stowa

EVALUATIE SLIB OP DRAGER SYSTEMEN



RAPPORT 2011 03

stowa

EVALUATIE SLIB OP DRAGER SYSTEMEN

RAPPORT 2011 03

ISBN 978.90.5773.510.3

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE STOWA, Amersfoort, 2011

PROJECTUITVOERING

A. Buunen	Grontmij Nederland bv
S. Geilvoet	Grontmij Nederland bv, thans werkzaam bij Hoogheemraadschap van Rijnlanden
B. Geraats	Grontmij Nederland bv

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

W. Poiesz	Waterschap Noorderzijlvest
A. Sengers	Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
C. Uijterlinde	STOWA

FOTO AnoxKaldnes K1-carrier

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2011-03

ISBN 978.90.5773.510.3

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.
Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.
Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

EVALUATIE SLIB OP DRAGER SYSTEMEN

INHOUD

STOWA IN HET KORT

1 INLEIDING 1

1.1 Slib op drager 1

1.2 Doel van deze studie 2

1.3 Aanpak 2

2 TYPE HYBRIDE SLIB-OP-DRAGER SYSTEMEN 4

2.1 Inleiding 4

2.2 Dragermaterialen 5

2.2.1 Kaldnes (gesuspendeerd, polyethyleen/polypropyleen) 6

2.2.2 Captor / Linpor (gesuspendeerd, sponsjes) 7

2.2.3 AGAR (gesuspendeerd, polyethyleen) 8

2.2.4 Brentwood AccuFAS (gefixeerd, polyvinylchoride) 9

2.2.5 Cleartec Biotextil (gefixeerd, textiel) 10

2.2.6 Bioweb / Webitat (gefixeerd, polyester) 11

2.2.7 Ringlace (gefixeerd, polyvinylchloride) 12

2.3	Voordelen		12
	2.3.1	Verbeterde stikstofverwijdering	12
	2.3.2	Robuustheid	12
	2.3.3	Lagere Slib Volume Index (SVI)	13
	2.3.4	Lagere spuislibproductie	13
2.4	Nadelen		13
	2.4.1	Investering in dragermateriaal en randvoorzieningen	13
	2.4.2	Moeilijk beheersbaar proces	13
	2.4.3	Energieverbruik	14
	2.4.4	Het benodigde hydraulisch verval	14
	2.4.5	Menging	15
	2.4.6	Parasitaire wormen	15
2.5	Aandachtspunten		15
	2.5.1	Temperatuur	15
	2.5.2	Biologische fosfaatverwijdering	15
	2.5.3	Hydraulica en menging	16
	2.5.4	Propstroom versus volledig gemengde tank	16
	2.5.5	Organische belasting	16
	2.5.6	Slibafvoer	16
2.6	Uitgangspunten voor ontwerp		17
2.7	Kosten		18
3	ERVARINGEN IN HET BUITENLAND		19
3.1	Referentielijst		19
3.2	Broomfield USA (Kaldnes)		21
3.3	James River Treatment Plant USA (Kaldnes)		22
3.4	Annapolis USA (Ringlace)		23
3.5	Greensboro USA (Bioweb)		24
4	TOEPASSING IN NEDERLAND		26
4.1	Systeemkeuze		26
4.2	Uitgangspunten voor het ontwerp		28
4.3	Uitwerking nieuwbouw case		28
	4.3.1	Uitgangspunten	29
	4.3.2	Uitwerking vier ontwerpen	31
4.4	Vergelijking ontwerpen		34
4.5	Beknopte kostenanalyse		35
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN		37
6	REFERENTIES		40

BIJLAGEN

1	GEGEVENS LEVERANCIERS	43
2	FACTSHEETS IFAS SYSTEMEN	45
3	RWZI ONTWERP 100.000 I.E. (à 136 G TZV)	67
4	ONTWERPEN KALDNES EN CLEARTEC/BIOTEXTIL	71

1

INLEIDING

1.1 SLIB OP DRAGER

Als het zuiveringsrendement van een bestaande conventionele rioolwaterzuivering (RWZI) niet meer aan de eisen voldoet, door een toename van de belasting of een verscherping van de effluenteisen, kan het installeren van slibdragermateriaal in de beluchtingstank een uitkomst bieden. In dit slib-op-dragerproces (Integrated Fixed Film Activated Sludge, IFAS) groeit naast het gesuspendeerde actiefslib ook een biofilm op het dragermateriaal, zodat de totale hoeveelheid biomassa in het systeem en hiermee het zuiveringsrendement per volume eenheid kan worden verhoogd. Het slib-op-dragerproces kan een kostenefficiënte oplossing bieden voor het verbeteren van de prestaties van overbelaste RWZI's, zonder dat daar uitbreiding van het reactorvolume voor benodigd is. De laatste jaren zijn in het buitenland de ontwikkelingen en verbeteringen van slib-opdrager systemen voortgeschreden. Momenteel zijn diverse systemen op praktijkschaal operationeel op rwzi's.

De laatste Nederlandse STOWA studies naar de toepassing van het slib-op-dragerproces dateren uit 1987 en 1992. In Nederland is de interesse in het proces sindsdien enigszins weggezakt. Hierdoor is er een kennisleemte ontstaan, waardoor mogelijke voordelen niet in beeld komen en onvoldoende worden benut. In het buitenland is de ontwikkeling van het slib-op-dragerproces de laatste jaren echter doorgegaan, vooral in de Verenigde Staten en Scandinavië. Hier wordt het IFAS proces dan ook beschouwd als een geaccepteerde techniek voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater op grote schaal en er zijn dan ook talrijke voorbeelden van toepassingen op praktijkschaal (Hubbell et al., 2006). Om de mogelijke voordelen van toepassing van slib-op-dragersystemen in de Nederlandse situatie te benutten is het van belang om de kennis van het slib-op-dragerproces te actualiseren.

Het betreft hier de toepassing van dragermateriaal in gangbare bestaande rwzi configuraties, niet voor alternatieve reactoren. Een specifiek interessante ontwikkeling is dan ook de toepassing van geïntegreerde systemen waarbij dragermateriaal wordt gecombineerd met conventionele slibvlokken. Slib-op-drager systemen zijn bijzonder geschikt voor aanpassing/ uitbreiding van bestaande installaties (in Nederland meest gangbare praktijk): retrofit van bestaande installaties. Geclaimde voordelen zijn o.a.

- compacte bouw, besparing bouwkosten,
- uitbreiding capaciteit in bestaande installatie,
- robuuster (piekbelastingen, verstoringen), vooral bij lage temperaturen,
- prestaties verbeteren (bijv. nitrificatie), vooral bij lage temperaturen,
- verbeterde en stabielere SVI.

Genoemde nadelen zijn:

- kosten van de dragermaterialen en zeven,
- het systeem is in Nederland relatief onbekend,
- het in suspensie houden van het dragermateriaal behoeft aandacht bij het ontwerp,
- het is alleen mogelijk in combinatie met bellenbeluchting, niet met puntbeluchting.

1.2 DOEL VAN DEZE STUDIE

Centraal staat de beantwoording van de volgende vraag:
Wat is internationaal de technische stand van zaken voor slib op dragersystemen en hoe is de kosten/baten analyse voor Nederlandse rwzi's?
De focus ligt op full-scale praktijkinstallaties waar retrofitten met een slib-op-drager systeem een optie is.
Te beantwoorden subvragen hierbij zijn:

- Welke slib-op-dragersystemen bestaan er internationaal op praktijkschaal? Hoe functioneren deze?
- Wat zijn de knelpunten en eventuele ondervonden nadelen?
- Welke verbeteringen zijn er doorgevoerd?
- Wat zijn de typische procesconfiguraties, de procesomstandigheden en dimensioneringsgrondslagen.
- Welke prestaties worden er geleverd?
- Wat zijn de voordelen (en eventuele nadelen) voor Nederland onder Nederlandse praktijkomstandigheden?

De nadruk in de studie ligt op IFAS (integrated fixed film activated sludge) systemen met een combinatie van gesuspendeerd slib en aan dragermateriaal gebonden slib. Het proces/systeem dient inpasbaar te zijn in gangbare conventioneel actiefslib systemen (dus met klassieke nabezinking). Geavanceerde systemen voor slib-water scheiding blijven buiten beschouwing.

1.3 AANPAK

De studie is opgezet langs twee lijnen:

1. Inventarisatie;
2. Kosten-baten analyse.

1. Inventarisatie
   Tijdens de inventarisatie is literatuur geraadpleegd waarbij de volgende afbakening is gemaakt:
   - De aandacht is gericht op toepassing van het slib-op-dragerproces op praktijkschaal. Studies op basis van labschaal experimenten zijn buiten beschouwing gelaten.
   - De aandacht is gericht op hybride slib-op-dragersystemen, waarbij een combinatie van biomassa op dragermateriaal en gesuspendeerd actief-slib in het systeem aanwezig is. In deze configuratie is dus ook een nabezinktank in het proces opgenomen en wordt het bezonken slib gerecirculeerd naar de beluchtingstank. Dit betreft het IFAS proces. De MBBR™ (Moving Bed Biofilm Reactor™) wordt verder buiten beschouwing gelaten omdat dit proces geen retourslibstroom en nabezinking heeft en zwevende stof bijvoorbeeld via dissolved air flotation (DAF) wordt afgescheiden.

   Op basis van de literatuurstudie zijn vervolgens actief leveranciers benaderd. Hiertoe is een vragenlijst opgesteld om specifieke ontbrekende informatie in te kunnen vullen. De geretourneerde vragenlijsten zijn als factsheets opgenomen in de bijlage.

2. Kosten-baten analyse
   Met een kosten/batenanalyse zijn de voor- en nadelen voor de Nederlandse praktijk aan de hand van een case geëvalueerd. Er is gekozen voor een theoretische case voor een fictieve zuivering van 100.000 i.e. (à 136 g TZV) op basis van het STOWA-rapport "Slibketenstudie" (2005-26). Twee leveranciers zijn geselecteerd om op basis van een aangeleverd conventioneel

referentie ontwerp een ontwerp op basis van IFAS op te stellen. De resultaten hiervan zijn gebruikt om op hoofdlijnen vast te stellen wat de kostenverschillen zijn tussen het referentie ontwerp en het IFAS ontwerp, zodat dit vertaald kan worden naar retrofit situaties. Hierbij in aanmerking nemende dat praktijksituaties zeer verschillend zijn en vooral bij retrofit specifiek dienen te worden uitgewerkt.

De resultaten van de inventarisatie en de kosten-baten analyse zijn in onderhavig rapport verwerkt.

2

TYPE HYBRIDE SLIB-OP-DRAGER SYSTEMEN

2.1 INLEIDING

De allereerste toepassingen van slib-op-drager proces dateren uit de jaren 1930-1940, waarbij asbestpanelen in het actief-slib tanks werden gehangen gericht op BZV verwijdering. De eerste toepassingen waarbij dragermateriaal en het gesuspendeerde actief-slibproces gecombineerd werden dateren uit de jaren 1980-1990. Als dragermateriaal worden tegenwoordig alleen kunststof materialen gebruikt. De voornaamste redenen voor toepassing van het slib-op-dragerproces zijn de goede stikstofverwijdering bij lage temperaturen en de mogelijkheid tot uitbreiding van bestaande installaties zonder dat daar extra reactorvolume voor nodig is.

Het principe van het slib-op-dragerproces is het implementeren van dragermateriaal in de actief slibtanks (zowel anoxische als aërobe compartimenten) van een RWZI waar biomassa zich aan kan hechten, zodat de totale biomassaconcentratie in het systeem toeneemt. Hierdoor is een verbetering van het zuiveringsrendement haalbaar, vooral op het gebied van stikstofverwijdering.

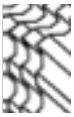
Het slib-op-dragerproces kan in principe een systeemkeuze zijn om een nieuw te bouwen RWZI compacter te dimensioneren, maar in de praktijk wordt het voornamelijk toegepast om de prestaties van (overbelaste) bestaande zuiveringen te verbeteren. Deze studie richt zich dan ook voornamelijk op het retrofitten[2] van bestaande RWZI's met een nabezinktank.

Tegenwoordig wordt uitsluitend gebruik van kunststof materialen. Verschillende uitvoeringsvormen zijn mogelijk, maar in eerste instantie wordt een onderscheid gemaakt tussen twee basisconfiguraties:

- Dragermateriaal dat zich **in suspensie** (*dispersed*) in het actiefslib bevindt,
- Dragermateriaal dat is **gefixeerd** (*fixed-in-place*) in de beluchtingstank.

In gesuspendeerde slib-op-dragersystemen wordt gebruikt gemaakt van poreus sponsachtig materiaal of kunststof cilinders waar de biofilm zich aan kan hechten. De voornaamste voordelen van gesuspendeerd dragermateriaal zijn dat het een hoog specifiek oppervlak heeft en goed gemengd kan worden in de actief slibtank. Hierdoor kan de opbouw van de biofilm gelijkmatig over het gehele oppervlak van het dragermateriaal worden opgebouwd. Nadeel van gesuspendeerd dragermateriaal is dat aanvullende maatregelen moeten worden genomen om transport van het dragermateriaal naar de nabezinktank te voorkomen, doorgaans door het installeren van een zeef aan het eind van de beluchtingstank. Deze zeef kan gevoelig zijn voor verstopping. Daarnaast is gesuspendeerd dragermateriaal relatief gevoelig voor slijtage. Ook dient er wat meer aandacht te worden geschonken aan het hydraulische regime in de beluchtingstank, er dient immers voldoende menging te zijn om een voldoend homogene verdeling van de dragers te waarborgen. Daarnaast worden de dragers bij een te hoge flux naar één kant van de tank gedrukt. Tevens kan er door de aanwezigheid van dragermateriaal sprake zijn van extra hydraulische weerstand, waardoor mogelijk extra hydraulisch verval noodzakelijk is.

FIGUUR 2.1 **TYPEN DRAGERMATERIAAL MET BIJBEHORENDE VOOR- EN NADELEN (BRENTWOOD, 2009)**

Gesuspendeerd dragermateriaal		**Voordelen**	**Nadelen**
	Polypropyleen cilinders	Goed mengbaar Hoog specifiek oppervlak	Verlies dragermateriaal (washout en slijtage) Fouling van beluchtingselementen en retentieroosters/ zeven
	Sponsjes		
Gefixeerd dragermateriaal		**Voordelen**	**Nadelen**
	PVC structured sheet media	Eenvoudig te installeren Lage initiële kosten Geen verlies van materiaal	Gevoelig voor verstoppingen
	Fabric web-type	Eenvoudig te installeren Geen verlies van materiaal	Gevoelig voor wormengroei Gevoelig voor verstoppingen

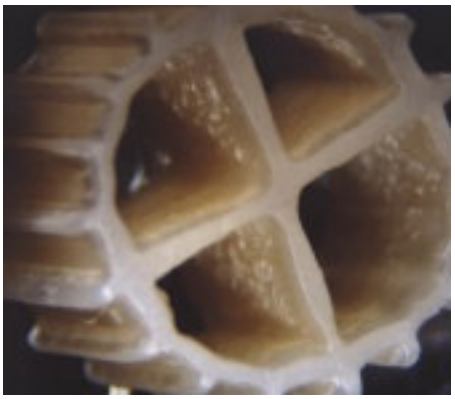
Met betrekking tot gefixeerd dragermateriaal wordt onderscheid gemaakt tussen flexibele weefselachtige en PVC-achtige vormvaste structuren. Voordeel van gefixeerde ten opzichte van gesuspendeerde dragermaterialen is dat ze eenvoudig te installeren zijn in een bestaande beluchtingstank en dat het materiaal nauwelijks gevoelig is voor slijtage. Ook zijn geen aanvullende maatregelen nodig om het transport van materiaal naar de nabezinktank te voorkomen. Daar staat tegenover dat gefixeerd dragermateriaal relatief gevoelig is voor verstopping (slibophoping) en de groei van parasitaire wormen.

2.2 DRAGERMATERIALEN

Er zijn diverse leveranciers van dragersystemen en configuraties voor toepassing in het slib-op-drager proces. Nadere informatie wat betreft de leveranciers is opgenomen in de bijlagen. De in de literatuur meest genoemde systemen in full-scale installaties voor gefixeerd dragermateriaal zijn Brentwood, Cleartec, Bioweb / Webitat en Ringlace, voor gesuspendeerd dragermateriaal zijn dit Kaldnes, Captor / Linpor, en AGAR. Deze typen worden hieronder nader beschreven.

2.2.1 KALDNES (GESUSPENDEERD, POLYETHYLEEN/POLYPROPYLEEN)

KALDNES (WWW.ANOXKALDNES.COM)





Kaldnes dragermateriaal is cylindrisch van vorm en gemaakt van plastic. Het dragermateriaal zweeft vrij in de beluchte tank en is zo ontworpen dat het een groot inwendig oppervlak heeft waarop de biofilm zich relatief veilig kan hechten. Er zijn verschillende modellen/typen dragers, elk met eigen afmetingen en het daarbij behorende specifieke oppervlak. Het soortelijk gewicht van het dragermateriaal is vrijwel gelijk aan dat van water, zodat goede menging in de tank mogelijk is. Het dragermateriaal wordt in de actief slibtank vastgehouden met behulp van een geperforeerde plaat (met openingen van 5 tot 25 mm).

Materiaal:	Polyethyleen/polypropyleen
Dichtheid:	0,96 g/cm^3
Vulgraad:	25-67%
Afmetingen:	Afhankelijk van model
Specifiek oppervlak:	Afhankelijk van model

Model / type	Lengte/Dikte (mm)	Diameter (mm)	Oppervlakte (m^2/m^3)
K1	7	9	500
K3	12	25	500
Natrix C2	30	36	220
Natrix M2	50	64	200
Biofilm Chip M	2,2	48	1200
Biofilm Chip P	3,0	45	900

2.2.2 CAPTOR / LINPOR (GESUSPENDEERD, SPONSJES)

CAPTOR / LINPOR (GEEN WEBSITE LEVERANCIER BEKEND)



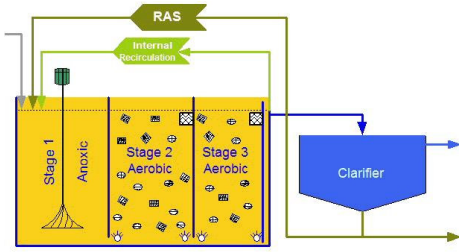
In het Captor- en Linpor-proces wordt vrij zwevend sponsachtig dragermateriaal (polyurethaan) in de beluchte zone van de RWZI toegevoegd. Een rooster of zeef is nodig om het dragermateriaal in de beluchte zone vast te houden. Omdat de biomassa in de spons groeit, is niet eenduidig een specifiek oppervlak te definiëren of vast te stellen. De belastinggraad die in zowel het Captor- als het Linpor-proces in de praktijk kan worden bereikt varieert tussen 1,5 en 4,0 kg BOD/m^3.dag. Voor actief-slibsystemen ligt dit rond de 0,25 kg BOD/m^3.dag.

Materiaal:	Polyurethaan
Dichtheid:	0,95 g/cm^3
Vulgraad:	20-30%
Afmetingen:	Kubusvormig
	Doorsnede 25 mm (Captor)
	Doorsnede 13 mm (Linpor)
Specifiek oppervlak:	n.v.t. (biomassa hecht zich in de spons)

2.2.3 AGAR (GESUSPENDEERD, POLYETHYLEEN)

AGAR (WWW.AQWISE.COM) (WWW.WATER.SIEMENS.COM)





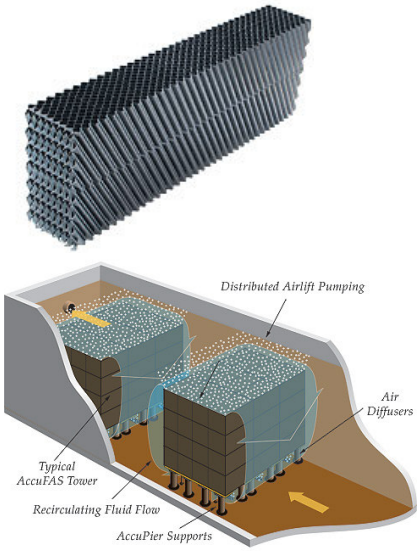


In het AGAR proces wordt plastic cilindervormig gesuspendeerd dragermateriaal ingebracht in de beluchtingstank. Het dragermateriaal is vergelijkbaar met dat van het type Kaldnes. Het dragermateriaal wordt ingebracht in de beluchte zone van het actief-slibsysteem en wordt daar gehouden met behulp van cilindervormige geperforeerde retentieschermen (zie figuur). De vorm van het dragermateriaal is geoptimaliseerd voor menging in de beluchtingstank. Hierdoor kan de reactor tot maximaal 70% gevuld worden met dragermateriaal, zonder dat verstoppings- of verklevingsproblemen optreden.

Materiaal:	Polyethyleen
Dichtheid:	0,94-1,01 g/cm^3
Vulgraad:	30-70%
Afmetingen:	Diameter: 5-12 mm
	Lengte: 12 mm
Specifiek oppervlak:	600-650 m^2/m^3

2.2.4 BRENTWOOD ACCUFAS (GEFIXEERD, POLYVINYLCHORIDE)

BRENTWOOD ACCUFAS (WWW.BRENTWOODINDUSTRIES.COM)



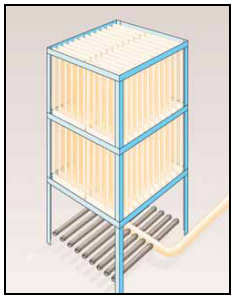
Het Brentwood AccuFAS is een gefixeerd slib op drager systeem. Het dragermateriaal bestaat uit stugge PVC modules (“building blocks”) waar de biomassa zich aan kan hechten. De modules zijn zo ontworpen dat water en lucht er optimaal doorheen kunnen stromen. De lichtgewicht modules kunnen eenvoudig geïnstalleerd worden, typisch vier hoog gestapeld bij een footprint van 12 modules. Alleen toepasbaar in combinatie met bellenbeluchting.

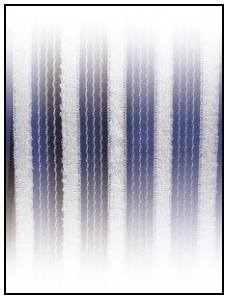
Materiaal:	Polyvinylchloride
Dichtheid:	-
Vulgraad:	Variabel (modulair)
Afmetingen:	61*61*122 cm (per module)
Specifiek oppervlak:	300 m^2/m^3

2.2.5 CLEARTEC BIOTEXTIL (GEFIXEERD, TEXTIEL)

CLEARTEC BIOTEXTIL (WWW.CLEARTEC.DE) (WWW.EIMCOWATERTECHNOLOGIES.COM)







Het Cleartec Biotextil systeem is een gefixeerd slib op dragersysteem waarin gebruikt wordt gemaakt van sheets met textielachtig materiaal. Deze sheets zijn gemonteerd op een stalen frame. De modules worden ingebracht in de beluchte zone van het actiefslib systeem. Alleen toepsbaar met bellenbeluchting.
Geclaimd groot voordeel van het Cleartec systeem ten opzichte van gesuspendeerde dragermaterialen is de hoge robuustheid. Installaties met Cleartec dragermateriaal hebben gefunctioneerd over een periode van 10 jaar zonder dat daarbij dragermateriaal vervangen hoefde te worden.

Materiaal:	Textiel
Dichtheid:	-
Vulgraad:	Variabel (modulair)
Afmetingen:	Modules van 96 cm breed, hoogte variabel
Specifiek oppervlak:	23 m^2/m^2
	(geen specifiek oppervlak per kubieke meter bekend)

2.2.6 BIOWEB / WEBITAT (GEFIXEERD, POLYESTER)

BIOWEB / WEBITAT (WWW.ENTEXINC.COM)





Bioweb is een slib-op-dragersysteem met gefixeerd dragermateriaal. Het bestaat uit polyester weefsel dat is gemonteerd op stalen frames. Webitat is de opvolger van het Bioweb systeem. Door de modules met dragermateriaal te ommantelen kan het luchtdebiet langs het dragermateriaal (en daarmee de aangroei van biomassa) nauwkeuriger gestuurd worden.
Elke module is uitgerust met een integraal (bellen)beluchtingssysteem dat onafhankelijk bedreven kan worden.

Materiaal:	Polyester
Dichtheid:	-
Vulgraad:	Variabel (modulair)
Afmetingen:	Onbekend
Specifiek oppervlak:	Onbekend

2.2.7 RINGLACE (GEFIXEERD, POLYVINYLCHLORIDE)

RINGLACE (GEEN WEBSITE LEVERANCIER BEKEND)



Ringlace is gefixeerd draadvormig kunststof dragermateriaal, met een diameter van circa 5 mm, dat door een stalen frames is geregen. De geadviseerde vulgraad in de beluchte tank is 25 tot 35%, waarbij de individuele strengen gepositioneerd worden met een onderlinge tussenruimte van 40 tot 100 mm. Dit resulteert in een specifiek drageroppervlak van 120 tot 500 m^2/m^3.
Hoewel beschreven in Metcalf & Eddy (2003) is op internet geen leverancier van Ringlace systemen bekend.

Materiaal:	polyvinylchloride
Dichtheid:	-
Vulgraad:	Variabel (modulair)
	25-30% (geadviseerd)
Afmetingen:	Onbekend
Specifiek oppervlak:	120 tot 500 m^2/m^3
	(afhankelijk van ruimte tussen individuele strengen)

2.3 VOORDELEN

2.3.1 VERBETERDE STIKSTOFVERWIJDERING

De verbeterde nitrificatie in slib-op-dragersystemen wordt algemeen onderkend in literatuur. Door het aanbieden van een hechtingsoppervlak kunnen traag groeiende microorganismen, zoals nitrificeerders, op de dragers groeien zonder dat deze overgroeid worden door heterotrofe bacteriën. Op deze manier blijven de nitrificeerders in het systeem, waardoor een verbeterde nitrificatie mogelijk is, met name lage temperaturen. Daarnaast is door de combinatie van gesuspeendeerd slib (ca 3 g ds/l) en slib op drager (eveneens ca. 3 g ds/l) een verhoogde bimassaconcentratie mogelijk. In de diepere (anoxische) laag van de biofilm kan mogelijk simultane denitrificatie optreden. Denitrificatie in de biofilm wordt mogelijk geacht op een diepte van 0,25 tot 1,0 mm.

2.3.2 ROBUUSTHEID

Een belangrijk kenmerk van gefixeerde slib-op-dragersystemen is dat ze robuust zijn (Schleger et al., 2007). Ze zijn beter toegerust om variaties in influent te kunnen opvangen dan andere biofilm processen. Het is onduidelijk of daarmee ook is gezegd dat een gesuspendeerd systeem minder goed presteert bij variaties in het influent.

Bij combinatie van het gesuspendeerde actief-slibproces en het slib-op-dragerproces vormen zich door verschillen in slibleeftijd twee uiteenlopende soorten biomassa. De grotere verscheidenheid aan micro-organismen leidt tot een verbeterde robuustheid van het systeem met betrekking tot organische en/of hydraulische piekbelastingen. Bij verstoring of uitspoeling van de nitrificerende bacteriën in het gesuspendeerde slib kan het proces zich relatief snel herstellen, omdat nitrificeerders zich in hogere mate in de biofilm bevinden.

2.3.3 LAGERE SLIB VOLUME INDEX (SVI)

Het gesuspendeerde slib in slib-op-drager systemen dat naar de nabezinktank wordt gevoerd verschilt aanzienlijk van actief-slib in volledig gesuspendeerde actief-slibsystemen. Dit wordt verklaard door enerzijds het continue "ruien" van het dragermateriaal, waardoor een combinatie van gesuspendeerd en (voorheen) gebonden slib naar de nabezinktank wordt gevoerd. De biomassa afkomstig van het dragermateriaal heeft een lagere organische fractie en hoger soortelijk gewicht, waardoor het in combinatie met gesuspendeerd slib beter bezinkt. Anderzijds is het gesuspendeerde slib bij IFAS-systemen hoger belast (0,10 – 0,18 kg BZV/kg ds.d) dan bij conventionele systemen. In literatuur worden verlagingen van de SVI met percentages van 25-40% genoemd. Het gesuspendeerde slibgehalte is over het algemeen in dezelfde orde grootte als dat bij conventionele systemen, 3 – 4 g ds/l. In combinatie met de lagere SVI kunnen bestaande nabezinktanks dus zwaarder worden belast zonder dat dit ten koste gaat van de prestaties van het systeem. De lagere SVI leidt ook tot een verlaging van het retourstroomdebiet, zodat energie kan worden bespaard.

2.3.4 LAGERE SPUISLIBPRODUCTIE

Door het implementeren van dragermateriaal kan de totale biomassahoeveelheid worden verhoogd, waardoor de slibbelasting van het systeem daalt. Dit heeft een verlaging van de spuislibproductie tot gevolg. De mate waarin is uiteraard afhankelijk van de specifieke omstandigheden en bedrijfsvoering in de RWZI. De daling van de spuislibproductie kan aanzienlijk zijn: zo werd op de rwzi van Geiselbullach (250.000 i.e.) een vermindering van 50% behaald na uitbreiding van de rwzi met het slib-op-dragerproces.

2.4 NADELEN

2.4.1 INVESTERING IN DRAGERMATERIAAL EN RANDVOORZIENINGEN

Het meest voor de hand liggende nadeel van het slib-op-dragerproces is de investering die benodigd is in het dragermateriaal en de eventuele benodigde randvoorzieningen, zoals zeven voor het terughouden van gesuspendeerd dragermateriaal. Ook wordt voor het slib-op-drager proces een intensievere voorbehandeling van het influent aangeraden, waarbij alle deeltjes groter dan 3 mm worden afgevangen. Tevens dient rekening gehouden te worden met een mogelijk benodigde uitbreiding van de beluchtingscapaciteit om de (hogere) biomassa van voldoende zuurstof te voorzien. De additionele hydraulische weerstand voor de stroomsnelheid in de reactor door het dragermateriaal is afhankelijk van de vulgraad en de stroomsnelheid van het water, maar deze is gering en de hydraulische weerstand wordt in de praktijk dan ook niet als problematisch ervaren.

2.4.2 MOEILIJK BEHEERSBAAR PROCES

Voor zowel gesuspendeerde als gefixeerde dragersystemen geldt dat het oppervlak, de dikte en de activiteit van de biofilm op het dragermateriaal moeilijk beheersbaar is. De eigenschappen van de biofilm zijn in de eerste plaats afhankelijk van het ontwerp en de bedrijfsvoering

van de rwzi (belasting, beluchting, hydraulische verblijftijd, slibverblijftijd), maar ook van de nauwelijks te beïnvloeden eigenschappen van het influent (fluctuaties in de organische belasting, temperatuur). Bij een te hoge biologische belasting neemt de heterotrofen groei toe en kunnen nitrificeerders worden overgroeid. Ontstaat er een permanente belastingstijging dan kan dit worden opgevangen door een hoger gesuspendeerd slibgehalte te hanteren. Beluchting(intensiteit) en het (tijdelijk) manipuleren van de biologische belasting vormen de belangrijkste operationele parameter waarmee de dikte van de biofilm kan worden beheerst. Overigens staat het beheersen van het gehalte gesuspendeerde biomassa los van de aan het dragermateriaal gebonden biomassa. Regeling van het gesuspendeerde slibgehalte is vergelijkbaar met de regeling in conventionele actiefslib systemen.

2.4.3 ENERGIEVERBRUIK

Slib op drager systemen hanteren over het algemeen een hoger set-point voor het zuurstofgehalte wat een hoger zuurstoftoevoervermogen en daarmee ook een hoger energieverbruik betekent. Dit hogere set-point wordt gehanteerd ten behoeve van het behalen van de gewenste ammonificatiesnelheid. Daarnaast wordt vooral bij de gesuspendeerde slib op drager systemen, in verband met de benodigde menging, nog regelmatig gebruik gemaakt van grove of medium bellenbeluchting in plaats van fijne bellenbeluchting. Dit is energetisch ongunstiger. In conventionele systemen is de tendens echter om efficiëntere fijne bellenbeluchting toe te passen. Toepassing van IFAS in combinatie met puntbeluchting lijkt onder voorwaarden mogelijk. Concrete voorbeelden zijn in de literatuur niet gevonden, de meeste aërobe toepassingen (voor nitrificatie) betreffen bellenbeluchting. De combinatie van zuurstofinbreng en menging ter plekke van de puntbeluchters is uiteraard uitgesloten. Echter de toepassing van IFAS in aërobe delen buiten de mengzone van de puntbeluchters is niet uitgesloten. Aandachtspunt hierbij is het waarborgen van voldoende menging/voortstuwing, mogelijk zijn extra mengers noodzakelijk.

Het verlagen van de beluchtingsenergie heeft in Nederland de laatste jaren veel aandacht gekregen. Het toepassen van efficiënte beluchtingssystemen is hier een gevolg van. Bij de meeste toepassingen van slib op dragersystemen was dit tot voor kort geen aandachtspunt.
Gesuspendeerde systemen lijken wat vaker uitgerust met grove bellenbeluchting (vanwege het mengeffect). Vast film systemen lijken vaker toegepast te kunnen worden met fijne bellenbeluchting. Daarentegen zijn er ook aanwijzingen dat het toepassen van IFAS kan leiden tot een vermindering van de voor endogene ademhaling benodigde zuurstof, wat gunstig is voor het energieverbruik van de beluchting. Ook bij de leveranciers van slib op drager systemen is er meer aandacht voor het besparen op beluchtingsenergie en wordt er gewerkt aan toepassingen met efficiënte beluchtingssystemen. Globaal kan worden geconcludeerd dat het energieverbruik voor IFAS vegelijkbaar kan zijn met conventionele systemen.

2.4.4 HET BENODIGDE HYDRAULISCH VERVAL

In de slib op drager systemen waarbij de dragers gesuspendeerd zijn, moeten aan het eind van de reactor zeven worden aangebracht om er voor te zorgen dat het dragermateriaal in de reactor blijft. Deze zeven zorgen voor extra hydraulisch verval over de reactor, getallen die worden genoemd zijn 5 - 10 cm. Hiermee dient bij aanpassing van bestaande systemen rekening te worden gehouden. Vaak levert dit, door overdimensionering van het bestaande systeem, geen problemen op.

2.4.5 MENGING

In de slib op drager systemen dient voldoende aandacht aan de menging te worden besteed om er voor te zorgen dat alle dragers evenredig zijn verdeeld over de bak.

2.4.6 PARASITAIRE WORMEN

Slib-op-drager systemen met gefixeerd dragermateriaal zijn in hogere mate gevoelig voor parasitaire wormen die zich voeden met de biomassa die gehecht is aan het dragermateriaal. Deze wormen kunnen zich in tegenstelling tot het volledig gesuspendeerde actief slibproces in het systeem handhaven. Overgroei van wormen blijkt vooral op te treden wanneer de biofilm (te) dik wordt door een hoge organische belasting en bij hogere temperaturen. Daarbij is ook nog een samenhang met de voortplantingscyclus van de wormen. Door anoxische perioden toe te passen eventueel in combinatie met het chloreren van het retourslib kunnen de wormen worden bestreden (Copithorn et al., 2006).

2.5 AANDACHTSPUNTEN

2.5.1 TEMPERATUUR

De temperatuur van het afvalwater heeft een aanzienlijke invloed op de biologische reactiesnelheden. In de zomer, wanneer de reactiesnelheden hoog zijn, wordt het organische materiaal sneller afgebroken. In slib-op-dragersystemen met gefixeerd dragermateriaal betekent dit dat de biofilm aan het einde van de zone met dragermateriaal dunner is. In systemen met gesuspendeerd dragermateriaal zal dit door de constante menging niet het geval zijn.
Door de lagere activiteit bij lage temperaturen zal de aangroei van biomassa in de winter toenemen. Dit verklaart dan ook dat het IFAS proces vooral bij lagere temperaturen een relatief verbeterde nitrificatie mogelijk is ten opzichte van het volledig gesuspendeerde actiefslib proces. Een tweede oorzaak die genoemd wordt voor een betere nitrificatie bij lagere temperaturen is de verhoogde efficiëntie van de zuurstofinbreng als gevolg van een hogere zuurstofoverdrachtsfactor (zuurstofdeficiet wordt groter omdat de verzadigde O_2-concentratie bij lagere temperaturen hoger is dan bij hogere temperaturen).

Een theoretische benadering rond het thema temperatuur en IFAS luidt als volgt. Op drager materiaal hebben vooral de langzaam groeiende bacteriën zoals nitrificeerders een concurrentie voordeel. De snel groeiende heterotrofe bacteriën zullen voornamelijk in het gesuspendeerde slib zitten. Hierdoor heeft het slib op dragermateriaal niet alleen een veel hogere slibleeftijd, maar zal ook voor een groter aandeel uit nitrificeerders bestaan. Bij een lagere temperatuur c.q. groeisnelheid zal het voordeel verder toenemen.
Daarnaast mag bij een temperatuurdaling een hogere zuurstof-indringdiepte verwacht worden, als gevolg van een verlaging van de slibademhaling. Hierdoor kunnen oudere sliblagen (=bij hogere temperatuur geproduceerd slib) mee nitrificeren, aangezien er aanwijzingen zijn dat de afstervingssnelheid van nitrificeerders bij afwezigheid van zuurstof laag is.

2.5.2 BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING

Door leveranciers wordt aangegeven dat biologische fosfaatverwijdering met IFAS-systemen geen probleem is en op dezelfde wijze verloopt als bij conventionele systemen. Er zijn echter nog weinig systemen gecombineerd met biologische fosfaatverwijdering gerealiseerd.

2.5.3 HYDRAULICA EN MENGING

Het voordeel van gesuspendeerd dragermateriaal is dat het mengbaar is over het gehele volume van de beluchtingstank. Belangrijk aandachtspunt hierbij is wel dat dit hoge eisen stelt aan het hydraulische regime in de tank. Een goede verdeling van de turbulentie is benodigd om ophoping van dragermateriaal in “dode” zones te voorkomen.

Goede menging is essentieel voor het creëren en behouden van de juiste biofilmdikte op het dragermateriaal. Wanneer de biofilm door onvoldoende turbulentie dikker wordt dan gewenst neemt het oppervlak van de biofilm en daarmee ook het zuiveringsrendement af. Aan de andere kant moet ook een te intensieve menging voorkomen worden omdat dit de groei van de biofilm belemmert. Gezien de gevoeligheid voor verstoppingen is het van belang dat het dragermateriaal goed bereikbaar is en eenvoudig uit de bioreactor te verwijderen is voor visuele inspectie en reinigingsmaatregelen.

2.5.4 PROPSTROOM VERSUS VOLLEDIG GEMENGDE TANK

In de praktijk worden slib-op-dragersystemen zowel in propstroom systemen als in volledig gemengde tanks toegepast. In literatuur worden geen uitgesproken voor- of nadelen van beide configuraties genoemd. Bij hoge fluxen (>30 m/h) lijkt gefixeerd dragermateriaal geschikter voor een propstroomsysteem, terwijl gesuspendeerd dragermateriaal makkelijker in het systeem is te houden bij toepassing in een volledig gemengde tank.

2.5.5 ORGANISCHE BELASTING

De groei van de biofilm wordt sterk beïnvloed door de organische belasting van het systeem. Wanneer de organische belasting hoog is kan de biofilm op het dragermateriaal snel aangroeien, met mogelijke verstoppingen en een afname van het effectieve oppervlak van de biofilm als gevolg. Hierdoor zal de prestatie van het systeem afnemen. Een dikkere biofilm zal echter sneller loslaten van het dragermateriaal door gebrek aan zuurstof dieper in de biofilm, zodat overgroei vanzelf weer teniet gedaan wordt. Slib-op-dragersystemen zijn dus tot zekere hoogte zelfregulerend wat betreft de aangroei en dikte van de biofilm.

2.5.6 SLIBAFVOER

De biofilm die gehecht is aan het dragermateriaal heeft een relatief lage SVI en bezinkt dus goed wanneer deze loslaat. Dit kan voor ophoping van het slib zorgen wanneer de turbulentie vlakbij de bodem van de reactor niet voldoende is om het slib af te voeren naar de nabezinktank. Om ophoping van slib te voorkomen wordt aangeraden om het (gefixeerde) dragermateriaal op een hoogte van circa 0,50 meter boven de bodem van de tank te installeren, zodat voldoende turbulentie langs de bodem kan worden gecreëerd om het slib af te voeren.

2.6 UITGANGSPUNTEN VOOR ONTWERP

Voor het ontwerp van een slib-op-drager systeem worden een aantal ontwerpregels of uitgangspunten toegepast. Zo is bijvoorbeeld het specifiek oppervlak uitgedrukt in m^2/m^3 een belangrijke omdat deze direct gerelateerd is aan de omzetsnelheid in g NH_4-N/(m^2.d). In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van in de literatuur gevonden ontwerpregels en kentallen die kunnen worden gebruikt voor het ontwerpen van een dergelijke installatie of de toetsing ervan.

TABEL 2-1 **GEVONDEN RICHTWAARDEN IN LITERATUUR VOOR ONTWERP EN/OF TOEPASSING IFAS EN KUNNEN VERSCHILLEN VAN DOOR FABRIKANTEN OPGEGEVEN WAARDEN**

Parameter	Eenheid	Gefixeerd dragermateriaal	Gesuspendeerd dragermateriaal
Omzettingssnelheid			
nitrificatie	g NH_4-N/m^2.d	0,15 – 1,15	0,4 – 0,88
denitrificatie	g NO_3-N/m^2.d		1,0 - 2
Specifiek oppervlak	m^2/m^3_{drager}	tot 160	75 - 350
Biomassa op drager	g ds/m^2	50	12
Vullingsgraad	%	-	ca. 60%
Biomassa in suspensie	g ds/l	situatie afhankelijk	situatie afhankelijk

Het is belangrijk te realiseren dat bij hogere watertemperaturen, boven de 15 °C, in een IFAS systeem de hoeveelheid gesuspendeerd actief slib in het systeem voldoende is voor een goede nitrificatie. Bij een daling van de temperatuur vindt er een verschuiving plaats van de nitrificatie in het gesuspendeerd actief slib naar de de biofilm. Waarbij tot ± 60% van de nitrificatie plaats vindt in de biofilm. Dit biedt ook mogelijkheden om in de zomer het aandeel gesuspendeerd slib te verlagen. Daar komt bij dat de omzetting van ammonium in de biofilm voor een belangrijk deel wordt bepaald door het zuurstofgehalte in het water. Over het algemeen geldt dat een hoog zuurstofgehalte (6 tot 8 mg/l) een hoge omzetting geeft. Er is dan ook minder dragermateriaal nodig (vullingsgraad) dan bij lagere zuurstofgehalten. In een ontwerp zal dus een optimum gezocht moeten worden tussen investeringkosten (dragers) en exploitatielasten; energie voor zuurstofinbreng of energie voor menging van dragermateriaal bij hoger vullingsgraad (McQuarrie et al., 2009).

Een andere afhankelijkheid in het ontwerp is de slibleeftijd en het oppervlak aan biofilm (een afgeleide van de vullingsgraad). Door voor een grotere oppervlakte te kiezen kan volstaan worden met een lagere leeftijd van gesuspendeerd slib. Voor de berekening van het benodigde oppervlak wordt tegenwoordig steeds meer gebruik gemaakt van modellen. Daarmee kan ook het ontwerp aan de praktijksituatie worden getoetst (Sen et al., 2006) en geoptimaliseerd. Hiervoor wordt ondermeer ‘Unified Model for Activated Sludge gebruikt’. Dit model bestaat uit het IWA ASM2d model aangevuld met een biofilm component.

Het specifiek oppervlak van dragermateriaal zegt iets over de “kale”drager, zonder begroeing met biofilm. Het effectieve oppervlak in een werkend systeem wordt bepaald door de wijze waarop de biofilm op de drager groeit. Bijvoorbeeld het specifieke oppervlak van geribbeld dragermateriaal neemt af, naarmate de ribbels met biomassa volgroeien.

2.7 KOSTEN

Ten aanzien van kosten kan samenvattend worden opgemerkt:

- Voor nieuwe installaties is minder tankvolume nodig en dat vertaalt zich naar lagere investeringskosten en kapitaalslasten.
- Bij het retrofitten van een bestaande actief slib installatie om een stijging in de belasting of betere effluentkwaliteit te bereiken, kan worden bespaard op bijbouwen van volume door IFAS toe te passen. Het geeft ook de mogelijkheid om in een bestaande tank het volume voor nitrificatie te beperken (kleiner maken) waardoor tankvolume beschikbaar komt voor denitrificatie.
- Vanwege verlaging van de hoeveelheid gesuspendeerd slib, met behoud van bezinkeigenschappen, kan er volstaan worden met minder nabezinktankoppervlak. Dit heeft een gunstig effect op de investeringskosten en kapitaallasten.
- Bij toename van de zuurstofvraag (systeem- en locatieafhankelijk, zie 2.4.3) treedt een kostenverhoging op voor beluchting.
- Voor gesuspendeerde IFAS systemen zijn zeven nodig voor retentie van het dragermateriaal.
- Voor zowel gesuspendeerde als gefixeerde dragers heeft een influentrooster van 3 mm spleetwijdte de voorkeur boven 6 mm.
- Het dragermateriaal dient na verloop van tijd te worden vervangen. Afhankelijk van het type dragermateriaal geven leveranciers een leeftijd van minimaal 10-20 jaar.
- IFAS systemen vergen weinig tot geen extra kosten voor bemensing ten behoeve van onderhoud en/of bedrijfsvoering.

3

ERVARINGEN IN HET BUITENLAND

3.1 REFERENTIELIJST

Bijgaande projectenlijst, Tabel 3-1, geeft een indruk van de full-scale ervaringen met IFAS slib-op-dragersystemen voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. De ervaringen met enkele projecten worden vervolgens kort besproken. Informatie over referentieprojecten is ook opgenomen in de factsheets in de bijlagen.

TABEL 3-1 **SLIB OP DRAGERSYSTEMEN MET DRAGERMATERIAAL**

Locatie	Capaciteit	Jaar
Gesuspendeerde dragermaterialen		
Kaldnes		
Bury St. Edmonds (UK)	34.000 i.e.	1995
Nodre Follo (Noorwegen)	40.000 i.e.	1997
Öckerö (zweden)	14.000 i.e.	1997
Colchester (UK)	50.000 i.e.	1997
Nyköping (Zweden)	70.000 i.e.	1998
Braintree (UK)	28.000 i.e.	1998
Corby (UK)	240.000 i.e.	1998
Margretelund (Zweden)	40.000 i.e.	1999
Broomfield, fase 1 (USA)	73.500 i.e.	2002
South Adams County (USA)	25.000 i.e.	2003
Cheyenne, Crow Creek Wyoming (USA)	25.000 i.e.	2005
Cheyenne, Dry Creek Wyoming (USA)	30.000 i.e.	2005
James River (USA)	83.000 m^3/d	2007
Broomfield, fase 2 (USA)	15.000 m^3/d	2008
Fairplay (USA)	1.100 m^3d	2008
Flagstaff (USA)	22.700 m^3/d	2008
Waikaloa (USA)	3.000 m^3/d	2008
Winsconsin Rapids (USA)	21.000 m^3/d	2008
Northport (USA)	500 m^3/d	2008
Fields Point (USA)	290.000 m^3/d	2010
Lubbock (USA)	68.000 m^3/d	2010
Wochholz (USA)	30.300 m^3/d	-
Oxford (UK)	14.600 m^3/d	-
Shafhausen roti (Ch)	28.400 m^3/d	-
Taos (USA)	590 m^3/d	-
Wildcat Hill (USA)	22.900 m^3/d	-
Klippan (Se)	5.000 m^3/d	-

Linpor[1]		
Starnberger See (Duitsland)	100.000 i.e.	1999
Okinawa (Japan)	60.000 i.e.	1999
Vilsbiburg (Duitsland)	16.000 i.e.	2000
Seki city (Japan)	60.000 i.e.	2000
Dalian (China)	280.000 i.e.	2000
Murau (Oostenrijk)	25.000 i.e.	2001
Westerly (USA)	65.000 i.e.	2002
Aarau (Zwitserland)	140.000 i.e.	2003
Lengede (Duitsland)	24.600 i.e.	2004
Freising (Duitsland)	140.000 i.e.	2005
Mizunami (Japan)	31.000 i.e.	2009
Captor		
Fairfield (USA)	30.000 m^3/h	-
AGAR		
Monclova (Mexico)	58.300 m^3/d	-
Givat Brenner (Israel)	9.000 m^3/d	-
Meitzar (Israel)	5.000 m^3/d	-
Sevilla la Nueva (Spanje)	1.090 m^3/d	-
Yad Mordechai(Israel)	600 m^3/d	-
CarmeiTzur (Israel)	400 m^3/d	-
Marines (Spanje)	380 m^3/d	-
Willow Springs (USA)	100 m^3/d	-
Impel (Mexico)	170/260 m^3/d	-
Biocer (Mexico)	80/150 m^3/d	-
Neve Ilan (Israel)	50 m^3/d	-
Timna Mines (Israel)	50 m^3/d	-
Warsaw Hospital (Polen)	100 m^3/d	-
Cozumel hotel (Mexico)	100 m^3/d	-
Gefixeerde dragermaterialen		
Ringlace		
Annapolis (USA)	32.000 m^3/h	1997
Blacklick (USA)	5.330 m^3/h	-
Geiselbullach (Duitsland)	250.000 i.e.	-
Bioweb / Webitat		
Tallman Island, (New York, USA)	38.000 m^3/d	1996
Greensboro, NC (USA)	61.000 m^3/d	1997
Windsor Locks, CT (UAS)	5.400 m^3/d	2001
Green Cove Springs (Florida, USA)	2.900 m^3/d	2002
The Colony (Texas, USA)	17.000 m^3/d	2005

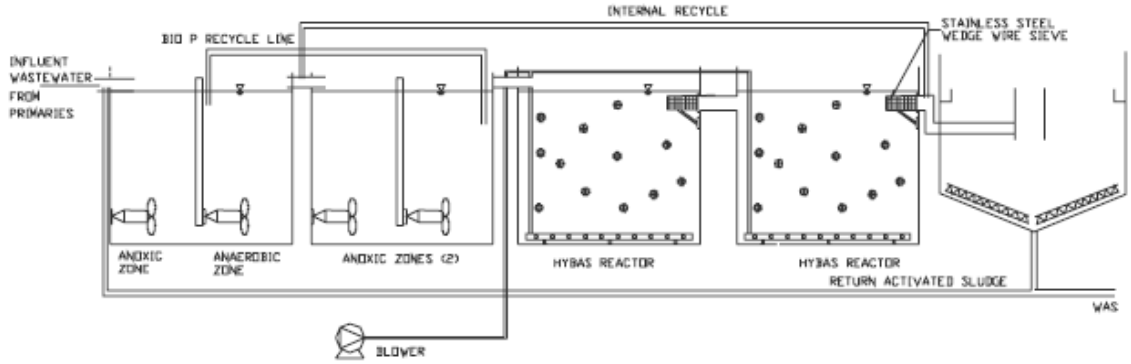
[1] Voor Linpor is dit slechts een gedeelte van de referenties. Een complete referentielijst is opgenomen in de bijlagen

3.2 BROOMFIELD USA (KALDNES)

In 2003 is de RWZI van Broomfield Colorado omgebouwd naar een IFAS systeem met Kaldnes dragers. De rwzi voldeed door een toename van de belasting en een verscherping van de effluentnormen niet meer aan de eisen (bron: Rutt et al., 2006). Verscheidene opties voor uitbreiding van de zuivering werden geëvalueerd op basis van: (1) mogelijkheden tot verdere uitbereiding in de toekomst, (2) inpassing van de techniek in het al bestaande systeem, (3) landgebruik en (4) totale kosten. Uitbreiding naar een IFAS systeem kwam hieruit naar voren als de meest optimale optie.

Door toepassing van IFAS in de bestaande reactoren kon de capaciteit van de rwzi worden vergroot van 20.000 m^3/d naar 30.000 m^3/d bij een effluenteis van Ntot=10 mg/l en P-tot= 1 mg/l. Het proces omvat biologische fosfor verwijdering, pre-denitrificatie, uiteraard BOD verwijdering en nitrificatie. Het IFAS proces is geïnstalleerd in de aerobe reactors. Gerapporteerd is dat de met IFAS aangepaste rwzi boven verwachting functioneert, het proces eenvoudig te bedrijven is en de stabiliteit van het zuiveringsproces is verbeterd (zie figuur 3.1 voor een schematische procesweergave).

FIGUUR 3-1 **SCHEMATISCHE WEERGAVE BROOMFIELD WWTP (KALDNES)**



De retrofit van de bestaande beluchtingsruimte bestond uit een een nieuw beluchtingssysteem, zeven voor retentie van het dragermateriaal en een aantal aanpassingen aan leidingwerk.

Het ammonia effluentgehalte daalde van 4 mg N/l naar 0,5 mg N/l. Het IFAS systeem functioneert met lagere slibleeftijden dan typisch gebruikelijk is voor conventionele systemen met enkel gesuspendeerd slib. Door toepassing van IFAS kan het gemiddelde gesuspendeerde slibgehalte worden teruggebracht van ca. 3 g/l naar ca. 2g/l.

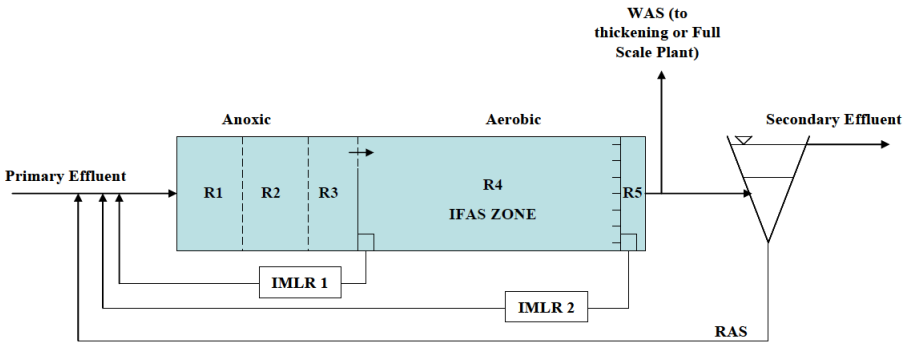
Meest opvallende observatie van het nieuwe hybride IFAS was de hoge robuustheid en zelfregulatie van het systeem. In koudere perioden groeide een dikkere biofilm op het dragermateriaal, terwijl in warmere perioden het overschot aan biomassa vanzelf losliet van het dragermateriaal. Het functioneren van het zuiveringsproces was boven verwachting (NH_4 < 1 mg/l en NO_x < 10 mg/l), met goede nitrificatie het gehele jaar door(temperatuur varieert tussen 14°C en 22°C), bij een slibverblijftijd variërend van 6 tot 10 dagen gebaseerd op het slib in suspensie. Denitrificatie bleek voornamelijk plaats te vinden in de pre-denitrificatie zone, met gebruik van het organische materiaal in het influent. Enige simultane denitrificatie in de aërobe zone met het dragermateriaal werd aangetoond, maar deze bleek niet betrouwbaar en consistent gedurende het jaar. Aandachtspunt bij het karakteriseren/modelleren van het proces was dat de biofilm in de hoger belaste eerste aërobe zone significant groter was dan in de lager belaste tweede aërobe zone (13,7 ten opzichte van 7,4 g/m^3).

Na 3 jaar consistente bedrijfsvoering is de vulgraad verlaagd van 48% naar 30%, zonder dat dit ten koste ging van de zuiveringsprestaties. Bedrijfsvoerders ervaren vooral de flexibiliteit die mogelijk is wat betreft de vulgraad als een groot voordeel. Het voornaamste praktische probleem dat werd ondervonden in de bedrijfsvoering was het schuren/botsen van het dragermateriaal tegen de beluchtingselementen die hierdoor beschadigden. Aanvullende beschermingsmaatregelen konden met succes worden geïnstalleerd.

3.3 JAMES RIVER TREATMENT PLANT USA (KALDNES)

De RWZI van James River (83.000 m^3/dag) werd in 2007 uitgebreid met dragermateriaal van het type Kaldnes (bron: McQuarrie et al., 2007; Thomas et al., 2009). De motivatie om te kiezen voor uitbreiding naar een IFAS systeem was de gewenste verbetering van de stikstofverwijdering in combinatie met het gebrek aan ruimte voor een conventionele uitbreiding. Voor het toepassen van het slib op dragerproces is de configuratie van de rwzi aangepast. De (voorheen beluchte) compartimenten R-1 t/m R-3 zijn omgebouwd tot twee anoxische zones en een wisseltank (zie Figuur 3-2). De IFAS zone R4 werd voor 50% gevuld met dragermateriaal, resulterend in een netto drageroppervlak van 250 m^2 per m^3 reactorvolume. Tenslotte volgt nog een beluchte reactor zonder dragermateriaal (zone R5).

FIGUUR 3-2 SCHEMATISCHE WEERGAVE JAMES RIVER TREATMENT PLANT (KALDNES)



Vanwege de relatief hoge lengte/breedte verhouding van de IFAS zone zijn twee interne retourstromen geïnstalleerd (IMLR 1 en 2, deze interne retourstromen retourneren alleen gesuspendeerd slib dus geen dragermateriaal). De benedenstroomse pomp IMLR2 heeft een capaciteit van 3,75 maal het influentdebiet. De bovenstroomse pomp IMLR1 is geïnstalleerd als back-up in het geval pomp IMLR2 een te hoge stroomsnelheid veroorzaakt waardoor ophoping van het dragermateriaal aan het eind van de IFAS zone zou kunnen optreden.

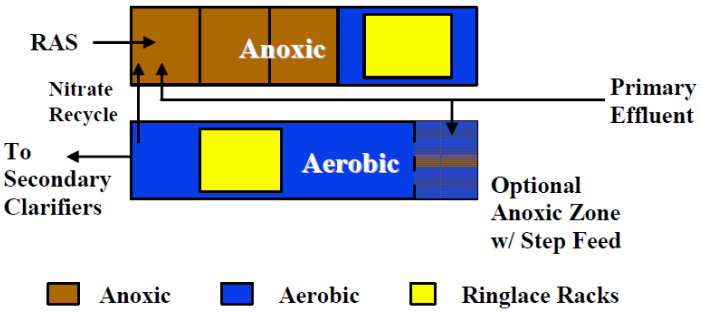
De temperatuur van het afvalwater varieert tussen 14 °C in de winter tot 28 °C in de zomer, met een gemiddelde van 21 °C. Dankzij het dragermateriaal bleek het mogelijk om ook bij temperaturen lager dan 20 °C de effluentdoelstelling van 10-12 mg-N/l te behalen. De groei van de biofilm bleek sterk afhankelijk van de temperatuur van het afvalwater. Bij temperaturen hoger dan 23°C nam de hoeveelheid biofilm sterk af. De bijdrage van de biofilm aan de nitrificatie liep daardoor terug naar 30% van het totaal. Bij koudere temperaturen nam de biomassa op het dragermateriaal geleidelijk toe van 3 naar 7 g/m^2, waarbij ook de bijdrage van de biofilm aan de totale nitrificatie toenam tot maximaal 75%.

3.4 ANNAPOLIS USA (RINGLACE)

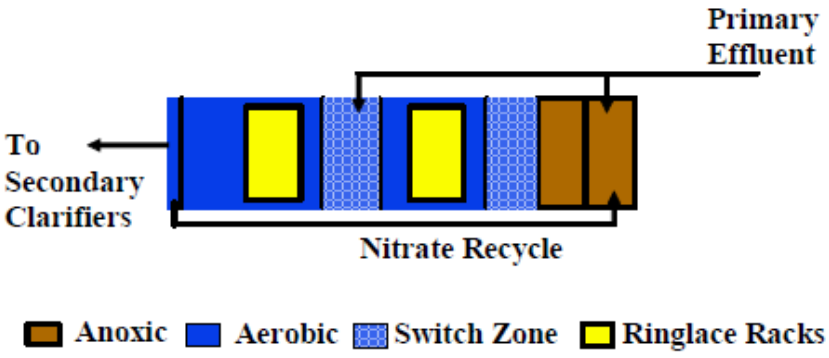
Voor de RWZI van Hampton Road van de Annapolis Water Reclamation Facility (Maryland USA) werd de N-totaal effluent eis aangescherpt van 10 mg/l naar 8 mg/l (bron: Randall and Dipankar, 1996; Copithorn et al. 2006). De rwzi met een capaciteit van 38.000 m^3/dag bestond uit roostering/zandverwijdering, voorbezinking, 2 parallelle 2-staps actief slibtanks en 2 nabezinkers. In een full scale studie werden de actief slibtanks gesplitst in 2 aparte lijnen. Eén tank werd geconverteerd naar een IFAS systeem met Ringlace dragers, de andere tank bleef conventioneel met gesuspendeerd actief slib (zie figuur 3.1). In totaal werd 30.000 strengende meter in een aeratietank van 475 m^3 geinstalleerd. In beide tanks werd een anoxische zone gecreëerd aan het begin van de aeratietank in combinatie met nitraatrecirculatie vanuit de oxische zone. Later werd het aandeel dragermateriaal uitgebreid naar in totaal 109.000 strekkende meter. De totale testfase nam ca. 3 jaar in beslag (1993-1996).

Vervolgens werd de rwzi volledig aangepast op basis van het Ringlace IFAS systeem. De twee actief slib tanks werden omgebouwd naar vier paralelle 1-staps tanks (zie figuur 3.3). Per tank werd 61.000 strengende meter aan Ringlace dragermateriaal geïntroduceerd. Van 1997-2005 bleef de rwzi zo in bedrijf. Vanwege noodzakelijke hydraulische uitbreiding tot 50.000 m^3/d en strengere effluenteisen (3 mg/l N-totaal en 0,3 mg/l P-tot) is besloten tot een ingrijpende uitbreiding en renovatie zonder slib op drager systeem.

FIGUUR 3-3 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN CONFIGURATIE TIJDENS TESTFASE RWZI HAMPTON ROAD, ANNAPOLIS, USA



FIGUUR 3-4 SCHEMATISCHE WEERGAVE RWZI HAMPTON ROAD VAN PROCESCONFIGURATIE VAN EEN ACTIEFSLIB TANK NA VOLLEDIGE FULL SCALE AANPASSING



Het dragermateriaal leidde tot een stabielere en verbeterde nitrificatie en stikstofverwijdering. De nitrificatiesnelheid in de zone met het dragermateriaal verbeterde, waardoor het totale anoxische volume in de reactor en daarmee de denitrificatie kon worden vergroot. Hoewel niet altijd consistent, werd in enige simultane denitrificatie in de biofilm (in de aerobe zones) bereikt. De gewenste stikstof effluenteisen werden gehaald. Vóór de upgrade van de RWZI varieerden de SVI waarden tussen 100 en 120 ml/l, waardoor het toegestane maximale droge stofgehalte in de beluchtingstank 2,6 g/l bedroeg om overbelasting van de nabezinking te voorkomen. Na het inpassen van het dragermateriaal zakte de SVI naar waarden rond 85 ml/g waardoor het gesuspendeerde slibgehalte opgevoerd kon worden naar 4,1 g/l.

FIGUUR 3-4 **INSTALLATIE VAN RINGLACE DRAGERMATERIAAL**



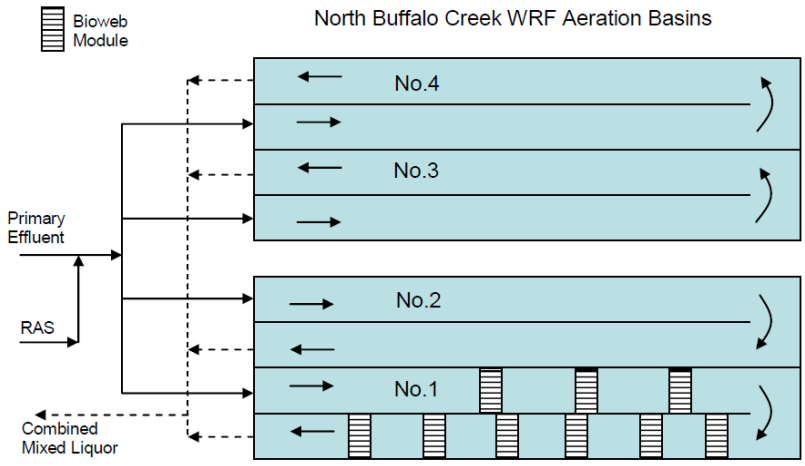
De aanpassing van de rwzi met dragermateriaal is ontworpen om bloei van wormen te voorkomen, gedurende 8 jaar bedrijfvoering zijn geen problemen met wormbloei opgetreden. De sterkte van het Ringlace dragermateriaal bleek boven verwachting, binnen de 1% vervanging zoals aangegeven in de specificatie van de fabrikant. Geconcludeerd werd dat het IFAS systeem:
een verbetering van de stikstofverwijdering mogelijk heeft gemaakt zonder de constructie van extra volume of nabezinkoppervlak, waarbij de robuustheid en de stikstofverwijdering bij lagere temperaturen verbeterde.

3.5 GREENSBORO USA (BIOWEB)

Naar aanleiding van verscherpte effluenteisen werd de RWZI van Greenboro (61.000 m^3/dag) in 1997 uitgebreid met een IFAS systeem, met gefixeerd dragermateriaal van het type Bioweb (bron: Hubell et al., 2006).

De rwzi bestaat uit vier afzonderlijke zuiveringsstraten; in één van deze straten zijn negen Bioweb modules geïnstalleerd (zie Figuur 3-5 en hoofdstuk 2.2.6), met een totaal drageroppervlak van circa 5.600 m^2. Dit materiaal kon relatief eenvoudig, snel en zonder het bestaande proces te verstoren worden geïnstalleerd. Overigens wordt het actiefslib uit beide straten samengevoegd voordat het naar de nabezinktanks wordt gevoerd, waardoor het niet mogelijk is om het afzonderlijke effect van het dragermateriaal op de bezinkbaarheid na te gaan. Wel werd aangetoond dat de IFAS straat gemiddeld 20% meer ammonium verwijderde uit het afvalwater dan de conventionele straten.

FIGUUR 3-5 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE RWZI NORTH BUFFALO CREEK



Verwacht werd dat door de toevoeging van het dragermateriaal de zuurstofvraag van het systeem zou toenemen, maar dit bleek niet het geval. De zuurstofvraag bleek zelfs met 10% te dalen bij een setpoint van 2 mg/l, vermoedelijk door de retentie van luchtbellen in het dragermateriaal en de verhoogde opnamecapaciteit die daaruit volgt. De verwijdering van ammonium bleek in het IFAS systeem 20% hoger dan in een referentiestraat met enkel gesuspendeerd slib. Sinds de installatie van het dragermateriaal heeft de RWZI geen problemen meer ondervonden met het behalen van de nitrificatie richtlijnen. Daarnaast bleek het systeem na hydraulische piekbelastingen veel sneller te herstellen.

FIGUUR 3-6 INSTALLATIE VAN BIOWEB DRAGER (GEMONTEERD OP RVS FRAMES)



Van 1997 tot 2006 zijn geen onderhoudswerkzaamheden verricht aan het dragermateriaal. In 2004 werd een rek met dragermateriaal uit het systeem gehaald ter controle; hierbij werd een gezonde aërobe biofilm aangetroffen zonder verstoppingen of aantastingen door hogere organismen. De technische staat van het dragermateriaal was uitstekend.

4

TOEPASSING IN NEDERLAND

Uit de vorige hoofdstukken blijkt dat slib-op-drager systemen buiten Nederland veelvuldig worden toegepast en overwegend in Scandinavië en de USA. Daarbij dient vermeld te worden dat in Scandinavië veelal de Moving Bed Biofilm Reactor wordt toegepast als slib-op-dragersysteem. Het verschil met IFAS is, dat bij MBBR geen retourslibstroom en nabezinking wordt toegepast. Daarnaast zijn elders in Europa nog een aantal installaties uitgevoerd met slib-op-dragersystemen. In Nederland is toepassing nooit van de grond gekomen. Wat op zichzelf vreemd is, omdat de technologie inmiddels als bewezen kan worden beschouwd en met name voor stikstofverwijdering goede resultaten laat zien. Daarmee is het een techniek die kan voldoen aan situaties waar scherpere eisen worden gesteld aan de lozing van stikstof. Zowel in situaties dat bestaande rwzi's moeten worden aangepast of bij nieuwbouw. In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten beschreven voor toepassing van slib-op-dragersystemen waarbij als voorbeeld een groene weide variant wordt beschreven voor een gesuspendeerd en gefixeerd systeem.

4.1 SYSTEEMKEUZE

In de beginfase voor het aanpassen van een bestaande rwzi of bij nieuwbouw zal een keuze gemaakt moeten worden voor de toe te passen zuiveringstechnologie waarbij de volgende zaken een bepalende rol spelen:

1. Kan worden voldaan aan de gestelde effluenteis.
2. Past de technologie in de bestaande configuratie van een rwzi (retrofitten).
3. Kan dit met zo min mogelijke civiele aanpassingen aan bestaande en/of nieuwe tanks.
4. Kan hiermee een toename in biologische belasting worden opgevangen.
5. Kan hiermee een toename in hydraulische belasting worden opgevangen.
6. Welke minimale ontwerptemperatuur wordt gehanteerd.
7. Dient aanvullend C-bron te worden toegepast.
8. Kan fosfor zoveel mogelijk biologische worden verwijderd.
9. Robuustheid ten aanzien van influent variaties.

Ten aanzien van IFAS kan op de bovenstaande zaken het volgende worden beargumenteerd op basis van de in de vorige hoofdstukken gegeven informatie.

Ad 1.
Een IFAS installatie kan (zeker) voldoen aan de eisen voor N-totaal < 10 mg/l en P-totaal < 1 mg/l. In pilot installaties (Kaldate et al., 2008) zijn verwijderingrendementen van 87% met een N-totaal in het effluent van 6,5 mg/l gemeten bij een influentconcentratie van 50 mg KjN/l. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat een drager in eerste instantie wordt toegepast om de nitrificatie te verbeteren en dan zijn ammonium concentraties < 1 mg/l haalbaar (zie als voorbeeld paragraaf 3.2 over wwtp Broomfield). Vergaand stikstof verwijderen is een

optimalisatie van de denitrificatie en hangt onder andere af van de BZV:N verhouding. Een goed werkende IFAS (nitrificatie) in combinatie met een geoptimaliseerde of goed ontworpen denitrificatie moet in staat worden geacht een N-totaal < 5 mg/l te halen.

Ad 2.
De systemen zijn toe te passen in bestaande tanks en geschikt voor diverse procesconfiguraties zowel gecompartimenteerd als omloopsystemen. Veelal worden dragers in de nitrificatiezones gebruikt maar simultane nitrificatie-denitrificatie is met slib-op-drager ook goed mogelijk.

Ad 3.
Voor de gesuspendeerde systemen zullen zeven geplaatst moeten worden om het dragermateriaal in de tanks vast te houden. Daarnaast zijn mixers nodig, of dienen mogelijk te worden aangepast in het geval dat ze al aanwezig zijn, om het materiaal in suspensie te houden in de niet beluchte compartimenten. In de beluchte compartimenten dient de beluchting ook voor de menging van de dragers in de tank. Veelal dienen andere beluchtingelementen te worden toegepast, grove bellenbeluchting in plaats van fijne bellen beluchting. De grovere bellen worden daarbij fijner door de beweging van het dragermateriaal in de tank. Wel is het zo dat de zuurstofoverdracht lager is in vergelijking met fijne bellenbeluchting. Met als consequentie dat meer beluchtingenergie nodig is. De blowers vergen over het algemeen geen aanpassingen omdat de druk in het systeem niet noemenswaardig verandert. Deze aanpassingen zijn over het algemeen zonder problemen uit te voeren in bestaande tanks.

Ad 4. en ad 5
In de situatie dat een rwzi moet worden uitgebreid, is dat veelal voor zowel de biologische als hydraulische belasting. De stijging aan biologische belasting kan dus worden opgevangen met een slib-op-dragersysteem, omdat er meer actieve biomassa per kubieke meter tank aanwezig is of er kan een hogere slibbelasting worden gehanteerd zonder dat nitrificeerders verdwijnen. Eventuele toename in hydraulische belasting kan deels worden opgevangen door een lagere SVI en een lager gesuspendeerd slibgehalte bij IFAS-systemen. Per situatie zal moeten worden vastgesteld welke toename in de hydraulische belasting nog binnen de bestaande installatie past.

Ad 6.
In Nederland wordt als minimale ontwerptemperatuur 8 tot 10^{o}C gehanteerd. In paragraaf 2.5.1 is beschreven dat met het IFAS proces bij lage temperaturen een goede nitrificatie en denitrificatie mogelijk is. Dat is ook een van de redenen dat dit soort systemen juist in Scandinavië veel worden toegepast. Dat betekent dat voor de Nederlandse situatie de ontwerptemperaturen gehandhaafd kunnen blijven.

Ad 7.
Voldoen aan < 5 mg N /l en < 0,3 mg P /l is in veel gevallen mogelijk met actief slib- en/of IFAS-installaties. Voorwaarde is dat de actuele slibbelasting lager is dan 0,06 kg BZV/(kg ds.d), de omloopsnelheid in het omloopsysteem zodanig is dat de “interne recirculatiefactor” hoger is dan 20 en de BZV/N-verhouding in het influent hoger is dan 3 (STOWA 2007-24). Om te voldoen aan scherpere eisen voor stikstof is een van de opties het doseren van een C-bron en kan dus in combinatie met IFAS. Dus niet het toepassen van IFAS, maar de BZV:N verhouding en de effluenteis bepalen of een extra C-bron noodzakelijk is.

Ad 8.
Het IFAS proces kan zonder meer gecombineerd worden met biologische fosforverwijdering. Daarbij wordt geen dragermateriaal toegepast in de anaerobe tank. De hoeveelheid fosfaat welke langs biologische weg kan worden verwijderd wordt bepaald door het P-gehalte in het spuislib en de spuislibhoeveelheid in kg ds/d.

Ad 9.
Algemeen kan gesteld worden dat slib-op-dragersystemen zich kenmerken door hun robuustheid. Slib op drager systemen kunnen door deze eigenschap op de kleinere onbemande zuiveringen worden toegepast (Schleger et al., 2007). Ze kunnen goed tegen variaties in het influent en vragen geen dagelijkse aandacht door een procesoperator. Dit geldt vooral voor de MBBR uitvoeringen, maar ook IFAS zal door dezelfde eigenschappen van de biofilm op drager robuust zijn. Al vergt deze geïntegreerde uitvoering nog wel aandacht met betrekking tot het slibgehalte in het systeem. Een ander aandachtspunt bij IFAS is het voorkomen van wormen omdat deze de nitrificatiecapaciteit kunnen beïnvloeden doordat de wormen zich vastzetten op het dragermateriaal, met name bij hogere temperatuur en lage slibbelasting (dit speelt sterker bij gefixeerde systemen). Dit probleem kan worden voorkomen door bijvoorbeeld intermitterend te beluchten.

4.2 UITGANGSPUNTEN VOOR HET ONTWERP

Bij het ontwerp van een slib-op-dragersysteem wordt uitgegaan van de omzetting aan ammonium in g NH_4-N/kg organisch drogestof per uur voor het gesuspendeerde actief slib en de omzetting in de biofilm op het dragermateriaal in g NH_4-N/m^2 per dag. Dezelfde benadering kan ook worden gehanteerd voor denitrificatie. Hoewel dragermateriaal in de meeste situaties alleen in de beluchte zones van het actief slibsysteem worden toegepast. Op deze wijze kan het tankvolume worden berekend bij een bepaalde vullingsgraad aan dragermateriaal. Voor bestaande tanks (retrofitten) kan met een vaststaand actief slibvolume het benodigd aantal dragers (en dus vullinggraad) worden vastgesteld bij de extra om te zetten vracht aan ammonium.
Bij het berekenen van de luchttoevoer voor een gesuspendeerd systeem wordt vaak uitgegaan van een grove of medium bellenbeluchting voor gesuspendeerde systemen (omdat deze ook voor de menging van de dragers door het medium dient) met als consequentie een lagere zuurstofoverdracht. Deze is circa 12 g O_2/(Nm^3.m) voor grove bellenbeluchting en 16 g O_2/(Nm^3.d) voor medium bellenbeluchting terwijl voor fijne bellenbeluchting veelal 20 g O_2/(Nm^3.m) wordt aangehouden. Voor gefixeerde systemen kan fijne bellenbeluchting worden toegepast en is de zuurstofoverdracht gelijk aan die voor actief slib. De meeste referenties betreffen grove bellenbeluchting, er is echter een ontwikkeling naar de toepassing van fijne bellenbeluchting.

4.3 UITWERKING NIEUWBOUW CASE

Voor deze studie is een case uitgewerkt voor de nieuwbouw van een rwzi van 100.000 i.e. (136 g TZV), zie ook bijlage 3. Daarbij zijn een tweetal leveranciers gevraagd een ontwerp te maken. Het betreft Veolia op basis van Kaldnes gesuspendeerd dragermateriaal en Abucon op basis van Cleartec gefixeerd dragermateriaal. In onderstaande tabel zijn de ontwerpen weergegeven voor een (conventionele) rwzi zonder gebruik van slib-op-drager en de twee eerder benoemde systemen die kunnen voldoen aan de effluenteisen voor N-totaal < 10 mg/l en P-totaal < 1 mg/l.

Voor het conventionele systeem is uitgegaan van een installatie met:

- voorbezinking;
- biologische fosfaatverwijdering volgens het m-UCT-principe;
- biologische stikstofverwijdering met voordenitrificatie;
- slibgisting;
- slibontwatering.

4.3.1 UITGANGSPUNTEN

4.3.1.1 Influentsamenstelling

Bij de ontwerpen is uitgegaan van de influentsamenstelling zoals weergegeven in Tabel 4-1. Deze influentsamenstelling is ontleend aan het STOWA-rapport "Effect van afkoppelen op de rwzi", (STOWA 2008-14).

TABEL 4-1 **INFLUENTSAMENSTELLING**

Parameter	Eenheid	Waarde
RWA	m^3/h	2.625
Q_{24}, jaargemiddeld dagdebiet	m^3/d	18.320
DWA	m^3/h	750
	m^3/d	12.000
CZV	kg/d	9.583
BZV	kg/d	3.499
NKj	kg/d	879
Ptotaal	kg/d	147
Onopgeloste stoffen	kg/d	4.199

4.3.1.2 Rejectiewater

Voor het rejectiewater dat vanaf de sliblijn wordt teruggevoerd naar de waterlijn is de samenstelling gehanteerd zoals weergegeven in Tabel 4-2.

TABEL 4-2 **REJECTIEWATERSAMENSTELLING**

Parameter	Eenheid	Waarde
Dagdebiet	m^3/d	733
CZV	kg/d	383
BZV	kg/d	140
NKj	kg/d	88
Ptotaal	kg/d	6
Onopgeloste stoffen	kg/d	336

4.3.1.3 Temperatuurprofiel

Voor het ontwerp is uitgegaan van het temperatuurprofiel zoals weergegeven in Tabel 4-3.

TABEL 4-3 **TEMPERATUURPROFIEL**

Maand	Temperatuur (°C)
Januari	8
Februari	9
Maart	11
April	12
Mei	15
Juni	17
Juli	19
Augustus	21
September	17
Oktober	15
November	12
December	10

De minimale temperatuur waarbij de nitrificatie moet blijven gehandhaafd is 8°C.

4.3.1.4 Rendementen voorbezinktank

De bij het ontwerp gehanteerde rendementen voor de voorbezinktank zijn weergegeven in Tabel 4-4.

TABEL 4-4 **RENDEMENTEN VOORBEZINKTANK T.O.V. TOTALE AANVOER (=INCLUSIEF REJECTIEWATER)**

Parameter	Eenheid	Waarde
CZV	%	30
BZV	%	30
NKj	%	10
Ptotaal	%	7,5
Onopgeloste stoffen	%	50

De samenstelling van de afloop voorbezinktank is weergegeven in Tabel 4-5.

TABEL 4-5 **AFLOOP VOORBEZINKTANK**

Parameter	Eenheid	Waarde
RWA	m^3/h	2.625
Q_{24}	m^3/d	18.320
DWA	m^3/h	750
	m^3/d	12.000
CZV	kg/d	6.976
BZV	kg/d	2.547
NKj	kg/d	870
Ptotaal	kg/d	141
Onopgeloste stoffen	kg/d	2.267

4.3.2 UITWERKING VIER ONTWERPEN

Voor het uitwerken van de cases is een gesuspendeerd dragersysteem en een gefixeerd dragersysteem geselecteerd van de leveranciers Veolia en Abucon. Onderstaand worden vier ontwerpen op basis van de hiervoor genoemde uitgangspunten met elkaar vergeleken:

- conventioneel ontwerp;
- een ontwerp van Veolia met het HYBAS-proces (gesuspendeerde dragers);
- Twee ontwerpen van de firma Abucon met het Cleartec-Biotextil systeem, een gefixeerd dragersysteem:
- één op basis van voordenitrificatie (Cleartec/Biotextil 1)
- één op basis van simultane nitrificatie/denitrificatie door middel van intermitterende beluchting (Cleartec/Biotextil 2).

De ontwerpen zullen onderstaand per onderdeel worden besproken.

4.3.2.1 Roostergoedverwijdering

Voor de roostergoedverwijdering wordt in alle gevallen een fijnrooster met een roosterdoorlaat van 3 mm toegepast.

4.3.2.2 Voorbezinking

Het ontwerp van de voorbezinking is weergegeven in Tabel 4-6.

TABEL 4-6 VOORBEZINKING

Parameter	Eenheid	Conventioneel	Hybass	Cleartec/Biotextil 1, Voordenitrificatie	Cleartec/Biotextil 2, Intermitterend
Oppervlaktebelasting	$m^3/m^2/h$	2,8	2,8	2,8	2,8
Maximale aanvoer	m^3/h	2.625	2.625	2.625	2.625
Oppervlakte	m^2	938	938	938	938
Aantal	-	1	1	1	1
Diameter per tank	m	34,5	34,5	34,5	34,5

4.3.2.3 Anaërobe tank

Overeenkomend met het m-UCT-systeem wordt de anaërobe tank voor de selector geplaatst. De anaërobe tank wordt gevoed met voorbezonken water en een nitraatvrije recirculatiestroom uit de anoxische ruimte. De verblijftijd in de anaërobe tank is 60 minuten.
Zie voor de dimensies Tabel 4-7.

TABEL 4-7 ANAËROBE TANK

Parameter	Eenheid	Conventioneel	Hybass	Cleartec/Biotextil 1, Voordenitrificatie	Cleartec/Biotextil 2, Intermitterend
Verblijftijd	min.	60	60	60	60
Totale aanvoer	m3/h	1.622			
Volume	m3	1.622	1.622	1.622	1.622
Aantal compartimenten	-	4	4		
Aanvullende Fe-dosering	kg Fe/d	120	> 120.	> 120	> 120

4.3.2.4 Selector

Na de anaërobe tank stroomt het slib/watermengsel door naar de selector waar het wordt opgemengd met de retourslibstroom. De verblijftijd in de selector is 20 minuten. Zie voor de dimensies van de selector Tabel 4-8.

TABEL 4-8 **SELECTOR**

Parameter	Eenheid	Conventioneel	Hybass	Cleartec/Biotextil 1, Voordenitrificatie	Cleartec/Biotextil 2, Intermitterend
Verblijftijd	min.	20	20	20	20
Totale aanvoer	m^3/h	2.163	2.163	2.163	2.163
Volume	m^3	421	421	421	421
Aantal compartimenten	-	4	3	4	4

4.3.2.5 Aëratietank

De dimensionering van de aeratietank is voor elk systeem gebaseerd op zijn eigen specifieke ontwerpgrondslagen. In Tabel 4-9 is een overzicht gegeven van deze specifieke ontwerpgrondslagen en dimensies. Abucon 2 is het ontwerp van de simultane nitrificatie/denitrificatie. Bij dit systeem wordt intermitterende beluchting toegepast waarbij in onbeluchte periode het slib in suspensie wordt gehouden door regelmatig kortstondig de beluchting aan te zetten.

4.3.2.6 Nabezinking

De nabezinking van het conventionele systeem is ontworpen volgens de STOWA-richtlijn. Zie voor de dimensies Tabel 4-10. De leverancier van Cleartec/Biotextil heeft een kantdiepte van 2,2 m aangehouden voor nabezinking.

TABEL 4-9 AËRATIETANKS

Parameter	Eenheid	Conventioneel	Hybass	Cleartec/Biotextil 1, Voordenitrificatie	Cleartec/Biotextil 2 Intermitterend
Slibbelasting	kg BZV/kg ds.d	0,048	n.b.	0,032	0,039
Biologisch slibgehalte gesuspendeerd	g ds/l	3,5	4,0	3,1	3,1
Chemisch slibgehalte	g ds/l	0,5	n.b.	0,41	0,41
Volume					
voordenitrifcatie	m^3	3.792	6.095	9.357	-
BZV-compartiment	m^3	-	757	-	
aëroob	m^3	11.375	2.200	3.443	-
de-ox reactor	m^3	-	984	-	-
totaal	m^3	15.167	10.036	12.800	6.800
Stikstofbelasting obv totaal volume	kg N/m^3 volume/d	0,057	0,087	0,068	0,128
Stikstofbelasting obv aëroob volume	kg N/m^3 aëroob volume/d	0,078	0,40	0,25	0,25
Waterdiepte	m	4,0	6,0	4,0	4,0
Recirulatiefactor maximaal	-	5,3	3,7 – 3,8	4,13	-
Slibmassa gesuspendeerd	kg ds	53.085	40.144	44.928	23.868
Slibmassa dragermateriaal	kg ds	-	n.b.	20.755	41.815
Aërobe slibmassa	kg ds	31.850	n.b.	32.840	32.840
Slibmassa totaal	kg ds	53.085	n.b	65.683	65.683
Slibmassa dragermateriaal specifiek	kg ds/m^2 actief	-	0,011	0,043	0,043
Benodigd (beschermd) actief oppervlak dragermateriaal	m^2	-	662.663	488.719	984.425
Stikstofbelasting obv oppervlakte dragermateriaal	g N/m^2 drager/d	-	1,3	1,8	0,9
Specifiek oppervlak dragermateriaal	m^2/m^3_{drager}	-	500	-	-
	m^2/m		-	23	23
Efficiency coëfficient		-	-	0,62	0,62
Ammonium-omzetting (bij 8°C)	g NH_4-N/m^2/d	-	0,56		
Slibproduktie totaal	kg ds/d	2.341	2.520	2.432	2.432
Zeven voor retentie dragermateriaal, diameter	mm	-	5	-	-
Zuurstoftoevoervermogen	kg O_2/h	666	650	267 [1]	267 [1]
Actuele zuurstofconcentratie in aërobe tank	mg O_2/l	1,5	5,0	n.b.	n.b.
Intermitterende beluchting	-	nee	nee	nee	ja
Onbeluchte tijd	%	-	-	-	0,50
Cyclustijd beluchting	h	-	-	-	1,81

1 Het door Abucon opgestelde ontwerp voor Cleartec/Biotextil geeft een zuurstoftoevoervermogen van 267 kg/h. Deze waarde is gebaseerd op ATV richtlijnen en betreft waarschijnlijk enkel de zuurstofbehoefte van de biomassa (dus niet de zuurstoftoevoer, waarbij de overdracht tussen lucht en water nog moet worden meegenomen). Overleg met Abucon heeft dit niet kunnen ophelderen. Gezien de benodigde slibmassa is het onwaarschijnlijk dat het zuurstoftoevoervermogen lager ligt dan voor het conventionele ontwerp.

TABEL 4-10 NABEZINKING

Parameter	Eenheid	Conventioneel	Hybass	Cleartec/Biotextil 1, Voordenitrificatie	Cleartec/Biotextil 2, Intermitterend
Aantal	-	2	2	2	2
Diameter per tank	m	43,6	42,2	43,6	43,6
Kantdiepte	m	2	2	2,2	2,2

4.4 VERGELIJKING ONTWERPEN

Ter vergelijking is de leveranciers gevraagd een ontwerp te maken voor het actiefslibgedeelte voor BZV- en N-verwijdering. De voorbezinking, anaërobe tank en selector zijn overgenomen van het conventionele ontwerp. Daarnaast is het bij slib op drager systemen gebruikelijk om bij lagere BZV/N-verhouding een C-bron te doseren ten behoeve van een snellere denitrificatie. In dit geval is de leveranciers gevraagd om ondanks de BZN/N-verhouding van 2,93, een ontwerp te maken zonder C-bron dosering.

In paragraaf 2.6 is een aantal ontwerpgrondslagen die in de literatuur zijn gevonden weergegeven. Vanuit de door Veolia en Abucon aangeleverde ontwerpen zijn niet al deze ontwerpgrondslagen duidelijk terug te vinden.
In het onderstaande worden de ontwerpen op een aantal punten met elkaar en met de literatuurwaarden vergeleken:

- uit de ontwerpen blijkt dat het te realiseren volume van de slib op drager systemen lager is dan voor het conventionele systeem. Voor het intermitterend gefixeerde systeem van Abucon bedraagt het te realiseren volume slechts 44% van het conventionele systeem. Voor de gesuspendeerde dragers bedragen de volumina 68 – 85% van het conventionele volume;
- de gesuspendeerde slibmassa is bij de slib op drager ontwerpen lager dan in het conventionele systeem. Dit vertaalt zich bij het ontwerp van Veolia in een vermindering van het benodigde nabezinkoppervlak. Op basis van de gesuspendeerde slibmassa en slibconcentratie in de ontwerpen van Cleartec/Biotextil, zou verwacht worden dat een reductie in nabezinktankoppervlak t.o.v. het conventionele ontwerp mogelijk is. Dit is echter door de leverancier niet opgegeven. Uit het ontwerp van Abucon blijkt dat de totale slibmassa duidelijk hoger is dan in het conventionele systeem, bij het Veolia ontwerp is de slibmassa op het dragermateriaal niet aangegeven. De aërobe slibmassa's voor het conventionele systeem en het slib op dragersysteem van Abucon zijn vergelijkbaar;
- de specifieke stikstofbelasting uitgedrukt in g N/m^2 drager.d is voor het Veolia ontwerp 1,3 g N/m^2 drager.d. Voor de Abucon ontwerpen is dit 1,8 en 0,9 g N/m^2 drager.d (voor resp. voordenitrificatie en intermitterend ontwerp). Genoemde specifieke omzettingssnelheden voor gefixeerde dragers gaan tot 1,15 g N/m^2 drager.d en voor gesuspendeerde dragers tot 0,88 g N/m^2 drager.d. Uit het Veolia-ontwerp kan worden afgeleid dat circa. 33% van de stikstof wordt omgezet door het gesuspendeerde slib en dus ca 67% door het slib dat op de dragers vastzit. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat de omzettingssnelheden van de ontwerpen vergelijkbaar zijn met de literatuurwaarden;
- de stikstofbelasting uitgedrukt in g N/m^3/d is bij de slib op drager systemen hoger dan voor het conventionele systeem. Met name het Abucon ontwerp op basis van intermitterende beluchting laat een duidelijk hogere stikstofbelasting in g N/m^3/d zien. Door de hogere totale slibmassa voor de slib op drager systemen is de stikstofbelasting in g N/kg ds.d lager dan voor het conventionele systeem. De stikstofslibbelasting gerelateerd aan de aërobe slibmassa zijn vergelijkbaar voor het conventionele systeem en het Abucon ontwerp;
- de slibproducties van de slib op drager systemen zijn vergelijkbaar met het de slibproductie van het conventionele systeem;
- het door Veolia gebruikte ontwerp set-point voor het actuele zuurstofgehalte in het aërobe deel van de reactor waar de dragers zich bevinden bedraagt 5 mg O_2/l, voor het conventionele systeem bedraagt deze 1,5 mg/l. In het ontwerp van Veolia wordt dit hoge set-point gehanteerd om de gewenste ammonificatiesnelheid te behalen. Door Abucon is geen ontwerp set-point voor het zuurstofgehalte opgegeven;
- het berekende benodigde zuurstoftoevoervermogen (in kg O_2/h) is bij Veolia vergelijkbaar

met het conventionele systeem. Het specifieke zuurstofinbrengrendement dat bij het ontwerp van Veolia wordt gehanteerd bedraagt 13,5 g O_2/Nm^3/m (medium bellenbeluchting) de diepte van de actief slibtank bedraagt 6 m. Bij het conventionele systeem wordt uitgegaan van een zuurstofinbrengrendement van 20 g O_2/Nm^3/m (fijne bellenbeluchting) en een diepte van 4 m. Daarmee is ook de totale luchtinbrengcapaciteit vergelijkbaar;

- het berekende benodigde zuurstoftoevoervermogen (in kg O_2/h) is bij beide Abucon ontwerpen duidelijk lager dan voor het conventionele systeem (44%). De onderbouwing van dit verschil is niet helder. Bij de gefixeerde systemen wordt uitgegaan van een fijne bellenbeluchtingssysteem;

4.5 BEKNOPTE KOSTENANALYSE

Om een nadere indicatie van de kosten/baten te krijgen zijn, voor de 100.000 i.e. (à 136 g TZV) referentie rwzi, de specifieke investeringskosten (incl. BTW) berekend voor de beluchtingscapaciteit, biologisch volume en nabezinktank oppervlak. Tevens is rekening gehouden met een bandbreedte in de specifieke investeringskosten. Hiertoe is een kostenraming voor de nieuwbouw van de 100.000 i.e. (à 136 g TZV) opgesteld. Dit levert de volgende eenheidsprijzen voor de investeringskosten op (incl. BTW):

- Biologisch volume 150-250 euro per m^3
- Beluchting 1000-1500 euro per kg OC
- Bezinkoppervlak 1000-250 euro per m^2

Om de kapitaalslasten te kunnen bepalen is uitgegaan van annuitaire afschrijving met een jaarlijkse annuïteit van 7% (een gemiddelde afschrijftermijn van 20 jaar met een rentepercentage van 4%).

Door de firma's Abucon en Veolia zijn op basis van de influentspecificaties van de 100.000 i.e. (à 136 g TZV) rwzi en van de effluentspecificaties (N-totaal=10 mg/l) ontwerpen gemaakt met hun respectievelijke IFAS technologie. Duidelijk is geworden dat er meerdere varianten voor dergelijke ontwerpen mogelijk zijn. Uit de keuze die de leveranciers gemaakt hebben wordt in elk geval zichtbaar wat de verschillen zijn van de IFAS ontwerpen ten opzichte van het referentie ontwerp. Zoals uit het voorgaande blijkt treedt er vooral een vermindering op van het biologisch volume. Bij de gesuspendeerde dragers is sprake van een beperkte reductie van het benodigde bezinkoppervlak. Uit praktijkreferenties is ook bekend dat een reductie van het nabezinkoppervlak mogelijk is. De gesuspendeerde slibmassa neemt immers af bij toepassing van IFAS, tevens is er geen sprake van verslechterde bezinkeigenschappen. Ook is er bij het gefixeerde systeem sprake van een aanzienlijke daling van het benodigde zuurstoftoevoervermogen, de reden hiervan is niet duidelijk uit het ontwerp van de leverancier naar voren gekomen.

De minderkosten die gemoeid zijn besparingen op volume en nabezinkoppervlak dienen te worden vergeleken met de meerkosten die gemoeid zijn met de randvoorzieningen voor het dragermateriaal (bijvoorbeeld zeven in het geval van de gesuspendeerde Kaldnes dragers) en uiteraard met de kosten van het dragermateriaal zelf. Een belangrijk punt bij dat laatste is een eventuele vervanging van het dragermateriaal. Beide fabrikanten geven aan dat er binnen een termijn van 20 jaar nauwelijks sprake is van vervanging van dragermateriaal. Deels berust dit op feiten (installaties die al 20 jaar met dragermateriaal draaien), deels berust dit op extrapolatie. Gemakshalve gaan we er van uit dat de extra vervangingskosten vergelijkbaar zijn met de gemiddelde onderhoudskosten van een rwzi (1-2 % van de aanneemsom),

waarmee deze kosten direct samenhangen met de investeringskosten . Voor wat betreft het afgeven van de kosten van dragermateriaal blijken de leveranciers om commerciële redenen erg terughoudend te zijn. Uit een nadere toelichting van de leveranciers bleek dat voor het beprijzen van het dragermateriaal projectspecifieke afwegingen worden gemaakt. Het afgeven van gemiddelde prijzen wordt dan ook om concurrentie redenen niet gedaan.

Voor deze studie is op basis van voornoemde kosten kengetallen indicatief berekend hoe hoog de investeringskosten voor een slib op drager systeem mogen zijn om ten opzichte van een conventionele uitbreiding op vergelijkbare kosten uit te komen. Tabel 4.11 geeft een indicatie van de besparingen op de investeringskosten als gevolg van het besparen op biologisch volume en nabezinkoppervlak.

TABEL 4.11 INDICATIE BESPARING OP INVESTERINGSKOSTEN.

Parameter	Eenheid	Hybass	Cleartec/Biotextil 1, Voordenitrificatie	Cleartec/Biotextil 2, Intermitterend
Nabezinkoppervlak verschil met conventionee;	m^2	-94	-	-
Biologisch volume verschil met conventioneel	m^3	-5.131	-2.367	-8.367
Totale vermindering investeringskosten	miljoen	0,86-1,42	0,36-0,59	1,25-2,1

Hieruit kan worden opgemaakt dat gemiddeld de extra investeringskosten in de orde van 1,1 miljoen euro mogen bedragen. Deze investeringen betreffen het initiële dragermateriaal en de benodigde randapparatuur. Omgerekend naar jaarlijkse kapitaalslasten bedraagt dit 77.000 Euro. Omgerekend naar maximale investeringen per vierkante meter dragermateriaal (zie tabel 4.9) bedraagt dit gemiddeld 1,5 euro per m^2-dragermateriaal. Ter vergelijking: de investeringskosten voor een nieuwbouw rwzi van 100.000 i.e. bedragen ca. 19 M Euro.
De lagere benodigde beluchtingscapaciteit in het geval van het Cleartec/Biotextil systeem zou een extra vermindering van de investeringskosten van 0,27-0,4 miljoen euro betekenen. Gezien het gebrek aan onderbouwing van deze lagere beluchtingscapaciteit is dit niet meegenomen.

Uiteraard dienen bovenstaande kostenaspecten afgezet te worden tegen de voordelen die IFAS systemen claimen te bieden zoals de veminderde gevoeligheid voor piekbelastingen, verbetering van de nitrificatieprestaties en een lagere en stabielere SVI. Tevens is van belang te onderkennen dat in veel gevallen voor een bestaande situatie waar een noodzaak is om het biologisch volume uit te breiden, de meerkosten van deze uitbreiding hoger zijn vergeleken met de meerkosten bij een nieuwbouw situatie.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Bij geïntegreerde slib-op-dragersystemen is een combinatie van biomassa op dragermateriaal en gesuspendeerd actief-slib (conventionele slibvlokken) in het biologisch systeem aanwezig. In deze configuratie is een nabezinktank in het proces opgenomen en wordt het bezonken slib gerecirculeerd naar de beluchtingstank. Deze systemen staan bekend onder de naam IFAS (Integrated Fixed Film Activated Sludge) proces.

De toepassing van dragermateriaal in gangbare bestaande rwzi configuraties als hybride slib-op-drager systemen is bijzonder geschikt voor aanpassing/uitbreiding van bestaande installaties: retrofit van bestaande installaties. Aanpassing/uitbreiding van bestaande installaties is in Nederland de meest gangbare praktijk. Geclaimde voordelen van deze systemen zijn onder andere:

- compacte bouw, besparing bouwkosten;
- uitbreiding capaciteit in bestaande installatie;
- robuuster (piekbelastingen, verstoringen);
- prestaties verbeteren (bijv. nitrificatie);
- verbeterde en stabielere SVI.

Maar er zijn ook nadelen te noemen:

- kosten van de dragermaterialen en zeven;
- het systeem is relatief onbekend;
- het in suspensie houden van het dragermateriaal behoeft aandacht bij het ontwerp;
- het is alleen mogelijk in combinatie met bellenbeluchting.

Met IFAS is uitgebreide full scale ervaring aanwezig voor de behandeling van municipaal afvalwater, vooral in de USA en Scandinavië en op beperktere schaal in Duitsland. Toepassingen zijn te vinden op het gebied van BZV-verwijdering, nitrificatie en denitrificatie. De meeste toepassingen op rwzi's hangen samen met de nitrificatiecapaciteit. De laatste 10 jaar is er een veelheid aan publicaties verschenen waarin full scale toepassingen worden geëvalueerd. Ook zijn er ontwerpmodellen en simulatiemodellen ontwikkeld waardoor er meer begrip is ontstaan van de processen. Daarnaast valt uit de literatuur op te maken dat er ook uitgebreid flankerend toegepast onderzoek en applicatie onderzoek met slib op drager is uitgevoerd.

De kinderziektes uit de jaren 80/90 lijken er goeddeels uit te zijn. De voornoemde geclaimde voordelen worden vanuit diverse praktijkervaringen bevestigd. Ten opzichte van de beginjaren is het aantal aanbieders (evenals het aantal full scale referenties) van slib op drager systemen sterk gegroeid. Hiertussen zit echter ook een groot aantal kleinere (buitenlandse) firma's die moeilijk toegankelijk blijken te zijn. Daarnaast zijn er zowel voor gesuspendeerde als voor vaste dragers voldoende serieuze spelers op de markt. Bij een keuze voor een type dragermateriaal

verdient het aanbeveling de uitwisselbaarheid met andere dragers in acht te nemen, zodat daarmee de afhankelijkheid van een enkele partij voorkomen kan worden.

De literatuurgegevens van praktijkinstallaties en de gegevens van leveranciers zijn vrij globaal. Detailinformatie ontbreekt waardoor een uitgebreide gedetailleerde analyse lastig is. Hiertoe dient specifiek met eindgebruikers en met leveranciers contact te worden gezocht. Een typische omzetsnelheid voor nitrificatie bedraagt 0,5 g NH_4/(m^2.d) met een spreiding van 0,2-1,2 g NH_4/(m^2.d). Praktijkervaringen en vergelijkingen tussen conventionele ontwerpen en ontwerpen met dragers laten zien dat een significante besparing op het biologisch volume en nabezinktankoppervlak mogelijk is met dragermateriaal. Met andere woorden de biologische capaciteit kan significant worden uitgebreid met dragermateriaal uitgaande van een retrofit van een bestaande situatie. De kostenefficiëntie hiervan is niet even duidelijk vanwege de terughoudendheid van leveranciers om prijzen te verstrekken. Kostenberekeningen laten zien dat er een significante financiële ruimte ontstaat door het vermijden van uitbreiding van biologisch volume en nabezinkoppervlak. Indicatieve berekeningen laten zien dat de investeringsruimte voor dragermateriaal in de orde van 1,5 euro per m^2-dragermateriaal mag bedragen om op een vergelijkbaar kostenniveau te komen als conventionele uitbreiding van biologisch volume en/of nabezinkoppervlak. De indruk bestaat dat er in de beprijzing van dragermateriaal de nodige commerciële ruimte is om de toepassing projectspecifiek mogelijk te maken.

Knelpunten die in de beginjaren van de slib op drager systemen aan de orde waren lijken grotendeels onder controle. De do's en dont's zijn, vooral bij de grotere leveranciers met langjarige ervaring, voldoende bekend. Deze knelpunten betreffen bijvoorbeeld te grote slijtage van de dragers, problemen met menging en voorkeursstromingen en aanhechting/verstopping door vezelachtig materiaal. Vaste dragers lijken wat gevoeliger voor dit laatste aspect, minimaal 3 mm roosters als voorbehandeling van het influent hebben dan ook de voorkeur. Bij gesuspendeerde dragers is het voorkomen van ophoping van dragers in beluchtingscompartimenten een belangrijk aandachtspunt. De gesuspendeerde dragers worden door grove zeven van de vloeistoffractie gescheiden en zodoende in de compartimenten gehouden. Voor een goede werking is de hydraulische belasting van deze zeven beperkt. Door de toepassing van pijpvormige zeefconstructies kan het zeefoppervlak worden vergroot zonder dat dit direct leidt tot noodzakelijke vergroting van het compartiment zelf. Vanwege de beperking in de hydraulische belasting van de zeven is een limitatie van de recirculatiestroom tussen nitrificatie en denitrificatie compartimenten in sommige gevallen aan de orde. Dit kan ten koste gaan van de stikstofverwijdering. In een enkel geval wordt dit opgelost door nadenitrificatie toe te passen. Door de toepassing van zeven dient rekening gehouden te worden met extra hydraulische opvoerhoogte (typisch 5-10 cm). Toepassing van vaste dragers zal ook tot enige toename in de opvoerhoogte leiden, vanwege de weerstand in de waterlijn, echter in minder mate in vergelijking met gesuspendeerde dragers. Het voorkomen van vroegtijdige slijtage van dragermateriaal is vooral een aandachtspunt bij gesuspendeerde dragers. Dit is onder controle gebracht door aanpassingen in het materiaal zelf (bijvoorbeeld de sponsachtige dragers) en door inrichting van de compartimenten (betonafwerking, mengenergie e.d.). Enige slijtage is geen punt, mits dit niet leidt tot hoge vervangingskosten. De resten van het dragermateriaal komen bij slijtage in het surplusslib terecht, die levert verder geen problemen op in de slibeindverwerking. Uit de inventarisatie is de indruk ontstaan dat overmatige slijtage niet meer aan de orde is. Het verdient aanbeveling dit bevestigt te krijgen door het raadplegen van eindgebruikers.

Een belangrijk aandachtspunt is de beluchtingenergie die benodigd is in compartimenten met dragermateriaal. Gesuspendeerde dragers en vaste dragers lijken hierin te verschillen. Bij gesuspendeerde dragers heeft grove bellenbeluchting de voorkeur, vanwege de gewenste menging. Een andere reden om grove bellenbeluchting toe te passen bij gesuspendeerde dragers is het onderhoud van de beluchtingelementen. Operationeel gezien is het lastig om beluchtingsystemen uit compartimenten te halen voor bijvoorbeeld vervanging of onderhoud. De dragers bevinden zich immers boven de beluchtingelementen. Indien beluchtingelementen worden teruggeplaatst zitten de dragers in de weg. Bij toepassing van grove bellenbeluchting kan het onderhoud veelal van buitenaf plaatsvinden (bijvoorbeeld doorspoelen), vervanging van elementen is niet aan de orde. Vaste film dragers kunnen eenvoudiger (net als ondergedompelde membranen) uit een compartiment worden gelicht. Vanwege de verhoogde aandacht voor energie efficiency is er bij de leveranciers van dragers meer aandacht voor efficiëntere beluchting, echter bij de meeste praktijkreferenties was dit geen belangrijk aandachtspunt. Toepassing van dragers leidt (afhankelijk van de situatie en de afvalwatersamenstelling) in sommige gevallen tot verlaging van de zuurstofbehoefte (bijvoorbeeld vanwege een verminderde slibmassa en daardoor een verminderde endogene ademhaling). Hiermee kan een lagere beluchtingefficiëntie weer mee worden gecompenseerd. Aan de andere kant is het voor slib op dragersystemen soms noodzakelijk om bij hogere zuurstofconcentraties te opereren, om voldoende zuurstofpenetratie in de biofilm te waarborgen.

Geconcludeerd kan worden dat er voldoende kennis en ervaring aanwezig is om een degelijk ontwerp te kunnen maken en de vergelijking van een eventuele toepassing van IFAS met een conventionele oplossing op een gefundeerde manier te kunnen maken. De benodigde detailinformatie dient in overleg met leveranciers verzameld te worden, bij voorkeur gekoppeld aan een concrete situatie. Daarnaast is het wenselijk contact te zoeken met eindgebruikers die IFAS systemen toepassen. De exacte uitvoeringsvorm en het detailontwerp zijn sterk locatiespecifiek en vereisen maatwerk.

Gezien de gerapporteerde omstandigheden (slibbelasting, nitrificatie, temperatuur) waarin de praktijkinstallaties worden bedreven kan worden vastgesteld dat de resultaten uit het buitenland grotendeels vertaalbaar zijn naar de Nederlandse situatie. Het verdient aanbeveling om in Nederland naar een geschikte concrete praktijksituatie op zoek te gaan en te trachten een demonstratieproject uit te werken.

6

REFERENTIES

Anoxkaldnes (2009). Website: www.anoxkaldnes.com

Barnard, J.L. (2006). Biological nutrient removal: where have we been, where are we going? WEFTEC 2006.

Boltz, J.P., Daigger, G.T., Johnson, B.R., Hiatt, W., Grady, C.P.L. (2009). Expanded Process Model Describes Biomass Distribution, Free-Ammonia/Nitrous Acid Inhibition and Competition between Ammonia Oxidizing Bacteria (AOB) and Nitrite Oxidizing Bacteria (NOB) in Submerged Biofilm and Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS). Proceedings Nutrient Removal 2009.

Boltz, J.P., Johnson, B.R., Daigger, G.T., Sandino, J., Elenter, D. (2008). Modelling Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) and Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Systems: Development and Evaluation. WEFTEC 2008.

Brentwood (2009). Integrated Fixed Film/Activated Sludge (IFAS) Systems. Website Brentwood industries: www.brentwoodindustries.com.

Copithorn, R.R., Sturdevant, J., Farren, G., Sen, D. (2006). Case Study of an IFAS System – Over 10 Years of Experience. WEFTEC 2006.

Flourney, W.J., Grillo, R., Hubell, S.B., Kalluri, R., Mueller, C. (2008). Enhancing Nitrification in an Oil Refinery WWTP with IFAS. WEFTEC 2008.

Gellner, W.J., Samel, L., Howard, D., Stone, A., Pitt, P. (2008). When Conventional Design Bid Build Approach is Unconventional – Design and Bidding of IFAS Full-Scale Pilot at Greensboro, North Carolina. WEFTEC 2008.

Hubell, S.B., Pehrson, R., Schuler, A. (2006). Eight years of successful cold weather nitrification with integrated fixed-film activated sludge. WEFTEC 2006.

Johnson, T, Steichen, M., Shaw, A., McQuarrie, J., Hunter, G. (2006). When Is IFAS The Right Choice? WEFTEC 2006.

Jones, R.M., Sen, D., Lambert, R. (1998). Full scale evaluation of nitrification performance in an integrated fixed film activated sludge process. Water Science and Technology, vol 38, no 1, pp 71-78, 1998.

Kaldate, A., Smedley, S., Turner, T. (2008). Evaluation of IFAS Technology for TN Removal at Chesterfield County BNR Program. WEFTEC 2008.

Kim, H., Pei, R., Boltz, J.P., Regmi, P., Schafran, G., McQuarrie, J., Rutherford, B., Baumler, R., Waltrip, D. (2009). Nitrification and AOB/NOB Populations in Integrated Fixed Film Activated Sludge: Measurements and Modelling. Proceedings Nutrient Removal 2009.

Kim, H.-s, et al. (2009). Effects of integrated fixed film activated sludge media on activated sludge settling in biological nutrient removal systems. Water Research (2009), doi:10.1016/j.watres. 2009.11.001

Maas, C.L.A., Parker, W.J., Legge, R.L. (2006). Oxygen uptake rate tests to evaluate integrated fixed film activated sludge processes. WEFTEC 2006.

Majed, N., Onnis-Hayden, A., Welander, T., Gu, A.Z. (2009). Decoupling and Optimization of Both P and N Removal in an Advanced IFAS-EBPR-MBR System. Proceedings Nutrient Removal 2009.

McQuarrie, J., Waltrip, D., Rutherford, R., Thomas, W., Bott, C., Baumler, R., Katehis, D. (2009). Full-Scale Design Challenges for the James River Treatment Plant IFAS Improvements Project: Using a Demonstration Scale Project to Optimize Final Design. Proceedings Nutrient Removal 2009.

Motsch, S., Fetherolf, D., Guhse, G., McGettigan, J., Wilson, T. (2007). MBBR and IFAS Pilot Program for Denitrification at Fairfax County's Noman Cole Pollution Control Plant. Proceedings Nutrient Removal 2007.

Müller, N (1998). Implementing biofilm carriers into activated sludge process — 15 years of experience. Water Science and Technology, Volume 37, Issue 9, 1998, Pages 167-174.

Onnis-Hayden, A., Majed, N., McMahon, K.D., Gu, A.Z. (2008). Phosphorus Removal and PAOs Populations at a Full-Scale Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS) Plant. WEFTEC 2008.

Pham, H., Viswanathan, S., Kelly, R.F. (2008). Evaluation of Plastic Carrier Media Impact on Oxygen Transfer Efficiency with Coarse and Fine Bubble Diffusers. WEFTEC 2008.

Philips, H.M., Maxwell, M., Johnson, T., Barnard, J., Rutt, K, Seda, J., Corning, B., Grebenc, J.M., Love, N., Ellis, S. (2008).Optimizing IFAS and MBBR Designs Using Full-Scale Data. WEFTEC 2008.

Randall, C.W., Sen, D. (1996). Full-scale evaluation of an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) process for enhanced nitrogen removal. Water Science and Technology, vol 33, no 12, pp 152-162, 1996.

Rutt, K., Seda, J., Johnson, C.H. (2006). Two years case study of integrated fixed film activated sludge (IFAS) at Broomfield CO WWTP. WEFTEC 2006.

Sen, D., Copithorn, R.R., Randall, C.W. (2006). Successful evaluation of ten IFAS and MBBR facilities by applying the unified model to quantify biofilm surface area requirements for nitrification, determine its accuracy in predicting effluent characteristics, and understand the contribution of media towards organics removal and nitrification. WEFTEC 2006.

Sen, D., Mitta, P., Randall, C.W. (1994). Performance of fixed film media integrated in activated sludge reactors to enhance nitrogen removal. Water Science and Technology, vol 30, no 11, pp 13-24, 1994.

Sen, D., Randall, C.W. (2007). Improving the Aquifas (Unified) Computational Model for Activated Sludge, IFAS and MBBR Systems by Embedding a Multi-Layer Biofilm Diffusion Model within a Multi-Cell Activated Sludge System. Proceedings Nutrient Removal 2007.

Sen, D., Randall, C.W., Brink, W., Farren, G., Pehrson, D., Flourney, W, Capithorn, R.R. (2007). Understanding the Importance of Aerobic Mixing, Biofilm Thickness Control and Modelling on the Success or Failure of IFAS Systems for Biological Nutrient Removal. Proceedings Nutrient Removal 2007.

S. Schlegel and H. Koeser. Wastewater treatment with submerged fixed bed biofilm reactor systems – design rules, operating experiences and ongoing developments. Water Science & Technology Vol 55 No 8–9 pp 83–89 Q IWA Publishing 2007

Sriwiriyarat, T. Pittayakool, K., Fongsatitkul, P., Chinwetkitvanich, S (2008). Stability and capacity enhancements of activated sludge process by IFAS technology. Journal of Environmental Science and Health Part A (2008) 43, 1318–1324.

Sriwiriyarat, T., Randall, C.W. (2007). The Performance of IFAS Media in Anoxic Zones of BNR Systems. Proceedings Nutrient Removal 2007.

STOWA 0R87-01 (1987). Ontwikkeling van een slib-op-dragersysteem voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater.

STOWA 0R92-07 (1992). Ontwikkeling van een slib-op-dragersysteem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater.

STOWA 0R92-07-1 (1992). Ontwikkeling van een slib-op-dragersysteem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater. Deel 1 Fase 1: Verkennend onderzoek in een drie-fasen airliftreactor: werkrapport.

STOWA 0R92-07-2 (1992). Ontwikkeling van een slib-op-dragersysteem voor de aërobe zuivering van stedelijk afvalwater. Deel 2. Fase 2: Onderzoek naar processtabiliteit en optimalisatie van het zuiveringsrendement.

STOWA 1987-02 (1987). Mogelijkheden van slib-op-dragersystemen voor de aërobe biologische zuivering van stedelijk afvalwater (literatuurstudie).

STOWA 2005-25 (2005). Slibketenstudie.

Stricker, A.E., Lishman, L., Barrie, A. (2008). Effects of Fluctuating Iron Dosage on Nitrification in Integrated Fixed Film and Conventional Activated Sludge Processes. WEFTEC 2008.

Thomas, W.A., Bott, C.B., Regmi, P., Schafran, G., McQuarrie, J., Rutherford, B., Baumler, R., Waltrip, D. (2009). Evaluation of Nitrification Kinetics for a 2.0 MGD IFAS Process Demonstration. Proceedings Nutrient Removal 2009.

Vetter, R.L., Pehrson, R., Hubell, S.B. (2006). IFAS media in a sequencing batch reactor for nitrification and denitrification of high strength wastewater. WEFTEC 2006.

Viswanathan, S., Pham, H., Kelly, R.F., Redmon, D.T., Fernandes, W. (2008). Evaluation of Oxygen Transfer Efficiency via Off-Gas Testing at full-scale Integrated Fixed film Activated Sludge Installation. WEFTEC 2008.

BIJLAGE 1

GEGEVENS LEVERANCIERS

GEGEVENS LEVERANCIERS DRAGERMATERIALEN

drager	drager type	bedrijf	website	Contact	Telefoon
BioWeb™	gefixeerd	Entex technologies	www.entexinc.com	400 Silver Cedar Court, Suite 260, Chapel Hill, NC 27514 info@entexinc.com	001 919.933.2770
	gefixeerd	Ringlace Products Inc	-	2018 Sw 24th St Troutdale, OR 97060-1224	(503) 618-0313 Of: 503/251-1295 (?)
Cleartec® BioTextil	gefixeerd	Cleartec Water Management GmbH	http://www.cleartec.de	Großvichtach 2 u. 4 D-96364 Marktrodach jankowski@cleartec.de	+49 (0) 9261 / 967-25/-26
AccuFAS	vaste tegenstroom PVC platen	Brentwood	http://www.brentwoodprocess.com	Brentwood Industries, Inc., P.O. Box 605, Reading, PA 19603-0605, USA bryan.rothermel@brentw.com	1.610.236.1133
Kaldnes	gesuspendeerd, plastic media	Anoxkaldnes AB (Veolia Water)	http://www.anoxkaldnes.com	info@anoxkaldnes.com	0046 46 - 18 21 50
Linpor®-N	gesuspendeerd, spons media	m^2t technologies	http://www.m2ttech.com	info@m^2ttech.com (literature, product info)	001 845.638.3939 001 410.216.9233
Meteor®	gesuspendeerd, plastic media	-	http://www.degremont-technologies.com	info-infilco@degtec.com	-
Captor	gesuspendeerd, spons media	-	-	-	-
BioPortz	gesuspendeerd, plastic media	Entex technologies	www.entexinc.com	400 Silver Cedar Court, Suite 260, Chapel Hill, NC 27514	001 919.933.2770
Agar®	gesuspendeerd, plastic media	Aqwise	http://www.aqwise.com	P.O. Box 12615 Herzliya 46733, Israel info@aqwise.com	+972-9-959-1901
Agar®	gesuspendeerd, plastic media	Siemens	http://www.water.siemens.com	information.water@siemens.com	1.866.926.8420 1.724.772.1402

BIJLAGE 2

FACTSHEETS IFAS SYSTEMEN

Kaldnes IFAS (HYBAS™) systems	47
Cleartec® Biotextil IFAS system	51
Linpor® IFAS systems	54
AccuFAS IFAS systems	57
AGAR® IFAS system	59

KALDNES IFAS (HYBAS™) SYSTEMS

Country	Norway	
Stage of development		Full-scale
Process -	Line	Water
	Function	BOD removal, denitrification, nitrification
	Input	Effluent from primary treatment
	Concept	Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS)

Keywords: decrease area demand; water line; COD removal; nitrogen removal

BACKGROUND

Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS) systems add fixed biofilm growth on carrier material to suspended growth of activated sludge. Using IFAS biological treatment an existing plant's capacity can be expanded and water quality can be improved without expanding the footprint. HYBAS™ is the AnoxKaldnes IFAS process. It was first implemented/realized first installation.

DESCRIPTION AND WORKING PRINCIPLE

HYBAS™ is a suspended carrier biofilm process. It combines the Moving Bed™ biofilm technology and the activated sludge process in one tank. Biomass grows within the plastic MBBR™ biofilm carriers (biocarrier) that are suspended and in continuous movement in the reactor. The activated sludge handles BOD removal and denitrification, whereas nitrification is mainly done by attached biomass. The attached nitrifying bacteria don't flush out (even not at temperatures below 6°C) resulting in a lower sludge age and more active activated sludge. Excess biofilm sloughs off the biocarrier in a natural way.

DESIGN GUIDELINES / TECHNICAL DATA

CARRIER ELEMENTS

The MBBR™ biofilm carriers (Figure 1) are wheel shaped with longitudinal fins at the outside. The biocarriers are designed to provide a large protected surface for the biofilm and optimal conditions for the bacteria culture. They are produced from High Density PolyEthylene (HDPE) and have a density of 0.95 kg/l. Biocarriers are supplied in a variety of dimensions and specific areas (Table 1). For IFAS systems mostly the K3 type is used; this biocarrier has a diameter of 25 mm, a length of 10 mm) and a protected area of 500 m2/m3. The wear out failure period is 20 years.

FIGURE 1 **MBBR™ BIOCARRIER [ANOXKALDNES 2010]**

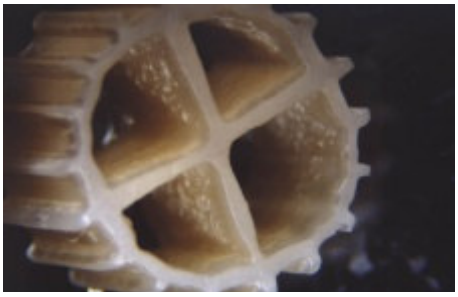


TABLE 1 **BIOCARRIER MODELS ANOXKALDNES**

Model	Length (mm)	Diameter (mm)	Protected surface (m^2/m^3)	Total surface (m^2/m^3)
K1	7	9	500	800
K3	12	25	500	600
Natrix C2	30	36	220	265
Natrix M2	50	64	200	230
Biofilm Chip M	2,2	48	1200	1400
Biofilm Chip P	3,0	45	900	990

PROCESS DESIGN

The carrier material is kept suspended by air from the diffuser. The density of the biocarriers is slightly lower than water, allowing easy movement in the reactor. The biocarriers are held in the aerated tank by means of perforated plates (usually 5x25 mm). The reactors are filled with 25 up to 67 % of their volume with biocarriers.

Existing WWTP of all tank volumes and dimensions can be upgraded, a long tiny tank is not recommended however. Tank depth is preferably at least 3 m; depths of 4-5 meter are favorable. A usual hydraulic headloss of several cm can be expected due to measures for creating necessary compartments and sieves.

It is possible to add the carriers while maintaining operation of the WWTP. It is more usual, however, to assemble a metal aeration grid for medium bubble aeration before adding the media. This aeration system is free of maintenance and can last 20 years. Due to contact with the carriers, the bubbles don't rise in a straight line; this compensates for the lower oxygen transfer compared to small bubble aeration systems. Besides, the required pressure is lower compared to membrane aeration systems. Another applied aeration system combines membrane aerators with equipment for temporary removal of the biocarriers. New systems combining mixing and aeration in one plunge device are being tested. These systems have a good mixing pattern and oxygen transfer, allowing minimization of aeration.

Dosing of external C-source depends on the process design and the required volume reduction. Since the sludge is more active, phosphorous removal in a HYBAS™ system is better compared to a system at low sludge load.

Compartments of the IFAS systems that don't contain biocarriers have the same oxygen transfer as activated sludge systems. In aerated compartments containing biocarriers oxygen transfer depends on the aeration system and can vary from 12-16 g O_2/Nm^3m or even up to 20 g O2/Nm3m when applying aerated domes (membranes). Due the lower suspended activated sludge concentration the lower oxygen transfer in IFAS compartments with biocarriers can still provide sufficient oxygen for endogenous respiration.

The compact IFAS system has a shorter hydraulic retention time compared to activated sludge systems. Exact volumes depend on the process design and requirements, but roughly following can be said about volumes for IFAS systems compared to AS systems:

- anaerobic tank volume IFAS is equal to standard AS systems
- anoxic tank volume is bigger than the fixed anoxic tank volume of an AS system, however an AS system has a big variable anoxic volume
- aerated volume is a certain percentage of the total volume; this can easily be expanded by adding more biocarriers

In principle IFAS systems can be used in systems like UCT, Carrousel, Pho-Redox and plug-flow. It has to be taken into account that flux should be limited in order to prevent accumulation of biocarriers in the end of the compartment. This makes long channels and circulation systems less suitable (compared to rectangular compartments) but not impossible.

PERFORMANCE

GENERAL PERFORMANCE

Which design parameters are used for upgrading a waste water treatment plant (WWTP) of 100.000 pe with the following specifics.

Design temperature (°C)	**As from 6 °C, some applications even 4 °C**
Biomass in g VSS/l (or g MLSS/l)	A thin biofilm is pursued in order to enhance diffusion rate. Exact biofilm thickness varies within the compartments. Biomass in g VSS/l also depends on amount of carriers in a compartment. About 9-12 g MLSS per m2 protected area.
Denitrification rate in (activated sludge) AS g NO_3/kg VSS.h. Denitrification rate in biofilm in g NO_3/m^2.d.	Most IFAS systems are designed for denitrification to take place in the AS. The denitrification rate depends on nature and concentration of BOD, and therefore on place in the process. Pre-denitrification is almost always applied in IFAS systems. Aim is to absorb as much BOD as possible to the activated sludge. Denitrification rate in the pre-denitrification varies from 2,5-3,0 gNO3-N/kg VSS.h at 15°C
Nitrification rate AS in g NH4-N/kg VSS.h. Nitrification rate biofilm in g NH4-N/m2.d	AS: dependant on the amount of bacteria shifting from suspended activated sludge into the biofilm and growth of nitrifying bacteria in AS. At a usual amount of 2-4% nitrifying bacteria the nitrification rate at 15°C is 1.2-1.8 g NH_4-N/kgSS.h Biofilm: dependant on process parameters like temperature, BOD load in the nitrification compartment, oxygen load, ammonium concentration etc. For a well designed system the nitrification rate in the biofilm at T=10°C is about 0.4-0.6 g NH_4-N/m^2.d.
Oxygen transfer in g/Nm^3.m. Oxygen concentration in mg/l.	Dissolved oxygen varies per compartment. In first nitrification compartment DO is about 2-4 mg O_2/l ; in post nitrification compartments DO is about 1 mg O_2/l.
Amount of carriers needed (in AN, DN, AT).	See above
Sludge load in kg BOD/kg MLSS.	0.1-0.2 kg BOD/kg SS depending on the AS content (determined during an upgrade depending on the settling tank).
Aerobic sludge age. Total sludge age.	Over 3 days. 8-12 days
C-source dosage in kg/kg NO_3-N (oxygen demand inclusive).	Determined by design and boundary conditions. C-source dosage in IFAS systems is only applied for post-denitrification. Rate depends on nature of C-source and presence of biocarriers. Usually about 3-4 kg COD/kg NO_3-N is dosed.
Sludge production in kg VSS/kg BOD removed.	0.9-1.15 kg SS/kg BOD The sludge has a higher calorie value compared to surplus sludge of a low load AS system. IFAS sludge results in more biogas. Due to lower sludge age IFAS sludge is very good to dewater.
Sludge Volume Index.	100-120 ml/g

Biofilm thickness is intrinsically determined by process design and can be actively controlled by sufficient turbulence. Interventions can take place via installed airlift, but this is not necessary for a well designed system.

PERFORMANCE AT SPECIFIC INSTALLATIONS

CAPITAL AND OPERATING COST

Information about costs of the carriers depends on volume and type, and is available on request.

OPERATIONAL STABILITY AND MAINTENANCE

Not prone to clogging

REFERENCE INSTALLATIONS

More than 400 plants based on Moving Bed™ technology are installed in 45 different countries. About 200 industrial reference installations and 90 municipal references are realized. One IFAS system is realized in the United States.

Some examples.

	Name of Plant/ Place	Year of completion	Flow (MGD)	Size (P.E.)	Reactor volume (ft^3)	Reactor volume (m^3)	Objectives
	USA						
1	Broomfield, Colorado	2002	8,00	73.500	165.851	4.697	HYBAS for nitrification
2	Merrimac WWTP, Wisconsin	2003	0,08	460	13.347	378	Pre-denitrification
3	South Adams County, CO	2003	5,50	25.000	163.803	4.639	Nitrogen removal
4	Johnstown WWTP, Colorado	2004	1,50	4.000	43.184	1.223	Post-nitrification. After existing Lagoons
5	Poipu WWTP, Poipu, Hawaii	2004	1,00	1.100	13.206	374	Replacement of AS. BOD-removal
6	Cheyenne - Crow Creek, Wyoming	2005	6,50	25.000	197.100	5.582	BOD removal & nitrification
7	Cheyenne - Dry Creek, Wyoming	2005	9,50	30.000	196.994	5.579	HYBAS for nitrification
8	Taos, NM WWTP	2005	0,20		9.004	255	HYBAS for nitrification
9	City of Manawa	2006	0,20		6.109	173	BOD removal ahead of AS
10	Yucaipa WWTP	2007	8,00		142.546	4.037	HYBAS for Nitrification and TIN of < 6 mg/L
11	James River WWTP, VA	2007	2,20		66.383	1.880	HYBAS for Nitrification and TIN < 10 mg/L
12	Greensboro WWTP, NC	2008	3,50		222.453	6.300	HYBAS for Nitrification
13	Flagstaff WWTP, AZ	2008	6,00		208.329	5.900	HYBAS for Nitrification and TIN of < 8 mg/L
14	Waikaloa WWTP, HI	2008	0,80		18.361	520	BOD removal & nitrification
15	Northport WWTP, MI	2008	0,13		11.970	339	Nitrogen removal
16	Fields Point WWTP, RI	2010	77,00		1.207.602	34.200	HYBAS for Nitrification and TIN of < 3 mg/L
17	Lubbock WWTP, TX	2010	18,00		745.747	21.120	HYBAS for nitrification and TIN of < 8 mg/L
18	Fairplay WWTP, CO	2008	0,30		14.040	398	HYBAS for nitrification and TIN of < 10 mg/L
19	Wisconsin Rapids, WI	2008	5,50		68.672	1.945	BAS for BOD removal ahead of activated sluge
20	Broomfield Phase 2, Colorado	2008	4,00		81.515	2.309	HYBAS for nitrification and TIN of < 8 mg/L

SUPPLIERS / PATENTS

The HYBAS™ system is supplied by Kaldnes Miljøteknologi AS.

LITERATURE REFERENCES

AnoxKaldnes (2010). Retrieved 20-April-2010 from http://www.anoxkaldnes.com

CLEARTEC® BIOTEXTIL IFAS SYSTEM

Country	Germany	
Stage of development		Full-scale
Process -	Line	Water
	Function	COD removal, nitrification
	Input	Effluent from primary treatment
	Concept	Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS)

Keywords: decrease area demand; water line; COD removal; nitrogen removal

BACKGROUND

Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS) systems add fixed biofilm growth on carrier material to suspended growth of activated sludge. Using IFAS biological treatment an existing plant's capacity can be expanded and water quality can be improved without expanding the footprint.

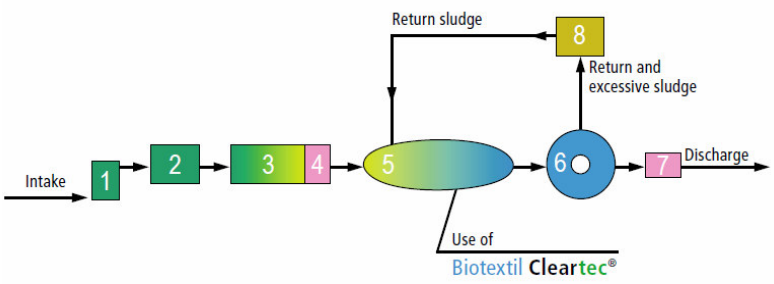
The first Cleartec installation was realized in 1994. About 20 installations are realized for municipal and industrial water treatment. In most cases existing plants were upgraded, leading to increased performance and nitrification. A few installations involved new treatment plants for highly loaded wastewater.

DESCRIPTION AND WORKING PRINCIPLE

Systems with Cleartec® Biotextil are fixed media biofilm systems. Cleartec® Biotextil is normally applied as a combined system (IFAS) in which both suspended biomass and biomass that is fixed on the biotextile (so called sessile biomass) contribute to the cleaning capacity. The activated sludge removes most of the BOD, whereas mainly nitrifying bacteria are developed in the biofilm.

Process configuration (Figure 2) is similar to a conventional activated sludge system. Cleartec® Biotextil media are added to the activated sludge basin. Due to the large surface area of the biotextile, additional biomass is added to the system without need for increasing the mixed liquor suspended solids (MLSS) concentration, reducing the return activated sludge (RAS) line. Excess biomass sloughs off the media and is removed via the RAS.

FIGURE 2 PROCESS CONFIGURATION [CLEARTEC 2010]



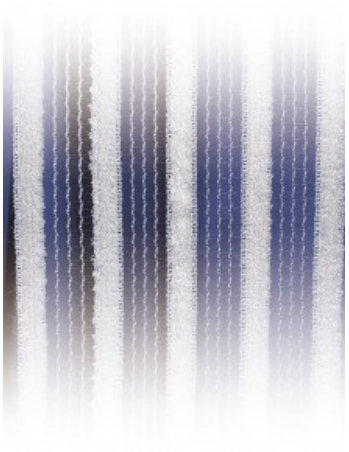
1 Intake pump station
2 Raking plan
3 Sand and grease trap
4 Intake metering
5 Activation basin for nitrification and denitrification
6 Final clarification basin
7 Discharge monitoring
8 Return and excessive sludge pump station

DESIGN GUIDELINES / TECHNICAL DATA

CARRIER ELEMENTS

Cleartec® Biotextil (Figure 3) is a fixed medium for on which attached growth of microorganisms can take place. Cleartec® Biotextile is normally produced in standard with of 96 cm with 16 parallel growth ribbons and in variable lengths. Specific surface area of 23 m^2/m^2. The biotextiles are applied in the biological area, mainly in aerated basins.

FIGURE 3 CLEARTEC CARRIER MATERIAL [CLEARTEC 2010]



PROCESS DESIGN

Which constructive or operational measures are necessary to bring in the carrier materials in an existing WWTP:

- Demands for minimal tank volume and shape.
  No
- Demands for minimal depth of tank(s).
  No, not different in comparison with conventional activated sludge design
- Loss in hydraulic scheme due to measures for creating necessary compartments and sieves in tanks to contain carriers.
  No.
- Can the carriers be added in the tank(s) while maintaining operation of the WWTP.
  No, because of constructions for installing the textiles
- Is dosing of C-source necessary.
  Depends of effluent requirements.
- Is IFAS compatible with biological phosphorus removal.
  Yes.
- Are adjustment necessary for the aeration systems (normally used for activated sludge), for example the aeration elements.
  No. Textiles should 0,5 m clear from aeration elements.
- Is more energy for mixing needed in comparison with only activated sludge in a tank.
  No, if textiles are only used in aerobic zones.
- Is more energy needed for propelling in comparison with only activated sludge in a tank.
  Depends on the configuration of the system.
- Energy uptake with IFAS for aeration in kg O2/kWh.
  Same as for activated sludge systems.
- Change in volumes/hydraulic detention times aerobic and anoxic zones.
  No.

Can IFAS be used in systems like: UCT, Carrousel, Pho-Redox and plug-flow. Or are there restrictions? In general, yes.

PERFORMANCE

GENERAL PERFORMANCE

Which design parameters are generally used for upgrading a waste water treatment plant (WWTP) of 100.000 pe with the following specific

Design temperature (°C)	8 to 20 degrees
Biomass in g VSS/l (or g MLSS/l)	3,5 g MLSS/l
Denitrification rate in (activated sludge) AS g NO_3/kg VSS.h. Denitrification rate in biofilm in g NO_3/m^2.d.	
Nitrification rate AS in g NH4-N/kg VSS.h. Nitrification rate biofilm in g NH4-N/m2.d	
Oxygen transfer in g/Nm^3.m.	18 or higher depending on aeration system
Oxygen concentration in mg/l.	2 mg/l
Amount of carriers needed (in AN, DN, AT).	
Sludge load in kg BOD/kg MLSS.	0,05 -0,06
Aerobic sludge age. Total sludge age.	Up to 12 days
C-source dosage in kg/kg NO_3-N (oxygen demand inclusive).	4.0 gram COD/ g NO3
Sludge production in kg VSS/kg BOD removed.	
Sludge Volume Index.	100

Capital and operating cost

Costs of the carriers: Euro per m^3 (not given)

OPERATIONAL STABILITY AND MAINTENANCE

The Cleartec® Biotextil process requires only limited sludge recirculation. Due to the flexible structure of the biotextile, the Cleartec® Biotextil process is generally not prone to clogging.

REFERENCE INSTALLATIONS

The first Cleartec installation was realized in 1994. Ten municipal reference installations were realized, with population equivalents varying from 6,000 to 55,000 PE and maximum flow varying from 1,600 to 66,500 m^3/d. Eight industrial reference installations were realized, with flow varying from 20 to 750 m^3/d. A mobile plant for on-site tests was realized in 1998 (up to 350 PE, max. 55 m^3/d).

SUPPLIERS / PATENTS

Sales partners: Ing.-Büro Böhnke, Aquaconsult Anlagebau GmbH, Roshard AG, Pureco Ltd., Eimco Water technologies, Pureco sro, Hydrok UK Ltd., Heitec Elektronik ve, Abucon BV Milieutechniek

Project partners: Energenecs Inc., Mc^2 Inc., Manifattura FIL.PA, DDA srl, Sewage consulting Spiering EOOD.

LITERATURE REFERENCES

Cleartec Water management (2010). Retrieved 12-April-2010 from http://www.cleartec.de

LINPOR® IFAS SYSTEMS

Country	USA	
Stage of development		Full-scale
Process -	Line	Water
	Function	COD removal, nitrification
	Input	Effluent from primary treatment
	Concept	Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS)

Keywords: decrease area demand; water line; COD removal; nitrogen removal

BACKGROUND

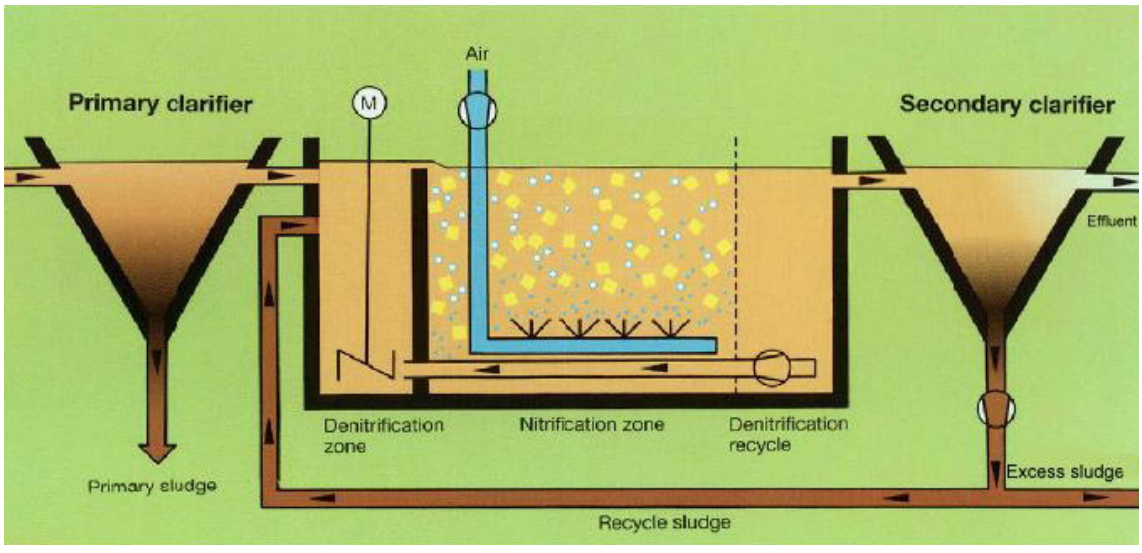
Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS) systems add fixed biofilm growth on carrier material to suspended growth of activated sludge. Using IFAS biological treatment an existing plant's capacity can be expanded and water quality can be improved without expanding the footprint. The LinPor™ process was developed in Europe by Linde AG.

DESCRIPTION AND WORKING PRINCIPLE

LinPor® is a fixed media biofilm process, where highly porous foam cubes serve as mobile carriers for the biomass. The aeration tank is typically filled with 10-30% foam. Specially designed effluent screens keep the foam media with its associated biomass in the aeration tank at total biomass concentrations of 10 to 20 grams per liter.

Three different LinPor™ systems can be used: LinPor™ C for COD removal, LinPor™ N for ammonia removal through nitrification, and LinPor™ CN for simultaneous COD and nitrogen removal. LinPor™ CN (Figure 4) and LinPor™ N are IFAS configurations, whereas LinPor™ C is an MBBR configuration. LinPor™ CN is especially attractive for upgrading municipal wastewater treatment. Nitrification/denitrification steps can be added without construction of any new tanks. LinPor™ C is mainly applied for industrial wastewater treatment, i.e. pulp and paper industry.

FIGURE 4 **LINPOR®-CN PROCESS CONFIGURATION [LOTEPRO ENVIRONMENTAL SYSTEMS AND SERVICES 2010]**



DESIGN GUIDELINES / TECHNICAL DATA

CARRIER ELEMENTS

The LinPor™ carriers (Figure 5) are highly porous cuboids made of polyurethane or polyethylene. The cuboids produced are 12 to 15 mm. The LinPor™ carriers have a specific surface area of 28 cm^2/cm^3 and a density of 0.95 kg/L. The LinPor™ cuboids are very open structures with 12-16 entrance pores per cm leading to an internal volume that is 97% open. Rounding of the sharp edges causes loss of media of 1% per year over the first view years of operation. Due to stabilization of this wearing, the expected service life of the LinPor™ media is still long: over 20 years.

FIGURE 5 LINPOR® CARRIERS



PROCESS DESIGN

At start-up, the carrier material is fed batch-wise into the operating aeration tank where it initially forms a floating layer. Pretreatment with fine screens, 8 mm, is required to remove material that would blind the media containment screens. The carrier media submerges as it is gradually wetted and accumulates biomass growth. Fine or coarse bubble diffusers are used for mixing and oxygen mass transfer. In the zone for nitrification and simultaneous denitrification, wash-out of the carrier media by the effluent flow is prevented by a screen. Accumulation of the carrier media is prevented by a specially designed screen made of perforated stainless steel plates. Average total (fixed and free) biomass concentrations are generally between 9000-12,000 mg/L. The upper limit is controlled by the attainable oxygen transfer capacity in the reactors and the solids flux capacity of the clarifiers. In LinPor™ CN systems biomass is sloughed off by means of jostling the media in a high level turbulence zone near the exit screens and with an impingement plate at the end of the air lift media recirculation lines. An air flow of up to 0.14 m3/min is required for 'bumping' and 0.06 m^3/min for normal scouring.

Due to the high sludge retention time nitrogen conversion to nitrate can take place at low temperatures in 50% of the volume required for systems without the carrier media. If phosphorus removal is required an additional anaerobic zone is established prior to the anoxic zone. Biomass is kept suspended by mixers in the anaerobic zone for phosphorus release, as well as in the anoxic zone for denitrification. No media are provided in those zones.

The LinPor Systems are economically competitive for both new facilities and the upgrading of existing facilities. The treatment capacities of activated sludge plants can be roughly doubled by conversion to a LinPor System. The system can be implemented with just a minimal site excavation. Wastewaters containing low quantities of carbonaceous pollutants can be nitrified without the need for clarifiers. Compliance with strict effluent requirements (e.g. NH4-N < 1mg/L) is possible and wash-out of nitrifiers is prevented. Moreover, bacteria that are specialized in degrading toxic compounds as well as compounds with little bio-availability can establish themselves.

PERFORMANCE

General performance

Effluent NH_4-N concentration of < 1 mg/l are reported, even 0.3 mg NH_4-N/l.

Performance at specific installations

No information available.

CAPITAL AND OPERATING COST

Information about costs of the carriers depends on volume and type, and is available on request. See See also refenrence Wallis (2006).

OPERATIONAL STABILITY AND MAINTENANCE

No information available.

REFERENCE INSTALLATIONS

From 1984 to 2009, 51 LinPor® plants have been installed on both municipal and industrial wastewaters. Installations were built in Japan, China, Korea, India, USA, and Europe (mainly Germany). Capacities are varying from 2000 to 460,000 PE. Systems for industrial wastewater treatment include chemical, pulp and paper, textile and coke oven wastes. Many of these installations result from conversions of conventional activated sludge plants. From 1987 to 2004 11 Linpor™ CN plants are installed in the IFAS configuration, at flows varying from 0.3 to 16.5 MGD.

SUPPLIERS / PATENTS

Mixing and Mass Transfer (m^2t) Technologies INC, Lotepro Environmental Systems and Services is the licensee from Linde AG of the LinPor® processes.

LITERATURE REFERENCES

Lotepro Environmental systems and services. Retrieved 29-July-2010 from
http://www.loteproesg.com

M2Ttech (2010) LinPor brochure. Retrieved 29-July-2010 from
http://www.m2ttech.com/linpor.html

Pennsylvania Department of environmental protection. Retrieved 29-July-2010 from
http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/watermgt/wsm/wsm_tao/InnovTech/ProjReviews/LinPor.htm

Warakomski (2005) “Process Modeling IFAS and MBBR Systems Using LinPor™” document presented at the Joint Use Conference in Albuquerque, New Mexico by Alphonse Warakomski Mixing and Mass Transfer Technologies, INC Lotepro Environmental Systems and Services.

Wallis (2006) “New technologies force change from traditional design bid build strategy” document presented at WEFTEC 2006 by Cindy Wallis-Lage, Terry Johnson, Brad Hemken, Baneeta Sabherwal, Black & Veatch.

Sen (2006) “Successful Evaluation of ten IFAS and MMBR facilities applying the unified model to quantify biofilm surface arearequirements for nitrification, determine its accuracy inprediciting effluent characteristics, and understand the contribution of media towards organics removal and nitrification” document presented at WEFTEC 2006 by Dipankar Sen, Rhodes R. Copithorn and Clifford W. Randall.

*Santa Clara Valley Water District

ACCUFAS IFAS SYSTEMS

Country	USA	
Stage of development		Full-scale
Process -	Line	Water
	Function	COD removal, nitrification
	Input	Effluent from primary treatment
	Concept	Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS)

Keywords: decrease area demand; water line; COD removal; nitrogen removal

BACKGROUND

Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS) systems add fixed biofilm growth on carrier material to suspended growth of activated sludge. Using IFAS biological treatment an existing plant's capacity can be expanded and water quality can be improved without expanding the footprint.

DESCRIPTION AND WORKING PRINCIPLE

Brentwood AccuFAS is a fixed media biofilm process. The fixed biomass is protected within the PVC sheet structure and available to treat the incoming organic load that accompanies hydraulic surges.. The biomass living on the AccuFAS media increases sludge age, promoting nitrification. During cold weather and where lower compliance limits are imposed, the added biomass improves the performance of nitrifying plants, or even allows non-nitrifying plants to nitrify. When added to existing activated sludge systems, the effective Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) inventory of the system is increased without increasing solids loading to the clarifier. Biomass growth is controlled by special media combination, aeration, and airlift pumping through the media.

DESIGN GUIDELINES / TECHNICAL DATA

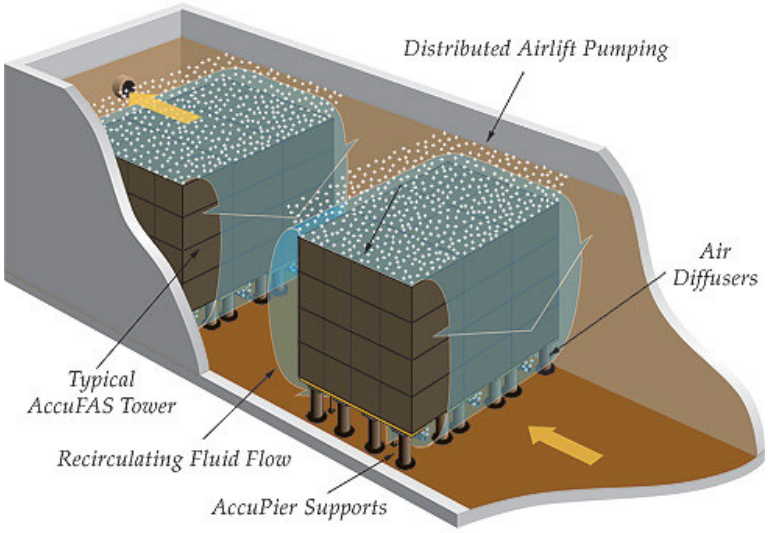
CARRIER ELEMENTS

Brentwood AccuFAS IFAS Media are modules of rigid crossflow PVC sheets (Figure 6). These 'building block' modules possess dimensions of 61x61x122 cm and a specific surface area is over 300 m2/m3. Wear out failure period is over 20 years. The structured crossflow PVC sheets of the AccuFAS module are designed to maximize fluid mixing performance and oxygen transfer through the biomass on the media walls. The lightweight modules can easily be installed and are typically stacked 4 high on a footprint of 12 modules (Figure 7).

FIGURE 6 **ACCUFAS MODULE**



FIGURE 7 ACCUFAS SYSTEM [BRENTWOOD 2010]



PROCESS DESIGN

AccuFAS plates can be installed in both rectangular and circular tanks with a minimum depth of 3 m. The loss in hydraulic schemes due to measures for creating necessary compartments and sieves in tanks to contain carriers is minimal. The carriers cannot be installed while maintaining operation of the WWTP. The need for external C-dosing depends on the available influent BOD and total N removal requirement. Brentwood AccuFAS is compatible with biological phosphorous removal. For the same treatment level AccuFAS system requires less energy for mixing, because aeration can be tapered along the length of the basin. No propelling is required. Aeration of AccuFAS modules using fine bubble diffusers gives the most effective oxygen transfer. These need to be placed only below the structured sheet media towers. The power demand for aeration depends on the design load and ammonia loads. Compared to the activated sludge system, there is hardly any change in volumes and hydraulic retention times of the aerobic and anoxic zones. Minimal, with a specific volume of approximately 0.03 ft3 per ft3 of media. ??Brentwood AccuFAS can be used in UCT, Carrousel, Pho-Redox, and plug-flow systems. This will require aeration grids (not surface aerator) for the Carrousel process.

PERFORMANCE

No information available.

CAPITAL AND OPERATING COST

No information available.

OPERATIONAL STABILITY AND MAINTENANCE

No information available.

REFERENCE INSTALLATIONS

No information available.

SUPPLIERS / PATENTS

No information available.

LITERATURE REFERENCES

Brentwood (2010). Retrieved 16-April-2010 from http://www.brentwoodprocess.com

AGAR® IFAS SYSTEM

Country	Israel	
Stage of development	Full-scale	
Process -	Line	Water
	Function	COD removal, nitrification
	Input	Effluent from primary treatment
	Concept	Integrated fixed-film / activated sludge (IFAS)

Keywords: decrease area demand; water line; COD removal; nitrogen removal

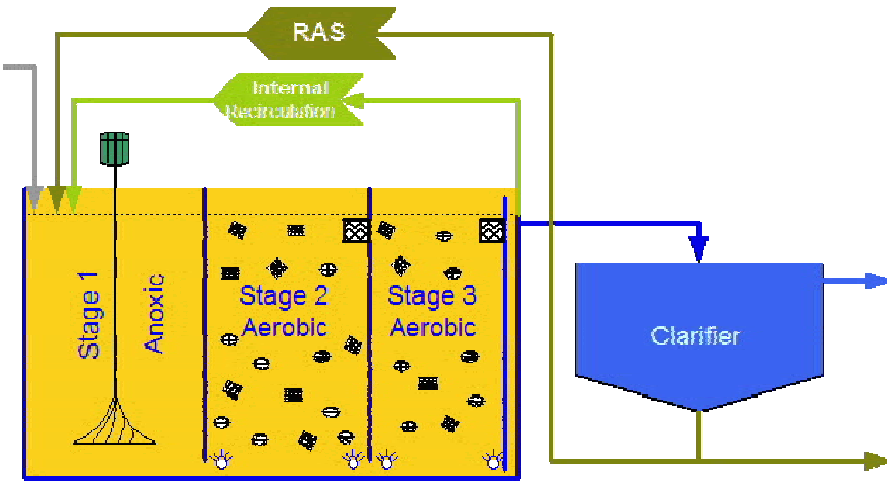
BACKGROUND

The AGAR® process (Attached Growth Airlift Reactor) is a fixed biofilm moving bed process that uses suspended biomass carriers with extended surface area for biofilm growth, along with carefully designed reactor hydraulics. The AGAR® process can fit in most activated sludge systems and can be implemented in a variety of configurations. The AGAR® IFAS (Integrated Fixed film / Activated Sludge) configuration combines biofilm growth on biomass carriers with suspended growth in the activated sludge. The AGAR® IFAS process can be used for upgrading existing plants to biological nutrient removal and increasing treatment capacity, without adding reactor volume.

DESCRIPTION AND WORKING PRINCIPLE

An AGAR® IFAS reactor (Figure 8) is divided into aerobic, anoxic and anaerobic volumes, similar to a conventional activated sludge system. The AGAR® IFAS biomass carriers are retained in the aerobic stages by screens located at the effluent end of the process stage. Competition between suspended biomass and fixed biomass leads to execution of completely different functions within the same volume: suspended biomass is mainly assimilating BOD, where fixed biomass is mainly performing nitrification. Nutrient removal can be precisely controlled by determining size, location and quantity of biomass carriers in each of the process stage using advanced modeling and in-depth process design tools. The quantity of carriers required to achieve the required effluent quality in each zone is calculated, and the final sizing of volumes and quantities of carriers are optimized. The required oxygen and resultant aeration requirements are calculated, and the sizing and layout of the aeration diffusers is planned.

FIGURE 8 AGAR® IFAS PROCESS CONFIGURATION



PROCESS ADVANTAGES

The AGAR® process utilizes three major advantages of introduction of free-floating biomass carriers into carefully defined zones within the aerobic treatment process:

1 Integration of carriers into a given reactor volume containing activated sludge (mixed liquor) increases the absolute amount of biomass in the reactor, simply by adding the biomass growing on the carriers to the suspended biomass floating on the mixed liquor. However, contrary to the addition of suspended biomass (in other words, increase in the Mixed Liquor Suspended Solids concentration), the addition of biological activity does not add significant solids loading to the clarifiers, thereby allowing the process to enjoy enhanced biological activity without the need for additional solids-separation capacity. In fact, operation of IFAS processes may allow a reduction of the MLSS concentration, and the resultant improvement in final clarifier performance.

2 Introduction of biomass carriers into designated zones within the aeration tank creates a biomass specialization which cannot occur in suspended biomass alone: The suspended biomass (the MLSS) travels continuously throughout the system, experiencing a very wide variety of process and metabolic conditions, from highly-loaded conditions at the head of the process to near-starvation at the end of the reactor, and with varying metabolic conditions, from anaerobic to anoxic to fully aerobic. As a result, the biomass is a non-specialized mixture of heterotrophs, autotrophs, denitrifiers, higher organisms, etc. On the other hand, the biomass developing on the carriers tends to be highly specialized, and therefore highly efficient: The carriers in any given zone will experience near-constant process and metabolic conditions, with fairly constant relationships between organic load (BOD) and nitrogenous load (TKN, ammonia and nitrate). The relative advantage of the suspended biomass (MLSS) in sequestering readily available BOD (due to the high mobility of the ML) creates a relatively BOD-poor and nitrogen-rich micro-environment in which the biomass carriers develop a highly efficient, highly concentrated population of nitrifiers.

3 An important result of this type of biological differentiation and specialization is the disassociation of the required sludge age (SRT) from nitrification requirements: While a conventional activated sludge process required to nitrify most maintain a certain minimal sludge age (which is temperature deppendnet), very often resulting in low F/M solids separation problems, the IFAS process allows the SRT of the suspended biomass (the activated sludge) to be much lower, as most of the nitrifiers will grow on the biomass carriers, and not in the liquid.

4 Specific advantages of the AqWise Biomass Carriers (ABC5). The Aqwise Biomass Carriers have several important advantages compared to other carriers available on the market. These carriers have the largest protected surface area (per unit volume) of all equivalent carriers, and as a result, requires the smallest volume of required carriers to achieve a given effluent quality. The shape has been optimized for a perfect mixing. Therefore the reactor filling ratio can be up to 70% of the reactor volume, if required. This means the same tank volume will be able to treat growing pollution loads, or conversely, produce higher quality effluent, through addition of carriers alone. The shape is made such that the carrier do not clog, do not stick one to another, and moves very easily in the water. Moreover, the “fully opened” shape allows the oxygen and substrates (BOD or NH4) to easily com into contact with the entire biomass and complete the full aerobic reactions, while avoiding anoxic or anaerobic conditions.

5 Mixing by “double roll” patterns: The mixing system of consecutive “double roll” patterns developed by Aqwise allows an optimized mixing of the carriers for a minimum quantity of air. The air is so injected that the maximum possible oxygen transfer is achieved through fine bubble air coming from EPDM membranes diffusers, while the carriers are homogenously

spread in the whole reactor. This is a major issue, because it involves savings in the energy consumed by the blowers. Moreover, the quality of mixing, guaranteed by Aqwise with this series of double-roll patterns, is very important to quickly sequester readily available BOD, and therefore a faster biological reaction due to high N/BOD rate, as explained previously. Finally, the relative location between the wedge wire screens and the fluid dynamic flows allows the auto-cleaning of the screens by carriers, the homogeneity of the carriers in the reactor, and the biofilm reminding fresh thanks to shocks between carriers.

WEDGEWIRE SCREENS

The aerobic zones containing the Biomass Carriers are separated from downstream zones by concrete walls equipped with cylindrical wedge-wire screens designed to retain the biomass carriers behind them, while allowing mixed-liquor to flow through them to the following process zones. Constant cleaning of the wedge-wire screens is achieved by the turbulent motion of the biomass carriers caused by the aeration system; the constant friction of the carriers against the screens removes accumulated biofouling on the screens, ensuring continuous free passage of the liquid through the scrThe wedge-wire screens are constructed according to the following specifications:

- Media retention screens are made of 304L or 316L stainless steel, schedule 10.
- All mounting brackets, screen supports, and basin drain screens are type 304L or 316L stainless steel.
- Assembly nuts and bolts are type 304L or 316L stainless steel.
- All gaskets are Neoprene, 45 to 55 type A durometer, tested in accordance with ASTM 52240.

FIGURE 2 WEDGE-WIRE SCREENS AFTER INSTALLATION



DESIGN GUIDELINES / TECHNICAL DATA

CARRIER ELEMENTS

The ‘Fully Open – Fully Protected’ Aqwise Biomass Carrier (Figure 3) is specially designed to protect the biofilm against abrasion and shear, without compromising the mass transfer efficiency. It is produced from virgin or reused High Density PolyEthylene (HDPE). The Aqwise Biomass Carriers (ABC) 5 are 12 mm in diameter, and 12 mm long, and have an active protected surface area of no less than 650 m2/m3 carriers. This value does not include the non-protected surface. This is measured by respiration test (see hereafter explanations). Indeed, the total surface area (around 1000 m2/m3) is not relevant, because only counts where the

biomass grows. The specific density is between 0.94 and 0.96. The size of an AGAR Biomass carrier (type ABC4) is 14 mm and has a protected surface area of 600 m2/m3. The density is between 0.94 and 1.01 g/cm3. Both carriers have an wear out failure period of 10 years.
Which measures can be taken to control de growth of biomass on the carrier? In most applications there is an optimum in thickness of the biofilm on the carriers. The main control method is control of D.O. in the aerobic zone. Other than this, biofilm thickness is self-regulating.

FIGURE 3 **AQWISE BIOMASS CARRIER**



PROCESS DESIGN

Which constructive or operational measures are necessary to bring in the carrier materials in an existing WWTP:

- Demands for minimal tank volume and shape.
  No requirement.
- Demands for minimal depth of tank(s).
  No requirement.
- Loss in hydraulic scheme due to measures for creating necessary compartments and sieves in tanks to contain carriers.
  3 cm headloss over wedge-wire screens.
- Can the carriers be added in the tank(s) while maintaining operation of the WWTP.
  Yes.
- Is dosing of C-source necessary.
  Depends on effluent N requirements.
- Is IFAS compatible with biological phosphorus removal.
  Yes.
- Are adjustment necessary for the aeration systems (normally used for activated sludge), for example the aeration elements.
  Yes. Diffused air required, double-roll aeration pattern required.
- Is more energy for mixing needed in comparison with only activated sludge in a tank.
  For anoxic zones, yes (15-20 w/m3).
- Is more energy needed for propelling in comparison with only activated sludge in a tank.
  No references.
- Energy uptake with IFAS for aeration in kg O2/kWh.
  Identical to activated sludge.
- Change in volumes/hydraulic detention times aerobic and anoxic zones.
  All required volumes are calculated by specific influent and effluent requirements.

CanIFASbeusedinsystemslike:UCT,Carrousel,Pho-Redoxandplug-flow.Orarethererestrictions?
IFAS can be introduced in UCT, plug flow, Phoredox. Carrousel will require change in hydraulics.

PERFORMANCE

GENERAL PERFORMANCE

Which design parameters are used for upgrading a waste water treatment plant (WWTP) of 100.000 pe with the following specifics.

Design temperature (°C)	8 to 20 degrees
Biomass in g VSS/l (or g MLSS/l)	Suspended (not biofilm) MLSS: 4.0 g/l
Denitrification rate in (activated sludge) AS g NO_3/kg VSS.h.	No denitrification on biofilm. Anoxic zone without carriers. AS denite rate: 32 g NO3/kg MLVSS/d
Denitrification rate in biofilm in g NO_3/m^2.d.	
Nitrification rate AS in g NH4-N/kg VSS.h.	
Nitrification rate biofilm in g NH4-N/m2.d	0.4 to 0.68 g NH4 /m2/d
Oxygen transfer in g/Nm^3.m.	Oxygen transfer: 18 g/Nm3/m
Oxygen concentration in mg/l.	DO: 3 mg/l in aerobic zones
Amount of carriers needed (in AN, DN, AT).	carriers in aerobic zones only, total 2,160 m3
Sludge load in kg BOD/kg MLSS.	0.076
Aerobic sludge age.	
Total sludge age.	SRT 15.7 days
C-source dosage in kg/kg NO_3-N (oxygen demand inclusive).	4.0 gram COD/ g NO3
Sludge production in kg VSS/kg BOD removed.	
Sludge Volume Index.	120 ml/g

CAPITAL AND OPERATING COST

Costs of the carriers: Euro per m^3. Not given.

OPERATIONAL STABILITY AND MAINTENANCE

REFERENCE INSTALLATIONS

Case studies with AGAR® systems were done in several countries using MBBR (moving bed biofilm reactor), IFAS, roughing filter systems, and FFAST (fixed film activated sludge treatment). For example three AGAR® IFAS systems are implemented for municipal plants in Mexico and Spain. The municipal WWTP in Monclova (Mexico) had a capacity of 58,300 m3/d. After installing AGAR® technology as a four stage IFAS, an increase of 50% in capacity was reached and nitrification capacity was improved. One case study in Spain involved a municipal plant with a capacity of 380 m3/d that was successfully upgraded to comply with EU discharge regulations. In the other case study a WWTP was doubled in capacity with no significant construction addition, and required TN quality was reached, while this was not the case for the conventional module. In the following table an overview is given on municipal plants all over the world.

Project Name	Location	Description	Flow [m^3/d]	Process Configuration	Effluent requirement
Monclova	Mexico	Upgrade of an existing plant	58,300	IFAS	Reuse in industry. Including Nitrogen removal
Loni*	India	New plant for treatment of municipal sewage	30,000	MBBR	Discharge to the environment
Hu Bei*	China	New plant for treatment of municipal sewage	25,000	MBBR	Discharge to the environment
Givat Brenner*	Israel	New plant for treatment of municipal sewage	9,000	IFAS	Reuse in agriculture Including Nitrogen removal
NDPL*	India	Polishing of effluent from an existing treatment plant	7,680	MBBR	Reuse in a power plant
Yavne	Israel	New plant for treatment of municipal sewage with a stream from an industrial zone	6,500	FFAST	Reuse in agriculture
Tiberias	Israel	Upgrade of an existing plant	6,500	Trickling Filter	Discharge to the environment
Meitzar*	Israel	New plant for treatment of municipal sewage	5,000	IFAS	Reuse in agriculture Including Nitrogen removal
Arlington*	USA	Upgrade of a lagoon system	2,270	MBBR	Ammonia removal before discharge to the environment
Folkston WWTP	USA	Upgrade of a lagoon system	1,900	MBBR	Ammonia removal before discharge to the environment

Project Name	Location	Description	Flow [m^3/d]	Process Configuration	Effluent requirement
Callao*	Peru	New plant for treatment of municipal sewage	1,200	MBBR	Discharge to the environment
Sevilla la Nueva	Spain	Upgrade of an existing plant	1,090	IFAS	Discharge to the environment. Including Nitrogen removal
SHELL	Singapore	Two new plants for sewage treatment in an industrial zone	2*300	MBBR	Discharge to the environment
Yad Mordechai*	Israel	New plant for treatment of municipal sewage in a remote location	600	IFAS	Reuse in agriculture Including Nitrogen removal
Carmei-Tzur	Israel	New plant to treat sewage of a remote location	400	IFAS	Reuse in agriculture
Marines	Spain	Upgrade of an existing plant	380	IFAS	Discharge to the environment including Nitrogen removal
Mora Heights	Trinidad	New plant for treatment of municipal sewage	340	MBBR	Discharge to the environment
Gomez Trace	Trinidad	New plant for treatment of municipal sewage	150	MBBR	Discharge to the environment
Willow Springs	USA	Upgrade of an existing plant	100	IFAS	Discharge to the environment

Municipal Applications Package plants

Project Name	Location	Description	Flow [m^3/d]	Process Configuration	Effluent requirement
Maldives hotel	Maldives	Compact unit to treat sewage of a remote location	150	MBBR	Discharge to the environment
Impel*	Mexico	Compact unit to treat sewage of remote locations in Guadalajara	170/260	IFAS	Discharge to the environment
Biocer*	Mexico	Compact unit to treat sewage of remote locations in Veracruz state	80/150	IFAS	Discharge to the environment
Neve Ilan	Israel	Compact unit to treat sewage of a remote location	50	IFAS	Reuse in agriculture
Timna Mines	Israel	Compact unit to treat sewage of a remote location	50	IFAS	Discharge to the environment
Maldives	Maldives	Compact unit to treat sewage of a remote location	100	MBBR	Discharge to the environment
Quality Hotel	El-Salvador	Upgrade of an existing plant	100	FFAST	Discharge to the environment
Warsaw Hospital	Poland	Upgrade of an existing plant in an ecologically sensitive area	100	IFAS	Discharge to the environment in a nature reserve
Cozumel hotel*	Mexico	Compact unit to treat sewage of a hotel in a remote location	100	IFAS	Reuse for gardening irrigation

SUPPLIERS / PATENTS

AgarR is US registered trademark of Aqwise-Wise Water Technologies Ltd
Aqwise – Wise water technologies Ldt.
P.O. Box 12615 Herzliya 46733, Israel

LITERATURE REFERENCES

www.aqwise.com

BIJLAGE 3

RWZI ONTWERP 100.000 I.E. (à 136 G TZV)

BOUW van de RWZI

LOCATIE	RWZI 100.000 i.e.
OPDRACHTGEVER	STOWA
CAPACITEIT	100.000 i.e. a 136 g TZV
PROJECTNR.	invullen
VERSIENUMMER	STOWA slib op drager 1
DATUM	25-03-10

WATERLIJN	Technologische berekeningen		
	Nieuwe straat	-	
Influent			
RWA	2.625	-	m3/h
Q24	18.320	-	m3/d
DWA debiet gemiddeld	12.000	-	m3/d
DWA debiet maximaal	750	-	m3/h
CZV	9.583	-	kg/d
BZV	3.499	-	kg/d
TKN	879	-	kg/d
Ptotaal	147	-	kg/d
DS	4.199	-	kg/d
Rejectiewater			
Q24	733		m3/d
	31		m3/h
CZV	383		kg/d
BZV	140		kg/d
NKj	88		kg/d
Nitraat	0		
Ptot	6		kg/d
DS	336		kg/d
Roostergoedverwijdering			
Type	Fijnrooster	-	-
Aantal	-	-	-
Benodigde totale capaciteit maximaal	2.625	-	m3/h
Zandvang			
Type	Jeta-zandvang	-	-
Benodigde totale capaciteit maximaal	2625	-	m3/d
Voorbezinking			
Aantal	1	-	-
Diameter	35	-	m
Kantdiepte	2	-	m
Chemicaliëndoseerunit	nee	nee	
Rendementen			
CZV	30%		
BZV	30%		
TKN	10%		
Nitraat	0%		
Ptotaal	8%		
DS	50%		
Selector			
Locatie van selector t.o.v. anaërobe tank	na	-	-
Verblijftijd	20		min
Volume	421	-	m3
Aantal compartimenten	4	-	-
Anaërobe tank			
Volume	1.622	-	m3
Verblijftijd	60		min
Aantal compartimenten	4	-	-
Actief slibreactor			
Slibgehalte biologisch	3,5		g ds/l
Slibgehalte totaal	4,0		g ds/l
Slibbelasting	0,048		

Ntotaal effluent	9,9		
Volume totaal benodigd	15.167	-	
Volume bestaand	-	-	
Totaal volume nieuw te realiseren	15.167	-	m3
Volume vaste anoxische ruimte	3.792	-	m3
Volume aërobe ruimte	11.375	-	m3
Waterdiepte	4	-	m
Chemicaliëndosering in AT			-
type chemicalie	FeCl3	-	-
Benodigde capaciteit doseeroplossing gem.	0,6	-	m3/d
Beluchting			
Type beluchting	fijne bellenbeluchting	-	-
Zuurstoftoevoervermogen			
minimaal	288	-	kg O2/h
gemiddeld	418	-	kg O2/h
maximaal	666	-	kg O2/h
Nabezinking			
Aantal	2	-	-
Diameter	43,6	-	m
Kantdiepte	2	-	m
Retourslibgemaal			
Totaal benodigde capaciteit			
gemiddeld (DWA)	541	-	m3/h
maximaal (RWA)	1.838	-	m3/h
SLIBLIJN	**Technologische berekeningen totaal**		
Primair slibgemaal			
Draaiuren		6	h/d
Samenstelling		0,8	% ds
Benodigde capaciteit gemiddeld		283	m3/d
Aantal pompen		-	-
Capaciteit per pomp		-	m3/h
Primair slibindikking			
type indikking		gravitaire indikking	
Bestaande oppervlakte		10	m2
Nieuw te realiseren oppervlakte		47	m2
Bestaande capaciteit		0	m3/d
Nieuw te installeren capaciteit		0	m3/d
Ingedikt primair slibgemaal			
Draaiuren		6	h/d
Samenstelling		5%	% ds
Benodigde capaciteit gemiddeld		45	m3/d
Aantal pompen		-	-
Capaciteit per pomp		-	m3/h
Surplusslibgemaal			
Onttrekkingspunt		uit retourslib	-
Draaiuren		12	h/d
Samenstelling		1%	% ds
Benodigde capaciteit maximaal		386	m3/d
Benodigde capaciteit gemiddeld		234	m3/d
Aantal pompen		-	-
Capaciteit per pomp		-	m3/h
Surplusslibindikking			
Type		mechanische indikking	-
Bestaande oppervlakte		0,0	m2
Nieuw te realiseren oppervlakte		0	m2
Bestaande capaciteit		1.920	m3/d
Nieuw te installeren capaciteit		-	m3/d
PE-dosering indikking			
PE-dosering		4,0	g/kg ds
		9	kg actief PE/d
Concentratie doseeroplossing		0,1	%

Draaiuren indikking		168	h/week
PE-oplossing dosering		9,4	m3/d
Ingedikt surplus slibgemaal			
Draaiuren		12	h/d
Samenstelling		6%	% ds
Benodigde capaciteit maximaal		39	m3/d
Aanral pompen		-	-
Capaciteit per pomp		-	m3/h
Gistingstank			
Aanvoer gemiddeld		84	m3/d
Samenstelling in		5,5	% ds
Samenstelling uit		3,8	% ds
Temperatuur		33,0	°C
Volume nieuw te realiseren		1.687	m3
Volume bestaand		0	m3
Gashouder			
verblijftijd		5	h
Biogasproduktie gemiddeld		1.298	Nm3/d
Nieuw te realiseren volume		170	m3
Bestaand volume		100	m3
Uitgegist slibbbuffer/indikker			
Capaciteit benodgid		84	m3/d
Samenstelling in		3,8	% ds
Aanvoergemaal ontwatering			
Samenstelling		3,8	% ds
Benodgide capaciteit maximaal			m3/d
Benodgide capaciteit gemiddeld		84	m3/d
Aantal pompen		-	-
Capaciteit per pomp		-	m3/h
Ontwatering			
Type		zeefbandpers	
Draaiuren		168	h/week
Bestaande capaciteit		10	m3/h
Nieuw te realiseren capaciteit	-	6	m3/d
Samenstelling in		4	% ds
Samenstelling uit		0	% ds
PE-dosering ontwatering			
PE-dosering		7	g/kg ds
		22	kg actief PE/d
Concentratie doseeroplossing		0	%
Draaiuren ontwatering		168	h/week
PE-oplossing dosering		1	m3/h
Slibopslag			
Benodigde opslagcapaciteit		5	d
Volume bestaand		1.000	m3
Nieuw te realiseren volume		-	m3
VERBRUIKEN			
beluchtingsenergie gemiddeld		916	Mwh/a
chemicaliën	FeCl3 (40%-ige opl.)	319	ton produkt/a
	FeSO4.7H2O (vast)	0	ton produkt/a
	AlCl3	0	ton produkt/a
	actief PE	13,2	ton/a
opbrengst biogas		473.654	Nm3/a
slibverwerking		14.244	ton nat/a

BIJLAGE 4

ONTWERPEN KALDNES EN CLEARTEC/BIOTEXTIL

ROSSMARK

Systeemontwerp RWZI 100.000 i.e. 10.1563-D001

Procesontwerp Hybas™-systeem

Client	STOWA
Location	NL
Client Order No.	--
Rossmark Project No.	10.1563

Rev	Date	Description	Prep'd	Chk'd	App'd
0	16-04-2010	First issue	DS	JV	EK
1	08-07-2010	Second issue	DS	JV	EK

VEOLIA WATER

Revision	Date	Author	Description	Remarks
0	16-04-2010	Sisselaar	First issue	Systeemontwerp
1	08-07-2010	Sisselaar	Herziene uitgave n.a.v. gewijzigde vraagspecificatie	Systeemontwerp Hybas™

Copyright © 2009, Rossmark Waterbehandeling B.V., P.O. Box 250, 6710 BG EDE, The Netherlands.
Except for or under law constituted exclusions no part from this document may be reproduced and/or published in any way, nor being stored, without prior written consent of Rossmark Waterbehandeling B.V., The Netherlands."

ROSSMARK

TABLE OF CONTENTS

1 INTRODUCTIE 4
1.1 Inleiding 4

2 ALGEMENE BESCHRIJVING MBBR PRINCIPE 5
2.1 Kaldnes MBBR-proces 5
2.2 Hybas™ Hybride MBBR proces 6

3 PROCESDATA 7
3.1 Opgaven procesdata 7

4 NIEUW ONTWERP OF OMBOUW VAN BESTAANDE ZUIVERINGEN 8
4.1 Belangrijke aspecten voor ombouw 8
4.2 Inpasbaarheid Hybas™ op bestaande systemen 8

5 PROCESONTWERP 10
5.1 Actiefslib installatie 10
5.2 Procesbeschrijving Hybas™ proces 12
5.2.1 Compartimenten voor BZV en N-verwijdering 12
5.3 Gehanteerde ontwerp,- en procesparameters 14
5.4 Toelichting op ontwerp en procesparameters 16

6 BUDGETINDICATIE 17
6.1 Leveringsomvang 17
6.1.1 Referenties Hybas-installaties 19

1 INTRODUCTIE

1.1 Inleiding

Grontmij voert in opdracht van STOWA een studie uit naar slib-op-drager systemen en de toepasbaarheid voor rwzi's om betere effluentkwaliteit te bereiken of als uitbreiding van de bestaande capaciteit.
In dit kader heeft Grontmij aan Rossmark een procesontwerp met kostenindicatie gevraagd voor een biofilmsysteem voor een communale zuivering van 100.000 i.e.. Het procesontwerp is gebaseerd op biologische N & P verwijdering bij een ontwerp temperatuur van 8ºC. De gehanteerde effluentkwaliteit voor N en P bedraagt respectievelijk 10 mg N/l als jaarlijks gemiddelde en 1 mg P/l als 10 daags voortschrijdende gemiddelde

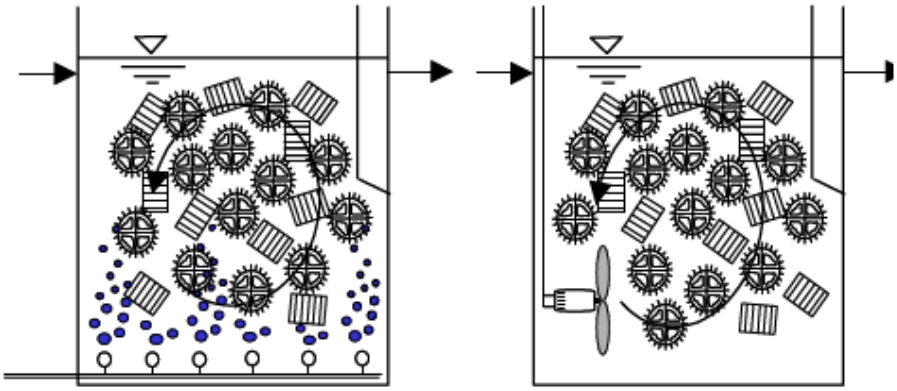
Onderstaand document beschrijft het procesontwerp op basis van maatvoerende parameters, kentallen en bijzondere kenmerken en aspecten. Het procesontwerp van het biofilmsysteem wordt vergeleken met een actiefslib systeem waarvoor Grontmij de kentallen heeft toegeleverd.

2 ALGEMENE BESCHRIJVING MBBR PRINCIPE

2.1 Kaldnes MBBR-proces

De AnoxKaldnes™ Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) is gebaseerd op de biofilm technologie waarbij de actieve biomassa op zwevend dragermateriaal groeit. Het dragermateriaal met een dichtheid van 0,96 kg/l heeft een zeer groot afgeschermd specifiek oppervlak waardoor de aangehechte biomassa beschermd is tegen mechanische afschuifkrachten.
De dragers worden in beweging gebracht door bellenbeluchting (aëratietanks) of door mixers (anoxische tanks). Beweging van de dragers is noodzakelijk voor het diffusieproces. De beweging zorgt voor de toevoer van zuurstof en voedingsstoffen naar de biofilm en de afvoer van restproducten. De dragers worden door zeven in de daartoe bestemde procescompartimenten gehouden. Het dragermateriaal beweegt vrij door het hele tankvolume.

In hoog belaste compartimenten groeien voornamelijk heterotrofe micro-organismen op de biofilmdragers. In laag belaste compartimenten hechten de langzaam groeiende autotrofen micro-organismen zich aan de biofilmdragers.
Door de toepassing van dragermateriaal kent de pure MBBR toepassingen geen retourslib. Alleen het surplusslib dat ontstaat door het “ruien” van de biofilm moet worden afgescheiden.



a) Aerobe reactor *b) Anoxische reactor*

Figuur 1.2.1 *Schematische weergave van het MBBR principe*

Een specifiek en belangrijk kenmerk van de biofilm technologie is de handhaving van gespecialiseerde biofilms in de verschillende procescompartimenten waardoor nitrificerende bacteriën zeer goed in het systeem kunnen worden gehandhaafd. Het biofilmproces is bij uitstek geschikt voor nitrificatie bij lage temperaturen.

De totale hoeveelheid biomassa op de dragers is in een MBBR proces ongeveer gelijk aan een actief slibproces, te weten 3-4 g/l. De activiteit van de biomassa in een MBBR is echter hoger dan in een actief slib systeem waardoor de specifieke omzettingssnelheden in een MBBR hoger zijn.

Over het algemeen biedt een MBBR systeem de volgende voordelen:
- compact;
- geen retourslibvoorzieningen nodig;
- hoge volumebelasting;
- robuust, zowel bij lagere temperaturen als bij piekbelastingen;
- flexibel en bestand tegen sterke variatie in hydraulische belasting en slibbelasting;
- eenvoudige bedrijfsvoering, lage onderhoudskosten;
- enting aan medium van langzaam groeiende geadapteerde bacteriën;

2.2 Hybas™ Hybride MBBR proces

In een Hybas™ proces wordt MBBR gecombineerd met een actiefslib systeem, biofilmdragers worden toegevoegd aan een actiefslibinstallatie (bestaand of nieuw te realiseren). De heterotrofe activiteit (denitrificatie, fosfaataccumulatie en BZV-verwijdering) vindt voornamelijk plaats in het gesuspendeerd slib. In het gesuspendeerde slib treedt tevens nitrificatie op door enting van nitrificeerders vanuit de biofilm (de enting is gelijk aan de aangroei). De meeste nitrificatie vindt echter plaats in de nitrificerende biofilm op de dragers. Het Hybas™ systeem is door de combinatie van gesuspendeerd slib en biofilmsysteem uniek voor vergaande biologische nutriënten verwijdering.

Bij een Hybas™ proces circuleert het actief slib door het proces via de retourslibrecirculatie vanuit de nabezinktank. De biofilmdragers, in het Hybas™-concept toegepast in bepaalde tankcompartimenten, worden met zeven in de respectievelijke tanks teruggehouden.

Het Hybas™ principe biedt extra voordelen ten opzichte van een conventioneel actiefslibsysteem. Door ontkoppeling van de slibleeftijd van het gesuspendeerd slib en het biofilmslib wordt het beste van beide processen gecombineerd, te weten goede nitrificatie (biofilm) en hoge activiteit van het jonge gesuspendeerde slib. Onderstaand volgt een opsomming van kenmerken en voordelen:

- Hoge nitrificatie activiteit en snelle reactiesnelheid, bij ammonium pieken (via beluchting te regelen);
- Goede bescherming van nitrificerende micro-organismen in de biofilm;
- Hoge activiteit van het gesuspendeerde slib vanwege de korte(re) slibleeftijd (juveniel slib);
- Mogelijkheid handhaven hoge biomassaconcentraties door de combinatie van gesuspendeerd slib en biofilmslib zonder overbelasten van de nabezinktank;
- Handhaven van nitrificerende biomassa bij verhoogde hydraulische belasting (RWA) doordat de biofilmdragers in het systeem blijven;
- Goede nitrificatie bij lage temperaturen;
- Eenvoudige regelingen/procesvoering;
- Robuust en geen tot weinig draadvormers;
- Bewezen technologie;
- Eenvoudige uitbreiding mogelijk van belasting en capaciteit door toevoegen extra dragermateriaal.

3 PROCESDATA

In deze paragraaf staan de procesgegevens vermeldt die door Grontmij zijn verstrekt als maatgevende waarden voor het procesontwerp. Grontmij vraagt een biofilm procesontwerp op basis van het effluent van de voorbezinktank (samenstelling en debiet). Het procesontwerp dient geen anaerobe compartimenten en geen selector te bevatten. Grontmij stelt dat dit noodzakelijk is om het biofilmproces 1:1 te kunnen vergelijken met het actiefslib proces zoals dat in Nederland wordt toegepast. Verder wordt verzocht om geen C-bron toe te passen.

3.1 Opgaven procesdata

Tabel 3.1 vermeldt de door Grontmij verstrekte procesgegevens voor virtuele actiefslib installatie. Het betreft de jaar gemiddelde samenstelling van het binnenkomende afvalwater.

Tabel 3.1

Parameter	Eenheid	Waarde
Q24 DWA gemiddeld RWA	m^3/d m^3/d m^3/h	18.320 12.000 2.625
CZV tot	kg/d	6.976
BZV_5 tot	kg/d	2.547
Kj-N	kg/d	870
P-totaal	kg/d	141
SS	kg/d	2.267
Ontwerp temperatuur	°C	8

Tabel 3.2 vermeldt de door Grontmij verstrekte effluenteisen

Tabel 3.2

Parameter	Eenheid	Waarde
Tot-N, effluent nabezinktank (jaargemiddeld)	mg/l	<10
Tot-P, effluent nabezinktank (voortschrijdend gemiddelde 10 monsters)	mg/l	<1

Tabel 3.3 vermeldt de door Grontmij verstrekte aanvullende informatie

Tabel 3.3

Parameter	Eenheid	Waarde
Max slibgehalte gesuspendeerd slib (AS + SS)	g/l	4

4 NIEUW ONTWERP OF OMBOUW VAN BESTAANDE ZUIVERINGEN

In dit document wordt een Hybas™-ontwerp gepresenteerd voor een nieuwe zuivering op basis van de verstrekte procesdata. Het betreft een nieuwbouw situatie voor een zuivering van 100.000 i.e. met slibgisting, e.e.a. conform de vraagstelling van de Grontmij, lees ook procesdata paragraaf 3.

Vaak staat men echter voor de keuze om een zuivering te vervangen of om deze met behoud van zoveel mogelijk bestaande voorzieningen uit te breiden. Door toevoegen van biofilmdragers aan bestaande zuiveringen die niet aan de lozingseisen voldoen kunnen deze veelal eenvoudig en zeer effectief worden aangepast. Vaak is het mogelijk om in bestaande tanks de aanpassingen aan te brengen die noodzakelijk zijn om het proces om te vormen tot een Hybas™ proces. Op die manier kan met hergebruik van bestaande structuren en vaak zonder grondverwerving de zuivering worden uitgebreid.

Onderstaand wordt kort ingegaan op de ombouw van een bestaande zuiveringen tot een Hybas™ system.

4.1 Belangrijke aspecten voor ombouw

Om te kunnen beoordelen of ombouw van een bestaande zuiveringssysteem naar een Hybas ™ proces een goede en realiseerbare keuze is moeten de navolgende aspecten positief kunnen worden beoordeeld:

1) Kan een Hybas™ proces met zekerheid voldoen aan de gestelde effluenteisen?
2) Past een Hybas™-systeem in het huidige beschikbare tankvolume en zijn de tanks geschikt qua diepte en qua vorm?
3) Is er voldoende hydraulisch profiel beschikbaar (te maken) voor de compartimentering en de benodigde zeven?
4) Kan de ombouw tijdens bedrijf plaatsvinden eventueel op basis van gewijzigde procesvoering?
5) Zijn de investeringskosten voor het Hybas™ proces lager dan de besparingen op bouwkosten en/of grondverwerving?
6) Worden eventuele hogere operationele kosten gecompenseerd door: verbeterde zuiveringscapaciteit, lagere kosten voor onderhoud en bediening, overige kostenbesparingen?
7) Staat de duurzaamheid van het systeem in gunstige verhouding tot andere systemen?

4.2 Inpasbaarheid Hybas™ op bestaande systemen

Onderstaand worden de bovengenoemde aspecten ten aanzien van bestaande systemen in het kort beantwoord/becommentarieerd

Ad1)
Het Hybas™-procesontwerp wordt altijd gebaseerd op de gestelde effluenteisen. Daarbij wordt standaard uitgegaan van biologische N & P verwijdering. Voor NH4-N wordt veelal uitgegaan van 1-0,5 mg/l in het effluent.

Ad2)
Vaak blijkt dat het het Hybas™ proces in de bestaande biologische tanks van de rwzi is in te passen en dat er geen aanvullende nabezinktank capaciteit nodig is.

Ad3)

Vanwege het toepassen van zeven voor het terughouden van de biofilmdragers in de Hybas-tanks is een iets groter hydraulisch verval nodig, circa 10 cm extra. Meestal is dit extra hydraulisch verval beschikbaar.

Ad4)
Als tijdens de ombouwwerkzaamheden de zuivering in bedrijf moet blijven of indien de bestaande tank niet kan worden drooggezet wordt eventueel het benodigde beluchtingsysteem op een frame gemonteerd en afgezonken.

Ad5)
Het vergelijken van investeringskosten tussen systemen op basis van besparing op bouwvolume wordt mede bepaald door scope van het vergelijk zoals bijvoorbeeld locatiespecifieke aspecten:

- Wel/geen terrein beschikbaar voor uitbreiding, kosten en tijd voor grondverwerving
- Gesteldheid van de grond: wel/niet heien, wel/geen vervuilde grond, bereikbaarheid, etc
- Snelheid van realisatie

Ad6)
Het vergelijken van operationele kosten moet in perspectief worden gezien met de verschillende voor,- en nadelen van alternatieve systemen/oplossingen. Het Hybas ™ proces kenmerkt zich door een aantal zeer gunstige procesaspecten zoals:

- zeer goede N&P verwijdering
- lage endogene ademhaling
- weinig draadvormers
- goed afbreekbaar slib (hoge biogasproductie)
- goed ontwaterbaar slib (door structuur materiaal)
- robuust proces

Ad7)
De duurzaamheid van systemen wordt mede bepaald door de gehanteerde systeemgrenzen, beoordelingsaspecten en wegingsfactoren.

- De compactheid van het systeem maakt hergebruik van bestaande betonstructuren mogelijk, voorkomt mogelijk het noodzakelijk uitbreiden van nabezinkcapaciteit en voorkomt eventuele kosten voor grondverwerving.
- Vergaande biologische N&P-verwijdering, vanaf lage temperaturen is een belangrijk milieuwinst
- Biofilmdragers zijn duurzaam en herbruikbaar, hetzelfde geld voor de toegepaste zeven en beluchtingsystemen (rvs).

5 PROCESONTWERP

5.1 Actiefslib installatie

Het Hybas™ proces wordt vergeleken met een referentie systeem zijnde een conventioneel actiefslib systeem met slibgisting.
Beide systemen zijn ontworpen op basis van de in tabel 3.1 gespecificeerde afvalwaterhoeveelheid en -samenstelling en de in tabel 3.2 gegeven effluenteisen. Het actiefslib systeem is ontworpen door Grontmij. Onderstaand is het ontwerp van het actiefslibproces kort weergegeven.

Waterlijn:

Roostergoedverwijdering:
- Fijnroosters 3 mm
- Capaciteit max 2.625 m3/h

Zandvang
- Jetta zandvang
- Capaciteit max 2.625 m3/h

Voorbezinktank:
- Aantal 1 stuks
- Diameter /kantdiepte 35 m / 2m
- Rendement 30% CZV; 30% BZV; 10% TKN; 8% P; en 50% SS

Selector
- Volume 421 m3
- Verblijftijd 20 min
- Aantal compartimenten 4 stuks

Anaerobe tank
- Volume 1.622 m3
- Verblijftijd 60 min
- Aantal compartimenten 4 stuks

Actiefslib reactor
- Actiefslib biologisch slib gehalte 3.5 g/l
- Totaal slibgehalte 4.0 g/l
- Slibbelasting 0.048
- N_{tot} effluent 9.9 mg/l
- Vaste anoxische ruimte 3.792 m3
- Beluchte ruimte 11.375 m3
- Totaal systeemvolume: 15.167 m3
- Chemicaliën dosering AT 0.6 m3/d FeCl3
- Gemiddeld O2-toevoervermogen 418 kgO2/h

Nabezinktank:
- Aantal 2 stuks
- Diameter / kantdiepte 43.6 m / 2 m
- Retourslibgemaal max 1.838 m3/h

Sliblijn:

Primair slibgemaal
- Slib ds-gehalte 0.8%
- Capaciteit gemiddeld 283 m3/d

Primair slibindikking:
- Gravitatieindikker 47 m2
- Ds-gehalte ingedikt primair slib 5% ds

Ingedikt primairslib gemaal
- Slib ds-gehalte 5 %
- Capaciteit gemiddeld 45 m3/d

Surplusslib slibgemaal
- Ontrekkingspunt Retourslibleiding
- Slib ds-gehalte 1.0%
- Capaciteit gemiddeld 234 m3/d

Surplusslib indikking:
- mechanisch indikker Bandindikker
- Ds-gehalte ingedikt surplusslib 6% ds.
- PE-dosering 4 g actPE/kg ds

Ingedikt surplusslib gemaal
- Slib ds-gehalte 6 %
- Capaciteit gemiddeld 39 m3/d

Slibgisting installatie:
- Aanvoer volume 84 m3/d
- Ds-concentratie toevoer 5.0 %ds
- DS-concentratie afvoer 3.8 % ds
- Temperatuur 33 ºC
- Tankvolume 1.687 m3
- HRT 20 d

Gashouder
- Buffercapaciteit 5 h
- Biogasproductie gemiddeld 1.298 Nm3/d

Uitgegist slibbuffer/indikker
- Capaciteit 84 m3/d
- Slib ds-gehalte 3.8%

Uitgegistslib gemaal

Zeefbandpers:
- Capaciteit 10 m3/h
- Ds-gehalte ontwaterd slib 20-22 %ds ??
- PE-dosering 7 g actPE/kg ds
- Rejectwaterafvoer Naar inlaatwerk
-

5.2 Procesbeschrijving Hybas ™ proces

Zoals genoemd in paragraaf 3 vraagt Grontmij een ontwerp voor een biofilmproces (Hybas™) op basis van de samenstelling en het debiet van de afloop van de voorbezinktank. Het ontwerp van het biofilmproces dient niet te voorzien in de anaerobe compartimenten en de selector. Grontmij voegt deze procesonderdelen later aan het ontwerp toe. Deze werkwijze is volgens Grontmij noodzakelijk om het biofilmproces 1:1 te kunnen vergelijken met het actiefslib proces zoals dat in Nederland wordt toegepast. Tevens wordt verzocht om het ontwerp zodanig te dimensioneren dat geen C-bron behoeft te worden toegepast.

Het Hybas™ ontwerp heeft, conform het verzoek van Grontmij alleen betrekking op de compartimenten voor BZV en N verwijdering. Daarmee zijn alle overigen procesonderdelen van zowel de waterlijn als de sliblijn identiek aan het actiefslib systeem dat als basisvariant wordt gehanteerd.

Door deze benadering (werkwijze) wordt voorbijgegaan aan een aantal specifieke aspecten die kenmerkend zijn voor het Hybas™ systeem van AnoxKaldnes, zoals het effect van de jonge slibleeftijd van het gesuspendeerde slib in het Hybas™-systeem.

- Een hogere slibbelasting, kortere slibleeftijd, geeft een betere denitrificatie capaciteit en een betere Bio-P capaciteit. De hogere Bio-P capaciteit heeft een positief effect op de processtabiliteit (dus rendement) en eventueel zelfs een positief effect op het benodigde bouwvolume (investeringskosten).
- Het Hybas™ slib is energierijker en levert daarmee meer biogas dan het spuislib van een laag belast actiefslib systeem. Een hoger zuurstofvraag als gevolg van diffusieprocessen in het biofilmsystemen worden geheel of gedeeltelijk gecompenseerd door deze extra biogasopbrengst.

Door de gehanteerde vergelijkingsmethodiek komen bovenstaande (en andere) aspecten niet in het systeemvergelijk tot uiting. Dit wordt als een tekortkoming in het vergelijk aangemerkt.

Onderstaand volgt een toelichting op het Hybas™ procesontwerp voor de compartimenten voor CZV- en N-verwijdering.

5.2.1 Compartimenten voor BZV en N-verwijdering

Het Hybas™ systeem voor deze studie bestaat uit:

- een voordenitrificatie (Pre-DN) voor maximale biologische N-verwijdering zonder C-bron dosering
- een belucht compartiment (BOD compartiment) voor het (voldoende ver) verlagen van het nog aanwezige BZV
- een nitrificatie compartiment (Hybas™) met gesuspendeerd slib en biofilmslib
- een nabeluchting (De-Ox compartiment) met alleen gesuspendeerd slib voor het verlagen van het zuurstofgehalte na het Hybas™ compartiment.

5.2.1.1 Voordenitrificatie

De voordenitrificatie (VDN) ruimte wordt als een gecompartimenteerde propstroomreactor bedreven. De voordenitrificatieruimte wordt (alleen) doorstroomt door gesuspendeerd actiefslib. De compartimenten worden net als in een standaard actiefslib systeem voorzien van voorstuwers. Nitraatrijk slib (alleen gesuspendeerd slib) wordt vanuit het De-Ox compartiment met een rest O2-gehalte van circa 1-1,5 mg/l naar de VDN gerecirculeerd. De recirculatieverhouding bedraagt in dit ontwerp circa 3.7- 3,8 Q.
In de VDN is de omzettingssnelheid van nitraat hoog door de relatief jonge slibleeftijd van het gesuspendeerde slib en door de hoeveelheid aangevoerd BZV5.

- Totaal VDN volume 6.059 m3
- Aantal compartimenten 4 st
- Waterdiepte 6 m

5.2.1.2 *BZV-verwijdering*

Na de voordenitrificatie doorstroomt het afvalwater door het BOD-compartiment voor verdere verlaging van het BZV-gehalte, zodanig dat optimale groei van nitrificeerders op de biofilmdragers in het HybasTM compartiment kan plaatsvinden. Dit compartiment voorafgaand aan het eigenlijke Hybas™ compartiment is als een standaard beluchtingscompartiment van een actiefslibsysteem uitgerust met een fijn bellen beluchtingsysteem (plaatbeluchters of vergelijkbaar).

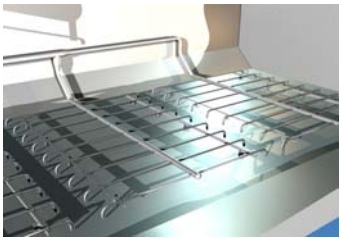
- Totaal volume BOD compartiment 757 m3
- Aantal compartimenten 1 st
- Beluchting BOD compartiment Fijn bellen beluchting
- Waterdiepte 6 m

5.2.1.3 *Hybas™ en De-Ox*

Vanuit het BOD-compartiment stroomt het water naar 2 achter elkaar geschakelde beluchtingtanks, respectievelijk het Hybas™ compartiment met biofilmdragers in het gesuspendeerd actiefslib en het De-Ox compartiment met alleen gesuspendeerd actiefslib.

In de Hybas™ reactor stroomt het actiefslib door vrij bewegende biofilmdragers. Omdat de Hybas™ tank (gedeeltelijk) wordt gevuld met dragermateriaal wordt het beluchtingsysteem van deze tank vaak uitgevoerd in de vorm van een rvs-buizensysteem met medium bellenbeluchting (4 mm opening). Dit beluchtsysteem is robuust en behoeft geen onderhoud en voorkomt de noodzaak om periodiek de beluchting te moeten inspecteren waarbij eventueel de biofilmdragers tijdelijk moeten worden verwijderd of tijdelijk moeten worden verplaatst (opslaan in ander tankcompartiment). De beluchting zorgt er tevens voor dat de biofilmdragers in beweging worden gebracht/gehouden.

Figuur 5.1 Voorbeeld beluchtingsysteem





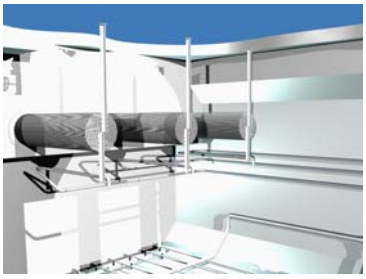
De zuurstofoverdracht van medium bellenbeluchting wordt verbeterd doordat de opstijgende luchtbellen veelvuldig botsen met de turbulent wervelende biofilmdragers. Door botsen splitsen de medium bellen in kleinere bellen. Bovendien wordt door het pakket dragermateriaal de stijgsnelheid van de bellen vertraagd. De biofilmdragers worden in de betreffende tank gehouden door zeven die qua opening zijn aangepast aan het type drager materiaal. In het Hybas™ compartiment wordt een verhoogd DO gehanteerd voor het behalen van de gewenste ammonificatiesnelheid.

- Volume Hybas™ reactor 2.200 m3
- Gehalte gesuspendeerd actiefslib 4 g/l
- Waterdiepte 6 m
- Beluchting Hybas™ compartiment Medium bellen beluchting
- Biofilmdragers 1.325 m3 K3
- Vullinggraad 60%
- Nominaal DO-gehalte 5 mg/l

De medium bellen beluchting in het Hybas™ compartiment kan eventueel worden gecombineerd met fijn bellen beluchting. Indien robuuste beluchtingelementen op frames worden bevestigd dan kunnen deze middels een kraan met evenaar door de biofilmdragers heen naar boven getrokken worden voor inspectie en onderhoud. Voor robuuste fijn bellenbeluchting wordt een O2-overdracht gehanteerd van 18 g O2/Nm3*m. In dit ontwerp is uitgegaan van alleen medium bellen beluchting.

Vanuit het Hybas™ compartiment stroomt het actiefslib mengsel via pijpzeven naar het De-Ox compartiment.

Figuur 5.2 Voorbeeld bevestiging Pijpzeven





Dit compartiment is een standaard actiefslib compartiment zonder biofilmdragers. De beluchting in dit compartiment wordt gestuurd op een uitgaand NH4-N gehalte van circa 1 mg/l. De overmaat opgelost zuurstof vanuit het Hybas™ compartiment wordt in dit compartiment verbruikt (De-Oxygenation compartment). Aanvullend benodigde zuurstof wordt toegevoerd door een fijn bellen beluchtingsysteem (beluchtingplaten of domes). Vanuit het De-Ox compartiment wordt nitraatrijk water naar het VDN reactor gerecirculeerd.

- Volume De-OX ruimte 984 m3
- Gehalte gesuspendeerd actiefslib 4 g/l
- Waterdiepte 6 m
- Beluchting De-Ox compartiment fijn bellen beluchting
- Nominaal DO-gehalte 1 mg/l

In nominale situatie is voor het Hybas™ systeem totaal 406 kg O2/h benodigd. Uitgaande van een piekfactor van 1,6 zoals gehanteerd in het referentiesysteem bedraagt de maximale O2-vraag 649 kg O2/h. De nominale benodigde luchthoeveelheid bedraagt

- Nominale O2-vraag 406 kg O2/h
- Nominale luchtvraag 5.016 Nm3/h
- Nominale surplusslib productie 2.520 kg ds/d

5.3 Gehanteerde ontwerp,- en procesparameters

In onderstaande tabel staat een samenvatting van de in de ontwerpberekeningen gehanteerde proceswaarden voor het Hybas™ systeem

Tabel 5.1

Parameter	Eenheid	Waarde
DWA	m3/d	18.320
RWA	m3/h	2.625
Slib-gehalte AS	g/l	4
Os-gehalte AS	%	75
Waterdiepte tank	m	6
Ontwerptemperatuur	°C	8
Voordenitrificatie		
Tankvolume	m3	6.059
rDN at 8°C	g NO3-N/kg VSS/h	1.39
Denitrificatie actueel	kg NO3-N/d	564
BZV5 degrad NO3-N	kg/d	1.618
BZV5 degrad O2	kg/d	156
Recircul. Hybas2-VDN	%DWA	3,7-3,8 Q
BOD compartiment		
Tankvolume	m3	757
Slibbelasting	kg BOD/kg VSS.d	0.34
Nitrificatie in MLSS	kg N/kg VSS/h	1,14
Nitrificatie in MLSS	kg/d	62
Beluchting		
Volume Hybas™ reactor	m3	2.200
Volume dragers type K3	m3	1.325
Beschermd opp	m2	662.663
DO Hybas reactor	mg/l	5,0
Alfa factor		0.8
Medium bellenbeluchting	g O2/Nm3*m	12
rN AS @ 8°C	g NH4-N/kg VSS/h	1.14
rN Biofilm @ 8°C	g NH4-N/m2/d	0,56
Tot nitrificatie capaciteit	kg N/d	540
Piekfactor	f	1.6
Luchttoevoer cap. @ f=1	Nm3/h	5.016
Volume De-Ox reactor	m3	984
Alfa factor		0.8
Fijn bellenbeluchting	g O2/Nm3*m	18
DO De-Ox-reactor	mg/l	1.5
rN AS @ 8°C	g NH4-N/kg VSS/h	1,14
Nitrificatie capaciteit	kg N/d	80,5
Piekfactor	f	1.6
Luchttoevoer cap. @ f=1	Nm3/h	0
Algemeen		
Ntot effluent	mg/l	10
NH4-N effluent	mg/l	1
Norg effluent	mg/l	1
N-inert-op	mg/l	0,5

Parameter	Eenheid	Waarde
Slibbelasting	kg BZV/kg VSS/d	0,08
Slibproductie	kg TSS/d	2.520
Aerobe slibleeftijd	d	6,26
Totale slibleeftijd	d	15,8

5.4 Toelichting op ontwerp en procesparameters

De gekozen ontwerp,- en procesparameters zijn gebaseerd op fullscale installaties, pilotinstallaties en laboratorium testopstellingen. Daarmee zijn de onzekerheden van het procesontwerp klein.

6 BUDGETINDICATIE

Onderstaande budgetindicatie voor implementatie van het Hybas™ proces heeft alleen betrekking op onderstaand vermelde leveringen en diensten. De exacte kosten voor het Hybas™ proces worden bepaald op basis van een Definitief Ontwerp. De budgetindicatie is dan ook alleen bedoeld voor het vergelijk van de systeemvarianten.

6.1 Leveringsomvang

Engineering
- Procesberekeningen
- Dimensioneren van de mediazeven
- Dimensioneren van het beluchtingsysteem
- Leveren van Lay-out tekeningen

Biofilmdragers
Levering van 1.325 m3 biofilmdragers type K3 HDPE op locatie aangeleverd op vrachtwagen in big-bags van 2 m3

Beluchtingsysteem
Medium bellen beluchtingsysteem eenvoudig op de bodem te monteren en onderhoudsvrij.
Het aangeboden systeem bestaat in hoofdzaak uit:
- Meerdere buisvormige medium bellen beluchtingsecties gemonteerd op de bodem van de tank (elke sectie voorzien van een afsluiter voor nauwkeurig afstellen van egale beluchting).
- Verzamelleiding waarop alle secties worden aangesloten
- Specificaties
  - Max capaciteit : (f= 1,6) 8.026 Nm3/h bij 6 meter water diepte
  - Nom capaciteit : (f= 1,0) 5.016 Nm3/h bij 6 meter water diepte
  - Materiaal : 304L
  - Leveringsgrens : Tot en met verzamelleiding bovenop tankdek
  - Overigen : Leveren, testen, inregelen
Blowers etc. levering derden

Uitlaatzeven
Uitlaatzeven voor het terughouden van de biofilmdragers in het Hybas™ compartiment
- Specificaties
  - Materiaal : 304L
  - Type : Pijpzeven AnoxKaldnes
  - Capaciteit : 2.625 m3/h
  - Opmerking : De pijpzeven worden voorzien van beluchtingleiding om ophoping van biofilmdragers rondom de zeven te voorkomen

Inspectie en keuring
Inspectie en keuring van all gemonteerde leveringsdelen ten behoeve van het verstrekken van de kwaliteitsgaranties. De inspectie vindt plaats nadat alle leveringsdelen zijn gemonteerd en voordat de installatie met water wordt gevuld. De inspectie resulteert in een geschreven rapport/goedkeuring waarin staat vermeld dat alle onderdelen correct zijn gemonteerd en afgewerkt.

Documentatie
Bedieningshandleiding waarin het Hybas™ proces geheel compleet met principes en beheersmaatregelen wordt beschreven.

Opstart begeleiding en training

- Opstart begeleiding en in bedrijfstellen
- Training en opleiding

Garanties

Garanties te verdelen over procesgaranties en productgaranties

- Procesgaranties kunnen in overleg worden afgegeven. Hierbij moet overeenstemming bestaan over de procesdata (debiet en samenstelling van het afvalwater) en de te realiseren uitvoeringsvorm van de zuivering
- Garanties op de geleverde producten bedragen standaard 24 maanden na ingebruikname doch maximaal 36 maanden na levering. Overige garanties inzake levensduur worden alleen in nader overleg bepaald nadat duidelijkheid bestaat over het uiteindelijke ontwerp en bedieningswijze.

Budgetindicatie

Uit concurrentie overwegingen wordt geen prijs opgegeven voor boven beschreven Hybas™ systeem. De volgende benadering wordt voorgesteld: Uitgaande van gelijke operationele kosten mogen, in geval van complete nieuwbouw de meerkosten voor het Hybas™ proces ten minste gelijk zijn aan de besparingen aan bouwvolume of, in geval van een bestaande zuivering ten minste gelijk zijn aan de kosten voor een conventionele uitbreiding. Opgemerkt wordt dat naast de besparingen op bouwvolume ook grote besparingen aan bouwvolume gerelateerde kosten wordt behaald, zoals bijvoorbeeld besparing op noodzakelijke vrije ruimte rondom objecten, etc. Daarmee wordt gesteld dat de investeringsbesparing voor een biofilmsysteem locatiespecifiek is en dat deze besparing veelal groter is dan de te realiseren kostenbesparing via bouwvolumereductie.

6.1.1 Referenties Hybas-installaties

END OF THIS DOCUMENT

Calculation of Cleartec Projects

Project name	STOWA - interm./Bio-P
Date	05.07.2010
Feasibility	**YES !**

Raw data

1. Concentrations/load (inlet biology or effluent primary clarifier)

COD:	[mg/l]	381	[kg/d]	6979,92
BOD:	[mg/l]	139	[kg/d]	2546,48
SS:	[mg/l]	124	[kg/d]	2271,68
TKN:	[mg/l]	48	[kg/d]	879,36
P:	[mg/l]	8	[kg/d]	146,56

2. Hydraulic load

Q_{max}:	[m³/h]	2625	for dimensioning of secondary settler
Q_{DW}:	[m³/d]	18320	for calculation of loads

3. Design temperature

Minimum (biology):	[°C]	8	for nitrification
Maximum (O_2-Transfer):	[°C]	25	for dimensioning of aeration equipment

4. Existing structures

Volume of activation tank:	[m³]	6800	total volume of all tanks
Depth of activation tank:	[m]	4	depth of all tanks
Surface of secondary clarifier:	[m²]	2986	total surface of all tanks
Depth of secondary clarifier:	[m]	2,83	2/3-depth of the tanks, resp. effective depth
Scraper coefficient for sec. clarifier:	[-]	0,7	standard value: 0,7
Return slduge ratio:	[-]	0,75	standard for rough analysis: 0,75
Thickening time:	[h]	2	preset: 2h ; maximum 2,5h for denitrification

5. Target

Carbon elimination:		yes	yes / no
Nitrification:		yes	yes / no
Denitrification:		interm.	intermitting / upstream / none
P elimination:		Bio-P	without / with Bio-P, Fe-precipitation or Al-precipitation (assumption: P-effluent = 1 mg/l)
NO_3-N (outlet as consent):	[mg/l]	8	allowed discharge value
Sludge volume index:	[l/kgMLSS]	90	Cleartec value 100 - 120

5. Possible Cleartec configuration

Length of the textiles	[m]	3,2	Note: Maximum 80 % of tank depth	
Density of textiles	[pcs/m]	17	equates to: 5,8824	cm distance usual: 14-19 pcs
Width of cages (rows of textile)	[rows]	3	(one textile row equates to approx. 1 m)	
Length of cages (length of rows)	[m]	3		
Biomass equivalent	[g/m²]	40	standard = 40	
Specific surface	[m²/m]	23	standard-Cleartec Biotextil = 23	
Activity	[%]	66%	empirical factor/ standard = 66%	
Effective sludge amount	[kgFS/cage]	297		
Maximum occupancy of surface	[%]	75%	part of tank's footprint that can be covered with cages	

6. Plausibility of input

COD:BOD ratio:	[F PL1]	Please check! Significantly high COD:BOD
BOD:SS ratio:	[F PL2]	Normal range
BOD:N ratio:	[F PL3]	Not applicable for denitrifying plants
Deni-potential:	[F PL4]	Good ratio
Depth of activation tank:	[F PL5]	Normal depth
Depth of secondary clarifier:	[F PL6]	Normal depth for secondary clarifier
Retention time activation tank:	[F PL7]	Normal retention time
Temperature:	[F PL8]	Design temperature very low
Target:	[F PL9]	With nitrification and intermitting denitrification

7. Process calculation

Project: STOWA - interm./Bio-P 05.07.2010

7.1 Secondary clarifier

Achievable MLSS content in activation tank:	**3,51**	kg/m³		
Return sludge - MLSS:	**8,19**	kg/m³		
Sludge volume load:	277,71	l/m²/h		
Surface overflow rate:	0,88	m³/m²/h		

Zones / Heights

Clean water	0,50	m
Separation	1,12	m
Density flow/storage	0,44	m
Thickening/sludge removal	0,77	m
Total height	**2,83**	m

7.2 Activation tank

7.2.1 Safety factor for nitrification

Recommended:	2,0
Chosen:	recommended

7.2.1 Sludge age

Required aerobic sludge age:	13,51	days
Denitrification potential:	0,22	[kgN/kgBOD]
Required anoxic part of sludge:	50%	
Total sludge age:	27,0	days

7.2.2 Sludge masses

Specific from BOD elimination:	0,84	kg TS/kgBOD
Surplus sludge from C elimination:	2145	kg TS/d
Surplus sludge from P precipitation:	287	kg TS/d
Total surplus sludge:	2432	kg TS/d
Required sludge mass:	65683	kg
Required deni sludge mass:	32842	kg
Possible suspended sludge mass:	23868	kg
Sessile sludge mass (deficit):	41815	kg
Sludge load:	0,039	kgBOD/kgTS

7.2.4 Oxygen uptake

Peak factor f_C	1,10			
Peak factor Fn	1,50			
$OU_{d,C}$:	3085	kgO_2/d	8	°C
$OU_{d,C}$:	3453	kgO_2/d	25	°C
$OU_{d,N}$:	3076	kgO_2/d		
$OU_{d,D}$:	-1650	kgO_2/d		
OU_h [C;Tmin]:	194	kgO_2/h	8	°C
OU_h [N;Tmin]:	252	kgO_2/h	8	°C
OU_h [C;Tmax]:	211	kgO_2/h	25	°C
OU_h [N;Tmax]:	267	kgO_2/h	25	°C
OU_h [Design]:	**267**	kgO_2/h		

7.2.3 Concept for cages

Required amount of cages.	**141**	pcs
Number of textiles:	**21.573**	pcs
Linear meters:	69.034	m
Total volume of activation tank:	6.800	m^3
Volume of upstream denitrification tank:	0	m^3
Anoxic upstream part of the activation tank:	0,00%	
Volume for Cleartec installation:	6800	m^3
Existing surface (for cage installation):	1700	m^2
Required surface (cages):	1269	m^2
Part of surface used for cages:	75%	
Feasibility:	**YES !**	
Cycle time:	1,81	h
Recirculation rate for upstream denitrification:		$Q_{RC}/Q_{h,DW}$

7.2.5 Alkalinity consumption

Nitrification:	3,22	mmol/l
Denitrification:	-2,17	mmol/l
P precipitation:	0,00	mmol/l
Remaining alkal.:	1,50	mmol/l

Required alkalinity in the inflow:

	2,55	mmol/l

Important note: This calculation is based on specifications of the DWA rule ATV-A131. Cleartec Water Management doesn't accept any liability for the correctness of the design assumptions and no liability for the correctness of the results. Especially no process liablity can be given on base of this calculation.

Calculation of Cleartec Projects

Project name	STOWA - interm./Fe-prec
Date	05.07.2010
Feasibility	**YES !**

Raw data

1. Concentrations/load (inlet biology or effluent primary clarifier)

COD:	[mg/l]	381	[kg/d]	6979,92
BOD:	[mg/l]	139	[kg/d]	2546,48
SS:	[mg/l]	124	[kg/d]	2271,68
TKN:	[mg/l]	48	[kg/d]	879,36
P:	[mg/l]	8	[kg/d]	146,56

2. Hydraulic load

Q_{max}:	[m³/h]	2625	for dimensioning of secondary settler
Q_{DW}:	[m³/d]	18320	for calculation of loads

3. Design temperature

Minimum (biology):	[°C]	8	for nitrification
Maximum (O_2-Transfer):	[°C]	25	for dimensioning of aeration equipment

4. Existing structures

Volume of activation tank:	[m³]	8300	total volume of all tanks
Depth of activation tank:	[m]	4	depth of all tanks
Surface of secondary clarifier:	[m²]	2986	total surface of all tanks
Depth of secondary clarifier:	[m]	2,83	2/3-depth of the tanks, resp. effective depth
Scraper coefficient for sec. clarifier:	[-]	0,7	standard value: 0,7
Return sludge ratio:	[-]	0,75	standard for rough analysis: 0,75
Thickening time:	[h]	2	preset: 2h ; maximum 2,5h for denitrification

5. Target

Carbon elimination:		yes	yes / no
Nitrification:		yes	yes / no
Denitrification:		interm.	intermitting / upstream / none
P elimination:		Fe precip.	without / with Bio-P, Fe-precipitation or Al-precipitation (assumption: P-effluent = 1 mg/l)
NO_3-N (outlet as consent):	[mg/l]	8	allowed discharge value
Sludge volume index:	[l/kgMLSS]	90	Cleartec value 100 - 120

5. Possible Cleartec configuration

Length of the textiles	[m]	3,2	Note: Maximum 80 % of tank depth
Density of textiles	[pcs/m]	17	equates to: 5,8824 cm distance usual: 14-19 pcs
Width of cages (rows of textile)	[rows]	3	(one textile row equates to approx. 1 m)
Length of cages (length of rows)	[m]	3	
Biomass equivalent	[g/m²]	40	standard = 40
Specific surface	[m²/m]	23	standard-Cleartec Biotextil = 23
Activity	[%]	66%	empirical factor/ standard = 66%
Effective sludge amount	[kgFS/cage]	297	
Maximum occupancy of surface	[%]	75%	part of tank's footprint that can be covered with cages

6. Plausibility of input

COD:BOD ratio:	[F PL1]	Please check! Significantly high COD:BOD
BOD:SS ratio:	[F PL2]	Normal range
BOD:N ratio:	[F PL3]	Not applicable for denitrifying plants
Deni-potential:	[F PL4]	Good ratio
Depth of activation tank:	[F PL5]	Normal depth
Depth of secondary clarifier:	[F PL6]	Normal depth for secondary clarifier
Retention time activation tank:	[F PL7]	Normal retention time
Temperature:	[F PL8]	Design temperature very low
Target:	[F PL9]	With nitrification and intermitting denitrification

7. Process calculation

Project: STOWA - interm./Fe-prec 05.07.2010

7.1 Secondary clarifier

Achievable MLSS content in activation tank:	**3,51**	kg/m³	**Zones / Heights**		
Return sludge - MLSS:	**8,19**	kg/m³	Clean water	0,50	m
			Separation	1,12	m
			Density flow/storage	0,44	m
Sludge volume load:	277,71	l/m²/h	Thickening/sludge removal	0,77	m
Surface overflow rate:	0,88	m³/m²/h	Total height	**2,83**	m

7.2 Activation tank

7.2.1 Safety factor for nitrification

Recommended:	2,0	
Chosen:	recommended	

7.2.1 Sludge age

Required aerobic sludge age:	13,51	days
Denitrification potential:	0,22	[kgN/kgBOD]
Required anoxic part of sludge:	50%	
Total sludge age:	27,0	days

7.2.2 Sludge masses

Specific from BOD elimination:	0,84	kg TS/kgBOD
Surplus sludge from C elimination:	2145	kg TS/d
Surplus sludge from P precipitation:	817	kg TS/d
Total surplus sludge:	2962	kg TS/d
Required sludge mass:	80013	kg
Required deni sludge mass:	40007	kg
Possible suspended sludge mass:	29133	kg
Sessile sludge mass (deficit):	50880	kg
Sludge load:	0,032	kgBOD/kgTS

7.2.4 Oxygen uptake

Peak factor f_C	1,10		
Peak factor Fn	1,50		
$OU_{d,C}$:	3085	kgO_2/d	8 °C
$OU_{d,C}$:	3453	kgO_2/d	25 °C
$OU_{d,N}$:	3076	kgO_2/d	
$OU_{d,D}$:	-1650	kgO_2/d	
OU_h [C;Tmin]:	194	kgO_2/h	8 °C
OU_h [N;Tmin]:	252	kgO_2/h	8 °C
OU_h [C;Tmax]:	211	kgO_2/h	25 °C
OU_h [N;Tmax]:	267	kgO_2/h	25 °C
OU_h [Design]:	**267**	kgO_2/h	

7.2.3 Concept for cages

Required amount of cages.	**172**	pcs
Number of textiles:	**26.316**	pcs
Linear meters:	84.211	m
Total volume of activation tank:	8.300	m^3
Volume of upstream denitrification tank:	0	m^3
Anoxic upstream part of the activation tank:	0,00%	
Volume for Cleartec installation:	8300	m^3
Existing surface (for cage installation):	2075	m^2
Required surface (cages):	1548	m^2
Part of surface used for cages:	75%	
Feasibility:	**YES !**	
Cycle time:	2,21	h
Recirculation rate for upstream denitrification:		$Q_{RC}/Q_{h,DW}$

7.2.5 Alkalinity consumption

Nitrification:	3,22	mmol/l
Denitrification:	-2,17	mmol/l
P precipitation:	1,06	mmol/l
Remaining alkal.:	1,50	mmol/l

Required alkalinity in the inflow:

	3,60	mmol/l

Important note: This calculation is based on specifications of the DWA rule ATV-A131. Cleartec Water Management doesn't accept any liability for the correctness of the design assumptions and no liability for the correctness of the results. Especially no process liablity can be given on base of this calculation.

Calculation of Cleartec Projects

Project name	STOWA - upstr./Bio-P
Date	05.07.2010
Feasibility	**YES !**

Raw data

1. Concentrations/load (inlet biology or effluent primary clarifier)

COD:	[mg/l]	381	[kg/d]	6979,92
BOD:	[mg/l]	139	[kg/d]	2546,48
SS:	[mg/l]	124	[kg/d]	2271,68
TKN:	[mg/l]	48	[kg/d]	879,36
P:	[mg/l]	8	[kg/d]	146,56

2. Hydraulic load

Q_{max}:	[m³/h]	2625	for dimensioning of secondary settler
Q_{DW}:	[m³/d]	18320	for calculation of loads

3. Design temperature

Minimum (biology):	[°C]	8	for nitrification
Maximum (O_2-Transfer):	[°C]	25	for dimensioning of aeration equipment

4. Existing structures

Volume of activation tank:	[m³]	12800	total volume of all tanks
Depth of activation tank:	[m]	4	depth of all tanks
Surface of secondary clarifier:	[m²]	2986	total surface of all tanks
Depth of secondary clarifier:	[m]	2,83	2/3-depth of the tanks, resp. effective depth
Scraper coefficient for sec. clarifier:	[-]	0,7	standard value: 0,7
Return slduge ratio:	[-]	0,75	standard for rough analysis: 0,75
Thickening time:	[h]	2	preset: 2h ; maximum 2,5h for denitrification

5. Target

Carbon elimination:	yes	yes / no
Nitrification:	yes	yes / no
Denitrification:	upstream	intermitting / upstream / none
P elimination:	Bio-P	without / with Bio-P, Fe-precipitation or Al-precipitation (assumption: P-effluent = 1 mg/l)
NO_3-N (outlet as consent): [mg/l]	8	allowed discharge value
Sludge volume index: [l/kgMLSS]	90	Cleartec value 100 - 120

5. Possible Cleartec configuration

Length of the textiles	[m]	3,2	Note: Maximum 80 % of tank depth
Density of textiles	[pcs/m]	17	equates to: 5,8824 cm distance usual: 14-19 pcs
Width of cages (rows of textile)	[rows]	3	(one textile row equates to approx. 1 m)
Length of cages (length of rows)	[m]	3	
Biomass equivalent	[g/m²]	40	standard = 40
Specific surface	[m²/m]	23	standard-Cleartec Biotextil = 23
Activity	[%]	66%	empirical factor/ standard = 66%
Effective sludge amount	[kgFS/cage]	297	
Maximum occupancy of surface	[%]	75%	part of tank's footprint that can be covered with cages

6. Plausibility of input

COD:BOD ratio:	[F PL1]	Please check! Significantly high COD:BOD
BOD:SS ratio:	[F PL2]	Normal range
BOD:N ratio:	[F PL3]	Not applicable for denitrifying plants
Deni-potential:	[F PL4]	Good ratio
Depth of activation tank:	[F PL5]	Normal depth
Depth of secondary clarifier:	[F PL6]	Normal depth for secondary clarifier
Retention time activation tank:	[F PL7]	Normal retention time
Temperature:	[F PL8]	Design temperature very low
Target:	[F PL9]	With nitrification and upstream denitrification

7. Process calculation

Project: STOWA - upstr./Bio-P 05.07.2010

7.1 Secondary clarifier

Achievable MLSS content in activation tank:	**3,51**	kg/m³	**Zones / Heights**		
Return sludge - MLSS:	**8,19**	kg/m³	Clean water	0,50	m
			Separation	1,12	m
			Density flow/storage	0,44	m
Sludge volume load:	277,71	l/m²/h	Thickening/sludge removal	0,77	m
Surface overflow rate:	0,88	m³/m²/h	Total height	**2,83**	m

7.2 Activation tank

7.2.1 Safety factor for nitrification

Recommended:	2,0
Chosen:	recommended

7.2.1 Sludge age

Required aerobic sludge age:	13,51	days
Denitrification potential:	0,22	[kgN/kgBOD]
Required anoxic part of sludge:	50%	
Total sludge age:	27,0	days

7.2.2 Sludge masses

Specific from BOD elimination:	0,84	kg TS/kgBOD
Surplus sludge from C elimination:	2145	kg TS/d
Surplus sludge from P precipitation:	287	kg TS/d
Total surplus sludge:	2432	kg TS/d
Required sludge mass:	65683	kg
Required deni sludge mass:	32842	kg
Possible suspended sludge mass:	44928	kg
Sessile sludge mass (deficit):	20755	kg
Sludge load:	0,039	kgBOD/kgTS

7.2.4 Oxygen uptake

Peak factor f_C	1,10			
Peak factor Fn	1,50			
$OU_{d,C}$:	3085	kgO_2/d	8	°C
$OU_{d,C}$:	3453	kgO_2/d	25	°C
$OU_{d,N}$:	3076	kgO_2/d		
$OU_{d,D}$:	-1650	kgO_2/d		
OU_h [C;Tmin]:	194	kgO_2/h	8	°C
OU_h [N;Tmin]:	252	kgO_2/h	8	°C
OU_h [C;Tmax]:	211	kgO_2/h	25	°C
OU_h [N;Tmax]:	267	kgO_2/h	25	°C
OU_h [Design]:	**267**	kgO_2/h		

7.2.3 Concept for cages

Required amount of cages.	**70**	pcs
Number of textiles:	**10.710**	pcs
Linear meters:	34.272	m
Total volume of activation tank:	12.800	m³
Volume of upstream denitrification tank:	9.357	m³
Anoxic upstream part of the activation tank:	73,10%	
Volume for Cleartec installation:	3443	m³
Existing surface (for cage installation):	861	m²
Required surface (cages):	630	m²
Part of surface used for cages:	73%	
Feasibility:	**YES !**	
Cycle time:		h
Recirculation rate for upstream denitrification:	413%	$Q_{RC}/Q_{h,DW}$

7.2.5 Alkalinity consumption

Nitrification:	3,22	mmol/l
Denitrification:	-2,17	mmol/l
P precipitation:	0,00	mmol/l
Remaining alkal.:	1,50	mmol/l

Required alkalinity in the inflow:

	2,55	mmol/l

Important note: This calculation is based on specifications of the DWA rule ATV-A131. Cleartec Water Management doesn't accept any liability for the correctness of the design assumptions and no liability for the correctness of the results. Especially no process liablity can be given on base of this calculation.

Calculation of Cleartec Projects

Project name	STOWA - upstr./Fe-prec
Date	05.07.2010
Feasibility	**YES !**

Raw data

1. Concentrations/load (inlet biology or effluent primary clarifier)

COD:	[mg/l]	381	[kg/d]	6979,92
BOD:	[mg/l]	139	[kg/d]	2546,48
SS:	[mg/l]	124	[kg/d]	2271,68
TKN:	[mg/l]	48	[kg/d]	879,36
P:	[mg/l]	8	[kg/d]	146,56

2. Hydraulic load

Q_{max}:	[m³/h]	2625	for dimensioning of secondary settler
Q_{DW}:	[m³/d]	18320	for calculation of loads

3. Design temperature

Minimum (biology):	[°C]	8	for nitrification
Maximum (O_2-Transfer):	[°C]	25	for dimensioning of aeration equipment

4. Existing structures

Volume of activation tank:	[m³]	15600	total volume of all tanks
Depth of activation tank:	[m]	4	depth of all tanks
Surface of secondary clarifier:	[m²]	2986	total surface of all tanks
Depth of secondary clarifier:	[m]	2,83	2/3-depth of the tanks, resp. effective depth
Scraper coefficient for sec. clarifier:	[-]	0,7	standard value: 0,7
Return slduge ratio:	[-]	0,75	standard for rough analysis: 0,75
Thickening time:	[h]	2	preset: 2h ; maximum 2,5h for denitrification

5. Target

Carbon elimination:		yes	yes / no
Nitrification:		yes	yes / no
Denitrification:		upstream	intermitting / upstream / none
P elimination:		Fe precip.	without / with Bio-P, Fe-precipitation or Al-precipitation (assumption: P-effluent = 1 mg/l)
NO_3-N (outlet as consent):	[mg/l]	8	allowed discharge value
Sludge volume index:	[l/kgMLSS]	90	Cleartec value 100 - 120

5. Possible Cleartec configuration

Length of the textiles	[m]	3,2	Note: Maximum 80 % of tank depth		
Density of textiles	[pcs/m]	17	equates to:	5,8824	cm distance usual: 14-19 pcs
Width of cages (rows of textile)	[rows]	3	(one textile row equates to approx. 1 m)		
Length of cages (length of rows)	[m]	3			
Biomass equivalent	[g/m²]	40	standard = 40		
Specific surface	[m²/m]	23	standard-Cleartec Biotextil = 23		
Activity	[%]	66%	empirical factor/ standard = 66%		
Effective sludge amount	[kgFS/cage]	297			
Maximum occupancy of surface	[%]	75%	part of tank's footprint that can be covered with cages		

6. Plausibility of input

COD:BOD ratio:	[F PL1]	Please check! Significantly high COD:BOD
BOD:SS ratio:	[F PL2]	Normal range
BOD:N ratio:	[F PL3]	Not applicable for denitrifying plants
Deni-potential:	[F PL4]	Good ratio
Depth of activation tank:	[F PL5]	Normal depth
Depth of secondary clarifier:	[F PL6]	Normal depth for secondary clarifier
Retention time activation tank:	[F PL7]	Normal retention time
Temperature:	[F PL8]	Design temperature very low
Target:	[F PL9]	With nitrification and upstream denitrification

7. Process calculation

Project: STOWA - upstr./Fe-prec 05.07.2010

7.1 Secondary clarifier

Achievable MLSS content in activation tank:	**3,51**	kg/m³	**Zones / Heights**		
Return sludge - MLSS:	**8,19**	kg/m³	Clean water	0,50	m
			Separation	1,12	m
			Density flow/storage	0,44	m
Sludge volume load:	277,71	l/m²/h	Thickening/sludge removal	0,77	m
Surface overflow rate:	0,88	m³/m²/h	Total height	**2,83**	m

7.2 Activation tank

7.2.1 Safety factor for nitrification

Recommended:	2,0
Chosen:	recommended

7.2.1 Sludge age

Required aerobic sludge age:	13,51	days
Denitrification potential:	0,22	[kgN/kgBOD]
Required anoxic part of sludge:	50%	
Total sludge age:	27,0	days

7.2.2 Sludge masses

Specific from BOD elimination:	0,84	kg TS/kgBOD
Surplus sludge from C elimination:	2145	kg TS/d
Surplus sludge from P precipitation:	817	kg TS/d
Total surplus sludge:	2962	kg TS/d
Required sludge mass:	80013	kg
Required deni sludge mass:	40007	kg
Possible suspended sludge mass:	54756	kg
Sessile sludge mass (deficit):	25257	kg
Sludge load:	0,032	kgBOD/kgTS

7.2.4 Oxygen uptake

Peak factor f_C	1,10			
Peak factor Fn	1,50			
$OU_{d,C}$:	3085	kgO_2/d	8	°C
$OU_{d,C}$:	3453	kgO_2/d	25	°C
$OU_{d,N}$:	3076	kgO_2/d		
$OU_{d,D}$:	-1650	kgO_2/d		
OU_h [C;Tmin]:	194	kgO_2/h	8	°C
OU_h [N;Tmin]:	252	kgO_2/h	8	°C
OU_h [C;Tmax]:	211	kgO_2/h	25	°C
OU_h [N;Tmax]:	267	kgO_2/h	25	°C
OU_h [Design]:	**267**	kgO_2/h		

7.2.3 Concept for cages

Required amount of cages.	**85**	pcs
Number of textiles:	**13.005**	pcs
Linear meters:	41.616	m
Total volume of activation tank:	15.600	m^3
Volume of upstream denitrification tank:	11.398	m^3
Anoxic upstream part of the activation tank:	73,06%	
Volume for Cleartec installation:	4202	m^3
Existing surface (for cage installation):	1051	m^2
Required surface (cages):	765	m^2
Part of surface used for cages:	73%	
Feasibility:	**YES !**	
Cycle time:		h
Recirculation rate for upstream denitrification:	413%	$Q_{RC}/Q_{h,DW}$

7.2.5 Alkalinity consumption

Nitrification:	3,22	mmol/l
Denitrification:	-2,17	mmol/l
P precipitation:	1,06	mmol/l
Remaining alkal.:	1,50	mmol/l

Required alkalinity in the inflow:

	3,60	mmol/l

Important note: This calculation is based on specifications of the DWA rule ATV-A131. Cleartec Water Management doesn't accept any liability for the correctness of the design assumptions and no liability for the correctness of the results. Especially no process liablity can be given on base of this calculation.

alternative	number of cages [-]	total volume activation [m³]	volume aeration tank [m³]	surface aeration tank [m²]	arrangement of cages cages in row	rows	required width of tank [m]	required length of tank [m]	required surface [m²]	existing surfcae sufficient? [-]	recirculation rate [%]
interm. / Bio-P	141	6.800	6800	1700	5	29	17,2	96,4	1658,1	yes	
interm. / Fe-prec	172	8.300	8300	2075	5	35	17,2	116,2	1998,6	yes	
upstr. / Bio-P	70	12.800	3443	861	5	14	17,2	46,9	806,68	yes	413%
upstr. / Fe-prec	85	15.600	4202	1051	5	17	17,2	56,8	976,96	yes	413%