

stowa

ONDERZOEK MBR VARSSEVELD  
DEELSTUDIE OC EN HYDRAULICA

RAPPORT

2006

06

ISBN 90.5773.353.6



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.



# DEELSTUDIE OC EN HYDRAULICA

## INHOUD

|     |   |     |
|-----|---|-----|
|     | SAMENVATTING  | 123 |
| 1   | INLEIDING   | 126 |
| 2   | OPZET VAN HET ONDERZOEK                               | 127 |
| 2.1 | Inleiding   | 127 |
| 2.2 | Ontwerpgegevens                                       | 128 |
| 2.3 | Meetprogramma algemeen                                | 130 |
| 2.4 | Organisatie en uitvoering                             | 131 |
| 3   | STROOMSNELHEIDSMETING BELUCHTINGSTANK                 | 132 |
| 3.1 | Inleiding   | 132 |
| 3.2 | Methode stroomsnelheidsmetingen                       | 132 |
| 3.3 | Meetprogramma vloeistofstroomsnelheid beluchtingstank | 133 |
| 3.4 | Resultaten  | 134 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>4</b>  | <b><math>\alpha</math>-FACTORMETINGEN BELUCHTINGSTANK</b> | <b>138</b> |
| 4.1       | Inleiding   | 138        |
| 4.2       | Resultaten $\alpha$ -factormetingen                       | 138        |
| <b>5</b>  | <b>OC SCHOON WATER BELUCHTINGSTANK</b>                    | <b>142</b> |
| 5.1       | Inleiding   | 142        |
| 5.2       | Methode bepaling OC in schoon water                       | 142        |
| 5.3       | Meetprogramma OC schoon water                             | 143        |
| 5.4       | Resultaten OC-meting in schoon water                      | 143        |
| <b>6</b>  | <b>OC SLIB BELUCHTINGSTANK</b>                            | <b>146</b> |
| 6.1       | Inleiding   | 146        |
| 6.2       | Methode OC-bepaling in slib                               | 146        |
| 6.3       | Meetprogramma OC slib                                     | 149        |
| 6.4       | Resultaten OC-metingen in slib beluchtingstank            | 149        |
| <b>7</b>  | <b>OC SLIB MEMBRAANTANK</b>                               | <b>151</b> |
| 7.1       | Inleiding   | 151        |
| 7.2       | Methode OC actief slib membraantank                       | 151        |
| 7.3       | Meetprogramma OC actiefslib membraantank                  | 151        |
| 7.4       | Resultaten OC-metingen slib membraantank                  | 152        |
| <b>8</b>  | <b>HYDRAULICA MEMBRAANTANK</b>                            | <b>156</b> |
| 8.1       | Inleiding   | 156        |
| 8.2       | Methode meting hydraulica                                 | 156        |
| 8.3       | Meetprogramma hydraulica membraantank                     | 159        |
| 8.4       | Resultaten metingen hydraulica membraantank               | 159        |
| <b>9</b>  | <b>EVALUATIE EN CONCLUSIES</b>                            | <b>161</b> |
| 9.1       | Vloeistofstroomsnelheid beluchtingstank                   | 161        |
| 9.2       | $\alpha$ -factor in slib                                  | 161        |
| 9.3       | OC schoon water beluchtingstank                           | 162        |
| 9.4       | OC actiefslib beluchtingstank                             | 163        |
| 9.5       | OC membraantank   | 164        |
| 9.6       | Hydraulica membraantank                                   | 165        |
| 9.7       | Aanbevelingen   | 165        |
| <b>10</b> | <b>REFERENTIES</b>  | <b>167</b> |
|           | <b>BIJLAGEN</b>   |            |
| 1         | Resultaten snelheidsmetingen                              | 169        |
| 2         | Resultaten OC-metingen in schoon water                    | 174        |
| 3         | Resultaten OC-metingen in slib                            | 180        |
| 4         | Materialen en uitvoering OC metingen in schoon water      | 185        |
| 5         | Materialen en uitvoering OC metingen in slib              | 188        |
| 6         | Meetresultaten $\alpha$ -factor en slibeigenschappen      | 190        |
| 7         | Meetresultaten OC membraantank                            | 192        |

# SAMENVATTING

De RWZI Varsseveld is de eerste MBR-installatie in Nederland waar metingen naar de beluchtingscapaciteit (OC) van het beluchtingssysteem en het hydraulisch gedrag op volle schaal zijn uitgevoerd. De OC is een belangrijke ontwerpparameter voor toekomstig te bouwen MBR-installaties. De OC is afhankelijk van een aantal factoren, in het bijzonder het type beluchting, het hydraulisch patroon en de  $\alpha$ -factor.

Doel van deze deelstudie is de OC van de beluchters in zowel de beluchtingstank als de membraantank voor verschillende bedrijfsspecifieke situaties te bepalen, in samenhang met parameters zoals de vloeistofstroomsnelheid, het menggedrag en de  $\alpha$ -factor. De resultaten van OC en vloeistofstroomsnelheid in de beluchtingstank, zijn getoetst aan bestekspecificaties.

De periode waarin de verschillende metingen zijn uitgevoerd liep van november 2004 tot en met december 2005. Voor het bepalen van de OC van het beluchtingssysteem in de beluchtingstank zijn testen uitgevoerd met schoon grondwater en met slib. De metingen zijn gedaan onder verschillende bedrijfsomstandigheden (voortstuwing, beluchting). Voor de bepalingen is gebruik gemaakt van de reaeratiemethode (beluchtingstank) en de steady state methode (membraantank).

## BELUCHTINGSTANK

### OC

De OC metingen in schoon water hebben aangetoond dat de bestekspecificaties niet worden gehaald. Experimenteel is een OC-waarde van 191 kg O<sub>2</sub>/h bepaald, terwijl de garantiewaarde 273 kg O<sub>2</sub>/h bedraagt, een verschil van 28%. De oorzaak van de lage OC is waarschijnlijk een combinatie van twee factoren; een lage stroomsnelheid en optimistische ontwerpgrondslagen. Voor het realiseren van de garantiewaarde is volgens de leverancier van het beluchtingssysteem een minimale snelheid nodig van 30 cm/s. Deze eis wordt met voortstuwingsmeten met een geïnstalleerd vermogen tot 4 kW (3,5 W/m<sup>3</sup>) niet gehaald.

In vergelijking met de praktijk MBR installatie Rödingen (D) is de OC in Varsseveld relatief hoog. Op de MBR Rödingen (3.000 i.e.) bedroeg de specifieke zuurstofinbreng voor plaatbeluchters 60 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h terwijl deze in Varsseveld was vastgesteld op 102 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.h (20°C, 0,9 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.h).

Na de OC metingen in schoon water is, verspreid over de onderzoeksperiode, vijfmaal de OC in slib bepaald. De OC bepaling in slib is minder betrouwbaar dan in schoon water. Dit heeft vooral te maken met een sterk wisselende  $\alpha$ -factor en de nauwkeurigheid waarmee de  $\alpha$ -factor kan worden bepaald. Op dagen dat de OC in slib is bepaald, is tevens een  $\alpha$ -factor meting uitgevoerd.

De eerste OC meting in slib, één maand na de opstart, kwam overeen met de OC in schoon water. Echter zes maanden na de opstart was de OC ten opzichte van de eerste meting in slib met circa 35% gedaald. Het vervangen van de voortstuwingsmeten met een groter motorvermogen (6,5 kW) gaf een hogere OC waarde, maar de OC waarde van de eerst uitgevoerde meting in slib werd niet gehaald. Variaties in de OC waarden konden niet worden verklaard door de gehanteerde OC methodiek. De beluchtingplaten bleken niet vervuild te zijn. De grote

verschillen tussen ontwerpwaarde en gemeten OC's, maar ook de significante afname van de OC in de tijd, hebben aanleiding gegeven om de zuurstofvraag af te leiden uit een stoffenbalans (CZV en N) over de MBR. Uit deze berekeningen bleek de theoretisch benodigde hoeveelheid lucht (uitgaande van het slechte rendement zoals gemeten) overeen te komen met de werkelijke beluchtingscapaciteit. Een niet representatief vastgestelde  $\alpha$ -factor lijkt de meest waarschijnlijke verklaring voor de gevonden verschillen.

De meetresultaten van Varsseveld zijn vergeleken met praktijk MBR installaties in Rödigen en Markranstädt (Duitsland) De waarnemingen in Varsseveld komen overeenkomen met de twee Duitse MBR praktijkinstallaties.

#### *Hydraulica*

Uit vloeistofstroomsnelheidsmetingen blijkt dat de hoogte van de stroomsnelheid in het beluchtingscircuit afhankelijk is van het ingestelde vermogen van de beluchters en het aantal in bedrijf zijnde beluchtingsvelden. De intensiteit van de beluchting beïnvloedt de hoogte van de stroomsnelheid. Hoe groter de hoeveelheid lucht per zone belucht oppervlak, hoe lager de vloeistofstroomsnelheid. Bij twee beluchtingsvelden in bedrijf en maximale plaatbelasting (2.080 Nm<sup>3</sup>/h ) wordt de stroomsnelheid gehalveerd (~ 16 cm/s) ten opzichte van de situatie waarin niet wordt belucht (~ 31 cm/s).

Met de voortstuwars met een geïnstalleerd vermogen van 3 en 4 kW werd niet aan de bestekseis van 30 cm/s voldaan. De vereiste stroomsnelheid van 30 cm/s werd met deze voortstuwars alleen gehaald indien de beluchting is uitgeschakeld en twee voortstuwars in bedrijf zijn.

Ten behoeve van de OC metingen in slib zijn na de schoonwatertesten voortstuwars geplaatst met een groter motorvermogen. De voortstuwars met een geïnstalleerd vermogen van 6,5 kW voldeden wel aan de gestelde bestekseis (~ 29 cm/s bij twee beluchters in bedrijf).

Bij de uitvoering van de verschillende metingen is geconstateerd dat er grote verschillen zijn in de vloeistofsnelheid in een dwarsdoorsnede van de beluchtingstank. Dit is het gevolg van het ontwerp van de beluchtingstank. De rechthoekige tank heeft dode hoeken. Dit resulteert in een slechte geleiding van de vloeistof waardoor stroming in het buitenste been niet optimaal is.

### **MEMBRAANTANK**

#### **OC**

Het beluchtingsstelsel in de membraantank is van het type grove bellenbeluchting. De effectiviteit van zuurstofoverdracht is aanzienlijk lager dan de fijne bellenbeluchting zoals gebruikt in de beluchtingstank. De beluchting in de membraantank is vooral bedoeld om het membraanfiltratieproces te optimaliseren.

Bij een representatief slibrecirculatie-debiet over één membraantank (600 m<sup>3</sup>/uur) bedraagt de gemeten OC circa 13 kg O<sub>2</sub>/uur. Bij twee membraantanks continue belucht bedraagt de OC 26 kg O<sub>2</sub>/uur wat circa 12% is van de totale OC, dus van zowel de beluchtingstank als de membraantank (191 + 26 kg O<sub>2</sub>/uur).

Bij de bepaling van de OC in membraantank volgens de steady state methode zijn twee aspecten van belang gebleken. Het zuurstofverbruik als gevolg van de aanvoer van stoffen vanuit de beluchtingstank (gevormd door ammonificatie en hydrolyse) dient in de berekening van de OC te worden meegenomen. Verder is het voor de nauwkeurigheid van de meting van belang dat er een duidelijk zuurstofplateau wordt verkregen waaruit de steady-state concentratie zuurstof kan worden afgeleid.

Uit proeven met een verschillend slibrecirculatie-debiet is gebleken dat een hoger recirculatie-debiet een lagere OC waarde oplevert. Dit wordt verklaard door wijze waarop het slib in de membraantank wordt aan- en afgevoerd.

#### *Hydraulica*

Voor de bepaling van het menggedrag in een membraantank is slib uit de beluchtingstank als tracer gebruikt. De onderzoeksresultaten geven aan dat de membraantanks als een ideaal geroerde tank kunnen worden beschouwd. Gebleken is dat het onttrekken van permeaat (100 m<sup>3</sup>/uur per membraantank) geen invloed heeft op het hydraulisch gedrag in de membraantank.

### **AANBEVELINGEN**

Op basis van de onderzoeksresultaten worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Bepaal  $\alpha$ -factor in-situ in relatie tot procescondities  
De  $\alpha$ -factor blijkt een belangrijke factor te zijn die de actuele zuurstofoverdracht in slib bepaald. Het verdient aanbeveling de  $\alpha$ -factor in-situ te meten met een continue testopstelling. Op deze wijze kunnen relaties worden gelegd met diverse parameters zoals slibbelasting, beluchtingsintensiteit, mengintensiteit, zuurstofconcentratie, maar vooral ook de actuele OC. Een beter inzicht kan leiden tot optimalisatie van de procesvoering en lagere kosten.
- Verhoog stroomsnelheid slib beluchtingstank  
Ten aanzien van de OC wordt aanbevolen eerst de oorzaak van de daling vast te stellen. Indien nodig kan worden overwogen voortstuwingsmiddelen met een groter geïnstalleerd vermogen (4 of 6,5 kW) in de beluchtingstank te plaatsen. Deze aanbeveling zal ook afhangen van de actuele zuurstofvraag en de hoogte van de  $\alpha$ -factor. In vergelijking tot het ontwerp van de MBR Varsseveld lijkt de gemiddelde zuurstofvraag lager te zijn en de  $\alpha$ -factor hoger.
- Verbetering hydraulica en stroomsnelheid  
Het menggedrag in een MBR omloopsysteem zou verbeterd kunnen worden door hoeken in de beluchtingstank af te schuiven voor een betere geleiding en eventuele dode ruimtes te voorkomen. Ook de vloeistofstroomsnelheid kan verbeterd worden door de afstand voldoende ruim te kiezen (min. 2x propellor diameter). In het ontwerp van toekomstige MBR installaties dient met beide aspecten rekening gehouden te worden.
- Bepaling OC waarde membraantank  
Bij het bepalen van de OC waarde in de membraantank moet rekening worden gehouden met:
  - Een zuurstofverbruik van het slib in de membraantank, dat afwijkend is van endogene ademhaling door aanvoer van stoffen vanuit de anaerobe dan wel anoxische uit de beluchtingstank (ammonium en hydrolyse producten).
  - Een duidelijk zuurstofplateau waaruit de evenwicht- en/of eindconcentratie zuurstof kan worden afgeleid.

# 1

## INLEIDING

De MBR Varsseveld is de eerste MBR op praktijkschaal in Nederland voor de zuivering van stedelijk afvalwater. De installatie is o.a. gebouwd met het doel diverse opschaaleffecten te onderzoeken. In deze deelstudie is onderzoek gedaan naar de beluchtingscapaciteit en de hydraulica van het systeem. Een overzicht van de overige deelstudies welke deel uit maken van het totale onderzoeksprogramma is weergegeven in afbeelding 1.

AFBEELDING 1

INDELING STOWA RAPPORTEN

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Rapport 1 - Hoofdrapport      | Presentatie en evaluatie van alle onderzoeksactiviteiten |
|                               | Deelstudie Bedrijfsvoering en effluentkwaliteit          |
| Rapport 2 - Deelstudierapport | Deelstudie Voorbehandeling                               |
|                               | Deelstudie Verwijdering bijzondere stoffen               |
|                               | <b>Deelstudie OC en Hydraulica</b>                       |
|                               | Deelstudie Slibkwaliteit versus filtreerbaarheid         |
|                               | Deelstudie SIMBA-modellering                             |
|                               | Deelstudie Membranen                                     |
|                               | Deelstudie Simulatie-Unit                                |

Het MBR-concept biedt vele voordelen ten opzichte van de huidige conventionele technieken waarmee stedelijk afvalwater gezuiverd wordt. Nadelen zijn er ook. Het energieverbruik ligt aanzienlijk hoger door een minder efficiënte zuurstofoverdracht (hoog gehalte actiefslib) en door de extra luchtinbreng die nodig is voor een effectieve slib-water scheiding in de membraantank en vervuiling van de membranen te minimaliseren.

De MBR Varsseveld is de eerste installatie in Nederland waar metingen naar de zuurstofinbreng- of beluchtingscapaciteit (OC) op volle schaal zijn uitgevoerd. De OC is een belangrijke ontwerpparameter voor toekomstig te bouwen MBR-installaties. In deze deelstudie is de OC van de MBR Varsseveld bepaald voor zowel de beluchters in de beluchtingstank als de membraantank. De OC is gemeten in een aantal specifieke bedrijfssituaties. Naast de OC zijn stroomsnelheidsmetingen in de beluchtingstank verricht en zijn ter ondersteuning periodiek  $\alpha$ -factor bepalingen uitgevoerd. Tevens is het menggedrag in de membraantank onderzocht.

Om de onderzoeksresultaten overzichtelijk te presenteren is ervoor gekozen elk onderzoeksitem onder te brengen in een apart hoofdstuk. In hoofdstuk 2 wordt de opzet van het onderzoek aangegeven met doelstelling, onderzoeksitems en aanpak uitvoering. In hoofdstuk 3 t/m 7 wordt voor ieder item de onderzoeksmethode, het meetprogramma en de onderzoeksresultaten besproken. In hoofdstuk 8 volgt een evaluatie van de resultaten samen met conclusies en aanbevelingen.



# 2

## OPZET VAN HET ONDERZOEK

### 2.1 INLEIDING

Doel van deze deelstudie is de OC van de beluchters in de beluchtingstank en de membraan-tank in verschillende bedrijfsspecifieke situaties te bepalen, in samenhang met parameters zoals de vloeistofstroomsnelheid en de  $\alpha$ -factor. De bevindingen zijn getoetst aan bestek-specificaties.

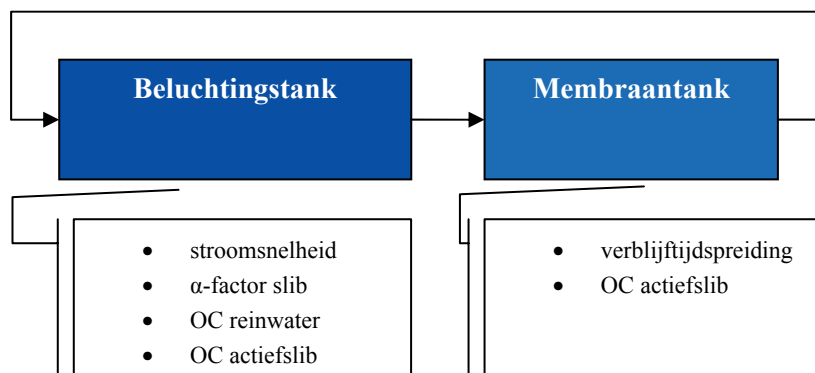
#### BELUCHTINGSTANK

De OC is afhankelijk van een aantal factoren, in het bijzonder het hydraulisch patroon in de beluchtingstank. Om de OC onder verschillende omstandigheden goed te bepalen is de vloeistofstroomsnelheid gedurende verschillende bedrijfssituaties gemeten. Naast de stoom-snelheid is ook de  $\alpha$ -factor van invloed op de OC. Door OC-metingen in zowel schoon water als actiefslib uit te voeren is een goede indruk gekregen van de hoogte van deze parameter. Daarnaast zijn periodiek op labschaal  $\alpha$ -factor bepalingen uitgevoerd.

#### MEMBRAANTANK

In de membraantank vindt onttrekking van permeaat plaats. Voor een goede werking van de slib-water scheiding worden ondergedompelde membraanmodules belucht. Primair doel van deze bellenbeluchting is voorkomen dat er concentratie van actiefslib (koekvorming) op het membraanoppervlak plaatsvindt, waardoor de permeabiliteit van de membranen vermindert. Voor deze toepassingen worden grove bellenbeluchters gebruikt met een lage efficiency. De bijdrage van de beluchters in de membraantank aan de totale OC is naar verhouding laag. Desalnietemin is het een cruciale procesparameter die aanzienlijk bijdraagt aan het energieverbruik van een MBR-installatie. De bijdrage van de beluchters aan de totale zuurstoftoevoervermogen van een MBR-installatie is experimenteel bepaald in verschillende bedrijfssituaties. Onderstaand schema illustreert de experimentele bepalingen uitgevoerd op de beluchtingstank en de membraantank.

AFBEELDING 2 OVERZICHT EXPERIMENTELE BEPALINGEN DEELSTUDIE OC EN HYDRAULICA



## 2.2 ONTWERPGEGEVENS

De metingen zijn uitgevoerd in het beluchtingscircuit, waarvan de afmetingen en de capaciteiten van de relevante procesonderdelen in dit hoofdstuk zijn weergegeven.

### *Actiefslibtank*

|   |   |       |                |
|---|---|-------|----------------|
| Totale inhoud inclusief voordennitrificatie | : | 3.000 | m <sup>3</sup> |
| Inhoud voordennitrificatieruimte            | : | 670   | m <sup>3</sup> |
| Inhoud beluchtingscircuit                   | : | 2.330 | m <sup>3</sup> |
| Waterdiepte                                 | : | 5     | m              |
| Kanaalbreedte                               | : | 5     | m              |
| Stijghoogte bellen                          | : | 4,8   | m              |

### *Voorstuwers beluchtingscircuit*

|                        |   |               |
|------------------------|---|---------------|
| Aantal                 | : | 2             |
| Geïnstalleerd vermogen | : | 3 / 4 / 6,5kW |

De voortstuwers hadden oorspronkelijk een geïnstalleerd vermogen van 3 kW elk. In januari 2005 is het geïnstalleerd vermogen van de motoren vergroot naar 4 kW. In december 2005 is tijdelijk een testopstelling met andere voortstuwers geplaatst met een motorvermogen van 6,5 kW. Afbeelding 3 illustreert een voortstuwer in het rechte been van de beluchtingstank.

AFBEELDING 3 VOORSTUWER EN ENKELE BELUCHTINGSELEMENTEN MBR VARSSEVELD



### **BELUCHTING BELUCHTINGSTANK**

De lucht wordt ingeblazen door middel van drie compressoren (2 +1 reserve) via een gezamenlijke header. Vervolgens wordt de lucht verdeeld over twee velden met plaatbeluchters die elk in één van de rechte benen van het beluchtingscircuit zijn geplaatst (afbeelding 4).

|                                   |   |                 |                      |
|-----------------------------------|---|-----------------|----------------------|
| Aantal compressoren               | : | 3 (2+1 reserve) |                      |
| Type                              | : | lobben          |                      |
| Capaciteit elk                    | : | 400-1.200       | Nm <sup>3</sup> /h   |
| Opvoerhoogte                      | : | 60              | kPa                  |
| Geïnstalleerd vermogen elk        | : | 37              | kW                   |
| Beluchttingscapaciteit (ontwerp)  | : | 2.080           | Nm <sup>3</sup> /uur |
| Beluchttingscapaciteit (maximaal) | : | 2.400           | Nm <sup>3</sup> /uur |
|                                   |   |                 |                      |
| Aantal beluchttingsvelden         | : | 2               |                      |
| Aantal beluchttingsplaten         | : | 20              | platen per veld      |
| Specifiek oppervlak plaat         | : | 2               | m <sup>2</sup>       |
| Totaal oppervlak                  | : | 80              | m <sup>2</sup>       |

De volgende bestekspecificaties zijn door de leverancier van de beluchters afgegeven:

- de maximale OC van de plaatbeluchters in de beluchtingstank bedraagt 273 kgO<sub>2</sub>/h;
- de stroomsnelheid in het beluchttingscircuit dient minimaal 0,3 m/s te bedragen, ook als de beluchttingscapaciteit op ontwerpcapaciteit (2.080 Nm<sup>3</sup>/h) in bedrijf is.

AFBEELDING 4 BELUCHTINGSPLATEN IN RECHTE BEEN BELUCHTINGSTANK



#### BELUCHTING MEMBRAANTANK

Voor de membraanbeluchting zijn twee compressoren beschikbaar, elk met een capaciteit van 4.500 Nm<sup>3</sup>/uur. De lucht van elke compressor wordt verdeeld over twee membraantanks, waarmee 50% van de capaciteit (2.250 Nm<sup>3</sup>/uur) voor iedere membraantank beschikbaar is. De beluchting van de membraanpakketten is intermitterend. De membraanpakketten worden van onderen belucht. Op afbeelding 5 zijn de beluchttingsbuizen (blauw) onder de membraanpakketten zichtbaar. Voor een gedetailleerde beschrijving van de procesvoering wordt verwezen naar de deelstudie Membranen.

|                                   |   |                 |                      |
|-----------------------------------|---|-----------------|----------------------|
| Aantal compressoren               | : | 3 (2+1 reserve) |                      |
| Capaciteit elk                    | : | 4.500           | Nm <sup>3</sup> /uur |
| Aantal membraantanks              | : | 4               |                      |
| Afmeting membraantank (l x b x d) | : | 12 x 4 x 3,5    | m                    |

AFBEELDING 5 EÉN MEMBRAANPAKKET MET AAN ONDERZIJDE BELUCHTINGSBUIZEN (BLAUW)



### 2.3 MEETPROGRAMMA ALGEMEEN

De periode waarin de verschillende metingen zijn uitgevoerd liep van november 2004 tot en met december 2005. Voor het bepalen van het zuurstofinbrengend vermogen van het beluchtingssysteem en het menggedrag zijn diverse metingen uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd in zowel de beluchtingstank als de membraantank.

Alvorens de MBR-installatie te enten met slib, is in de beluchtingstank een reeks OC testen uitgevoerd met (schoon) grondwater. Deze metingen zijn uitgevoerd in november 2004 in het kader van de garantie metingen. Eind december 2004 is de installatie met slib opgestart en is verdeeld over het jaar 2005 periodiek de OC bepaald in slib. Ter ondersteuning van de OC metingen is de  $\alpha$ -factor van het slib bepaald. De  $\alpha$ -factormetingen zijn in het laboratorium uitgevoerd. Eveneens ter ondersteuning van de OC metingen zijn stroomsnelheidsmetingen verricht in de beluchtingstank. De metingen zijn gedaan met diverse voortstuwingsmotoren met een verschillend geïnstalleerd motorvermogen. Het hydraulisch gedrag en de OC in de membraantank zijn in juni/juli 2005 bepaald.

## 2.4 ORGANISATIE EN UITVOERING

De projectorganisatie en verslaglegging is uitgevoerd door TNO. De volgende instanties hebben de verschillende onderzoeksactiviteiten uitgevoerd.

|   |                  |
|---|------------------|
| OC reinwater beluchtingstank                | DHV              |
| OC actiefslib beluchtingstank               | DHV              |
| Stroomsnelheidsmetingen beluchtingstank     | DHV / TAUW / KSB |
| $\alpha$ -factor actiefslib beluchtingstank | BRCC             |
| verblijftijdspreiding membraantank          | TNO              |
| OC membraantank                             | TNO              |

# 3

## STROOMSNELHEIDSMETING BELUCHTINGSTANK

### 3.1 INLEIDING

De stroomsnelheid van het slib in de beluchtingstank is een van de parameters die van invloed is op de hoogte van het zuurstofinbrengend vermogen van de beluchters. Voor het ontwerp van de MBR Varsseveld is door de leverancier van de plaatbeluchters een minimale stroomsnelheid van 0,3 m/s afgegeven. Voor stroomsnelheden lager dan 0,3 m/s neemt volgens de leverancier de effectiviteit waarmee zuurstof naar het actief slib wordt overgedragen af.

Ten behoeve van de OC bepalingen zijn door DHV en KSB de stroomsnelheden op verschillende locaties in de beluchtingstank vastgesteld. Daarnaast zijn in het kader van garantie-eisen stroomsnelheidsmetingen door TAUW uitgevoerd.

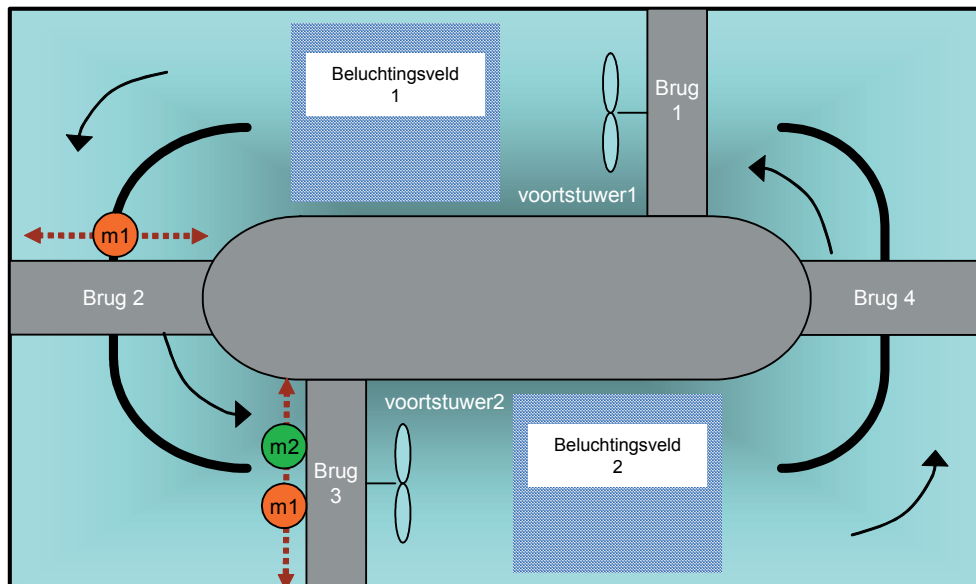
Dit hoofdstuk behandelt de gehanteerde methodiek met een beschrijving van de meetlocatie, gebruikte materialen en meetnauwkeurigheid. Daarnaast worden het meetprogramma en de onderzoeksresultaten gepresenteerd.

### 3.2 METHODE STROOMSNELHEIDSMETINGEN

#### 3.2.1 MEETLOCATIE

Voor de uitvoering van de stroomsnelheidsmetingen zijn over de lengte richting van de beluchtingstank diverse meetlocaties gekozen, zowel in de bocht als in het rechte been. Bij elke meetlocatie is een dwarsdoorsnede profiel gemaakt bestaande uit 24-30 meetpunten. De vloeistofstroomsnelheid is een gemiddelde waarde van het aantal meetpunten in een profiel. Afbeelding 6 is een schematische weergave van de MBR Varsseveld waarin de meetpunten zijn aangegeven.

AFBEELDING 6 SCHEMATISCHE WEERGAVE LOCATIES STROOMSNELHEIDSMETINGEN



### 3.2.2 MEETMETHODE EN NAUWKEURIGHEID

De stroomsnelheidsmetingen zijn uitgevoerd met behulp van een Ott-molen (type C31) met een componenten schoep A Ø 100 mm. Een meetnauwkeurigheid van +/- 2% kan worden gehanteerd indien erop de meetlocatie geen onregelmatigheden zijn, de bodem schoon is en er een voldoende hoge stroomsnelheid is. De meetlocatie voldoet deels aan de gestelde condities. Door de compacte bouw van de beluchtingstank is het aantal geschikte meetlocaties beperkt, met name met betrekking tot de rechte aanstroomlengte. Bij gebrek aan geschikte locaties is noodgedwongen direct na een (haakse) bocht gemeten. Er is vastgesteld dat de bodem vrij is van zand- of slibduinen. De stroomsnelheden over de gemeten dwarsprofielen voldoen aan het gestelde criterium (stroomsnelheid > 0,025 m/s) waarvoor de Ott-molens geijkt zijn. Gezien de aanstroomcondities wordt de meettolerantie ingeschat op +/- 3%.

### 3.3 MEETPROGRAMMA VLOEISTOFSTROOMSNELHEID BELUCHTINGSTANK

Het meetprogramma van de vloeistofsnelheidsmetingen in tabel 1 weergegeven. Om de samenhang te zien met OC-metingen zijn eveneens de data en specificaties van deze metingen in de tabel opgenomen.

TABEL 1

PROGRAMMA OC- EN VLOEISTOFSNELHEIDSMETINGEN BELUCHTINGSTANK

| Datum         | Medium | Geïnstalleerd<br>vermogen<br>voortstuwvers | Uitvoerder | Capaciteit<br>beluchting | Aantal<br>velden |
|---------------|--------|--|------------|--------------------------|------------------|
|               |        | [kW]                                       |            | [Nm <sup>3</sup> /h]     | [-]              |
| November 2004 | Water  | 3,0  | DHV        | 0                        | -                |
|               | Water  | 3,0  | DHV        | 1.030                    | 1                |
|               | Water  | 3,0  | DHV        | 1.030                    | 2                |
|               | Water  | 3,0  | DHV        | 2.090                    | 2                |
| Januari 2005  | Slib   | 3,0  | DHV        | 2.080 <sup>#</sup>       | 2                |
| Maart 2005    | Slib   | 4,0  | KSB        | 0                        | 2                |
|               | Slib   | 4,0  | KSB        | 1.040 <sup>#</sup>       | 2                |
|               | Slib   | 4,0  | KSB        | 2.080 <sup>#</sup>       | 2                |
| Juni 2005     | Slib   | 4,0  | DHV        | 2.080 <sup>#</sup>       | 2                |
| December 2005 | Slib   | 4,0  | DHV        | 2.080 <sup>#</sup>       | 2                |
|               | Slib   | 6,5  | DHV        | 2.080 <sup>#</sup>       | 2                |
|               | Slib   | 6,5  | Aannemer   | 1.040 <sup>#</sup>       | 2                |
|               | Slib   | 6,5  | Aannemer   | 2.080 <sup>#</sup>       | 2                |

<sup>#</sup> afgeleid vermogen van uitgevoerde referentiemetingen november 2004.

### 3.4 RESULTATEN

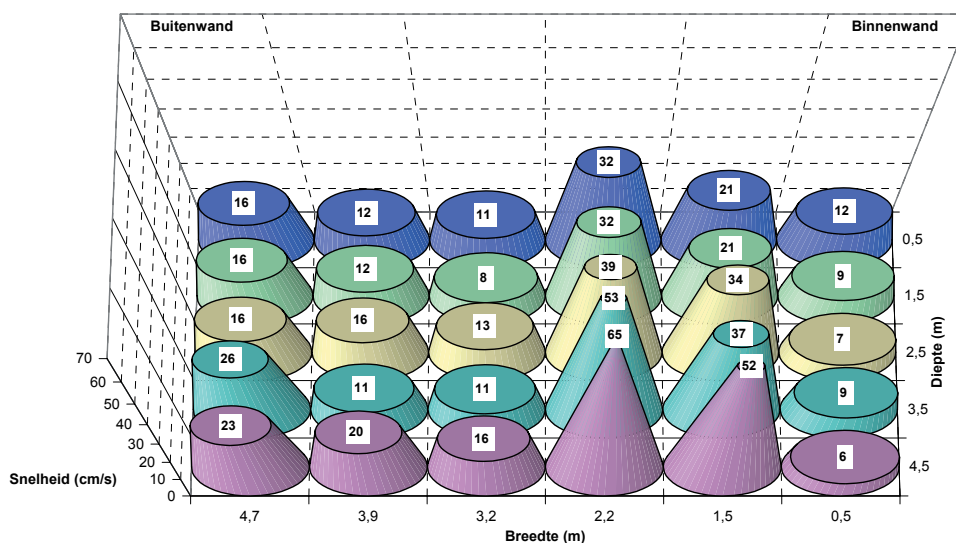
#### 3.4.1 DWARSDOORSNEDE SNELHEIDSMETINGEN

Bij de uitvoering van de metingen was duidelijk een stroomsnelheidsverschil over de dwarsdoorsnede waarneembaar. Het water langs de buitenkant van de binnenste ring stroomt sneller dan het water langs de binnenkant. Dit is onder andere te verklaren doordat dit water een langere weg aflegt. Een behoorlijke verstoring van de stroming werd waargenomen in de haakse hoeken in de buitenste ring van de beluchtingstank. Hier vindt niet of nauwelijks stromingsgeleiding plaats.

Typische stroomsnelheidsprofielen gemeten bij brug 2 en 3 zijn weergegeven in afbeelding 7 en 8.

AFBEELDING 7

DWARSDOORSNEDEPROFIEL VLOEISTOFSROOMSNELHEID IN HET RECHTE BEEN



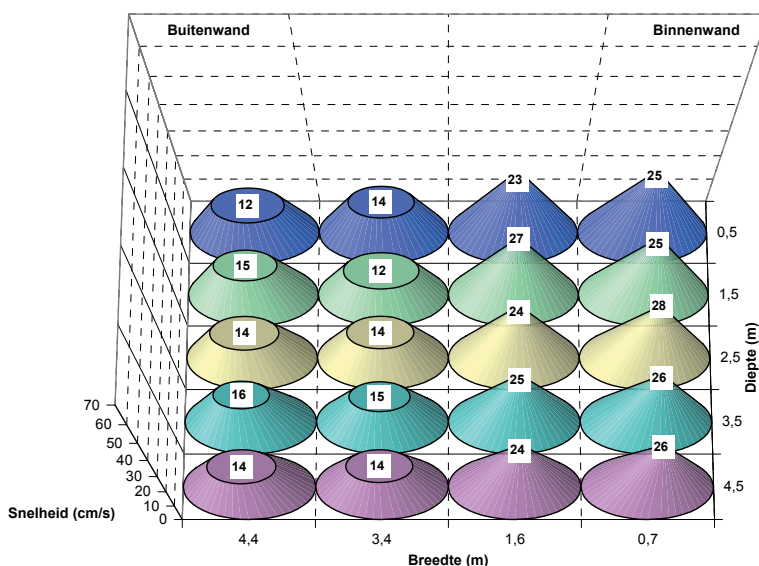


De stroomsnelheid langs de wand van de tank is beduidend lager dan in het midden van de tank. Ook is de snelheid op grotere diepte hoger dan vlak bij het wateroppervlak. Het verschil in stroomsnelheid is soms meer dan een factor zes. Wandeffecten en de plaats van de voortstuwcr verklaren de waargenomen verschillen.

In de bocht werd een ander stromingsprofiel gemeten. Hier zijn effecten als onvoldoende stroomgeleiding door haakse bochten en geringe aanstroomlengte, duidelijk waarneembaar. In de breedte van de tank zijn de verschillen in stroomsnelheid gering. Verschillen in de diep-terichting zijn wel duidelijk zichtbaar.

Een volledig overzicht van de gemeten dwarsdoorsnedeprofielen is opgenomen in bijlage 1.

AFBEELDING 8 DWARSDOORSNEDEPROFIEL VLOEISTOFSTROOMSNELHEID IN DE BOCHT



### 3.4.2 GEMIDDELDE STROOMSNELHEID

De resultaten van alle uitgevoerde stroomsnelheidsmetingen zijn samengevat in tabel 2. Uit de metingen blijkt dat de stroomsnelheid in het beluchtingscircuit afhankelijk is van het ingestelde vermogen van de beluchters en het aantal beluchtingsvelden in bedrijf. In afbeelding 9 is de stroomsnelheid als functie van het ingebrachte vermogen weergegeven. De intensiteit van de beluchting, gedefinieerd als de hoeveelheid lucht per zone belucht oppervlak, beïnvloedt de hoogte van de stroomsnelheid. Hoe hoger de beluchtingsintensiteit hoe lager de vloeistofstroomsnelheid. De luchtbellen fungeren als barrière waar de watermassa doorheen moet.

Het netto plaatoppervlak van de beluchtingselementen in Varsseveld is 80 m<sup>2</sup>. De maximale hoeveelheid lucht die volgens het ontwerp benodigd is bedraagt 2080 Nm<sup>3</sup>/uur. De beluchtingsintensiteit bedraagt hierbij circa 26 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.uur). De kritische grens, de grens waarboven de stroming onevenredig gehinderd wordt, ligt tussen 12 en 15 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.uur). Deze voor klassieke rwzi's ongebruikelijk hoge intensiteit is nodig omdat de zuurstofoverdracht in MBR systemen minder effectief is. In vergelijking tot klassieke rwzi's kan het volume van de beluchtingstank door een hoog drogestofgehalte kleiner worden gekozen. Een hoog drogestofgehalte gaat gepaard met een minder effectieve zuurstofoverdracht als gevolg van een hogere viscositeit en daarmee samenhangende lagere  $\alpha$ -factor. Samen met een kleiner

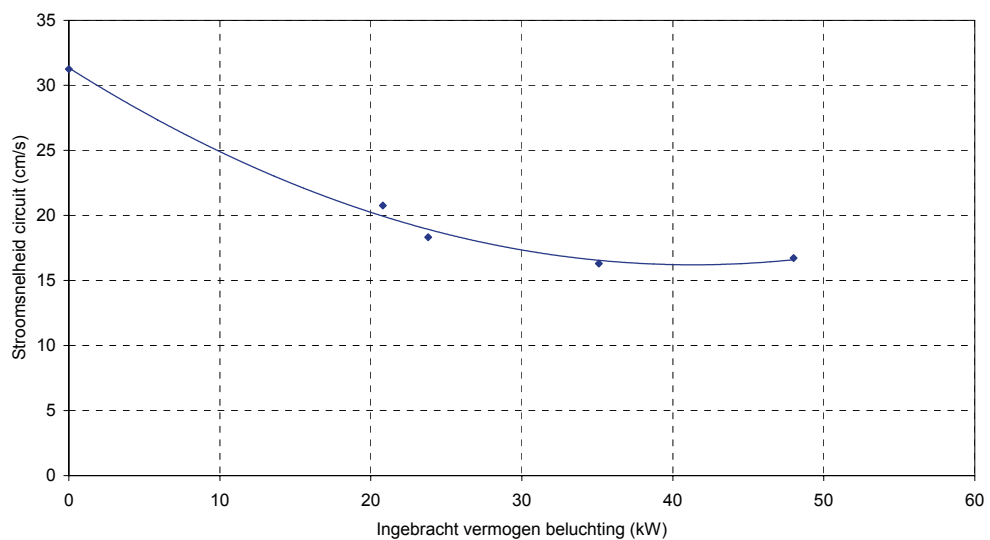
volume van de beluchtingstank leidt dit voor MBR systemen tot een relatief hoge luchtinbreng per volume-eenheid. Bij de huidige rwzi's wordt over het algemeen een lagere plaatbelasting aangehouden van maximaal 15-20 Nm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.uur). Er geldt namelijk ook, hoe hoger de plaatbelasting, hoe slechter de overdracht per Nm<sup>3</sup> lucht.

De invloed van de beluchting op de stroomsnelheid is groot (afbeelding 9 en 10). Bij twee beluchtingsvelden in bedrijf en maximale plaatbelasting wordt de snelheid gehalveerd ten opzichte van de situatie waarin niet belucht wordt. Met de oorspronkelijke voorstuwers (3 kW) werd niet aan de bestekseis van 30 cm/s voldaan. De vereiste stroomsnelheid van 30 cm/s werd alleen gehaald indien de beluchting is uitgeschakeld en twee voortstuwers in bedrijf zijn. Indien de beluchting wordt ingeschakeld, leidt dit tot een extra weerstand in het beluchtingscircuit waardoor de stroomsnelheid daalt. Verder neemt de stroomsnelheid af als het ingebrachte vermogen van de beluchting toeneemt. Dit zogenoemde hysteresis effect<sup>1</sup> is dus in grote mate bepalend voor de omloopsnelheid van het actiefslib in het beluchtingscircuit.

TABEL 2 RESULTATEN VLOEISTOFSNELHEIDSMETINGEN

| Meting | Datum     | Aantal voortstuwers | Vermogen voortstuwers | Aantal blowers | Totaal vermogen beluchting | Aantal beluchtingsvelden | Locatie | Snelheid (cm/s) |            | Inhoud circuit           |
|--------|-----------|---------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|--------------------------|---------|-----------------|------------|--------------------------|
|        |           | -                   | kW                    | -              | kW                         | -                        |         | -               | per meting |                          |
| 1      | 10-dec-04 | 2                   | 3                     | 2              | 48                         | 2                        | brug 3  | 13,9            | 16,7       | grondwater<br>water/slib |
|        | 24-jan-05 | 2                   | 3                     | 2              | 47,4                       | 2                        |         | 19,3            |            |                          |
|        | 24-jan-05 | 2                   | 3                     | 2              | 47,8                       | 2                        |         | 17,0            |            |                          |
| 2      | 16-nov-04 | 2                   | 3                     | 2              | 35,1                       | 2                        | brug 3  | 16,3            | 16,3       | grondwater               |
| 3      | 17-nov-04 | 2                   | 3                     | 1              | 23,8                       | 2                        | brug 3  | 20,3            | 18,3       | grondwater<br>grondwater |
|        | 17-nov-04 | 2                   | 3                     | 1              | 23,8                       | 2                        | brug 2  | 16,4            |            |                          |
| 4      | 18-nov-04 | 2                   | 3                     | 1              | 20,8                       | 1                        | brug 3  | 21,9            | 20,8       | grondwater<br>grondwater |
|        | 18-nov-04 | 2                   | 3                     | 1              | 20,8                       | 1                        | brug 2  | 19,6            |            |                          |
| 5      | 19-nov-04 | 2                   | 3                     | 0              | 0                          | 0                        | brug 3  | 32,3            | 31,3       | grondwater<br>grondwater |
|        | 19-nov-04 | 2                   | 3                     | 0              | 0                          | 0                        | brug 2  | 30,2            |            |                          |
| 6      | mrt-05    | 2                   | 4                     | 2              |                            | 0                        | brug 3  |                 | 40         | water/slib               |
|        | mrt-05    | 2                   | 4                     | 2              |                            | 1                        | brug 3  |                 | 31,3       | water/slib               |
|        | mrt-05    | 2                   | 4                     | 2              |                            | 2                        | brug 3  |                 | 22,7       | water/slib               |
| 7      | dec-05    | 2                   | 6,5                   | 1              |                            | 2                        | brug 3  |                 | 43         | water/slib               |
|        | dec-05    | 2                   | 6,5                   | 2              |                            | 2                        | brug 3  |                 | 29         | water/slib               |

AFBEELDING 9 RELATIE TUSSEN STROOMSNELHEID EN INGEBRACHT VERMAGEN BLOWERS (GEÏNSTALLEERD VERMAGEN VOORSTUWERS 3 KW)

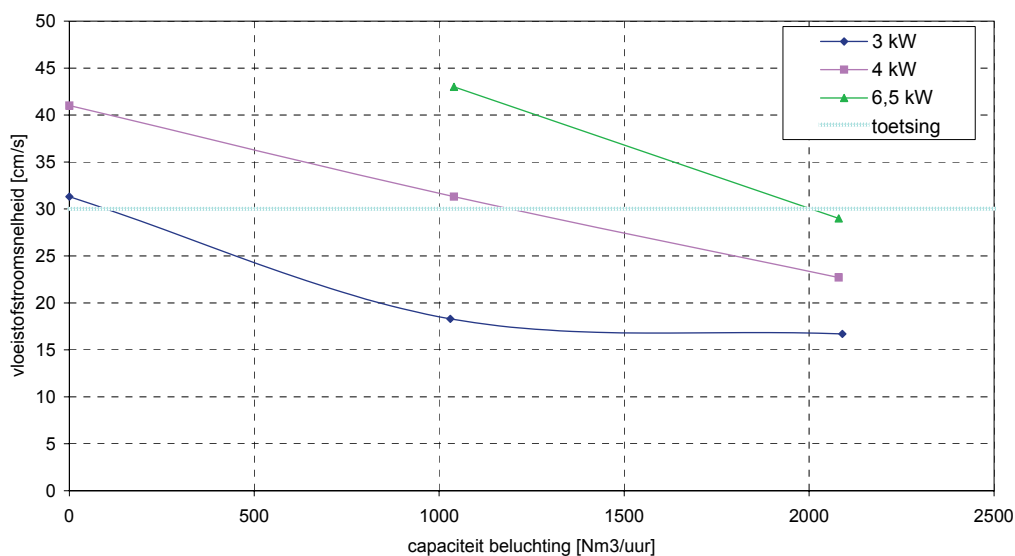


<sup>1</sup> Hysteresis is het verschijnsel dat een (meet)waarde niet alleen afhangt van de grootte van het ingangssignaal (vermogen voortstuwer) maar ook van de richting waarin deze verandert (vermogen blower).

Een te lage stroomsnelheid is reden geweest om het motorvermogen van de voortstuwars te verhogen van 3 naar 4 kW geïnstalleerd vermogen. Opnieuw zijn stroomsnelheden gemeten in vergelijkbare opzet. Het resultaat hiervan is eveneens weergegeven in tabel 2 en in afbeelding 10. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het werkelijke ingebrachte vermogen van de voortstuwars niet is gemeten. Tijdens de schoonwatermetingen was de registratie van het amperage van de voortstuwars nog niet goed ingesteld.

Hoewel met de 4 kW voortstuwars hogere vloeistofsnelheden werden gemeten, werd nog niet voldaan aan de gestelde eis van 30 cm/s bij twee beluchtingsvelden op ontwerpcapaciteit. In verband met de uitkomsten van de OC metingen werd besloten de voortstuwars (nogmaals) te vervangen door zwaardere voortstuwars met een geïnstalleerd vermogen van 6,5 kW. Ook met deze voortstuwars, welke tijdelijk dienden als testopstelling, zijn snelheidsmetingen verricht. Bij maximale beluchting is een stroomsnelheid gemeten van 29 cm/s, een waarde die gezien de nauwkeurigheid van de meting voldoet aan de gestelde bestekseis.

AFBEELDING 10 RELATIE TUSSEN STROOMSNELHEID EN GEÏNSTALLEERD VERMOGEN BLOWERS



# 4

## $\alpha$ -FACTORMETINGEN BELUCHTINGSTANK

### 4.1 INLEIDING

De  $\alpha$ -factor is een belangrijke parameter welke de verhouding aangeeft tussen de zuurstofoverdracht in slib en schoon water. Bij MBR systemen ligt de  $\alpha$ -factor lager dan voor klassieke systemen. In het Beverwijk MBR onderzoek [ref. 9] is een uitgebreide studie verricht naar deze factor. Gekeken is welke factoren de  $\alpha$ -factor beïnvloeden.

In deze studie is de  $\alpha$ -factor vijfmaal bepaald met name ter ondersteuning van de OC-metingen in het actiefslib. In de evaluatie zijn de gemeten waarden vergeleken met de resultaten van het Beverwijkonderzoek.

Naast  $\alpha$ -factor metingen in slib zijn tevens metingen uitgevoerd in het grondwater waarmee de OC garantietesten zijn uitgevoerd. Regelmatige meting van de  $\alpha$ -factor is hier van belang omdat door dosering van sulfiet of mogelijke andere al aanwezige verontreinigingen in het grondwater, de  $\alpha$ -factor bij aanvang van de testen, maar ook gedurende de meetperiode, kan afwijken van 1,0. Om rekening te houden met een dergelijk effect is driemaal de  $\alpha$ -factor gemeten.

### 4.2 RESULTATEN $\alpha$ -FACTOR METINGEN

#### 4.2.1 $\alpha$ -FACTOR IN SCHOON WATER

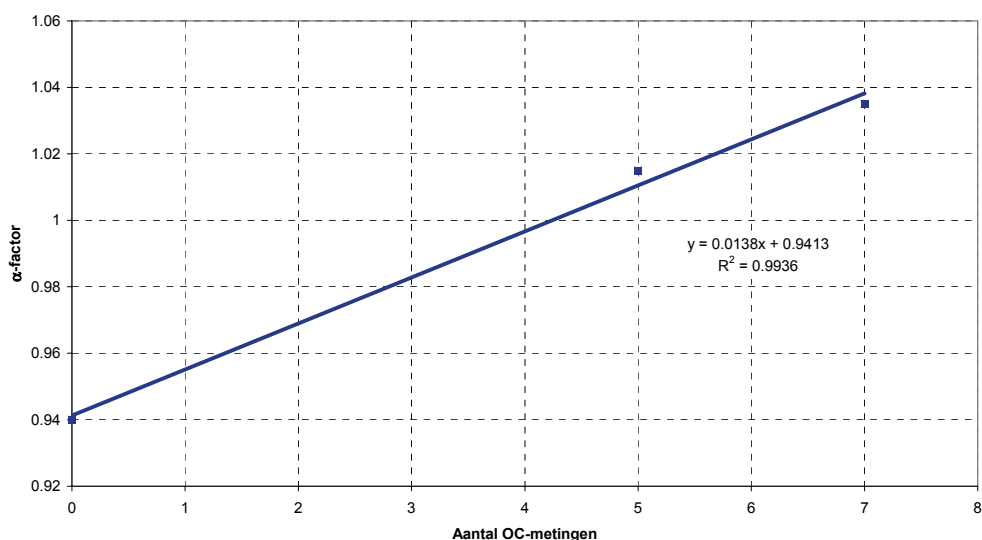
Alvorens de OC-metingen zijn uitgevoerd is de  $\alpha$ -factor van het grondwater in het beluchtingscircuit gemeten. De  $\alpha$ -factor metingen zijn op laboratoriumschaal uitgevoerd.

De resultaten van de  $\alpha$ -factor metingen in schoon water zijn samengevat in tabel 3 en afbeelding 11. Er zijn in schoonwater drie  $\alpha$ -factor metingen uitgevoerd. De  $\alpha$ -factor voor de overige OC-metingen is bepaald door interpolatie.

De  $\alpha$ -factor aan het begin van de OC-metingen was 0,94. Door het doseren van het natriumsulfiet is de  $\alpha$ -factor in de loop van de week gestegen tot 1,04.

TABEL 3  $\alpha$ -FACTOR BEPALING SCHOONWATER

| Meting  | Waarde |
|---|--------|
| $\alpha$ -factor grondwater in circuit voorafgaand aan OC-metingen (zonder sulfietdosering) | 0,94   |
| $\alpha$ -factor grondwater in circuit na 5 OC-metingen                                     | 1,02   |
| $\alpha$ -factor grondwater in circuit na 7 OC-metingen                                     | 1,04   |

AFBEELDING 11  $\alpha$ -FACTOR SCHOONWATER ALS FUNCTIE VAN HET AANTAL BEPALINGEN

#### 4.2.2 $\alpha$ -FACTOR IN SLIB

In het kader van de OC-meting in slib is gedurende het jaar vijfmaal de  $\alpha$ -factor van een monster actiefslib uit het beluchtingscircuit bepaald. De bepalingen zijn uitgevoerd met een testopstelling van 60 liter met keramische bellenbeluchting. Hoe representatief een  $\alpha$ -factor meting verkregen in een laboratoriumopstelling is voor een praktijkschaalsituatie, is een belangrijke vraag. De test-opstelling is niet gelijk aan de condities van de MBR in Varsseveld. Het slib wordt gedurende het transport naar de testlocatie gedurende enkele uren niet belucht en ook niet belast met afvalwater. Bovendien is er een tijdsverschil tussen het moment waarop monsters zijn genomen en de metingen zijn gedaan. Van de vijf uitgevoerde metingen werden drie metingen uitgevoerd daags na monsternamen. Het is niet bekend of en in welke mate deze factoren de meetuitkomst hebben beïnvloed.

Er is één goede vergelijking mogelijk tussen de testopstelling en de MBR Varsseveld, namelijk de OC-meting in slib van januari 2005 (tabel 7). De OC is in november 2004 in schoon water gemeten en in januari 2005 in slib. Er van uit gaande dat in de tussentijd de effectiviteit van de plaatbeluchting niet is gewijzigd, is het verschil tussen deze beide metingen uit te drukken als de  $\alpha$ -factor. De op deze wijze berekende  $\alpha$ -factor is 0,76 en is daarmee exact gelijk aan de in de testopstelling gemeten  $\alpha$ -factor.

De meetuitkomsten tonen aanzienlijke variatie (afbeelding 12) maar liggen binnen de spreiding van de meetresultaten die destijds verkregen zijn in het Beverwijkonderzoek. Hier werden bij vergelijkbare concentraties slib,  $\alpha$ -factor waarden waargenomen tussen 0,5 – 0,8 (ref. 9).

Bij de uitvoering van de  $\alpha$ -factor metingen in slib op 14-6-05, 13-10-05 en 15-12-05 zijn ten opzichte van de twee eerdere metingen van dat jaar een aantal zaken opgevallen, te weten:

- de hogere  $\alpha$ -factor bij een relatief hoog slibgehalte;
- zeer hoge mate van schuimvorming tijdens de analyse (veel sterker dan 27-1-05 en 23-2-05);
- lage endogene ademhaling (veel lager dan in voorgaande analyses).

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de de  $\alpha$ -factor bepalingen en testcondities.

TABEL 4  $\alpha$ -FACTOR BEPALINGEN EN TESTCONDITIES

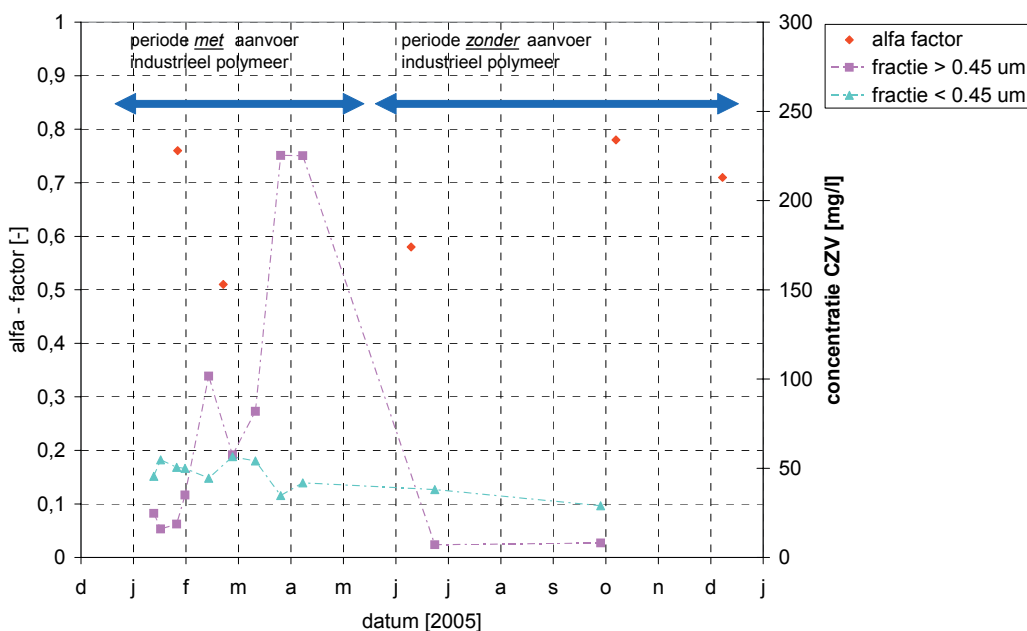
| Datum    | Testvolume [l] | Temp. [°C] | Luchtdebiet [l/min] | Luchtdruk [mbar] | Drogestof [gDS/l] | Endogene Ademhaling [mgO <sub>2</sub> /gDS.h] | $\alpha$ -factor [-] |
|----------|----------------|------------|---------------------|------------------|-------------------|---|----------------------|
| 27-1-05  | 60             | 19,7       | 21                  | 1.012,7          | 6,8               | 3,3 → 3,9                                     | 0,76                 |
| 23-2-05  | 60             | 19,5       | 19,5                | 1.012,6          | 9,2               | 5,0 → 3,7                                     | 0,51                 |
| 14-6-05  | 60             | 19,0       | 19,5                | 1.003,3          | 9,9               | 2,8 → 3,5                                     | 0,58                 |
| 13-10-05 | 60             | 20,7       | 19,4                | 1.019            | 9,3               | 1,8 → 1,4                                     | 0,78                 |
| 15-12-05 | 60             | 19,9       | 19,5                | 1.013            | 10,6              | 2,7 → 2,3                                     | 0,71                 |

Opvallend is dat voor een aantal bepalingen de endogene respiratiesnelheid toenam. Hier is geen verklaring voor gevonden. Het effect van een variërende respiratie op de meetuitkomst is uitgemiddeld door de reaëratiebepaling in vijfvoud uit te voeren. De in tabel 4 gegeven  $\alpha$ -factoren zijn gemiddelde waarden van vijf individuele metingen.

Er is getracht verbanden te vinden tussen de  $\alpha$ -factorwaarde en de eigenschappen van het slib. Interessant daarbij is de periode met en zonder aanwezigheid van industrieel polymeer in het afvalwater. Er is gekeken naar concentraties CZV, poly-S, eiwitten gebonden aan slib dan wel aanwezig in het 'vrije water' (supernatant). Voor een toelichting op deze begrippen en gebruikte methode wordt verwezen naar deelstudie *Slibkwaliteit versus filtreerbaarheid*.

Er is onderscheid gemaakt in opgeloste fracties (< 0,45  $\mu\text{m}$ ) en colloïdale fracties (> 0,45  $\mu\text{m}$ ). Relaties zijn echter moeilijk te leggen door: (1) een beperkte data-set  $\alpha$ -factormetingen en (2) de verschillende dagen waarop  $\alpha$ -factormetingen zijn uitgevoerd en de eigenschappen van het slib zijn bepaald. Een overzicht van de resultaten is gegeven in bijlage 6.

AFBEELDING 12  $\alpha$ -FACTOR EN CONCENTRATIES CZV IN SUPERNATANT SLIB GEMETEN IN DE TIJD



Uitgaande van trends lijkt de concentratie CZV in het supernatant van het slib (fracties  $>0,45 \mu\text{m}$ ) de  $\alpha$ -factorwaarde negatief te beïnvloeden. Deze colloïdale fractie CZV neemt de eerste maanden geleidelijk toe in het slib, vermoedelijk door de aanvoer van industrieel polymeer in het afvalwater. Tegelijkertijd daalt de  $\alpha$ -factor naar 0,51. In de maand maart is de concentratie colloïdaal CZV verder toegenomen tot meer dan 200 mg CZV/l. Dit kan mogelijk een verdere daling van de  $\alpha$ -factorwaarde hebben veroorzaakt.

# 5

## OC SCHOON WATER BELUCHTINGSTANK

### 5.1 INLEIDING

Het zuurstoftoevoervermogen van het beluchtingsysteem (OC) is een belangrijke ontwerpparameter. Met name voor MBR-systemen waar hoge eisen gesteld worden aan een effectieve zuurstofoverdracht is gedegen onderzoek naar de OC-waarde voor specifieke bedrijfssituaties relevant. Doel van de metingen is inzicht te krijgen in de OC als functie van het ingebracht vermogen van de compressor en de vloeistofstroomsnelheid in de beluchtingstank. Het zuurstoftoevoervermogen van het beluchtingsysteem is hiervoor bepaald voor verschillende bedrijfssituaties. Op de eerste plaats zijn zogenoemde garantiemetingen uitgevoerd in verband met de opgeleverde nieuwbouw MBR-installatie. Aanvullend hierop is voor een aantal specifieke bedrijfssituaties de OC bepaald.

Dit hoofdstuk bespreekt twee mogelijke meetmethoden, het meetprogramma en de verkregen resultaten.

### 5.2 METHODE BEPALING OC IN SCHOON WATER

Voor het meten van de OC in een beluchtingstank zijn verschillende methoden gangbaar. Een veel gebruikte methode voor OC metingen in schoon water is de reaëratie-methode (STORA, ATV, ASCE en EN 12255-15). Bij de bepaling van de OC in dit onderzoek is gekozen voor de STORA-methode. Deze methode corrigeert voor het menggedrag in het omloopsysteem en houdt rekening met de hydrostatische druk in de beluchtingstank. Bij de reaëratie-methode wordt de beluchtingstank zuurstofloos gemaakt met natriumbisulfit. Vervolgens wordt de beluchting gestart en wordt een reaëratiecurve verkregen die karakteristiek is voor de gegeven situatie. Uit deze curve wordt de zogenoemde zuurstofoverdrachtcoëfficiënt  $k_L a$  bepaald waarmee de OC kan worden berekend.

Vanaf het moment dat de beluchting wordt gestart neemt de zuurstofconcentratie toe in de tijd. De snelheid waarmee de concentratie zuurstof toeneemt, wordt beschreven door:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = k_L a \times (C_s - C) \quad (1)$$

waarin:

|                |  |                        |
|----------------|--|------------------------|
| C              | = concentratie zuurstof in water             | [mg O <sub>2</sub> /l] |
| $k_L a$        | = zuurstofoverdrachtsconstante in water      | [1/uur]                |
| C <sub>s</sub> | = verzadigingsconcentratie zuurstof in water | [mg O <sub>2</sub> /l] |

Na het afleiden van de  $k_L a$ -waarde uit de reaëratiecurve kan volgens de STORA-richtlijn de OC in schoon water worden berekend met behulp van formule 2.

$$OC_{\text{standaard}} = 11,3 \times (1 + 0,01dp) \times 2,3 \times V \times k_L a \times \left[ 1 + \left( 1 - \frac{n \times V_{\text{meng}}}{V} \right) (1,15X + 0,9X^2) \right] \times 1,019^{10-T} \times Y \quad (2)$$



waarin:

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| $OC_{\text{standaard}}$ | = | OC bij schoon water van 10°C bij 1 atm (kg/h)  |
| $1+0,01dp$              | = | drukfactor die hoort bij de gemiddelde zuurstofverzadigingswaarde (kPa), dit is de druk op halve hoogte watervolume ( $1 + 0,01 \cdot 23,7 = 1,24$ )                                     |
| $V$                     | = | totaal volume beluchtingscircuit (m <sup>3</sup> )   |
| [.....]                 | = | correctiefactor voor omloopsystemen  |
| $V_{\text{meng}}$       | = | het volume water in één van de gedeelten van het beluchtingsbassin met ideale menging (m <sup>3</sup> ). Het watervolume boven een beluchtingspakket bedraagt circa 500 m <sup>3</sup> . |
| $n$                     | = | aantal plaatsen in het beluchtingsbassin waar beluchting plaatsvindt   |
| $X$                     | = | $k_L a \cdot (V - nV_{\text{meng}}) / nq$  |
| $q$                     | = | de volumestroom water die een waterdoorsnede van het circuit passeert (m <sup>3</sup> /s)  |
| $1,019^{10-T}$          | = | temperatuurscorrectie  |
| $Y$                     | = | omrekenfactor voor de atmosferische druk $P_B$ ,<br>( $Y = (P_B + 0,63P_H) / (101,3 + 0,63P_H)$ )  |
| $P_B$                   | = | atmosferische druk   |
| $P_H$                   | = | hydrostatische druk ter hoogte van de beluchtingselementen   |

De gebruikte materialen en een draaiboek van de uitvoering van OC metingen in schoon water is opgenomen in bijlage 4.

### 5.3 MEETPROGRAMMA OC SCHOON WATER

Conform het bestek zijn de volgende OC-metingen in duplo uitgevoerd:

- één compressor in bedrijf (bij twee voortstuwars in bedrijf);
- twee compressoren in bedrijf (bij twee voortstuwars in bedrijf).

Daarnaast zijn OC-metingen uitgevoerd om de beluchtingscapaciteit bij meerdere bedrijfs-situaties te bepalen. Tabel 1 geeft het uitgevoerde onderzoeksprogramma weer. De uitgevoerde metingen in november 2004 betreffen de garantiemetingen.

### 5.4 RESULTATEN OC-METING IN SCHOON WATER

Tabel 5 geeft een samenvattend overzicht van de OC-metingen in schoonwater. De volledige resultaten zijn opgenomen in bijlage 2. De bestekseis voor de maximale beluchtingscapaciteit van 273 kg O<sub>2</sub>/h werd niet gehaald. De maximale beluchtingscapaciteit bedroeg circa 191 kg O<sub>2</sub>/h. Deze waarde ligt 30% lager dan de bestekeis.

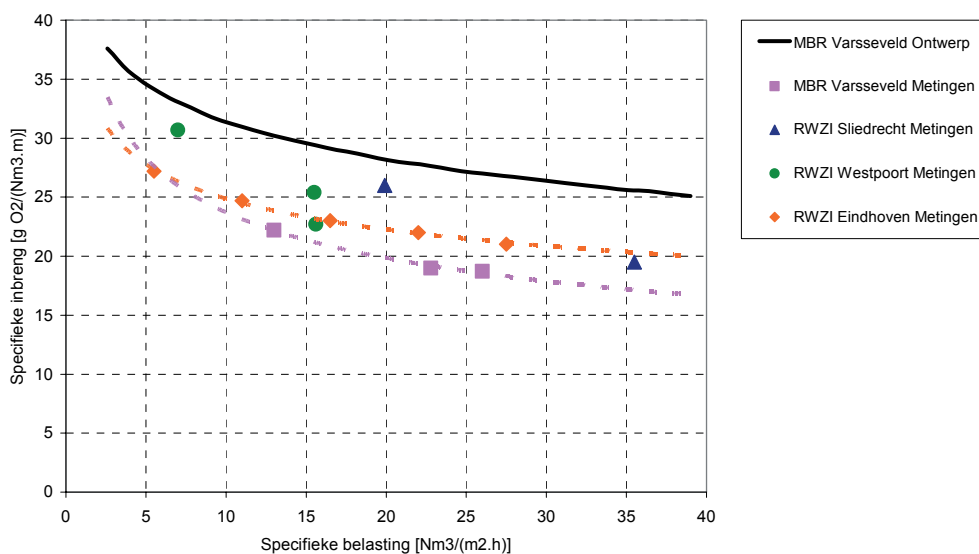
De leverancier van de plaatbeluchters heeft zogenoemde garanties afgegeven voor de te verwachten opbrengst bij een maximaal luchtdebiet van 1.040 Nm<sup>3</sup>/h per beluchtingsveld. Hiermee correspondeert een plaatbelasting van 26 Nm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h en een rendement van 27 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m). Bij het genoemde debiet van 1.040 Nm<sup>3</sup>/h per beluchtingsveld, dus in totaal 2.080 Nm<sup>3</sup>/h, zijn de garantiemetingen uitgevoerd.

Gebleken is dat bij een lagere plaatbelasting (metingen uitgevoerd bij 1.030 Nm<sup>3</sup>/h op 2 beluchtingsvelden) het rendement toeneemt van 18,5 tot 22,9 gO<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m). De laatste waarde

is een gemiddelde van drie metingen. Tijdens de OC-metingen waarbij één blower in bedrijf was, is geen verschil in OC gevonden tussen de metingen waarbij tijdens de dosering van sulfiet de beluchting was in- of uitgeschakeld. Bij de metingen met twee blowers in bedrijf, waarbij tegelijkertijd sulfiet werd gedoseerd, werd wel een negatief effect op de OC-metingen waargenomen. Daarom is bij twee blowers in bedrijf alleen de 3<sup>e</sup> meting een representatieve OC-bepaling geweest.

Het verschil tussen de ontwerpwaarde en meetresultaten voor de MBR Varsseveld, mede in relatie tot waarnemingen bij drie andere klassieke rwzi's, is weergegeven in afbeelding 13. De specifieke zuurstofinbreng in Varsseveld is 10-20% lager dan vergelijkbare beluchtings-systemen op klassieke rwzi's.

AFBEELDING 13 SPECIFIEKE ZUURSTOFINBRENG ALS FUNCTIE VAN DE SPECIFIEKE PLAATBELASTING



Opgemerkt dient te worden dat de stroomsnelheid in het beluchtingscircuit bij alle uitgevoerde OC-metingen niet aan de bestekeis voldeed. De stroomsnelheid beïnvloedt de zuurstofoverdracht. Bij een te lage stroomsnelheid wordt een niet representatieve OC-waarde verkregen. Om die reden zijn, in een later stadium van het project, de voortstuwers tot tweemaal toe vervangen om de stroomsnelheid in het omloopcircuit te verhogen. Bij de hogere stroomsnelheid zijn alleen aanvullende OC-metingen uitgevoerd in slib, niet in schoon water.

Bij de bepaling van de OC zijn veelal meerdere zuurstofsensoren gebruikt die de concentraties zuurstof hebben geregistreerd op verschillende plaatsen in het beluchtingscircuit. Bij calibratie van de sensoren bleek niet elke sensor een zelfde verzadigingsconcentratie zuurstof aan te geven. Voor sommige sensoren week de verzadigingsconcentratie meer dan 10% van de theoretische waarde. Gebleken is dat met een sensor die 1 of 2 mg O<sub>2</sub>/l afwijkt van de theoretische verzadigingsconcentratie toch een zelfde  $k_L a$ -factor wordt berekend. Door  $\log(C_s/(C_s-C))$  uit te zetten tegen de tijd wordt een rechte lijn verkregen waarbij iedere reeratiecurve dezelfde richtingscoëfficiënt ( $k_L a$ -factor) oplevert, ondanks een verschil in verzadigingsconcentratie. De  $C_s$  gemeten worden verder niet in de berekening van de OC gebruikt, omdat bij standaardisering de OC teruggerekend wordt naar 10°C en daarvoor de theoretische waarde wordt gebruikt.

TABEL 5 RESULTATEN OC-METINGEN IN SCHOON WATER

| Meting | Blowers |      | Velden<br>aantal | $\alpha$ -factor | tg $\alpha$<br>h-1 | OC 10<br>(kg O <sub>2</sub> /h) | Lucht<br>debiet<br>Nm <sup>3</sup> /h | Plaat<br>belasting<br>Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .h) | Rendement               |                        | Opmerking* |
|--------|---------|------|------------------|------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|------------------------|------------|
|        | aantal  | kW** |                  |                  |                    |                                 |                                       |  | g/(Nm <sup>3</sup> .m') | kg O <sub>2</sub> /kWh |            |
| 1      | 2       | 48   | 2                | 0,96             | 1,83               | 164                             | 2.091                                 | 26,1   | 15,9                    | 3,6                    | aan        |
| 2      | 2       | 48   | 2                | 0,97             | 2,05               | 181                             | 2.091                                 | 26,1   | 17,6                    | 4,0                    | aan        |
| 3      | 2       | 48   | 2                | 1,02             | 2,31               | 191                             | 2.091                                 | 26,1   | 18,5                    | 4,1                    | uit        |
| 4      | 1       | 24   | 2                | 0,98             | 1,42               | 115                             | 1.030                                 | 12,9   | 22,7                    | 5,1                    | aan        |
| 5      | 1       | 24   | 2                | 1,00             | 1,46               | 118                             | 1.030                                 | 12,9   | 23,2                    | 5,2                    | aan        |
| 6      | 1       | 24   | 2                | 1,04             | 1,45               | 112                             | 1.030                                 | 12,9   | 22,1                    | 5,0                    | uit        |
| 7      | 1       | 21   | 1                | 1,01             | 1,08               | 84                              | onbekend                              | onbekend   | onbekend                | 4,2                    | aan        |

\* Beluchting tijdens doseren van sulfiet-oplossing aan of uit

\*\* exclusief vermogen voortstuwers

# 6

## OC SLIB BELUCHTINGSTANK

### 6.1 INLEIDING

De OC-waarde in slib kan aanzienlijk afwijken van die in schoon water. Dit wordt veroorzaakt door de  $\alpha$ -factor zoals eerder besproken in hoofdstuk 4. Een belangrijke vraag is of de OC van het beluchtingssysteem onafhankelijk van de  $\alpha$ -factor in de tijd varieert door mogelijke vervuiling van de beluchtingsplaten, dan wel door andere factoren. Daartoe is in vier perioden, over het jaar, een aantal keren de OC gemeten.

Dit hoofdstuk presenteert de twee verschillende methodieken voor bepaling van de OC in slib, het uitgevoerde meetprogramma en de onderzoeksresultaten.

### 6.2 METHODE OC-BEPALING IN SLIB

Voor OC-bepalingen in slib zijn geen officiële protocollen beschikbaar. De methode die ATV voorschrijft (ref.2) geeft aan dat OC-bepalingen in slib volgens de reaeratiemethodiek mogelijk zijn mits de eindconcentratie zuurstof niet lager is dan 50% van de verzadingswaarde. Echter ATV houdt geen rekening met meng- en drukeffecten. De berekening volgens STORA doet dat wel en is daarmee nauwkeuriger. Daarom is voor de OC-bepalingen in slib gebruik gemaakt van de STORA berekeningsmethode. Een andere methode is de steady state methode (de Korte, 1984). Bij de steady state methode wordt uit een zuurstofbalans over de beluchtingstank een OC-waarde afgeleid. De opzet van beide methoden wordt in de hiernavolgende paragrafen besproken.

#### 6.2.1 BEPALING OC IN SLIB VOLGENS REAËRATIE

De opzet van de OC bepaling in slib is vergelijkbaar met de methode die gebruikt wordt in schoon water. Een verschil in uitvoering is dat de aëratietank zuurstofloos wordt gemaakt door het aanwezige slib en niet door dosering van sulfiet. De volgende voorbereidingen zijn getroffen voor de uitvoering van de meting:

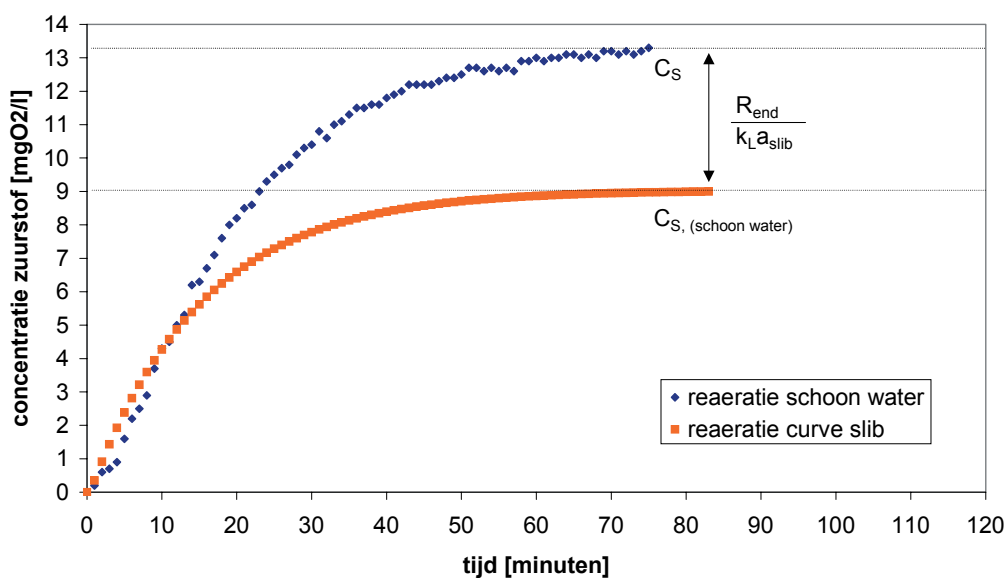
- De aanvoer van afvalwater is enkele uren voor de bepaling stopgezet om endogene respiratie te bereiken. Het gevolg hiervan is dat de zuurstofconcentratie en de respiratiesnelheid van het actiefslib constant is over de gehele reactorinhoud.
- De aanvoer en afvoer van slib naar de voordennitrificatieruimte en de membraantanks is stopgezet om verstoringen in de concentratie zuurstof te voorkomen;
- De concentratie zuurstof is op verschillende plaatsen over de lengterichting van de beluchtingstank gemeten.

Daarnaast gelden vergelijkbare voorbereidingen als de methode voor schoon water.

Op het moment dat de concentratie zuurstof vrijwel nul is kan de beluchting worden gestart. Evenals de reaëratiecurve verkregen in schoon water, bereikt de zuurstofconcentratie na enige tijd een plafondwaarde. Deze waarde ( $C_R$ ) is een resultante van de hoeveelheid

zuurstof die wordt ingebracht en de hoeveelheid zuurstof die door het slib wordt geconsumeerd. Afbeelding 14 illustreert de verschillende reaeratiecurves in schoon water en slib. Het verschil tussen beide maximale concentraties zuurstof is gelijk het quotiënt van de respiratiesnelheid en de  $k_L a$  in slib.

AFBEELDING 14 ILLUSTRATIE REAERATIECURVES VERKREGEN IN SCHOON WATER EN SLIB



De zuurstofoverdrachtscoëfficiënt  $k_L a$  is een specifieke procesparameter die wordt beïnvloed door veranderingen in fysieke en chemische eigenschappen van het proces. De bijdrage van deze veranderingen worden uitgedrukt in zogenaemde  $\alpha$ - en  $\beta$ -factoren. De  $\alpha$ -factor is gedefinieerd als de verhouding tussen de  $k_L a$ -waarde in slib en de  $k_L a$ -waarde in schoon water volgens:

$$\alpha - factor = \frac{k_L a_{slib}}{k_L a_{schoonwater}}$$

De  $\beta$ -factor is gedefinieerd als de verhouding van de concentratie zuurstof verzadigd in slib en de concentratie zuurstof verzadigd in schoon water.

$$\beta - factor = \frac{C_S(slib)}{C_S(schoonwater)} \quad (3)$$

De verandering van de concentratie zuurstof in slib kan vervolgens beschreven worden door:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = k_L a_{slib} \times (C_{S(slib)} - C) - R \quad (4)$$

Waarbij de R staat voor de respiratiesnelheid in mg O<sub>2</sub>/(l.h).

De  $\beta$ -factor heeft een beperkt effect op de zuurstofoverdracht. De verzadigingsconcentratie zuurstof in slib is min of meer vergelijkbaar met de verzadigingswaarde in schoon water, uitgezonderd slib waar hoge concentraties zouten in voorkomen. De concentratie chloride (100-200 mg/l) in het effluent van Varsseveld wijkt niet af van het effluent van een doorsnee RWZI in Nederland. Daarom is voor de zuivering Varsseveld de  $\beta$ -factor buiten beschouwing gelaten.

De OC's in slib zijn als volgt berekend:

1. Schatting  $k_L a_{\text{slib}}$ -waarde uit reaeratiecurve
2. Berekening  $OC_{\text{standaard}}$  in slib volgens STORA formule (2)
3. Corrigeren voor  $\alpha$ -factor (indien vergelijking gemaakt wordt met OC schoonwater)

De nauwkeurigheid van de reaeratiemethode in slib is vooral afhankelijk van de plafondwaarde zuurstof die wordt bereikt. Bij een te hoge respiratie of een te lage OC is de plafondwaarde te laag om een nauwkeurige schatting van de  $k_L a$ -waarde uit te voeren.

De ATV-richtlijn schrijft voor dat voor een nauwkeurige bepaling de eindconcentratie zuurstof hoger moet zijn 50% van de verzadigingswaarde in schoon water. Onzekere factoren bij deze methode zijn:

- de betrouwbaarheid waarmee de  $\alpha$ -factor voor slib wordt vastgesteld;
- de stroomsnelheid van het slib in de beluchtingstank.

De gebruikte materialen en een draaiboek van de uitvoering OC metingen in slib is opgenomen in bijlage 5.

### 6.2.2 BEPALING OC VOLGENS STEADY STATE

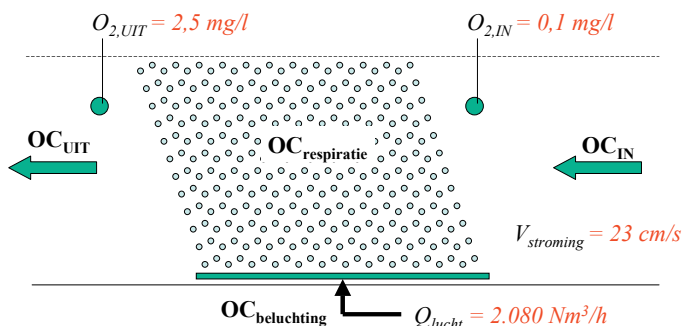
Een andere methode is de bepaling van de OC op basis van een zuurstofmassabalans, ook wel de 'steady state' methode genoemd (de Korte, 1984). Bij de steady-state methode wordt het hele systeem in een evenwichtssituatie gebracht, waarna op verschillende plaatsen in de reactor het zuurstofgehalte wordt gemeten. Evenals de reaeratiemethode is het van belang dat er geen verstoringen plaatsvinden en dat de ademhalingsnelheid van het slib laag en constant is. Ook bij deze methode wordt de afvalwater aanvoer naar de rwzi geruime tijd van te voren (minimaal enkele uren) stopgezet alvorens de metingen plaatsvinden.

Voor verschillende condities kan de OC van de in bedrijf zijnde beluchtingspakketten worden gemeten. Hiertoe worden vlak voor en vlak na de beluchtingspakketten zuurstofsensoren opgehangen. Bij een bekende stroomsnelheid kan op basis van het verschil in zuurstofgehalte en de gemeten respiratiesnelheid worden berekend wat de zuurstofinbreng in een pakket is.

Het principe van de steady-state meting is weergegeven in afbeelding 15.

AFBEELDING 15

VISUALISATIE STEADY-STATE METING OC SLIB



Voor de steady-state situatie geldt de volgende vergelijking:

$$OC_{\text{beluchting}} = (OC_{\text{UIT}} - OC_{\text{IN}}) + OC_{\text{respiratie}}$$

De nauwkeurigheid van de steady state methode hangt samen met:

- het verschil van de concentratie voor en na het beluchtingspakket;
- de nauwkeurigheid waarmee het volume van een beluchtingspakket kan worden vastgesteld;
- het stromingspatroon en -snelheid.

### 6.3 MEETPROGRAMMA OC SLIB

De OC-metingen in slib zijn in respectievelijk januari, maart, juni en december 2005 uitgevoerd. Een overzicht van de metingen is weergegeven in tabel 1, waarin tevens staat vermeld bij welk voorstuwervermogen de metingen zijn uitgevoerd. Ter ondersteuning van de OC-metingen in slib zijn  $\alpha$ -factor metingen en vloeistofsnelheidsmetingen uitgevoerd.

### 6.4 RESULTATEN OC-METINGEN IN SLIB BELUCHTINGSTANK

De bepaling van de OC volgens de steady state methode is niet praktisch uitvoerbaar gebleken. Door de geringe verschillen in de ingaande en uitgaande concentratie zuurstof over een beluchtingspakket kon er geen voldoende nauwkeurige zuurstofbalans over de beluchtingstank worden opgesteld. Daarom zijn alle OC berekeningen uitgevoerd volgens de reëratie-methode.

De eerste OC bepaling in slib is uitgevoerd op 24 januari 2005. Het doel hiervan was om een vergelijking te maken met de vastgestelde OC's in schoonwater. De voorwaarde dat het slib een constante respiratie heeft is getoetst door de endogene ademhaling van het slib gedurende de dag vier keer te bepalen (tabel 6). Uit de metingen blijkt dat de respiratie van het slib gedurende een periode van 6 uur niet of nauwelijks veranderd.

TABEL 6 RESULTATEN RESPIRATIEMETINGEN

| Begintijd | Eindtijd | Respiratiesnelheid (mg O <sub>2</sub> /(g DS.uur)) |
|-----------|----------|--|
| 10.39     | 11.07    | 1,79   |
| 12.05     | 12.26    | 1,62   |
| 14.55     | 15.32    | 1,70   |
| 17.26     | 18.09    | 1,70   |
| Gemiddeld |          | 1,70   |

De  $\alpha$ -OC (OC in actiefslib) is op 24 januari 2005 in duplo bepaald en bedroeg gemiddeld 135 kg O<sub>2</sub>/h. De OC in schoon water, bepaald op 18 november 2004, bedroeg 188 kg O<sub>2</sub>/h. Op basis hiervan kan een  $\alpha$ -factor worden berekend van 0,72. Deze  $\alpha$ -factor komt redelijk overeen met de op labschaal gemeten  $\alpha$ -factor van 0,76. In juni en december 2005 zijn drie andere OC bepalingen in slib uitgevoerd. De resultaten van de OC-metingen in schoon water en in slib zijn samengevat weergegeven in tabel 7.

Een volledig overzicht van de meetresultaten is opgenomen in bijlage 3. Bij het verwerken van de gegevens bleek het "fitten" van de zuurstofcurve de beste methode voor de berekening van de  $k_L a$ .

TABEL 7 UITGEVOERDE OC METINGEN IN SLIB EN SCHOONWATER

| Datum                          | [-]                                     | 18-nov-04   | 24-jan-05   | 14-jun-05   | 12-dec-05   | 22-dec-05   |
|--------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Uitgangspunten</b>          |   |             |             |             |             |             |
| Medium                         | [-]                                     | Water       | Slib        | Slib        | Slib        | Slib        |
| O <sub>2</sub> -sensor         | type                                    | Danfoss     | Danfoss     | Danfoss     | Danfoss     | Danfoss     |
| Lokatie O <sub>2</sub> -sensor | [-]                                     | Buitenbocht | Buitenbocht | Binnenbocht | Binnenbocht | Binnenbocht |
| Vermogen voorstuwers           | [kW]                                    | 3,0         | 3,0         | 4,0         | 6,5         | 4,0         |
| <b>Metingen</b>                |   |             |             |             |             |             |
| Temperatuur                    | [°C]                                    | 10,3        | 10,5        | 18,5        | 13,0        | 13,0        |
| Niveau beluchtingstank         | [m]                                     | 5,02        | 5,03        | 5,02        | 5,12        | 5,23        |
| Niveau platen                  | [m]                                     | 4,92        | 4,93        | 4,92        | 5,02        | 5,13        |
| $\alpha$ -factor               | [-]                                     | 1,02        | 0,76        | 0,58        | 0,71        | 0,71        |
| Luchtdruk                      | [hPa]                                   | 1008        | 1021        | 1012        | 1034        | 1027        |
| Respiratie                     | [mg/(L.h)]                              | 0           | 12,2        | 25,7        | 14,4        | 16,2        |
| Stroomsnelheid                 | [cm/s]                                  | 16,7        | 16,7        | 22,7        | 29,0        | 22,7        |
| Vermogen blowers               | [kW]                                    | 59,0        | 57,0        | 56,8        | 56,8        | 56,8        |
| Capaciteit blowers             | [Nm <sup>3</sup> /h]                    | 2091        | 2001        | 1914        | 2003        | 1983        |
| <b>Zuurstofverzadiging</b>     |   |             |             |             |             |             |
| Cs Theoretisch                 | [mg/l]                                  | 11,2        | 11,1        | 9,3         | 10,5        | 10,5        |
| Cs Zuurstofsensoren            | [mg/l]                                  | 13,0        | 12,3        | 16,0        | 15,5        | 16,9        |
| Cs Zuurstofsensoren in slib    | [mg/l]                                  | -           | 9,0         | 4,3         | 10,8        | 10,7        |
| <b>Berekening Kla-methode</b>  |   |             |             |             |             |             |
| Kla o.b.v Cs slib              | [1/h]                                   | 2,31        | 1,68        | 0,98        | 1,45        | 1,16        |
| Correctiefactor T = 10°C       | [-]                                     | 0,99        | 0,99        | 0,85        | 0,95        | 0,95        |
| Druk bodem                     | [hPa]                                   | 490         | 497         | 492         | 512         | 520         |
| Drukcorrectie                  | [-]                                     | 1,00        | 1,01        | 1,00        | 1,02        | 1,01        |
| Delta P                        | [-]                                     | 1,25        | 1,26        | 1,25        | 1,26        | 1,27        |
| Correctie stroming             | [-]                                     | 1,13        | 1,09        | 1,04        | 1,04        | 1,04        |
| $\alpha$ -OC(10)               | kg O <sub>2</sub> /h                    | 196         | 139         | 66          | 111         | 88          |
| OC(10)                         | kg O <sub>2</sub> /h                    | 191         | 183         | 114         | 156         | 124         |
| OC specifiek                   | g O <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> .m') | 18,6        | 18,6        | 12,1        | 15,5        | 12,2        |

De OC(10) van de schoonwatermetingen in november 2004 bedroeg 191 kg O<sub>2</sub>/h. De ontwerpwaarde was 273 kg O<sub>2</sub>/h. De specifieke zuurstofinbreng bedroeg 18,6 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m'), terwijl in het ontwerp was uitgegaan van 26,0 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m'). Dit is een verschil (tekort) van 28%.

De eerste OC-meting in slib, uitgevoerd één maand na de opstart van de installatie, gaf eveneens waarde van 18,6 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m'), waarbij rekening werd gehouden met de  $\alpha$ -factor. Vervolgens zijn 6 maanden later OC-metingen uitgevoerd met voorstuwers met een groter motorvermogen (4 in plaats van 3 kW). Het resultaat met deze voorstuwers bedroeg 12,1 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m') waarmee de OC 35% lager was dan de metingen uitgevoerd in januari. Het verhogen van het geïnstalleerde vermogen van de voortstuwers van 4,0 naar 6,5 kW (december) had een positief effect op de zuurstofinbreng. Deze nam toe van 12,1 naar 15,5 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m'), een verhoging van 28%. Echter kort daarna werden opnieuw OC metingen met de 4 kW voorstuwers uitgevoerd, waarbij wederom een lage OC van 12,2 g O<sub>2</sub>/(Nm<sup>3</sup>.m') werd vastgesteld.



## 7

## OC SLIB MEMBRAANTANK

## 7.1 INLEIDING

Hoewel de beluchters in de membraantanks geen primaire functie hebben het actiefslib te beluchten is deze zuurstofinbreng vanuit het oogpunt van energie wel een belangrijke ontwerpparameter. De beluchting in de membraantanks is bedoeld om voldoende turbulentie in de tank te creëren waardoor ophoping van slib op het membraanoppervlak en daarmee de filtratieweerstand, zoveel mogelijk wordt beperkt. Voor deze toepassing wordt een grove bellen beluchting toegepast. Dit hoofdstuk behandelt de gebruikte meetmethode, het meetprogramma en de resultaten.

## 7.2 METHODE OC ACTIEF SLIB MEMBRAANTANK

Voor de bepaling van de OC in de membraantanks is de steady-state methode toegepast. Bij de uitvoering zijn dezelfde uitgangspunten als de OC bepaling in de beluchtingstank gehanteerd. Een belangrijk voordeel ten opzichte van de metingen in de beluchtingstank is dat de afmetingen van de membraantank en dus het belucht volume bekend is. Dit verhoogt de nauwkeurigheid waarmee de bepaling kan worden uitgevoerd.

Om het verschil tussen ingaande en uitgaande concentratie zuurstof zo groot mogelijk te maken, is de beluchting in de beluchtingstank stopgezet. De ingaande concentratie zuurstof naar de membraantank is gelijk aan nul. Een groot verschil tussen in- en uitgaande zuurstofconcentraties verhoogt de nauwkeurigheid van de bepaling.

Om het effect van stromingscondities op de zuurstofoverdracht te onderzoeken zijn proeven uitgevoerd bij verschillende aanvoerdebieten.

## 7.3 MEETPROGRAMMA OC ACTIEFSLIB MEMBRAANTANK

De OC in de membraantank is voor verschillende specifieke bedrijfsvoerings situaties vastgesteld. Een overzicht van het meetprogramma is opgenomen in tabel 8.

TABEL 8

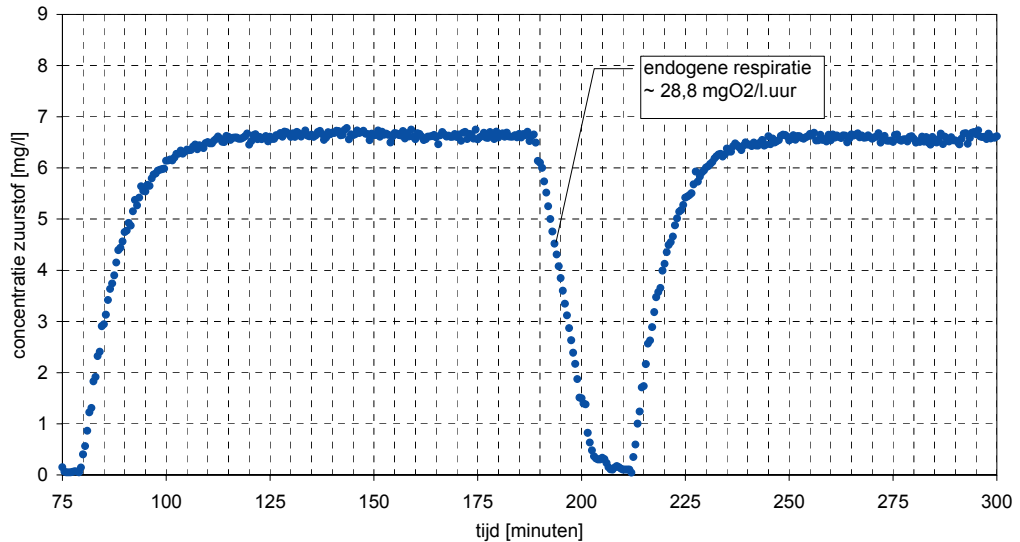
ONDERZOEKSPROGRAMMA OC ACTIEFSLIB MEMBRAANTANK

| Dag                                 | 14-6-2005 |   | 23-6-2005 |     |     |
|-------------------------------------|-----------|---|-----------|-----|-----|
| Aantal metingen                     | 1         |   | 4         |     |     |
| Aantal membraanpakketten            | 4         |   | 4         |     |     |
| Slibrecirculatie debiet [ $m^3/u$ ] | 0         | 0 | 400       | 600 | 790 |

## 7.4 RESULTATEN OC-METINGEN SLIB MEMBRAANTANK

Op 14 juni 2005 is een eerste oriënterende proef uitgevoerd naar de OC van de beluchters in de membraantank. De resultaten van deze proef zijn weergegeven in afbeelding 16. Duidelijk zichtbaar is de start van de proef na 75 minuten, waarbij de concentratie zuurstof snel stijgt tot een constante waarde van circa 6,7 mg O<sub>2</sub>/l. Op t = 190 minuten wordt de beluchting stopgezet en daalt de concentratie zuurstof naar nul. Uit de helling van deze lijn is de endogene respiratie berekend. Voor een duplo meting is de proef herhaald door de beluchting te starten op t=217 minuten. De bepalingen hebben een identieke reaaratiecurve opgeleverd.

AFBEELDING 16 VERLOOP CONCENTRATIE ZUURSTOF IN MEMBRAANTANK T.B.V.  $\alpha$ -OC BEPALING (14 JUNI 2005)

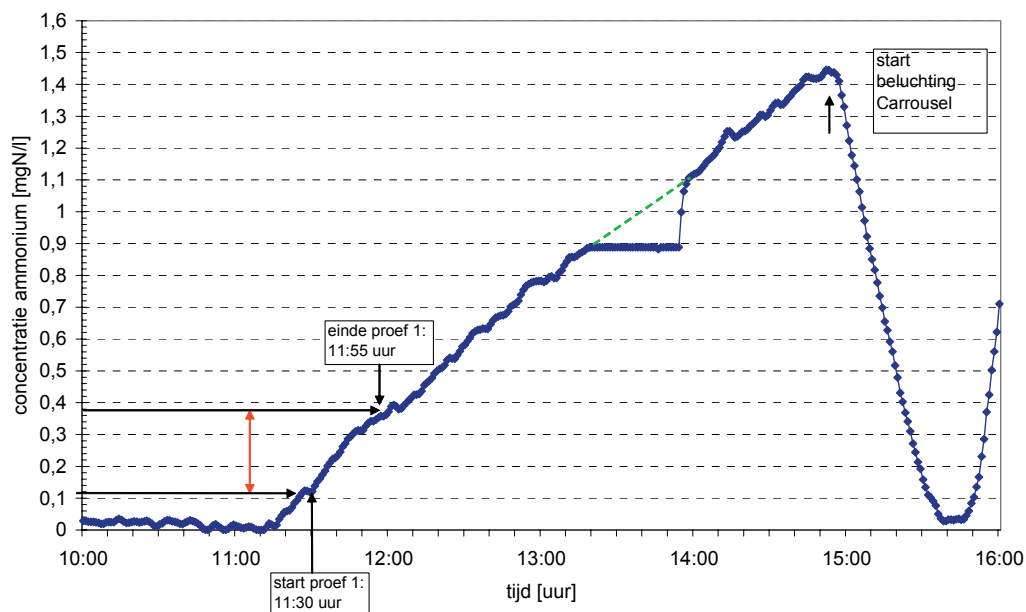


Op 23 juni 2005 is gedurende de dag een reeks proeven uitgevoerd bij verschillende slib-recirculatie debieten over de membraantank. Omstreeks 9:00 uur 's ochtends werd de afvalwateraanvoer stopgezet. Het slib in de beluchtingstank werd daarna nog 2 uur belucht om endogene respiratie te bereiken. Vervolgens is de beluchting in de beluchtingstank uitgezet. Het gedurende lange tijd niet beluchten van het slib in de beluchtingstank bleek gevolgen te hebben voor de  $\alpha$ -OC metingen in de membraantank. Uitgangspunt bij de steady state methode is dat het actiefslib een constante respiratie heeft omdat anders geen goede zuurstofbalans over de membraantank gemaakt kan worden. Echter door zuurstofloosheid in de beluchtingstank gaan verschillende anaërobie biologische processen een rol spelen die vervolgens van invloed zijn op de respiratiesnelheid van het slib in de membraantank.

Twee processen zijn van belang: ammonificatie van organisch gebonden ammonium en hydrolyse van CZV. Door ammonificatie van organisch gebonden stikstof stijgt de concentratie ammonium in de beluchtingstank. Door zuurstofloze condities wordt ammonium niet in de beluchtingstank geoxideerd, wat tot gevolg heeft dat de concentratie ammonium geleidelijk toeneemt (afbeelding 17). Bij de proeven waar slib vanuit de beluchtingstank gerecirculeerd wordt over de membraantank wordt ammonium geoxideerd in de membraantank, waarbij dus niet meer verondersteld mag worden dat de respiratie gelijk is aan de endogene respiratiesnelheid. Bij de eerst uitgevoerde  $\alpha$ -OC bepalingen spelen deze effecten nog nauwelijks een rol omdat de concentratie ammonium weinig is toegenomen. Echter later op de dag was de concentratie ammonium in de beluchtingstank opgelopen tot 1,4 mg NH<sub>4</sub>-N/l. Vooral bij hogere slibrecirculatie debieten levert dit een niet te verwaarlozen bijdrage in het zuurstofverbruik op. Bij de berekening van de  $\alpha$ -OC uit de massabalans is hiermee rekening gehouden.

AFBEELDING 17

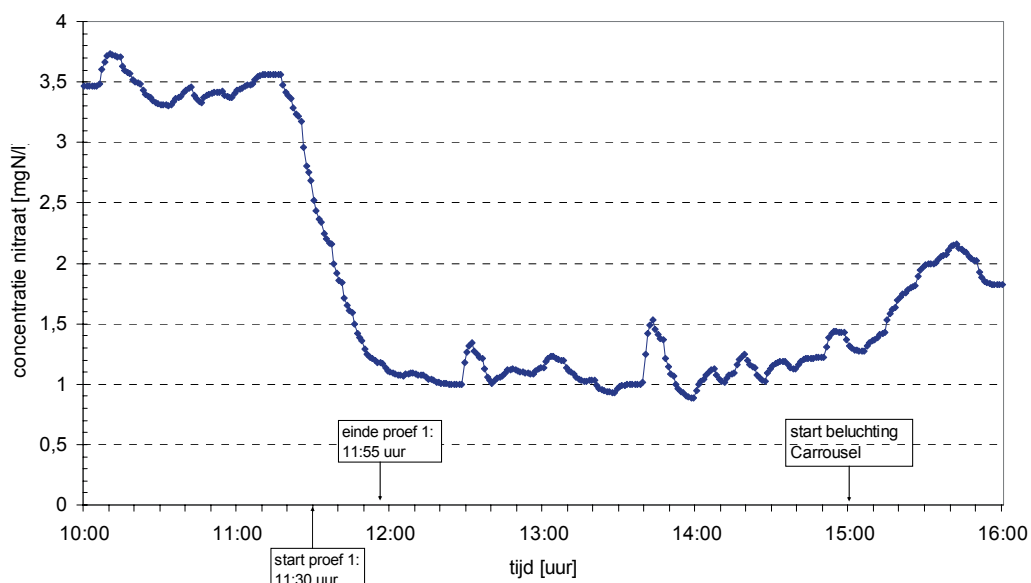
TOENAME CONCENTRATIE AMMONIUM IN BELUCHTINGSTANK TIJDENS ZUURSTOFLOZE CONDITIES (23 JUNI 2005)



Een ander fenomeen waar rekening mee gehouden dient te worden is het mogelijk beschikbaar komen van snel biodegradeerbaar CZV uit de hydrolyse van langzaam biodegradeerbaar CZV. Het uiteindelijke effect hiervan op de  $\alpha$ -OC bepaling is waarschijnlijk beperkt. De aanwezigheid van zuurstof in nitraat voorkomt dat deze stoffen als reservemateriaal in het actiefslib wordt opgeslagen (afbeelding 18). Daarnaast is hydrolyse ook een langzaam proces waardoor de absolute bijdrage op het totale zuurstofverbruik beperkt zal blijven. Derhalve is een bijdrage van oxidatie van hydrolyse-producten niet meegenomen in de de  $\alpha$ -OC berekening.

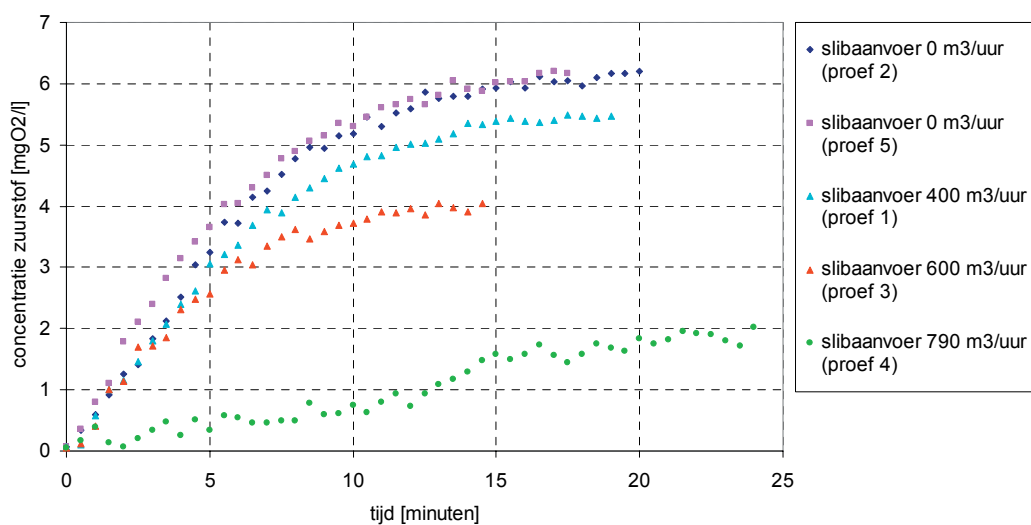
Uit de proeven uitgevoerd op 14 juni (afbeelding 16) is gebleken dat voor het bereiken van een steady-state situatie in de membraantank minimaal 40 minuten vereist is, vanaf het moment dat de beluchting wordt gestart. Op 24 juni is door het achtereenvolgend uitvoeren van vijf proeven de vereiste reaeratielijd niet gehaald. Het gevolg hiervan is dat geen juiste waarde van de zuurstofconcentratie kan worden bepaald. Het niet bereiken van een steady-state leidt tot een onderschatting van de concentratie zuurstof in de membraantank. Een vergelijking van de reaeratiecurves op 14 en 23 juni leert dat het voortijdig afbreken van de beluchting (circa 20 minuten) tot een onderschatting van de eindconcentratie zuurstof met circa 0,6-0,7 mg O<sub>2</sub>/l leidt. Aangenomen is dat deze onderschatting ook zal gelden voor de verkregen reaeratiecurves met recirculatie van slib vanuit de beluchtingstank naar de membraantank (afbeelding 19). Voor een meer betrouwbare schatting van de werkelijke eindconcentratie zuurstof is de gemeten eindconcentratie zuurstof verhoogd met 0,6-0,7 mg O<sub>2</sub>/l.

AFBEELDING 18 VERLOOP CONCENTRATIE NITRAAT IN BELUCHTINGSTANK TIJDENS ZUURSTOFLOZE CONDITIES (23 JUNI 2005)



Voor de uitwerking van de  $\alpha$ -OC's is onderscheid gemaakt in de ' $\alpha$ -OC' welke is berekend op basis van de gemeten eindconcentratie zuurstof en de ' $\alpha$ -OC (gecorrigeerd)' welke is gebaseerd op een schatting van de werkelijke eindconcentratie zuurstof bij een steady-state situatie. Een overzicht van de procesinstellingen en meetresultaten van de  $\alpha$ -OC bepalingen in de membraantank is opgenomen in tabel 9.

AFBEELDING 19 REAERATIECURVES MEMBRAANTANK BIJ VERSCHILLENDE SLIBRECIRCULATIEDEBIETEN

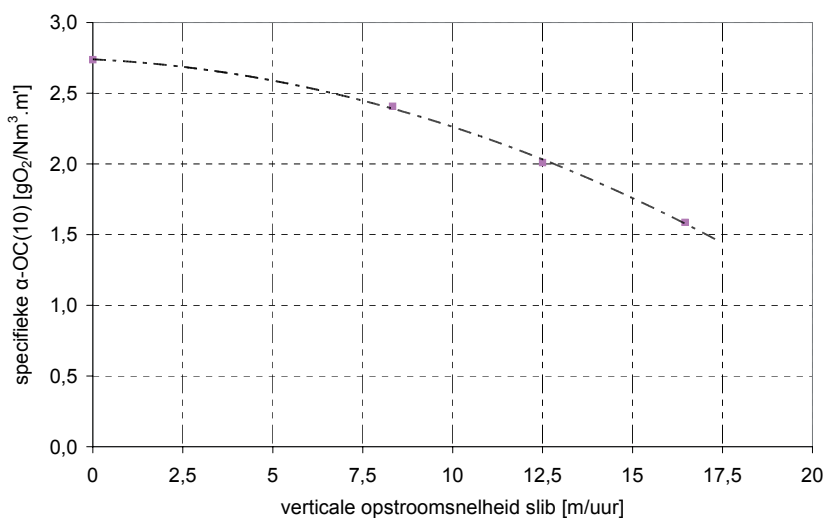


TABEL 9 OVERZICHT PROCESINSTELLINGEN EN MEETRESULTATEN OC BEPALINGEN IN DE MEMBRAANTANK

| Datum   |   | 14-6-2005 | 23-6-2005 | 23-6-2005 | 23-6-2005 | 23-6-2005 |
|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Proef   |   | 1         | 2 en 5    | 1         | 3         | 4         |
| Aanvoerdebiet slib MT                         | m <sup>3</sup> /uur                     | 0         | 0         | 400       | 600       | 790       |
| Zuurstofgehalte toevoer MT                    | mg/l                                    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| Luchtdebiet per blower                        | m <sup>3</sup> /uur                     | 1.875     | 1.875     | 1.875     | 1.875     | 1.875     |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand              | m                                       | 2.850     | 2.850     | 2.850     | 2.850     | 2.850     |
| Watervolume                                   | m <sup>3</sup>                          | 170       | 170       | 170       | 170       | 170       |
| Watertemperatuur                              | °C                                      | 17,9      | 22,2      | 22,2      | 22,2      | 22,2      |
| Verzadigingsconcentratie zuurstof             | mg O <sub>2</sub> /l                    | 9,45      | 8,75      | 8,75      | 8,75      | 8,75      |
| maximale concentratie zuurstof                | mg O <sub>2</sub> /l                    | 6,6       | 6,18      | 5,50      | 4,10      | 2,00      |
| luchtdruk                                     | mbar                                    | 1.012     | 1.019     | 1.019     | 1.019     | 1.019     |
| slibgehalte                                   | g/l                                     | 10,8      | 10,14     | 10,14     | 10,14     | 10,14     |
| SVI   | ml/g                                    | 76        | 69        | 69        | 69        | 69        |
| endogene respiratie                           | mg O <sub>2</sub> /(L.uur)              | 28,8      | 27,6      | 27,6      | 27,6      | 27,6      |
| specifieke respiratie                         | mg O <sub>2</sub> /(g ds.uur)           | 2,67      | 2,72      | 2,72      | 2,72      | 2,72      |
| stikstof respiratie                           | kg O <sub>2</sub> /uur                  | 0         | 0         | 0,4       | 2,0       | 3,4       |
| correctie vroegtijdig afbreken reeratie curve | mg O <sub>2</sub> /l                    | 0         | 0,6       | 0,6       | 0,7       | 0,6       |
| $\alpha$ -OC                                  | kg O <sub>2</sub> /uur                  | 16,2      | 16,0      | 15,2      | 13,3      | 11,0      |
| $\alpha$ -OC specifiek                        | g O <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> .m') | 2,5       | 2,4       | 2,3       | 2,0       | 1,7       |
| $\alpha$ -OC (gecorrigeerd)                   | kg O <sub>2</sub> /uur                  | 16,2      | 20,8      | 18,3      | 15,3      | 12,1      |
| $\alpha$ -OC specifiek (gecorrigeerd)         | g O <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> .m') | 2,5       | 3,2       | 2,8       | 2,3       | 1,8       |
| $\alpha$ -OC (10) (gecorrigeerd)              | kg O <sub>2</sub> /uur                  | 14,0      | 18,0      | 15,8      | 13,2      | 10,4      |
| $\alpha$ -OC (10) specifiek (gecorrigeerd)    | g O <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> .m') | 2,1       | 2,7       | 2,4       | 2,0       | 1,6       |

Het is opvallend dat de  $\alpha$ -OC waarde verkregen op 14-06-05 bij vergelijkbare procesinstellingen aanzienlijk lager is (~ 22%) dan de waarde verkregen op 23-06-05. Zeer waarschijnlijk wordt dit verklaard door een lagere  $\alpha$ -factor.

Het verband tussen de specifieke  $\alpha$ -OC (10) als functie van de verticale opstroomsnelheid van het slib is zichtbaar gemaakt in afbeelding 20.

AFBEELDING 20 SPECIFIEKE  $\alpha$ -OC (10) MEMBRAANTANK ALS FUNCTIE VAN DE VERTICALE OPSTROOMSNELHEID

# 8

## HYDRAULICA MEMBRAANTANK

### 8.1 INLEIDING

Bij de MBR Varsseveld vindt de slib-waterscheiding plaats in vier identiek parallel geschakelde membraantanks. De hydraulica bepaalt hoe het slib in de tank verdeeld wordt. Gedraagt een membraantank zich als een volledig gemengde tank of meer als propstromer? Bij het ontwerp van de membraantank is er naar gestreefd om de slib aan- en afvoer zo gelijkmatig mogelijk te laten plaatsvinden zodat er niet of nauwelijks concentratiegradiënten optreden. Gradiënten in bijvoorbeeld het drogestofgehalte kan de filtratieprestatie van de membranen mogelijk negatief beïnvloeden.

Hydraulica testen zijn uitgevoerd door de vloeistofverblijftijdspreiding in de membraantank te meten. Als tracer component is hierbij het slib gebruikt. De metingen zijn uitgevoerd bij gangbare bedrijfssituaties.

Dit hoofdstuk bespreekt achtereenvolgens de gebruikte meetmethode, het meetprogramma en de onderzoeksresultaten.

### 8.2 METHODE METING HYDRAULICA

De ontwerpfilosofie van de membraantanks is toegelicht in deelstudie *Membranen*. Symmetrie is hierbij een belangrijk uitgangspunt geweest. De slibaanvoerleiding loopt min of meer over de bodem van de tank voorzien van zes gelijk over de lengte van de leiding verdeelde uitstroomopeningen. Het slib verlaat de tank via een afvoergoot over de lengte van de membraantank gelegen aan de overzijde van de aanvoerleiding.

Het is niet bekend onder welke hydraulische condities het slib door de membraantanks stroomt. Daarbij kunnen twee uiterste situaties worden onderscheiden:

- ideaal geroerde tank (IGT);
- propstroming.

In de overige gevallen kan een systeem in het algemeen worden vergeleken met een aantal IGT's in serie. Een zeer groot aantal IGT's in serie (meer dan 50) vertoont een gedrag dat een propstroom systeem dicht benaderd.

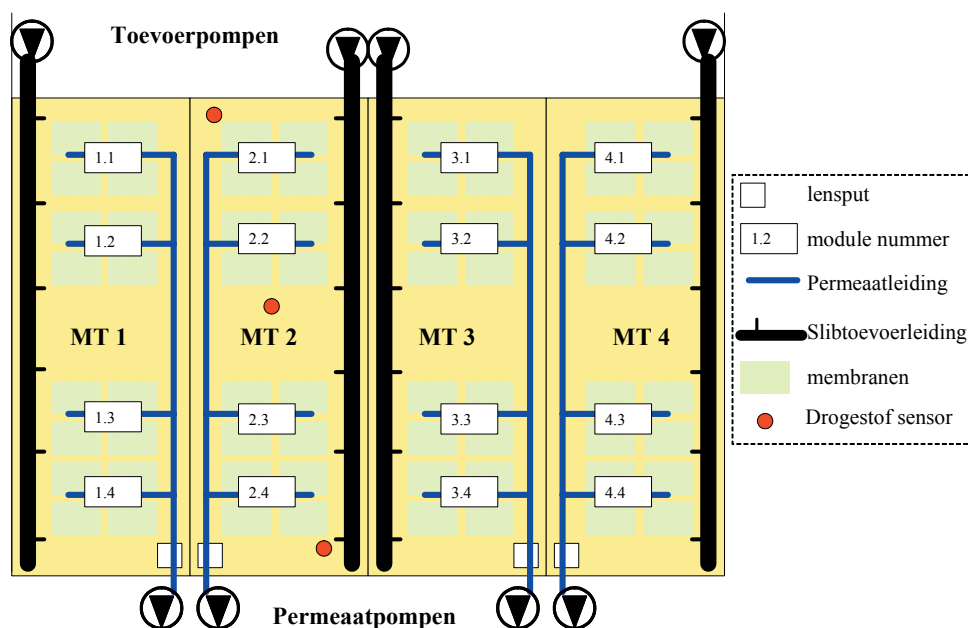
Door de beluchting en de slibcirculatie in de membraantanks zal de vloeistofinhoud gemengd worden en kan worden verwacht dat het gedrag van de vloeistof in de membraantank dichter bij één ideaal geroerde tank ligt dan bij een propstroom systeem. In membraantank 2 (MT2) is het hydraulische gedrag gemeten om deze verwachting te toetsen. Daarvoor is berekend met welk aantal IGT's in serie het membraancompartiment kan worden vergeleken.

In veel gevallen wordt bij onderzoek naar de hydraulica van systemen een tracer gebruikt zoals bijvoorbeeld lithium of eenvoudig keukenzout om het menggedrag in een reactor te onderzoeken. Gezien de schaal waarop proeven in Varsseveld werden uitgevoerd en de milieubelasting die het met zich meebrengt, is besloten om de hydraulica proeven uit te voeren met een alternatieve tracer: het slib in de beluchtingstank.

De hydraulica testen werden uitgevoerd door een stapsgewijze verandering in de concentratie drogestof te creëren. De verandering van de concentratie droge stof (DS) wordt vervolgens in MT2 gevolgd. De vorm van de responscurve (de verandering van de DS waarde als functie van de verstreken tijd) geeft voldoende informatie om, met gebruikmaking van enkele andere bekende of geschatte waarden, het aantal ideaal geroerde tanks in serie te berekenen.

Bij de uitvoering werd de toevoer van slib naar MT2 op een bepaald moment stopgezet en werd de tank gevuld met permeaat. Vervolgens werd een stapgewijze verandering in de DS waarde gecreëerd door de aanvoer van slib vanuit de beluchtingstank naar de membraantank te starten. De concentratie DS werd op drie plaatsen in de lengte richting van de MT2 gemeten (afbeelding 21).

AFBEELDING 21 METING DS IN MEMBRAANTANK HYDRAULICA TESTEN (BOVENAANZICHT MEMBRAANTANKS)



De responscurve van de concentratie DS is karakteristiek voor het menggedrag in de membraantank. Om het menggedrag te vertalen naar het aantal IGT's wordt de sponscurve eerst omgezet naar dimensieloze grootheden  $F$  en  $\theta$ :

$$F = C / C_0$$

$$\theta = t / \tau$$

Waarin:

$C_0$  = concentratieverandering (i.e. het droge stof gehalte) die via de aanvoer van de tank wordt aangelegd

$C$  = concentratie DS op tijdstip  $t$

$\tau$  = gemiddelde hydraulische verblijftijd van de vloeistof in de tank.

In het geval het systeem een hoge dispersie vertoont (bij minder dan 50 IGT's in serie) kan het aantal IGT's ( $n$ ) worden bepaald uit de hellingshoek van de  $F$  curve bij  $\theta = 1$ :

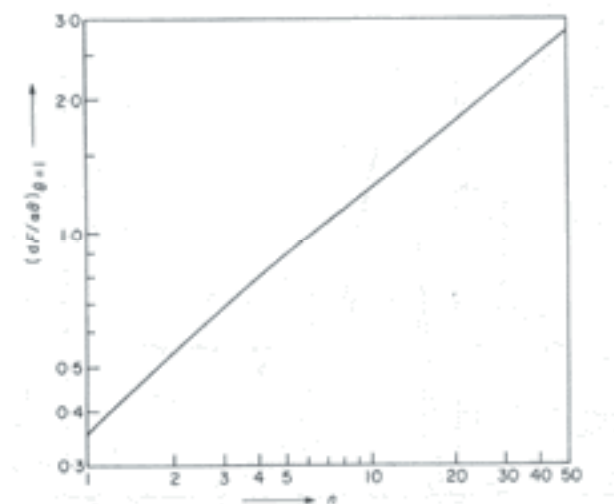
$$\left(\frac{dF}{d\theta}\right)_{\theta=1} = \frac{n^n}{(n-1)!} e^{-n}$$

In afbeelding 22 is deze relatie gegeven als functie van  $n$ . De grafiek laat ook een schatting toe van  $n$  als  $n$  geen natuurlijk getal is.

De gemiddelde hydraulische verblijftijd  $\tau$  kan eenvoudig worden bepaald aan de hand van het quotiënt van het volume van de tank en het vloeistofdebiet, aannemende dat deze waarden constant blijven.  $C_0$  is in dit experiment niet exact bekend maar kan worden geschat aan de hand van de DS concentratie in de tank na verloop van oneindig lange tijd of –als dit niet mogelijk is– via een iteratieve benadering waarbij eerst  $n$  wordt geschat en daarna voor een zekere waarde van  $\theta$  de bijbehorende  $F$  waarde wordt bepaald (ref. 3); met behulp van de actuele waarde van  $C$  en de berekende  $F$  waarde kan dan de  $C_0$  waarde voldoende nauwkeurig worden geschat.

De hellingshoek van de  $F$  curve kan worden bepaald met een computermodel of met grafische middelen (het trekken van een raaklijn).

AFBEELDING 22 TANKS IN SERIE MODEL,  $DF/D\theta$  BIJ  $\theta = 1$





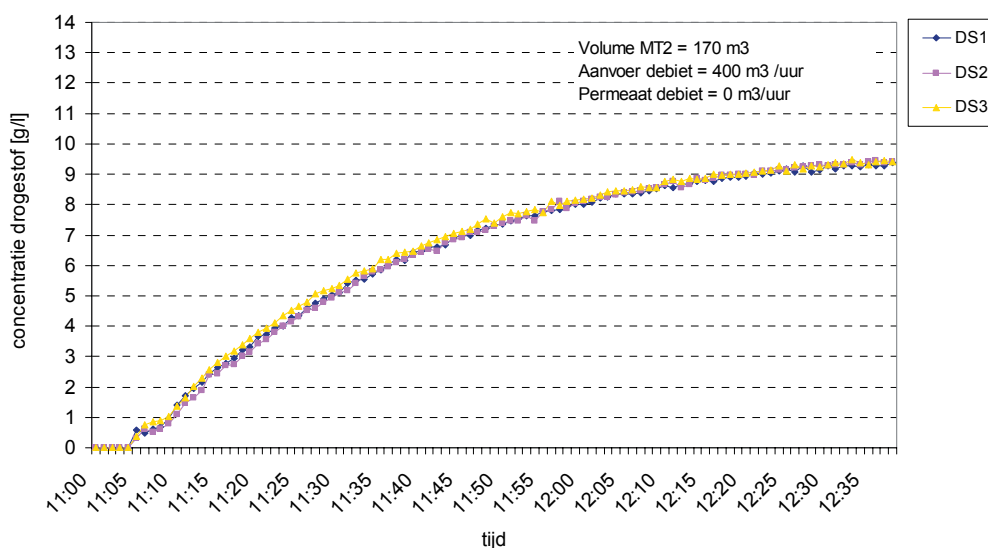
### 8.3 MEETPROGRAMMA HYDRAULICA MEMBRAANTANK

Hydraulica testen zijn uitgevoerd door de vloeistofverblijftijdspreiding in de membraantank te meten. De metingen zijn uitgevoerd bij een gemiddeld aanvoerdebiet naar de membraantank van 400 m<sup>3</sup>/uur (een waarde die goed overeenkomt met de praktijksituatie). Daarbij is een situatie bestudeerd met (100 m<sup>3</sup>/uur) en zonder (0 m<sup>3</sup>/uur) permeaatonttrekking.

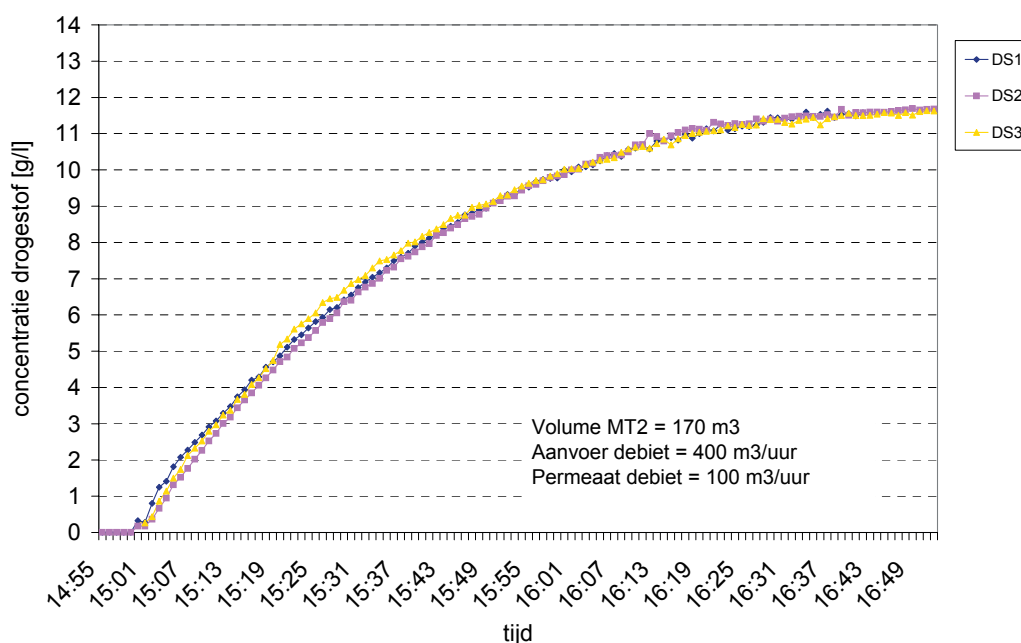
### 8.4 RESULTATEN METINGEN HYDRAULICA MEMBRAANTANK

De hydraulica in de membraantank is voor twee bedrijfssituaties onderzocht: slibaanvoer vanuit de beluchtingstank met en zonder permeaatonttrekking. De resultaten van de responscurven zijn weergegeven in afbeelding 23 en 24.

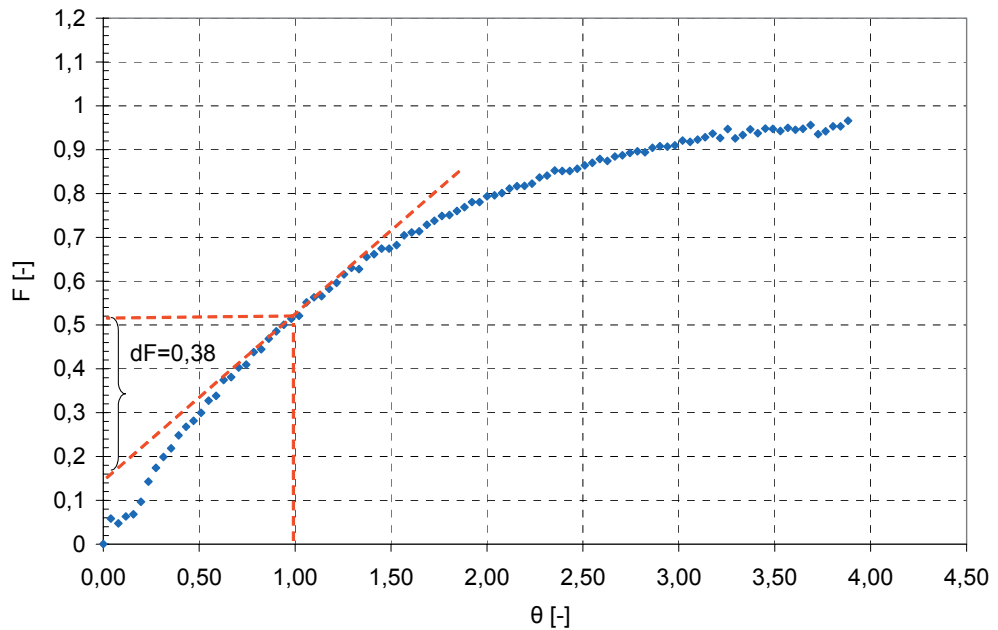
AFBEELDING 23 STAPRESPONSECURVE DS IN MT2 ZONDER ONTTREKKING PERMEAAT



AFBEELDING 24 STAPRESPONSECURVE DS IN MT2 MET ONTTREKKING PERMEAAT



De gemiddelde hydraulische verblijftijd  $\theta$  in tank MT2 is 1.530 sec. Het experiment leverde in eerste instantie een schatter voor  $n$  op ( $n$  is het aantal tanks in serie) die dicht bij 1 ligt. Daarmee is de  $C_0$  voor de DS waarde geschat op 9,8 g/l ( $\pm 3\%$ ). Hiermee is vervolgens de hellingshoek  $dF/d\theta$  bij  $\theta = 1$  bepaald op 0,36 ( $\pm 10\%$ ). De theoretische waarde voor  $dF/d\theta$  bij  $\theta = 1$  en  $n = 1$  bedraagt  $e^{-1}$  ofwel 0,368. Hieruit mag worden geconcludeerd dat MT2 zich gedraagt als een ideaal geroerde tank:  $n=1$ ; als bovengrens van de schatter kan  $n = 1,2$  worden gezien.

AFBEELDING 25 F ALS FUNCTIE VAN  $\theta$ 

# 9

## EVALUATIE EN CONCLUSIES

### 9.1 VLOEISTOFSTROOMSNELHEID BELUCHTINGSTANK

De voortstuwing wordt gehinderd door lucht die met de plaatbeluchters wordt ingebacht. Er is vastgesteld dat bij hogere beluchtingsintensiteit de vloeistofstroomsnelheid afneemt. Om een zekere OC te garanderen is volgens de leverancier van het beluchtingssysteem een minimale snelheid nodig van 0,3 m/s. Deze eis wordt met voortstuwingsvermogens tot 4 kW niet gehaald. De geteste voortstuwingsvermogens met een geïnstalleerd vermogen van 6,5 kW voldoen wel aan de gestelde bestekseisen.

Er is ook geconstateerd dat er grote verschillen zijn in de vloeistofsnelheid in een dwarsdoorsnede van de beluchtingstank. Dit is het gevolg van het ontwerp van de beluchtingstank. De rechthoekige tank heeft dode hoeken. Dit resulteert in een slechte geleiding van de vloeistof waardoor stroming in het buitenste deel niet optimaal is. Overwogen kan worden de hoeken in de beluchtingstank af te schuiven om de stroming beter te geleiden en eventuele dode ruimtes te voorkomen.

In MBR omloopsystemen is de ruimte om het slib te beluchten en voort te stuwen kritisch. Hierdoor worden concessies gedaan in de benodigde afstand tussen voortstuwingsvermogens en beluchtingspakketten maar ook tussen beluchting en de bochten. Voor de MBR Varsseveld is de afstand tussen de voortstuwingsvermogens en de beluchtingspakketten mogelijk te klein waardoor de snelheid van de watermassa onvoldoende gelegenheid krijgt zich goed te ontwikkelen. Gebruikelijke afstanden bedragen minimaal 2 x de diameter van de propeller. Voor het ontwerp van Varsseveld zou de afstand ca. 5 meter of meer mogen bedragen. In het ontwerp van toekomstige MBR installaties dient hiermee rekening gehouden te worden.

### 9.2 $\alpha$ -FACTOR IN SLIB

De  $\alpha$ -factor is een parameter die grote invloed heeft op het rendement van de OC in actief-slib. Er zijn gedurende het jaar grote verschillen in de  $\alpha$ -factor waargenomen, bij een min of meer gelijkblijvende slibconcentratie. De uitkomsten liggen binnen de spreiding die bij het Beverwijkonderzoek (ref.9) is waargenomen, variërend van 0,5-0,8 bij slibconcentraties van 9-10 g/l. In de literatuur (ref. 4, 7 en 10) wordt eveneens een vergelijkbare spreiding in de  $\alpha$ -factor gerapporteerd.

Wel kunnen enige kanttekeningen geplaatst worden bij de representativiteit van de uitvoering. De  $\alpha$ -factor is bepaald in een laboratoriumopstelling. Deze opstelling komt qua procescondities niet overeen met de praktijksituatie. Het luchtdebiet, temperatuur en de geschiedenis van het slib (o.a. periode van anaërobie en afwezigheid voedingsstoffen) zijn aspecten die een vertaalslag naar de praktijksituatie bemoeilijken.

Opgemerkt dient te worden dat het in deze studie geen primair doel geweest is oorzaken te vinden van fluctuaties in de  $\alpha$ -factorwaarde. Door een beperkte set  $\alpha$ -factorwaarden en de verschillende data waarop slibkarakteristieken en  $\alpha$ -factorwaarden zijn bepaald, zijn directe correlaties niet mogelijk. Er is dus gekeken naar trends en op basis daarvan zijn voorzichtige conclusies getrokken.

In diverse onderzoeken is de invloed van procesvariabelen zoals de viscositeit, de concentratie drogestof, maar bijvoorbeeld ook het luchtdebiet, aangetoond op de  $\alpha$ -factorwaarde (ref. 4, 7, 9 en 10). Voor andere parameters zoals slibeigenschappen en opgeloste stoffen in de waterfase is het effect minder bekend.

### **VISCOSITEIT**

De  $\alpha$ -factor correleert sterk met de viscositeit van het slib. De viscositeit wordt mede bepaald door de hoogte van de concentratie slib en de wijze waarop het slib belucht en gemengd wordt. Een hogere concentratie slib gaat gepaard met een hogere viscositeit. Daarentegen zal intensieve menging, door hoge afschuifkrachten op het slib, de viscositeit van het slib verlagen. Wagner *et al* (ref. 10) heeft in zijn studie naar de efficiency van verschillende beluchtingssystemen op de zuurstofoverdracht in MBR systemen aangetoond dat de OC bij grove bellenbeluchting geen afhankelijkheid heeft met de  $\alpha$ -factor. Grove bellenbeluchting veroorzaakt in vergelijking tot fijne bellenbeluchting een veel hogere turbulentie en dus lagere viscositeit.

### **SLIBEIGENSCHAPPEN EN OPGELOSTE STOFFEN**

De aanwezigheid van hydrofobe draadvormers kan de  $\alpha$ -factor negatief beïnvloeden (ref. 9). Er is gedurende het onderzoekstraject driemaal een drijfslag geconstateerd. De hydrofobiciteit van het slib was in vergelijking tot andere dagen niet opvallend hoog. Ook waren er op de desbetreffende dagen niet extreem veel draadvormers in het slib aanwezig. Een duidelijk verband met de  $\alpha$ -factorwaarde kon niet worden vastgesteld.

Verder kon in deze studie geen relatie worden aangetoond tussen de  $\alpha$ -factorwaarde en de aanwezigheid van opgeloste componenten (fractie < 0,45  $\mu\text{m}$ ), geproduceerd door het slib, dan wel aanwezig in het slib.

### **OVERIGE VARIABELEN**

Er is verder weinig literatuur beschikbaar waarin de invloed van individuele procesparameters op de  $\alpha$ -factorwaarde wordt beschreven. Cornel *et al* (ref. 4) toont in zijn onderzoek naar de zuurstofoverdracht in praktijkschaal MBR systemen aan dat de  $\alpha$ -factor binnen enkele uren kan toenemen van 0,43 naar 0,55. De onderzoekers schrijven deze toename toe aan korte termijn veranderingen zoals veranderingen in de slibbelasting, concentraties oppervlakte actieve stoffen en/of beluchtingsintensiteit.

## **9.3 OC SCHOON WATER BELUCHTINGSTANK**

Op basis van de meetresultaten kan worden geconcludeerd dat de garantie ten aanzien van de maximale beluchtingscapaciteit niet wordt gehaald bij gegeven procescondities. Experimenteel is een OC-waarde van 191 kg O<sub>2</sub>/h bepaald, terwijl de garantie 273 kg O<sub>2</sub>/h bedraagt, een verschil van 28%. Verder is gebleken dat het rendement van de plaatbeluchters toeneemt bij een lagere plaatbelasting.

De oorzaak van de lage OC is waarschijnlijk een combinatie van twee factoren; een lage stroomsnelheid en optimistische ontwerpgrondslagen. Het effect van de lage stroomsnelheid kan worden verminderd door het plaatsen van grotere voortstuwers. Het effect hiervan is onderzocht door uitvoering van een aantal extra OC-metingen in slib.

In vergelijking met een andere praktijk MBR installatie is de OC waarde (schoon water) in Varsseveld relatief hoog. Op de MBR Rödingen (3.000 i.e.) is de OC waarde voor plaatbeluchters vastgesteld bij verschillende luchtdebieten (ref. 11). In schoon water bedroeg de specifieke OC  $102 \text{ g O}_2/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  voor de MBR Varsseveld, in vergelijking tot  $60 \text{ g O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$  voor de MBR Rödingen. Beide OC's zijn uitgerekend voor een temperatuur van  $20^\circ\text{C}$  en een specifiek luchtdebiet van  $0,9 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ .

#### 9.4 OC ACTIEFSLIB BELUCHTINGSTANK

De OC-waarde in slib is verspreid over de onderzoeksperiode vijfmaal bepaald. Het voornaamste doel hiervan was om het verloop in de OC-waarde te volgen. Bovendien zijn extra OC-metingen uitgevoerd om te trachten het effect van grotere voortstuwers te kwantificeren.

Voor de OC-bepalingen in slib dient opgemerkt te worden dat de nauwkeurigheid van de metingen lager is dan de metingen in schoonwater. Dit heeft vooral te maken met een sterk wisselende  $\alpha$ -factor die volgens Cornel (2002) zelfs binnen enkele uren kan variëren. De uitkomsten van de OC-metingen in slib dienen daarom voorzichtig beoordeeld te worden. De OC-meting in slib is een moment opname. Vergelijkingen met de OC in schoonwater zijn alleen gerechtvaardigd indien op het tijdstip van uitvoering ook een  $\alpha$ -factor meting wordt uitgevoerd.

De OC-metingen in slib zijn uitgevoerd bij een maximaal luchtdebiet van  $2.080 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Kort na de opstart met slib bleek de OC in slib overeen te komen met de OC gemeten in schoon water. Hoewel de OC circa 30% lager was dan de ontwerpwaarde, gaf deze overeenkomst aan dat de gehanteerde reaeratiemethode ook in slib toepasbaar was.

Vervolgens is de OC ten opzichte van de eerste meting in een jaar tijd met circa 35% gedaald. Samen met het eerder vastgestelde verschil is de OC circa 53% lager dan ontwerpwaarde. Dit verschil kan niet verklaard worden door de gehanteerde OC methodiek. Deze is voor alle OC bepalingen identiek geweest. Uit een visuele inspectie van de beluchtingplaten (beoordeling bellenpatroon) bleek er ook geen vervuiling te zijn opgetreden. Dit werd tevens bevestigd door metingen van de drukval over de platen. De drukval bleek niet af te wijken van nieuwe elementen.

De grote verschillen tussen ontwerpwaarde en gemeten OC's maar ook de significante afname van de OC in de tijd hebben aanleiding gegeven om de zuurstofvraag af te leiden uit een stoffenbalans (CZV en N) over de rwzi. Op basis van deze berekeningen mag worden gesteld dat de theoretisch benodigde hoeveelheid lucht (uitgaande van het slechte rendement zoals gemeten) overeenkomt met de werkelijke beluchtingscapaciteit in Varsseveld. Hiermee is een afwijkende  $\alpha$ -factor de meest aannemelijke verklaring voor het gevonden verschil. Op de dag van de OC bepaling is eveneens de  $\alpha$ -factor bepaald. Echter transport van het slib (niet belucht) en tijdsverschillen (tijdstip monsternamen en uitvoering meting) zal de conditie van het slib aantasten. Het is niet bekend in welke mate deze factoren effect hebben gehad op de  $\alpha$ -factor waarde van het slib. Wel verdient het aanbeveling  $\alpha$ -factor metingen bij toekomstige OC bepalingen *in-situ* uit te voeren (zie aanbevelingen).

Verder is gebleken dat de stroomsnelheid van invloed is op de OC. Zowel met de voorstuwers van 3,0 en 4,0 kW werd niet de door de leverancier vereiste stroomsnelheid van 0,3 m/s bereikt. Vervanging van de voorstuwder met een geïnstalleerd vermogen van 6,5 kW in plaats van 4,0 kW gaf een 28% hogere OC. Hoewel met dit vermogen voldaan werd aan de voorwaarde van de vereiste stroomsnelheid, bleek de OC nog steeds 40% lager te zijn dan de bestek-eis en 17% lager dan de OC waarmee de installatie werd opgestart.

De meetresultaten van Varsseveld zijn vergeleken met twee praktijkinstallaties in Duitsland, te weten Rödingen (3.000 i.e.) en Markkränstadt (12.000 i.e.). Voor een vergelijking met deze installaties zijn de OC's Varsseveld omgerekend naar  $\text{gO}_2/\text{m}^3\cdot\text{h}$  bij 20 °C. De meetgegevens van Cornel *et al* (ref. 11) zijn geëxtrapoleerd naar het in Varsseveld gebruikte luchtdebiet. Om een vergelijking mogelijk te maken in het bereik 9-11 g/l drogestof, is de meting van 24-01-2005 (drogestofgehalte 6,8 g/l) niet meegenomen. In tabel 10 zijn de gegevens van de drie praktijkinstallaties weergegeven.

Hoewel er sprake is van enige spreiding in de meetresultaten komen de resultaten van Varsseveld redelijk overeen met Rödingen. De vastgestelde OC in Markkränstadt is tweemaal zo hoog. Gecorrigeerd voor het niveau van de beluchtingstank in Markkränstadt komt de OC dicht in de buurt van de bovengrens van Varsseveld. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de waarnemingen in Varsseveld redelijk overeenkomen met de twee Duitse MBR praktijkinstallaties.

TABEL 10

SPECIFIEKE ZUURSTOFINBRENG BIJ 20°C EN SPECIFIEK LUCHTDEBIET 0.9 NM<sup>3</sup>/M<sup>3</sup>.H

|                        |   | Rödingen | Markkränstadt | Varsseveld |
|------------------------|---|----------|---------------|------------|
| $\alpha$ -OC(20)       | [g O <sub>2</sub> /(m <sup>3</sup> .h)] | 45       | 105           | 34-57      |
| drogestof              | [g/l]                                   | 9,5      | 9             | 9,2-10,6   |
| niveau beluchtingstank | [m]                                     | 5        | 8,1           | 5,1        |
| volume beluchtingstank | [m <sup>3</sup> ]                       | 200      | 900           | 2.330      |
| ontwerpcapaciteit      | [i.e.]                                  | 3.000    | 12.000        | 23.150     |

## 9.5 OC MEMBRAANTANK

Voor de OC metingen in de membraantank is de steady state methode gebruikt. Twee aspecten bij de bepaling van de OC in slib verdienen aandacht. Ten eerste moet de bijdrage van de vorming van stoffen die zuurstof vragen meegenomen worden in de berekening van de OC. Zo zijn ammonificatie en hydrolyse biologische processen verantwoordelijk voor de vorming van ammonium en CZV in de beluchtingstank die vervolgens in de membraantank worden geoxideerd. Indien de proeven met een slibaanvoer naar de membraantank worden uitgevoerd dient rekening gehouden te worden met dit fenomeen. Verder is bij de uitvoering van belang voldoende lang te meten zodat een duidelijk zuurstofplateau wordt verkregen waaruit de steady-state concentratie zuurstof kan worden afgeleid.

Uit de proeven is gebleken dat een hoger recirculatie-debiet een lagere OC waarde oplevert. Dit valt te verklaren door wijze waarop het slib in de membraantank wordt aan- en afgevoerd. In tegenstelling tot de beluchtingstank waar het slib zich in de lengterichting verplaatst, stroomt het slib in de membraantank opwaarts. Het slib wordt door twee centrale toevoerbuisen op de bodem aangevoerd en verlaat de membraantank via een overstortgoot retour naar de beluchtingstank. Hierdoor stroomt het slib in opwaartse richting waardoor de verblijftijd van de luchtbellen in de membraantank afneemt en dus ook de tijd waarin zuurstof overgedragen kan worden naar het slib.

Het beluchtingsysteem in de membraantank is van het type grove bellenbeluchting. De effectiviteit van zuurstofoverdracht is aanzienlijk lager. Doel van dit type beluchting is dan ook niet een bijdrage in de zuurstofvoorziening maar het voorkomen van membraanvervuiling door het creëren van voldoende turbulentie waarmee verstoring optreedt in de opbouw van de slibkoek aan het membraanoppervlak.

Uitgaande van een representatief slibrecirculatie-debiet over één membraantank van 600 m<sup>3</sup>/uur bedraagt de gemeten OC circa 13 kg O<sub>2</sub>/uur. Bij twee membraantanks continu belucht bedraagt de OC 26 kg O<sub>2</sub>/uur wat circa 12% is van de totale OC, dus van zowel de beluchtingstank als de membraantank (191 + 26 kg O<sub>2</sub>/uur). Bij deze berekening is gemakshalve aangenomen dat voor grove bellenbeluchting de  $\alpha$ -factor gelijk is aan één.

## 9.6 HYDRAULICA MEMBRAANTANK

De membraantanks kunnen worden beschouwd als een ideaal geroerde tank. Gebleken is dat het onttrekken van permeaat (100 m<sup>3</sup>/uur per membraantank) geen invloed heeft op het hydraulisch gedrag in de membraantank. Tevens is gebleken dat drogestof een prima tracercomponent is voor onderzoek naar menggedrag in een membraantank van een MBR-systeem.

## 9.7 AANBEVELINGEN

Op basis van de bevindingen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Bepaal  $\alpha$ -factor in-situ in relatie tot procescondities  
De  $\alpha$ -factor blijkt een belangrijke factor te zijn die de actuele zuurstofoverdracht in slib bepaalt. De viscositeit van het slib speelt hierbij een belangrijke rol. Er is echter weinig bekend welke andere factoren de  $\alpha$ -factor beïnvloeden. Gezien de range waarin de  $\alpha$ -factor varieert en de daarmee gepaard gaande effectiviteit waarmee zuurstof overgedragen wordt naar het slib, mede in relatie tot de exploitatie van een MBR proces, is het aan te bevelen meer onderzoek te doen naar dit fenomeen. Het verdient aanbeveling de  $\alpha$ -factor *in-situ* te meten met een continue testopstelling. Op deze wijze kunnen relaties worden gelegd met diverse parameters zoals slibbelasting, beluchtingsintensiteit, mengintensiteit, zuurstofconcentratie, etc. Een beter inzicht kan leiden tot optimalisatie van de procesvoering en lagere kosten.
- Verhoog stroomsnelheid slib beluchtingstank  
Dit onderzoek heeft aangetoond dat er een positief verband bestaat tussen de stroomsnelheid van het slib in de beluchtingstank en de OC waarde van het beluchtingssysteem. Bij stroomsnelheden lager dan 0,3 m/s kon niet aan de OC bestek-eis worden voldaan. De OC metingen in slib bij hogere snelheden hebben wel hogere OC-waarden aangetoond, echter de bestek-eis werd niet gehaald (zie hierboven genoemde mogelijke oorzaak). Aanbevolen wordt de oorzaak van de daling van de OC vast te stellen en indien nodig voortstuwingsmiddelen met een groter geïnstalleerd vermogen (4 of 6,5 kW) in de beluchtingstank te plaatsen. Deze aanbeveling zal ook afhangen van de actuele zuurstofvraag en de hoogte van de  $\alpha$ -factor. In vergelijking tot het ontwerp van de MBR Varsseveld lijkt de gemiddelde zuurstofvraag lager te zijn en de  $\alpha$ -factor hoger.

- **Hydraulica en stroomsnelheid**

Het menggedrag in een MBR omloopsysteem zou verbeterd kunnen worden door hoeken in de beluchtingstank af te schuinen voor een betere geleiding en eventuele dode ruimtes te voorkomen. Ook de vloeistofstroomsnelheid kan verbeterd worden door de afstand tussen voortstuwers en beluchtingspakketten ruim te kiezen (min. 2x propellor diameter). In het ontwerp van toekomstige MBR installaties dient met beide aspecten rekening gehouden te worden.

- **Bepaling OC waarde membraantank**

Bij het bepalen van de OC waarde in de membraantank moet rekening worden gehouden met:

- Een zuurstofverbruik van het slib in de membraantank, dat afwijkend is van endogene ademhaling door aanvoer van stoffen vanuit de anaerobe dan wel anoxische uit de beluchtingstank (ammonium en hydrolyse producten).
- Een duidelijk zuurstofplateau waaruit de evenwicht- en/of eindconcentratie zuurstof kan worden afgeleid.



# 10

## REFERENTIES

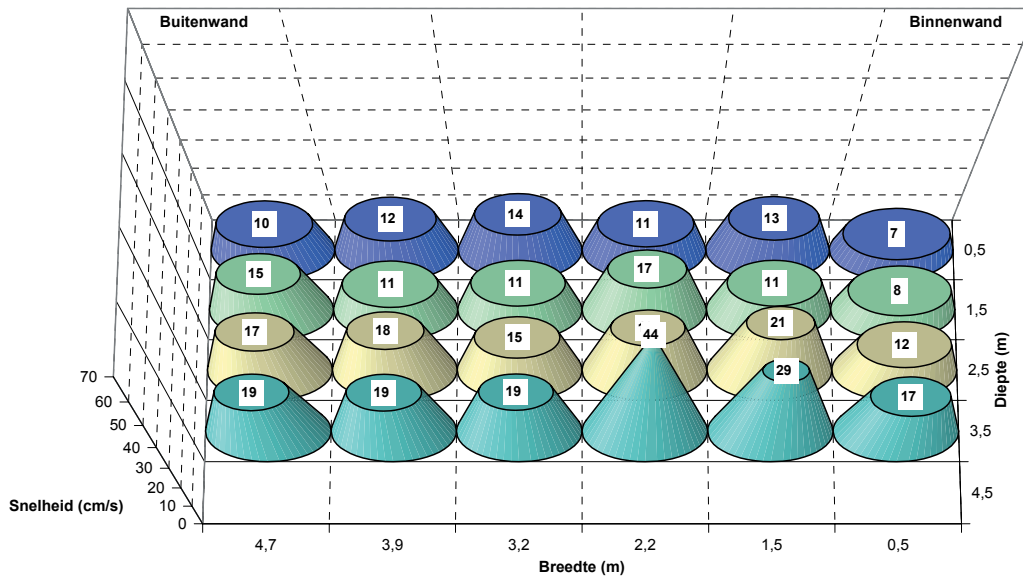
- (1) ASCE (1992) Measurement of oxygen transfer in clean water.
- (2) ATV-M 209 (1996) Messung der Sauerstoffzufuhr von Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Reinwasser und in belebtem Schlamm.
- (3) Beek W.J. and Muttzall K.M.K. (1975) Transport phenomena, ISBN 0 471 06173 5.
- (4) Cornel P., Wagner M., Krause S. (2002) Investigation of oxygen transfer rates in full scale membrane bioreactors, Darmstadt University of Technology, Institute WAR, No e21291a.
- (5) Flygt OC Seminar (2006), verschillende inzichten in OC metingen.
- (6) Korte de K. and Smits P. (1984) Steady state measurement of oxygenation capacity, Wat. Sci Techn. Vol 17, p303-311.
- (7) Krause S., Cornel P., Wagner M. (2002) Measurement and determination of  $\alpha$ -values in membrane bioreactors, Darmstadt University of Technology, Institute WAR.
- (8) STORA (1980) Zuurstoftoevoervermogen in beluchtingssystemen, Bepaling in rein water (reaeratiemethode).
- (9) STOWA (2002) MBR for municipal waste water treatment, supplementary report with side studies, 2002 11B, ISBN 90.5773.167.3.
- (10) Wagner, M. Cornel, P., Krause, S. (2002) Efficiency of different aeration systems in full scale membrane bioreactors, <http://www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de>
- (11) Cornel P., Wagner M., Krause S. Sauerstoffeintrag in Membranbelebungsanlagen. <http://www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de>



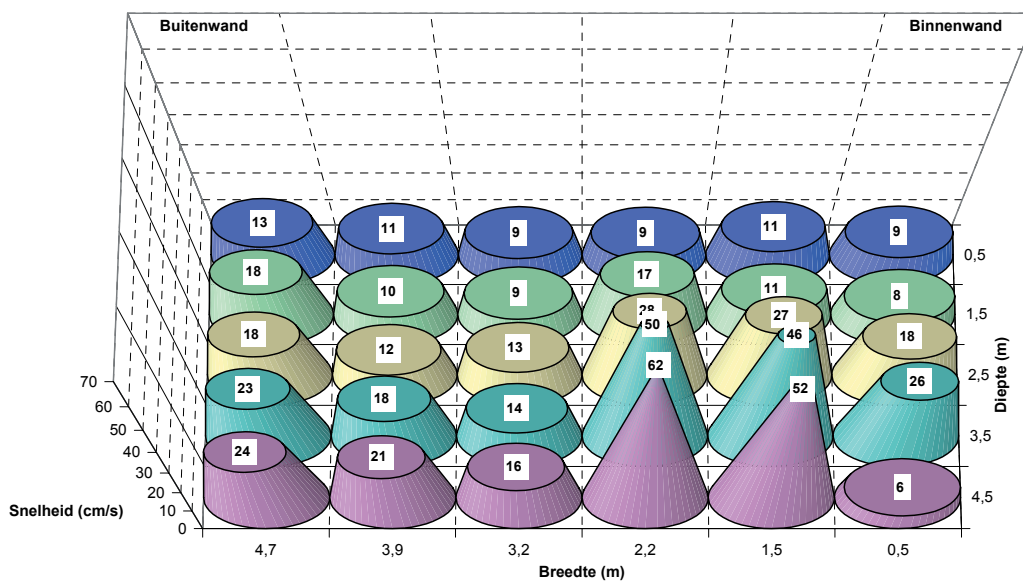
BIJLAGE 1

# RESULTATEN SNELHEIDSMETINGEN

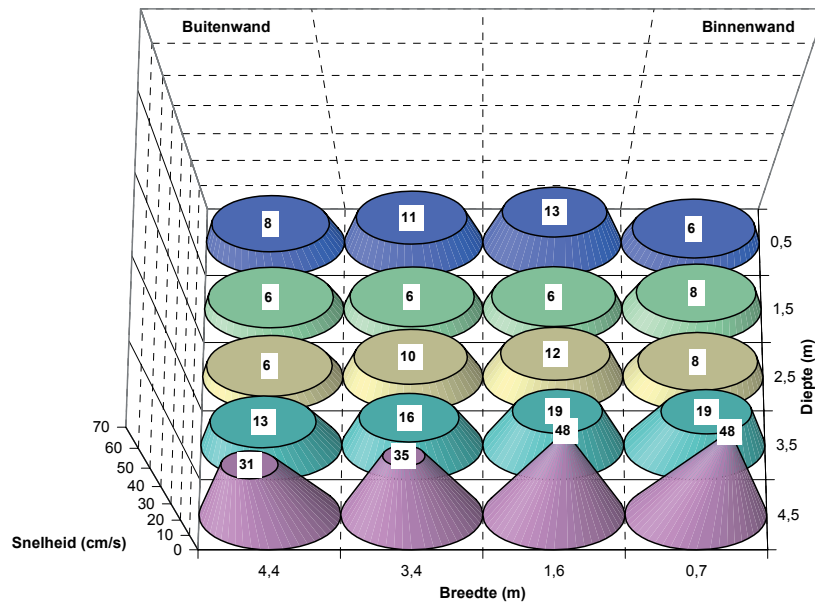
2 BLOWERS 75%, 2 VELDEN, METING IN „SLAVEBEEN“ (RESULTATEN 16 NOVEMBER 2004)



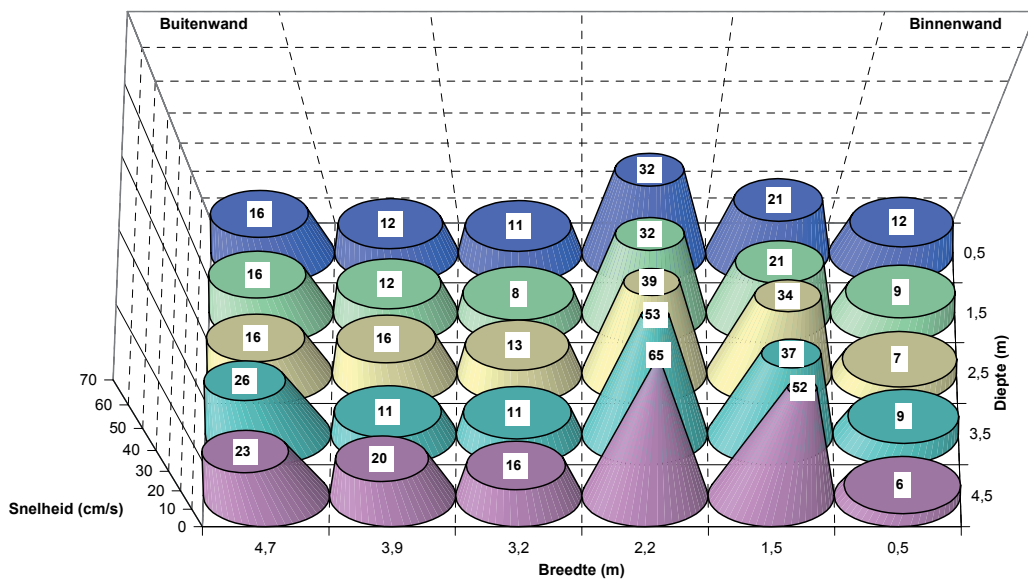
1 BLOWER 100%, 2 VELDEN, METING IN „SLAVEBEEN“ (RESULTATEN 17 NOVEMBER 2004)



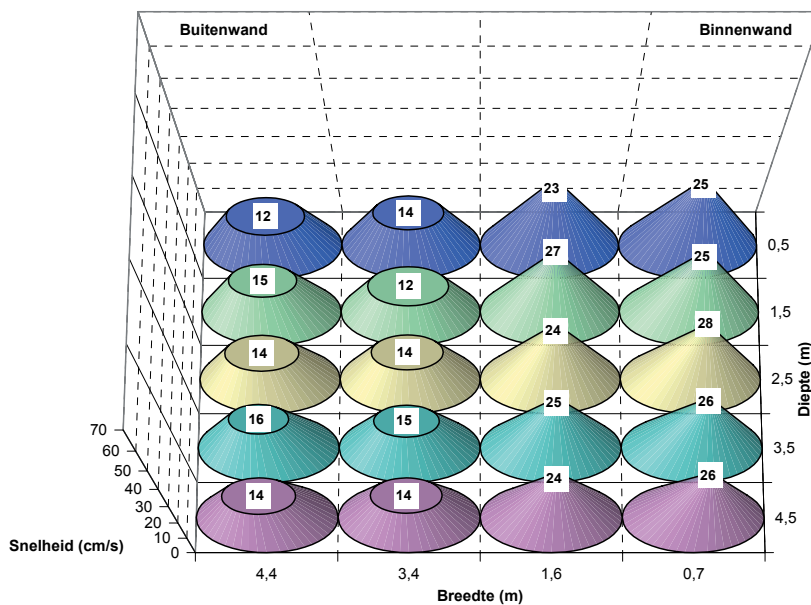
**1 BLOWER 100%, 2 VELDEN, METING IN BOCHT BIJ RG (RESULTATEN 17 NOVEMBER 2004)**



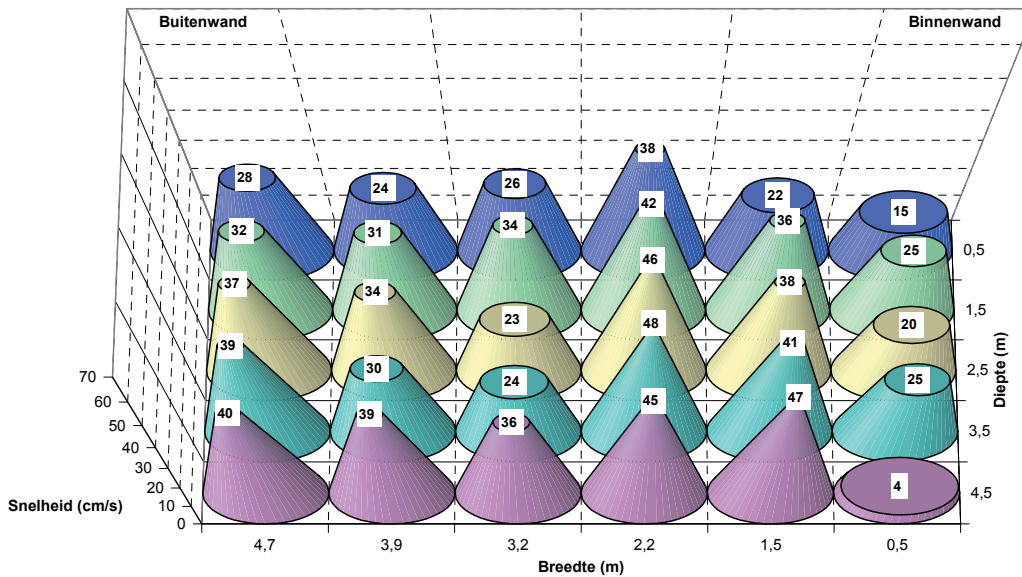
**1 BLOWER 90%, 1 VELD, METING IN "SLAVEBEEN" (RESULTATEN 18 NOVEMBER 2004)**



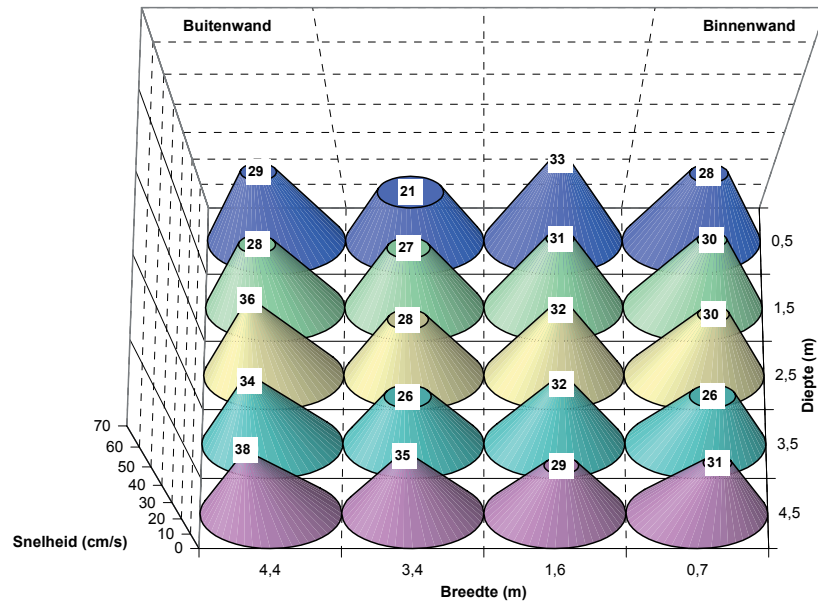
**1 BLOWER 90%, 1 VELD, METING BOCHT BIJ MT (RESULTATEN 18 NOVEMBER 2004)**



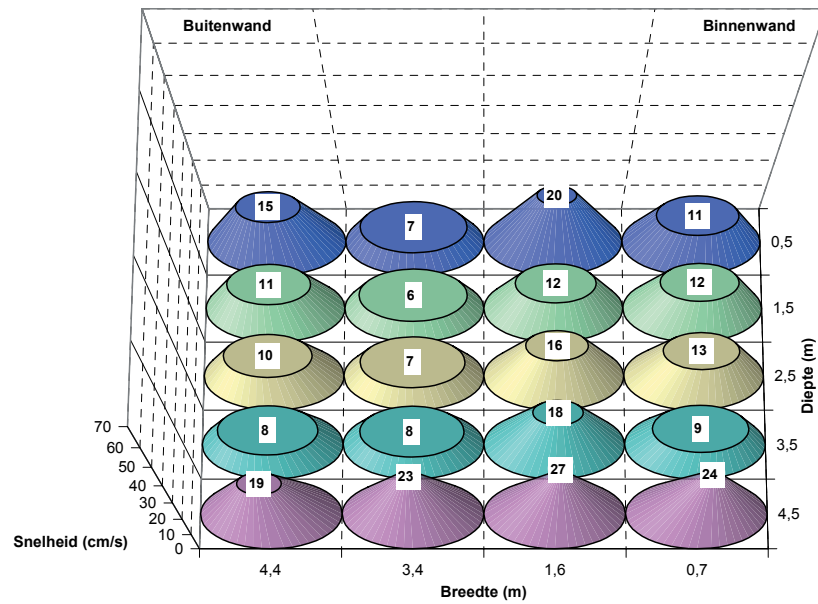
**BLOWERS UIT, METING IN "SLAVEBEEN" (RESULTATEN 19 NOVEMBER 2004)**



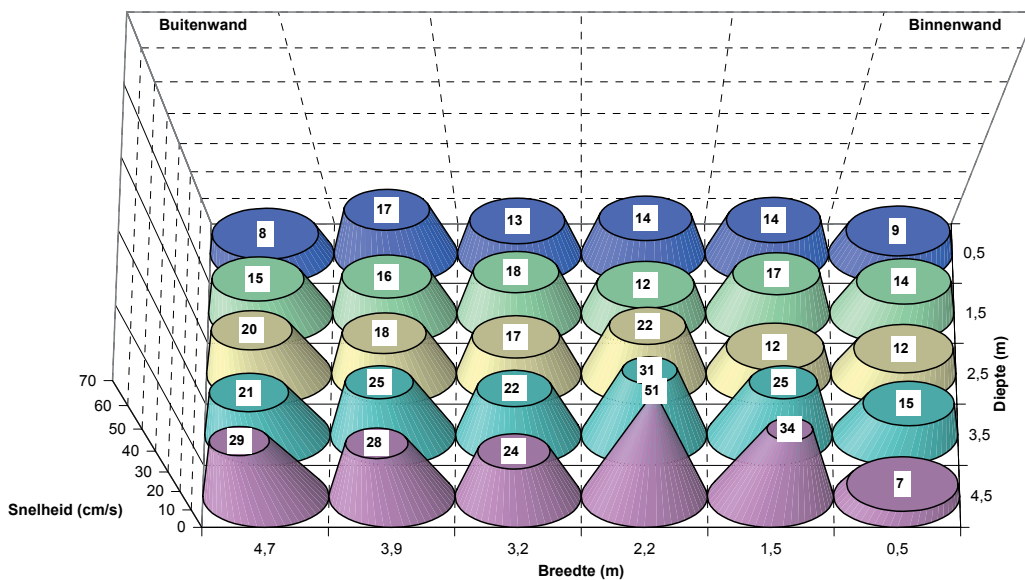
**BLOWERS UIT, METING IN BOCHT RG (RESULTATEN 19 NOVEMBER 2004)**



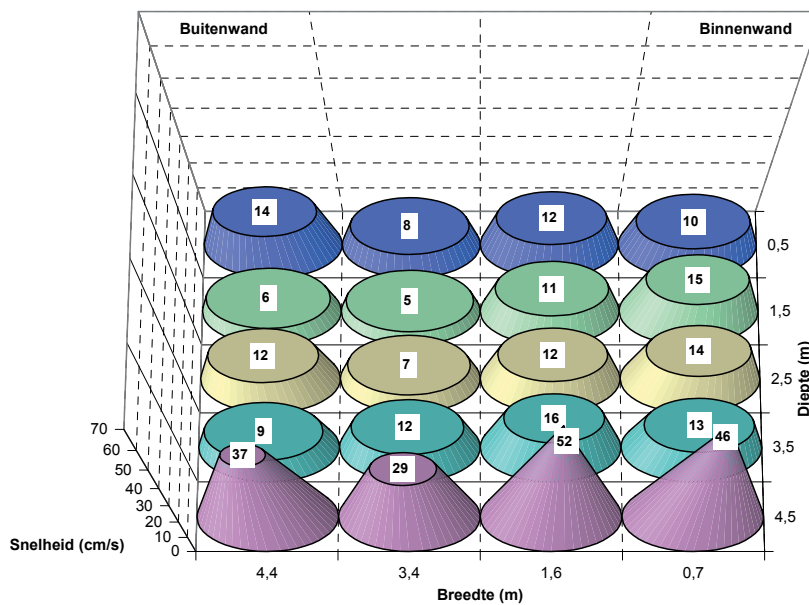
**2 BLOWERS 100%, METING IN BOCHT RG (RESULTATEN 10 DECEMBER 2004)**



2 BLOWER 100%, 2 VELDEN, METING IN "SLAVEBEEEN" (RESULTATEN 24 JANUARI 2005)



1 BLOWER 100%, 2 VELDEN, METING IN BOCHT BIJ RG (RESULTATEN 24 JANUARI 2005)



## BIJLAGE 2

# RESULTATEN OC-METINGEN IN SCHOON WATER

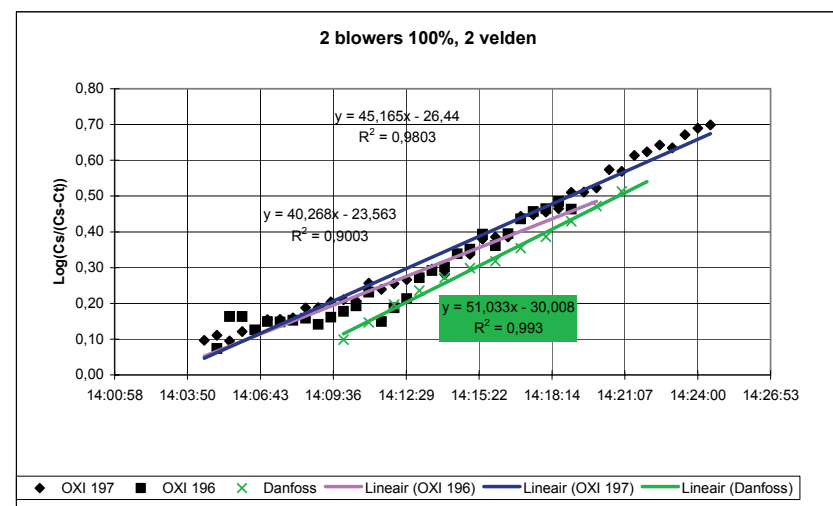
|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 2 blowers 100%, 2 velden   |
| Datum   | 16-11-2004                 |

## Algemene gegevens

## Tijdens doseren beluchting aan!

|  |  |      |
|--|--|------|
| Meting                                   | 1  |      |
| Aantal velden                            | 2,0  |      |
| Aantal blowers                           | 2,0  |      |
| Luchtdebiet per blower                   | 1045,5 m <sup>3</sup> /h                                     |      |
| Totaal luchtdebiet                       | 2091 m <sup>3</sup> /h                                       |      |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand         | 5,020 m+NAP  |      |
| Locatie zuurstofmeters                   | 2 sensoren voor beluchtingsveld, 3e sensor in de buitenbocht |      |
| Watervolume                              | 2330 m <sup>3</sup>  |      |
| Invloed voordenenitrificatie             | 0%   |      |
| Waters temperatuur                       | 10,3 °C  |      |
| Luchtdruk                                | 1000 millibar  |      |
|  | 100 kPa  |      |
| Diepte plaatbeluchters                   | 4,92 m   |      |
| Hydrostatische waterdruk bij platen      | 48,6 kPa   |      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoogte | 24,3 kPa   |      |
| Stroomsnelheid                           | 0,167 m/s  |      |
| Beenbreedte                              | 5,200 m  |      |
| Debiet                                   | 4,4 m <sup>3</sup> /s  |      |
| Vmeng                                    | 260 m <sup>3</sup>   |      |
| n  | 2  |      |
| Y-factor                                 | 0,99   | 0,99 |
| Temperatuurfactor                        | 0,99   |      |
| Correcties energieverliezen              | totaal   | 5,3% |
| alpha-factor van het testwater           |  | 0,96 |

| Parameter                              | Eenheid                               | Zuurstofelektrode |        |       | Gemiddeld |
|--|---------------------------------------|-------------------|--------|-------|-----------|
|  |                                       | 1                 | 2      | 3     |           |
| Cs bij gemeten watertemperatuur        | mg/l                                  | 13,80             | 12,80  | 12,90 |           |
| Diepte zuurstofsensoren                | m                                     | 1,5               | 3,0    | 0,0   |           |
| tg alpha                               | d-1                                   | 40,5              | 40,3   | 51,0  |           |
| tg alpha                               | h-1                                   | 1,69              | 1,68   | 2,13  |           |
| X                                      |                                       | 0,097             | 0,097  | 0,123 |           |
| Correctiefactor menging + propstroming |                                       | 1,09              | 1,09   | 1,12  |           |
| OC(10) omloopcircuit                   | kgO <sub>2</sub> /h                   | 143,0             | 142,3  | 184,8 | 163,9     |
| Afwijking tov gemiddelde               |                                       | -12,7%            | -13,2% | 12,7% |           |
| Rendement                              | kWh/kgO <sub>2</sub>                  | 3,1               | 3,1    | 4,1   | 3,6       |
| Rendement                              | gO <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> .m) | 13,9              | 13,8   | 18,0  | 15,9      |



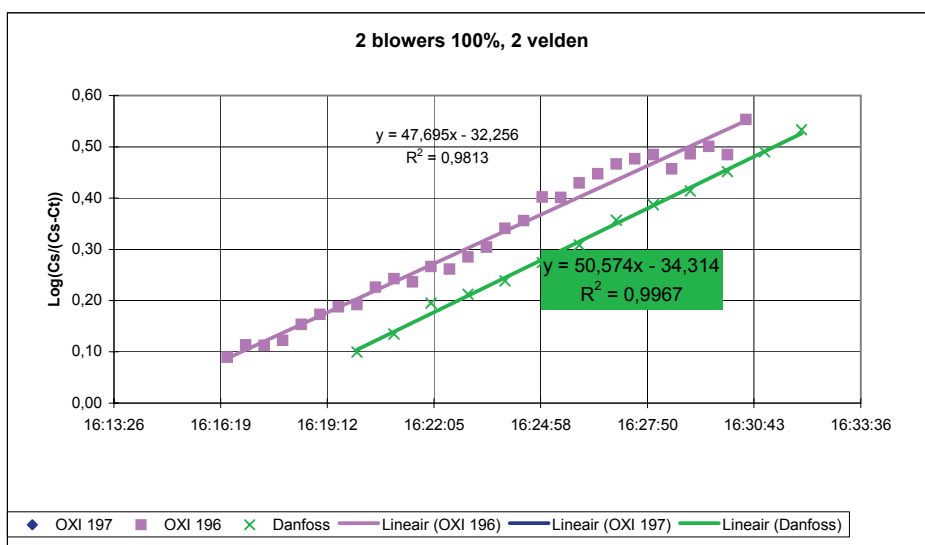


|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 2 blowers 100%, 2 velden   |
| Datum   | 16-11-2004                 |

Algemene gegevens

| Tijdens doseren beluchting aan!         |   |      |
|---|---|------|
| Meting                                  |   | 2    |
| Aantal velden                           |   | 2,0  |
| Aantal blowers                          |   | 2,0  |
| Luchtdebiet per blower                  | 1045,5 m <sup>3</sup> /h  |      |
| Totaal luchtdebiet                      | 2091 m <sup>3</sup> /h  |      |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand        | 5,020 m+NAP   |      |
| Locatie zuurstofmeters                  | 1 sensor i de binnenbocht bij het RG, 3e sensor in buitenbocht RG |      |
| Watervolume                             | 2330 m <sup>3</sup>   |      |
| Invloed voordennitrificatie             | 0%  |      |
| Watertemperatuur                        | 10,4 °C   |      |
| Luchtdruk                               | 1008 millibar   |      |
|   | 100,8 kPa   |      |
| Diepte plaatbeluchters                  | 4,92 m  |      |
| Hydrostatische waterdruk bij platen     | 49,0 kPa  |      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoog! | 24,5 kPa  |      |
| Stroomsnelheid                          | 0,167 m/s   |      |
| Beenbreedte                             | 5,200 m   |      |
| Debiet                                  | 4,4 m <sup>3</sup> /s   |      |
| Vmeng                                   | 260 m <sup>3</sup>  |      |
| n                                       | 2   |      |
| Y-factor                                | 1,00  | 1,00 |
| Temperatuurfactor                       | 0,99  |      |
| Correcties energieverliezen             | totaal  | 5,3% |
| alpha-factor van het testwater          |   | 0,97 |

| Parameter                        | Eenheid                               | Zuurstofelektrode |       |       | Gemiddeld |
|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------|-------|-----------|
|                                  |                                       | 1                 | 2     | 3     |           |
| Cs bij gemeten watertemperatuur  | mg/l                                  |                   | 12,80 | 12,90 |           |
| Diepte zuurstofsensor            | m                                     |                   | 2,5   | 0,0   |           |
| tg alpha                         | d-1                                   |                   | 47,7  | 50,6  |           |
| tg alpha                         | h-1                                   |                   | 1,99  | 2,11  |           |
| X                                |                                       |                   | 0,115 | 0,122 |           |
| Correctie menging + propstroming |                                       |                   | 1,11  | 1,12  |           |
| OC(10) omloopcircuit             | kgO <sub>2</sub> /h                   |                   | 169,9 | 181,4 | 181,4     |
| Afwijking tov gemiddelde         |                                       |                   | -6,3% | 0,0%  |           |
| Rendement                        | kWh/kgO <sub>2</sub>                  |                   | 3,7   | 4,0   | 4,0       |
| Rendement                        | gO <sub>2</sub> /(Nm <sup>3</sup> .m) |                   | 16,5  | 17,6  | 17,6      |

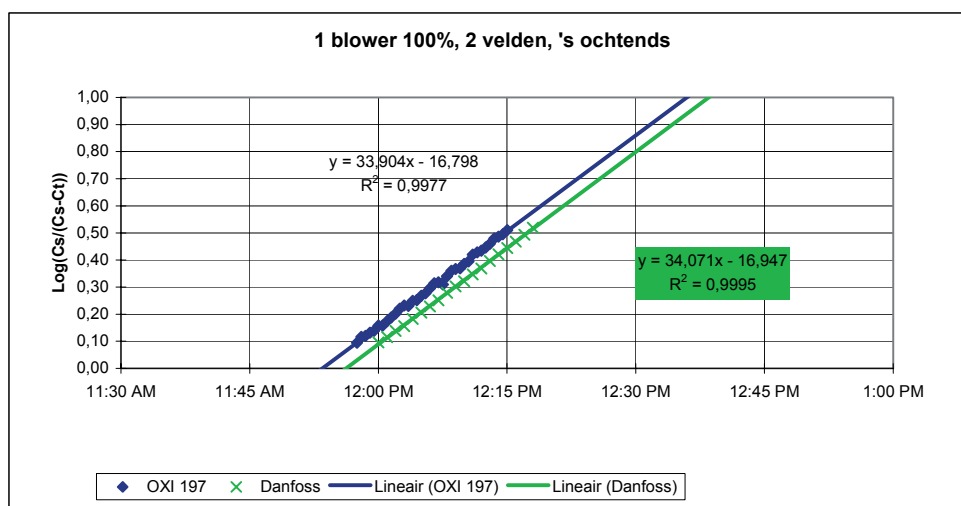


|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 1 blower 100%, 2 velden    |
| Datum   | 17/11/04 's ochtends       |

Algemene gegevens

|  |                              |               |
|--|------------------------------|---------------|
| <b>Tijdens doseren beluchting aan!</b>   |                              |               |
| Meting                                   |                              | 3             |
| Aantal velden                            |                              | 2,0           |
| Aantal blowers                           |                              | 1,0           |
| Luchtdebiet per blower                   |                              | 1030,0 m3/h   |
| Totaal luchtdebiet                       |                              | 1030 m3/h     |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand         |                              | 5,020 m+NAP   |
| Locatie zuurstofmeters                   | In de binnenbocht bij het RG |               |
| Watervolume                              |                              | 2330 m3       |
| Invloed voordennitrificatie              |                              | 0%            |
| Watertemperatuur                         |                              | 10,3 °C       |
| Luchtdruk                                |                              | 1008 millibar |
|  |                              | 100,8 kPa     |
| Diepte plaatbeluchters                   |                              | 4,92 m        |
| Hydrostatische waterdruk bij platen      |                              | 49,0 kPa      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoogte |                              | 24,5 kPa      |
| Stroomsnelheid                           |                              | 0,183 m/s     |
| Beenbreedte                              |                              | 5,200 m       |
| Debiet                                   |                              | 4,8 m3/s      |
| Vmeng                                    |                              | 260 m3        |
| n  |                              | 2             |
| Y-factor                                 |                              | 1,00 1,00     |
| Temperatuurfactor                        |                              | 0,99          |
| Correcties energieverliezen              | totaal                       | 5,3%          |
| alpha-factor van het testwater           |                              | 0,983         |

| Parameter                        | Eenheid     | Zuurstofelektrode |   |       | Gemiddeld |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---|-------|-----------|
|                                  |             | 1                 | 2 | 3     |           |
| Cs bij gemeten watertemperatuur  | mg/l        | 13,50             |   | 12,90 |           |
| Diepte zuurstofsensoren          | m           | 1,5               |   | 0,0   |           |
| tg alpha                         | d-1         | 33,9              |   | 34,1  |           |
| tg alpha                         | h-1         | 1,41              |   | 1,42  |           |
| X                                |             | 0,074             |   | 0,075 |           |
| Correctie menging + propstroming |             | 1,07              |   | 1,07  |           |
| OC(10) omloopcircuit             | kgO2/h      | 114,9             |   | 115,5 | 115,2     |
| Afwijking tov gemiddelde         |             | -0,3%             |   | 0,3%  |           |
| Rendement                        | kWh/kgO2    | 5,1               |   | 5,1   | 5,1       |
| Rendement                        | gO2/(Nm3.m) | 22,7              |   | 22,8  | 22,7      |

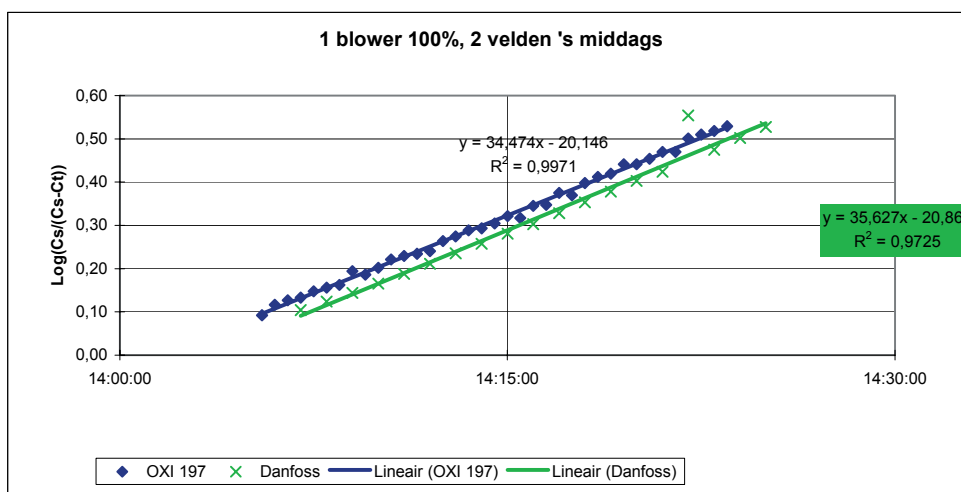


|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 1 blower 100%, 2 velden    |
| Datum   | 17/11/04 's middags        |

Algemene gegevens

|  |                              |               |
|--|------------------------------|---------------|
| <b>Tijdens doseren beluchting aan!</b>   |                              |               |
| Meting                                   |                              | 4             |
| Aantal velden                            |                              | 2,0           |
| Aantal blowers                           |                              | 1,0           |
| Luchtdebiet per blower                   |                              | 1030,0 m3/h   |
| Totaal luchtdebiet                       |                              | 1030 m3/h     |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand         |                              | 5,020 m+NAP   |
| Locatie zuurstofmeters                   | In de binnenbocht bij het RG |               |
| Watervolume                              |                              | 2330 m3       |
| Invloed voordennitrificatie              |                              | 0%            |
| Watertemperatuur                         |                              | 10,2 °C       |
| Luchtdruk                                |                              | 1008 millibar |
|  |                              | 100,8 kPa     |
| Diepte plaatbeluchters                   |                              | 4,92 m        |
| Hydrostatische waterdruk bij platen      |                              | 49,0 kPa      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoogte |                              | 24,5 kPa      |
| Stroomsnelheid                           |                              | 0,183 m/s     |
| Beenbreedte                              |                              | 5,200 m       |
| Debiet                                   |                              | 4,8 m3/s      |
| Vmeng                                    |                              | 260 m3        |
| n  |                              | 2             |
| Y-factor                                 |                              | 1,00 1,00     |
| Temperatuurfactor                        |                              | 1,00          |
| Correcties energieverliezen              | totaal                       | 5,3%          |
| alpha-factor van het testwater           |                              | 1,00          |

| Parameter                        | Eenheid     | Zuurstofelektrode |   |       | Gemiddeld |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---|-------|-----------|
|                                  |             | 1                 | 2 | 3     |           |
| Cs bij gemeten watertemperatuur  | mg/l        | 13,40             |   | 12,90 |           |
| Diepte zuurstofsensor            | m           | 2,5               |   | 0,0   |           |
| tg alpha                         | d-1         | 34,5              |   | 35,6  |           |
| tg alpha                         | h-1         | 1,44              |   | 1,48  |           |
| X                                |             | 0,076             |   | 0,078 |           |
| Correctie menging + propstroming |             | 1,07              |   | 1,07  |           |
| OC(10) omloopcircuit             | kgO2/h      | 115,6             |   | 119,7 | 117,6     |
| Afwijking tov gemiddelde         |             | -1,8%             |   | 1,8%  |           |
| Rendement                        | kWh/kgO2    | 5,1               |   | 5,3   | 5,2       |
| Rendement                        | gO2/(Nm3.m) | 22,8              |   | 23,6  | 23,2      |

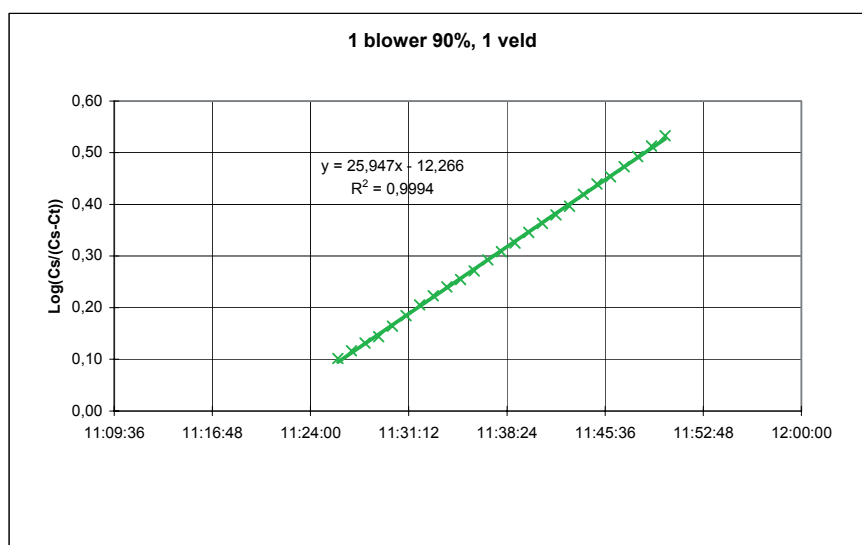


|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 1 blower 90%, 1 veld       |
| Datum   | 18-11-2004                 |

## Algemene gegevens

| Tijdens doseren beluchting aan!          |                              |               |
|--|------------------------------|---------------|
| Meting                                   |                              | 5             |
| Aantal velden                            |                              | 1,0           |
| Aantal blowers                           |                              | 1,0           |
| Luchtdebiet per blower                   | #N/B                         | m3/h          |
| Totaal luchtdebiet                       | #N/B                         | m3/h          |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand         |                              | 5,020 m+NAP   |
| Locatie zuurstofmeters                   | In de binnenbocht bij het RG |               |
| Watervolume                              |                              | 2330 m3       |
| Invloed voordennitrificatie              |                              | 0%            |
| Watertemperatuur                         |                              | 10,3 °C       |
| Luchtdruk                                |                              | 1008 millibar |
|  |                              | 100,8 kPa     |
| Diepte plaatbeluchters                   |                              | 4,92 m        |
| Hydrostatische waterdruk bij platen      |                              | 49,0 kPa      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoogte |                              | 24,5 kPa      |
| Stroomsnelheid                           |                              | 0,208 m/s     |
| Beenbreedte                              |                              | 5,200 m       |
| Debiet                                   |                              | 5,4 m3/s      |
| Vmeng                                    |                              | 260 m3        |
| n  |                              | 2             |
| Y-factor                                 |                              | 1,00 1,00     |
| Temperatuurfactor                        |                              | 0,99          |
| Correcties energieverliezen              | totaal                       | 5,3%          |
| alpha-factor van het testwater           |                              | 1,01          |

| Parameter                        | Eenheid     | Zuurstofelektrode |   |   | Gemiddelde |
|----------------------------------|-------------|-------------------|---|---|------------|
|                                  |             | 1                 | 2 | 3 |            |
| Cs bij gemeten watertemperatuur  | mg/l        |                   |   |   | 12,90      |
| Waterdiepte zuurstofsensoren     | mg/l        |                   |   |   | 0,0        |
| tg alpha                         | d-1         |                   |   |   | 25,9       |
| tg alpha                         | h-1         |                   |   |   | 1,08       |
| X                                |             |                   |   |   | 0,050      |
| Correctie menging + propstroming |             |                   |   |   | 1,05       |
| OC(10) omloopcircuit             | kgO2/h      |                   |   |   | 83,6       |
| Afwijking tov gemiddelde         |             |                   |   |   |            |
| Rendement                        | kWh/kgO2    |                   |   |   | 4,2        |
| Rendement                        | gO2/(Nm3.m) |                   |   |   |            |

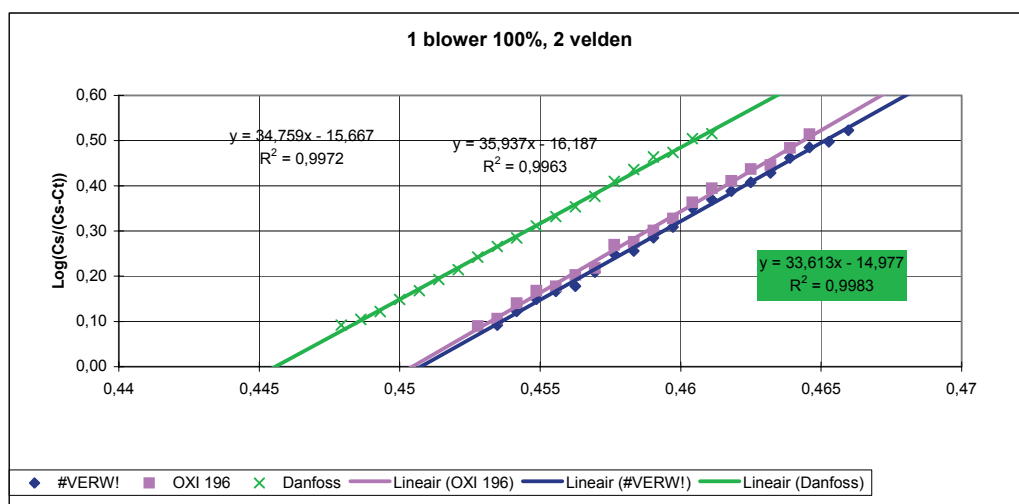


|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 1 blower 100%, 2 velden    |
| Datum   | 19-11-2004                 |

Algemene gegevens

|  |                              |      |
|--|------------------------------|------|
| Meting                                 | 7                            |      |
| Aantal velden                          | 2,0                          |      |
| Aantal blowers                         | 1,0                          |      |
| Luchtdebiet per blower                 | 1030,0 m3/h                  |      |
| Totaal luchtdebiet                     | 1030 m3/h                    |      |
| <b>Tijdens doseren beluchting uit!</b> |                              |      |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand       | 5,020 m+NAP                  |      |
| Locatie zuurstofmeters                 | In de binnenbocht bij het RG |      |
| Watervolume                            | 2330 m3                      |      |
| Invloed voordennitrificatie            | 0%                           |      |
| Watertemperatuur                       | 10,3 °C                      |      |
| Luchtdruk                              | 1008 millibar                |      |
|  | 100,8 kPa                    |      |
| Diepte plaatbeluchters                 | 4,92 m                       |      |
| Hydrostatische waterdruk bij platen    | 49,0 kPa                     |      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoog | 24,5 kPa                     |      |
| Stroomsnelheid                         | 0,183 m/s                    |      |
| Beenbreedte                            | 5,200 m                      |      |
| Debiet                                 | 4,8 m3/s                     |      |
| Vmeng                                  | 260 m3                       |      |
| n                                      | 2                            |      |
| X-factor                               |                              |      |
| Y-factor                               | 1,00                         | 1,00 |
| correctiefactor menging+propstr.       |                              |      |
| Temperatuurfactor                      | 0,99                         |      |
| Correcties energieverliezen            | totaal                       | 5,3% |
| alpha-factor van het testwater         |                              | 1,04 |

| Parameter                        | Eenheid     | Zuurstofelektrode |       |       | Gemiddeld |
|----------------------------------|-------------|-------------------|-------|-------|-----------|
|                                  |             | 1                 | 2     | 3     |           |
| Cs bij gemeten watertemperatuur  | mg/l        | 0,00              | 0,00  | 0,00  |           |
| tg alpha                         | d-1         | 34,8              | 35,9  | 33,6  |           |
| tg alpha                         | h-1         | 1,45              | 1,50  | 1,40  |           |
| X                                |             | 0,076             | 0,079 | 0,074 |           |
| Correctie menging + propstroming |             | 1,07              | 1,07  | 1,07  |           |
| OC(10) omloopcircuit             | kgO2/h      | 111,7             | 115,8 | 107,8 | 111,8     |
| Afwijking tov gemiddelde         |             | 0,0%              | 3,6%  | -3,6% |           |
| Rendement                        | kWh/kgO2    | 5,0               | 5,1   | 4,8   | 5,0       |
| Rendement                        | gO2/(Nm3.m) | 22,0              | 22,8  | 21,3  | 22,1      |



## BIJLAGE 3

## RESULTATEN OC-METINGEN IN SLIB

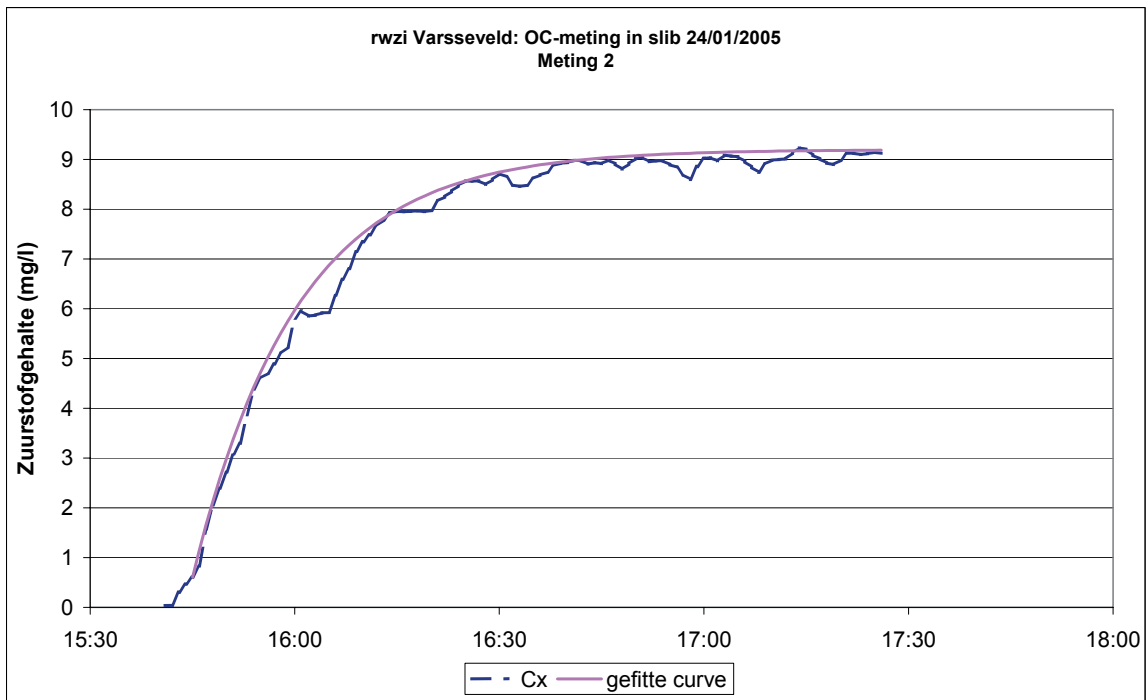
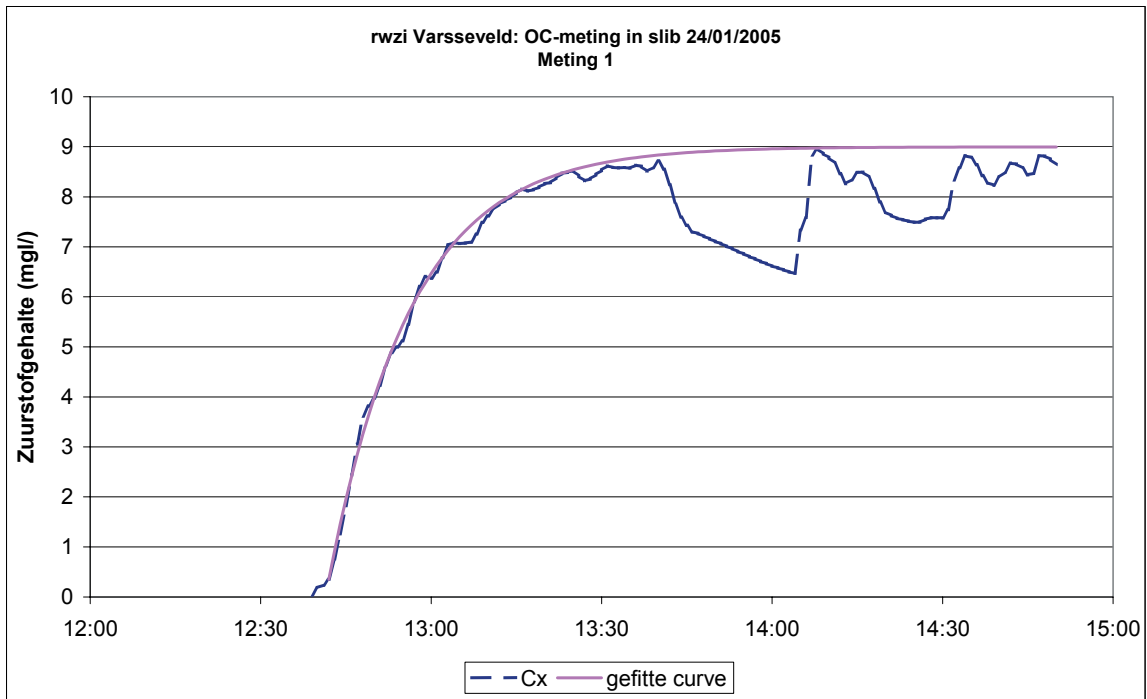
|         |                            |
|---------|----------------------------|
| Project | OC-metingen MBR Varsseveld |
| Meting  | 1 blower 100%, 2 velden    |
| Betreft | OC-meting in slib          |
| Datum   | 24-1-2005                  |

**Algemene gegevens**

|  |                              |      |
|--|------------------------------|------|
| Meting                                   | 8                            |      |
| Aantal velden                            | 2,0                          |      |
| Aantal blowers                           | 2,0                          |      |
| Luchtdebiet per blower                   | 1035,0 m <sup>3</sup> /h     |      |
| Totaal luchtdebiet                       | 2070 m <sup>3</sup> /h       |      |
| Waterniveau t.o.v. overstortrand         | 5,000 m+NAP                  |      |
| Locatie zuurstofmeter                    | danfoss meter in buitenbocht |      |
| Watervolume                              | 2330 m <sup>3</sup>          |      |
| Invloed voordennitrificatie              | 0%                           |      |
| Watertemperatuur                         | 10,5 °C                      |      |
| Luchtdruk                                | 1000 millibar                |      |
|  | 100 kPa                      |      |
| Diepte plaatbeluchters                   | 4,80 m                       |      |
| Hydrostatische waterdruk bij platen      | 47,4 kPa                     |      |
| Hydrostatische waterdruk op halve hoogte | 23,7 kPa                     |      |
| Stroomsnelheid                           | 0,167 m/s                    |      |
| Beenbreedte                              | 5,200 m                      |      |
| Debiet                                   | 4,3 m <sup>3</sup> /s        |      |
| Vermogen blowers                         | 47,6 kW                      |      |
| Vmeng                                    | 260 m <sup>3</sup>           |      |
| n  | 2                            |      |
| X-factor                                 |                              |      |
| Y-factor                                 | 0,99                         | 0,99 |
| correctiefactor menging+propstr.         |                              |      |
| Temperatuurfactor                        | 0,99                         |      |
| Correcties energieverliezen              | totaal                       | 5,3% |
| alpha-factor van het testwater           | niet van toepassing          |      |

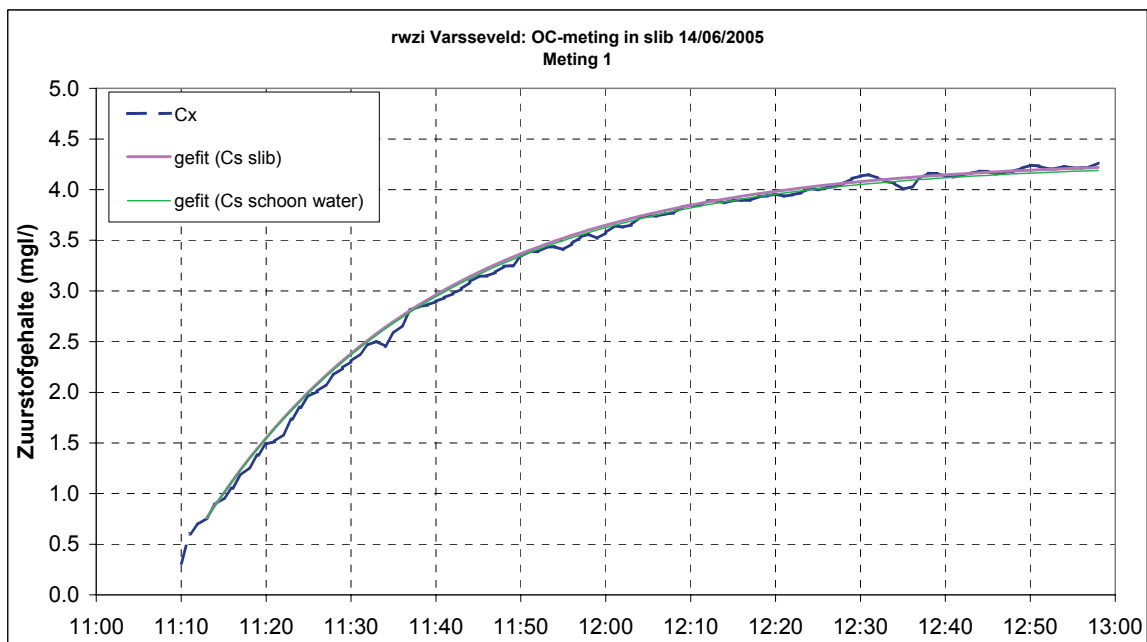
| Parameter                        | Eenheid                                  | Danfoss zuurstof elektrode |             |   | Gemiddeld   |
|----------------------------------|--|----------------------------|-------------|---|-------------|
|                                  |  | meting 1                   | meting 2    | 3 |             |
| Cs bij gemeten watertemperatuur  | mg/l                                     | 9,0                        | 9,2         |   |             |
| tg alpha                         | h <sup>-1</sup>                          | 1,72                       | 1,65        |   |             |
| X                                |  | 0,100                      | 0,096       |   |             |
| Correctie menging + propstroming |  | 1,10                       | 1,09        |   |             |
| α-OC(10) omloopcircuit           | kgO <sub>2</sub> /h                      | 138                        | 132         |   | 135,4       |
| Afwijking tov gemiddelde         |  | 2,3%                       | -2,3%       |   |             |
| Rendement                        | kWh/kgO <sub>2</sub>                     | 3,1                        | 2,9         |   | 3,0         |
| Rendement                        | gO <sub>2</sub> /((m <sup>3</sup> /h).m) | niet bekend                | niet bekend |   | niet bekend |

Door onregelmatigheden in de reeratiecurve, zogenoemde 'dips', kon de  $k_L a$ -factor niet worden bepaald door  $\log(C_s/(C_s - C_t))$  uit te zetten tegen de tijd, waarbij de richtingscoëfficiënt van deze rechte lijn de  $k_L a$ -factor is. Deze "dips" werden veroorzaakt door de drijfslag die zich tijdens de metingen in de buurt van de zuurstofsensoren ophoopte. De zuurstofmeting werd hierdoor negatief beïnvloed. Dit probleem is zoveel mogelijk verholpen door gedurende de meting regelmatig de drijfslag rondom de zuurstofsensoren te verwijderen.

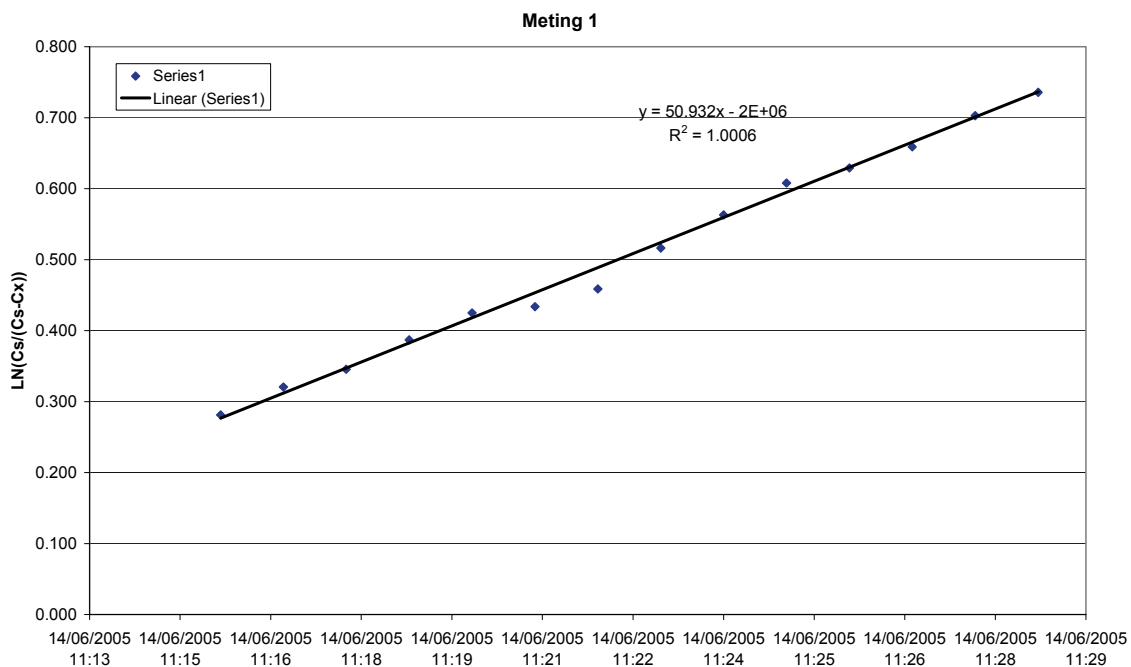


OC-METING IN SLIB - 14 JUNI 2005

CURVE FITTING O.B.V. DE AFGELEIDE CS IN WATER EN DE RESPIRATIESNELHEID (GROEN)  
EN DE CS IN SLIB (PAARS)



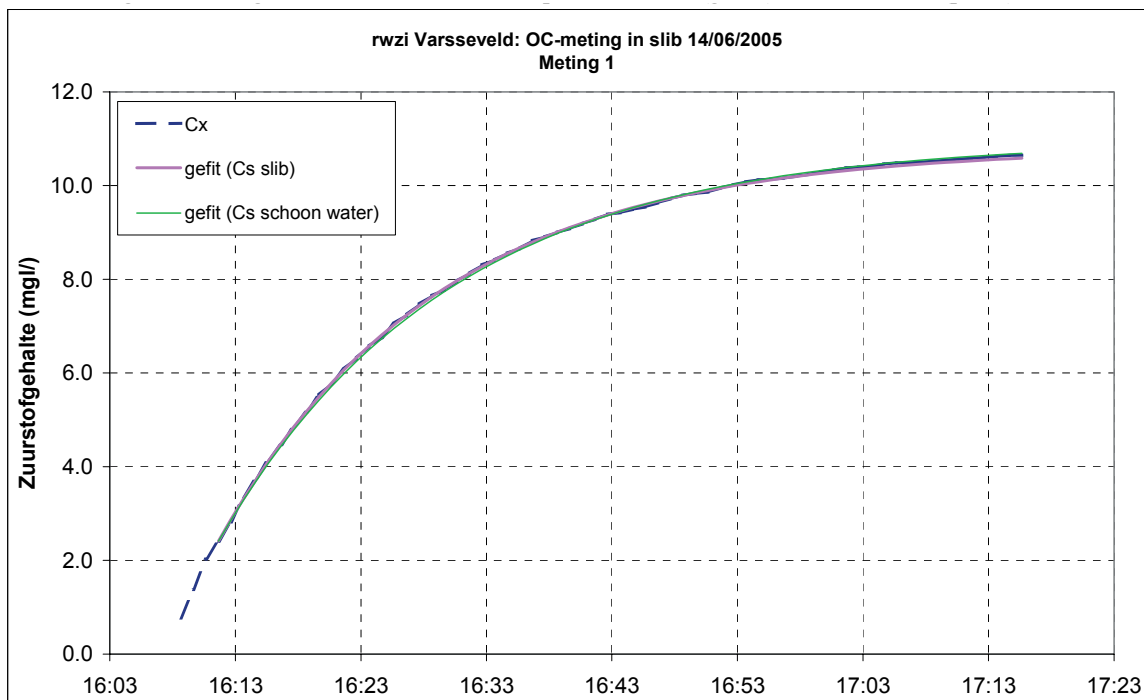
KLA-BEPALING OP BASIS VAN DE ZUURSTOFVERZADIGINGSWAARDE IN SLIB



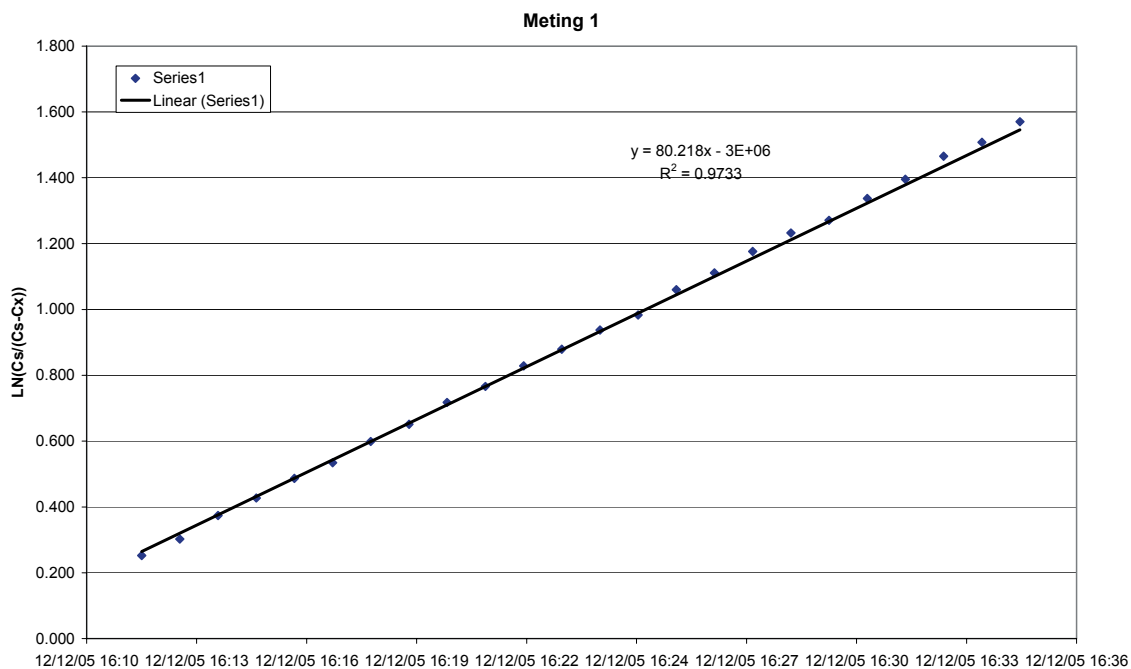


OC-METING IN SLIB - 12 DECEMBER 2005

CURVE FITTING O.B.V. DE AFGELEIDE CS IN WATER EN DE RESPIRATIESNELHEID (GROEN) EN DE CS IN SLIB (PAARS)

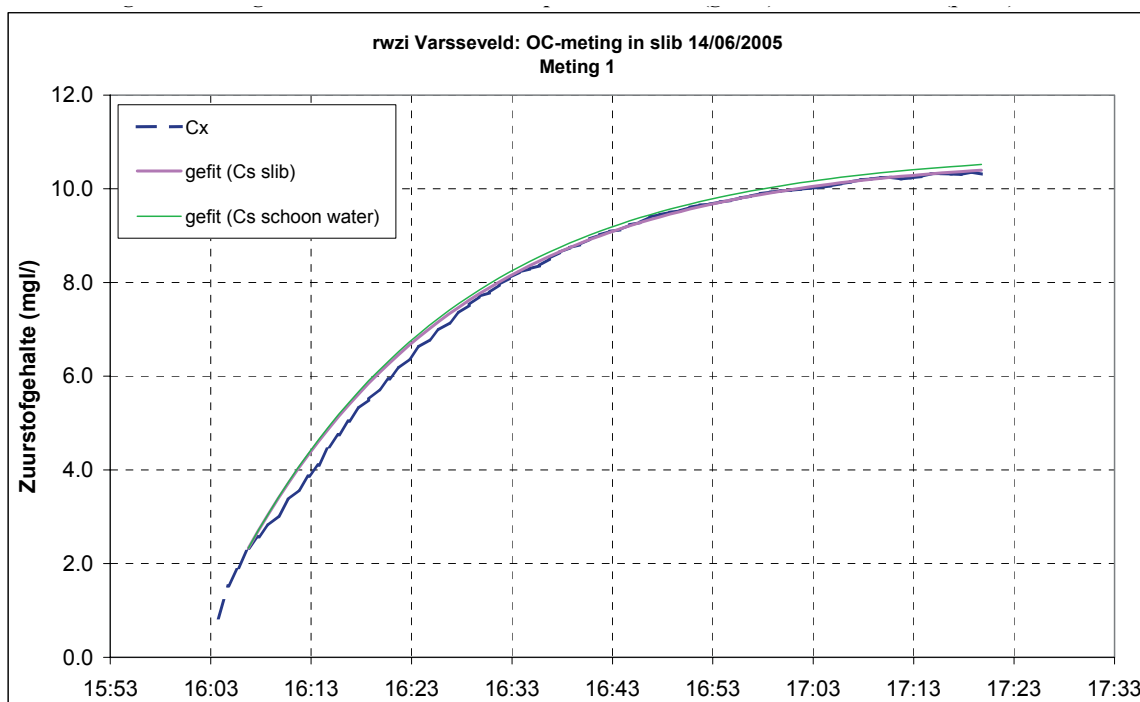


KLA-BEPALING OP BASIS VAN DE ZUURSTOFVERZADIGINGSWAARDE IN SLIB

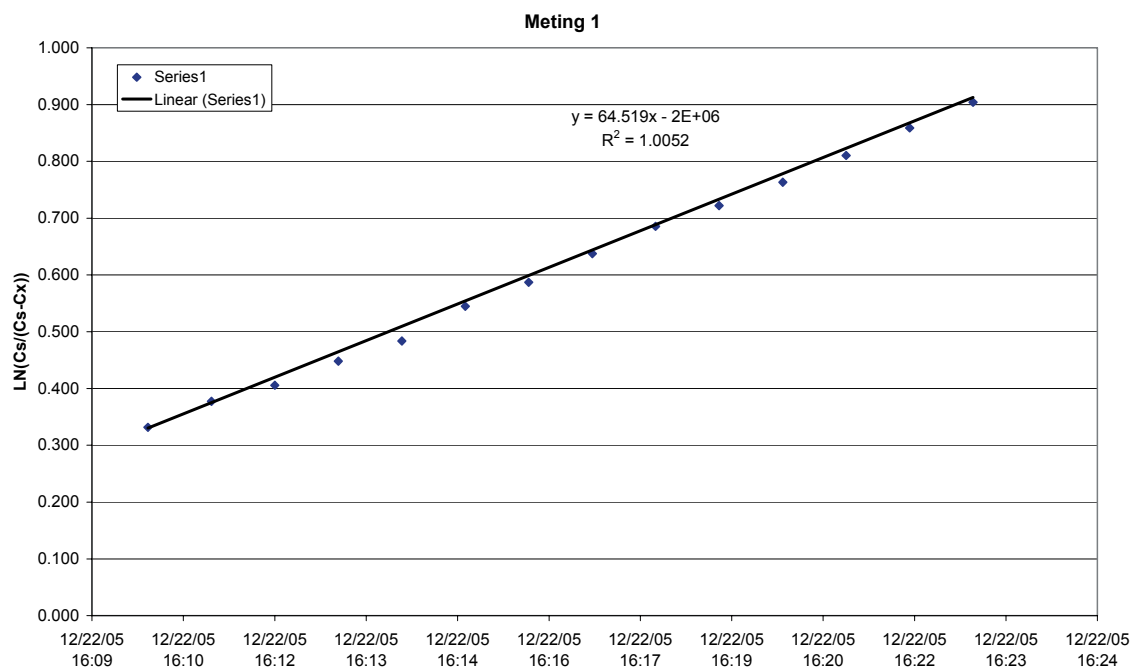


OC-METING IN SLIB - 22 DECEMBER 2005

CURVE FITTING O.B.V. DE AFGELEIDE CS IN WATER EN DE RESPIRATIESNELHEID (GROEN)  
EN DE CS IN SLIB (PAARS)



KLA-BEPALING OP BASIS VAN DE ZUURSTOFVERZADIGINGSWAARDE IN SLIB



## BIJLAGE 4

# MATERIALEN EN UITVOERING OC METINGEN IN SCHOON WATER

## OC (GROND)WATER

### PRINCIPE

De OC-metingen in november 2004 zijn uitgevoerd conform de richtlijnen zoals beschreven in het STORA-rapport "Zuurstoftoevoermetingen in beluchtingsystemen, 1. Bepaling in rein water (reaëratiemethode)" d.d. 31 januari 1980.

Het beluchtingscircuit is van de voordennitrificatieruimte afgesloten door de zuigzijde van de recirculatiepomp AT1 P-3 af te sluiten. De uitstroomopening van de voordennitrificatieruimte was afgesloten met een zeil, maar gedurende de metingen bleek dat deze constructie niet sterk genoeg was. Gevolg hiervan was dat de uitstroomopening van de voordennitrificatieruimte nauwelijks was afgesloten. Uit berekeningen blijkt dat het effect hiervan op de beluchtingscapaciteit te verwaarlozen is.

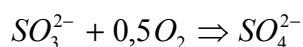
De koker waarmee het slib vanuit de membraantanks terug naar het beluchtingscircuit wordt gevoerd, was goed afgesloten met een zeil en houten balken.

### WATERBRON

De benodigde hoeveelheid water voor de gehele tank bedraagt 3.000 m<sup>3</sup>. Aangezien leidingwater geen reële optie was om te gebruiken, is grondwater gebruikt. Daags voor de OC-metingen in november 2004 is hypochloriet met een concentratie van 2,8 mg/l actief chloor aan het beluchtingscircuit gedoseerd om de eventuele aanwezige bacteriën en algen te inactiveren. De OC-metingen zijn uitgevoerd bij een waterdiepte van 5,0 m.

### SULFIET- EN KOBALTDOSERING

Voor een goede uitvoering van de OC-meting dient de inhoud van het beluchtingscircuit, voorafgaand aan de meting, zuurstofloos te worden gemaakt door de dosering van een overmaat (20%) van natriumsulfiet. Sulfiet reageert met zuurstof tot sulfaat volgens:



De oxidatie van sulfiet tot sulfaat wordt gekatalyseerd door kobaltionen. Kobalt is in opgeloste vorm daags voor de OC-metingen in schoon water gedoseerd met een concentratie van 0,15 mg Co/l. Onderstaande geeft de berekening van de totale hoeveelheid sulfiet, waarbij de volgende uitgangspunten zijn aangehouden:

- een zuurstofverzadigingsconcentratie van 11,3 mg/l;
- een doseertijd van 4,1 minuten (1 omloopronde);
- een stroomsnelheid in het beluchtingscircuit van 0,3 m/s;
- de beluchting is gedurende de dosering van sulfiet ingeschakeld.

#### SULFIETDOSEERINSTALLATIE



#### VERMOGENSMETINGEN

Tijdens de metingen is het ampèrage en de frequentie van de blowers, alsmede het ampèrage van de voortstuwers met een tijdsinterval van 1 minuut gelogd. Voor de metingen is gebruik gemaakt van het besturingssysteem van de installatie.

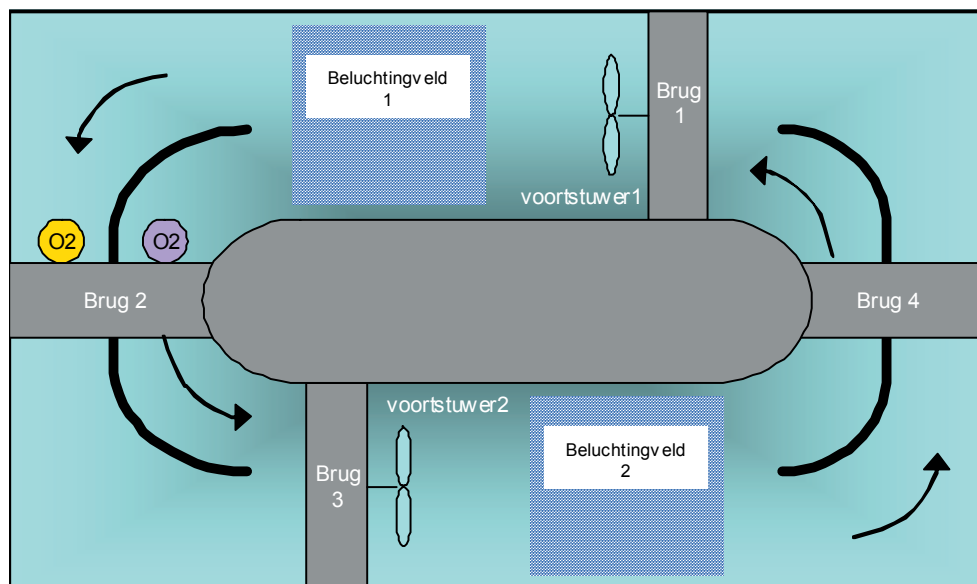
Bij de berekening van het opgenomen vermogen van de blowers is uitgegaan van energieverlies van 5,3% in de kabels e.d. Hierbij is uitgegaan van een berekend verlies van 2 kW bij een geïnstalleerd vermogen van 37 kW per blower.

#### ZUURSTOFMETINGEN


Op een locatie in het beluchtingscircuit is op verschillende diepten de zuurstofconcentraties gemeten en geregistreerd. Hierbij is gebruik gemaakt van zuurstofmeter van het merk WTW (type Oxi 196 en Oxi 197). De zuurstofmetingen zijn meestal uitgevoerd in de binnenbocht van brug 2.

Verder is gebruik gemaakt van de zuurstofmeter in het beluchtingscircuit (Danfoss). Deze is in de buitenbocht op brug 2 geplaatst.

## PLAATS ZUURSTOFSENSOREN TEN TIJDE VAN DE OC BEPALINGEN



 = mobiele zuurstofsensor

 = vaste zuurstofsensor

**BEPALING VAN DE  $\alpha$ -FACTOR**

Bij de OC-metingen in schoon water is de  $\alpha$ -factor van het testwater in het beluchtingscircuit in duplo gemeten op het Water Research Laboratorium van DHV te Leusden.

Bij de OC-meting in slib is de  $\alpha$ -factor van het water/slib-mengsel bepaald door BRCC BV uit Groningen. Voor de gebruikte methodiek en materialen wordt verwezen naar STOWA-rapport 2002, 11B, waarin deze uitvoering wordt beschreven.

**METING LUCHTDEBIET**

Aanvankelijk was het de bedoeling om de luchtdebietmeters van de MBR te gebruiken om het luchtdebiet vast te stellen, maar deze bleken op dat moment zeer onbetrouwbaar. Dit probleem is ondervangen doordat de aannemer tijdens de eerste twee meetdagen metingen verrichtte aan de compressoren (in- en uitgaande temperaturen, in- en uitgaande drukkens, toerental van de motor, opgenomen ampèrage). Op basis van deze gegevens is het luchtdebiet berekend.

**METING VAN TEMPERATUUR EN BAROMETERSTAND**

Voor het vaststellen van de zuurstofverzadigingswaarde bij de actuele watertemperatuur en de actuele barometerstand zijn deze grootheden tijdens de meetdagen met geijkte apparatuur gemeten.

**METING VAN DE ZUURSTOFVERZADIGINGSWAARDE**

De zuurstofverzadigingswaarde van het circuitwater is met de verschillende zuurstofelektrodes bepaald in het circuit zelf door de OC-metingen voldoende lang uit te voeren. Het blijkt dat elke zuurstofelektrode een andere verzadigingswaarde meet. Deze waarden zijn gebruikt bij de berekening van de beluchtingscapaciteit en daarom niet met de theoretische verzadigingswaarde.

## BIJLAGE 5

# MATERIALEN EN UITVOERING

## OC METINGEN IN SLIB

De metingen zijn uitgevoerd met de volgende zuurstofmeters:

- Handzuurstofmeter (WTW OXI 196 en 197), geplaatst voor en na een beluchtingspakket
- Vaste zuurstofmeter MBR (Danfoss)

Alle sensoren zijn voorafgaande aan de OC bepalingen gekalibreerd.

Om het slib zoveel mogelijk in de gewenste conditie te brengen is de beluchting de avond vóór een meetdag hoger ingesteld (setpoint 0,5 naar circa 1 mgO<sub>2</sub>/l).

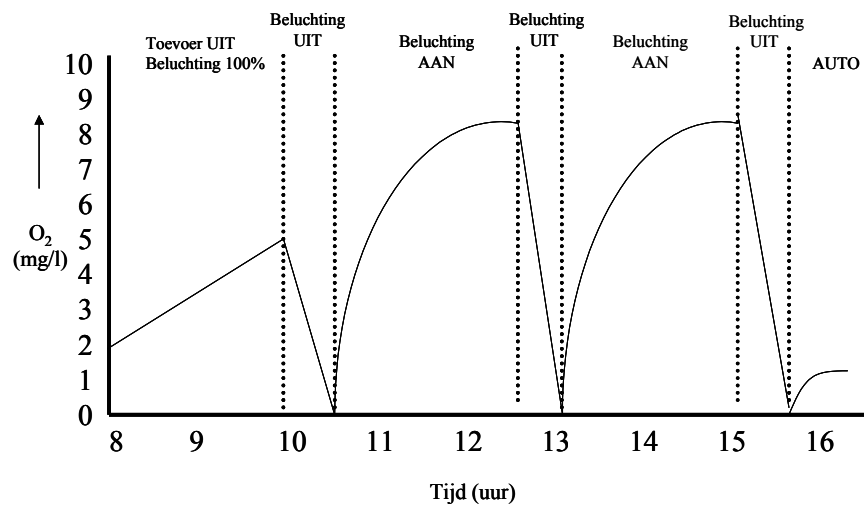
Op de betreffende meetdag zijn van 10.00 uur tot 15.45 uur de volgende instellingen toegepast:

- Voortstuwvers: continu in bedrijf (maximale capaciteit)
- Slibrecirculatie naar voorbehandeling: UIT
- Interne recirculatiepomp: UIT
- Membraantoevoerpompen: UIT
- Membraanbeluchting: paraatmode
- Permeaatpompen: UIT

In onderstaand schema is de opzet van de OC-metingen weergegeven.

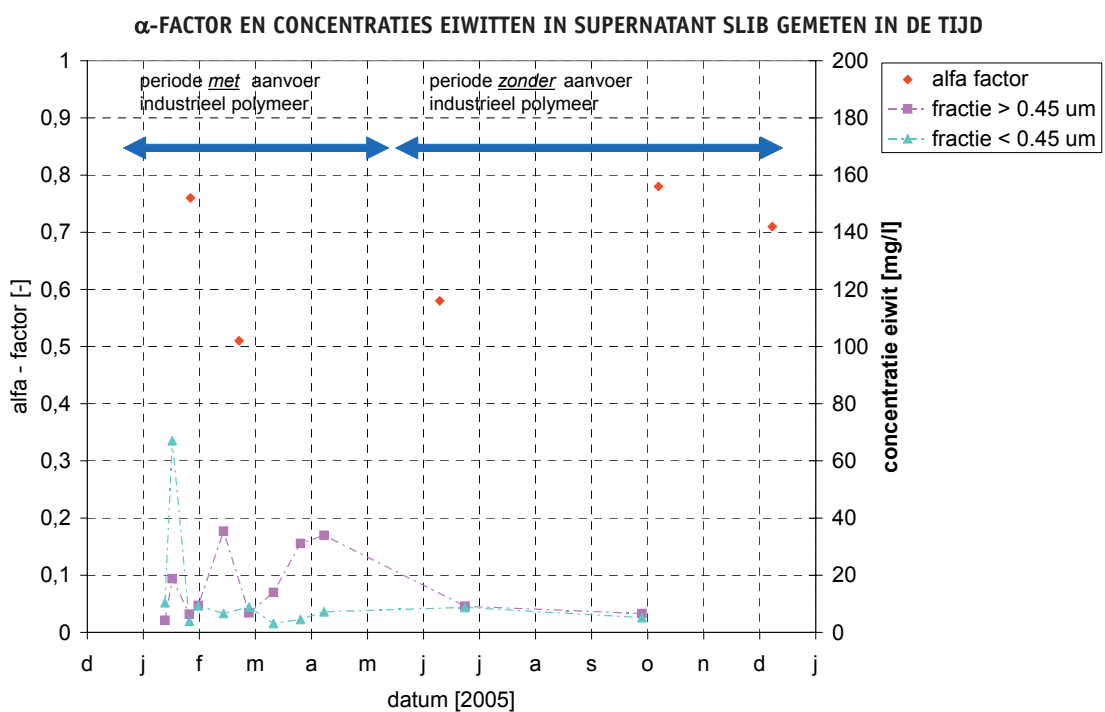
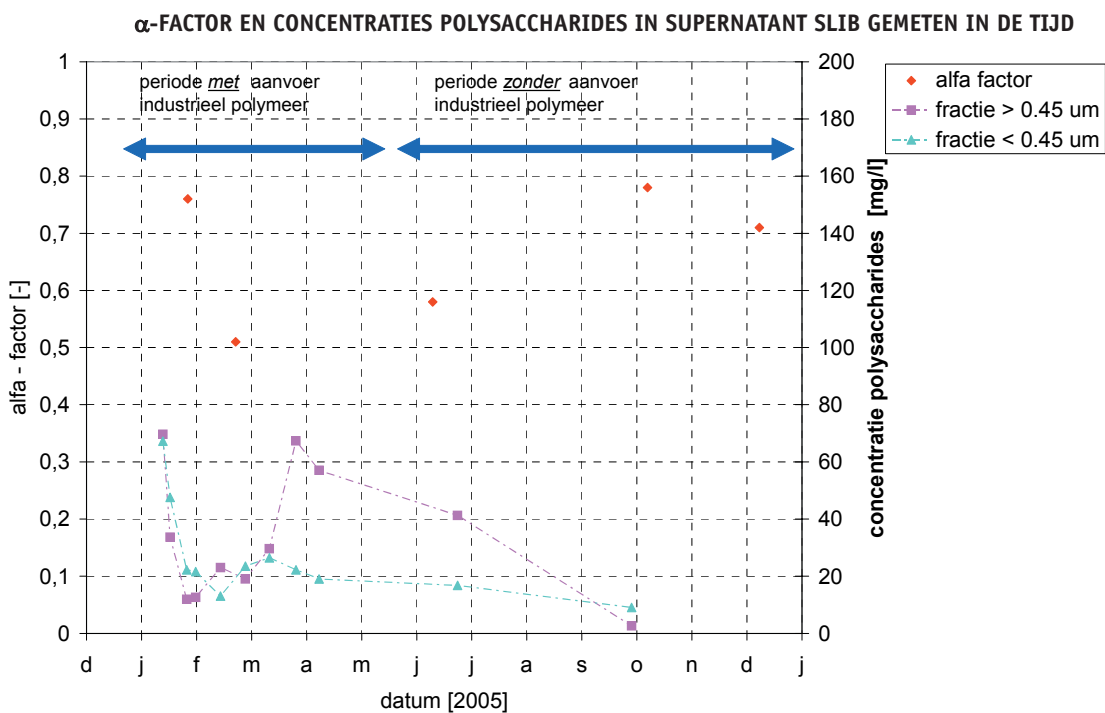
| Tijd        | Actie   | Instellingen blowers |
|-------------|---|----------------------|
| 08.00       | Toevoer rwzi uitzetten, blowers maximaal        | 2 x 57 Hz / 24 kW    |
| 10.00       | Blowers uitzetten                               | UIT                  |
| 10.00-10.30 | 1 <sup>e</sup> respiratiemeting                 | UIT                  |
| 10.30       | Blowers aanzetten (als O <sub>2</sub> = 0 mg/l) | Meetinstelling       |
| 10.30-12.30 | 1 <sup>e</sup> OC-meting                        | Meetinstelling       |
| 12.30       | Blowers uitzetten                               | UIT                  |
| 12.30-13.00 | 2 <sup>e</sup> respiratiemeting                 | UIT                  |
| 13.00       | Blowers aanzetten (als O <sub>2</sub> = 0 mg/l) | Meetinstelling       |
| 13.00-15.00 | 2 <sup>e</sup> OC-meting                        | Meetinstelling       |
| 15.00       | Blowers uitzetten                               | UIT                  |
| 15.00-15.30 | 3 <sup>e</sup> respiratiemeting                 | UIT                  |
| 15.30       | Einde van de metingen                           | Automatisch          |

Het resultaat van de meting is schematisch weergegeven in onderstaande afbeelding. Op basis van deze duplometing van de zuurstofinbreng en triplometing van de respiratiesnelheid kan de OC onder de heersende omstandigheden worden bepaald.



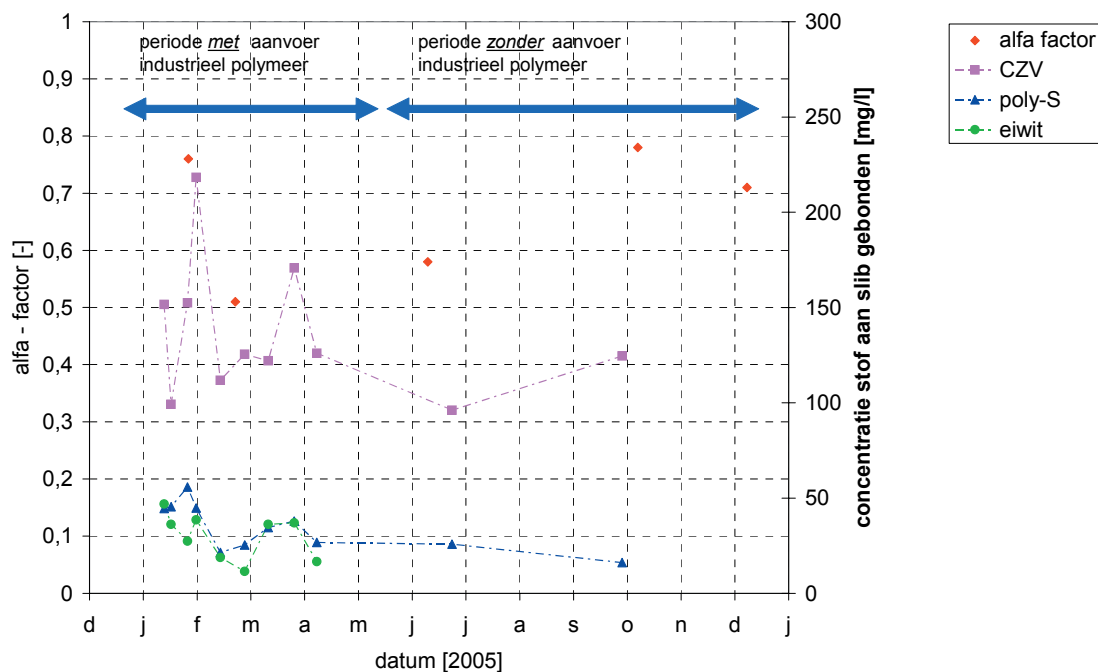
BIJLAGE 6

# MEETRESULTATEN $\alpha$ -FACTOR EN SLIBEIGENSCHAPPEN

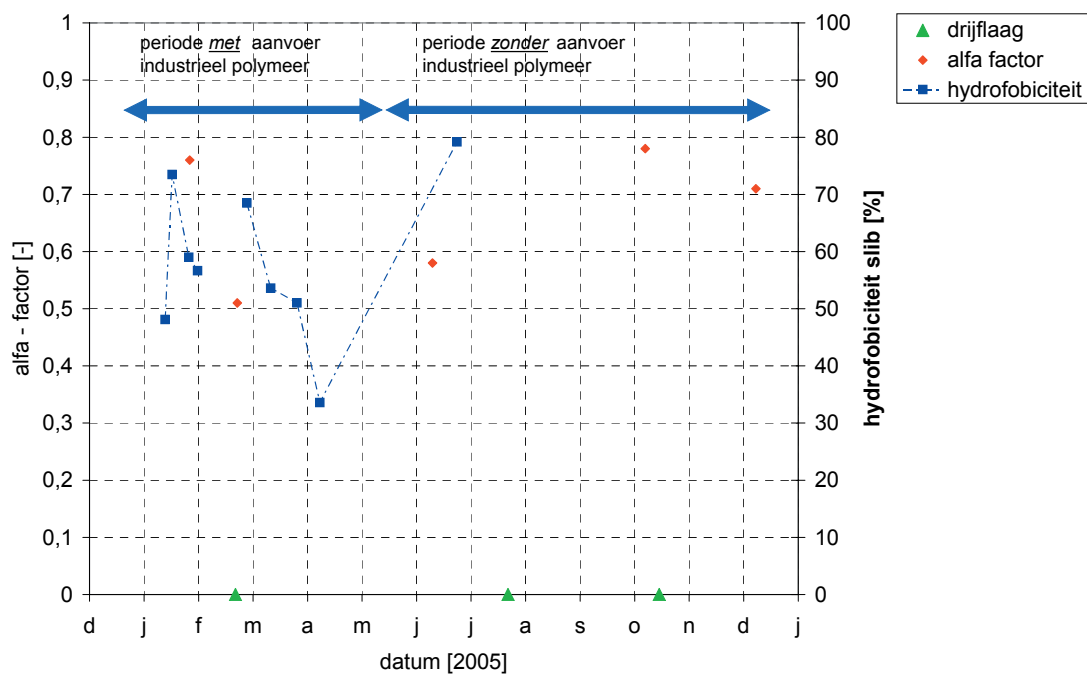




**α-FACTOR EN CONCENTRATIES STOF GEBONDEN AAN SLIB GEMETEN IN DE TIJD**



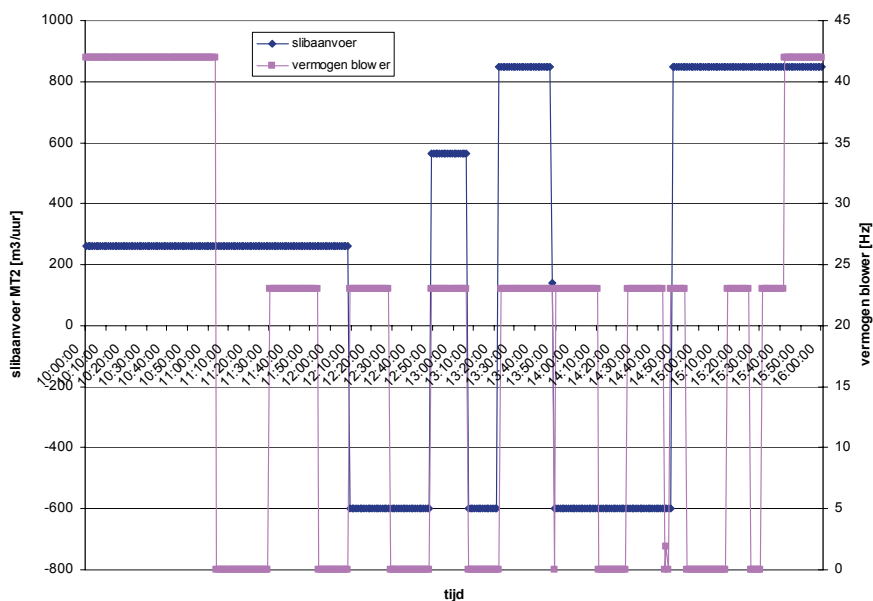
**α-FACTOR, HYDROFOBICITEIT SLIB EN DRIJFLAAGVORMING GEMETEN IN DE TIJD**



BIJLAGE 7

# MEETRESULTATEN OC MEMBRAANTANK

## SLIBAANVOER VANUIT BELUCHTINGSTANK NAAR MEMBRAANTANK EN VERMOGEN BLOWERS MEMBRAANTANK



## MEETRESULTATEN PROEF 1 T/M 4 OP 23 JUNI 2005

