

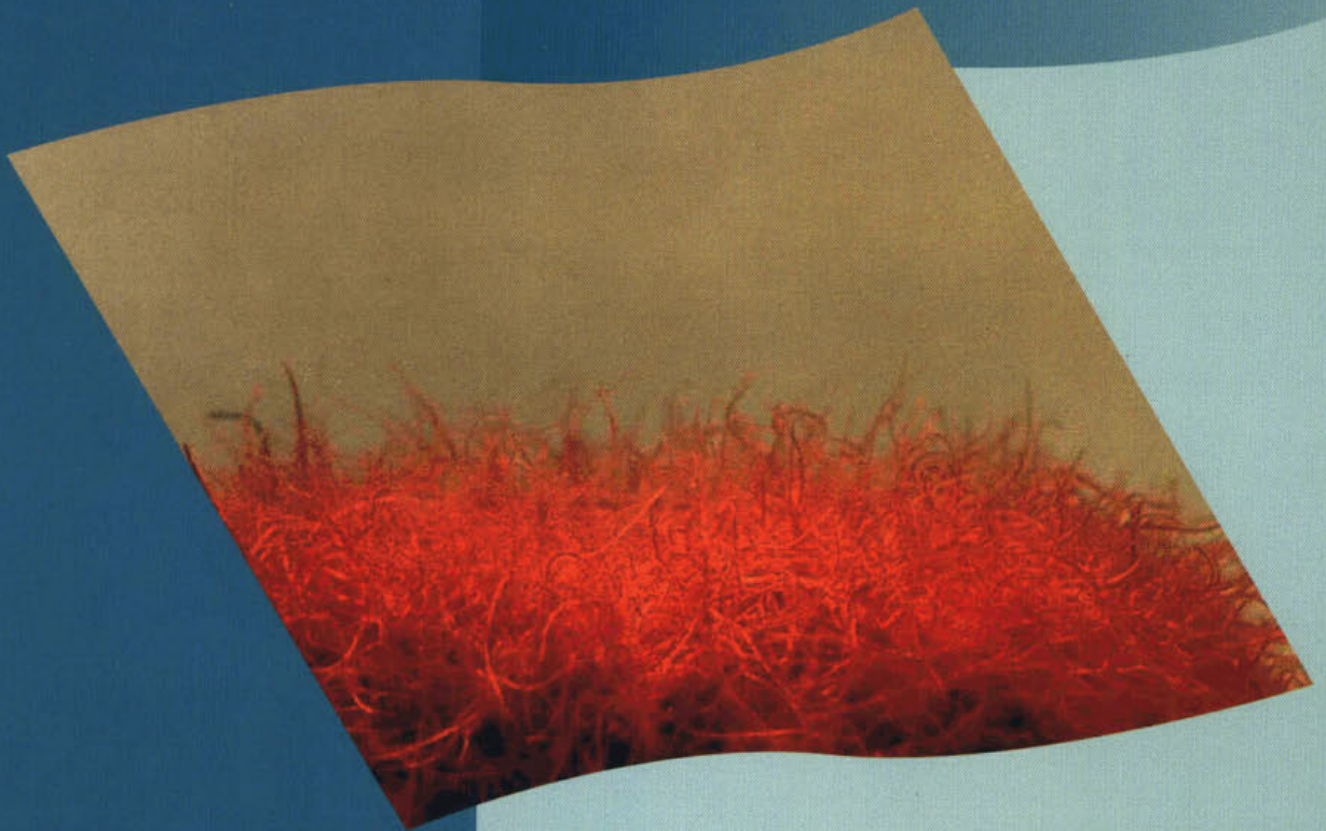
2002-17_slibpredatie-oligochaete-wormen

stowa

richting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Slibpredatie door inzet van oligochaete wormen

Pilotonderzoek naar slibreductie op de rwzi Bennekom



2002 17

Slibpredatie door inzet van oligochaete wormen
Pilotonderzoek naar slibreductie op de rwzi Bennekom

2002 17

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66
E-mail stowa@stowa.nl
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment
Postbus 1110
3330 CC Zwijndrecht
tel. 078 - 629 33 32
fax 078 - 610 42 87
e-mail: hff@wxs.nl
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.5773.171.1

INHOUD	BLAD
TEN GELEIDE	1
SAMENVATTING	3
SUMMARY	7
1 INLEIDING	7
1.1 Aanleiding tot pilotproef	7
1.2 Doel pilotproef	7
1.3 Relatie met andere predatieonderzoeken	8
1.4 Leeswijzer rapport	9
2 ACHTERGRONDEN EN STAND VAN ZAKEN SLIBPREDATIE	11
2.1 Het vóórkomen van wormen in slib van rwzi's	11
2.2 Predatieprincipe en -mechanismen in slibsysteem	13
2.3 Samenvatting reeds uitgevoerd onderzoek naar slibpredatie in Nederland	16
2.4 Neveneffecten bij slibpredatie	18
3 DOEL EN OPZET PILOTPROEF	21
3.1 Doel pilotproef	21
3.2 Nadere beschouwing onderzoeksfasen	21
3.3 Opzet pilotproef	23
3.3.1 <i>Opzet pilotproef slibpredatie in de waterlijn</i>	23
3.3.2 <i>Opzet pilotproef slibpredatie in de sliblijn</i>	26
3.3.3 <i>Praktijkinventarisatie naar het vóórkomen van wormen in rwzi's</i>	28
4 RESULTATEN ONDERZOEK	29
4.1 Resultaten pilotproef predatie in de waterlijn	29
4.1.1 <i>Monitoring dragermaterialen</i>	29
4.1.2 <i>Monitoring sliblaag</i>	29
4.1.3 <i>Ondersteunend onderzoek</i>	30
4.2 Resultaten pilotproef predatie in de sliblijn	31
4.3 Praktijkinventarisatie	32
5 CONCLUSIES EN HAALBAARHEID TEN AANZIEN VAN SLIBPREDATIE	37
5.1 Conclusies ten aanzien van het onderzoek	37
5.2 Conclusies ten aanzien van de haalbaarheid van slibpredatie bij rwzi's	38
6 REFERENTIES	41

BIJLAGEN

1	Detailinformatie rwzi Bennekom
2	Foto's pilotproef rwzi Bennekom, predatie in de waterlijn
3	Resultaten hydraulische berekeningen
4	Detailinformatie pilotproef rwzi Bennekom, predatie in de sliblijn

Ten Geleide

Gezien de als maar stijgende kosten die zijn verbonden aan de verwerking en afzet van zuiveringsslib staan technieken en zuiveringssystemen die een lage slibproductie opleveren sterk in de belangstelling. Een van de biologische technieken is begrazing (predatie) van slib door hogere organismen. Een belangrijke aanleiding om het fenomeen van begrazing nader te onderzoeken is een aantal praktijkwaarnemingen geweest waarin de massale aanwezigheid van oligochaeten (wormen) in de waterlijn van een rwzi tot een significante vermindering van de slibproductie leidde, zonder dat de effluentkwaliteit verslechterde.

Significante slibreducties met wormen in actief slib konden door laboratorium- en pilotonderzoek, uitgevoerd in de jaren negentig bij onder meer de Universiteiten van Wageningen en Amsterdam worden bevestigd. Gezien deze praktijkervaringen en behaalde resultaten in onderzoek werd ook de belangstelling voor het slibpredatieproces bij waterkwaliteitsbeheerders gewekt.

Mede op grond van deze belangstelling en de behaalde onderzoeksresultaten werd een pilotproef op een praktijk-rwzi haalbaar en zinvol geacht.

Op de rwzi Bennekom, een oxidatiesloot die gezien de capaciteit en toegepast zuiveringssysteem representatief werd geacht voor toepassing van predatie, is het onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoeksproject paste overigens in een breder kader waarin naast verdergaand fundamenteel onderzoek naar slibpredatie, ook de toepassing van het predatieproces voor industriële slibben in beschouwing is genomen.

Het voorliggende rapport beschrijft de opzet, de resultaten en de conclusies van de pilotproef, alsmede een vertaalslag naar de haalbaarheid van slibpredatie in rwzi's onder Nederlandse omstandigheden. Ook is kort ingegaan op enkele achtergronden van slibpredatie.

Het onderzoek werd uitgevoerd door DHV Water B.V. (projectteam bestaande uit ir. P.M.J. Janssen, ing J. Verkuijlen en ir. H.F. van der Roest) in samenwerking met de Vakgroep Milieutechnologie van de Universiteit Wageningen (projectteam bestaande uit prof. dr. ir. W.H. Rulkens, dr. ir. A. Klapwijk en ir. J.H. Rensink¹⁾). Voor de begeleiding van het project zorgde een commissie bestaande uit ir. J. Ebbenhorst (voorzitter), ir. A.J. Krielen, ir. P.J. Roeleveld en P.C. Stamperius.

De commissievergaderingen zijn gecombineerd met de gebruikersoverleggen die zijn ingesteld voor de begeleiding van het STW-onderzoek naar fundamentele aspecten van de slibpredatie. De inbreng vanuit het STW-project werd verzorgd door drs. N.H.C.M. Boots, ir. B.R. Buijs, dr. H.J.H. Elissen, dr. C.H. Ratsak en dr. P. Verdonschot.

Het Waterschap Vallei en Eem, beheerder van de rwzi Bennekom heeft zijn medewerking verleend bij de uitvoering van het onderzoek. De STOWA is hen daar zeer erkentelijk voor.

¹⁾ In Memoriam Henk Rensink

Op 10 juli 2001 overleed op 68-jarige leeftijd geheel onverwacht ir. Henk Rensink, mede-initiatiefnemer van dit STOWA-project. Het onderzoek van Henk Rensink concentreerde zich op actiefslibprocessen. Met name de lichtslibproblematiek heeft hem jarenlang gefascineerd. Hiernaast kan hij als pionier van de biologische P-verwijdering in Nederland worden beschouwd. Tenslotte heeft hij zich bij de vakgroep Milieutechnologie bezig gehouden met het effect van oligochaete wormen op de slibproductie. Zijn vriendelijke persoonlijkheid en zijn enthousiasme voor het onderzoek naar afvalwaterbehandeling zullen worden gemist.

SAMENVATTING

De sterk stijgende kosten voor verwerking en afzet van zuiverings-slib hebben geleid tot een verhoogde belangstelling voor zuiveringssystemen en -technieken die een lage slibproductie opleveren. Eén van de biologische technieken is gebaseerd op begrazing (predatie) door hogere organismen, met name (oligochaete) borstelwormen.

Predatie van zuiverings-slib door wormen houdt in dat de voedselketen in een biologisch afvalwaterzuiveringssysteem wordt verlengd en dat uit een zekere hoeveelheid bacteriële biomassa een geringe hoeveelheid wormen ontstaat. De totale hoeveelheid slib in het systeem neemt derhalve af door de predatie-activiteit.

Borstelwormen die veelal in slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) worden waargenomen zijn de vrijzwemmende soorten Nais en Aeolosoma en de sessiele (hechtende) soort Tubifex. Reeds enkele malen is gerapporteerd dat een massale aanwezigheid (een bloei) van één van deze soorten in de waterlijn van een rwzi gepaard gaat met een significante reductie van de slibproductie.

De resultaten van laboratorium- en pilotplantonderzoek hebben geleid tot een toegenomen inzicht om het proces van predatie in de praktijk te brengen. Dit heeft geresulteerd in de uitvoering van een pilotproef op een praktijkinstallatie.

Dit rapport beschrijft de opzet, de resultaten en de conclusies van de pilotproef, alsmede een vertaalslag naar de haalbaarheid van slibpredatie in rwzi's onder Nederlandse omstandigheden. Tevens is kort ingegaan op enkele (theoretische) achtergronden van slibpredatie in rwzi's.

Het doel van de pilotproef was om in de water- of sliblijn van een rwzi zodanig gunstige omstandigheden te creëren, dat de groei (bloei) van wormen zou worden gestimuleerd, predatie van slib zou optreden, resulterend in een reductie van minimaal 20% van de spuislibproductie.

Belangrijke overweging bij de keuze van de rwzi Bennekom als onderzoekslocatie was de afwezigheid van een separate anaërobe of aërobe slibstabilisatietrap. Daarnaast is een ultralaag belast omloopsysteem een voor Nederland representatief zuiveringssysteem voor de behandeling van communaal afvalwater.

De pilotproef is gefaseerd uitgevoerd. Allereerst is een drietal type dragermaterialen in de kanalen van de oxidatiesloot geplaatst, met als doel schuilmogelijkheden ("niches") te creëren om zodoende de hechtende worm Tubifex te introduceren in het actiefslibproces.

Op basis van visuele waarnemingen is vastgesteld dat slibhechting en daarmee wormenophoppingen niet of nauwelijks plaatsvinden. Uit ondersteunende experimenten is vastgesteld dat de heersende stromingsnelheid van het actief slib van 0,3 m/s de noodzakelijke hechting verhindert.

Op basis van deze resultaten is het vervolg van de pilotproef: een introductie van dragermateriaal op grote schaal in de waterlijn van de rwzi Bennekom niet uitgevoerd.

Na het verlaten van het predatie in de waterlijn van een rwzi is het onderzoek voortgezet volgens het concept predatie in de sliblijn. Drie reactorconcepten, elk voorzien van dragermateriaal en geënt met wormen, zijn gevoed werden met het spuislib van de rwzi Bennekom.

In deze pilotproeven is vastgesteld dat in een oxidatiebedreactor en een suspensiereactor met vaste drager een verhoogde significante slibreductie plaatsvindt ná introductie van hechtende

Tubifex wormen en vrijzwemmende Aeolosoma wormen. Zonder de aanwezigheid van deze wormen ligt de drogestof- en organischestofafbraak van ultralaag belast slib op een gemiddeld niveau van circa 10%. Bij de aanwezigheid van wormen is een afbraakniveau van circa 30% bereikt.

De aanwezigheid en activiteit van wormen, en daarmee de extra slibafbraak in de sliblijnreactoren, is volledig verdwenen bij een procestemperatuur van < 10 °C. Een herstel van de extra slibreductie is na deze periode niet meer opgetreden.

De relatief lage procestemperaturen in Nederlandse rwzi's tijdens de winterperiode moeten daarmee toch als mogelijke beperkende factor worden gezien voor een succesvolle praktijktoepassing van slibpredatie.

Op basis van de bevindingen in dit pilotonderzoek is geconcludeerd dat slibpredatie door (introductie van) wormen momenteel nog geen beheersbare slibreductietechniek binnen een biologisch afvalwaterzuiveringsinstallatie is.

Dit wordt bevestigd door de resultaten van een inventarisatie naar het vóórkomen van wormen in Nederlandse praktijkinstallaties. Hieruit blijkt dat, hoewel een bloei van borstelwormen en bijbehorende slibreducties in diverse rwzi's zijn waargenomen, ze van tijdelijke aard zijn en voornamelijk niet beheersbaar zijn.

SUMMARY

High operational costs connected with treatment and disposal of sewage sludge cause a growing interest in technologies and techniques for reducing the sludge production in waste water treatment plants (wwtp). An option for a lower biomass production is to make use of the predation activity of Metazoa, especially oligochaete worms.

Predation (grazing) of sludge from wwtps infers that the food-chain of the biological ecosystem is extended, where a certain quantity of bacteria is converted into a less quantity of worms. The total amount of sludge in the process therefore decreases by the predation activity.

The main types of Metazoa present in activated sludge systems and trickling filters are the free-swimming worms Nais and Aeolosoma and the sessile worms Tubifex. Observations are reported that a massive presence of these worms in the water treatment line of a wwtp (population explosion) was accompanied by a significant reduction of the biological sludge production.

Lab and pilot tests have resulted in a better understanding for the implementation of sludge predation by worms in practice. This has resulted in pilot testing on full scale plants.

Besides some general background on sludge predation, this report describes the intention, the results and conclusions of pilot tests, as well as the extrapolation of the results towards the feasibility of sludge predation by worms in wwtp's under Dutch conditions.

The main goal of the pilot test was to create favourable conditions in the water or sludge treatment line of the full scale plant of Bennekom, resulting in a stimulation of the growth of worms (initiating a population explosion) and subsequently a reduction of more than 20% of the waste sludge production.

The absence of a separate anaerobic or aerobic sludge stabilisation process was an important consideration for selecting the wwtp Bennekom as a testing facility. Furthermore an ultra low loaded oxidation ditch is a representative sewage treatment system for the Dutch situation.

The pilot test has been carried out in phases. Firstly, three different types of carrier material were installed in the channels of the oxidation ditch, generating shelters (niches), enabling the attachment of the sessile worm Tubifex in the activated sludge process. Visually it has been observed that attachment of sludge and accumulation of worms hardly occurred. From supporting experiments it appeared that the actual sludge flow of 0.3 m/s in the ditch inhibited the attachment and accumulation processes. On the basis of these results the original continuation of the pilot test: introduction of the carrier material in the channels of the ditch on a large scale, was abandoned.

After the abandonment of the predation in the water treatment line of a wwtp the research was switched to the concept of predation in the sludge treatment line. Three reactor types, each equipped with carrier material and inoculated with worms, were fed with the surplus sludge of the wwtp Bennekom.

In these pilot tests it was determined that two reactors showed a significant sludge reduction after introduction of the sessile Tubifex worms and free swimming Aeolosoma worms, namely the trickling filter type reactor and the airlift type reactor with fixed carrier. Without the presence of these worms the breakdown of ultra low loaded sludge amounted to 10% on the base of dry solids and organic solids. In the presence of the worms a breakdown level of 30% was reached.

The presence as well as the activity of the worms disappeared completely at a process temperature of < 10 °C. After the period of low temperatures a recovery of the extra sludge reduction did not resume.

From these results it appeared that the relatively low process temperatures in Dutch sewage treatment plants can be seen as a limiting factor in a successful applicability of the predation process in practice.

Based on the findings of the pilot tests it was concluded that currently sludge predation by means of (the introduction of) worms is not an real alternative for sludge reduction within a biological wwtp.

This was confirmed by the results of a study towards the presence of worms in Dutch wwtp's. From this inventory it appeared that a population explosion of worms and the accompanying sludge reductions, which were observed in several wwtp's, are temporary and as yet not controllable.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding tot pilotproef

Bij de biologische reiniging van stedelijk en industrieel afvalwater ontstaat zuiveringsslib. De beperkte afzetmogelijkheden hebben de laatste jaren geleid tot sterk stijgende verwerkingskosten. Om deze reden bestaat sterke belangstelling voor zuiveringssystemen en -technieken die een lage slibproductie opleveren. Eén van de biologische technieken is gebaseerd op begrazing (predatie) door hogere organismen, met name oligochaeten (wormen). Zoals reeds enkele malen in de praktijk is waargenomen, leidt de massale aanwezigheid van deze organismen (een bloei) in de waterlijn van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) tot een reductie van de slibproductie.

Pilotonderzoek uitgevoerd begin jaren negentig bij Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR), heeft aangetoond dat met wormen in actief slib een significante slibreductie van 30 tot 50% kan worden behaald. Tijdens onderzoek uitgevoerd bij de Vrije Universiteit Amsterdam (VUA) zijn ook dergelijke slibreducties waargenomen.

Destijds bleef het fundamentele inzicht in de werking van het predatieproces onvoldoende om dit succesvol in de praktijk te kunnen toepassen. Met name de beheersbaarheid van het proces onder praktijkcondities was hierbij de voornaamste factor.

Mede op grond van de (economische) potenties van het proces is halverwege de jaren negentig onderzoek naar slibpredatie door wormen voortgezet, onder meer door DHV Water en de WUR. Deze onderzoekservaringen leidde tot een toegenomen inzicht om het proces van predatie in de praktijk te brengen. De voortzetting van het onderzoek door middel van de uitvoering van een pilotproef op een praktijkinstallatie werd derhalve haalbaar en zinvol geacht. Ook bij waterkwaliteitsbeheerders en de STOWA was belangstelling voor het predatieonderzoek ontstaan, mede door het feit dat het praktijkgerichte pilotonderzoek zou worden ingebed in een breder onderzoekskader waarin ook de meer fundamentele aspecten van slibpredatie door wormen zouden worden onderzocht (zie ook 1.4.)

1.2 Doel pilotproef

Het doel van de pilotproef was om in een bestaande rwzi zodanig gunstige omstandigheden te creëren dat de groei (bloei) van wormen zou worden gestimuleerd, predatie van slib zou optreden, resulterend in een significante reductie van de spuislibproductie.

Op basis van praktijkwaarnemingen en de resultaten van eerder uitgevoerd pilotonderzoek werd besloten om in eerste instantie "predatie in de waterlijn" toe te passen. Om de groei en ophoping van wormen, met name van de sessiele of wel hechtende worm Tubifex, in het actiefslibproces te stimuleren zijn dragermaterialen in de waterlijn van de rwzi geplaatst.

De pilotproef is op de rwzi Bennekom (Waterschap Vallei en Eem) uitgevoerd.

Significante slibpredatie, resulterend in een significante spuislibreductie, was vooraf gedefinieerd als een spuislibproductie die minimaal 20% lager moet liggen dan de situatie waarin geen ophoping van wormen in het actiefslibproces aanwezig zijn.

Bijstelling doel pilotproef

Op grond van de waarnemingen in de waterlijn, de resultaten van additioneel onderzoek en de toegepaste dragerconfiguraties is geconcludeerd dat het oorspronkelijk doel van de pilotproef, het bewerkstelligen van slibpredatie, resulterend in een significante spuislibreductie, niet haalbaar is gebleken.

Besloten is om het pilotonderzoek voort te zetten volgens het concept "predatie in de sliblijn". Op grond van de resultaten van voorafgaand laboratorium- en pilotonderzoek zijn drie reactorconcepten in het onderzoek betrokken.

Doel van dit pilotonderzoek was om het optreden van een significante predatie en slibreductie in de reactoren vast te stellen bij de verwerking van het spuislib van een ultralaag belast actiefslibproces (afkomstig van de rwzi Bennekom).

Conform de proef in de waterlijn is ook bij deze proef significante slibreductie gedefinieerd als een reductie die minimaal 20% hoger moet zijn dan in de situatie waarin geen ophopingen van wormen in de reactor aanwezig zijn.

Uitvoering praktijkinventarisatie

In aanvulling op het onderzoek naar de mogelijkheden van slibpredatie in de sliblijn is besloten om een inventarisatie uit te voeren naar het vóórkomen van wormenbloei in Nederlandse rwzi's. Het doel daarvan was om na te gaan hoe frequent wormenbloei in Nederlandse rwzi's wordt waargenomen. Daarnaast leverde deze inventarisatie mogelijk informatie op over specifieke procesomstandigheden die wormenbloei bevorderen.

1.3 Relatie met andere predatieonderzoeken

Het STOWA pilotonderzoek, gericht op de implementatie van wormen in grootschalige biologische zuiveringsinstallaties voor huishoudelijk afvalwater, vormde een onderdeel van een breed opgezet onderzoeksprogramma dat zich richtte op de implementatie van wormen in bestaande aërobe biologische zuiveringsinstallaties voor stedelijk en industrieel afvalwater, alsmede op de inbedding van wormen in geheel nieuwe, meer duurzame zuiveringsinstallaties.

Tijdens de uitvoering van het STOWA onderzoek waren drie andere onderzoeken op het gebied van slibpredatie in uitvoering.

De verkregen resultaten uit deze parallelle onderzoeken, die bij het verschijnen van dit rapport nog voor een deel lopende zijn, hebben als ondersteuning gediend voor dit STOWA onderzoek.

Het breed opgezette onderzoeksprogramma bestond uit de volgende onderdelen:

1) *Vermindering van de slibproductie bij de biologische zuivering van afvalwater door toepassing van oligochaete wormen.*

In dit meer fundamenteel georiënteerde onderzoek, gestart 1 december 1998 en gefinancierd door Technologie Stichting STW, wordt beoogd om, voortbouwend op reeds aanwezig kennis, voldoende fundamentele kennis te ontwikkelen en een technologische basis te leggen voor de verdere implementatie van wormen in de praktijk van de biologische afvalwaterzuivering.

Enkele onderzoeksvragen die voor dit onderzoek geformuleerd zijn:

- bepaling van de procescondities voor optimale groei van wormen en predatie van bacteriën (parameters zijn o.a. pH, temperatuur, zuurstofgehalte, stromingscondities, aanwezigheid van niches, contact tussen wormen en bacteriemassa, etc.);

- bepaling van de zuurstof- en energiebehoefte van het predatieproces;
 - bepaling van de bezinkings- en ontwateringseigenschappen van het gepredeerde (rest)slib;
 - ontwikkelen van reactorconfiguraties waarbij wormen gecontroleerd in de zuiveringsinstallatie kunnen worden gehouden en die biomassa met voldoende snelheid kunnen mineraliseren.
- 2) ***Pilotonderzoek naar de implementatie van wormen in aërobe biologische zuiveringsinstallaties voor industrieel afvalwater.***
 Primair doel was hier het ontwikkelen van een zuiveringsconcept voor predatie met wormen in de sliblijn dat direct toepasbaar zou zijn in de praktijk.
 Het onderzoek richtte zich daarbij primair op (industriële) afvalwaterstromen met een relatief hoge temperatuur en die, in tegenstelling tot stedelijke afvalwaterstromen, geen of een geringe hoeveelheid stikstof en/of fosfaat bevatten. Het (spui)slib van de afvalwaterzuiveringsinstallatie kenmerkt zich door een relatief laag anorganisch gehalte. Dit onderzoek is door de firma Seghers Better Technology uit België uitgevoerd in de periode 1999-2000. Pilot-experimenten zijn uitgevoerd met het spuislib van een actiefslibproces dat afvalwater van een bierbrouwerij behandelde.
- 3) ***Substantiële reductie van organische afvalstromen door gebruik te maken van de natuurlijke voedselketen.***
 Dit project, gestart in mei 2000 en gefinancierd door het programmabureau E.E.T. (Economie, Ecologie, Technologie), is een samenwerking tussen het Agrotechnologisch Onderzoeksinstituut (ATO) en de WUR, beide uit Wageningen, DHV, Norit Membrane Technology (NMT) en Gemeente Waterleiding Amsterdam (GWA). Onderzoek wordt uitgevoerd naar het verminderen van de productie van organisch afval via predatie door onder andere wormen in de natuurlijke voedselketen. Slib uit afvalwaterzuiverings- en drinkwaterbereidingsinstallaties, alsmede de fouling van membraanprocessen zijn voorbeelden van organische afvalstromen die in het onderzoek worden betrokken. De combinatie van predatoren en membraanbioreactoren en onderzoek naar de mogelijkheden voor nuttige toepassing van de overblijvende wormenbiomassa zijn belangrijke onderwerpen binnen het onderzoek.

1.4 Leeswijzer rapport

In het voorliggende rapport zijn in hoofdstuk 2 de achtergronden en de huidige stand van zaken ten aanzien van predatie door wormen van zuiveringsslib beschreven.

In hoofdstuk 3 is uitgebreider ingegaan op de overwegingen die ten grondslag lagen om de pilotproef te starten op de rwzi Bennekom volgens het concept "slibpredatie in de waterlijn" en vervolgens voort te zetten volgens het concept "slibpredatie in de sliblijn".

In dit hoofdstuk is tevens een verdere uitwerking van de opzet van de pilotproef in de waterlijn, de pilotproef in de sliblijn en de inventarisatie naar het vóórkomen van wormen in praktijkinstallaties, weergegeven.

De resultaten van alle drie onderdelen van het onderzoek zijn in hoofdstuk 4 gepresenteerd. Conclusies ten aanzien van het verrichtte onderzoek en conclusies ten aanzien van de haalbaarheid van slibpredatie bij rwzi's zijn weergegeven in hoofdstuk 5.

2 ACHTERGRONDEN EN STAND VAN ZAKEN SLIBPREDATIE

2.1 Het vóórkomen van wormen in slib van rwzi's

Slib van afvalwaterzuiveringsystemen bestaat uit conglomeraten van micro-organismen, organisch en anorganisch materiaal. Een deel van de micro-organismen behoren tot de Protozoa en de Metazoa, - de zogenaamde "hogere organismen" -, die in staat zijn om delen van de slibvlok en/of losse bacteriën op te eten (te prederen). Dit proces wordt predatie of wel begrazing genoemd.

Protozoa zijn ééncellige organismen met schijnvoetjes (amoeben), flagellen (flagelaten) of ciliën (ciliaten). Zij leven vooral van losse bacteriecellen. In afbeelding 1 zijn microscopische opnames van deze groepen weergegeven.

De Metazoa omvat onder andere rotiferen, nematoden; borstel(-oligochaete-)wormen en insecten. Deze organismen prederen voornamelijk slibvlokken of delen van slibvlokken. In afbeelding 2 zijn microscopische opnames van deze groepen weergegeven.



Afbeelding 1

Microscopische opnames van amoeben; vergroting 400x (links), flagelaten; vergroting 1000x (midden) en ciliaten; vergroting 50x (rechts). Bron A,B.



Afbeelding 2

Microscopische opnames van rotiferen; vergroting 500x (links), nematoden; vergroting 125x (midden) en wormen; vergroting 50x (rechts). Bron B.

Borstelwormen

De aquatische borstelwormen hebben een lichaam dat meestal cirkelrond, zelden afgeplat en gesegmenteerd is. De totale lengte varieert van 1 tot 300 mm en de doorsnee van 0,5 tot 2 mm. Het aantal segmenten varieert van 7 tot 500. Naarmate de wormen ouder worden neemt het aantal segmenten toe. Ieder segment heeft één of meerdere paren borstels op de buik- en de rugzijde.

De wormen hebben over het algemeen geen concentraties van zintuigcellen. Uitzondering hierop zijn sommige wormen van de familie Naididae die ogen bezitten.

Voedsel wordt via een mondopening opgenomen, verwerkt door peristaltische bewegingen in een darmkanaal dat door het gehele lichaam loopt en uiteindelijk uitgescheiden.

De kleur van wormen wordt door inwendige kleuren bepaald en is meestal rood, soms wit. De rode kleur is een gevolg van het in het plasma opgelost hemoglobine. Vaak kan de kleur ook in verband worden gebracht met de leefomstandigheden van de worm. Onder verslechterende condities verandert de kleur van meestal rood naar een bruine tot een witte kleur. Bij een witte kleur is het hemoglobine niet tot nauwelijks meer aanwezig en de worm krijgt vermoedelijk problemen met de respiratie, die plaatsvindt door de huid.

Borstelwormen zijn tweeslachtig. Geslachtelijke voortplanting vindt plaats via het afzetten van eieren in cocons. Naast geslachtelijke voortplanting kunnen deze wormen zich ook ongeslachtelijk voortplanten door regeneratie van afgebroken lichaamsdelen. Tussen twee segmentdelen ontstaat dan een delingszone.

Vaak worden de wormen in relatief kleine aantallen in het slib waargenomen ($< 10^3$ per liter). Onduidelijk is waarom er spontaan een bloei ($> 10^5$ wormen per liter) van één of meerdere soorten borstelwormen optreedt in een slibproces. Enkele leefomstandigheden van de worm, d.w.z. de procesomstandigheden in het slibproces zoals zuurstofgehalte, geleidbaarheid en stromingscondities, zijn vóór en tijdens de bloei vrij constant. Een mogelijke oorzaak van de (spontane) bloei kan een wijziging van een andere procesomstandigheid in het slib zijn zoals bijvoorbeeld de procestemperatuur. Toch lijken ook andere condities zoals voedselaanbod (slibbelasting !) een rol te spelen bij het ontstaan van een bloei.

De borstelwormen die veelal in slib van afvalwaterzuiveringsinstallaties worden waargenomen behoren tot de families Naididae, Aeolosomatidae en Tubificidae. Een meer gedetailleerde beschrijving van deze wormen volgt hierna.

Beschrijving van Naididae, Aeolosomatidae en Tubificidae

In tabel 1 is een overzicht gegeven van enkele kenmerken van de genoemde wormen. In afbeelding 3 zijn microscopische opnames van deze wormen weergegeven.

Nais Elinguis

De *Nais Elinguis* behoort tot de familie van de Naididae. Het is een borstelworm, die in verschillende milieus zoals afvalwaterzuiveringsinstallaties, het waterleidingnet of oppervlaktewater kan voorkomen. Het is een vrijzwemmende borstelworm die onder voedselarme omstandigheden kan overleven als cyste. De worm plant zich over het algemeen ongeslachtelijk voort. In rwzi's zijn bij het optreden van een wormenbloei frequent *Nais* waargenomen.

Aeolosoma

De *Aeolosoma* behoort tot de familie Aeolosomatidae. Deze vrijzwemmende borstelworm komt voor in afvalwaterzuiveringsinstallaties. Onder de microscoop is hij makkelijk herkenbaar aan zijn platte kop en gekleurde, meestal rode oliedruppelachtige blaasjes. Via ongeslachtelijke voortplanting kan er een bloei optreden. Onder moeilijke leefomstandigheden, bijvoorbeeld een temperatuursverlaging, kan cystevorming optreden.

Tubifex

De *Tubifex* hoort tot de familie van de Tubificidae. De wormen die tot deze familie behoren zijn de meest voorkomende borstelwormen. Deze wormen zijn in tegenstelling tot de *Nais* en *Aeolosoma* sessiel. De worm "hecht" zich aan een bepaald oppervlak, bijvoorbeeld in een (slib)bodem. De kop van de worm bevindt zich in de sliblaag; het overige deel van het lichaam bevindt zich vrij bewegend in de vloeistof. Een schuilgelegenheid ("niche") is derhalve van

belang om zich te handhaven. In organisch vervuilde oppervlaktewateren komt de Tubifex veelvuldig voor. De meestal donkerrood gekleurde wormen zijn vaak herkenbaar als een "rode kolonie".



Afbeelding 3
Microscopische opnames van Nais Elinguis; vergroting 40x (links), Aeolosoma; vergroting 40x (midden) en Tubifex; vergroting 50x (rechts). Bron B,C.

Soorten als *Pristina*, *Dero*, *Lumbricillus* en *Limnodrilus* zijn wormen die incidenteel ook in slib van afvalwaterzuiveringsinstallaties worden waargenomen.

Tabel 1
Overzicht van enkele kenmerken van de meest voorkomende oligochaete wormen in afvalwaterzuiveringsinstallaties

	eenheid	Nais	Aeolosoma	Tubifex
pH-optimum	-	6-8	5-9	5-9
Temperatuuroptimum	°C	20-30	25-35	0-30
Verdubbelingstijd	dag	3	1-3	20-30
Lengte	mm	5-12	0,5-6	1-60

Determinatie van borstelwormen

Sommige wormen zijn, gezien de afmetingen van enkele mm en de kleur, met het blote oog te herkennen in slib, bijvoorbeeld de rood gekleurde kolonies van Tubifex. Meestal zijn vrijzwemmende wormen als Nais en Aeolosoma alleen onder de microscoop zichtbaar (vergroting 100-400 x).

Het onderscheiden van de families Naididae, Aeolosomatidae en Tubificidae is veelal goed mogelijk. Verdergaande determinatie van de borstelwormen op soortniveau is echter een ingewikkelde zaak. De belangrijkste anatomische kenmerken op basis waarvan de verschillende families van de borstelwormen kunnen worden onderscheiden zijn de kleur, de borstels (aantal, ligging, soort en vorm), de ligging en de bouw van het geslachtsapparaat en het bloedvatstelsel.

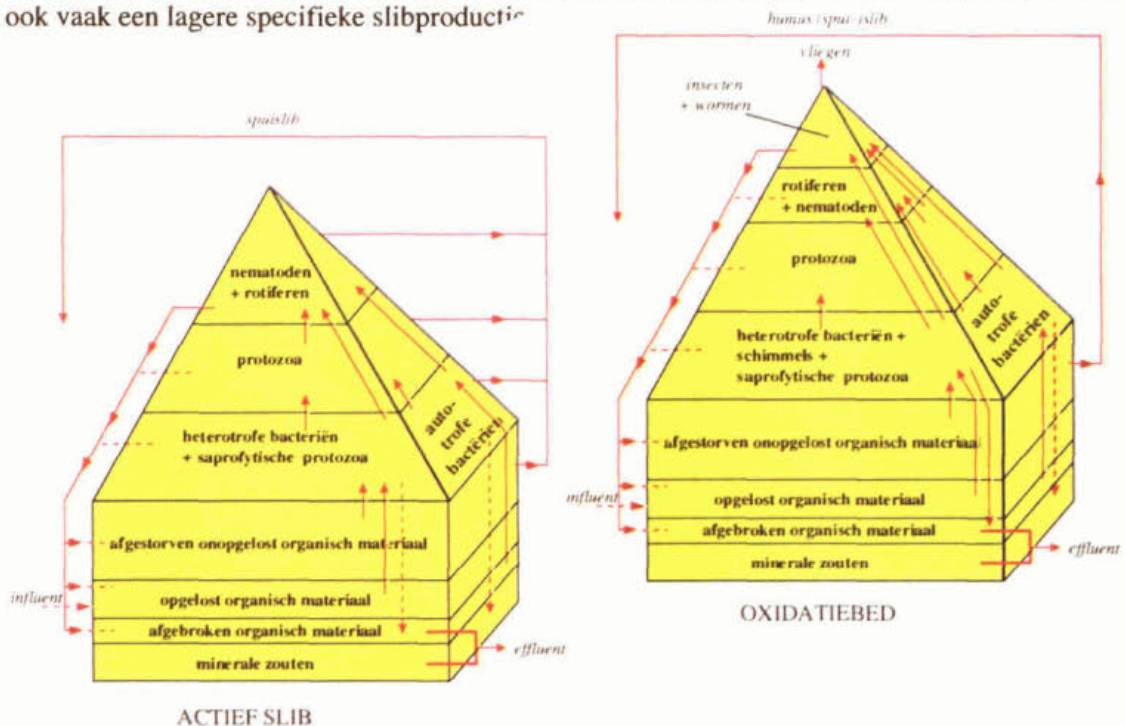
2.2 Predatieprincipe en -mechanismen in slibsystemen

Het predatie- of begrazingsprincipe in een biologisch zuiveringssysteem berust op een verlenging van de voedselketen. De verlenging van de voedselketen houdt in dat aan het systeem organismen worden toegevoegd die de hoeveelheid biomassa in het zuiveringsslib verminderen. Bij begrazing door wormen ontstaat uit een zekere hoeveelheid bacteriële biomassa een geringere hoeveelheid wormen. De totale hoeveelheid slib neemt derhalve af door begrazing. De aanwezigheid van wormen in de waterlijn of sliblijn van een rwzi leidt op deze wijze tot een vermindering van de slibproductie.

Het predatieprincipe is terug te voeren op de aanwezigheid van meerdere trofie (voedsel)niveaus in het zuiveringssysteem. Bacteriën voeden zich met het organische materiaal in het aangevoerde afvalwater. De bacteriën worden vervolgens weer gepredeerd door de aanwezige hogere organismen; protozoa en metazoa. Onderling zal tussen organismen behorend tot de proto- en metazoa eveneens enige mate van predatie plaatsvinden.

Bij een omzetting van bio- of organische massa van een lager trofieniveau naar een hoger trofieniveau gaat energie verloren omdat de conversie niet voor 100% efficiënt verloopt. De inefficiëntie zit in het feit dat er energie nodig is voor onderhoud ("maintenance") en vermeerdering en daarmee niet meer beschikbaar kan zijn voor het volgende trofieniveau. De reductie van het organische materiaal in het slib is aldus het gevolg van de inefficiënte omzettingen van organisch materiaal tussen organismen behorende tot verschillende trofieniveaus.

Een en ander is geschematiseerd weergegeven in afbeelding 4. In vergelijking met een actiefslibstelsysteem is de voedselketen in een oxidatiebed vaak langer. Een oxidatiebed geeft dan ook vaak een lagere specifieke slibproductie.



Afbeelding 4

Schematische weergave van de belangrijkste voedselrelaties in een actiefslibstelsysteem en een oxidatiebed (ref. 3)

Hoewel het predatieprincipe op het niveau van voedselrelaties min of meer duidelijk is, bestaat er nog grote onduidelijkheid over de werkelijke mechanisme(n) van predatie. Verschillende hypothesen voor het predatiemechanisme zijn bekend. Twee belangrijke zijn:

- *Directe slibpredatie door de borstelwormen.* De hoeveelheid slib die het darmkanaal van de worm verlaat is (sterk) gereduceerd. Bij dit mechanisme reduceert de worm zélf de hoeveelheid slib.
- *Indirecte slibpredatie door borstelwormen.* De wormen reduceren het slib niet zelf, maar bewerken het slib voor, waardoor bacteriën in het slib vervolgens in staat zijn het slib verdergaand te mineraliseren.

Uit microscopische opnames blijkt dat de worm de opgenomen slibvlok verkleind in meerdere kleinere slibvlokken en/of omzet in excretieproducten (faeces) en vervolgens dit teruggeeft aan het waterige milieu.

Ook bestaat er nog onduidelijkheid over het al of niet optreden van zogenaamde *selectieve predatie* door wormen. Dit wil zeggen dat de wormen slechts een bepaalde selecte groep van bacteriën prederen. Deze voorkeur zou een beperking voor de toepassing van het predatieproces in de praktijk met zich mee kunnen brengen. Naast een beperkte slibreductie zou een selectieve begrazing van bijvoorbeeld nitrificerende bacteriën ook tot een verminderde effluentkwaliteit ten aanzien van ammoniumstikstof kunnen leiden.

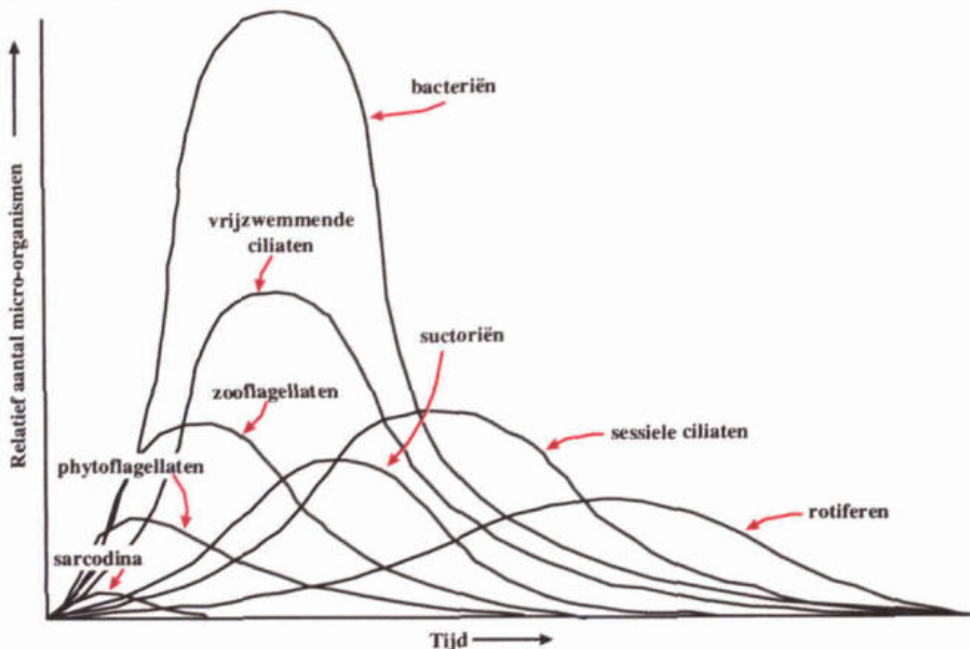
Aërobe en anaërobe slibmineralisatie

Twee bekende technieken om (het organisch gehalte van) zuiveringsslib te reduceren zijn aërobe en anaërobe slibstabilisatie.

Anaërobe slibstabilisatie vindt alleen plaats bij een waterlijn die uitgerust is met een voorbezinkproces of een hoogbelaste eerste trap waarbij een primairslibstroom ontstaat. Dit primaire slib wordt, al of niet gecombineerd met surplusslib, anaëroob vergist ofwel gestabiliseerd.

Bij aërobe slibstabilisatie wordt het surplusslib apart van de waterlijn in een slibreactor onder toevoeging van luchtzuurstof verdergaand gemineraliseerd. Bij dit aërobe mineralisatieproces nemen de aantallen protozoa zoals ciliaten toe en dragen bij tot de mineralisatie. Bij dit proces nemen de aantallen wormen, een hoger trofieniveau, vrijwel niet toe. Alleen het verlengen van de hydraulische slibverblijftijd, zoals in systemen voor aërobe slibstabilisatie plaatsvindt, is dus zichtbaar onvoldoende om een grote wormenpopulatie (een bloei) op te kweken. Het ontbreken van een schuilmogelijkheid ("niche") binnen de stabilisatietank kan hierbij een rol spelen.

De ontwikkeling en dominantie van de verschillende groepen van organismen in een slibstelsel, - de trofieniveaus -, in relatie tot de slibverblijftijd in het systeem is geschetst in afbeelding 5.

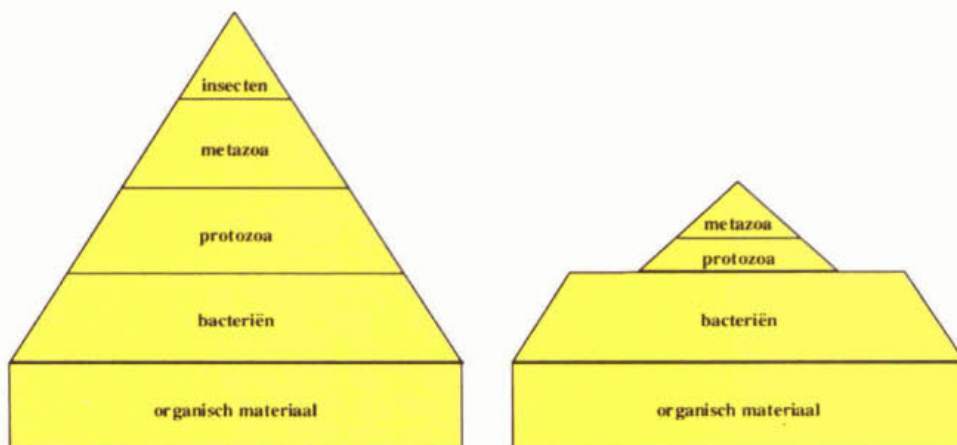


Afbeelding 5

Ontwikkeling van verschillende groepen van organismen in relatie tot de (slib)verblijftijd in een biologisch afvalwaterzuiveringssysteem (ref. 6)

Deze afbeelding illustreert ook dat het (hogere) trofieniveau van de wormen niet automatisch tot bloei komt bij een verlenging van de (slib)verblijftijd. Dit ondanks het feit dat de soort wél in geringe aantallen in het systeem aanwezig kan zijn.

In de literatuur wordt dan ook de voedselketen in een biologisch afvalwaterzuiveringssysteem wel eens weergegeven als de rechterpiramide in afbeelding 6. Deze weergave van de voedselpiramide geeft aan dat de organismen behorend tot de hogere trofieniveaus niet echt in grote aantallen voorkomen. Bij een bloei is dit wel het geval en treedt een duidelijke vermindering van de slibproductie op. De voedselketen heeft dan meer de vorm van de linkerpiramide in afbeelding 6.



Afbeelding 6

Verschillende wijze van weergave van de voedselketen of populatiepiramide in een biologisch afvalwaterzuiveringssysteem. (ref. 2)

2.3 Samenvatting reeds uitgevoerd onderzoek naar slibpredatie in Nederland

WUR, Rensink (ref. 8,9,10)

In de jaren '70 werd men aan de WUR tijdens proefonderzoek met een laagbelaste oxidatiesloot voor het eerst geconfronteerd met een massale groei van de worm *Aeolosoma*. Parallel aan de groei van deze wormen nam de slibconcentratie in het systeem af. Opvallend was ook dat het effluent niet in kwaliteit achteruit ging, ondanks het 'stukvreten' van de slibvlok door de wormen. Bovenstaande bevindingen waren aanleiding om uitgebreider onderzoek te verrichten naar de rol van wormen in actiefslibinstallaties.

Uit dit onderzoek bleek dat bij sommige experimenten ten gevolge van de begrazingsactiviteit van de wormen de slibreductie circa 50% op drogestofbasis bedroeg.

TNO, Eikelboom (ref. 1,2)

Aan de hand van een literatuurinventarisatie is een opsomming gegeven van de populatiesamenstelling en -omvang van hogere organismen in actiefslibsystemen. Op basis van enkele theoretische kenmerken, gecombineerd met een aantal aanwijzingen in praktijkinstallaties, wordt een positief beeld geschetst over de mogelijkheden die hogere organismen zouden kunnen bieden ten aanzien van slibreductie. De meeste van deze organismen dragen onder (nog onbekende) specifieke omstandigheden bij aan de slibconsumptie. Geconcludeerd is dat, mits zij zich in een biologisch afvalwaterzuiveringssysteem kunnen vermeerderen en handhaven, zij een bijdrage kunnen leveren aan een significante slibvermindering.

Op basis van deze inventarisatie is voor een aantal hogere organismen ook een aantal oorzaken genoemd die mogelijk een rol spelen bij de beperking van de populatie-omvang in actief slib (tabel 2).

Tabel 2

Invloed van enkele factoren op de beperking van de populatie-omvang. -, +, ++, +++: in toenemende mate doorslaggevend voor de beperking

	ciliaten	rotiferen	nematoden	wormen
Hoeveelheid voedsel	+	+	+	-
Beschikbaarheid voedsel	+++	+++	++	-
Zuurstof	-	+	-	-
Temperatuur	-	-	+?	++
Slibleeftijd	+	+	++	+
Schuilgelegenheid	-	-	+++	++
Onbekende factoren	-	+++	-	+++

VU Amsterdam, Ratsak (ref. 7)

De VU Amsterdam heeft in samenwerking met TNO onderzoek verricht naar de ecologie van wormen en de toepassingsmogelijkheden daarvan in rwzi's. Dit was mede naar aanleiding van een grote wormenbloei welke werd geconstateerd in enkele rwzi's van het Zuiveringsschap West-Overijssel. Uit de waarnemingen van bijvoorbeeld de rwzi Deventer bleek dat perioden met geringe of geen surplusslibproductie overeenkwamen met perioden waarbij massale groei van wormen (*Nais Elinguis*) optrad.

Naar aanleiding van dit onderzoek is fundamenteel onderzoek verricht naar de mogelijkheden van biologisch vermindering van slibproductie door begrazing. Dit onderzoek is voornamelijk uitgevoerd met modelsubstraten op laboratoriumschaal.

DHV Water, WUR (ref. 4)

In de periode 1995-1997 is door DHV Water en de WUR gezamenlijk onderzoek verricht naar de toepassing van wormen voor slibreductie in rwzi's.

Daarbij is gebruik gemaakt van diverse typen proefinstallaties (oxidatiesloot, actief-slibinstallatie, biorotor en oxidatiebed). De installaties zijn batchgewijs of continue gevoed met afvalwater of slib, afkomstig van rwzi's die hoofdzakelijk afvalwater van huishoudelijk oorsprong behandelden. Daarnaast zijn enkele experimenten verricht met slib afkomstig van een bierbrouwerij.

Uit de verkregen resultaten kon samenvattend het volgende worden geconcludeerd:

- in de verschillende onderzoeken zijn slibreducties waargenomen, variërend van 10 tot 75% op drogestofbasis;
- predatie door wormen heeft een verlaging van de SVI van het actief slib en een verbetering van de ontwaterbaarheid van het surplus slib tot gevolg;
- het creëren van 'niches', bijvoorbeeld met behulp van een drager, is van groot belang voor sessiele wormen als *Tubifex*;
- de groeisnelheid van vrijzwemmende wormen (*Nais Elinguis* en *Aeolosoma*) is afhankelijk van de procestemperatuur en de temperatuurontwikkeling;
- slibpredatie leidt tot verdergaande mineralisatie van het slib. Nutriënten als fosfaat en stikstof komen hierbij vrij.

WUR, industrieel slib (ref. 8,9,10)

Batch-experimenten waarbij actief slib van een industriële afvalwaterzuiveringsinstallatie over een oxidatiebedinstallatie werd geleid, gaven een verhoging van de slibreductie te zien met circa 35% wanneer *Tubifex* wormen van viskweekbedrijven aan de reactor werden toegevoegd.

Het oxidatiebed was gevuld met lavastenen. De industriële zuivering behandelde afvalwater van een bierbrouwerij. Bij deze experimenten werd een verhoging van het fosfaat- en nitraatgehalte geconstateerd in het bovenstaande effluent.

2.4 Neveneffecten bij slibpredatie

Naast afname van de productie heeft mineralisatie van slib door predatie mogelijk een aantal effecten op andere processen in de water- en sliblijn van een afvalwaterzuiveringsinstallatie. Door predatie vindt afbraak van biomassa plaats, resulterend in een toename van het aantal afbraakproducten. Deze afbraakproducten zijn voornamelijk koolstof- stikstof- en fosfaat-houdende componenten.

Ondanks de (theoretische) toename van het aantal afbraakproducten is uit diverse onderzoeken en waarnemingen gebleken dat het optreden van een wormenbloei niet altijd gepaard ging met een vermindering van de effluentkwaliteit van de desbetreffende zuiveringsinstallatie. Hoewel een enkele maal melding is gemaakt van een troebeling van het effluent als gevolg van een toename van het zwevendestofgehalte, bestaat er geen duidelijk beeld van de beïnvloeding van de effluentkwaliteit door predatie.

De mogelijke neveneffecten (in theorie) worden hierna kort beschreven.

Nitrificatie

Een vermindering van de slibproductie door predatie heeft, bij een gelijkblijvend slibgehalte, een verlenging van de slibleeftijd in de waterlijn van een actiefslibproces tot gevolg. Het aandeel nitrificerende bacteriën in het slib zal daarmee toenemen. Het bij de slibpredatie vrijkomende ammonium-stikstof zal naar alle waarschijnlijkheid kunnen worden genitriciseerd. Een stijging van het ammoniumgehalte in het effluent zal dan niet optreden.

Enkele auteurs hebben overigens gerapporteerd dat predatoren mogelijk selectief nitrificerende bacteriën begrazen. Het feit dat deze waarnemingen zijn gedaan bij slib-op-drager systemen (nitrificerende biofilters) waar nitrificeerders voornamelijk aan de buitenkant van de slibvlok voorkomen, nuanceert de constatering over selectieve begrazing.

Denitrificatie

Het ammonium-stikstof, vrijkomend bij het mineralisatieproces zal worden omgezet naar nitraat. Voor denitrificatie van het (extra) gevormde nitraat is koolstof in de vorm van CZV nodig. Vaak is de met het afvalwater binnenkomende CZV beperkend voor een volledige denitrificatie. Ook zal gezien de verdergaande mineralisatiegraad van het slib de beschikbaarheid van organische koolstof mogelijk extra beperkt zijn. Anderzijds zal als gevolg van de toegenomen slibleeftijd in de waterlijn meer ruimte ontstaan voor het denitrificatieproces. Ook zal een deel van de afbraakproducten uit organische koolstof bestaan, die weer kan dienen als CZV-bron voor denitrificatie.

Fosfaatverwijdering

Naast stikstof zal bij predatie fosfaat in oplossing gaan. Indien fosfaat biologisch wordt verwijderd zal het van de overblijvende fosfaatverwijderingscapaciteit van het slib afhangen in hoeverre volledige biologische fosfaatverwijdering nog mogelijk is. Indien de slibproductie sterk terugloopt zal, ondanks een voldoende hoog aandeel van fosfaatbacteriën in het slib, de fosfaatafvoer via het spuislib onvoldoende kunnen zijn.

Dosering van chemicaliën om het fosfaat chemisch vast te leggen is mogelijk, maar is gezien het doel van slibpredatie (slibvermindering) geen echte optie.

Slibbezinking, slibindikking en slibontwatering

Vele onderzoeken laten zien dat de slibvolume-index (SVI) van het gepreedeerde slib in het algemeen positief wordt beïnvloed door predatie van wormen. Enerzijds neemt door opname

van slib(delen) in het darmkanaal van de worm de deeltjesgrootte af, anderzijds vindt ook begrazing van de buitenkant van slibvlokken plaats waardoor de vlok compacter wordt. Ook door het wegnemen van vrijzwemmende bacteriën door predatoren treedt een filterende werking op waardoor de bezinkbaarheid van slibvlokken toeneemt.

De verbetering van de slibbezinkingseigenschappen is enkele malen waargenomen bij een wormenbloei in de praktijk (4.3).

In afbeelding 7 illustreren microscopische opnames van slib het effect van predatie door wormen op de vloggrootte.



Afbeelding 7

Effect van predatie door wormen op de vloggrootte van slib. Links niet gepredeerd slib. Rechts hetzelfde slib na predatie. De vlokken zijn na predatie kleiner en er is veel zwevend materiaal. Vergroting 125x. Bron C.

De verbeterde bezinkeigenschappen van het slib hebben naar verwachting ook een positieve invloed op het gravitaire indikkingsproces en de mechanische ontwateringsprocessen.

Verwijdering van zware metalen

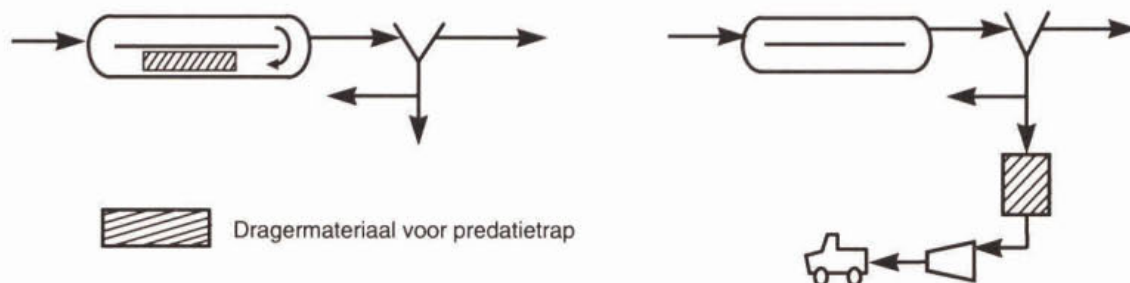
Een groot deel van de zware metalen worden door adsorptieprocessen en precipitatiereacties, optredend in de waterlijn, in onoplosbare vorm afgevoerd met het spuislib. Indien als gevolg van predatie de spuislibproductie sterk afneemt zou dat tot een verhoging van het zware metalengehalte in het effluent kunnen leiden. Anderzijds kunnen vrijkomende zware metalen ook accumuleren in de wormen. Over dit neveneffect zijn vrijwel geen ervaringen en waarnemingen gerapporteerd.

3 DOEL EN OPZET PILOTPROEF

3.1 Doel pilotproef

Zoals beschreven in 1.2 was het oorspronkelijk doel van de pilotproef het creëren van zodanig gunstige omstandigheden in een bestaande rwzi dat de groei van wormen wordt gestimuleerd, predatie van slib optreedt en vervolgens de spuislibproductie significant wordt verminderd.

Het onderzoek is in eerste instantie gestart met een pilotproef volgens het concept "predatie in de waterlijn" door middel van het plaatsen van dragermaterialen in de waterlijn. Later is op basis van de behaalde resultaten het onderzoek voortgezet met een pilotproef naar "predatie in de sliblijn" en een inventarisatie naar het vóórkomen van wormen in Nederlandse rwzi's.



Afbeelding 8

Schematische weergave van slibpredatie in de waterlijn (links) en sliblijn (rechts) van een zuiveringsinstallatie

In dit hoofdstuk zijn de achtergronden en de overwegingen die tot het oorspronkelijke doel en het bijgestelde doel van de pilotproef hebben geleid, resulterend in een drietal onderzoeksfasen, stapgewijs beschreven.

In dit hoofdstuk is ook de opzet van de uitvoering van de verschillende onderzoeksfasen beschreven.

3.2 Nadere beschouwing onderzoeksfasen

1) Slibpredatie in de waterlijn

De overweging om te starten met het predatieconcept in de waterlijn van een rwzi was de volgende:

- In de praktijk is tot op heden wormenbloei vrijwel altijd in de waterlijn van een rwzi waargenomen. Zie ook de resultaten van de inventarisatie in 4.3.

2) Toepassen van Tubifex wormen

Overwegingen bij de inzet van Tubifex wormen in het predatieconcept in de waterlijn waren de volgende:

- De wormen die vaak bij een bloei worden waargenomen (Nais en Aeolosoma) zijn vrijzwemmende wormen. Uitspoeling via het effluent en spuislib zijn als een mogelijke oorzaak aangemerkt voor het verdwijnen van deze wormen uit het systeem resulterend in een korte duur van de bloei. Derhalve is gekozen om gebruik te maken van de sessiele worm Tubifex. Tubifex wormen worden ook, in relatief geringe aantallen, in slib(lagen) van rwzi's aangetroffen. Gezien de "hechtende" eigenschappen van deze wormen zou via het plaatsen

van een drager de wormen langer in het systeem kunnen worden vastgehouden. Hun langere delingstijd zou daarmee ook geen beperkende factor meer zijn.

- Pilotproeven met Tubifex wormen, aanwezig op dragermateriaal in zowel de water- als de sliblijn, hebben aangegeven dat een significante vermindering van de slibproductie (variërend van 10 tot 75% op basis van droge stof) kan optreden.

3) Slibpredatie in een omloopsysteem

De volgende overwegingen hebben geleid tot het starten met slibpredatie in een omloopsysteem:

- Omloopsystemen zijn een representatief zuiveringssysteem voor de Nederlandse situatie.
- In veel gevallen heeft dit zuiveringssysteem geen anaërobe slibstabilisatie als slibreductiestap. Zuiveringssystemen met een anaërobe slibgisting zijn vaak propstroomsystemen.
- De omloopsystemen in Nederland opereren vaak met een ultralage slibbelasting en/of zijn onderbelast. Hierdoor is plaatsing van dragermateriaal in de waterlijn mogelijk zonder dat het minimaal benodigd aëratievolume wordt aangetast. Er behoeft dan niet in een uitbreiding van de waterlijn te worden voorzien bij de introductie van een mineralisatietrap door wormen.
- Veel omloopsystemen hebben een relatief geringe capaciteit (oxidatiesloten). De lozingeisen ten aanzien van N-totaal en P-totaal zijn vaak minder stringent bij deze kleine omloopsystemen. Hierdoor is een eventueel negatief effect op de effluentkwaliteit (tijdens de pilotproef) niet onoverkomelijk voor de beheerder.

4) Slibpredatie op de rwzi Bennekom

Overwegingen om de pilotproef op de rwzi Bennekom te starten waren:

- De rwzi, een oxidatiesloot, is ultralaag belast (circa 0,05 kg BZV/kg d.s.d) en ontvangt voornamelijk afvalwater van huishoudelijke aard. Hiermee komen de karakteristieken van het actiefslibproces voor wat betreft het type afvalwater en de actuele slibbelasting zoveel mogelijk overeen met de omstandigheden waaronder het reeds uitgevoerde onderzoek had plaatsgevonden. De ultralage belasting betekent ook dat er ruimte aanwezig is voor plaatsing van dragermateriaal.
- De minder stringente effluenteisen voor de rwzi Bennekom maken de uitvoering van een proef op praktijkschaal minder problematisch bij een eventuele (tijdelijke) verhoging dan wel overschrijding van één of meerdere effluentparameters. Als gevolg van de verhoogde slibmineralisatie door wormen zou de verwijderingscapaciteit voor fosfaat en stikstof via vastlegging in het actief slib en/of de biologische verwijderingsprocessen mogelijk kunnen afnemen.
- De rwzi is in de nabijheid van de onderzoekslocatie "proefhal Bennekom" gesitueerd.

De rwzi Bennekom opereert met een actief slib met goede bezinkeigenschappen. Aan de voorwaarde om de pilotproef te starten op een rwzi met minder goede slibbezinkingseigenschappen (hoge SVI, slibuitspoeling tijdens rwa) of met minder goede slibindikkings- dan wel ontwateringseigenschappen is daarmee niet voldaan. Uit voorafgaand onderzoek was gebleken dat slibpredatie vaak gepaard ging met een verbetering van deze eigenschappen;

5) Slibpredatie in de sliblijn

Overwegingen die hebben geleid tot voortzetting van het onderzoek volgens "slibpredatie in de sliblijn" zijn de volgende geweest:

- Op grond van de waarnemingen en resultaten tijdens de onderzoeksfase "predatie in de waterlijn, omloopstelsel, rwzi Bennekom" is geconcludeerd dat het oorspronkelijk doel van de pilotproef: het verkrijgen van een significante vermindering van de spuislibproductie in de waterlijn, niet haalbaar bleek te zijn.
- De hoge stroomsnelheid in het omloopcircuit bleek een belangrijke belemmering te zijn voor de gewenste ophoping van slib en wormen op het dragermateriaal. Geconcludeerd is dat voortzetting van het onderzoek bij een propstroominstallatie met relatief lage stroomsnelheid van het actief slib niet zinvol zou zijn, gezien het feit dat veel propstroominstallaties anaërobe slibstabilisatie in het zuiveringconcept hebben. Introductie van wormen met als hoofddoel slibreductie ligt bij deze installaties daarmee minder voor de hand. Een potentiële verbetering van de slibbezinkings- en ontwateringseigenschappen als gevolg van de introductie van wormen is bij de overwegingen buiten beschouwing gelaten.
- Een alternatief voor het predatieconcept in de waterlijn is predatie in de sliblijn. De predatietrap wordt binnen dit concept als aparte mineralisatietrap gezien. Dit is vergelijkbaar met aërobe slibstabilisatie, met dat verschil dat er zich wormen in de reactor bevinden die significant meer slib reduceren dan wel mineraliseren. De beïnvloeding van de processen in de waterlijn is bij het sliblijnconcept minimaal. Zie ook 2.4.
- Pilotproeven in een oxidatiebed als sliblijnreactor met toepassing van Tubifex wormen hebben significante slibreducties laten zien.

Omdat uit het voorafgaande onderzoek geconcludeerd is dat zowel slibhechting als de zuurstofvoorziening van belang zijn, zijn in deze onderzoeksfase drie reactorconfiguraties voor het predatieconcept in de sliblijn in beschouwing genomen: het oxidatiebedconcept, een suspensiereactor met vaste drager en een suspensiereactor met mobiele drager.

6) Inventarisatie van rwzi's

Op basis van de resultaten is het onderzoek naar de toepassing van predatie in de waterlijn in omloopstelsels verlaten. In aanvulling op de onderzoeksfase predatie in de sliblijn is besloten om een praktijkinventarisatie uit te voeren. Overweging hiervoor was de volgende:

- Het is mogelijk dat het waterlijnconcept wel toepasbaar is in propstroomstelsels, daar waar de stroomsnelheid van het slib aanzienlijk lager is en ophoping van slib en wormen op dragermateriaal mogelijk wel plaatsvindt. Om dit na te gaan is een inventarisatie uitgevoerd naar het voorkomen van wormenbloei op rwzi's in Nederland. Via deze enquête is onder meer getracht inzicht te verkrijgen in welk type rwzi (omloop, propstroom) wormenbloei frequent wordt waargenomen.

3.3 Opzet pilotproef

3.3.1 Opzet pilotproef slibpredatie in de waterlijn

De pilotproef is op de rwzi Bennekom uitgevoerd. Deze rwzi is een ultralaag belaste continue bedreven oxidatiesloot, die voornamelijk afvalwater van huishoudelijke afkomst verwerkt. De oxidatiesloot bestaat uit 12 kanalen, elk met een diepte van 0,90 meter. Vijf beluchtingrotoren verzorgen de zuurstofinbreng.

Fosfaat en stikstof worden vergaand biologisch verwijderd en de rwzi voldoet ruimschoots aan de gestelde N- en P-eisen. Het referentiekader vanuit het verleden voor de effluent- en slibkwaliteit is vrij stabiel. Meer informatie over de rwzi is gegeven in bijlage 1.

De oorspronkelijke onderzoeksopzet bestond uit twee fasen:

Fase 1: Plaatsing van dragermateriaal in de oxidatiesloot en onderzoek naar de hechting van wormen op dragers

Meer specifiek zou tijdens deze fase onderzoek plaatsvinden naar:

- *Het toe te passen dragermateriaal.* De aard van het materiaal (materiaaleigenschappen, de vorm van het materiaal, de poriëngrootte of maaswijdte) werd als belangrijk aspect gezien voor de hechting van zowel slib als wormen.
- *De positie van het dragermateriaal in de rwzi.* Stromingscondities zoals de snelheid waarmee het slib langs de drager stroomt en de zuurstofcondities bij de drager werden als belangrijke factoren gezien voor het mineralisatieproces.
- *Constructie en vervuilingsaspecten van het dragermateriaal.* Via monitoring van de dragermaterialen zou ook de vervuiling van het dragermateriaal en de elementen door onder andere roostergoed ('ragging') en slib kunnen worden vastgesteld. Zodoende zou met mogelijke vervuilingsaspecten rekening kunnen worden gehouden tijdens de constructie en plaatsing van de dragerelementen in een meer definitieve situatie (zie fase 2).

De volgende dragermaterialen zijn in de oxidatiesloot van Bennekom toegepast:

- *Rauschert ringen.* Deze kunststofringen (diameter 6 cm, type Raflux), die ook in oxidatiebedinstallaties worden toegepast, zijn in korven met een volume van ca. 0,2 m³ bijeengehouden.
- *Envicon buizen.* Deze polyethyleen buizen (BIOPAC 10) met een diameter van 0,06 meter, een lengte van 0,6 meter en een maaswijdte van 1 cm, zijn in een pakket van 64 buizen in de stromingsrichting geplaatst en worden horizontaal doorstroomt.
- *Recticel matten.* Deze flexibele polyurethaan matten van 1 bij 2 meter en 2 cm dikte, zijn zowel horizontaal als verticaal in de stromingsrichting gemonteerd. Dit materiaal wordt ook toegepast in biologische luchtbehandelingsystemen.

De bovengenoemde materialen zijn veelal ook gebruikt in de voorafgaande laboratorium- en pilottesten.

De matten, korven en pakketten werden gemonteerd aan een dragerstang die dwars over het kanaal van de oxidatiesloot was geplaatst. De dragers zijn zowel stroomafwaarts van een beluchtingsrotor als in een onbelucht 'been' van de sloot gesitueerd. Op deze wijze stroomt zowel (aëroob) slib met een relatief hoog zuurstofgehalte, als (anoxisch) slib met relatief laag zuurstofgehalte langs de dragermaterialen.

In bijlage 2 zijn de toegepaste dragermaterialen en de montage van de dragermaterialen in de rwzi Bennekom met enkele afbeeldingen toegelicht.

Enting met Tubifex wormen

Na één maand in de praktijkinstallatie te hebben gehangen zijn de dragermaterialen geënt ('ingesmeerd') met Tubifex wormen. Deze enting is verricht door de materialen "in te smeren" met Tubifex wormen verkregen uit viskweekbedrijven en met slib uit de sliblaag van de rwzi Bennekom waarin zich op dat moment Tubifex wormen bevonden. Doel was na te gaan in hoeverre de wormen zouden blijven hechten onder de heersende procescondities in de rwzi.

Tijdens fase 1 zijn de in de sloot hangende dragermaterialen gemonitord op ophopingen van slib en sessiele wormen met een frequentie van 1 maal per 2 weken.

Fase 2: Onderzoek naar slibpredatie in de waterlijn via een duurproef

Op basis van fase 1 zou het meest geschikte dragermateriaal worden geselecteerd en de meest geschikte locatie(s) in de sloot worden vastgesteld. Na het plaatsen van dragermaterialen op meerdere posities in de rwzi zou vervolgens in een duurproef van minimaal 6 maanden de groei van wormen worden gestimuleerd, met als doel op de rwzi Bennekom een significante vermindering van de spuislibproductie te bewerkstelligen.

De deelfasen die in deze duurproef vooraf werden onderscheiden waren de volgende:

● ***Uitwerking referentiekader rwzi Bennekom***

- *Nadere analyse van de bedrijfsresultaten.* Op basis van de gegevens van de afgelopen jaren zou inzicht worden verkregen in de werking van de rwzi ten aanzien van de CZV, BZV, P en N-verwijdering, de slibproductie en slibkwaliteit (SVI, gloeirest) in relatie tot de slibbelasting en procestemperatuur.
- *Vastlegging van actuele bedrijfsgegevens.* De registratie van de volgende actuele bedrijfsgegevens van de rwzi werd van belang geacht voor de introductie van slibpredatie:
 - Zuurstofprofiel in het circuit. Via zuurstofmetingen over de lengte en de diepte van de diverse kanalen van de rwzi Bennekom zou de relatie tussen de zuurstofconcentratie en de afstand tot de beluchtingsrotoren in kaart moeten worden gebracht.
 - Stroomsnelheden in circuit. De positie van een drager ten opzichte van het slib/watermengsel zou naar verwachting in belangrijke mate de 'niche structuur' bepalen. Vastlegging van de stromingscondities in het circuit is derhalve van belang.
 - Fe-gehalte in influent en effluent. Gezien de aanwezigheid van hemoglobine bij wormen is ijzer mogelijk een belangrijk (spore)element bij bloei en handhaving van wormen in een actiefslibproces. Daartoe zou het ijzergehalte in het afvalwater en actief slib van de rwzi Bennekom worden geanalyseerd.
 - Microscopisch slibbeeld. Via microscopisch slibonderzoek zou de actuele uitgangssituatie van het slib van de rwzi Bennekom worden vastgelegd.
 - Slibbezinkings- en ontwateringseigenschappen. Naast de SVI zou ook de filterbaarheid en de ontwaterbaarheid van het spuislib worden bepaald.
 - Zwevende stof in effluent. Via filters met een verschillende poriëndiameter zou de opbouw van het zwevende stof in het effluent worden vastgesteld (colloïdaal, gesuspendeerd).

● ***Uitvoering duurproef in rwzi Bennekom***

Tijdens de duurproef zou via microscopisch slibonderzoek, diverse nat/wateranalyses aan influent, effluent en slib en registratie van enkele bedrijfsgegevens (o.a. energieverbruik rotoren) het effect van de wormen op slibhuishouding (drogestofafbraak, slibbezinkbaarheid en slibontwaterbaarheid), de effluentkwaliteit (CZV, BZV, P, N en SS) en de zuurstofhuishouding worden vastgesteld. De resultaten van de duurproef zouden worden vergeleken met de referentieperiode.

Gezien de trage ontwikkeling van de gewenste ophopingen van slib en wormen op het geplaatste dragermateriaal is het onderzoeksprogramma bijgesteld. De volgende aanpak is daarna gevolgd voor de predatie in de waterlijn:

- **Monitoring van de wormenontwikkeling in de rwzi Bennekom**

Tijdens fase I van het onderzoek kwam de wormenpopulatie, die zich in de sliblaag achter de beluchtingsrotoren bevond, tot bloei. Via monitoring is de verdere ontwikkeling van de wormenbloei in deze sliblaag kwalitatief maar ook meer kwantitatief vastgelegd.

Bij het monitoren is de bovenste 10 cm van de sliblaag met behulp van een monsterbuis of slibhapper bemonsterd. Het aantal wormen en cocons is via een microscopische telling vastgesteld.

- **Uitvoering van ondersteunend laboratoriumonderzoek**

Naast de monitoring van de sliblaag is ondersteunend onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek, dat voor een deel in STW-verband (zie 1.4) is uitgevoerd, omvatte twee elementen:

- *Hydraulische benadering voor het ontwerp van een dragerconfiguratie*

Via hydraulische berekeningen is getracht inzicht te krijgen in welke dragerconfiguratie(s), gesitueerd in de waterlijn, in staat is (zijn) om de stroomsnelheid binnen of in de nabijheid van het dragerelement zodanig te verminderen dat slibophoping dan wel -hechting plaatsvindt. Randvoorwaarden waren daarbij dat het principe van een omloopsysteem (een hoge interne recirculatie) gehandhaafd blijft en dat de opstelling van de configuratie in het circuit zodanig is dat de kans op verstopping van de elementen wordt geminimaliseerd.

- *Oriënterende applicatieproeven met het dragermateriaal.*

Omdat de sliblaag in de rwzi Bennekom, grotendeels bestaand uit anorganisch materiaal (zand), blijkbaar een "niche" is voor sessiele wormen als Tubifex, is in een proefopstelling onder gecontroleerde omstandigheden de hechtings- en ophopingseigenschappen van zand in relatie tot de stroomsnelheid onderzocht. Deze proefopstelling is ook gebruikt om de relatie tussen de stroomsnelheid van het slib en de hechting op de dragermaterialen vast te stellen.

3.3.2 Opzet pilotproef slibpredatie in de sliblijn

In het onderzoek naar het predatieconcept in de sliblijn zijn drie reactorconcepten betrokken:

- **Een oxidatiebed.** Dit principe is succesvol toegepast in de onderzoeken bij de WUR (ref. 8,9,10) en DHV (ref. 4). Slib wordt hierbij over een reactorkolom geleid die gevuld is met een vaste drager. In het pilotonderzoek is de kolom voor 50% gevuld met lavastenen en voor 50% met Rauschert Raflux ringen.
- **Een slibsuspensiereactor en een vaste drager.** Dit concept is vergelijkbaar met een airliftreactorconcept. De toepassing van bellenbeluchting zorgt ervoor dat het slib langs de drager wordt getransporteerd. Als dragermaterialen zijn Envicon buizen en Recticel matten toegepast.
- **Een slibsuspensiereactor en een mobiele drager.** Dit concept kan worden vergeleken met een actiefslibreactor waarin Linporsponsjes als dragermateriaal is ingebracht. De afschuifkrachten tussen drager en slib zijn binnen dit concept lager in vergelijking met het tweede concept.

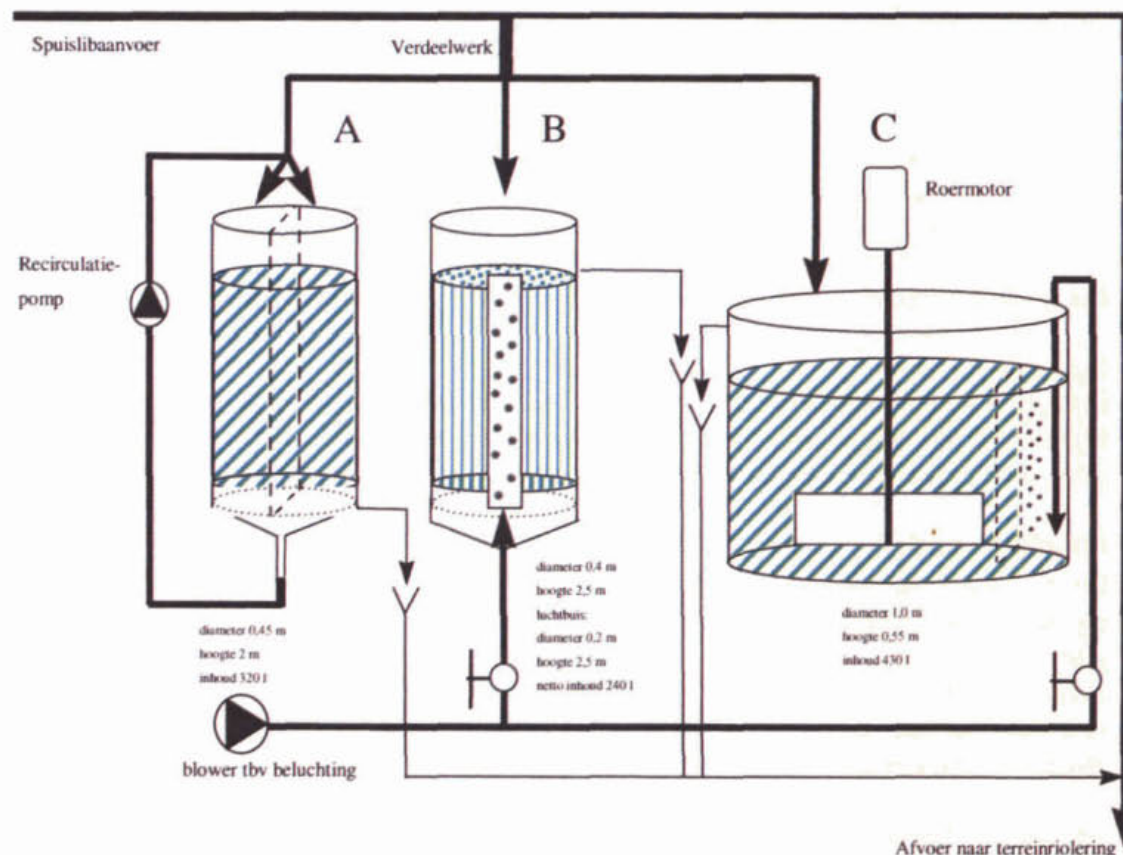
Een schematische weergave van de drie pilotinstallaties voorzien van informatie over de afmetingen is in afbeelding 9 weergegeven.

De proefinstallaties zijn geplaatst in een container. Alle drie de pilotplants zijn via een verdeelwerk gevoed met hetzelfde slib. Het voedingslib voor de drie reactoren was het slib van de rwzi Bennekom dat als retourlib werd onttrokken.

De belasting van de reactoren bedroeg ca. 1 m^3 slib per m^2 reactoroppervlak per uur. De drogestofbelasting lag daarmee in het bereik van 4-10 kg d.s./($\text{m}^2 \cdot \text{h}$). Deze belasting is ook aangehouden in de eerder uitgevoerde pilotexperimenten.

Op basis van de voorgestelde aanpak zou moeten worden vastgesteld of slib- of wormenophoping op of in het dragermateriaal mogelijk is. Bij positieve bevindingen zou het onderzoek mogelijk met een vervolgtraject van een praktijkproef op grotere schaal worden voortgezet.

Optimalisatie van de drager en de reactorconfiguraties heeft tijdens dit onderzoek niet plaatsgevonden.



Afbeelding 9

Schematische weergave van drie reactorconcepten betrokken bij het onderzoek naar predatie in de sliblijn. A = oxidatiebedreactor, B = slib-suspensiereactor met vaste drager, C = slib-suspensiereactor met mobiele drager.

Onderzoeksp periodes

Het onderzoek is opgebouwd uit de volgende periodes:

- opstartperiode mei - tot begin juni 2000; week 19 - week 22
- referentieperiode juni - juli 2000; week 23 t/m week 28
- entperiode juli 2000; week 29 en 30
- periode met wormen augustus 2000 - maart 2001; week 31 t/m week 12

Opstartperiode

Deze periode is gebruikt om tot een stabiele bedrijfsvoering te komen.

Referentieperiode

In deze periode zijn, onder stabiele bedrijfsomstandigheden, de reactoren één à tweewekelijks bemonsterd. Per reactor zijn gedurende 3 uur enkele steekmonsters van de in- en uitgaande slibstromen genomen. De steekmonsters zijn vervolgens gemengd. Van het mengmonster is het

drogestofgehalte en het organisch drogestofgehalte bepaald. Vastgesteld is dat deze bemonsteringsmethode representatief was voor de bepaling van de werking van de reactor.

Entperiode

Besloten is om meerdere bronnen van (Tubifex)wormen te gebruiken om de reactoren te enten. Vier entingen hebben in twee weken plaatsgevonden.

1e/2e enting Slib uit het circuit van de rwzi Bennekom. Langs de randen van het circuit op het vloeistof/lucht scheiding is slib met Tubifex ophopingen bemonsterd en aan de verschillende reactoren door inspoeling toegevoegd. Het aantal Tubifex wormen in dit slib bedroeg 4×10^3 /liter. Per reactor is circa 30 liter toegevoegd;

3e enting Tubifex wormen afkomstig van een viskweekbedrijf. Aan elke reactor is 3,3 liter toegevoegd met een Tubifex gehalte van 1×10^5 /liter;

4e enting Slib van de rwzi Renkum. Uit de aëratietank van de rwzi Renkum is actief slib genomen en aan de reactoren door inspoeling toegevoegd. Het actief slib uit deze installatie vertoonde ten tijde van de bemonstering een wormenbloei van *Aeolosoma*. Het aantal *Aeolosoma*'s bedroeg 6×10^4 /liter.

Het aantal sessiele wormen (Tubifex) na enting per m^3 reactor bedroeg daarmee ca. 2×10^6 .

Periode met wormen

Evenals in de referentieperiode zijn de reactoren gedurende deze periode één à tweewekelijks bemonsterd. Per reactor zijn enkele steekmonsters genomen en vervolgens gemengd. Van het mengmonster is het drogestofgehalte en het organisch drogestofgehalte bepaald.

3.3.3 *Praktijkinventarisatie naar het vóórkomen van wormen in rwzi's*

Dit onderdeel bestond uit het uitvoeren van een inventarisatie naar het voorkomen van (spontane) wormenbloei in Nederlandse rwzi's. Via een telefonische enquête en een schriftelijke oproep zijn alle Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders benaderd. Naast informatie over de duur van de bloei, het overheersende organisme en de eventuele waargenomen vermindering van de slibproductie, was het doel informatie te verkrijgen over specifieke procesomstandigheden waaronder de bloei plaatsvond. Op voorhand werd daarbij gedacht aan een aanwezige ijzerdosering, de procestemperatuur, de slibbelasting en het type zuiveringsinstallatie.

Uit de inventarisatie is een drietal rwzi's geselecteerd waarvan de beschikbare data nader zijn geanalyseerd om mogelijke relaties tussen wormenbloei en slibreductie vast te stellen.

4 RESULTATEN ONDERZOEK

4.1 Resultaten pilotproef predatie in de waterlijn

4.1.1 Monitoring dragermaterialen

De dragermaterialen hebben gedurende de zomermaanden in het circuit van de rwzi Bennekom gehangen. Uit inspectie van de dragermaterialen is het volgende gebleken:

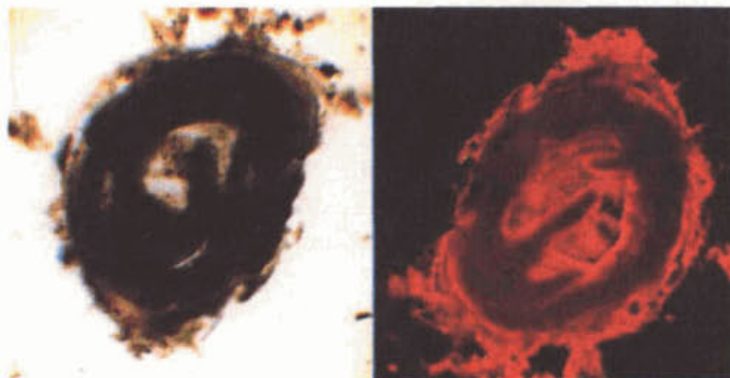
- In het algemeen hechtte zich op het overgrote deel van het oppervlak van de geïnstalleerde dragermaterialen nauwelijks tot geen slib en waren er geen wormen(kolonies) waarneembaar.
- Slechts op de uiteinden van de Enviconbuizen en op het oppervlak van de korf met Raushert ringen was enig slib ingevangen als gevolg van vervuiling door roostergoed ("ragging"). Zie foto's in bijlage 1. In het sporadisch ingevangen slib was soms een kolonie rode Tubifex wormen waarneembaar.
- Op de Reticelmat die zich op de bodem van het circuit bevond, was in tegenstelling tot de overige dragermaterialen een zeer dunne sliblaag zichtbaar met hier en daar kolonies van sessiele ciliaten (5-10 kolonies per m²). Incidenteel zijn op deze matten ook Tubifex kolonies aangetroffen (ca. 3 per m²).
- De Reticelmatten die met Tubifex wormen waren geënt, waren reeds na enkele dagen weer "schoon" gespoeld. Alle Tubifex wormen waren verdwenen.
- Tubifex wormen zijn als kolonies wel aangetroffen op sliblagen die zich bevonden ter hoogte van de lucht/waterscheiding, aan de wanden van het circuit.

4.1.2 Monitoring sliblaag

In de periode mei 1999 - februari 2000 is de ontwikkeling van de wormenpopulatie in de sliblaag achter de beluchtingsrotoren kwantitatief gevolgd. De dikte van de sliblaag achter de rotoren was circa 30 cm. De wormen en cocons bevonden zich in het bovenste deel van de sliblaag die voor een groot deel uit anorganische zandfracties bestond.

In de voorafgaande wintermaanden met een procestemperatuur van 10-12 °C, zijn alleen enkele overlevingsvormen van wormen, cysten en cocons aangetroffen. Vanaf mei zijn Tubifex wormen in de sliblaag aangetroffen. In de maanden met een hogere procestemperatuur (14-20 °C) zijn de aantallen van deze worm toegenomen. Na november trad weer een daling op van de aantallen.

De ontwikkeling van de wormen- en coconpopulatie in de sliblaag, vanaf mei 1999, is in tabel 3 weergegeven. Tussen haakjes zijn de absolute aantallen van een telling weergegeven. In afbeelding 10 zijn enkele microscopische opnames van cocons uit de sliblaag weergegeven.



Afbeelding 10

Microscopische opnames van cocons van Tubifex wormen uit de sliblaag van de rwzi Bennekom. Vergroting 500x. Bron B

Tabel 3

Monitoring sliblaag rwzi Bennekom. De aantallen Tubifex wormen en cocons hebben betrekking op een volume van 250 ml sliblaag

datum inspectie	slibdeken	
	wormen	cocons
28-mei-99	+	+
8-jun-99	+	-/+
12-aug-99	++	-/+
23-sep-99	++ (60)	-/+ (5, 10)
19-okt-99	++	+
16-nov-99	++ (48, 30)	+ (12, 15, 20, 10)
13-dec-99	+	++
18-jan-00	+ (12, 17, 21, 15)	++ (35, 40, 28)
25-feb-00	+ (15)	+ (22)

Betekenis symbolen:
 - geen enkele worm aanwezig per 250 ml sliblaag
 -/+ enkele
 + > 10
 ++ > 25

De aantallen van deze hechtende Tubifex wormen blijven ver onder de aantallen die zijn waargenomen bij een bloei van vrijzwemmende wormen. Ter vergelijking: het actief slib van de rwzi Deventer bevatte tijdens de bloeiperiode 10-100 wormen per ml slib.

4.1.3 Ondersteunend onderzoek

Applicatieproeven met dragermaterialen

Ter ondersteuning van de experimenten in het omloopcircuit van de rwzi Bennekom zijn in het kader van het STW-onderzoek snelheidsproeven uitgevoerd met een meetgoot. Hierin werd actief slib met verschillende gecontroleerde snelheden over dragermateriaal (Recticelmat) gevoerd. De hechting van slib en (geënte) Tubifex wormen in relatie tot de stroomsnelheid van het slib was daarbij onderwerp van studie.

Uit deze experimenten kon het volgende visueel worden waargenomen:

- Bij een verhoging van de snelheid tot ca. 10-15 cm/s spoelde het slib weg. De wormen, die zich dieper in het materiaal 'verankerd' hadden, spoelden vervolgens bij een snelheid van ca. 15 cm/s weg.
- Op het moment dat de snelheid weer lager werd en zich slib ophoopte op de drager, nestelden zich de (geënte) wormen weer op het dragermateriaal.

Hydraulische benadering voor ontwerp en plaatsing van een dragermodule in een omloopcircuit

Ter ondersteuning van het pilotonderzoek in de waterlijn zijn stromingsberekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in hoeverre het mogelijk is om in een omloopcircuit de snelheid bij een dragermodule zodanig te verminderen dat de omstandigheden voor slibhechting verbeteren.

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het hydraulische model FLOW 3D. De uitgangssituatie voor de berekening was het plaatsen van één dragermodule van beperkte omvang (1m x 1m x 1,85m) in één been van het circuit. De dragermodule bestaat uit 13 elementen (platen) die evenwijdig aan de stroomrichting in het been zijn opgesteld. Een schematische weergave van deze situatie is weergegeven in bijlage 3.

Via diverse berekeningen is nagegaan in hoeverre:

- de stromingssnelheid in de omgeving van de dragermodule en tussen de afzonderlijke elementen verandert;
- er turbulentie optreedt. Turbulentie verhindert slibhechting;
- de omloopkarakteristiek zich herstelt. Uitgangspunt was dat de oorspronkelijke stromingssnelheid van 0,3 m/s weer hersteld zou zijn binnen een redelijk aantal meter na passage van de dragermodule.

In bijlage 3 is verdere informatie over de opzet, de uitvoering en de resultaten van deze hydraulische berekeningen gegeven.

Uit de berekeningen is afgeleid dat indien in één been van de oxidatiesloot meerdere drager-elementen worden geplaatst, de omloopkarakteristiek zodanig wordt aangetast dat het herstel lang duurt dan wel niet meer zal optreden. Hierdoor zal de gemiddelde omloopsnelheid in het circuit onaanvaardbaar afnemen.

4.2 Resultaten pilotproef predatie in de sliblijn

Opstartperiode

In de opstartperiode is in alle drie de reactoren een reductie van ca. 25% op drogestofbasis waargenomen (gemiddeld ingaand d.s.: 4,6 g/l, gemiddeld uitgaand d.s.: 3,4 g/l). Deze reductie was echter geheel te wijten aan slibaccumulatie op het dragermateriaal. Zo is tijdens deze periode in het oxidatiebed slibophoping en enige kanaalvorming zichtbaar.

Periode met wormen

Binnen de bedrijfsvoering met wormen (augustus 2000, week 31 tot maart 2001, week 12) zijn drie afzonderlijke perioden te onderscheiden met een verschillend bereik in de procestemperatuur:

- Periode A: week 31-49 periode met procestemperatuur 15 tot 20 °C;
- Periode B: week 50-4 periode met procestemperatuur < 10 °C;
- Periode C: week 5-12 periode met procestemperatuur 10 tot 15 °C.

De afzonderlijke resultaten, betreffende de drogestof- en organischestofreductie van de drie reactoren tijdens de referentieperiode, de enting en de periode na de enting zijn grafisch weergegeven in bijlage 4. De suspensiereactor met mobiele drager is vanwege het minder goed (technisch en technologisch) functioneren in week 40 uit bedrijf genomen.

De reductiepercentages voor de referentieperiode en de drie perioden met de wormen, berekend als rekenkundig gemiddelde, zijn in tabel 4 gepresenteerd.

Tabel 4

Gemiddelde drogestof- en organischestofreducties (%) in de pilotreactoren, n.b. = niet bekend (geen meetgegevens)

periode	oxidatiebed		suspensiereactor / vaste drager		suspensiereactor / mobiele drager	
	DS	OS	DS	OS	DS	OS
referentie	11	10	15	0	8	4
enting						
A	28	27	30	30-39	16-8	17-7
B	7	n.b.	11	n.b.		
C	11	12	14	21		

Visuele waarnemingen

In de uitgaande slibstroom van het oxidatiebed zijn in periode A regelmatig wormen zichtbaar. Deze wormen worden voor een deel weer gerecirculeerd. Een klein deel spoelt uit. Tijdens de koude periode (B) en de periode daarna (C) zijn nauwelijks wormen of overlevingsvormen (cocons en eieren) waargenomen. In de praktijkinstallatie Bennekom zijn tijdens de lagere procestemperaturen de overlevingsvormen wel waargenomen in de sliblaag (tabel 3, 4.1). Mogelijk zijn de afschuifkrachten ("shear") in de oxidatiebedreactor te hoog om de overlevingsvormen binnen de reactor te houden.

Ook in de suspensiereactor met vaste drager is enige uitspoeling van wormen in de uitgaande slibstroom geconstateerd. Hier vindt geen recirculatie plaats. Tijdens de periode met de lagere procestemperatuur (B) zijn in deze reactor ook nauwelijks meer wormen of overlevingsvormen waargenomen.

In de suspensiereactor met mobiel drager is visueel geen uitspoeling van wormen geconstateerd. Tijdens het uit bedrijf nemen van deze reactor zijn wel ophopingen van Tubifex wormen rond de beluchtingsdomes waargenomen.

In alle drie de reactortypen is na enting met wormen een verhoogde slibafbraak waargenomen. Met name bij het oxidatiebed en de suspensiereactor met vaste drager is de verhoogde afbraak op basis van droge stof en organische stof significant en redelijk stabiel.

Voor zowel het oxidatiebed als de suspensiereactor met vaste drager geldt dat tijdens de periode met lagere procestemperaturen de slibreductie sterk afneemt. Bij het oxidatiebed nemen de percentages af tot het niveau van de referentieperiode.

4.3 Praktijkinventarisatie

De enquête en de oproep resulteerde in een dertigtal reacties van communale rwzi's waar incidenteel of periodiek wormenbloei is waargenomen.

De reacties betroffen in veel gevallen visuele waarnemingen van wormenbloei, waarbij kwantitatieve data over aantallen wormen en specifieke procesomstandigheden tijdens de periode van wormenbloei slechts summier beschikbaar waren. Dit was veelal het gevolg door de tijdelijke aard (enkele weken) van de bloei en het feit dat het vaak historische informatie betrof.

In tabel 5 zijn de ontvangen gegevens van de inventarisatie vermeld.

Uit de tabel zijn de volgende trends waarneembaar:

- Bij enkele rwzi's (waaronder rwzi Deventer, Heino, Zwolle, Zeewolde, Tiel, Nieuwe Waterweg, Zaandam-Oost) is gelijktijdig met het voorkomen van de bloei een significante tot zeer sterke afname van de surplusslibproductie gemeld of waargenomen.
- De combinatie van voorprecipitatie met ijzerzout, gevolgd door een actiefslibstelsysteem of een oxidatiebed komt relatief vaak (> 30%) voor. Opmerkelijk is in dit verband de ervaring bij de rwzi Drachten waar sinds het stopzetten van de ijzerdosering op de voorbezinktank geen wormenbloei meer is waargenomen. De rol beschikbaarheid van ijzer lijkt daarmee een belangrijke rol te spelen.
- Relatief vaak treedt de wormenbloei op bij een zuiveringsinstallatie met een actiefslibstelsysteem dat een propstroomkarakter kent. Kenmerkend aan propstroomsystemen is de lage stroomsnelheid. De propstroomsystemen zijn ook vaak uitgerust met diffuse bellenbeluchting;
- Hoewel in een aantal rwzi's de wormen volgens de bedrijfsvoerder continu aanwezig zijn, gaat de bloei vrijwel altijd gepaard met hogere procestemperaturen (zomerperiode).

- Bij enkele rwzi's gaat het voorkomen van wormen gepaard met een lage slibvolume-index en een stijging van het zwevendestofgehalte in het effluent. Data over eventueel verhoogde fosfaat en stikstofgehalten in het effluent zijn vrijwel niet beschikbaar. Rwni Zeewolde maakt melding over een fosfaatpiek in het effluent.
- In enkele gevallen bleken ophopingen van wormen voor te komen in zuurstofrijke omgeving, bijvoorbeeld rond beluchtingsdomes in de actiefslibtank, overstortgoten van nabezinktanks of in effluentgoten. Een zuurstofrijke omgeving lijkt daarmee ook een gunstige procesconditie voor een bloei dan wel het actief zijn van wormen.

Tabel 5

Resultaten van de inventarisatie naar het vóórkomen van wormen in Nederlandse communale zuiveringsinstallaties (plus één industrie). Toelichting afkortingen: VBT + Fe = toepassing van voorprecipitatie op voorbezinktank; actiefslibstelsysteem + Fe (of Al) = toepassing van simultane precipitatie met ijzer- of aluminiumzout; BEL = bellenbeluchting; OPP = oppervlaktebeluchting; TBT = tussenbezinktank

Waterkwaliteitsbeheerder	rwzi	kenmerken zuiveringsproces	kenmerken wormenbloei	Effecten op slib en effluentkwaliteit
Ws Groot Salland	Kampen	Actiefslibstelsysteem, BEL	Incidenteel	
	Deventer	VBT + Fe + actiefslibstelsysteem, BEL	Vaak borstelwormen, soms Tubifex Wormenbloei alleen in zomer Wormen visueel waarneembaar	Halvering spuislibproductie, soms nihil ! Effluent troebeler
	Heino	Oxidatiesloot, OPP, SRT 25-30 d	Veel borstelwormen, Tubifex Bloei onvoorspelbaar, vaak in voorjaar Afgelopen 3 jaar geen explosieve bloei meer	Grote reductie spuislibproductie (zelfs geen productie!) Effluent enigszins troebeler
	Zwolle	VBT + Fe + actiefslibstelsysteem + BEL	Zomerperiode toename + rode wormen	Significante afname spuislibproductie
Ws Zuiderzeeland	Zeewolde	Propstroom actiefslibstelsysteem, BEL	Tubifex in druiventrossen, gehecht aan prut op kabels en schotels	Sterke daling spuislibproductie (zelfs negatief !) P-piek in effluent
	Tollebeek	VBT + Fe + PE + actiefslibstelsysteem, BEL	Continu (ook in jan., febr.) Geen Tubifex	
Zs Rivierenland	Tiel	VBT + Fe (?), actiefslibstelsysteem, BEL	Borstelwormen	Significant daling spuislibproductie
	Beesd	Oxidatiesloot, OPP	Tubifex Zomerperiode (aug.-sept.)	
	Geldermalsen	VBT + oxidatiesloot (OPP) + oxidatiebed (parallel)	Tubifex Zomerperiode (aug.-sept.)	
Ws Velt en Vecht	Coevorden Assen Eelde Emmen	Schreiber, BEL VBT + Fe + Carrousel (OPP) Selector + Carrousel (OPP) Propstroom actiefslibstelsysteem, BEL + Fe	Regelmatig Tubifex in alle 4 rwzi's, vooral aanhechting aan vaste oppervlakken (beluchtingselementen). Het 'bulkt' van de rode wormen bij leegzetten van AT's	
Ws Reest en Wieden	Beilen	Oxidatiebed + carrousel (OPP)	Regelmatig voorkomen wormen	
	Steenwijk	Omloop, OPP	Voorkomen wormen	
	Vollenhoven	Omloop, OPP	Vroeger veel last van wormen	
DWR Amsterdam	Hilversum	VBT + Fe, oxidatiebedden	Rode Tubifex-achtige wormen in effluent oxidatiebed	
	Westpoort	Omloop, BEL+ Fe	Rode Tubifex-achtige	
Hhs Delfland	Nieuwe Waterweg	VBT + Fe + propstroomactiefslibproces, BEL SRT = 20 d, [O ₂] > 2 mg/l	Nais lingus (rode wormen) zomerperiode	Significante daling spuislibproductie SVI laag Toename SS effluent met enkele mg/l
Hhs Uitwaterende Sluizen	Zaandam- Oost	VBT + Fe? + TBT + oxidatiebed + carrousel, OPP	Tubifex of Nematoden, 4 à 5 per preparaat Bloei in zomerperiode (juli-aug)	Weinig tot geen slibproductie bij bloei
Ws Friesland	Drachten	VBT + Fe + oxidatiebed + propstroom actiefslibstelsysteem, BEL	Continu en soms overmatig veel (rode) Aeolosoma Sinds stoppen Fe-dosering: geen bloei meer!	Sterke verlaging SVI (70 naar 30 ml/g) Stijging SS bij bloei van borstelwormen
Zs Limburg	Heerlen	VBT + oxidatiebed + TBT + propstroom actief-slibstelsysteem, BEL	Grote hoeveelheden Tubifex in NBT, [O ₂] hoog Bloei in zomer (enkele weken) Huidige situatie [O ₂] laag, geen wormenbloei meer	
Ws Zeeuwse Eilanden	Verseput Westerschouwen	Schreibersysteem, BEL Propstroom actiefslibstelsysteem, BEL	Incidenteel wormen waargenomen op beide rwzi's	
Hhs De Sichte Rijnlanden	Woerden, Loenen	Pasveersloten, OPP, [O ₂] voldoende	Borstelwormen Geen recente waarnemingen	
Ws Veluwe	Apeldoorn	VBT + actiefslibstelsysteem + Al	Wormenophopingen in omloopgoten nabezinktanks en effluentgoot	
Ws Vallei en Eem	Renkum	VBT + Fe (?) + propstroom actiefslibstelsysteem, BEL	Bloei van Aeolosoma in zomerperiode	
Industrie	Vleesverwerkend bedrijf	Fysische voorzuivering + Schreiber	Veel rode Tubifex, periodiek jan t/m maart, Procestemperatuur 14-18 °C	SVI neemt af van 100 tot 30 ml/g SS in effluent neemt toe tot 30-40 mg/l

5 CONCLUSIES EN HAALBAARHEID TEN AANZIEN VAN SLIBPREDATIE

5.1 Conclusies ten aanzien van het onderzoek

Slibpredatie in de waterlijn

Met de onderzochte dragermaterialen (Recticelmatten, Envicon Biopac buizen en Rauschert Raflux ringen) is het niet mogelijk om hechtende (Tubifex) wormen te introduceren in het circuit van de rwzi Bennekom. De hoge stromingssnelheid van het actief slib langs de drager verhindert voldoende slibhechting (biofilm) en daarmee ook hechting van wormen.

Uit ondersteunende proeven met de Recticelmatten blijkt dat bij snelheden van <math><10\text{ à }15\text{ cm/s}</math> hechting van slib en wormen kan optreden.

Uit ondersteunende hydraulische berekeningen is afgeleid dat het plaatsen van dragerelementen of -modules in een omloopsysteem niet goed samengaat met het handhaven van de omloopkarakteristiek van dat systeem, en derhalve geen goede manier is om 'niches' te creëren voor de ophoping van sessiele, hechtende, wormen zoals Tubifex.

In de uit zand en slib bestaande bodemlaag achter de beluchtingsrotoren bevinden zich Tubifex wormen en cocons. Gezien de toename van de aantallen wormen in de zomerperiode lijkt de procestemperatuur een belangrijke factor te zijn voor de groei (activiteit) van deze worm. De waargenomen aantallen van de Tubifex worm zijn een factor 100 tot 1000 lager dan de aantallen die in een wormenbloei van vrijzwemmende wormen als Aeolosoma en Nais zijn waargenomen.

Slibpredatie in de slijlijn

In de pilotproeven is vastgesteld dat in een oxidatiebedreactor en een suspensiereactor met vaste drager een verhoogde significante slibreductie plaatsvindt ná introductie van hechtende Tubifex wormen en vrijzwemmende Aeolosoma wormen. Het gepredeerde slib is afkomstig van een ultralaag belaste oxidatiesloot (<math><0,05\text{ kg BZV/kg d.s.d.}</math>). Zonder de aanwezigheid van deze wormen ligt de drogestof- en organischestofafbraak van ultralaag belast slib op een gemiddeld niveau van circa 10%. Bij de aanwezigheid van wormen ligt deze afbraak op een niveau van circa 30%.

De aanwezigheid en activiteit van wormen, en daarmee de extra slibafbraak in de slijlijnreactoren, verdwijnt volledig bij een procestemperatuur van <math><10\text{ °C}</math>. Een snel herstel na deze periode treedt niet meer op. De eerder behaalde significante slibreductie kon niet worden gecontinueerd.

Praktijkinventarisatie naar het vóórkomen van wormen

Een bloei van borstelwormen in combinatie met een significante vermindering van de spuislibproductie komen voor in Nederlandse rwzi's. De wormenbloei en bijbehorende slibreductie zijn echter van tijdelijke aard.

Uit de enquête, die een dertigtal reacties opleverde, blijkt dat concrete data over procesomstandigheden en slibproducties voor, tijdens en na de bloei, alsmede data over neveneffecten, niet of slechts zeer summier beschikbaar zijn.

Uit de enquête komt naar voren dat condities als aanwezigheid van ijzerdosering, een zuurstofrijke omgeving en een lage stromingssnelheid van het actief slib (actiefslibproces met propstroomkarakter) voorwaarden zijn die wormenbloei lijken te initiëren, te stimuleren dan wel te handhaven.

Eindconclusie

De eindconclusie luidt dat, ondanks de eerdere bevindingen in laboratorium- en pilotschaalexperimenten en de eerder gedane waarnemingen in enkele praktijkinstallaties, dit pilotonderzoek op de rwzi Bennekom naar slibreductie door de inzet van oligochaete wormen niet tot een succesvolle implementatie in de praktijk heeft geleid.

5.2 Conclusies ten aanzien van de haalbaarheid van slibpredatie bij rwzi's

In de oxidatiesloot Bennekom zijn dragermaterialen geplaatst om hechtende (Tubifex) wormen te introduceren met als doel via predatie een significante reductie van de spuislibproductie te verkrijgen.

Belangrijke overweging bij de keuze van een omloopsysteem als onderzoeklocatie was de afwezigheid van een slibstabilisatietrap bij dit veel in Nederland voorkomende communaal afvalwaterzuiveringssysteem.

Uit het pilotonderzoek is gebleken dat de karakteristieke omloopsnelheid een belangrijke factor is die biofilmvorming, wormenhechting en daarmee slibpredatie belemmert.

Introductie van wormen in een actiefslibproces met lage stroomsnelheid (een propstroomreactor) biedt onvoldoende (economisch) perspectief gezien de vaak aanwezige anaërobe slibstabilisatietechniek.

Hoewel in de pilotproeven naar het concept "predatie in de sliblijn" de als vooraf gedefinieerde significante slibreductie is bereikt, was het predatieproces gezien de sterk variërende drogestof- en organischestofafbraak niet stabiel. Ook het sterk teruglopen van de afbraak bij lagere procestemperaturen droeg bij tot deze lage stabiliteit.

Het vóórkomen van relatief lage procestemperaturen tijdens de winterperiode (< 10-12 °C) in Nederlandse afvalwaterzuiveringsinstallaties die communaal afvalwater behandelen, moet mogelijk toch als beperkende factor worden gezien voor de praktijktoepassing van slibpredatie. Wellicht kan een slibreductietechniek die slechts in een periode met hogere procestemperaturen operationeel is, vanuit het niveau van exploitatiekosten voor slibafzet economisch haalbaar zijn. Vanuit investerings- en bedrijfsvoeringstechnisch oogpunt moeten een periode met lage predatie-activiteit, het (eventueel) verdwijnen van de wormen en het (eventueel) enten met wormen als negatieve aspecten worden aangemerkt.

Gezien de uitspoeling van wormen uit de reactoren - terwijl het behouden van de hechtende wormen in de reactor op het dragermateriaal het uitgangspunt was - zijn de gekozen uitvoeringsvormen van de pilotreactoren voor "slibpredatie in de sliblijn" discutabel.

Hoewel borstelwormen in diverse rwzi's vóórkomen, bevestigen de resultaten van de praktijkinventarisatie dat het predatieproces absoluut nog geen beheersbaar proces is. Slibpredatie door wormen is daarmee nog geen reëel alternatief voor een beheersbare slibreductietechniek binnen een biologisch afvalwaterzuiveringsconcept.

Gezien de hoge slibafzetkosten staan slibreductietechnieken nog steeds sterk in de belangstelling. Om slibpredatie als slibreductietechniek toch succesvol te laten zijn, zal verder onderzoek noodzakelijk zijn. Voordat onderzoek naar de ontwikkeling van reactorconfiguraties wordt hervat, waarbij wormen gecontroleerd in een zuiveringsinstallatie kunnen worden gehouden en biomassa met voldoende snelheid wordt gemineraliseerd, dient voorrang te worden gegeven aan de beantwoording van meer fundamentele onderzoeksvragen. Het bepalen van het mechanisme van predatie door wormen dan wel hogere organismen en de

procesomstandigheden waaronder wormengroei en afsterving plaatsvinden, zijn daarbij (nog steeds) essentiële onderzoeksaspecten. Onderzoek aan de individuele soorten in plaats van onderzoek aan mengculturen van wormen in actief slib kan daarbij mogelijk meer duidelijkheid verschaffen.

Referenties

- 1 Eikelboom, D.H. (1988). Extra toepassingsmogelijkheden voor Protozoa en Metazoa bij de Zuivering van afvalwater. TNO rapport, TNO-MT-R 88/286.
- 2 Eikelboom, D.H. (2001). Vermindering van slibproductie, Mogelijkheden tot reductie van de slibproductie, P97/030. Studiedag Slibverwerking Technotrans 2001.
- 3 Hawkes, H.A. (1963). The ecology of waste water treatment. Department of Biology, College of Advanced Technology Birmingham, Pergamon Press, New York.
- 4 Janssen P.M.J.; Rulkens W.H.; Rensink J.H; Van der Roest H.F. (1998). The potential for Metazoa in biological wastewater treatment. WQI september/oktober, p. 25-27.
- 5 Jenkins D., Richard. M.G. and Gaigger G.T. (1993). Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 2nd ed. Lewis publishers 1993, ISBN 0-87371-873-9.
- 6 Mc Kinney, R.E. (1962). Microbiology for sanitary engineers. Published by McGraw-Hill.
- 7 Ratsak, C,H, (1994). Grazer induced sludge reduction in waste water treatment. PhD thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- 8 Rensink J.H; Corstanje R; van der Pal J. (1996). A new approach to sludge reduction by Metozoa. Proc. IFAT 96 München, 10 Europäisches Abwasser und Abfallsymposium, GFA Hennef, Germany, p. 339-363.
- 9 Rensink J.H; Rulkens W.H. (1997). Using metazoa to reduce sludge amounts. Proc. Conf. on sludge management Czestochowa, Wastewater sludge, waste or resource?, p. 113-120.
- 10 Rensink J.H; Rulkens W.H. (1997). Using metazoa to reduce sludge production. Water Science and Technology 36(11), p. 171-179.

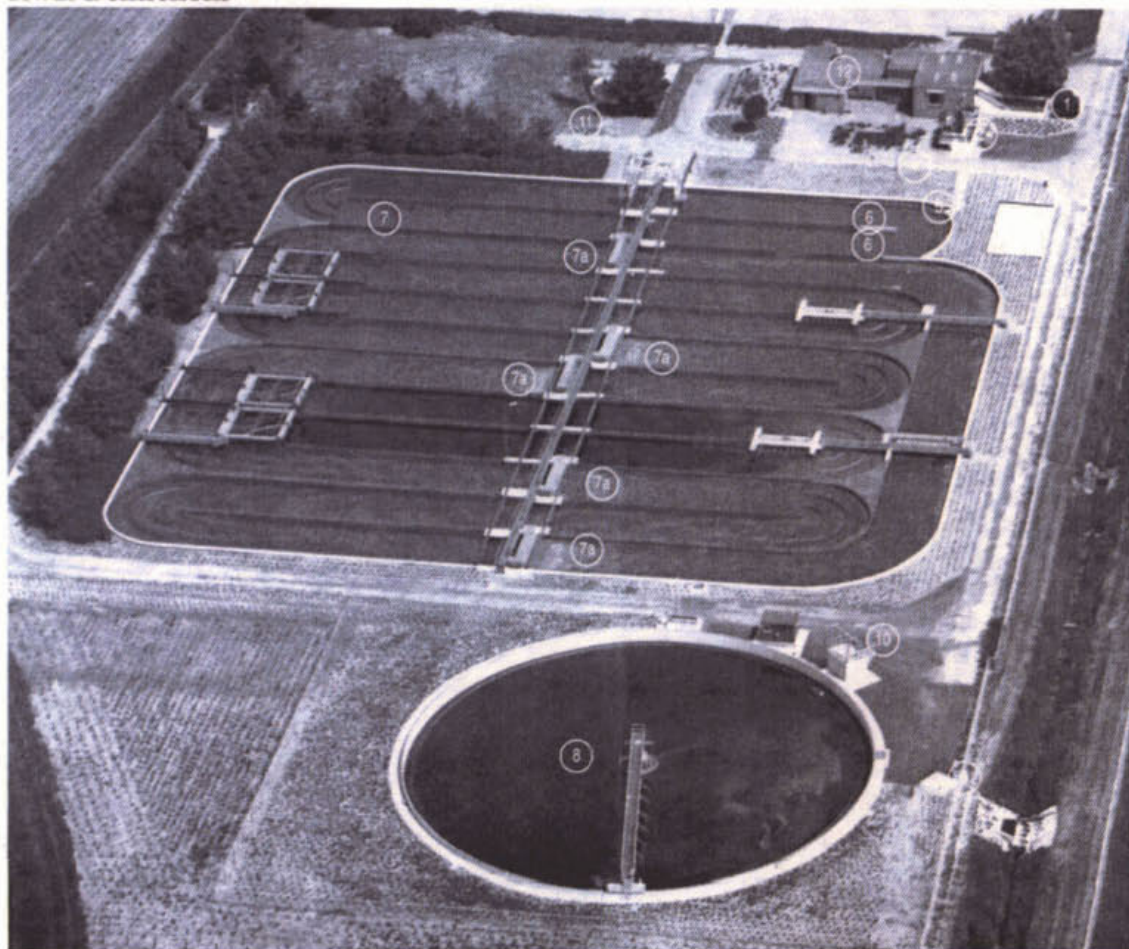
Bronvermelding microscopische afbeeldingen

	Afbeelding nummer	Bron
A	1a, 1b	Ref. 5
B	1c, 2a, 2b, 2c, 3c, 10	DHV Water BV
C	voorkant, 3a, 3b, 7	Wageningen UR

BIJLAGE 1

Detailinformatie rwzi Bennekom

Rwzi Bennekom



Verklaring van de nummers:

- 1 aanvoer
- 2 vijzelgemaal
- 3 bergingsbassin
- 4 harkrooster
- 5 contactzone / selector
- 6 anaërobe ruimte
- 7 beluchtingsruimte
- 7a beluchtingsrotoren
- 8 nabezinktank
- 9 afvoerleiding
- 10 retourslibgemaal
- 11 na-indikker
- 12 bedrijfsgebouw

Bennekom

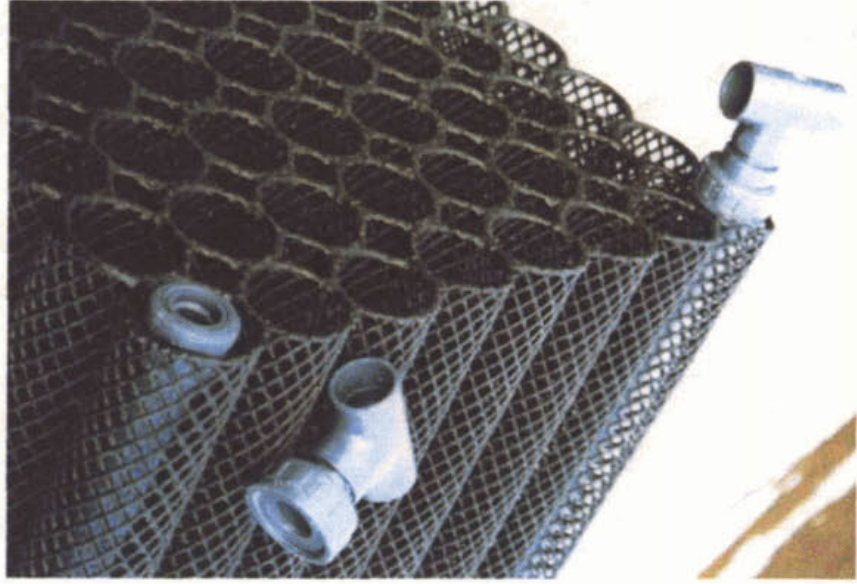
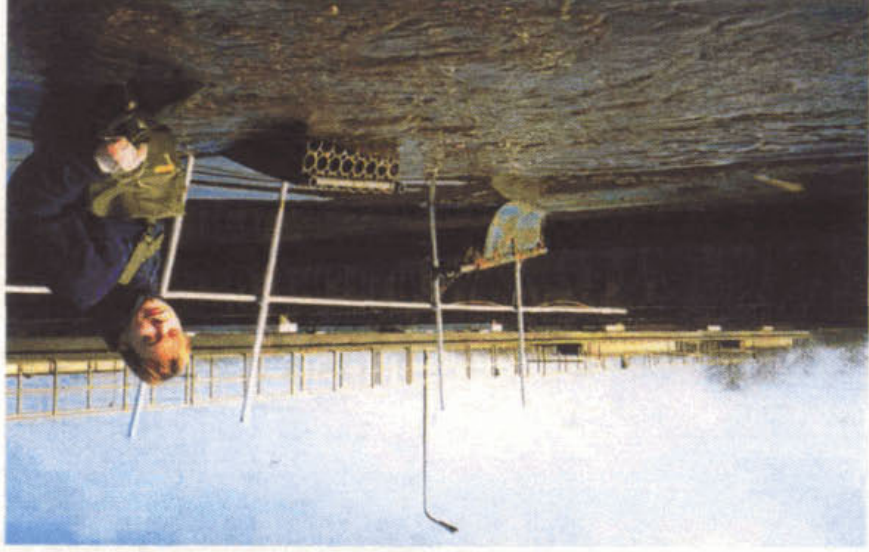
Type inrichting	Oxydatiesloot			Q-max	1.000	m ³ /h
Defosfatering	biologisch			Ontwerpcapaciteit	22.000	v.e.
Type slibverwerking	indikking			Inhoud beluchtingsruimte	5.700	m ³
Bouwjaar	1971/1989					
		1997	1996	1995	1994	1993
Algemeen						
behandeld afvalwater	m ³ /j	1.107.605	1.072.735	1.203.220	1.416.470	1.405.020
	m ³ /d	3.035	2.939	3.370	3.891	3.860
Influent						
BZV	mg/l	232	260	188	187	211
CZV	mg/l	617	771	518	528	572
Kj-N	mg/l	61	72	53	52	51
totaal-P	mg/l	8,8	11,0	7,9	7,6	8,6
BZV	kg/d	647	582	548	715	762
CZV	kg/d	1.720	1.730	1.513	2.015	2.070
TZV	kg/d	2.501	2.461	2.226	2.915	2.915
Kj-N	kg/d	171	160	156	197	185
totaal-P	kg/d	25	25	23	29	31
v.e. (à 136 g TZV)		18.393	18.097	16.367	21.436	21.437
aantal bemonsteringsdagen		23		23	21	21
Effluent						
BZV	mg/l	3	4			
CZV	mg/l	36	43	32	29	30
Kj-N	mg/l	6,7	10,2	2,7	2,3	2,9
NO ₃ -N	mg/l	4,6	4,8	4,8	3,5	5,5
totaal-N	mg/l	11	15	8	6	9
totaal-P	mg/l	0,7	1,0	0,8	0,6	0,5
BZV	kg/d	9	9			
CZV	kg/d	100	95	94	111	116
TZV	kg/d	117	135			
Kj-N	kg/d	19	23	8	9	10
NO ₃ -N	kg/d	13	14	14	13	20
totaal-N	kg/d	32	33	23	23	31
totaal-P	kg/d	2	2	2	2	2
v.e. (à 136 g TZV)		859	993			
aantal bemonsteringsdagen		23		24	21	22
Rendement r.w.z.i.						
BZV	%	99	98			
CZV	%	94	95	94	95	94
Kj-N	%	89	86	95	96	94
totaal-N	%	81	79	85	88	83
totaal-P	%	92	92	89	92	94
v.e. (à 136 g TZV)	%	95	95			
Aktief slibinstallatie						
slibbelasting	kg BZV/kg ds.d	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
	kg Kj-N/kg ds.d	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
slibindex	ml/g	92	103	103	91	117
slibconcentratie	kg ds/m ³	4,5	3,3	3,3	3,9	3,7
gloeirest	% van ds	31	25	27	26	27
spuislibproductie	kg ds/d	631	660	811	1.085	907
slibleeftijd	d	41	28	23	20	23
specifieke spuislibproductie	kg ds/kg CZV verw	0,389	0,404	0,571	0,570	0,464
	kg ds/kg BZV verw	1,0	1,2	1,5	1,5	1,2
	kg ds/v.e..j	12,5	13,3	18,1	18,5	15,4
specifiek verbruik beluchting	kWh/kg BZV verw	1,3	1,1	1,6	1,3	1,3
	kWh/kg TZV verw	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3
Afvoerslib						
afvoer	m ³ /j	39.960	48.239			
drogestof	%	0,6	0,5			
drogestof	ton ds/j	230	241	296	396	331
specifieke slibproductie	kg ds/v.e..j	12,5	13,3	18,1	18,5	15,4
Energie						
inkoop electra	kWh/j	404.200	456.768	418.610	457.100	465.600
specifiek kWh-verbruik	kWh/v.e..j	22	25	26	21	22
verbruik beluchting	kWh/j	308.100	239.900	312.140	346.360	366.100

BIJLAGE 2

Foto's pilotproef rwzi Bennekom, predatie in de waterlijn



constructie met Enviconbuizen
(opgehaalde) constructies in circuit



Enviconbuizen na ca. 3 maanden
vervulde Enviconbuizen





 schone Recticelmat



 dragerconstructie



 Recticelmat na 3 maanden



 Recticelmat na 1 jaar



kooi met Rauschert ringen



kooi na 3 maanden

BIJLAGE 3

Detailinformatie hydraulische berekeningen

Hydraulische berekeningen t.b.v. de plaatsing van een dragermodule in een omloopcircuit

Inleiding

Ter ondersteuning van de het pilotonderzoek in de waterlijn zijn stromingsberekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in hoeverre het mogelijk is om in een omloopcircuit de snelheid bij een dragermodule zodanig te verminderen dat de omstandigheden voor slibhechting en biofilmvorming verbeteren.

Opzet

De berekeningen zijn uitgevoerd m.b.v. het hydraulische model FLOW 3D. De uitgangssituatie voor de berekening was het plaatsen van één dragermodule van beperkte omvang (1m x 1m x 1,85m) in een kanaal / 'been' van de oxidatiesloot Bennekom. De breedte van een kanaal bedraagt 6 m.

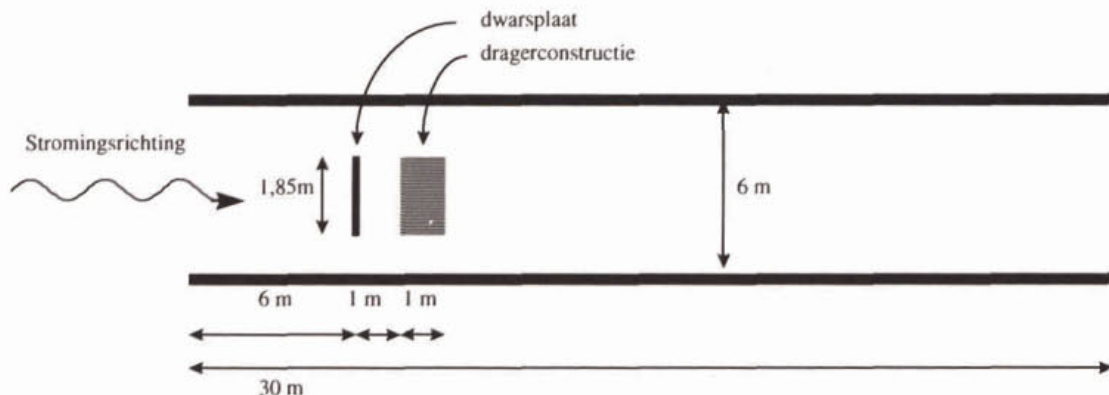
De dragermodule bestaat uit 13 elementen (platen) die evenwijdig aan de stroomrichting in het been zijn opgesteld. De elementen zijn over de gehele waterhoogte opgesteld.

Uitgangspunt bij de berekeningen was dat de hydraulische karakteristiek van een omloopstelsel, d.w.z. een hoge interne recirculatiestroom van 0,3 m/s dient te worden gehandhaafd.

Enkele kenmerkende grootheden die in het model zijn ingevoerd:

- lengte oxidatiesloot	30 m
- breedte kanaal oxidatiesloot	6 m
- hoogte waterniveau	1 m
- lengte dragermodule	1 m
- dikte dragerelement	0,05 m
- onderlinge afstand dragerelement	0,10 m
- omloopsnelheid in oxidatiesloot	0,30 m/s

Een schematische weergave van situatie is weergegeven in onderstaande afbeelding.



Bij de hydraulische berekeningen zijn de volgende drie aspecten in beschouwing genomen:

- *Stromingssnelheid bij de drager* (of tussen de afzonderlijke dragerelementen). T.b.v. voldoende slibhechting moet de snelheid significant lager zijn dan 0,3 m/s. De stromingsrichting is daarbij in feite niet van belang.
- *Turbulentie*. Turbulentie (het ontstaan van 'kolken') in de omgeving van de drager of binnen de dragerelementen moet zoveel mogelijk worden voorkomen. Turbulentie verhindert slibhechting. Turbulentie in de 'bulk' van het slib/watermengsel is vanuit het oogpunt van slibhechting geen probleem. Er treedt dan wel energieverlies op.

- *Herstel van de omloopkarakteristiek.* De oorspronkelijke stromingssnelheid van 0,3 m/s moet binnen een redelijk aantal meter na passage van de dragermodules weer zijn hersteld.

Om te bepalen hoe de stroomsnelheid zich tussen de dragerelementen kan worden beïnvloed, zijn met de hydraulische berekeningen de volgende situaties doorgerekend:

1. Geen obstakel voor de dragermodule;
2. Een dwarsplaat; 1 meter gesitueerd voor de dragermodule;
3. Een dwarsplaat; 2 meter gesitueerd voor de dragermodule;
4. Een dwarsplaat zonder dat er een dragermodule geplaatst is;
5. Een obstakel in V-vorm, met een opening in het midden, gesitueerd voor de dragermodule;
6. Een obstakel in V-vorm, zonder opening in het midden, gesitueerd voor de dragermodule;
7. Een dwarsplaat gesitueerd voor meerdere dragermodules;
8. Meerdere obstakel-dragermodules verspreid in de oxidatiesloot gesitueerd;
9. Een laag obstakel voor het dragermodule gesitueerd;
10. Een dwarsplaat van 2 meter gesitueerd voor een 5 meter lange dragermodule.

Resultaten

Als voorbeeld zijn de berekeningsresultaten van situatie 1 en 2 bijgevoegd (output FLOW 3D model)

Conclusies

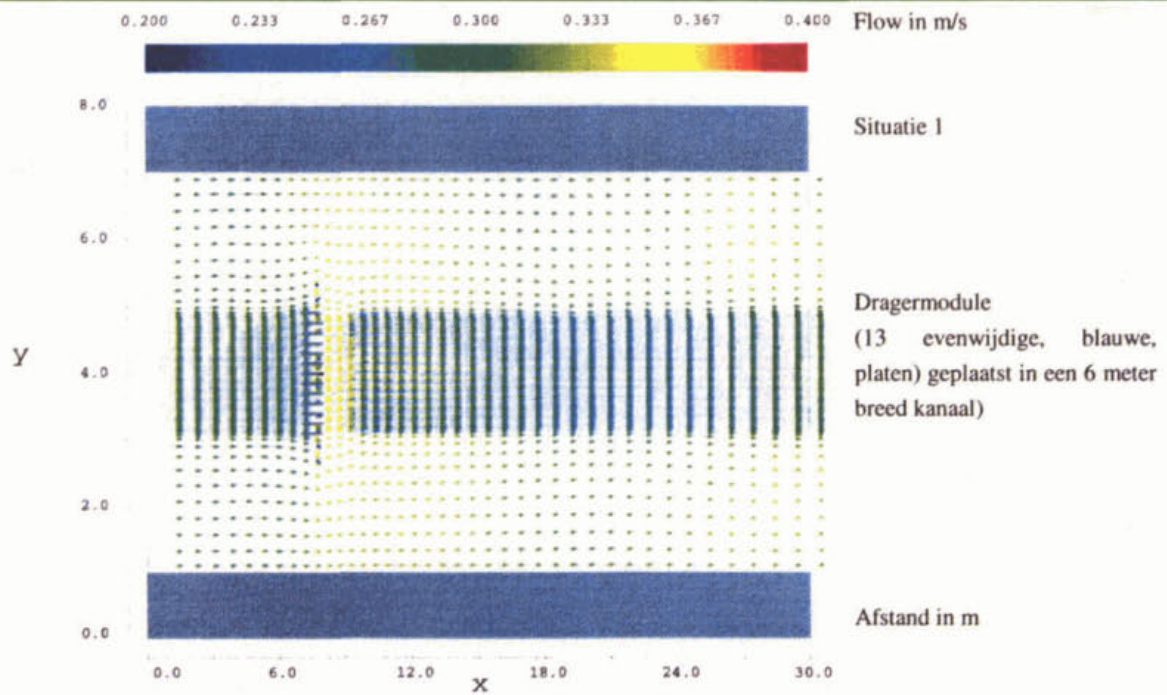
De conclusies t.a.v. de hydraulische berekeningen luiden als volgt:

- Het plaatsen van een dragermodule in de stromingsrichting van een been deel uitmakend van een circuit (omloopsnelheid: 30 cm/s) heeft tot gevolg dat de snelheden langs de afzonderlijke dragerelementen toeneemt als gevolg van een verkleining van het doorstroomde oppervlak.
- Door het plaatsen van een obstakel vóór de dragerelementen, bijv. een dwarsschot, kunnen de stromingssnelheden langs de dragerelementen worden verlaagd.
- Afhankelijk van de plaats van het obstakel en de ruimte tussen de afzonderlijk dragerelementen kunnen de snelheden worden teruggebracht tot 5 à 15 cm/s. Op enkele plaatsen kan de stroming van het slib zelfs zeer gering (stilstand) zijn. Het optreden van een stroming tussen de dragerelementen, tegengesteld aan de stroming in het circuit, treedt ook op;
- Het plaatsen van een drager en een obstakel heeft tot gevolg dat de omloopkarakteristiek in het desbetreffende been van het circuit wordt aangetast. Herstel treedt op, maar een volledig herstel van de oorspronkelijke omloopsnelheid van 30 cm/s vindt pas plaats na 30 meter of meer. Door de plaatsing van een obstakel treedt turbulentie op in het slib/watermengsel. Turbulentie in de nabijheid van de dragermodules is ongewenst.

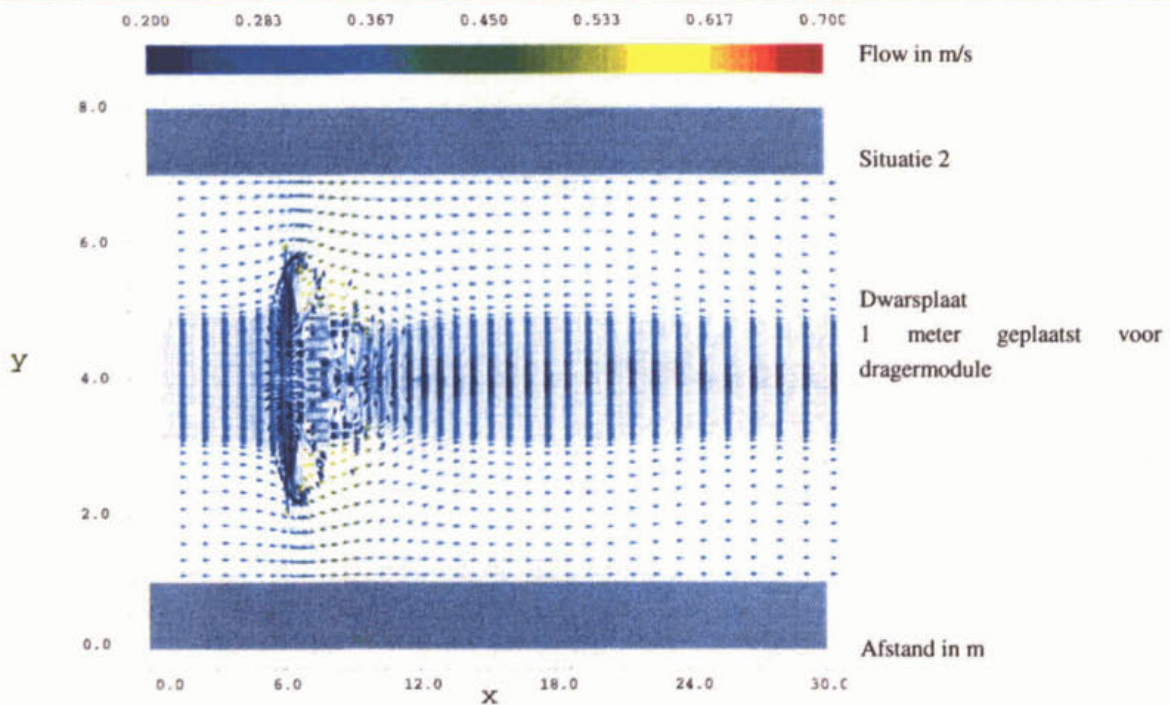
Eindconclusie

Uit de hydraulische berekeningen is afgeleid dat indien in een been meerdere dragerelementen, of - modules worden geplaatst, de omloopkarakteristiek zodanig wordt aangetast dat het herstel lang duurt dan wel niet meer zal optreden. Hierdoor zal de gemiddelde omloopsnelheid onaanvaardbaar afnemen.

De eindconclusie die uit de hydraulische berekeningen mag worden afgeleid is dat het plaatsen van dragerelementen c.q. -modules in een omloopsysteem niet goed samengaat met het handhaven van de omloopkarakteristiek van dat systeem en derhalve geen goede manier is om 'niches' te creëren voor de ophoping van sessiele, hechtende, wormen (Tubifex).



LOW-3D* t=250.0 z=2.500E-01 (ix=2 to 41 jy=2 to 72)
4:02:48 10-18-1999hval hydr3d: version 7.1.1 win32 1997
Slibpredatie, stroomsnelheid in arm oxidatiesloot, stroming lange drager



LOW-3D* t=300.0 z=2.500E-01 (ix=2 to 41 jy=2 to 72)
4:04:19 10-18-1999hbkk hydr3d: version 7.1.1 win32 1997
Slibpredatie, stroomsnelheid in arm oxidatiesloot, plaat 1m voor drager

De stromingsnelheid van het medium (actiefslib) in het kanaal, weergegeven via snelheidsvectoren is af te lezen m.b.v. de bovenstaande kleurenbalk. De pijlrichting van de vector geeft de stromingsrichting aan

BIJLAGE 4

Detailinformatie pilotproef rwzi Bennekom, predatie in de sliblijn

