

MENGING EN VOORTSTUWING VAN ACTIEF-SLIBSYSTEMEN IN RONDE REACTOREN



RAPPORT

2006

19

MENING EN VOORTSTUWING VAN ACTIEF-SLIBSYSTEMEN IN RONDE REACTOREN

RAPPORT

2006

19

ISBN 90.5773.339.0



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 00 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

UITGAVE STOWA, UTRECHT, 2006

AUTEURS

J. Hulsbeek (Royal Haskoning)
J. Kruit (Royal Haskoning)
L. v. Duinen (ITT Flygt)
A. Kruisbrink (WL|Delft Hydraulics)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

G. Dalstra (Waterschap de Dommel)
M. van Loosdrecht (Technische Universiteit Delft)
J. Nieuwlands (Waterschap Zeeuwse Eilanden)
P. Piekema (Waternet)
B. Reitsma (TAUW)
H. van Veldhuizen (Waterschap Groot-Salland)
D. de Vente (Waterschap Regge en Dinkel)
C. Uijterlinde (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2006-19
ISBN 90.5773.339.0

SAMENVATTING

ALGEMEEN

Begin jaren '90 zijn de Waterschappen in Nederland aangevangen met het implementeren van de Europese richtlijnen voor fosfaat- en stikstofverwijdering op hun rioolwaterzuiveringsinrichtingen (RWZI). In de periode 2005 – 2010 zullen de aanpassingen en uitbreidingen van de meeste RWZI's zijn voltooid. Vrijwel alle RWZI's zijn omgebouwd tot een combinatie van propstroomreactoren en omloopreactoren. Propstroomreactoren worden toegepast voor anaërobe en anoxische ruimtes en omloopreactoren voor facultatieve anoxische/aërobe ruimtes en aërobe ruimtes. Naast de traditionele omloopreactoren zoals carrouzels werd vanwege de snelheid van bouwen (prefab of systeembouw) en een lager investeringsniveau voor het eerst de ronde integrale reactor met diverse ringen en bodembeluchting geïntroduceerd. Afhankelijk van de reeds bestaande configuraties en de geselecteerde procesconfiguraties (Phoredox, Bardenpho, UCT, m-UCT of BCFS® zijn 2 tot 5 ringsreactoren gebouwd.

Na circa 10 jaar ervaring met ronde reactoren blijkt dat op diverse locaties de vereiste voortstuwing in de diverse ringen niet wordt gehaald. Anderzijds worden op diverse locaties ook veel te hoge omloopsnelheden gemeld. Deze waarnemingen zijn zowel door de waterkwaliteitbeheerders, adviseurs als leveranciers opgemerkt. De leveranciers leveren volgens het bestek waarbij meestal een nominale snelheidsgarantie van 0,25 - 0,3 m/s voor het actiefslimbensel in alle situaties in acht moet worden gehouden. De nominale omloopsnelheid is echter niet eenduidig gedefinieerd.

Er bestaan vermoedens dat een (te) lage snelheid er toe kan leiden dat:

- Er geen volledige menging van het actiefslimbensel met de recirculatiestromen optreedt.
- Er een afname van het zuurstofrendement optreedt en schietstromen naar de volgende reactor ontstaan waarbij piekconcentraties van stikstof in het effluent kunnen voorkomen.

Een te hoge snelheid kan leiden tot instabiele stofomzettingen en kortsluitstromen naar de volgende reactoren.

Onjuiste mengprincipes en onjuiste locaties van voortstuwings- en recirculatiestromen kunnen dus leiden tot een instabiel zuiveringsproces voor met name de stikstofverwijdering (ammonium pieken), terwijl de vereiste procesruimte ruim voldoende is gedimensioneerd. Verder kan men zich afvragen of energetisch gezien de keuze voor rondbouw wel juist is.

De factoren die van invloed zijn op bovenstaand problematiek zijn tot nu toe niet eenduidig in kaart gebracht. Factoren die van belang zijn, zijn onder andere beenbreedte en diepte, mee- en tegenstroom, verhouding recirculatie-debiet/doorstroom-debiet, locatie recirculatie doorlaten, doorstroomsnelheid en mate van beluchtingsintensiteit.

Voor de waterschappen is het zinvol de tot op heden opgebouwde praktische kennis te bundelen, theoretisch onderbouwen en deze kennis om te zetten in eenduidige richtlijnen voor menging en voortstuwing van actiefslibsystemen voor nutriëntenverwijdering in ronde reactoren.

Deze richtlijnen zullen leiden tot een beter ontwerp van ronde reactoren en betere besteksbeschrijvingen voor de leveranciers van voortstuwing, menging en beluchtingsapparatuur. De richtlijnen kunnen ook bijdragen tot een optimalisatie van het mengen en voortstuwen in bestaande situaties en aanzetten tot fundamenteeler onderzoek.

Het onderzoek is op onderdelen opgedeeld in:

- Een inventarisatie van de problematiek en de vigerende richtlijnen voor voortstuwers in Nederland.
- Computatieve Fluid Dynamics (CFD) - modellering van een RWZI waarbij de invloed een aantal geselecteerde onderzoeksaspecten in beeld zijn gebracht.
- Formulering van richtlijnen voor voortstuwing in ronde reactoren.

INVENTARISATIE EN VIGERENDE RICHTLIJNEN

Uit dit inventarisatie- en modelonderzoek kunnen de volgende belangrijkste bevindingen worden samengevat.

- In de praktijk zijn tot nu toe op basis van de gegevens van 20 RWZI's met ronde reactoren op 3 RWZI's kortsluitstromen bekend.
- Ondanks de niet optimale geometrie van de reactorringen en suboptimale voortstuwposities in ronde reactoren zijn tot op heden geen bijzondere problemen ten aanzien van de effluentkwaliteit geconstateerd.
- Er is weinig uniformiteit geconstateerd in het ontwerp van ronde reactoren door alle betrokken partijen.
- De vereiste stuwkracht voor de gewenste omloopsnelheid in een reactorring neemt toe bij een smallere beenbreedte.
- Bij gelijke stroomrichting in twee opeenvolgende ringen (meestroom) is voor de voortstuwing minder energie vereist. De benodigde stuwkracht kan ten opzichte van tegenstroom in beide ringen tot 15 % lager zijn.
- Als de ingaande stroom op voldoende afstand stroomopwaarts van een voortstuwer wordt ingebracht is en goede menging gewaarborgd. In deze situatie is de geometrie en de hoogte van de doorlaatconstructies van minder belang.
- Voor de berekening van de benodigde stuwkracht per reactorring moet rekening wordt rekening gehouden met de verschillende specifieke weerstandsfactoren in de betreffende reactorring. Hierbij is de dynamische weerstand van de beluchting een complicerende factor.
- De afstand tussen voortstuwers en ingaande stroom dient zo groot te zijn dat de voortstuwer zijn "pomphuis" kan afmaken en een kortsluitstroom wordt voorkomen. De lengte van het pomphuis bedraagt stroomafwaarts circa 2 keer de breedte of hoogte van de reactorring. De vrije ruimte stroomopwaarts van de voortstuwer dient ongeveer 1 keer de beenbreedte.
- De capaciteit van de voortstuwers in een beluchte reactorring dient zo hoog te zijn dat de spiraalstroom voor het beluchtingspakket wordt doorbroken.
- De afstand tussen een beluchtingspakket en de voortstuwers dient bij voorkeur 2 x de beenbreedte te bedragen.
- De omloopsnelheid in een reactorring dient tenminste 0,2 m/s te bedragen om slibafzetting te voorkomen.
- De gemiddelde omloopsnelheid dient 0,25 – 0,35 m/s te bedragen.

MODELONDERZOEK

- Uit de modelberekeningen blijkt dat de omloopsnelheid wordt verhoogd indien de locatie van de voortstuwer zo wordt gekozen dat de voortstuwer het pomphuis zonder verstoringen (in- of uitgaande stromen) kan afmaken.
- Het menggedrag wordt minimaal beïnvloed door het verschil tussen mee- of tegenstroom. De positie van de voortstuwers ten opzichte van mogelijke verstoringen in de reactorring blijkt voor verbetering van het menggedrag belangrijker te zijn dan de keuze mee- of tegenstroom.
- Verhogen van de omloopsnelheid kan bij tegenstroom leiden tot een kortsluitstroom in de navolgende reactorring.
- Een verlaging van de specifieke luchtbelasting van de beluchtingselementen leidt tot hogere omloopsnelheden. Dit betekent dat de benodigde stuwkracht van de voortstuwers bij een lagere specifieke luchtbelasting van de beluchtingselementen lager kan zijn.
- Een verhoging van het uitgaande debiet ten opzichte van het doorstroomdebiet tot een verhouding 40/60 leidt bij omloopsnelheden van circa 0,4 m/s tot een (kleine) verlaging van de omloopsnelheid. De stuwkracht van de voortstuwers is dan nog ruim voldoende om de omloopverstoring op te heffen.

RICHTLIJNEN

De richtlijnen zoals die aan de hand van de inventarisatie en modelonderzoek kunnen worden geformuleerd, zijn als volgt:

Richtlijnen voor het ontwerp van nieuwe ronde reactoren:

- De kritische omloopsnelheid om bezinking te voorkomen bedraagt 0,20 m/s. Dit betekent dat op elke locatie in de reactorring een omloopsnelheid van minimaal 0,20 m/s gewaarborgd moet zijn.
- Omloopverstoringen rondom de voortstuwer moeten worden voorkomen. De vrije ruimte stroomopwaarts bedraagt tenminste 1 x de beenbreedte of waterhoogte van de reactorring. De vrije ruimte stroomafwaarts van de voortstuwer bedraagt 2 x de beenbreedte of waterhoogte zodat er voldoende ruimte is om het pomphuis op te bouwen.
- De ingaande stroom in een reactorring wordt bij voorkeur stroomopwaarts van de voortstuwer gesitueerd. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de benodigde vrije ruimte tussen de locatie van de ingaande stroom en de voortstuwer.
- De voortstuwer dient zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts op voldoende afstand van de beluchtingpakketten geïnstalleerd te worden. Stroomopwaarts om het risico van luchtinsluiting in de voortstuwer te voorkomen, stroomafwaarts om voldoende vrije lengte te creëren zodat het pomphuis kan worden opgebouwd. De afstand tussen de voortstuwer en een beluchtingpakket bedraagt zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts bij voorkeur 2 x de beenbreedte.
- De benodigde stuwkracht in een beluchte reactorring dient te worden afgestemd op variatie van de luchtbelasting. Dit kan gebeuren door de voortstuwers te voorzien van een frequentieomvormer.
- Opeenvolgende reactorringen kunnen het beste in meestroom worden uitgevoerd om kortsluitstroming te voorkomen en te besparen op de benodigde stuwkracht van de voortstuwers in de verschillende reactorringen.
- Meng of instroom-constructies in de reactorring moeten zoveel mogelijk worden vermeden.

Voor bestaande RWZI's gelden volgende richtlijnen:

- Indien blijkt dat door een hoge uitgaande stroom stroomafwaarts van de voortstuwer een omloopverstoring (terugstroming of kortsluitstroom) ontstaat moet worden overwogen om voortstuwers met een hogere stuwkracht te installeren.
- Om aanwezige kortsluitstromen in opeenvolgende reactorringen met bovendoorlaten op te heffen kunnen geleidevanen worden geïnstalleerd.
- Terugstroming van slib-watermengsel voor een beluchtingspakket aan de binnenkant van een reactorring kan worden verholpen door de beluchtingintensiteit aan de buitenkant van de reactorring te verhogen.
- Indien de stroomsnelheid duidelijk groter is dan 0,4 m/s de inzet van frequentieomvormers overwegen.

AANBEVELINGEN

Voor de ontwerpsituaties in de praktijk zijn de volgende aanbevelingen geformuleerd:

- Voor een optimale afstemming van de benodigde stuwkracht en de selectie van het type en aantal voortstuwers per reactorring wordt aanbevolen de leveranciers direct bij het ontwerp van de indeling van de reactorringen te betrekken.
- In het bestek dient een stroomschema en een schematische weergave van de mogelijke omloopverstoringen te worden bijgevoegd.
- Er wordt aanbevolen het ontwerp van de beluchtingsconfiguratie te combineren met de benodigde stuwkracht in de reactorringen. Op deze wijze kan die combinatie worden geselecteerd waarbij het overall energieverbruik voor beluchting en voortstuwing minimaal is.
- Voor een gelijkmatig snelheidspatroon over de gehele beenbreedte van de reactorring dient overwogen te worden om de beluchtingsintensiteit in de reactorring van binnen naar buiten te verhogen door verdichting van de elementenopstelling.
- Er wordt aanbevolen om voortstuwers te voorzien van frequentieomvormers. Uit de resultaten is gebleken dat de luchtbelasting een grote invloed heeft op de benodigde stuwkracht in de reactorring. Door de voortstuwers te voorzien van frequentieomvormers bestaat de mogelijkheid om de benodigde stuwkracht aan te passen aan de actuele luchtbelasting in de reactorring.
- Vanwege een optimale bedrijfsvoering en vanwege de kosten wordt meestal gekozen voor een enkele brugconstructie over de tank. Hierdoor zijn de mogelijke locaties voor het plaatsen van voortstuwers beperkt omdat een voortstuwer bereikbaar en ophaalbaar moet zijn voor onderhoud. De voortstuwers dienen in een dergelijk geval als sluitpost. In het kader van het energieverbruik wordt aanbevolen dit principe niet toe te passen. Een mogelijke oplossing zou kunnen zijn om meerdere voortstuwers te concentreren aan één zijde van de brug en de andere voorzieningen (pompen, doorlaten etc.) aan de overkant te situeren. Een andere mogelijkheid is om niet uit te gaan van één enkele brugconstructie over de gehele reactor, maar uit te gaan van meerdere bruggen tot het midden van de reactor. Op deze manier kunnen de voortstuwers op de gewenste locaties worden gesitueerd.
- Er wordt aanbevolen de sparingen tussen opeenvolgende reactorringen zo te construeren dat de snelheid van de ingaande stroom overeenkomt met de omloopsnelheid in de reactorring.

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 kennisinstututen 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 zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030-2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

SUMMARY

GENERAL

In the early nineties the Water boards in The Netherlands have commenced the implementation of the European guidelines for the removal of phosphorous and nitrogen in their wastewater treatment plants (WWTP). Over the period 2005 – 2010 most of the WWTPs will be updated and extended. Nearly all the WWTPs have been converted to a combination of plug flow reactors and circuit reactors. Plug flow reactors are used for anaerobic and anoxic volumes en circuit reactors for facultatively anoxic or aerobic and fully aerobic volumes. In addition to the traditional circuit reactors like carrousel circular integrated reactors with several rings and with bottom aeration were introduced, because of the rapid construction (prefab or system construction) and the lower investment costs. Depending on the existing set-ups and the selected process configurations (Phoredox, Bardenpho, UCT, m-UCT of BCFS®), reactors consisting of two to five separate ring reactors were constructed.

After ten years of experience with circular reactors it turns out that at various locations propulsion of the mixed liquor is not satisfactory. On the other hand, several locations experience too high mixed liquor velocities. These observations are shared between both water quality managers, consultants and suppliers. The suppliers provide equipment according to a specified nominal mixed liquor velocity of 0.25 – 0.3 m/s under all conditions. However, it is hard to define this nominal circulation velocity,

It is suspected that a (too) low mixed liquor velocity can lead to

- incomplete mixing of the activated sludge suspension with the recycle flows;
- a decrease of the oxygen transfer efficiency;
- occurrence of jet currents to downstream reactors resulting in peak concentrations of nitrogen in the effluent.

A too high velocity can result in unstable conversions and short-circuiting to downstream reactors.

Incorrect mixing principles and incorrect location of propellers and recycle flow inlets may lead to an unstable treatment process, especially for nitrogen removal (ammonium peak concentrations), even if the dimensions of the various reactor volumes are correct. On top of this one may wonder whether the choice for circular reactors is a good one, from the energetic point of view.

The factors influencing the problems described above have not yet been addressed properly, due to the fact that they have only recently been studied and identified as such.

Important factors are, among others, reactor width and depth, co-current or counter current inlet from upstream reactors, the ratio between throughput and incoming recycle flows, the location in recycle inlets, and the intensity of aeration.

The Water Boards will benefit from a compilation of the accumulating practical experience and the theoretical basis underlying it, and from the development of unequivocal guidelines for mixing and propulsion in activated sludge systems for nutrient removal in circular reactors.

These guidelines will lead to an improved design of circular reactors and better specifications for the suppliers of propellers, mixers and aeration equipment. The guidelines also will induce optimization of mixing and propulsion in existing configuration and may act as a starting point for more fundamental research.

This study can be divided into the following main parts:

- a survey of the problems and the currently used guidelines for propulsion in The Netherlands;
- Computational Fluid Dynamics (CFD) – modelling of a WWTP, in which the influence of a number of selected aspects will be studied.
- Formulation of guidelines for propulsion in circular reactors.

SURVEY AND CURRENTLY USED GUIDELINES

The following main conclusions came forward from the survey and the modelling research.

- Out of 20 WWTPs with circular reactors surveyed, three experienced short-circuiting.
- In spite of not optimal geometry of the ring-shaped reactors and suboptimal positioning of propellers, no specific problems concerning the effluent quality were encountered.
- There was little uniformity in the design of circular reactors between various parties involved.
- The required propulsion energy to achieve the desired mixed liquor velocity increases with decreasing reactor width.
- With similar flow direction in two successive reactor rings (co-current) less energy is required for propulsion. In comparison with counter current flow, the required energy input may be 15% lower.
- If the incoming flow inlet is sufficiently distant from a propeller, good mixing is guaranteed. In these situations geometry and altitude of the inlet construction are less important.
- For the calculation of the required propulsion energy the various specific resistance factors in the reactor ring need to be accounted for. The dynamic resistance of the aeration is a complicating factor.
- The distance between propeller and incoming flow should be sufficiently large as to allow for proper development of the 'jet flow' to prevent short-circuiting.
- The length of this 'jet flow' in the down-flow direction of approximately two times width or height of the reactor ring. The free space upstream of the propeller should be approximately one time reactor width.
- The capacity of the propellers should be sufficiently large as to break the spiral flow before the aeration diffuser group.
- The minimum distance between aeration diffuser group and the propellers should be preferably 2 times reactor width,
- The circulation velocity in a reactor ring should be at least 0.2 m/s to prevent sludge sedimentation.
- The average flow velocity should be 0.25 – 0.35 m/s.

MODEL RESEARCH

- From the model calculation it becomes clear that the mixed liquor velocity is increased if the location of the propeller is chosen such that its 'jet flow' can be completed without disturbance by incoming or outgoing flows.
- The mixing behaviour is only marginally influenced by the difference between co-current or counter current inlet flows. The positioning of the propellers respective of possible disturbances is more important than the choice between co-current or counter current inlet flow.
- Increase of the flow velocity can in counter current outlet flow lead to short-circuiting in the downstream reactor.
- Decrease of the specific aeration loading rate of aeration diffusers or plates will result in increase of the flow velocity. This implies that the required propulsion energy can be decreased with lower specific aeration loading rates.
- An increase of the outgoing flow compared to the throughput to a ration of 40/60 will at flow velocities of approximately 0.4 m/s lead to a (minor) decrease of the flow velocity. The propulsion power of the propellers will still be sufficiently large to overcome the disturbances.

GUIDELINES

The guidelines formulated during as a result of the survey and the modelling research are as follows:

Guidelines for the design of new circular reactors.

- The critical flow velocity to prevent sedimentation is 0.20 m/s. This implies that everywhere in the reactor ring a flow velocity of at least 0.20 m/s needs to be guaranteed.
- Disturbances of the flow pattern around the propellers should be avoided. The free space upstream of the propeller should be at least 1 x the reactor width or water depth of the reactor ring. The free space downstream of the propeller should be at least 1 x the reactor width or water depth of the reactor ring to allow for completion of the 'jet flow' behind the propeller.
- An inlet for incoming flows should preferably be situated upstream of a propeller. The proper free space between flow inlet and propeller should be accounted for.
- A propeller should be located with sufficient distance upstream and downstream of aeration diffuser groups. The distance upstream should prevent entrapment of air in the propeller, whereas the distance downstream should be provided for completion of the 'jet flow'. Both distances should preferably be 2 x reactor width or water depth.
- The required propulsion energy in an aerated ring-shaped reactor should be tuned to the loading rate of the aeration diffusers. This can be done by applying frequency converters to the propellers.
- Inlet of flow from one reactor ring to the next should best be in co-current. This reduces the risk on short-circuiting and decreases the required propulsion energy.
- Special constructions for mixing or inlets should be avoided as much as possible.

For existing circular reactor the following guidelines apply.

- If disturbances in the flow pattern (backflow or short-circuiting) are generated by high outgoing flows, then installation of propellers with higher power may be considered;
- Short-circuiting in successive reactor rings with top inlets can be prevented by installation of guidance baffles.
- Backflow of mixed liquor from an aeration diffuser group at the inner side of a reactor ring can be prevented by increasing the aeration rate at the outer side of the ring.
- If the flow velocity is clearly higher than 0.4 m/s the use of frequency converters should be considered.

RECOMMENDATIONS

The following recommendation have been formulated for practical design:

- Suppliers should be involved directly in the design for an optimal balancing of the required propulsion energy and the selection of type and number of propellers for each reactor ring.
- The specifications should include a flow diagram and a schematic representation of the possible flow pattern disturbances.
- It is recommended to combine the design of the aeration with that of the propulsion. In this way the combination with the lowest energy consumption can be selected.
- For an even distribution of the flow velocity over the width of the reactor ring, increase of the aeration intensity from the inner to the outer side of the ring may be considered. This can be done by increase of the density of the diffusers.
- It is recommended to equip propellers with frequency converters. From the results it has become clear that the aeration rate has much impact on the required propulsion energy. With frequency conversion the actual propulsion energy can be modulated to the actual needs.
- A single bridge over the reactors generally is selected for reasons of optimal operation and costs, This reduces the possible location of propellers, because they are attached to the bridge, for maintenance purposes. Because of their relatively high energy consumption, this principle should be abandoned. One possible solution may be to centre multiple propellers on one side of the bridge, and other facilities, such as pumps and inlets, at the other side. Another possibility is the use of not one single bridge, but multiple bridges to the centre of the reactor. In this way the propellers can be located at the desired locations.
- It is recommended to construct the openings between successive reactor rings in such a fashion as to have similar flow velocities in incoming flow and the reactor itself.

STOWA IN BRIEF

The Institute of Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater purification installations and dam inspectors. In 2002 that includes all the country's water boards, the provinces and the State.

These water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative-legal and social-scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed on the basis of requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as centres of learning and consultancy bureaux, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

All the money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some six million euro.

For telephone contact STOWA's number is: +31 (0)30-2321199.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

MENGING EN VOORTSTUWING VAN ACTIEF-SLIBSYSTEMEN IN RONDE REACTOREN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
	1.1 Algemeen	1
	1.2 Probleemstelling	2
	1.3 Doel van het onderzoek	2
	1.4 Opzet onderzoek	3
	1.5 Leeswijzer	3
2	INVENTARISATIE VAN DE PROBLEMATIEK	4
	2.1 Algemeen	4
	2.2 Waterkwaliteitsbeheerders	4
	2.2.1 Algemeen	4
	2.2.2 Aspecten ingaande stroom	5
	2.2.3 Aspecten van de stroom in de ring	7
	2.3 Leveranciers	11
	2.3.1 Algemeen	11
	2.3.2 Resultaten inventarisatie	11
	2.4 Adviseurs	13
	2.5 Evaluatie inventarisatie	14
	2.6 Resultaten workshop	14

3	VOORTSTUWING IN THEORIE EN PRAKTIJK	16
3.1	Introductie	16
3.2	Algemene theoretische beschouwing	17
3.3	Benodigde theoretische capaciteit voortstuwars	18
3.4	Voortstuwng in een reactorring	20
3.5	Q – H kromme van een voortstuwars	21
3.6	Specifieke weerstandsfactoren	22
	3.6.1 k - ring	22
	3.6.2 k - bochtvorm	23
	3.6.3 K-obstakels	23
	3.6.4 k-contractie-expansie	23
	3.6.5 k-omkeerverliezen	23
	3.6.6 k-beluchting	24
	3.6.7 Evaluatie weerstandsfactoren	25
3.7	Praktijkervaringen	25
	3.7.1 Vorming pomphuis	25
	3.7.2 Mee- en tegenstroom	27
	3.7.3 Een of meer voortstuwars	28
	3.7.4 Invloed van bochten	29
	3.7.5 Debiet ingaande en uitgaande stromen (omloopverstoringen)	29
	3.7.6 Omloopsnelheid	32
3.8	Vigerende richtlijnen	33
4	CFD- MODELLERING	34
4.1	Algemeen	34
4.2	Kenmerken rwzi Drachten	34
4.3	CFD-model rwzi Drachten	36
4.4	Resultaten modelberekeningen	38
	4.4.1 Het pomphuisefect en interacties tussen de opeenvolgende reactorringen	38
	4.4.2 Effect type beluchtingselementen/ luchtbelasting	46
	4.4.3 Effect 70% regel	51
	4.4.4 Mee- en tegenstroom	53
	4.4.5 Evaluatie CFD-modellering	57
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	58
5.1	Conclusies	58
5.2	Aanbevelingen	59
6	RICHTLIJNEN VOOR MENGEN EN VOORTSTUWEN	61
	BIJLAGEN	
1	Tabel vergelijking onderzochte rwzi's	63
2	Hydrodynamische grondslagen	65
3	Factsheets enkele geselecteerde rwzi's	73
4	Dimensioneringsgrondslagen rwzi Drachten	77

1

INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

Begin jaren '90 zijn de Waterschappen in Nederland begonnen met het implementeren van de richtlijnen voor fosfaat- en stikstofverwijdering op hun rioolwaterzuiveringsinrichtingen (RWZI). In de periode 2005 – 2010 zullen de aanpassingen en uitbreidingen van de meeste RWZI's zijn voltooid. Vrijwel alle RWZI's zijn omgebouwd tot een combinatie van propstroomreactoren en omloopreactoren. Propstroomreactoren worden toegepast voor anaërobe en anoxische ruimtes en omloop- of propstroomreactoren voor facultatieve anoxische/aërobe ruimtes en aërobe ruimtes. Naast de traditionele omloopreactoren zoals Carrousel[®] werd vanwege de snelheid van bouwen (prefab of systeembouw) en een lager investeringsniveau voor het eerst de ronde reactor met diverse ringen en bellenbeluchting geïntroduceerd. Afhankelijk van de reeds bestaande configuraties en de nieuwe procesconfiguraties (Phoredox, Bardenpho, UCT, m-UCT of BCFS[®] zijn 2 tot 6 ringsreactoren gebouwd (figuur 1). Nadat eerst alleen relatief kleine RWZI's op de beschreven wijze werden uitgevoerd wordt de bouwwijze tegenwoordig ook ingezet voor de grootste RWZI's van Nederland zijnde RWZI Apeldoorn, RWZI Eindhoven, RWZI Amsterdam en RWZI Harnaschpolder. Nederland is met betrekking tot de bouw van ronde reactoren op deze schaal redelijk uniek in de wereld.

FIGUUR 1

VOORBEELDEN VAN RWZI'S IN RONDBOUW

2-RINGS RONDBOUW RWZI ALPHEN KERK EN ZANEN



3-RINGS RONDBOUW RWZI AMSTERDAM-WEST



5-RINGS RONDBOUW RWZI DRACHTEN



6-RINGS RONDBOUW RWZI DEVENTER



1.2 PROBLEEMSTELLING

In de ronde reactoren loopt het actief-slibmengsel meestal vanuit het midden naar de buitenste ring en worden ten behoeve van de fosfaat- en stikstofverwijdering de benodigde recirculatiestromen met propellerpompen gerealiseerd. Het in suspensie houden van actief-slibmengsel gebeurt met mengers of voortstuwers. Sommige RWZI's zijn geconfigureerd volgens het tegenstroomprincipe. Dat wil zeggen dat het actief-slibmengsel per ring omdraait van draairichting. Daarnaast wordt op diverse locaties het actief-slibmengsel om en om onder en boven in de volgende ring geleid.

Na circa 10 jaar ervaring met ronde reactoren blijkt dat op diverse locaties de vereiste voortstuwing in de diverse ringen niet wordt gehaald. Anderzijds worden op diverse locaties ook veel te hoge omloopsnelheden gemeld. Deze waarnemingen zijn zowel door de waterkwaliteitbeheerders, adviseurs als leveranciers opgemerkt. De leveranciers leveren volgens het bestek waarbij meestal een nominale snelheidsgarantie van 0,25 - 0,3 m/s voor het actief-slibmengsel in alle situaties in acht moet worden gehouden. De nominale omloopsnelheid is echter niet eenduidig gedefinieerd.

Er treden in een aantal gevallen onverklaarbare effecten op ten aanzien van het menggedrag en stroomrichting van het actief-slibmengsel. Er zijn situaties bekend waarbij het actief-slibmengsel in een nieuwe ring niet met de stroomrichting mee loopt maar in een tegenovergestelde richting naar de afvoeroverstort, stroomt.

Er bestaan vermoedens dat een (te) lage snelheid er toe kan leiden dat:

- Er geen volledige menging van het actief-slibmengsel met de recirculatiestromen optreedt.
- Er een afname van het zuurstoffrendement optreedt en schietstromen naar de volgende reactor ontstaan waarbij piekconcentraties van stikstof in het effluent kunnen voorkomen.

Een te hoge snelheid kan leiden tot instabiele stofomzettingen en kortsluitstromen naar de volgende reactoren.

Onjuiste mengprincipes en onjuiste locaties van voortstuwers en recirculatiestromen kunnen dus leiden tot een instabiel zuiveringsproces voor met name de stikstofverwijdering (ammonium pieken), terwijl de vereiste procesruimte ruim voldoende is gedimensioneerd. Verder kan men zich afvragen of energetisch gezien de keuze voor rondbouw wel juist is.

1.3 DOEL VAN HET ONDERZOEK

De factoren die van invloed zijn op bovenstaande problematiek zijn tot nu toe niet eenduidig in kaart gebracht. Dit heeft te maken met het feit dat pas sinds enkele jaren op enkele locaties gericht (voor) onderzoek wordt verricht naar de oorzaken en oplossingen.

Factoren die van belang zijn, zijn onder andere beenbreedte en diepte, mee- en tegenstroom, verhouding recirculatie-debiet/doorstroom-debiet, locatie recirculatie doorlaten, locatie voortstuwers, doorstroomsnelheid en mate van beluchttingsintensiteit.

Voor de Waterschappen en adviesbureaus is het zinvol de tot op heden opgebouwde praktische kennis te bundelen, theoretisch te onderbouwen en deze kennis om te zetten in eenduidige richtlijnen voor menging en voortstuwing van actief-slibsystemen voor nutriëntenverwijde-

ring in ronde reactoren. Richtlijnen ten aanzien van de optimale locatie van voortstuwers, geometrie en locatie van doorlaten en beluchtingvelden zullen leiden tot een beter ontwerp van ronde reactoren en betere besteksbeschrijvingen voor de leveranciers van voortstuwing, menging en beluchtingsapparatuur. De richtlijnen kunnen ook bijdragen tot een optimalisatie van het mengen en voortstuwen in bestaande situaties en aanzetten tot fundamenteeler onderzoek.

1.4 OPZET ONDERZOEK

Het onderzoek is door Royal Haskoning samen met Flow-Concept, ITT Flygt en WL Hydraulics uitgevoerd.

Het onderzoek is opgedeeld in:

- Een inventarisatie van de problematiek. Hiertoe zijn waterkwaliteitsbeheerders, leveranciers en adviseurs gevraagd een vragenlijst in te vullen.
- Een workshop. Hierin zijn de vigerende richtlijnen voor voortstuwers gepresenteerd, de problematiek gespecificeerd en de mogelijkheden van Computatieve Fluid Dynamics (CFD) belicht.
- De achtergronden van voortstuwing in theorie en praktijk.
- CFD-modellering van een RWZI waarbij de invloed een aantal geselecteerde onderzoeksaspecten in beeld zijn gebracht.
- Formulering van richtlijnen voor voortstuwing in ronde reactoren.

1.5 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 worden de resultaten van een inventarisatie van de situatie in de praktijk weergegeven. In hoofdstuk 3 komen de vigerende richtlijnen en aandachtspunten voor de keuze van het type en locatie van de voortstuwer aan de orde. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van CFD-modellering van de geselecteerde onderzoeksaspecten weergegeven. Hierbij is het menggedrag van het actief-slibmengsel van een RWZI gesimuleerd waarbij de invloed van een aantal belangrijke parameters in kaart is gebracht. De rapportage eindigt met de richtlijnen ten aanzien van het dimensioneren en lokaliseren van voortstuwers in ronde reactoren.

2

INVENTARISATIE VAN DE PROBLEMATIEK

2.1 ALGEMEEN

Als voorbereiding op de workshop van 1 juni 2005 is een inventarisatie uitgevoerd, waarbij een vragenlijst is verstuurd naar de waterkwaliteitsbeheerders, leveranciers en adviseurs. In de navolgende paragrafen zijn de resultaten van de inventarisatie weergegeven.

2.2 WATERKWALITEITSBEHEERDERS

2.2.1 ALGEMEEN

Van de 20 waterkwaliteitsbeheerders, naar wie die de vragenlijst is verstuurd, heeft 90% gereageerd. Het aantal RWZI's dat door de ondervraagde waterkwaliteitsbeheerders wordt beheerd bedraagt 260. Momenteel zijn hiervan 30 RWZI's als (gedeeltelijke) rondbouw uitgevoerd. Dit betekent dat circa 10% van de RWZI's in Nederland (gedeeltelijk) in rondbouw is uitgevoerd. Uit de inventarisatie blijkt verder dat er bij de ondervraagde waterkwaliteitsbeheerders nog 55 RWZI's moeten worden aangepast. Volgens de huidige planning zullen er daarvan 20 in rondbouw worden uitgevoerd (circa 35%). Verder blijkt dat de bouwvorm niet afhankelijk is van de gekozen procesconfiguratie.

De gegevens van 20 RWZI's zijn geselecteerd voor een nadere uitwerking (zie bijlage 1). In het navolgende worden de resultaten van de uitwerking samengevat, waarbij het accent ligt op die factoren die een mogelijke invloed hebben op het functioneren van ronde reactoren.

Van de onderzochte RWZI's is bij de RWZI Boxtel, een kortsluitstroom geconstateerd (zowel visueel als door meting van de omloopsnelheid). Voor de RWZI Deventer werd aanvankelijk ook vermoed dat een kortsluitstroom hoge ammonium-pieken gedurende RWA veroorzaakte. Inmiddels lijkt het er op dat niet een mogelijke kortsluitstroom maar een hoge ammonium concentratie bij aanvang van RWA de hoge ammonium piek in het effluent veroorzaakt (DWA prop).

Van twee RWZI's in het beheersgebied van Waterschapsbedrijf Limburg is ook bekend dat er problemen ten aanzien van kortsluitstromen opgetreden. Bij de RWZI Roermond zijn kortsluitstromen geconstateerd als de beluchting in de facultatieve ring in bedrijf is. Het actief-slibmengsel stroomde in dat geval direct van de voordentrificatie ring in het verdeelwerk richting aërobe reactoren. Doordat de beluchtingscapaciteit in de facultatieve ring niet optimaal kon worden ingezet zijn er regelmatig problemen met de stikstofverwijdering geconstateerd ten gevolge van kortsluitstromen. Het probleem is opgelost door het plaatsen van een geleidevaan in de facultatieve ring waardoor geen kortsluitstroming ontstaat. Het slib-watmengsel wordt nu altijd in zijn geheel door de facultatieve ring gevoerd (ook als de facultatieve ring wordt belucht).

Om de factoren die mogelijk bijdragen tot kortsluitstromen en/ of tot een lager prestatierendement leiden te kunnen groeperen is een onderverdeling gemaakt in factoren die van belang zijn voor een ingaande stroom in een opvolgend procesonderdeel en factoren die van belang zijn voor een stroming in een reactorring.

Belangrijke factoren voor de ingaande stroom in de navolgende reactorring zijn:

- Het debiet van de ingaande stroom.
- De snelheid van de ingaande stroom.
- De locatie van de ingaande (en uitgaande) stroom.
- De uitvoeringsvorm van de doorlaat.

Belangrijke factoren voor de stroming in de ring zijn:

- Voortstuwsnelheid.
- Te installeren vermogen.
- Mee- en tegenstroom.
- Locatie en configuratie beluchtingvelden.
- Type beluchting.
- Locatie voortstuwers.
- Omloop verstoringen door recirculatie- en uitgaande stromen.

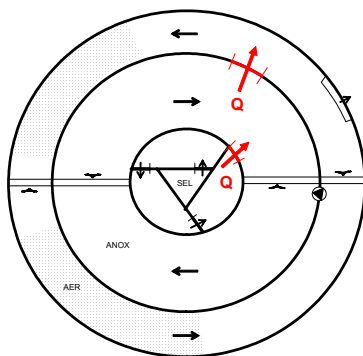
In de navolgende paragrafen worden de aspecten verder uitgewerkt.

2.2.2 ASPECTEN INGAANDE STROOM

Debiet van de ingaande (en uitgaande) stroom (Figuur 2)

De hoogte van het debiet van de ingaande stroom ten opzichte van het doorstroomdebiet in de reactorring veroorzaakt een contractie, terwijl in de voorgaande reactorring een expansie zal optreden. Zowel contractie als expansie leiden tot energieverlies (omloopverstoringen). Bij het vaststellen van het benodigde vermogen van de voortstuwers moet hiermee rekening worden gehouden. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de omloopverstoringen.

FIGUUR 2

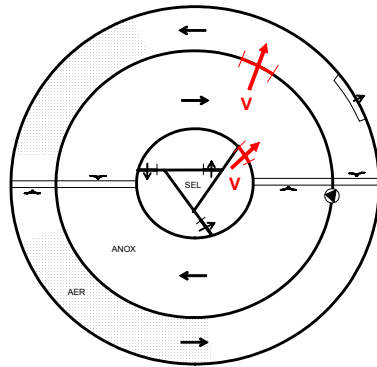


Snelheid van de ingaande stroom (Figuur 3)

In tabel 1 wordt voor een aantal RWZI's, de maximale snelheid naar de navolgende reactorring weergegeven (ingaande stroom). Bij de berekening van de snelheid is uitgegaan van RWA en maximale capaciteit van retourslib en recirculatie stromen.

Uit tabel 1 blijkt dat de snelheid van de ingaande stroom in de doorlaatconstructie varieert tussen 0,15 en 0,6 m/s. De snelheid van de ingaande stroom komt vaak overeen met de omloopsnelheid in de ring (0,3 – 0,4 m/s).

FIGUUR 3



In enkele gevallen is de snelheid van de ingaande stroom groter dan 1 m/s. Bij deze hoge snelheden zijn in de praktijk (visueel) geen kortsluitstromen geconstateerd. Een hoge snelheid van de ingaande stroom leidt echter tot een hoger hydraulisch verlies en is daarom niet gewenst.

Er is tijdens de inventarisatie geen duidelijke relatie gevonden tussen de geometrie van de doorlaatconstructie (bovendoorlaat, onderdoorlaat of over de gehele diepte) en de snelheid van de ingaande stroom (zie tabel 1).

TABEL 1 UITVOERINGSFORM DOORLAAT EN MAXIMALE SNELHEID IN DE DOORLAAT BIJ VERSCHILLENDE ONDERZOCHE RWZI'S

Parameter	Boxtel	Apeldoorn	Dedemsvaart	Deventer	Walcheren	Willem Annapolder	Hengelo	Nieuwgraaf
Anaërobe reactor/selector	boven/onder	over gehele diepte	boven	onder	n.v.t	n.v.t	boven	over gehele diepte
Snelheid (m/s)	0,33	0,25	1,11	0,57			0,21	0,42
Selector		over gehele diepte	onder	boven	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
Snelheid (m/s)		0,41	0,30	0,96				
Vast anoxische reactor	boven/onder	over gehele diepte	boven	boven**	boven	boven	boven en onder	over gehele diepte
Snelheid (m/s)	0,33	0,41	1,16	0,98	0,98	1,35	0,24	0,60
Wissel reactor	n.v.t	n.v.t	onder	boven	n.v.t.	n.v.t.	boven en onder	n.v.t
Snelheid (m/s)			0,39	1,08			0,24	
Aërobe reactor	boven	onder	boven	boven	boven	boven	boven	over gehele diepte
Snelheid (m/s)	0,31	0,13	1,11	0,80	0,64	0,60	***	0,42
Facultatieve reactor	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	boven
Snelheid (m/s)								0,38

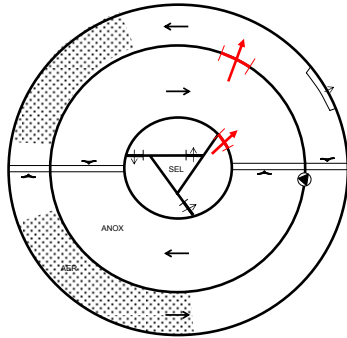
** : in één reactor is de bovendoorlaat dichtgezet en een onderdoorlaat gecreëerd verder is in deze reactor ook de recirculatie naar beneden gevoerd

*** : onvoldoende gegevens

Locatie van de ingaande stroom (Figuur 4)

Bij rondbouw wordt voor het vaststellen van de locaties van de ingaande stroom vaak als uitgangspunt gesteld dat het slib-watremengsel zoveel mogelijk een hele ronde moet afleggen alvorens het via een doorlaat in een navolgende reactorring wordt gevoerd. De consequentie hiervan is dat de ingaande en uitgaande stroom per ring relatief dicht bij elkaar zijn gelokaliseerd. Dit uitgangspunt is bij alle RWZI's zoveel mogelijk toegepast.

FIGUUR 4

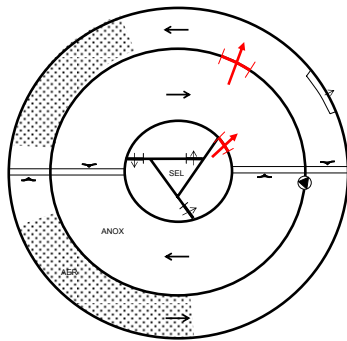


Uit de inventarisatie blijkt verder dat de ingaande stroom zowel voor als achter de voortstuwings wordt ingevoerd.

Uitvoeringsvorm van de doorlaat (Figuur 5)

Uit de inventarisatie (zie tabel 1) blijkt dat een opeenvolgende onder en boven doorlaat in de meeste gevallen niet consequent is uitgevoerd. Door diverse ontwerpers wordt steeds het belang van een continue afwisseling van een boven- en een onderdoorlaat benadrukt. Uit de inventarisatie blijkt dat een continue afwisseling van boven- en onderdoorlaat slechts in één geval consequent is geïmplementeerd (RWZI Dedemsvaart).

FIGUUR 5



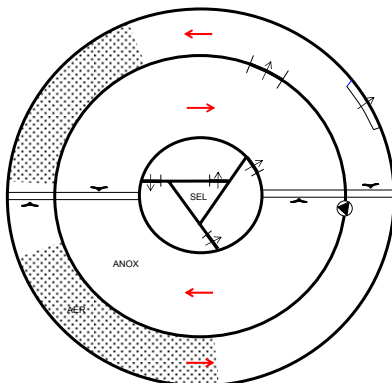
Als alternatief zijn er ook uitvoeringen waarbij een doorlaat over de gehele waterdiepte is uitgevoerd (bijv. RWZI Apeldoorn, RWZI Nieuwgraaf).

2.2.3 ASPECTEN VAN DE STROOM IN DE RING

Omloopsnelheid van het actief-slibmengsel (Figuur 6)

In het ontwerp van de RWZI's wordt uitgegaan van een omloopsnelheid variërend van 0,2 – 0,3 m/s. In de praktijk blijkt echter dat de omloopsnelheid vaak veel hoger is.

FIGUUR 6



Bij de waterkwaliteitsbeheerders is niet bekend welke omloopsnelheid bepalend is en hoe deze snelheid gemeten zou moeten worden. Sommige waterkwaliteitsbeheerders stellen een gemiddelde omloopsnelheid als voorwaarde voor de werktuigbouwkundige specificaties. Andere waterkwaliteitsbeheerders gaan uit van een minimale omloopsnelheid op een bepaalde afstand van de bodem van de ring. Het blijkt dat bij een omloopsnelheid van circa $< 0,2$ m/s afzetting van slib kan ontstaan. De exacte minimale snelheid is afhankelijk van de influent- en slibkwaliteit¹.

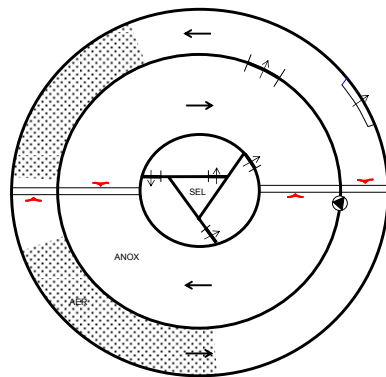
Er bestaat onduidelijkheid omtrent de methodiek voor het vaststellen van de omloopsnelheid. Het is gebleken dat er behoefte bestaat om de meting van de bepalende omloopsnelheid te standaardiseren.

Te installeren vermogen (Figuur 7)

Onder het te installeren vermogen wordt het totale te installeren vermogen van de voortstuwingsapparaten per reactorring bedoeld uitgedrukt in W/m^3 .

Voor de inventarisatie is het geïnstalleerde vermogen per ring voor alle RWZI's bepaald. In figuur 8 is het geïnstalleerde vermogen uitgezet tegen de hydraulische straal. De hydraulische straal is de verhouding tussen de natte dwarsdoorsnede en de natte omtrek van een ring (zie voorbeeld).

FIGUUR 7



Voorbeeld:

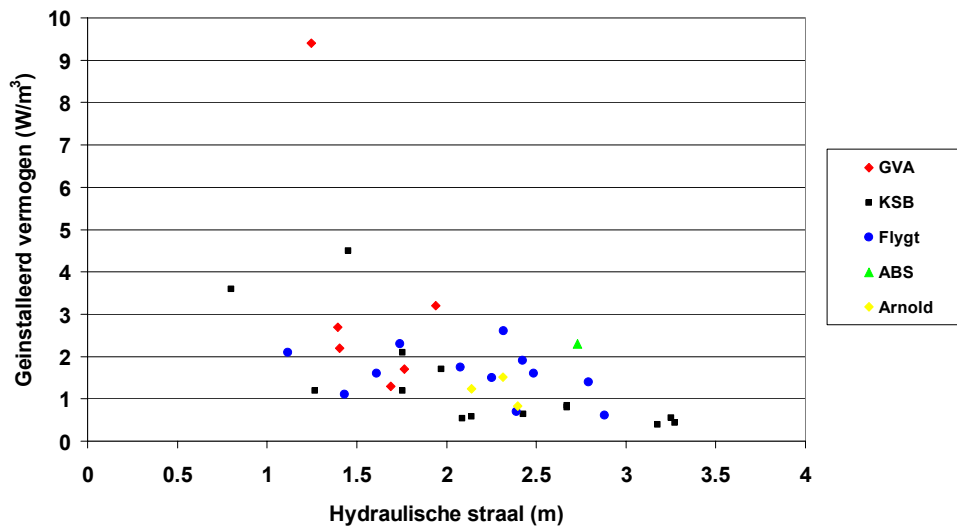
Beenbreedte = 2 m
 Waterdiepte = 6 m
 Natte dwarsdoorsnede = $2 \times 6 = 12 \text{ m}^2$
 Natte omtrek = $2 + (2 \times 6) = 14 \text{ m}$
 Hydraulische straal = $12/14 = 0,86 \text{ m}$

Beenbreedte = 8 m
 Waterdiepte = 4 m
 Natte dwarsdoorsnede = $8 \times 4 = 32 \text{ m}^2$
 Natte omtrek = $8 + (2 \times 4) = 16 \text{ m}$
 Hydraulische straal = $32/16 = 2 \text{ m}$

¹ Rissler, S., "Proper process design of anoxic zones with reference to mixing" Guide lines Flygt AB, 1998

FIGUUR 8

GEÏNSTALLEERD VERMOGEN VOORTSTUWERS AFHANKELIJK VAN DE GEOMETRIE VAN DE RING (HYDRAULISCHE STRAAL) PER LEVERANCIER



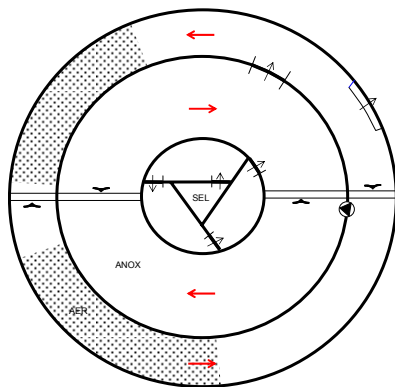
Uit figuur 8 blijkt dat het geïnstalleerde vermogen bij een kleinere hydraulische straal (smallere beenbreedte) hoger is dan bij een grotere hydraulische straal. Voor de praktijk zou dit betekenen dat als kental voor het geïnstalleerde vermogen voor ringen met een kleine hydraulische straal ($< 1,5$ m) geen 2 W/m^3 maar $3 - 4 \text{ W/m}^3$ gehanteerd zou moeten worden.

Mee-/ tegenstroom (Figuur 9)

Onder meestroom wordt bedoeld dat de stroomrichting in twee opeenvolgende ringen hetzelfde is. Bij tegenstroom is de stromingsrichting in twee opeenvolgende ringen tegenovergesteld.

In 50% van de onderzochte situaties is voor tegenstroom gekozen. De overige situaties zijn in meestroom uitgevoerd.

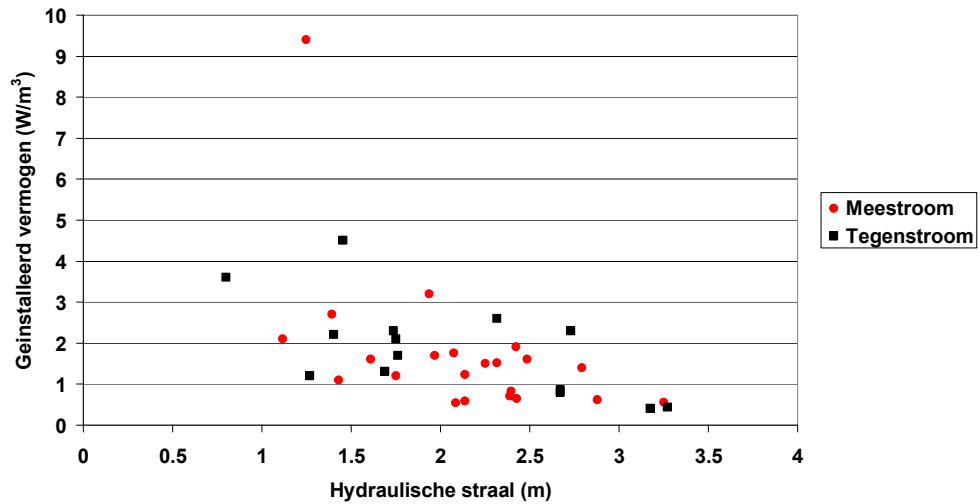
FIGUUR 9



Door te kiezen voor meestroom zou het te installeren vermogen van de voortstuwers lager moeten zijn. In figuur 10 is het geïnstalleerde vermogen wederom uitgezet tegen de hydraulische straal van de ring. Voor de ringen is onderscheid gemaakt in ringen die in mee- of tegenstroom zijn ontworpen.

FIGUUR 10

GEÏNSTALLEERD VERMOGEN VOORTSTUWERS AFHANKELIJK VAN DE GEOMETRIE VAN DE RING
(HYDRAULISCHE STRAAL) VOOR RINGEN IN MEE- EN TEGENSTROOM



Uit figuur 10 blijkt geen duidelijk verschil in het geïnstalleerde vermogen bij een vergelijking van ringen in mee- en tegenstroom. Het vermogen van de voortstuwcr is ook afhankelijk van het type beluchting.

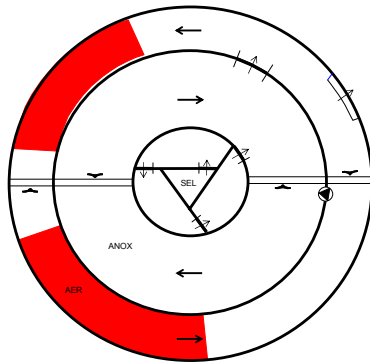
Uitgaande van een praktijksituatie is vastgesteld dat de benodigde stuwkracht in twee opeenvolgende ringen bij meestroom ten opzichte van tegenstroom circa 15 % lager is.

Locatie beluchtingsvelden (Figuur 11)

Uit de inventarisatie blijkt dat de beluchtingvelden zodanig zijn gesitueerd dat er voor en na de voortstuwcr voldoende vrije ruimte aanwezig is. De vrije ruimte stroomopwaarts en stroomafwaarts van de voortstuwcr is altijd meer dan 1 x de beenbreedte van de reactorring.

In die gevallen waar er voldoende ruimte is om de beluchtingselementen te plaatsen bedraagt de vrije ruimte voor en achter de voortstuwcrs circa 2 x de beenbreedte.

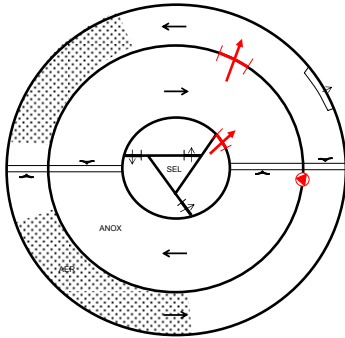
FIGUUR 11



Omloopverstoringen door recirculatie- en uitgaande stromen (Figuur 12)

Als het debiet van een uitgaande stroom ten opzichte van het doorstroomdebiet in een reactorring groot is, treden er omloopverstoringen op. Op de locatie van de uitgaande stroom treedt er in de reactorring expansie op. Expansie (en contractie) leiden tot energieverliezen waarvoor ten aanzien van het te installeren vermogen van de voortstuwcrs zou moeten worden gecompenseerd.

FIGUUR 12

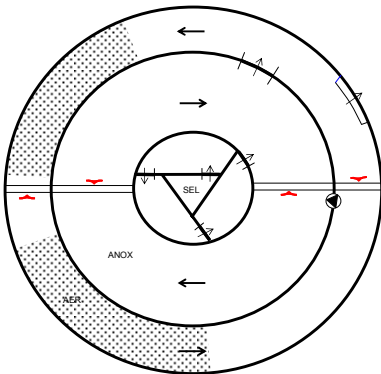


Uit de inventarisatie blijkt dat bij procesconfiguraties met een hoge recirculatie stroom 'zwakke' gebieden ontstaan. Ten opzichte van het doorstroomdebiet in de reactorring wordt er dan relatief veel naar de andere reactorring verpompt. In hoofdstuk 3 wordt hier nader op ingegaan.

Locaties voortstuwers (Figuur 13)

De locatie van de voortstuwers wordt niet op basis van een procesoptimalisatie gekozen. De ingaande stroom wordt zowel voor als achter de voortstuwers ingevoerd. De mogelijke locatie van de voortstuwers wordt bepaald door de ligging van de brug. Indien voor de bereikbaarheid vanuit beheer en onderhoud een rechte brug over de gehele beluchtingsreactor wordt geclaimd tijdens het ontwerp worden de mogelijke locaties voor het plaatsen van de voortstuwers al vastgelegd, zodat een keuze om een voortstuwer voor of achter de ingaande stroom te situeren niet meer mogelijk is.

FIGUUR 13



2.3 LEVERANCIERS

2.3.1 ALGEMEEN

Drie leveranciers van voortstuwers, mixers en beluchtingselementen hebben bijgedragen aan de navolgende inventarisatie.

2.3.2 RESULTATEN INVENTARISATIE

In tabel 2 zijn de belangrijkste resultaten van de inventarisatie weergegeven.

TABEL 2 RESULTATEN INVENTARISATIE LEVERANCIERS

Vraag	KSB	ITT FLYGT	ABS
Samenwerking met andere leveranciers	Ja, voor een goede afstemming beluchting/voortstuwung	Nee, kennis ten aanzien van bodembeluchting is bij leverancier aanwezig	Nee, kennis ten aanzien van bodembeluchting is bij leverancier aanwezig
Benodigde gegevens	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrie van de verschillende ringen; • Geometrie in- en uitlaatconstructies • Fysische gegevens medium • Vereiste omloopsnelheid • Locatie beluchtingsvelden • Maximale beluchtingscapaciteit 	<ul style="list-style-type: none"> • Gegevens om hydraulische weerstand van wanden, obstakels, recirculatie voorzieningen en bochten te kunnen bepalen; • Gegevens om dynamisch weerstand van beluchtings/systeem te kunnen bepalen; • Stromingsrichting; • Vereiste omloopsnelheid • Gegevens om dynamische weerstand van in- en uittredende stromen te kunnen bepalen 	
Welke regels worden gehanteerd	<ul style="list-style-type: none"> • Voldoende afstand tussen voortstuwars en beluchtingsvelden (2 x beenbreedte ring); • Voldoende afstand van/tot aanvoer, afvoer recirculatiepompen • 'Hart-op-hart' afstand propellers • Hoekinstelling • Tipafstand tot wand of andere obstakels • Ashoogte vanaf de vloer • Aantal te plaatsen voortstuwars 	<ul style="list-style-type: none"> • Voldoende afstand tussen voortstuwars en beluchtingsvelden (2 x beenbreedte ring); • Toevoerstromen zo situeren dat door de propellerjet van de voortstuwars een goede inmenging gewaarborgd is 	

Zowel KSB als Flygt geven aan dat zo veel mogelijk informatie in de besteksfase moet worden aangeleverd. Bepaalde aannames kunnen leiden tot verschillende aantallen en type geselecteerde mengers en/of voortstuwars. De gebruikte aannames voor de keuze zouden volgens de leveranciers door de opdrachtgever moeten worden getoetst.

Flygt geeft aan dat belangrijk is te weten welke stromen en beluchtingscapaciteiten tegelijkertijd kunnen optreden

De benodigde stuwkracht wordt vaak bepaald aan de hand van een worst case situatie waarbij sprake is van maximale weerstandsfactoren (hoge k-factor).

2.4 ADVISEURS

In tabel 3 zijn de reacties van de deelnemende adviseurs samengevat.

TABEL 3 REACTIES VAN DE DEELNEMENDE ADVISEURS OP DE VRAGENLIJST

Vraag	DHV	Witteveen + Bos	Royal Haskoning	Tauw
Standaard configuratie	Nee	Nee	Nee	Nee
Relatie rondbouw/ configuratie	Nee	Nee	Bij nieuwbouw in principe rondbouw	Nee, in principe rondbouw
Invloed piekvracht op ontwerp	Beluchtingscapaciteit Pomp A	Beluchtingscapaciteit	Beluchtingscapaciteit Feed forward beluchtingsregeling	Beluchtingscapaciteit Feed forward beluchtingsregeling
Bepaling recirculatiecapaciteit	N- massabalans	N- massabalans	N-massabalans	N-massabalans
Berekening stuwkracht	Op basis stuwkrachtformule voor omloopsystemen	Door leverancier	Door leverancier	Samen met leverancier
Regels locatie beluchtingsvelden	<ul style="list-style-type: none"> • Technologische voorwaarden • Hydraulische voorwaarden • Locatie voortstuwers 	<ul style="list-style-type: none"> • Recirculatie vrij van O₂ • Voortstuwers vrij van bellen; • Vermijden van kortsluitstromen 	<ul style="list-style-type: none"> • Goede beluchting in laatste deel aërobe reactor; • O₂ conc.op locatie recirc.-pompen max. 0.5 mg/l • Voldoende ruimte voor en achter voortstuwers (min. 1 x beenbreedte) 	Tussen beluchtingsveld en voortstuwert tenminste 1 x beenbreedte, bij voorkeur 2 x beenbreedte
Minimale beenbreedte	2 m; als $v > 0,25$ m/s door hoge debieten is geen voortstuwning nodig dan ook < 2 m	Geen standaard waarde	1,9	1,5
Bepaling waterdiepte	<ul style="list-style-type: none"> • Afweging van civiel/technische (bemaling) en energetische aspecten • Prefab bouw 	<ul style="list-style-type: none"> • Afhankelijk van ruimte en bemaling; • Hydraulisch profiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Afweging van civieltechnische (bemaling) en energetische aspecten 	<ul style="list-style-type: none"> • Afweging van civieltechnische (bemaling) en energetische aspecten
Afwisselend onder/boven doorlaten	Ja	Ja	Niet altijd**	Ja
Dimensionering doorlaten	$V > 0,5$ m/s	<ul style="list-style-type: none"> • Acceptabel hydraulisch verlies; • toelaatbaar "gat" in constructie tankwand 	<ul style="list-style-type: none"> • $V > 0,3$ m/s en maximaal 1 m/s 	<ul style="list-style-type: none"> • Maximaal hydraulisch verlies van 5 cm
Mee/tegenstroom	Meestroom	Meestroom	Meestroom	Tegenstroom

** Bij BCFS[®] kunnen wissel en aëroob beiden overlaten zijn. Indien een goede menging van de ingaande stromen is gewaarborgd wordt ook van onder/boven filosofie afgeweken.

Het berekenen van de benodigde stuwkracht wordt met uitzondering van DHV uitbesteed aan de leveranciers.

Opvallend is dat door drie van de vier adviseurs wordt aangegeven dat in het ontwerp wordt uitgegaan van een continue afwisseling van boven- en onderdoorlaten. Bij een vergelijking van de onderzochte RWZI's bleek dit niet het geval te zijn (zie bijlage 1).

De minimale beenbreedte is afhankelijk van het benodigde volume van het procesonderdeel en de geometrie van de benodigde voortstuwers. De gehanteerde minimale beenbreedte varieert van 1.5 tot 2 m. In de praktijk is zelfs een ring met een beenbreedte van 1.3 m gerealiseerd (RWZI Hessenpoort).

2.5 EVALUATIE INVENTARISATIE

Hierna worden de belangrijkste conclusies van de inventarisatie samengevat:

- Er is geen uniformiteit in het ontwerp van ronde reactoren.
- Er zijn naast de bekende problemen op 3 locaties geen nieuwe locaties genoemd, waar problemen ten aanzien kortsluitstromen zijn gesignaleerd. Overigens is bij een aantal van de genoemde locaties de definitieve oorzaak nog onduidelijk.
- Optimalisatie van het te installeren vermogen en locaties van de voortstuwings apparaten lijkt mogelijk.
- Er ontbreekt een standaard voor het bepalen van de gemiddelde stroomsnelheid.
- Er moeten in het bestek meer gegevens beschikbaar worden gesteld.

2.6 RESULTATEN WORKSHOP

Tijdens de workshop zijn de ontwerprichtlijnen voor voortstuwings apparaten (zie hoofdstuk 1) en de resultaten van de inventarisatie gepresenteerd (zie voorgaande paragrafen). Tijdens de workshop zijn door de deelnemers een aantal cases uitgewerkt, waarbij in groepsverband een indeling van een beluchtingreactor werd uitgewerkt. Tijdens de plenaire discussie is een aantal bevindingen geformuleerd die hieronder in willekeurige volgorde zijn samengevat:

- Omloopverstoringen in een reactorring komen regelmatig voor en leiden tot energieverlies. De mate van energieverlies en het effect op de effluentkwaliteit zijn onbekend.
- Het type overlaat lijkt niet bepalend voor de mate van de omloopverstoring. Alle overlaten zijn onvolkomen.
- Kortsluitstromen zijn niet alleen visueel aan het oppervlak vastgesteld maar ook onderin de ring (tijdens de bepaling van de omloopsnelheid bleek dat de stromingsrichting onderin de reactorring ten opzichte van de stromingsrichting boven in de reactorring tegenovergesteld was).
- Dichtheidsstromingen van biomassa zijn altijd aanwezig.
- Meestroom of tegenstroom tussen opeenvolgende reactorringen lijkt voor de effluentkwaliteit van de RWZI niet van belang. De keuze tussen mee- of tegenstroom is wellicht wel belangrijk ten aanzien van energieverliezen. Obstakels in reactorringen moeten zoveel mogelijk worden vermeden.
- Er is tot op heden onvoldoende informatie om het effect van omloopverstoringen te bepalen.
- De technologische richtlijn om per reactorring zoveel mogelijk een hele ronde af te leggen kan tegenstrijdig zijn met bovenstaande twee bevindingen.
- De k-factor (weerstandsfactor) is onder andere afhankelijk van de beluchting (belasting en belgrootte) en de omloopsnelheid. Door de verdeling van de beluchtingselementen aan de binnen- en buitenkant van de ring te optimaliseren kan een gelijkmatig snelheidpatroon over de beenbreedte worden gecreëerd.
- In de praktijk blijkt op één RWZI, waar de aërobe reactor is uitgevoerd als een brede ring met plaatbeluchting, de k-factor niet meetbaar toe te nemen bij inbedrijfname beluchting. De voortstuwingsnelheden variëren niet of nauwelijks.
- Bij het ontwerp van het vermogen van de voortstuwings apparaten is het van belang te bepalen wat het aandeel is van de voortstuwings apparaten op het totale energieverbruik van de RWZI. Dit aandeel bepaalt de mate van de mogelijke energieoptimalisatie.
- De ingaande stroom moet, ten behoeve van een goede menging, bij voorkeur stroomopwaarts van de voortstuwer worden ingevoerd.
- Een uitgaande stroom moet bij voorkeur stroomafwaarts van de voortstuwer na het "pomphuis" worden afgevoerd ten behoeve van een minimalisatie van het te installeren vermogen van de voortstuwings apparaten.

Alle deelnemers aan de workshop waren het erover eens dat met behulp van Computation Fluid Dynamics² (CFD) modellering de invloed van de verschillende factoren op het stromingsgedrag in ronde reactoren kan worden vastgesteld. Op basis van bovenstaande bevindingen zijn er daarom een aantal onderzoeksaspecten geselecteerd, die met behulp van CFD modellering nader zijn onderzocht (hoofdstuk 4). Het gaat daarbij om de volgende onderzoeksaspecten:

- De invloed van het pomphuseffect en de locatie van de in- en uitgaande stromen in een reactorring. Met behulp van CFD modellering is vastgesteld of door een optimalisatie van de locatie van de voortstuwars naast een betere inmenging ook een beperking van het te installeren vermogen van de voortstuwars mogelijk is. Hierbij zijn ook mogelijke kortsluitstromen bepaald.
- Het effect van het type beluchtingselementen en de luchtbelasting. Hierbij is de inzet van schotelementen of plaalementen op het benodigde vermogen van de voortstuwars vergeleken.
- De invloed van de verhouding doorstroomdebiet in de reactorring na een uitgaand debiet ten opzichte van het doorstroomdebiet voor deze uitgaande stroom (zogenaamde 70% regel). Hierbij kunnen zwakke gebieden ontstaan met een verhoogde kans op terugstroming.
- Het effect van mee- en tegenstroom in opeenvolgende reactorringen. Met CFD modellering is het belang van tegenstroom in verband met het menggedrag onderzocht. Op basis van de resultaten is vastgesteld of tegenstroom noodzakelijk is of niet.

² Computation Fluid Dynamics (CFD) is een krachtig software instrument waarmee onder andere het gedrag van vloeistofstromen in reactoren inzichtelijk kan worden gemaakt. Hierbij worden stromingscondities van vloeistofdeeltjes beschreven met Navier-Stokes vergelijkingen. De vergelijkingen vormen de basis voor de hedendaagse stromingsleer. Belangrijke elementen in deze vergelijkingen zijn de dichtheid van het vloeistofdeeltje, het volume, de snelheid, het oppervlak, de kracht op de deeltjes en de drie dimensionale richting. Op elke locatie in een reactor kan de dynamische toestand van een vloeistofdeeltje via numerieke oplossingsmethodes in CFD worden berekend en gevisualiseerd. Voor elke locatie van een deeltje geldt de wet van behoud van massa, niet samendrukbaarheid en beïnvloeding van de omgevingsdeeltjes. Voor aanvullende informatie wordt verwezen naar: www.fluent.com.

3

VOORTSTUWING IN THEORIE EN PRAKTIJK

3.1 INTRODUCTIE

In dit hoofdstuk worden de vigerende ontwerprichtlijnen en aandachtspunten van de keuze van het type en de locatie van de voortstuwer in de reactorring beschreven. Voor de hydrodynamische grondslagen wordt verwezen naar bijlage 2.

In de meeste RWZI's in Nederland is rondbouw gecombineerd met bellenbeluchting. Ook de keuze voor het type bellenbeluchting heeft consequenties voor het type en de locatie van de in te zetten voortstuwer(s).

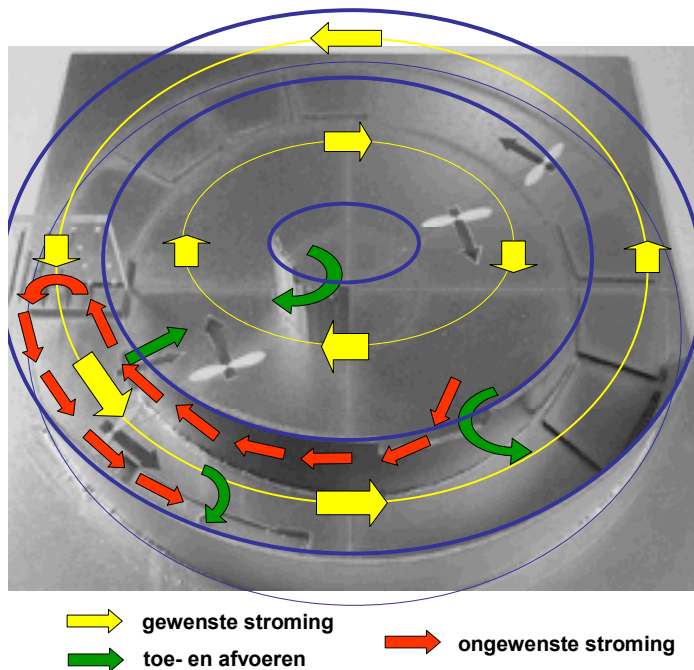
Het doel van een voortstuwer is mengen en het creëren van een horizontale stroomsnelheid in een reactorring om bezinking van het actief-slibmengsel te voorkomen. Een bijkomend voordeel is een rendementsverhoging van de bellenbeluchting. De bellen gaan bij een horizontale snelheid van het actief-slibmengsel niet recht omhoog, maar buigen mee in de richting van de horizontale stroom, coalesceren minder tot grotere bellen en leggen in dezelfde tijd een iets langere weg af door het water voordat ze aan het oppervlak in de lucht verdwijnen. Kleinere bellen en een langere verblijftijd in het water betekenen een hogere zuurstofoverdracht. Bij een gemiddelde horizontale snelheid bovenin de reactor van ca. 0,25 – 0,30 m/s bezinkt het actief-slibmengsel niet.

Bij de RWZI's in rondbouw treden in een aantal praktijksituaties onbekende effecten op ten aanzien van het menggedrag en stroomrichting van het actief-slibmengsel op. Er zijn situaties bekend waarbij het actief-slibmengsel in een nieuwe reactorring niet met de stroomrichting mee loopt, maar in tegenstroom naar de overstort stroomt, zodat een kortsluitstroom optreedt (zie figuur 14).

In de navolgende paragrafen wordt eerst de theorie voor de voortstuwing, beschreven, en komen de weerstandsverliezen in een reactorring aan de orde. Daarna volgen enkele ervaringen uit de praktijk. Tot slot worden op basis van de theorie en praktijk de huidige kwalitatieve en/of kwantitatieve ontwerprichtlijnen voor een voortstuwer weergegeven.

FIGUUR 14

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN MOGELIJK KORTSLUITSTROOM



3.2 ALGEMENE THEORETISCHE BESCHOUWING

In een reactorring geldt in principe de wet van Bernoulli (zie bijlage 2). De wet van Bernoulli geldt als er sprake is van statische energiecondities. In de praktijk heersen in een reactorring echter dynamische condities. Steeds als het water de voortstuwer passeert, wordt door de ingebrachte energie de energiehoogte (H) met Δh verhoogd. Ook de introductie van lucht bij het beluchtingpakket draagt bij tot een verhoging van de energiehoogte (H). De totale verhoging dient in evenwicht te zijn met de hydraulische drukverliezen in de ring (kanaal). De snelheid neemt net zo lang toe, totdat de verliezen door wrijving, obstakels etc. zo groot zijn, dat de optelsom gelijk is aan de extern ingebrachte energie.

In een reactorring van een RWZI is dus sprake van energiewinst door de inzet van voortstuw-ers. Er ontstaat energieverlies door:

- Wrijvingsverliezen door wanden en de bodem.
- Bochtverliezen.
- Hydraulische snelheidsverliezen door contractie en expansie voor en na het beluchtingpakket.
- Omdraaiing van de stroomrichting (en snelheid) van het water komend van de ene reactorring in de volgende reactorring.
- In- en uitstroomverliezen door overstorten van de ene reactorring naar de andere reactorring.
- Snelheidsverliezen (contractie en expansie) en toenames in de richting van de hoofdstroom door het kanaal door in- en uitlaten.
- Wrijvingsverliezen bij openingen tussen twee ringen waar het water in tegengestelde richting loopt (tegenstroom).

3.3 BENODIGDE THEORETISCHE CAPACITEIT VOORTSTUWERS

De vergelijking voor de berekening van de benodigde stuwkracht in een reactorring luidt:

$$F_{\text{stuwkracht}} = \frac{v^2}{2} \times A_{\text{kanaal}} \times k_{\text{totaal}} \times \rho \quad (3.1)$$

Waarbij:

$F_{\text{stuwkracht}}$	benodigde stuwkracht in de reactorring (s) (N = kg.m/s ²)
v	gewenste omloopsnelheid in de reactorring (m/s)
A_{kanaal}	natte oppervlakte (m ²)
K_{totaal}	weerstandscoefficiënt (-)
ρ	soortelijke dichtheid medium (kg/m ³)

K_{totaal} is hierbij de opsomming van de verschillende weerstandsverliezen. De weerstandsverliezen zijn afhankelijk van de bouwwijze van de reactorring en de eventuele aanwezige beluchttingsconfiguratie. De afleiding van formule (3.1) komt aan de orde in 3.5.

Een voortstuwer is een axiale propellerpomp zonder pomphuis. De hoeveelheid water welke verpompt wordt, is afhankelijk van het toerental en diameter van de propeller van de voortstuwer. Hiervoor geldt de volgende relatie:

$$Q_{\text{stuwkracht}} = n \times D^3 \quad (3.2)$$

Waarbij :

$Q_{\text{stuwkracht}}$	verpompt debiet (m ³ /s)
n	toerental propeller (1/s)
D	diameter propeller (m)

Uit deze vergelijking kan worden afgeleid dat een langzaam draaiende grote propeller (grote diameter) een veel grotere opbrengst geeft dan een sneldraaiende kleine propeller (kleine diameter).

Voor de bepaling van de stuwkracht van een voortstuwer geldt de volgende vergelijking (zie ook figuur 15):

$$F_{\text{voortstuwer}} = Q_{\text{voortstuwer}} \times \rho \times (v_2 - v_1) \quad (3.3)$$

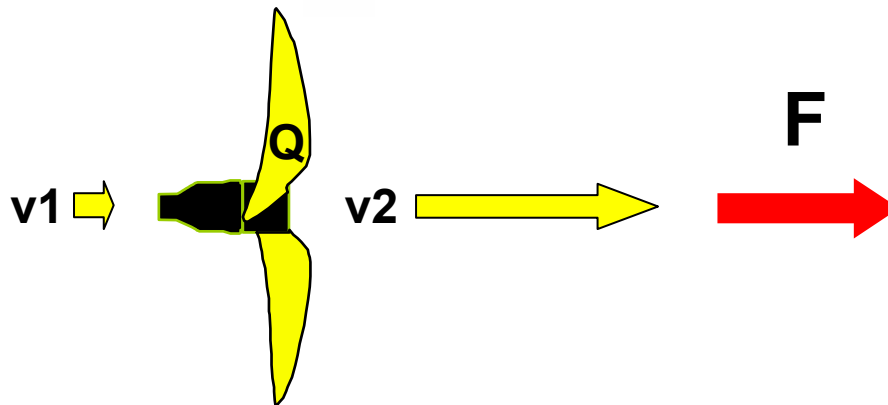
Waarbij:

$F_{\text{voortstuwer}}$	stuwkracht voortstuwer (N= kg.m/s ²)
ρ	soortelijke dichtheid medium (kg/m ³)
v_1	lokale snelheid vlak voor de voortstuwer (m/s)
v_2	gewenste snelheid na de voortstuwer (m/s)
$Q_{\text{voortstuwer}}$	debiet voortstuwer (m ³ /s)

De benodigde stuwkracht van een voortstuwer $F_{\text{voortstuwer}}$ dient dus gelijk te zijn aan $F_{\text{stuwkracht}}$.

FIGUUR 15

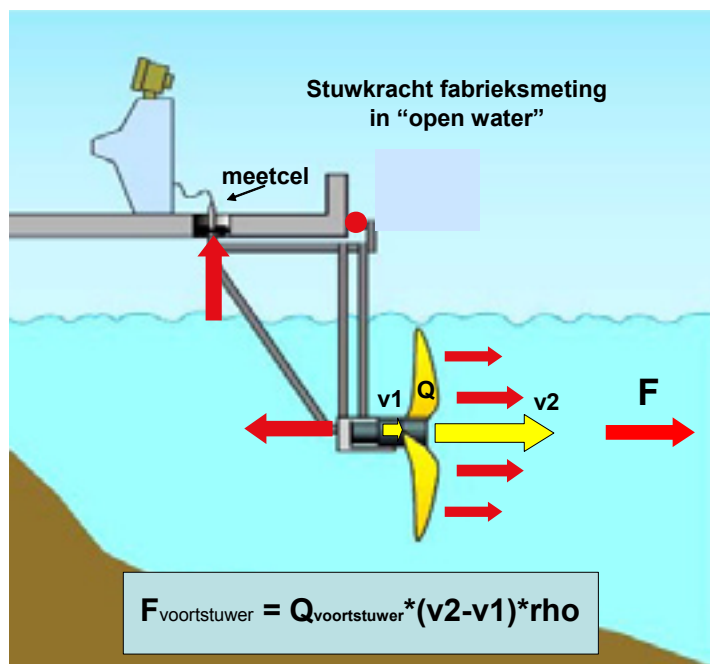
SCHEMATISCH WEERGAVE VAN VERGELIJKING 3.3



De voortstuwer levert een kracht die nodig is om een hoeveelheid water van een bepaalde dichtheid van snelheid v_1 naar snelheid v_2 te brengen. Voor een zuivere meting van de stuwkracht wordt de voortstuwer in open stilstaand water gehangen en de tegendruk met behulp van een druksensor exact gemeten (zie figuur 16).

FIGUUR 16

SCHEMATISCHE WEERGAVE MEETOPSTELLING STUWKRACHT VOORTSTUWER



Uit bovenstaande blijkt dat voor de bepaling van de stuwkracht van een voortstuwer een geavanceerde meetopstelling nodig is. De stuwkracht van een voortstuwer wordt door de leveranciers bepaald. Voor de berekening van de benodigde stuwkracht in een reactorring is vergelijking 3.1 van belang.

3.4 VOORTSTUWING IN EEN REACTORRING

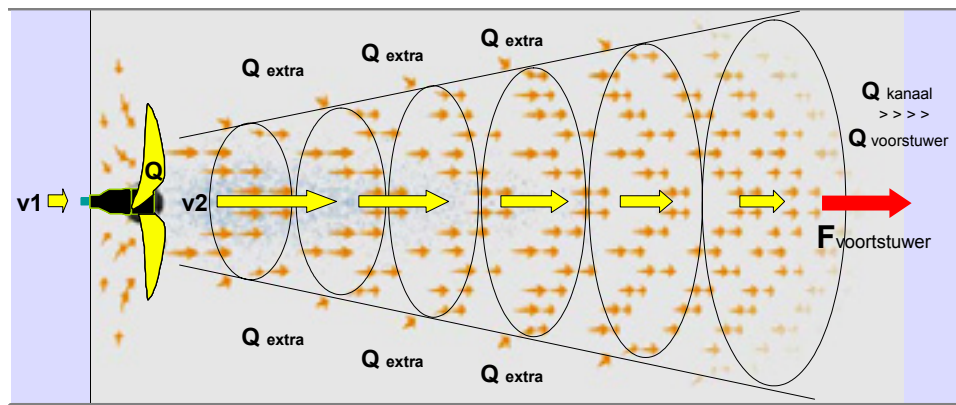
In figuur 17 wordt uitgegaan van een voortstuwert in een bijna rechthoekig kanaal, de diepte is iets hoger dan de breedte. Als we de voortstuwert vanaf de bovenkant bekijken (horizontale doorsnede), dan zien we dat de plaatselijke snelheid v_2 langzaam uitwaaiert, lager wordt en op een bepaald moment “opgesloten” wordt door de wanden. De snelheid is nu gelijkmatig verdeeld over de breedte (wandeffecten worden ter vereenvoudiging niet meegenomen).

v_1 is de gemiddelde snelheid over de gehele doorsnede. De voortstuwert verhoogt de snelheid naar v_2 in het midden en aangezien water niet samendrukbaar is, wordt v_1 weer bereikt na het afmaken van het fictieve pomphuis. Aan de buitenkant van de “stuwstraal” treden wervelingen op die zorgen voor een wateraanvulling. Het pomphuis wordt hierbij gevormd door een gedeelte van het kanaal. Bovengenoemd verschijnsel wordt het “pomphuiseffect” genoemd.

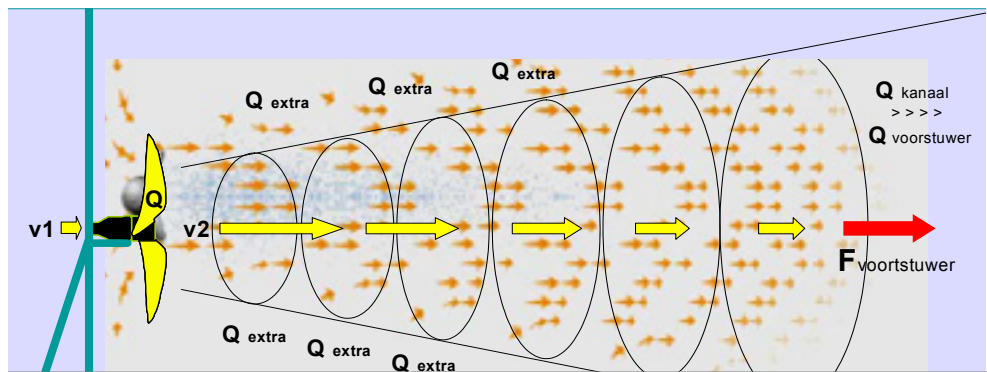
FIGUUR 17

HORIZONTALE EN VERTICALE DOORSNEDE VAN EEN RING

HORIZONTALE DOORSNEDE



VERTICALE DOORSNEDE



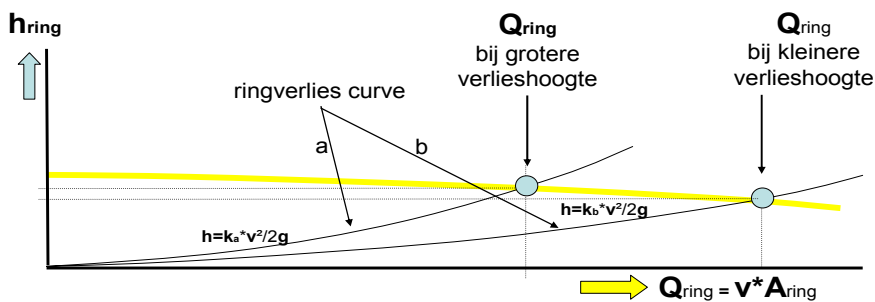
In figuur 17 is ook de verticale doorsnede van de situatie weergegeven. In vergelijking tot de horizontale doorsnede is in de verticale doorsnede ongeveer het zelfde effect van het afmaken van het pomphuis te herkennen. Echter de hoogte van het reactorring is vrijwel altijd anders dan de breedte. Als men spreekt van opsluiting van het “pomphuis”, dan is dat zeker aan de onderkant bij de bodem, maar niet aan het oppervlak aan de orde. De kleine delta h aan het oppervlak komt nu tot stand. Ook hier treden wervelstromen op langs de zijkanten van het pomphuis.

3.5 Q – H KROMME VAN EEN VOORTSTUWER

Een voortstuwer is dus een axiale propellerpomp zonder pomphuis. De reactorring waarin de voortstuwer is geïnstalleerd neemt de functie van het pomphuis over. Bij een axiale pomp hoort een Q-H kromme. De pompcapaciteit is altijd afhankelijk van energieverlies (tegen-druk) welke opgewekt wordt door het debiet. Hoe hoger het energieverlies hoe kleiner het debiet (zie figuur 18. Q_{ring} in m^3/h).

Het energieverlies in een reactorring wordt veroorzaakt door verliezen genoemd in paragraaf 3.2. Deze energieverliezen zijn relatief laag vergeleken met de verliezen in een gesloten pomphuis zoals bij een normale pompleiding situatie. Na het verlaten van het “pomphuis” is een zeer flauwe Q-H kromme aanwezig.

FIGUUR 18 SCHEMATISCHE WEERGAVE Q-H KROMME BIJ EEN GROTERE EN KLEINERE VERLIESHOOGTE



Het totale energieverlies is weergegeven in de volgende vergelijking (zie ook bijlage 2 wet van Bernoulli)

$$h_{\text{verlies}} = k_{\text{totaal}} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (3.4)$$

Waarbij:

h_{verlies}	:	verlieshoogte in de reactorring (m)
k_{totaal}	:	weerstandsfactor, totaal (-)
v	:	omloopsnelheid in de ring (m/s)
g	:	valsnelheid (m/s^2)

De voortstuwer levert een stuwkracht die overeenkomt met de benodigde stuwkracht in de reactorring:

$$F_{\text{stuwkracht}} = P \times A \quad (3.5)$$

Waarbij:

$F_{\text{stuwkracht}}$:	stuwkracht ($\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$)
P	:	druk ($\text{N/m}^2 = \text{kg/m} \cdot \text{s}^2$)
A	:	oppervlakte dwarsdoorsnede ring (m^2)

Uit de vergelijking voor drukhoogte (zie vergelijking van Bernoulli, bijlage 2 volgt volgende relatie

$$P = \rho \times g \times h_{winst} \quad (3.6)$$

waarbij:

P	:	druk (N/m ²)
ρ	:	dichtheid (kg/m ³)
g	:	valsnelheid (m/s ²)
h_{winst}	:	drukhoogte (m)

Uit vergelijking 3.5 en 3.6 volgt:

$$F_{stuwkracht} = \rho \times g \times h_{winst} \times A \text{ ofwel } h_{winst} = \frac{F}{\rho \times g \times A} \quad (3.7)$$

Als het geheel in evenwicht is, is $h_{winst} = h_{verlies}$ dan geldt dus volgende vergelijking (zie vergl 3.4 en 3.7):

$$\frac{F}{\rho \times g \times A} = k_{totaal} \times \left(\frac{v^2}{2g} \right) \text{ ofwel } F_{stuwkracht} = \left(\frac{v^2}{2} \right) \times A_{kanaal} \times k_{totaal} \times \rho \quad (3.8)$$

Uit de laatste vergelijking volgt dat de bepalende factoren voor de weerstand en benodigde kracht voornamelijk zijn: de horizontale snelheid, de dwarsdoorsnede van de reactorring en de totale hydraulische verliezen.

3.6 SPECIFIEKE WEERSTANDSFACTOREN

Hieronder volgen de specifieke weerstandsfactoren die kunnen optreden in een reactorring. Het totale hydraulische verlies wordt beschreven met vergelijking 3.4, waarbij de weerstandsfactor k een optelsom is van de specifieke verliezen.

3.6.1 K - RING

Deze factor wordt veroorzaakt door de wrijving langs de wanden en de bodem.

De hoogte van de weerstand is afhankelijk van de breedte-diepteverhouding (ofwel de hydraulische straal) van de ring en van de ruwheid van het natte oppervlakte. Deze weerstand per strekkende meter doorsnede kan met de lengte vermenigvuldigd worden, mits het ring gelijkvormig blijft en de ruwheid van de wanden overal gelijk is. In de praktijk komt dit echter nauwelijks voor.

De ruwheid is een direct gevolg van de bouwwijze zoals prefab elementen, gladheid van de ter plekke gestorte beton bekisting, ribbels, elementverbindingen, uitstekende scharnier- en spanvoorzieningen en betonafwerking. Bij sommige prefab-bouwwijzen zijn de elementverbindingen uitgevoerd als uitstulpingen (nokken) die aanzienlijk kunnen bijdragen aan de toename van de weerstand.

3.6.2 K - BOCHTVORM

De k-bochtvorm is afhankelijk van drie factoren.

A_1) de totale hoek, deze is bij een ring altijd 360 graden. De waarde voor deze weerstandsfactor bedraagt dan circa 1,4;

B_1) de verhouding van de straal van de ring en de natte doorsnede van de ring. Bij een waarde van 0,5 van de genoemde verhouding hoort een weerstandsfactor van circa 1,2. De waarde daalt exponentieel tot een waarde van circa 0,2 bij een verhouding van circa 1. Vanaf een verhouding $> 1,3$ bedraagt de weerstandsfactor circa 0,18;

C_1) de verhouding waterhoogte (h) en breedte van de ring (b). In tabel 4 is bij verschillende verhoudingen de weerstandsfactor gegeven.

TABEL 4 WEERSTANDSFACTOR C_1 BIJ VERSCHILLENDE VERHOUDINGEN VAN DE WATERHOOGTE (H) TEN OPZICHTE VAN DE RINGBREEDTE (B)

h/b	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
C_1	1,30	1,17	1,09	1,00	0,90	0,85	0,85	0,90	0,95	0,98	1,00	1,00

Bij een hoge smalle ring ($h/b > 5$) is C_1 circa 1. Bij een platte brede ring ($h/b < 0,5$) is $C_1 >$ dan 1.

De totale weerstandsfactor (k) van de bochtvorm is dan:

$$k_{\text{bocht}} = A_1 \times B_1 \times C_1 \quad (3.9)$$

3.6.3 K-OBSTAKELS

Deze weerstandsfactor betreft de weerstand ten gevolge van de aanwezigheid van obstakels (C_w waarde) in de reactorring, recirculatie pompen, leidingen van recirculatie pompen, instroombakken etc.). Hierbij moet ook de weerstand van de luchtleidingen en de beluchtingpakketten worden gerekend wanneer geen lucht in de betreffende ring (facultatief anoxisch/aërobe ring) wordt gevoerd. Dit betreft valleidingen, headers, distributieleidingen, ondersteuning c.q. beugels, de beluchtingelementen en ontluchtingleidingen.

3.6.4 K-CONTRACTIE-EXPANSIE

Deze weerstandsfactor treedt iedere keer op als er sprake is van een toe- of afvoer naar een andere ring. De "doorgaande" stroom is vaak vele malen groter dan een zijstroom. Toch treedt het effect op van een soort T-aansluiting. Bij een toevoer uit een andere ring wordt de doorgaande hoofdstroom enigszins ingesnoerd (de contractie). Daarna herstelt zich deze stroom inclusief menging tot de volledige doorsnede. Bij zijdelingse afvoer naar de volgende ring treedt expansie op en verkleining van de snelheid.

3.6.5 K-OMKEERVERLIEZEN

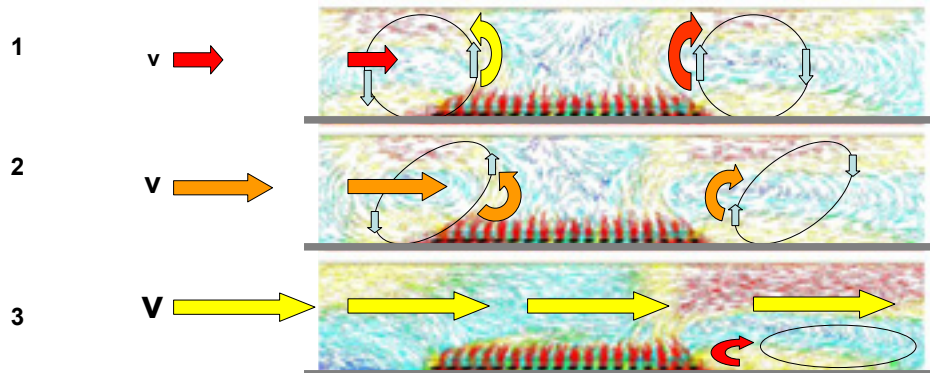
Deze weerstandsfactor treedt op wanneer opeenvolgende reactorringen in tegenstroom zijn gesitueerd. Vaak worden omwille van een goede menging in twee aan elkaar grenzende kanalen voor tegengestelde stroomrichting gekozen. Uiteraard dient de energie ingebracht te worden om enerzijds het effect van het stoppen van de waterstroom in de verlatende ring te overwinnen en dan weer de energie te leveren om de stroomsnelheid in de andere richting te produceren.

3.6.6 K-BELUCHTING

In tegenstelling tot alle eerder genoemde k-factoren is de weerstandsfactor voor beluchting (k-beluchting) niet constant. Deze k-factor is omgekeerd evenredig met de horizontale stroomsnelheid. De toenemende horizontale energie (opgewekt door de voortstuwers) is in staat de verticaal gerichte energie, aan het begin en aan het eind van het beluchtingpakket, te overwinnen. De sterkte van de verticale energiestromen is afhankelijk van de luchtbelasting (Nm^3/h) en van de stijghoogte (m).

FIGUUR 19

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET STROMINGSGEDRAG VAN BELUCHTING BIJ VARIËRENDE HORIZONTALE SNELHEDEN



Bij de doorsnede 1 in figuur 19 is een geringe horizontale snelheid aanwezig ($< 0,2$ m/s). Het beluchtingpakket levert lucht die samen met het actief-slibmengsel naar het oppervlak opstijgt omdat het soortelijk gewicht van het actief-slibmengsel en de lucht lager is dan de omgeving. Dit water wordt van onder weer aangevuld met actief-slibmengsel respectievelijk van de voorkant of de achterkant, bij ringen met schuine wanden ook aan de zijkanten. Hierdoor ontstaan ronddraaiende spiraalstromen.

Deze geven een natuurlijke horizontale weerstand tegen water dat rechtdoor wil en (deels) meegenomen wordt met de ontstane stromen. De bellen coalesceren tot grotere bellen welke vanwege hun diameter nog sneller opstijgen ("bellenscherm"). De zuurstofoverdracht zal hierdoor afnemen omdat de bellen in plaats van verticaal op te stijgen met de stroom worden meegenomen. Aan de voor- en de achterkant van de pakketten ontstaan in deze situatie neren.

Bij doorsnede 2 in figuur 19 is de horizontale snelheid wat hoger ($0,2 - 0,25$ m/s). In figuur 19 is te zien dat bij een toenemende horizontale snelheid de spiraalstromen meer worden platgedrukt in de richting van de stroomrichting. Uiteindelijk verdwijnen de spiraalstromen aan de voorkant bij het begin van het pakket als de horizontale snelheid voldoende is verhoogd (zie doorsnede 3). De snelheid wordt in de hedendaagse praktijk zodanig gekozen dat geen spiraalstromen meer ontstaan ($0,25 - 0,35$ m/s).

Het bepalen van de juiste snelheid kan helaas nog niet worden berekend, omdat daarvoor de benodigde formules nog onvoldoende met metingen zijn onderbouwd.

Bij doorsnede 3 in figuur 19 is de horizontale snelheid hoger ($> 0,3$ m/s). Aan de achterkant van het beluchtingspakket is aan de bovenkant een hoge snelheid over de helft van de waterhoogte te herkennen, terwijl rechtsonder nog steeds een spiraalstroom te zien is. In dit geval vindt voor het pakket een contractie plaats, terwijl aan de achterkant een forse wandwrijving ontstaat. Nog verder van het pakket af vindt uiteindelijk expansie plaats zodat de snelheid zich weer over de volle dwarsdoorsnede verdeelt.

De k-factor van de beluchting is moeilijk in te schatten. Het kost moeite om de verticale luchtbrengenergie te doorbreken en om te buigen naar horizontale snelheid. Daarnaast zal ook de stijghoogte van de bellen, in mindere mate het vergroten van de bellen door coalescentie en het verlagen van het soortelijk gewicht een rol spelen.

Hierbij komt dat de hoeveelheid in te brengen lucht niet constant zal zijn, deze is afhankelijk van de zuurstofinbreng per tijdseenheid

Op basis van de doorsnede 1 en 2 in figuur 19 geldt een hoge k-factor bij de combinatie van een lage horizontale snelheid en/of een hoge luchtcapaciteit. Als daarentegen de spiraalstroom doorbroken wordt, zoals zichtbaar in doorsnede 3, is geconstateerd dat de k-factor een stuk lager wordt.

3.6.7 EVALUATIE WEERSTANDSFACTOREN

In tabel 5 is een weging gemaakt van de verschillende weerstandsfactoren. Het aantal plusjes is een maat voor de invloed van de betreffende weerstandsfactor ten opzichte van de andere weerstandsfactoren.

TABEL 5 WEGING VERSCHILLENDE WEERSTANDSFACTOREN

Weerstandsfactor	Interval richtwaarden
Ring/ hydraulische straal	+
Bochtvorm	++
Obstakels	++++
Contractie expansie	++
Omkeerverliezen	++++
Beluchting	++

3.7 PRAKTIJKERVARINGEN

3.7.1 VORMING POMPHUIS

Uit de praktijk is bekend dat stroomafwaarts van een voortstuwer “boven” de stuwstraal in het nog niet afgemaakte pomphuis spiraalstromen ontstaan die de verkeerde kant op gaan (zie figuur 20). Dit wordt verklaard door het feit dat de voortstuwer water aanzuigt om zijn jet te vormen met lokaal een hogere snelheid.

Verder zal na het punt waar het pomphuis is afgemaakt een kleine delta h verhoging optreden, waarbij het water naast de goede stroomrichting naar rechts ook de neiging zal hebben naar het lagere linkergebied te stromen (stroomopwaarts).

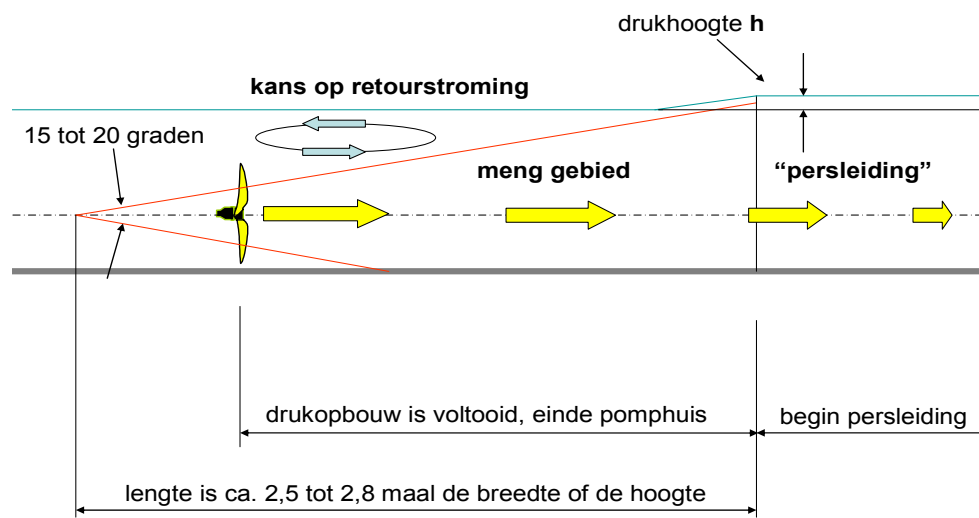
Uit praktische ervaringen blijkt dat de kegel van de “stuwstraal” een hellingshoek van 15 tot 20° heeft. De voortstuwer dient niet te laag te worden geïnstalleerd ten opzichte van de bodem.

In de zone na (stroomafwaarts) en net voor (stroomopwaarts) de voortstuwer moeten allerlei versturende elementen worden vermeden (zie figuur 20). Deze zone wordt gedefinieerd als de pomphuislengte. In het gebied stroomopwaarts van de voortstuwer zijn geen verstoringen gewenst omdat hier het water uit alle richtingen naar het hart van de voortstuwer wordt gezogen.

Uit de praktijk blijkt dat voor de lengte van de genoemde zone moet worden gerekend met 2,5 à 2,8 maal de hoogte of breedte van de ring, waarbij steeds de grootste afstand bepalend is. De inlaat van het pomphuis is dus relatief kort.

FIGUUR 20

OPBOUW POMPHUIS

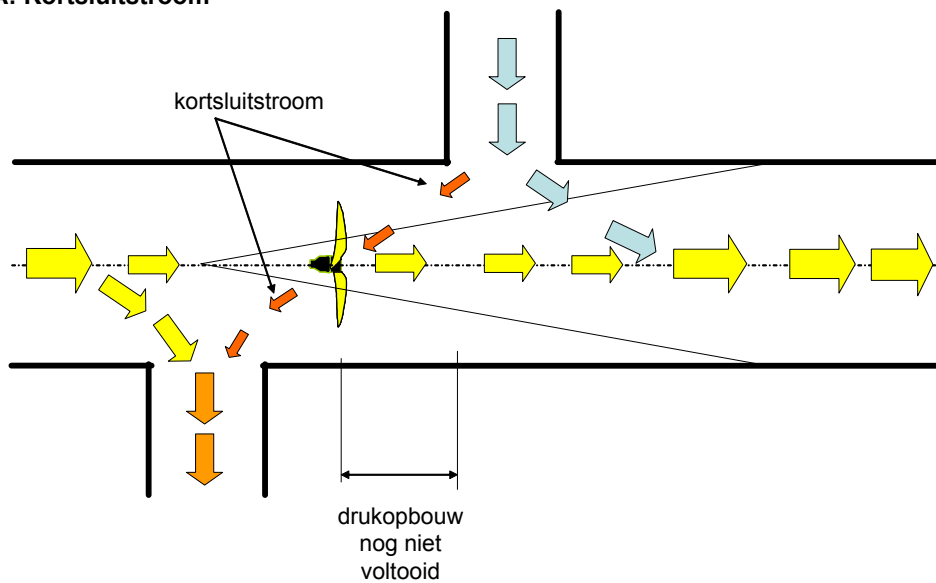
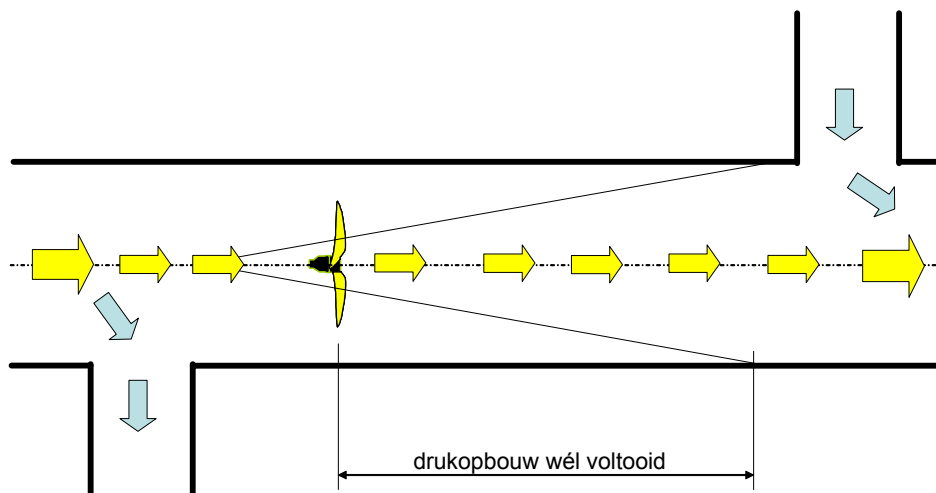


In de praktijk is gebleken dat er een lekstroom kan optreden van een stroom afkomstig uit een voorgaande reactorring die niet in de stroomrichting in de reactorring maar tegen de stroomrichting in naar de voortstuwer stroomt en vervolgens onbedoeld naar de overstort stroomt (kortsluitstroom). Het ontstaan van een kortsluitstroom is weergegeven in figuur 21A.

Om dit verschijnsel te voorkomen zou men dus de toevoer uit de voorgaande reactorring na het afmaken van het pomphuis moeten situeren (zie figuur 21B).

FIGUUR 21

SCHEMATISCHE WEERGAVE EFFECT VAN DE LOCATIE VAN EEN INGAANDE STROOM T.O.V. DE VOORTSTUWER

A: Kortsluitstroom**B: Geen kortsluitstroom**

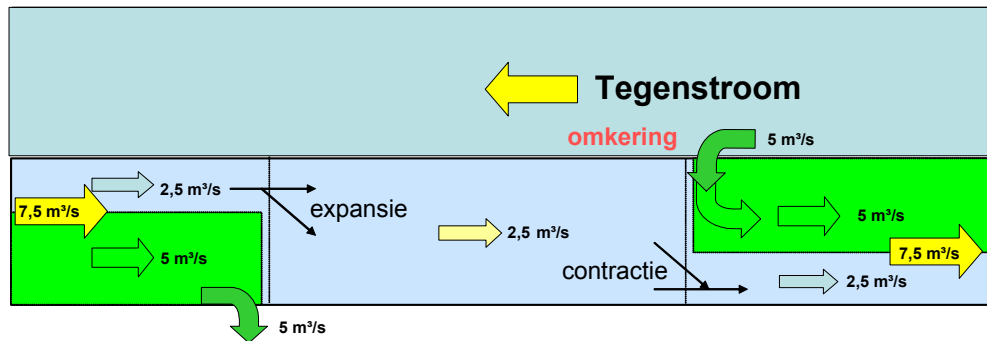
Dit geldt duidelijk aantoonbaar voor de invoer van water uit de voorgaande ring. In hoeverre dit effect ook geldt voor de afvoer en andere verstoringen in de directe nabijheid van de voortstuwer is niet bekend.

3.7.2 MEE- EN TEGENSTROOM

Mede vanwege diverse meningen over menging zijn de huidige ontwerpen ten aanzien van mee- en tegenstroom tot op heden niet eenduidig. Tegenstroom is geïntroduceerd in diverse procesconfiguraties om zo een betere menging in de navolgende reactorring te creëren. Het vermeende positieve effect van tegenstroom op het menggedrag is echter nooit onderzocht. Daarnaast in de vorige paragrafen reeds aangegeven dat de voortstuwer verantwoordelijk is voor de gewenste menging.

Het is duidelijk dat het meestroom-principe minder energie kost dan het tegenstroom-principe. Bij het tegenstroom-principe zal bij de toevoer bij de opening een deel van het water stilstaan en de doorgaande stroom in de ring flink worden ingesnoerd. In figuur 22 is een voorbeeld weergegeven waarbij de ingaande stroom 66% van het doorstroomdebiet in de ring bedraagt.

FIGUUR 22 VOORBEELD VAN EEN SITUATIE MET TEGENSTROOM WAARBIJ DE AANVOER 66% BEDRAAGT VAN HET OORSPRONKELIJKE DOORSTROOMDEBIET (BOVENAANZICHT)



In figuur 22 wordt de afgevoerde capaciteit voorgesteld als een ruimtegever aan de ring. De ruimte in de reactorring wordt even later weer verkleind door de toegevoerde capaciteit. In de ring ontstaat na de afvoer een expansie, terwijl vlak daarna door de toevoer een contractie ontstaat. In figuur 22 bedraagt de ingaande stroom circa 66% van het oorspronkelijke doorstroomdebiet en circa 200% van het doorstroomdebiet vlak voor de contractie. Deze verhoudingen komen in de praktijk voor. In figuur 22 is te zien dat na de afvoer het water veel meer ruimte krijgt. De capaciteit en de stroomsnelheid neemt in dit gebied duidelijk af. Na de contractie is de oude capaciteit weer hersteld.

De twee verschillende condities vlak na elkaar leiden tot een energieverlies die afhankelijk is van de mate van contractie en expansie.

Naast het krachtverschil door contractie en expansie moet bij tegenstroom de ingaande stroom worden omgekeerd. De kracht die voor deze omkering noodzakelijk is, is ook afhankelijk van de capaciteit van de ingaande stroom ten opzichte van de capaciteit van het doorstroomdebiet in de ring.

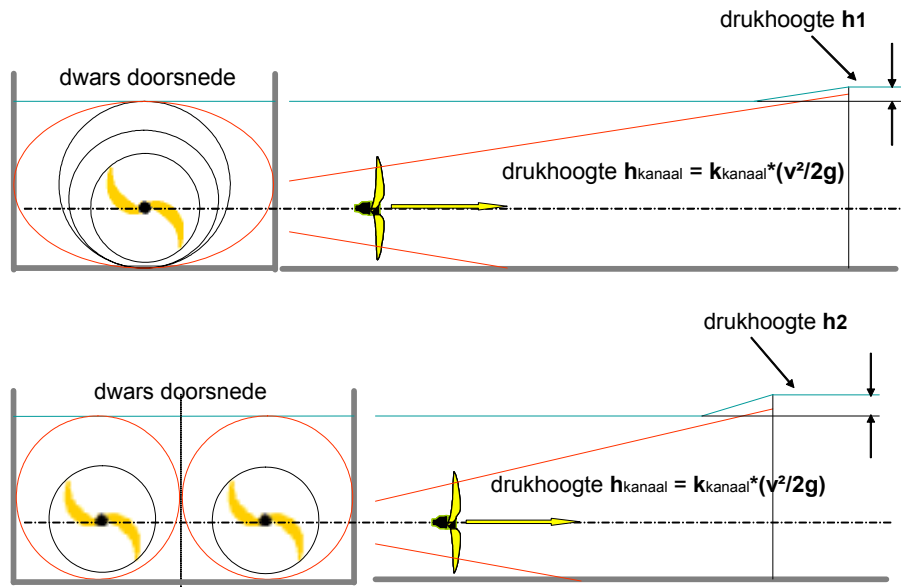
3.7.3 EEN OF MEER VOORTSTUWERS

Om voldoende energie in te brengen lijkt het logisch om daar waar nodig twee voortstuwars naast elkaar te zetten, temeer er in bepaalde situaties een ruimtegebrek is ten gevolge van de aanwezigheid van beluchtingspakketten. De vraag is of twee voortstuwars naast elkaar samen het dubbele vermogen leveren.

Van twee pompen die gezamenlijk in een persleiding pompen is bekend dat door het oplopen van de weerstand in de persleiding via de Q-H kromme de pompen allebei teruglopen in capaciteit. Uit metingen is gebleken dat twee voortstuwars naast elkaar ook niet de dubbele stuwkracht kunnen ontwikkelen (zie figuur 23). Het effect van het verschil van naast elkaar of boven elkaar plaatsen van voortstuwars in een reactorring is tot op heden onvoldoende onderzocht.

FIGUUR 23

SCHEMATISCHE WEERGAVE INVLOED PARALLEL SCHAKELEN VAN VOORTSTUWERS



voor de drukhoogte geldt: $h_2 < 2 \times h_1$

3.7.4 INVLOED VAN BOCHTEN

Behalve de hydraulische verliezen van een bocht doen zich nog andere verschijnselen voor. Door de massa-traagheid van water ontstaat automatisch een hogere snelheid aan de buitenkant dan aan de binnenkant van een ring. Zoals we eerder gezien hebben bij een beluchtingpakket is de k-factor van een beluchtingpakket afhankelijk van de relatieve snelheid boven het pakket. Deze afhankelijkheid is zoals beschreven paragraaf 3.6.6 tot op heden moeilijk te beschrijven. Door uit te gaan van rondbouw wordt de zaak nog eens extra gecompliceerd door het verschil in horizontale snelheid aan de binnen- en buitenkant.

Als de snelheid aan de buitenkant groter is, dan is daar de k-factor lager en heeft het water nog meer de neiging om de buitenkant te zoeken en de luchtbellen mee te nemen.

Een hogere snelheden kan een positief effect hebben op de zuurstofinbreng. Daar staat tegenover dat aan de binnenkant de zuurstofinbreng juist lager wordt vanwege een lagere omloopsnelheid. De combinatie van beide effecten is niet te kwantificeren.

3.7.5 DEBIET INGAANDE EN UITGAANDE STROMEN (OMLOOPVERSTORINGEN)

Op basis van de gegevens zoals die door de verschillende waterkwaliteitsbeheerders zijn verstrekt zijn is voor een aantal RWZI's de mate van omloopverstoring berekend (zie ook bijlage 3). Hierbij is als maat voor de omloopverstoring een verhouding berekend. Deze verhouding is het doorstroomdebiët in de ring na de uitgaande stroom : doorstroomdebiët in de ring voor de uitgaande stroom. In figuur 24 is voor een willekeurige RWZI de omloopverstoring op verschillende locaties bij twee verschillende omloopsnelheden schematisch weergegeven.

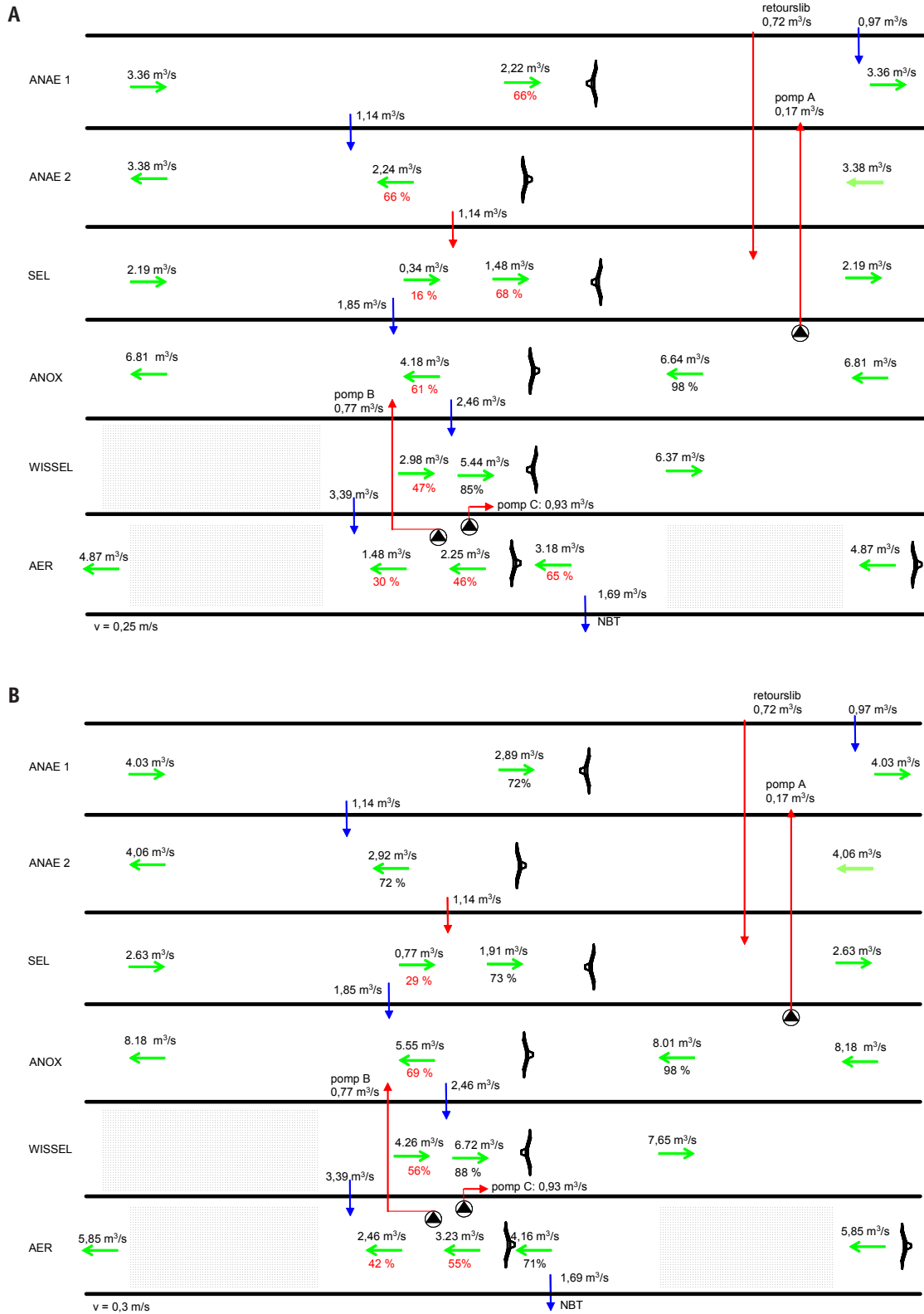
In figuur 24 zijn de verschillende procesonderdelen van de ronde reactor uitgerold en onder elkaar gezet, de stroomrichting is per ring weergegeven. Verder zijn de verschillende in- en uitgaande stromen en de locaties van de voortstuwars weergegeven.

Bij de navolgende beschouwing is er, op basis van de aanwezige praktijkervaring, vanuit gegaan dat bij een percentage van bovengenoemde verhouding $< 70\%$ duidelijke omloopverstoringen mogelijk zijn. Deze waarde is echter nog nooit geverifieerd. Verder is de maat van de verhouding sterk afhankelijk van de gehanteerde omloopsnelheid. In figuur 24 is de verhouding steeds rood gemarkeerd indien de waarde $< 70\%$ bedraagt. Bij een vergelijking van de twee situaties A en B blijkt dat het aantal gebieden waarbij de verhouding $< 70\%$ is, afneemt bij een hogere omloopsnelheid.

Hieruit blijkt dus dat door het kiezen van een hogere omloopsnelheid het aantal gebieden waarbij mogelijk significante omloopverstoringen optreden kan worden gereduceerd.

De omloopsnelheid kan echter niet onbeperkt worden verhoogd omdat dan het zuiveringsrendement en het zuurstofinbrengrendement negatief kan worden beïnvloed ($> 0,5$ m/s).

FIGUUR 24 SCHEMATISCHE WEERGAVE OMLOOPVERSTORINGEN VAN EEN RWZI CONFORM BCFS® CONFIGURATIE BIJ TWEE VERSCHILLENDE OMLOOPSNELHEDEN. A: 0.25 M/S EN B 0.30 M/S



3.7.6 OMLOOPSNELHEID

Uit de inventarisatie is gebleken dat in het ontwerp wordt uitgegaan van een gemiddelde omloopsnelheid in de bovenlaag van 0,25 – 0,30 m/s.

Voor de RWZI Boxtel is ten aanzien van de omloopsnelheid nader onderzoek uitgevoerd. Hierbij werd de omloopsnelheid in verschillende ringen onder verschillende procescondities gemeten.

Het verticale doorstroom oppervlak van de aërobe reactor (buitenring) is daarvoor opgedeeld in 16 meetpunten (hoogte vanaf de bodem op 0,5, 2,2, 3,5 en 5 meter en op elke hoogte 4 meetpunten over de horizontale as). Op elk punt is gelijktijdig de omloopsnelheid gemeten (bepaling toerental propellers). De metingen zijn uitgevoerd bij twee verschillende stuwkrachten respectievelijk 2.740 N (ontwerp en 3.750 N. Uit de metingen is het volgende gebleken:

- De snelheden (ook zonder beluchting) langs de buitenwand van de ring zijn veel hoger dan de snelheden gemeten aan de binnenwand. Nadat de beluchting in werking werd gesteld, werd aan de binnenkant een zeer lage omloopsnelheid gemeten (< 0.1 m/s). De omloopsnelheid werd in sommige gevallen zelfs negatief. De omloopsnelheid aan de buitenkant bleef ook bij ingeschakelde beluchting hoog (tot 0.6 m/s).
- Introductie van extra stuwkracht heeft geleid tot hogere snelheden (10 – 30%) maar er ontstond geen gelijkmatig snelheidsprofiel.

Door leveranciers zijn de afgelopen jaren op verschillende RWZI's in Europa snelheidsprofiel-metingen uitgevoerd (mededelingen Flygt). Het blijkt dat er een duidelijke relatie is tussen de beluchttingsintensiteit (uitgedrukt in Nm^3/h per m^2 beluchttingsoppervlak) en de snelheid waarmee de watermassa door het betreffende bellscherm moet worden gestuwd.

De weerstandsfactor (k-factor) voor beluchting blijkt afhankelijk van de omloopsnelheid (zie paragraaf 3.6.6). Bij een optimale omloopsnelheid behorende bij een bepaalde beluchttingsintensiteit zal de k-factor lager worden. Dit betekent dat bij verschillende omloopsnelheden aan de binnen- en buitenkant en een zelfde beluchttingsintensiteit verschillende k-factoren voor beluchting zullen ontstaan. De k-factor aan de buitenkant zal lager zijn dan de k-factor aan de binnenkant, waardoor het water voor een beluchttingsveld via de buitenkant door het beluchttingsveld zal gaan. Dit zal leiden tot een zeer lage of zelfs negatieve omloopsnelheid aan de binnenkant van de ring.

Een gelijkmatig snelheidspatroon over de gehele beenbreedte kan waarschijnlijk worden gecreëerd door de beluchttingsintensiteit van binnen naar buiten te verhogen. Dat wil zeggen dat de verdeling van de beluchttingselementen over de beenbreedte geoptimaliseerd dient te worden.

3.8 VIGERENDE RICHTLIJNEN

In deze paragraaf zijn de vigerende richtlijnen samengevat:

1. Voor de berekening van de benodigde stuwkracht per reactorring wordt rekening gehouden met de verschillende specifieke weerstandsfactoren in de betreffende reactorring. De capaciteit van de voortstuwers is afhankelijk van het totale energieverlies in de reactorring. De benodigde stuwkracht in een reactorring kan beschreven worden met de formule:

$$F_{\text{stuwkracht}} = \left(\frac{v^2}{2} \right) \times A_{\text{kanaal}} \times k_{\text{totaal}} \times \rho \quad (3.1)$$

k_{totaal} is hierbij de optelsom van verschillende soorten energieverliezen.

2. De afstand tussen voortstuwers en ingaande stroom dient zo groot te zijn dat de voortstuwervrijruimte "pomphuis" kan afmaken en een kortsluitstroom wordt voorkomen. De lengte van het pomphuis bedraagt stroomafwaarts circa 2 keer de breedte of hoogte van de reactorring. De vrije ruimte stroomopwaarts van de voortstuwervrijruimte dient ongeveer 1 keer de beenbreedte te bedragen.
3. Voor een optimale menging moet de ingaande stroom stroomopwaarts van de voortstuwervrijruimte waar gesitueerd waarbij voldoende afstand tot de voortstuwervrijruimte in acht wordt genomen.
4. De capaciteit van de voortstuwers in een beluchte reactorring dient zo hoog te zijn dat de spiraalstroom voor het beluchtingspakket wordt doorbroken.
5. De afstand tussen een beluchtingspakket en de voortstuwers dient bij voorkeur 2 x de beenbreedte te bedragen.
6. De omloopsnelheid in een reactorring dient tenminste 0,20 m/s te bedragen om slibafzetting te voorkomen.
7. De gemiddelde omloopsnelheid bedraagt 0,25 – 0,35 m/s.
8. In een beluchte reactorring kan een gelijkmatige snelheidspatroon worden gecreëerd door de beluchtingsintensiteit van binnen naar buiten te verhogen.

4

CFD- MODELLERING

4.1 ALGEMEEN

Er zijn een aantal onderzoeksaspecten geselecteerd, die met behulp van CFD modellering verder zijn onderzocht. De volgende onderzoeksaspecten zijn onderzocht:

- De Invloed van het pomphuseffect en de locatie van de in- en uitgaande stromen in een reactorring. Er wordt vastgesteld of door een optimalisatie van de locatie van de voortstuwars naast een betere menging ook een beperking van het te installeren vermogen van de voortstuwars mogelijk is. Hierbij zijn ook mogelijke kortsluitstromen bepaald.
- Het effect van het type beluchtingselementen en de luchtbelasting. Hierbij werd de inzet van schotelementen of plaaelementen op het benodigde vermogen van de voortstuwars vergeleken.
- De invloed van de verhouding doorstroomdebiet in de reactorring na een uitgaand debiet ten op zichten van het doorstroomdebiet voor deze uitgaande stroom (zogenaamde 70% regel).
- Het effect van mee- en tegenstroom in opeenvolgende reactorringen. Met CFD modellering is het belang van tegenstroom in verband met het menggedrag onderzocht.

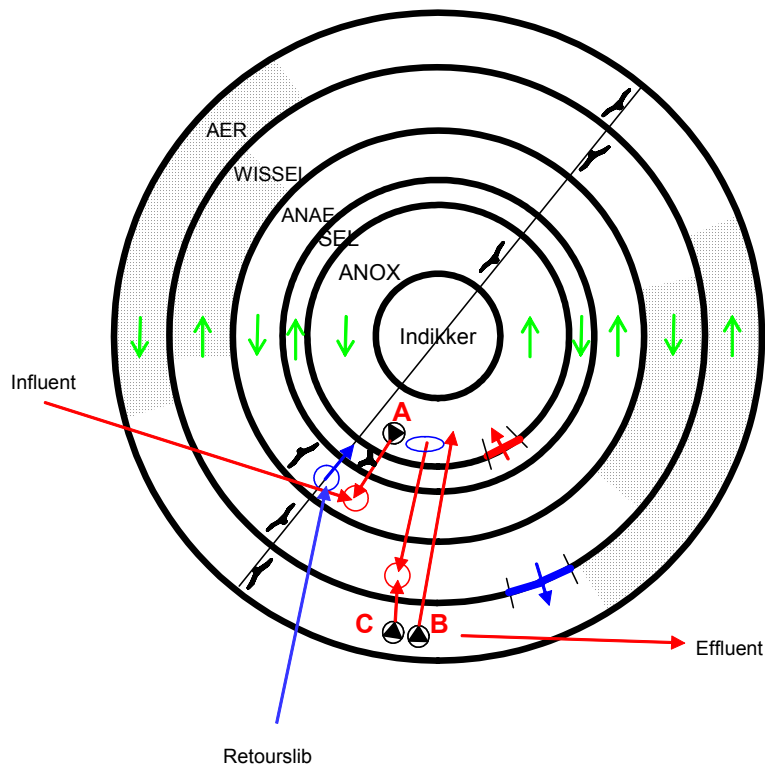
Voor het modelonderzoek is in overleg met Wetterskip Fryslân de RWZI Drachten geselecteerd. Voor deze RWZI kunnen alle bovengenoemde onderzoeksaspecten eenduidig worden gemodelleerd.

4.2 KENMERKEN RWZI DRACHTEN

De RWZI Drachten is aangepast volgens het BCFS[®]-proces. De RWZI is ontworpen voor de gestelde effluenteis voor N_{tot} en P_{tot} van respectievelijk 10 en 1 mg/l. In figuur 25 is het BCFS[®]-proces schematisch weergegeven.

FIGUUR 25

SCHEMATISCHE WEERGAVE BCFS[®]-PROCES RWZI DRACHTEN. A = POMP A; B = POMP B;
C = POMP C. ROOD = ONDERDOORLAAT, BLAUW = BOVENDOORLAAT, GROEN = STROMINGSRICHTING



Het afvalwater komt via een leiding onder in de anaërobe reactorring samen met recirculatie A (afkomstig van de anoxische reactorring) binnen in de influent wervelput. In de influent wervelput worden beide stromen gemengd. Het slib-watmengsel stroomt vervolgens tegen de klok in door de anaërobe reactorring. De afloop van de anaërobe reactorring is 3 m voor de influentwervelput aan de bovenkant van de reactorring gesitueerd. Het slibwatmengsel komt hier in een mengkom met overstortranden. Nadat het slibwatmengsel is overgestort wordt het gemengd met het retourslib, waarna het gezamenlijk boven in de anoxische selector wordt gevoerd. Het slibwatmengsel vervolgt zijn weg met de klok mee.

Het slibwatmengsel komt aan de onderkant via een onderdoorlaat de anoxische reactorring binnen en wordt hier gemengd met recirculatie B afkomstig van de afloop aërobe reactorring. Het slibwatmengsel vervolgt daarna zijn weg tegen de klok in. Vlak voor de onderdoorlaat is aan de bovenkant een instroombak gesitueerd waarin de afloop van de anoxische reactorring (als het tenminste bijna een keer de reactor rond is geweest) wordt gevoerd. Bij deze instroombak is op 3,2 m van de bodem recirculatiepomp A geïnstalleerd.

De afloop van de anoxische reactorring wordt via de instroombak onder de anoxische selector en de anaërobe reactorring onder in de wisselreactor in een wervelput gevoerd. In deze wervelput komt ook recirculatie stroom C (afkomstig van de aërobe reactorring) binnen. Beide stromen worden in de wervelput gemengd. Het slib-watmengsel vervolgt dan zijn weg met de klok mee. De afloop van de wisselreactor komt via een overlaat de aërobe reactorring binnen.

Het slib watmengsel wordt tegen de klok in door de aërobe reactorring gevoerd. De afloop van de aërobe reactorring wordt via een onderdoorlaat naar de verdeelinrichting voor de nabezinktanks gevoerd.

In de directe nabijheid van deze onderdoorlaat zijn ook de recirculatiepompen B en C gesitueerd, die een bepaalde hoeveelheid van de afloop van de aërobe reactorring terugvoeren naar respectievelijk de anoxische reactorring (pomp B) en de wervelput van de wisselreactor (pompen C).

Vermeld dient te worden dat de in- en overlaatconstructies, de wervelputten en de instroombak geen directe relatie hebben met het BCFS®-proces, maar dat dit gewenste ontwerpdetails zijn van het Wetterskip.

De voortstuwer in de anaërobe reactorring is stroomopwaarts vlak voor de mengkom (met overstortrand) gesitueerd. De voortstuwer in de anoxische selector is stroomopwaarts vlak voor de invoer van het mengsel van de afloop anaërobe reactorring en het retourslib geïnstalleerd. De voortstuwer in de anoxische reactorring is op circa 180 ° van de invoer en afloop van de anoxische reactorring gesitueerd.

De twee voortstuwers in de wisselreactor zijn tegenover elkaar (op 180 °) aan de brug gemonteerd. De afstand tot de beluchtingsvelden bedraagt minimaal 11 m (= 2 x beenbreedte). Het middelpunt van wervelput in de wisselreactor is op 11 m stroomopwaarts van één van de voortstuwers gesitueerd.

De twee voortstuwers in de aërobe reactorring zijn ook tegenover elkaar (op 180 °C) aan de brug gemonteerd. De minimale afstand tussen de voortstuwers en de beluchtingsvelden bedraagt stroomafwaarts 17m en stroomopwaarts 8 m. De eerste recirculatiepomp is op 7 m stroomafwaarts van één van de voortstuwers gesitueerd.

De dimensioneringsgrondslagen van de RWZI Drachten die van belang zijn voor het modelonderzoek zijn weergegeven in bijlage 4.

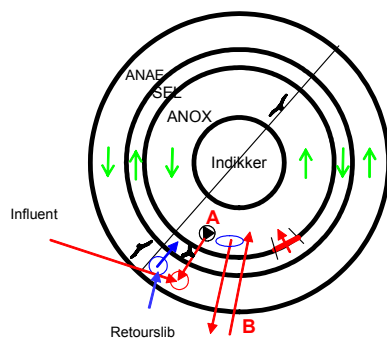
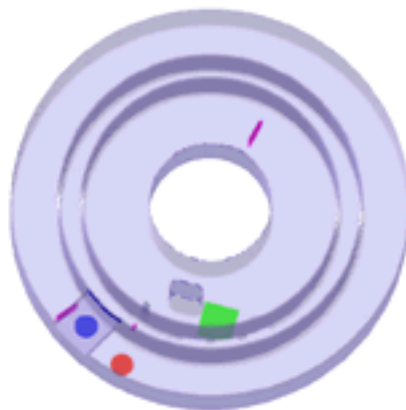
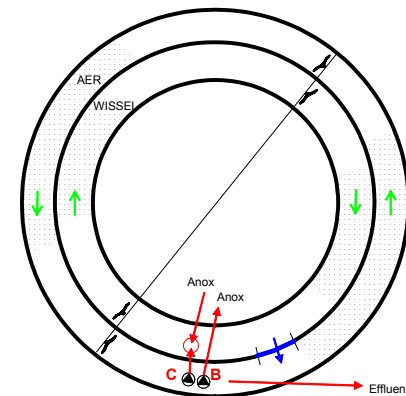
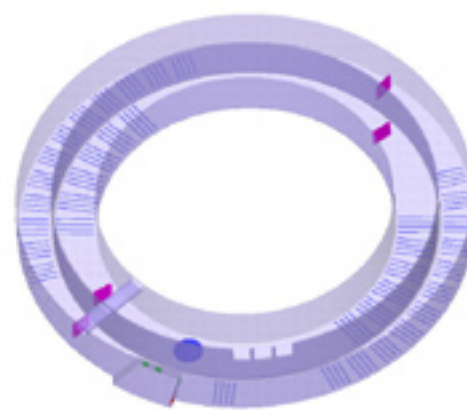
Er zijn snelheidsgarantiemetingen uitgevoerd in de wisselreactor en de aërobe reactorring. Tijdens de meting was er geen aanvoer en zijn de retourslibpompen stopgezet. De beluchtingscapaciteit in de wisselreactor en de aërobe reactorring was maximaal (100%) en alle voortstuwers waren in bedrijf. De gemeten gemiddelde stroomsnelheden in de wisselreactor en de aërobe reactorring waren respectievelijk 0,38 en 0,25 m/s.

4.3 CFD-MODEL RWZI DRACHTEN

Voor de CFD modellering zijn de niet-beluchte ringen en de beluchte ringen omwille van de rekentijd apart gemodelleerd. De schematische weergave van de reactorringen, voortstuwers en in- en overlaatconstructies is weergegeven in figuur 26.

FIGUUR 26

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BCFS REACTOR VAN DE RWZI DRACHTEN

A: niet-beluchte binnenringen**Blauw: bovendoorlaat****Rood: onderdoorlaat****Rood: influent wervelput****Blauw: mengkom met overstort rand****Groen: onderdoorlaat naar anoxische reactorring plus invoer recirculatie B;****Ovaal: instroombak anoxische reactorring****Paars: locatie voortstuwers****B: beluchte buitenringen****Blauw: bovendoorlaat****Rood: onderdoorlaat****Blauw: wervelput wisselreactor****Verdieping: afloop aërobe reactorring****Paars: locatie voortstuwers**

Voor de modelberekeningen is gekozen voor RWA condities (influent: 4.500 m³/h, retourslib-capaciteit 3.500 m³/h). Onder RWA condities worden als eerste problemen met het stromingsgedrag verwacht. Uit eerder onderzoek³ (dynamische modellering) is gebleken dat onder RWA-condities de inzet van recirculatiepomp C noodzakelijk is.

Voor de modelberekeningen is uitgegaan van navolgende capaciteiten van de recirculatiepompen:

- pomp A: 1.100 m³/h;
- pomp B: 3.300 m³/h;
- pomp C: 3.300 m³/h.

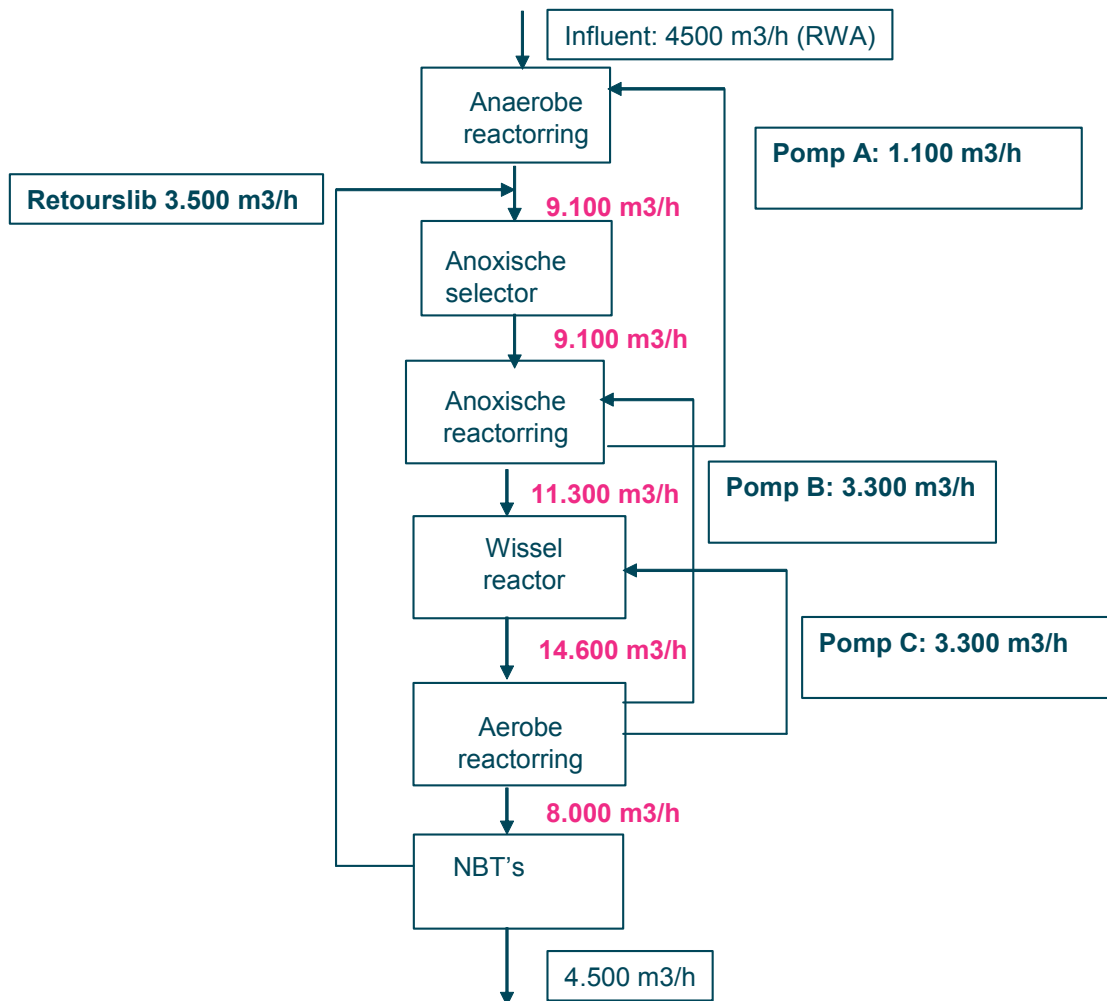
Voor de beluchtingscapaciteit is uitgegaan van een nominale zuurstofvraag (60% van de maximale beluchtingscapaciteit):

- wisselreactor: 1.050 m³/h;
- aërobe reactorring: 2.100 m³/h.

³ Innovatie BCFS-proces RWZI Drachten, mei 2004

Het stroomschema van de RWZI Drachten zoals dat voor de CFD modellering is toegepast is weergegeven in figuur 27.

FIGUUR 27 STROOMSCHEMA RWZI DRACHTEN INCLUSIEF DE DEBIETEN WAARMEE DE CFD MODELLERING IS UITGEVOERD



4.4 RESULTATEN MODELBEREKENINGEN

4.4.1 HET POMPHUISEFFECT EN INTERACTIES TUSSEN DE OPEENVOLGENDE REACTORRINGEN

Om het effect van het pomphuis van de voortstuwers op het menggedrag en stroming te kunnen beoordelen zijn CFD modelleringen uitgevoerd met de niet-beluchte ringen, waarbij de locatie van de voortstuwers is aangepast. Naast het effect van het pomphuis effect zijn ook de interacties tussen de opeenvolgende reactorringen (kortsluitstroming) weergegeven.

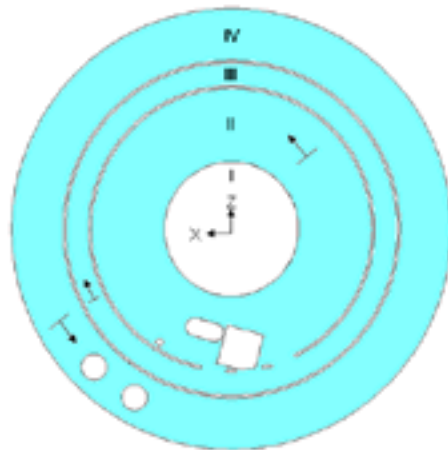
In figuur 28 is de referentiesituatie en de variant waarbij de locaties van de voortstuwers is aangepast weergegeven. De locatie van de voortstuwers is weergegeven met een lijn loodrecht op de stroomrichting en een pijl die de stroomrichting van de voortstuwers weergeeft.

In de anaërobe reactorring is de voortstuwer in de referentiesituatie stroomopwaarts vlak voor de mengkom met overstortrand gesitueerd (zie figuur 28). In de variant is deze voortstuwer verplaatst stroomafwaarts van de influentwervelpuut. De voortstuwer in de anoxische selector is in de variant verplaatst naar locatie stroomopwaarts van de afloop anoxische

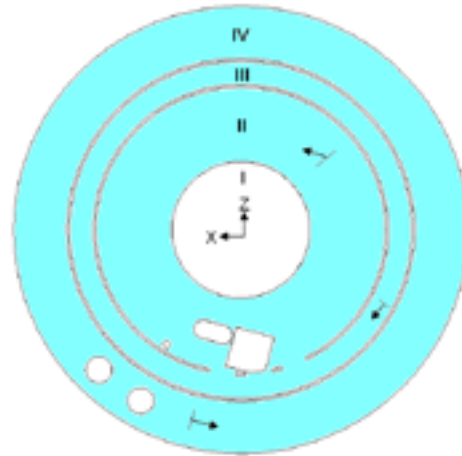
selector. Door de twee genoemde voortstuwers op deze wijze te verplaatsen is er stroomafwaarts van de voortstuwers voldoende ruimte gecreëerd, zodat het pomphuis kan worden afgemaakt alvorens de stroming van het slibwatermengsel kan worden verstoord. De locatie van de voortstuwer in de anoxische reactorring is niet aangepast. Wel is de opstelhoek van deze voortstuwer aangepast van 20° naar 30° .

FIGUUR 28

SCHEMATISCHE WEERGAVE POSITIES VOORTSTUWERS IN DE NIET BELUCHTE RINGEN IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE VARIANT

Referentie

- I = indikker**
- II = anoxische reactorring**
- III = anoxische selector**
- IV = anaërobe reactorring**

Variant

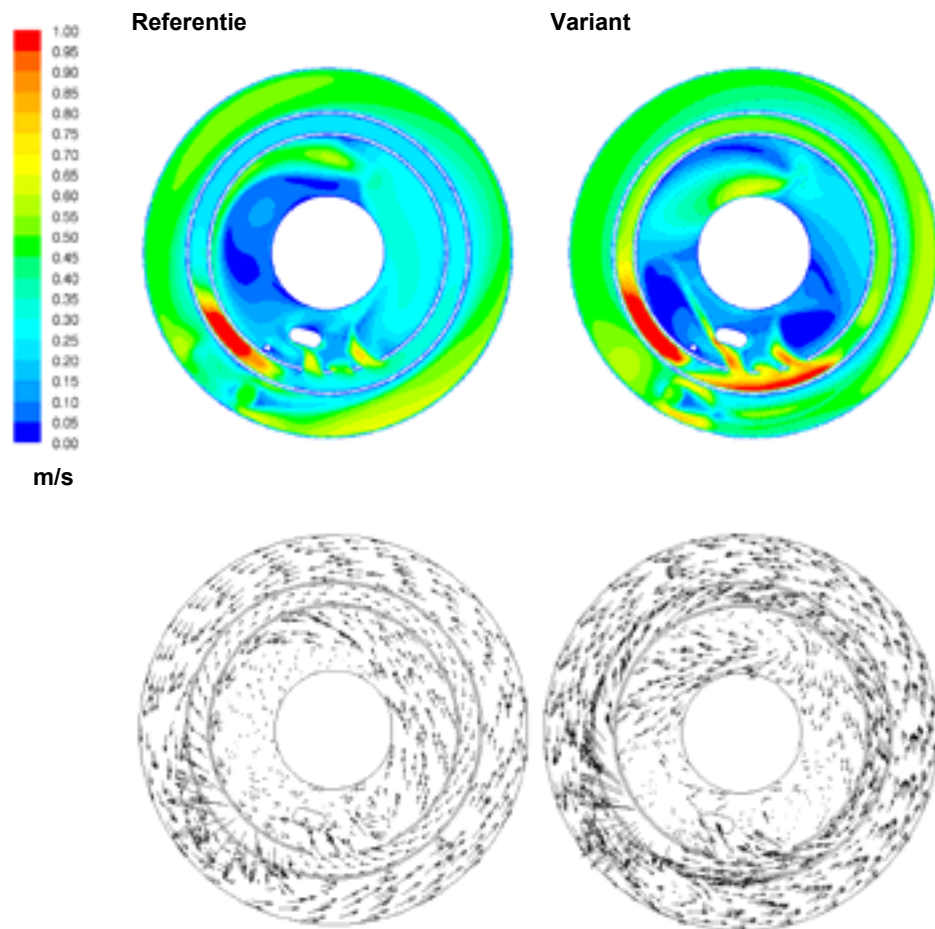
- I = indikker**
- II = anoxische reactorring**
- III = anoxische selector**
- IV = anaërobe reactorring**

Bij de uitwerking van de resultaten van de modelberekeningen zijn verschillende relevante waterhoogtes gedefinieerd. Van deze waterhoogtes zijn de resultaten gepresenteerd. In de navolgende figuren zijn de belangrijkste resultaten weergegeven. De berekende omloopsnelheden zijn met kleuren aangegeven (van 0 – 1 m/s of van 0 – 0,6 m/s, zie figuren) terwijl het stromingspatroon in de ringen met vectoren is weergegeven. De vectoren geven een indruk van de oriëntering van de stroming⁴.

⁴ De vectoren hebben een richting en een lengte. De richting van de vector geeft de stromingsrichting weer, de grootte geeft de snelheid van de stroming weer. In deze rapportage geldt dat bij een horizontale doorsnede de richting in zowel het horizontale als verticale vlak wordt weergegeven. Dit betekent dat indien een punt is weergegeven deze vector een verticale richting heeft of een zeer geringe snelheid. Indien sprake is van een verticale doorsnede wordt alleen de richting in het verticale vlak aangegeven.

FIGUUR 29

DE OMLOOPSNELHEID (M/S) EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 0,2 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANT



ANOXISCHE REACTORRING

Uit figuur 29 blijkt dat in de referentiesituatie de omloopsnelheid op verschillende plekken in de anoxische reactorring kleiner is dan 0,2 m/s. Bij een omloopsnelheid kleiner dan 0,2 m/s bestaat de kans dat het slib op de bodem van de reactor gaat afzetten.

Verder blijkt uit de vectorplot van de referentiesituatie dat de stroming van het slibwatermengsel dat de anoxische reactorring via de onderdoorlaat vanaf de anoxische selector binnen komt een tegenovergestelde stroming heeft. Deze stroming zal een negatieve invloed hebben op de omloopsnelheid in de anoxische reactorring.

Uit de resultaten van de modelberekeningen met de variant blijkt dat het aanpassen van de opstelhoek in de anoxische reactorring geen verhoging van de omloopsnelheid tot gevolg heeft. De gemiddelde omloopsnelheid blijft relatief gering, zodat afzetting van slib op de bodem ook in deze situatie mogelijk is. De stroming is in de variant nog minder geordend dan in de referentiesituatie (zie figuur 29, 31 en 32).

ANOXISCHE SELECTOR

Ook de omloopsnelheid in de anoxische selector is op de bodem van de reactor over grote delen laag. Deze lage omloopsnelheid kan worden verklaard door de locatie van de voortstuwer ten op zicht van de locatie van de invoer van het mengsel van retourslib en de afloop van de anaërobe reactorring (afkomstig van de mengkom) boven in de anoxische selector.

Bij een waterhoogte van 6 m is in de vectorplots (figuur 32) duidelijk de hoge snelheid te zien waarmee het slibwatermengsel (inclusief retourslib) in de anoxische selector wordt gevoerd.

De stuwkracht van de voortstuwer wordt zodoende negatief beïnvloed. Het slibwatermengsel komt met een zeer hoge snelheid boven in de anoxische selector binnen en stroomt dan via de binnenwand van de anoxische selector naar de bodem van de reactorring, waar het weer loodrecht op de stroomrichting naar de buitenwand van de reactorring stroomt. Dit is ook duidelijk herkenbaar aan de richting van de vectoren op deze plaats in de anoxische reactorring (zie vectorplot referentiesituatie, figuur 29). De menger die in dit gebied is gepositioneerd wordt dus negatief beïnvloed.

Door het verplaatsen van de voortstuwer in de anoxische selector wordt de gemiddelde omloopsnelheid duidelijk verhoogd (van circa 0,25 – 0,30 naar 0,45 – 0,50 m/s, zie figuur 29). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de ingaande stroom vanuit de mengkom in de anaërobe reactorring de werking van de voortstuwer negatief beïnvloed. Door het verplaatsen van de voortstuwer kan het pomphuis zonder verstoringen worden afgemaakt zodat een hogere stuwkracht (hogere omloopsnelheid) gegenereerd kan worden. In de praktijk kan dan dus een voortstuwer met een lager vermogen worden geïnstalleerd (energiebesparing).

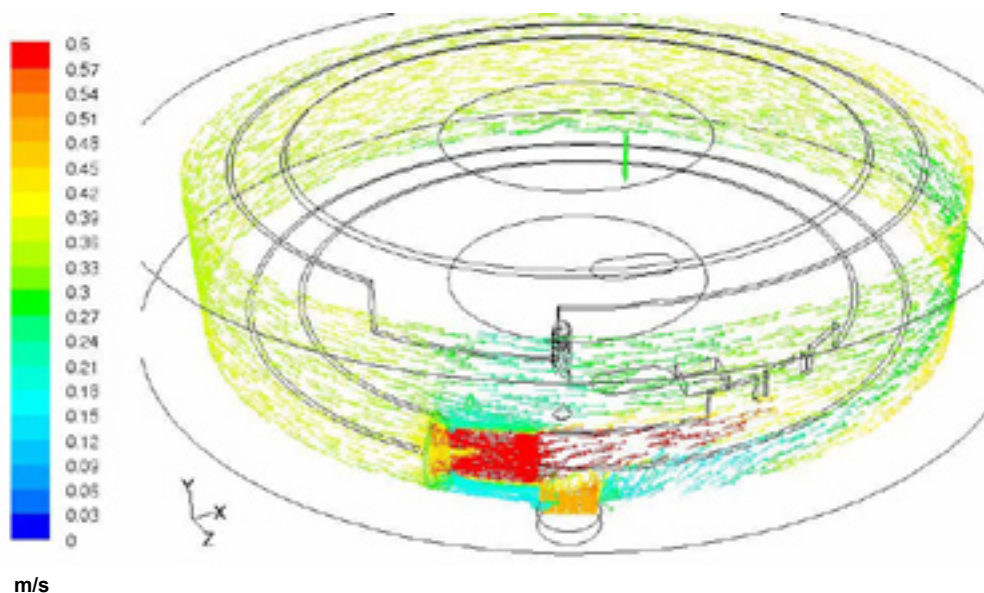
De hogere omloopsnelheid in de anoxische selector heeft ook gevolgen voor de opvolgende anoxische reactorring. Door de hogere omloopsnelheid in de anoxische selector is ook de stroomsnelheid ter plaatse van de onderdoorlaat naar de anoxische reactorring veel hoger dan in de referentiesituatie. Deze hogere omloopsnelheid heeft een negatieve invloed op de omloopsnelheid in de anoxische reactorring.

ANAËROBE REACTORRING

In de anaërobe reactorring wordt in de omgeving van de influent wervelput een lage omloopsnelheid berekend. Dit wordt veroorzaakt door de uittredende stroom uit de wervelput waarvan de stromingsrichting ten opzichte van de stromingsrichting in de reactorring tegenovergesteld is (zie ook figuur 30).

FIGUUR 30

VERTICALE DOORSNEDE VAN DE ANAËROBE REACTORRING IN DE OMGEVING VAN DE INFLUENT WERVELPUT. DE KLEUR VAN DE VECTOREN GEEFT DE STROOMSNELHEID WEER (M/S), DE VECTOREN DE RICHTING. LET OP SNELHEID IS MAXIMAAL 0,6 M/S



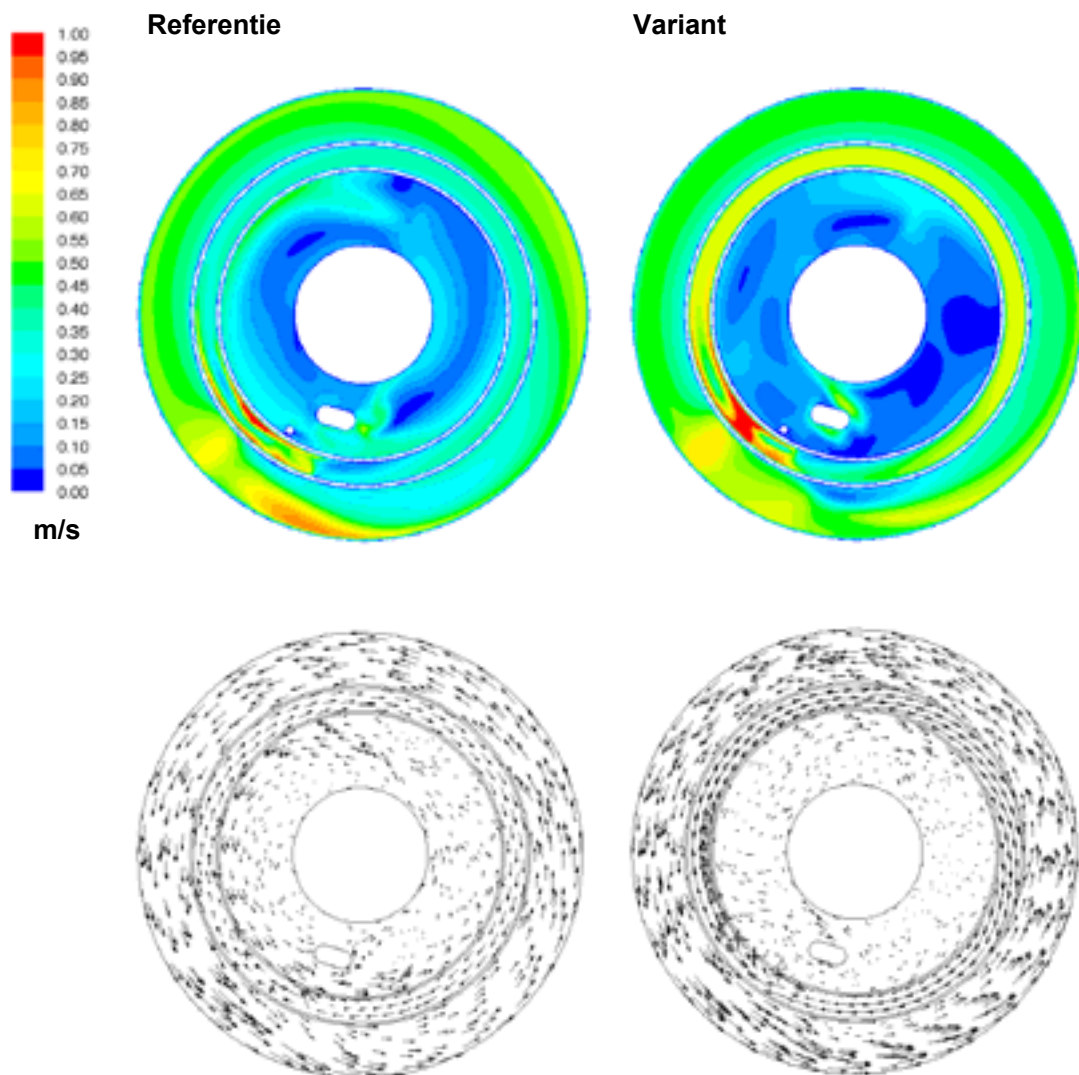
Uit figuur 30 blijkt dat stroomafwaarts van de influentwervelput direct een significante afname van de stroomsnelheid wordt berekend.

De locatieverandering van de voortstuwcr in de anaërobc reactorring heeft maar gedeeltelijk een verbetering van het rendement tot gevolg. De voortstuwcr wordt nog steeds stroomopwaarts door de influentstroom afkomstig van de wervelput beïnvloed. In figuur 29 is de verbetering te herkennen aan de lengte van de vectoren en de stromingsrichting van de vectoren die beter parallel geordend zijn.

In figuur 31 en 32 zijn de resultaten op waterhoogtes van 3,2 m en 6 m (bovenoppervlak) weergegeven. De bovenstaande effecten zijn ook op deze waterhoogtes waargenomen.

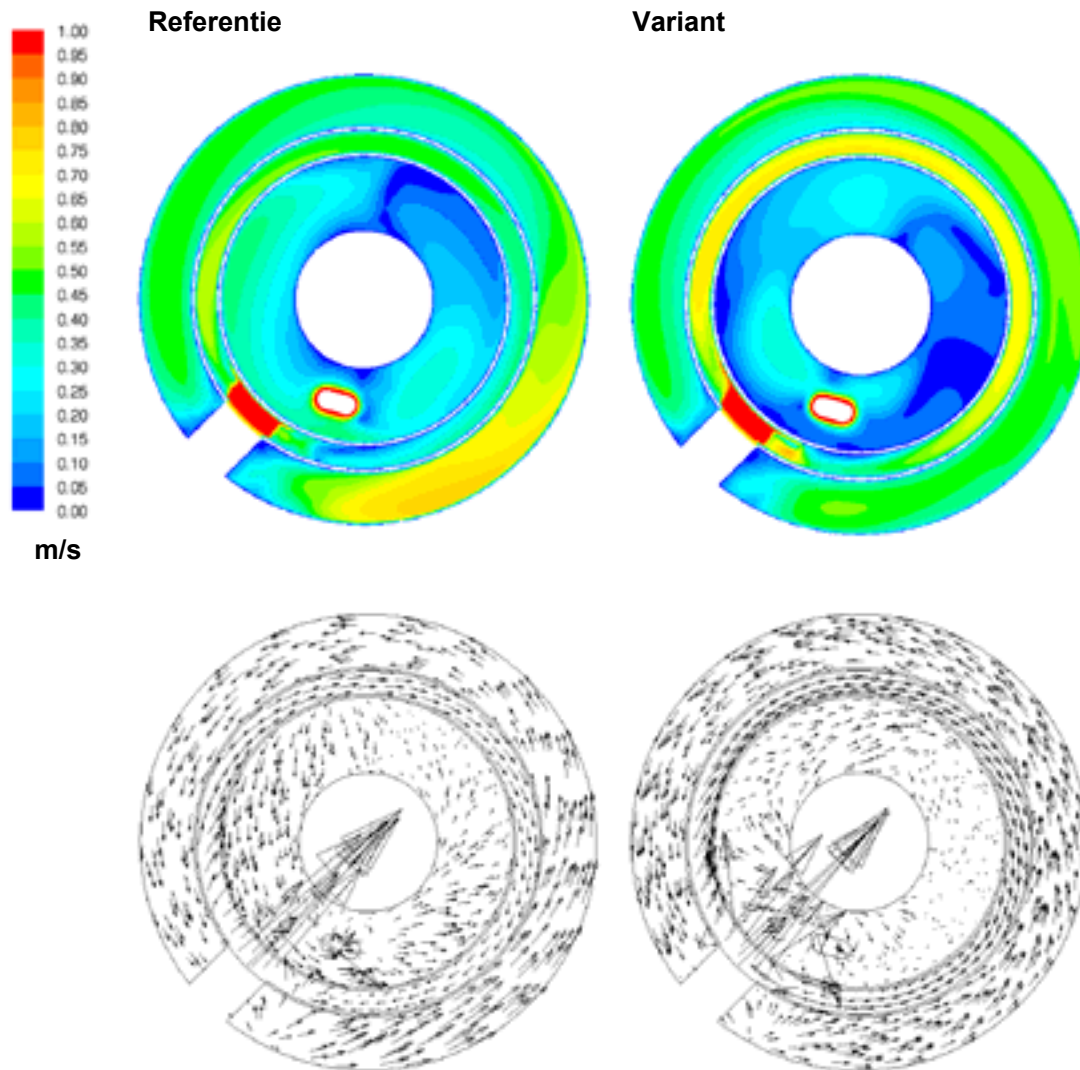
FIGUUR 31

DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 3,2 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANT



FIGUUR 32

DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 6,0 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANT

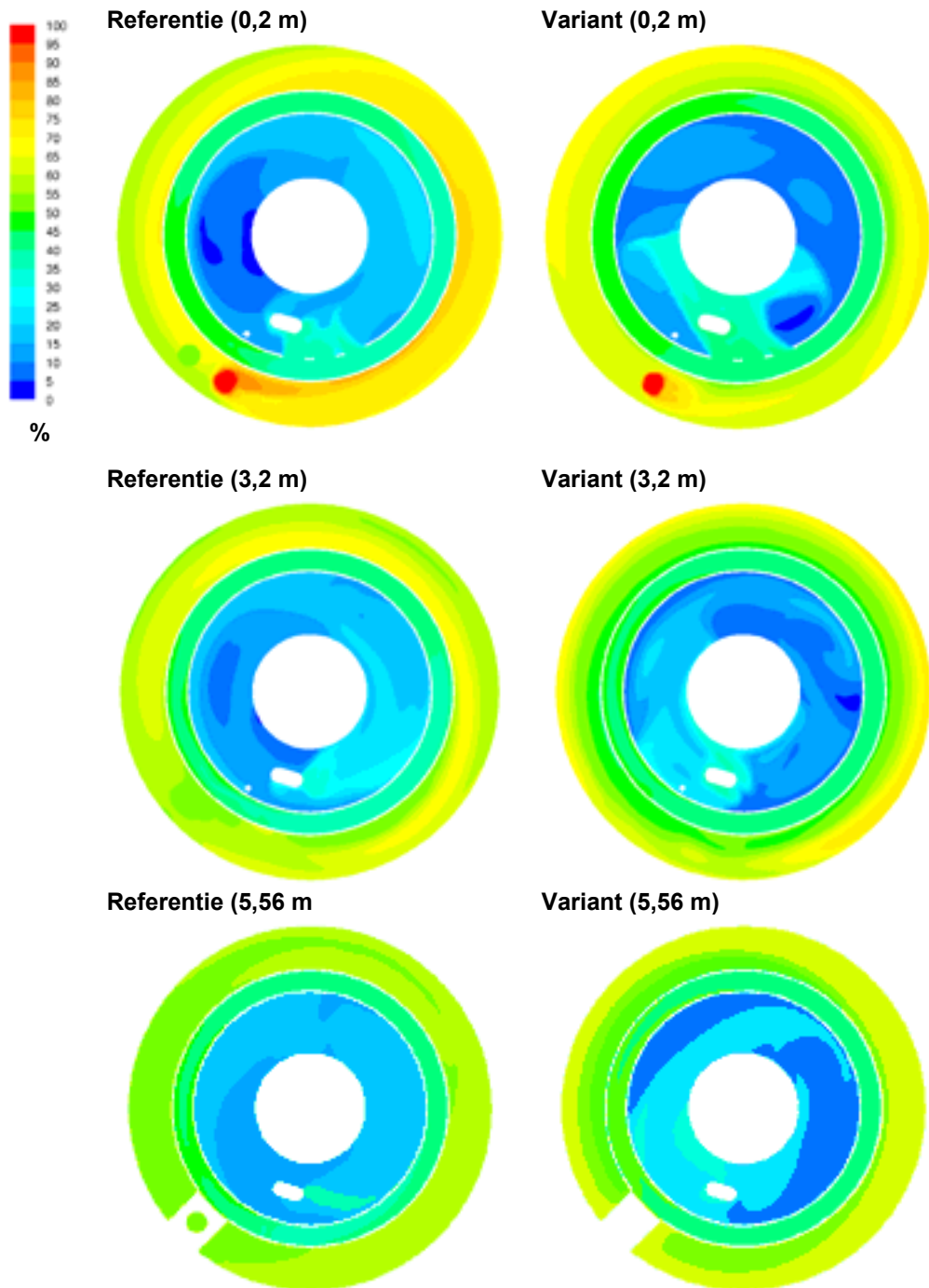


INTERACTIE TUSSEN OPEENVOLGENDE REACTORRINGEN (KORTSLUITSTROMING)

Om een indruk van het stoftransport en de interacties tussen de opeenvolgende reactoren te krijgen is een tracerberekening uitgevoerd. Op deze manier kan de verdeling van de tracer in het totale systeem worden bepaald en kunnen mogelijke kortsluitstromen worden vastgesteld. Hiervoor is op tijdstip 0 sec in het model een hoeveelheid tracer aan het influent toegevoegd. De tracer vervolgt daarna zijn weg door de verschillende opeenvolgende reactoren zoals omschreven in paragraaf 4.2. De modelberekening is over een tijdvak van 2.400 seconden uitgevoerd voor zowel de referentiesituatie als voor de variant. In figuur 33 is in de afbeeldingen de tracerverdeling van de referentiesituatie en de variant na 1.200 seconden op de bodem (0,2 m), op een waterhoogte van 3,2 m en op een waterhoogte van 5,56 (net onder het water oppervlak) weergegeven.

FIGUUR 33

BOVEN: TRACERVERDELING (%) OP DE BODEM VAN DE REACTORRING (0,2 M) NA 1.200 SEC IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE VARIANT,
 MIDDEN: TRACERVERDELING (%) OP EEN WATERHOOGTE VAN 3,2 M NA 1.200 SEC IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE VARIANT,
 ONDER: TRACERVERDELING (%) OP EEN WATERHOOGTE VAN 5,56 M NA 1.200 SEC IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE VARIANT



Uit de tracerverdeling is herkenbaar dat in de variant de hoeveelheid tracer die na 1.200 sec in de anoxische reactorring wordt gevoerd hoger is. In de variant is de hoeveelheid tracer rondom de instroombak op de bodem (0,2 m) ten opzichte van de referentie hoger. De stroom wordt in de variant ook veel verder (tegen de stroomrichting in) in de anoxische reactorring gevoerd.

Bij een vergelijking van de tracerverdeling bij een waterhoogte van 3,2 m valt op dat de hoeveelheid tracer rondom de afvoerconstructie van de anoxische reactorring (afvoerleiding instroombak) hoger is. Vooral bij de variant is dit duidelijk te herkennen (licht groene kleur direct rondom de afvoerconstructie van de anoxische reactorring). Dit duidt er op dat een gedeelte van de afloop van de selector dat via de onderdoorlaat de anoxische reactorring binnen komt samen met recirculatiestroom B langs de afvoerconstructie van anoxische reactorring omhoog wordt gevoerd (kortsluitstroom). Door een hogere omloopsnelheid in de anoxische selector wordt dit effect versterkt (variant).

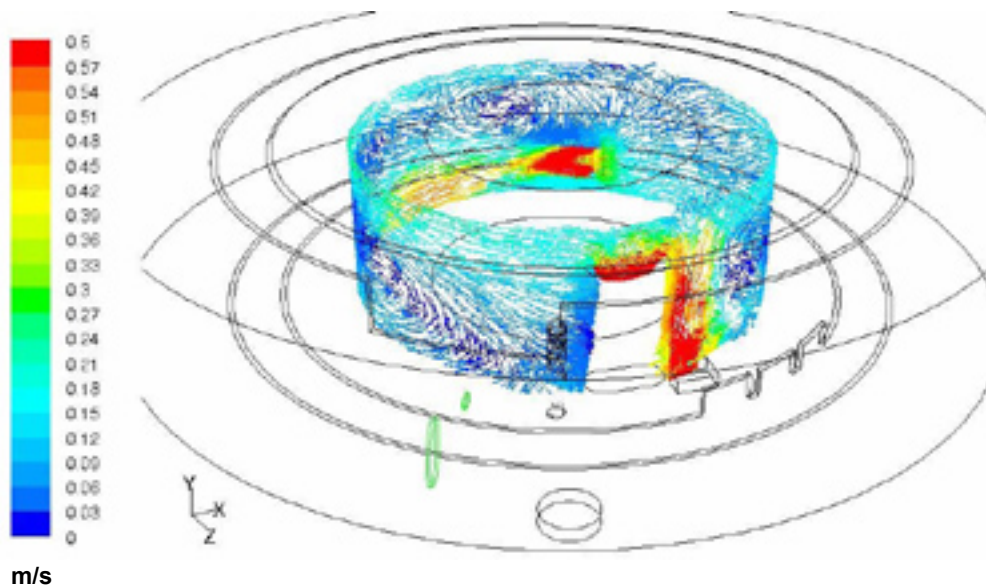
Ook bij een waterhoogte van 5,56 m is te herkennen dat bij de variant het percentage tracer rondom de instroombak van de anoxische reactorring hoger is dan bij de variant.

In figuur 34 is een verticale doorsnede van de anoxische reactorring weergegeven waarin met vectoren (richting en snelheid) het stromingsgedrag rondom de instroombak van de anoxische reactorring is weergegeven.

FIGUUR 34

VERTICALE DOORSNEDE VAN DE ANOXISCHE REACTORRING RONDOM DE INSTROOMBAK.

DE KLEUR VAN DE VECTOREN GEEFT DE STROOMSNELHEID WEER (M/S), DE VECTOREN DE RICHTING. LET OP SNELHEID IS MAXIMAAL 0,6 M/S



Uit figuur 34 blijkt duidelijk een hoge naar boven gerichte stroming vlak achter (stroomafwaarts) de afvoerconstructie van de anoxische reactorring. Dit duidt op een kortsluitstroom tussen de afloop van de anoxische selector, recirculatiestroom B en de anoxische reactorring. Deze kortsluitstroom wordt versterkt door de relatief geringe omloopsnelheid in de anoxische reactorring.

Uit bovenstaande resultaten kan samenvattend het volgende worden geconcludeerd:

- In de anoxische reactorring bestaat de kans op het afzetten van slib vanwege de lage omloopsnelheid in grote gebieden van de anoxische reactorring. Het aanpassen van de opstelhoek van de voortstuwer leidde niet tot een verbetering van de stroming in de anoxische reactorring. Het instroomdebiet van de anoxische selector en de aanwezige instroombak zijn bepalend voor een goede omloopsnelheid in de anoxische reactorring.

- Door de ongunstige situering van de afloop van de anoxische selector, de uitstroom van recirculatiestroom B en de instroombak van de anoxische reactorring ontstaat een kortsluitstroom. Deze kortsluitstroom wordt ook ten dele veroorzaakt door de geringe omloopsnelheid in de anoxische reactorring. Het verhogen van de omloopsnelheid in de anoxische selector leidt tot een hogere mate van kortsluitstroming.
- In de anaërobe reactorring en de anoxische selector wordt de werking van de voortstuw-ers negatief beïnvloed door de omliggende invoer- en afvoerconstructies. Door de voortstuw-ers te verplaatsen naar een gebied waar het pomphuis kan worden afgemaakt, wordt een hogere omloopsnelheid berekend. Dit betekent dat de werking van de voortstuw-ers door de verplaatsing effectiever wordt.

4.4.2 EFFECT TYPE BELUCHTINGSELEMENTEN/ LUCHTBELASTING

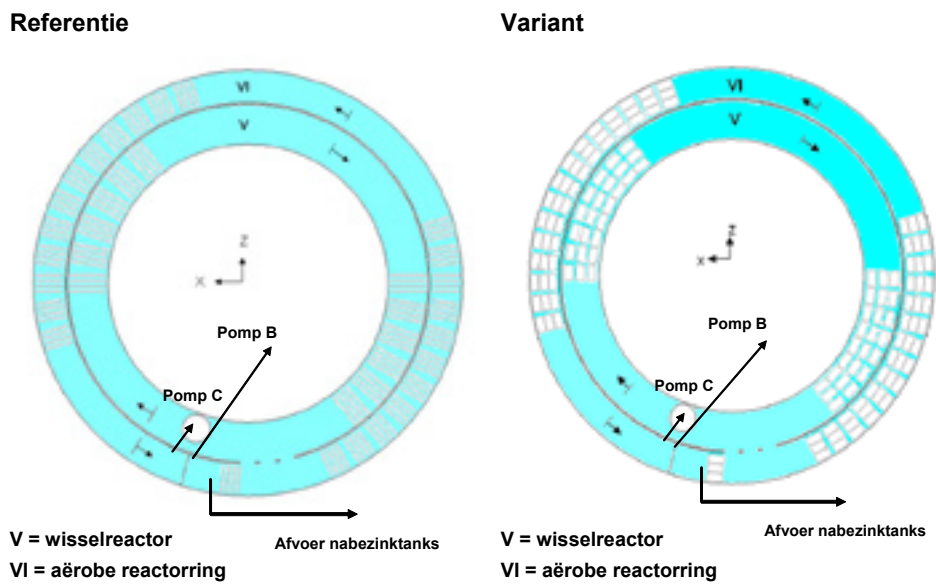
Om het effect van het type beluchtingselementen / luchtbelasting te onderzoeken zijn modelberekningen uitgevoerd waarbij de beluchtingsconfiguratie met schotelementen is uitgevoerd conform het ontwerp (referentiesituatie) en met een variant waarbij de beluchting met plaalementen is uitgevoerd. De modelberekningen zijn uitgevoerd met de twee beluchte ringen. In tabel 6 zijn de kenmerken van de beluchtingsconfiguratie weergegeven. In figuur 35 is zijn de beluchtingconfiguraties schematisch weergegeven.

TABEL 6 KENMERKEN BELUCHTINGSCONFIGURATIE IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE VARIANT

Parameter	Referentie	Variant	Eenheid
Wisselreactor			
Aantal velden	2	2	Stuks
Aantal elementen	480	48	Stuks
Belucht grondoppervlak	227	227	m ²
Oppervlak per element	0,0962	2	m ²
Ontwerp			
Beluchtingscapaciteit ontwerp	1.750	1.750	m ³ /h
Luchtbelasting per m ² belucht vloeroppervlak	7,7	7,7	m ³ /h. m ² vloeroppervlak
Luchtbelasting per element	3,6	36,4	m ³ /h.element
Luchtbelasting per m ² membraan	37,9	18,2	m ³ /h.m ² membraanoppervlak
Modelstudie			
Beluchtingscapaciteit modelstudie	1.050	1.050	m ³ /h
Luchtbelasting per m ² belucht vloeroppervlak	4,6	4,6	m ³ /h. m ² vloeroppervlak
Luchtbelasting per element	2,2	21,9	m ³ /h.element
Luchtbelasting per m ² membraan	22,7	10,9	m ³ /h.m ² membraanoppervlak
Aërobe reactorring			
Aantal velden	2	2	Stuks
Aantal elementen	672	90	Stuks
Belucht grondoppervlak	325	325	m ²
Oppervlak per element	0,0962	2	m ²
Ontwerp			
Beluchtingscapaciteit ontwerp	3.500	3.500	m ³ /h
Luchtbelasting per m ² belucht vloeroppervlak	10,8	10,8	m ³ /h. m ² vloeroppervlak
Luchtbelasting per element	5,2	38,9	m ³ /h.element
Luchtbelasting per m ² membraan	54,1	19,4	m ³ /h.m ² membraanoppervlak
Modelstudie			
Beluchtingscapaciteit modelstudie	2.100	2.100	m ³ /h
Luchtbelasting per m ² belucht vloeroppervlak	6,5	6,5	m ³ /h. m ² vloeroppervlak
Luchtbelasting per element	3,1	23,3	m ³ /h.element
Luchtbelasting per m ² membraan	32,5	11,7	m ³ /h.m ² membraanoppervlak

FIGUUR 35

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BELUCHTINGCONFIGURATIES VOOR DE REFERENTIE SITUATIE EN DE UITGEWERKTE VARIANT

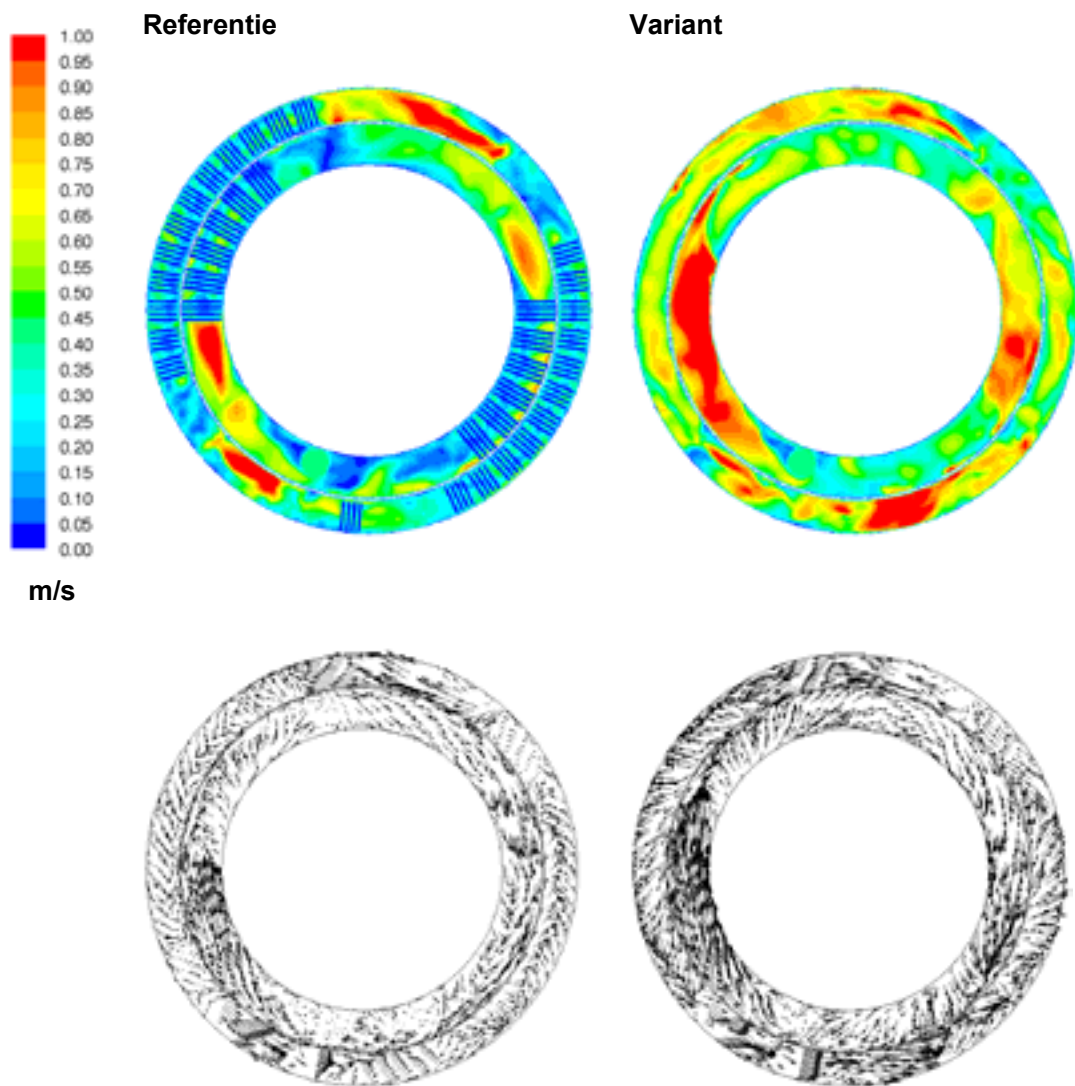


De resultaten van de modelberekeningen zijn opnieuw voor verschillende waterhoogtes (0,2 - 3,2 - 6 m) uitgewerkt. In het navolgende zijn de resultaten weergegeven. De berekende omloopsnelheden zijn met kleuren aangegeven (van 0 - 1 m/s, zie figuren) terwijl het stromingspatroon in de ringen met vectoren is weergegeven.

In de figuren 36 tot en met 38 zijn voor drie verschillende waterhoogtes de resultaten van de berekeningen weergegeven.

FIGUUR 36

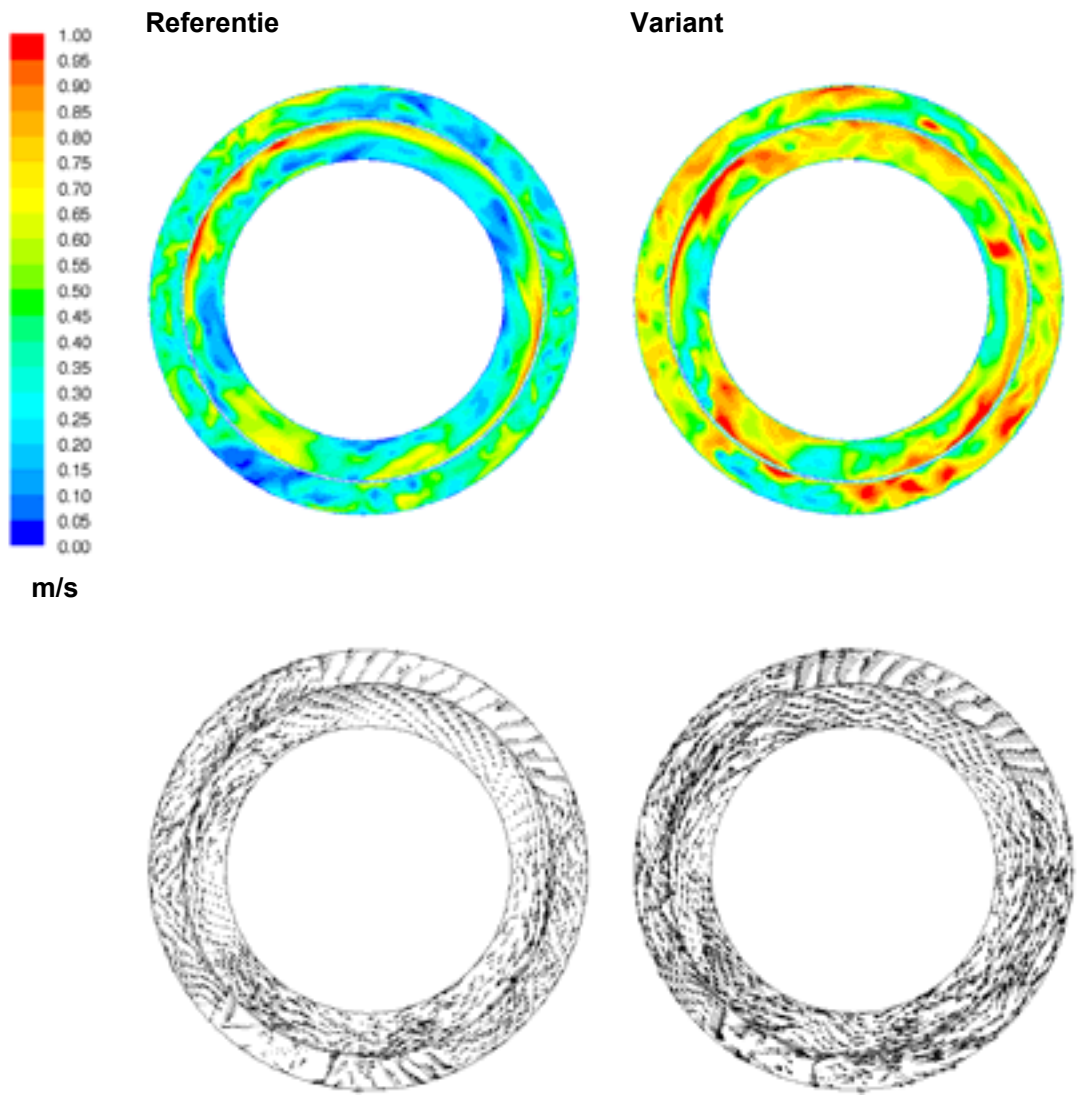
DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 0,2 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANT



In figuur 36 zijn in de referentie de contouren van schotelementen duidelijk zichtbaar. Dit wordt veroorzaakt door de aanleghoogte van de schotelementen, deze worden op circa 0,2 m van de bodem gemonteerd. De plaalementen worden direct op de bodem gemonteerd.

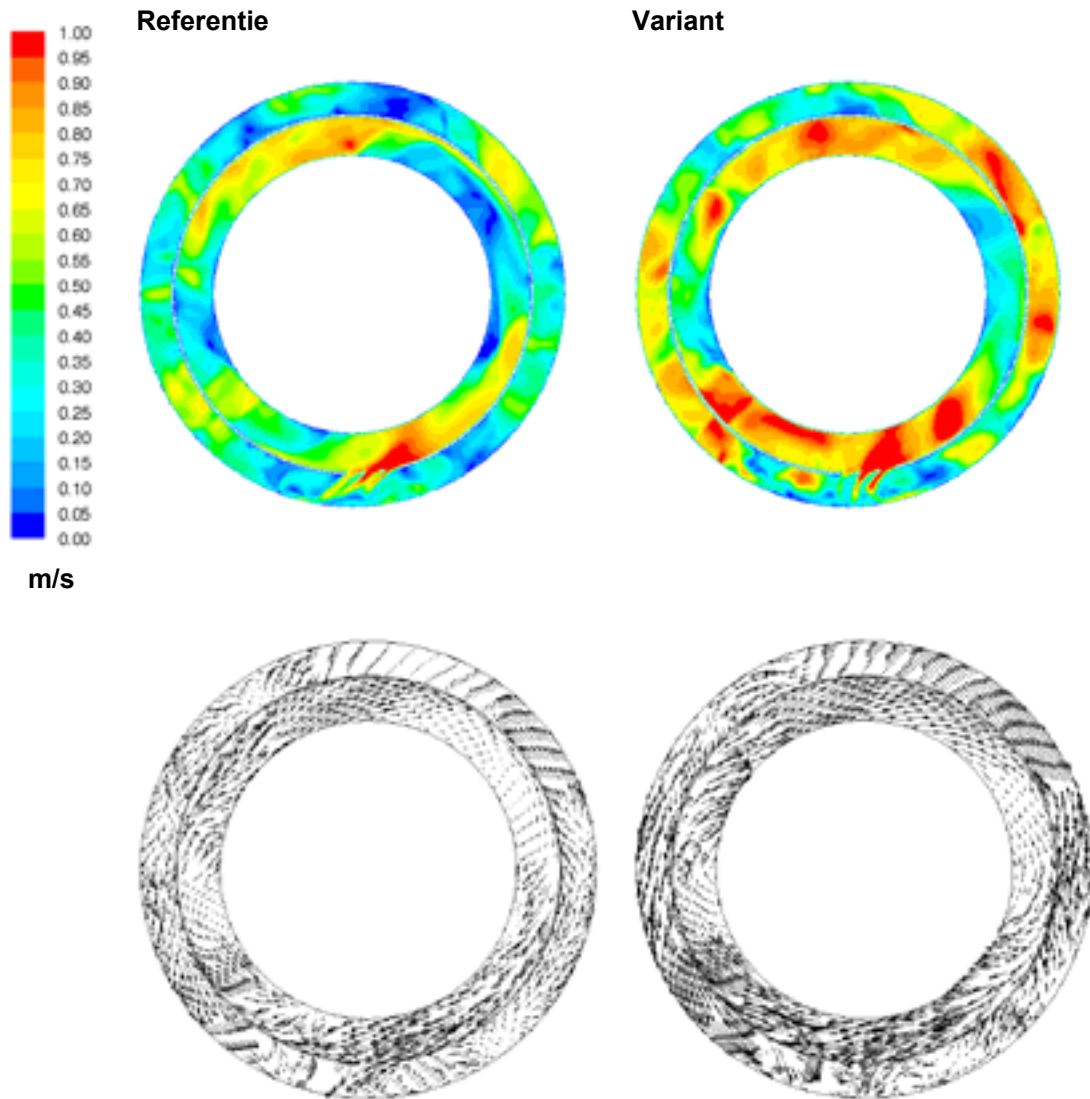
FIGUUR 37

DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 3,2 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANT



FIGUUR 38

DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 5,7 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANT



Uit bovenstaande volgt dat door de inzet van plaalementen de omloopsnelheid in de ring bij de inzet van dezelfde stuwkracht in zowel de wisselreactor als de aërobe reactorring duidelijk is toegenomen (zie ook tabel 7).

TABEL 7

BEREKENDE GEMIDDELDE OMLOOPSNELHEID (M/S) IN WISSELREACTOR EN DE AËROBE REACTORRING VOOR ZOWEL DE REFERENTIE ALS DE VARIANT

Procesonderdeel	Referentie	Variant	Eenheid
Wisselreactor	0,45	0,63	m/s
Aërobe reactorring	0,39	0,61	m/s

De berekende omloopsnelheden in zowel de wisselreactor als de aërobe reactorring zijn hoger dan de gemeten omloopsnelheden tijdens de garantie metingen (respectievelijk 0,38 en 0,25 m/s). Bij de garantiemetingen was de beluchttingscapaciteit echter maximaal terwijl voor de modelberekeningen is uitgegaan van een nominale beluchttingscapaciteit (70% van de maximale beluchttingscapaciteit).

De hogere omloopsnelheid bij de inzet van plaalementen wordt veroorzaakt door de significant lagere luchtbelasting. De luchtbelasting ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ membraanoppervlak) is bij de inzet van plaatbeluchting in de wisselreactor circa 50% van de luchtbelasting van de schotelementen. Voor de aërobe reactorring is door de inzet van plaalementen de luchtbelasting per m^2 membraanoppervlak zelfs 60% lager.

Uit figuur 38 blijkt verder dat in de referentie een gedeelte van de overstort van de wisselreactor naar de aërobe reactorring wordt gevoerd tegen de stroomrichting in. Dit betekent dat indien er sprake is van een overlaat van de aërobe reactorring, de overlaten van de wissel en de aërobe reactorring niet te dicht bij elkaar mogen liggen in verband met de kans op een kortsluitstroom. Door de hoge omloopsnelheid in de aërobe reactorring bij de inzet van plaalementen wordt de stroomrichting vrijwel direct omgekeerd, zodat in deze variant minder kans zal zijn op een kortsluitstroom. Voor de RWZI Drachten geldt overigens dat het slib-watermengsel uit de aërobe reactorring via een onderdoorlaat wordt afgevoerd.

4.4.3 EFFECT 70% REGEL

Om de invloed van de verhouding van het doorstroomdebiet in de reactorring na een uitgaand debiet ten op zichten van het doorstroomdebiet voor deze uitgaande stroom te kunnen bepalen zijn er modelberekeningen uitgevoerd waarbij de recirculatiecapaciteit van de recirculatiepompen B en C werden gevarieerd. De modelberekeningen zijn uitgevoerd met de beluchte ringen. In tabel 8 zijn per variant de ingestelde recirculatiecapaciteiten van de pompen weergegeven en is de bijbehorende verhouding direct na de recirculatiepompen in de aërobe reactorring vermeld. Bij het bepalen van deze verhoudingen is geen rekening gehouden met de afvoer naar de nabezinktanks (stroomafwaarts van de recirculatiepompen). Een verhouding van 30:70 betekent dat na de uitgaande stroom (via de recirculatiepompen) het doorstroomdebiet nog maar 70% bedraagt van het oorspronkelijke debiet. In dat geval bedraagt het debiet van de uitgaande stroom dus 30% van het oorspronkelijke doorstroomdebiet. In figuur 39 zijn de omloopsnelheden per variant in de wisselreactor en de aërobe reactorring weergegeven. Voor de berekeningen is verder uitgegaan van de berekende voortstuwsnelheid in de aërobe reactorring in de referentiesituatie (zie paragraaf 4.4.2).

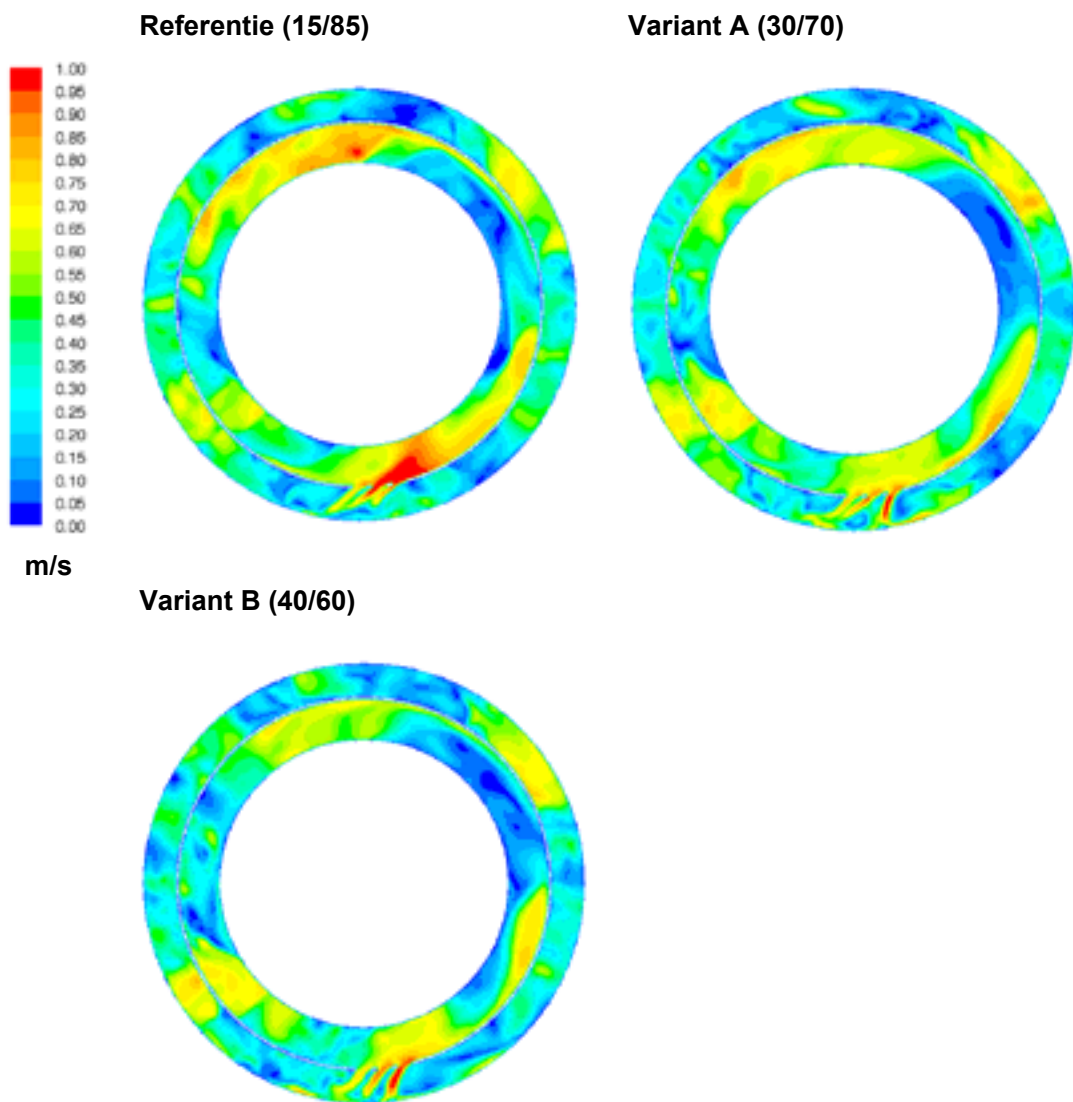
TABEL 8

INGESTELDE RECIRCULATIECAPACITEITEN EN DE BIJBEHORENDE VERHOUDING PER VARIANT

Variant	Capaciteit recirculatiepomp B (m^3/h)	Capaciteit recirculatiepomp C (m^3/h)	Verhouding
Referentie	3.300	3.300	15 : 85
A	4.400	5.000	30 : 70
B	5.000	7.000	40 : 60

FIGUUR 39

DE OMLOOPSNELHEID OP 5,7 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE BESCHREVEN VARIANTEN



Uit figuur 39 blijkt dat de omloopsnelheid lager wordt naarmate het uitgaande debiet ten opzichte van het doorstroomdebiet hoger wordt. De lokale omloopsnelheden in met name de wisselreactor worden lager bij een hogere verhouding. In tabel 9 zijn de gemiddelde omloopsnelheden in de wisselreactor en de aërobe reactorring voor elke variant weergegeven. Uit tabel 9 blijkt dat de verlaging van de omloopsnelheden echter niet significant is. De berekende omloopsnelheden zijn in alle varianten hoog en ruim voldoende om terugstroming te voorkomen.

TABEL 9

DE GEMIDDELDE OMLOOPSNELHEDEN PER VARIANT

Variant	Wisselreactor	Aërobe reactorring	Eenheid
Referentie	0,45	0,39	m/s
A	0,44	0,39	m/s
B	0,41	0,36	m/s

Uit bovenstaande kan worden geconcludeerd dat een verhoging van het uitgaande debiet ten opzichten van het doorstroomdebiet wel tot een verlaging van de omloopsnelheid leidt,

maar dat deze verlaging in het geval van de RWZI Drachten en de gehanteerde uitgangspunten niet tot een terugstroming zullen leiden. De omloopsnelheid is immers ook bij een 40/60 verhouding nog steeds ruim voldoende (0,36 m/s).

Uit de modelberekeningen is gebleken dat een verhoging van het uitgaande debiet ten opzichte van het doorstroomdebiet niet heeft geleid tot een significante verlaging van de stroomsnelheid in de aërobe reactorring. Een mogelijke reden voor de kleine verschillen is dat direct stroomafwaarts van de recirculatiepompen zich ook de afvoer naar de nabezink tanks en de overstort van de wisselreactor naar de aërobe reactorring bevinden. De laatstgenoemde verstoringen zijn relatief groot ten opzichte van de verstoringen door aanpassing van de recirculatiecapaciteit.

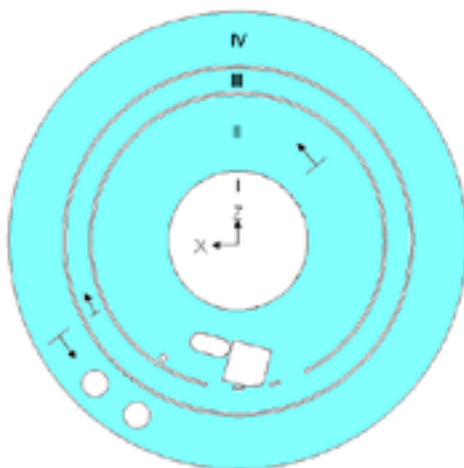
4.4.4 MEE- EN TEGENSTROOM

Om het effect van mee- en tegenstroom te kunnen bepalen zijn er zowel met de niet beluchte ringen als de beluchte ringen modelberekeningen uitgevoerd. Om alle niet beluchte ringen van dezelfde stroomrichting te kunnen voorzien is de afloop van de anoxische selector circa 45 graden stroomopwaarts van de anoxische reactorring opgeschoven en is de stroomrichting van de anoxische selector omgedraaid (zie figuur 40).

FIGUUR 40

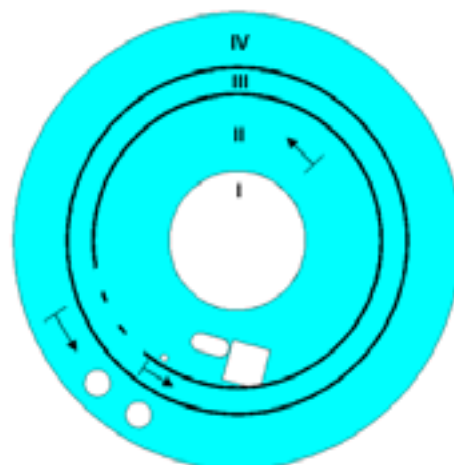
SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE NIET BELUCHTE RINGEN IN DE REFERENTIESITUATIE (TEGENSTROOM) EN DE VARIANT MET MEESTROOM

Referentie (tegenstroom)



- I = indikker
- II = anoxische reactorring
- III = anoxische selector
- IV = anaëroob reactorring

Variant (meestroom)

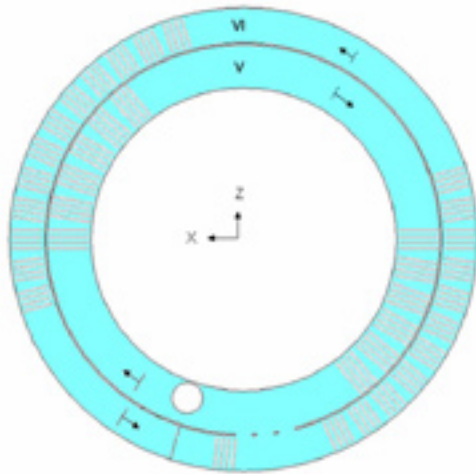


- I = indikker
- II = anoxische reactorring
- III = anoxische selector
- IV = anaëroob reactorring

Om de beide beluchte ringen van dezelfde stroomrichting te kunnen voorzien is de wervelput in de wisselreactor 45 graden tegen de klok in verschoven en is de stroomrichting in de wisselreactor omgedraaid (zie figuur 41).

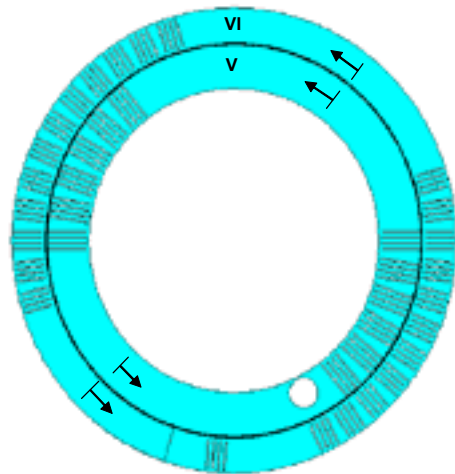
FIGUUR 41 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BELUCHTE RINGEN IN DE REFERENTIESITUATIE (TEGENSTROOM) EN DE VARIANT MET MEESTROOM

Referentie (tegenstroom)



V = wisselreactor
VI = aërobe reactorring

Variant (meestroom)



V = wisselreactor
VI = aërobe reactorring

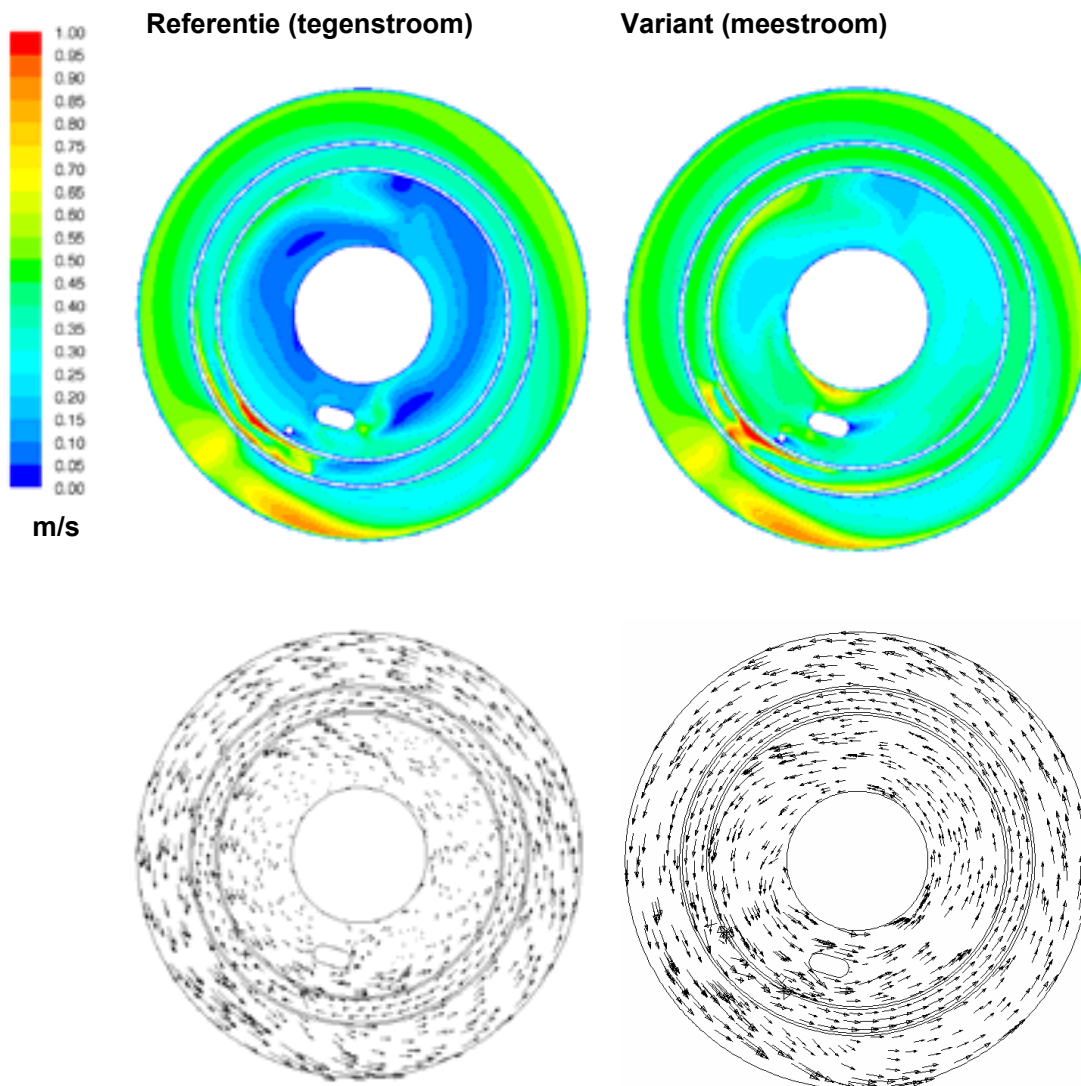
NIET BELUCHE RINGEN

In figuur 42 zijn de resultaten van de modelberekeningen van de niet beluchte ringen weergegeven op een waterhoogte van 3,2 m. De situatie waarbij de afzonderlijke ringen in tegenstroom zijn uitgevoerd is feitelijk de referentie situatie (zie ook figuur 31).

Uit figuur 42 blijkt dat door uit te gaan van meestroom de stroomsnelheid in de anoxische reactorring duidelijk wordt verhoogd. Het stromingspatroon is bij meestroom in tegenstelling tot de referentiesituatie nu ook duidelijk geordend. De stroomsnelheid in de anoxische selector is ten opzichte van de referentiesituatie bij meestroom ook hoger.

FIGUUR 42

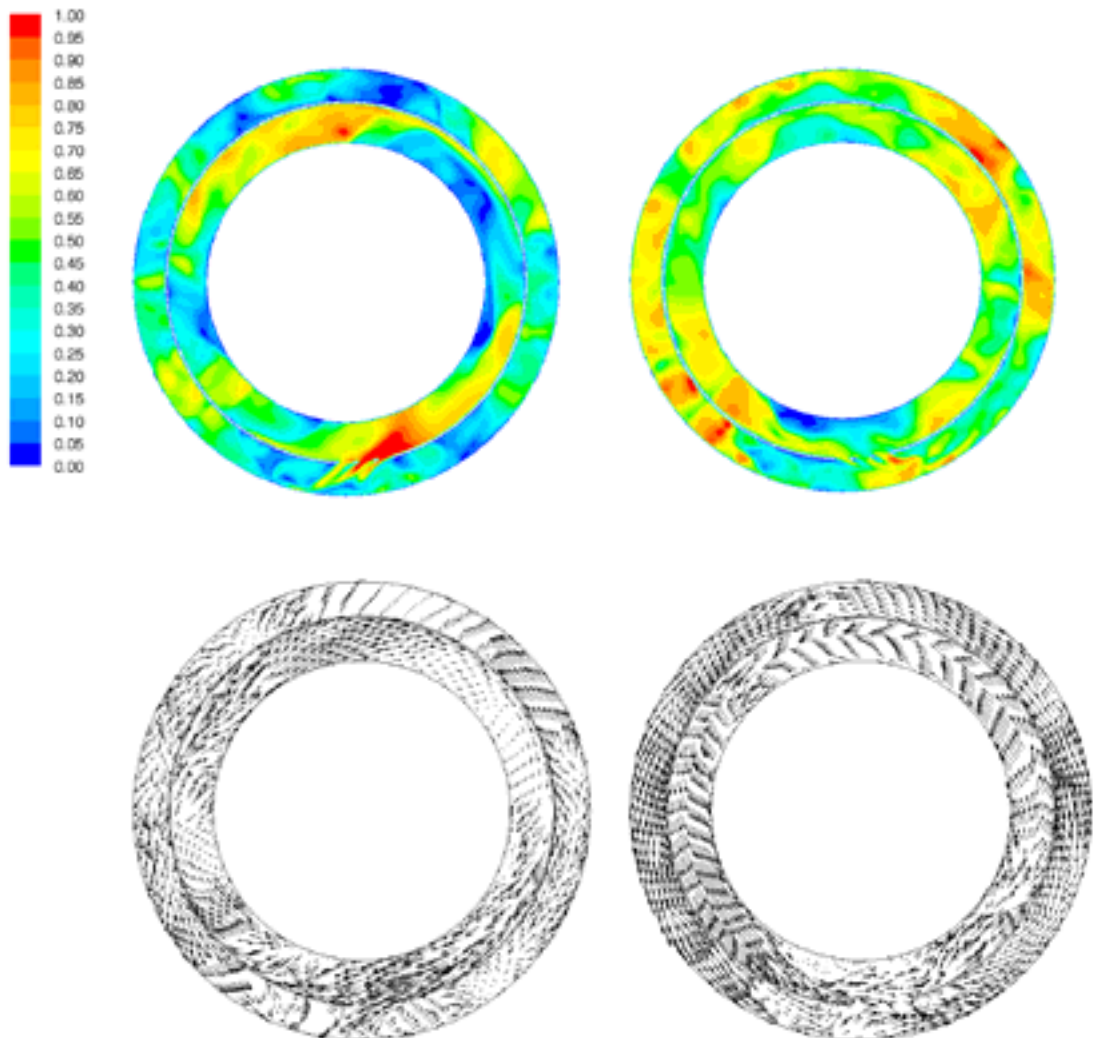
DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 3,2 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE EN DE MEESTROOM VARIANT IN DE NIET BELUCHE RINGENS



BELUCHTE RINGEN

In figuur 43 zijn de resultaten van de modelberekeningen in de beluchte ringen bij een waterhoogte van 5,7 m weergegeven. In de variant zijn de omloopsnelheden ten opzichte van de referentiesituatie duidelijk hoger. De gemiddelde omloopsnelheid bedraagt in de referentiesituatie in de wisselreactor en de aërobe reactorring respectievelijk 0,45 en 0,39 m/s, terwijl deze omloopsnelheden in de meestroom variant 0,53 en 0,62 m/s bedragen. Uit de modelberekeningen is gebleken dat bij alle waterhoogtes de snelheidsverdeling in de meestroom variant gelijkmatiger is dan in de referentiesituatie.

FIGUUR 43 DE OMLOOPSNELHEID EN DE BIJBEHORENDE VECTORPLOT OP 5,7 M BOVEN DE BODEM IN DE REFERENTIESITUATIE (TEGENSTROOM) EN DE MEESTROOM VARIANT IN DE BELUCHTE RINGEN



Uit de vectorplots in figuur 43 blijkt verder dat er in de meestroom variant in tegenstelling tot de referentie *geen* slib-watermengsel tegen de stroomrichting in, in de aërobe reactorring wordt gevoerd. Dit betekent dat er met de meestroom variant minder kans bestaat op een kortsluitstroom indien er in de omgeving van de overlaat van de wisselreactor een overlaat in de aërobe reactorring is gesitueerd. Indien wordt uitgegaan van meestroom kunnen de overlaten van de wisselreactor en de aërobe reactorring dus dichter bij elkaar worden gesitueerd.

4.4.5 EVALUATIE CFD-MODELLERING

Algemeen

- Met CFD modellering kan het stromingsgedrag in de verschillende reactorringen goed worden weergegeven.

Omloopsnelheid

- Uit de modelberekeningen blijkt dat de omloopsnelheid significant kan worden verhoogd indien de locatie van de voortstuwer zo wordt gekozen dat de voortstuwer het pomphuis zonder verstoringen van in- of uitgaande stromen kan afmaken.
- Verhogen van de omloopsnelheid kan bij tegenstroom leiden tot een kortsluitstroom in de navolgende reactorring.
- Een verlaging van de luchtbelasting van de beluchtingselementen leidt tot hogere omloopsnelheden. Dit betekent dat de benodigde stuwkracht van de voortstuwers bij de inzet van plaalementen lager kan zijn.
- De omloopsnelheden zijn bij de inzet van dezelfde stuwkracht bij meestroom hoger dan bij tegenstroom.

Mengedrag en kortsluitstroming

- Het menggedrag wordt minimaal beïnvloed door het verschil tussen mee- of tegenstroom. De positie van de voortstuwers ten opzichte van mogelijke verstoringen in de reactorring is voor een verbetering van het menggedrag belangrijker dan de keuze mee- of tegenstroom.
- De kans op kortsluitstroming is bij meestroom geringer dan bij tegenstroom.

Specifiek voor de RWZI Drachten

- In de anoxische reactor bestaat de kans op slibafzetting door de geringe omloopsnelheid. Het aanpassen van de opstelhoek heeft geen verbetering van de stroming tot gevolg.
- De omloopsnelheid in de andere niet beluchte reactorringen is ruim voldoende.
- Door de voortstuwers in de anaërobe reactorring en de anoxische selector te verplaatsen wordt een hogere omloopsnelheid berekend.
- Tussen de afloop anoxische selector, recirculatiestroom B en de afloop van de anoxische reactorring is een significante kortsluitstroom aanwezig.
- De omloopsnelheden in de wisselreactor en de aërobe reactorring zijn bij de inzet van schotelbeluchting (nominale condities) ruim voldoende.
- Een verhoging van het uitgaande debiet ten opzichten van het doorstroomdebiet leidt tot een (kleine) verlaging van de omloopsnelheid. Deze verlaging leidt in het geval van de RWZI Drachten niet tot problemen (terugstroming).

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 CONCLUSIES

Uit dit inventarisatie- en modelonderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

INVENTARISATIE

- In de praktijk zijn tot nu toe op basis van de gegevens van 20 RWZI's met ronde reactoren op 3 RWZI's kortsluitstromen bekend.
- Ondanks de niet optimale geometrie van de reactorringen en suboptimale voortstuwerposities in ronde reactoren zijn tot op heden geen bijzondere problemen ten aanzien van de effluentkwaliteit geconstateerd.
- Er is weinig uniformiteit geconstateerd in het ontwerp van ronde reactoren door alle betrokken partijen.
- De vereiste stuwkracht voor de gewenste omloopsnelheid in een reactorring neemt toe bij een smallere beenbreedte.
- Bij gelijke stroomrichting in twee opeenvolgende ringen (meestroom) is voor de voortstuwning minder energie vereist. De benodigde stuwkracht kan ten opzichte van tegenstroom in beide ringen tot 15 % lager zijn.
- Als de ingaande stroom stroomopwaarts van een voortstuwer wordt ingebracht is een goede menging gewaarborgd. In deze situatie is de geometrie en de hoogte van de doorlaatconstructies van minder belang.

MODELLERING

- Uit de modelberekeningen blijkt dat de omloopsnelheid wordt verhoogd indien de locatie van de voortstuwer zo wordt gekozen dat de voortstuwer het pomphuis zonder verstoringen (in- of uitgaande stromen) kan afmaken.
- Het menggedrag wordt minimaal beïnvloed door het verschil tussen mee- of tegenstroom. De positie van de voortstuwings ten opzichte van mogelijke verstoringen in de reactorring blijkt voor verbetering van het menggedrag belangrijker te zijn dan de keuze mee- of tegenstroom.
- Verhogen van de omloopsnelheid kan bij tegenstroom leiden tot een kortsluitstroom in de navolgende reactorring.
- Een verlaging van de specifieke luchtbelasting van de beluchtingselementen leidt tot hogere omloopsnelheden. Dit betekent dat de benodigde stuwkracht van de voortstuwings bij een lagere specifieke luchtbelasting van de beluchtingselementen lager kan zijn.
- Een verhoging van het uitgaande debiet ten opzichte van het doorstroomdebiet tot een verhouding 40/60 leidt bij omloopsnelheden van circa 0,4 m/s tot een (kleine) verlaging van de omloopsnelheid. De stuwkracht van de voortstuwings is dan nog ruim voldoende om de omloopverstoring op te heffen.
Indien de uitgaande stroom (recirculatiepompen) in de directe nabijheid van een overstort naar een navolgende reactorring of naar de nabezinktanks is gesitueerd is het effect van een verhoging van de recirculatie debieten relatief gering.

5.2 AANBEVELINGEN

- Voor een optimale afstemming van de benodigde stuwkracht en de selectie van het type en aantal voortstuwers per reactorring wordt aanbevolen de leveranciers direct bij het ontwerp van de indeling van de reactorringen te betrekken.
- In het bestek dient een stroomschema met DWA- en RWA-condities en een schematische weergave van de mogelijke omloopverstoringen te worden bijgevoegd (voor voorbeelden zie figuur 24 en figuur 27 en bijlage 3). Door het opmaken van deze figuren wordt onmiddellijk duidelijk waar eventuele “zwakke” gebieden in de verschillende reactorringen aanwezig zijn.
- Er wordt aanbevolen het ontwerp van de beluchtingsconfiguratie te combineren met de benodigde stuwkracht in de reactorringen. Op deze wijze kan die combinatie worden geselecteerd waarbij het overall energieverbruik voor beluchting en voortstuwing minimaal is.
- Voor een gelijkmatig snelheidspatroon over de gehele beenbreedte van de reactorring dient overwogen te worden om de beluchtingsintensiteit in de reactorring van binnen naar buiten te verhogen door verdichting van de elementenopstelling.
- Er wordt aanbevolen om voortstuwers te voorzien van frequentieomvormers. Uit de resultaten is gebleken dat de luchtbelasting een grote invloed heeft op de benodigde stuwkracht in de reactorring. Door de voortstuwers te voorzien van frequentieomvormers bestaat de mogelijkheid om de benodigde stuwkracht aan te passen aan de actuele luchtbelasting in de reactorring.
- Vanwege een optimale bedrijfsvoering en vanwege de kosten wordt meestal gekozen voor een enkele brugconstructie over de tank. Hierdoor zijn de mogelijke locaties voor het plaatsen van voortstuwers beperkt omdat een voortstuwder bereikbaar en ophaalbaar moet zijn voor onderhoud. De voortstuwers dienen in een dergelijk geval als sluitpost. In het kader van het energieverbruik wordt aanbevolen dit principe niet toe te passen. Een mogelijke oplossing zou kunnen zijn om meerdere voortstuwers te concentreren aan één zijde van de brug en de andere voorzieningen (pompen, doorlaten etc.) aan de overkant te situeren. Een andere mogelijkheid is om niet uit te gaan van één enkele brugconstructie over de gehele reactor, maar uit te gaan van meerdere bruggen tot het midden van de reactor. Op deze manier kunnen de voortstuwers op de gewenste locaties worden gesitueerd.
- Ten aanzien van de CFD-modelberekeningen wordt het volgende aanbevolen.
 - De modelberekeningen om het effect van de 70%-regel aan te tonen te herhalen bij een omloopsnelheid van 0,25 – 0,3 m/s en verschillende gebieden in een reactorring.
 - Modelberekeningen uitvoeren bij een variatie van de hydraulische straal (breedte/ diepte verhouding) van een smalle reactorring.
 - Modelberekeningen herhalen bij DWA-condities.
- Uit de inventarisatie is gebleken dat er behoefte is aan een standaard methodiek om de omloopsnelheid te bepalen. Een voorbeeld van een meetprotocol dat als standaard zou kunnen dienen is in het navolgende gegeven.

VOORBEELD MEETPROTOCOL BEPALING GEMIDDELDE STROOMSNELHEID

- De gemiddelde snelheid wordt bepaald door het gemiddelde te berekenen van een aantal gemeten waarden op vooraf bepaalde locaties.
 - Per locatie zijn de meetpunten gelijkmatig verdeeld over de natte dwarsdoorsnede van de ruimte (raster).
 - De maximale afstand tussen twee meetpunten bedraagt 1 m, het aantal meetpunten per raster bedraagt tenminste 15.
 - Per meetpunt zullen tenminste drie metingen van elk één minuut worden uitgevoerd.
 - Minimale afstand meetpunt tot de bodem is 0,3 m: op deze meetpunten dient de stroomsnelheid tenminste 0,20 m/s te bedragen.
 - De gemiddelde stroomsnelheid over de gehele dwarsdoorsnede (raster) moet tenminste 0,25 – 0,30 m/s bedragen.
 - In reactoren met beluchting dienen bovengenoemde stroomsnelheden te worden gehaald bij maximale inzet van de beluchtingscapaciteit.
-
- De sparingen tussen opeenvolgende reactorringen zo te construeren dat de snelheid van de ingaande stroom overeenkomt met de omloopsnelheid in de reactorring.

6

RICHTLIJNEN VOOR MENGING EN VOORTSTUWEN

Richtlijnen voor het ontwerp van nieuwe ronde reactoren:

- De kritische omloopsnelheid om bezinking te voorkomen bedraagt 0,20 m/s. Dit betekent dat op elke locatie in de reactorring een omloopsnelheid van minimaal 0,20 m/s gewaarborgd moet zijn.
- Omloopverstoringen rondom de voortstuwer moeten worden voorkomen. De vrije ruimte stroomopwaarts bedraagt tenminste 1 x de beenbreedte of waterhoogte van de reactorring. De vrije ruimte stroomafwaarts van de voortstuwer bedraagt 2 x de beenbreedte of waterhoogte zodat er voldoende ruimte is om het pomphuis op te bouwen.
- De ingaande stroom in een reactorring wordt bij voorkeur stroomopwaarts van de voortstuwer gesitueerd. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de benodigde vrije ruimte tussen de locatie van de ingaande stroom en de voortstuwer.
- De voortstuwer dient zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts op voldoende afstand van de beluchtingpakketten geïnstalleerd te worden. Stroomopwaarts om het risico van luchtinsluiting in de voortstuwer te voorkomen, stroomafwaarts om voldoende vrije lengte te creëren zodat het pomphuis kan worden opgebouwd. De afstand tussen de voortstuwer en een beluchtingpakket bedraagt zowel stroomopwaarts als stroomafwaarts bij voorkeur 2 x de beenbreedte of 2 x de waterhoogte.
- De benodigde stuwkracht in een beluchte reactorring dient te worden afgestemd op de variatie van de luchtbelasting. Dit kan door de voortstuwers te voorzien van een frequentieomvormer.
- Opeenvolgende reactorringen kunnen het beste in meestroom worden uitgevoerd om kortsluitstroming te voorkomen en te besparen op de benodigde stuwkracht van de voortstuwers in de verschillende reactorringen.
- Meng of instroom- constructies in de reactorring moeten zoveel mogelijk worden vermeden.

Voor bestaande RWZI's gelden volgende richtlijnen:

- Indien blijkt dat door een hoge in- of uitgaande stroom stroomafwaarts van de voortstuwer een omloopverstoring (terugstroming of kortsluitstroom) ontstaat moet worden overwogen om voortstuwers met een hogere stuwkracht te installeren, of de locatie van de in- of afvoer met behulp van leidingwerk te verplaatsen.
- Om aanwezige kortsluitstromen in opeenvolgende reactorringen met bovendoorlaten op te heffen kunnen geleidevanen worden geïnstalleerd.
- Terugstroming van slib-watmengsel voor een beluchtingspakket aan de binnenkant van een reactorring kan worden verholpen door de beluchtingintensiteit aan de buitenkant van de reactorring te verhogen.
- Indien de stroomsnelheid duidelijk groter is dan 0,4 m/s moet de inzet van frequentieomvormers worden overwogen.

BIJLAGE1

TABEL VERGELIJKING ONDERZOCHE RWZI'S

Waterkwaliteitsbeheerder Versie: 23/06/2006		Brabantse Delta RWZI Waalwijk		Hollandse Delta Barendrecht	Goedereede	Middelhamnis	De Dommel Eindhoven	Boxtel
Algemene kentallen ontwerp		Ontwerp Influent	aflloop vbt	Praktijk				fase 2
% persleiding	%	100			100	100	2	70
DWA	m3/h	550			550	480	5000	600
RWA	m3/h	2530			1400	1450	1800	3150 (2000)
TWA	m3/d			12500	6658	7510	8820	12700
CZV	kg/d			5840				6990
BZV	kg/d	3075	2152	2100				2800
Nkj	kg/d	519	420	470				850
Ptot	kg/d	92		76				90
ZS	kg/d							2970
i.e.	136 g TZV			58700	31.200	22.200	29800	990.000
								80.000
Effluenteisen								
CZV	mg/l							
BZV	mg/l	20						
NH4-N	mg/l							
Ntot	mg/l	10						20
Ptot	mg/l	2						2
ZS	mg/l	30						
Ontwerp SVI	ml/g							
Ontwerp SG	kg/m3							
Volume persleiding	m3	1600					704	
Voorbezinking		ja			nee	nee	nee	ja
aantal tanks	(-)	2					3	2
diameter	m	25,3					64,8	
oppervlakte	m2							
kantdiepte	m	1,8					2,4	
helling	o	22					11	
inhoud	m3							
Procesconfiguratie								VD + chem -P
Mee-/ tegenstroom		meestroom			meestroom	meestroom	meestroom	tegenstroom
Aantal straten		2			1	1	3	2
waterdiepte	m				5	4	4,5	6
Anaerobe reactor								
Reactortype					omloop	propstroming	propstroming	propstroming
Volume totaal	m3				826	920	1000	3730
Aantal compartimenten	(-)				2	3	3	4
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m				5,1 x 5 en 2,1 x 5			
Aantal mengers	(-)				2	3	6	4
Vermogen per menger	kW				3,2 en 5	1,5		5,5
Geïnstalleerd vermogen	W/m3				7,7 en 12	4,9		5,9
Aantal voortuwers	(-)							
Vermogen per voortstuwer	kW							
Geïnstalleerd vermogen	kW							
Voortstuwsnelheid	m/s							
onder/boven doorlaat					boven	boven	boven	boven
afmeting doorlaat (l x h)	m						6 x 2	
snelheid in doorlaat	m/s							
Selector								
Reactortype		omloop				propstroming	propstroming	propstroming
Volume per tank	m3	160				480	500	338 (1x40 en 3 x100)
Aantal compartimenten	(-)	1				3	3	4
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	2,7 x 4,1						
Aantal mengers	(-)					3	3	3
Vermogen per menger	kW					1,5	??	0,7
Geïnstalleerd vermogen	W/m3					9,4	??	7
Aantal voortuwers	(-)	1						
Vermogen per voortstuwer	kW	1,5						
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	9,4						
Voortstuwsnelheid	m/s							
onder/boven doorlaat		??				boven	boven	boven en onder
afmeting doorlaat (l x h)	m	??						2,0 x 0,7 en 0,2 x 0,2
snelheid in doorlaat	m/s							0,33
Vast anoxische ruimte								
Reactortype					omloop	omloop	omloop	omloop
Volume per tank	m3				1690	1120	1330	9525
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m				5,4 x 5	3,1 x 4	3,8 x 4,5	12 x 6,75
Aantal voortuwers	(-)				1	1	1	2
Vermogen per voortstuwer	kW				2	2,3	??	2
Geïnstalleerd vermogen	W/m3				1,2	2,1	??	0,4
Voortstuwsnelheid	m/s							0,25
onder/boven doorlaat					boven	over gehele hoogte	boven	boven en onder
afmeting doorlaat (l x h)	m					1,5 x 4	??	3,5 x 0,65 en 0,4 x 0,4
snelheid in doorlaat	m/s							0,33
Wisselreactor					(Hoogvliet, vijfde ring)			
Reactortype		omloop			omloop			
Volume totaal	m3	1260			4588			
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	6,9 x 4,1			6,5 x 5			
Aantal voortuwers	(-)	1			2			
Vermogen per voortstuwer	kW	4			3,9			
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	3,2			1,7			
Voortstuwsnelheid	m/s							
Onder/boven doorlaat					boven			
Afmeting doorlaat (l x h)	m	onder: 0,5 x 1,25 boven: 1,9 x 1,25						
Snelheid in doorlaat	m/s							
Beluchtingscapaciteit	kg O2/h							
Aantal platen/schotels	(-)							
Aantal velden	(-)							
Aerobe reactor					(Hoogvliet, vierde ring)			
Reactortype					propstromer	omloop	omloop	omloop
Volume per tank	m3	1478			3381	2536	3780	16933
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	4,1 x 4,1				5,4 x 4	7,5 x 4,5	12,7 x 6,75
Aantal voortuwers	(-)	1			nvt	1	2	4
Vermogen per voortstuwer	kW	4				4	??	1,8
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	2,7				1,6	??	0,43
Voortstuwsnelheid	m/s							0,25
Onder/boven doorlaat		boven			boven	??		boven
Afmeting doorlaat (l x h)	m	??				??		10,5 x 0,15
Snelheid in doorlaat	m/s							0,31
Beluchtingscapaciteit (OC)	kg O2/h	220						
Aantal platen/schotels	(-)							
Aantal velden	(-)	12						
Recirculatie A	m3/h				550			
Recirculatie B	m3/h	200 - 1100			2750	??	2000	1000
Recirculatie C	m3/h							
Retourslib per tank (DWA/RWA)	m3/h	max. 800			1036	640/1030	1500	300/735
Leverancier mengers					KSB			Entec (hyperboloid)
Leverancier voortstuwers		GVA Weedless-T			KSB		KSB	Flygt
Leverancier beluchting								Flygt
Bijzonderheden			recirculatie met vijzels		Hoogvliet concept. Selector deel anaerobe ruimte ??			kortsluitstroming wordt vermoed groot verschil snelheid binnen- en buitenwand watersnelheid in deni-ring te hoog

Waterkwaliteitsbeheerder Versie: 23/06/2006		Veluwe		Hunze en Aas			Rijn en IJssel		HDSR
		Apeldoorn		Vriescheloo	Bellingwolde	Scheemda	Nieuwgraaf	Leidsche Rijn	
Algemene kentallen ontwerp									
% persleiding	%	0							
DWA	m3/h	4000		145		90			840
RWA	m3/h	11880 (15000)		470		375		15500	1600
TWA	m3/d	81000		2800		1680			
CZV	kg/d	30810		1745					
BZV	kg/d	11850		727		405			3780
Nkj	kg/d	3530		189		123			840
Ptot	kg/d	427		27		15,8			
ZS	kg/d	7500		552					
i.e.	136 g TZV	345.000		19.200					93000
						7,5			
Effluenteisen									
CZV	mg/l			125 (35)					
BZV	mg/l	20		20 (5)		10			
NH4-N	mg/l								
Ntot	mg/l	10		15 (10)		15			10
Ptot	mg/l	1,5		2 (1)		2			
ZS	mg/l	30		30 (5)					
Ontwerp SVI	ml/g	120				150			
Ontwerp SG	kg/m3	4,7		4		4		4	
Volume persleiding	m3	0							1385
Voorbezinking									
aantal tanks	(-)	4		0				3	
diameter	m	37,4						45	
oppervlakte	m2								
kanddiepte	m							2	
helling	°								
inhoud	m3								
Procesconfiguratie		M-UCT						phoredox	phoredox
Mee-/ tegenstroom		meestroom						meestroom	tegenstroom
Aantal straten		2		1				3	2
waterdiepte	m	6						5,5	7,5
Anaerobe reactor						ook selector functie			
Reactortype		propstroming		propstroming		propstroming		propstroming	propstroming
Volume totaal	m3	4000		290		164		1750	1100
Aantal compartimenten	(-)	3		4		4		3	2
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m								
Aantal mengers	(-)	3		4		4		6	
Vermogen per menger	kW	5,5				0,37		1,1	
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	4,1				9		3,8	
Aantal voortuwers	(-)								
Vermogen per voortstuwer	kW								
Geïnstalleerd vermogen	kW								
Voortstuwsnelheid	m/s								
onder/boven doorlaat		over gehele waterdiepte						opening over waterdiepte	onder
afmeting doorlaat (L x h)	m	6 x 1,5						1 * 5,5	
snelheid in doorlaat	m/s	0,25						0,42	
Selector									
Reactortype		1 gemende reactor		propstroming		propstroming		propstroming	propstroming
Volume per tank	m3	1700		129		14		500	400
Aantal compartimenten	(-)	1 (2)		2		1		3	3
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m								
Aantal mengers	(-)	2		2		1		3	4
Vermogen per menger	kW	3				0,55		0,75	
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	3,5				39		4,5	
Aantal voortstuwers	(-)								
Vermogen per voortstuwer	kW								
Geïnstalleerd vermogen	W/m3								
Voortstuwsnelheid	m/s								
onder/boven doorlaat		over gehele waterdiepte							boven
afmeting doorlaat (L x h)	m	5.12 x 1.5						1,5 * 5,5	
snelheid in doorlaat	m/s	0,41						0,595	
Vast anoxische ruimte									
Reactortype		omloop		omloop		omloop		omloop	omloop
Volume per tank	m3	6460		908		631		4818	2700
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	7.95 x 6		4.2 x 4				8.5 x 5.5	7.4 x 7.5
Aantal voortstuwers	(-)	2		1		1		1	2 (3)
Vermogen per voortstuwer	kW	2,3		5,5		4,8		4	4
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	0,7		6,1		7,6		0,83	2,96
Voortstuwsnelheid	m/s	0,25		0,3		0,3			0,3
onder/boven doorlaat		over gehele waterdiepte						opening over waterdiepte	opening over waterdiepte
afmeting doorlaat (L x h)	m	5.12 x 2						1,5 * 5,5	
snelheid in doorlaat	m/s	0,42						0,595	
Wisselreactor									
Reactortype								omloop (4e ring)	
Volume totaal	m3							7950	
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m							8 x 5.5	
Aantal voortstuwers	(-)							3	
Vermogen per voortstuwer	kW							4	
Geïnstalleerd vermogen	W/m3							1,51	
Voortstuwsnelheid	m/s								
Onder/boven doorlaat								boven	
Afmeting doorlaat (L x h)	m							24 x 0.25	
Snelheid in doorlaat	m/s							0,38	
Beluchtingscapaciteit	kg O2/h								
Aantal platen/schotels	(-)								
Aantal velden	(-)								
Aerobe reactor									
Reactortype		omloop		omloop				omloop (3e ring)	omloop
Volume per tank	m3	12240		2116		1394		6500	8100
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	10.450 x 6		6 x 4				7 x 5.5	7.4 x 7.5
Aantal voortstuwers	(-)	4						2	4 (F.O.)
Vermogen per voortstuwer	kW	4,3		5,5		4,8		4	4,2
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	1,4		2,6		3,4		1,23	2,1
Voortstuwsnelheid	m/s	0,25		0,3		0,3			0.3 z.b. 0,4 m.b.
Onder/boven doorlaat		onder						opening over waterdiepte	boven
Afmeting doorlaat (L x h)	m	2.8 x 7.2						1 * 5.5	
Snelheid in doorlaat	m/s	0,13						0,42	
Beluchtingscapaciteit (OC)	kg O2/h	2400		115		85			540
Aantal platen/schotels	(-)			30		200			puntbeluchting
Aantal velden	(-)	2		6 secties a 5					3 x 90 kW
Recirculatie A	m3/h	2000		150					
Recirculatie B	m3/h	6000		1500 (1015)		540		1750 - 9400	
Recirculatie C	m3/h								
Retourslib per tank (DWA/RWA)	m3/h	1775/3330				90/298		400 - 1175	300 - 1250
Leverancier mengers		Entec (hyperboloid)						Arnold	
Leverancier voortstuwers		Flygt				KSB		Arnold	
Leverancier beluchting		Flygt							
Bijzonderheden		vermoeden bestaat dat in de anoxische ruimte mengen laat optreed							

Waterkwaliteitsbeheerder Versie: 23/06/2006		Waternet		Velt en Vecht	Groot Salland	Hessenpoort	Zeeuwse Eilanden	Walcheren	Hollands Noorderkwartier
		Amstelveen	Amsterdam West	Dedemsvaart	Deventer		W+A polder		Ursum
Algemene kentallen ontwerp									
% persleiding	%	10	100	100	40	100	100	100	
DWA	m3/h	1500	8400	560	200 - 1200	375	1175	1920	650
RWA	m3/h	5000	30000	1500	6600	1000	4600	7600	1915
TWA	m3/d			7840		4800	22620	35500	
CZV	kg/d			3800		2700	9390	18020	
BZV	kg/d			1500	6673	1000	3630	6760	
Nkj	kg/d			380	1467	250	900	1875	
Ptot	kg/d			75	221	42	128	245	
ZS	kg/d			2055	10723		3870	6820	
i.e.	136 g TZV			40700	182000	28250	99200	195500	62100
Effluenteisen									
CZV	mg/l				125				
BZV	mg/l			10	20	15	20		
NH4-N	mg/l					5			
Ntot	mg/l			10	10 (7.5)	10	10	10	10
Ptot	mg/l			1	1	1	1	1	2
ZS	mg/l			30	30	30	30		
Ontwerp SVI	ml/g			120	120	120	120		
Ontwerp SG	kg/m3			4,5		5	4,5		
Volume persleiding	m3								
Voorbezinking									
aantal tanks	(-)	2	4	0	2	0	1	2	0
diameter	m	38	49,6		36		46	nvt	
oppervlakte	m2							1500	
kantdiepte	m	2					1,5	2	
helling	°								
inhoud	m3							3000	
Procesconfiguratie		VD + chem-P	UCT	BCFS	BCFS	BCFS	Phoredox	Phoredox	m-UCT
Mee-/ tegenstroom		meestroom	tegenstroom	tegenstroom	tegenstroom	tegenstroom	meestroom	meestroom	tegen
Aantal straten		2	7	1	2	1	1	2	1
waterdiepte	m	4,4	8	5	5	5	6		5 en 4
Anaerobe reactor									
Reactortype			propstroming	propstroming	omloop	omloop	propstroming	bestaand	propstroming
Volume totaal	m3		2590	1120	1200	720	2700	2960	1625
Aantal compartimenten	(-)		4	4	2 (ringen)	1	5 (1 x 80 en 4 x 655)	2 (1 x 300 en 1 x 2660)	4
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m				boven 1.6 onder 4.1 x 5 en 2.7 x 5	207 x 5			
Aantal mengers	(-)		4	3	2		4	3	4
Vermogen per menger	kW			1,5	5		2,2		2,8
Geïnstalleerd vermogen	W/m3			4,3	8,3		3,3		6,9
Aantal voortstuwers	(-)					1		1 (landox)	
Vermogen per voortstuwer	kW					4,8			
Geïnstalleerd vermogen	kW					6,7			
Voorstuwsnelheid	m/s				0,25	0,3			
onder/boven doorlaat			over de waterdiepte	boven	boven en onder	boven	boven		
afmeting doorlaat (l x h)	m			2.7 x 0.2	2 x 0.65 en 2 x 1	4 x ??	3.3 x 0.73		
snelheid in doorlaat	m/s			1,11	0,57		0,87		
Selector									
Reactortype		propstroming		omloop	omloop	omloop			
Volume per tank	m3	145		560	500	360			
Aantal compartimenten	(-)	3		1	1	1			
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	2.2 x 4.4		1.9 x 5	1.75 x 5	1.32 x 5			
Aantal mengers	(-)	beluchting		2	3				
Vermogen per menger	kW			3	3				
Geïnstalleerd vermogen	W/m3				12				
Aantal voortstuwers	(-)			1		1			
Vermogen per voortstuwer	kW			2		7,5			
Geïnstalleerd vermogen	W/m3			3,6		20,8			
Voorstuwsnelheid	m/s			0,3	0,25	0,3			
onder/boven doorlaat		1m over waterdiepte		onder	boven	onder	boven		
afmeting doorlaat (l x h)	m			3 x 1	3.5 x 0.55	?? x ??	3.3 x 0.75		
snelheid in doorlaat	m/s			0,3	0,96				
Vast anoxische ruimte									
Reactortype		omloop	omloop	omloop	omloop	omloop	omloop	omloop	prop/ omloop
Volume per tank	m3	1610	4350	1360	2352	720	3720	3800	700 en 700
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	7.9 x 4.4	6.7 x 8	3.4 x 5	5.45 x 5	3.25 x 5	6.4 x 6	14 * 6.09	1.95 x 5 en 6.55 x 4
Aantal voortstuwers	(-)	1	2	1	1	1	1	1	8 en 2
Vermogen per voortstuwer	kW			1,6	4	5,5	2	2,1	1.5 en 2.5
Geïnstalleerd vermogen	W/m3			1,2	1,7	7,6	0,54	0,55	17.1 en 7.1
Voorstuwsnelheid	m/s			0,3	0,25	0,3	0,25	0,25	
onder/boven doorlaat		1 m breed over waterdiepte		boven	boven	boven	boven	boven	onder/boven
afmeting doorlaat (l x h)	m			4 x 0.25	5 x 0.5	6.5 x ??	3.3 x 0.75	4.8 x 0.54	
snelheid in doorlaat	m/s			1,16	0,98		1,35	0,98	
Wisselreactor									
Reactortype			omloop	omloop	omloop	omloop			
Volume totaal	m3		4350	2880	3009	1350			
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m		4.75 x 8	5.4 x 5	5.1 * 5	3.07 x 5			
Aantal voortstuwers	(-)		4	2	1	1			
Vermogen per voortstuwer	kW			3	4	5,5			
Geïnstalleerd vermogen	W/m3			2,1	1,3	4			
Voorstuwsnelheid	m/s			0,3	0,25	0,25			
Onder/boven doorlaat				onder	boven	onder			
Afmeting doorlaat (l x h)	m			3.9 x 0.75	7 x 0.45	4 x 0.8			
Snelheid in doorlaat	m/s								
Beluchtingscapaciteit	kg O2/h			0,39	1,08				
Aantal platen/schotels	(-)			95	113	81			
Aantal velden	(-)			395		2			
Aerobe reactor									
Reactortype		omloop	omloop	omloop	omloop	omloop	omloop	omloop	omloop
Volume per tank	m3	3025	5800	2880	3009	1350	5580	5700	6860
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	7.2 x 4.4	5.05 x 8	4.1 x 5	3.9 x 5	2.57 x 5	6.65 x 6	7.5 * 6.05	17.2 x 4
Aantal voortstuwers	(-)	2	4	2	2	2	2	2	4
Vermogen per voortstuwer	kW			6,5	3,3	5,5	1,6	1,81	4
Geïnstalleerd vermogen	W/m3			4,5	2,2	4	0,58	0,64	2,3
Voorstuwsnelheid	m/s			0,3	0,25	0,25	0,25	0,25	
Onder/boven doorlaat				boven	boven	boven	boven	boven	
Afmeting doorlaat (l x h)	m			8 x ??	8.4 x 0.25		5.1 x 0.695	9.5 x 0.29	
Snelheid in doorlaat	m/s				0,8		0,6	0,64	
Beluchtingscapaciteit (OC)	kg O2/h			339	176	160	987	673	
Aantal platen/schotels	(-)			938				126	
Aantal velden	(-)			2	2	2	1	1	2
Recirculatie A	m3/h			560	600	480			300 - 1000
Recirculatie B	m3/h		5000	1500	2774	1000	4115	2750	500 - 3000
Recirculatie C	m3/h			0(1500)	3346	1500			
Retourslib per tank (DWA/RWA)	m3/h			240 - 1200	550/ 2574	1000	1511 - 2988	12950 - 2598	1276 - 2207
Leverancier mengers				Entec	Weedless-T		ENTEC		ABS
Leverancier voortstuwers				KSB	Weedless-T	KSB	KSB	KSB	ABS
Leverancier beluchting					GVA- Elastox-T		Bosman		ABS
Bijzonderheden									

Waterkwaliteitsbeheerder Versie: 23/06/2006		Regge en Dinkel		Aa en Maas	Waterschapsbedrijf Limburg
		Rijssen	Hengelo	Land van Cuijk	Roermond
Algemene kentallen ontwerp					
% persleiding	%	18	19	100	0
DWA	m3/h	570	2050	2500	2120
RWA	m3/h	3450	12200	8000	7000
TWA	m3/d				
CZV	kg/d				
BZV	kg/d				
Nkj	kg/d				
Ptot	kg/d				
ZS	kg/d				
i.e.	136 g TZV		190000	170000	228000
Effluenteisen					
CZV	mg/l				
BZV	mg/l				
NH4-N	mg/l				
Ntot	mg/l				
Ptot	mg/l				
ZS	mg/l				
Ontwerp SVI	ml/g				
Ontwerp SG	kg/m3				
Volume persleiding	m3	790	730		
Voorbezinking					
aantal tanks	(-)	0	6	0	1
diameter	m		rechthoekig		42,2
oppervlakte	m2				1400
kanddiepte	m				2
helling	°				12
inhoud	m3				
Procesconfiguratie			Phoredox	phoredox	
Mee-/ tegenstroom		tegen	mee	mee	mee
Aantal straten		1	4	4	4
waterdiepte	m	5,2	4,5	5	4,6
Anaerobe reactor					
Reactortype		geen gegevens	centraal	centraal	
Volume totaal	m3	is apart	prop + omloop	omloop	
Aantal compartimenten	(-)		3500		
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m		3.4 x 4.5 (omloop)		
Aantal mengers	(-)		1 (anae 1)		
Vermogen per menger	kW		2,3		
Geïnstalleerd vermogen	W/m3		1,3		
Aantal voortstuwers	(-)		1 (anae 2)		
Vermogen per voortstuwer	kW		2,3		
Geïnstalleerd vermogen	kW		1,3		
Voortstuwsnelheid	m/s				
onder/boven doorlaat			boven		
afmeting doorlaat (l x h)	m		7.5 * 0.8		
snelheid in doorlaat	m/s		0,21		
Selector		geen gegevens			
Reactortype		is apart	propstroming		propstroming
Volume per tank	m3		1750		1200
Aantal compartimenten	(-)		5		3
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m				
Aantal mengers	(-)		6		3
Vermogen per menger	kW		0,9		5
Geïnstalleerd vermogen	W/m3		3,1		12,5
Aantal voortstuwers	(-)				
Vermogen per voortstuwer	kW				
Geïnstalleerd vermogen	W/m3				
Voortstuwsnelheid	m/s				
onder/boven doorlaat			over gehele waterdiepte		
afmeting doorlaat (l x h)	m				
snelheid in doorlaat	m/s				
Vast anoxische ruimte					
Reactortype		omloop	omloop (kern)	omloop (kern)	omloop
Volume per tank	m3	2000	3760	1540 / 1310	3600
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	11 x 5.2	16 x 4.5	9.9 * 5/9.4 * 5	
Aantal voortstuwers	(-)	1	1	1	2
Vermogen per voortstuwer	kW	1,6	2,3	2.5/2.5	2,3
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	0,8	0,61	1.6/1.9	1,3
Voortstuwsnelheid	m/s				
onder/boven doorlaat		boven	boven en onder		
afmeting doorlaat (l x h)	m	2.50 x 0.8	2 x (3.75 * 0.8)		
snelheid in doorlaat	m/s	0,896	0,24		
Wisselreactor					
Reactortype			omloop	omloop	omloop
Volume totaal	m3		2150	1540/1310	1325
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m		4.2 x 4.5	8.2 x 5/ 7.1 * 5	
Aantal voortstuwers	(-)		1	1	1
Vermogen per voortstuwer	kW		2,3	2.3 / 2.3	4
Geïnstalleerd vermogen	W/m3		1,1	1.5 / 1.75	3
Voortstuwsnelheid	m/s				
Onder/boven doorlaat			boven en onder		boven
Afmeting doorlaat (l x h)	m		2 x (3.75 * 0.8)		
Snelheid in doorlaat	m/s		0,24		
Beluchttingscapaciteit	kg O2/h				
Aantal platen/schotels	(-)		membranen		
Aantal velden	(-)				
Aerobe reactor					
Reactortype		omloop	propstroming	propstroming	2 x 6125
Volume per tank	m3	5850	4840	3070 / 2630	propstroming
Geometrie natte dwarsdoorsnede (b x h)	m	11 x 5.2	7 x 4.5	11.6 x 5/ 10.75 x 5	
Aantal voortstuwers	(-)	2	0	0	2 x 11 mengers
Vermogen per voortstuwer	kW	2,5			1,5
Geïnstalleerd vermogen	W/m3	0,85			2,7
Voortstuwsnelheid	m/s				
Onder/boven doorlaat					boven
Afmeting doorlaat (l x h)	m				
Snelheid in doorlaat	m/s				
Beluchttingscapaciteit (OC)	kg O2/h				
Aantal platen/schotels	(-)		keramisch		
Aantal velden	(-)				
Recirculatie A	m3/h				
Recirculatie B	m3/h	1140	4100	1375-2750/ 1150 - 2300	8560
Recirculatie C	m3/h				2000
Retourslib per tank (DWA/RWA)	m3/h	545 - 1857	800 - 6300		2000 - 8500
Leverancier mengers			Flygt		
Leverancier voortstuwers		KSB	Flygt	Flygt	
Leverancier beluchting					
Bijzonderheden		drijfllaagophoping in VD-ruimte			

BIJLAGE 2

HYDRODYNAMISCHE GRONDSLAGEN

ALGEMEEN

In deze bijlage worden de hydrodynamische grondslagen ten aanzien van verschillende omstandigheden die in een ring voorkomen beschreven. Vervolgens wordt het mogelijke effect van dichtheidsstromingen beschreven.

HYDRODYNAMISCHE GRONDSLAGEN

De wet van Bernoulli

De Wet van Bernoulli beschrijft het stromingsgedrag van vloeistoffen of gassen, en relateert de druksveranderingen aan hoogte- en snelheidsveranderingen. De formule is een vereenvoudigde vorm (onder strenge voorwaarden) van de wet van behoud van energie:

$$H = Z + P / \rho * g + \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Hierin is:

H	energiehoogte (m)
z	plaatshoogte (m)
p/ρ*g	drukhoogte (m)
v ² /2g	snelheidshoogte (m)

Energieverliezen in een ring

In de literatuur staan diverse methoden beschreven om de energieverliezen in een ring (kanaal) te bepalen (Chow). Deze methoden verschillen op details, maar zijn in wezen hetzelfde. Veel gebruikte methoden zijn die van Chézy en Manning.

Volgens Chézy geldt:

$$v = C\sqrt{RS} \Rightarrow S = \frac{v^2}{RC^2} \quad (2)$$

Hierin is:

v	gemiddelde snelheid (m/s)
R	hydraulische straal ($R = A_{\text{nat}} / O_{\text{nat}}$) (m)
S	het verhang (m)
C	weerstand- of Chézy's coëfficiënt (-)

De weerstands- of Chézy's coëfficiënt C kan volgens Ganguillet en Kutter, Bazin of Powell (Zie Chow) bepaald worden. Volgens Bazin geldt:

$$C = \frac{157.6}{1 + m / \sqrt{R}} \quad (3)$$

De coëfficiënt m is afhankelijk van de ruwheid van de kanaalwand. In tabel 1.1 zijn een aantal ruwheidskennetallen voor verschillende materialen weergegeven.

TABEL 1.1

RUWHEIDSKENTALLEN VAN VERSCHILLENDE MATERIALEN

Materiaal kanaalwand	m (-)
glad cement	0.11
beton, gemetselde steen	0.21
ruw beton, ruw gemetselde steen	0.83

Volgens Manning geldt voor de energieverliezen:

$$v = \frac{1,49}{n} R^{1/2} S^{1/2} \Rightarrow S = \frac{v^2}{R} \left(\frac{n}{1,49} \right)^2 \quad (4)$$

Hierin is de ruwheids- of Manning's coëfficiënt.

VOORBEELD

- betonnen ring met een diameter van 50 m en een waterdiepte van 5 m en een breedte van 6 m;
- gemiddelde snelheid in de ring 0,3 m/s
- $l \times b \times h = 157 \times 6 \times 5$;
- $R = (A/O_{\text{nat}}) = (b \times h) / (b + 2h) = (6 \times 5) / (6 + 2 \times 5) = 1,875 \text{ m} = 6 \text{ ft}$
- $C = 157,6 / (1 + m/\sqrt{R}) = 157,6 / (1 + 0,21/\sqrt{6}) = 145 \sqrt{\text{ft/s}} = 80 \sqrt{\text{m/s}}$
- $S = (0,3^2) / (1,87 \times 80^2) = 0,75 \times 10^{-5}$
- $\Delta h = S \times l = 0,75 \times 10^{-5} \times 157 = 0,00117$
- $\Delta h = 1,2 \text{ mm}$

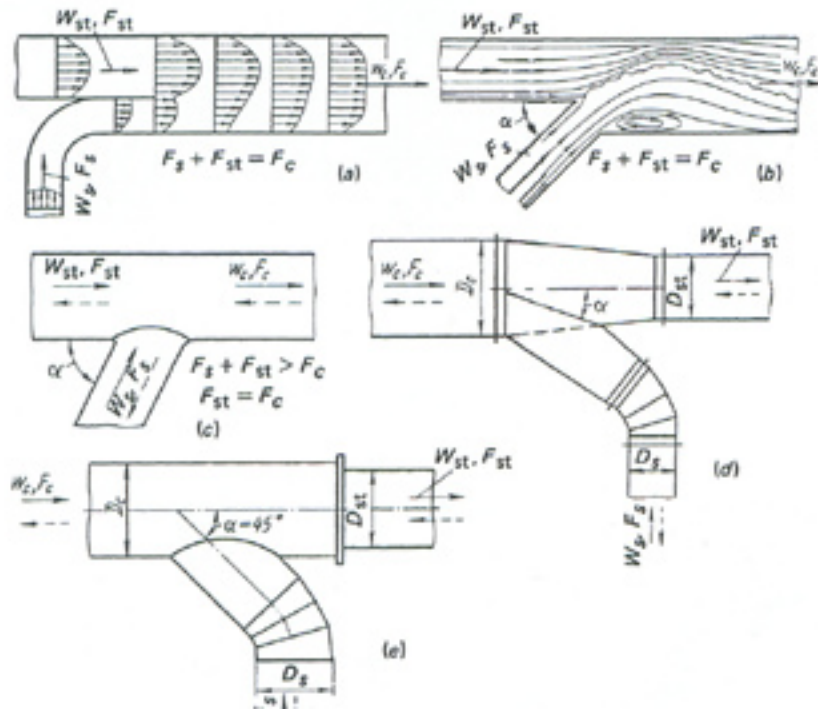
Bovenstaande formules gelden voor stationaire, volledig ontwikkelde stromingen zonder luchtbellen. Met luchtbellen (als gevolg van bellenbeluchting) kunnen de energieverliezen aanmerkelijk hoger zijn. Dit komt niet zozeer door de snelheid van de luchtbellen die meebewegen met het water, maar door de versnelling van de luchtbellen die vanaf de bodem ingebracht worden. Aanvankelijk is de horizontale snelheidscomponent nul. De versnelling naar de uiteindelijke snelheid van het actief-slibmengsel gaat gepaard met toegevoegde massa-effecten, waarbij het water rond een luchtbel (de zogenaamde toegevoegde massa) meebeweegt met de bel, en derhalve ook versneld wordt. Over de extra energieverliezen ten gevolge van dit toegevoegde massa-effect is weinig bekend in de literatuur.

Samenkomen van stromingen

Indien twee stromingen samenkomen ontstaan extra energieverliezen, die afhankelijk zijn van de vorm van de configuratie, de onderlinge stromingshoek, debietverhouding (snelheidsverschillen). Idelchik beschrijft weerstandsformule's voor diverse configuraties (zie figuur 1.1).

FIGUUR 1.1

WEERSTANDSFORMULES VOOR VERSCHILLENDE CONFIGURATIES



Voor de weerstandsfactor van de configuratie van het type (c)

($A_s + A_{st} > A_c$; st = straight, s = side, c = collector) geldt:

$$\xi_{st} = 1 - \left(1 - \frac{Q_s}{Q_c}\right)^2 - \left(1.4 - \frac{Q_s}{Q_c}\right) \left(\frac{Q_s}{Q_c}\right)^2 \sin \alpha - 2K'_{st} \frac{A_c}{A_s} \frac{Q_s}{Q_c} \cos \alpha \quad (5)$$

Met:

$$K'_{st} = 0.8 Q_s / Q_c \quad (A_s / A_c \leq 0.35; Q_s / Q_c \leq 0.6) \quad (6)$$

Opmerking: De bovenstaande formule geldt voor stromingen in gesloten leidingen, waarbij er een stroming over de gehele dwarsdoorsnede is.

In een ronde reactor komen stromingen samen bij een overlaat of onderlaat tussen twee ringen. Als gevolg hiervan zal er een zekere contractie van de hoofdstroming in een ring optreden. De grootte van deze contractie zou ruwweg geschat kunnen worden op basis van debietverhoudingen. Idelchik en Raymond geven formules voor de energieverliezen over een plotselinge contractie. Deze formule's geven echter een overschatting van de energieverliezen, omdat in een ringstroming geen sprake is van een abrupte diameterovergang.

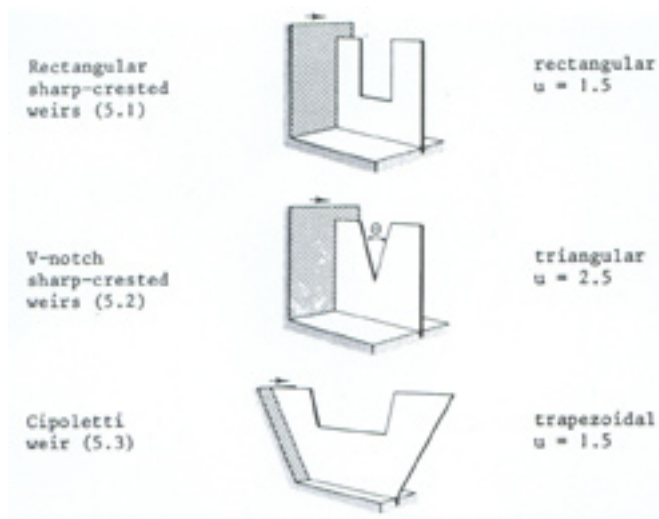
Overlaten

Bij overlaten wordt onderscheid gemaakt naar de vorm van de kruin (broad crested, short crested en sharp crested) en de vorm van de doorlaat (rechthoekig, driehoekig, trapezium, parabool, cirkel, zie figuur 1.2).

De vorm van de doorlaat biedt mogelijkheden voor debietcontrole. Voor ronde reactoren worden short crested overlaten met doorgaans rechthoekige doorlaat toegepast.

FIGUUR 1.2

VERSCHILLENDE VORMEN VAN OVERLATEN



Verder wordt onderscheid gemaakt naar volkomen en onvolkomen overlaten. Een onvolkomen overlaat wordt beïnvloed door de beneden- en bovenstroomse stromingscondities, terwijl een volkomen overlaat alleen wordt beïnvloed door de bovenstroomse stromingscondities. Voor het debiet door een volkomen overlaat geldt:

$$Q = b C \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} (h_1 - z_c)^{3/2} \quad (7)$$

Met:

$$h_2 - z_c \leq \frac{2}{3} (h_1 - z_c) \quad \Leftrightarrow \quad Fr = \frac{v_c}{\sqrt{g (h_c - z_c)}} = 1 \quad (8)$$

De conditie voor de waterstanden geeft aan dat de benedenstroomse waterstand zo laag is, dat deze geen invloed heeft op het debiet. Uit deze conditie kan afgeleid worden dat het getal van Froude Fr , betrokken op de kruin ($c = \text{crest}$) gelijk aan 1 is. In dat geval wordt gesproken van kritische stroming.

Voor een onvolkomen overlaat geldt:

$$Q = b C (h_2 - z_c) \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad (9)$$

De discharge coëfficiënt C is afhankelijk van de geometrie, een eventuele contractie, wandwrijving, etc., met praktische waarden die variëren tussen 0.6 en 1.0. In dit geval is er sprake van een subkritische stroming ($Fr < 1$).

Een volkomen overlaat kan als debietregelaar gebruikt worden, aangezien het debiet alleen afhankelijk is van de bovenstroomse stromingscondities. In de ronde reactoren worden de overlaten doorgaans als onvolkomen overlaat gebruikt.

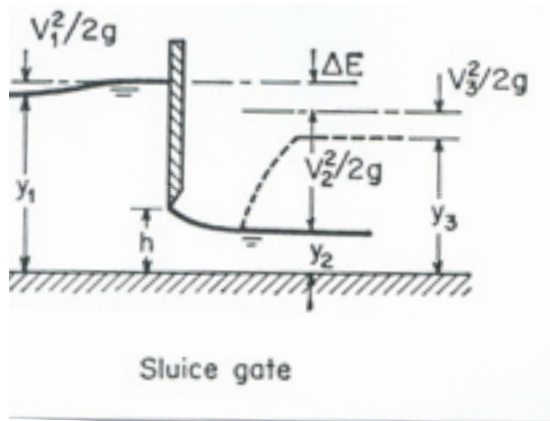
De toepassing van de standaardformules voor overlaten kent beperkingen. Zo zijn ze niet zonder meer van toepassing op overlaten met een schuine aanstroming, en een beneden-

stroomse dwarsstroming zoals dit in RWZI's in rondbouw het geval is. Hier wordt nader op in gegaan in de paragraaf schuine aanstroming.

Onderlaten

Een onderlaat heeft doorgaans een rechthoekige doorlaat. Indien er sprake is van een subkritische stroming met relatief kleine snelheden en waterstandsverschillen, kan gesproken worden van een hydraulische weerstand.

FIGUUR 1.3 HYDRAULISCHE WEERSTAND ONDERDOORLAAT



In dat geval geldt voor het getal van Froude, betrokken op de stromingscondities bij de onderdoorlaat (subscript o):

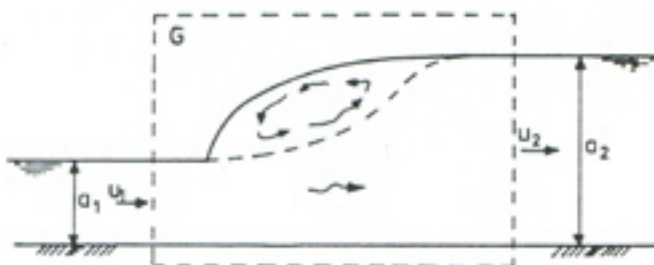
$$Fr = \frac{v_o}{\sqrt{g h_o}} < 1 \quad (10)$$

Hierin is:

H_o hoogte onderdoorlaat (m)
 v_o snelheid in onderdoorlaat (m/s)

Indien er sprake is van een superkritische stroming ($Fr \geq 1$) wordt gesproken van watersprong.

FIGUUR 1.4 SCHEMATISCHE WEERGAVE WATERSPRONG

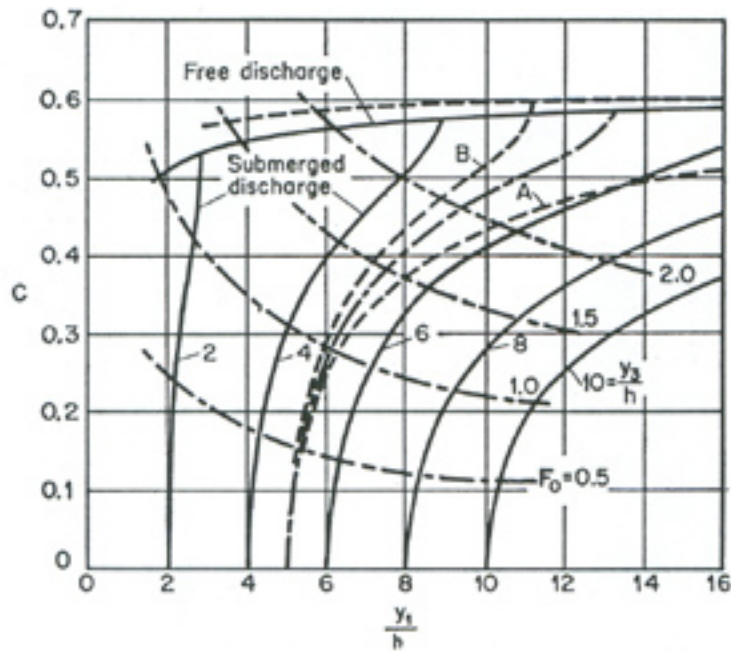


Voor het debiet door een rechthoekige onderlaat (schuif) geldt (Chow):

$$Q = b C h \sqrt{2g y_1} \quad (11)$$

De discharge coëfficiënt C kan als functie van de boven- en benedenstroomse waterstanden (y_1 en y_2) en het getal van Froude (F_0) afgelezen worden uit figuur 1.5, die geldt voor zowel subkritische als superkritische stromingen.

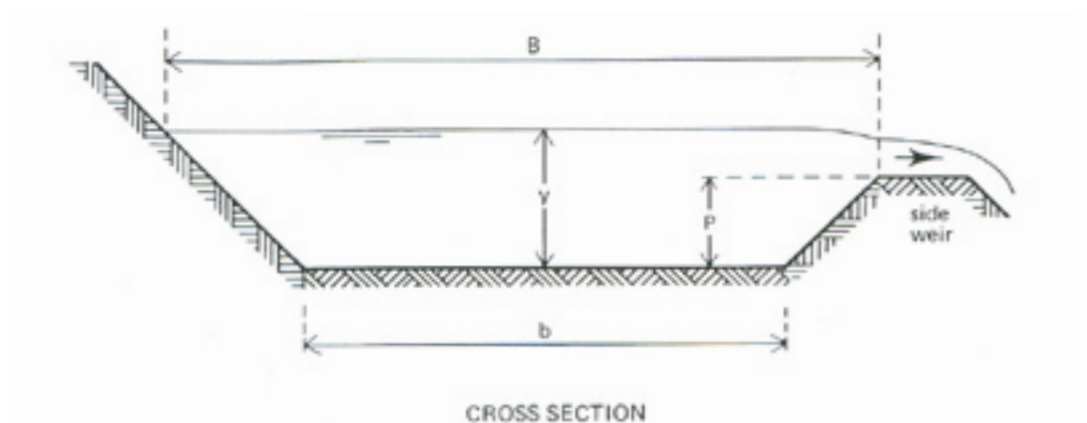
FIGUUR 1.5 DISCHARGE COËFFICIËNT C ALS FUNCTIE VAN DE BOVEN- EN BENEDENSTROOMSE WATERSTANDEN (y_1 EN y_2) EN HET GETAL VAN FROUDE (F_0)



Schuine aanstroming

De overlaten en onderlaten in de ringkanalen worden gekenmerkt door een schuine aanstroming en een benedenstroomse dwarsstroming. In de literatuur is weinig bekend over deze combinatie van factoren.

FIGUUR 1.6 SCHEMATISCHE WEERGAVE SCHUIN AANGESTROOMDE VOLKOMEN OVERLAAT



Voor het debiet door een schuin aangestroomde volkomen overlaat geldt:

$$q_s = b C_s \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} (y - p_1)^{3/2} \quad (12)$$

b	breedte ring (m)
y	waterhoogte (m)
P	hoogte overlaat (m)
C _s	discharge coëfficiënt

Bos geeft als praktische waarde voor de discharge coëfficiënt $C_s = 0.95 C_d$, waarbij C_d de discharge coëfficiënt van een standaard overlaat is.

Om te beoordelen of er bij een schuine aanstroming sprake is van een volkomen of onvolkomen overlaat, dient het getal van Froude geformuleerd te worden op basis van de normaal-snelheid (subscript n):

$$Fr = \frac{v_{c,n}}{\sqrt{g(h_c - y_c)}} \quad (13)$$

V _{c,n}	normaalsnelheid (m/s)
Y _c	waterhoogte (m)
H _c	hoogte overlaat (m)

In energieverlies- en impulsberekeningen wordt vaak uitgegaan van uniforme snelheidsverdelingen. In de praktijk kan hier sterk van afgeweken worden. Zo neemt de snelheid in een ringkanaal vanaf de binnenwand toe naar de buitenwand. Correcties op uniforme snelheidsverdelingen kunnen in rekening gebracht worden met behulp van energie- en impulscoëfficiënten (α , β).

Hierbij dienen in de formules de kwadratische snelheidstermen vervangen te worden door αv^2 en de lineaire snelheidstermen door βv . Voor de definitie van de energie- en impulscoëfficiënten wordt verwezen naar de literatuur.

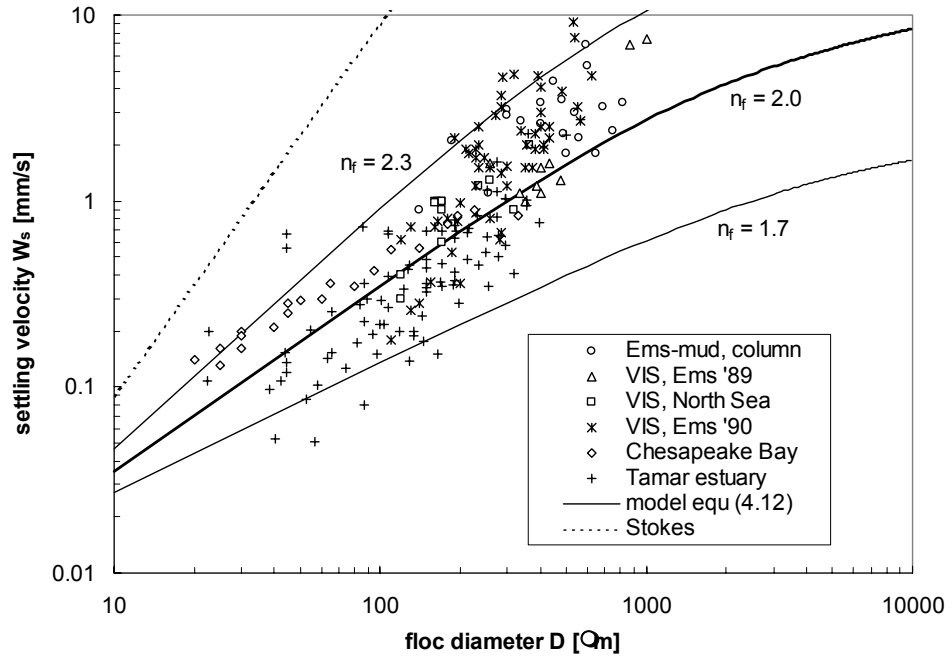
Bij de toepassing van de formules dient steeds nagegaan te worden of de effecten van niet-uniforme snelheidsverdelingen al dan niet meegenomen zijn. Zo gaat Chezy bij de bepaling van de energieverliezen in een kanaal uit van een volledig ontwikkelde stroming met logaritmisch snelheidsprofiel.

De formules gaan uit van voldoende aanstroom- en uitstrooimengte, zodat er geen invloed is van andere stroomverstoorders. Voor de juiste toepassing van de formules dienen de functies van de verschillende componenten (voortstuwings, overlaten, onderlaten, etc.) dan ook gescheiden te zijn, in die zin dat de ene component geen invloed heeft op de werking van de andere component. Als uitzondering hierop kan de voortstuwer genoemd worden, die als minger direct bovenstrooms van een ingaande stroming kan functioneren.

DICHTHEIDSTROMEN

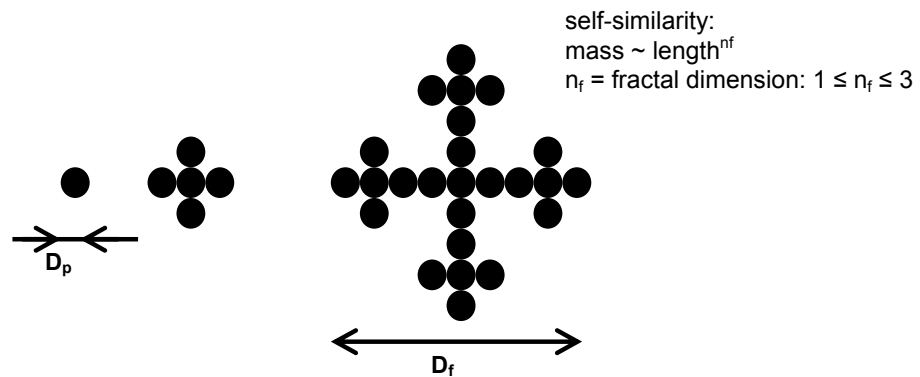
Het optreden van dichtheidstromingen kunnen de efficiëntie van de reactor nadelig beïnvloeden. Dichtheidstromingen kunnen bijvoorbeeld worden geïnduceerd door de beluchting, maar ook door het voortijdig uitvlokken van slibdeeltjes. De vorming van slibvlokken is een dynamisch spel van de turbulente water beweging en de wisselwerking tussen deeltjes. Bij lage slib concentraties wordt het contact tussen deeltjes in belangrijke mate bepaald door de waterbeweging. Naarmate de verblijftijd groter wordt kunnen de slibvlokken groeien en zal de valsnelheid of sedimentatie snelheid toenemen, zoals te zien is in figuur 1.7.

FIGUUR 1.7 SEDIMENTATIE SNELHEID (MM/S) ALS FUNCTIE VAN DE DIAMETER VAN EEN SLIBVLOK



De sedimentatie snelheid van de vlokken is niet evenredig met het kwadraat van de vlok-diameter, zoals overeenkomstig Stokes, maar volgt een lagere macht. Dit wordt veroorzaakt door het afnemen van de gemiddelde dichtheid van de vlok, bij toenemende diameter. Een conceptueel model om dat beschrijven is het concept van een fractale structuur (zie figuur 1.8).

FIGUUR 1.8 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN FRACTALE STRUCTUUR VAN EEN SLIBVLOK



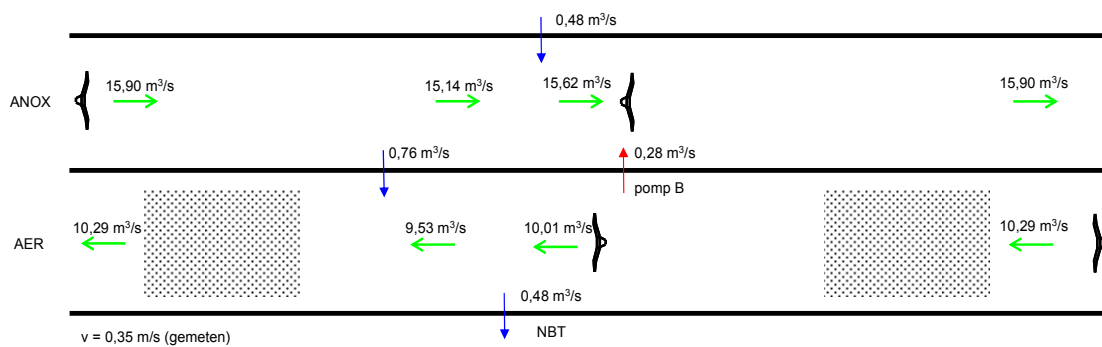
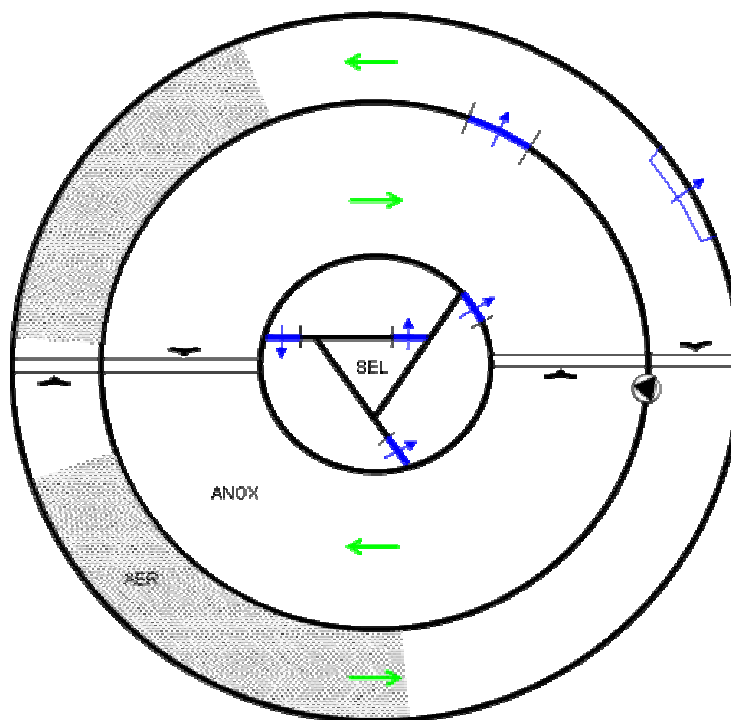
Bij toenemende grootte van de vlokken zal de volumeconcentratie van de vlokken zo groot worden dat de sedimentatiesnelheid wordt beïnvloed en afneemt. De zogenaamde gehinderde bezinking.

BIJLAGE3

FACTSHEETS ENKELE GESELECTEERDE RWZI'S

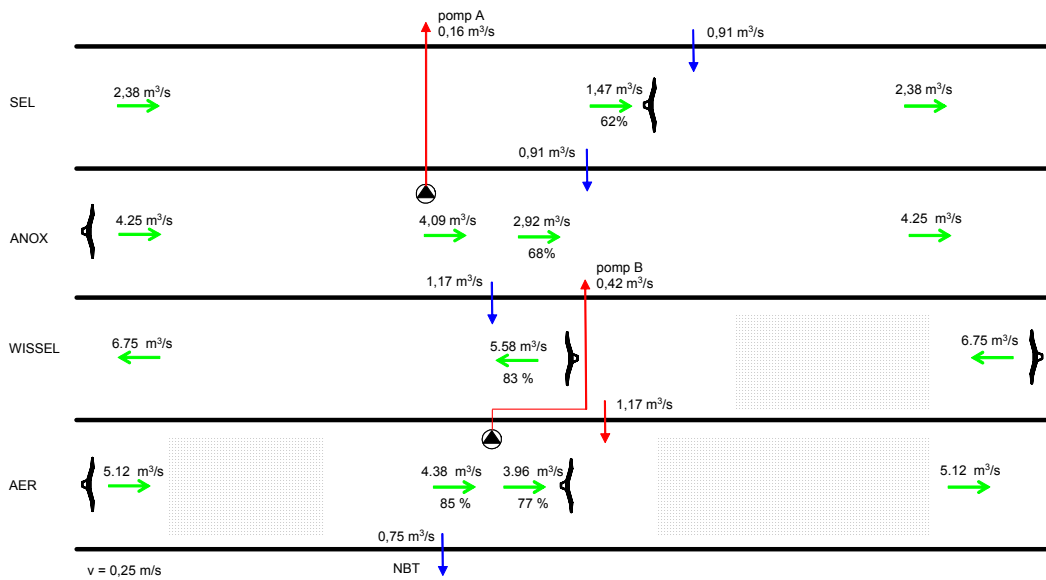
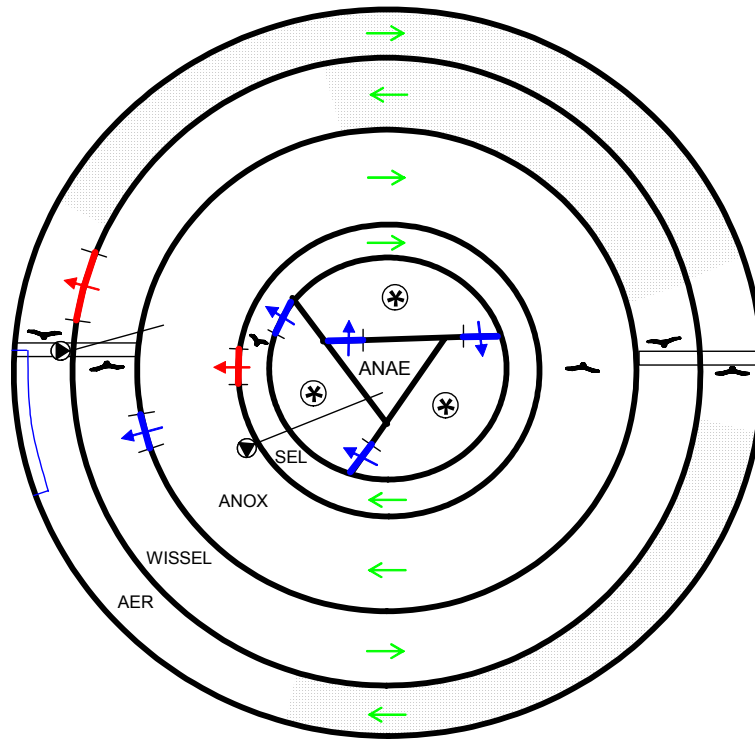
FACTSHEET RWZI BOXTEL

CONFIGURATIE RONDBOUW



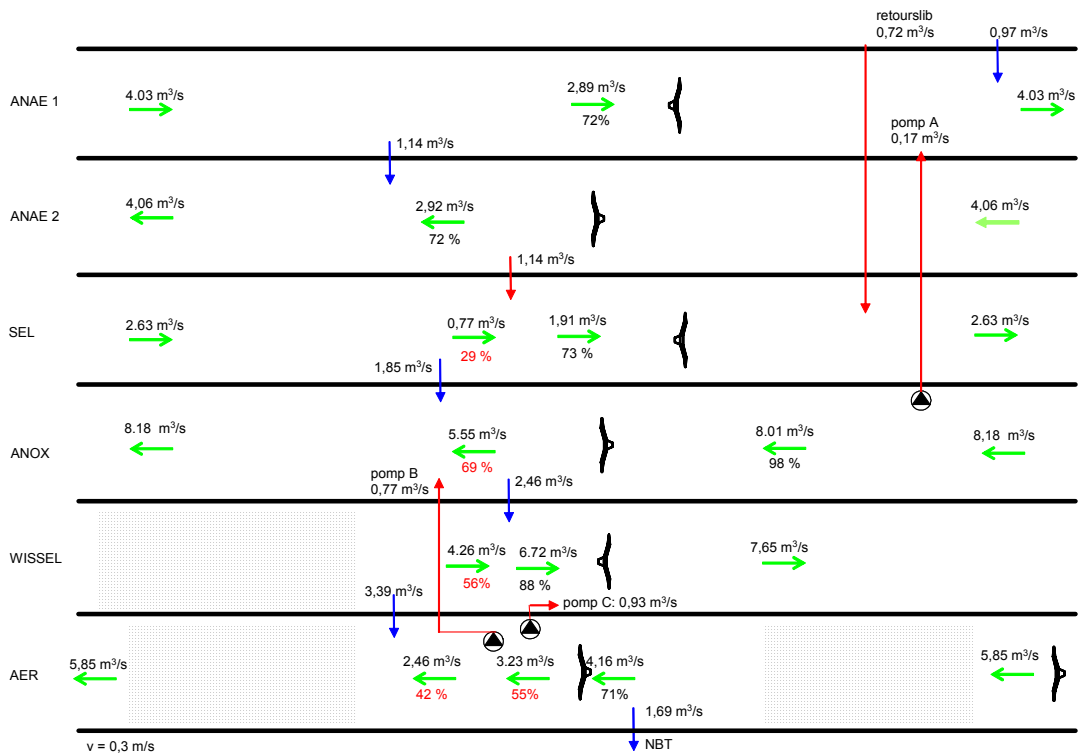
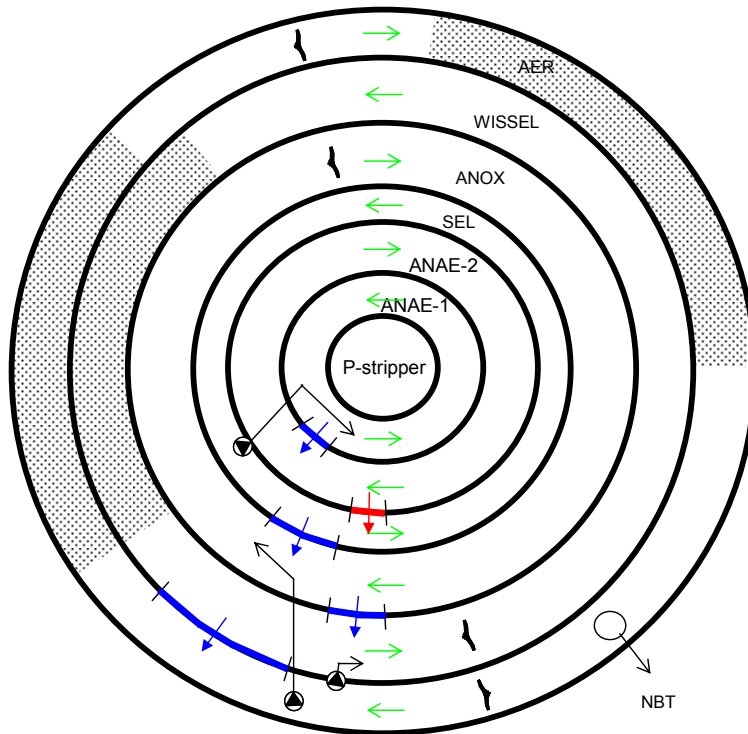
FACTSHEET RWZI DEDEMSVAART

CONFIGURATIE RONDBOUW



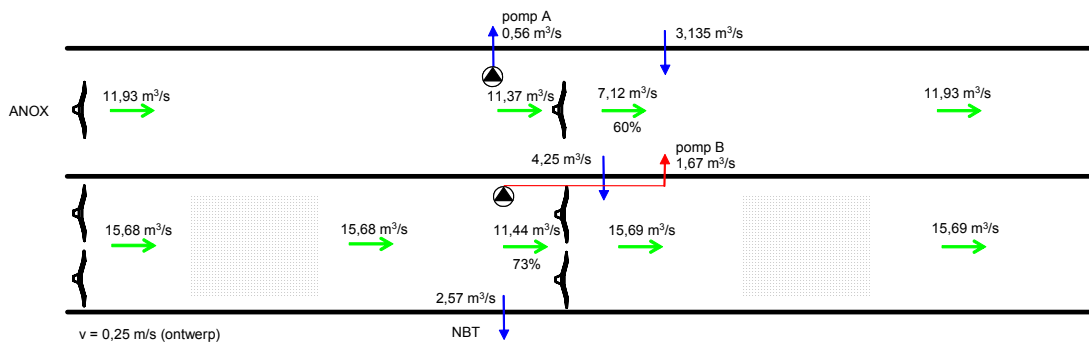
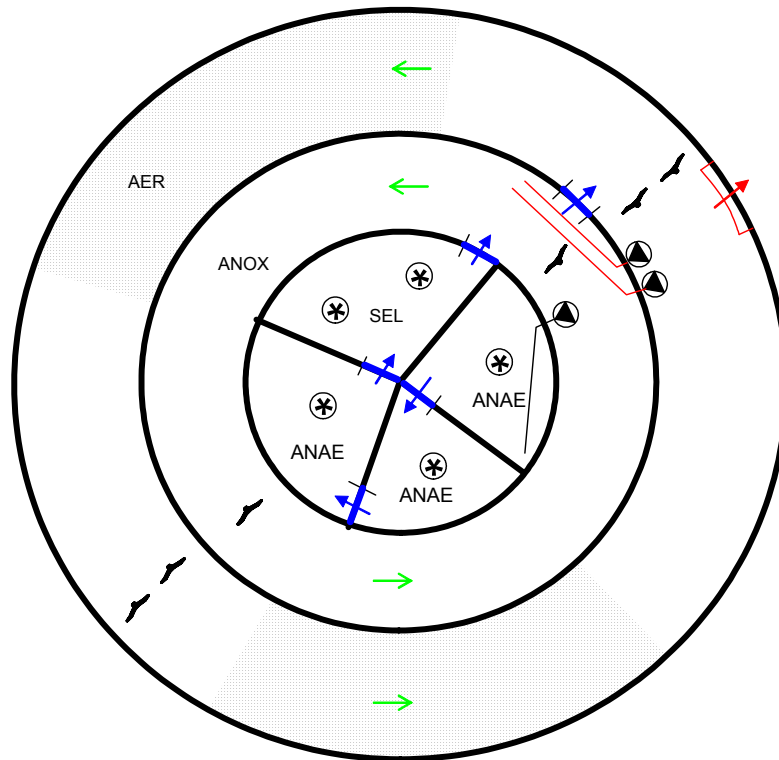
FACTSHEET RWZI DEVENTER

CONFIGURATIE RONDBOUW



FACTSHEET RWZI APeldoORN

CONFIGURATIE RONDBOUW



BIJLAGE 4

DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN RWZI

DRACHTEN

DIMENSIONERINGSGRONDSLAGEN RWZI DRACHTEN (PEILJAAR 2015)

Parameter	Waarde	Eenheid
Gemiddeld dagdebiet	22.400	m ³ /d
Gemiddeld DWA dagdebiet	15.400	m ³ /d
DWA-debiet	1.100	m ³ /h
DWA aanvoer	14	h
RWA	4.500	m ³ /h
Anaërobe reactorring		
• Volume	2.200	m ³
• Waterhoogte	6.200 – 6.045	mm
• Beenbreedte	4050	mm
• Doorlaat	bovendoorlaat	
• Overstortlengte	6.28	m
• Aantal voortstuwers	1	stuks
• Vermogen per voortstuwer	2,3	kW
• Stuwkracht per voortstuwer	1.980	N
• Diameter voortstuwer	2,2	m
• Aantal bladen	2	stuks
• Opstelhoek	15	°
• Hoogte as boven de bodem	1,6	m
Anoxische selector		
• Volume	750	m ³
• Waterhoogte	6.100 – 5.950	mm
• Beenbreedte	1800	mm
• Doorlaat	onderdoorlaat	
• Afmeting onderdoorlaat (l x h)	6 x 1 (3 keer 2 x 1)	m
• Aantal voortstuwers	1	stuks
• Vermogen per voortstuwer	5,5	kW
• Stuwkracht per voortstuwer	1.100	N
• Diameter voortstuwer	0,58	m
• Aantal bladen	3	stuks
• Opstelhoek	0	°
• Hoogte as boven de bodem	1,2	m
Anoxische reactorring		
• Volume	1.750	m ³
• Waterhoogte	6.000 – 5.775	mm
• Beenbreedte	5750	mm
• Doorlaat	bovendoorlaat	
• Overstortlengte	16	m
• Aantal voortstuwers	1	stuks
• Vermogen per voortstuwer	2,3	kW
• Stuwkracht per voortstuwer	1.980	N
• Diameter voortstuwer	2,2	m
• Aantal bladen	2	stuks
• Opstelhoek	20	°
• Hoogte as boven de bodem	1,6	m

Parameter	Waarde	Eenheid
Wisselreactor		
• Volume	3.550	m ³
• Waterhoogte	5.750 – 5.665	mm
• Beenbreedte	5050	mm
• Doorlaat	bovendoorlaat	-
• Afmetingen doorlaat	6 x 2 (3 keer 2 x 2)	m
• Aantal voortstuwers	2	stuks
• Vermogen per voortstuwer	4,4	kW
• Stuwkracht per voortstuwer	3.620	N
• Diameter voortstuwer	2,5	m
• Aantal bladen	2	stuks
• Opstelhoek	15	°
• Hoogte as boven de bodem	1,6	m
Aërobe reactorring		
• Volume	3.550	m ³
• Waterhoogte	5.750 – 5.665	mm
• Beenbreedte	4050	mm
• Doorlaat	Onderdoorlaat	
• Afmeting onderdoorlaat	2,5 x 1	m
• Aantal voortstuwers	2	stuks
• Vermogen per voortstuwer	5,9	kW
• Stuwkracht per voortstuwer	4.650	N
• Diameter voortstuwer	2,5	m
• Aantal bladen	2	stuks
• Opstelhoek	15	°
• Hoogte as boven de bodem	1,6	m
Recirculatiepompen		
Pomp A		
• aantal	1	stuks
• capaciteit per pomp	1.100	m ³ /h
• capaciteit tijdens modelstudie	1.100	m ³ /h
Pomp B		
• aantal	1	stuks
• capaciteit per pomp	4.400	m ³ /h
• capaciteit tijdens modelstudie	3.300	m ³ /h
Pomp C		
• aantal	2	stuks
• capaciteit per pomp	3.300	m ³ /h
• totaal capaciteit tijdens modelstudie	3.300 (2 x 1.650)	m ³ /h
Blowers		
• aantal	3	Stuks
• capaciteit per blower	1.750	m ³ /h
• capaciteit aërobe reactor tijdens modelstudie	2.100 (2 x 1.050)	m ³ /h
• capaciteit wisselreactor tijdens modelstudie	1.050	m ³ /h
Beluchtingselementen		
Wisselreactor		
• aantal velden	2	Stuks
• aantal schotels	480 (2 x 240)	Stuks
Aërobe reactorring		
• aantal velden	2	Stuks
• aantal schotels per veld	672 (2 x 336)	Stuks
Ontwerp luchtbelasting per schotel	4,8	m ³ /h.schotel
Nominale luchtbelasting per schotel tijdens modelstudie	3,4	m ³ /h.schotel
Totale retourslib capaciteit		
DWA	1.110	m ³ /h
RWA	3.500	m ³ /h