Rwzi De Cocksdorp

2.1.1 Zuivering van afvalwater

Afvalwater wordt gezuiverd om effecten op de gezondheid van de mens en milieu te beperken of zelfs geheel te voorkomen. In afvalwater kunnen verschillende soorten van verontreinigende stoffen aanwezig zijn, die elk een ander risico voor mens of milieu met zich meebrengen. De belangrijkste bronnen van vervuiling in huishoudelijk afvalwater, dat wil zeggen rioolwater afkomstig van huishoudens en hemelwater en niet van bijvoorbeeld industrie, zijn was- en badwater, urine en fecaliën. Door Kampf & Heide (1989) zijn de stoffen in het afvalwater van woningen ondergebracht in de volgende categorieën textielwas, vaatreiniging, schoonmaak, persoonlijke hygiëne, voeding, zware metalen (uit leidingen), geneesmiddelen en overige (bv. pesticiden, desinfectiemiddelen, verfstoffen en olieachtige stoffen).

De zuivering van afvalwater heeft tot doel de belasting van het milieu te verminderen voor wat betreft stoffen die in principe goed biologisch afbreekbaar of makkelijk te verwijderen zijn. Zo wordt het grootste deel van de organische stoffen (bijvoorbeeld afkomstig van fecaliën) microbieel afgebroken tot koolstofdioxide en water, waarbij in het zuiveringssysteem zuurstof wordt verbruikt dat anders aan het oppervlaktewater onttrokken zou worden. In het in- en effluent van rwzi's kunnen echter ook zeer veel andere stoffen aanwezig zijn, afhankelijk van de herkomst en gebruik van het water dat wordt aangevoerd. Hoewel in het effluent van rwzi's een scala aan microverontreinigingen aanwezig kan zijn (Gommers & Rienks, 1999), bestaat het effluent van De Cocksdorp voornamelijk uit gezuiverd afvalwater uit woningen en is het slechts matig verontreinigd met chemische stoffen. Van veel chemische stoffen is overigens niet goed bekend in hoeverre zij in de zuivering van communaal afvalwater verwijderd worden. Door Gommers & Rienks (1999) is recent een inventarisatie uitgevoerd naar de zuiveringsresultaten van 400 communale zuiveringsinrichtingen. Uit de gegevens blijkt dat voor zware metalen de zuiveringsefficiëntie uiteen loopt van 25% voor arseen tot 87% voor koper. PAK's worden voor 90-96% verwijderd, en EOX (extraheerbare organische halogeenvormingen) voor 92-93%. Voor de overige stofgroepen waren onvoldoende gegevens beschikbaar. Op basis van een vergelijking van de gehalten in het effluent met waterkwaliteitsdoelstellingen voor stoffen, kan opgemaakt worden dat zink en koper een probleem kunnen vormen voor de kwaliteit van

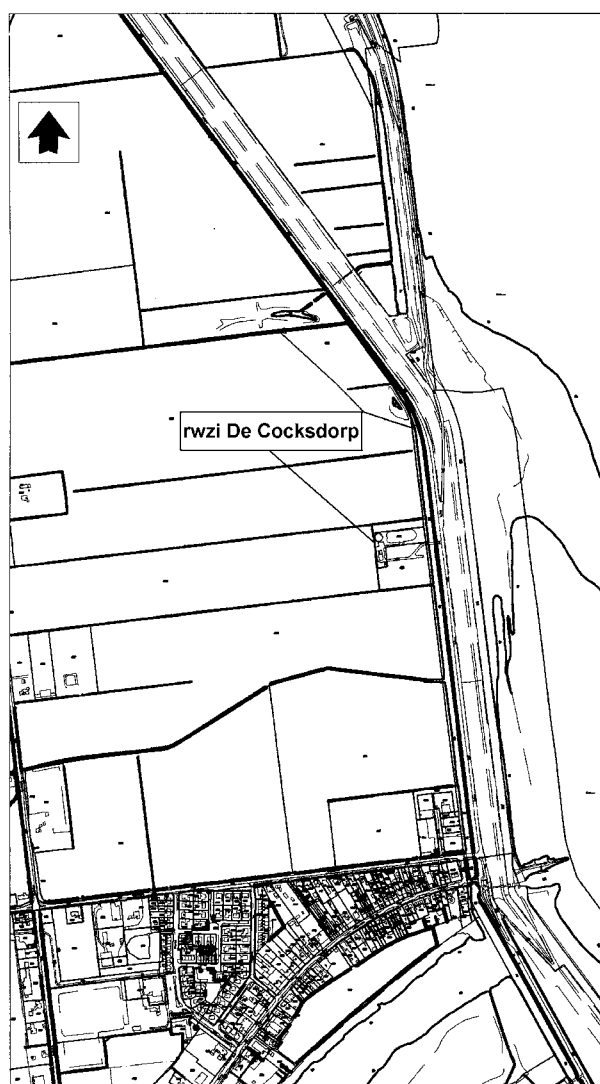
oppervlaktewater (Gommers & Rienks, 1999). Vanwege het ontbreken van gegevens is echter niet voor alle stoffen in het effluent de risico's voor het milieu aan te geven.

Nazuivering met moerassysteem

Om de effluentkwaliteit te verbeteren zijn op verscheidene plaatsen, waaronder bij de rwzi Everstekeog op Texel (Schreijer *et al.*, 1997; Schreijer *et al.*, 2000) zogenaamde moerassysteem aangelegd. Dit zijn kunstmatige moerassystemen waarin natuurlijke processen voor nabehandeling zorgen, en waarbij de bacteriële verontreiniging afneemt met de verblijftijd (Kampf *et al.*, 1999), de zuurstofconcentratie toeneemt, en een deel van de nutriënten uit het water wordt verwijderd, door vastlegging in organismen (bijvoorbeeld planten) of als gevolg van afbraakprocessen (zoals denitrificatie, sulfaatreductie en methanogenese). Alleen goed afbreekbare organische stoffen kunnen microbiëel worden verwijderd tijdens deze nazuivering. Sommige microverontreinigingen, zoals metalen, degraderen ook niet in de nazuivering.

2.1.2 Werking rwzi De Cocksdorp, effect van het effluent op het oppervlaktewater

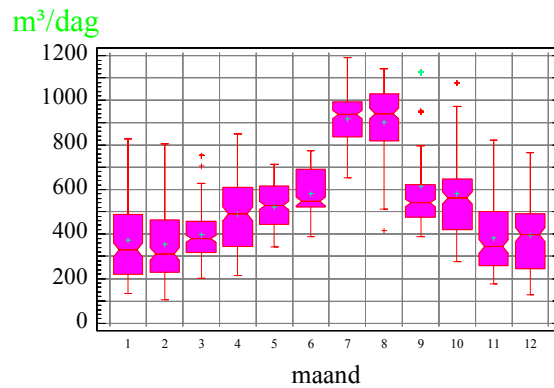
De rwzi De Cocksdorp is een ultra laagbelast actief slib installatie met een capaciteit van 6500 inwoners equivalenten (i.e.) gebaseerd op een biologisch zuurstofverbruik (BZV) van 54 gram per i.e. Het totale terreinoppervlak is 12.500 m² (1,25 ha), waarvan nog niet de helft in beslag wordt genomen door de rwzi. De hydraulische capaciteit bedraagt 90 m³ per uur. Beluchting vindt plaats in een enkele oxidatiesloot met een inhoud van 1000 m³. Met een 3-tal borstels (geïnstalleerd vermogen 3*75 kW) kan per uur 11 kg zuurstof in het water worden gebracht. Na de oxidatiesloot wordt het water in een ronde nabezinkingstank geleid met een volume van 280 m³ en een oppervlak van 139 m². Slibindikking vindt plaats door bezinking in een slibindikker met een volume van 50 m³ en een oppervlak van 16 m². Het ingedikte slib wordt afgevoerd. Het effluent wordt geloosd op de sloot achter de zeewering, de Dijkslot, welke aansluit op de Roggesloot (zie Figuur 2).



Figuur 2 *Rwzi De Cocksdorp ligt iets meer dan een halve kilometer ten noorden van het gelijknamige dorp, en loost effluent op de slootonder aan de zeedijk. In het zuiden sluit deze aan op de Roggesloot. De vispassage van De Cocksdorp is met een peil aangegeven.*

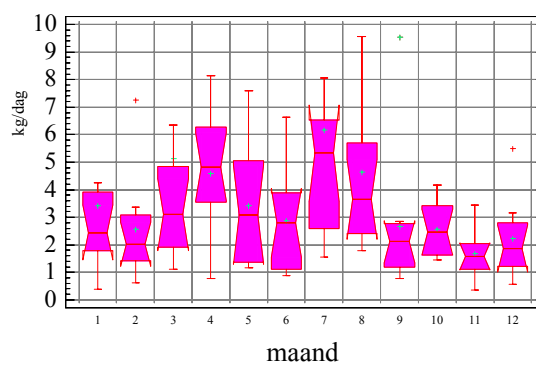
Vanwege het toerisme is gedurende het zomerseizoen de aanvoer van afvalwater hoger dan de capaciteit van de rwzi (Figuur 3, een verklaring van de zogenaamde Box-Whisker plots is gegeven in de Bijlage). Hierdoor vindt onvolledige zuivering plaats hetgeen resulteert in periodiek hoge vrachten van onopgelost materiaal in het effluent (Figuur 4) en hoge concentraties ammonia (NH_4/NH_3) welke een gevolg zijn van een onvolledige oxidatie van stikstof houdend organisch materiaal (Figuur 5). Door de onvolledige zuivering is dan ook de zuurstofvraag van het effluent hoog (Figuur 6). Ook onvolledige afscheiding van slib kan leiden tot hogere concentraties onopgeloste stof in het effluent.

Door lozing van onvoldoende gezuiverd effluent kunnen ecologische problemen ontstaan in het ontvangende oppervlaktewater, vanwege de toxiciteit (ammonia) of het optreden van zuurstofloosheid. Ten opzichte van andere lokaties in polder Eijerland, is het ammoniumgehalte in de Dijksloot, waar het effluent geloosd wordt, in de zomerperiode vaak hoog. In 1993/1994 werd een zomergemiddelde van meer dan $0,9 \text{ mg ammonium.l}^{-1}$ bepaald, terwijl een (SEND-)norm van $0,35 \text{ mg.l}^{-1}$ geldt (Buschgens, 1998). Het wintergemiddelde is juist laag ten opzichte van andere locaties. Ook andere stikstofcomponenten vertonen hoge concentraties, maar deze komen elders in de polder ook vaak voor. Ook de fosfaatgehalten wijken niet af van andere locaties in polder Eijerland, en zijn over het algemeen hoog te noemen (Buschgens, 1998).



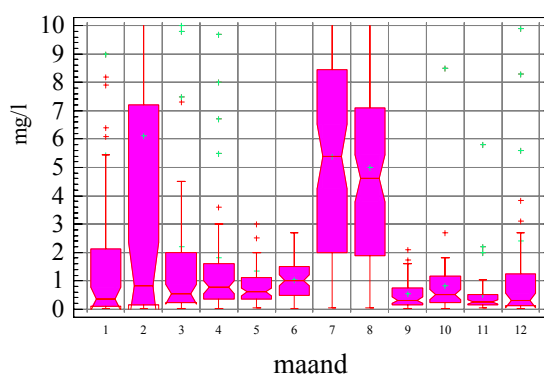
Figuur 3 In de zomerperiode is er een verhoogd aanbod van afvalwater op rwzi De Cocksdoorp, wat tot uiting komt in het hoge debiet. De gegevens betreffen de jaren 1994 t/m 1999. Zie voor verklaring van de figuur de Bijlage.

onopgeloste stof vracht in effluent (kg/dag)

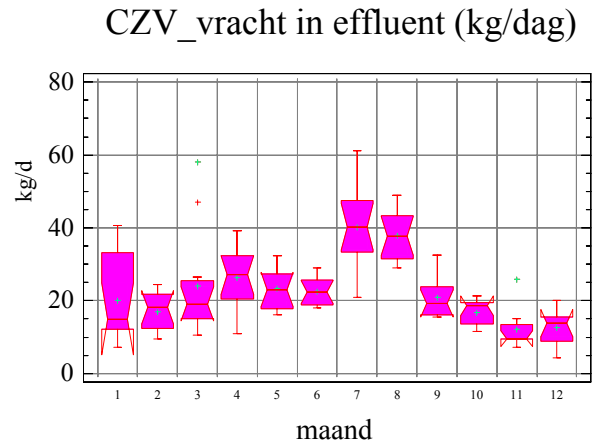


Figuur 4 Door de onvoldoende capaciteit van rwzi De Cocksdorp en/of onvolledige slibscheiding is de vracht van onopgeloste stof van het effluent hoog. Gegevens betreffen de jaren 1994 t/m 1999.

NH₄ effluent (mg/l)



Figuur 5 De concentratie ammonium in het effluent is vooral in de zomerperiode hoog wanneer de wateraanvoer hoog is en de zuivering niet optimaal is. De maandgegevens betreffen de jaren 1994 t/m 1999.

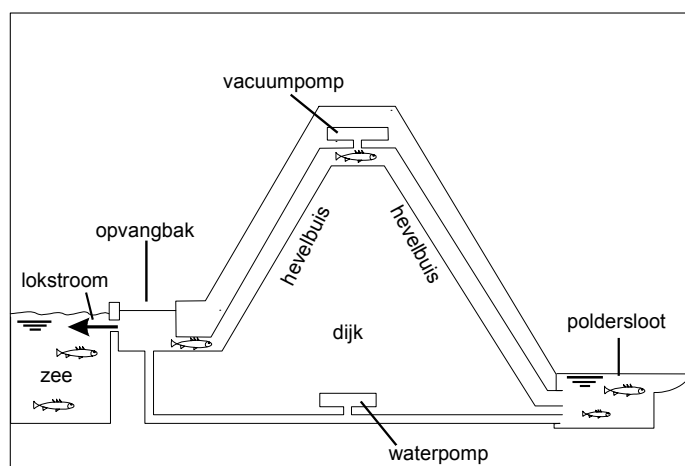


Figuur 6 Door de hoge wateraanvoer wordt organische stof met het effluent geloosd waardoor het chemisch zuurstof verbruik hoog is. Hierdoor neemt de kans op zuurstofproblemen in het ontvangende oppervlaktewater toe. De maandgegevens betreffen de jaren 1994 t/m 1999.

Ondanks de periodiek relatief hoge waarden van gereduceerde stikstofverbindingen, onopgeloste stof en een hoog CZV is de kwaliteit van het effluent relatief 'schoon' vanwege de herkomst. Het is voornamelijk afkomstig van huishoudens en regenwater en er zijn geen industriële lozingen op de rwzi.

2.2 Vispassage de Cocksdorp

In 1995 is in de deltadijk bij het gemaal van De Cocksdorp een hevel-vispassage aangelegd met het doel de migratie van driedoornige stekelbaarzen van zee naar binnenwater te bevorderen (Wintermans, 1998). Om vissen vanuit zee aan te trekken is een lokstroom van zoet water nodig. Dit zoete water wordt met een pomp over de dijk in een opvangbak gepompt (zie Figuur 7). Als het waterpeil hoog genoeg is wordt de klep in de opvangbak geopend en komt de lokstroom vrij. De stekelbaarzen, en ook andere vissoorten, verzamelen zich in de opvangbak, waarna na een bepaalde tijd de waterpomp uitgaat, de klep sluit en de vacuümpomp start. Deze hevelt de stekelbaarzen via een hevelbuis over de dijk de polder in (Ekkelboom & Wintermans, 1997).



Figuur 7 De hevel-vispassage zet vis over de dijk die met een lokstroom wordt aangetrokken en met een volume zoetwater binnendijks wordt geheveld.

2.2.1 Het waterverbruik van de hevel-vispassage

De hevel-vispassage is aangelegd om de trek van driedoornige stekelbaars en glasaal naar het binnenwater in het voorjaar weer mogelijk te maken (Wintermans, 1999). De hoeveelheid water die daarvoor nodig is wordt in grote lijnen bepaald door:

- de hoeveelheid water die per tijdseenheid nodig is om de passage te laten functioneren (debiet = bedrijfsvolume);
- het aantal uren van een getijdencyclus (ca 12 uur en 20 minuten) dat de passage in open verbinding met het zeewater staat ofwel operationeel kan zijn;
- de maanden van het jaar waarin de trek van driedoorns en glasalen plaatsvindt.

Om de passage optimaal te laten functioneren, is een debiet van max. $30 \text{ m}^3 \cdot \text{uur}^{-1}$ nodig. Het aantal uren dat de hevel-vispassage door vissen kan worden gebruikt om naar binnen te trekken, wordt bepaald door de hoogteligging van de onderkant van de inzwemopeningen (+10 cm NAP) en het verloop van de getijdencyclus (c.q. het zeewaterniveau). Gemiddeld is de passage per getijdencyclus zo'n 6,50 tot 6,75 uur operationeel (ca 13 uur per etmaal), wat overeenkomt met een waterverbruik van 390 m^3 per dag oftewel ca 12000 m^3 per maand. De trek van driedoornige stekelbaarzen in het voorjaar strekt zich uit over de periode half februari tot en met eind mei, met pieken in maart en april; de trek van glasaal begint in april en loopt door tot omstreeks half juni met pieken in april en mei. Om beide soorten gedurende het gehele voorjaar in staat te stellen naar het binnenwater te trekken moet de passage zo'n 4 maanden ofwel 120 dagen continu operationeel zijn, wat overeenkomt met een waterverbruik van ca 47000 m^3 per (voor)jaar.

Het effluent van de rwzi is kwantitatief voldoende om aan de behoefte van de vispassage voor de lokstroom te voldoen. In de maand maart is het gemiddelde debiet, zoals weergegeven in Figuur 3, juist voldoende om aan deze watervraag te

kunnen voldoen. Vanaf april is het gemiddelde debiet hoger, in juni-juli zelfs ca. 2,5 maal.

2.2.2 De waterhuishouding van polder Eijerland

De hoeveelheid water die wordt aangevoerd in polder Eijerland wordt vooral bepaald door de neerslag (Buschens, 1998). Deze bedroeg respectievelijk 75% en 82% in het meetjaar 1988/1989 en 1993/1994. De bijdrage van het effluent van rwzi De Cocksdorp is zeer klein, slechts ca. 0,3% van het totale watervolume dat in de polder wordt aangevoerd. De waterafvoer wordt vooral bepaald door verdamping en uitgeslagen water, welke elk ongeveer 30-45% bedragen. In de winterperiode wordt meer aangevoerd via neerslag dan er wordt afgevoerd via verdamping en bemaling. In de zomerperiode is deze situatie juist omgekeerd; er verdampt relatief meer water dan er via neerslag wordt aangevoerd. Op jaarbasis laten de gegevens zien dat er meer water wordt aangevoerd dan afgevoerd (Buschens, 1998). Een deel van het wateroverschot in het voorjaar wordt gebruikt voor het opbouwen van het zomerpeil dat 40 cm hoger is dan het winterpeil.

Het waterbezwaar van Polder Eijerland wordt geloosd door het Gemaal Eijerland bij de Cocksdorp. Het gemaal beschikt over 2 pompen met een maximale capaciteit van $150 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ en een gemiddelde capaciteit van 113 m^3 per minuut. Samen kunnen de pompen een gemiddeld verzet van ca 6750 m^3 per uur leveren. Tussen 1970 en 1980 is jaarlijks gemiddeld 8 miljoen m^3 water uitgeslagen met een maximum van 13 en een minimum van 3 miljoen m^3 (Wintermans, 1999). In het tweede en derde kwartaal wordt relatief weinig water uitgeslagen: resp. 0,49 en 0,26 miljoen m^3 . In Tabel 1 staat de hoeveelheden water die per maand zijn uitgeslagen in het voorjaar van 1991 tot en met 1999.

Tabel 1 De hoeveelheden water ($\times 1000 \text{ m}^3$) die door het Gemaal Eijerland zijn uitgeslagen in het voorjaar in de periode 1991 tot en met 1999 (gegevens Waterschap Texel) variëren sterk tussen maanden en jaren (van 0 tot 2 miljoen m^3 per maand).

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	gemiddeld	
febr	702	710	866	819	2020	632	1810	686	2457	1189	70
mrt	889	437	374	1802	2176	928	390	1412	2215	1180	74
april	39	616	328	1256	133	0	0	983	1420	5304	56
mei	101	811	0	70	0	0	211	39	0	137	20
totaal	1732	2574	1568	3947	4329	1560	2410	3120	6092	3037	152

Per voorjaar is in deze periode gemiddeld ca 3 miljoen m^3 water uitgeslagen terwijl in de droogste maand mei gemiddeld ca 0,137 miljoen m^3 wordt geloosd. Uitgaande van een waterbehoefte van de passage van 11700 m^3 per maand is er in april of mei kans op een tekort van resp. eens per 4,5 en 2,25 jaar.

Ter illustratie:

In 1996 heeft het gemaal vanaf 24 maart niet meer gedraaid en is op 24 april de passage uit gezet vanwege een tekort aan water in de polder. In 1997 heeft het gemaal tot 19 maart regelmatig water uitgeslagen. In de periode 19 maart tot en met 4 mei is slechts eenmaal water geloosd. Tussen 4 en 12 mei wordt er regelmatig geloosd en na 12 mei wordt geen water meer uitgeslagen. De passage is in het voorjaar van 1997 wel continu in bedrijf geweest. In 1998 en 1999 zijn zowel het gemaal als de passage tot en met mei ‘continu’ in bedrijf geweest.

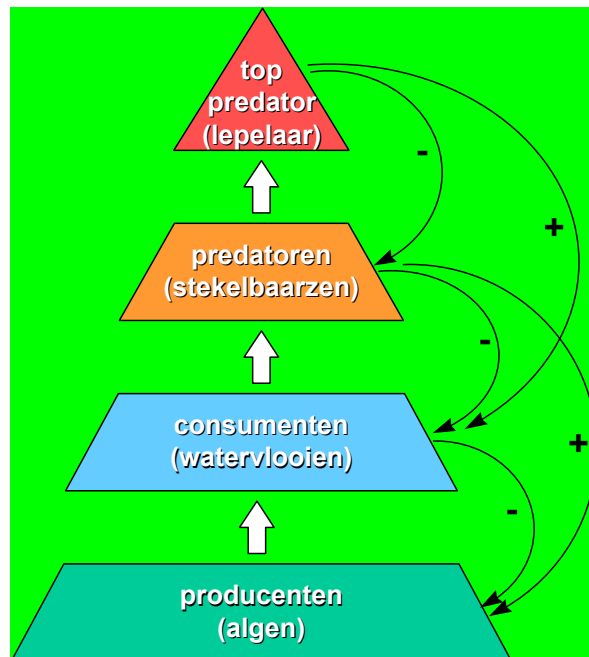
2.3 Biomassakweek

2.3.1 Bouwstenen van aquatische ecosystemen

Effluent van rwzi's heeft potenties om te worden omgezet in ‘ecologisch’ water. Dit is eigenlijk niet verwonderlijk als wordt bedacht dat het grootste deel van het afvalwater dat in een rwzi behandeld wordt bestaat uit hoogwaardig drinkwater en relatief onvervuild hemelwater, waaraan betrekkelijk geringe hoeveelheden verontreinigingen zijn toegevoegd door respectievelijk huishoudelijk gebruik en door afvloeiing van regenwater vanaf harde ondergrond (wegen).

De in het afvalwater aanwezige nutriënten worden met conventionele zuiveringsmethoden, zoals die in kleinschalige rwzi's worden toegepast, slechts ten dele verwijderd. Nutriënten vormen evenwel de bouwstenen voor de productie van organismen. Plantaardig materiaal vormt de basis voor de voedselvoorziening van ecosystemen. Plantaardige biomassa wordt gevormd door fotosynthese, waarbij kooldioxide en water met behulp van zonne-energie worden omgezet in suikers en zuurstof. Deze suikers vormen weer de basis voor andere koolstofhoudende stoffen, waarvoor ook tal van andere elementen noodzakelijk zijn. Deze elementen zijn in verschillende hoeveelheden in het milieu aanwezig. Stikstof en fosfor komen verhoudingsgewijs in lagere concentraties voor dan andere belangrijke elementen, en zijn daarom vaak bepalend voor de hoeveelheid en de verdeling van biomassa die in een (eco)systeem gevormd kan worden (conform de minimumwet van Liebig). Daarom heeft een verhoging van stikstof- en fosfaatconcentraties vaak tot gevolg dat er een hogere productie van plantaardig materiaal (waterplanten, fytoplankton) plaatsvindt en dat door de voedselrelaties die in het ecosysteem bestaan ook de biomassa van andere organismen toe kan nemen.

Door de verschillende relaties in het voedselweb (zie verder Figuur 12 in 4.1) ontstaat er een bepaalde verhouding tussen de biomassa van de verschillende organismengroepen in het ecosysteem. Met andere woorden, de biomassa van een bepaalde groep wordt niet alleen bepaald door de aanwezigheid van voedsel, maar ook door de aanwezigheid van predatoren. Behalve een ‘van onderaf’ (bottom-up) gereguleerde productie, kan deze ook van bovenaf (top-down) gestuurd worden (Figuur 8).

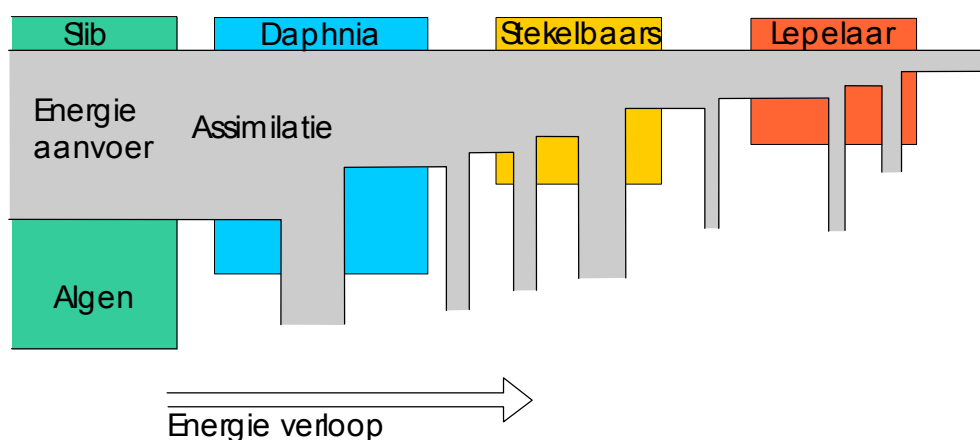


Figuur 8 Simpel voedsel(piramide)model met een bottom-up gestuurde nutriëntenstroom en een top-down gestuurd biomassaniveau.

De productieketen kan geoptimaliseerd worden door de keten volledig bottom-up te sturen en dus de top-down regulatie weg te nemen, zoals in een graan- of maïsakker waar ook geen begrazing wordt toegestaan. In dit geval kan men de pijlen aan de rechterzijde van Figuur 8 wegdenken. Dit kan worden bewerkstelligd door de verschillende productieniveaus fysiek van elkaar te scheiden, en de gevormde biomassa actief, oftewel gestuurd, over te brengen naar de volgende stap.

De voedselpiramide kan ook op een andere manier worden uitgelegd. In een weiland wordt ervoor gezorgd dat zoveel mogelijk van de grasproductie begraaasd wordt door koeien. Zonder begrazing zal het 'systeem' dichtgroeien. Dit gebeurt ook in te voedselrijk (eutroof) oppervlaktewater. In water kunnen in plaats van koeien watervlooien als 'kleine grazers' worden ingezet.

In elke stap van de voedselketen gaat een deel van de energie verloren als gevolg van een hoeveelheid energie die niet geassimileerd wordt, en een deel dat voor arbeid besteed wordt, zoals het onderhouden van de normale levensfuncties (Figuur 9). Per stap wordt ongeveer 10% van de energie-inhoud doorgegeven en gaat dus ongeveer 90% verloren. Om deze reden is de biomassa hoger in systemen waarin voedselketens kort zijn en is de hoeveelheid top-predatoren, die bovenaan de voedselketen staan, groter.



Figuur 9 Verlies van energie in voedselketens. Het grijze deel geeft de hoeveelheid energie aan, welke per organisme (alg, daphnia (watervlo), stekelbaars en Lepelaar) afneemt doordat slechts een deel geassimileerd wordt en voor een deel gebruikt wordt voor het verrichten van de normale levensfuncties.

2.3.2 Concept voor biomassakweek en nazuivering

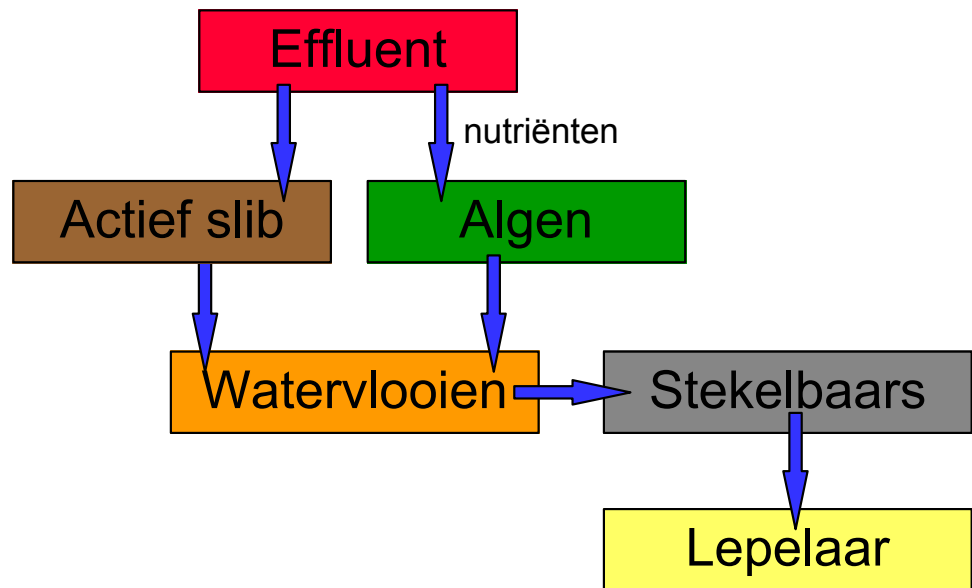
Het effluent van rwzi's bevat nutriënten en organisch stof die de basis kunnen vormen voor een geconstrueerd kweekstelsel. Door fysieke scheiding, of door het onderdrukken van bepaalde organismen, kunnen natuurlijke interacties tussen organismen voorkomen worden, waardoor per stap in de productieketen een optimale productie kan worden bereikt.

Voor deze studie wordt de volgende voedselketen in beschouwing genomen :

- Slib (aanwezig in effluent)
- Algen (groeïend op nutriënten aanwezig in effluent)
- Watervlooien (*Daphnia*)
- Stekelbaars
- Lepelaar

In Figuur 10 is de koppeling van deze componenten van de voedselketen schematisch weergegeven. Het effluent bevat energie in de vorm van slib en potentiële energie in de vorm van nutriënten. Deze nutriënten kunnen gebruikt worden voor de kweek van algen. Zowel algen als actief slib vormen een voedselbron voor watervlooien, welke een zeer geschikt voedsel vormen voor stekelbaarzen. De stekelbaarzen vormen op Texel het hoofdbestanddeel van het voedsel voor Lepelaars.

In hoofdstuk 4 zal onderzocht worden welke factoren bijdragen aan een optimale productie, welke factoren beperkend kunnen zijn op de productie, en aan welke technische aspecten moet worden gedacht bij het ontwerp van een gecombineerd kweek- en nazuiveringssysteem. De potenties en randvoorwaarden zijn onderzocht op basis van literatuurinformatie, monitoringgegevens van de sloten van het moerassysteem van rwzi Eversteekooog en aanvullend onderzoek in laboratorium- en schaalsystemen (modelecosystemen).



Figuur 10 Het concept: De kweek van watervlooien, die gevoed worden met slib uit het effluent en/of algen die gekweekt worden op nutriënten in het effluent, opgroeien van stekelbaarzen die watervlooien eten, consumptie van stekelbaarzen door Lepelaars.

2.4 Conclusies en uitwerking

In dit hoofdstuk is achtergrondinformatie gegeven over de plaats van rwzi De Cocksdorp in het watersysteem van polder Eijerland en is een concept aangedragen voor de verbetering van de waterkwaliteit van het effluent in combinatie met de kweek van organismen voor natuurontwikkeling.

Geconcludeerd kan worden dat:

- de huidige kwaliteit van het effluent leidt tot onvoldoende ecologische condities in het ontvangende oppervlaktewater, vooral ten aanzien van de ammoniumconcentraties in de zomer. Bij handhaving van de rwzi zijn acties gepland om de zuivering te verbeteren (uitbreiding capaciteit en aanleg moerassysteem);
- de waterkwantiteit die vanuit de rwzi geloosd wordt, slechts ca. 0,3% is van de totale waterhoeveelheid die jaarlijks in polder Eijerland wordt aangevoerd en in het niet valt vergeleken met de aanvoer afkomstig van neerslag;
- de waterkwantiteit die geloosd wordt door de rwzi, op basis van maandgemiddelden, voldoende is om aan de vraag van de vishevelpassage te kunnen voldoen.

Het voorgestelde concept voor biomassakweek en nazuivering wordt in de volgende hoofdstukken nader uitgewerkt. Hierbij worden eerst de beleidsmatige aspecten (hoofdstuk 3) en de ecologisch-technische mogelijkheden en beperkingen nader uitgewerkt (hoofdstuk 4). Vervolgens worden de verschillende (kweek-/nazuiverings-)compartimenten uitgewerkt en de haalbaarheid geschat (hoofdstuk 5). Uiteindelijk worden conclusies getrokken en aanbevelingen voor het vervolg gedaan (hoofdstuk 6).

3. Beleidsmatige overwegingen en randvoorwaarden

In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe het ontwerp kan bijdragen aan de implementatie van de doelstellingen die in het water- en natuurbeleid geformuleerd zijn. De overwegingen en randvoorwaarden zijn samengevat uit landelijke beleidsdocumenten, regionale doelstellingen voor het beheersgebied van USHN, en lokale plannen op het eiland Texel. Aangegeven wordt hoe het concept voor het kweek- en nabehandelingsconcept aansluit bij beleid en wensen van verschillende betrokken actoren, en wat eventuele knelpunten vormen bij uitvoering van het ontwerp.

3.1 Huidig beleid

3.1.1 Landelijk beleid

Vierde Nota Waterhuishouding (NW4)

Het beleid ten aanzien van de watersystemen in Nederland is beschreven in de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) uitgegeven door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) opgesteld in samenwerking met het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV), het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), en de Unie van Waterschappen. De hoofddoelstelling van NW4 is ‘het hebben en houden van een veilig en bewoonbaar land en het instandhouden van gezonde en veerkrachtige watersystemen, waarmee een duurzaam gebruik blijft gegarandeerd (V&W, 1998). Meer specifiek wordt een integrale aanpak nagestreefd van emissies, waterbodems, verdroging en veiligheid, door middel van een gebiedsgerichte strategie waarin verschillende beleidsterreinen betrokken zijn.

Vooraf het beleid op het gebied van de aanpak van verdroging en emissies is relevant voor deze studie. In het emissiebeleid staat de waterketenbenadering centraal. De waterketenbenadering uit zich in een getrapte aanpak van emissies: preventie, hergebruik en verwerking (zuivering van afvalwater). Hierbij wordt de mogelijkheid geboden voor een gebiedsgerichte aanpak. Gebiedsgerichte aanpak van emissies is mogelijk mits de aanpak kosteneffectief is, mits prioriteit wordt gegeven aan stoffen waarvoor landelijk nog het MTR wordt overschreden, en mits er geen sprake is van ‘afwenteling’ naar een ander gebied of milieucompartment. Bij het huidige concept is er sprake van een gebiedsgerichte aanpak, waarbij naast de zuivering van afvalwater ook hergebruik van het afvalwater plaatsvindt (of eigenlijk: geen hergebruik, maar gebruik voor een andere, nuttige toepassing). Het principe van het voorkomen van afwenteling zou voor deze studie kunnen worden vertaald naar ‘het gebruik van nagezuiverd effluent voor biomassakweek mag geen risico’s opleveren voor de voedselketen (stekelbaarzen, Lepelaars) of voor het zeemilieu (lokstroom vispassage).’

Verdrogingsbestrijding is een belangrijk thema uit NW4. De doelstelling is een vermindering van het verdroogde areaal conform de doelstelling uit de Evaluatienota Water met 25% in 2000 en 40% in 2010 ten opzichte van 1985. De maatregelen die NW4 voorstelt zijn gericht op de conservering van water in natte natuurgebieden, waardoor de natte natuurwaarden beschermd worden, en het verminderen van het gebruik van grondwater voor drinkwater. Op Texel is verdroging een belangrijk milieuprobleem, vooral voor het westen van het eiland. In het voorgestelde concept wordt een deel (40 tot 100%, afhankelijk van de periode) van het gezuiverde afvalwater gebruikt voor de lokstroom van de vispassage. Het water dat niet wordt gebruikt voor de vispassage wordt in het moerassysteem zodanig nagezuiverd, dat het goed in de landbouw gebruikt kan worden.

Natuurbeleidsplan

Het natuurbeleid is vastgelegd in het Natuurbeleidsplan, opgesteld door het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV, 1990).

Hoofddoelstelling is een duurzame instandhouding, herstel en ontwikkeling van bestaande en nog te ontwikkelen natuurgebieden. De aanpak is dus vooral ruimtelijk vormgegeven en uitgewerkt in het Structuurschema Groene Ruimte (LNV, 1996; SGR), welke een Planologische Kernbeslissing (PKB) is. Naast het gebiedsgerichte beleid is LNV ook verantwoordelijk voor het instandhouden van typen natuur, ofwel soortgemeenschappen. In het “Handboek natuurdoeltypen in Nederland” (Bal *et al.*, 1995) zijn hiervoor zogenaamde natuurdoeltypen gedefinieerd. Daarnaast bestaat er voor een aantal soorten vanwege de bedreigde status en speciale verantwoordelijkheid. Deze soorten zijn in 1985 opgenomen in de “Nationale lijst van met uitsterven bedreigde en speciaal gevaar lopende soorten”. Één van de in deze lijst opgenomen vogelsoorten is de Lepelaar. In 1994 is door het Ministerie van LNV een soortbeschermsplan Lepelaar opgesteld, dat in 1999 is afgesloten met de publicatie van “Lang leve de Lepelaar (Schutte & den Boer, 1999). Bescherming en stimulering van de populaties van de Lepelaar staat nog steeds onder de aandacht.

Doorvoering van het hier voorgestelde concept betekent dat er een zuiveringsmoeras wordt aangelegd dat een bepaalde natuurwaarde kan hebben, en dat de voedselvoorziening van een belangrijke aandachtsoort uit het natuurbeleid, de Lepelaar, verbeterd.

3.1.2 Provinciaal beleid

Provinciaal waterhuishoudingsplan (WHP 2)

In het tweede provinciaal waterhuishoudingsplan wordt de strategie voor de inrichting en het beheer van watersystemen door waterbeheerders, provincie en derden uiteengezet. Voor Texel wordt door de provincie gestreefd de bestaande variatie in watertypen te behouden en verder te ontwikkelen. Als oplossingsmogelijkheden voor de schaarste aan zoet water op Texel wordt

aangegeven een buffering van zoet water in de hogere delen van het eiland (duinen) en het benutten van rwzi's in landbouwgebieden.

Door de provincie Noord-Holland is voor polder Eijerland de hoofdfunctie agrarisch toegekend, waarbij echter onder andere De Roggesloot en omgeving de hoofdfunctie natuur hebben. In het gebied van de rwzi De Cocksdoorp (De Witte Hoek) geldt de hoofdfunctie agrarisch en nevenfunctie natuur. Aan gebieden met een natuurdoelstelling worden hogere eisen aan de waterkwaliteit gesteld. Een concrete uitwerking van de gestelde doelen ontbreekt, en dient in afzonderlijke projecten te worden vormgegeven. De meeste doelstellingen zijn uitgewerkt in het 'WBP 2' (zie hieronder).

Waterbeheersplan van de waterschappen in Hollands Noorderkwartier (WBP2)

In het (Concept) Waterbeheersplan 2 (WBP2) wordt het beleid uitgezet van de zes waterschappen in Hollands Noorderkwartier, waaronder Uitwaterende Sluizen. Het doel van WBP2 is "Instandhouding en versterking van gezonde en veerkrachtige watersystemen in Hollands Noorderkwartier in een goed onderhouden, beheersbare infrastructuur, waarmee een duurzaam gebruik en duurzame belevingswaarde is en blijft gegarandeerd." Het WBP2 is geënt op negen uitgangspunten. De uitgangspunten 3 (problemen moeten worden voorkomen in plaats van afgewenteld) en 4 (zorgvuldig omgaan met de watervoorraad) komen overeen met principes uit NW4. In uitgangspunt 5 wordt meervoudig ruimtegebruik voorgestaan. Verwevenheid van functies betekent dat verschillende functies van water in iedere situatie optimaal moeten worden afgewogen. Dit principe is van groot belang bij het voorgestelde concept. In paragraaf 3.3 wordt nader ingegaan op de verschillende functies van het water en de eventuele knelpunten daartussen.

Naast de uitgangspunten worden ook thema's gehanteerd. In thema 3 "bronnen van verontreiniging" wordt gesteld dat alle oppervlaktewateren moeten voldoen aan de MTR (uit NW4). Dit stelt dus eisen aan de (nagezuiverde) effluentkwaliteit. Aangegeven wordt verder dat bij de bestrijding van diffuse bronnen in de waterketen "creatief moet worden omgegaan met de mogelijkheden die de Wvo biedt". In het kader van duurzame inrichting van het watersysteem wordt aangegeven dat een aantal duurzame principes zal worden aangehouden waaronder de ontwikkeling van recirculatiesystemen en maatregelen voor het vergroten van het zelfreinigend vermogen van het watersysteem door middel van de aanleg van moerasgebieden met helofyten.

Voor Texel is in WBP2 een gebiedsvisie neergezet. Kenmerken van het gebied zijn een grote diversiteit aan ecosystemen, zoals duinlandschappen, kwelders en gradiënten en brakke watersystemen aan de Waddenzeezijde, waardoor de functies natuur en recreatie belangrijk zijn. Akkerbouw en veeteelt zijn echter ook belangrijk, waardoor afwegingen vaak complex worden. Belangrijkste milieuprobleem is de verdroging, evenals het herstel en behoud van bijzondere brakke en zoete watersystemen langs de kust.

Uitvoeringsprogramma Faunabeleid

Door de provincie Noord-Holland is in 1997 de provinciale verordening Fonds Natuur- en Landschapsbescherming vastgesteld, welke de mogelijkheid biedt subsidies te verlenen voor het treffen van maatregelen ter bescherming van verschillende diersoorten. Deze subsidie is beschikbaar voor zeldzame en bedreigde diersoorten zoals opgenomen in de jaarlijkse rapportage van het Uitvoeringsprogramma Faunabeleid. Op deze lijst is onder meer de Lepelaar als prioritaire soort opgenomen.

3.1.3 Masterplan Water Texel (MWT)

Door verschillende overheden (gemeente Texel, waterschap Hollands Kroon, Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen en de provincie Noord Holland) wordt momenteel gewerkt aan het “Masterplan Water Texel”. In 1999 is een verkennende studie uitgevoerd naar de behoefte, het draagvlak en de gewenste inhoud van een dergelijk Masterplan. Uit een inventarisatie van de verschillende actoren en hun belangen blijkt dat de belangrijkste knelpunten op Texel liggen op het ruimtelijk vlak (verhouding areaal landbouw, natuur en recreatie); op het watervlak (kwantiteitsaspecten: bestrijding verdroging, grondwaterstand, ligging zoet-zout gradiënten), en het bestuurlijk-organisatorisch vlak. Deze knelpunten spelen op verschillende schalen: op het niveau van externe ontwikkelingen (zoals zeespiegelstijging), op het niveau van lokale ambities, en op het niveau van individuele projecten.

Voor het oplossen van dergelijke knelpunten is er inderdaad behoefte aan een Masterplan, met als doelstelling:

- (I) het oplossen van knelpunten, m.n. op het gebied van natuur- en landschapswaarden;
- (II) het handhaven van het economisch inverdien-vermogen van het eiland;
- (III) het streven naar de ontwikkeling van een duurzame waterketen en een gezond watersysteem op het eiland, onder meer door de waterbalans te optimaliseren;
- (IV) het verbreden van de samenwerking;
- (V) een voorbeeld te zijn van duurzaam en integraal waterbeheer en interactieve planvorming.

Voor het huidige project is van belang dat het concept goed past in het gedachtegoed van Masterplan Water Texel: Het voorgestelde concept is een aansprekend voorbeeld van een innovatieve en integrale oplossing voor verschillende, aan water gerelateerde problemen. Verder verhoogt de aanwezigheid van Lepelaars de natuurwaarde en ook de recreatieve attractiviteit van het eiland. Het concept heeft als gevolg dat er geen oppervlaktewater nodig is voor het in stand houden van de vispassage. Indien het water niet voor de lokstroom wordt gebruikt dan wordt het geloosd op het oppervlaktewater.

De knelpunten die in de discussies rondom MWT zijn gesignaleerd, zijn echter ook van toepassing op dit project. In onderstaande tabel zijn de verschillende actoren opgesomd die relevant zijn voor dit project. Verder is aangegeven wat de belangen zijn van deze actoren, zodat inzicht in knelpunten ontstaat.

Tabel 2 Globale inschatting van actoren en mogelijke belangen in relatie tot een eventuele uitbreiding van rwzi De Cocksdorp met een kweek- en nazuiveringssysteem

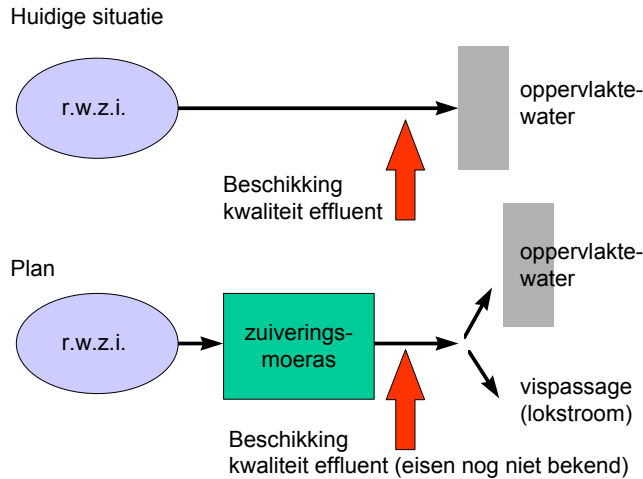
Actor	Belang
Agrarische sector	Beschikbaarheid van water in de zomer Handhaven productie-areaal Geen landbouwgrond opofferen voor natuurontwikkeling
Toerisme	Natuurtoerisme, "Texel vogeleiland"
Visserij	Gebruik aangelegde vispassage Migratie vis, vooral glasaal
USHN / Waterschap	Verbeteren effluentkwaliteit Verbeteren kwaliteit oppervlaktewater Gebruik aangelegde vispassage Publieksvoorlichting en -bewustmaking
Gemeente Texel	Profilering Texel natuureiland (Duurzaam Texel) Publieksvoorlichting
Provincie Noord-Holland	Natuurwaarden Vergroten populatie Lepelaars Gebruik aangelegde vispassage
Rijkswaterstaat Dir. Noord-Holland	Ecologische waarde buitendijksgebied Zoet-zout gradiënten Gebruik aangelegde vispassage
Staatsbosbeheer	Verbrakken Roggesloot Gebruik aangelegde vispassage (eigendom van SBB)
Natuurmonumenten	Versterken natuurwaarden

In het concept wordt (schaars) water gebruikt voor de vispassage, waardoor discussies over ander (nuttig) gebruik van het water zullen ontstaan (zie belangen agrarische sector). Verder is voor het concept een bepaald areaal benodigd voor het zuiveringsmoeras, wat eveneens discussie kan opleveren. In de zomerperiode wordt is echter slechts een deel van het effluent nodig om de vispassage van voldoende waterkwantiteit te voorzien. Een groter deel van het effluent, dat van een betere kwaliteit zal zijn dan het huidige, is dan beschikbaar voor landbouw. Opgemerkt moet worden dat de betekenis van de hoeveelheid effluent op de waterbalans van polder Eijerland zeer gering is (zie hoofdstuk 2.2.2).

3.2 Effluent-eisen

In het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (Wvo) wordt door het Hoogheemraadschap een beschikking afgegeven waarin kwaliteitseisen voor het effluent van de rwzi zijn geformuleerd. Het effluent moet aan de eisen van deze beschikking voldoen om op het oppervlaktewater geloosd te mogen worden. Op dit moment mag de rwzi De Cocksdorp conform de vergunning 2500 m³ effluent per etmaal lozen, met een pH van 6,5 - 8,5, een BZV_{20,5} van maximaal 15 mg.l⁻¹, een onopgeloste stof concentratie van maximaal 15 mg.l⁻¹, en een Kjeldahl-stikstofgehalte van maximaal 15 mg.l⁻¹. Aan deze eisen wordt gewoonlijk voldaan. De waterkwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater, de Dijkslot, voldoet echter niet altijd aan de normen (zie hoofdstuk 2.1.2).

Als het voorgestelde concept echter wordt doorgevoerd, dan zal de situatie veranderen. Het effluent van de rwzi zal eerst nagezuiverd worden in een zuiveringsmoeras, alvorens op het oppervlaktewater geloosd te worden (zie Figuur 11). Dat betekent dat er een nieuwe beschikking zal moeten komen of dat de bestaande beschikking gewijzigd zal worden, en verder dat de beschikking betrekking heeft op het effluent van het zuiveringsmoeras (dat op het oppervlaktewater wordt geloosd) en niet meer op het effluent van de rwzi.



Figuur 11 Schematische weergave van de verschillen tussen de huidige situatie (boven) en de situatie na doorvoering van het concept (onder) ten aanzien van de lozingsvergunning.

De nieuwe effluent-eisen zijn in dit stadium nog niet bekend. Voor het ontwerp dat in deze studie wordt gemaakt, wordt er van uitgegaan dat de effluenteisen voor de bestaande rwzi ook van toepassing zullen zijn op het effluent van het zuiveringsmoeras.

3.3 Beleidsmatige gewenstheid en knelpunten voor het ontwerp

Uit de toetsing van het concept aan het vigerende water- en natuurbeleid blijkt dat het concept in het algemeen goed past in de beleidsdoelstellingen. Het concept past goed in het emissiereductie-beleid van de NW4. Verder ondersteunt het doorvoeren van het concept het natuurbeleid, niet alleen omdat extra areaal met een bepaalde natuurwaarde wordt gecreëerd, maar vooral omdat in het natuurbeleid extra aandacht wordt besteed aan de Lepelaar. Het concept sluit bij uitstek aan bij het Masterplan Water Texel, wat expliciet streeft naar een voorbeeldfunctie van Texel als “duurzaam eiland”.

De twee belangrijkste knelpunten die uit de vergelijking met het vigerende beleid naar voren komen zijn:

- Ruimtebeslag: Op Texel is de verhouding tussen het areaal grond voor landbouw, natuur en recreatie een knelpunt. Het zuiveringsmoeras legt beslag op een bepaalde hoeveelheid (schaarse) grond.
- Waterkwantiteit/ verdroging: Water van een laagwaardige kwaliteit (effluent) wordt geschikt gemaakt voor een hoogwaardiger toepassing (lokstroom vispassage en landbouw), wat in een situatie van schaarste van oppervlaktewater en grondwater van goede kwaliteit, een goed uitgangspunt is. Aangezien de waterkwantiteit van het effluent slechts voor ca. 0,3% bijdraagt aan de wateraanvoer van Polder Eijerland is de betekenis voor verdroging gering. Opgemerkt kan verder worden dat het effluent vooral bestaat uit leidingwater dat vanaf de vaste wal is aangevoerd.

Uit de inventarisatie van het vigerende beleid komen de volgende relevante punten voor het ontwerp naar voren (“randvoorwaarden”, in willekeurige volgorde):

Randvoorwaarde ontwerp:	Toelichting:
Oppervlaktewater moet na lozing effluent aan de MTR's voldoen	WBP2, uitgangspunt voor het beleid in Hollands Noorderkwartier
Oppervlak (areaal) van het zuiveringsmoeras moet zo klein mogelijk zijn	Ruimte is een knelpunt op Texel (inventarisatie i.h.k.v. Masterplan Water Texel)
Effluentkwaliteit (na nazuivering) moet voldoen aan $6.5 < \text{pH} < 8.5$	Huidige kwaliteitseis effluent rwzi
Effluentkwaliteit (na nazuivering) moet voldoen aan $\text{BZV}_{20/5} < 15 \text{ mg.l}^{-1}$	(idem)
Effluentkwaliteit (na nazuivering) moet voldoen aan onopgeloste stof $< 15 \text{ mg.l}^{-1}$	(idem)
Effluentkwaliteit (na nazuivering) moet voldoen aan Kjeldahl-N $< 15 \text{ mg.l}^{-1}$	(idem)
Niet te veel ruimtebeslag	In verband met het convenant met de agrarische sector

Daarnaast moet een oplossing (validatie) gevonden worden voor het gebruik van (schaars) water voor de vispassage. Deze kan mogelijk liggen in het feit dat hoewel de *waterkwantiteit* op Texel na doorvoering van het concept (zeer gering) verminderd, de *kwaliteit* van het water in de Noordelijke Dijkslot waarschijnlijk zal verbeteren door nazuivering van het effluent. Dit zou voor de landbouw kunnen betekenen dat er netto meer water van de juiste kwaliteit beschikbaar is. Verder staat tegenover het verbruik van water een toename van de hoeveelheid vis op Texel: Stekelbaarzen als voedsel voor (o.a.) Lepelaars, en glasaal voor beroepsvissers.

4. Ecologisch-technische overwegingen en randvoorwaarden

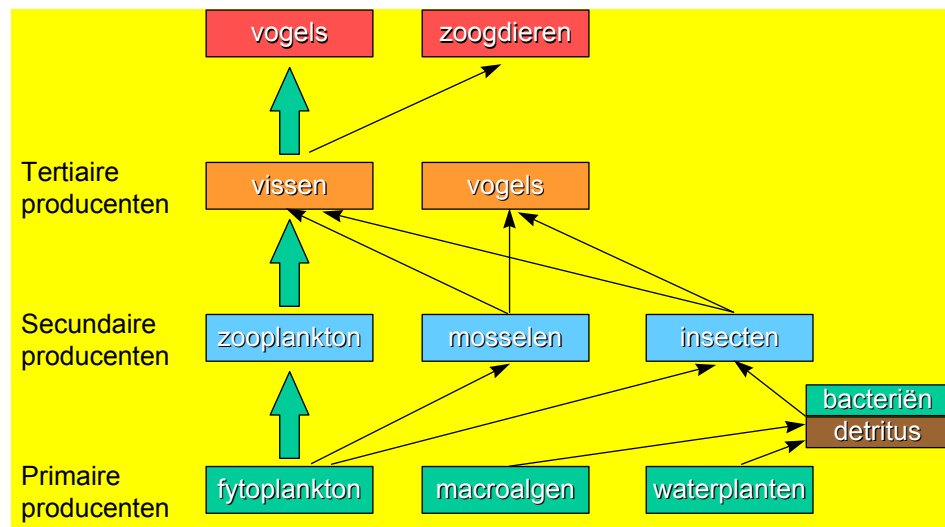
In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke kansen en beperkingen het effluent biedt voor de kweek van organismen. In hoofdstuk 2.3 is reeds een inleiding gegeven over het concept van biomassakweek. Na de inleiding over aquatische ecosystemen en de in het kweekstelsel betrokken organismen, wordt per stap in de voedselketen nagegaan welke potenties er zijn voor kweek en welke randvoorwaarden daarvoor gelden. Voor deze inschattingen is gebruik gemaakt van literatuurgegevens, (monitorings)onderzoek op vergelijkbare lokaties, in het bijzonder het moerassysteem Eversteekooi, en aanvullend experimenteel onderzoek.

4.1 Aquatische ecosystemen

4.1.1 Doorgifte van energie en voedingsstoffen

Er kunnen diverse typen aquatische ecosystemen onderscheiden worden. Alleen al in Nederland worden door Verdonschot *et al.* (1992) niet minder dan 41 typen watersystemen onderscheiden op basis van sleutelfactoren (milieuomstandigheden) die van invloed zijn op de aanwezigheid van macro-evertebraten (ongewervelde dieren). Ook in het Handboek Natuurdoeltypen (Bal *et al.*, 1995) zijn vele aquatische ecosystemen als natuurdoeltypen onderscheiden.

Ondanks de heterogeniteit zijn er een aantal basiselementen (levende organismen) waarmee vrijwel alle aquatische ecosystemen kunnen worden beschreven; er vindt primaire productie plaats door planten en algen, deze worden direct of pas na afsterven geconsumeerd door ongewervelde dieren (zoals watervlooien, mosselen, slakken), welke weer het voedsel vormen voor ongewervelde dieren (bijvoorbeeld bloedzuigers, aasgarnalen) of gewervelde predatoren (vissen, vogels en zoogdieren). In Figuur 12 zijn de verschillende functionele groepen (bestaande uit verschillende soorten die in het ecosysteem een vergelijkbare rol vervullen) per trofisch niveau (plaats in de voedselketen) aan elkaar gekoppeld.



Figuur 12 Schematische voorstelling van algemene voedselrelaties tussen verschillende functionele groepen van organismen. Voor deze studie is vooral de rol van zoöplankton van belang. In natuurlijke aquatische ecosystemen vervult het zoöplankton een sleutelrol als schakel tussen de primaire producenten (algen) en diverse gewervelden (vissen, amfibieën) en ongewervelde dieren (insecten, aasgarnalen).

De groei van waterplanten en algen wordt gestuurd door de aanwezigheid van voedingsstoffen (nutriënten) en/of de beschikbaarheid van licht. De nutriënten stikstof en fosfaat zijn vaak in beperkte mate aanwezig en kunnen daardoor sturend zijn voor de groei. Daarnaast kan de beschikbaarheid van licht (troebel water) of de mate van begrazing of vraat beperkend zijn voor de ontwikkeling van plantaardige biomassa.

Vooraf microscopische algen in de waterkolom, het zogenaamde fytoplankton, wordt door veel dieren gegeten, waaronder watervlooien en mosselen. Waterplanten echter worden in zeer beperkte mate gegeten en komen voor het overgrote deel pas na afsterven beschikbaar als voedselbron voor dieren als slakken, waterpissebedden en vlokreeften, nadat het materiaal gekoloniseerd is door bacteriën en schimmels. Hetzelfde geldt voor ander organisch materiaal dat in het water terechtkomt, zoals boom- of rietbladeren. De dieren in de waterkolom, op planten en op/in de bodem vormen het voornaamste voedsel voor vissen en vogels (eenden). Predatoren aan de top van de voedselketen, of beter gezegd het voedselweb, zijn visetende soorten zoals futen, aalscholvers, reigers en Lepelaars.

Een kenmerk van ecosystemen is dat er relaties bestaan tussen (de er in voor komende) organismen onderling, en tussen organismen en hun omgeving. Soorten kunnen elkaar direct beïnvloeden via voedselrelaties, maar ook indirect door verandering van het abiotisch milieu. Als voorbeeld kan de activiteit van bodemomwoelende vis worden gebruikt; door het omwoelen van de bodem door de vis vertroebelt het water waardoor de groei van waterplanten wordt verhinderd.

4.1.2 Belangrijkste ecologische compartimenten

Fytoplankton (algen)

Algen, waarvan de microscopische vertegenwoordigers die in de waterkolom zweven fytoplankton worden genoemd, vormen een groep van verschillende soorten. Er worden een groot aantal groepen onderscheiden die gekarakteriseerd worden door een specifieke pigmentsamenstelling. Alle algen maken gebruik van zonlicht als energiebron. De groei van algen in het oppervlaktewater wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid van voedingsstoffen (nutriënten) en de hoeveelheid licht (daglengte, waterhelderheid). De biomassa van algen in het water wordt ook bepaald door filterende organismen, zoals watervlooien (zie verder) en mosselen die een groot deel van de productie kunnen consumeren. In sterk verontreinigde wateren worden vaak hoge dichtheden algen aangetroffen, waardoor het water troebel is. In deze omstandigheden domineren vaak blauwalgen (cyanobacteriën) die vaak kolonies of lange draden vormen, en soms toxines bevatten, waardoor zij slecht geconsumeerd worden. Andere belangrijke algengroepen zijn diatomeeën, oftewel kiezelwieren (vooral vroeg in het voorjaar), en groene algen die vooral in het voorjaar en in de zomer aanwezig zijn.

Zoöplankton (o.a. watervlooien)

Zoöplankton is een verzamelnaam voor dierlijke organismen die ‘zwevend’ in de waterkolom voorkomen. Ze spelen een belangrijke rol bij het beschikbaar maken van primaire productie (algen) voor hogere niveaus in het voedselweb, zoals vissen en verscheidene ongewervelden (insecten, aasgarnalen).

Soorten die deel uitmaken van het zoöplankton behoren tot verschillende taxonomische groepen (Lehman, 1988), maar in het zoete water wordt het zoöplankton gedomineerd door vertegenwoordigers van protozoën, kreeftachtigen en radardiertjes.

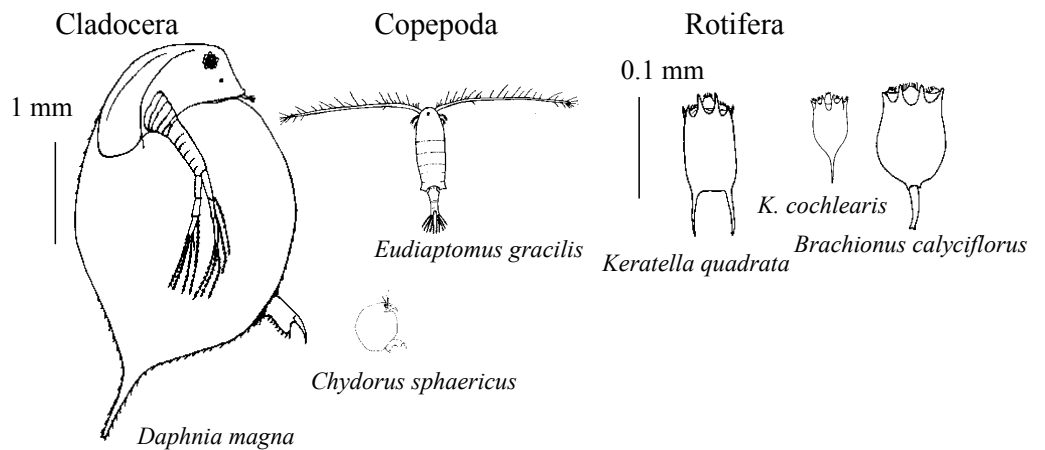
Protozoën (5-300 μm) komen vaak maar een deel van hun leven in de waterkolom voor, namelijk gedurende de zomerperiode. De rest van het jaar verblijven zij nabij de bodem, vaak in de vorm van ruststadia (cysten). Ze voeden zich voornamelijk met bacteriën en andere partikels van vergelijkbare grootte (< 2 μm).

Radardiertjes (rotiferen) zijn meestal tussen 200-600 μm groot (Allan, 1976). Er zijn soorten die zich aan substraat vasthechten, maar er zijn er ook die een belangrijk aandeel in het zoöplankton kunnen vormen. Ze zijn veelal omnivoor, en voeden zich met kleine deeltjes die uit het water gefilterd worden. Deze deeltjes (1-20 μm) bestaan meestal uit bacteriën en detritusdeeltjes.

Van de kreeftachtigen zijn twee belangrijke groepen in het zoöplankton aanwezig: roeipootkreeftjes (copepoden) en kieuwpootkreeftjes (cladoceren, oftewel ‘watervlooien’). Copepoden zijn meestal tot ca. 1,5 mm groot en worden relatief klein (ca. 100 μm), als larve geboren. Na een reeks van vervellingen wordt het volwassen stadium bereikt. Door de verschillen in grootte verandert ook deels het voedsel dat ingenomen wordt. In het zoetwater plankton komen herbivore soorten

voor die fytoplankton (zwevende microscopische algen) uit het water filteren, maar ook vleeseters, die andere zoöplanktonsoorten grijpen en opeten. De grootte van voedseldeeltjes varieert van 5-100 μm . Copepoden zijn door hun schokkerige zwembewegingen weinig gevoelig voor predatie (door vissen).

Cladoceren (watervlooien) zijn belangrijke begrazers van fytoplankton. De meeste soorten worden 0,3-3 mm groot, maar de grootste soorten kunnen wel 5 mm worden. Ze voeden zich met deeltjes van 1 tot 50 μm en hun graassnelheid is vanwege hun grote afmeting erg hoog. Vooral de grotere soorten zijn belangrijk als voer voor vis. De kleinere soorten worden niet zozeer door vis gegeten als wel door ongewervelde dieren (muggelarven, aasgarnalen). De cladoceren spelen een belangrijke rol in ecosystemen doordat zij grote hoeveelheden fytoplankton begrazen, en daardoor het water helder kunnen maken, en zelf als voedselbron dienen voor vele andere organismen. Voor de kweek van biomassa op effluent is de soort *Daphnia magna* van belang. Deze grote watervlo kan een lengte van meer dan 5 mm bereiken en is bestand tegen grote variaties in omgevingsomstandigheden, zoals lage zuurstofconcentraties en hoge temperaturen. De soort floreert bij uitstek in visvrije vijvers. Bij aanwezigheid van vis verdwijnt de soort, omdat hij vanwege zijn lengte en oranjebruine kleur erg opvalt en een geliefde prooi is.



Figuur 13 Enkele belangrijke vertegenwoordigers in het zoetwater zoöplankton, met uiterst links de watervlo *Daphnia magna*.

Stekelbaarzen

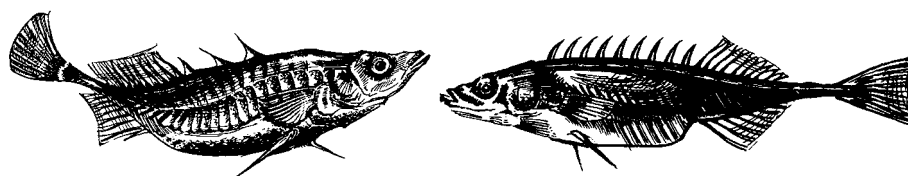
In de zoete binnenwateren van Nederland komen twee soorten stekelbaarzen voor: de driedoornige stekelbaars (*Gastrosteus acculeatus*) en de tiendoornige stekelbaars (*Pungitius pungitius*) (Nijssen & de Groot, 1987). De driedoornige stekelbaars is net als de zalm een trekvis.

Driedoornige stekelbaarzen groeien op in zee, voornamelijk in de geulen van de Wadden, en trekken terug naar Texel om in de binnenwateren te paaien. Deze

trekrichting is dus tegengesteld aan die van vissen zoals paling (*Anguila anguila*), die opgroeit in binnenwater en voor de voortplanting naar zee trekt om later als jonge glasaal weer van zee terug te komen. Door de hoge zeedijken is het moeilijk voor vis om weer het eiland op te komen, terug is meestal niet zo moeilijk omdat ze dan eenvoudig met het wateroverschot weggepompt worden. Er zijn ook populaties van driedoornige stekelbaarzen die helemaal niet naar zee trekken maar opgroeien in het zoete binnenwater. Deze individuen blijven kleiner. Dit betekent voor de Lepelaars die stekelbaarzen als voedsel gebruiken dat er meer geïnvesteerd moet worden in het verzamelen van voedsel (meer individuen om dezelfde voedselhoeveelheid binnen te krijgen). Individuen blijven in dat geval meestal kleiner dan de maximale lengte van 10 cm. Het voortplantingsgedrag is complex en intensief bestudeerd (zie bijvoorbeeld van 't Hart, 1978). De mannetjes bouwen een nest op de bodem, lokken vrouwtjes aan om hun eieren af te zetten, verzorgen de eieren en bewaken gedurende enkele dagen de opgroeiende jongen.

De **tiendoornige stekelbaars** blijft kleiner (tot 7 cm) en is een echte zoetwatervis (zie ook 4.4.2). Ook hier is zorgt het mannetje voor de bouw van het nest, dat bij deze soort in waterplanten wordt gebouwd, de eieren en de jongen. Het voedsel van zowel drie- als tiendoornige stekelbaarzen bestaat uit watervlooien, insectenlarven, wormen, vissekuit en jonge visjes.

Trekvissen als driedoornige stekelbaarzen en glasalen spelen, als consument van kleine waterorganismen en/of als voedsel voor roofvissen en vis-etende vogels, een belangrijke rol in levensgemeenschappen van zowel het zoute als het brakke en zoete water (Wintermans, 1999). Driedoornige en tiendoornige stekelbaarzen eten voornamelijk aquatische evertrebraten als watervlooien, roeipoot- en vlokreeften, aasgarnalen, pissebedden, insectenlarven en borstelwormen. Naast dierlijk materiaal wordt ook plantaardig materiaal gegeten zoals algen, zaden/kiemen en plantenresten. Op hun beurt vormen stekelbaarzen (en glasalen) een belangrijke voedselbron voor zeer verschillende predatoren variërend van roofzuchtige waterinsecten, zoals libellenlarven, waterroofkevers en hun larven en waterwantsen, tot vis-etende zoogdieren als waterspitsmuizen en otters. De belangrijkste predatoren, in kwantitatieve zin, zijn de roofvissen van het zoute en brakke water en vis-etende vogels als futen, duikers, aalscholvers, reigers, Lepelaars, brilduikers, zaagbekken en sterns.



Figuur 14 De driedoornige (links) en tiendoornige stekelbaars (rechts).

De Lepelaar

De Lepelaar (*Platalea leucorodia*) is een bedreigde vogelsoort en in 1985 opgenomen in de "Nationale lijst van met uitroeiing bedreigde en speciaal gevaar lopende soorten" beter bekend als de "Rode lijst" (Soortbeschermingsplan Lepelaar, 1994). Lepelaars komen voor langs oeverzones van ondiepe voedselrijke meren en rivierdelta's van brakke en zoute getijdengebieden. Ze broeden in kolonies, vooral op de grond en soms in struiken, in rietmoerassen. Ook komen zij foeragerend voor in het Hollandse polderlandschap. Lepelaars broeden regelmatig in het Zwanenwater, op Flevoland en op de Waddeneilanden met Texel als voornaamste broedgebied (LNV, 1994).

Door verstoring van de broedgebieden op het vaste land door vossen, heeft de Lepelaar zijn broedgebied naar Texel en Flevoland verplaatst (Jonker, 1992). Als gevolg van toerisme en landbouw is de druk op de natuurwaarden van Texel ook (nog steeds) groot. Het eiland staat bekend als vogeleiland en ligt in de trekroute voor west-palearctische vogels langs de noordwestkust van Europa. In 1998 broedden er 110 vogelsoorten. Het aantal Lepelaars (*Platalea leucorodia*) bedroeg in datzelfde jaar 214 paar (Schutte & den Boer, 1999). Het totaal aantal waargenomen vogelsoorten is nu 353.

Het gaat de laatste jaren goed met de Lepelaar in Nederland, de stand is sinds 1980 toegenomen van ruim 200 tot meer dan 1200 (Schutte & den Boer, 1999). Op Texel broeden tegenwoordig net zo veel Lepelaars als twintig jaar terug in heel Nederland. Daarom wordt de aanwezigheid van voedsel, vooral Driedoornige stekelbaarzen op en rond Texel (op de Waddenzee), steeds belangrijker. De dichtstbijzijnde Lepelaarkolonie bevindt zich op de Schorren. Andere Lepelaarkolonies op Texel bevinden zich in De Muy, op een afstand van ongeveer 5 km, en in De Geul, op ongeveer 20 km afstand van rwzi De Cocksdorp.

De voedselsituatie rond Lepelaarkolonies is bepalend voor het aantal paren en het broedsucces (LNV, 1994). Het aantal vluchten neemt af en het aantal jongen neemt toe als de foerageergebieden dichterbij het broedgebied aanwezig zijn. Stekelbaarzen zijn vooral een belangrijke voedselbron voor Lepelaars tijdens het voorjaar, wanneer volwassen stekelbaarzen uit zee de polders in trekken en in juni als de jonge vissen wat groter zijn. Lepelaars moeten per dag circa 300 gram vis eten om in leven te blijven. Dit komt overeen met 350-400 prooien van gemiddelde omvang. Gedurende de 6 tot 8 uur per dag die zij foerageren, vangen zij zo'n 360 tot 670 prooien (Wintermans, 1997). De mogelijkheden tot foerageren staan onder druk, onder meer door maatregelen in het kader van landinrichting, waterstaatkundige maatregelen en mogelijk watervervuiling (LNV, 1994; Wintermans en Wymenga, 1996). Op Texel verhinderen waterkeringen op veel plaatsen het massaal binnentrekken van overjarige driedoornige stekelbaarzen van zee naar binnenwater en de seizoensmigratie van andere kleine vissoorten en kreeftachtigen (Wintermans, 1997). Hierdoor wordt het voedselaanbod voor Lepelaars flink beperkt.

Om het voedselaanbod te verbeteren en indirect het voortplantingssucces van de Lepelaars op het eiland te verbeteren is bij het gemaal van De Cocksdorp in het noorden van Texel op initiatief van de voormalige ‘Werkgroep Texelse Lepelaars’ (WTL) in samenwerking met het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier in 1995 een hevel-vispassage aangelegd.

De hevel-vispassage is eigendom van Staatsbosbeheer en in gezamenlijk beheer bij het Hoogheemraadschap en Staatsbosbeheer. Andere belanghebbenden bij de aanleg van de hevel-vispassage waren Rijkswaterstaat, Directie Noordwest van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Dienst Ruimte en Groen van de provincie Noord-Holland, Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij en Waterschap Hollands Kroon. Door de aanleg van de vispassage is het voedselaanbod voor Lepelaars op verbeterd.

4.2 Is het mogelijk algen te kweken op effluent?

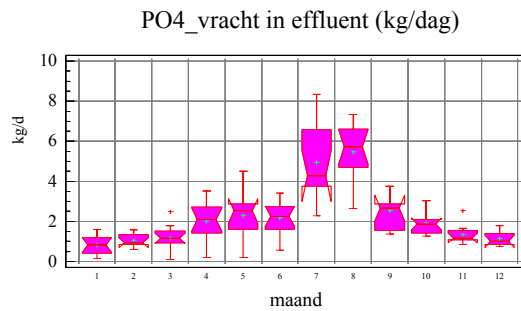
De aanwezigheid van nutriënten in effluent biedt de mogelijkheid om algen (fytoplankton) te kweken die de basis van een voedselketen kunnen vormen. Op basis van berekeningen wordt de maximale productie geschat. Daarnaast zijn de groeimogelijkheden van algen op effluent met een aantal experimenten getest.

4.2.1 Achtergronden

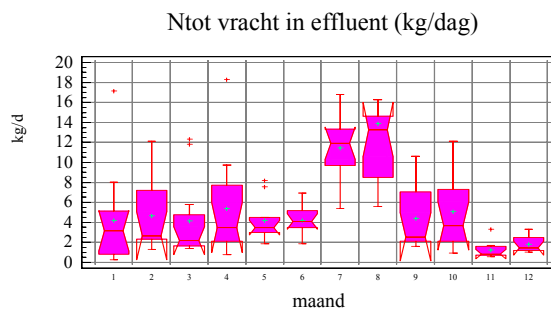
De elementen stikstof en fosfor vormen de belangrijkste voedingsstoffen die de groei van fytoplankton reguleren. Om voor fytoplankton beschikbaar te zijn moeten deze elementen in opgeloste vorm in het water aanwezig zijn. Het stikstof kan worden opgenomen als nitraat (NO_3) of ammonium (NH_4), fosfor als fosfaat (PO_4). Deze opgeloste nutriënten zijn in de effluënten van rwzi's in hoge concentraties aanwezig. Ook van andere elementen die essentieel zijn voor de ontwikkeling van fytoplankton zoals magnesium, ijzer, kalium, en calcium kan verwacht worden dat zij in voldoende mate in het effluent aanwezig zijn. De resultaten van 3 jaar monitoring van het effluent van rwzi Eversteekooog bevestigt deze veronderstelling (Groot, 1998).

De maximale hoeveelheid algen biomassa die in potentie geproduceerd kan worden kan worden geschat door te veronderstellen dat alle nutriënten die in het effluent aanwezig zijn door algen worden vastgelegd. Nutriënten komen in een bepaalde verhouding voor in algenbiomassa. Hoewel deze verhouding variabel is en spreiding kan vertonen als gevolg van de condities waarin de algen opgroeien (limitatie door licht, fosfaat of stikstof), vormt deze verhouding een nuttig uitgangspunt. De atomaire verhoudingen van C:N:P blijken doorgaans 106:16:1 te bedragen (Redfield *et al.*, 1963). Deze verhouding komt overeen met 41:7.2:1 op gewichtsbasis. Uit de zogenaamde Redfield-ratio en de vrachten van fosfaat en stikstof kan berekend worden wat de maximale algenproductie kan zijn.

Belangrijk voor ontwikkeling van fytoplanktonbiomassa zijn de vracht opgelost fosfaat (Figuur 15), en de vracht totaal opgelost stikstof (Figuur 16).



Figuur 15 De vracht van fosfaat is vooral in de periode juli-augustus hoog, als gevolg van de hoge debieten in die periode.



Figuur 16 Zoals ook voor fosfaat geldt, is de vracht stikstof in het effluent hoog in de periode dat ook het debiet hoog is (juli-augustus).

Uitgaande van de Redfield-ratio blijkt dat de vracht stikstof gedurende het gehele jaar groeiregulerend zal zijn voor de maximale ontwikkeling van algen. Het hele jaar is namelijk de concentratie stikstof minder dan 7,2 maal zo hoog als de vracht fosfaat. (Als vuistregel wordt gebruikt dat de verhouding COD:N:P in ruw afvalwater 100:20:5 bedraagt en in gezuiverd afvalwater 100:10:2. De overmaat aan P hangt echter af van eventuele actieve P-verwijdering tijdens het zuiveringsproces).

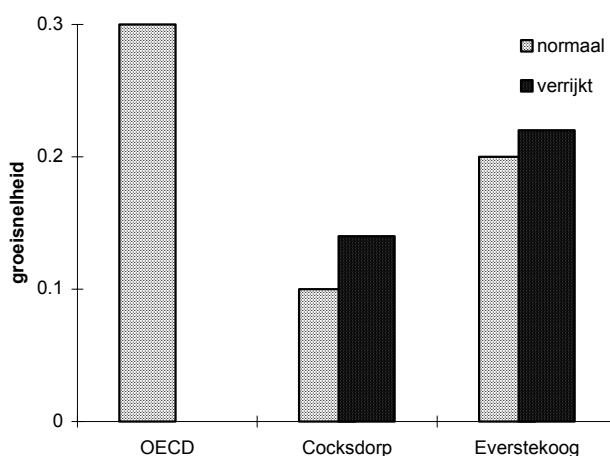
Indien uitgegaan wordt van een maximum vracht van 10 kg stikstof per dag, dan kan hieruit per dag 57 kg koolstof in algenbiomassa vastgelegd worden. Uitgaande van een koolstofgehalte van 40% van het drooggewicht en een drooggewicht van 10% van het versgewicht levert dit een potentiële productie van bijna 1500 kg vers algengewicht per dag. Dit komt ruwweg overeen met 1,5 kg chlorofyl per dag. Dit houdt in dat om deze nutriënten vast te leggen een gehalte van 1500 µg.l⁻¹ nodig is, hetgeen veel hoger is dan waarden die in oppervlaktewater worden gemeten (norm is een maximum van 100 µg.l⁻¹). Maximum algenconcentraties in het Nederlandse oppervlaktewater bedragen ongeveer 300 µg.l⁻¹. Bij deze hoge algendichtheden zijn

blauwalgen (cyanobacteriën) vaak dominant. Deze algen zijn slecht begraasbaar door watervlooien.

4.2.2 Is effluent een geschikt groeimedium voor algen?

Op basis van de fysisch/chemische eigenschappen van het effluent, zoals temperatuur, pH, chloride gehalte en het te verwachten of gemeten gehalte aan verontreinigingen, lijkt de effluent kwaliteit de ontwikkeling van fytoplankton niet te belemmeren (zie Tabel 7, p72).

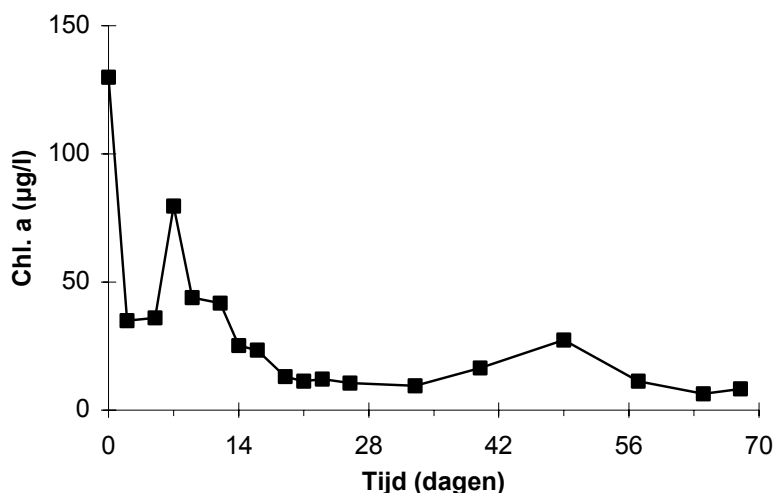
Om deze aanname te toetsen werd in het laboratorium een eenvoudige test uitgevoerd waarbij de ontwikkeling van algen (*Chlorella pyrenoidosa*) werd gevolgd in kweekflessen met effluënten van de beide rwzi's op Texel (Groot, 1998). Om te voorkomen dat te lage fosfaat of stikstof concentraties de algen ontwikkeling zouden belemmeren werd van elk effluent een tweede kweekfles ingezet waaraan een extra hoeveelheid nutriënten werd toegevoegd. De ontwikkeling van de algen werd in de tijd gevolgd en vervolgens uitgedrukt als de relatieve groeisnelheid. De groeisnelheden in de effluënten werden vergeleken met die van dezelfde algen in een algen kweekmedium (OECD, 1993). Uit de resultaten van de test (Figuur 17) blijkt dat algenontwikkeling in beide effluënten mogelijk is en niet beperkt wordt door nutriënten gebrek. Vooral in het effluent van rwzi de Cocksdoorp, blijft de groeisnelheid echter duidelijk achter bij die in het algenmedium. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Een verklaring zou de mogelijke aanwezigheid van toxische stoffen, zoals oppervlakte actieve stoffen in het gebruikte effluent kunnen zijn. Algen zijn hier zeer gevoelig voor. Dit zou het gevolg kunnen zijn van een mindere omzetting van toxische stoffen in de 's zomers overbelaste rwzi De Cocksdoorp.



Figuur 17 De groeisnelheid (per dag) van de alg Chlorella pyrenoidosa blijkt in met nutriënten verrijkte effluënten van de rwzi's de Cocksdoorp en Eversteekoog geremd ten opzichte van die in een standaard medium voor algen kweek (OECD-medium).

Op basis van bovenstaande gegevens is in 1998 getracht op een grootschaliger wijze algen te kweken (ten bate van watervlooien kweek) op het effluent van de rwzi Everstekeog (Groot, 1998). Hiertoe werd een tank met een volume van 2000 liter bij de voorbezinkvijver opgesteld, gevuld met effluent en geënt met de in het laboratorium gekweekte alg *Chlorella pyrenoidosa*. Na een ontwikkelingsperiode van 5 dagen waarin de algen populatie een dichtheid van $130 \mu\text{g.l}^{-1}$ chlorofyl bereikte, werd de tank met een constant debiet ($4,5 \text{ ml.s}^{-1}$) van rwzi-effluent voorzien. De gemiddelde verblijftijd van het water bedroeg 5 dagen. Het surplus verliet de tank via een overloop naar een tank met watervlooien.

Zodra de doorstroming gestart werd daalde de algendichtheid, en na 5 dagen bedroeg het chlorofylgehalte nog maar $40 \mu\text{g.l}^{-1}$ (Figuur 18). Dit niveau werd gehandhaafd gedurende ca. 10 dagen. Gedurende de volgende 60 dagen varieerde het chlorofylgehalte tussen 10 en $20 \mu\text{g.l}^{-1}$ chlorofyl. Uit een op dag 9 genomen monster bleek dat de algen gemeenschap gedomineerd werd door oogflagellaten en dat de geënte *Chlorella* nauwelijks nog aanwezig was. Op dag 34 bleek de algen gemeenschap vrijwel volledig te bestaan uit, voor het merendeel op de tankwand aanwezige, diatomeeën.



Figuur 18 Ontwikkeling van de algendichtheid in een 2000 l tank in de open lucht die werd doorstroomd met effluent uit rwzi Everstekeog.

Dit experiment leert dat het niet eenvoudig is om een constante algenkweek op effluent op peil te houden. De problemen kunnen door verschillende factoren veroorzaakt worden, bijvoorbeeld door een te hoge doorstroomsnelheid in verhouding tot de groeisnelheid van de algen. De doorstroomsnelheid was in dit experiment gebaseerd op de groeisnelheid van de algen onder laboratorium condities. Aangezien de groeisnelheid echter fluctueert met o.a. de lichtintensiteit is het moeilijk hiervoor in een buitenopstelling een constante waarde aan te geven. Andere problemen die optraden waren de ontwikkeling van fytoplankton-etend zooplankton in de algen kweektank en de switch van zwevende algen (*Chlorella*,

oogflagellaten) naar op de wanden groeiende algen (diatomeeën) die minder beschikbaar zijn als voedsel voor watervlooien. Er werden echter wel watervlooien op de wanden waargenomen. Om algen in suspensie te houden in algenmassacultures is volgens Oswald (1986) een (lineaire) stroomsnelheid van 12-15 cm.s⁻¹ vereist, wat ongeveer de helft is van de omloopsnelheid van een oxidatiesloot zoals in rwzi De Cocksdorp.

Problemen zoals hierboven aangegeven worden ook beschreven door Richmond (1986) bij de massa productie van algen in de buitenlucht. Als de grootste bedreiging van een grootschalige algen cultuur wordt de infectie met blauwalgen genoemd. Deze ongewenste algen zouden vooral kunnen toeslaan indien het CO₂ gehalte van het water laag en de pH hoog wordt als gevolg van de CO₂ assimilatie door de gekweekte algen. Als goede remedie wordt het beluchten met CO₂ genoemd, waarbij echter wordt opgemerkt dat koolstof bemesting vaak de belangrijkste kostenpost is bij het onderhouden van een grootschalige algenkweek. Mogelijk kunnen bevredigende resultaten bereikt worden door het water in het algenkweek bassin via een cascade systeem te laten lopen, waarbij het water tijdens het verval tussen de verschillende compartimenten intensief aan de buitenlucht wordt blootgesteld.

Overige problemen met betrekking tot grootschalige algenkweek in de buitenlucht vormen de ontwikkeling van bacteriën, schimmels en algen etend plankton in de systemen (Richmond, 1986). Hierbij vormt vooral het zooplankton een grote bedreiging voor de algen cultuur. Wellicht kan het inzetten van planktivore vis hier een oplossing bieden. De aanwezigheid van bacteriën en schimmels is niet te voorkomen. De beste remedie tegen een te sterke impact van deze eencelligen is waarschijnlijk gelegen in het optimaal houden van de condities voor de algen en daarmee van de natuurlijke weerstand voor infecties. Om de kwetsbaarheid van een algenkweekstelsel te verkleinen zouden meerder parallelle systemen gebruikt kunnen worden, waarbij het falen van een (deel)stelsel kan worden opgevangen.

4.2.3 Evaluatie kweekmogelijkheden fytoplankton

Werking

Algen nemen nutriënten op voor de groei, leggen daarbij CO₂ vast en produceren O₂ als “afvalproduct”. Als energiebron wordt zonlicht gebruikt, dat dus voldoende aanwezig moet zijn. De toename van de zuurstofconcentratie is het meest effectief indien ruw effluent wordt gebruikt. De verwijdering van nutriënten kan ook op andere posities in het systeem plaatsvinden, bijvoorbeeld nadat het slib door watervlooien uit het water is verwijderd. Voorwaarde is echter dat de algen wel als voedsel gebruikt worden door watervlooien, zodat terugkoppeling is vereist, en niet op het oppervlaktewater worden geloosd.

Een algenkweekstelsel dient een voldoende verblijftijd te hebben om uitspoeling te voorkomen. Uitspoeling van algen door zeven of netten is vanwege de zeer geringe afmetingen (tot ca. 15 µm) niet mogelijk. De verblijftijd dient daarom

kleiner of gelijk te zijn aan de groeisnelheid. De best optie lijkt om de verblijftijd af te stellen op de troebelheid (algendichtheid) van het systeem, waarbij in perioden met lage lichtintensiteiten en lage algengroeisnelheden de doorstroomsnelheid wordt verlaagd (turbidostaat principe).

Uitvoering

Aspecten die een belangrijke rol spelen bij het ontwerp betreffen de diepte en watermenging (lichtaanbod), volume (in verband met verblijftijd; hydraulische retention time HRT), en de kans op falen als gevolg van ziektes en consumenten (begrazers). Begrazers dienen op mechanische of, indien mogelijk, op biologische wijze verwijderd te worden. De diepte dient niet meer dan 0,2-0,6 meter te zijn en de doorstroomsnelheid ca. $15 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. De kans op falen kan verkleind worden door meerdere systemen parallel te laten werken, waardoor overgeschakeld kan worden naar een ander systeem.

De maximale dimensies kunnen worden berekend op basis van de volgende aannames:

- een hoog debiet van de rwzi in de zomermaanden (ca. 1000 m^3 , winterdebiet is gemiddeld 550 m^3);
- een lage groeisnelheid van $0,1 \cdot \text{dag}^{-1}$ (waarschijnlijk nooit hoger dan $0,3 \text{ dag}^{-1}$)
- een waterdiepte van 0,4 meter (maar mogelijk slechts 0,2 m).

Op basis van deze aannames zou het totale benodigde oppervlak ca. 2,5 ha moeten bedragen.

Beheersinspanning

- Indien ruw effluent wordt gebruikt zal in het systeem waarschijnlijk slib (en andere onopgeloste stoffen in het effluent) bezinken, waardoor periodiek gereinigd moet worden. Bezinking kan worden voorkomen als de turbulentie hoog genoeg is. Aangroei van de wanden dient verwijderd te worden.
- Andere frequente beheersactiviteiten die verwacht worden zijn het reinigen van sensoren (troebelheid), het onderhouden en bijstellen van het aansturingssysteem dat de doorstroomsnelheid regelt.
- Indien een (deel)systeem ‘faalt’ is het nodig deze schoon te maken, en weer op te starten (beginnen als statisch systeem tot de benodigde algendichtheid weer is bereikt).
- indien de aanwezigheid van begrazers niet op biologische wijze gecontroleerd kan worden dan is mechanische verwijdering noodzakelijk.

Opbrengst

De concentraties van in het effluent aanwezige nutriënten (stikstof en fosfaat) die zijn zo hoog dat volledige verwijdering met een algenkweekstelsel niet mogelijk lijkt (zie 4.2.1). De hiervoor benodigde dichtheden (meestal uitgedrukt als chlorofylconcentraties) zijn hoger dan in een openluchtsysteem realistisch is. Indien uitgegaan wordt van een maximum chlorofylconcentratie van ongeveer $300 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, gebaseerd op maximumconcentraties gemeten in Nederlandse

oppervlaktewateren, dan zou de dagelijkse opbrengst ongeveer 30 kg vers algengewicht kunnen zijn.

Onzekerheden

Er bestaan verschillende onzekerheden omtrent de realiseerbaarheid van een algenkweekstelsel. De belangrijkste zijn:

- De effluentkwaliteit blijkt de groei duidelijk te kunnen remmen, onduidelijk is of dit gedurende het hele jaar het geval is en welke stoffen daarvoor verantwoordelijk zijn.
- De continuïteit (robuustheid, betrouwbaarheid) is niet bekend. Op basis van de fluctuaties in lichtcondities zal de productie zeer variabel zijn.
- De kans op het optreden van ziektes of massale begrazing door zoöplankton (watervlooien, protozoën, raderdiertjes) is niet goed bekend onder de gegeven condities.
- De soortensamenstelling van algen onder de gewenste condities (hoge dichtheden, ingestelde verblijftijd) is onduidelijk. Hoewel het systeem geënt kan worden met een bepaalde soort, zou door oncontroleerbare ontwikkeling van op andere wijze geïntroduceerde soorten dominantie op kunnen treden van niet consumeerbare blauwalgen.

Haalbaarheid

Gezien de vereiste dimensies en het benodigde beheer van het algenkweekstelsel lijkt dit niet goed mogelijk om toe te passen op een verafgelegen en onbemande rwzi als De Cocksdorp. Er zal daarom in hoofdstuk 5 niet verder op worden ingegaan.

4.3 Groeien watervlooien op effluent?

Aan de hand van literatuurinformatie en experimenten gericht op de consumptie van actief slib en effluent zijn de groeimogelijkheden van zoöplankton, en *Daphnia magna* in het bijzonder, onderzocht.

4.3.1 Kenmerken Daphnia

Watervlooien of daphnia's komen in vele soorten wijd verspreid voor. Eén van de bekendste vertegenwoordigers van deze groep is *Daphnia magna*, die algemeen voorkomt in stilstaand water. Met een maximale lichaamslengte van ca. 5 mm is het een van de grootste daphnia soorten. Juist door zijn grootte vormt deze soort een aantrekkelijke en relatief opvallende voedselbron voor vissen, waardoor echt hoge dichtheden slechts worden aangetroffen op plaatsen waar vissen nagenoeg afwezig zijn. Dit is bijvoorbeeld het geval in de voorbezinkvijver van de rwzi te Everstekeog, alwaar het water "geregeld rood ziet van de watervlooien". Naast *Daphnia magna* komt ook de iets kleinere *Daphnia pulex* in substantiële, maar lagere, dichtheden in de voorbezink vijvers voor. Andere zoöplankton soorten

hebben geen substantiële aandeel in de totale zooplankton biomassa van de voorbezinkvijver.

Watervlooien voeden zich door kleine, veelal zwevende, voedseldeeltjes uit het water te filteren. In principe kan elk deeltje tussen de 1 μm en 40 μm door de grote watervlooien op efficiënte wijze uit het water gefilterd worden (Lampert, 1987; Porter *et al.*, 1979). Grotere deeltjes kunnen door het filtratie apparaat in kleinere stukjes worden gebroken en zo worden gegeten, de voedingsefficiëntie is dan echter een stuk lager.

Groene eencellige algen vormen de belangrijkste voedselbron voor watervlooien. Maar ook andere kleine zwevende deeltjes, zoals bacteriën en protozoën kunnen als voedsel dienen (o.a Porter *et al.*, 1979; Lampert 1987; Sanders *et al.*, 1996). Ook bacteriën en actief slib kunnen als voedselbron dienen (zie 4.3.3). In enkele gevallen is zelfs een voorkeur voor bacteriën boven groenalgen beschreven in experimentele systemen (Hadas *et al.*, 1982) en in de veldsituatie (Hessen & Andersen, 1990). In het laatste geval bleken bacteriën de belangrijkste bron van fosfor te zijn voor de in het meer aanwezige daphnia's.

Het aandeel van watervlooien in de filtratiecapaciteit van zoöplanktongemeenschappen is relatief hoog, soms meer dan 90% (Thompson *et al.*, 1982). Een individuele watervlo (*D. magna*) kan tot 3-4 ml water per uur filtreren (McMahon & Rigler, 1965; Lampert, 1987). Bij een dichtheid van 1000 watervlooien betekent dit dat elke liter drie tot vier maal per uur wordt verversd. De exacte filtratiesnelheid is sterk afhankelijk van de grootte van het dier en van externe factoren zoals bijvoorbeeld de watertemperatuur (maximaal bij 22-24°C, Myrand & de la Noue, 1983) en de voedseldichtheid. De hoogste filtratie snelheden worden bereikt bij lage limiterende voedseldichtheden ($<0,2 \mu\text{g C.ml}^{-1}$, Thompson *et al.*, 1982). Bij toenemend voedselaanbod neemt de filtratie snelheid af maar stijgt de efficiëntie. De filtratie efficiëntie wordt negatief beïnvloed door de aanwezigheid van grote hoeveelheden oneetbaar zwevend materiaal (Lampert, 1987).

De combinatie van de filtratiesnelheid en de concentratie van geschikte voedseldeeltjes in het water bepalen de actuele voedselopname van een watervlo. Voor *Daphnia magna* is een maximale voedselopname snelheid van $4,7 \mu\text{g C.ind}^{-1}\text{.uur}^{-1}$ beschreven (Myrand & de la Noue, 1983). Een meer algemene maat voor de voedselopname door watervlooien wordt gegeven door Lampert (1987: 0,4-3% van het totale C-gehalte van het individu per uur).

De assimilatie efficiëntie (de fractie van het opgenomen koolstof die wordt vastgelegd) is sterk afhankelijk van de voedselbron, voor bacteriën bedraagt deze ca. 50% voor groene algen kan deze afhankelijk van de soort, variëren tussen de 50 en 100% (Lampert, 1987).

Enkele karakteristieken van *Daphnia magna* zijn samengevat in Tabel 3.

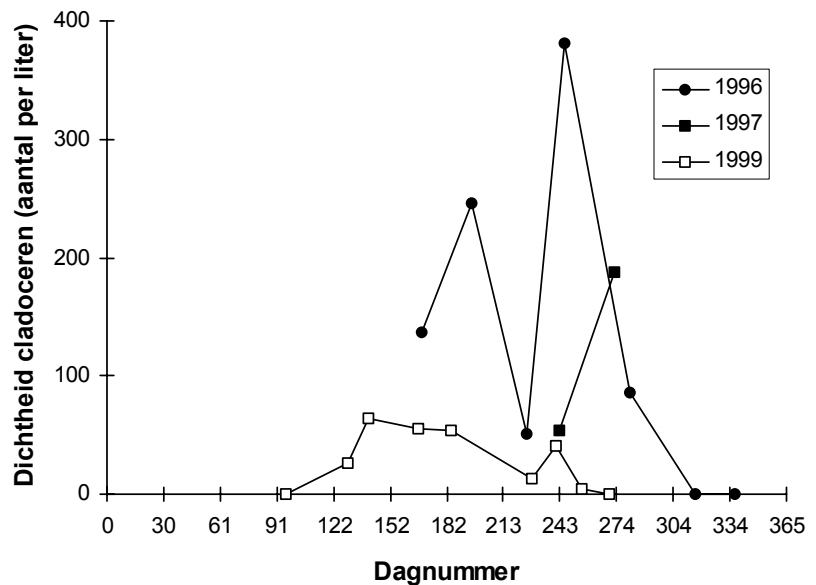
Tabel 3 Enkele karakteristieken van *Daphnia magna*

Fysieke karakteristieken		Referentie
Lichaamslengte	0.3 - 5 mm	
Individueel drooggewicht	0.5 - 2 mg vers gewicht	
Filtratie capaciteit	tot 4 ml/ind/uur	McMahon & Rigler (1965); Lampert (1987)
Voedselopname snelheid	tot 4.7 µg C/ind/uur	Myrand & de la Noue (1983)
Grootte voedseldeeltjes	1-40 µm	Porter <i>et al.</i> (1979); Lampert (1987),
Assimilatie efficiëntie (voor verschillende <i>Daphnia</i> soorten)		
Groenalgen	50-100%	Lampert (1987)
Cyanobacteriën	11-100%	Lampert (1987)
Bacteriën	53%	Lampert (1987)
Gist	56%	Lampert (1987)
Samenstelling		
Eiwit gehalte	59.5 % DW	Proulx & de la Noue (1985)
Vet	9.5% DW	Proulx & de la Noue (1985)
Koolhydraten	5.6% DW	Proulx & de la Noue (1985)
Koolstof	44% DW	Hessen (1990)
Stikstof	8 % DW	Hessen (1990)
Fosfor	1.4 % DW	Hessen (1990)
Energie waarde	20 KJ/g DW	Proulx & de la Noue (1985)

4.3.2 Waar leven watervlooien van?

In de voorbezinkvijver van het moerassysteem van rwzi Eversteekooog worden in de zomer hoge dichtheden zooplankton waargenomen (Figuur 19). Het betreft vooral *Daphnia magna*, met daarnaast *D. pulex* en incidenteel ook andere soorten (Chydoriden). Merkwaardig is dat voedsel in de vorm van fytoplankton nauwelijks aanwezig is, waarschijnlijk omdat de verblijftijd korter is dan de groeisnelheid van algen. In deze voorbezinkvijver vormt actief slib dat met het effluent wordt aangevoerd een potentiële voedselbron. In experimenten is deze mogelijkheid nader onderzocht.

Uit de monitoringgegevens blijkt dat dichtheden per jaar sterk kunnen fluctueren. Ook in de loop van het jaar kunnen sterke fluctuaties ontstaan. In het voorjaar en in de zomerperiode zijn de dichtheden het hoogst. Tijdelijke fluctuaties kunnen waarschijnlijk ten dele worden toegeschreven aan de heterogene verspreiding van watervlooien die het nemen van representatieve monsters bemoeilijkt.



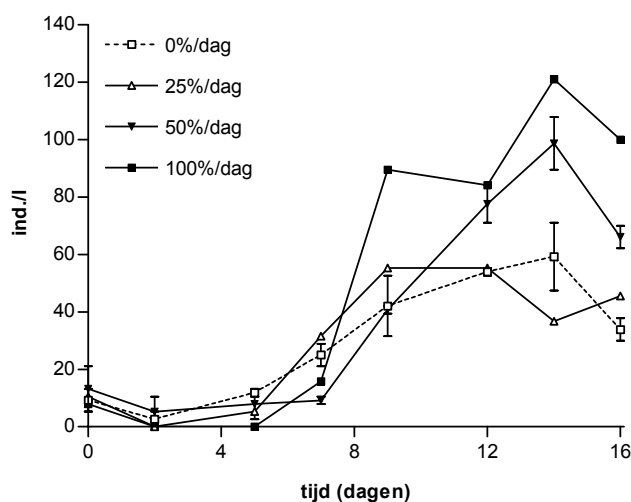
Figuur 19 Dichtheden in de voorbezinkvijver zijn variabel tussen de jaren, maar dichtheden tot 400 individuen per liter zijn waargenomen.

Onderzocht is of slib in de praktijk ook daadwerkelijk als voedselbron gebruikt wordt door watervlooien. Dit is onderzocht met behulp van experimentele drijvende systemen, zogenaamde planktonenclosures. Hierin werd getracht watervlooien op het effluent van rwzi Eversteekoog onder verschillende doorstroomcondities te kweken. Omdat de aanvoer van slibdeeltjes toenam met de doorstroomsnelheid (verblijftijd van 1, 2 of 4 dagen naast een systeem zonder doorstroming) en watervlooien niet konden uitspoelen werd verwacht dat de populatie sneller en tot grotere dichtheden zou uitgroeien bij hogere doorstroomsnelheden.

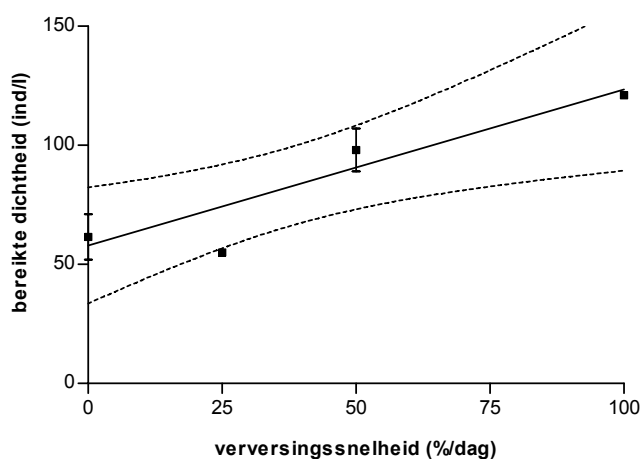
In de voorbezinkvijver van het moerassysteem werden 6 drijvende planktonenclosures geplaatst en gevuld met ca. 150 l effluent uit de effluentleiding dat werd geënt met 5 watervlooien per liter. Met behulp van een slangenpomp zijn in 4 enclosures 3 verschillende doorstroomsnelheden (25, 50 en 100% verversing per dag) voor effluent gecreëerd. Het effluent in twee enclosures werd niet verversd. Hier werd wel regelmatig nutriënten aan toegevoegd om limitatie te voorkomen. Door middel van planktongaas werd voorkomen dat watervlooien met het surplus water de enclosures zouden verlaten. Gedurende 16 dagen werd de ontwikkeling van de watervlooien dichtheid in de enclosures gevolgd.

In alle enclosures steeg de watervlooien dichtheid tijdens de 16 dagen dat de test liep (Figuur 20). Na 14 dagen daalt de watervlooien dichtheid in alle systemen, waarschijnlijk wegens voedselgebrek als gevolg van het bereiken van de maximale dichtheid. De maximale dichtheid die werd bereikt nam toe met de verblijftijd (Figuur 21). Hoewel in de enclosures enige algenontwikkeling plaats vond, waren

dit vooral voor watervlooiën niet eetbare draadalgen. Deze observatie vormt samen met het verband tussen doorstromingsnelheid en maximale watervlooiën dichtheid, een sterke aanwijzing dat de watervlooiën niet algen als voedselbron gebruiken. Het meest waarschijnlijk alternatief is dat bacteriën uit het actieve slib gegeten worden. Dit vermoeden werd bevestigd toen in een laboratoriumtest bleek dat in de darmen van watervlooiën een op actief slib gelijkende substantie werd aangetroffen.



Figuur 20 Ontwikkeling van de aantallen watervlooiën in experimentele systemen met Eversteekoog effluent met een verschillende verversingsnelheid



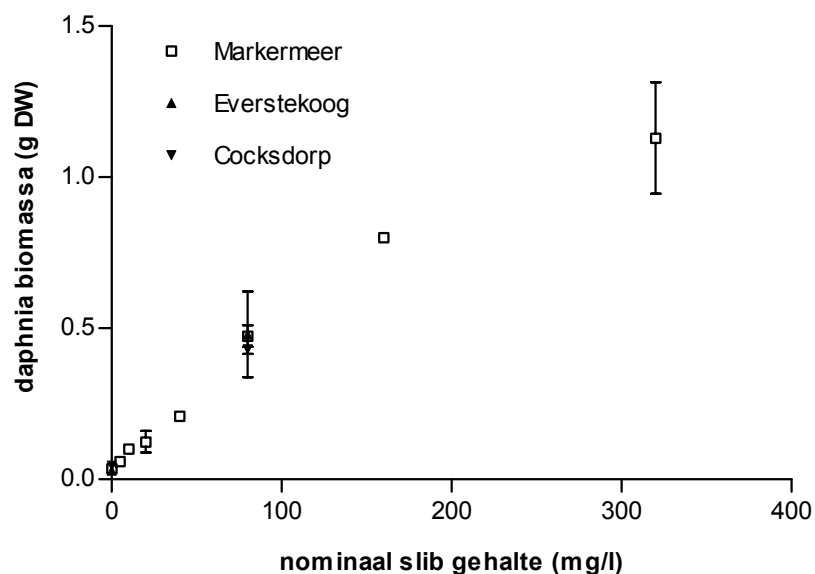
Figuur 21 Relatie (met 95% betrouwbaarheidsinterval) tussen de maximaal bereikte watervlooiën dichtheid en de verversingsnelheid van het effluent.

Uit dit experiment werd geconcludeerd dat het actief slib dat aanwezig is in het effluent van een rwzi (in dit geval Eversteekoog) inderdaad de groei van watervlooien kan stimuleren, omdat de productie blijkt toe te nemen met de aangevoerde hoeveelheid effluent.

4.3.3 Watervlooienproductie in rwzi effluent met actief slib

In 1999 zijn experimenten uitgevoerd waarbij de ontwikkeling van watervlooien in effluenten van de rwzi's van Eversteekoog en de Cocksdoorp werden onderzocht. Het onderzoek werd uitgevoerd in polyethyleen testvaten die waren gevuld met 80 liter Markermeer water (als referentie) en effluenten van respectievelijk rwzi Eversteekoog en rwzi De Cocksdoorp.

Er werden 12 vaten met Markermeerwater gevuld en 4 vaten met beide effluenten. In totaal 12 + 4 + 4 is 20 testvaten. Aan de vaten werd vervolgens verschillende hoeveelheden actief slib toegevoegd. In het Markermeerwater werd een concentratiereeks tot 0-320 mg slib per liter gecreëerd, waarvan enkele behandelingen in duplo werden ingezet. In de beide effluenten werden slibconcentraties van respectievelijk 0 en 80 mg.l⁻¹ getest, beide in duplo. In elk vat werden ca. 400 (5 ind.l⁻¹) watervlooien (*D. magna*) geïntroduceerd. Alle testvaten werden continu belucht en ten minste eenmaal per dag (op werkdagen veelal tweemaal) krachtig met een spatel omgeroerd, om het uitgezakte slib in suspensie te brengen. De vaten werden niet belicht zodat de ontwikkeling van fytoplankton, dat als voedsel voor de daphnia's zou gaan fungeren, zoveel mogelijk werd voorkomen. Na 28 dagen werd de test beëindigd en werd het drooggewicht bepaald van de op dat moment in de vaten aanwezige watervlooien en slib.



Figuur 22 Biomassa van watervlooien (*daphnia*) per testvat aan het eind van het experiment in 1999 in relatie tot de nominale slib concentratie in

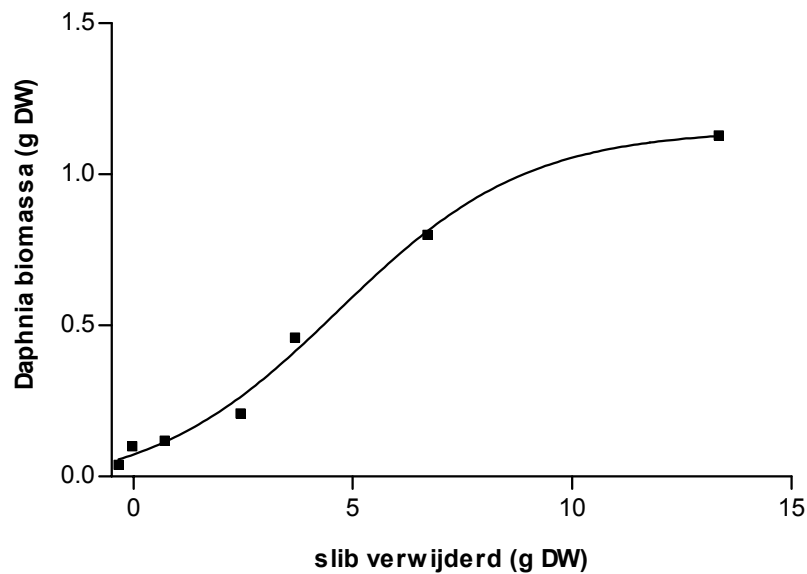
Markermeer water en effluënten van respectievelijk rwzi Eversteekooog en rwzi De Cocksdorp.

De effluënten van beide rwzi's lijken geschikt als medium voor watervlooiën en leverde dezelfde resultaten als het referentie (Markermeer) water; de groei van *Daphnia* in effluent van De Cocksdorp en Eversteekooog bij slibconcentraties van 80 mg.l⁻¹ wijkt niet significant af van die in referentie Markermeerwater. De watervlooiën gebruiken het actieve slib (mogelijk indirect) als voedselbron. De in de systemen bereikte *Daphnia*-dichtheden vormden een bijna lineair verband met de slibconcentraties. Dit experiment bevestigt de resultaten van de experimenten in 1998 (Groot, 1998). Bij nominale concentraties boven 160 mg.l⁻¹ worden relatief lagere *Daphnia* dichtheden gevonden. Mogelijk worden de *Daphnia*'s door deze extreem hoge sliblast belemmerd in zwemmen en filtratie. Bovendien hebben hoge sliblasten een negatieve invloed op het zuurstofgehalte van het water. Hoewel dit in de continu beluchte testvaten geen zuurstofarme situatie opleverde, zou dit wel kunnen ontstaan bij hoge slibconcentraties in een niet-beluchte (praktijk)situatie.

Bij de interpretatie van de experimentele gegevens over de meest geschikte slibconcentratie voor efficiënte *Daphnia* kweek moet ook rekening gehouden worden met het snelle uitzakken van het slib in de testsystemen. Waardoor de werkelijke slibconcentratie in de testvaten gedurende een groot deel van de test <30% van de nominale concentratie was. Indien 25% als correctiefactor wordt gehanteerd betekent dit dat de continue slibconcentratie in een *Daphnia* kweek systeem niet hoger moet liggen dan 40 mg.l⁻¹ (160 mg.l⁻¹ nominaal in de experimenten) en niet lager dan 5 mg.l⁻¹ (20 mg.l⁻¹ in de experimenten). Binnen de range van deze slibconcentraties werd tijdens de 4 weken durende test ca. 50% van het aangeboden slib door de *Daphnia*'s geassimileerd. Hierbij werd 5% van de toegevoegde slib massa omgezet in *Daphnia* biomassa.

De gemiddelde biomassatoename van de *Daphnia*-populatie in het experiment bedroeg 0,27.dag⁻¹. Deze waarde komt goed overeen met de groeisnelheid tijdens de experimenten van 1998: $r = 0,20 \text{ dag}^{-1}$ en met de $r = 0,30 \text{ dag}^{-1}$ die Proulx & de la Noue (1985) bepaalden bij *Daphnia*'s die leefden in rwzi-effluënten waarin algen gekweekt werden.

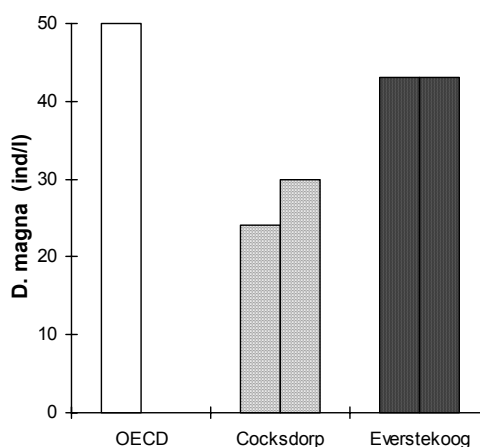
Het gemiddelde individuele *Daphnia*-gewicht aan het eind van de experimenten in 1999 was 0,5 mg, hetgeen correspondeert met een lichaamslengte van 2-3 mm (Culver *et al.*, 1985).



Figuur 23 Relatie tussen de hoeveelheid daphnia biomassa en de hoeveelheid verwijderd slib aan het eind het experiment in 1999

4.3.4 Invloed van effluentkwaliteit op de productie van watervlooien

De mogelijke remming van de productie van *Daphnia magna* als gevolg van een eventueel onvoldoende waterkwaliteit van het effluent van rwzi's is getest in een laboratoriumexperiment voor de effluënten van de Cocksdoorp en Eversteekoog (Groot, 1998). In het 23 dagen durende experiment werd *Daphnia* om de dag gevoed met een gelijke hoeveelheid algen en werd het water continu belucht om effecten van zuurstof uit te sluiten. In het effluent van De Cocksdoorp werd nauwelijks een toename gevonden van de 20 juveniele daphnia's die bij aanvang van het experiment werden toegevoegd aan een watervolume van 1 liter. Ook in het effluent van Eversteekoog bleef de groei achter bij die in het kweekmedium. Opgemerkt moet worden dat het een eenmalige bemonstering van het effluent betreft, waarbij niet bekend is of de kwaliteit representatief is. De resultaten spreken de resultaten van kweekexperimenten op slib in effluent tegen (zie Figuur 22), waar de groei van watervlooien niet verschilde van die in effluent van rwzi Eversteekoog en in Markermeerwater.



Figuur 24 De groei van *Daphnia* kan in effluent (Cocksdoorp, Eversteekooig) lager zijn dan in een kunstmatig standaard medium (OECD).

4.3.5 Oogsten van productie

Door Proulx & de la Noue (1985) zijn *Daphnia* kweeksystemen met algen als voedselbron met een verschillende intensiteit geoogst, dat wil zeggen dat elke drie dagen een bepaald percentage van de populatie werd verwijderd. Uit dit experiment bleek dat de geoogste biomassa het hoogste was bij een verwijderingspercentage van 18% per 3 dagen, vergeleken met een hogere (32%/3d) en lagere (6%/3 d) verwijderingssnelheid, terwijl de biomassa van de populatie in het kweekvat niet wezenlijk verschilde. Hieruit blijkt dat door het regelmatig oogsten de productie tot op zekere hoogte kan worden gestimuleerd. Als oorzaak wordt aangegeven dat de natuurlijke sterfte van geringere invloed is, en dat er een meer stabiele reproductie plaats vindt. Door de auteurs wordt aangegeven dat de kweek mogelijk verder verbeterd kan worden door de oogstfrequentie (naast het verwijderingspercentage) te optimaliseren.

4.3.6 Evaluatie kweekmogelijkheden watervlooiën

Uit de uitgevoerde experimenten en informatie uit de literatuur blijkt dat watervlooiën kunnen groeien met actief slib, dat aanwezig is in effluent van rwzi's, als voedselbron. Uit het onderzoek blijkt dat de waterkwaliteit van het effluent de productiesnelheid negatief kan beïnvloeden. De resultaten zijn op dit punt echter niet eenduidig.

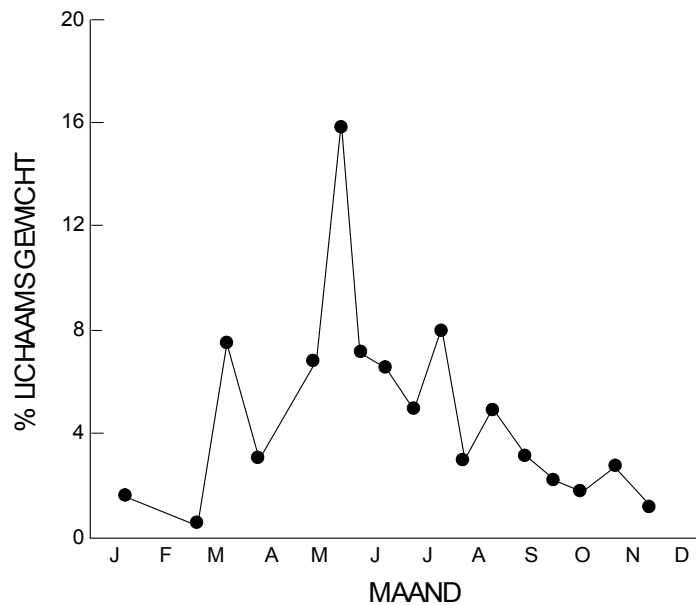
Watervlooiën blijken onder de experimentele condities tot 50% van de aangevoerde slib uit het effluent te kunnen verwijderen. In een kweekstelsel moet het restant regelmatig verwijderd worden om dichtslibben van het systeem te voorkomen. De aanwezige hoeveelheid slib in het effluent is beperkt, waardoor ook een beperkte hoeveelheid watervlooiën kan worden opgekweekt. Door het oogsten van de 'netto productie' van (aantallen) watervlooiën kan waarschijnlijk

voorkomen worden dat de populatietoename stagneert als gevolg van voedselgebrek.

4.4 Potenties en randvoorwaarden stekelbaarzen

4.4.1 Groei van stekelbaarzen

De groeisnelheid van stekelbaarzen is, als bij alle koudbloedige dieren, sterk gekoppeld aan de omgevingstemperatuur. De voedselopname en de groeisnelheid van Driedoornige stekelbaarzen nemen tussen 3 en 20°C met ongeveer een factor van ca. 7 lineair toe (Allen & Wootton 1982a). Ook de assimilatie efficiëntie vertoont binnen dit temperatuurstraject een stijging van 87 naar 97% (Allen & Wootton, 1983). Hoewel de absolute tolerantiegrenzen met betrekking tot temperatuur voor stekelbaarzen niet bekend zijn, kan aangenomen worden dat er beneden 3°C nauwelijks groei plaats vindt. Ook bij temperaturen hoger dan 25°C mag verwacht worden dat de groei minder efficiënt gaat verlopen.

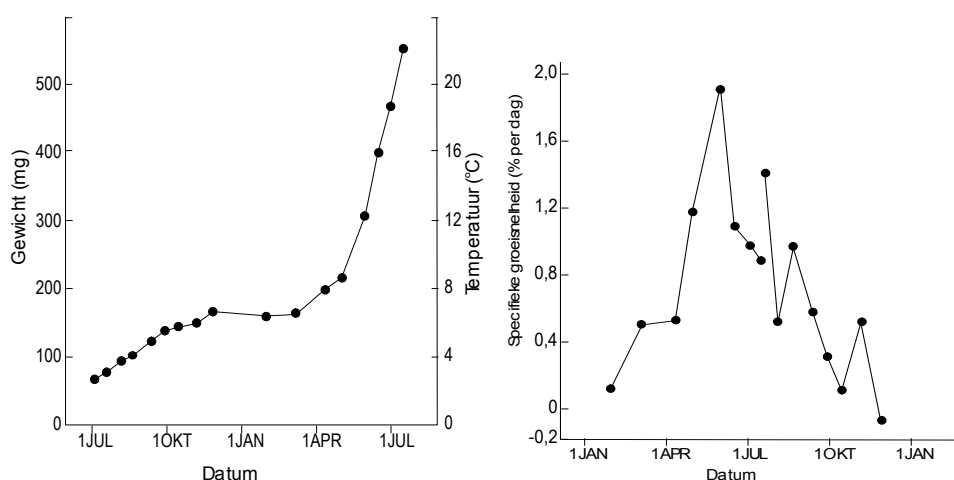


Figuur 25 Dagelijkse voedselconsumptie als % van lichaamsgewicht van driedoornige stekelbaars blijkt gerelateerd aan de temperatuur en daarmee met het seizoen (naar R.J. Wootton, 1992)

Doordat de voedselopname met de watertemperatuur samenhangt is deze factor sterk seizoensafhankelijk (Figuur 25; R.J. Wootton, 1992). De periode met de hoogste voedselopname (ca. 8% van het lichaamsgewicht) ligt tussen mei en augustus en in dezelfde periode vindt dan ook de snelste groei plaats (Figuur 26 - rechts; R.J. Wootton, 1992). De specifieke groeisnelheid van een individuele stekelbaars is daarnaast ook sterk afhankelijk van de leeftijd van het dier. De hoogste groeisnelheid (maximaal 2% per dag) wordt bereikt tijdens het tweede

levensjaar (1+vis) (Figuur 26 - links). Naarmate de dieren de maximale lichaamslengte dichter benaderen neemt de groeisnelheid af.

De belangrijkste voedselbronnen voor stekelbaarzen worden gevormd door kleine kreeftachtigen (waaronder watervlooien) en insectenlarven. In de winter wordt het voedselpakket aangevuld met plantaardig materiaal en detritus (Allen & Wootton, 1984).

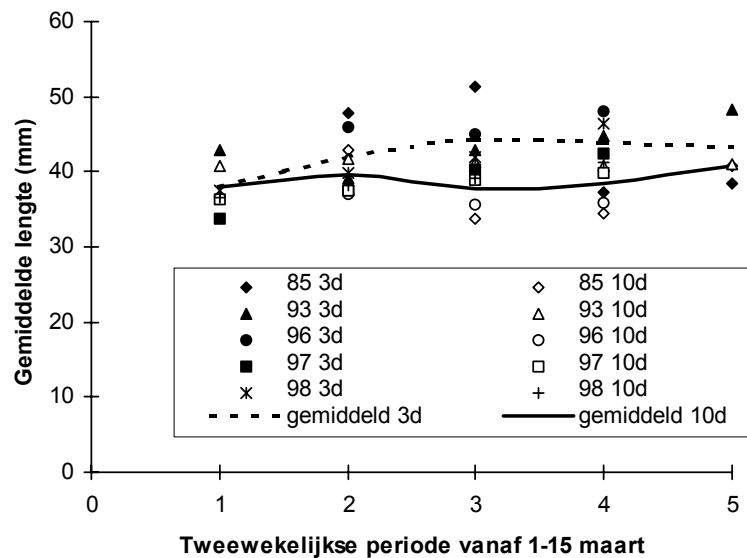


Figuur 26 Specifieke groeisnelheid tijdens het eerste levensjaar van driedoornige stekelbaarzen (naar R.J. Wootton, 1992). Vooral de groei van eenjarige stekelbaarzen is snel en is het hoogst in de vroege zomer

4.4.2 Stekelbaarzen in de polders op Texel

In de jaren 1985, 1993 en 1995 tot en met 1998 is onderzoek gedaan naar de voedsleecologie van Lepelaars in de ondiepe binnendijkse wateren van Texel en met name van Polder Eijerland (Wintermans, 1999). In dat kader zijn de sloten van verschillende polders op het eiland bemonsterd op de aanwezigheid van kleine vissen (<20 cm) die door Lepelaars kunnen worden gegeten. In 1985 zijn verspreid over het gehele eiland sloten, kanalen en ondiepe plassen bemonsterd, terwijl in de daarop volgende jaren alleen de ondiepe wateren van Polder Eijerland zijn bemonsterd. Uit de inventarisaties is gebleken dat in de sloten voornamelijk Drie- en Tiendoornige stekelbaarzen voorkomen.

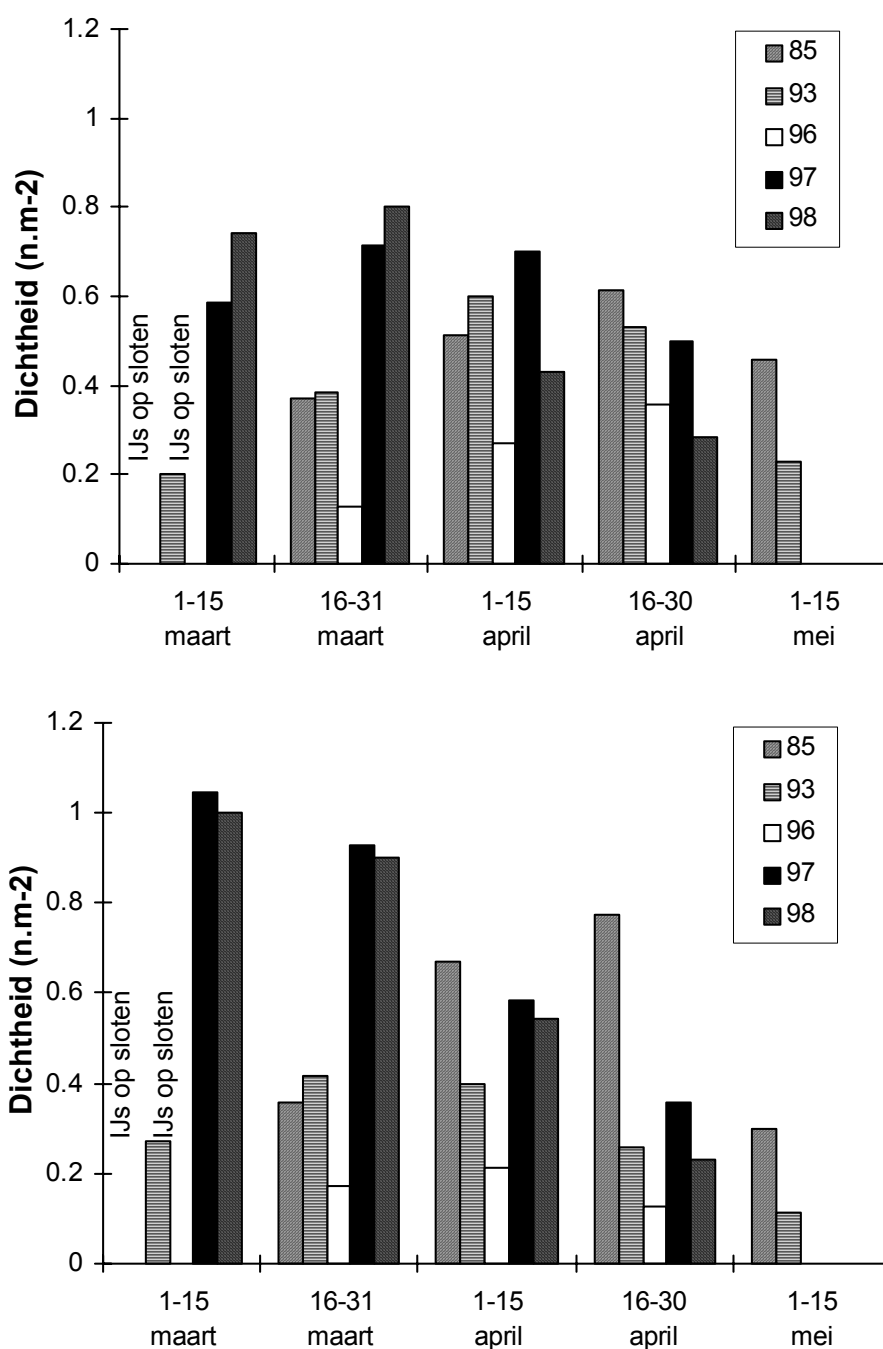
In Figuur 27 en Figuur 28 zijn respectievelijk de gemiddelde lengte en dichtheid van stekelbaarzen in de ondiepe (<50 cm) sloten van polder Eijerland weergegeven; in Figuur 29 is de dichtheid uitgezet tegen de slootdiepte.



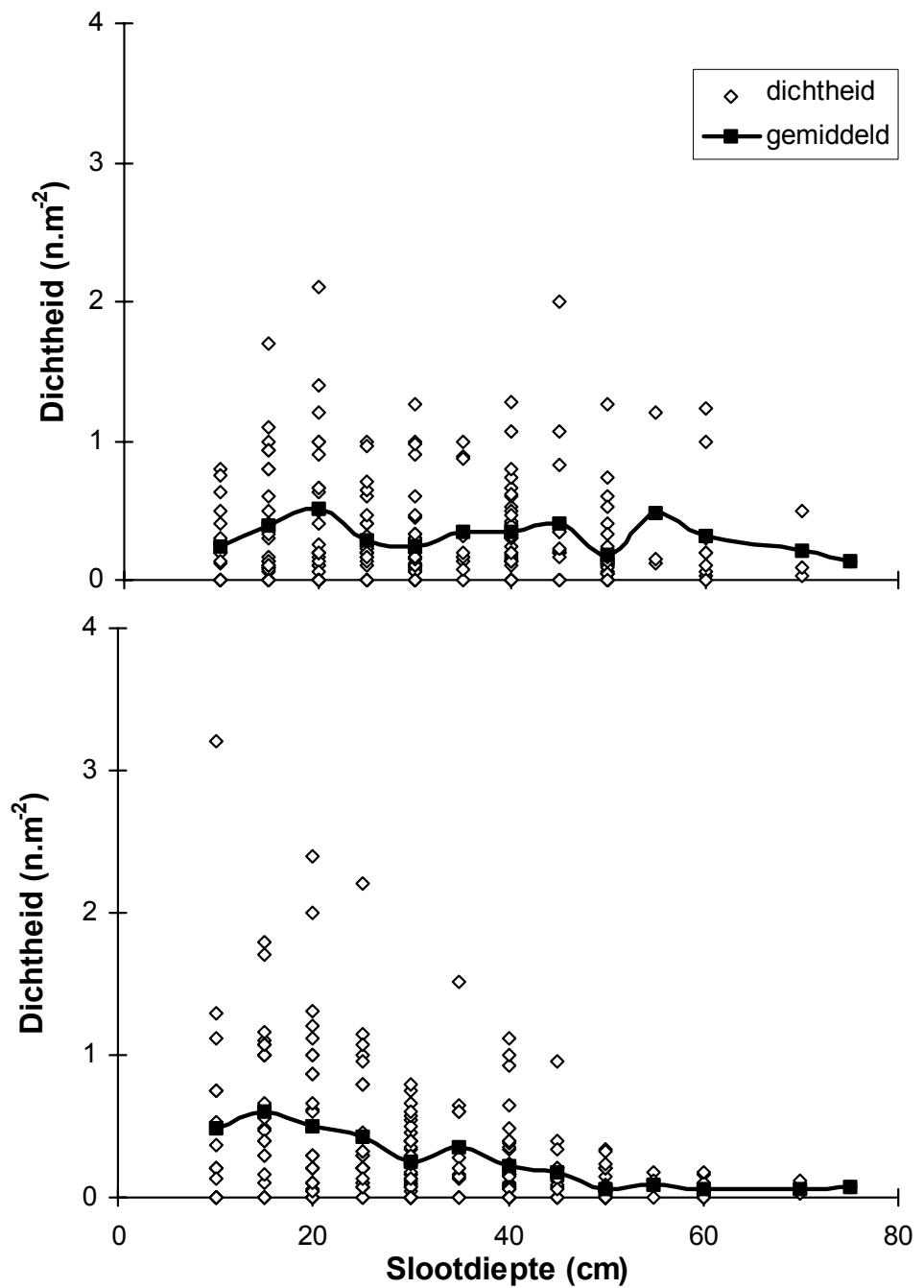
Figuur 27 Gemiddelde lengte (mm) van stekelbaarzen in de ondiepe (<50 cm) sloten van Polder Eijerland per tweewekse periode in maart-april en voor ieder voorjaar van 1985, 1993 en 1996 tot en met 1998. Dichte symbolen voor driedoornige stekelbaarzen (3d), open symbolen voor tiendoornige stekelbaarzen (10d).

De gemiddelde lengte van driedoornige stekelbaarzen in de verschillende jaren varieert tussen de 39 en 48 millimeter, van tiendoornige stekelbaarzen tussen de 36 en 42 millimeter; het gemiddeld gewicht ligt tussen resp. 0,85 en 1,29 gram en 0,49 en 0,77 gram.

De gemiddelde dichtheid van driedoorns en tiendoorns in de sloten ligt rond de 0,5 individuen per m², terwijl in de sloten van Polder Eijerland relatief hoge dichtheden worden aangetroffen van respectievelijk 1,5 à 2,0 individuen per m². Dichtheden tot 2,0 individuen per m² worden in zowel diepe als ondiepe sloten aangetroffen. Alleen bij tiendoorns lijken dichtheden van >2 individuen per m² meer in ondiepe sloten (< 30 cm) voor te komen. De (sterke) afname in dichtheid bij een diepte van 50 cm of meer wordt mogelijk (mede) veroorzaakt door de bemonsteringsmethode (slagnet). De vangefficiëntie van het slagnet neemt af bij een diepte van 50 cm en meer.



Figuur 28 Gemiddelde dichtheid ($n.m^{-2}$) van de stekelbaarzen in de ondiepe (<50 cm) sloten van Polder Eijerland per tweeweekse periode in maart-april en voor ieder voorjaar van 1985, 1993 en 1996 tot en met 1998. Boven driedoornige stekelbaarzen, onder tiendoornige stekelbaarzen. NB: gecorrigeerd voor net-efficiëntie van 70%.



Figuur 29 De dichtheid van driedoornige (boven) en tiendoornige stekelbaarzen (onder) in de sloten van Polder Eijerland op Texel uitgezet tegen de slootdiepte (gegevens van 1985, 1996 t/m 1998).

Uit de inventarisaties van 1985 in verschillende polders is gebleken dat alleen lokaal zeer hoge dichtheden kunnen worden aangetroffen. Zo komen in het voorjaar in de geïsoleerde wateren van het reservaat de Bol (c.q. het Binnenzwin) driedoornige stekelbaarzen voor in dichtheden van 30 tot 40 individuen per m² terwijl in kleine kolken van Polder Waal en Burg 15 tot 16 tiendoornige stekelbaarzen per m² voorkomen. Incidenteel zijn in het vroege voorjaar ook in de grotere sloten/kanalen hoge aantallen (honderden) driedoorns gevangen; waarschijnlijk betrof het concentraties driedoorns die van de diepe overwinteringsgebieden naar de ondiepe paaigebieden trokken. In min of meer geïsoleerde sloten die niet of nauwelijks worden geschoond en daardoor rijk zijn aan waterplanten, zijn tiendoorns aangetroffen in dichtheden van ca 10 individuen per m². Daarentegen worden in zeer ondiepe sloten (<10 cm) met veel slib en niet of nauwelijks begroeiing zelden stekelbaarzen aangetroffen.

Naar het zich laat aanzien komen zeer hoge dichtheden (>20 individuen per m²) stekelbaarzen alleen gedurende langere tijd (enkele weken tot maanden) voor in geïsoleerde, diepe (ca 50 cm) grote, vegetatiearme en licht brakke wateren (driedoorns) terwijl hoge dichtheden (10 tot 15 individuen per m²) vooral in sloten/plassen met veel waterplanten en/of kroos voorkomen (tiendoorns).

4.4.3 Stekelbaarzen in de rwzi Everstekeog

In mei en augustus van 1999 is de visfauna in het moerassysteem van rwzi Everstekeog op Texel bemonsterd (Wintermans, 1999). In Tabel 4 en Tabel 5 staan de gegevens over de sloten van het moerassysteem en van de visfauna bemonstering. In de sloten zijn voornamelijk tiendoorns aangetroffen. Alleen in sloot 4, zijn vlak voor de instroomopening vanuit het voorbezinkbassin, tussen de vegetatie (lisdodde) éénmaal driedoorns (10 stuks) gevangen. In het voorbezinkbassin zijn ondanks de hoge vangstinspanning geen vissen gevangen; in dit bassin zaten zeer veel watervlooien.

Tabel 4 Gegevens over de dimensies van het moerassysteem Eversteekooog

Compartiment	Lengte	Breedte (gem.)	Diepte ondiepe deel gemiddeld en maximum		Diepte diepe deel gemiddeld en maximum		Water-oppervlak	Inhoud	Verblijf-tijd
	(m)	(m)	(m)		(m)		(m ²)	(m ³)	(d)
Voorbezink bassin	122	28,5			1,19	(1,62)	3481	4414	
Sloot 1	152	7,0	0,19	(0,22)	0,42	(0,48)	1062	330	0,29
Sloot 2	152	6,4	0,12	(0,12)	0,48	(0,70)	976	306	2,39
Sloot 3	151	6,5	0,15	(0,15)	0,39	(0,48)	977	272	0,75
Sloot 4	151	6,4	0,17	(0,21)	0,33	(0,43)	971	248	0,29
Sloot 5	151	6,3	0,19	(0,21)	0,33	(0,43)	943	250	9,29
Sloot 6	151	6,5	0,15	(0,18)	0,34	(0,48)	975	248	9,29
Sloot 7	152	6,3	0,16	(0,20)	0,33	(0,42)	960	237	2,39
Sloot 8	151	6,4	0,13	(0,13)	0,35	(0,48)	973	240	0,75
Sloot 9 (blanco)	151	6,4	0,09	(0,10)	0,38	(0,52)	962	230	
Afvoersloot	120	7,0			0,43	(0,71)	833	367	

Tabel 5 Gegevens van de visfauna bemonstering in het moerassysteem van de Eversteekooog in mei en augustus 1999. n = aantal bemonsteringen

1999	Mei		Augustus		Opmerkingen
Tiendooorns	dichtheid	n	dichtheid	n	
Voorbezinkbassin	0,0±0,0	10	0,0±0,0	20	Riet; geen vissen; veel watervlooien
Sloot 1	0,5±0,6	5	0,3±0,5	5	Riet; veel slib; weinig waterplanten
Sloot 2	1,0±0,4	4	3,9±3,0	5	Lisdodde; veel waterplanten (Lemna/Riccia) / draadalg
Sloot 3	1,0±0,0	2	0,3±0,5	5	Riet; veel slib; veel Riccia/draadalg
Sloot 4	0,3±0,4	2	0,3±0,3	5	Lisdodde; veel slib; waterplanten (Hoornblad/Waterpest)
Sloot 5	5,8±1,8	6	6,1±4,5	5	Riet; veel waterplanten (Fonteinkruid/Hoornblad/waterpest)
Sloot 6	2,2±1,8	3	6,5±3,9	5	Lisdodde; veel waterplanten (Fonteinkruid/Hoornblad/waterpest)
Sloot 7			0,0±0,0	5	Riet; zeer veel slib; Lemna/Riccia
Sloot 8			1,3±1,6	5	Lisdodde; veel slib; Riccia
Sloot 9 (blanco)			0,4±0,7	5	Geen Riet/Lisdodde; veel slib; waterplanten (Lemna/Riccia)
Afvoersloot	1,1±0,3	4	0,8±0,4	2	Riet; weinig waterplanten

In Figuur 30 en Figuur 31 zijn de resultaten van de bemonstering van de visfauna in de sloten van het moerassysteem van augustus 1999 weergegeven.

De dichtheden van tiendoornige stekelbaarzen in 6 van de 9 sloten liggen in dezelfde orde van grootte als die in de polders wordt waargenomen en varieert van 0,3 tot 1,3 individuen per m². In de sloten met een relatief lange verblijftijd van het water zijn de dichtheden beduidend hoger: 3,9 en 6,1 á 6,5 individuen per m² bij een verblijftijd van resp. 2,7 en 9 á 10 dagen. Dergelijke dichtheden worden in de polders op Texel alleen aangetroffen in min of meer geïsoleerd liggende sloten/plassen die niet of nauwelijks worden geschoond en daardoor rijk zijn aan waterplanten. In deze wateren is over het algemeen de verblijftijd van het water hoog, zodat in dat opzicht de leefomstandigheden vergelijkbaar zijn. Opvallende

zijn de lage dichtheden in de sloten met een verblijftijd van ca 2 dagen ($<0,4$ individuen per m^2), zeker als ze worden vergeleken met de dichtheid in de sloot met een verblijftijd van 2,7 dagen ($3,9$ individuen per m^2). Het betreft sloten met relatief veel slib en weinig waterplanten, wat mogelijk een verklaring vormt voor de lage dichtheden, omdat

1. in sloten met hoge dichtheden relatief weinig slib en veel waterplanten zijn aangetroffen,
2. in de polder in slibrijke ondiepe sloten met weinig waterplanten ook lage dichtheden worden aangetroffen.

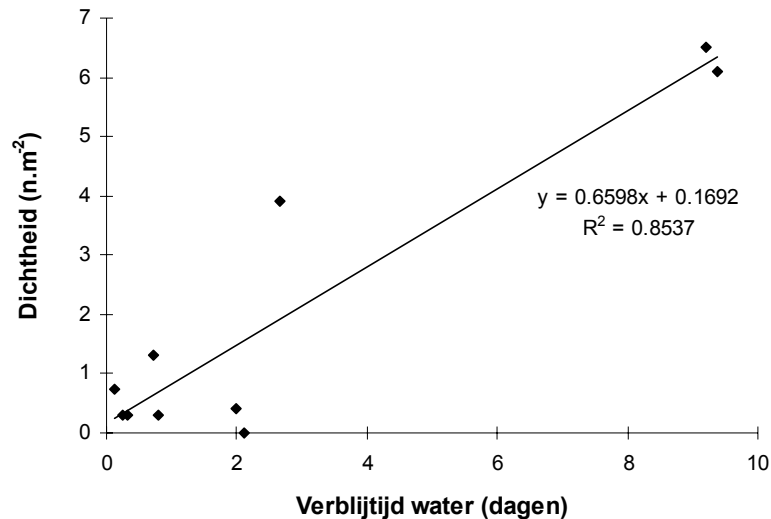
In de sloten blijkt de waterdiepte belangrijk voor de dichtheid van tiendoornige stekelbaarzen, die een voorkeur hebben voor ondiepere sloten. In het moerassysteem van de Eversteakoog lijkt slootdiepte onbelangrijk voor de dichtheden van (tiendoornige) stekelbaarzen, omdat de variatie in diepte te gering is (ca. 20 en ca. 50 cm in respectievelijk de ondiepe met riet beplante delen en het diepere deel met ondergedoken waterplanten).

Het positieve verband tussen verblijftijd van het water en de dichtheid van tiendoorns in de sloten van het rwzi kan samenhangen met één of meer abiotische of biotische parameters. De stroomsnelheid in de sloten is zo laag ($<0,1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) dat niet wordt verwacht dat dit bepalend is voor de dichtheid terwijl de diepte van de sloten groot genoeg is voor hoge dichtheden tot zo'n 15 individuen per m^2 .

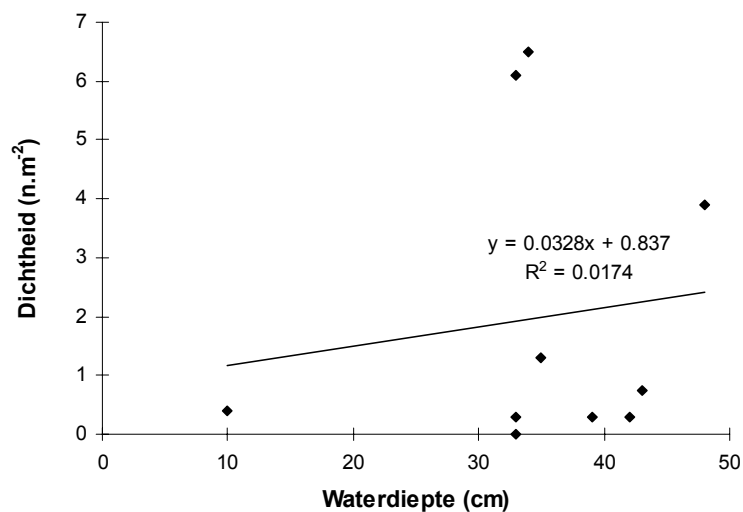
De verblijftijd van het water is positief gecorreleerd aan de mate waarin stikstof (N) uit het systeem wordt verwijderd en zuurstof wordt geproduceerd. Bij een verblijftijd van 9 á 10 dagen zijn zowel het ammonium als het nitraatgehalte aan het einde van het systeem constant laag en ligt het daggemiddelde van zuurstof boven de $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Het fosforgehalte wordt in de sloten niet noemenswaardig verlaagd. Naarmate de verblijftijd in de sloten langer wordt, neemt vooral in het voorjaar ook de troebelheid in het water toe. Het zwevende stof in het moerassysteem heeft een andere samenstelling dan in het effluent van de rwzi. De troebeling in het moeraswater wordt veroorzaakt door fijn organisch plantaardig materiaal en algen (diatomeeën); in het effluent van het rwzi door deeltjes actief slib. De aangetroffen dichtheden zijn dus mogelijk gecorreleerd aan het stikstof- en/of zuurstofgehalte en de troebeling in het water.

Uit de aantekeningen die zijn gemaakt tijdens de bemonsteringen in augustus (Tabel 5, kolom 'opmerkingen') blijkt dat in sloten met 'veel slib' en 'weinig waterplanten' lage dichtheden worden aangetroffen en omgekeerd. De kwalificatie 'veel waterplanten' gaat gepaard met hoge dichtheden, waarbij het niet lijkt uit te maken of het drijvende (*Lemna/Riccia*) of wortelende planten betreft. Eén en ander komt overeen met waarnemingen in de polder waar hoge dichtheden tiendoornige stekelbaarzen zowel in sloten met dikke matten van draadalg worden aangetroffen als in poelen met wortelende waterplanten.

Uit de literatuur (Paepke, 1996) is bekend dat tiendoornige stekelbaarzen in kleine tot zeer kleine wateren met zeer veel waterplanten, een ongunstige (lage) pH, een laag zuurstofgehalte en een sterke omzetting van organisch materiaal goed kunnen overleven. Daarmee vergeleken hebben driedoornige stekelbaarzen een voorkeur voor relatief grote, diepe en open wateren met een hogere pH en zuurstofgehalte.



Figuur 30 De dichtheid van tiendoornige stekelbaarzen in de sloten van het moerassysteem van rwzi Eversteekooog op Texel neemt toe met de verblijftijd van het water in de sloot.



Figuur 31 De dichtheid van tiendoornige stekelbaarzen in de sloten van het moerassysteem van rwzi Eversteekooog op Texel is niet duidelijk gerelateerd aan de slootdiepte.

De gemiddelde lengte en het gemiddelde gewicht van tiendoorns in het moerassysteem van de rwzi bedraagt resp. 35 ± 11 mm en $0,56 \pm 0,42$ g ($n = 38$). Vergeleken met de tiendoorns in de polder zijn de tiendoorns van de rwzi iets kleiner maar ook zwaarder; wat duidt op goede leefomstandigheden (voedselvoorziening en/of waterkwaliteit).

4.4.4 Effecten effluentkwaliteit op stekelbaarzen

Op basis van de bevindingen die beschreven zijn in de voorgaande paragraaf kan geconcludeerd worden dat de voedselsituatie voor stekelbaarzen in het moerassysteem, dat gevoed wordt met effluent van een rwzi (moerassysteem Eversteoog), gunstig is. De dichtheden zijn hoger dan in vergelijkbare sloten in polder Eijerland en de individuen hebben voor hun lengte een relatief hoog gewicht.

Het effluent dat in het moerassysteem wordt geleid passeert echter eerst een voorbezinkvijver, waar de effluentkwaliteit al enigszins verbeterd wordt. In deze voorbezinkvijver van het moerassysteem op Eversteoog zijn geen stekelbaarzen waargenomen na een bemonstering die op dezelfde wijze is uitgevoerd als in de sloten van het moerassysteem waar wel stekelbaarzen werden aangetroffen. Geschikt voedsel is in de zomer aanwezig in de vorm van watervlooien. De daar aangetroffen soort, *Daphnia magna*, is zelfs bijzonder gevoelig voor predatie door vis vanwege zijn grootte en kleur. *Daphnia magna* is tevens een soort die relatief ongevoelig is voor zuurstofarme omstandigheden. Dat lage zuurstofconcentraties voorkomen blijkt tevens uit metingen van het zuurstofgehalte en uit de rode kleur die de watervlooien onder deze omstandigheden aannemen. Het is waarschijnlijk dat lage zuurstofconcentraties, en daarmee gepaard gaande hoge concentraties van nitriet en ammoniak, verantwoordelijk zijn voor de afwezigheid van stekelbaarzen in de voorbezinkvijver van het moerassysteem. Ook door Raat & de Laak (1993) wordt gesteld dat zuurstofloosheid, welke een gevolg kan zijn van onvolledige menging van het effluent met oppervlaktewater, de mogelijke oorzaak kan zijn van effecten op vis(trek).

Hieruit volgt dat alleen “verdund” effluent, met gunstige zuurstofconcentraties en lage concentraties ammonium, geschikt is om stekelbaarzen op te kweken. Het effluent wordt in het moerassysteem van rwzi Eversteoog zeer geschikt gemaakt voor stekelbaarzen, waar hoge biomassa's worden aangetroffen ten opzichte van sloten in polder Eijerland en de dichtheden toenemen met de verblijftijd van het water.

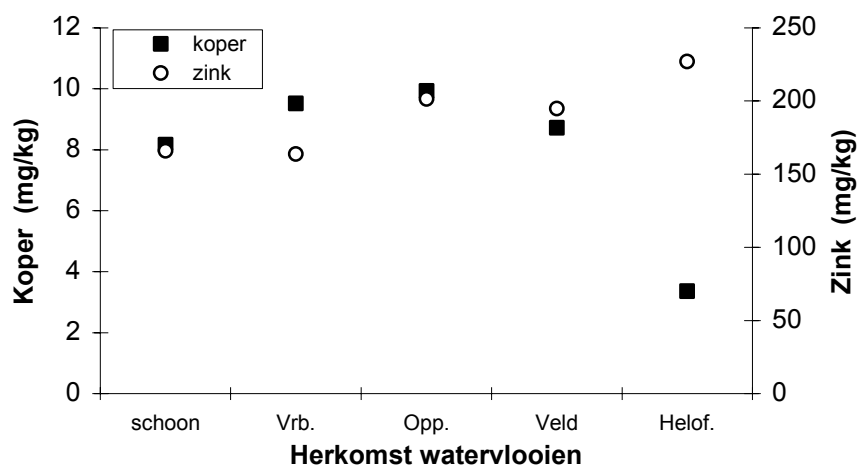
4.4.5 Zijn er risico's voor doorvergiftiging?

Moeilijk afbreekbare stoffen kunnen accumuleren in de voedselketen met als resultaat een verhoogde blootstelling voor de toppredatoren. In onderhavig geval wordt de voedselketen gevormd door: effluent > watervlooien > stekelbaarzen > Lepelaars, en vormen de Lepelaars de toppredatoren.

Aangezien de rwzi's op Texel geen industrieel afvalwater krijgen aangeboden, kan worden aangenomen dat de aanwezigheid van persistente verontreinigende stoffen in het aangeboden afvalwater beperkt zal zijn. De meest waarschijnlijke verontreinigende stoffen zijn oppervlakte actieve stoffen (zeepachtigen) en de metalen koper en zink afkomstig uit respectievelijk koperen waterleidingen en zinken dakgoten. De moderne oppervlakte actieve stoffen zijn niet persistent en worden goed door de rwzi verwijderd. Opgeloste metalen worden slecht door een rwzi verwijderd waardoor deze stoffen nog in het effluent aanwezig kunnen zijn. Koper en zink behoren tot de essentiële elementen (Begon *et al.*, 1990). Dit houdt in dat organismen bij gebrek aan deze stoffen deficiëntieverschijnselen zullen gaan vertonen. Omdat het handhaven van een min of meer constant niveau van essentiële elementen in het lichaam voor een organisme van levensbelang is, kunnen de inwendige concentraties tot op zekere hoogte door de organismen gereguleerd worden. Bij te hoge omgevingsconcentraties faalt deze regulering echter waardoor de inwendige concentraties te hoog kunnen oplopen en een toxische werking krijgen.

Om er zeker van te zijn dat koper en zink bij de voorgestelde biomassa kweek geen risico's voor de Lepelaars zullen gaan opleveren zijn bioaccumulatie experimenten uitgevoerd (Groot, 1998). Hierbij werden stekelbaarzen van een schone veldlokatie gedurende 21 dagen gevoerd met watervlooien afkomstig uit de voorbezinkvijver van de rwzi Eversteekooi, met 'schoon gekweekte' watervlooien en met watervlooien verzameld in schoon oppervlakte water. Na deze blootstellingsperiode werden de vissen gedood en werd het gehalte zink en koper in het lichaam van de dieren geanalyseerd. Dezelfde analyses werden ook uitgevoerd aan stekelbaarzen die waren gevangen in het veld en in het moerassysteem van de rwzi Eversteekooi. Uit de resultaten blijkt dat er geen sprake is van een substantieel verhoogd metaalgehalte bij de vissen die gevoerd zijn met watervlooien uit de voorbezinkvijver of de vissen die gevangen werden in het moerassysteem (Figuur 32). Aangenomen kan dan ook worden dat de Lepelaars niet aan een verhoogde concentratie koper of zink zullen worden blootgesteld indien de biomassa kweek op rwzi effluent wordt gerealiseerd.

Behalve de metalen koper en zink kunnen ook andere toxische stoffen in het effluent aanwezig zijn. Gezien de herkomst van het zuiveringswater, vooral huishoudelijk afvalwater (leidingwater) en neerslag, zal de aanwezigheid van stoffen met de potentie te accumuleren in de voedselketen laag zijn. De huidige in gebruik zijnde oppervlakte actieve stoffen (wasmiddelen) vertonen geen neiging tot ophoping in lichaamsweefsel.



Figuur 32 Koper en zink concentraties in stekelbaarzen met verschillende voedselbronnen/herkomst. Schoon: gevoerd met schoon gekweekte watervlooiën, Vrb: gevoerd met watervlooiën uit voorbezinkvijver rwzi, Opp gevoerd met watervlooiën uit 'schoon' oppervlakte water. Veld: stekelbaarzen afkomstig uit het veld, Helof.: stekelbaarzen afkomstig uit het moerassysteem van rwzi Everstekeog.

4.4.6 Evaluatie kweekmogelijkheden stekelbaarzen

De kweek van stekelbaarzen blijkt goed mogelijk indien aan de randvoorwaarden voor zuurstof (en daaraan gerelateerde parameters) kan worden voldaan. In het sloten van het moerassysteem op Everstekeog worden hoge dichtheden aangetroffen van tiendoornige stekelbaarzen met een relatief hoog gewicht, hetgeen wijst op gunstige groeicondities. De kleine, rijk beplante sloten van het moerassysteem zijn vooral een gunstige omgeving voor tiendoornige stekelbaarzen. Driedoornige stekelbaarzen, welke met de vispassage vanuit zee naar het zoete oppervlaktewater worden binnengeheveld, hebben een voorkeur voor wat grotere wateren. Watervlooiën vormen voor beide soorten een zeer geschikte voedselbron. Voor koper en zink, welke in effluent in verhoogde concentraties kunnen worden aangetroffen, is geen doorvergiftiging waargenomen (vanuit water naar watervlooiën, van watervlooiën naar stekelbaarzen). De kans op andere verontreinigingen die zich ophopen in de voedselketen lijkt laag, maar kan niet worden uitgesloten.

4.5 Potenties en randvoorwaarden Lepelaars

Door Wymenga & Wintermans (in Schutte & den Boer, 1999) zijn een aantal aspecten op een rij gezet die aangeven wat een gebied tot een geschikte foerageerplaats maakt voor Lepelaars. Bij voorkeur wordt gefoerageerd in open en ondiep water, waar makkelijk geland kan worden. De diepte mag niet meer zijn dan 30 cm, zodat de Lepelaars droog blijven en geen kou vatten, en de diepte mag in de directe nabijheid niet sterk toenemen omdat prooidieren dan te gemakkelijk kunnen ontsnappen. Om goed op de bodem te kunnen lopen dient deze vrij vlak en stevig te zijn. Het waterpeil mag niet te veel verschillen tussen de zomer- en de winterperiode. Beplanting met water- en oeverplanten is belangrijk voor het voorkomen van prooidieren, maar mag niet hinderlijk zijn. Bij voorkeur is er een natuurlijke oever waar Lepelaars meer kans hebben een prooi te vangen dan in een kunstmatige oever waar prooidieren in weg kunnen vluchten.

Binnen deze randvoorwaarden blijken Lepelaars voor te komen in verschillende typen watersystemen, variërend van ondiepe sloten, oevers van grotere wateren (hoofdwatergangen, boezemwateren, meren) tot getijdenwateren (Waddenzee).

Tijdens het broedseizoen wordt gefoerageerd tot op een afstand van ca. 40 km vanaf de kolonie. Een kortere afstand van het foerageergebied tot de broedkolonie is gunstiger voor de ontwikkeling van Lepelaars.

4.6 Aandachtspunten voor ontwerp van systeem voor De Cocksdoorp

In paragraaf 4.1 tot en met 4.5 zijn een aantal ecologisch-technische aspecten van de biomassakweek besproken. In deze paragraaf is een samenvatting gemaakt van de randvoorwaarden, knelpunten en aandachtspunten die belangrijk zijn voor het definitieve functionele ontwerp.

4.6.1 Kweek van algen, watervlooien, stekelbaarzen en Lepelaars

In deze sectie worden een aantal aandachtspunten genoemd, waar rekening mee gehouden moet worden bij het ontwerpen van de verschillende deelsystemen van de biomassakweek.

Algen

Voor de ontwikkeling van algen (fytoplankton) in een kweekstelsel zijn de volgende aspecten van belang:

- de hoeveelheid nutriënten die beschikbaar zijn voor groei
- de hoeveelheid licht die beschikbaar is voor groei
- de groeisnelheid van algen
- de reactorconfiguratie (diepte, stroming, e.d.)
- de groeisnelheid ten opzichte van het debiet
- de aanwezigheid van stoffen die de groei remmen
- de aanwezigheid van consumenten die de biomassa verlagen
- de consumeerbaarheid van de snelst groeiende soorten
- de hoeveelheid nutriënten die kan worden verwijderd

Kritisch voor het ontwerp is de hoeveelheid nutriënten (voor de hoeveelheid biomassa die gevormd kan worden) en de verblijftijd (met het oog op eventuele uitspoeling). De verblijftijd dient gelijk of lager te zijn dan de groeisnelheid van algen. Indien de groei afneemt, bijvoorbeeld als gevolg van lichtlimitatie, dan dient de verblijftijd toe te nemen. Aangezien licht een belangrijke sturende factor zal zijn, is de groei in de zomer relatief hoog. Om consumptie van algen door watervlooien te voorkomen dienen predatoren van watervlooien in het algenkweekstelsel aanwezig te zijn, bij voorkeur vis. Om deze reden dient er in het water voldoende zuurstof aanwezig te zijn. Omdat ruw effluent wordt aangevoerd waarin ook onopgeloste deeltjes aanwezig zijn, zal (periodiek) bezonken slib verwijderd moeten worden.

Watervlooien

Voor de ontwikkeling van de kweek van watervlooien (zoöplankton) zijn de volgende aspecten van belang:

- de hoeveelheid geschikt voedsel in de vorm van algen en/of slib
- de groeisnelheid van de populatie
- de concentratie van zuurstof
- de aanwezigheid van stoffen die de groei remmen
- de aanwezigheid van predatoren (vis)
- configuratie van het kweekstelsel (diepte, oppervlak, continue of discontinue verwijdering van slibresten, e.d.)
- het tegengaan van uitspoeling
- de oogstmethode van watervlooien (doorvoer naar stekelbaarzen)
- de hoeveelheid algen die kan worden verwijderd
- de hoeveelheid slib die kan worden verwijderd

Voor watervlooien is de hoeveelheid geschikt voedsel van belang voor de groeisnelheid en de hoeveelheid biomassa die gevormd kan worden. Aangezien de groei van watervlooien laag is dient uitspoeling voorkomen te worden en zal een actief oogststelsel moeten worden toegepast voor verwijdering van watervlooien naar een volgende 'trap'. Omdat het slib slechts ten dele geconsumeerd wordt zal (periodiek) bezonken slib moeten worden verwijderd. Voorkomen moet worden dat predatoren (vis) aanwezig zijn die watervlooien eten.

Stekelbaarzen

Voor de ontwikkeling van de kweek van stekelbaarzen zijn de volgende aspecten van belang:

- de bereikbaarheid en habitatgeschiktheid van het kweekstelsel voor veldpopulaties
- de hoeveelheid geschikt voedsel in de vorm van watervlooiën
- toename van de biomassa van aangelokte stekelbaarzen
- de concentratie van zuurstof
- de aanwezigheid van stoffen die de groei remmen
- de aanwezigheid van predatoren (vogels)
- de hoeveelheid watervlooiën die wordt geconsumeerd

Kritische factoren die van belang zijn, zijn de hoeveelheid voedsel in de vorm van watervlooiën, een voldoende zuurstofconcentratie en de mogelijkheid voor stekelbaarzen om vanuit het oppervlaktewater het systeem te koloniseren.

Lepelaars

Voor Lepelaars zijn de volgende aspecten van belang:

- de habitatgeschiktheid van het kweekstelsel voor foerageren (waterdiepte, omgeving)
- de hoeveelheid geschikt voedsel in de vorm van stekelbaarzen
- hoeveelheid Lepelaars die gevoed kan worden
- eventuele doorvergiftigingsrisico's

Voor Lepelaars geldt dat de hoeveelheid voedsel dermate hoog moet zijn dat de lokatie aantrekkelijk wordt om te bezoeken. Tevens dient de waterdiepte geschikt te zijn om foerageren mogelijk te maken. Er mogen geen kritische concentraties van toxische stoffen met accumulerend vermogen in het voedsel (stekelbaarzen) aanwezig zijn.

4.6.2 Algemene ecologische aandachtspunten voor het ontwerp

Naast de aandachtspunten voor de verschillende deelsystemen, zijn er ook enkele aandachtspunten te onderscheiden die voor het systeem als geheel gelden. Ze zijn samengevat in Tabel 6.

Tabel 6 Ecologisch-technische randvoorwaarden en aandachtspunten (in willekeurige volgorde)

Randvoorwaarde ontwerp:	Toelichting:
Aantal stappen in de voedselketen effluent => Lepelaars zo klein mogelijk	Bij doorgifte van biomassa/ energie naar een hoger trofisch niveau treden verliezen op
Omzettingen moeten in gescheiden compartimenten plaatsvinden, om de stappen efficiënt te laten verlopen	Om ongewenste predatie van algen, watervlooien en stekelbaarzen en daardoor minder efficiënte productie te voorkomen of zelfs het verdwijnen van soorten te voorkomen
Oppervlak kweek compartimenten	Benodigde ruimte is belangrijke factor op Texel, zie hoofdstuk 3.

4.6.3 Knelpunten effluentkwaliteit

Bij het kweken van biomassa op effluent speelt de effluentkwaliteit (eventuele aanwezigheid en concentratie van toxische stoffen) een belangrijke rol. In Tabel 7 is een overzicht gegeven van een aantal waterkwaliteitsparameters in het effluent van De Cocksdorp, in vergelijking tot de tolerantiegrenzen van algen, watervlooien en vissen. Kritische parameters zijn vet gedrukt. Het blijkt dat het maximale chloride-gehalte in het effluent dusdanig hoog kan zijn, dat het schadelijk is voor bepaalde soorten algen. Voor watervlooien wordt de tolerantiegrens niet bereikt. Verder is de concentratie NH_3/NH_4 in het effluent hoog. De concentratie NH_3 lijkt soms dusdanig hoog te zijn (t.o.v. tolerantiegrenzen), dat enige effecten niet uit te sluiten zijn.

Toxische stoffen (zoals zware metalen) zijn niet geanalyseerd in het effluent van De Cocksdorp. Van een aantal zware metalen is de concentratie echter gemeten in de voorbezinkvijver van het moerassysteem Eversteakoog (Schreijer *et al.*, 2000). Deze waarden, zoals weergegeven in Tabel 7, zijn waarschijnlijk niet verschillend van het effluent van rwzi De Cocksdorp. De effluentconcentraties zijn vergeleken met toxiciteitgegevens van het RIVM, die zijn verzameld voor het afleiden van normen. De gegevens voor verschillende waterorganismen betreffen de concentraties waarbij geen effecten zijn aangetroffen. Uit deze vergelijking blijkt dat vooral watervlooien gevoelig zijn voor zware metalen en dat effecten in de eerste plaats verwacht kunnen worden van zink, en in mindere mate van cadmium en koper. Opgemerkt moet worden dat de biologische beschikbaarheid van zware metalen onder andere beïnvloed wordt door de concentratie particulier en opgelost organisch materiaal. Omdat de concentraties hiervan relatief hoog zijn in effluent, is de beschikbaarheid, en daarmee de toxiciteit, lager dan in het water dat in toxiciteitstesten wordt gebruikt. Toxische effecten van zware metalen zijn daarom onwaarschijnlijk.

In Tabel 9 zijn concentraties voor een aantal oppervlakte actieve stoffen in rwzi effluenten gegeven (dus *niet* specifiek voor De Cocksdorp), en vergeleken met tolerantiegrenzen. Door onvolledige zuivering bij overbelasting van een rwzi zouden deze stoffen toch aanwezig kunnen zijn. Uit experimenten met zowel algen

als watervlooiën is gebleken dat de effluentkwaliteit remmend kan zijn voor de groei, wat mogelijk een gevolg is van de aanwezigheid van toxische stoffen. In het effluent van De Cocksdorp, dat minder effectief gezuiverd is dan dat van rwzi Eversteekoog, zijn de effecten duidelijker dan in het effluent van Eversteekoog. In het effluent dat voornamelijk uit huishoudelijk afvalwater bestaat lijken oppervlakte actieve stoffen de meest waarschijnlijke oorzaak van toxische effecten.

Tabel 7 Overzicht van de tolerantiegrenzen van de kweekorganismen en de range van waarden die kenmerkend zijn voor het effluent van De Cocksdorp (minimum, gemiddelde, maximum). De vetgedrukte waarden geven een aandachtspunt aan.

	Tolerantiegrenzen ¹			Effluent De Cocksdorp		
	alg	watervlo	stekelbaars	minimum	gemiddelde	maximum
Debiet (m ³ .dag ⁻¹)	-	-	-	100	550	1500
Temperatuur (°C)	5-30	5-30 ²	1-25			
Zuurstof (mg.l ⁻¹)	niet kritisch	>0,5 ³	>3			
pH (range)	6-10 ⁴	5,5-9 ⁵	7-9	6,7	7,6	8,4
Cl ⁻ (g.l ⁻¹)	<1,2	<3,1 ⁶	niet kritisch	0,1	0,6	1,3
NH ₄ / NH ₃ (mg.l ⁻¹)				0,02	2,9	68
NH ₃ (mg.l ⁻¹)	<2,4	<2 ⁷	<2 ⁷	<0,01	0,21	5,0
NH ₄ (mg.l ⁻¹)	<45	<100				
NO ₂ (mg.l ⁻¹)	<500	<48 ⁵		0,1	0,5	8,0

1: Tolerantiegrenzen zijn drempelwaarden waarboven of -onder effecten optreden op een organisme (bijvoorbeeld op de groei, reproductie of overleving)

2 Optimum 15-25°C, Hathaway & Stefan, 1995

3 Hathaway & Stefan, 1995; optimum >2 mg.l⁻¹

4 Optimum =8

5 STOWA Ecotoxicologische risicobeoordeling van waterbodems, 1997

6 Grootelaar & Maas -Diepeveen, 1988

7 Hanazato, 1996; Grootelaar & Maas -Diepeveen, 1988 gebaseerd op NH₃. NH₄ is veel minder toxisch. Bij pH 8 is % NH₃=1.25 (5°C) tot 7.4 (30°C)

Tabel 8 Gehalten van een aantal zware metalen in de voorbezinkvijver van het moerassysteem Eversteekoog (20 metingen), Schreijer et al., 2000) en tolerantiegrenzen voor algen, watervlooiën en stekelbaars (Crommentuijn et al., 1997). Alle waarden in µg.l⁻¹.

Metaal	tolerantiegrens alg ¹	tolerantiegrens watervlo	tolerantiegrens stekelbaars ³	Concentratie in effluent rwzi Eversteekoog Gemiddeld en mediaan	
Koper	27.3	8.2	14.4	1.8	2.0
Zink	208	37	163	28	26
Cadmium	40	0.86	5.6	0.24	0.1
Nikkel	3600	90 ²	200	3.3	3.0

¹) Geometrisch gemiddelde voor verschillende algensoorten

²) Geometrisch gemiddelde voor een kreeftachtige (geen watervlo)

³) Geometrisch gemiddelde voor verschillende vissoorten

Tabel 9 Overzicht van de range aan concentraties van een aantal toxische stoffen in rwzi-effluent (gemiddelde, NIET van De Cocksdorp) in relatie tot de tolerantiegrenzen van algen, watervlooien en vissen voor deze stoffen. De vetgedrukte waarden geven een aandachtspunt aan.

Stof	tolerantiegrens alg	tolerantiegrens watervlo	tolerantiegrens stekelbaars	Concentratie in effluent rwzi
LAS (mg.l ⁻¹) ²	2,31	1,31	0,57	0,019 - 0,071 ³
AE (mg.l ⁻¹) ²	0,85	0,35	0,49	0,002 - 0,013 ³
EAS (mg.l ⁻¹) ²	4,22	0,27	1,02	0,003 - 0,012 ³
Zeep (mg.l ⁻¹) ²	10	10	-	0,091 - 0,365 ³

1 STOWA Ecotoxicologische risicobeoordeling van waterbodems, 1997

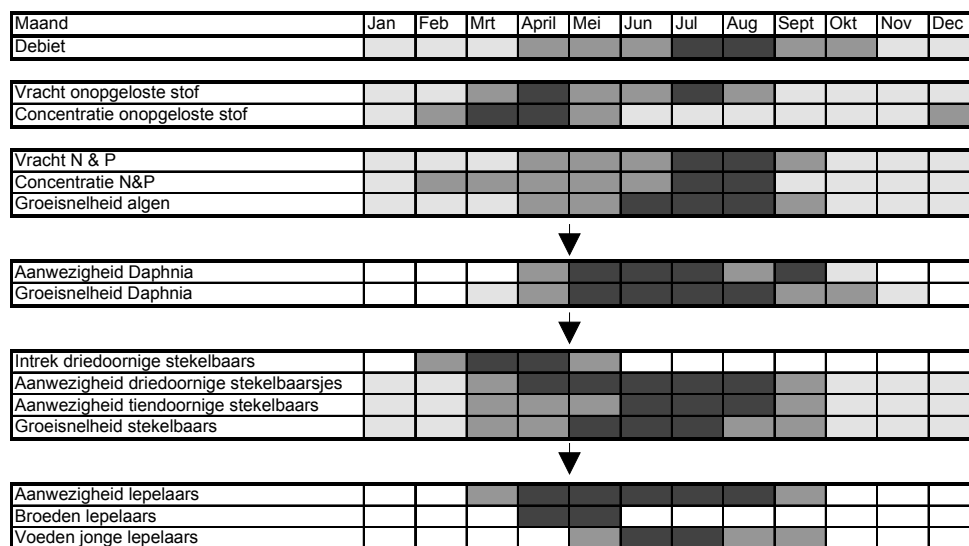
2 Laagste geometrische gemiddelde NOECs, Feijtel & vd Plassche, 1995

3 minima en maxima van 7 stedelijke rwzi's (buiten Texel), Feijtel & vd Plassche, 1995

4.6.4 Dynamische aspecten

De hoeveelheid en de kwaliteit van het effluent zijn afhankelijk van de tijd van het jaar. Ook de groei van watervlooien, stekelbaarzen en Lepelaars is zeer sterk seizoensafhankelijk. Daarom is het bij het ontwerpen van een geschikt biomassakweekstelsel van het grootste belang om de dynamiek (het verloop in de tijd) erbij te betrekken. In Figuur 33 is de dynamiek grafisch weergegeven.

Dynamische aspecten voedselketen



Figuur 33 Dynamische aspecten van biomassakweek. In de figuur is aangegeven in welke tijd van het jaar bepaalde processen, vrachten of stromen intensief zijn (donkere arcering) of niet intensief zijn (lichte arcering). Het betreft de relatieve intensiteit; het is niet mogelijk om op basis van deze figuur bijvoorbeeld de vrachten onopgeloste stof en P te vergelijken.

De tabel geeft kwalitatief aan in welke periode de verschillende processen van relatief groot belang zijn ten opzichte van andere perioden. Door het hoge debiet in de zomerperiode is de vracht aan onopgeloste stof (actief slib) en nutriënten (N, P) relatief hoog. Dit is tevens de periode dat lichtcondities gunstig zijn voor de groei van algen (daglengte, lichtintensiteit) en de groei en aanwezigheid van watervlooien. De intrek van driedoornige stekelbaarzen vindt vooral in het voorjaar plaats, waardoor hoge dichtheden worden opgebouwd, mede door reproductie in het zoete oppervlaktewater. Tiendoornige stekelbaarzen komen alleen voor in het zoete water, en de aanwas van de populatie treedt alleen op als gevolg van reproductie. De groei van stekelbaarzen is vooral in de zomerperiode hoog, vanwege de hogere temperaturen en de hogere voedselbeschikbaarheid (o.a. watervlooien).

Of de processen goed op elkaar aansluiten is afhankelijk van de kwantiteit van de (potentiële) productie. Zo zou de hoeveelheid nutriënten reeds in het voorjaar voldoende kunnen zijn om algen te kweken voor watervlooien en zou de hoeveelheid watervlooien vroeg in het voorjaar al voldoende kunnen zijn om de aanwezige en binnentrekkende stekelbaarzen te voeden.

Cruciaal in het concept is de periode waarin Lepelaars broeden en de jongen voeden. In deze periode, tussen april en juli, dient op korte afstand van de broedlocatie voldoende voedsel aanwezig te zijn in geschikte foerageergebieden.

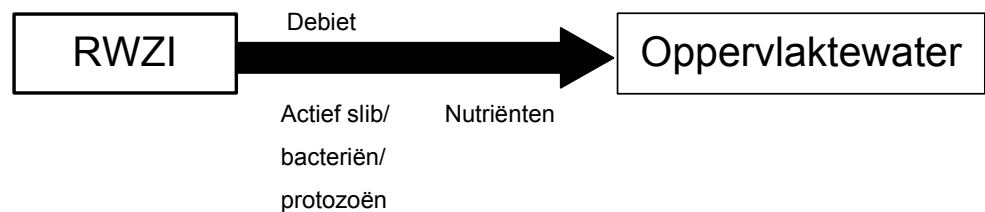
5. Varianten ecologische nazuivering en biomassakweek De Cocksdoorp

Er zijn verschillende mogelijkheden om het effluent van rwzi De Cocksdoorp te behandelen voor het geloosd wordt. Allereerst wordt een korte schets gegeven van de huidige situatie bij rwzi De Cocksdoorp en rwzi Everstekeoog. Daarna worden per kweekcompartiment de mogelijkheden, rendement en haalbaarheid ingeschat. Bij deze afweging dient rekening gehouden te worden met de afgelegen ligging van rwzi De Cocksdoorp. Bovendien is deze niet bemand, waardoor de kwetsbaarheid groot is. Hierdoor bestaat er een voorkeur voor een zo natuurlijk mogelijk systeem. Op basis van de beoordeling wordt een keuze voor een functioneel voorontwerp gemaakt.

5.1 Huidige situatie Cocksdoorp

In de huidige situatie wordt het effluent van rwzi De Cocksdoorp rechtstreeks geloosd op het oppervlaktewater (Figuur 34). Als gevolg van de aanwezigheid van onopgeloste bestanddelen (slib) en opgeloste gereduceerde verbindingen (bv. NH_4) heeft het effluent in perioden van overbelasting hoge COD-waarden, waardoor zuurstof aan het oppervlaktewater wordt onttrokken. Ook bevat het effluent nutriënten (fosfaat, stikstof) die een eutrofiërend effect veroorzaken in het ontvangende water, waardoor ongewenst hoge dichtheden van algen kunnen ontstaan.

Uit resultaten van verkennende experimenten is tevens gebleken dat de kwaliteit van het effluent remmend kan zijn voor de ontwikkeling van algen en watervlooien. De concentraties van de metalen koper en zink zijn gering, mogelijk dragen detergents bij aan de waargenomen negatieve effecten..



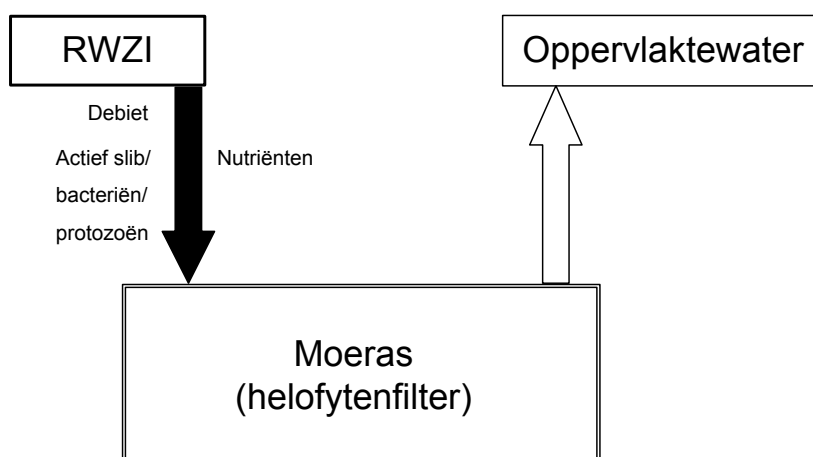
Figuur 34 In de huidige situatie wordt het effluent van rwzi De Cocksdoorp rechtstreeks geloosd op het oppervlaktewater waardoor waterkwaliteitsproblemen ontstaan.

Een groot voordeel van de huidige situatie is het geringe ruimtebeslag en het geringe onderhoud dat nodig is. Bij uitbreiding van de capaciteit van de rwzi (oxidatiesloot) wordt een deel van de huidige milieubezwaren weggenomen. De

waterkwaliteit blijft echter sterk afwijken van die van het ontvangende water en is ecologisch gezien van weinig waarde.

5.2 Huidige situatie Eversteekoog

Een manier om de waterkwaliteit van het effluent van een rwzi te verbeteren vormt nazuivering met behulp van een geconstrueerd moerassysteem (Figuur 35). Een voorbeeld hiervan is het moerassysteem van rwzi Eversteekoog op Texel. Met deze nazuivering wordt bereikt dat het zuurstofgehalte toeneemt, slib en E.coli bacteriën worden verwijderd en nutriënten uit het effluent verdwijnen door opname in plantenmateriaal of, in het geval van stikstof, door denitrificatie.



Figuur 35 In de huidige situatie op Eversteekoog wordt het effluent van de rwzi effectief nagezuiverd in een moerassysteem waarin de basiselementen voor een kweekstelsel aanwezig zijn (slibconsumptie door watervlooien, aanwezigheid stekelbaarzen in moerascompartiment). Het systeem is niet ingericht om deze processen optimaal te laten verlopen.

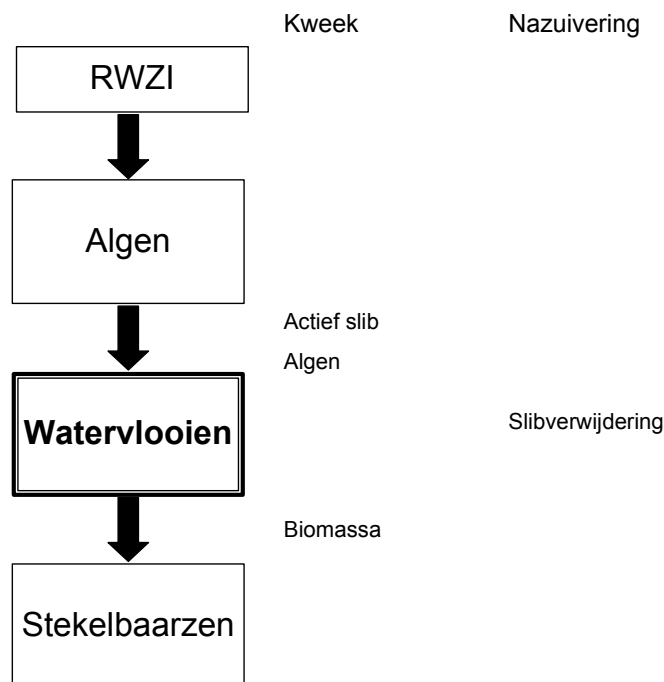
Hoewel de waterkwaliteit van het effluent aanzienlijk wordt verbeterd en van een ecologische kwaliteit is die vergelijkbaar is met die van oppervlaktewater, wordt geen optimaal gebruik gemaakt van de potenties van effluent als bron van voedingsstoffen. Met andere woorden, de mogelijkheid om het effluent te gebruiken voor de productie van organismen blijft onbenut. Wel blijkt uit het systeem op Eversteekoog dat watervlooien zich goed kunnen ontwikkelen in de voorbezinkvijver van het moerassysteem, waarbij de watervlooien zich naar alle waarschijnlijkheid voeden met actief slib en niet door vissen gepreedeerd worden vanwege de ongunstige zuurstof (en ammonia) condities voor vis. In het moerassysteem zijn bovendien stekelbaarzen aangetroffen. Dit toont aan dat er een potentie is voor een kweekstelsel dat gevoed wordt met effluent. Het kweken van organismen kan worden geoptimaliseerd door de inrichting van het moerassysteem daarop af te stemmen.

Ten opzichte van de huidige situatie wordt door een moerassysteem extra beslag gelegd op ruimte (ca. 1 ha). Het systeem is verder relatief onderhoudsintensief. Bovendien hebben moerassystemen reeds bewezen goed te kunnen functioneren. Er zijn geen onzekerheden ten aanzien van de kennis die benodigd is voor eventuele aanleg.

5.3 Watervlooien kweekstelsel

5.3.1 Doel, functie en nut van het systeem

Het belangrijkste doel van het watervlooien kweekstelsel is het produceren van voedsel voor stekelbaarzen (Figuur 36). Daarnaast kan slib verwijderd worden dat als zwevend stof in het effluent aanwezig is. Het slib is voedselbron voor de watervlooien en deels gebruikt voor groei en deels als energiebron. Theoretisch kan een groot deel, mogelijk zelfs 50% van de slibproductie door watervlooien worden omgezet. Indien ook algen als voedselbron worden gebruikt worden tevens nutriënten vastgelegd in de biomassa van watervlooien. Zoals dat ook geldt voor slib, zal de door de algen vastgelegde biomassa worden gebruikt voor groei en respiratie. Tijdens het verblijf van het water in het kweekstelsel zal de zuurstofconcentratie iets toenemen. De consumptie van slibdeeltjes door watervlooien zal verdergaande desinfectie tot gevolg hebben.



Figuur 36 Positie van het watervlooien compartiment in het kweek- en nazuiveringsproces. Actief slib en algen kunnen worden geconsumeerd en de productie komt als biomassa beschikbaar voor stekelbaarzen.

5.3.2 Principe en werking

Het kweekstelsel lijkt het best als een doorstroomstelsel te kunnen worden opgezet, waarbij uitspoeling van watervlooiën zoveel mogelijk moet worden voorkomen. Dit is technisch oplosbaar door het toepassen van een lage doorstroomsnelheid (5 dagen bij een reproductiesnelheid van 0,2 per dag) of een actieve oogstmethode. Voor een debiet van 1000 m³ per dag zou een volume van 5000 m³ nodig zijn voor het instellen van een relevante doorstroomsnelheid in het kweekstelsel, waarbij de dichtheid van watervlooiën zeer laag zou zijn. Dit lijkt daarom geen geschikte optie. Een actief oogststelsel lijkt daarom een betere oplossing. Dit zou bijvoorbeeld kunnen bestaan uit een (trommel)zeef (maaswijdte > 1 mm), of uit een stelsel waarin watervlooiën door een lichtbron aangetrokken worden.

Het meest geschikt lijkt een constructie van één of enkele meters diep, waarin voldoende menging plaatsvindt om zwevende slibdeeltjes en/of algen tot ca. 50 µm doorsnede in suspensie te houden, en waarin grotere deeltjes uitzakken en uit het stelsel verwijderd kunnen worden. Indien discontinue verwijdering nodig is dan zijn twee of meer parallelle systemen vereist, omdat een hoge dichtheid moet worden aangehouden vanwege de lage vermeerderingssnelheid van watervlooiënpopulaties (ca. 0,2 dag⁻¹).

5.3.3 Schatting van de opbrengst en uitvoering

De dimensies van het stelsel kunnen ingericht worden op basis van een minimum en een maximum voedselaanbod waarvoor de volgende aannames gelden:

Minimumoptie:

Alleen slib dat aanwezig is in het huidige effluent wordt gebruikt als voedselbron voor watervlooiën.

Het gehalte aan actieve slibdeeltjes (onopgeloste stof) in het huidige effluent bedraagt ca. 5 mg droge stof per liter, maar varieert over het jaar. Vanwege het hogere debiet in de zomermaanden is de vracht aan onopgelost materiaal in deze periode het hoogst, bijna 5 kg droge stof per dag.

Maximumoptie:

Slib vanuit de oxidatiesloot wordt actief toegevoegd om de kweek van watervlooiën te stimuleren.

Uitgaande van een debiet van 1000 m³ (zomersituatie) en een hoeveelheid van 300 mg geproduceerd slib per liter rioolwater is de maximum hoeveelheid slib die op een dag geproduceerd wordt en geoogst kan worden 300 kg slib (droge stof) per dag.

Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- een voedselconversie van 10% watervlo-biomassa per eenheid slib (droge stof),
- een assimilatie-efficiëntie van 30%,
- en een groeisnelheid (biomassa toename) van $0,2 \cdot \text{dag}^{-1}$

Dit leidt tot een theoretische watervlooiënproductie van 0,026 kg drooggewicht watervlo per dag (ofwel 50.000 exemplaren) als gekweekt wordt op alleen zwevend stof in het effluent (minimum optie). Dit kan veel hoger zijn door de toevoeging van slib (maximum optie), namelijk 1,5 kg droog gewicht watervlo per dag (ofwel 3.000.000 exemplaren).

Uitgaande van een gewicht van 0,5 mg per watervlo en een dichtheid van 1000 individuen per liter is het benodigde volume van de kweek 5,2 tot 300 m³ voor respectievelijk de minimum optie (1) en de maximum optie (2).

Indien gekozen wordt van een ronde bak of vijver met een diepte van 2 meter dan zal de diameter variëren van 1,7 tot 14 meter.

5.3.4 Onzekerheden

De belangrijkste onzekerheden die bestaan voor het slagen van een watervlooiënkweek betreffen:

- De continuïteit van een watervlooiënkweekstelsel. Dat wil zeggen de fluctuaties als gevolg van de eigenschappen van de watervlooiënpopulatie zelf, als gevolg van een wisselend voedselaanbod en temperatuursvariaties.
- De oogstmethode van watervlooiën. Door het tegengaan van uitspoeling kan het volume van het kweekstelsel beperkt blijven, maar dienen de watervlooiën actief afgevoerd te worden naar het compartiment met stekelbaarzen. Uitgezocht dient te worden hoe dit technisch gerealiseerd kan worden.
- Het restant aan actief slib dat niet geconsumeerd wordt. Het is niet duidelijk welk effect dit kan hebben op het functioneren van het kweekstelsel en of, en hoe, dit slib afgevoerd kan worden (bezinken of in suspensie).
- De effecten van toxische stoffen. Hoewel de kweek goed verloopt zouden bij hoge belasting met slib ook onvolledig afgebroken stoffen mee kunnen komen die giftig zijn en de groei remmen.

5.3.5 Kostenposten

De investeringskosten betreffen de aanleg van een kweekbassin en technische middelen om een regelmatige oogst mogelijk te maken. Daarnaast zullen sensoren voor het monitoren van bepaalde stuurvariabelen geïnstalleerd moeten worden ter controle van de abiotische condities (zuurstof, pH, temperatuur).

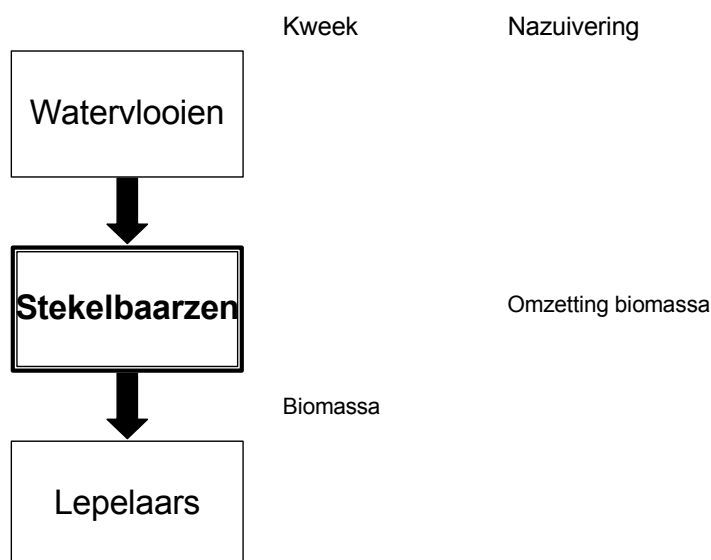
De exploitatiekosten worden vooral bepaald door de hoeveelheid tijd die in het beheer van het systeem gestoken moet worden. Deze is mede afhankelijk van het te

ontwikkelen oogststelsel en de wijze waarop slib uit het stelsel moet worden afgevoerd.

5.4 Kweekstelsel voor stekelbaarzen

5.4.1 Doel, functie en nut van het stelsel

Het doel van de kweek van stekelbaarzen is om de productie van watervlooiën om te zetten in stekelbaarzen die als voedsel dienen voor Lepelaars (Figuur 37). Afhankelijk van het type stelsel dat toegepast wordt zal ook een zekere nazuivering plaats kunnen vinden van nutriënten en (darm)bacteriën.



Figuur 37 Positie van het stekelbaarzen compartiment in het kweek- en nazuiveringsproces. Watervlooiën worden geconsumeerd en de productie komt als biomassa beschikbaar voor Lepelaars.

5.4.2 Principe, werking en uitvoering

Het stekelbaarzencompartiment moet kunnen voldoen als leefgebied van stekelbaarzen, waarbij gevoerd kan worden op watervlooiën en predatie wel mogelijk maar niet volledig is. Gezien de dichtheden die in de sloten van het moerassysteem op Eversteekog zijn aangetroffen lijkt het een goede optie om de stekelbaarzen in een moerassysteem te houden en vanuit het oppervlaktewater aan te trekken. Het moerassysteem zou aantrekkelijk gemaakt worden voor stekelbaarzen door het hoge voedselaanbod in de vorm van watervlooiën. Indien het water uit het moerassysteem via een vispassage-constructie op het oppervlaktewater wordt geloosd, dan wordt het mogelijk voor stekelbaarzen uit de omgeving, zoals die welke via de vishevelpassage het gebied binnen komen, het moerassysteem binnen te komen. Op deze wijze is het stelsel niet afhankelijk van

reproductie, welke bij stekelbaarzen geconcentreerd is rond één periode, maar kan efficiënt biomassa worden opgebouwd door (sub)adulte exemplaren.

Een groot voordeel van het gebruik van een moerassysteem boven een kunstmatige constructie is dat het systeem natuurlijk is en geen extra onderhoud behoeft. Predatie kan in toom worden gehouden door een deel van het moeras ongeschikt te maken voor predatie door Lepelaars, door het dieper dan de voor Lepelaars vereiste maximum diepte van 30 cm te maken. Daarnaast zijn in een natuurlijk systeem schuilmogelijkheden aanwezig in de vorm van oever- en waterplanten.

In het moerassysteem zelf vindt ook productie plaats van stekelbaarzen, zo blijkt uit de stekelbaarsdichtheden in de sloten van het moerassysteem van Everstekeog. Deze stekelbaarzen voeden zich waarschijnlijk met ongewervelden (kreeftjes, insectenlarven), welke waarschijnlijk onder meer eten van de algen die zich ontwikkelen op water- en/of oeverplanten (rietstengels). Deze algen maken gebruik van de nutriënten die vanuit het effluent worden aangevoerd.

5.4.3 Schatting van de opbrengst

Het systeem wordt niet afhankelijk gemaakt van de voortplanting van stekelbaarzen, maar maakt gebruik van stekelbaarzen die vanuit het oppervlaktewater worden aangetrokken en in het kweekstelsel toenemen in gewicht. Daarnaast kan het moerassysteem ook dienen als “broedkamer” van stekelbaarzen die met de vispassage binnengekomen zijn, waardoor er ook later in het seizoen jonge stekelbaarsjes zijn.

De gewichtstoename van de aangetrokken individuen kan berekend worden uit de groeisnelheid van stekelbaarzen en de hoeveelheid voedsel die daarvoor moet worden opgenomen. Uitgaande van een gemiddeld gewicht van stekelbaarzen van 0,5 gram (natgewicht) per individu, een consumptie van 0,1 gram watervlooien (natgewicht) per dag en een groeisnelheid van 1% per dag kan worden berekend dat per kg watervlooien ongeveer 50 gram stekelbaarsbiomassa kan worden geproduceerd.

Uitgaande van de ‘maximale’ watervlooien productie van 1,5 kg (drooggewicht) per dag en een drooggewichtpercentage van 10% van het natgewicht betekent dat ca. 7,5 kg stekelbaarzen per dag. Dit is voldoende voor het onderhouden van ongeveer 20 à 30 Lepelaars. Hierbij is de productiviteit van het moerassysteem zelf, dus onafhankelijk van de watervlooienkweek, niet in beschouwing genomen.

5.4.4 Onzekerheden

Onzekerheden vormen de bereikbaarheid van een moerassysteem voor de stekelbaarzen die vanuit de omgeving dienen te worden aangetrokken en eventuele ophoping van giftige stoffen in de voedselketen. Voor dit laatste probleem geldt echter dat nog niet duidelijk is naar welke stoffen gezocht zou moeten worden,

omdat de kennis hierover onvoldoende is en niet binnen dit onderzoek opgelost kan worden.

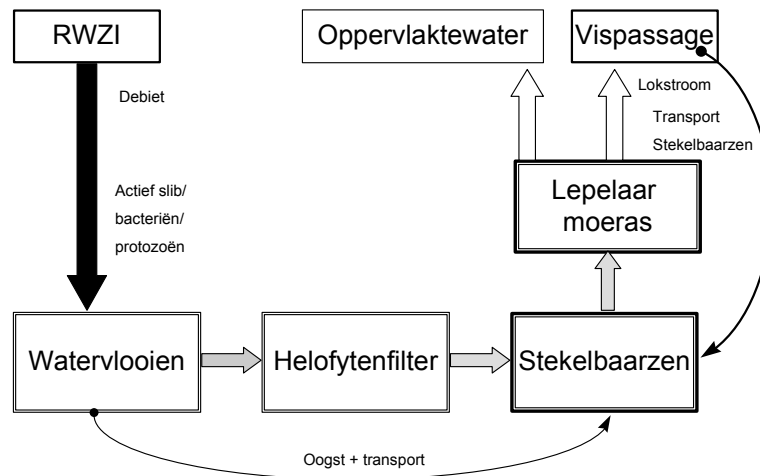
Daarnaast is het mogelijk dat naast Lepelaars ook andere predatoren gebruik maken van het stekelbaarzenaanbod. Dit zouden roofvissen kunnen zijn en visetende vogels.

5.4.5 Haalbaarheid

Aan de kweek van stekelbaarzen in een natuurlijk moerassysteem zijn nauwelijks extra kosten verbonden. De enige extra kostenpost ten opzichte van een conventioneel moerassysteem betreft de aanleg van een vistrap, die ervoor moet zorgen dat het moerassysteem toegankelijk is voor stekelbaarzen uit het omringende oppervlaktewater.

5.5 Integratie: functioneel ontwerp

Aangezien het uiteindelijke doel is zowel het effluent na te zuiveren als biomassa op te kweken, is voorgesteld de interacties tussen organismen waar nodig uit te sluiten door de verschillende stappen in de voedselketen fysiek te scheiden, zie Figuur 38. Hierdoor wordt voorkomen dat een bepaalde stap (biomassa) volledig wordt uitgeput, waardoor de totale productie afneemt. Oftewel, als de biomassa laag is, wordt de totale hoeveelheid extra biomassa die geproduceerd wordt minder dan wanneer er veel biomassa aanwezig is.



Figuur 38 Het functionele ontwerp voor het kweken van organismen en het nazuiveren van effluent van rwzi De Cocksdoorp, op basis van een compartiment waarin watervlooiën worden opgekweekt op actief slib en stekelbaarzen die opgroeien in een moerassysteem.

Omdat in het systeem een moeras is opgenomen kan dezelfde kwaliteitsverbetering van het effluent worden behaald als wordt gerealiseerd met het moerassysteem van Eversteekoog. De in het effluent van de rwzi aanwezige onopgeloste stof (slib) wordt in het systeem voor een aanzienlijk deel (tot maximaal ongeveer de helft) gereduceerd in het watervlooiën-compartiment. Hierdoor zal niet al het slib dat in het effluent aanwezig is in het moerassysteem bezinken, wat het geval zal zijn bij afwezigheid van een zooplankton kweekcompartiment. Onzeker is nog hoe het slib dat in het zooplankton kweekstelsel niet wordt geconsumeerd kan worden verwijderd zonder verstoring van de watervlooiënpopulatie.

In het systeem zijn stekelbaarzen opgenomen in het moerassysteem. Omdat stekelbaarzen gevoelig zijn voor lage zuurstofconcentraties is het zinvol om de watervlooiën op een andere plaats in het moerassysteem te introduceren dan het (zuurstofarme) water uit het watervlooiëncompartiment.

Bemonsteringen in de sloten van het moerassysteem van Eversteekoog tonen aan dat deze een zeer geschikte leefomgeving vormen voor stekelbaarzen. Predatie door Lepelaars kan worden voorkomen door een deel van het moeras ongeschikt te maken als foerageergebied door het dieper te maken dan 30 cm. Onzeker is of, en eventueel hoe, predatie door andere vogel- of vissoorten voorkomen kan worden. De uiteindelijke inrichting, zoals diepte, gebruik van waterplanten en oeverbeplanting, kan worden aangepast om het systeem voor bepaalde predatoren onaantrekkelijk te maken. Door een slimme verbinding van de afvoer van water uit het moerassysteem, bijvoorbeeld door een ontwerp als vistrap, zou transport van stekelbaarzen naar het moerassysteem mogelijk gemaakt kunnen worden. Gunstige voedselomstandigheden zouden dit transport aantrekkelijk moeten maken.

Het ruimtebeslag zal niet wezenlijk verschillen van die van een conventioneel moerassysteem. Wel wordt er door toename van de complexiteit van het systeem extra onderhoud verwacht en blijven er een aantal onzekerheden omtrent het functioneren van het systeem. In de eerste plaats is het de vraag hoe het zooplankton zal reageren op een wisselend aanbod van slib en hoe de resthoeveelheid slib die niet meer consumeerbaar is kan worden verwijderd uit het systeem, zonder het zooplankton te beïnvloeden. De effluentkwaliteit kan enigszins remmend zijn voor het functioneren. Uitgezocht moet worden hoe en hoeveel zoöplankton op grote schaal uit het systeem geoogst kan worden.

6. Conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

6.1 Beleidsmatige haalbaarheid van ecologische nazuivering

De in dit rapport beschreven ecologische nazuivering van afvalwater lijkt goed te passen in landelijk, provinciaal en lokaal water- en natuurbeleid. Het concept zal leiden tot een verbetering van de ecologische kwaliteit van het effluent, en geeft de mogelijkheid om geproduceerd slib te verwerken via een biologisch kweekstelsel. Door de productie van achtereenvolgens watervlooiën en stekelbaarzen wordt de voedseltoestand van de Lepelaar op Texel verbeterd.

Het verbeteren van de voedseltoestand van de Lepelaar is gewenst vanuit het oogpunt van het natuurbeleid. De Lepelaar is in 1985 opgenomen in de “Nationale lijst van met uitsterven bedreigde en speciaal gevaar lopende soorten”, wat betekent dat bescherming van de soort specifieke aandacht heeft. De Lepelaar is ook opgenomen als zeldzame en bedreigde diersoort in de Noord-Hollandse provinciale verordening “Fonds natuur- en landschapsbescherming”. Als de situatie voor de Lepelaar verbeterd, is dus bijgedragen aan de uitvoering van het nationaal en provinciaal natuurbeleid.

Ook de nazuivering van rwzi-effluent is beleidsmatig gewenst. Het voorkomen van emissies naar oppervlaktewater past goed in het nationaal (NW4) en regionaal (WBP2) beleid. De nazuivering maakt het eenvoudiger om aan de effluent-normen voor de rwzi te voldoen. Deze zijn op dit moment nog niet beschikbaar, maar aangenomen mag worden dat voor toxische stoffen in principe aan de MTR voldaan moet worden, en dat de normen voor pH, BZV, onopgeloste stof en kjeldahl-N gelijk aan of lager dan de huidige effluent-normen zullen zijn. Vooral de concentratie BZV en onopgeloste stof zullen door de (extra) ecologische nazuiveringsstap worden gereduceerd.

Het nagezuiverde water is, meer dan het niet nagezuiverde effluent, geschikt voor functies zoals landbouw, natuur en lokstroom in de vispassage. Dit is een belangrijk voordeel, omdat zoet water op Texel schaars is. Het gebruik van het effluent voor nieuwe toepassingen past goed in het gedachtegoed van meervoudig ruimtegebruik, dat door USHN als uitgangspunt wordt gehanteerd (WBP2). Het grootste deel van het eiland Texel heeft de hoofdfunctie agrarisch; de Roggesloot de hoofdfunctie natuur.

Verdroging is een belangrijk aandachtspunt in het landelijk beleid (NW4), maar op Texel is het één van de belangrijkste milieuproblemen. Het wordt daarom ook uitgebreid behandeld in het Provinciaal Waterhuishoudingsplan, het waterbeheersplan van de waterschappen in Hollands Noorderkwartier, en het Masterplan Water Texel. Het verbeteren van de kwaliteit van effluent past goed in de strijd tegen de verdroging, omdat het water voor meerdere functies geschikt wordt. Het gebruik van het nagezuiverde effluent als lokstroom voor de vispassage

zal tot discussie leiden, omdat hierdoor waardevol zoet water voor andere functies verloren gaat. Het effluent speelt echter in de waterbalans van de polder Eijerland slechts een zeer kleine rol.

Naast het watertekort is de schaarse ruimte op Texel een tweede knelpunt. Dit betekent dat de haalbaarheid van nazuiveringssystemen die een zeer groot beslag op oppervlak doen, gering is. Hiermee is in het functioneel ontwerp rekening gehouden.

Een laatste beleidsmatig aandachtspunt is dat in het Masterplan Water Texel expliciet gestreefd wordt naar een voorbeeldfunctie op het gebied van duurzaam en integraal waterbeheer. Het combineren van ecologische nazuivering van effluent met het verbeteren van de voedseltoestand van de Lepelaar, een beschermde diersoort met een hoge “aaibaarheidsfactor”, past hier uitstekend in.

6.2 Duurzaamheid

Aan het ontwerp liggen een aantal principes ten grondslag, die er voor zorgen dat het geheel een duurzaam karakter heeft. Omdat dit een belangrijke beweegreden is voor implementatie van het concept, worden deze principes hier nog eens samengevat.

Nuttige biomassa uit afvalstoffen

In het voorgestelde ontwerp wordt organisch afval omgezet in nuttig organisch materiaal. Afvalstoffen in het effluent (gesuspendeerd organisch materiaal, actief slib deeltjes uit de rwzi) worden door de watervlooien uit het water gefilterd en in biomassa omgezet. De biomassa (watervlooien) wordt gebruikt als basis voor een voedselketen (in dit geval watervlo → stekelbaars → Lepelaar). Ook surplus-slib kan gebruikt worden als voedsel voor de watervlooien. Dat betekent dat er eigenlijk sprake is van nuttig “hergebruik” van afvalstoffen.

Nazuivering van effluent

Verwijdering van zwevend stof zal leiden tot een betere effluentkwaliteit, waardoor waarschijnlijk de effluentnorm voor onopgeloste stof makkelijker te halen is. Verder zal verwijdering van organisch materiaal uit het effluent ertoe leiden dat het biologisch zuurstof verbruik van het water in de moerassysteem lager is, waardoor een groter deel van het helofytenmoeras geschikt is voor de stekelbaars.

Habitatontwikkeling

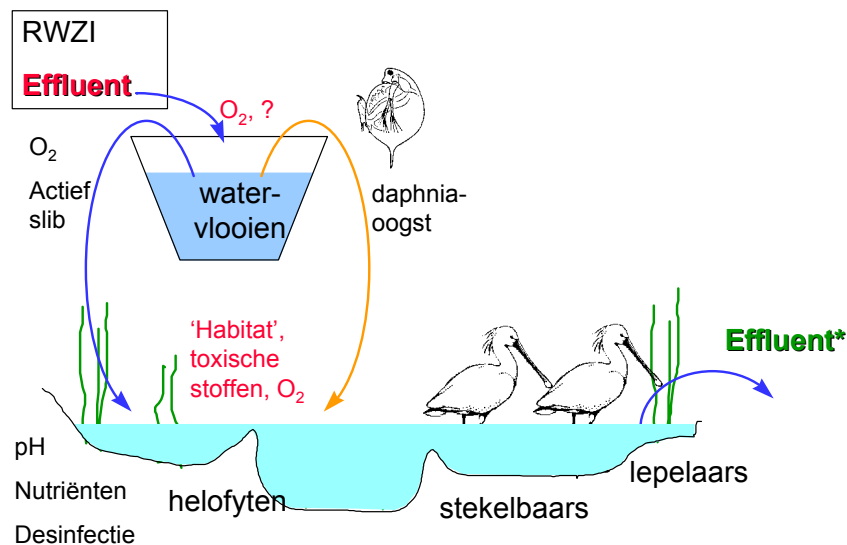
Het helofytenmoeras heeft ook natuurwaarde. Het verhogen van het voedselaanbod zal leiden tot meer stekelbaarzen, waardoor het moeras aantrekkelijk wordt voor de Lepelaar. De aanwezigheid van Lepelaars zal de waarde van het moeras voor recreanten verhogen. Er mag ook verwacht worden dat het verhoogde voedselaanbod andere visetende watervogels zal aantrekken, wat de natuurwaarde verder verhoogd.

Bescherming bedreigde diersoorten

Implementatie van het ontwerp zal leiden tot een verbeterde voedselsituatie voor de Lepelaar, een bedreigde en beschermde diersoort in Nederland. De voedselsituatie wordt verbeterd door de kweek van stekelbaarzen op watervlooien, en door het aanlokken van stekelbaarzen in de vispassage.

6.3 Functioneel ontwerp en eco(toxico)logische haalbaarheid

Een functioneel ontwerp dat het best haalbaar lijkt, is een moerassysteem dat wordt voorafgegaan door een kweek van watervlooien met actief slib als voedselbron. Het systeem is grotendeels natuurlijk en vergt daardoor weinig onderhoud, hetgeen een belangrijke randvoorwaarde is voor een verafgelegen, onbemande lokatie als De Cocksdorp. De nazuiverende werking zal minstens gelijk zijn aan die van het moerassysteem op Eversteekooig, en zal door de uitbreiding met een watervlooienkweekstelsel ook in staat zijn om aanwezig en/of toegevoegd slib uit het effluent gedeeltelijk te verwijderen, waardoor minder slib verwerkt hoeft te worden.



Figuur 39 Het functionele ontwerp voor een kweekstelsel op basis van een watervlooienkweek op slib, en consumptie van watervlooien door stekelbaarzen in een moerassysteem

Het moeras dient zodanig ingericht te worden dat er delen geschikt zijn als foerageergebied voor Lepelaars en delen als schuil- en opgroei gebied voor stekelbaarzen.

6.4 Kosten

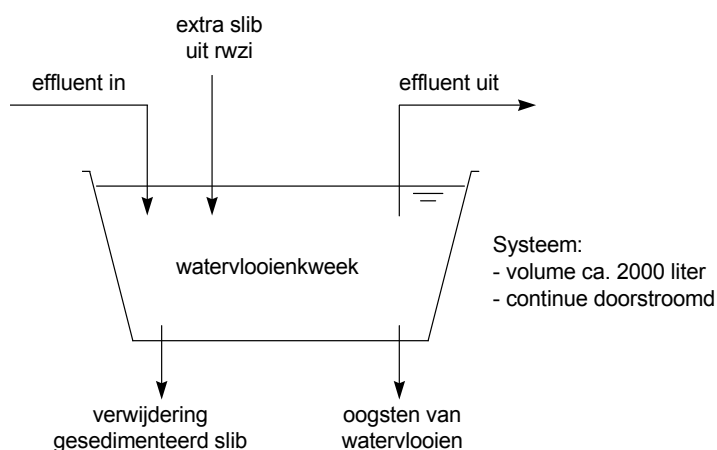
De kosten van een moerassysteem zoals op rwzi Everstekeog bedragen ca. f 0,10 per m³. Verwacht wordt dat de additionele kosten van het voorgestelde ontwerp niet meer dan f 0,05-0,10 per m³ bedragen.

6.5 Onzekerheden en vervolgonderzoek 2000

In hoofdstuk 4 zijn de belangrijkste knelpunten en onzekerheden genoemd. Er wordt aanbevolen om een pilot-studie op semi-praktijkschaal uit te voeren, om de praktische haalbaarheid en robuustheid van de processen te onderzoeken.

6.5.1 Pilot-studie kweek watervlooien

De watervlooienkweek vormt één van de belangrijkste onderdelen van het ontwerp. Er is al aangetoond dat watervlooien kunnen groeien op het effluent met actief slib als belangrijkste voedselbron en dat in stagnante systemen (batch-reactor) een goede groei mogelijk is. Het is echter nog niet bekend welke productie mogelijk is in continu doorstroomde systemen, op semi-praktijkschaal. Om deze vraag te beantwoorden wordt voorgesteld om bij rwzi De Cocksdorp en/of rwzi Everstekeog experimenten uit te voeren met continu doorstroomde systemen waarin de hoeveelheid slib en de oogst (hoeveelheid/snelheid) wordt gevarieerd (zie Figuur 40).



Figuur 40 Voorstel voor een experimentele opstelling op semi-praktijkschaal voor het testen van de oogst van watervlooien bij verschillende slibbelastingen.

Belangrijke vragen die beantwoord moeten worden alvorens een gedetailleerd ontwerp van het kweekstelsel gemaakt kan worden zijn:

- Is de kweek beter in continu doorstroomde systemen of in batch-cultures?
- Wat is de productie van watervlooien in een systeem waarin regelmatig geoogst wordt?
- Wat is de optimale oogstmethode (periodiek of continu) voor de watervlooien en kan dit, technisch gezien, geconstrueerd worden?
- Wat is de optimale dosering van extra slib (om een maximale opbrengst van watervlooien te krijgen)?
- Kan de oogst geoptimaliseerd worden door een deel van de populatie (grote klasse) selectief te oogsten?

Dit semi-praktijk experiment moet voldoende informatie opleveren om een gedetailleerd technisch ontwerp te maken.

6.5.2 Variabiliteit van het effluent

In verschillende laboratorium-experimenten is gebleken dat een goede watervlooienproductie mogelijk is op het effluent van rwzi De Cocksdorp. Op basis van literatuur zijn toxische effecten echter niet altijd uit te sluiten. De samenstelling van het effluent is zeer variabel, zowel wat betreft hoeveelheid voedsel (actief slib) als wat betreft concentraties van toxische stoffen. Voor het daadwerkelijk implementeren van het systeem is het essentieel om vat te krijgen op deze variabiliteit door het jaar heen. Het voedsel aanbod is belangrijk, maar als wordt bijgevoerd met surplus-slib is het systeem robuuster ten aanzien van deze factor. De toxiciteit van het effluent voor watervlooien is wel van groot belang. Gedacht kan worden aan het zeer regelmatig monitoren van de effluent-kwaliteit in de zomermaanden met een relevante toxiciteitstest (bijvoorbeeld reproductie *D. magna*). Chemische metingen zijn minder geschikt, omdat niet bij voorbaat duidelijk is welke stoffen het grootste risico vormen.

6.5.3 Kweek van stekelbaarzen

Uit de verkennende modelberekeningen blijkt, dat vooral de stap watervlo → stekelbaars weinig efficiënt is. Enerzijds is dit gunstig voor de omzetting van slib, anderzijds is dit ongunstig indien een hogere voedselbeschikbaarheid voor Lepelaars wordt nagestreefd. De informatie die beschikbaar is over de groei van stekelbaarzen is op dit moment afkomstig uit veldwaarnemingen (moerassysteem Eversteekoo). Mogelijkerwijs is een aanzienlijk snellere groei van stekelbaarzen mogelijk onder meer optimale omstandigheden. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of deze stap efficiënter gemaakt kan worden, bijvoorbeeld door het inzetten van andere vissoorten naast stekelbaarzen. Verder is het gewenst om meer duidelijkheid te krijgen over het (te verwachten) zuurstofgehalte in het moerassysteem, om te kunnen voorspellen welk deel geschikt is voor viskweek. Dit laatste kan onderzocht worden via een uitgebreidere monitoring in het moerassysteem van Eversteekoo.

6.5.4 Simulaties voor optimalisatie

In het kader van dit rapport is een eenvoudig model ontwikkeld (Excel spreadsheet), waarmee een eerste indruk kan worden verkregen van de opbrengst aan biomassa (productie van watervlooien, stekelbaarzen en Lepelaars in kg.dag^{-1}). Het is wenselijk om dit model verder uit te werken en uit te breiden met een balans voor stikstof, fosfor en zwevend stof, om een indruk te krijgen van de zuiveringsefficiëntie en de effluentkwaliteit na implementatie van het ontwerp.

7. Literatuur referenties

Allen J.R.M. & R.J. Wootton (1982a): The effect of ration and temperature on the growth of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L.
J. Fish Biol. 20:409-422.

Allen J.R.M. & R.J. Wootton (1982b): Age, growth and rate of food consumption in an upland population of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L.
J. Fish Biol. 21:95-105

Allen J.R.M. & R.J. Wootton (1982c): Effect of food on the growth of carcass, liver and ovary in female *Gasterosteus aculeatus* L.
J. Fish Biol. 21:537-547.

Allen J.R.M. & R.J. Wootton (1983): Rate of food consumption in a population of three-spined sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus*, estimated from the faecal production.
Environ. Biol. Fish. 8:157-162.

Allen J.R.M. & R.J. Wootton (1984): Temporal patterns in diet and rate of food consumption of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in Llyn Frongoch, an upland Welsh lake.
Freshwater Biol. 14:335-346.

Bal D., H.M. Beije, Y.R. Hoogeveen, S.R.J. Jansen & P.J. van der Reest (1995): Handboek natuurdoeltypen in Nederland.
Rapport IKC Natuurbeheer nr. 11, Wageningen.

Begon M., J.L. Harper, & C.R. Townsend (1990): Ecology: of individuals, populations and communities.
Blackwell Scientific Publications, London.

Bruijn J. de, T. Crommentuijn, K. van Leeuwen, E. van der Plassche, D. Sijm & M. van der Weiden (1999): Environmental risk limits in the Netherlands.
RIVM report No. 601640001.

Buschgens A.J.B. (1998): Gebiedsstudie polder Eijerland te Texel - eindrapport aanloopfase & bijlagen eindrapport aanloopfase.
Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier.

Culver D.A., M.M. Boucherle, D.J. Bean & J.W. Fletcher (1985): Biomass of freshwater crustacean zooplankton from length-weight regression.
Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42:1380-1390.

Ekkelboom, H. & G.J.M. Wintermans (1997): Handleiding Hevel-vispassage.
WEB-rapport nr. 97-02. Wintermans Ecologenbureau, Texel.

- Feijtel T.C.J. & E.J. van de Plassche (1995): Environmental risk characterization of 4 major surfactants used in the Netherlands.
RIVM report no. 679101025.
- Gommers P. & J. Rienks (1999): 'Gezuiverde' feiten over zuiveren.
RIZA-rapport 99.018.
- Groot M. (1998): Effluent en de hevel-vispassage. Een moerassysteem bij rioolwaterzuiveringsinstallatie De Cocksdorp op Texel?
Stageverslag TNO/Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen.
- Grootelaar E.M.M. & J.L. Maas-Diepeveen (1988): Invloed van zout- en ammoniagehalte op *Daphnia magna* (watervlo) en *Chironomus riparius* (muggelarve).
RIZA-rapport 88/04. 7 pp.
- Hadas O., B.Z. Cavari, Y. Kott & U. Bachrach (1982): Preferential feeding behaviour of *Daphnia magna*.
Hydrobiologia 89:49-52.
- Hanazato T. (1996): Combined effects of food shortage and oxygen deficiency on life history characteristics and filter screens of *Daphnia*.
J. Plankton Res. 18:757-765.
- 't Hart M. (1978): De Stekelbaars.
Het Spectrum B.V., Utrecht/Antwerpen.
- Allan J.D. (1976): Life history patterns in zooplankton.
Am. Nat. 110:110-165-180.
- Hathaway C.J. & H.G. Stefan (1995): Model of *Daphnia* populations for wastewater stabilization ponds.
Water Res. 29:195-208.
- Hessen D.O. & T. Andersen (1990): Bacteria as a source of phosphorus for zooplankton.
Hydrobiologia 206:217-223.
- Hessen D.O. (1990): Carbon, nitrogen and phosphorus status in *Daphnia* at varying food conditions.
J. Plankton Res. 12:1239-1249.
- Jonker, J. (1992): Voedselgebieden van de Lepelaar *Platalea leucorodia* in Noord-Holland: actuele situatie, knelpunten en verbeteringen.
Technisch Rapport Vogelbescherming 8, Vogelbescherming Nederland, Zeist.
- Kampf R. & B.A. Heide (1989): De invloed van bijzondere stoffen op individuele zuiveringsystemen.
H2O 22:550-567.

Kampf R., M. Schreijer, S. Toet & J.T.A. Verhoeven (1999): The Eversteekoog constructed wetland. A four year research project on full scale to change effluent from an oxidation ditch to (re)usable surface water. 4th International Conference on Ecological Engineering for Wastewater Treatment, 7-11 June, 1999, Ås, Norway.

Kampf R., M. Schreijer, S. Toet, J.T.A. Verhoeven, R.G. Jak & M. Groot (1998): From sewage water to (re)usable surface water. The use of a full-scale constructed wetland to improve the quality of the effluent from an oxidation ditch in the Netherlands.

International Conference on Environment and Agriculture, Nov. 1-3, 1998, Kathmandu, Nepal.

Lampert W. (1987): Feeding and nutrition in *Daphnia*.

In: R.H. Peters & R. De Bernardi (eds.) *Daphnia*. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 45:143-192.

Lehman J.T. (1988): Ecological principles affecting community structure and secondary production by zooplankton in marine and freshwater environments. *Limnol. Oceanogr.* 33:931-945.

LVN (1990): Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing.

Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21149, nrs. 2-3.

LVN (1994): Soortbeschermingsplan Lepelaar.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij; Directie Natuur, Bos, Landschap en Fauna.

LVN (1996): Het landelijk gebied de moeite waard. Structuurschema Groene Ruimte. Toelichting planologische kernbeslissing.

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

McMahon J.W. & F.H. Rigler (1965): Feeding rate of *Daphnia magna* Straus in different foods labeled with radioactive phosphorus.

Limnol. Oceanogr. 10:105-113.

Myrand B. & J. de la Noüe (1983): Ingestion and assimilation of *Oocystis* sp. by *Daphnia magna* in treated wastewaters.

Environ. Pollut. 31:77-95.

Nijssen H. & S.J. de Groot (1987): De vissen van Nederland.

Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging nr. 43.

OECD (1993): Guidelines for testing of chemicals.

Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Oswald (1986): Large-scale algal culture systems (engineering aspects).

In: M.J. Borowitzka & L.J. Borowitzka (eds.), *Micro-algal biotechnology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 357-394.

- Paepke H.-J. (1996): Die Stichlinge.
Die Neue Brehm-bücherei, bd. 10. Westarp Wissenschaft, Magdenburg.
- Porter K.G., M.L. Pace & J.F. Battey (1979): Ciliate protozoans as links in freshwater planktonic food chains.
Nature 277:563-564.
- Proulx D. & J. de la Noüe (1985): Harvesting *Daphnia magna* grown on urban tertiary-treated effluent.
Water Res. 19:1319-1324.
- Raat A.J.P. & G.A.J. de Laak (1993): Vismigratie bij gemaal De Helsdeur en effecten van zuiveringswater op migratie.
Organisatie ter Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein.
OVB-Onderzoeksrapport 1993-16.
- Redfield A.C., B.H. Ketchum & F.A. Richards (1963): The influence of organisms on the composition of sea-water.
In: M.N. Hill (ed.), The sea, ideas and observations on progress in the study of the seas. Vol. 2. Wiley Interscience, New York. pp. 26-77.
- Richmond A. (ed.) (1986): CRC handbook of microalgal mass culture.
CRC Press, Inc. Florida, pp. 528.
- Sanders R.W., C.E. Williamson, P.L. Stutzman, R.E. Moeller, C.E. Goulden & R. Aoki-Goldsmith (1996): Reproductive success of "herbivorous" zooplankton fed algal and nonalgal food.
Limnol. Oceanogr. 41:1295-1305.
- Schreijer M., R. Kampf & J.T.A. Verhoeven (2000): Nabehandeling van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem met helofyten en waterplanten. Resultaten van een 4-jarig demonstratieproject op praktijkschaal op rwzi Everstekooog, Texel.
USHN rapport
- Schreijer M., R. Kampf, S. Toet & J.T.A. Verhoeven (1997): Nabehandeling van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem met helofyten en waterplanten; eerste resultaten.
H2O 30:765-766.
- Schutte H. & T. den Boer (red.) (1999): Lang leve de Lepelaar. Vijf jaar samenwerken aan soortbescherming.
Vogelbescherming Nederland, Zeist.
- STOWA (1997): Ecotoxicologische risicobeoordeling van verontreinigde waterbodems.
STOWA rapport 97-42 / RIZA Nota. nr.: 97.085.

Thompson J.M., A.J.D. Ferguson & C.S. Reynolds (1982): Natural filtration rates of zooplankton in a closed system: The derivation of a community grazing index. *J. Plankton Res.* 4:545-560.

V&W (1998): Vierde Nota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, December 1998. ANDO bv, Den Haag.\

Verdonschot P.F.M., L.W.G. Higler, W.F. van der Hoek & J.G.M. Cuppen (1992): A list of macroinvertebrates in Dutch water types: a first step towards an ecological classification of surface waters based on key factors. *Hydrobiol. Bull.* 25:241-259.

Wintermans G.J.M. (1997): De hevel-vispassage op Texel. Effecten op visfauna en Lepelaars in de sloten van Polder Eijerland (eindrapportage biologische monitoring).

WEB-Rapport nr. 97-4. Wintermans Ecologenbureau (WEB), Texel.

Wintermans G. J.M.(1998): Een vis-hevelpassage op Texel. Effecten op de visfauna en Lepelaars in de sloten van Polder Eijerland (eindrapportage biologische monitoring).

WEB-Rapport nr. 98-01. Wintermans Ecologenbureau (WEB), Texel.

Wintermans G.J.M. (1999): Visbiologische bijdrage aan het kwekelbaarsproject. WEB-Rapport nr. 99-02. Wintermans Ecologenbureau (WEB), Texel.

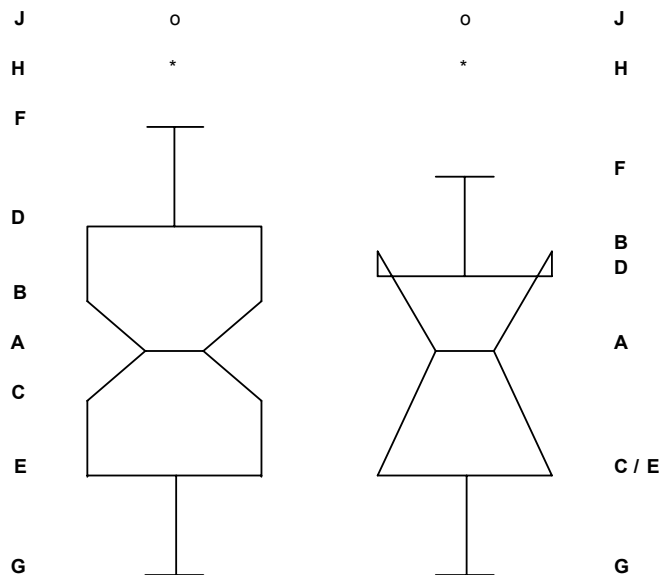
Wintermans G.J.M. & E. Wymenga (1996): Voedselgebieden voor Lepelaars. Knelpunten, oplossingsrichtingen en aanbevelingen voor de inrichting en het beheer van voedselgebieden van Lepelaars.

A&W-rapport 124. Altenburg & Wymenga, Veenwouden.

Wootton R.J. (1992): Ecology of teleost fishes.

Fish and Fisheries Series 1. Chapman & Hall, London. (rev. ed.) 404 pp.

Bijlage Verklaring 'Box-Whisker plot'.



- A* 50 percentiel waarde (mediaan).
B - C 95% betrouwbaarheidsinterval rond de mediaan.
D 75 percentiel waarde.
E 25 percentiel waarde.
D - E Binnen deze 'box' liggen 50% van de waarnemingen.
F / G Grenzen waarbuiten de waarnemingen als uitbijters beschouwd mogen worden
H Uitbijter van de eerste orde (waarden tussen $[D + 1.5 \cdot \text{afstand tussen D en E}]$ en $[D + 3 \cdot \text{afstand tussen D en E}]$)
J Uitbijter van de tweede orde (waarden buiten $D + 3 \cdot \text{afstand tussen D en E}$)

