

1980-05_zuurstoefoervermogen-reaeratiemethode

stora

Zuurstoefoervermogen
in
beluchtingssystemen

1. Bepaling in rein water
(reaeratiemethode)

stora

postbus 414, 2280 AK Rijswijk Z.H. ☎ 070 - 980.287 stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Zuurstoftoevoervermogen in beluchtingsystemen

1. Bepaling in rein water (reaeratiemethode)

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht
kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

| | | |
|--------|---|--------|
| | Inhoud | III- V |
| | Ten geleide | VII |
| 1 | DOEL EN TOEPASBAARHEID | 1 |
| 2 | WERKWIJZE | 2 - 10 |
| 2.1 | Vorbereiding OC-meting en vastleggen meet- omstandigheden | 2 |
| 2.1.1 | <i>lijst van handelingen</i> | 2 |
| 2.1.2 | <i>voorwaarden OC-meting</i> | 2 - 4 |
| 2.1.3 | <i>vastleggen meetomstandigheden</i> | 4 - 5 |
| 2.1.4 | <i>vullen met rein water</i> | 5 |
| 2.1.5 | <i>voorbereiding zuurstofmeting</i> | 5 - 6 |
| 2.1.6 | <i>ijking zuurstofmeting</i> | 6 |
| 2.1.7 | <i>waterniveau beluchtingsbassin</i> | 6 |
| 2.1.8 | <i>stabilisatie procesomstandigheden</i> | 6 - 7 |
| 2.1.9 | <i>het meten van de zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem (c_s, systeem)</i> | 7 |
| 2.1.10 | <i>controle randvoorwaarden</i> | 7 |
| 2.1.11 | <i>verwijdering opgeloste zuurstof</i> | 7 - 9 |
| 2.1.12 | <i>aanvang zuurstofmetingen</i> | 9 |
| 2.1.13 | <i>bepaling restsulfiet</i> | 9 - 10 |
| 2.2 | Zuurstofmetingen ter bepaling van tga | 10 |
| 2.2.1 | <i>registrerende zuurstofmeter</i> | 10 |
| 2.2.2 | <i>aanwijzende zuurstofmeter</i> | 10 |
| 2.2.3 | <i>chemische zuurstofbepaling</i> | 10 |
| 3 | BEREKENINGEN | 11-20 |
| 3.1 | Vorbereiding | 11-12 |
| 3.2 | de bepaling van tga | 12-14 |
| 3.2.1 | <i>algemeen</i> | 12 |
| 3.2.2 | <i>grafische bepaling van tga</i> | 12-13 |
| 3.2.3 | <i>bepaling van tga met behulp van een rekenmachine (pocketcalculator, computer)</i> | 13 |
| 3.2.4 | <i>bepaling van tga met behulp van directe registratie van de logaritme van het deficiet</i> | 14 |
| 3.3 | De berekening van de beluchtingsconstante uit tga | 15-16 |
| 3.4 | De berekening van de standaard OC | 16-20 |
| 3.4.1 | <i>de beluchtingsconstante k</i> | 16-17 |
| 3.4.2 | <i>de verzadigingswaarde c_s</i> | 17-19 |
| 3.4.3 | <i>de standaard OC</i> | 19-20 |
| 4 | PRESENTATIE | 21-22 |
| 4.1 | doelstelling | 21 |
| 4.2 | verslag van de metingen | 21-22 |
| 4.3 | resultaten van de OC-metingen | 22 |

| | | |
|---------|--|-------|
| 5 | TOELICHTING | 23-51 |
| 5.1 | werkwijze | 23-24 |
| 5.1.1 | <i>lijst van afspraken betreffende de uitvoering van de metingen (voorbeeld)</i> | 23 |
| 5.1.2 | <i>Lijst van handelingen (voorbeeld)</i> | 23-24 |
| 5.2 | Voorwaarden O ₂ -meting | 24-39 |
| 5.2.1 | <i>de beluchtingsconstante k</i> | 24-25 |
| 5.2.2 | <i>de circulatie en de verdeling van de opgeloste zuurstof</i> | 25-28 |
| 5.2.3 | <i>de berekening van enkele praktijkmodellen</i> | 28-34 |
| 5.2.4 | <i>de betekenis van de OC</i> | 34-39 |
| 5.3 | Opgenomen vermogen | 40-41 |
| 5.4 | Rein water | 42-43 |
| 5.5 | Zuurstofmetingen | 44-51 |
| 5.5.1 | <i>ijken en gebruik van de zuurstofmembraanelektrode</i> | 44-46 |
| 5.5.2 | <i>bepaling van tga met behulp van een logaritmische versterker</i> | 47 |
| 5.5.3 | <i>chemische zuurstofbepaling volgens Winkler en monsterneming</i> | 48-50 |
| 5.5.4 | <i>andere methoden voor de zuurstofbepaling</i> | 50 |
| 5.6 | Bepaling van het gehalte restsulfiet | 51 |
| 6 | EEN KORTE BESCHRIJVING VAN DE OC-METING | 52-54 |
| 7 | DEFINITIES EN OMSCHRIJVINGEN | 55-57 |
| 7.1 | Zuurstoftoevoervermogen | 55 |
| 7.2 | Beluchtingssystemen | 55 |
| 7.3 | Rein water | 55 |
| 7.4 | Zuurstofmetingen | 55 |
| 7.5 | Zuurstofverzadigingswaarde | 56-57 |
| 7.6 | Zuurstofdeficiet | 57 |
| 8 | LITERATUUR | 58 |
| 9 | LIJST VAN SYMBOLEN | 59-60 |
| 10 | TABELLEN | 61-63 |
| tabel 1 | zuurstof verzadigingswaarde | 61 |
| tabel 2 | dampspanning van water | 61 |
| tabel 3 | zuurstofmetingen | 62 |
| tabel 4 | meetomstandigheden | 63 |

Ten geleide

In 1973 werd door het Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater (RIZA) een gespreksgroep gevormd om de mogelijkheden te onderzoeken voor uniformering van de methodiek voor de bepaling van het zuurstof-toevoervermogen van beluchters in beluchtingsbassins op rioolwaterzuiveringsinrichtingen.

Naast het RIZA waren DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. en het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO (IMG-TNO) in deze groep vertegenwoordigd.

De gewenste uniformering bleek zonder technisch onderzoek niet mogelijk; de opdracht* daartoe werd door de STORA aan het IMG-TNO verstrekt als onderdeel van een gecoördineerd onderzoek op beluchtingsgebied dat uit twee andere deelprojecten bestaat: ontwikkeling van methoden om het zuurstoftoevoervermogen onder bedrijfsomstandigheden te bepalen en vergelijking van beluchtingssystemen.

Dit deelproject werd uitgevoerd door ir. S. Sweeris en de heer L. Drenth van bovengenoemd TNO-instituut, namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit: drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (voorzitter), ir. J.S.J. Dragt, ir. J.H.J.M. van der Graaf en ir. R. Karper.

Het laatste concept van dit voorschrift werd in 1979 toegezonden aan een aantal raadgevende ingenieursbureaus, fabrikanten en leveranciers van beluchtingsapparatuur; hun commentaar heeft mede de definitieve redactie bepaald.

Daarnaast ziet de Stichting met belangstelling uit naar de ervaringen van de gebruikers van deze handleiding, opdat hiermee bij de eerstvolgende herdruk rekening kan worden gehouden.

Rijswijk, 31 januari 1980.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

* De Onderzoekadviescommissie, die hiertoe adviseerde, bestond uit:

prof. ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr. ir. H.J. Eggink, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. M. van der Lugt, ir. Th.C. Martijn, ir. H.A. Meijer, jhr.dr. J.J. Quarles van Ufford, ir. H.M.J. Scheltinga, dr. ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. F.B. Veldkamp en ir. A.P. Vernimmen, M. Sc. (leden).

DOEL EN TOEPASBAARHEID

Dit voorschrift beschrijft een methode voor het meten van het zuurstof-toevoervermogen van een of meerdere beluchters of beluchtingselementen die werkzaam zijn in een met rein water gevuld vloeistofbassin dat deel uitmaakt van een rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi).

De methode is gebaseerd op de bepaling van de snelheid waarmee de concentratie van de opgeloste zuurstof in het reine water toeneemt; daarbij wordt ervan uitgegaan dat de snelheid waarmee de zuurstof oplost evenredig is met het zuurstofdeficiet in het water.

Voorafgaande aan deze bepaling wordt het reine water zuurstofloos gemaakt door toevoeging van een natriumsulfietoplossing.

De methode is van toepassing op beluchtingssystemen waarbij de gehele watermassa circuleert en de aard van het mengproces bekend is, zodat hiermee bij de verwerking van de meetgegevens rekening kan worden gehouden.

De meetmethode is zodanig dat een ruim toepassingsgebied wordt bestreken. Daarbij zijn voorschriften opgenomen ten aanzien van het gebruik van de methode bij verschillende beluchtingssystemen.

Op enkele punten zijn slechts aanwijzingen opgenomen omdat de wetenschappelijke basis nog te smal is of omdat de plaatselijke situatie hierbij van overwegend belang is en een keuze binnen de gegeven richtlijnen tot goede resultaten leidt.

Deze punten betreffen onder andere de keuze van het geïdealiseerde mengmodel, de te hanteren waterkwaliteitsnormen, de watertemperatuur waarbij de metingen mogen plaatsvinden, de te hanteren temperatuurcorrectiefactor en de keuze van de meetplaatsen.

Daar in dit voorschrift slechts de uitvoering van een meting wordt beschreven, is het bovendien nodig om vast te stellen bij welke beluchtingscondities de meting zal worden verricht en - bij meer metingen - hoe het meetprogramma eruit moet zien.

Afhankelijk van de doelstelling van de meting kan het aanbeveling verdienen om deze zaken vooraf in afspraken tussen de belanghebbenden en de uitvoerder van de metingen vast te leggen.

Onder hoofdstuk 5 is een lijst van deze te maken afspraken opgenomen. (5.1.1 Lijst van afspraken betreffende de uitvoering van de metingen).

In het eerste gedeelte van dit voorschrift worden de praktische handelingen, de berekeningen en de presentatie van de meetresultaten beschreven (hoofdstukken 2, 3 en 4).

Het tweede gedeelte bevat de toelichting hierop (hoofdstuk 5).

Een korte beschrijving van de OC-meting vindt men in hoofdstuk 6, de definities en omschrijvingen van de in dit voorschrift gebruikte begrippen in hoofdstuk 7.

2 WERKWIJZE

2.1 Vorbereiding OC-metingen en vastleggen meetomstandigheden

2.1.1 *lijst van handelingen*

In dit hoofdstuk worden de handelingen genoemd die moeten worden verricht bij het uitvoeren van een OC-meting. Welke handelingen dit zijn wordt gedeeltelijk bepaald door het toegepaste beluchtingsproces en de aard van het beluchtingsbassin, hetgeen weer afhangt van het toegepaste biologische zuiveringssysteem.

Het is daarom niet mogelijk hier in detail een voorschrift te geven dat zonder meer kan worden gevolgd bij elke OC-meting. Stel daarom uit de in dit voorschrift gegeven handelingen zelf een lijst samen waarin beknopt en in de volgorde van uitvoering de handelingen zijn aangegeven die speciaal betrekking hebben op een bij een bepaald beluchtingssysteem uit te voeren OC-meting.

Hiermee wordt voorkomen dat tijdens de OC-meting handelingen worden vergeten of over het hoofd gezien met het mogelijke gevolg dat een meting voortijdig moet worden gestopt of de meetresultaten niet betrouwbaar zijn of, wat nog erger is, later zelfs geheel waardeloos blijken te zijn.

Men kan een dergelijke lijst nog splitsen in twee gedeelten. De eerste lijst bevat de handelingen die veel tijd vragen en dagen of weken van te voren moeten worden uitgevoerd zoals bijvoorbeeld het bestellen van de benodigde, meestal vrij grote hoeveelheden natriumsulfiet, voorzieningen voor de sulfietdosering, het vullen van de tank met rein water, enz.

De tweede lijst bevat dan de handelingen die verricht moeten worden op de dag waarop de OC-meting wordt uitgevoerd (zie 5.1.2).

Het kan nuttig zijn op een derde lijst de kleinere zaken te vermelden die men moet meenemen om de OC-meting te kunnen verrichten.

Dit zijn, om enkele voorbeelden te noemen, zaken zoals een barometer, stopwatches, een gewone huishoudweegschaal, emmers, thermometers, meetinstrumenten, reservebatterijen voor met een batterij gevoede meetinstrumenten, schrijvers, schrijfpapier, grafiekenpapier, een zaklamp om een meter op een donkere plaats of 's-morgens vroeg of 's-avonds laat af te kunnen lezen enz. enz.

Indien men eenmaal op een zuiveringsinrichting aan het werk is, blijken deze zaken meestal moeilijk snel verkrijgbaar te zijn.

Het vastleggen van de meetomstandigheden kan plaatsvinden in tabelvorm. Hiervoor is eveneens een voorbeeld gegeven in tabel 4.

2.1.2 *voorwaarden OC-meting*

Ga na of in voldoende mate wordt voldaan aan de voorwaarden waarbinnen een OC-meting, als beschreven in dit voorschrift, slechts is toe te passen:

- Er moet worden gemeten in een afgesloten hoeveelheid water, dit betekent geen toe- of afvoer van water.
 Controleer hiertoe de volgende punten: Geen lekken in het bassin.
 Maak toe- en afvoerbuizen en verbindingen met andere bassins tijdelijk dicht. Verhoog een aanwezige overstortrand.
 Voorzie in een mogelijkheid het waterniveau te controleren.
 Meet het niveau ten opzichte van de bovenrand van het bassin of iets dergelijks, breng in het bassin een peilschaal of buiten het bassin een peilbuis aan. Deze laatste kan met een vernauwing een vertraagde aanwijzing geven, hetgeen bij een groot wateroppervlak met door de wind veroorzaakte golven of deining een groot voordeel is.

- Het opgenomen (elektrisch) vermogen moet stabiel zijn in het te onderzoeken werkgebied van de beluchter(s).
 Een registrerende wattmeter kan hierover het beste uitsluitsel geven.

- De zuurstofoverdracht vanuit de lucht naar het water moet evenredig zijn met het zuurstofdeficiet in het water en de evenredigheidsconstante (de beluchtingsconstante) moet onafhankelijk zijn van de tijd en van het zuurstofdeficiet.
 Het onafhankelijk zijn van de tijd hangt nauw samen met een constant waterniveau, een constant toerental, een constante stroom perslucht, een constant circulatiepatroon in het water en een stabiele energieafname. Een afhankelijkheid van het zuurstofdeficiet kan eventueel worden verwacht bij beluchtingssystemen waarbij met luchtbellen op zeer grote waterdiepte wordt gewerkt.

- Er moet een regelmatige circulatie zijn door het gehele bassin. Onder andere de vorm van het bassin, de onderlinge verhouding van de afmetingen, het onder water aanwezig zijn van muren en schotten kunnen aanwijzingen vormen over mogelijk te verwachten onregelmatigheden in de circulatie. Ter controle van de circulatie kunnen stroomsnelheden gemeten worden, of kan een kleurstof of een elektrochemisch snel te bepalen ion worden toegevoegd. Denk eraan dat door het toevoegen van een stof de mogelijkheid bestaat dat de bassinvloeistof niet meer voldoet aan de definitie van rein water.

- De mengprocessen in het water moeten zo snel verlopen dat de stijging van het O_2 -gehalte op een willekeurige plaats in het water geheel of grotendeels door het beluchtingsproces wordt bepaald. De mengprocessen moeten dus sneller verlopen naarmate de beluchtingscapaciteit groter en het volume water kleiner is.
 Hangt de stijging van het zuurstofgehalte mede af van het mengproces dan moet de aard van het mengproces bekend zijn of gemeten kunnen worden zodat de invloed ervan op de meetresultaten bij de berekening van de OC kan worden geëlimineerd.
 Dit is tot dusver slechts voor een beperkt aantal modellen van mengprocessen op eenvoudige wijze mogelijk.
 Bij een beluchtingssysteem met beperkte mengsnelheden moet zich bij het begin van de OC-meting een toestand hebben ingesteld waarbij er tussen de waarden van de plaatselijk aanwezige zuurstofdeficieten

onderling bepaalde, van het beschouwde beluchtingsproces afhankelijke verhoudingen bestaan. Eventueel bij het toevoegen van de natriumsulfietoplossing ontstane andere verhoudingen moeten zijn verdwenen bij het begin van de OC-meting (zie ook 5.2.2.).

- Als het beluchtingsproces plaats vindt via een groot aantal gelijke en gelijkmatig over het watervolume verdeelde beluchters of beluchtingselementen dan ondervindt de stijging van de zuurstofgehalten geen invloed van de mengprocessen, vooropgesteld dat de sulfietoplossing op een zodanige wijze werd toegevoegd dat daardoor geen verschillen in plaatselijke O_2 -gehalten zijn ontstaan. Omdat het ontstaan van kleine verschillen in zuurstofgehalten niet altijd is te voorkomen en bovendien de beluchters of beluchtingselementen niet altijd geheel gelijke beluchtingscapaciteiten hebben of niet volkomen gelijkmatig verdeeld zijn over het watervolume, is het toch nodig dat er een zekere circulatie door het gehele bassin aanwezig is.
- Als in het gehele bassin of in een gedeelte ervan slechts een geringe circulatie is terwijl de beluchters of beluchtingselementen niet gelijkmatig zijn verdeeld over het bassin of deze hebben ongelijke beluchtingscapaciteiten, dan is een meting van de OC niet goed mogelijk.

Een voorbeeld hiervan is het beluchtingssysteem waarbij de zuivering van rioolwater geschiedt volgens het principe van de "tapered aeration", een principe waarbij de opzet is dat de zuurstoftoevoer in het bassin niet overal even groot is.

Een bepaling van de OC kan wel worden uitgevoerd als het mogelijk is om, door het tijdelijk aanbrengen van tussenwanden, het bassin te verdelen in compartimenten waarin wel aan de voorwaarden voor het uitvoeren van de OC-metingen wordt voldaan. Uit de OC's van de verschillende compartimenten is dan de OC van het gehele beluchtingssysteem te bepalen.

In het geval van een gelijkmatige verdeling over het watervolume van verschillend ingestelde maar overigens gelijke beluchtingselementen (bijvoorbeeld identieke borstels met verschillende indompeling) is het soms mogelijk om deze instellingen gelijk te maken. Vervolgens kunnen bij de verschillende toegepaste instellingen OC-metingen worden verricht, waarna uit de resultaten de OC van het gehele systeem kan worden berekend.

2.1.3 *vastleggen meetomstandigheden*

- Zorg voor een barometer om de atmosferische luchtdruk te meten en voor een goede thermometer om de watertemperatuur te meten ($\pm 0,1^\circ C$).
- Meet de vorm en afmetingen van het beluchtingsbassin en noteer deze gegevens.
- Bereken het volume van het beluchte water. Leg de plaats van de beluchters of beluchtingselementen vast, noteer fabrikaat en typenummer en controleer eventueel de afmetingen.
- Beoordeel bij luchtdiffusors de graad van vervuiling door controle van de luchtweerstand of reinig de elementen vooraf.
- Voorzie in de mogelijkheid om toerentallen te meten. Het opgenomen vermogen wordt bij voorkeur continu gemeten en geregistreerd.

Gebruik voor de bepaling van het energetisch zuurstofinbrengrendement een geijkte kWh-meter om het gemiddelde vermogen over langere en kortere tijden te meten tijdens de OC-meting. Noteer de plaats waar deze meting wordt verricht.

Monteer, tenzij deze reeds aanwezig is, en indien nodig, een geijkte luchtdoorstromingsmeter om de hoeveelheid perslucht te kunnen meten. Voer dit bij voorkeur uit volgens DIN 1952 of ISO Recommendation R 541. Zorg tevens voor de mogelijkheid om de temperatuur en druk te meten zodat de stroom lucht als een volumestroom in normaal* m³ of als massastroom kan worden berekend.

Indien het meten van de volumestroom problemen oplevert kunnen eventueel proefstandgegevens van de fabrikant worden benut.

2.1.4 *vullen met rein water*

Vul het beluchtingsbassin tot het gewenste niveau met rein water. Gebruik als het kan leidingwater, anders zonodig grondwater of desnoods oppervlaktewater. Controleer van te voren het water op reinheid.

Er is om de reinheid vast te stellen geen eenvoudige test.

Er kan onder andere onderzocht worden:

- de totale hoeveelheid aan opgeloste stof (droogrest)
- het chemisch zuurstofverbruik (CZV) of kaliumpermanganaatgetal
- het gehalte aan detergents
- de oppervlaktetenspanning
- luchtbelvorming en schuimstabiliteit door middel van een vergelijkende schudproef
- vergelijkende OC-metingen op het laboratorium

Dit laatste onderzoek is het beste en bij gebruik van ander water dan drinkwater is dit een vereiste.

Voeg aan het water in het bassin zonodig chloorbleekloog toe om algengroei tegen te gaan (5 g/m³ actief chloor voldoet blijkens ervaring meestal, bij zonnig weer en bij een ondiep bassin kan echter meer nodig zijn). Zie verder de toelichting onder 5.4 betreffende rein water.

2.1.5 *voorbereiding zuurstofmeting*

De investering in tijd en chemicaliën voor een OC-meting rechtvaardigt het gebruik van goede en reserveapparatuur. Hoewel in principe slechts één zuurstofmeter nodig is voor de OC-meting is het dus toch zinvol om twee of zelfs drie meters te gebruiken zodat de kans op storingen of uitval van de zuurstofmeting wordt beperkt en een controle op de zuurstofmeetresultaten mogelijk is.

Leg de plaats(en) vast waar de zuurstofmeting zal worden uitgevoerd. Neem hiervoor een plaats waar het water goed aan de algehele circulatie deelneemt en die redelijk goed te bereiken is(zijn).

Breng wat het laatste betreft eventueel een tijdelijke voorziening aan bijvoorbeeld in de vorm van een brug. Kies geen plaats waar het water erg turbulent is en zeer veel luchtballen bevat en evenmin een

* onder normaal wordt hier verstaan bij 0°C en 101,3 kPa.

plaats waarvan kan worden verwacht dat het water er stagneert, zoals bijvoorbeeld een plaats tussen een inspringend gedeelte van de wand, een verdieping in de bodem, achter een schot of in het centrum van een cirkelvormig stromingspatroon.

Indien ter controle twee of meer meetplaatsen worden genomen, moeten hiervoor bij voorkeur geheel verschillende plaatsen worden gekozen en geen plaatsen die ten opzichte van de beluchter en ten aanzien van de geometrie van de tank symmetrisch zijn gelegen.

Breng voor de zuurstofmeting de nodige voorzieningen aan, zoals een constructie om een O_2 -membraan elektrode te bevestigen, een buis met een kraan en eventueel een pompje om het water te kunnen bemonsteren en zonodig een brug over het bassin.

2.1.6 *ijking zuurstofmeting*

Meet de barometerstand en de watertemperatuur.

Indien een zuurstofmembraan elektrode wordt gebruikt, ijk deze dan eerst in zuurstofloos water (nulpunt) en daarna de atmosferische O_2 -verzadigingswaarde in enkele liters rein water uit het bassin die bij gelijkblijvende temperatuur in contact met de atmosfeer verzadigd zijn met zuurstof (zie de toelichting onder 5.5).

Ter controle van de zuurstofmeting is het zinvol om ter plaatse continu de beschikking te hebben over een betrouwbare standaardconcentratie in de vorm van de atmosferische O_2 -verzadigingswaarde in rein water bij de bassintemperatuur. Dit is de in 7.5 onder c. aangegeven O_2 -verzadigingswaarde (zie ook 3.4.2).

Voor een precieze bepaling van de overdruk Δp die optreedt in het beluchtingssysteem ten gevolge van de hydrostatische druk op de luchtbellen is het meten van deze referentiewaarde onontbeerlijk.

Bepaal, indien daarover twijfel bestaat, de responsie en/of de lineariteit van het meetsysteem.

Meet, wanneer voor de O_2 -metingen de Winkler-methode wordt gebruikt, met deze methode de hierboven aangegeven atmosferische O_2 -verzadigingswaarde.

2.1.7 *waterniveau beluchtingsbassin*

Controleer, alvorens het beluchtingsproces te starten, het waterniveau en breng eventueel het niveau opnieuw op de gewenste waarde. Breng bij gebruik van oppervlaktebeluchters eveneens de indompeldiepte op de gewenste waarde. Bij oppervlaktebeluchters die niet in hoogte verstelbaar zijn moet het waterniveau worden aangepast.

Houd, in het bijzonder als de capaciteit van de waterleiding gering is, een zekere hoeveelheid rein water, bijvoorbeeld in een nabezinktank, in reserve.

2.1.8 *stabilisatie procesomstandigheden*

Start het beluchtingsproces onder de gewenste condities. Kies, zo er keuze is, bij een oppervlaktebeluchter het gewenste toerental en de gewenste draairichting, bij persluchtbeluchting de gewenste luchtstroom. Zet het beluchtingsproces enige uren voort alvorens de eigenlijke OC -metingen uit te voeren. Dit in verband met het op temperatuur

laten komen van lagers, van vet of olie in de tandwielkasten, van de luchtcompressor enz. en voor het verkrijgen van de definitieve circulatie in het bassin.

Gebruik deze tijd om het als katalysator voor het ontzuurstoffen met natriumsulfiet benodigde cobaltzout toe te voegen.

Voeg 0,15 g per m³ Co⁺⁺-ionen, dat is 0,69 g CoCl₂.6 aq per m³ rein water, verdeeld over het bassin, toe.

Bij uitvoeringen van meer OC-metingen in hetzelfde water behoeft alleen voor de eerste meting cobaltzout te worden toegevoegd.

Na een half uur à één uur kunnen, indien nodig, stroomsnelheden in het water worden gemeten. De gemiddelde stroomsnelheid in de lengterichting moet bij langgerekte bassins, waarbij de vloeistof rondstroomt in ieder geval bekend zijn voordat de OC-metingen kunnen worden uitgevoerd (oxydatiesloten, carrousel).

De stroomsnelheden worden verricht over een dwarsdoorsnede van het circuit waar zo min mogelijk wervels optreden. De dwarsdoorsnede wordt in gelijke oppervlakken verdeeld en in het midden van ieder oppervlak worden stroomsnelheidsmetingen verricht. Het gemiddelde van de verkregen stroomsnelheden is de gemiddelde stroomsnelheid.

Het bij het beluchtingsproces opgenomen vermogen en de variaties daarin kunnen eveneens worden bepaald.

2.1.9 *Het meten van de zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingsstelsel (c_s , systeem)*

Monteer voor de zuurstofmeting ter bepaling van $t_{g\alpha}$ de membraan-elektrode op de van te voren bepaalde meetplaats.

Na enige uren beluchten zal in het algemeen het water de O₂-verzadigingswaarde van het beluchtingsstelsel bij de heersende temperatuur en atmosferische druk hebben verkregen (zie hoofdstuk 7.5 definitie d.).

De tijd die hiermee is gemoeid bedraagt minimaal $t = 3 t_{g\alpha}^{-1}$. Deze tijd is globaal te berekenen uit de geschatte waarden voor de OC en voor de zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingsstelsel:

$$t = 3 t_{g\alpha}^{-1} = 6,9 V.c_s.O.C^{-1}.$$

Meet deze verzadigingswaarde, de barometerstand en de watertemperatuur. Deze verzadigingswaarde zal worden gebruikt bij de berekening van het zuurstofdeficiet. Herhaal nu de meting van de atmosferische verzadigingswaarde volgens 2.1.6 ter bepaling van Δp van het beluchtingsstelsel en ter controle van de stabiliteit van de zuurstofmeting.

Monteer hierna de zuurstofelektrode weer op de meetplaats.

2.1.10 *controle randvoorwaarden*

Ga na of nu aan alle hiervoor genoemde randvoorwaarden is voldaan.

2.1.11 *verwijdering opgeloste zuurstof*

Verwijder zonder het beluchtingsproces te stoppen, tenzij de stromingscondities op een andere wijze worden gehandhaafd, de in het water opgeloste zuurstof door het toevoegen van een natriumsulfietoplossing.

Het eerder toegevoegde cobaltzout werkt hierbij als een katalysator. Het Na_2SO_3 moet in een zodanige hoeveelheid en in een zodanige tijd worden toegevoegd dat tijdelijk een zekere overmaat Na_2SO_3 in het water aanwezig is.

De toegevoegde sulfietoplossing moet uiteindelijk regelmatig zijn verdeeld over het gehele volume water. Het vereist enige zorg, om dat bij oxydatiesloten en carrousel's te bereiken. De sulfietoplossing moet bij die beluchtingssystemen in gelijke en constante volumestromen op drie, vier of vijf regelmatig over het bassin verdeeld gelegen punten worden gedoseerd in de tijd die de watermassa nodig heeft om eenmaal het bassin rond te gaan.

Nodig zijn een bak of tank met een aan het beluchtingssysteem aangepaste inhoud, een roerapparaat, een pomp, buizen, slangen en eventueel een verdeelinrichting.

Test de sulfietdoseerinrichting zonodig eerst op juiste werking met water zonder sulfiet.

Ga voor het ontzuurstoffen als volgt te werk:

a. indien het bewuste beluchtingssysteem geen oxydatiesloot of carrousel is maar een systeem met complete menging, dan kan de doseertijd van het via een verdeelinrichting toe te voegen natriumsulfiet afhankelijk van de pompcapaciteit op 2 à 3 minuten worden gesteld. Eventueel kan tijdens het doseren tijdelijk een lager luchtdebiet worden ingesteld. Voor carrousel's en oxydatiesloten dient de omlooptijd van het circuit berekend te worden.

Deze is de ontwikkelde circuitlengte in meters gedeeld door de gemiddelde stroomsnelheid in m.s^{-1} .

b. Bereken de naar schatting theoretisch benodigde hoeveelheid natriumsulfiet als volgt:

- benader de te verwachten zuurstofinbreng gedurende de doseertijd t uitgedrukt in seconden;

- stel de zuurstofconcentratie in de installatie bij oppervlaktebeluchters voorlopig gelijk aan de bij de gemeten temperatuur en druk behorende verzadigingswaarde c_s volgens tabel 1.

Voor persluchtbeluchting moet de tabelwaarde worden verhoogd met een percentage dat globaal gelijk is aan vijfmaal de hoogte in meters van het vloeistofniveau boven de beluchtingselementen.

De te verwijderen hoeveelheid zuurstof bedraagt dan:

$$Q = (OC \cdot t + V \cdot c_s) \quad (1)$$

Waarin:

Q = massa zuurstof (g O_2)

OC = de geschatte OC ($\text{g O}_2/\text{s}$)

t = de doseertijd (s)

V = het bassinvolume (m^3)

c_s = de aangenomen verzadigingswaarde van het beluchtingssysteem (g/m^3)

Hiervoor is een hoeveelheid natriumsulfiet met kristalwater nodig van zestienmaal de hoeveelheid weg te nemen zuurstof of, indien wordt uitgegaan van watervrij natriumsulfiet, achtmaal deze hoeveelheid.

- c. Voor een goede uitvoering van de metingen is bovendien een overmaat natriumsulfiet gewenst van 20% à 30%.
- Maak met water, dat aan de installatie is onttrokken een natriumsulfietoplossing, die dus tenminste 1,2-maal de hierboven theoretisch berekende hoeveelheid natriumsulfiet bevat. Hierbij wordt 1 kg $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ opgelost in ca. 4 dm³ water of 1 kg Na_2SO_3 watervrij, opgelost in ca. 9 dm³ water. In het bijzonder wanneer uitgegaan wordt van watervrij natriumsulfiet moet tijdens het oplossen zeer goed geroerd worden om te voorkomen dat de sulfiet gaat klonteren en een bijna niet meer op te lossen harde koek op de bodem van de tank vormt.
- d. Neem een monster van ten minste 100 cm³ water uit de beluchtingsruimte en gebruik dit als blanco, als voorbereiding op de test op restsulfiet.
- e. Doseer vervolgens de natriumsulfietoplossing gelijkmatig in de berekende doseertijd.

2.1.12 *aanvang zuurstofmetingen*

Er worden nu zuurstofbepalingen gedaan om het moment te kunnen bepalen waarop het zuurstofgehalte van het circulerende water - dat aanvankelijk nul is - weer begint op te lopen. Op dat moment wordt er een monster water van 100 cm³ genomen en hierin direct de hoeveelheid restsulfiet bepaald.

Noteer nu tevens de stand van de kWh-meter van het beluchtingssysteem en het tijdstip van de meteropname voor de bepaling van het gemiddeld opgenomen vermogen (zie 5.3).

Bij zuurstofmetingen met behulp van een elektrode is het tijdstip van de monsterneming (voor de restsulfietbepaling) direct af te lezen op de meter of de schrijver.

Wordt het zuurstofgehalte door middel van de Winkler-methode bepaald dan moet een groot aantal monsters worden genomen. Zodra de kleur van het neerslag dat na de toevoeging van de reagentia ontstaat van wit begint af te wijken is er zuurstof aanwezig in het water en kan het monster genomen worden voor de sulfietbepaling.

2.1.13 *bepaling restsulfiet*

De bepaling van restsulfiet gaat als beschreven onder 5.6.

Wordt per 100 cm³ water boven het bepaalde blanco verbruik meer dan 0,3 cm³ 0,005 mol/dm³ jodiumoplossing verbruikt, herhaal dan de test op sulfiet nog een- of tweemaal. Is er bij een O₂-gehalte van circa 1,5 g/m³ nog zoveel sulfiet aanwezig dat meer dan de hierboven genoemde hoeveelheid jodiumoplossing wordt verbruikt dan reageert de sulfiet kennelijk niet snel met de opgeloste zuurstof.

De OC-meting kan nu niet worden voortgezet. Er moet eerst naar de oorzaak van de trage reactie worden gezocht en deze moet worden opgeheven. Het meest waarschijnlijk is dat verzuimd werd cobalt toe te voegen: alsnog cobalt toevoegen.

Het is ook mogelijk dat het water storende verontreinigingen bevat die nog niet eerder zijn opgemerkt omdat bijvoorbeeld geen beluchtingsproef plaatsvond op laboratoriumschaal ter controle van de rein-

heid van het water: het water vervangen.
Is per 100 cm³ water het verbruik aan jodium gelijk aan of minder dan bovengenoemde hoeveelheid dan kan het restgehalte aan sulfiet worden verwaarloosd. De OC-meting kan en moet nu direct worden voortgezet.

2.2 Zuurstofmetingen ter bepaling van $t_{g\alpha}$

2.2.1 *registrerende zuurstofmeter*

Indien gebruik wordt gemaakt van een registrerende zuurstofmeter zet de beluchtingsproef tenminste zolang voort tot het zuurstofgehalte in de beluchtingsruimte een waarde heeft bereikt die groter is dan 70% van de verzadigingsconcentratie *van het beluchtings-systeem*, behorende bij de gemeten temperatuur en luchtdruk (reeds gemeten of geschatte waarde).

Controleer of het opgenomen vermogen of de persluchtstroom constant blijft en noteer bij 70% van bovengenoemde c_s nogmaals de kWh-meterstand en de tijd.

Noteer de barometerstand en de watertemperatuur tijdens de OC-meting en bij het meten van de zuurstofverzadigingswaarde.

In verband met de bepaling van de zuurstofverzadigingswaarde *van het beluchtingssysteem* bij de heersende temperatuur en luchtdruk verdient het aanbeveling om de beluchting vervolgens zolang voort te zetten tot er geen aantoonbare stijging van het zuurstofgehalte meer plaatsvindt. Dit om de juiste waarde van de zuurstofverzadigingswaarde *van het beluchtingssysteem* experimenteel te verkrijgen, zeker indien dit op dezelfde dag nog niet eerder is gebeurd (zie 2.1.9).

2.2.2 *aanwijzende zuurstofmeter*

Indien gebruik wordt gemaakt van een zuurstofmeter zonder schrijver: noteer met korte regelmatige tussenpozen het op de meter afgelezen zuurstofgehalte met het bijbehorende tijdstip.

Zorg ervoor dat minstens 10 à 15 waarnemingen worden verricht binnen het traject van 20% tot 70% van de zuurstofverzadigingsconcentratie *van het beluchtingssysteem*. Beëindig de waarnemingen zodra het zuurstofgehalte in de installatie ruim boven de 70% van de verzadigingswaarde is gestegen. Zie voor verdere handelingen onder 2.2.1.

2.2.3 *chemische zuurstofbepaling*

Wanneer gemeten wordt met de chemische zuurstofbepaling volgens Winkler: neem met korte regelmatige tussenpozen monsters en noteer hiervan het monsternummer en het bijbehorende tijdstip.

Zorg ervoor minstens 10 à 15 monsters te krijgen binnen het traject tussen 0,2 c_s en 0,7 c_s , systeem.

Beëindig de monsterneming wanneer het zuurstofgehalte ruimschoots meer bedraagt dan 70% van de verzadigingsconcentratie.

Zie voor verdere handelingen onder 2.2.1.

3 BEREKENINGEN

3.1 Voorbereiding

De gemeten oplopende zuurstofgehalten worden met de bijbehorende tijden en eventuele monsternummers opgenomen in een tabel (zie als voorbeeld tabel 3). Bij het overnemen van continu geregistreeerde waarden kunnen kortstondige, kleine regelmatige of onregelmatige fluctuaties worden geëlimineerd door het aanbrengen van een vloeiend verlopende lijn die zo goed mogelijk het voortschrijdende gemiddelde weergeeft van het toenemende O_2 -gehalte. Bij een beluchtingsproces met een t.o.v. $tg\alpha^{-1}$ traag verlopende menging kunnen, in het bijzonder als de sulfietoplossing niet goed verdeeld is gedoseerd, de fluctuaties in het toenemen van het O_2 -gehalte vrij groot zijn, zelfs zo groot dat de verkregen gegevens niet bruikbaar zijn voor berekeningen. Het is dan nodig de metingen te herhalen met een betere verdeling van de dosering van de sulfietoplossing.

De in de tabel genoteerde waarden worden ter verkrijging van de deficietwaarden ($c_s - c_t$) afgetrokken van de bij de beproeving gemeten zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem (zie 2.1.9 en 2.2.1).

Deze deficietwaarden nemen exponentieel af met de tijd volgens de vergelijking:

$$(c_s - c_t) = (c_s - c_{t=0}) 10^{-tg\alpha \cdot t} \quad (2)$$

of:

$$-\log(c_s - c_t) = tg\alpha \cdot t - \log(c_s - c_{t=0}) \quad (3)$$

waarbij $t=0$ een willekeurig te kiezen tijdstip is in het tijds-traject waarbij de zuurstofconcentratie een waarde heeft tussen de 15 en 20% van $c_{s, \text{systeem}}$.

Daar het in deze vergelijking gaat om de relatieve afname van het zuurstofdeficiet met de tijd, is het mogelijk om de deficietwaarden vooraf te normeren door ze uit te drukken als gedeelte van het maximale deficiet, dus als

$$\frac{(c_s - c_t)}{c_s} \quad \text{en} \quad \frac{(c_s - c_{t=0})}{c_s}$$

Ook kan het deficiet als *percentage* van het maximale deficiet, dat is

$$\text{als} \quad \frac{(c_s - c_t)}{c_s} \times 100\% \quad \text{en} \quad \frac{(c_s - c_{t=0})}{c_s} \times 100\%$$

worden aangegeven. Als de zuurstofmeter of de schrijver waarmee het zuurstofgehalte wordt geregistreeerd, voor de beproeving op 100% wordt gecalibreerd met het verzadigde water van het beluchtingssysteem (zie 2.1.9 en 2.2.1), dan kan het O_2 -gehalte direct als een percentage van deze c_s worden afgelezen. Bij voorkeur gebruikt men bij deze werkwijze een zuurstofmeter die uitgerust is met een %-schaal en de daarbij behorende temperatuurcompensatie. Als de relevante gegevens van de beproeving bij de grafiek worden vermeld kan het maken van een ta-

bel achterwege blijven.

Een voordeel van de normering is bijvoorbeeld dat bij de in de 3.2.2 genoemde bepalingmethode van $t_{g\alpha}$ altijd kan worden gewerkt met een halflogaritmische grafiek van één decade.

In de tabel kunnen naast de waarden van $(c_s - c_t)$ ook de waarden van $\log(c_s - c_t)$ of nog beter van $\log c_s / (c_s - c_t)$ worden vermeld. In het laatste geval wordt een reeks positieve met de tijd in grootte toeneemende getallen verkregen.

3.2 de bepaling van $t_{g\alpha}$

3.2.1 *algemeen*

De waarden van $-\log(c_s - c_t)$ tegen de tijd t in een grafiek uitgezet vormen een rechte lijn met een helling $t_{g\alpha}$. De grootte van $t_{g\alpha}$ hangt af van de beluchtingsconstante k , het volume V van het water en het mengproces in het water.

De dimensie van $t_{g\alpha}$ is T^{-1} . Van belang is dat de gehanteerde tijds-eenheid bij alle volgende berekeningen dezelfde is, bijvoorbeeld $t_{g\alpha}$ uitdrukken in s^{-1} , k in $m^3 \cdot s^{-1}$ en de OC in $g \cdot s^{-1}$.

$T_{g\alpha}$ kan men zien als de reciproke van de tijdconstante van het beluchtingssysteem (d.w.z. van de combinatie van de beluchter(s) en de tank met water). De grootte van $t_{g\alpha}$ is gelijk aan de reciproke waarde van de tijd waarin het zuurstofdeficiet een factor 10 kleiner wordt. Bijvoorbeeld als het zuurstofgehalte van 0 naar 90% van c_s , van 12% naar 91,2% van c_s of van 90% naar 99% van c_s toeneemt.

$T_{g\alpha}$ kan in beginsel worden berekend uit twee op de tijden t_1 en t_2 gemeten zuurstofgehalten en de *versadigingswaarde van het beluchtingssysteem* met de vergelijking:

$$t_{g\alpha} = \frac{1}{t_2 - t_1} \log \frac{(c_s - c_{t_1})}{(c_s - c_{t_2})} \quad (4)$$

Voor het verkrijgen van een nauwkeurige uitkomst moeten echter meer zuurstofconcentraties bij de bepaling van $t_{g\alpha}$ worden betrokken volgens een van de volgende methoden.

3.2.2 *grafische bepaling van $t_{g\alpha}$*

De deficietwaarden zelf of de genormeerde waarden ervan worden op de logaritmische as van een halflogaritmische grafiek tegen de tijd uitgezet. Gebruik bij voorkeur een formaat papier waarop de logaritmische as per decade een lengte van minstens 20 cm heeft. Door de verkregen punten wordt zo goed mogelijk een rechte lijn getrokken. Daarvoor worden alleen de zuurstofgehalten tussen 0,2 en 0,7 c_s gebruikt. Vervolgens wordt de tangens bepaald van de hoek α die de rechte lijn maakt met de negatieve richting van de tijdas.

Het is ook mogelijk om de waarden van $-\log(c_s - c_t)$ of beter nog van $\log c_s / (c_s - c_t)$ in een gewone grafiek tegen de tijd uit te zetten. Dan moet de tangens van de hoek α die de lijn met de positieve richting van de tijd t maakt worden bepaald. Gebruik papier van het formaat A4 dat horizontaal en verticaal in mm's is verdeeld. Neem de korte zijde als verticale as en neem daarop per $\log 10^{0,1}$ een lengte van 20 of 25 mm.

De uitgezette meetpunten moeten afgezien vaneen willekeurige spreiding op een rechte lijn liggen.

Past bij de ligging van de reeks punten een gekromde lijn dan kan er niet tot een betrouwbaar meetresultaat worden gekomen. Tracht de oorzaak van het kromme verloop op te sporen.

Van de in de toelichting genoemde oorzaken kunnen de meeste worden uitgesloten als de beproeving volgens de voorschriften is uitgevoerd en de test- en calibratieprocedures (lineariteit van de zuurstofmeter) een bevredigend resultaat geven.

Als mogelijke oorzaken komen vooral in aanmerking het niet constant zijn van de beluchtingsconstante en een traag mengproces. Dat laatste al of niet in combinatie met een te weinig gespreide dosering van de sulfietoplossing. Een herhaling van de meetprocedure na het aanbrennen van de noodzakelijk geachte wijzigingen zal dan mogelijk wel een grafiek met een rechte lijn opleveren.

Bepaal als de stijging van het O_2 -gehalte op meerdere plaatsen is gemeten voor elke meetplaats de waarde van $tg\alpha$ afzonderlijk. Deze waarden mogen niet meer dan 5% van elkaar verschillen. Neem het gemiddelde van deze waarden als het definitieve resultaat van de bepaling van $tg\alpha$ en gebruik deze waarde voor verdere berekeningen.

Het meetresultaat wordt als onbetrouwbaar beschouwd als de diverse waarden voor $tg\alpha$ meer dan 5% verschillen. Tracht dan zoals eerder aangegeven voor het geval dat een kromme lijn wordt verkregen de oorzaak te vinden en voer daarna eventueel opnieuw metingen uit.

3.2.3 *bepaling van $tg\alpha$ met behulp van een rekenmachine (pocketcalculator, computer)*

Neem voorzover dit nog niet is gedaan de logaritmen van de O_2 -deficieten waarvan de waarden liggen tussen $0,8 c_s$ en $0,3 c_s$.

Bereken met behulp van een (zak)rekenmachine van deze logaritmen en bijbehorende tijden de regressielijn en neem de absolute waarde van de regressiecoëfficiënt als de waarde voor $tg\alpha$.

Voer deze bewerking met de meetgegevens van elke meetplaats afzonderlijk uit en neem het gemiddelde van de verkregen uitkomsten als de waarde voor $tg\alpha$ waarmee verdere berekeningen worden uitgevoerd.

Beschouw het meetresultaat als onbetrouwbaar als de op diverse meetplaatsen voor $tg\alpha$ gevonden waarden onderling meer dan 5% verschillen. Handel dan zoals aangegeven in 3.2.2.

Bij het bepalen van $tg\alpha$ met behulp van lineaire regressie kan niet goed tot uiting komen of er tussen de logaritmen van de deficieten en de tijd eventueel een niet-lineair bestaat. Zet om dit na te gaan de logaritmen van het deficiet in een grafiek tegen de tijd uit zoals aangegeven in 3.2.2. Blijkt het verband niet geheel lineair te zijn dan is de voor $tg\alpha$ berekende waarde onbetrouwbaar en moet verder gehandeld worden zoals aangegeven in 3.2.2.

3.2.4 bepaling van t_{ga} met behulp van directe registratie van de logaritme van het deficiet

Bij deze in 5.5.2 nader beschreven methode wordt direct $\log(c_s - c_t)$ tegen de tijd geregistreerd. Het verloop van de in principe rechte lijn kan door fluctuaties in de toename van het O_2 -gehalte onregelmatigheden vertonen.

Trek met behulp van een lineaal een rechte lijn die voor het oog zo goed mogelijk overeenkomt met het gemiddelde verloop dat de geregistreeerde curve heeft tussen de mantissen 0,1 en 0,55 (dat is tussen deelstreep 10 en 55 ofwel voor een stijging van het O_2 -gehalte van $0,2 c_s$ tot ruim $0,7 c_s$).

Bepaal de tangens van de hoek α die de met de lineaal getrokken lijn maakt met de links gelegen naar boven gerichte tijdas.

Tracht door de keuze van de papiersnelheid aan het begin van de proef ervoor te zorgen dat hoek α een waarde verkrijgt die ligt tussen de 30° en 60° . Bij grotere fluctuaties in het stijgende O_2 -gehalte (door trage menging en een niet goed gespreide dosering van de sulfietoplossing) neemt de nauwkeurigheid van het meetresultaat af. Herhaal zondig de meting met een betere dosering.

Bepaal als op meerdere plaatsen is gemeten het gemiddelde van de voor t_{ga} gevonden waarden en voer daarmee de verdere berekeningen uit.

Het meetresultaat moet als onbetrouwbaar worden beschouwd als de geregistreeerde curve tussende mantissen 0,1 en 0,55 een kromming vertoont. Dit geldt eveneens als de op verschillende meetplaatsen voor t_{ga} gevonden waarden meer dan 5% verschillen. Handel dan zoals aangegeven in 3.2.2.

Bij het direct registreren van de logaritme van het deficiet moet de O_2 -verzadigingswaarde van te voren nauwkeurig worden bepaald.

De meting van de verzadigingswaarde na de beproeving dient dan als controle. Het verdient aanbeveling om het signaal van de O_2 -meter zelf (dus het O_2 -gehalte) ook lineair te registreren, zodat dit ook altijd nog beschikbaar is.

3.3 De berekening van de beluchtingsconstante uit $\text{tg}\alpha$

Voor de berekening van de beluchtingsconstante onder de beproevingsomstandigheden, k_T , zal in dit voorschrift worden uitgegaan van drie situaties.

a. situatie met *ideale menging*

Bijvoorbeeld een enkel vierkant beluchtingsbassin met oppervlaktebeluchters of persluchtbeluchting. Hiervoor geldt:

$$k_T = 2,3.V.\text{tg}\alpha \quad (5)$$

Hierin is V het volume van het beluchte reine water (m^3).

b. situatie met een *ideale propstroom* (ideale opschuiving) in een in zich zelf gesloten kanaal waar bij n dwarsdoorsneden beluchting plaats vindt. Dit is bijvoorbeeld het geval in een oxydatiesloot met borstelbeluchter(s). Hierbij geldt voor de som van alle beluchtingsconstanten

$$k_T = n.q. \left(1 - 10^{-\frac{V}{nq} \text{tg}\alpha} \right) \quad (6)$$

of:

$$k_T = 2,3.V.\text{tg}\alpha \left\{ 1 - 1,15 \frac{V}{nq} \text{tg}\alpha + 0,9 \left(\frac{V}{nq} \text{tg}\alpha \right)^2 \right\} \quad (7)$$

waarin: V = het totale volume water (m^3)

q = de volumestroom water die een dwarsdoorsnede passeert ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Voorwaarde is dat $V/q \text{tg}\alpha$ kleiner is dan 0,2 en dat de beluchtingsconstante van de op de dwarsdoorsneden aanwezige beluchters of beluchtingselementen onderling in grootte niet meer dan een factor twee verschillen.

c. situatie met *ideale menging en ideale propstroming*

Het water circuleert in een circuit dat bestaat uit afwisselend een gedeelte waarin de beluchting plaats vindt en waarin de menging ideaal is en een gedeelte waarin een ideale propstroming bestaat.

Dit is het geval in een zogenaamde carrousel waar de in een bocht dicht tegen het einde van de tussenwand geplaatste verticale-asbeluchter het water ter plaatse mengt en belucht en tevens het water door de rechte gedeelten stuwt. Hier geldt voor de som van de beluchtingsconstanten van de verticale-asbeluchters:

$$k_T = 2,3 \text{tg}\alpha . n . V_{\text{meng}} + nq(10^X - 1) \quad (8)$$

of:

$$k_T = 2,3 \operatorname{tg}\alpha \cdot V_{\text{tot.}} \left\{ 1 + \left(1 - \frac{nV_{\text{meng}}}{V_{\text{tot.}}} \right) (1,15X + 0,9X^2) \right\} \quad (9)$$

Waarin:

$$X = \frac{V_{\text{tot.}} - nV_{\text{meng}}}{nq} \cdot \operatorname{tg}\alpha$$

$V_{\text{tot.}}$ = het volume van het water in het gehele circuit (m^3)

V_{meng} = het volume van het water in één gemengd en belucht gedeelte (m^3)

n = het aantal gemengde gedeelten met beluchter

q = de volumestroom water die een dwarsdoorsnede van het circuit passeert ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Voorwaarde is dat $\frac{V_{\text{tot.}} - nV_{\text{meng}}}{q} \cdot \operatorname{tg}\alpha$ kleiner is dan 0,2 en dat de gemengde gedeelten praktisch gelijke volumina hebben en de erin aanwezige beluchttingscapaciteiten eveneens praktisch gelijk zijn (zie voor k_T ook 5.2.4).

Opmerking: in de praktijk zullen beluchtingssystemen kunnen voorkomen waarvan de mengtoestand niet overeenkomt met die van de genoemde situaties.

In deze gevallen zal ofwel een benadering met één van de beschreven modellen moeten worden gemaakt ofwel zal een nieuwe formule voor de betreffende mengtoestand moeten worden afgeleid. Dat laatste is in het algemeen echter geen eenvoudige zaak (zie 5.2.3).

3.4 De berekening van de standaard OC

3.4.1 *de beluchttingsconstante k*

De gevonden beluchttingsconstante k_T van het beluchtingssysteem onder de beproevingsomstandigheden dient voor de berekening van de standaard OC te worden omgerekend naar de standaardbeluchttingsconstante bij 10°C en $101,3 \text{ kPa}$ (1013 mbar).

In de literatuur worden verschillende temperatuurcorrecties gehanteerd. Zolang hierover nog geen beter inzicht is verkregen wordt in dit voorschrift de invloed van de temperatuur in rekening gebracht met behulp van de formule:

$$k_{10} = k_T \cdot 1,019^{10-T} \quad (10)$$

Hierbij is T de temperatuur in $^\circ\text{C}$.

NB. Indien om een of andere reden de voorkeur wordt gegeven aan het gebruik van een andere in de literatuur vermelde temperaturomrekenfactor, dan is het belangrijk dat deze omwille van de vergelijkbaarheid expliciet wordt vermeld tesamen met de temperatuur waarbij de meting is verricht.

De invloed van de afwijkingen van de standaard atmosferische luchtdruk op k is bij oppervlaktebeluchters te verwaarlozen. Bij persluchtbeluchting zijn twee gevallen te onderscheiden. Bij een persluchtbeluchting waarbij de *massastroom* perslucht *constant* wordt gedacht zal het aantal bellen dat per tijdseenheid wordt gevormd omgekeerd evenredig zijn met de som van de atmosferische luchtdruk p_B en de hydrostatische druk p_H ter plaatse van de beluchtingselementen. Verder is, als wordt aangenomen dat de stijgsnelheid van de bellen constant is en de bellen zich niet delen of verenigen, het aantal bellen dat in het water aanwezig is evenredig met de waterdiepte dus met p_H , terwijl de expansie van de opstijgende bellen afhangt van p_H en p_B . Wordt ervan uitgegaan dat k evenredig is met het gezamenlijk oppervlak van de bellen dan is af te leiden dat k evenredig is met: $1 - (p_B)^{1/3} \cdot (p_B - p_H)^{-1/3}$.

Voor een waterdiepte tot omstreeks 5 meter geldt dan bij benadering:

$$k_{101,3} = k_{p_B} \cdot \frac{p_B + 0,63p_H}{101,3 + 0,63p_H} \quad (11)$$

Hierin is k_{p_B} de beluchtingsconstante van een persluchtbeluchtings-systeem bij de atmosferische luchtdruk p_B en $k_{101,3}$ de beluchtingsconstante van dat persluchtbeluchtingssysteem bij een atmosferische luchtdruk van 101,3 kPa en overigens gelijke condities.

Het is gebruikelijk om de stroom perslucht in normaal- m^3 per seconde te berekenen en op te geven. Het (in gedachten) onder standaardcondities uitvoeren van de OC-meting met gebruik van het zelfde aantal normaal- m^3 perslucht per seconde komt overeen met het constant houden van de massastroom perslucht.

Wordt bij een persluchtbeluchting de *volumestroom* perslucht (de door de luchtcompressor aangezogen volumestroom lucht) *constant* gehouden dan geldt:

$$k_{101,3} = k_{p_B} \cdot \frac{1 + 0,63 \cdot \frac{p_H}{p_B}}{1 + 0,63 \cdot \frac{p_H}{101,3}} \quad (12)$$

3.4.2 de verzadigingswaarde c_s

De gemeten zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem onder de beproevingsomstandigheden dient voor de berekening van de standaard OC te worden omgerekend naar de zuurstofverzadigingswaarde die met het beluchtingssysteem wordt verkregen bij de beluchting van zuiver water bij 10°C en 101,3 kPa.

In het algemeen hebben we bij een beluchtingssysteem, ten gevolge van de hydrostatische druk op de luchtbelletjes, te maken met een extra druk Δp boven de atmosferische druk die leidt tot een oververzadiging t.o.v. water dat in evenwicht is met de atmosferische luchtdruk.

Bij het in rekening brengen van deze Δp voor de zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem dient in principe rekening gehouden

te worden met de waterdampdruk.

De zuurstofverzadigingswaarde van een beluchtingssysteem onder de standaardcondities is gelijk aan:

$$c_s = 11,3 \cdot \frac{101,3 - 1,2 + \Delta p}{101,3 - 1,2} \quad (\text{g/m}^3) \quad (13)$$

Hierbij is: 11,3 g/m³ de atmosferische zuurstofverzadigingswaarde bij 10°C en 101,3 kPa in zuiver water (tabelwaarde)
1,2 kPa de druk van de verzadigde waterdamp bij 10°C.

Deze zuurstofverzadigingswaarde onder standaardcondities kan zonder bezwaar gelijk worden gesteld aan:

$$c_s = 11,3 \cdot (1 + 0,01 \Delta p) \quad (\text{g/m}^3) \quad (14)$$

Bij oppervlaktebeluchters is Δp in het algemeen kleiner dan 1 kPa, zodat hierbij de zuurstofverzadigingswaarde onder standaardcondities gelijkgesteld kan worden aan 11,3 g/m³.

Bij persluchtbeluchting is Δp globaal gelijk aan $0,5p_H$, waarbij p_H de hydrostatische druk is ter plaatse van de beluchtingselementen. Daar de hydrostatische druk ter plaatse van het wateroppervlak gelijk is aan nul wil dit dus zeggen dat Δp wordt gelijkgesteld aan de gemiddelde hydrostatische druk boven de beluchtingselementen.

Bij een nauwkeurige bepaling zal Δp algemeen kleiner blijken te zijn dan $0,5p_H$, afhankelijk van p_H (t.g.v. de oppervlaktevergroting van de opstijgende luchtbel) en het luchtdebiet (de invloed van de turbulentie en menging).

Δp kan experimenteel worden bepaald uit een vergelijking van de verzadigingswaarde van het door het beluchtingssysteem verzadigde rein water ($c_{s,\text{stelsel}}$, zie 7.5 def. d) en de verzadigingswaarde van dat rein water die bij dezelfde temperatuur in evenwicht is met de bestaande atmosferische luchtdruk ($c_{s,\text{atmosferisch}}$, zie 7.5 def. c).

$$\text{Dan geldt: } \Delta p = \left(\frac{c_{s,\text{stelsel}}}{c_{s,\text{atmosferisch}}} - 1 \right) (p_B - p_{H_2O}) \quad (15)$$

Hierin is p_B de atmosferische luchtdruk in kPa en p_{H_2O} de verzadigde waterdampspanning bij de temperatuur van het water in het bassin (tabel 2).

De invloed van stoffen in het water, van de temperatuur en van de atmosferische luchtdruk op Δp worden verwaarloosbaar klein geacht.

Daar de waterdampdruk slechts geringe invloed heeft op de uitkomst van Δp , kan deze meestal worden verwaarloosd, zodat:

$$\Delta p = \left(\frac{c_{s,\text{stelsel}}}{c_{s,\text{atmosferisch}}} - 1 \right) p_B \quad (16)$$

De zuurstofverzadigingswaarde van een beluchtingssysteem onder standaardcondities kan dan ook direct worden berekend uit de gemeten verzadigingswaarden:

$$c_s = 11,3 \cdot \frac{c_{s, \text{ systeem}}}{c_{s, \text{ atmosferisch}}} \quad (17)$$

Deze formule komt dan in plaats van (14).

3.4.3 de standaard OC

De bij een temperatuur van 10°C en een atmosferische luchtdruk van 101,3 kPa geldende standaard OC van een beluchtingssysteem wordt verkregen door de onderdezelfde condities geldende standaard verzadigingswaarde en standaard beluchttingsconstante van dat beluchttings-systeem met elkaar te vermenigvuldigen.

Samengevat geldt dus dat de OC gelijk is aan:

a. Voor een beluchttingsproces met ideale menging :

$$11,3(1 + 0,01 \Delta p) \cdot 2,3 \cdot V \cdot \text{tg} \alpha \cdot 1,019^{10-T} \cdot Y \quad (\text{g/s}) \quad (18)$$

b. Voor een beluchttingsproces met ideale propstroming:

$$11,3(1 + 0,01 \Delta p) \cdot 2,3 \cdot V \cdot \text{tg} \alpha \cdot \left\{ 1 - 1,15 \cdot \frac{V}{nq} \text{tg} \alpha + 0,9 \left(\frac{V}{nq} \text{tg} \alpha \right)^2 \right\} \cdot 1,019^{10-T} \cdot Y \quad (\text{g/s}) \quad (19)$$

c. Voor een beluchttingsproces met deels ideale menging en deels ideale propstroom:

$$11,3(1 + 0,01 \Delta p) \cdot 2,3 \cdot V \cdot \text{tg} \alpha \cdot \left\{ 1 + \left(1 - \frac{nV_{\text{meng}}}{V} \right) (1,15X + 0,9X^2) \right\} \cdot 1,019^{10-T} \cdot Y \quad (\text{g/s}) \quad (20)$$

Verklaring bij formules 18, 19 en 20:

$$X = \frac{V - nV_{\text{meng}}}{nq} \cdot \text{tg}\alpha$$

Y = een omrekenfactor voor de atmosferische luchtdruk p_B . Voor oppervlaktebeluchters $Y = 1$
Voor beluchting met perslucht met een constante
massastroom lucht

$$Y = \frac{p_B + 0,63 p_H}{101,3 + 0,63 p_H}$$

met een constante volumestroom lucht

$$Y = \frac{1 - 0,63 p_H/p_B}{1 - 0,63 p_H/101,3}$$

Δp = de luchtdruk die behoort bij de oververzadigingswaarde die een beluchtingssysteem heeft ten opzichte van de verzadigingswaarde die in evenwicht is met de atmosferische luchtdruk p_B (kPa)

p_B = de atmosferische luchtdruk tijdens een OC-meting (kPa)

p_H = bij beluchting met perslucht de druk in het water ter plaatse van de beluchtingselementen (kPa)

$\text{tg}\alpha$ = de reciproke van de beluchtingstijdconstante (voor 90% verandering) van het beluchtingssysteem (bepaald uit de afneming van het relatief zuurstof-deficiet) (s^{-1})

V = totaal volume water in een beluchtingsbassin (m^3)

V_{meng} = het volume water in één van de gedeelten van het beluchtingsbassin met ideale menging (m^3)

n = het aantal plaatsen in het beluchtingsbassin waar beluchting plaats vindt

q = volumestroom water door een dwarsdoorsnede van het circuit ($m^3 \cdot s^{-1}$)

T = de temperatuur in graden celcius ($^{\circ}C$)

4 PRESENTATIE

4.1 doelstelling

De presentatie van de OC-meting kan afhankelijk van het doel van de metingen op verschillende wijzen geschieden. Voor een juiste vergelijking van het resultaat met elders verkregen OC-waarden is het belangrijk dat zo volledig mogelijke informatie beschikbaar is om eventuele verschillen in de beproevingsomstandigheden of meetmethoden te kunnen signaleren en zo mogelijk in rekening te brengen.

Met name voor wetenschappelijk onderzoek en bij garantiemetingen is het noodzakelijk dat de meetresultaten worden ondersteund door voldoende feitelijke gegevens. In de praktijk betekent dit dat vrijwel alle gegevens die zijn verzameld ten behoeve van de OC-metingen in een verslag van de metingen moeten worden opgenomen.

Onderscheid kan worden gemaakt tussen het systematisch rangschikken van *alle* relevante gegevens en berekeningen in de vorm van een *verslag van de metingen* en een samenvatting daarvan in de vorm van de *resultaten van de OC-metingen*.

De samenvatting kan onderdeel uitmaken van een verslag van de metingen, maar kan daarnaast ook afzonderlijk worden beschouwd als de meest eenvoudige vorm waarin de resultaten van de waarnemingen kunnen worden gepresenteerd. Bij het verrichten van metingen ten behoeve van de optimalisering van de werking van het beluchtingssystemen bij één bepaalde rwzi kan dan eventueel voor nadere gegevens worden volstaan met een verwijzing naar een verslag van reeds eerder verrichte metingen. Indien de resultaten uitsluitend intern voor een beheerder, fabrikant of ontwerper bedoeld zijn en de feitelijke situatie tot in details bekend is, kan de rapportage van alleen de resultaten van de OC-metingen ook voldoende informatie verschaffen.

Gemakshalve kan eventueel worden verwezen naar dit voorschrift en de daarin aanbevolen werkwijze, hulpmiddelen en verwerking van de resultaten.

4.2 verslag van de metingen

De gegevens betreffende het beluchtingssysteem, de wijze waarop de metingen zijn uitgevoerd, de condities waaronder de meetresultaten zijn verkregen, de bewerking van de meetresultaten tot het standaardzuurstoftoevoervermogen en alle andere relevante gegevens behoren in het verslag van de metingen te worden vermeld.

Een duidelijke definitie van de begrippen: indompeldiepte, stotend of slepend draaien van een beluchter, normaal m^3 , het bruto en nettovermogen en de plaats en de richting van de gemeten stroomsnelheden is tevens gewenst.

Indien omrekenfactoren worden ontleend aan gegevens van fabrikanten (bijvoorbeeld het rendement van motoren en reductiekasten en het debiet van compressoren) dient de bron duidelijk te worden vermeld.

Het standaardzuurstoftoevoervermogen in g.s^{-1} kan eventueel omgerekend worden per m^3 bassininhoud ($\text{g.s}^{-1}.\text{m}^3$), of worden uitgedrukt als standaardzuurstoftoevoervermogen per strekkende meter rotorlengte, of als standaardzuurstoftoevoervermogen per (normaal) m^3s^{-1} lucht, of per meter beluchtingsbuis, of als een benutting (in procenten) van de in de perslucht aanwezige zuurstof of per eenheid opgenomen (elektrisch) vermogen. Dit laatste is het energetisch zuurstofinbrengrendement ($\text{g.s}^{-1}.\text{kW}^{-1}$). Dit is tevens gelijk aan het aantal grammen zuurstof dat per eenheid van de aan het beluchtingssysteem toegevoerde energie (kJ) onder standaardcondities wordt opgelost bij een zuurstofgehalte van nul g/m^3 .

4.3 resultaten van de OC-metingen

De resultaten van de OC-metingen dienen in compacte vorm een indruk te geven van de aard en kwaliteiten van het beluchtingssysteem. De belangrijkste resultaten uit het verslag moeten hierin terug te vinden zijn met een verwijzing naar de gevolgde methodiek.

Indien de verslaglegging van de OC-metingen beperkt blijft tot de rapportage van de resultaten van de OC-metingen, dan is een verwijzing naar de bron voor nadere gegevens gewenst. Vooral indien na enige jaren een meting wordt herhaald is het belangrijk om te kunnen zien of de situatie ongewijzigd is gebleven, hierbij kunnen bijvoorbeeld nummers van tekeningen van de rwzi en een eenvoudig dossier, waarin de gegevens zijn bewaard, van betekenis zijn.

5 TOELICHTING

5.1 werkwijze

5.1.1 *Lijst van afspraken betreffende de uitvoering van de metingen (voorbeeld)*

Het verdient aanbeveling om de volgende punten, resultaten van het overleg tussen uitvoerder en belanghebbenden, schriftelijk vast te leggen voordat de metingen worden uitgevoerd.

1. De metingen zullen worden uitgevoerd aan het volgende beluchtings-systeem:
Het beluchtingsstelsel zal geïdealiseerd worden voorgesteld op de volgende wijze:
Ideale menging treedt op in het volgende gedeelte : (m³)
Ideale propstrooming treedt op in: (m³)
2. De kwaliteit van het rein water dient te voldoen aan de volgende criteria :
3. De maximale watertemperatuur waarbij nog gemeten mag worden bedraagt °C. De minimale watertemperatuur bedraagt °C.
De temperatuurcorrectiefactor bedraagt :
4. De zuurstofmetingen zullen worden uitgevoerd op de volgende punten :
5. De metingen zullen worden uitgevoerd bij de volgende instellingen:
(indompeling resp. luchtdebiet).

Bij afwijkingen van deze afspraken zal overleg plaatsvinden tussen de uitvoerder en de belanghebbenden omtrent de te volgen procedure.

5.1.2 *Lijst van handelingen (voorbeeld)*

De hierna volgende lijst laat zien hoe een lijst van handelingen mogelijk zou kunnen zijn. Het is niet de bedoeling deze zonder meer over te nemen. Deze lijst is slechts bedoeld als een voorbeeld uit de praktijk; in dit geval een kleine oxydatiesloot.

1. Effluentafvoer en rioolwatertoevoerbuisc met een bal afsluiten. Schuiven naar slibbezinkingsruimte goed dichtdraaien.
2. Waterstand goed instellen (hoge waterstand 47 cm; lage waterstand 17 cm op de peilschaal). Zorgen voor de juiste demping van het water bij de instelnaald. Snelheid van lekken van het circuit controleren.
3. Rotorindompeling goed instellen. Eventuele rembalen etc. aanbrengen. Rotor starten.
4. Stroomsnelheid bepalen en doseertijd berekenen. Te doseren hoeveelheid sulfiet berekenen. Cobalt toevoegen.
5. Werking van sulfietdoseerinstallatie nagaan en de verdeling van de vier doseerpunten controleren. Sulfiet oplossen. Controleren of alles goed is opgelost.

6. O₂-electrode controleren, ijken op nulpunt en op de atmosferische verzadigingswaarde. Daarna de verzadigingswaarde van het beluchtingssysteem (c_s) meten en de meter op 100% instellen. Luchtdruk, watertemperatuur en luchttemperatuur meten.
7. Lineaire en logaritmische schrijver en de 100% spanningsbron aansluiten en de juiste spanning controleren.
8. Sulfiet toevoegen aan het water terwijl het stroomt.
9. Recorders de juiste papiersnelheid voor de OC-meting geven en deze direct op het registratiepapier noteren.
10. Stand van de kWh-meter van de rotor aflezen. Stopwatch indrukken. Daarnaast energieverbruik direct uit de rotatiefrequentie van de schijf van de kWh-meter bepalen.
11. Rotortoerental meten.
12. Op het moment dat de O₂-concentratie gaat oplopen controleren of sulfiet afwezig is.
13. Beluchten tot 70% à 80% van c_s van het beluchtingssysteem.
14. kWh-meter en stopwatch aflezen. Energieverbruik uit de rotatiefrequentie van de schijf van de kWh-meter bepalen. Gemiddeld vermogen berekenen.
15. Temperatuur van het water meten.
16. Rotortoerental meten.
17. Eventueel een monster water nemen voor de bepaling van het drogestofgehalte.
18. Rotor stoppen.
19. Nadat het water tot rust is gekomen het waterniveau controleren.
20. De rotor opnieuw starten om c_s van het beluchtingssysteem te controleren.
21. Op recorderpapier het nummer van de OC-meting, de datum, de papiersnelheid en andere gegevens aantekenen of controleren.
22. Tangens α bepalen.
23. k en de OC berekenen. Energetisch zuurstofinbrengrendement berekenen.

5.2 Voorwaarden O₂-meting

5.2.1 *de beluchtingsconstante k*

Om OC-metingen volgens dit voorschrift te kunnen uitvoeren moet aan een aantal voorwaarden zijn voldaan.

Uitgangspunt is dat voor de massastroom zuurstof, φO₂, die een beluchter of beluchtingselement in oplossing brengt geldt:

$$\phi O_2 = k(c_s - c) \quad (21)$$

Hierin is c het zuurstofgehalte in het naar de beluchter, dat is naar de verzameling luchtbelllen of luchtwatergrensvlakken stromende water en k is de beluchtingsconstante. Komen de luchtbelllen of de luchtwatergrensvlakken verspreid voor dan is c het zuurstofgehalte van het water dat tussen de luchtbelllen of luchtwatergrensvlakken aanwezig is.

k hangt nauw samen met de totale oppervlakte van de luchtwatergrensvlakken. Als de hoeveelheid luchtwatergrensvlakken om een of

andere reden met de tijd verandert, verandert ook k met de tijd. Daarnaast kan k een wijziging ondergaan door veranderingen in de turbulenties in het bij de luchtwatergrensvlakken aanwezige water of door een verandering in de naar de beluchter stromende hoeveelheden water, bijvoorbeeld doordat in het bassin een ander circulatiepatroon ontstaat.

Bij het oplossen van zuurstof vanuit een in water aanwezige luchtbel neemt het volume, dus het oppervlak van de bel en daardoor ook k af. Daar de hoeveelheid zuurstof die in oplossing gaat van $(c_s - c)$ afhangt is dus ook k van $(c_s - c)$ afhankelijk.

Als in zuurstofloos water vanuit de bel minder dan bijvoorbeeld 50% van de aanvankelijk aanwezige zuurstof in oplossing gaat is die afhankelijkheid wel te verwaarlozen. Gaat bijvoorbeeld bij zeer grote waterdiepten meer zuurstof in oplossing en gaat door de daardoor ontstane toeneming van de partiële druk van de stikstof ook dit gas nog in oplossing dan kan verwacht worden dat k merkbaar afhankelijk zal zijn van $(c_s - c)$.

Met bellenbeluchting op zeer grote diepten kan eventueel nog een ander verschijnsel optreden. Door de grote druk in de bellen kunnen op grote diepten de concentraties van zuurstof en stikstof in het water hoog worden.

Komt dit ten opzichte van de atmosferische luchtdruk sterk oververzadigde water door de circulatie op een geringe waterdiepte dan zal een spontane ontgassing, gepaard gaande met de vorming van bellen op kunnen treden. Dit verschijnsel, dat invloed zal hebben op k , zal eveneens mede afhankelijk zijn van de zuurstofconcentratie.

Dit voorschrift voor de uitvoering van OC-metingen heeft betrekking op beluchtingssystemen waarvan mag worden aangenomen dat de beluchtingsconstante werkelijk constant is.

5.2.2 de circulatie en de verdeling van de opgeloste zuurstof

Bevat een beluchtingssysteem meer beluchters of beluchtings-elementen, dan is de totale zuurstoftoevoer gelijk aan de som van de afzonderlijke zuurstoftoevoeren.

Gaan we als voorbeeld uit van een systeem dat de beluchters A, B en C bevat, die respectievelijk de beluchtingsconstanten k_A , k_B en k_C hebben en waarbij de zuurstofgehalten in het naar de beluchters stromende water respectievelijk gelijk zijn aan c_A , c_B en c_C , dan geldt:

$$\phi_{O_2} = k_A(c_s - c_A) + k_B(c_s - c_B) + k_C(c_s - c_C) \quad (22)$$

Bij een totaal watervolume V_{tot} met daarin een gemiddeld zuurstofgehalte c_{gem} . geldt:

$$\phi_{O_2} = V_{tot} \frac{dc_{gem}}{dt} = - V_{tot} \frac{d(c_s - c_{gem})}{dt} \quad (23)$$

Het op een willekeurige (meet)plaats aanwezige zuurstofgehalte geven we aan met c_M en we voeren de volgende verhoudingsfactoren in:

$$\begin{aligned}(c_s - c_M) : (c_s - c_{gem}) &= a_M \\(c_s - c_A) : (c_s - c_{gem}) &= a_A \\(c_s - c_B) : (c_s - c_{gem}) &= a_B \\(c_s - c_C) : (c_s - c_{gem}) &= a_C\end{aligned}\quad (24)$$

Voor een bepaald tijdstip t verkrijgen we uit 23 en 24 de differentiaalvergelijking:

$$\frac{d\left\{a_{M,t}^{-1}(c_s - c_{M,t})\right\}}{(c_s - c_{M,t})} = -V_{tot}^{-1} \cdot a_{M,t}^{-1} \cdot (a_{A,t} \cdot k_A + a_{B,t} \cdot k_B + a_{C,t} \cdot k_C) dt \quad (25)$$

De op het tijdstip t bestaande verhoudingen tussen de plaatselijk aanwezige zuurstofdeficieten en het gemiddelde deficiet worden bepaald door de volgende twee fenomenen:

- a. *De op een zeker aanvangsmoment, kort na het toevoegen van de natriumsulfietoplossing, ontstane zuurstofdeficietverhoudingen die geleidelijk van minder betekenis worden.*

De snelheden van de mengprocessen in het water en de tijd die er is verlopen tussen het aanvangsmoment en het tijdstip t bepalen in hoeverre de initiale verhoudingen op het tijdstip t nog een rol spelen.

Naarmate het tijdstip t verder weg ligt hebben de op het aanvangsmoment bestaande verhoudingen minder invloed, ten slotte is hun invloed geheel te verwaarlozen.

Is er op het aanvangsmoment in het water nog natriumsulfiet aanwezig dan kan dit praktisch worden beschouwd als het aanwezig zijn van een negatieve hoeveelheid zuurstof.

- b. *De verhoudingen van de zuurstofoplossnelheden en de mengsnelheden.*

De stromen zuurstof die in oplossing gaan zijn evenredig met de zuurstofdeficieten bij de beluchters, terwijl de in het water getransporteerde hoeveelheden zuurstof evenredig zijn met de verschillen tussen de plaatselijk bestaande zuurstofdeficieten.

Vanaf het moment dat de invloed van het onder a. genoemde fenomeen is te verwaarlozen wordt de onderlinge verhouding van de plaatselijk aanwezige zuurstofdeficieten alleen bepaald door de verhouding van deze twee transportprocessen.

Bewezen kan worden, en het blijkt ook uit metingen, dat dan de onderlinge verhoudingen tussen de plaatselijk aanwezige zuurstofdeficieten constant blijven en dit geldt dan dus ook voor de verhouding van de plaatselijk aanwezige zuurstofdeficieten en het gemiddelde zuurstofdeficiet.

Vanaf het moment dat a_A , a_B , a_C en a_M constant blijven kan voor (25) geschreven worden:

$$\frac{d(c_s - c_{M,t})}{(c_s - c_{M,t})} = -\frac{1}{V_{\text{tot}}} (a_A k_A + a_B k_B + a_C k_C) dt \quad (26)$$

of na integreren en invoeren van de voorwaarde dat voor $t = 0$ geldt $c_{M,t} = c_{M,0}$:

$$\log \frac{(c_s - c_{M,t})}{(c_s - c_{M,0})} = -\frac{1}{2,3} \frac{1}{V_{\text{tot}}} (a_A \cdot k_A + a_B \cdot k_B + a_C \cdot k_C) t. \quad (27)$$

of

$$\log \frac{(c_s - c_{M,t})}{(c_s - c_{M,0})} = -\frac{1}{2,3} \cdot \frac{1}{V_{\text{tot}}} \cdot \frac{1}{(c_s - c_{\text{gem},t})} \left\{ (c_s - c_{A,t}) k_A + (c_s - c_{B,t}) k_B + (c_s - c_{C,t}) k_C \right\} \cdot t \quad (28)$$

Zijn er meer beluchters of beluchtingselementen - bij persluchtbeluchting kunnen dat er honderden zijn - dan moeten de formules uiteraard met de bij die beluchters of beluchtingssystemen behorende termen worden uitgebreid.

Het tijdstip $t = 0$ moet een tijdstip zijn waarop de invloed van door het toevoegen van de natriumsulfietoplossing ontstane verschillen in de O_2 -deficieten niet meer waarneembaar is.

Uit de formules kan het volgende geconcludeerd worden:

- Het op een willekeurige plaats in het water aanwezige zuurstofdeficiet neemt exponentieel met de tijd af, of de logaritme van het op een willekeurige plaats in het water aanwezige zuurstofdeficiet neemt lineair met de tijd af.

De lijn van de logaritme van het afnemende deficiet maakt, in een grafiek tegen de tijd uitgezet, een hoek α met de negatieve richting van de tijdas.

- De grootte van de helling, $-\text{tg}\alpha$, is niet afhankelijk van de plaats waar de afname van het zuurstofdeficiet wordt gemeten

$$\text{tg}\alpha = \frac{1}{2,3} \cdot \frac{1}{V_{\text{tot}}} \cdot (a_A \cdot k_A + a_B \cdot k_B + a_C \cdot k_C) \quad (29)$$

- Om de totale beluchttingsconstante, $k_{\text{tot.}} = k_A + k_B + k_C$, van het gehele beluchtingssysteem te kunnen berekenen moeten in beginsel ofwel de verhoudingsfactoren a_A , a_B en a_C ofwel de beluchttingsconstanten k_A , k_B en k_C aan elkaar gelijk zijn. Eventueel is het ook voldoende als de onderlinge verhouding van de grootte van de beluchttingsconstanten bekend is.

- Voor de berekening van k_{tot} . moeten de waarden van a_A , a_B en a_C bekend zijn

In de praktijk moeten de OC-metingen bij een laag zuurstofgehalte - een gehalte tussen 0,15 en 0,2 c_s is daarvoor gekozen - worden begonnen. De tijd beschikbaar om de door het toevoegen van natriumsulfiet ontstane verschillen in de zuurstofdeficieten af te vlakken is dan ook vrij kort. Dit is een van de redenen waarom de circulatie in het beluchtingsbassin vrij groot moet zijn ten opzichte van de beluchtingscapaciteit.

Het toevoegen van een zekere overmaat natriumsulfiet vergroot de beschikbare afvlaktijd terwijl zowel het geleidelijk toevoegen over een zeker tijdsverloop als het gelijkmatig over het bassin verdeeld toevoegen het ontstaan van grote verschillen in de zuurstofdeficieten tegengaat.

Zijn de aanvankelijk aanwezige verschillen in de zuurstofdeficieten nog niet afgevlakt tijdens een OC-meting dan is $\log(c_s - c_{M,t})$ geen lineaire functie van de tijd en behoeft deze functie ook niet voor elke plaats in het water dezelfde te zijn.

Het gelijk moeten zijn ofwel van k_A , k_B en k_C ofwel van a_A , a_B en a_C is in de praktijk niet zo'n stringente eis. Bij onderlinge verschillen van 10% tot 20% in zowel de beluchtingsconstanten als in de verhoudingsfactoren kan zonder een grote fout te maken ($a_A k_A + a_B k_B + a_C k_C$) gelijk worden gesteld aan:

$$\frac{1}{3} \cdot (a_A + a_B + a_C) \cdot (k_A + k_B + k_C) \quad (30)$$

Naarmate de relatieve verschillen in de verhoudingsfactoren kleiner zijn mogen die in de beluchtingsconstanten groter zijn en omgekeerd. De onderlinge verhouding van beluchtingsconstanten zal eventueel vrij goed kunnen worden berekend als de door de beluchters opgenomen vermogens bekend zijn.

5.2.3 de berekening van enkele praktijkmodellen

Om de beluchtingsconstante van het gehele beluchtingssysteem uit $t_{g\alpha}$ te kunnen berekenen moeten naast het volume van het water ook de verhoudingsfactoren a_A , a_B , a_C enz. of hun som bekend zijn. In beginsel is zo'n verhoudingsfactor direct te bepalen met behulp van zuurstofmetingen. In de praktijk is dat echter in het algemeen niet zo eenvoudig uit te voeren daar, vooral voor het bepalen van het gemiddelde zuurstofgehalte, een groot aantal zuurstofmetingen gelijktijdig moet worden verricht.

In dit voorschrift worden de verhoudingsfactoren niet direct gemeten maar er wordt uitgegaan van berekeningen op basis van het bekend zijn van het circulatiepatroon. Ook dit gaat in het algemeen niet zo eenvoudig daar elke verhoudingsfactor zowel afhangt van alle stromingen en alle beluchtingscapaciteiten die in het bassin aanwezig zijn als van de vorm, de dwarsdoorsneden en de inhoud van gedeelten van het bassin.

De meeste momenteel in rwzi's toegepaste beluchtingssystemen hebben echter een circulatiepatroon dat vrij goed overeenkomt met één van een aantal bekende gesimplificeerde en geïdealiseerde circulatiemodellen waarmee wel goed berekeningen zijn uit te voeren. Hieronder wordt op een aantal van deze systemen in het kort nader ingegaan.

- *momentane menging*

Het eenvoudigste systeem is het beluchtingssysteem waarbij de circulatiesnelheden in het gehele bassin ten opzichte van de beluchtingcapaciteiten dusdanig groot zijn dat de verschillen in de zuurstofdeficieten verwaarloosbaar klein zijn. Bij deze ideale menging zijn de verhoudingsfactoren gelijk aan 1 zodat:

$$k_{\text{tot.}} = 2,3 \cdot V \cdot \text{tg}\alpha \quad (31)$$

De natriumsulfietoplossing kan zonder bijzondere voorzorgen te nemen worden toegevoegd.

Er is op dit moment geen eenvoudige test bekend waarmee is te controleren of de circulatiesnelheden zodanig groot zijn dat de zuurstofdeficieten in een aanvaardbare mate overal gelijk zijn.

- *de oxydatiesloot*

De oxydatiesloot is een beluchtingssysteem waarbij de circulatie kan worden vergeleken met een ideale propstroming. In de stromingsrichting is er in het circulerende water geen menging, in een vlak loodrecht erop wel.

Door een dwarsdoorsnede van het circuit passeert een volumestroom water gelijk aan q . Een dwars op de stromingsrichting gedachte smalle schijf water passeert dus éénmaal in de tijd V_{tot}/q een meetpunt in het circuit.

Bij het passeren van een beluchter verandert het zuurstofdeficiet in de schijf water met een factor $(1 - k/q)$. Stel dat in het circuit de beluchters A, B en C aanwezig zijn en dat op het tijdstip $t = 0$ bij het passeren van het meetpunt het zuurstofgehalte in de schijf water gelijk is aan c_0 . Dan geldt wanneer op het tijdstip t de schijf water het meetpunt passeert:

$$\log(c_s - c_t) = \log(c_s - c_0) + \frac{q}{V_{\text{tot}}} \cdot t \cdot \log\left(1 - \frac{k_A}{q}\right) \left(1 - \frac{k_B}{q}\right) \cdot \left(1 - \frac{k_C}{q}\right) \quad (32)$$

$$\text{zodat:} \quad -\text{tg}\alpha = \frac{q}{V_{\text{tot}}} \cdot \log\left(1 - \frac{k_A}{q}\right) \left(1 - \frac{k_B}{q}\right) \left(1 - \frac{k_C}{q}\right) \quad (33)$$

Voor $k_A = k_B = k_C = \frac{1}{3}k_{\text{tot.}}$ geldt dus:

$$k_{\text{tot.}} = 3q \left(1 - 10^{-V_{\text{tot}}/3q \cdot \text{tg}\alpha}\right) \quad (34)$$

Met n beluchters in het circuit moet uiteraard voor 3 de waarde n worden genomen. Er wordt een slechts kleine fout gemaakt wanneer deze formule eveneens wordt gebruikt als k_A, k_B, k_C enz. niet gelijk zijn, mits ze in grootte niet meer dan ongeveer een factor 2 verschillen en $k_{A/q}, k_{B/q}, k_{C/q}$ enz. kleiner zijn dan ongeveer 0,25.

Dit laatste is meestal het geval, zeker als bij aanwezigheid van minstens twee beluchters $V_{tot/q} \cdot tg\alpha$ kleiner is dan 0,2.

Voor $V_{tot/nq} \cdot tg\alpha < 0,01$ is $10^{-V_{tot/nq} \cdot tg\alpha}$ praktisch gelijk aan

$$1 - 2,3 \cdot V_{tot/nq} \cdot tg\alpha \text{ zodat } k_{tot} \text{ dan gelijk is aan } 2,3 \cdot V_{tot} \cdot tg\alpha$$

Op de meetplaats worden achtereenvolgens de zuurstofgehalten van "alle in het circuit aanwezige schijfjes water" gemeten.

Opdat deze waarden geen grote fluctuaties vertonen moet de natriumsulfietoplossing zorgvuldig worden gedoseerd. In de tijd dat het water éénmaal het circuit rondgaat wordt het verloop van het op één plaats gemeten zuurstofgehalte in belangrijke mate bepaald door de wijze waarop het natriumsulfiet is toegevoegd.

Om $tg\alpha$ goed te kunnen bepalen is het daarom vereist dat eenzelfde schijfje water, in de tijd dat het zuurstofgehalte van $0,2 c_s$ tot $0,7 c_s$ stijgt, minstens driemaal de meetplaats passeert.

Dit is het geval als $V_{tot/q} \cdot tg\alpha$ kleiner is dan 0,2.

- *bellenbeluchting in horizontaal stromend water*

Wanneer het een systeem betreft waarbij het water circuleert in een in zich zelf gesloten kanaal met op de bodem vast opgestelde beluchtingselementen dan is de situatie geheel vergelijkbaar met de oxydatiesloot.

Men past ook een systeem toe waarbij in een cirkelvormig kanaal zowel vast opgesteld als in het kanaal rondgaande beluchtingselementen aanwezig zijn. Als voorbeeld hiervoor nemen we het geval dat op één plaats een groep vast opgestelde beluchtingselementen met een beluchttingsconstante k_A aanwezig is terwijl een ongeveer gelijke groep van beluchtingselementen met een beluchttingsconstante k_B eenmaal in de tijd T_B het circuit rondgaat.

T_B is kleiner dan V/q , dat is de tijd waarin een volumedeeltje water in dezelfde richting als de beluchter het circuit rondgaat. T_B moet ongeveer gelijk zijn aan $0,5 \cdot V/q$.

Voor een dwars op de lengterichting van het kanaal gedachte smalle schijf water waarin op het tijdstip $t = 0$ het zuurstofgehalte gelijk is aan c_0 geldt voor het tijdstip t :

$$(c_s - c_t) = (c_s - c_0) \left(1 - \frac{k_A}{q}\right)^{q/V \cdot t} \cdot \left(1 - \frac{k_B}{V/T_B - q}\right)^{(1/T_B - q/V) \cdot t} \quad (35)$$

Uit de logaritme van deze vergelijking volgt:

$$- \operatorname{tg} \alpha = \log \left(1 - \frac{k_A}{q} \right)^{q/v} \cdot \left(1 - \frac{k_B \cdot T_B}{V - qT_B} \right)^{\frac{V - qT_B}{V \cdot T_B}} \quad (36)$$

Voor $T_b = 0,5V/q$ en $k_A = k_B = 0,5k_{\text{tot}}$ is dan:

$$k_{\text{tot}} = 2q \left(1 - 10^{-v/2q \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right) \quad (37)$$

In de praktijk is deze formule eveneens te gebruiken indien T_b niet helemaal gelijk is aan $0,5V/q$ en k_A en k_B niet meer dan een factor 2 verschillen.

Voor een andere configuratie van de beluchtingselementen is in beginsel op dezelfde wijze een formule af te leiden.

Een ander systeem waarbij beluchtingselementen en water horizontaal ten opzichte van elkaar bewegen bestaat uit een relatief smal en lang bassin (met dwarsdoorsnede A en lengte l) waarin in de lengterichting een wagen waarop een aantal beluchtingselementen zijn bevestigd met een snelheid v heen en weer gaat. Voor de circulatie wordt nu aangenomen dat het water in "ideale rust" is, zodat er in de lengterichting van het bassin geen menging optreedt.

Steeds na een tijd $2l/v$ is de wagen weer in dezelfde positie. In de tijd $2l/v$ neemt op een vaste meetplaats het zuurstofdeficiet met een factor $(1 - k/vA)^2$ af.

Op het tijdstip t als de wagen zich in dezelfde positie bevindt als op het tijdstip $t = 0$ geldt voor het zuurstofgehalte op de meetplaats:

$$(c_s - c_t) = (c_s - c_0) \left(1 - \frac{k}{vA} \right)^{v/l \cdot t} \quad (38)$$

Uit de logaritme van deze vergelijking volgt:

$$- \operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{l} \log \left(1 - \frac{k}{vA} \right) \quad (39)$$

$$\text{zodat} \quad k = \frac{v}{l} V \left(1 - 10^{-l/v \operatorname{tg} \alpha} \right) \quad (40)$$

In de praktijk is het water niet in ideale rust. De daardoor optredende mengeffecten kunnen de door het beluchtingsproces veroorzaakte stijging in het zuurstofgehalte, al naar de plaats van waarneming en de aanvankelijk aanwezige verdeling van de zuurstofgehalten, verzwakken of versterken.

Bij het continu meten op één plaats kan daardoor een verkeerde waarde voor de beluchttingsconstante worden gevonden. Dit wordt voorkomen door net als in de oxydatiesloot het zuurstofgehalte van alle "schijven water" achtereenvolgens periodiek te meten. Dit is hier eenvoudig te bereiken door de meetplaats met de wagen heen en weer te laten gaan.

-De carroussel. Bij dit systeem wordt aangenomen dat in een gedeelte van het circuit waar zich een om een verticale as roterende beluchter bevindt een momentane menging plaats heeft; terwijl in de circuitgedeelten tussen deze gemengde gedeelten een ideale propstrooming bestaat. Door het circuit stroomt water met een volumestroom gelijk aan q .

Als voorbeeld nemen we een circuit dat gezien in de stroomrichting van het water bestaat uit de gedeelten A1, A2, B1, B2, C1 en C2 waarbij C2 aansluit op A1.

In A1, B1 en C1 waarin de menging momentaan verloopt zijn de zuurstofgehalten respectievelijk gelijk aan C_A , C_B en C_C . In die gedeelten werken respectievelijk de beluchters A, B en C waarvan de beluchttingsconstanten respectievelijk gelijk zijn aan k_A , k_B en k_C .

In A2, B2 en C2 bestaat een ideale propstrooming.

Na het zorgvuldig toevoegen van natriumsulfiet neemt na een zekere tijd het zuurstofdeficiet op elke plaats in het circuit op dezelfde wijze exponentieel met de tijd af.

Voor een gemengd gedeelte geldt dat de toeneming van de hoeveelheid zuurstof gelijk is aan de toegevoerde hoeveelheid zuurstof verminderd met de afgevoerde hoeveelheid.

Voor B1 met het volume V_{B1} geldt op het tijdstip t voor de toeneming van de hoeveelheid zuurstof:

$$V_{B1} \cdot dc_{B,t} = V_{B1} \cdot d(c_s - c_{B,t}) = 2,3 \operatorname{tg} \alpha \cdot V_{B1} (c_s - c_{B,t}) dt \quad (41)$$

$$\text{Afvoer naar B2} = q \cdot c_{B,t} \cdot dt. \quad (42)$$

$$\text{Toevoer door beluchter B} = k_N (c_s - c_{B,t}) dt. \quad (43)$$

Daarnaast wordt ook nog zuurstof toegevoerd uit A1 via het circuitgedeelte A2. Daar een deeltje water een tijd V_{A2}/q nodig heeft om A2 te passeren is het zuurstofgehalte in het water dat op het tijdstip t uit A2 komt gelijk aan het zuurstofgehalte dat op het tijdstip $t - V_{A2}/q$ in A1 aanwezig was. Daaruit volgt:

$$\text{Toevoer uit A2} = q \{ c_s - (c_s - c_{A,t}) 10^{\frac{V_{A2}}{q} \cdot \operatorname{tg} \alpha} \} \quad (44)$$

Uit (41), (42), (43), (44) volgt:

$$k_B = 2,3 \operatorname{tg} \alpha \cdot V_{B1} - q + q \cdot \frac{(c_s - c_{A,t})}{(c_s - c_{B,t})} \cdot 10^{\frac{V_{A2}}{q} \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (45)$$

Daar de zuurstofdeficieten overal op dezelfde wijze exponentieel met de tijd afnemen is de verhouding van $(c_s - c_{A,t})$ en $(c_s - c_{B,t})$ constant.

Op gelijke wijze zijn de vergelijkingen voor k_A en k_C af te leiden waarmee de totale beluchtingsconstante bekend is. Als de beluchtingsconstanten onderling gelijk zijn en dit ook geldt voor de volumina van alle gemengde gedeelten dan is uit de vergelijkingen voor k_A , k_B en k_C af te leiden :

$$\begin{aligned} \frac{(c_s - c_{A,t})}{(c_s - c_{B,t})} \cdot 10^{V_{A2}/q} \cdot \text{tg}^\alpha &= \frac{(c_s - c_{B,t})}{(c_s - c_{C,t})} \cdot 10^{V_{B2}/q} \cdot \text{tg}^\alpha = \\ &= \frac{(c_s - c_{C,t})}{(c_s - c_{A,t})} \cdot 10^{V_{C2}/q} \cdot \text{tg}^\alpha = 10^{1/3q \cdot (V_{A2} + V_{B2} + V_{C2})} \cdot \text{tg}^\alpha \end{aligned} \quad (46)$$

Daaruit volgt:

$$k_{\text{tot}} = 2,3 \text{ tg}^\alpha \cdot (V_{A1} + V_{B1} + V_{C1}) + 3q \cdot (10^{1/3q \cdot (V_{A2} + V_{B2} + V_{C2})} \cdot \text{tg}^{\alpha-1}) \quad (47)$$

Zijn er n gelijke beluchters en n gelijke gemengde gedeelten, ieder met een volume gelijk aan V_{meng} en is het totale volume gelijk aan V_{tot} , dan geldt:

$$k_{\text{tot}} = 2,3 - \text{tg}^\alpha \cdot n \cdot V_{\text{meng}} + n \cdot q \cdot (10^{1/nq \cdot (V_{\text{tot}} - n \cdot V_{\text{meng}})} \cdot \text{tg}^{\alpha-1}) \quad (48)$$

In een carroussel is $n \cdot V_{\text{meng}}$ relatief klein ten opzichte van V_{tot} . De keuze van de grootte van V_{meng} heeft dan geen grote in-

vloed op de uitkomst van de berekeningen.

De eis van gelijkheid van de beluchtingsconstanten en gelijkheid van de volumina van de gemengde gedeelten is in de praktijk weinig zwaarwegend.

Evenals bij de oxydatiesloot is wel vereist dat de massa water gedurende de OC-meting driemaal het circuit rondgaat. Dit is het geval als

$V_{\text{tot}}/q \cdot \text{tg}^\alpha$ kleiner is dan 0,2.

De in het voorgaande gehanteerde geïdealiseerde modellen zijn vrij grove benaderingen van de werkelijkheid. Zo zal bijvoorbeeld in een bassin water waarin een wagen met beluchtingselementen heen en weer gaat het water niet geheel in rust zijn, zeker niet direct achter de wagen. Daardoor is er in de lengterichting een mengeffect aanwezig.

Een menging in lengterichting kan in het model worden gebracht door aan te nemen dat slechts een gedeelte van het water in rust verkeert en dat daarnaast in een bepaald volume water momentane menging bestaat.

Dit gemengde gedeelte bevindt zich dan steeds achter de wagen.

In een oxydatiesloot kan dat gemengde volume achter een beluchter of in een bocht worden gesitueerd.

Menging in de lengterichting kan ook in een model worden verkregen door een bepaalde mate van dispersie in de lengterichting aan te nemen en daarvoor een longitudinale dispersiecoëfficiënt in te voeren.

De grootte van het gemengde volume of van de dispersiecoëfficiënt moet bekend zijn om in het model een gelijk mengeffect te verkrijgen als in het werkelijke beluchtingssysteem.

Daarvoor moeten metingen in het beluchtingssysteem worden uitgevoerd. Men kan bijvoorbeeld een niet vluchtige merkstof toevoegen en de snelheid waarmee deze stof wordt gedispergeerd meten.

In dit voorschrift is het uitgangspunt dat in het te beproeven beluchtingssysteem de snelheden van de mengprocessen relatief groot zijn ten opzichte van de snelheden waarmee zuurstof wordt opgelost of dat de zuurstof verdeeld over een groot aantal plaatsen wordt opgelost. Daardoor zijn de verschillen in de plaatselijk aanwezige zuurstofdeficiëten niet bijzonder groot. In dat geval worden geringe fouten gemaakt als de berekeningen worden uitgevoerd met een eenvoudig model van de circulatie.

5.2.4 *de betekenis van de OC*

De Oxygenation Capacity of het zuurstoftoevoervermogen van een beluchtingssysteem is per definitie de massastroom zuurstof die in oplossing gaat als het zuurstofdeficiet gelijk is aan c_s , d.w.z. als het O_2 -gehalte nul is.

Uit de beluchtingsformule (21) volgt: $OC = k \cdot c_s$.

Daar het O_2 -gehalte c niet negatief kan zijn is de OC volgens deze formule de maximale massastroom zuurstof die bij het beschouwde beluchtingssysteem in oplossing kan gaan. De OC is daarmee een belangrijke maatstaf voor de biologische oxidatieve zuiveringscapaciteit van de rioolwaterzuiveringsinrichting waarvan het beluchtingssysteem deel uitmaakt.

Bij beluchtingssystemen waarbij de zuurstofgehalten niet overal dezelfde waarden hebben is de OC niet zonder meer ondubbelzinnig gedefinieerd. De plaats in het systeem waarvan het O_2 -gehalte als uitgangspunt wordt genomen moet dan nader worden aangegeven.

Daar komt nog bij dat bij beluchten van een actiefslimbengsel het O_2 -gehalte doordat de snelheid van zuurstofverbruik begrensd is niet op elke plaats nul kan worden.

Bij het vaststellen van de OC kan het bovendien nodig zijn om er rekening mee te houden dat er een verschil bestaat tussen het beluchten van rein water en een zuurstofverbruikend actiefslimbengsel.

In het eerste geval is er namelijk tijdens een OC-meting wat de O_2 -gehalten betreft sprake van een niet-stationaire toestand. In het tweede geval blijven onder normale bedrijfsomstandigheden de O_2 -gehalten stationair. Alleen na een verandering van de snelheid van zuurstofverbruik of van het zuurstoftoevoervermogen treden er veranderingen in de O_2 -gehalten op totdat zich weer een nieuwe stationaire toestand heeft ingesteld.

Bij een beluchtingssysteem waarin de luchtbelllen tamelijk *verspreid* voorkomen en er in het gehele volume water, V_{tot} , een snelle complete menging bestaat zijn de O_2 -gehalten overal, dus ook om en tussen de luchtbelllen hetzelfde. Noemen we het O_2 -gehalte c , de totale oppervlakte van de luchtwatergrensvlakken A en de zuurstofoverdrachtscoëfficiënt per eenheid van oppervlakte van de luchtergrensvlakken K_L dan geldt, zowel bij rein water als bij een actiefslibmengsel:

$$\emptyset O_2 = AK_L(c_s - c) \quad \text{en} \quad OC = AK_L \cdot c_s$$

In een actiefslibmengsel is het zuurstofverbruik bij regelmatige rioolwatertoevoer van constante samenstelling praktisch constant zolang het O_2 -gehalte groter is dan nul.

Dat zuurstofverbruik zullen we uitdrukken in de massa zuurstof die per volume - en per tijdseenheid wordt gebonden en aangeven met het symbool r .

Bij het beluchtingssysteem met *gespreide beluchting* en complete menging zal c gelijk aan nul worden als r groter is dan OC/V_{tot} . Dat $c = 0$, is bij een dergelijk beluchtingssysteem in de praktijk een normaal voorkomend verschijnsel zodat de maximale zuurstoftoevoer gelijk is aan de $OC = AK_L \cdot c_s$.

Vindt het beluchtingsproces plaats bijvoorbeeld met een oppervlaktebeluchter, dan zijn de luchtwatergrensvlakken grotendeels aanwezig in *een volume V_A dat klein is* ten opzichte van het gehele volume V_{tot} van het beluchtingssysteem.

Nemen we, op grond van de grote turbulentie, aan dat er in V_A complete menging bestaat, dan is het O_2 -gehalte overal in V_A en in het water dat met een volumestroom q uit V_A wegstroomt gelijk. Dit gehalte zullen we met c_A' aangeven.

Vanuit het overige gedeelte van het beluchtingssysteem komt een volumestroom water die eveneens gelijk is aan q , maar die een O_2 -gehalte c_A heeft het volume V_A binnen. De grootte van c_A wordt bepaald door de configuratie van dat overige gedeelte. Dat gedeelte kan eventueel weer gesplitst gedacht worden in meerdere gedeelten waarin of complete menging of propstroming aanwezig is en waarin ook andere beluchters werkzaam kunnen zijn:

Zowel bij beluchten van rein water als bij beluchten van een actiefslibmengsel geldt voor de zuurstoftoevoer in het volume V_A :

$$\emptyset O_2 = AK_L(c_s - c_A')$$

In de praktijk komt het niet voor dat r in een actiefslibmengsel zo groot is dat het van de beluchter wegstromende water zuurstofloos, d.w.z. c_A' nul is. Een zuurstoftoevoer gelijk aan $AK_L \cdot c_s$ wordt dan ook niet verkregen.

Het komt wel regelmatig voor dat het naar de beluchter stromende water zuurstofloos, dus $c_A = 0$ is. Het ligt daarom voor de hand om de beluchtingsformule te betrekken op het O_2 -gehalte van het naar de beluchter stromende water. Bij de in 3.3 gegeven formules en bij de in 5.2.2. en 5.2.3 gegeven afleiding is daarvan dan ook uitgegaan.

De zuurstoftoevoer en de OC volgens de beluchttingsformule die op het bovenstaande zijn gebaseerd komen alleen overeen respectievelijk met de werkelijke zuurstoftoevoer en de maximale zuurstoftoevoer als V_A en r klein zijn en q groot is. Naarmate V_A en r groter zijn wordt er in V_A meer zuurstof verbruikt hetgeen, in het bijzonder als q klein is leidt tot een verlaging van c'_A en daardoor tot een extra zuurstofoverdracht die niet is begrepen in de op c_A betrekking hebbende beluchttingsformule.

De OC is dan slechts te beschouwen als een rekengrootheid waarmee de zuurstoftoevoer kan worden berekend als r , q en V_A bekend zijn.

Het vaststellen van de OC wordt nog moeilijker als het een beluchtingssysteem betreft waarin ook het naar de beluchter stromende actiefslibmengsel niet zuurstofloos wordt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de carrousel. We zullen dit nader bezien aan een carrousel die, om het eenvoudig te houden, slechts een beluchter heeft.

Het volume V_{tot} van de carrousel wordt in drie gedeelten gesplitst gedacht.

1. Een klein gemengd volume V_A dat aanwezig is aan de omtrek van de verticale-asbeluchter en waarin zich de luchtwatergrensvlakken bevinden.
2. Het volume V_B dat naast V_A , of beter gezegd onder V_A in de "kop" van de carrousel aanwezig is. Ook in V_B wordt het bestaan van een complete menging aangenomen.
3. Het volume V_C dat in de benen aanwezig is en waarin propstroming bestaat. Vanuit een been komt een volumestroom q water met een O_2 -gehalte c_B het volume V_B binnen. Een evengrote stroom water gaat vanuit V_B met een O_2 -gehalte c'_B het andere been weer in.

Via de onderzijde van de beluchter stroomt water met eveneens een O_2 -gehalte c'_B naar V_A zodat voor de zuurstoftoevoer geldt:

$$\phi_{O_2} = k_1(c_s - c'_B) \quad (a)$$

Het is deze beluchttingsconstante k_1 die met formule (8) wordt berekend uit de in rein water gemeten tg^α .

In de praktijk komt het evenwel niet voor dat het uit V_B stromende actiefslibmengsel zuurstofloos is zodat de zuurstoftoevoer niet gelijk aan $k_1 \cdot c_s$ kan worden.

Hoe groot de zuurstoftoevoer naar het actiefslibmengsel wel is kan worden afgeleid door, met de stationaire toestand als uitgangspunt, een zuurstofbalans voor de kop van de beluchter op te stellen. Voor $V_A + V_B$ wordt V_{meng} geschreven zodat voor de O_2 -balans de volgende vergelijking wordt verkregen:

$$\phi_{O_2} + q \cdot c_B - q \cdot c'_B - V_{meng} \cdot r = 0 \quad (b)$$

Wat r betreft kunnen twee situaties worden onderscheiden.
 Bij de ene situatie is r zo klein dat er overal zuurstof aanwezig is en c_B groter is dan nul.

$$\text{In dat geval geldt: } \emptyset_{O_2} = V_{\text{tot}} \cdot r \quad (\text{c})$$

Uit (a), (b) en (c) volgt dat voor die situatie geldt:

$$\emptyset_{O_2} = \frac{q k_1}{k_1 \left(1 - \frac{V_{\text{meng}}}{V_{\text{tot}}}\right) + q} \cdot (c_s - c_B) \quad (\text{d})$$

Form. (d) kunnen we beschouwen als de beluchttingsformule die betrekking heeft op het O_2 -gehalte van het water dat de "kop" van de carousel binnenstroomt. De hieraan toe te kennen beluchttingsconstante k_2 is te berekenen met de vergelijking:

$$k_2 = \frac{q k_1}{k_1 \left(1 - \frac{V_{\text{meng}}}{V_{\text{tot}}}\right) + q} \quad (\text{e})$$

Form. (d) is niet toe te passen in de situatie dat r zo groot is dat het actiefslibmengsel in het bovenstrooms van de kop gelegen deel van een been zuurstofloos is:
 c_B is dan nul en er is slechts in een volume V_{O_2} zuurstof aanwezig.
 Daarbij geldt $V_{\text{tot}} \geq V_{O_2} \geq V_{\text{meng}}$

$$\text{In deze situatie is } \emptyset_{O_2} = V_{O_2} \cdot r. \quad (\text{f})$$

Uit (a), (b), (e) en (f) volgt dat

$$\emptyset_{O_2} = \frac{k_1 q}{k_1 \left(1 - \frac{V_{\text{meng}}}{V_{O_2}}\right) + q} \cdot c_s \quad (\text{g})$$

of

$$\emptyset_{O_2} = \frac{k_2 q}{k_2 \left(\frac{V_{\text{meng}}}{V_{\text{tot}}} - \frac{V_{\text{meng}}}{V_{O_2}}\right) + q} \cdot c_s \quad (\text{h})$$

Het is een probleem dat in de praktijk moeilijk is na te gaan of in V_B werkelijk sprake is van een nagenoeg complete menging. Ook is V_{meng} niet goed te meten. Variëren van de grootte van V_{meng} blijkt op de waarden die voor k_1 en k_2 worden berekend vrij weinig invloed te hebben. Meer invloed heeft dit op de uitkomst van formule (g) of (h) vooral als V_{O_2} klein is.

Tot welke uitkomsten de verschillende formules kunnen leiden blijkt bij een als voorbeeld genomen carrousel met de volgende gegevens:

$$V_{\text{tot}} = 3000 \text{ m}^3; q = 5 \text{ m}^3/\text{s}; V_{\text{O}_2} = 750 \text{ m}^3;$$

$$V_{\text{meng}} = 250 \text{ m}^3 \text{ (het volume in de kop tot aan een denkbeeldig verticaal vlak door het einde van de tussen de benen aanwezige scheidingswand);}$$

$$t_{g\alpha} = 25 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ (gemeten in rein water)}$$

Volgens form. (8) zie 3.3 is $k_1 = 2,006 \text{ m}^3/\text{s}$

" " (e) is $k_2 = 1,467 \text{ m}^3/\text{s}$

" " (g,h) is $\phi_{\text{O}_2} = 1,583 \text{ cs g/s}$.

Als het in dit voorbeeld de bedoeling is dat onder zodanige bedrijfscondities wordt gewerkt dat V_{O_2} gemiddeld gelijk blijft aan $\frac{1}{4} V_{\text{tot}}$ dan kan de volgens form. (g) berekende zuurstoftoevoer eigenlijk beschouwd worden als de effectieve OC van het systeem.

Een ander voorbeeld waarbij de zuurstoftoevoer niet gelijk kan worden aan de berekende OC is te vinden in een oxydatiesloot als daar twee of meer beluchters of rijen van *beluchtingselementen op korte afstand achter elkaar* zijn geplaatst. De micro-organismen hebben dan geen tijd om de bij de eerste beluchter opgenomen zuurstof te consumeren voordat het actiefslibmengsel bij de tweede beluchter komt, zodat de tweede beluchter geen zuurstofloos actiefslibmengsel toegevoerd kan krijgen. Voor de derde en volgende beluchters geldt dit in nog sterkere mate.

Dit probleem wordt opgelost door direct na elkaar geplaatste beluchters of beluchterelementen als één beluchtingseenheid te beschouwen en voor n in form. (6) of (7) zie 3.3, of form (19) zie 3.4.3, niet het aantal afzonderlijke beluchters of beluchterelementen te nemen maar het aantal beluchtingseenheden dat men op deze manier uit bij elkaar beplaatste beluchters of beluchterelementen kan vormen.

De op deze wijze berekende OC is alleen een juiste maat voor de maximale zuurstoftoevoer als het volume water dat direct bij het beluchtingsproces van een groep beluchters of beluchterelementen is betrokken klein is ten opzichte van het totale volume water. Zijn er veel beluchters of beluchterelementen achter elkaar geplaatst of is hun onderlinge afstand betrekkelijk groot dan kan het direct bij het beluchtingsproces van één beluchtingseenheid betrokken volume water zo groot zijn dat de daarin door ademhaling gebonden hoeveelheid zuurstof niet meer is te verwaarlozen.

Dan moet voor het vaststellen van de zuurstoftoevoer de snelheid van ademen in rekening worden gebracht waarbij net als bij de carrousel geldt dat óf wel $\phi_{\text{O}_2} = V_{\text{tot}} \cdot r$ ofwel $\phi_{\text{O}_2} = V_{\text{O}_2} \cdot r$. Daar het direct bij zo'n beluchtingseenheid betrokken volume water over een zekere circuitlengte aanwezig zal zijn kan voor dat volume geen complete menging worden aangenomen.

Men zal uit moeten gaan van een ideale propstroming of en dat komt waarschijnlijk het meest met de werkelijkheid overeen, van een opeenvolging van kleine compleet gemengde volumina. Dergelijke afleidingen worden hier niet verder uitgewerkt.

Een voorbeeld waarbij de zuurstoftoevoer bij het zuiveringsproces *groter* kan zijn dan de OC die in reinwater wordt bepaald vinden we bij het zuiveringsproces met roterende schijven. De op de tot ongeveer de helft in het te zuiveren water gedompelde roterende schijven aanwezige laag micro-organismen verbruikt direct de uit de atmosfeer opgenomen zuurstof. De voor het zuiveringsproces beschikbare hoeveelheid zuurstof is daardoor groter dan de OC die in rein water wordt bepaald en waarbij de schijven met een dun waterfilmje zijn bedekt dat zich onder water maar in beperkte mate met de rest van het water mengt. Het heeft dan ook weinig zin om bij een dergelijk zuiverings-systeem de OC in rein water te bepalen.

In de voorgaande beschouwing over de OC en de zuurstoftoevoer in rein water en actiefslibmengsels is steeds stilzwijgend aangenomen dat bij vervangen van het reine water door een actiefslibmengsel de luchtwatergrensvlakken, de zuurstofoverdrachtscoëfficiënt, de stroomsnelheden, het stromingspatroon enz. gelijk blijven. In werkelijkheid blijkt dit niet altijd het geval te zijn met als gevolg dat de beluchtingsconstante met een zekere factor, de zgn. α -factor, verandert.

Ook de oplosbaarheid van zuurstof kan, hoewel dat in mindere mate voorkomt, een wijziging ondergaan. In dat geval verschilt de zuurstofverzadigingswaarde in het actiefslibmengsel met de zgn. β -factor van die in rein water.

Uit het bovenstaande volgt dat de OC in een actiefslibmengsel wordt verkregen door de OC in rein water met de α - en β -factor te vermenigvuldigen.

De mate waarin de α - en β -factor van één afwijken is afhankelijk van de aard en de concentraties van de in het water voorkomende stoffen.

Teneinde reproduceerbare en vergelijkbare meetresultaten te kunnen verkrijgen is daarom gekozen voor het verrichten van de metingen in *rein water*.

Dat wil zeggen dat de aanwezigheid van stoffen in zodanige concentraties dat de zuurstofoverdracht erdoor wordt beïnvloed of de metingen worden gestoord per definitie is uitgesloten. De α - en β -factor zijn dus in dit voorschrift niet van toepassing en daarom verder buiten beschouwing gelaten.

5.3 Opgenomen vermogen toelichting op 2.1.3 en 2.1.12

Om het energetisch rendement van een beluchtingssysteem te bepalen moet uiteraard het vermogen worden gemeten. Bij voorkeur moet daarvoor het gemiddelde opgenomen vermogen worden bepaald over dezelfde periode als waarover de OC is gemeten.

Maakt een of ander apparaat, bijvoorbeeld een roerder, een integraal deel uit van het beluchtingssysteem dan moet ook het opgenomen vermogen van dit apparaat in rekening worden gebracht. In verband met het eventueel afzonderlijk in rekening brengen van leidingverliezen dient bovendien de meetplaats te worden vermeld (bijv. motorklemmen of schakelruimte).

Is het niet de bedoeling om het rendement te bepalen dan kan het meten van het opgenomen vermogen, in het bijzonder het continu registreren ervan, toch van groot nut zijn. Variaties in het circulatiepatroon die de beluchtingsconstante veranderen, komt men gemakkelijker op het spoor via registratie van het vermogen dan via het meten van de beluchtingsconstante.

Vrij grote (rond 10%) en snelle (< ca. 1 Hz) onregelmatige vermogensfluctuaties zijn bij mechanische beluchters over het algemeen als normaal te beschouwen bijvoorbeeld als gevolg van turbulenties in het aanstromende water, variaties in het water/beluchter contactoppervlak en resonanties in de ophanging van de beluchter.

Indien het herhaaldelijk over enkele minuten gemeten gemiddelde vermogen tijdens het verrichten van de OC-meting variërende uitkomsten oplevert, is het resultaat van de OC-meting minder betrouwbaar.

Als oorzaken kunnen worden genoemd:

- . te kort "warmdraaien" waardoor nog geen evenwichtscondities zijn bereikt;
- . een forse windbelasting waardoor de indompeling van een oppervlaktebeluchter sterk kan variëren;
- . een instabiele werking van de oppervlaktebeluchter waardoor pulsaties optreden;

Het laatste verschijnsel treedt vooral op bij "platte" vierkante beluchtingsbassins. Het kan in het algemeen afdoende worden bestreden door het plaatsen van stabilisatieschotten. Het bepalen van de juiste plaats, de vorm en het aantal kan echter nog wel enig experimenteel werk vergen.

Hoewel in dit voorschrift het bruto vermogen van het beluchtingssysteem wordt bepaald ter bepaling van het (bruto) zuurstofinbrengrendement, kan het nuttig zijn om ter vergelijking tevens het nettovermogen te bepalen. Met name indien men inzicht wenst te krijgen in de aard en omvang van de energieverliezen. Het netto vermogen bij persluchtbeluchting (adiabatische compressie) is gelijk aan:

$$P_{\text{netto}} = 3,44 \cdot q_{\text{lucht}} \cdot P_B \cdot \left\{ \left(\frac{P_B + P_C}{P_B} \right)^{0,291} - 1 \right\} \quad (\text{kW})$$

En bij mechanische beluchters:

$$P_{\text{netto}} = 6,28 \cdot M \cdot n \quad (\text{kW})$$

waarbij: q_{lucht} = de gemeten volumestroom lucht bij de
atmosferische luchtdruk en temperatuur (m^3/s)
 p_B = de atmosferische luchtdruk (kPa)
 p_C = de overdruk t.o.v. de atmosfeer na
de compressor (kPa)
 M = het moment (gemeten aan de beluchteras) (kN.m)
 n = de rotatiefrequentie van de beluchteras (s^{-1})

De druk p_C kan direct na de compressor worden gemeten of dichtbij de beluchtingselementen afhankelijk van de wens om het netto vermogen van het beluchtingssysteem (inclusief de leidingverliezen) te meten of het netto vermogen van de elementen zelf te bepalen.

In de praktijk is het meten van het moment op de beluchteras vrij moeilijk.

Van belang is dat bij het berekenen van het bruto energetisch zuurstofinbrengrendement enig inzicht bestaat in de verhouding van het rendement

$$\eta = \frac{P_{\text{netto}}}{P_{\text{bruto}}}$$

onder de meetomstandigheden en onder de standaardcondities.

Dit is afhankelijk van de constructieve uitvoering van het beschouwde beluchtingssysteem: met name kan de opstelling van de apparatuur door de invloed van de buitentemperatuur op de viscositeit van de smeermiddelen belangrijk zijn (bijvoorbeeld een beluchteromkast of compressorgebouwtje).

Bij ruim gedimensioneerde beluchtingsapparatuur zoals bij een onvolledig belaste zuivering, of ter verkrijging van een lange levensduur, zijn de energieverliezen vaak relatief hoog en kan het totale rendement wezenlijk worden beïnvloed door de temperatuur.

Uitgangspunt moet zijn dat voor een standaard energetisch zuurstofinbrengrendement de vermogensmeetresultaten herleid moeten kunnen worden naar een luchtdruk van 101,3 kPa en een luchttemperatuur van 10°C.

5.4. Rein water: toelichting bij 2.1.4

Het is onmogelijk om in de praktijk OC-metingen uit te voeren in absoluut zuiver water. Onder rein water wordt in dit voorschrift verstaan: water dat weliswaar niet geheel zuiver is, maar slechts stoffen bevat, die geen specifieke oppervlakteactieve werking hebben - tenzij in zodanige zeer geringe concentraties dat de invloed op de OC-metingen is te verwaarlozen - en wel binnen zodanige concentratiegrenzen dat de uitkomsten van de OC-metingen reproduceerbaar en vergelijkbaar zijn. Dit rein water moet in grote hoeveelheden ter beschikking zijn.

Als rein water is bruikbaar:

- a. In het algemeen het drinkwater zoals dat door de drinkwatermaatschappijen wordt geleverd. Het totale zoutgehalte ligt meestal tussen 200 en 500 g/m³. Het gehalte organische stoffen is laag en het gehalte aan detergents is minder dan 0,1 à 0,2 g/m³.
- b. In veel gevallen grondwater. Het kan echter onbruikbaar zijn doordat het verontreinigd is met onder andere afvalwater of omdat het veel NaCl bevat. Opgeloste ijzerzouten worden geoxydeerd en geven dan een zekere troebeling hetgeen echter in het algemeen niet bezwaarlijk is.
- c. In sommige gevallen misschien oppervlaktewater. Indien er geen drinkwater of grondwater ter beschikking staat zal men naar deze mogelijkheid moeten omkijken. De kans op storende verontreinigingen is echter groot.

Men moet er rekening mee houden dat op het moment van de OC-meting nog de volgende stoffen aan het voor het vullen gebruikte water zijn toegevoegd: verontreinigingen die vóór het vullen reeds aanwezig waren in de beluchtingstank of er uit de omgeving in zijn gekomen, stoffen die gevormd zijn door biologische activiteiten (algen) en ten slotte natriumsulfaat dat wordt gevormd uit het toegevoegde natriumsulfiet ter verwijdering van de zuurstof. Het natriumsulfiet wordt bij de aanvang van iedere meting aan het water toegevoegd. Door dit laatste moet het aantal OC-metingen in hetzelfde water in het algemeen tot circa vijf beperkt worden. In verband met de beperkte capaciteit van de waterleidingtoevoer zal het vullen van het bassin vrij lang kunnen duren. Vooral in de zomer kan het dan nodig zijn om algengroei te voorkomen door de toevoeging van actief chloor.

Door de verontreinigingen kan de zuurstofoverdracht veranderen. Bevat het water reeds grotere hoeveelheden stoffen dan wordt de zuurstofoverdracht minder beïnvloed door extra verontreinigingen.

Zelfs als een stof geen invloed op de zuurstofoverdracht heeft kan een OC-meting nog langs een andere weg worden gestoord. Zo kan bijvoorbeeld een chemische zuurstofbepaling volgens Winkler verkeerde uitkomsten geven of de reactie tussen zuurstof en sulfiet kan zo traag verlopen dat opgeloste zuurstof en sulfietionen in het water naast elkaar voorkomen.

Dit kan soms worden opgeheven door meer katalysator in de vorm van kobaltionen toe te voegen (bijv. 1 g per m³).

Bij een gehalte van meer dan 0,15 g kobaltionen per m³ kan de chemische zuurstofbepaling volgens Winkler echter worden gestoord.

Vooral bij gebruik van grondwater en oppervlaktewater moet van tevoren de "reinheid" worden onderzocht. Om later twijfel te voorkomen is het nuttig om tijdens een OC-meting een monster water uit de tank te nemen, dit eveneens op "reinheid" te onderzoeken en de gegevens in het rapport over de OC-meting op te nemen. Er is geen eenvoudige test om de "reinheid" van het water onomstotelijk vast te stellen. Er kan onderzocht worden:

- a. De totale hoeveelheid aan opgeloste stof (droogrest).
Anorganische zouten blijken invloed te hebben op de OC: 0,5 à 1,0 kg natriumsulfaat per m^3 water verandert in het algemeen de OC nog nauwelijks maar dit geldt niet meer voor enkele kilogrammen per m^3 . Het totale zoutgehalte, waarbij inbegrepen het bij het ontzuurstoffen toegevoegde zout, moet daarom voor een betrouwbaar meetresultaat minder dan $1,0 \text{ kg}/m^3$ bedragen.
- b. De hoeveelheid organische stof door middel van de bepaling van het chemische zuurstofverbruik (CZV) of het kaliumpermanganaatgetal. Een hoog CZV of permanganaatgetal maakt een water verdacht.
- c. Het gehalte aan detergenten. Door hun sterke invloed op de belvorming kunnen detergenten de zuurstofoverdracht in de tank ingrijpend veranderen.
- d. De oppervlaktetenspanning mag nauwelijks van die van zuiver water afwijken.
- e. Een schudproef. Door in twee flesjes van ca. 200 cm^3 een schudproefje uit te voeren waarbij het ene flesje 100 cm^3 watermonster bevat en het andere flesje 100 cm^3 leidingwater en daarbij de mate van schuimstabiliteit en de vorming van fijne luchtbelletjes tussen de twee flesjes te vergelijken.
De OC kan langs verschillende wegen veranderen. Te noemen valt: bellen verenigen zich minder gemakkelijk, er worden meer en kleinere bellen gevormd of het zuurstoftransport door het luchtwatergrensvlak verandert. De schudproef met de twee flesjes geeft een indicatie over de belvorming.
- f. Beter dan de schudproef maar zeer bewerkelijk is het uitvoeren van vergelijkende OC-metingen op het laboratorium in het onbekende water en in water waarvan de "reinheid" vaststaat. Hiervoor wordt minstens 5 dm^3 gebruikt. Daar de invloed van een stof op de OC afhangt van de soort beluchting moet bij deze laboratoriumproef de beluchting uitgevoerd worden op een wijze die vergelijkbaar is met het in de praktijk toegepaste beluchtingssysteem.
Zo kan bijvoorbeeld persluchtbeluchting worden uitgevoerd door middel van een aquariumpompje en een poreus steentje en oppervlaktebeluchting met een roermotor en roerder, waarbij de lucht in het water wordt geslagen. In het laatste geval dient de indompeling zeer nauwkeurig te worden bepaald. Deze OC-metingen zijn zeer bewerkelijk zodat men bij voorkeur de eenvoudiger proeven zal uitvoeren.

Opmerking: Over de vorm en afmetingen van de laboratoriumoppervlaktebeluchter en de waarden waartussen de bovengenoemde gehalten zich moeten bevinden kan nog geen duidelijke uitspraak worden gedaan. Hierover zal nog aanvullend onderzoek verricht worden.

5.5 Zuurstofmetingen: toelichting bij 2.1.5 en 2.1.6

5.5.1 *ijken en gebruik van de zuurstofmembraanelektrode*

Voor de ijking van de membraanelektrode in rein water kan tabel 1 worden gebruikt als referentie. Hierbij wordt er dus van uitgegaan dat de verzadigingswaarde van het reine water gelijk gesteld mag worden aan die van zuiver water. Ter verkrijging van de atmosferische verzadigingswaarde bij een andere dan de standaardluchtdruk moet een correctie op de tabelwaarde worden toegepast:

$$c_s(\text{atmosferisch}) = c_s(\text{tabel}) \times \frac{P_B}{101,3}$$

De invloed van de waterdampspanning mag in dit geval bij een temperatuur tussen 0 en 30°C worden verwaarloosd.

Ijk de zuurstofmeter met membraanelektrode in zuurstofloos gemaakt water (nulpunt) en in rein water dat is verzadigd bij de atmosferische luchtdruk en bij de temperatuur van het water in het bassin (def. 7.5 onder c.).

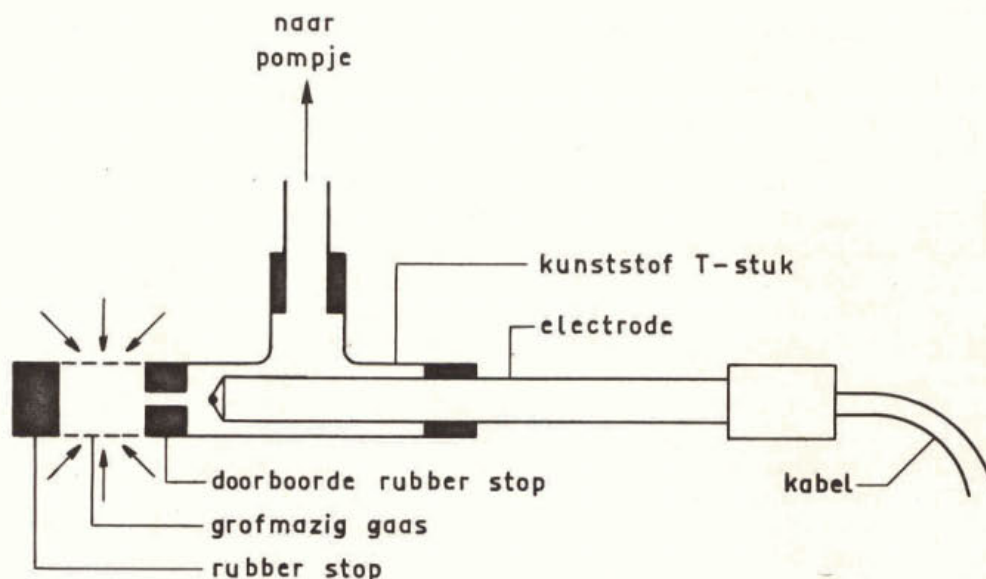
Zuurstofloos water is te verkrijgen met behulp van een overmaat natriumsulfiet in water (watervrij ca. 0,1 g/dm³ + een spootje Co⁺⁺ ionen). Spoel de elektrode af met leidingwater ter verwijdering van de aanhangende resten sulfietoplossing alvorens de atmosferische verzadigingswaarde te meten.

De atmosferische verzadigingswaarde kan worden verkregen met behulp van een aquariumluchtpompje, een poreus steentje en een metalen emmer met enkele dm³ rein water die in het beluchtingsbassin wordt gehangen of een dubbelwandig vaatje waarbij bassinvloeistof door de mantel wordt gepompt, zodat de temperatuur van het beluchte water gelijk blijft aan de temperatuur van het bassinwater.

In 3 dm³ water kan de atmosferische verzadigingswaarde tot op minder dan 0,1% worden benaderd in 5 à 10 minuten met behulp van een aquariumluchtpompje met een capaciteit van circa 70 cm³/s (bijvoorbeeld RENA 301) en een luchtverdeelsteentje van 12,5x2,5 cm (bijvoorbeeld Hobby Minilong) bij een waterkolom van 10 cm boven het steentje. De geringe vloeistofhoogte boven het steentje levert bij dit kleine beluchtingssysteem een voor de praktijk te verwaarlozen Δp op.

Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de juiste (voldoende) stroomsnelheid langs de elektrode bij het meten van deze verzadigingswaarde. Deze stroomsnelheid moet bij voorkeur ongeveer gelijk zijn aan de bij de OC-meting gebruikte stroomsnelheid. Bij het bepalen van het nulpunt is de stroming langs de elektrode niet zo belangrijk. Voor de juiste werking van de membraanelektrode moet er een zekere minimale stroomsnelheid bij het membraan aanwezig zijn die, afhankelijk van het type elektrode, meestal tussen 0,1 en 0,3 m/s ligt. Gebruik bij voorkeur een elektrode met een systeem dat daarin voorziet, bijvoorbeeld een klein roerdertje, een trillende elektrode etc.

Een eenvoudige oplossing hiervoor is te verkrijgen met behulp van een kunststof T-vormig buisstuk (bijvoorbeeld uit de waterleiding-techniek, zie figuur 1).



Plaats een stop met een gat van 5 mm diameter in de ene opening van de doorgaande buis van de T en steek door de tegenoverliggende opening de elektrode naar binnen zodanig dat de kathode zich op 5 mm afstand van de opening in de stop bevindt.

Zet de elektrode, bijvoorbeeld door middel van een doorboorde rubberstop, vast en sluit aan de poot van de T een slang aan. Monteer het T-stuk met bij voorkeur zoveel mogelijk naar boven gericht heen op zijn plaats zodat luchtballen worden meegezogen en zuig via de slang met behulp van een slangenpompje met een debiet van $30 \text{ cm}^3/\text{s}$, water langs de elektrode. Voer het water naar de tank of het vaatje terug. Bij het meten in het vaatje dienen korte slangen te worden gebruikt i.v.m. de warmteuitwisseling met de omgeving.

Voordat de instellingen aan de zuurstofmeter worden verricht moet de elektrode voldoende tijd hebben gehad om zich in te stellen op de zuurstofconcentratie (meestal enkele minuten).

Bij de OC-meting kan de traagheid van de elektrode ook een storende rol spelen. Dit kan, uiteraard het meest bij grote waarden van $t_{g\alpha}$, tot te lage uitkomsten leiden bij een OC-meting. Met een membraan-elektrode die in 60 seconden een responsie van 99% ($\tau_{99\%} = 60 \text{ s}$)

heeft op een sprongsgewijze verandering in het zuurstofgehalte, zal bij een beluchting met $tg\alpha = 2,8 \cdot 10^{-4} s^{-1}$ wat betreft de traagheid praktisch de juiste waarde voor $tg\alpha$ worden gevonden. Bij een beluchting met $tg\alpha = 2,8 \cdot 10^{-3} s^{-1}$ zal de uitkomst tot ongeveer 1% te laag kunnen zijn. Bij de OC-metingen moet de kalibratie van een membraanelektrode zowel in zuurstofloos als in verzadigd water redelijk snel uitgevoerd kunnen worden. Bij een elektrode met $\tau_{99\%} = 60$ s vragen deze controles ongeveer 10 tot 15 minuten, hetgeen nog aanvaardbaar is.

Voor OC-metingen moet een membraanelektrode in het algemeen een responsie van 99% hebben in minder dan 60 seconden. Ga de responsie na door de elektrode plotseling vanuit met zuurstof verzadigd water te brengen in zuurstofloos water. Doe dit bij dezelfde temperatuur als waarbij de OC-meting wordt uitgevoerd.

Bij een membraanelektrode is er normaal een lineair verband tussen het elektrisch signaal en de zuurstofconcentratie. Het is dan ook voldoende om een kalibratie slechts uit te voeren in zuurstofloos en in met zuurstof verzadigd water.

Door veroudering, niet tijdig vervangen van elektrolyet en membraan, afzetting van reactieprodukten bij de anode enz. kan het lineaire verband verloren gaan, hetgeen bij een OC-meting vrij grote fouten tot gevolg heeft (te hoge uitkomsten).

Indien over de lineariteit geen zekerheid bestaat kan dit worden gecontroleerd met behulp van een chemische zuurstofbepaling volgens Winkler. Er wordt dan een kalibratie uitgevoerd in water dat voor ca. 100%, 75%, 25% en bijna 10% met zuurstof is verzadigd. Neem hiertoe een vat met een inhoud van ten minste 10 dm^3 en een zo klein mogelijk contactoppervlak lucht/water.

Neem de monsters voor de Winkler zuurstofbepaling hieruit door middel van een hevelslangetje. Ga uit van water dat verzadigd is met zuurstof en neem een monster. Ter verkrijging van de lagere percentages opgeloste zuurstof kan met een pipet een verdunde natriumsulfietoplossing worden toegevoegd met een spoortje kobaltekatalysator.

5.5.2 bepaling van tga met behulp van een logaritmische versterker

Neem bij deze methode een spannings- of stroombron waarvan het elektrisch signaal gelijk is aan het signaal dat de O_2 -meter geeft bij meten in het door het beluchtingssysteem verzadigde water.

Koppel de spannings- of stroombron en de O_2 -meter zodanig dat het resulterende signaal gelijk is aan het verschil van de beide signalen. Voer het verschilsignaal, dat evenredig is met het O_2 -deficiet in het water, toe aan de ingang van een versterker met een logaritmische versterkingskarakteristiek.

Voer het uitgangssignaal van deze versterker, dat een lineaire functie is van de logaritme van het O_2 -deficiet naar de ingang van de lijnschrijver met een papierbreedte van minstens 20 cm (de lijnschrijver kan eventueel ook een type zijn waarbij de voorziening voor een logaritmische omvorming van het signaal reeds is ingebouwd).

Daar een membraan elektrode in het algemeen een potentiaal bezit ten opzichte van het (geaarde) water moet het gehele meetcircuit galvanisch zijn gescheiden van aarde.

Kies de spannings- of stroombereiken, de versterkingsfactor, de ingangsgevoeligheden en de nulpuntsinstellingen zodanig dat de pen van de lijnschrijver als het O_2 -deficiet gelijk is aan c_s (dus als het water zuurstofloos is) op deelstreep nul staat (links op het papier) en als het O_2 -deficiet gelijk is aan $0,1 c_s$ (het O_2 -gehalte dus gelijk is aan $0,9 c_s$) op deelstreep 100 staat.

De afstand tussen twee opeenvolgende deelstrepen komt dan overeen met een mantisse van 0,01.

Na het toevoegen van de sulfietoplossing zal tijdens het beluchten op het papier een met de tijd van links naar rechts lopende en in beginsel rechte lijn worden geregistreerd.

De tangens van de hoek α tussen deze lijn en de links gelegen naar boven gerichte tijdas moet worden bepaald.

5.5.3 chemische zuurstofbepaling volgens Winkler en monsterneming

Voor een beschrijving van de uitvoering van de zuurstofbepaling volgens Winkler zie onder andere normblad NEN 1056 V.2.

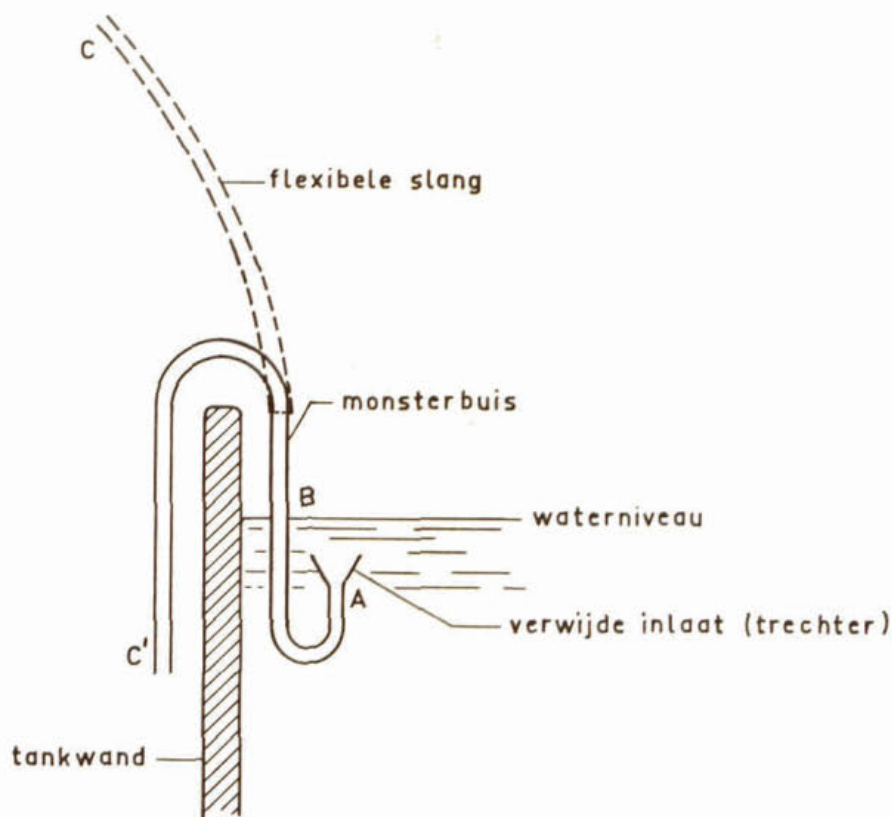


Fig. 2 Hulpstuk monsterneming

Voor een OC-meting in rein water levert de zuurstofbepaling volgens Winkler geen moeilijkheden op. Wanneer het water meer dan $0,15 \text{ g/m}^3$ kobaltionen bevat kan de bepaling wel worden gestoord.

Gebruik voor de monsterneming uit een tank een bemonsteringsbuis (of slang) die loopt van de gekozen meetplaats naar de wand van de tank of eventueel naar een hulpbrug. Voer de buis door de wand of over de bovenrand van de wand. Richt de invoeropening van de buis opwaarts en pas een trechervormige verwijding toe (plastic trechter) om het meevoeren van luchtbellen zoveel mogelijk te voorkomen.

Bij werken onder vrij verval, is om een voldoende groot bemonsteringsdebiet te verkrijgen, bij een buis met een inwendige diameter van 7 mm per meter lengte een druk van circa 25 cm waterhoogte nodig.

Kan niet onder vrij verval worden gewerkt gebruik dan geen centrifugaal-pompje maar een volumeverplaatsingspompje, bijvoorbeeld een slangen-pompje. Zorg voor een bemonsteringsdebiet van circa $30 \text{ cm}^3/\text{s}$. Voorkom het ontstaan van een grote onderdruk in de bemonsteringsbuis door het pompje - indien mogelijk - te monteren dicht bij het wateroppervlak op plaats B van figuur 2, maar bij voorkeur niet op plaats C i.v.m. mogelijke ontgassing.

Neem de buis niet zo wijd dat luchtbellen in een naar beneden gaand gedeelte blijven hangen. Denk hierbij ook aan het eventueel opwarmen van de monsterbuis (zonnestrallen), waardoor eveneens ontgassing kan optreden.

Het meesleuren van kleine luchtbelletjes is nauwelijks te voorkomen, zodat ter beperking van nabeluchting de bemonsteringsbuis niet onnodig lang moet worden gemaakt. Neem alle monsters van eenzelfde meetplaats zoveel mogelijk op identieke wijze. Hierdoor worden bij de berekening van $tg\alpha$ verschillende meetfouten geëlimineerd.

Ga bijvoorbeeld als volgt te werk. Houdt het bemonsteringsdebiet zo goed mogelijk constant en gebruik flesjes met een gelijke inhoud (200 cm^3). Begin 45 seconden voor een meettijdstop de bemonsteringsbuis door te spoelen. Breng op 30 seconden voor het meettijdstop de buis in het flesje tot op ongeveer 1 cm van de bodem. Binnen 10 seconden is het flesje gevuld. Laat het flesje daarna overlopen. Verwijder op het meettijdstop het flesje en bepaal in het verkregen monster water het zuurstofgehalte.

Als $tg\alpha$ groter is dan $7 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ moet, om een voldoende aantal monsters te verkrijgen iets anders te werk worden gegaan. Beperk bij een bemonsteringsbuis die korter is dan 2,5 m de doorspoeltijd tot 5 seconden, neem flesjes met een kleinere inhoud, beperk de tijd van over laten lopen of monteer voor dezelfde meetplaats 2 of 3 gelijke bemonsteringsbuizen.

Houdt het verlies van water uit de tank in de gaten. Ten opzichte van het totale volume water of de waterdiepte van de tank is het dikwijls te verwaarlozen. De indompeling van een oppervlaktebeluchter kan echter belangrijk veranderen. Breng eventueel wat water naar de tank terug.

Bij een dicht onder het wateroppervlak gelegen meetplaats kunnen op eenvoudige wijze monsters worden genomen met behulp van een stok die aan het einde een voorziening heeft waarin twee monsterflesjes kunnen worden geklemd. Op de flesjes komen stoppen met ieder twee buisjes (inwendige diameter 5 mm), zie figuur 3.

In flesje A steekt buisje 1 tot op ca 1 cm van de bodem, buisje 2 bevindt zich uitwendig en is via een slangetje verbonden met buisje 3 van flesje B, weer op ca. 1 cm van de bodem. Buisje 4 tenslotte is 20 cm lang. Bij algehele onderdompeling zijn de flesjes in ongeveer 18 à 20 seconden gevuld. Gebruik alleen flesje A als monster. Neem steeds het begin van onderdompelen als meettijdstop.

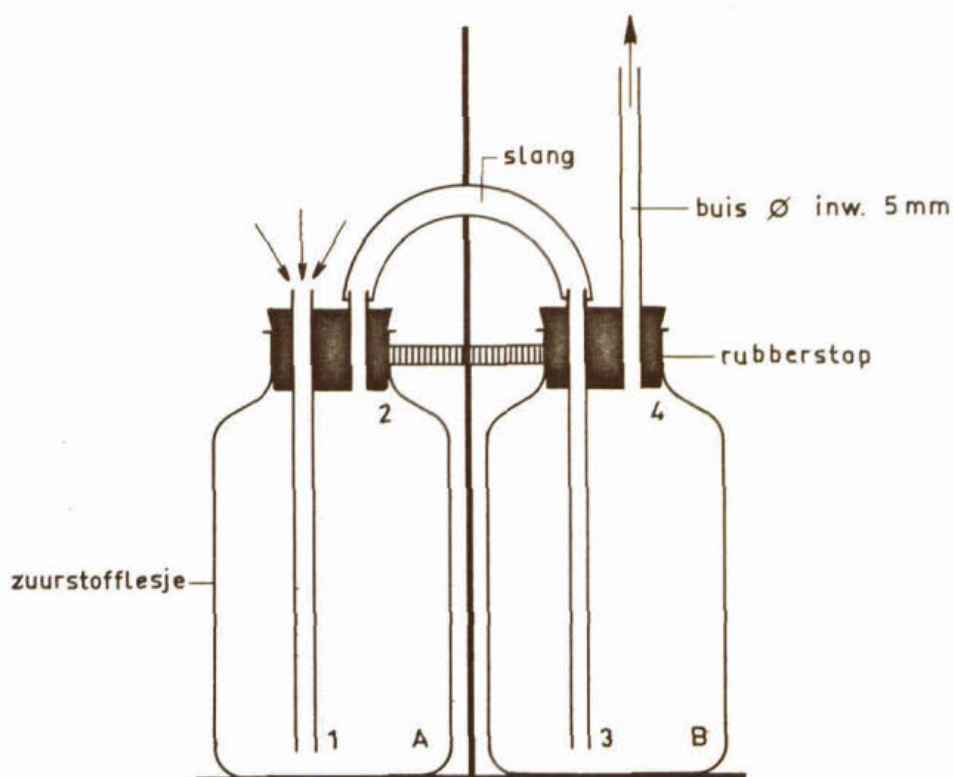


Fig. 3. Hulpstuk monsterflesje

5.5.4 *andere methoden voor de zuurstofbepaling*

In dit voorschrift wordt voor de bepaling van opgeloste zuurstof in water uitgegaan van twee meetmethoden: nl. een die gebruik maakt van de membraanzuurstofelektrode en een chemische zuurstofbepaling volgens Winkler.

Andere zuurstofbepalingsmethoden zijn meestal minder eenvoudig en niet zo universeel bruikbaar voor verschillende beluchtingssystemen.

5.6. Bepaling van het gehalte restsulfiet: toelichting bij 2.1.12

Omdat in dit voorschrift de bepaling van het gehalte aan restsulfiet niet is bedoeld als een analytisch juiste bepaling, maar als een globale controle is het onnodig om het watermonster en de reagentia nauwkeurig te pipetteren. Het gebruik van een maatcilinder is ruim voldoende nauwkeurig.

Benodigde reagentia: zwavelzuur 2 mol/dm³ of fosforzuur 2 mol/dm³, stijfseleplossing 5 g/dm³, jodiumoplossing 0,05 mol/dm³ * hiervan vlak voor het gebruik door verdunning van 1 : 10 een oplossing van 0,005 mol/dm³ maken.

Benodigd glaswerk: een erlenmeyer van 250 cm³ met een merkstreep bij 100 cm³, een maatcilinder van 25 cm³ en een maatpipet van 1 cm³.

Bepaling: Breng in de erlenmeyer ca. 10 cm³ zuur. Breng daarna het te onderzoeken watermonster in de erlenmeyer door deze voorzichtig schuin in het te onderzoeken water te brengen, waardoor deze ongeveer tot de maatstreep wordt gevuld.

Voeg ca. 5 cm³ stijfseleplossing toe en schud voorzichtig om. Druppel dan de 0,005 mol/dm³ jodiumoplossing toe met behulp van de maatpipet. Ga door met het toevoegen van de jodiumoplossing - onder voorzichtig schudden - tot het moment dat de inhoud van de erlenmeyer een eerste blijvende, verkleuring naar blauw vertoont.

Lees dan op de maatpipet af hoeveel jodiumoplossing nodig was.

Omdat het water zelf ook een verbruik aan jodium kan vertonen, wordt voordat de natriumsulfiet wordt toegevoegd aan het water waarin de OC moet worden bepaald, een blanco bepaling gedaan volgens de hiervoor beschreven werkwijze.

Het jodiumverbruik van de blanco bepaling wordt in mindering gebracht op het jodiumverbruik van het water waarin het gehalte aan restsulfiet moet worden bepaald.

* 0,05 mol/dm³ = 6,35 g jodium + 12 g kaliumjodide per dm³. In bruine fles bewaren.

In dit voorschrift is het uitgangspunt bij de bepaling van de OC van een beluchtingssysteem in rein water dat de massastroom zuurstof die de luchtwatergrensvlakken passeert evenredig is met het zuurstofdeficiet in het water.

De evenredigheidsconstante, genaamd de beluchttingsconstante k , karakteriseert het beschouwde beluchtingssysteem wat betreft zijn vermogen om zuurstof op te lossen en deze grootte dient dus te worden bepaald.

Dit voorschrift heeft betrekking op het bepalen van de OC van een beluchtingssysteem bij het beluchten van een gegeven hoeveelheid rein water die aanwezig is in een bassin. Er wordt geen zuurstof in het water geproduceerd en/of gebonden. Al het aanwezige water is in circulatie en neemt regelmatig en in nagenoeg dezelfde mate deel aan het beluchttingsproces. Indien aan deze voorwaarden wordt voldaan neemt het zuurstofdeficiet op een willekeurige plaats in het water met de tijd af volgens de eenvoudige exponentiële functie

$$(c_s - c_t) = (c_s - c_{t=0}) 10^{-tg\alpha \cdot t}$$

waarin: $c_{t=0}$ = de zuurstofconcentratie op tijdstip $t = 0$
 c_t = de zuurstofconcentratie op tijdstip $t = t$
 c_s = de zuurstofverzadigingsconcentratie

De waarde van $tg\alpha$ is bij een gegeven beluchtingssysteem dat aan bovenstaande voorwaarden voldoet onafhankelijk van de plaats in het water. $Tg\alpha$ is een functie van k , het watervolume en het patroon van de watercirculatie. Als de laatste twee bekend zijn kan k berekend worden uit $tg\alpha$.

In dit voorschrift worden voor verschillende geïdealiseerde circulatiepatronen de wijzen van berekening gegeven. De in bassins van rioolwaterzuiveringsinrichtingen optredende circulatiepatronen komen in de meeste gevallen overeen met, of benaderen in voldoende mate, een van deze circulatiepatronen.

Met het kennen van k en c_s van een beluchtingssysteem kan voor elk zuurstofgehalte de zuurstoftoevoer \emptyset_{O_2} worden berekend met de formule:

$$\emptyset_{O_2} = k \cdot (c_s - c)$$

De maximale zuiveringscapaciteit bij het aërobe zuiveringsproces wordt in principe bepaald door de stroom zuurstof die het beluchtingssysteem maximaal in oplossing kan brengen.

De maximale zuurstoftoevoer van een beluchtingssysteem wordt het zuurstoftoevoervermogen van dat beluchtingssysteem genoemd en aangegeven met OC (van "Oxygenation Capacity").

Het is de hoeveelheid zuurstof die per tijdseenheid wordt toegevoerd bij een zuurstofconcentratie $c = 0$, zodat geldt:

$$OC = k \cdot c_s$$

k en c_s zijn afhankelijk van de omstandigheden waaronder het beluchtingsproces zich afspeelt, zoals temperatuur, atmosferische luchtdruk en in het water aanwezige stoffen. Met behulp van omrekeningsfactoren zijn de waarden van k en c_s voor bepaalde procesomstandigheden meer of minder nauwkeurig te berekenen uit de voor andere procesomstandigheden geldende waarden van k en c_s .

Om de OC's van verschillende beluchtingssystemen gemakkelijk onderling te kunnen vergelijken worden de OC's opgegeven voor standaardprocesomstandigheden (standaard OC's). O.a. in Nederland worden de volgende procesomstandigheden aangehouden :

- a. de temperatuur is 10°C ;
- b. de atmosferische luchtdruk is 101,3 kPa (1013 mbar)
- c. het water bevat geen stoffen die een meetbare invloed hebben op de beluchttingsconstante en op de zuurstofverzadigingswaarde (rein water)

In een rioolwaterzuiveringsinrichting is het praktisch onmogelijk om OC-metingen werkelijk onder deze standaardomstandigheden uit te voeren. De OC-meting wordt verricht in rein water bij de heersende temperatuur en atmosferische luchtdruk. Het als waarde voor de OC verkregen meetresultaat wordt met behulp van omrekeningsfactoren omgerekend naar de waarde die zou zijn verkregen als de OC-meting onder standaardomstandigheden zou zijn uitgevoerd.

Een OC-meting volgens dit voorschrift verloopt dus in principe als volgt :

- a. Bij beluchten van met een sulfietoplossing zuurstofarm gemaakt rein water worden de toename van het zuurstofgehalte met de tijd en de zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem gemeten bij de bestaande temperatuur en atmosferische luchtdruk.
- b. Uit de bij a verkregen gegevens wordt $tg\alpha$ berekend.
- c. Uit deze waarde van $tg\alpha$ wordt de beluchttingsconstante k van het beluchtingssysteem geldend voor de tijdens de onder a genoemde temperatuur en atmosferische luchtdruk berekend.
- d. Uit de bij c gevonden beluchttingsconstante wordt de standaard beluchttingsconstante berekend die het beluchtingssysteem heeft, bij een temperatuur van 10°C en een atmosferische luchtdruk van 101,3 kPa.

Uit de bij a gemeten zuurstofverzadigingswaarde wordt de zuurstofverzadigingswaarde berekend die het beluchtingssysteem heeft in zuiver water bij een temperatuur van 10°C en een atmosferische luchtdruk van 101,3 kPa. Het produkt van deze laatste standaardzuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem en de standaardbeluchttingsconstante is gelijk aan de standaard OC van het beluchtingssysteem.

De onder a genoemde metingen worden beschreven in hoofdstuk 2, de onder b, c en d genoemde berekeningen in hoofdstuk 3.

7 DEFINITIES EN OMSCHRIJVINGEN

7.1 Zuurstoftoevoervermogen

Onder het zuurstoftoevoervermogen (in dit voorschrift aangeduid met OC van: oxygenation capacity) wordt verstaan de hoeveelheid zuurstof die per tijdseenheid wordt opgelost in een waterige vloeistof met een zuurstofgehalte van nul g/m³.

De onderlinge vergelijking van verschillende meetresultaten wordt mogelijk gemaakt door uit te gaan van standaard OC's. Onder andere in Nederland is dat de OC die geldt voor de volgende standaardomstandigheden:

- de temperatuur van het water is 10°C
- de barometerstand is 101,3 kPa (1013 mbar)
- het water bevat geen stoffen die een meetbare invloed hebben op de snelheid van zuurstofoverdracht en op de oplosbaarheid van zuurstof.

7.2 Beluchtingssystemen

Onder een beluchtingssysteem wordt hier verstaan de configuratie van beluchter(s) of beluchtingselement(en) en het met water gevulde bassin.

7.3 Rein water

Onder rein water wordt in dit voorschrift verstaan water waarin het gehalte aan opgeloste en onopgeloste stoffen zo laag is dat de snelheid van zuurstofoverdracht niet wordt beïnvloed en de metingen niet worden gestoord. Dit betekent dat de uitkomsten van de OC metingen ten aanzien van het water waarin wordt gemeten reproduceerbaar en vergelijkbaar moeten zijn.

7.4. Zuurstofmetingen

Voor het bepalen van de OC zijn zuurstofmetingen noodzakelijk. Deze metingen kunnen op verschillende manieren worden uitgevoerd.

In dit voorschrift worden twee wijzen beschreven waarop de meting van het gehalte aan opgeloste zuurstof in water kan plaatsvinden. Het zijn de meest gebruikelijke methoden.

Bij de eerste methode worden monsters water genomen, waarin de zuurstofgehalten chemisch - volgens de methode van Winkler - worden bepaald.

Bij de tweede methode wordt gebruik gemaakt van een zuurstofgevoelige detector, een membraan-elektrode. De meting kan uitgevoerd worden in monsters water - die bijvoorbeeld genomen zijn in flesjes - of de meting kan worden verricht door de detector op een vaste plaats in het bassin in het circulerende water te monteren. Het zuurstofgehalte wordt hierbij periodiek van een meter afgelezen en/of met behulp van een schrijver continu geregistreerd.

7.5 Zuurstofverzadigingswaarde

De zuurstofverzadigingswaarde is die zuurstofconcentratie in het water waarbij door een luchtwatergrensvlak geen zuurstofoverdracht plaats vindt. Er is dan een evenwicht tussen de concentratie van de in het water opgeloste zuurstof en de partiële druk van de zuurstof in de lucht. De zuurstofverzadigingswaarde hangt af van de temperatuur, de zuurstofdruk (luchtdruk) en van in het water aanwezige stoffen.

Bij in de bassins van rioolwaterzuiveringsinrichtingen gebruikte beluchtingssystemen zijn, in een mate die afhangt van het beluchtingssysteem, op meer of minder grote diepte in het water luchtbellens aanwezig, zodat de luchtdruk niet bij alle luchtwatergrensvlakken even groot is.

Als zuurstofverzadigingswaarde van een beluchtingssysteem wordt de zuurstofconcentratie beschouwd, waarbij de som van de zuurstoftransporten via alle tot een beluchtingssysteem behorende luchtwatergrensvlakken gelijk is aan nul.

Opmerking: In die situatie blijft voortdurend via de diepst aanwezige luchtwatergrensvlakken wat zuurstof in oplossing gaan, terwijl via de op geringe diepte aanwezige luchtwatergrensvlakken echter weer evenveel zuurstof vanuit het water naar de lucht gaat.

In dit voorschrift worden voor de bepaling van de OC de volgende zes zuurstofverzadigingswaarden onderscheiden:

- a. De zuurstofverzadigingswaarde in zuiver water (=gedestilleerd water) waarbij de luchtwatergrensvlakken in contact zijn met atmosferische lucht van gemiddelde natuurlijke samenstelling en waarbij de druk 101,3 kPa (=1013 mbar bedraagt. (Droge atmosferische lucht bevat 20,95 volumepercenten zuurstof. De lucht is bij de grensvlakken verzadigd met waterdamp. De druk van de lucht en de verzadigde waterdamp tezamen is 101,3 kPa.) Deze verzadigingswaarde wordt voor verschillende temperaturen vermeld in handboeken en in tabel 1.
- b. De zuurstofverzadigingswaarde in zuiver water (= gedestilleerd water) waarbij de luchtwatergrensvlakken in contact zijn met atmosferische lucht van gemiddeld natuurlijke samenstelling en waarvan de druk gelijk is aan de tijdens een OC-meting heersende atmosferische luchtdruk. Deze verzadigingswaarde is voor elke temperatuur te berekenen uit de onder a genoemde zuurstofverzadigingswaarden.
- c. De zuurstofverzadigingswaarde in het reine water dat bij een OC-meting wordt gebruikt en met een temperatuur waarbij die OC-meting wordt uitgevoerd. De luchtwatergrensvlakken zijn in contact met atmosferische lucht waarvan de druk dezelfde is als de tijdens de OC-meting bestaande atmosferische luchtdruk.

- d. De zuurstofverzadigingswaarde *van een beluchtingssysteem* in rein water bij de tijdens een OC-meting bestaande temperatuur en atmosferische luchtdruk. Deze verzadigingswaarde is ten gevolge van de hydrostatische drukken in de luchtbelllen groter dan de onder c genoemde zuurstofverzadigingswaarde. Om in het geval c eenzelfde zuurstofverzadigingswaarde te verkrijgen zou de daar toegepaste luchtdruk een waarde Δp groter dan de atmosferische luchtdruk moeten zijn.
- e. De zuurstofverzadigingswaarde *van een beluchtingssysteem* in rein water bij een temperatuur van 10°C en een atmosferische luchtdruk van 101,3 kPa (1013 mbar).
- f. De zuurstofverzadigingswaarde *van een beluchtingssysteem* in zuiver water (gedestilleerd water) bij een temperatuur van 10°C en een atmosferische luchtdruk van 101,3 kPa. Dit is de *standaard-zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem* waarmee de standaard-OC wordt berekend.

7.6 Zuurstofdeficiet

Onder het zuurstofdeficiet (letterlijk: zuurstoftekort) wordt verstaan het verschil tussen de zuurstofverzadigingsconcentratie en de aanwezige zuurstofconcentratie.

Bij een beluchtingssysteem gaat het om het zuurstofdeficiet ten opzichte van de bij dat beluchtingssysteem onder de gegeven condities behorende zuurstofverzadigingswaarde. Gedurende een OC-meting is dat de onder 7.5 d genoemde verzadigingswaarde.

8 LITERATUUR

- 1 American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th Edition, 1975
- 2 Benedek, A.A. and W.J. Heideger. Polarographic oxygen analyzer response: The effect of instrument lag in the non-steady state reaeration test. *Water Research* 4 (1970)p. 627 - 640.
- 3 Boyle, W.C., Berthouex, P.M. and T.C. Rooney. Univ. of Wisconsin. Pitfalls in parameter estimation for oxygen transfer, data. Proc. of the 28th Ind. waste Conf. Purdue Univ. W. Lafayette. ext.ser. 142, 645 (may 3, 1973).
- 4 Dijkstra F. Zwietering Th. De toepasbaarheid van de OC als vergelijkingsmaat voor verschillende beluchtingssystemen. *H₂O* 10 (1977) 10, p. 233-237.
- 5 Graaf, J.H.J.M. van der. Beproeving van het rotoflow beluchtings-systeem. *H₂O* 9 (1976)25, p. 512 - 517.
- 6 Ilsink, M.W., Brandse, F.A. Fijne bellenbeluchting door middel van schijfvormige beluchtingselementen op de rwzi Steenwijk. *H₂O* 11 (1978)6, p. 107 - 113.
- 7 Kalinske, A.A., Lash, L.D. and G.L. Shell. Cobalt interference in the non-steady state clean water test. *Water & Sewage Works J.* (1973 July, p. 54 - 59.
- 8 Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging. Tabellenboekje ten dienste van laboratoria. Achttiende verbeterde druk. 1962.
- 9 Sweeris, S. Meting van het zuurstoftoevoervermogen. IG-TNO publicatie no. 340. *H₂O* 2(1969)25 p. 610 - 642,649.
- 10 Sweeris, S., Trietsch R. Bepaling van het zuurstoftoevoervermogen (OC) in carrousel. IG-TNO publicatie nr. 494. *H₂O* 7(1974)5 en 6, p. 90-94, 106 - 110.

| grootheid | | eenheid |
|-----------------------------|---|-------------------|
| symbool | naam | symbool |
| a | deficietverhoudingsfactor (plaatselijk t.o.v. gemiddeld deficiet). | - |
| A | oppervlakte van een dwarsdoorsnede | m ² |
| c | concentratie van de opgeloste zuurstof | g/m ³ |
| c _s | zuurstofverzadigingsconcentratie | g/m ³ |
| η | rendement van de vermogensomzetting $\frac{P_{\text{netto}}}{P_{\text{bruto}}}$ | - |
| Φ _{O₂} | massastroom zuurstof die in de oplossing gaat | g/s |
| k | beluchttingsconstante | m ³ /s |
| l | lengte van een bassin | m |
| M | moment | kN |
| n | aantal plaatsen in een beluchtingssysteem waar beluchting plaatsvindt | - |
| n | rotatiefrequentie | s ⁻¹ |
| OC | zuurstoftoevoervermogen | g/s |
| P _B | atmosferische druk tijdens de OC-meting | kPa |
| P _H | hydrostatische druk ter plaatse van de beluchtingselementen | kPa |
| P _{H₂O} | dampspanning van water bij de gemeten watertemperatuur | kPa |
| Δp | de bij de zuurstofverzadigingswaarde van het beluchtingssysteem behorende druk boven de atmosferische luchtdruk | kPa |
| P | vermogen | kW |
| $\frac{OC}{P}$ | energetisch zuurstofinbrengrendement | g/kJ |
| Q | massa zuurstof | g |

| | | |
|--------------------|---|-------------------|
| q | volumestroom water -door een vlak loodrecht op stromingsrichting- door een dwarsdoorsnede van het circuit | m ³ /s |
| q _{lucht} | volumestroom lucht | m ³ /s |
| t | tijd | s |
| T | temperatuur | °C |
| T _B | omlooptijd van een beluchtingselement B | s |
| tga | de uit de relatieve zuurstofdeficietafneming bepaalde reciproke van de beluchtingstijdconstante van het beluchtingssysteem onder de meetomstandigheden. De grootte van tga is gelijk aan de reciproke waarde van de tijd waarin het zuurstofdeficiet een factor 10 kleiner wordt. | s ⁻¹ |
| τ ₉₉ | tijd nodig voor 99% daling van de aanwijzing van de zuurstofmeter indien de elektrode van verzadigd water in zuurstofloos water wordt geplaatst. | |
| v | snelheid | m/s |
| V | volume | m ³ |
| V _{tot} | het totale volume water in het beluchtingssysteem | m ³ |

Omrekeningsfactoren voor niet-S.I.-eenheden :

101,3 kPa = 760 mm Hg

g/kJ = kg/kWh : 3,6

9,806 kPa = 1 m H₂O

| T (°C) | c_s (g/m ³) | T (°C) | c_s (g/m ³) | T (°C) | c_s (g/m ³) |
|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|------------------------------|
| 0 | 14,6 | | | | |
| 1 | 14,2 | 11 | 11,1 | 21 | 9,0 |
| 2 | 13,8 | 12 | 10,8 | 22 | 8,8 |
| 3 | 13,5 | 13 | 10,6 | 23 | 8,7 |
| 4 | 13,1 | 14 | 10,4 | 24 | 8,5 |
| 5 | 12,8 | 15 | 10,2 | 25 | 8,4 |
| 6 | 12,5 | 16 | 10,0 | 26 | 8,2 |
| 7 | 12,2 | 17 | 9,7 | 27 | 8,1 |
| 8 | 11,9 | 18 | 9,5 | 28 | 7,9 |
| 9 | 11,6 | 19 | 9,4 | 29 | 7,8 |
| 10 | 11,3 | 20 | 9,2 | 30 | 7,6 |

Tabel 1. Zuurstofverzadigingswaarde¹: Oplosbaarheid van zuurstof in water onder atmosferische lucht met een totale druk van 101,3 kPa

| T (°C) | P_{H_2O} (kPa) | T (°C) | P_{H_2O} (kPa) | T (°C) | P_{H_2O} (kPa) |
|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|
| 0 | 0,6 | | | | |
| 1 | 0,6 | 11 | 1,3 | 21 | 2,5 |
| 2 | 0,7 | 12 | 1,4 | 22 | 2,6 |
| 3 | 0,7 | 13 | 1,5 | 23 | 2,8 |
| 4 | 0,8 | 14 | 1,6 | 24 | 3,0 |
| 5 | 0,9 | 15 | 1,7 | 25 | 3,2 |
| 6 | 0,9 | 16 | 1,8 | 26 | 3,4 |
| 7 | 1,0 | 17 | 1,9 | 27 | 3,6 |
| 8 | 1,1 | 18 | 2,1 | 28 | 3,8 |
| 9 | 1,1 | 19 | 2,2 | 29 | 4,0 |
| 10 | 1,2 | 20 | 2,3 | 30 | 4,2 |

Tabel 2. Dampspanning van water⁸

| | | | | | |
|--|------|--------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|
| rwzi: | | datum: | | uur: | |
| OC-nr.: | | uitgevoerd door: | | | |
| meetplaats: | | | | | |
| meetcondities | | vóór de beproeving | | na de beproeving | |
| luchtdruk | | kPa | | kPa | |
| luchttemperatuur | | °C | | °C | |
| watertemperatuur | | °C | | °C | |
| zuurstofverzadigingswaarde c_s (g/m ³) | | | | (Winkler/elektrode*) | |
| 1) | | 2) | | 3) | |
| | | | | gemiddeld: | |
| monster/ aflezing | | zuurstof- conc. | zuurstof- deficiet | $\log \frac{c_s}{c_s - c_t}$ | opmerkingen: |
| nr. | tijd | c_t | $c_s - c_t$ | | |
| | | | | | |
| tga: | | | | | |
| * doorhalen hetgeen niet van toepassing is. | | | | | |

Tabel 3. Voorbeeld tabel zuurstofmetingen

