

]

1401-13

81-13
STOR

Sturing en regeling van de zuurstofinbreng
in het
actief – slibproces

Literatuur en Inventarisatie

32/440 (0-1)

INHOUD

I- II

Ten geleide

III

BIBLIOTHEEK DE HAAFF
Droevendaalsesteeg 3a
Postbus 241
6700 AE Wageningen

1 SAMENVATTING

1-2

2 INLEIDING

3-5

2.1 Algemeen

3

2.2 Probleemstelling

4

2.3 Doelstelling

4

2.4 Aanpak van het onderzoek

5

3 LITERATUURONDERZOEK

6-31

3.1 Inleiding

6

3.2 Het actief-slibproces

6-9

3.2.1 algemeen

6-7

3.2.2 mengkarakteristiek beluchtingstank

7-9

3.3 De zuurstofinbreng in het actief-slibproces

9-11

3.3.1 algemeen

9

3.3.2 bellenteluchting

9-10

3.3.3 oppervlaktebeluchting

10

3.3.4 inbreng van zuivere zuurstof

10-11

3.4 Het zuurstofgehalte en het zuurstofprofiel

11-12

3.5 Het energieverbruik voor zuurstofinbreng

12-14

3.6 Regelen van de zuurstoftoevoer

14-22

3.6.1 basissymbolen en begrippen

14-15

3.6.2 basisschakelingen voor regeling

15-18

3.6.3 systemen van regeling

18-22

3.7 Parameters voor regeling

22-26

3.7.1 algemeen

22

3.7.2 teruggekoppelde regeling

23-24

3.7.3 anticiperende regeling

24-26

3.8 Energie- en kostenbesparing

26-29

3.8.1 algemeen

26-27

3.8.2 energiebesparing

27

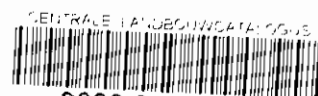
3.8.3 kostenbesparing

27-29

3.9 Conclusies

30-31

2 DEC 2003



0000 0928 9360

V/1/1/1/1/1 | 1200 1773031

4	INVENTARISATIE VAN DE PRAKTIJKSITUATIE IN NEDERLAND	32-54
4.1	Inleiding	32
4.2	Geïnteriseerde actief-slibinstallaties	32-36
4.2.1	<i>algemeen</i>	32-33
4.2.2	<i>volledig gemengde- en meercellenbeluchtingssystemen</i>	33-34
4.2.3	<i>propstroombeluchtingssystemen</i>	34-35
4.2.4	<i>omloopbeluchtingssystemen</i>	35-36
4.3	Beschouwing van methoden van regelen van de zuurstofinbreng	36-52
4.3.1	<i>algemeen</i>	36
4.3.2	<i>volledig gemengde- en meercellenbeluchtingssystemen</i>	37-41
4.3.3	<i>propstroombeluchtingssystemen</i>	41-46
4.3.4	<i>omloopbeluchtingssystemen</i>	46-52
4.4	Conclusies	53-54
5	EVALUATIE EN AANBEVELING VOOR VOORTGEZET ONDERZOEK	55-57
5.1	Evaluatie	55-56
5.2	Aanbeveling voor voortgezet onderzoek	56-57
6	LITERATUURLIJST	58-59
	Bijlagen 1 t/m 5	61-77

Ten geleide

Om een zo goed mogelijke effluentkwaliteit te verkrijgen en zoveel mogelijk energie te besparen, wordt de hoeveelheid zuurstof die nodig is voor de zuivering van afvalwater meestal op een of andere manier gestuurd.

Uit het hier beschreven literatuuronderzoek blijkt, dat de zuurstofinbreng vrijwel steeds via een teruggekoppelde regeling wordt gestuurd; de situatie in Nederland vormt daarop geen uitzondering.

Een teruggekoppelde regeling stuurt op de zuurstofbehoefte in het beluchtingsgedeelte; zij anticipeert daardoor niet op wisselingen in het aangevoerde afvalwater.

Het vermoeden is dan ook gewettigd, dat met een anticiperende regeling betere resultaten kunnen worden bereikt: onderzoek naar de merites van een dergelijk systeem wordt daarom aanbevolen.

Door automatische regeling wordt een constantere effluentkwaliteit verkregen; bovendien wordt daarmee 10 à 20% op energiekosten bespaard. Voor zuiveringsinrichtingen met een capaciteit kleiner dan circa 5000 i.e. loont dit niet; daar moet met de hand of tijd klok worden gestuurd.

Het onderzoek werd door het algemeen bestuur van de STORA, op voorstel van de Onderzoekadviescommissie*, opgedragen aan het Adviesbureau Bongaerts, Kuyper en Huiswaard. Dit bureau werd namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit ir. J.S.J. Dragt (voorzitter), ir. M. IJlsink, ing. J.J. Jonk en ir. C.H. Kuggeleijn.

december 1981.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

*

De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en dr.ir. H.J. Eggink, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, ir. C.H. Kuggeleijn, ir. J.S. Kuyper, ir. Th.G. Martijn, ir. H.A. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubink, ir. J. van Selm, ir. M. Tiessens, drs. A.A. Wismeijer (leden).

SAMENVATTING

Actief-slibsystemen hebben doorgaans een sterk wisselende zuurstofbehoefte in de beluchtingstank(s). Indien hier niet op wordt ingespeeld leidt dit tot ongewenste variaties in de effluentkwaliteit en tot een energetisch niet optimale procesvoering.

In een literatuuronderzoek zijn voor verschillende typen actief-slibsystemen de methoden geïnventariseerd, waarmee de zuurstoftoevoer wordt aangepast aan de behoefte.

De gevonden gegevens over energiebesparing door het automatisch regelen van de zuurstofinbreng hebben slechts betrekking op de teruggekoppelde regeling (meting zuurstofgehalte in de beluchtingstank). De vermelde besparingen variëren van 0 tot 40% en liggen in het algemeen in de orde van 10 tot 20%. Voor actief-slibinstallaties met meer dan circa 5000 inwonerequivalenten kan naar verwachting door toepassing van een automatische regeling van de zuurstofinbreng worden bespaard op bedrijfskosten. Voor kleinere installaties lijkt een regeling met de hand, dan wel een eenvoudige regeling met een tijd-klok, economisch het meest aantrekkelijk.

Naast het literatuuronderzoek is een inventarisatie verricht naar de praktijksituatie in Nederland.

Uit dit onderzoek is het navolgende gebleken:

- op het merendeel van de beschouwde rwzi's wordt een automatische of een met de hand geregelde zuurstofinbreng (teruggekoppeld) toegepast. Op een aantal rwzi's gaf de regeling van de zuurstofinbreng technische problemen zoals vervuiling en aantasting van zuurstofelectroden en slijtage aan hefinrichting en tandwielkast van oppervlaktebeluchters;
- het regelen van meerdere parallelle straten op basis van zuurstofmetingen in één straat is in het algemeen weinig zinvol;
- het regelen van volledig gemengde systemen geeft in het algemeen weinig problemen;
- in meercellensystemen bezitten de afzonderlijke cellen vaak een verschillende zuurstofhuishouding, zodat meerdere zuurstofelectroden per tank nodig zijn;
- in propstroomsystemen wordt de zuurstofinbreng doorgaans geregeld met behulp van één zuurstofelectrode achterin de tank. Een nadeel van deze regelmethode is, dat een verandering van de zuurstofbehoefte pas aan het einde van de beluchtingstank wordt signaleerd;
- in omloopsystemen wordt de zuurstofinbreng veelal geregeld op basis van continue en discontinue zuurstofmetingen in de beluchtingstank en/of discontinue $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ - metingen in het effluent;

- doordat gegevens van vergelijkbare ongeregelde en met de hand geregelde systemen schaars zijn, is relatief weinig bekend over verkregen energiebesparingen. De gegevens met betrekking tot energiebesparing zijn vaak enigszins vertroebeld, omdat naast de wijze van regeling ook andere factoren zoals de vuillast variëerden;
- op drie van de beschouwde rwzi's was tot op zekere hoogte een vergelijking mogelijk tussen een automatische regeling van de zuurstofinbreng en een regeling met de hand. De besparingen op energie lagen in dezelfde orde van grootte als die welke in de literatuur worden gegeven.

Het automatisch regelen van de zuurstofinbreng kan leiden tot een meer constante effluentkwaliteit en aanzienlijke besparingen op energie- en bedrijfskosten. In de praktijk wordt vrijwel steeds een teruggekoppelde regeling toegepast. Anticiperend regelen (meting van de vuillast of de zuurstofbehoefte van actiefslib) komt nauwelijks voor. Verdere ontwikkeling van anticiperend regelen verdient de aandacht.

Gegevens over besparing op energie- en bedrijfskosten zijn schaars. Er is relatief weinig bekend over de invloed van zuurstofregeling op onder andere de effluentkwaliteit, slibindex en de mogelijkheden voor toepassing van roeders of propellers voor voortstuwing en menging.

2 INLEIDING

2.1 Algemeen

De thans in Nederland meest toegepaste wijze van afvalwaterzuivering is de biologische zuivering volgens het actief-slibproces.

Het actief-slibproces bestaat in het algemeen uit een beluchtingstank en een nabezinktank, die procestechnisch een eenheid vormen.

In de beluchtingstank worden opgeloste en gesuspendeerde organische stoffen omgezet in een gevlokte suspensie van micro-organismen (actiefslib).

In de nabezinktank wordt het actiefslib gescheiden van het water, ingedikt en vervolgens teruggevoerd naar de beluchtingstank. Door onttrekking van slib wordt de slibhoeveelheid in de beluchtingstank constant gehouden.

Voor een beschrijving van het actief-slibproces bestaan kinetische modellen. Deze modellen waren tot voor circa 10 jaar vrijwel steeds gebaseerd op evenwichtscondities (statische modellen). Evenwichtscondities impliceren onder meer een constante slibbelasting, uitgedrukt in kg BZV per kg droge stof per dag in de beluchtingstank. In de praktijk is de slibbelasting doorgaans niet constant, vooral door variaties in hoeveelheid en samenstelling van het afvalwater. Het afgelopen decennium is in toenemende mate onderzoek verricht naar het dynamisch gedrag van het actief-slibproces.^{3,8,14,18,31,32.}

Uit deze onderzoeken is gebleken, dat indien bij het ontwerp en de procesvoering van een actief-slibinstallatie niet wordt ingespeeld op sterke wisselingen in de belasting, dit kan betekenen:

- ongewenste variaties in de effluentkwaliteit;
- een energetisch niet optimale procesvoering.

Door het slibgehalte aan de wisselende organische vuillast aan te passen met als doel de slibbelasting constant te houden, kan vooral bij hogere belastingen een meer gelijkmatige effluentkwaliteit worden verkregen. Meestal is een (voldoende snelle) aanpassing van het slibgehalte echter niet mogelijk, vanwege:

- een te grote traagheid van het hydraulische systeem beluchting-nabezinking. Pas na uren wordt een gewenste verhoging of verlaging van het slibgehalte in de beluchtingstank bereikt;
- te weinig gebufferd slib in het systeem.
Een aparte slibbuffer kan hier uitkomst bieden.

Een sterk wisselende belasting betekent eveneens een sterk wisselende zuurstofbehoefte in de beluchtingstank. Door de zuurstoftoevoer zo goed mogelijk af te stemmen op de momentane zuurstofbehoefte zou volgens enkele literatuurstudies² en praktijkonderzoeken^{6,10,12} het volgende kunnen worden bereikt:

- een aanzienlijke besparing op het energieverbruik;
- veelal een verbetering van de effluentkwaliteit.

2.2 Probleemstelling

De zuurstoftoevoer kan op de volgende wijzen aan de momentane zuurstofbehoefte worden aangepast:

1. de zuurstoftoevoer wordt ingesteld op basis van metingen van de organische vuillast van het influent van de beluchtingstank, dan wel op basis van ervaringsgegevens over het verloop van de zuurstofbehoefte gedurende bijvoorbeeld een dag, een week of weekend (tijdprogramma's). In het eerste geval dient het verband tussen de vuillast en de zuurstofbehoefte bekend te zijn en in een goed model te zijn vastgelegd. Het zuurstofgehalte in de beluchtingstank wordt hierbij niet gemeten.

In hoeverre het zuurstofgehalte zal afwijken van een gewenste waarde hangt af van de nauwkeurigheid van het toegepaste model of tijdprogramma.

De mogelijkheid het proces op deze wijze te regelen wordt in de duitse literatuur als "Steuerung" en in de engelse literatuur als "feed-forward control" aangeduid.

2. de zuurstoftoevoer wordt bijgesteld op basis van metingen van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank. Afwijkingen van het zuurstofgehalte ten opzichte van een gewenste waarde worden gecorrigeerd door de zuurstoftoevoer te verhogen of te verlagen. De mogelijkheid het proces op deze wijze te regelen wordt in de duitse literatuur als "Regelung" en in de engelse literatuur als "feed-back control" aangeduid.
3. een combinatie van onder 1 en 2 genoemde mogelijkheden.

Er bestaan diverse varianten in de wijze waarop deze mogelijkheden worden gerealiseerd. Deze varianten hangen samen met de uitvoeringsvormen van het actief-slibproces en de grootte van de installaties. De regeling van de zuurstoftoevoer kan met de hand, dan wel automatisch geschieden.

In de praktijk vindt reeds op ruime schaal een zekere mate van regeling van de zuurstoftoevoer plaats. Er bestaat echter nog onvoldoende inzicht in de technische en technologische mogelijkheden. Tevens bieden de ontwerpen van beluchtingssystemen veelal slechts beperkte mogelijkheden tot het regelen van de zuurstoftoevoer.

Over de mogelijkheden om op energiekosten te besparen is vanwege het ontbreken van goede referentie-onderzoekingen weinig bekend.

2.3 Doelstelling

Het onderzoek heeft tot doel de methoden voor aanpassing van de zuurstoftoevoer aan de behoefte in actief-slibsystemen te inventariseren en te evalueren. Bij de zuurstofregeling wordt gestreefd naar een minimum aan beluchtingsenergie bij een optimale procesvoering. Zowel aan procestechnische als aan economische en bedrijfstechnische aspecten zal aandacht worden besteed.

2.4 Aanpak van het onderzoek

In het literatuuronderzoek worden de verschillende methoden voor regeling van de zuurstoftoevoer beschouwd in relatie tot de grootte van de actief-slibinstallatie, het type beluchting en de wijze van procesvoering. Tevens zal aandacht worden besteed aan de volgende aspecten:

- het minimaal benodigde zuurstofgehalte in de beluchtingstank voor een gewenste effluentkwaliteit voor wat betreft zuurstofbindende stoffen (BZV, N_{kj});
- de mogelijkheid tot toepassing van denitrificatie bij regeling van de zuurstoftoevoer.

Vervolgens wordt aan de hand van gesprekken met onder andere overheidsdeelnemers in de STORA en van de bij hen verzamelde gegevens nagegaan welke kennis en ervaring in Nederland voorhanden is.

3 LITERATUURONDERZOEK

3.1 Inleiding

Het influent van actief-slibinstallaties kan in de tijd sterk variëren naar hoeveelheid en samenstelling. Vooral op kleine tot middelgrote actief-slibinstallaties voor huishoudelijk (stedelijk) afvalwater worden aanzienlijke variaties in de slibbelasting waargenomen. Een verhouding van 7 of hoger tussen de maximale en minimale uurgemiddelde belasting gedurende een etmaal behoort niet tot de uitzonderingen. De hoogste en de laagste waarden van de belasting, welke minder dan 10% van de tijd voorkomen, zijn hierbij buiten beschouwing gelaten ^{7,21}.

Sterke wisselingen in de belasting houden tevens grote variaties in de zuurstofbehoefte in, welke overigens minder groot zijn dan de variaties in de belasting. Een constante zuurstoftoevoer gaat dan ook gepaard met een sterk variërend zuurstofgehalte in de beluchtingstank.

Voor het optimaal bedrijven van het actief-slibproces is het van belang, dat het zuurstofgehalte van de beluchtingstank binnen bepaalde grenzen wordt gehouden. Uit energetische overwegingen dient te worden gestreefd naar een zo laag mogelijk zuurstofgehalte.

Een laag zuurstofgehalte betekent een groot zuurstofdeficiet en derhalve een hogere zuurstofoverdracht. Het zuurstofgehalte mag evenwel niet onbepaald worden verlaagd, omdat beneden een bepaald gehalte de activiteit van de biomassa afneemt en het zuiveringsrendement terugloopt.

Als de zuurstoftoevoer niet wordt afgestemd op de momentane zuurstofbehoefte, maar op de maximale zuurstofbehoefte tijdens een etmaal, dan wordt gedurende een gedeelte van de tijd zuurstof ingebracht bij een relatief hoog zuurstofgehalte. Hoewel dit in het algemeen geen nadelige invloed heeft op het zuiveringsrendement is het uit energetisch oogpunt niet gewenst.

De benodigde energie voor de zuurstoftoevoer in de beluchtingstank bedraagt globaal 70% en bij toepassing van nitrificatie zelfs tot circa 90% van het totale energieverbruik op een actief-slibinstallatie. Door efficiënt regelen van de zuurstoftoevoer kan derhalve aanzienlijk worden bespaard op het totale energieverbruik.

Op veel actief-slibinstallaties wordt de zuurstoftoevoer met de hand geregeld. Er wordt evenwel steeds meer overgegaan tot automatisering van de zuurstoftoevoer. Uit enkele praktijkonderzoekingen bleek, dat hierdoor extra energiebesparingen van globaal 10 tot 20% en zelfs hoger mogelijk zijn ^{6,10,12}.

3.2 Het actief-slibproces

3.2.1 *algemeen*

Het oorspronkelijke actief-slibproces, ontwikkeld door Arden en Lockett, heeft in de loop van de tijd vele wijzigingen ondergaan. Thans wordt het proces in het algemeen continu bedreven. Voorts is een aantal varianten ontstaan, welke zich onderscheiden naar:

- de mengkarakteristiek in de beluchtingstank;
- de plaats van inbreng van afvalwater en retourslib in de beluchtingstank;
- de grootte van de slibbelasting en hiermee samenhangend de mate van slibstabilisatie in de beluchtingstank.

Via de mengkarakteristiek in de beluchtingstank kan een koppeling worden gelegd met typen reactoren in de procestechniek, waarvoor regelsystemen zijn opgesteld. Derhalve is de mengkarakteristiek in de beluchtingstank in de volgende paragraaf nader omschreven. Varianten van het actief-slibproces met betrekking tot de plaats van inbreng van afvalwater en retourslib en de grootte van de slibbelasting worden bekend verondersteld en zijn dan ook verder niet behandeld.

3.2.2 mengkarakteristiek beluchtingstank

In de procestechniek worden op basis van de mengkarakteristiek de volgende typen reactoren onderscheiden:

- de volledig gemengde reactor;
- de cascaderactor;
- de propstroomreactor.

De mengkarakteristiek kan worden afgeleid uit het concentratieverloop van een inerte component in het effluent (c -effluent) van een reactor bij een sprongsgewijze verhoging van de concentratie van deze component in het influent (c -influent).

De gebruikelijke beluchtingstanks kunnen bij benadering worden ingedeeld bij de in de procestechniek gehanteerde reactortypen. Hierop gebaseerd kunnen de volgende typen beluchtingstanks worden onderscheiden:

- De volledig gemengde of "complete mixed" beluchtingstank (figuur 1)

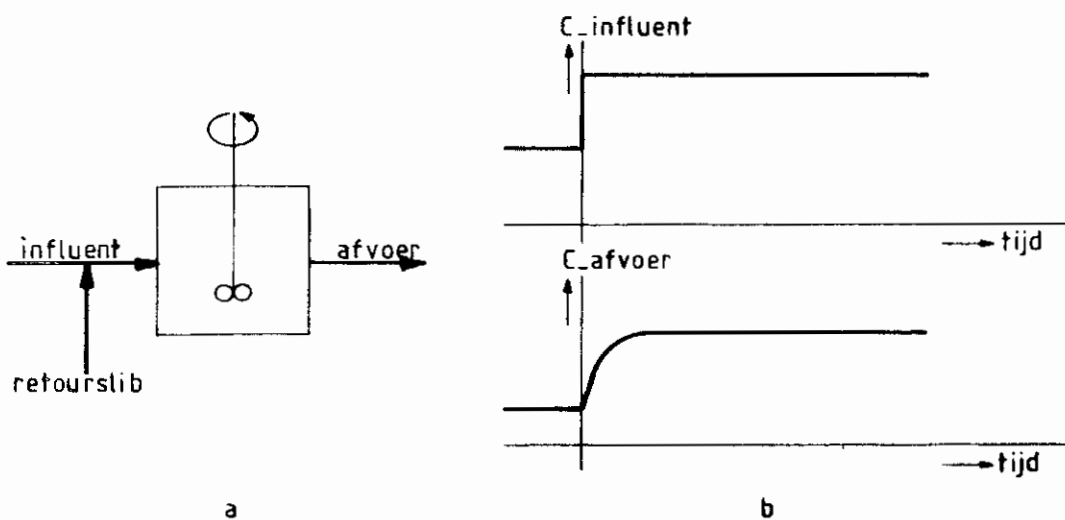


Fig. 1 Schema volledig gemengde beluchtingstank (a) en mengkarakteristiek volledig gemengde beluchtingstank (b)

De volledig gemengde beluchtingstank wordt gekarakteriseerd door afwezigheid van een dode tijd (zie figuur 1b). Onder het begrip dode tijd wordt verstaan de tijd tussen een verandering van een ingangsgrootheid van een proces en een daarmee samenhangende verandering van een uitgangsgrootheid. De cel van een oppervlaktebeluchter kan bij benadering als volledig gemengd worden beschouwd.

- De cascade- of meerzellenbeluchtingstank (figuur 2)

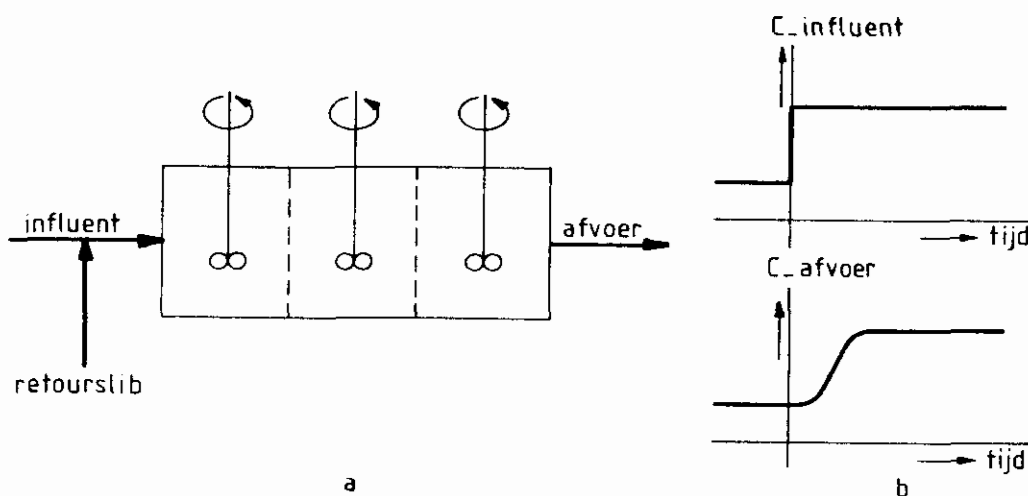


Fig. 2 Schema cascade- of meerzellenbeluchtingstank (a) en mengkarakteristiek cascade- of meerzellenbeluchtingstank (b)

Een verandering van een ingangsgrootheid van het proces wordt eerst na verloop van tijd gevolgd door een *significante* verandering van een daarmee samenhangende uitgangsgrootheid (zie figuur 2b).

- De propstroombeluchtingstank (figuur 3)

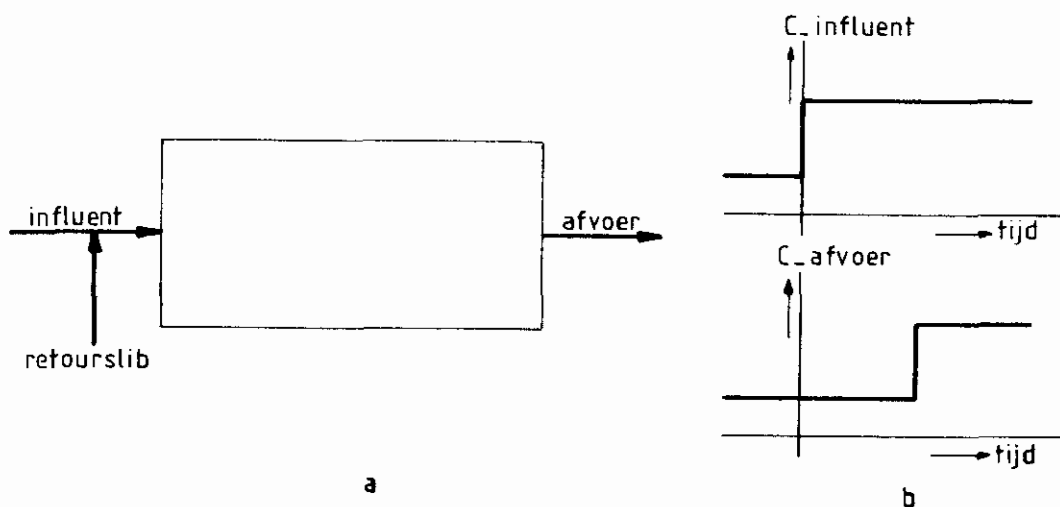


Fig. 3 Schema propstroombeluchtingstank (a) en mengkarakteristiek propstroombeluchtingstank (b)

De dode tijd in een propstroombeluchtingstank is gelijk aan de gemiddelde doorstroomtijd van de tank.
Smalle tanks met bellenbeluchting en inbreng van afvalwater en re-tourslib op de kop kunnen bij benadering als tanks met propstroming worden beschouwd.

Omloopbeluchtingstanks (Pasveersloten, Caroussels) kunnen afhankelijk van de verhouding tussen het omloopdebiet en het toevoerdebiet worden ingedeeld bij de voormelde typen beluchtingstanks.

3.3 De zuurstofinbreng in het actief-slibproces

3.3.1 *algemeen*

De benodigde zuurstof voor het actief-slibproces kan worden ingebracht in de vorm van lucht of zuivere zuurstof.

Voor de inbreng van lucht bestaan in principe twee methoden, te weten:

- bellenbeluchting (waaronder ook waterstraalbeluchting);
- oppervlaktebeluchting.

Zuivere zuurstof wordt ingebracht met injectoren.

Voor het mengen worden puntbeluchters of roerders gebruikt.

3.3.2 *bellenbeluchting*

Bij bellenbeluchting wordt de lucht onder druk in het afvalwater gebracht.

Hierbij kan worden onderscheiden ^{15,16,25} :

- een beluchting onder relatief hoge druk (met in het algemeen fijne bellen);
- beluchting onder relatief lage druk (met in het algemeen grove bellen).

Beluchting onder relatief hoge druk geschiedt met behulp van compressoren. Doorgaans worden de volgende typen compressoren toegepast:

- Rootsblowers en schroefcompressoren, welke werken volgens het verdringerprincipe.
Het luchtdebiet van deze compressoren wordt nauwelijks beïnvloed door variaties in de tegendruk.
De capaciteit kan worden gewijzigd door:
 - verandering van het toerental;
 - aan- en uitschakelen van eenheden.
- Centrifugaalcompressoren.
Het luchtdebiet van deze compressoren wordt sterk beïnvloed door variaties in de tegendruk.
De capaciteit kan worden gewijzigd door:
 - verandering van het toerental;
 - aan- en uitschakelen van eenheden;
 - smoren in de zuigleiding;
 - smoren in de persleiding.

Hierbij wordt opgemerkt, dat smoren in de zuig- of persleiding nauwelijks besparing geeft op beluchtungsenergie.

Beluchting onder relatief lage druk geschiedt met behulp van ventilatoren.

De capaciteit kan worden gewijzigd door:

- verandering van het toerental;
- aan- of uitschakelen van eenheden.

3.3.3 oppervlaktebeluchting

De oppervlaktebeluchters kunnen in twee groepen worden ingedeeld^{13,15,25}:

- rotoren, draaiende om een horizontale as;
- puntbeluchters, draaiende om een verticale as.

De capaciteit kan worden gewijzigd door variatie van het toerental en/of de dompeldiepte van de beluchter^{2,10,29}.

Voor de variatie van het toerental bestaan de volgende mogelijkheden:

- aan- en uitschakeling.
Aan- en uitschakeling is alleen zinvol bij beluchters met een vast toerental.
Voorts zal ten gevolge van het uitschakelen het slib willen bezinken. Uit de bedrijfsresultaten moet blijken of uitschakeling geschikt is en zo ja welke maximale tijden van uitschakeling kunnen worden aangehouden;
- twee-toerentalschakeling.
Bij beluchters met een twee-toerentalschakeling kan de capaciteit in stappen worden gewijzigd;
- traploze toerentalschakeling.
Grote mechanische beluchters zijn soms uitgerust met aandrijfmechanismen, waarmee het toerental van de beluchters traploos kan worden gewijzigd.

Voor de variatie van de dompeldiepte bestaan de volgende mogelijkheden:

- hoogteverstelling van de beluchter.
De investeringskosten voor mechanische hoogteverstelling zijn in het algemeen hoog. De wijze van variatie van de dompeldiepte is vaak storingsgevoelig;
- verstelling van de overstortrand van de beluchtingstank.
De overstortbreedte dient voldoende groot te worden gekozen om opstuwing in de tank bij grotere debieten te voorkomen. De snelheid van verstelling dient zo klein te zijn, dat het bezinkproces in de nabezinktank niet nadelig wordt beïnvloed.

3.3.4 inbreng van zuivere zuurstof

Bij gebruik van zuivere zuurstof werkt de afgedekte aëratietank in principe als een respirometer¹⁰. Het zuurstoftoevoerdebiet kan worden geregeld op basis van de gasdruk in het systeem.

Een typisch systeem voor regeling van de inbreng van zuivere zuurstof kan als volgt worden beschreven.

De aëratietank bestaat uit meerdere in serie geschakelde compartimenten. De druk in het eerste compartiment wordt constant gehouden door regeling van het zuurstoftoevoerdebiet met behulp van een auto-

matische regelklep. Het zuurstofgehalte van het spuisgas van het laatste compartiment wordt constant gehouden door regeling van het spuisgasdebiet met een automatische regelklep. Een geringe verhoging van de zuurstofbehoefte in de aëratietank geeft een verlaging van het zuurstofgehalte in het spuisgas. De spuisgasklep wordt verder geopend. De druk in de gasfase neemt hierdoor af met als gevolg een verhoging van het zuurstoftoevoerdebiet naar het eerste compartiment van de tank. Hierdoor stelt zich een nieuw evenwicht in bij een hoger zuurstoftoevoerdebiet.

3.4 Het zuurstofgehalte en het zuurstofprofiel

Voor een optimaal bedrijf van het actief-slibproces moet uit het oogpunt van effluentkwaliteit en energieverbruik het zuurstofgehalte in de beluchtingstank binnen bepaalde grenzen worden gehouden. Deze grenzen worden bepaald door de wijze van procesvoering (zie 3.2). Voor een optimale BZV-verwijdering, nitrificatie en denitrificatie worden doorgaans de volgende richtlijnen gehanteerd:

- BZV-verwijdering: een zuurstofgehalte tussen 0,5 en 2 mg/l;
- nitrificatie : een zuurstofgehalte > 1,5 mg/l;
- denitrificatie : zuurstof (vrijwel) afwezig.

In de volledig gemengde beluchtingstank is vanwege de uniforme verdeling van de zuurstofbehoefte en de zuurstoftoevoer op alle plaatsen in de tank het zuurstofgehalte (vrijwel) gelijk.

In de meerzellen- en de propstroombeluchtingstank met voeding aan het begin van de tank (conventioneel proces) neemt de zuurstofbehoefte af over de lengte van de tank. Bij een gelijkmatige zuurstofinbreng zal het zuurstofgehalte over de lengte van de tank toenemen. Toepassing van het stepfeed-proces geeft een meer gelijkmatig zuurstofprofiel. In figuur 4 zijn voor de propstroombeluchtingstank typische zuurstofprofielen gegeven voor het conventionele voedingsproces²² en het stepfeed-proces²⁶.

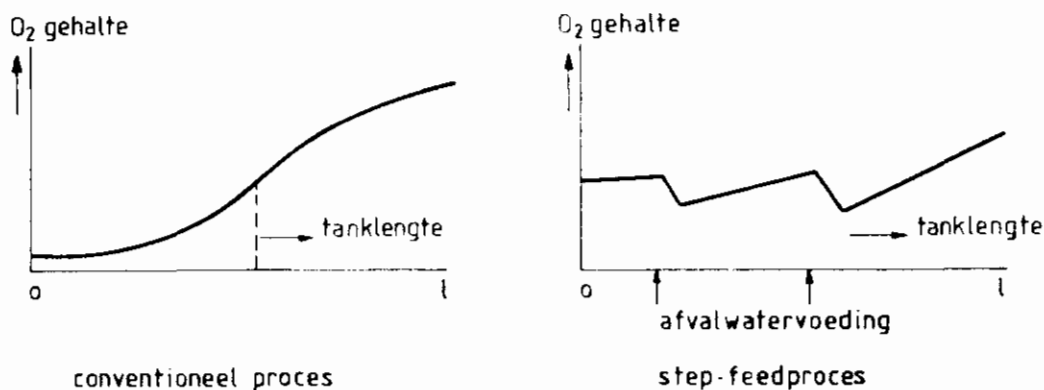


Fig. 4 Typische zuurstofprofielen voor het conventionele en het stepfeed actief-slibproces

In de omloopbeluchtingstank wordt het verloop van de zuurstofbehoefte over de lengte van de tank in belangrijke mate bepaald door de verhouding tussen het omloopdebiet en het toevoerdebiet. Voorts wordt in omlooptanks de zuurstofinbreng doorgaans niet gelijkmatig verdeeld over de lengte van de tank. Het zuurstofprofiel kan derhalve van geval tot geval sterk verschillen.

In figuur 5 is een voorbeeld gegeven van een zuurstofprofiel in een omloopbeluchtingstank met simultane nitrificatie en denitrificatie²⁰.

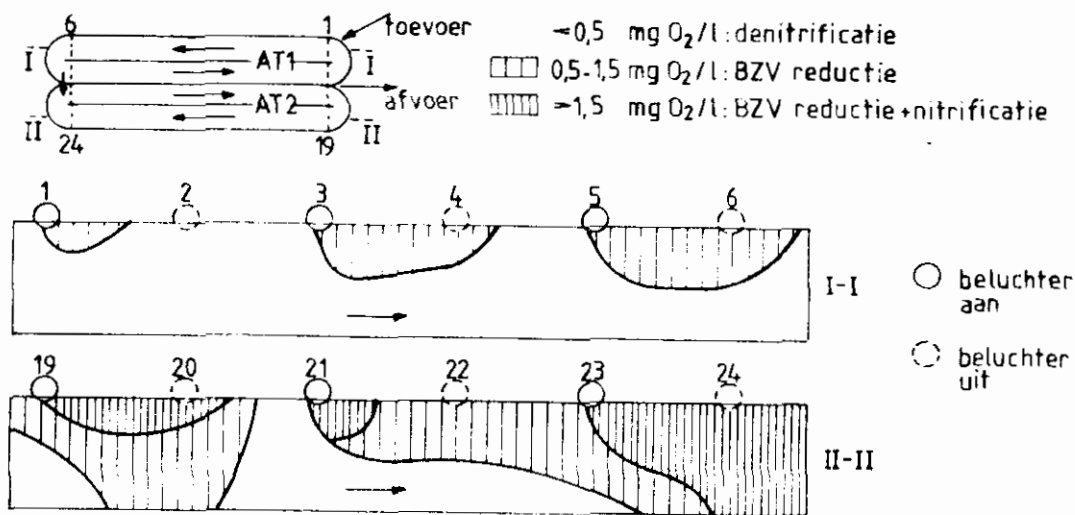


Fig. 5 Zuurstofprofielen in een omloopbeluchtingstank

3.5 Het energieverbruik voor zuurstofinbreng

De te besteden bruto energie voor zuurstofinbreng kan als volgt worden onderverdeeld:

- energie voor de zuurstofoverdracht, te weten voor de vorming en vernieuwing van grensvlakken;
- energieverliezen, te weten rendements- en wrijvingsverliezen.

De grootte van het energieverbruik wordt bepaald door de volgende factoren:

- de aard van het afvalwater;
- het type beluchtingssysteem in relatie tot de vorm en grootte van de beluchtingstank;
- procescondities zoals slibbelasting, slibgehalte en zuurstofgehalte;
- de mogelijkheden om de zuurstofinbreng aan te passen aan de momentane zuurstofbehoefte.

Deze factoren zijn verdisconteerd in het specifieke energieverbruik, uitgedrukt in kWh per kg zuurstofverbruik.

Variaties van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank kunnen een grote invloed hebben op het specifieke energieverbruik ²⁶. Zoals uit figuur 6 blijkt, neemt het specifieke energieverbruik en derhalve ook het meerverbruik aan energie exponentieel toe bij een stijgend zuurstofgehalte. Ten opzichte van de vergelijkingswaarde van 2 mg O₂/l is voor een gelijke zuurstoftoevoer bij 4 mg O₂/l circa 40% en bij 5,5 mg/l O₂/l zelfs circa 100% meer energie nodig.

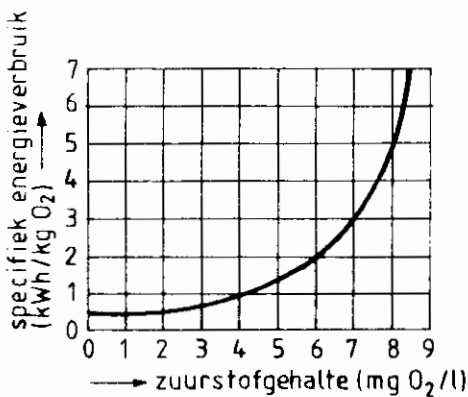
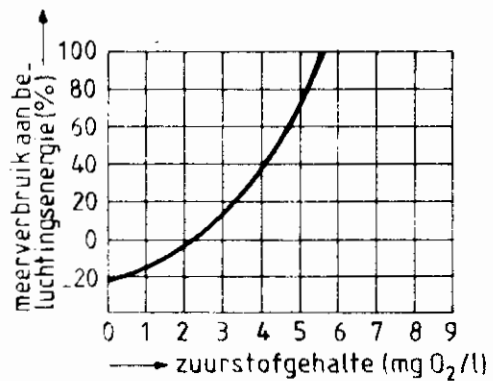


Fig. 6a

Specifiek energieverbruik versus zuurstofgehalte
(zuurstofinbrengrendement: 2 kg O₂/kWh)



Figuur 6b

Meerverbruik van energie versus zuurstofgehalte
(referentie 2 mg O₂/l)

Uit figuur 6 blijkt het belang om het zuurstofgehalte uit een oogpunt van energieverbruik laag te houden.

De beluchting heeft naast de zuurstofoverdracht meestal ook tot doel het slib in suspensie te houden.

Voor welke van beide processen, zuurstofoverdracht of menging, de meeste energie nodig is, wordt bepaald door de volgende factoren:

- de verblijftijd van het afvalwater in de beluchtingstank;
- de vuillast van het afvalwater;
- het slibgehalte in de beluchtingstank.

In figuur 7 is voor verschillende verblijftijden de berekende benodigde energie voor zuurstofoverdracht en menging gegeven ⁹.

De benodigde energie voor zuurstofoverdracht is tevens weergegeven voor verschillende BZV-gehalten van het afvalwater. Opgemerkt zij, dat de hoeveelheden energie zijn gebaseerd op Amerikaanse omstandigheden.

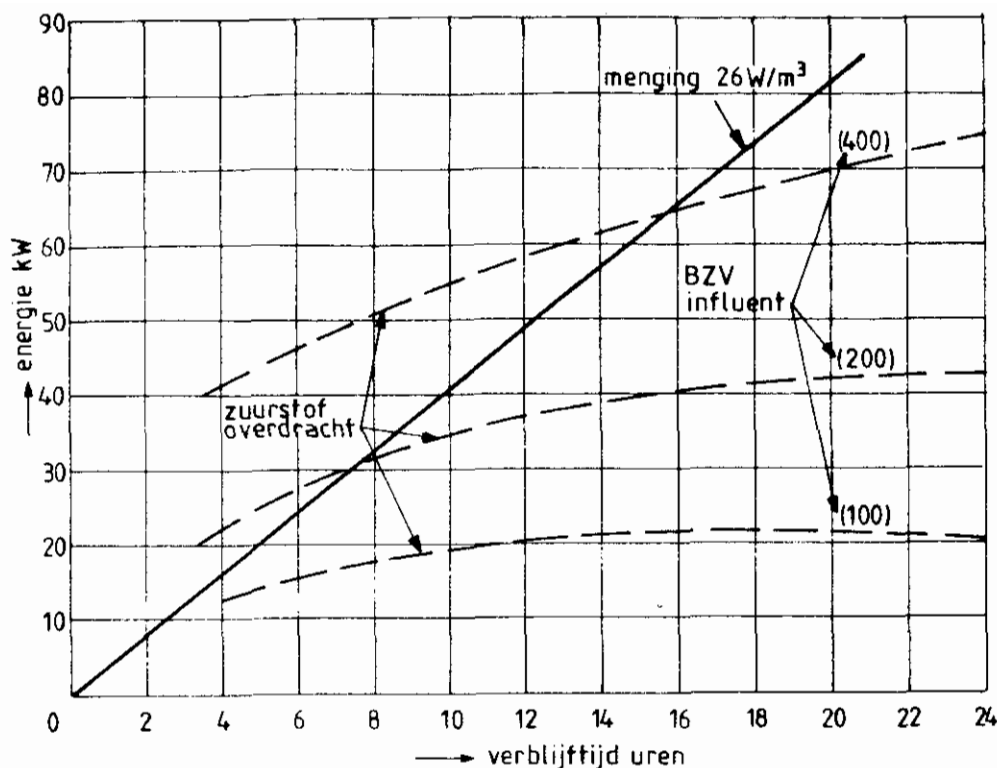


Fig. 7 Energie voor zuurstofoverdracht en menging

Uitgangspunten: zuurstoftoevoerrendement : 0,9 kg O₂/kWh
 influentdebiet : 158 m³/h
 slibconcentratie : 2 g/l

Uit figuur 7 blijkt, dat bij lange verblijftijden en lage BZV-gehalten van het afvalwater (lage slibbelastingen) de minimaal benodigde energie voor beluchting niet wordt bepaald door de zuurstofoverdracht, doch door de menging.

Met dit aspect dient bij de regeling van de zuurstoftoevoer steeds rekening te worden gehouden.

3.6 Regelen van de zuurstoftoevoer

3.6.1 *basissymbolen en begrippen*

In de norm NEN 3157 worden voor de meet- en regeltechniek basissymbolen gegeven voor processchema's.

Deze norm geeft slechts meet- en regelfuncties aan en niet de wijze waarop deze worden gerealiseerd. Zie hiervoor norm NEN 3347.

Onder regelen wordt verstaan het ingrijpend handelen op grond van een waarneming, met als doel ontoelaatbare afwijkingen van een gewenste waarde te voorkomen. Regelen wordt dus gerealiseerd door waarnemen (= meten), vervolgens door het resultaat van deze waarneming met de gewenste waarde te vergelijken en als een afwijking wordt geconstateerd, corrigerend in te grijpen.

Onder automatisch regelen wordt verstaan het gevolg van het menselijk streven, het waarnemen en daarop gebaseerd handelen over te laten aan instrumenten en machines. Het regelgebeuren vindt hier plaats in een automatische regelkring welke in NEN 3009 als volgt is gedefinieerd:

een gesloten stelsel, waarin de waarde van de te regelen grootheid wordt vergeleken met de ingestelde waarde daarvan. Afhankelijk van het verschil van deze twee waarden wordt automatisch de geregelde grootheid zodanig beïnvloed dat dit verschil wordt verkleind.

Zo'n stelsel bestaat tenminste uit: proces, opnemer, automatische regelaar, corrigerend orgaan en overbrengingsleidingen.

Een blokschema van een automatische regelkring is weergegeven in figuur 8. Het regelorgaan kan een proportionele, een integrerende, een differentiërende of een gecombineerde werking hebben. Definities voor de gebruikte benamingen zijn vastgelegd in de norm NEN 3009.

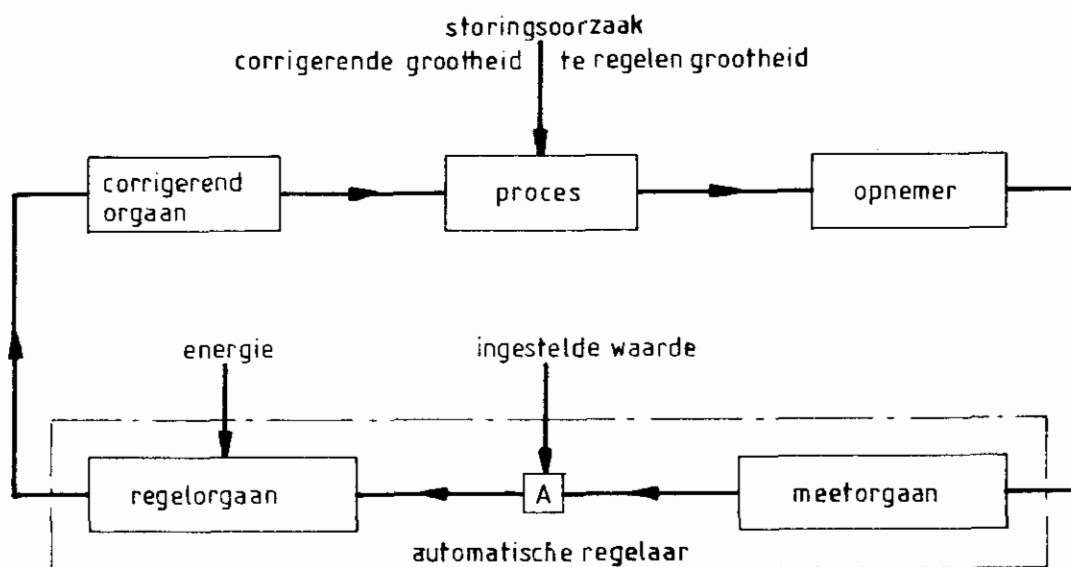


Fig. 8 Blokschema van een automatische regelkring

3.6.2 *bassischakelingen voor regeling*

In de regeltechniek komt een aantal bassischakelingen voor, waarvan de karakteristieke eigenschappen de toepassing bepalen ^{5, 23, 30}.

Voor de regeling van het beluchtingsproces zijn de volgende bassischakelingen van belang:

- a. de teruggekoppelde regeling.
- b. de anticiperende regeling.
- c. de cascaderregeling.

a. de teruggekoppelde regeling

Bij een teruggekoppelde regeling wordt een te regelen procesgrootheid (bijvoorbeeld zuurstofgehalte in de beluchtingstank) vergeleken met een gewenste waarde en op basis van het geconstateerde verschil door het corrigerend orgaan, bijvoorbeeld de beluchter, verbeterd. Een blokschema van deze schakeling is gegeven in figuur 9.

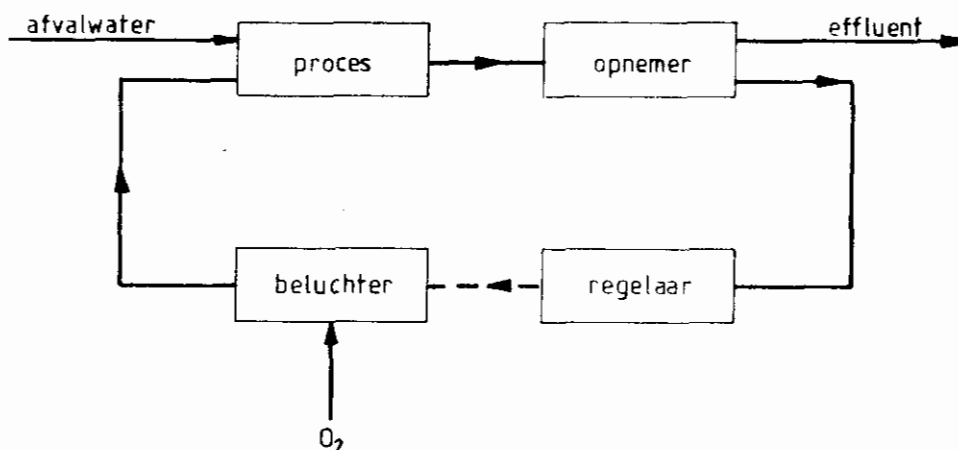


Fig.9 Blokschema teruggekoppelde regeling

Het voordeel van deze regeling is, dat voor iedere storing, die de te regelen grootheid beïnvloedt, wordt gecorrigeerd. Een nadeel is de mogelijkheid tot instabiliteit die ontstaat als gevolg van het feit, dat de storing pas wordt gemeten als deze het gehele proces heeft doorlopen. De mogelijkheid bestaat, dat aan de ingang van het proces wordt gecorrigeerd op een zodanig tijdstip, dat de verstoring reeds voorbij is.

b. de anticiperende regeling

Bij de anticiperende regeling wordt een storing van het proces gemeten en niet het gevolg van een storing zoals bij de teruggekoppelde regeling. Op basis van de meetwaarden van de storingsgrootheid (bijvoorbeeld debiet, substraatgehalte afvalwater) dan wel ervaringsgegevens (bijvoorbeeld een tijdprogramma) wordt het corrigerend orgaan (bijvoorbeeld beluchter) veresteld. Anticiperend regelen heeft alleen zin, wanneer de invloed van een storingsgrootheid op een uitgangsgrootheid (bijvoorbeeld zuurstofgehalte beluchtingstank) in een goed model kan worden beschreven. Een blokschema van deze schakeling is gegeven in figuur 10.

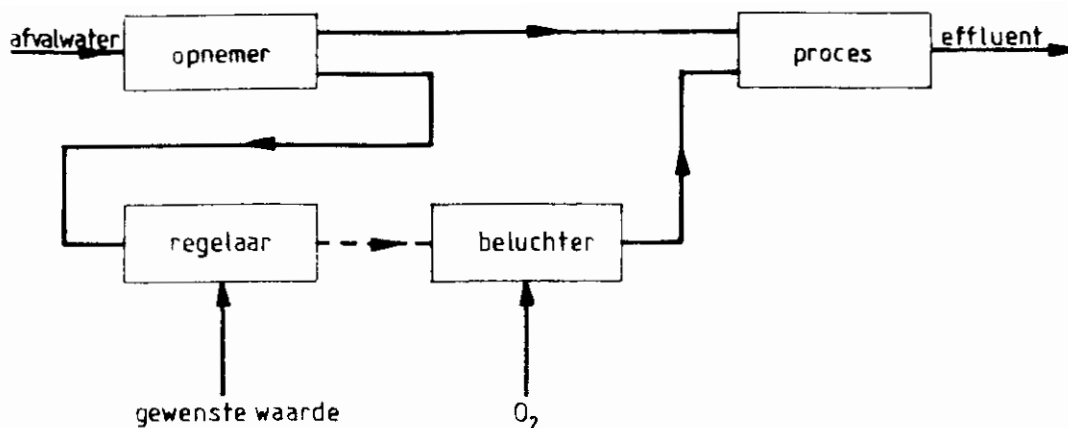


Fig. 10 Blokschema anticiperende regeling

Een voordeel van deze regeling is, dat de kans op instabiliteit, zoals bij teruggekoppelde regeling, niet aanwezig is. Een nadeel is, dat het proces slechts voor de gemeten storing(en) wordt gecorrigeerd. Door niet gesignaleerde storingen (bijvoorbeeld in het retourslibdebiet) kan de uitgangsgrootte van het proces (bijvoorbeeld zuurstofgehalte beluchtingstank) ongewenste waarden aannemen.

c. de cascaderегeling

Bij een cascaderегeling (master-slave control) wordt een corrigerend orgaan (bijvoorbeeld beluchter) bediend door een regelaar, waarvan de ingestelde waarde wordt gestuurd door een andere regelaar. In dit geval zijn er twee regelaars in serie geschakeld. Door het uitgangssignaal van de eerste regelaar (master) wordt de gewenste waarde van de tweede regelaar (slave) veresteld. De slave-regelkring werkt als een teruggekoppelde regeling. Een blokschema van deze regeling is gegeven in figuur 11.

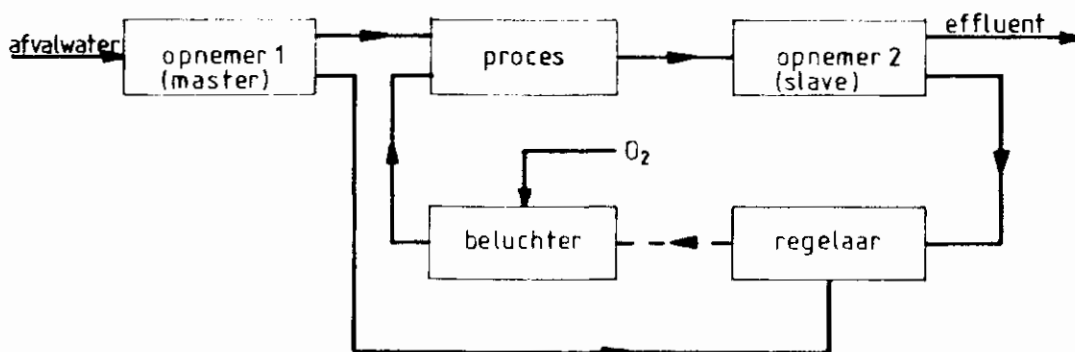


Fig. 11 Blokschema cascaderегeling

Met deze schakeling kan worden bereikt, dat een verstoring aan de ingang van een proces niet het gehele proces moet doorlopen, voordat tot regelen wordt overgegaan. Hiertoe dient de meting voor de master-regelaar in het begin van het proces te worden verricht, de meting voor de slave-regelaar aan het einde van het proces.

3.6.3 systemen van regeling

Aan de hand van de onder 3.6.2 beschreven basisschakelingen kunnen meerdere systemen voor regeling van de zuurstoftoevoer worden gerealiseerd.

In het navolgende zijn de meest toegepaste systemen omschreven en beschouwd in relatie tot verschillende varianten van het actief-slibproces².

- a. Regeling met een enkelvoudige teruggekoppelde regeling (in schema: zie figuur 12)

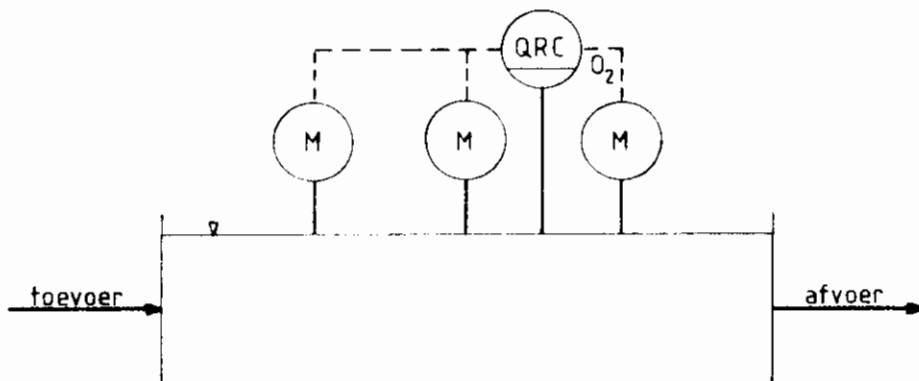


Fig. 12 Enkelvoudige teruggekoppelde regeling

KS = Time (step) switch
 KC = Time (step) controller
 FC = Flow controller
 FR = Flow recorder
 QC = Quality controller
 QR = Quality recorder
 US = Multivariabel switch
 UC = Multivariabel controller
 M = Motor
 QRC = Quality recording controller

Het zuurstofgehalte in de beluchtingstank wordt met één zuurstof-electrode gemeten. Afwijkingen van het zuurstofgehalte ten opzichte van een gewenst gehalte worden bepaald en omgezet in een regelopdracht aan de beluchter. Met dit systeem zijn in volledig gemengde beluchtingstanks goede ervaringen opgedaan.

In meercellen- en propstroombeluchtingstanks kunnen echter problemen optreden door lange dode tijden, vooral wanneer de electrode aan het einde van de tank is geïnstalleerd. In deze tanks dienen dan ook meer verfijnde regelsystemen te worden toegepast. Bij toepassing van het "step-feed" proces wordt de dode tijd aanzienlijk bekort en kan mogelijk worden volstaan met een enkelvoudige teruggekoppelde regeling.

- b. Regeling met gescheiden teruggekoppelde regelkringen (in schema: zie figuur 13)

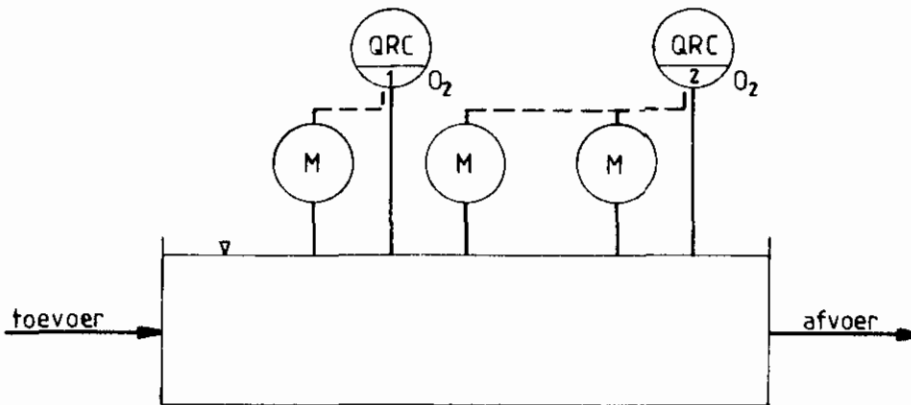


Fig. 13 Regeling met gescheiden teruggekoppelde regelkringen

Door toepassing van gescheiden teruggekoppelde regelkringen kan het volgende worden bereikt:

- een afstelling van de zuurstoftoevoercapaciteit op een afnemende zuurstofbehoefte over de lengte van een beluchtingstank (bijvoorbeeld bij een propstroombeluchtingstank);
- handhaving van verschillende zuurstofniveau's in verschillende tankgedeelten bijvoorbeeld ten behoeve van nitrificatie - denitrificatie.

- c. Anticiperende regeling volgens een tijdprogramma (in schema: zie figuur 14)

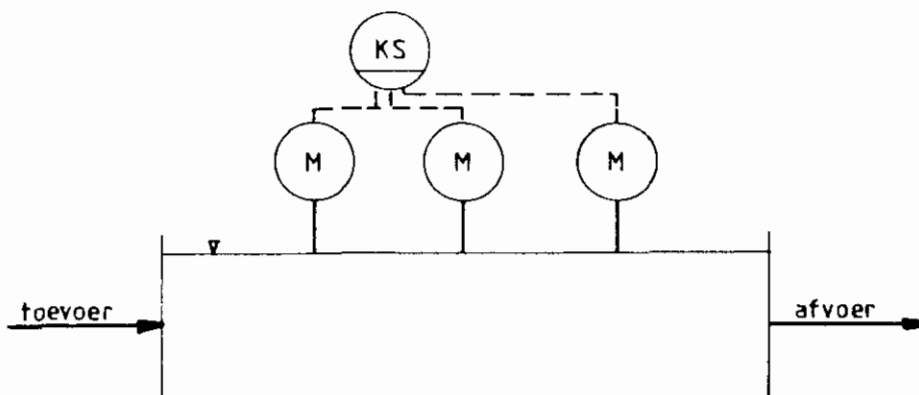


Fig. 14 Anticiperende regeling volgens een tijdprogramma

Regeling volgens een tijdprogramma is alleen zinvol, als de zuurstofbehoefte in de beluchtingstank een karakteristiek dagelijks verloop heeft. Op basis van dit karakteristieke dagelijkse verloop worden beluchters aan- of uitgeschakeld of de zuurstoftoevoercapaciteit gewijzigd. Het is van belang om rekening te houden met verschillen in het dagelijkse verloop van de zuurstofbehoefte gedurende werkdagen, weekenden, vakanties en seizoenen.

Vanwege de lage investeringskosten en het geringe onderhoud en toezicht is dit systeem geschikt voor relatief kleine zuiveringsinrichtingen. Een nadeel is evenwel, dat afwijkingen van een karakteristiek dagelijkse verloop van de zuurstofbehoefte niet worden gesignaleerd. Bij de instelling van de zuurstoftoevoercapaciteit dient derhalve een veiligheidsmarge naar boven te worden aangehouden.

- d. Anticiperende regeling volgens een tijdprogramma met correctie op de vuillast (in schema: zie figuur 15)

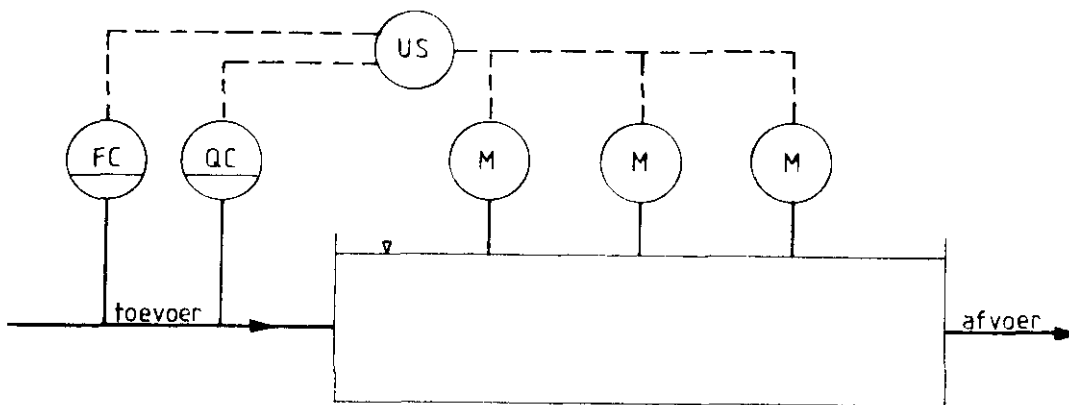


Fig. 15 Regeling volgens een tijdprogramma met correctie op de vuillast

Mogelijke afwijkingen in het karakteristieke dagelijkse verloop van de zuurstofbehoefte worden vastgesteld door meting van de vuillast van het afvalwater. Op basis hiervan wordt de zuurstoftoevoercapaciteit steeds bijgesteld.

Een voordeel van dit systeem is, dat bij de instelling van de zuurstoftoevoercapaciteit in een vroeg stadium wordt ingespeeld op variaties in de vuillast van het afvalwater.

Dit systeem leent zich derhalve voor beluchtingstanks met een lange dode tijd (bijvoorbeeld propstroombeluchtingstanks).

Als nadelen kunnen worden genoemd:

- hoge investerings- en bedrijfskosten;
- de onnauwkeurigheid, welke bestaat in de modellen, waarin het verband tussen de vuillast van het afvalwater en de zuurstofbehoefte in de beluchtingstank wordt aangegeven.

e. Cascaderegeling (in schema: zie figuur 16)

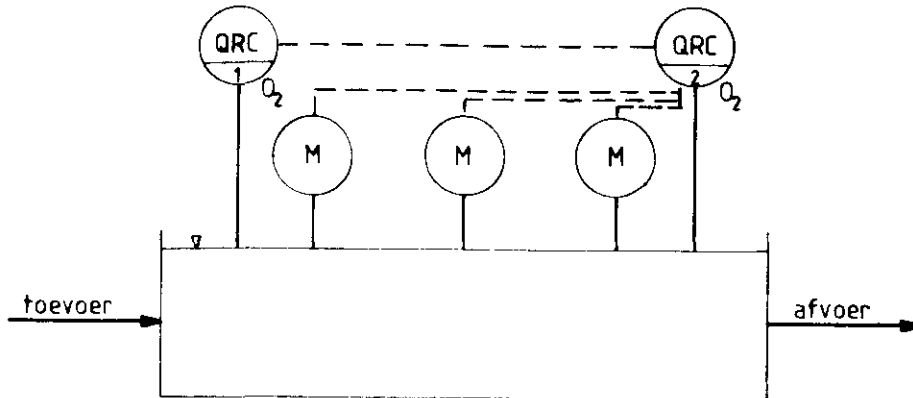


Fig. 16 Cascaderegeling

Het zuurstofgehalte wordt gemeten in het begin en aan het einde van de tank. Afwijkingen van het zuurstofgehalte in het begin van de tank ten opzichte van een gewenste waarde bewerkstelligen via regelaar 1, een verandering van de gewenste waarde van regelaar 2. Aldus vindt een regelgebeuren plaats, voordat een verstoring aan het einde van de tank wordt waargenomen.

Dit regelsysteem kan bijvoorbeeld ook voordelen bieden voor die gevallen, waarin het zuurstofgehalte in de afvoer van de beluchtingstank steeds boven een bepaald minimum dient te liggen.

f. Combinatie van anticiperende regeling volgens een tijdprogramma en teruggekoppelde regeling (in schema: zie figuur 17)

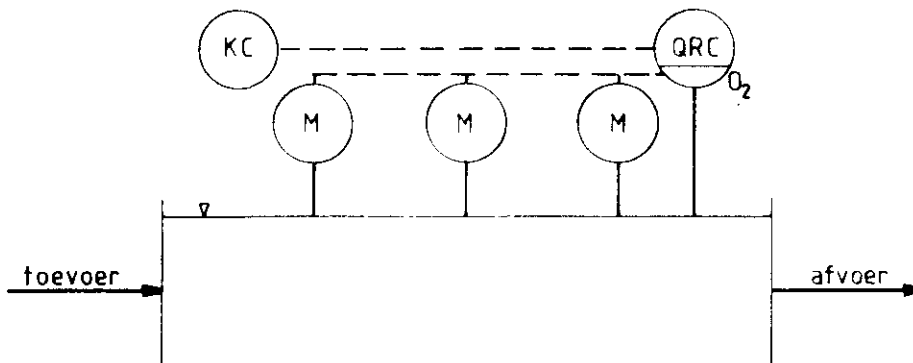


Fig. 17 Combinatie anticiperende regeling volgens een tijdprogramma en teruggekoppelde regeling

De zuurstoftoevoercapaciteit wordt ingesteld met behulp van een tijdprogramma op basis van het karakteristieke dagelijkse verloop van de zuurstofbehoefte.

Afwijkingen van het zuurstofgehalte ten opzichte van een gewenste waarde worden door teruggekoppelde regeling geëlimineerd.

Deze combinatie van anticiperende en teruggekoppelde regeling geeft goede resultaten, wanneer het werkelijke verloop van de zuurstofbehoefte niet al te sterk van het voor het tijdprogramma gehanteerde verloop afwijkt. Verschillende programma's voor bedrijf tijdens werkdagen en weekenden is gewenst.

- g. Combinatie van anticiperende regeling op basis van de vuillast en teruggekoppelde regeling (in schema: zie figuur 18)

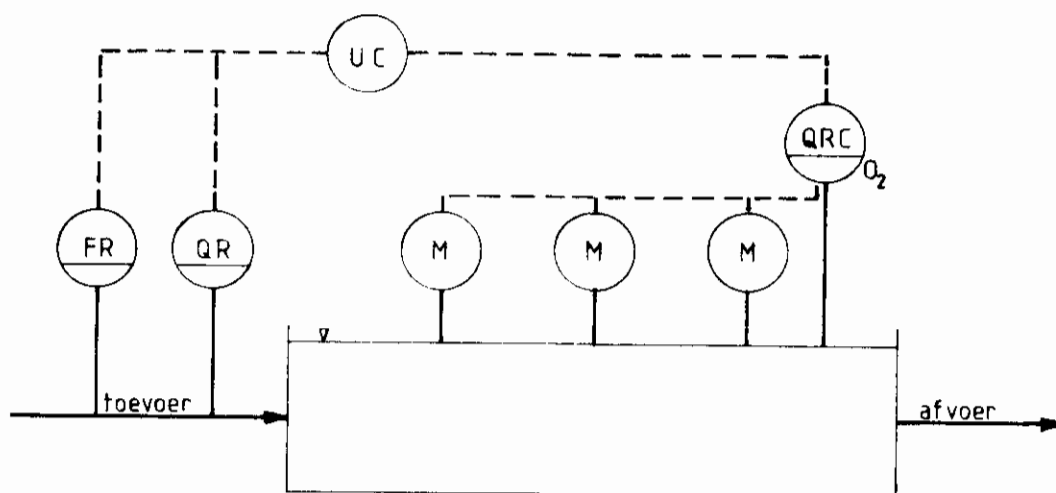


Fig. 18 Combinatie van anticiperende regeling op basis van de vuillast en teruggekoppelde regeling

De zuurstoftoevoercapaciteit wordt ingesteld op basis van metingen van de vuillast van het afvalwater. Afwijkingen van het zuurstofgehalte ten opzichte van een gewenste waarde worden door teruggekoppelde regeling geëlimineerd.

Door deze combinatie van anticiperende en teruggekoppelde regeling worden dode tijden sterk bekort. De zuurstoftoevoercapaciteit wordt snel aangepast aan de momentane zuurstofbehoefte.

Vanwege de relatief hoge investerings- en exploitatiekosten, lijkt deze methode minder geschikt voor die gevallen, waarin op basis van de metingen uitsluitend de zuurstoftoevoer wordt geregeld.

3.7 Parameters voor regeling

3.7.1 *algemeen*

Een voorwaarde voor automatische regeling is, dat de daartoe benodigde metingen snel en continu kunnen worden verricht. Verdere voorwaarden, welke aan de meting en de meetapparatuur dienen te worden gesteld zijn:

- reproduceerbare meetwaarden;
- robuustheid van apparatuur en eenvoud in bedrijfsvoering;
- een grote bedrijfszekerheid en weinig onderhoud van de apparatuur.

De kwaliteit van een regeling wordt in belangrijke mate bepaald door de kwaliteit van de metingen.

3.7.2 teruggekoppelde regeling

zuurstofmeting

Teruggekoppelde regeling geschiedt op basis van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank, dat doorgaans electrochemisch wordt gemeten. Voor de electrochemische meting bestaan twee typen electroden, te weten:

- membraanloze electroden;
- membraanbedekte electroden.

Bij de membraanloze electroden is het slib/watermengsel tevens electroliet.

Kenmerken van dit type electrode zijn:

- de geleidbaarheid van het slib/watermengsel moet groter zijn dan circa 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en mag niet te veel variëren;
- het afvalwater mag geen stoffen bevatten, die de electrode chemisch aantasten;
- er is weinig onderhoud nodig; controle circa 1 maal per maand. Tijdens bedrijf wordt het electrode-oppervlak automatisch gereinigd;
- aan de aanstroomsnelheid van het slib/watermengsel worden geen eisen gesteld.

Bij membraanbedekte electroden is de electrolietoplossing nauwkeurig gedefinieerd en door een zuurstofdoorlatend membraan van het slib/watermengsel gescheiden. Beïnvloeding van de meting door variaties in de geleidbaarheid van het slib/watermengsel en chemische aantasting van de electroden worden hierdoor voorkomen.

Enkele kenmerken van dit type electrode zijn:

- de minimale aanstroomsnelheid van het slib/watermengsel dient 0,3 tot 0,5 m/s te bedragen;
- er is relatief veel onderhoud nodig.
Reiniging membraan: om de 1 à 7 dagen.
Vervangen electroliet en membraan: om de 1 à 6 maanden.

De instelling van de zuurstoftoevoercapaciteit op basis van het gemeten zuurstofgehalte kan op de volgende wijzen gebeuren ²⁸.

- Het zuurstofgehalte in de beluchtingstank wordt gemeten. Een verschil tussen de gemeten en de gewenste waarde wordt vereffend door een stapsgewijze aanpassing van de zuurstoftoevoercapaciteit;
- Het zuurstofgehalte in de beluchtingstank wordt gemeten. Uit het verschil tussen de gemeten en de gewenste waarde van het zuurstofgehalte kan de gewenste zuurstoftoevoercapaciteit worden berekend met behulp van de volgende vergelijking:

$$OV = OC_{\text{gew}} \times \frac{C_S - C_{\text{gew}}}{C_S} = OC_0 \times \frac{C_S - C_X}{C_S}, \quad (1)$$

waarin:

- OV = respiratiesnelheid (mg O_2 /l.h.)
- OC_{gew} = gewenste zuurstoftoevoercapaciteit (mg O_2 /l.h.)
- OC₀ = ingestelde zuurstoftoevoercapaciteit (mg O_2 /l.h.)
- C_S = zuurstofverzadigingsconcentratie (mg O_2 /l)
- C_{gew} = gewenste zuurstofconcentratie (mg O_2 /l)
- C_X = gemeten zuurstofconcentratie (mg O_2 /l)

Omzetting van vergelijking (1) geeft:

$$OC_{gew} = OC_0 \times \frac{C_s - C_x}{C_s - C_{gew}} \quad (2)$$

Met behulp van vergelijking (2) kan de gewenste zuurstoftoevoercapaciteit worden berekend.

Hierdoor wordt een directe afstemming van de zuurstoftoevoercapaciteit op de zuurstofbehoefte mogelijk. Opgemerkt dient te worden, dat deze formules alleen gelden onder evenwichtscondities. Voor de berekening van de gewenste zuurstoftoevoercapaciteit kan gebruik worden gemaakt van procescomputers.

Het aantal zuurstofelectroden en de plaats van deze electroden in een beluchtingstank worden bepaald door het beluchtingssysteem, de mengkarakteristiek in de beluchtingstank en de wijze van procesvoering¹¹.

In volledig gemengde tanks kan worden volstaan met één electrode, doorgaans geïnstalleerd op een afstand 0,5 tot 1 m van het midden van een tankwand op een diepte van circa 0,5 m. In meercellen-, propstroom-, en omloopbeluchtingstanks dient in het algemeen op meerdere plaatsen te worden gemeten. Voor een goede controle op het zuurstofgehalte in de afvoer van de beluchtingstank dient dicht bij de uitstroming van de tank te worden gemeten. Om in een vroeg stadium te kunnen inspelen op variaties in de belasting, dient aan het begin van de tank te worden gemeten.

De meest doelmatige plaats(en) kan(kunnen) pas worden bepaald, nadat het zuurstofprofiel in de tank bij verschillende belastingen is opgenomen. Het is derhalve aan te bevelen om reeds bij het ontwerp van de zuiveringsinrichting te rekenen met meerdere bevestigingsmogelijkheden voor zuurstofelectroden.

NO₃⁻/NH₄⁺-bepaling

Bij de regeling van de nitricifatie en denitrificatie kunnen de nitraat- en ammoniumgehalten als regelparameters worden gebruikt. Hoewel deze methode reeds op een aantal actief-slibinstallaties wordt toegepast is de literatuurinformatie hier omtrent beperkt.

3.7.3 *anticiperende regeling*

Voor een anticiperende regeling dienen het debiet en het substraatgehalte van het influent van de beluchtingstank te worden bepaald. De meting van het debiet is relatief eenvoudig en wordt hier niet verder behandeld. Het substraatgehalte wordt doorgaans uitgedrukt in parameters, welke in meerdere of mindere mate een inzicht geven in de biochemische zuurstofbehoefte. In het navolgende is een aantal parameters beoordeeld op hun geschiktheid voor een automatische anticiperende regeling.

BZV-bepaling

De BZV₅²⁵-bepaling neemt een periode van 5 dagen in beslag en is derhalve niet geschikt voor (automatische) regeling. De analysetijd wordt aanzienlijk bekort in het zogenaamde Pollumat-apparaat. De analysetijd bedraagt circa 45 minuten, hetgeen onder bepaalde omstandigheden voldoende kort is voor regeling. Het huidige Pollumat-apparaat is niet uitgerust voor automatische regeling.

CZV-bepaling

De analysetijd voor de bepaling met de hand bedraagt circa 3 uur en is te lang voor (automatische) regeling. Met automatische CZV-analyse-apparatuur kunnen circa 20 bepalingen per uur worden verricht. Automatische regeling met deze apparatuur is mogelijk. Een nadeel van de CZV-bepaling is, dat organische stoffen, welke in het actief-slibproces geen zuurstofverbruik geven (zoals cellulose en humuszuren) worden meebepaald. Door gebruik te maken van een gemiddelde CZV/BZV-verhouding kan dit nadeel enigszins worden ondervangen.

TOC-bepaling (TOC = Total Organic Carbon)

Onder de TOC wordt verstaan het totaal gehalte aan organische koolstof in het afvalwater, zowel in opgeloste als in niet opgeloste vorm. De analysetijd is kort en automatische meting en regeling zijn mogelijk. Aan de TOC-bepaling zijn de volgende nadelen verbonden:

- bij meting in afvalwater treden nogal eens verstoppingen op;
- door de TOC wordt de totale hoeveelheid zuurstof nodig om de organische stof te oxyderen niet eenduidig aangegeven. De oxydatie van suiker ($C_6H_{12}O_6$) levert evenveel kooldioxyde als bijvoorbeeld de oxydatie van hexaan (C_6H_{14}). De benodigde hoeveelheid zuurstof is evenwel verschillend;
- evenals bij de CZV-bepaling worden organische stoffen meebepaald, welke in het actief-slibproces geen zuurstofverbruik geven.

TOD-bepaling (TOD = Total Oxygen Demand)

De TOD is de totale behoefte aan zuurstof om de organische en anorganische stoffen in het afvalwater geheel, respectievelijk gedeeltelijk te oxyderen. De analysetijd is kort en automatische meting en regeling zijn mogelijk. Aan de TOD-bepaling zijn de volgende nadelen verbonden:

- bij meting in afvalwater treden nogal eens verstoppingen op;
- gereduceerde stikstof- en zwavelverbindingen worden afhankelijk van het type verbinding tot in zekere mate geoxydeerd. Geoxydeerde stikstof (NO_3^-) daarentegen levert zuurstof;
- evenals bij de CZV- en de TOC-bepaling worden organische stoffen meebepaald, welke in het actief-slibproces geen zuurstofverbruik geven.

Indirecte bepaling van de vuillast

De vuillast kan in bepaalde gevallen met behulp van indirecte parameters, zoals troebelheid, kleur of geleidbaarheid worden benaderd. Voorwaarde is, dat er een eenduidig verband bestaat tussen de vuillast en deze parameters.

Voor een automatische regeling dienen de metingen snel en continue kunnen worden verricht.

De voormelde parameters voor regeling van de zuurstoftoevoer geven slechts een beperkte informatie ten aanzien van de werkelijke zuurstofbehoefte van het actief-slib. De zuurstofbehoefte wordt, behalve door de vuillast, eveneens bepaald door de activiteit van de biomassa.

Een directe maat voor de zuurstofbehoefte is de respiratiesnelheid van het slib/watermengsel.

Tussen de gewenste zuurstoftoevoercapaciteit en de respiratiesnelheid bestaat het volgende verband:

$$OC_{\text{gew}} = \frac{C_s}{C_s - C_{\text{gew}}} \times OV, \quad (3)$$

waarin:

OC_{gew} = gewenste zuurstoftoevoercapaciteit onder procescondities
(mg O₂/l)

C_s = zuurstofverzadigingsconcentratie (mg O₂/l)

C_{gew} = gewenste zuurstofconcentratie (mg O₂/l)

OV = respiratiesnelheid (mg O₂/l.h.)

Door Ruider en Schopper²⁸ is een apparaat beschreven waarmee de respiratiesnelheid continu kan worden gemeten. Deze respirometer is echter gevoelig voor verstopping, vooral bij meting in niet bezonken afvalwater.

Een nieuw type respirometer, ontwikkeld voor de zuiveringsinrichting Wenen-Blumental, werkt met een groter volume (inhoud 1 m³) en hogere slibdebieten en is derhalve minder verstoppingsgevoelig³³.

In deze respirometer, welke continu wordt doorstroomd met actiefslib uit de beluchtingstank, wordt een constante hoeveelheid zuurstof ingebracht. Voor de respirometer bestaat de volgende zuurstofbalans:

$$Q \times C_1 + OC \left(\frac{C_s - C_x}{C_s} \right) \times V = OV \times V + Q \times C_x, \quad (4)$$

waarin:

Q = slibdebiet naar de respirometer (l/h)

C_1 = zuurstofgehalte in slib, dat de respirometer instroomt (mg/l)

OC = zuurstoftoevoercapaciteit (mg O₂/l.h.)

C_s = zuurstofverzadigingsconcentratie (mg/l)

C_x = zuurstofgehalte in de respirometer (mg/l)

V = volume respirometer (l)

OV = respiratiesnelheid (mg O₂/l.h.)

Uit deze balans kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$OV = \frac{Q}{V} (C_1 - C_x) + OC \left(\frac{C_s - C_x}{C_s} \right) \quad (5)$$

Door substitutie van OV in vergelijking (3) wordt de gewenste zuurstoftoevoercapaciteit verkregen.

3.8 Energie- en kostenbesparing

3.8.1 *algemeen*

Op de meeste actief-slibinstallaties wordt de beluchting thans met de hand geregeld. Steeds meer wordt echter overgegaan tot automatisch regelen. Voor een vergelijking van het energieverbruik en de exploitatiekosten dienen dan ook een automatisch geregelde beluchting en een met de hand geregelde beluchting te worden beschouwd.

In een studie van het Environmental Protection Agency (EPA) (Verenigde Staten) worden met de hand en automatisch geregelde beluchting op basis van het zuurstofgehalte (teruggekoppelde regeling) als volgt omschreven ¹¹.

Een met de hand geregelde beluchting op basis van het zuurstofgehalte impliceert het gebruik van een draagbare electrode of een laboratorium-analyse, zoals de Winklermethode, om het zuurstofgehalte in de beluchtingstank te bepalen.

De beluchters worden met de hand aan- of uitgeschakeld, dan wel in capaciteit veresteld vanuit een centrale regelkamer.

Een automatisch geregelde beluchting op basis van het zuurstofgehalte impliceert het gebruik van in de beluchtingstank gemonteerde zuurstofelectroden voor de automatische continu-meting en centrale registratie van zuurstofgehalten.

In een centrale regelkamer zijn automatische regelaars geïnstalleerd voor de aan- en uitschakeling dan wel verstelling van de capaciteit van de beluchters.

3.8.2 *energiebesparing*

De in de literatuur verstrekte gegevens ten aanzien van energiebesparing door automatische regeling van de beluchting zijn beperkt tot regeling op basis van het zuurstofgehalte (teruggekoppelde regeling). De vermelde besparingen op beluchtingsenergie ten opzichte van de regeling met de hand liggen in het algemeen tussen 10 en 20% ^{2,12}. Apart dient te worden vermeld een onderzoek van EPA ¹². Op 12 actief-slibinstallaties werden proeven verricht, waarbij het energieverbruik voor zowel met de hand als automatisch geregelde beluchting werd gemeten. In 9 gevallen werd een energiebesparing verkregen, variërend van circa 5 tot 40% met een gemiddelde van circa 20%.

3.8.3 *kostenbesparing*

Actief-slibinstallaties van overeenkomstige grootte vertonen een grote variatie in ontwerp, uitvoering, type beluchtingssysteem en regelsysteem voor de beluchting alsmede in flexibiliteit van bedrijfsvoering. Een vergelijking van investerings- en bedrijfskosten voor een met de hand geregelde beluchting met een automatisch geregelde beluchting op een andere zuiveringsinrichting van dezelfde grootte is dan ook weinig zinvol. In de literatuur wordt veelal uitgegaan van hypothetische zuiveringsinrichtingen van verschillende grootten met karakteristieke ontwerp- en dimensioneringsgegevens.

In de voormelde EPA-studie zijn voor bepaalde grootten van zuiveringsinrichtingen karakteristieke beluchtingssystemen en met de hand bediende en automatische regelsystemen gekozen.

Op basis van ervaringsgegevens ten aanzien van energiebesparing door automatisering van de regeling en investerings- en exploitatiekosten voor met de hand bediende en automatische regelsystemen werden mogelijke kostenbesparingen berekend. Uitgegaan werd van regeling op basis van het zuurstofgehalte en 20% besparing op het energieverbruik door automatisering van de regeling.

In figuur 19 is een samenvatting gegeven van mogelijke kostenbesparingen door automatische regeling van de beluchting op zuiveringsinrichtingen van verschillende grootte.

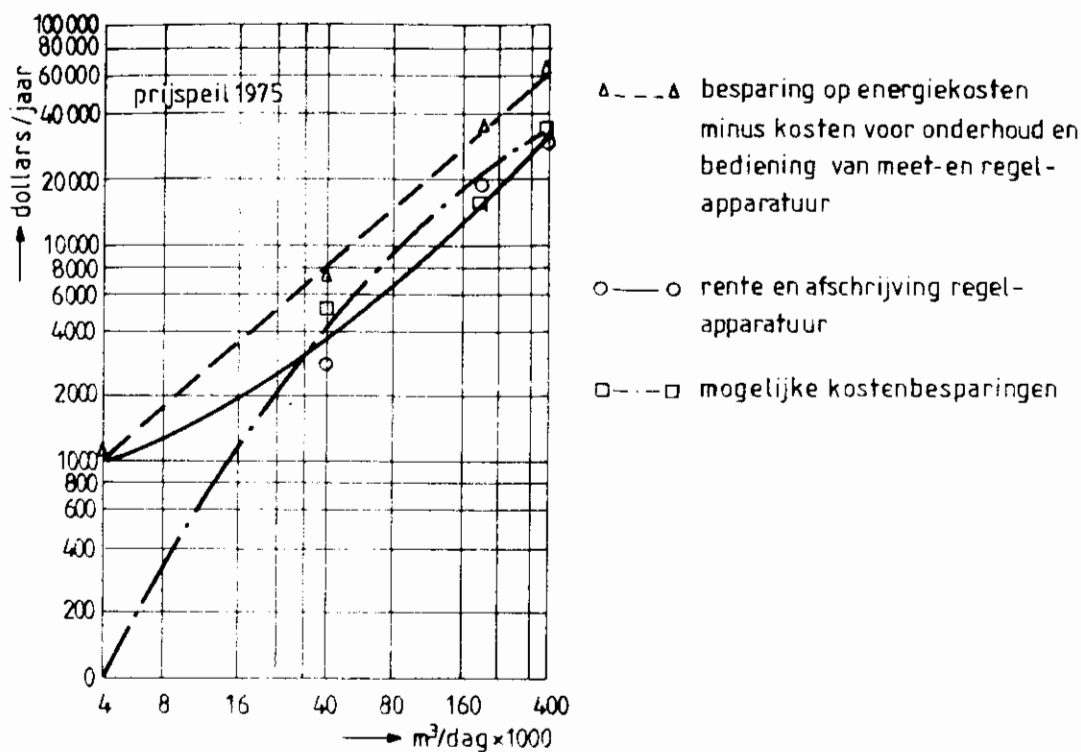


Fig. 19 Kostenbesparing door automatische teruggekoppelde regeling van de beluchting voor verschillende grootten van zuiveringsinrichtingen

Uit figuur 19 blijkt, dat onder Amerikaanse omstandigheden op zuiveringsinrichtingen met een DWA-aanvoer groter dan circa $4000 m^3/dag$, door automatische regeling van de beluchting kostenbesparingen mogelijk zijn. Voorts dient te worden opgemerkt, dat de kostenberekeningen zijn uitgevoerd op basis van het prijspeil 1975.

In een studie van ATV-Fachausschuss uit Duitsland² zijn op overeenkomstige wijze als in de EPA-studie mogelijke kostenbesparingen berekend. Uitgegaan werd van energiebesparingen van 10 tot 30% en vier automatische regelsystemen, welke zijn omschreven in tabel 1.

Systeem	Omschrijving
1	1 O ₂ -electrode, tweestandenregelaar. Schakeling in stappen (eenvoudige teruggekoppelde regeling).
2	als 1, doch bovendien: regeling van de overstortrand.
3	2 O ₂ -electroden, 2 tweestandenregelaars (gescheiden regel- kringen) Schakeling in stappen en regeling van de overstortrand.
4	4 O ₂ -electroden, 4 continue-regelaars, schakeling in stappen en regeling van de overstortrand.

Tabel 1 Omschrijving enkele regelsystemen

In figuur 20 zijn voor de in tabel 1 omschreven regelsystemen mogelijke besparingen gegeven voor verschillende grootten van zuiveringsinrichtingen.

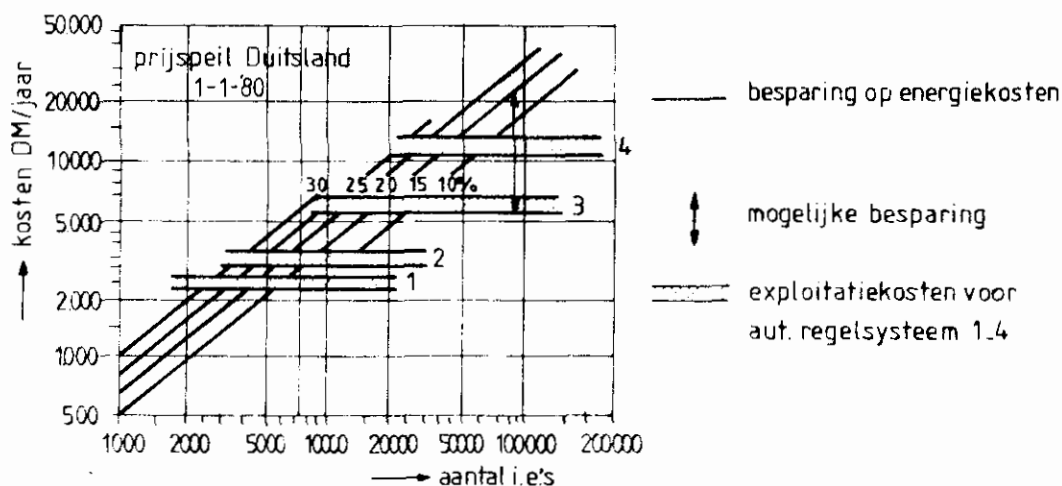


Fig. 20 Een vergelijking van exploitatiekosten voor teruggekoppelde regelsystemen en mogelijke besparingen op kosten voor beluchtingsenergie

Uit figuur 20 blijkt, dat op zuiveringsinrichtingen met minder dan 3000 inwonerequivalenten (ie's) door automatische teruggekoppelde regeling van de beluchting waarschijnlijk niet bespaard kan worden op exploitatiekosten voor de beluchting.

Bij een aantal inwonerequivalenten tussen 3000 en 7000 en toepassing van regelsysteem 1 (tabel 1) is een kostenbesparing mogelijk.

Op zuiveringsinrichtingen met meer dan 7000 inwonerequivalenten wordt een besparing op exploitatiekosten voor de beluchting waarschijnlijk.

3.9 Conclusies

Uit het literatuuronderzoek kan samenvattend het volgende worden geconcludeerd:

- Afvalwater kan sterk variëren in hoeveelheid en samenstelling. Wanneer bij het ontwerp en de procesvoering van een actief-slibinstallatie niet wordt ingespeeld op de wisselingen in de belasting kan dit betekenen:
 - ongewenste variaties in de effluentkwaliteit;
 - een energetisch niet optimale procesvoering.
- De benodigde energie voor de zuurstoftoevoer bedraagt globaal circa 70% en bij toepassing van nitrificatie tot circa 90% van het totale energieverbruik op een actief-slibinstallatie.
- De mogelijkheden het slibgehalte in de beluchtingstank als regelvariabele te gebruiken zijn onder andere in verband met grote traagheid in het hydraulische systeem beperkt. Het zuurstofgehalte in de beluchtingstank lijkt daarentegen meer mogelijkheden te bieden. In de praktijk vindt reeds een zekere mate van zuurstofregeling plaats.
- De benodigde zuurstof voor het actief-slibproces kan worden ingebracht in de vorm van lucht of zuivere zuurstof. Voor het wijzigen van de zuurstoftoevoercapaciteit bestaan, voor zowel de bellenbeluchting als voor de oppervlaktebeluchting diverse mogelijkheden. Bij inbreng van zuivere zuurstof met behulp van injectoren of puntbeluchters wordt de afgesloten aëratietank veelal gebruikt als respirometer. Er dient steeds rekening mee te worden gehouden, dat bij vermindering van de zuurstoftoevoercapaciteit er voldoende menging in de beluchtingstank blijft om bezinking van slib te voorkomen. Voor de menging en voortstuwing kunnen ook roeders en propellers worden gebruikt.
- De wijze waarop de zuurstoftoevoer kan worden geregeld wordt bepaald door de uitvoeringsvorm van het actief-slibproces en om economische redenen door de grootte van de installatie. Er bestaan vele uitvoeringsvormen van het actief-slibproces samenhangend met de mengkarakteristiek, de wijze van inbreng van de voeding en de hoogte van de slibbelasting.
- Voor het regelen van de zuurstoftoevoer dient het verband tussen het zuurstofgehalte en de plaats in de beluchtingstank (zuurstofprofiel) bekend te zijn.
- Het specifiek energieverbruik (kWh/kg zuurstofverbruik) en het meer-
verbruik aan energie neemt exponentieel toe bij een stijgend zuurstofgehalte in de beluchtingstank. Er dient derhalve steeds te worden gestreefd naar een minimum zuurstofgehalte in de beluchtingstank, dat overeenkomt met de momentane zuurstofbehoefte. Dit minimumgehalte wordt bepaald door de wijze van procesvoering (BZV-verwijdering, nitrificatie, denitrificatie).

- Voor de wijze waarop de zuurstoftoevoer kan worden aangepast aan de momentane zuurstofbehoefte, bestaat een aantal mogelijkheden, die in principe kunnen worden verdeeld in:
 - teruggekoppelde regelingen (meting zuurstofgehalte in beluchtingstank);
 - anticiperende regelingen (meting vuillast van het influent).

Er zijn ook combinaties van beide type regelingen mogelijk.

- Bij de teruggekoppelde regeling wordt het zuurstofgehalte in de beluchtingstank gemeten met behulp van elektroden. Het aantal elektroden en de plaats daarvan wordt bepaald door het beluchtingssysteem, de mengkarakteristiek in de beluchtingstank en de wijze van procesvoering. In volledig gemengde beluchtingstanks kan worden volstaan met één elektrode. In meerzellen-, propstroom- en omloopbeluchtingstanks dient in het algemeen op meerdere plaatsen te worden gemeten. De meest doelmatige plaats(en) kan (kunnen) pas worden vastgesteld nadat het zuurstofprofiel in de tank bij verschillende belastingen is opgenomen.

- Bij de anticiperende regeling worden het debiet en het substraatgehalte van het influent bepaald. Voor de meting van het substraatgehalte bestaan diverse methoden. De meeste methoden voldoen slechts in beperkte mate aan de volgende voorwaarden:

- de metingen dienen snel en automatisch uitgevoerd te kunnen worden;
- er dient een eenduidig verband te zijn tussen de zuurstofbehoefte en de gemeten parameter.

Een nieuw type respirometer, ontwikkeld voor de zuiveringsinrichting Wenen-Blumental, lijkt goede mogelijkheden te bieden.

- Een voordeel van een teruggekoppelde regeling is dat voor iedere procesverstoring wordt gecorrigeerd; een nadeel is de kans op instabiliteit van de regeling. Een voordeel van een anticiperende regeling is, dat er minder kans is op instabiliteit van de regeling; een nadeel is echter dat het proces alleen voor de gemeten variaties wordt gecorrigeerd. Een combinatie van beide regelmethoden kan in principe de nadelen opheffen.

- De in de literatuur verstrekte gegevens ten aanzien van energiebesparing door automatische regeling van de beluchting zijn beperkt tot de teruggekoppelde regeling. De vermelde besparingen op beluchtingsenergie ten opzichte van regeling met de hand liggen in het algemeen tussen de 10 en 20%.

- Uit berekeningen van de ATV-Fachausschuss uit Duitsland blijkt, dat op zuiveringsinrichtingen groter dan globaal 5000 i.e. met een automatische zuurstofregeling besparingen op bedrijfskosten mogelijk zijn. Voor kleinere zuiveringsinrichtingen lijkt een regeling met de hand dan wel een eenvoudige regeling met een tijd klok economisch het meest aantrekkelijk.

4.1 Inleiding

Naast het literatuuronderzoek is een inventarisatie verricht naar de praktijksituatie in Nederland met betrekking tot de regeling van de zuurstofinbreng in het actief-slibproces.

Deze inventarisatie had tot doel:

- kennis en ervaring meer toegankelijk te maken;
- leemten in kennis en ervaring op te sporen;
- inzicht te verkrijgen in hoeverre onderzoek op praktijkschaal gewenst is.

Bij de navolgende beheerders van zuiveringsinrichtingen zijn informatieve gesprekken gevoerd en gegevens verzameld:

- de Gemeenschappelijke Technologische Dienst (GTD) Oost-Brabant;
- het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-Friesland (US);
- het Hoogheemraadschap West-Brabant (HWB);
- het Zuiveringschap West-Overijssel (ZWO);
- het Zuiveringschap Veluwe (ZV);
- het Waterschap Regge en Dinkel (R en D);
- de Provinciale Waterstaat Groningen (PW Groningen);
- de Openbare Werken Amsterdam (OW Amsterdam).

Als leidraad voor de gesprekken werd de hiervoor opgestelde "vragenlijst voor beheerders van rwzi's" (bijlage 1) gebruikt.

De gegevens zijn verzameld aan de hand van persoonlijke mededelingen, jaarverslagen, beschrijvingen van rwzi's, processchema's etc.

Er is niet gestreefd naar volledigheid bij de inventarisatie. Aangenomen mag worden, dat de geïnterviewde installaties een goed beeld geven van de aanpak in Nederland met betrekking tot de regeling van de zuurstofinbreng.

Aandacht is besteed aan technische, technologische, energetische en economische aspecten.

4.2 Geïnterviewde actief-slibinstallaties

4.2.1 *algemeen*

Bij de inventarisatie zijn de volgende selectiecriteria gehanteerd:

- de rwzi's moeten stedelijk afvalwater verwerken;
- de rwzi's mogen niet overbelast zijn; regeling van de zuurstofinbreng is voor deze rwzi's immers niet zinvol.

De geïnterviewde rwzi's zijn als volgt ingedeeld op basis van de mengkarakteristiek van het beluchtingsgedeelte:

- volledig gemengde systemen en meerzellenbeluchtings-systemen: 15 rwzi's;
- propstroomsystemen: 8 rwzi's;
- omloopsystemen: 24 rwzi's.

De volledige gemengde systemen (2 rwzi's) zijn tezamen met de meerzellensystemen behandeld vanwege de grote overeenkomsten in de wijze van regeling van de zuurstofinbreng.

Uit de inventarisatie is gebleken, dat thans in Nederland op de meeste actief-slibinstallaties de beluchting wordt geregeld. De regelingen variëren van handbediend tot volledig geautomatiseerd.

Bij de beschrijving van de beschouwde actief-slibinstallaties is het volgende onderscheid gemaakt met betrekking tot de mate van automatisering:

- niet geregelde beluchting;
- met de hand geregelde beluchting

Op basis van discontinue metingen worden de beluchters met de hand aan- of uitgeschakeld, dan wel in capaciteit veresteld. Regelparameters kunnen ondermeer zijn het zuurstofgehalte in de beluchtingstank, de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ -gehalten van het effluent en de vuillast van het influent;

- regeling van de beluchting met behulp van een tijdplan

Regeling met een tijdplan is een vorm van automatisering. Op basis van continue of discontinue metingen wordt een tijdplan opgesteld en zo nodig bijgesteld. De beluchters worden met behulp van tijd-klokken aan- of uitgeschakeld, dan wel in capaciteit veresteld;

- volledig automatisch geregelde beluchting

Een automatisch geregelde beluchting op basis van meetgegevens impliceert het gebruik van in of bij de beluchtingstank gemonteerde analyseapparatuur voor automatische continu-meting en centrale registratie van de metingen. In een centrale regelkamer zorgen automatische regelaars voor de aan- of uitschakeling, dan wel verstelling van de capaciteit van de beluchters.

4.2.2 *volledig gemengde - en meerzellenbeluchtingssystemen*

In tabel 2 is een overzicht gegeven van de 15 beschouwde rwzi's met een volledig gemengd- dan wel een meerzellenbeluchtingssysteem.

rwzi	beheerder	gegevens v.h. jaar	ontwerp/huidige belasting (i.e.)	huidige slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	type afvalwater (% industrie)
1. Helmond	de Aa	1979	360.000/300.000	0,14	50
2. Schijndel	de Aa	1979	32.000/ 19.300	0,13	20
3. Eindhoven	de Dommel	1979	750.000/560.000	0,09-0,31	50
4. 's-Hertogenbosch	de Dommel	1979	400.000/255.000	0,13	60
5. Breda	HWB	1981	650.000/235.000	0,25	40
6. Deventer	ZWO	1979	120.000/ 80.000	0,13	25
7. Apeldoorn	Veluwe	1978	260.000/205.000	0,25	45
8. Epe	Veluwe	1978	42.000/ 33.000	0,13	30
9. Barneveld	Veluwe	1978	46.000/ 50.000	0,12	60
10. Almelo-Vissedijk	Regge + Dinkel	1979	108.000 ^a /85.000	0,10-0,22	50
11. Enschede-West	Regge • Dinkel	1979	300.000 ^b /208.000	0,24	55
12. Enschede-Zuid	Regge • Dinkel	1979	60.000/ 36.000	0,11	0
13. Goor	Regge + Dinkel	1979	120.000/ 70.500	0,10	80
14. Hengelo	Regge + Dinkel	1979	230.000/185.000	1,28/0,09 (tweetraps)	45
15. Oldenzaal	Regge + Dinkel	1979	65.000/ 40.000	0,11	45

Tabel 2: Overzicht rwzi's met een volledig gemengd - dan wel een meerzellenbeluchtingssysteem

a) oude installatie 28.000, nieuwe installatie 80.000 i.e.

b) 150.000 oxydatiebed en 150.000 actief-slibinstallatie (parallel)

Het beluchtingssysteem van de rwzi Oldenzaal en de eerste beluchtings-trap van de rwzi Hengelo kunnen worden beschouwd als volledig gemengde systemen. De overige inrichtingen hebben een meerzellenbeluchtingssysteem.

De ontwerpbelasting van de beschouwde rwzi's varieert van 32.000 tot 750.000 i.e.; de slibbelasting van 0,09 tot 0,25 kg BZV/kg d.s.d., behoudens de eerste trap van de rwzi Hengelo.

Het aandeel industrieel afvalwater ligt in het algemeen tussen 20 en 60%.

In bijlage 2 is voor de beschouwde inrichtingen een overzicht gegeven van:

- aantal en inhoud van de beluchtingstanks;
- aantal puntbeluchters met beluchtingscapaciteit;
- de toegepaste methoden voor wijziging van de beluchtingscapaciteit;
- aantal en plaats van zuurstofelectroden.

4.2.3 propstroombeluchtingssystemen

In tabel 3 is een overzicht gegeven van de beschouwde rwzi's met een propstroombeluchtingssysteem.

rwzi	beheerder	gegevens van het jaar	ontwerp/huidige belasting (i.e.)	huidige slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	type afvalwater (% industrie)
1. Vinkel	de Aa	1979	42.000/ 19.100	0,33/0,08 (tweetraps)	0
2. Holten-Markelo	ZWO	1979	54.000/ 16.300	0,08	25
3. Steenwijk	ZWO	1979	74.000/ 28.600	0,11	25
4. Dedemsvaart	ZWO	1979	45.000/ 37.600	0,29	50
5. Raalte	ZWO	1979	51.100/ 21.800	0,05	45
6. Renkum	Veluwe	1979	120.000/ 88.000	0,07	30
7. Hoogezand	PW Groningen	1978	50.000/ 33.000	0,09	10
8. Amsterdam-Zuid	OW Amsterdam	1980	270.000/ 110.000	0,08	20

Tabel 3: Overzicht rwzi's met een propstroombeluchtingssysteem

De ontwerpbelasting van de beschouwde rwzi's varieert van 42.000 - 270.000 i.e.; de slibbelasting van 0,05 - 0,29 kg BZV/kg d.s.d., behoudens de eerste trap van de rwzi Vinkel.

Het aandeel industrieel afvalwater varieert van 0 - 50%.

In bijlage 3 is een overzicht gegeven van:

- aantal en inhoud van de beluchtingstanks;
- type en aantal compressoren;
- de verdeling van de beluchtingselementen en de beluchtingscapaciteit;
- de toegepaste methoden voor wijziging van de beluchtingscapaciteit;
- aantal en plaats van zuurstofelectroden.

4.2.4 omloopbeluchtingssystemen

In tabel 4 is een overzicht gegeven van beschouwde rwzi's met een omloopbeluchtingssysteem.

rwzi	beheerder	gegevens v.h. jaar	ontwerp/huidige belasting (i.e.)	huidige slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	type afvalwater (% industrie)
1. Veghel-Uden	de Aa	1979	200.000/147.200	0,04	65
2. Hapert	de Dommel	1979	45.000/ 40.200	0,05	0
3. Hilvarenbeek	de Dommel	1979	75.000/ 33.300	0,04	25
4. St. Oedenrode	de Dommel	1979	75.000/ 31.700	0,04	30
5. Oisterwijk	de Dommel	1979	50.000/ 35.200	0,04	40
6. Oyen	de Maaskant	1979	300.000/261.500	0,07/0,08	50
7. Geestmerambacht	US	1980	100.000/ 65.000	0,05	50
8. Beemster	US	1980	65.000/ 28.000	0,03	40
9. Niedorpen	US	1980	14.000/ 5.000	0,02	10
10. Wieringen	US	1980	12.000/ 4.700	0,025	40
11. Riel	HWB	1980	4.000/ 3.280	0,05	60
12. Kaatsheuvel	HWB	1978	30.000/ 15.000	0,03	15
13. Rijen	HWB	1980	105.000/ 65.000	0,12	50
14. Heino	ZWO	1979	12.500/ 5.900	0,04	40
15. Vollenhoven	ZWO	1979	20.000/ 12.750	0,10	60
16. Brummen	Veluwe	1978	23.500/ 12.700	0,08	25
17. Almelo-Sumpel	Regge + Dinkel	1979	115.000/ 71.000	0,024	45
18. Enter	Regge + Dinkel	1979	8.000/ 3.540	0,024	10
19. Losser	Regge + Dinkel	1979	25.000/ 36.290	0,078	25
20. Nijverdalen	Regge + Dinkel	1979	97.000/ 82.800	0,059	70
21. Ootmarsum	Regge + Dinkel	1979	11.500/ 5.660	0,034	15
22. Rijssen	Regge + Dinkel	1979	32.000/ 26.720	0,051	20
23. Delden	Regge + Dinkel	1979	7.500/ 4.760	0,035	0
24. Stadskanaal	PW Groningen	1980	45.000 ^a /33.500	0,09	10

Tabel 4: Overzicht rwzi's met een omloopbeluchtingssysteem

a) 30.000 caroussel, 15.000 oxydatiebedden.

De ontwerpbelasting van de beschouwde rwzi's varieert van 4.000 tot 300.000 i.e.; de slibbelasting van 0,02 tot 0,12 kg BZV/kg d.s.d.

Het aandeel industrieel afvalwater varieert van 0 tot 70%.

In bijlage 4 is een overzicht gegeven van:

- aantal, type en inhoud van de beluchtingstanks;
- aantal, type en capaciteit beluchters;
- de toegepaste methoden voor wijziging van de beluchtingscapaciteit;
- aantal en plaats van zuurstofelectroden.

4.3 Beschouwing van methoden van regelen van de zuurstofinbreng

4.3.1 *algemeen*

De methoden van regelen van de zuurstofinbreng zijn voor de diverse beluchtingssystemen nader beschouwd.

Aan ondermeer de volgende aspecten is aandacht besteed:

- technisch:
 - regeltechnische mogelijkheden en onderhoud van beluchtingsapparatuur;
 - nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en onderhoud van meet- en regelapparatuur;
 - tekortkomingen in het ontwerp van het beluchtingssysteem;
- technologisch:
 - plaats van zuurstofelectroden;
 - wijziging van de beluchtingscapaciteit;
 - mogelijkheden voor nitrificatie en denitrificatie;
 - interpretatie meetgegevens met betrekking tot:
 - . rendement BZV-verwijdering
 - . nitrificatie
 - . denitrificatie
- energetisch-economisch:- interpretatie meetgegevens met betrekking tot:
 - . specifiek energieverbruik voor beluchting
 - . besparing op beluchtingsenergie
 - . kosten/kostenbesparing in relatie tot de grootte van de rwzi en de methode van regeling.

Op basis van de bedrijfsresultaten over een bepaald jaar (of gedeelte) is voor de bepaling van het specifiek energieverbruik voor beluchting (kWh/kg O₂-verbruik) het zuurstofverbruik als volgt berekend:

O₂-verbruik = (kg BZV-verwijderd + 4,57 x kg N_{kj}-verwijderd) in de beluchtingstank.

Wanneer denitrificatie wordt toegepast kan worden bespaard op beluchtingsenergie. Berekend is met welk percentage de zuurstofinbreng kon worden verlaagd bij toepassing van het denitrificatieproces. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$\text{O}_2\text{-levering door denitrificatie} = 2,86 \times \text{NO}_3^- \text{- N verwijderd}$$

4.3.2 volledig gemengde - en meercellenbeluchtingssystemen

algemeen

Op alle beschouwde actief-slibinstallaties wordt de zuurstofinbreng in meerdere of mindere mate automatisch geregeld op basis van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank, met uitzondering van de rwzi Barneveld waar een handbediende regeling wordt toegepast.

Op alle inrichtingen, met uitzondering van de rwzi Helmond, is de automatische zuurstofregeling vanaf de in bedrijfstelling van de rwzi geïnstalleerd. Op de rwzi Helmond is na verloop van tijd een automatische zuurstofregeling ingebouwd.

technische aspecten

Uit de inventarisatie van de volledig gemengde - en meercellenbeluchtingssystemen blijkt, dat voor de regeling van de zuurstofinbreng automatisch op zuurstof de navolgende methoden of combinaties van methoden worden toegepast (zie ook bijlage 2):

- door aan-uitschakeling van beluchters	1 x
- door wijziging van de dompeldiepte van beluchters	5 x
- door aan-uitschakeling en wijziging van de dompeldiepte van beluchters	4 x
- door aan-uitschakeling en toerenschakeling van beluchters	1 x
- door toerenschakeling en wijziging van de dompeldiepte van beluchters	3 x
- door wijziging van de dompeldiepte en het stotend-slepend bedienen van beluchters met de hand	1 x

Onder stotend-slepend bedienen van beluchters wordt verstaan het omkeren van de draairichting van de beluchters.

Het aan-uitschakelen van beluchters wordt veelal toegepast in combinatie met een andere methode voor wijziging van de beluchtingscapaciteit. Met een twee- of meertoerenschakeling is de zuurstofinbreng meer verfijnd te regelen. Een nadeel van deze methode is evenwel het teruglopen van het rendement van de beluchters (kg O₂/kWh) bij laag toerental. Het variëren van de dompeldiepte wordt relatief veel toegepast. De variatie geschiedt in stappen, dan wel traploos. Bij frequente variatie van de dompeldiepte, hetgeen veel voorkomt in de praktijk, treedt overmatige slijtage op aan hefinrichting en tandwielkast. Het regelbereik van deze methode is vaak niet voldoende. Een combinatie met aan-uit- of toerenschakeling kan dit nadeel opheffen. Regeltechnisch heeft een combinatie van de bovengenoemde methoden dan ook de voorkeur.

De noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden en vervanging van zuurstofelectroden verschillen van geval tot geval. De vereiste frequentie van schoonmaken van zuurstofelectroden varieert van circa 2 maal per dag tot circa 1 maal per week en wordt behalve door het type electrode in belangrijke mate bepaald door het type afvalwater.

In het ontwerp van de beluchting is in het algemeen de mogelijkheid tot automatische regeling van de zuurstofinbreng opgenomen. In een aantal gevallen is echter gekozen voor een te gering regelbereik van de beluchtingscapaciteit.

technologische aspecten

In het navolgende is een aantal technologische aspecten van regeling van de zuurstofinbreng met behulp van zuurstofelectroden beschouwd.

- de plaats van zuurstofelectrode(n)

In het volledig gemengde beluchtingssysteem kan worden volstaan met één zuurstofelectrode per tank.

Voor meercellenbeluchtingssystemen varieert het aantal zuurstofelectroden van 1 per tank tot 1 per beluchter.

De ingestelde zuurstofgehalten variëren van 0 - 0,5 in het begin van een tank en van 1 - 2 mg O₂/l halverwege of aan het einde van een tank.

Uit praktijkwaarnemingen werd de indruk verkregen, dat meercellen-systemen voor wat betreft substraat- en slibhuishouding kunnen worden beschouwd als volledig gemengd, doch voor wat betreft de zuurstofhuishouding als bestaande uit meerdere cellen.

Op rwzi's met identieke parallelle beluchtingstanks blijken de beluchtingstanks veelal een van elkaar afwijkende zuurstofhuishouding te bezitten, zodat regeling van meerdere straten op basis van metingen in één straat veelal niet zinvol is. Een niet volledig uniforme verdeling van het afvalwater en een gescheiden slibhuishouding van de afzonderlijke straten (elke straat een eigen nabezinktank) zijn mogelijke oorzaken.

- het verminderen van de beluchtingscapaciteit

Het verminderen van de beluchtingscapaciteit heeft in het algemeen geen technologische nadelige gevolgen, tenzij het minimum zuurstofniveau voor aërobe BZV-verwijdering dan wel nitrificatie wordt bereikt. In hoeverre een tijdelijke vermindering van de beluchtingscapaciteit tot beneden de minimum energie voor menging (in bepaalde gevallen nodig voor denitrificatie) een nadelige invloed heeft op het zuiveringsproces is niet bekend. Onderzoek hieromtrent is gewenst.

- het regelen van de nitrificatie en denitrificatie

Voor nitrificatie wordt veelal een zuurstofgehalte > 1,5 mg O₂/l aangehouden. In enkele meercellensystemen werd gedenitrificeerd in de eerste beluchtingscel, waarbij werd geregeld op een zuurstofconcentratie van 0 - 0,5 mg O₂/l. Indien voor denitrificatie effluentrecirculatie wordt toegepast, dienen besparingen op beluchtingsenergie steeds te worden afgewogen tegen extra pompkosten voor effluentrecirculatie.

- interpretatie van meetgegevens

In tabel 5 (p. 39) zijn enkele relevante bedrijfsgegevens voor de beschouwde beluchtingssystemen gegeven:

- . BZV-verwijderingsrendement
- . N_{kj}-verwijderingsrendement (nitrificatie)
- . NO₃-verwijderingsrendement (denitrificatie)
- . slibindex
- . energetische bedrijfsresultaten.

rwtz	outwerp/huidige belasting (i.e)	huidige slijbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	zuiveringsrendement van beluchtingsinstallatie		slib-index (ml/g)	regeling		totaal energie- verbruik (Wh/m ³ water)	energie- verbruik voor be- luchting (% van totaal)	spec. energie- verbruik (kWh/kg O ₂) voor beluch- ting	zuurstof- opbrengst- denitriifi- catie (% van totaal zuurstof- behoefte)
			BZV	NO _x		O ₂ -in- breng	A=autom. H=hand O=zuur- stof				
1. Helmond	360.000/300.000	0,14	97	44	92	150-180	A0	246	72	0,57	14
2. Schijndel	32.000/ 19.300	0,13	81	62	79	155	A0	283	67		
			(niet representatief i.v.m. slechte werking nabezinktank)								
3. Eindhoven	750.000/560.000	0,09-0,31	94	37	73	130-185	A0	160	81	1,00	16
4. 's-Hertogenbosch	400.000/255.000	0,13	98	84	96	240-300	A0	454	84	0,73	13
5. Breda	650.000/235.000	0,25	91	25	75	150	A0	308	70	0,58	8
6. Deventer	120.000/ 80.000	0,13	91	71	85	143-215	A0	301	69	0,58	28
7. Apeldoorn	260.000/205.000	0,25	94	64	36	127	A0	283	51	0,55	11
8. Epe	42.000/ 33.000	0,13	99	92	81	132	A0	599	79	0,46	21
9. Barneveld	46.000/ 50.000	0,12	97	79	67	104	H0	383	77	0,66	18
10. Almelo-Visseldijk	108.000/ 85.000	0,10 oud 0,22 nieuw	89	38	92	110-170	A0	321	49	0,62	20
11. Enschede-West	300.000/208.000	0,24	89	55	59	142	A0	143	53	0,76	18
12. Enschede-Zuid	60.000/ 36.000	0,11	94	78	77	226	A0+H0	369	68	0,80	31
13. Goor	120.000/ 70.500	0,10	95	66	77	247	A0	454	65	0,81	20
14. Hengelo	230.000/185.000	1,28/0,09 tweetraps	93	39	73	73-187	A0	385	60	1,00	22
15. Oldenzaal	65.000/ 40.000	0,11	84	31	72	203	A0	183	45	0,58	20

Tabel 5: Bedrijfsgegevens voor volledig gemengde - en meercellenbeluchtingssystemen

Mit de bedrijfsgegevens kunnen de navolgende globale conclusies worden getrokken:

- een onderlinge vergelijking van de rwzi's is weinig zinvol vanwege grote verschillen in grootte van de installatie, in samenstelling van het afvalwater, in slibbelasting, in slibhuishouding etc.;
- vrijwel alle beschouwde volledig gemengde - en meercellensystemen zijn vanaf de in bedrijfstelling uitgerust met automatische zuurstofregeling, zodat een vergelijking tussen de handbediende en automatische regeling op één installatie niet mogelijk is. Een uitzondering hierop vormt de rwzi Helmond, waar vanaf de in bedrijfstelling in stappen is geautomatiseerd. In 1974 vond nog geen zuurstofregeling plaats. In de loop van 1975 werd de zuurstofinbreng gedeeltelijk geautomatiseerd. De laatste drie van de vijf beluchters (figuur 21) werden geregeld met behulp van twee zuurstofelectroden.

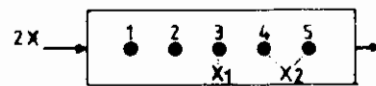


Fig. 21 Een beluchtingstank van de rwzi Helmond

Electrode x_1 regelde beluchter 3 en electrode x_2 de beluchters 4 en 5 op 2 - 3 mg O_2/l .

Van 1976 tot en met 1978 werden de eerste twee beluchters tevens met de hand aan-uitgeschakeld op basis van de zuurstofgehalten van x_1 en x_2 . Vanaf 1978 werden de setpoints van de electroden verlaagd tot 1 - 2 mg O_2/l . Halverwege 1980 werden de eerste twee beluchters automatisch aan-uitgeschakeld. De zuiveringsresultaten bleven ook na het verlagen van het zuurstofgehalte van 2 - 3 naar 1 - 2 mg O_2/l goed. Verdere conclusies met betrekking tot de effluentkwaliteit kunnen niet worden getrokken daar de belasting van de rwzi en andere parameters zoals het slibgehalte in de loop van de jaren gewijzigd zijn. In tabel 6 zijn enige bedrijfsresultaten over de periode 1974 tot 1981 gegeven.

jaar	belasting biologisch deel installatie (kg BZV ₅ /dag)	effluentkwaliteit			totaal jaarverbruik beluchtingsenergie (10 ⁶ kWh)	specifiek energieverbruik (kWh/kg BZV verwijderd)
		CZV (mg/l)	BZV (mg/l)	N _{2j} (mg/l)		
1974	7.100	94	6	17	4,1	1,58
1975	10.300	95	7	15	3,9	1,04
1976	10.900	87	8	18	3,5	0,88
1977	13.570	81	8	22	3,2	0,65
1978	13.200	115	10	31*	2,8	0,58
1979	12.100	100	6	22	3,3	0,75
1980	11.200	98	9	24	2,5	0,61
1981 (1e helft)					1,1 (halfjaar)	

Tabel 6: Enige bedrijfsgegevens van de rwzi Helmond over de periode 1974 tot 1981

* gedurende periode in 1978 nitrificatieproces verstoord.

energetisch-economische aspecten

In tabel 5 (p. 39) zijn de navolgende bedrijfsresultaten met betrekking tot het energieverbruik gegeven:

- het totale energieverbruik van de rwzi per m³ afvalwater;
- het energieverbruik voor beluchting (% van totaal energieverbruik rwzi);
- het specifiek energieverbruik voor beluchting (kWh/kg O₂);
- de berekende zuurstofopbrengst uit denitrificatie (% van de totale zuurstofbehoefte voor BZV- en N_{kj}-verwijdering).

Ten aanzien van de resultaten kan het volgende worden opgemerkt:

- het totaal energieverbruik, het energieverbruik voor beluchting en het specifiek energieverbruik verschillen sterk voor de beschouwde rwzi's;
- de zuurstofopbrengst uit denitrificatie varieert van circa 10 tot 30% van de totale zuurstofbehoefte voor BZV- en N_{kj}-verwijdering.

Vanwege het ontbreken van goede referentieonderzoeken zijn gegevens over energiebesparing door automatische regeling van de zuurstofinbreng schaars. Alleen voor de rwzi Helmond is tot op zekere hoogte een vergelijking tussen een niet-geregelde en een automatisch geregelde zuurstofinbreng mogelijk.

In tabel 6 (p. 40) zijn voor de jaren 1974 tot 1981 het totale energieverbruik voor de beluchting en het specifiek energieverbruik (in kWh/kg BZV-verwijderd) van de rwzi Helmond gegeven. Zoals reeds aangegeven is de regeling van de zuurstofinbreng in de periode 1974 tot 1981 in stappen geautomatiseerd.

Uit tabel 6 blijkt, dat zowel het energieverbruik voor beluchting als het specifieke energieverbruik sterk zijn gedaald. Hierbij zij evenwel opgemerkt, dat de gegevens met betrekking tot energiebesparing enigszins worden vertroebeld door veranderingen in de slibbelasting en het aandeel industrieel afvalwater in de loop der jaren.

4.3.3 *propstroombeluchtingssystemen*

algemeen

De beschouwde propstroombeluchtingssystemen worden, met uitzondering van de rwzi's Steenwijk en Amsterdam-Zuid, automatisch geregeld op basis van zuurstofmetingen in de beluchtingstanks. Op de rwzi Steenwijk wordt de zuurstofinbreng met de hand geregeld op basis van zuurstofmetingen. Op de rwzi Amsterdam-Zuid vindt geen regeling van de zuurstofinbreng plaats. Op de rwzi Hoogezand is tot circa 1978 met de hand geregeld; in 1978 is er een automatische zuurstofregeling geïnstalleerd.

technische aspecten

Bij de propstroombeluchtingssystemen worden de navolgende methoden of combinaties van methoden van regeling van de zuurstofinbreng toegepast (zie ook bijlage 3):

- automatisch op zuurstof door toerenschakeling van compressoren 3 x
- automatisch op zuurstof door aan-uit- en tweetoerenschakeling van compressoren 3 x
- met de hand op zuurstof door het smoren in de persleiding 1 x
- ongeregeld 1 x

Uit het bovenstaande blijkt, dat veelal een tweetoerenschakeling wordt toegepast; op een tweetal inrichtingen in combinatie met aanuitschakeling. Aan-uitschakeling geeft een grove regeling en kan alleen worden toegepast indien meerdere compressoren op één luchtleidingssysteem zijn aangesloten. Afschakeling en/of capaciteitswijziging van compressoren mag niet tot gevolg hebben dat, in verband met vervuiling en/of verstopping, de minimale luchtbelasting van de beluchtingselementen wordt onderschreden.

Op diverse rwzi's moesten zuurstofelectroden al na korte tijd worden vervangen. De oorzaak was veelal chemische aantasting van het electrodemateriaal.

technologische aspecten

In het navolgende is een aantal technologische aspecten van regeling van de zuurstofinbreng met behulp van zuurstofelectroden beschouwd.

- de plaats van zuurstofelectrode(n)

In verband met de lage zuurstofgehalten ($< 0,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$) en de hiermee samenhangende grote onnauwkeurigheden in de zuurstofmetingen, werden geen metingen verricht in het begin van de tanks. Automatische regeling van de zuurstofinbreng vond steeds plaats met behulp van één zuurstofelectrode, in de meeste gevallen geïnstalleerd aan het einde van de tank (5 x), in enkele gevallen (2 x) op circa tweederde van de lengte van de tank.

Uit onderzoekingen op de rwzi Hoogezand bleek dat voor deze installatie een zuurstofelectrode op tweederde van de lengte van de tank de beste regelmogelijkheden gaf. Een tweede zuurstofelectrode aan het einde van de tank bleek overbodig.

Een nadeel van regeling van de zuurstofinbreng met een electrode aan het einde van de tank is de relatief lange dode tijd. Een verandering van de zuurstofbehoefte wordt pas waargenomen nadat het afvalwater de gehele tank heeft doorlopen. Regeling van de zuurstofinbreng op basis van meting van de zuurstofbehoefte in het begin van de tank met een respirometer zou dit probleem kunnen ondervangen. In Nederland wordt deze wijze van regeling (nog) niet toegepast; onderzoek hieromtrent lijkt gewenst.

Evenals bij volledig gemengde - en meerzellenbeluchtingstanks is regeling van meerdere straten op basis van metingen in één straat weinig zinvol.

- de verdeling van de luchtinbreng over de beluchtingstanks

Op het merendeel van de inrichtingen werd een "tapered aeration" (5 x) toegepast; op een drietal inrichtingen was het aantal beluchtingselementen uniform verdeeld. Vier van de vijf inrichtingen met "tapered aeration" werden bovendien bedreven volgens het "stepfeed proces".

rwzi	ontwerp/huidige belasting (i.e.)	huidige slibbelas- ting (kg BZV/kg d.s.d.)	zuiverings- rendement van beluch- tingsin- stallatie		slib- index (ml/g)	regeling O ₂ -in- breng A=autom. H=hand O=zuur- stof	totaal energie- verbruik (Mh/m ³ water)	energie- verbruik voor be- luchting (% van totaal)	spec. energie- verbruik (kWh/kg O ₂) voor beluch- ting	zuurstof- opbrengst denitri- ficatie (% van totaal zuurstof- behoefte)
			BZV/Nk (%)	NO ₃ ⁻ (%)						
1. Vinkel	42.000/ 19.100	0,33/0,08 tweetraps	95	86	66	A0	260	48	0,31	24
2. Holten-Markelo	54.000/ 16.300	0,08	96	92	62	A0	595	63	0,77	22
3. Steenwijk	74.000/ 28.600	0,11	94	42	68	H0	600	56	1,25	19
4. Dedemsvaart	45.000/ 37.600	0,29	94	56	48	A0	400	51	0,42	21
5. Raalte	51.100/ 21.800	0,05	93	76	23	A0	420	35	0,77	9
6. Renkum	120.000/ 88.000	0,07	97	76	59	A0	300	61	0,51	16
7. Hoogezand	50.000/ 33.000	0,09	97	94	72	A0	280	88	0,53	29
8. Amsterdam-Zuid	270.000/110.000	0,08	95	81	33	--	420	68	0,93	14

Tabel 7: Bedrijfsgegevens voor propstroombeluchtingssystemen

Alleen op de rwzi Amsterdam-Zuid kan de verdeling over de beluchtingselementen worden gewijzigd omdat naar believen meer of minder elementen kunnen worden afgesloten. De luchtverdeling over meerdere straten geschiedt in het algemeen met behulp van schuiven in de toevoerleidingen naar de tanks. Op deze wijze is de verdeling veelal moeilijk nauwkeurig te regelen.

- het regelen van de nitrificatie en denitrificatie

Voor nitrificatie wordt veelal een zuurstofgehalte $> 1,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$ aangehouden. De nitrificatie dient steeds nauwkeurig te worden gecontroleerd. In enkele gevallen is gebleken, dat een geringe verlaging van de zuurstofinbreng een volledige verstoring van de nitrificatie gaf.

Denitrificatie geschiedt meestal in het eerste tankgedeelte, dat in geval van effluentrecirculatie hiervoor ook het meest geschikte tankgedeelte is (hoge BZV-vracht). In geval van toepassing van het "stepfeed proces" kan op een andere plaats in de tank worden gedennitrificeerd. Een voorwaarde hierbij is evenwel, dat bij terugregeling van de zuurstofinbreng geen slibbezinking optreedt en de minimale luchtbelasting per beluchtingselement niet wordt overschreden.

- interpretatie van meetgegevens

In tabel 7 (p. 43) zijn de navolgende bedrijfsresultaten voor de hier beschouwde beluchtingssystemen gegeven:

- . BZV-verwijderingsrendement
- . N_{kj} -verwijderingsrendement (nitrificatie)
- . $\text{NO}_3\text{-N}$ -verwijderingsrendement (denitrificatie)
- . slibindex
- . energetische bedrijfsresultaten.

Uit de bedrijfsgegevens kunnen de navolgende globale conclusies worden getrokken:

- de beschouwde installaties zijn onderling moeilijk te vergelijken, met name door verschillen in grootte van de installatie, in tankgeometrie, in samenstelling van het afvalwater, in slibbelasting, in slibhuishouding etc.;
- behalve op de rwzi Hoogezand zijn alle propstroomsystemen vanaf de in bedrijfstelling uitgerust met automatische zuurstofregeling; op de rwzi Hoogezand is de zuurstofinbreng tot en met 1977 met de hand geregeld; vanaf 1978 vindt automatische regeling plaats. In tabel 8 zijn voor de rwzi Hoogezand de bedrijfsgegevens over 1977 en 1978 gegeven.

parameter	1977	1978
zuurstofregeling	handbediend	automatisch
belasting (i.e.)	ca. 33.000	ca. 33.000
debiet (m ³ /d)	13.200	10.700
slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	0,08	0,08
BZV-verwijdering (%)	96	97
N _{kj} -verwijdering (%)	93	94
NO ₃ -N-verwijdering (%)	62	72
slibindex (ml/g)	74 + 13	83 + 15
BZV-effluent (mg/l)	5 + 4	5 + 2
N _{kj} -effluent (mg/l)	4,6 + 2,6	3,8 + 3,0
NO ₃ -N-effluent (mg/l)	22 + 7	18 + 10
totaal energieverbruik (kWh/d)	3132	2979
energieverbruik voor beluchting (%)	88	87
specifiek energieverbruik voor beluchting (kWh/kg O ₂)	0,52	0,53
zuurstofopbrengst door denitrificatie (% van totaal zuurstofverbruik)	26	29

Tabel 8: Bedrijfsgegevens rwzi Hoogezand over 1977 en 1978

Uit tabel 8 blijkt, dat:

- de BZV- en N_{kj}-verwijdering in 1978 enigszins zijn toegenomen, de NO₃-N-verwijdering lag aanzienlijk hoger (72 ten opzichte van 62%);
- de effluentkwaliteit in 1978 voor wat betreft BZV-gehalte meer constant was.

energetisch-economische aspecten

In tabel 7 (p. 43) zijn de navolgende bedrijfsresultaten met betrekking tot het energieverbruik gegeven:

- het totale energieverbruik van de rwzi per m³ afvalwater;
- het energieverbruik voor beluchting (% van totaal energieverbruik rwzi);
- het specifiek energieverbruik voor beluchting (kWh/kg O₂);
- de berekende zuurstofopbrengst uit denitrificatie (% van de totale zuurstofbehoefte voor BZV- en N_{kj}-verwijdering).

Ten aanzien van deze resultaten kan worden opgemerkt, dat:

- het totaal energieverbruik, het energieverbruik voor beluchting en het specifiek energieverbruik sterk variëren;
- de rwzi Steenwijk, waarvan de beluchting met de hand wordt geregeld (smoren in persleiding), het hoogste specifiek energieverbruik (1,25 kWh/kg) heeft, gevolgd door de rwzi Amsterdam-Zuid, waarvan de beluchting niet wordt geregeld (0,93 kWh/kg O₂);
- de zuurstofopbrengst uit denitrificatie tussen circa 10 en 30% van de totale zuurstofbehoefte voor BZV- en N_{kj}-verwijdering varieert.

Uit tabel 8 (p. 45) blijkt, dat op de rwzi Hoogezand met een automatische regeling van de zuurstofinbreng circa 6% werd bespaard op beluchtingsenergie ten opzichte van een regeling met de hand. Hoewel de vuillast in beide jaren ongeveer gelijk was, was de hoeveelheid afvalwater ($m^3/d.$) in 1978 kleiner dan in 1977.

4.3.4 omloopbeluchtingssystemen

algemeen

Op de meeste grote omloopbeluchtingssystemen (caroussels en grote oxydatiesloten) wordt de zuurstofinbreng automatisch geregeld met behulp van zuurstofelectroden. Op enkele grote omloopbeluchtingssystemen wordt de zuurstofinbreng met de hand geregeld op basis van NO_3^- en NH_4^+ -gehalten van het effluent. Kleinere oxydatiesloten worden veelal met de hand geregeld op basis van zuurstofmetingen met mobiele zuurstofelectroden, dan wel aan de hand van NO_3^- en NH_4^+ -metingen van het effluent. Op enkele caroussels wordt de automatische zuurstofregeling gecontroleerd en bijgesteld aan de hand van NO_3^- en NH_4^+ -metingen in het effluent. Op de rwzi Vollenhoven wordt de zuurstofinbreng min of meer automatisch geregeld op basis van het influentdebiet.

technische aspecten

Uit de inventarisatie van de omloopbeluchtingssystemen blijkt, dat voor de regeling van de zuurstofinbreng de navolgende methoden of combinaties van methoden worden toegepast:

1) automatisch op zuurstof door aan-uitschakeling van de beluchters	2 x
2) automatisch op zuurstof door wijziging van de dompediepte van de beluchters	4 x
3) automatisch op zuurstof door wijziging van de dompediepte van de beluchters en aan-uitschakeling van de beluchters volgens een tijdplan	9 x
4) automatisch op zuurstof door aan-uitschakeling van de beluchters en hoogteverstelling van de overstortrand	1 x
5) automatisch op zuurstof door tweetoerenschakeling van de beluchters en hoogteverstelling van de overstortrand	1 x
6) automatisch op zuurstof door tweetoerenschakeling en wijziging van de dompediepte van de beluchters	1 x
7) automatisch op debiet door aan-uitschakeling van de beluchters en handbediend door hoogteverstelling van de overstortrand	1 x
8) tijdplan op basis van NO_3^-/NH_4^+ -metingen door aan-uitschakeling en wijziging van de dompediepte van de beluchters	3 x
9) tijdplan op basis van NO_3^-/NH_4^+ -metingen door aan-uitschakeling en hoogteverstelling van de overstortrand	1 x
10) handbediend op zuurstof door hoogteverstelling van de overstortrand	1 x

Hierbij dient te worden opgemerkt, dat op de meeste installaties meer of minder beluchters continu aan- dan wel uitgeschakeld zijn (niet geregelde beluchters).

Tevens vindt bij een automatische zuurstofregeling vaak een bijregeling met de hand plaats door aan-uitschakeling van beluchters op basis van het zuurstofgehalte dan wel NH_4^+ - en NO_3^- -gehalten.

Uit het bovenstaande blijkt, dat er op de meeste van de beschouwde 24 installaties een zekere mate van automatische regeling van de zuurstofinbreng plaatsvindt.

De meest eenvoudige wijze van regeling van de zuurstofinbreng is het aan- en uitschakelen van de beluchters. Deze methode wordt relatief veel toegepast, veelal in combinatie met andere methoden van regeling van de zuurstofinbreng.

Een meer verfijnde regeling is de tweetoerenschakeling. Deze methode wordt slechts op 2 van de geïnterpreteerde omloopbeluchtingssystemen toegepast.

Het variëren van de dompeldiepte wordt relatief veel toegepast. De variatie geschiedt in het algemeen in meerdere stappen. Een veel voorkomend nadeel van deze methode is het pendelen van beluchters, met als gevolg een overmatige slijtage aan hefinrichting en tandwielkast. Het regelbereik bij deze methode is op onderbelaste installaties vaak onvoldoende. Het regelen van de hoogte van de overstortrand blijkt thans minder toegepast te worden dan voorheen. Aan deze methode kunnen de navolgende nadelen kleven:

- verstoring van het bezinkproces in de nabezinktank door een te snelle verlaging van de overstortrand, waardoor de nabezinktank tijdelijk te zwaar wordt belast;
- een (te) langzame reactiesnelheid van het hydraulische systeem;
- een relatief klein regelbereik.

De benodigde onderhoudswerkzaamheden aan en vervangingstermijnen van zuurstofelectroden verschillen van geval tot geval. De vereiste frequentie van schoonmaken van zuurstofelectroden varieert van circa 2 maal per dag tot circa 1 maal per week en wordt behalve door het type electrode in belangrijke mate bepaald door het type afvalwater. In enkele gevallen moesten zuurstofelectroden reeds na enkele maanden worden vervangen.

technologische aspecten

In het navolgende is een aantal technologische aspecten van regeling van de zuurstofinbreng met behulp van zuurstofelectroden, dan wel op basis van NH_4^+ / NO_3^- -metingen beschouwd:

- de plaats van zuurstofelectroden

Bij de omloopbeluchtingssystemen met automatische zuurstofregeling zijn de zuurstofelectroden op diverse plaatsen opgesteld in de circuits:

- . in oxydatiesloten wordt in het algemeen geregeld met één zuurstofelectrode; de plaats van opstelling kan van geval tot geval verschillen, doch is meestal niet gelegen in de buurt van de influent invoer (laag O_2 -gehalte); er wordt doorgaans geregeld met setpoints tussen 0,5 - 1,5 mg O_2/l ;
 - . in caroussels wordt veelal geregeld met meerdere zuurstofelectroden; doorgaans is één zuurstofelectrode geïnstalleerd in het begin van het lange omloopbeen ten behoeve van de regeling van de denitrificatie; het setpoint van deze electrode kan, afhankelijk van de afstand van de electrode tot de eerste beluchter, variëren van 0,5 - 2,5 mg O_2/l ;
- in caroussels met meerdere beluchters zijn vaak tevens zuurstofelectroden geplaatst nabij de beluchters; de setpoints van deze zuurstofelectroden variëren eveneens tussen 0,5 - 2,5 mg O_2/l , afhankelijk van de afstand tot de beluchters.

Om de optimale plaats(en) voor (een) zuurstofelectrode(n) te kunnen vaststellen dienen zuurstofprofielen over de lengte van de circuits bij verschillende zuurstofinbrengcapaciteiten en vuilbelastingen te worden opgenomen.

Op de rwzi Geestmerambacht zijn in een oriënterend onderzoek zuurstofmetingen verricht in het omloopbeen van de carroussel (figuur 22). Het onderzoek werd als volgt uitgevoerd. Eén zuurstofelectrode werd opgesteld bij beluchter 1. Daarnaast werd gebruik gemaakt van een mobiele electrode.

Bij de navolgende situaties werden zuurstofmetingen verricht:

1. 4 beluchters aan;
2. beluchter 4 uit;
3. beluchter 3 uit;
4. beluchter 2 uit;
5. beluchter 1 uit;
6. beluchters 2 en 4 uit.

De verkregen zuurstofprofielen zijn weergegeven in bijlage 5.

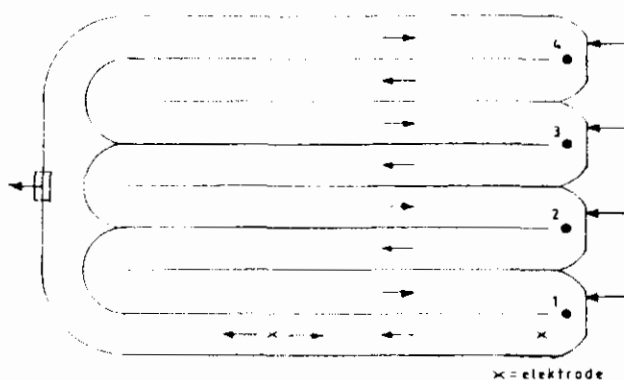


Fig. 22: Beluchtingscircuit rwzi Geestmerambacht

Uit de metingen bleek, dat alleen na uitschakeling van beluchter 1 (situatie 5) het O_2 -gehalte in het omloopbeen tot vrijwel nul daalde. Het uitschakelen van de andere beluchters had nauwelijks effect op het zuurstofprofiel van het omloopbeen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat door het uitschakelen van beluchters de stroomsnelheid in het circuit afneemt. Bij gelijkblijvende OC van beluchter 1 wordt er bij een geringere stroomsnelheid per m^3 water meer zuurstof ingebracht door beluchter 1. Voor het meten en het interpreteren van de zuurstofprofielen zijn derhalve eveneens stroomsnelheidsmetingen nodig.

- het verminderen van de beluchtingscapaciteit door het uitschakelen van beluchters

Door het uitschakelen van beluchters kan het slib bezinken. Over mogelijk nadelige effecten van tijdelijke bezinking van het slib op het zuiveringsproces is nog weinig bekend. Bij sterk zandhoudend slib en simultane defosfatering kunnen problemen optreden bij het weer in suspensie brengen van het slib. Op de rwzi's St. Oedenrode en Hilvarerbeek worden thans proeven uitgevoerd met propellers, welke het slib in suspensie moeten houden (figuur 23, p.49).

De beide installaties zijn onderbelast en tijdens bedrijf was steeds 1 beluchter uitgeschakeld terwijl de andere twee automatisch werden geregeld met behulp van zuurstofelectroden door verstelling van de dompeldiepte van de beluchters.

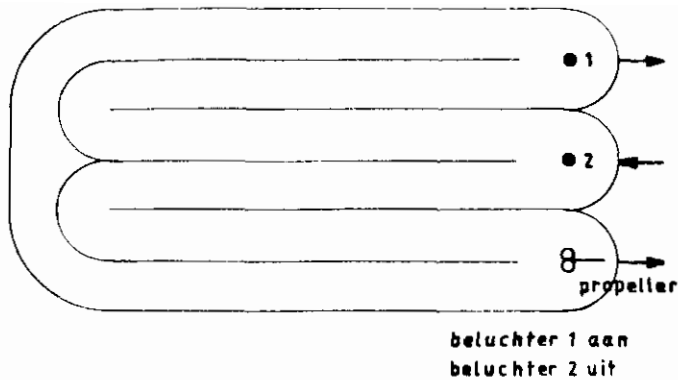


Fig. 23: Schema beluchtingscircuit rwzi St. Oedenrode en rwzi Hilvarenbeek

Theoretisch zou onder DWA-omstandigheden voldoende zuurstof kunnen worden ingebracht met 1 beluchter; de omloopsnelheid is dan echter onvoldoende om het slib in suspensie te houden. Thans worden proeven genomen, waarbij 1 beluchter is vervangen door een propeller. Het energieverbruik door de propeller bedraagt circa 35% van het energieverbruik van een beluchter draaiend bij minimale dompediepte. Gebleken is, dat met een beluchter en een propeller het slib goed in suspensie kan worden gehouden. Tijdens de proeven verslechterde evenwel de effluentkwaliteit; een afdoende verklaring hiervoor is (nog) niet gevonden.

- het regelen van de nitrificatie en denitrificatie

In omloopbeluchtingssystemen met automatische regeling van de zuurstofinbreng met behulp van zuurstofelektroden blijken de nitrificatie en de denitrificatie niet steeds optimaal te verlopen.

In een aantal omloopbeluchtingssystemen wordt de automatische regeling van de zuurstofinbreng gecontroleerd en zonodig bijgesteld aan de hand van NO_3^- - en NH_4^+ -metingen in het effluent.

In een aantal andere omloopbeluchtingssystemen wordt de zuurstofinbreng geregeld met behulp van tijd klokken, welke zijn ingesteld op basis van NO_3^- - en NH_4^+ -gehalten in het effluent.

De frequentie van controlemetingen varieert van eenmaal per dag tot tweemaal per week. De stuurwaarden voor NO_3^- en NH_4^+ in het effluent variëren als volgt:

- voor NO_3^- : tussen 5 en 10 mg N/l;
- voor NH_4^+ : tussen 2 en 10 mg N/l.

- interpretatie meetgegevens

In tabel 9 (p. 50) zijn de navolgende bedrijfsresultaten voor de beschouwde omloopbeluchtingssystemen gegeven:

- . BZV-verwijderingsrendement
- . N_{kj} -verwijderingsrendement (nitrificatie)
- . NO_3^- -verwijderingsrendement (denitrificatie)
- . slibindex
- . energetische bedrijfsresultaten.

Uit de bedrijfsresultaten kunnen de navolgende globale conclusies worden getrokken:

- de beschouwde rwzi's zijn onderling nauwelijks vergelijkbaar vanwege verschillen in onder andere de grootte van de rwzi, de geometrie van de beluchtingstanks, de samenstelling van het afvalwater en de slibhuishouding;
- op vrijwel alle beschouwde rwzi's, wordt een hoog NO_3^- -verwijderingsrendement verkregen;
- op een aantal rwzi's is de Kjeldahlstikstof-verwijdering aanzienlijk lager dan verwacht zou mogen worden bij de toegepaste slibbelasting.

Op vrijwel alle beschouwde rwzi's, met uitzondering van de rwzi Veghel-Uden, is de wijze van regeling van de zuurstofinbreng vanaf het moment van de in bedrijfstelling van de rwzi niet gewijzigd. Op de rwzi Veghel-Uden (figuur 24, p. 51) werd de zuurstofinbreng gedurende 2 jaar na in bedrijfstelling met de hand geregeld op basis van zuurstofmetingen door middel van het aan-uitschakelen van de mammoetrotoren. Tevens werd de zuurstofinbreng gewijzigd door verstelling van de hoogte van de overstortrand, hetgeen een trage regeling bleek te zijn. Eind 1978 werd deze handbediende regeling vervangen door de huidige automatische regeling van de zuurstofinbreng, waarbij één electrode per oxydatiesloot het toerental van de mammoetrotoren en zo nodig de hoogte van de overstortrand regelt.

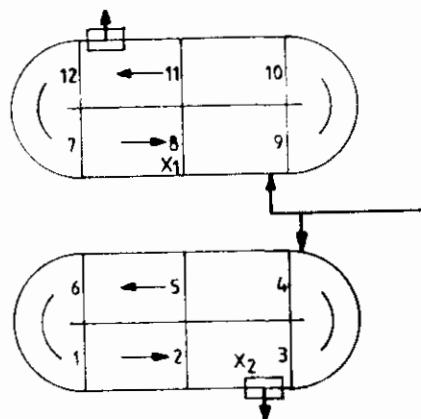


Fig. 24: Beluchtingscircuit rwzi Veghel-Uden

In een onderzoek zijn de bedrijfsresultaten van de 1e tot en met 41e week van 1978 (handbediende regeling) vergeleken met die van week 42 tot en met 52 van 1978 (automatische regeling). In 1979 nam de belasting van de rwzi sterk af, zodat de bedrijfsresultaten van 1979 en later niet voor vergelijking in aanmerking komen.

energetisch-economische aspecten

In tabel 9 (p. 50) zijn de volgende bedrijfsresultaten met betrekking tot het energieverbruik gegeven:

- het totale energieverbruik van de rwzi per m^3 afvalwater;
- het energieverbruik voor beluchting (percentage van totaal energieverbruik rwzi);
- het specifiek energieverbruik (kWh/kg O_2);
- de berekende zuurstofopbrengst uit denitrificatie (percentage van de totale zuurstofbehoefte voor BZV- en N_{Kj} -verwijdering).

Ten aanzien van deze bedrijfsresultaten kan worden opgemerkt, dat:

- het totaal energieverbruik, het energieverbruik voor beluchting en het specifiek energieverbruik sterk variëren;
- de zuurstofopbrengst uit denitrificatie van circa 10 tot 35% van de totale zuurstofbehoefte voor BZV- en N_{kj} -verwijdering varieert.

Vanwege het ontbreken van goede referentieonderzoeken zijn gegevens over energiebesparing door automatische regeling van de zuurstofinbreng schaars. Alleen op de rwzi Veghel-Uden is tot op zekere hoogte een vergelijking mogelijk tussen de met de hand geregelde en de automatische geregelde zuurstofinbreng (zie ook p. 51).

In figuur 25 is het energieverbruik gegeven over het jaar 1978. Met de automatische zuurstofregeling daalde het verbruik van circa 80.000 kWh tot 60.000 kWh per week (besparing 25%).

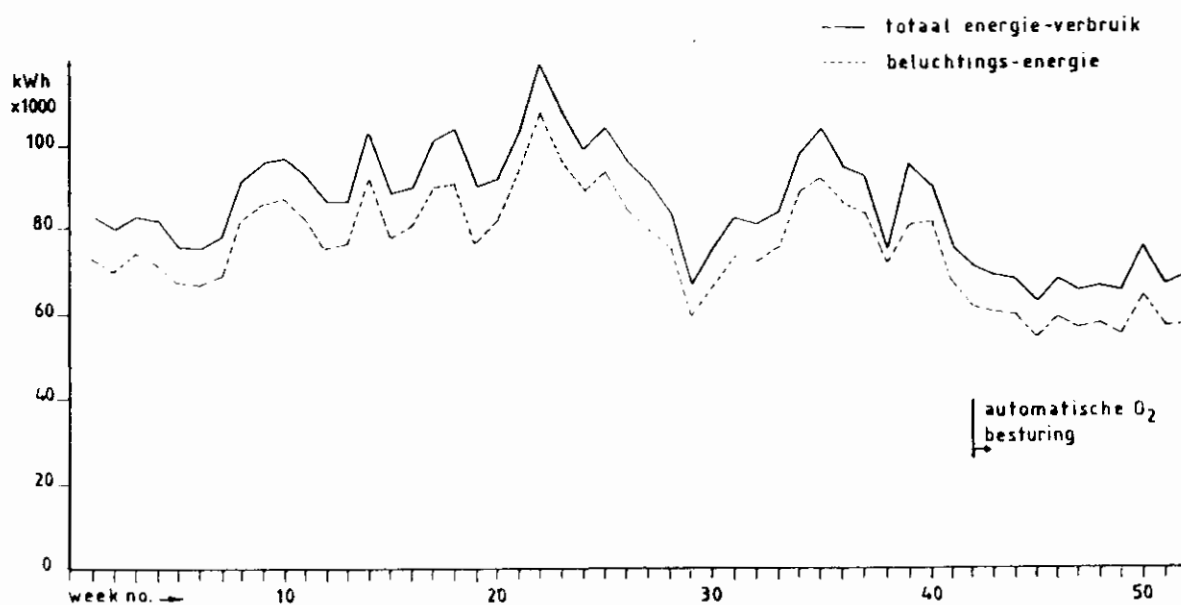


Fig. 25: Energieverbruik rwzi Veghel-Uden over 1978.

4.4. Conclusies

Uit de inventarisatie van de bedrijfsgegevens in Nederland met betrekking tot de regeling van de zuurstofinbreng in het actief-slibproces kan het navolgende worden geconcludeerd:

1. Op het merendeel van de beschouwde rwzi's wordt de zuurstofinbreng automatisch geregeld. Regeling met de hand komt steeds minder voor; niet geregelde zuurstofinbreng behoort tot de uitzonderingen.
2. In vrijwel alle gevallen van automatische regeling van de zuurstofinbreng wordt een teruggekoppelde regeling toegepast. Hierbij wordt steeds geregeld op basis van continu-metingen van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank, in enkele gevallen gecontro-

leerd en zo nodig bijgesteld aan de hand van discontinue NH_4^+ - en NO_3^- -metingen in het effluent. In enkele gevallen wordt een anticiperende regeling toegepast (tijdplan); in één geval wordt anticiperend geregeld op basis van het debiet.

3. Vanwege grote verschillen in onder meer type en geometrie van beluchtingstank, type beluchtingsapparatuur, aard van het afvalwater, slibbelasting en slibhuishouding is een vergelijking tussen verschillende rwzi's met betrekking tot de regeling van de zuurstofinbreng niet zinvol gebleken. Op enkele rwzi's werd een met de hand geregelde zuurstofinbreng na verloop van tijd vervangen door een automatisch geregelde zuurstofinbreng. Voor deze gevallen is een vergelijking tussen de handbediende regeling en een automatische regeling mogelijk gebleken.
4. Ten aanzien van de meest geschikte plaats voor zuurstofelectroden kan in zijn algemeenheid worden gesteld, dat deze locatie eerst kan worden vastgesteld nadat zuurstofprofielen in de beluchtingstanks zijn opgenomen bij verschillende zuurstofinbrengcapaciteiten en slibbelastingen. Het verdient derhalve aanbeveling om reeds bij het ontwerp van beluchtingstanks meerdere bevestigingsmogelijkheden voor zuurstofelectroden aan te brengen.
5. Benodigde onderhoudswerkzaamheden en vervanging van zuurstofelectroden verschillen van geval tot geval. In enkele gevallen waren de electroden reeds na enkele maanden aan vervanging toe. De frequentie van reiniging varieert van 2 maal per dag tot 1 maal per week.
6. Regeling van meerdere parallelle straten op basis van zuurstofmetingen in één straat is in het algemeen weinig zinvol. In identieke parallelle straten blijkt veelal een verschillende zuurstofhuishouding op te treden. Mogelijke oorzaken zijn een niet uniforme verdeling van het afvalwater over de straten en een afwijkende slibhuishouding voor de verschillende straten.
7. De zuurstofinbrengcapaciteit bij oppervlaktebeluchting wordt veelal gewijzigd door verstelling van de dompeldiepte van de beluchters, al dan niet in combinatie met aan-uitschakeling of toerenschakeling. Pendelen van beluchters bij verstelling van de dompeldiepte geeft overmatige slijtage aan hefinrichtingen en tandwielkast. Bij toerenschakeling dient rekening te worden gehouden met een afnemend zuurstofinbrengrendement bij laag toerental.
8. De zuurstofinbrengcapaciteit bij bellenbeluchting wordt, indien gebruik wordt gemaakt van gasmotoren en rootsblowers, traploos gewijzigd. Indien geen gasmotoren worden gebruikt, wordt de zuurstofinbrengcapaciteit doorgaans gewijzigd door twee-toerenschakeling van de compressoren al dan niet gecombineerd met aan-uitschakeling.

In een enkel geval werd gesmoord in de persleiding van de compressor, hetgeen nauwelijks besparing op energie kan geven.

9. In volledig gemengde systemen kan worden volstaan met één zuurstofelectrode. Regeling in deze systemen geeft in het algemeen geen problemen.
In meercellensystemen dienen bij voorkeur meerdere elektroden te worden geïnstalleerd. Gebleken is, dat de afzonderlijke cellen vaak een verschillende zuurstofhuishouding bezitten.
In het meercellensysteem van de rwzi Helmond werd met behulp van een automatische regeling van de zuurstofinbreng globaal 35% bespaard op beluchtingsenergie ten opzichte van een niet-geregelde zuurstofinbreng.
10. In propstroomsystemen wordt de zuurstofinbreng doorgaans geregeld met één zuurstofelectrode.
In verband met lage zuurstofgehalten en hiermee samenhangende grote onnauwkeurigheden in de zuurstofmetingen, is de opstelling van een zuurstofelectrode in het begin van de tank niet zinvol.
11. In grote omloopbeluchtingssystemen wordt de zuurstofinbreng geregeld op basis van continue zuurstofmetingen in de tank of discontinue $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -metingen in het effluent dan wel een combinatie van beide methoden.
Kleine omloopsystemen worden veelal met de hand geregeld op basis van discontinue zuurstofmetingen dan wel $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -metingen.
In oxydatiesloten wordt in het algemeen geregeld met één zuurstofelectrode. In caroussels waren, behalve een zuurstofelectrode in het begin van het lange omloopbeen voor regeling van denitrificatie, veelal één of meerdere zuurstofelectroden opgesteld bij de beluchters.
In het omloopsysteem van de rwzi Veghel-Uden werd met behulp van een automatische regeling van de zuurstofinbreng circa 25% bespaard op beluchtingsenergie ten opzichte van een met de hand geregelde beluchting.

5.1 Evaluatie

Regeling van de zuurstofinbreng is alleen zinvol voor actief-slibinstallaties, welke:

- een variabele belasting hebben;
- niet overbelast zijn;
- mogelijkheden bezitten om door terugregeling van de beluchtingscapaciteit te besparen op energie, waarbij geen negatieve invloed op het zuiveringsproces mag optreden.

In de literatuur zijn diverse mogelijkheden voor regeling van de zuurstofinbreng beschreven.

De gegevens over energiebesparing door het automatisch regelen van de zuurstofinbreng zijn beperkt tot de teruggekoppelde regeling; van de anticiperende regeling zijn geen gegevens gevonden. Voorts zijn de gegevens over energiebesparing schaars en veelal gebaseerd op kortlopende onderzoeken. In enkele gevallen bedroeg de looptijd van het onderzoek slechts een paar dagen.

De in de literatuur vermelde besparingen op bedrijfskosten door automatische regeling van de zuurstofinbreng zijn steeds gebaseerd op:

- de resultaten van de voormelde onderzoeken met betrekking tot besparing op energie;
- investeringskosten en kosten voor onderhoud en bediening van hypothetische systemen voor automatische regeling van de zuurstofinbreng.

Gegevens uit de literatuur met betrekking tot energie- en kostenbesparing dienen dan ook met voorzichtigheid te worden beschouwd. De vermelde besparingen op energiekosten varieerden van 0 tot 40% en lagen in het algemeen tussen de 10 en 20%. Op zuiveringsinrichtingen met meer dan circa 5.000 i.e. bleken theoretisch besparingen op bedrijfskosten mogelijk te zijn.

Uit de inventarisatie van de praktijksituatie in Nederland is gebleken, dat nog weinig onderzoek is verricht naar de mate van energiebesparing door automatische regeling van de zuurstofinbreng.

Op de meeste actief-slibinstallaties is reeds vanaf de inbedrijfstelling een automatische teruggekoppelde regeling van de zuurstofinbreng in werking.

Enkele actief-slibinstallaties werden naderhand uitgerust met een automatische regeling van de zuurstofinbreng. Voor deze installaties was tot op zekere hoogte een vergelijking mogelijk tussen een regeling met de hand en een automatische regeling.

Gegevens met betrekking tot energiebesparing werden echter enigszins vertroebeld, omdat naast de wijze van regeling ook andere factoren, zoals de belasting, werden gewijzigd. De verkregen besparingen op beluchtingsenergie bedroegen 5 tot 35% en kwamen overeen met de in de literatuur gegeven besparingen.

De indruk bestaat dat de geïnventariseerde installaties een goed beeld geven van de praktijk in Nederland met betrekking tot regeling van de zuurstofinbreng.

Het opstellen van richtlijnen voor de teruggekoppelde regeling van de zuurstofinbreng wordt niet zinvol geacht, vanwege de vele uitvoeringsvormen van het actief-slibproces, samenhangend met de mengkarakteristiek, de wijze van inbreng van het influent en de hoogte van de slibbelasting.

Door de waterkwaliteitsbeheerders wordt in een aantal gevallen onderzoek verricht, dan wel onderzoek voorbereid omtrent de navolgende aspecten:

- de zuurstofhuishouding in beluchtingstanks.
Te denken valt hierbij aan zuurstofprofielen bij verschillende beluchtingscapaciteiten en wisselende belastingen ten behoeve van het vaststellen van plaatsen voor zuurstofmeting;
- de invloed van regeling van de zuurstofinbreng op onder andere de effluentkwaliteit en slibindex.
In enkele gevallen gaf een geringe reductie van de zuurstofinbreng een vrijwel volledige ineenstorting van de nitrificatie. Onderzoek naar de invloed van het zuurstofgehalte op de nitrificatie lijkt gewenst;
- vermindering van de beluchtingscapaciteit en het gebruik van roerders/propellers. Wanneer door verlaging van de beluchtingscapaciteit de energie voor menging te gering wordt, kan worden gedacht aan de toepassing van roerders of propellers. Onderzocht zou kunnen worden voor welke gevallen deze toepassing in aanmerking komt en in hoeverre hiermede kan worden bespaard op energie- en bedrijfskosten;
- de regeling van de zuurstofinbreng op basis van $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ -metingen in het effluent. Aandacht zou kunnen worden gegeven aan de toepassingsmogelijkheden en de mogelijkheden deze metingen te automatiseren.

In de praktijk wordt teruggekoppelde regeling op basis van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank reeds veelvuldig toegepast. Anticiperende regeling op basis van de vuillast van het influent komt daarentegen nauwelijks voor.

5.2. Aanbeveling voor voortgezet onderzoek

De benodigde energie voor beluchting bedraagt globaal 70% en bij toepassing van nitrificatie zelfs tot circa 90% van het totale energieverbruik van een zuiveringsinrichting. Zowel aan de bedrijfszekerheid als aan de effluentkwaliteit van zuiveringsinrichtingen worden hoge eisen gesteld.

De kosten van energie nemen door stijgende energieprijzen toe. Door optimaliseren van de zuurstoftoevoer zouden behalve een goede effluentkwaliteit ook grote besparingen op beluchtingsenergie kunnen worden behaald.

Bij teruggekoppelde regeling van de zuurstofinbreng bestaat met name voor propstroomsystemen het nadeel, dat met een aanzienlijke vertraging wordt gereageerd op een verandering van de zuurstofbehoefte. Bij een propstroomstelsel wordt een verandering van de vuillast en

de daarmee gepaard gaande verandering van de zuurstofbehoefte pas gesignaleerd, wanneer deze vrijwel het gehele proces heeft doorlopen. Dit nadeel zou kunnen worden opgeheven door toepassing van een anticiperende regeling, eventueel in combinatie met een teruggekoppelde regeling. Bij een anticiperende regeling wordt de verandering van de vuillast in het influent gemeten, zodat tijdig kan worden gereageerd op een verandering van de zuurstofbehoefte.

Als maat voor de vuillast kunnen worden gebruikt:

- het debiet in combinatie met bijvoorbeeld de TOD of COD van het influent;
- de respiratiesnelheid van het slib/watermengsel aan het begin van de beluchtingstank.

Met name voor propstroomsystemen lijkt een anticiperende regeling goede mogelijkheden te bieden. In propstroomsystemen wordt nu de zuurstofinbreng doorgaans geregeld met één zuurstofelectrode aan het einde van de beluchtingstank.

Een nadeel hiervan is de lange dode tijd.

In verband met lage zuurstofgehalten en hiermede samenhangende grote onnauwkeurigheden in de zuurstofmetingen, is een opstelling van de zuurstofelectrode aan het begin van de tank niet zinvol.

Dit probleem zou kunnen worden ondervangen door toepassing van een anticiperende regeling.

In een praktijkonderzoek zouden de mogelijkheden voor een anticiperende regeling, al dan niet in combinatie met een teruggekoppelde regeling kunnen worden bestudeerd. In een dergelijk onderzoek dienen energiebesparing, kostenbesparing en procesbeheersing bijzondere aandacht te krijgen. De maximaal te bereiken besparing op beluchtingsenergie kan in principe theoretisch worden bepaald door een vergelijking tussen het werkelijk energieverbruik en het theoretisch berekende energieverbruik onder aanname van een constante vuillast, slibgehalte en verblijftijd.

De meest geschikte onderzoeksobjecten zijn actief-slibinstallaties met identieke parallelle straten, waarbij elke straat is voorzien van een eigen beluchtingssysteem en nabezinktank.

De installaties dienen verder:

- stedelijk afvalwater te verwerken;
- een variabele belasting te bezitten en mogen niet overbelast zijn;
- bij voorkeur een propstroombeluchtingssysteem te bezitten;
- mogelijkheden te bezitten om de beluchtingscapaciteit voldoende terug te kunnen regelen.

Gegevens inzake dergelijke installaties zijn reeds op grond van de inventarisatie bekend.

- 1 Ardern, E. & Lockett, W.T. - Experiments on the oxidation of sewage without aid of filters, J. Soc. Chem. Ind. 33 (1914) 10 : 523.
- 2 A.T.V.-Fachausschuss - Sauerstoffkonzentrationsmessung, Regelung und Steuerung der Sauerstoffzufuhr, Korrespondenz Abwasser 26 (1979) 2 : 78 - 102.
- 3 Berthouex, P.M., Hunter, W.G., Pallesen, L. e.a. - Dynamic behavior of an activated sludge plant, Water Research 12 (1978) : 957 - 972.
- 4 Bohl, W. - Strömungsmaschinen : Aufbau und Wirkungsweise, Würzburg, Verlag Vogel, 1977.
- 5 Boon, E.F. & Slood, W.A. van der - Grondslagen van de regeltechniek, 5e dr., Haarlem, Technische Uitgeverij H. Stam N.V., 1972.
- 6 Bouchier, B.A. - Energiebesparing door verbetering van de zuurstofsturing op de rwzi Veghel-Uden, H₂O 12 (1979) 21 : 462 - 463 en 476.
- 7 Brouzes, P.H. - Monitoring and controlling activated sludge plants in connection with aeration, Prog. Wat. Tech. 8 (1977) 6 : 451 - 460.
- 8 Busby, J.B. & Andrews, J.F. - Dynamic modeling and control strategies for the activated sludge process, JWPCF 47 (1975) 5 : 1055 - 1080.
- 9 Dague, R.R. - Energy use in wastewater treatment: biological waste treatment systems, First Mid-America Conference on Environmental Design, Kansas City, Missouri 1976.
- 10 Flanagan, M.J., Bracken, B.D. & Roesler, J.F. - Automatic dissolved oxygen control, J. of Environ. Eng. Div. ASCE 103 (1977) EE4 : 707 - 722.
- 11 Flanagan, M.J. - Design procedures for dissolved oxygen control of activated sludge processes, Environmental Protection Technology Series, EPA - 600/2.77-032. National Technical Information Service, Springfield Virginia 22161.
- 12 Genthe, W.K., Roesler, J.F. & Bracken, B.D. - Case histories of automatic control of dissolved oxygen, JWPCF 50 (1978) 10 : 2257 - 2275.
- 13 Kalbskopf, K.H. - Mechanische Belüftung.
In: elfde vakantiecursus in behandeling van afvalwater, T.H. - Delft, 1976 : 13 - 17.
- 14 Keyes, T.W. & Asano, T. - Application of kinetic models to the control of activated sludge processes, JWPCF 47 (1975) 11 : 2574 - 2585.
- 15 Koot, A.C.J. - Behandeling van afvalwater, Delft, Waltman.
- 16 de Korte, K.F. - Aspecten van de belüftung.
In: elfde vakantiecursus in behandeling van afvalwater, T.H. - Delft, 1976 : 32 - 38.
- 17 Lawrence, A.W. & Brown, C.G. - Design and control of nitrifying activated sludge systems, JWPCF 48 (1976) 7 : 1779 - 1803.
- 18 Lech, R.F., Lim, H.C., Grady, C.P.L. e.a. - Automatic control of the activated sludge process-I. Development of a simplified dynamic model, Water Research 12 (1978) 2 : 81 - 90.

- 19 Leschber, R., Lohmann, J., Ottmann, E. e.a. - Fortschritte auf dem Gebiet der Mess-, Kontroll- und Regeleinrichtungen im Wasser- und Abwasserfach, Korrespondenz Abwasser 24 (1977) 12 : 387 - 392.
- 20 Matsché, N.F. & Spatzierer, G. - Investigations towards a control of simultaneous nitrogen elimination in the treatment plant Vienna-Blumental, Prog. Wat. Tech. 8 (1977) 6 : 501 - 508.
- 21 Munksgaard, D.G. & Young, J.C. - Flow and load variations at wastewater treatment plants, JWPCF 52 (1980) 8 : 2131 - 2144.
- 22 Olsson, G. & Andrews, J.F. - The dissolved oxygen profile - a valuable tool for the activated sludge process, Water Research 12 (1978) 11 : 985 - 1004.
- 23 Oppelt, W. - Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge, 4. Auflage, Weilheim, Chemie-Verlag, 1964.
- 24 Ottengraf, S.P.P. - Een proceskundige studie van het step aeration proces, H₂O 8 (1975) 9 : 180 - 184
10 : 203 - 208.
- 25 Pöpel, H.J. - Beluchtungsprocessen.
In: elfde vakantiecursus in behandeling van afvalwater, T.H. - Delft, 1976 : 5 - 12.
- 26 Rincke, G. & Möller, U. - Possibilities in measuring and operational techniques for the automatic control of oxygen supply in aeration tank. Vom Wasser 34 (1968) : 297 - 333.
- 27 Rollins, J.P. - Compressed Air and Gas Handbook, 4e dr., New York, Compressed Air and Gas Institute, 1973.
- 28 Ruider, E. & Schopper, U. - Possibilities for the control of an activated sludge treatment plant, Prog. Wat. Tech. 6 (1974) : 244 - 249.
- 29 Schlegel, S. - Automation of the activated sludge process by oxygen and MLSS control, Prog. Wat. Tech. 9 (1977) 5/6 : 385 - 392.
- 30 Schöne, A. - Regeln und Steuern. Eine Einführung für Chemiker und Ingenieure, Weilheim, Chemie-Verlag, 1971.
- 31 Shah Alam, A.B. & Angelbeck, D.I. - Laboratory studies on optimization of the activated sludge process, JWPCF (1978) 7 : 1786 - 1803.
- 32 Sincic, D. & Baily, J.E. - Optimal periodic control of activated sludge process - I. Results for the base case with Monod/Decay kinetics, Water Research 12 (1978) 1 : 47 - 53.
- 33 Usrael, G. - Control of aeration at the treatment plant Vienne-Blumental, Prog. Wat. Tech. 8 (1977) 6 : 245 - 249.
- 34 Veits, G. - Möglichkeiten der Respirationsmessung, GWF - wasser/abwasser 120 (1979) 5 : 211 - 215.
- 35 Young, J.C., Thompson, L.O. & Curtis, D.R. - Control strategy for biological nitrification systems, JWPCF 51 (1979) 7 : 1824 - 1840.

bijlagen

1. Ontwerpgrondslagen en processchema rwzi
 - . processchema
 - . ontwerpgrondslagen:
 - debiet RWA m³/h
 - debiet DWA (incl. lekwater) m³/h
 - aantal i.e.'s (à 54 g BZV):
 - huish. i.e.
 - industr. i.e.
 - N-aanvoer kg/dag

2. Gegevens influent (jaar:)
 - . debiet RWA m³/h
 - DWA (incl. lekwater) m³/h
 - . samenstelling: BZV mg/l
 - CZV mg/l
 - N_{kj} mg/l
 - . vuillast: huishoudelijk i.e.
 - industrieel i.e.
 - totaal i.e.

3. Actief-slibstelsysteem
- 3.1. Beluchtingstank
 - . mengkarakteristiek: - volledig gemengd
 - meercellen tank
 - propstroom
 - omloopbassin
 - . dimensionering beluchtingstank:
 - inhoud m³
 - aantal st
 - . slibconcentratie kg d.s./m³
 - . retourslibverhouding: DWA
 - RWA
 - . spuislibproductie kg d.s./dag
 - . procesvoering: - BZV-verwijdering
 - nitrificatie
 - denitrificatie
 - defosfatering: voorprecipitatie
 - simultane precipitatie
 - naprecipitatie
 - . wijze inbreng afvalwater en retourslib:
 - conventioneel
 - stepfeed
 - contact-stabilisatie
 - diversen nl.

- . wijze inbreng zuurstof
 - A. bellenbeluchting/waterstraalbeluchting
 - type beluchting
 - type beluchtingselement
 - verdeling beluchtingselementen (schema)
 - inblaasdiepte m
 - type compressoren/ventilatoren
 - aantal compressoren/ventilatoren st
 - capaciteit compressoren/ventilatoren kg O₂/h
 - regelbereik compressoren/ventilatoren kg O₂/h
 - wijziging capaciteit: - verandering toerental
 - aan-uitschakeling
 - smoren in persleiding
 - smoren in zuigleiding
 - B. oppervlaktebeluchting
 - type roteren/puntbeluchters
 - aantal roteren/puntbeluchters st
 - afmetingen roteren/puntbeluchters
 - capaciteit roteren/puntbeluchters kg O₂/h
 - regelbereik roteren/puntbeluchters kg O₂/h
 - wijziging capaciteit: - aan-uitschakeling
 - tweetoerenschakeling
 - variabel toerenschakeling
 - verstelling dompeldiepte:
 - beluchter
 - overstortrand
 - schema van plaatsing roteren/puntbeluchters
 - C. zuivere zuurstof
 - type puntbeluchters/roerders + injectoren
 - aantal puntbeluchters/roerders + injectoren st
 - capaciteit
 - wijziging capaciteit
- 3.2. Nabezinktank
- . aantal st
 - . rond/rechthoekig
 - . inhoud m³
 - . wijze van slibruiming
4. Eisen ten aanzien van effluentkwaliteit
- . effluenteisen: BZV mg/l
 - Nkj mg/l
 - zwevende stof %
 - mg/l

5. Regeling zuurstoftoevoer

- . zuurstofconcentratie(s)/profiel(en)
- . handbediende/automatische regeling
- . regelparameter(s): O_2 -gehalte
 NO_3^-/NH_4^+
tijdplan
vuillast: debietmeting
 substraatmeting
 diversen nl.:
- . type regeling: teruggekoppeld
 anticiperend
 cascade
 diversen nl.:
- . schema regelkring
- . werking regelaar: P/I/PI/PD/PID
- . meetapparatuur: aantal
 type(n)
 onderhoud
- . plaatsing elektroden(n)/andere meetapparatuur
- . (andere) voorzieningen voor regeling zuurstoftoevoer:

- . andere regelingen actief-slibproces: - slibconcentratie
 - slibleeftijd
 - diversen nl.:

6. Effluentkwaliteit

. gemiddelde + variatie van:	<u>O_2-regeling</u>	<u>zonder O_2-regeling</u>	
BZV			mg/l
CZV			mg/l
N_{kj}			mg/l
NO_3^-			mg/l
NH_4^+			mg/l
zwevende stof			mg/l
slibindex			ml/g

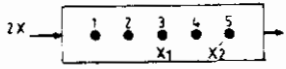

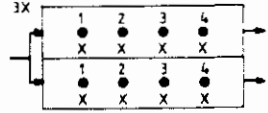
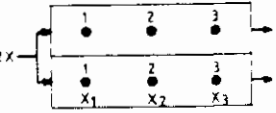
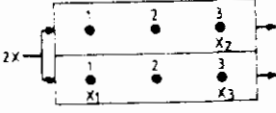
7. Energieverbruik

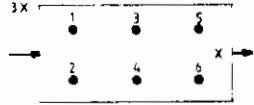
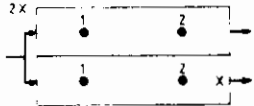
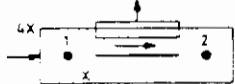
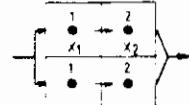
	<u>O_2-regeling</u>	<u>zonder O_2-regeling</u>	
. totaal energie- verbruik			kWh
. energieverbruik voor O_2 -inbreng			kWh
			% van totaal

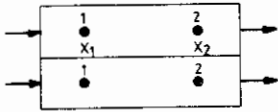
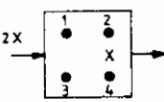
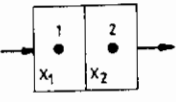
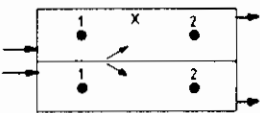
O₂-regeling zonder O₂-regeling

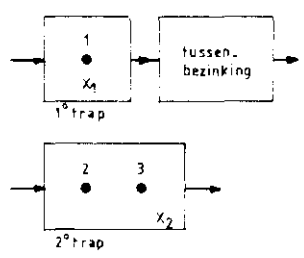
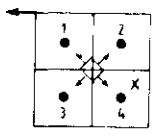
- . specifiek energieverbruik voor O₂-inbreng kWh/kgO₂
 - . afname electriciteit van /kWh
 - prijs f
 - . eigen energieopwekking
8. Besparing door zuurstofregeling
- besparing op energie door regeling t.o.v. geen O₂-regeling/handbediende regeling %
 - besparing op energie door denitrificatie %
 - besparing op energiekosten door regeling f ,--
 - %
 - investeringskosten f ,--
 - onderhoudskosten f ,--/jaar
9. Mogelijkheden voor gebruik rwzi als proefobject
- . technologisch: - vergelijking tussen met de hand en automatisch regelen;
2 parallele straten aanwezig:
 - variatie in vuillast:
 - grootte rwzi:
 - type rwzi:
 - . technisch: - wijziging capaciteit beluchting:
 - plaatsing regelapparatuur:
 - beschikbaarheid regelapparatuur:
 - technische bijstand beheerder rwzi:
 - beschikbaarheid analyseapparatuur:
 - laboratorium in nabijheid:
 - uitvoering analyses:
 - algemene technische bijstand:

Bijlage 2: Gegevens over de regeling van de zuurstofinbreng van de geïnventariseerde volledig gemengde en meerzellenbeluchtingssystemen

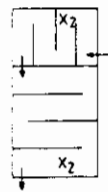
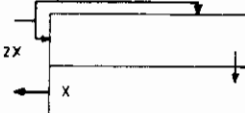


rwzi + jaar van inbedrijfs- stelling	aantal en inhoud tanks	puntbe- aantal per tank	luchters capaci- teit (kg O ₂ / h)	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = NO ₃ /NH ₄ ⁺ D = debiet	zuurstofelectroden	
					aan- tal	plaats(en) x = O ₂ -electrode • = puntbeluchter
1. Helmond 1973	2 van elk 8150 m ³	5	112	AO-beluchters 3, 4, 5 toerental -beluchters 1 en 2 aan-uit	4	 <p>x₁ regelt 3 op 1-2 mgO₂/l x₂ regelt 4 en 5 op 1-2 mgO₂/l</p>
2. Schijndel 1971	4 in serie van 1100m ³ (totaal)	1		beluchter 1 blijvend 2 uit (denitrificatie) AO beluchters 2 en 4 HO beluchter 3 - toerental (4 standen) - dompeldiepte (4 standen)	2	 <p>x₁ regelt 2 op 1-2 mgO₂/l x₂ regelt 3 en 4 op 1-2 mgO₂/l</p>
3. Eindhoven (nieuw) 1977	3 x 2 4 x 4500m ³ 2 x 2925m ³	4	80(16x) 52(8x)	AO-dompeldiepte (traploos) per tank gewoonlijk 1 beluchter uit (1e of 2e)	24	 <p>O₂ electroden regelen op 1-2 mgO₂/l</p>
4. 's-Herto- genbosch 1973	2 x 2 van elk 4000m ³	3	100	AO-dompeldiepte; re- gelbereik 40-100% beluchter 1 vrijwel altijd op volle ca- paciteit (O ₂ -gehalte meestal < 0,5 mgO ₂ /l)	6	<p>aanvankelijk:</p>  <p>later gewijzigd in:</p>  <p>x₁ regelt op 0,5-1,5 mgO₂/l x₂ en x₃ regelen op 1-2 mgO₂/l</p>


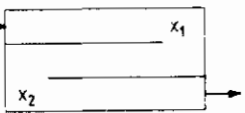
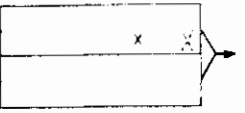
rwwi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal en inhoud tanks	puntbeluchters		wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = NO ₃ /NH ₄ ⁺ D = debiet	zuurstofelectroden	
		aantal per tank	capaci- teit (kg O ₂ / h)		aan- tal	plaats(en) x = O ₂ -electrode ● = puntbeluchter
5. Breda 1973	3 van elk 5425 m ³	6	80	AO-aan-uit -tweetoeren -dompeldiepte	3	 <p>x regelt op 0,5 - 1,5 mgO₂/l</p>
6. Deventer 1976	2 x 2 van elk 1500 m ³	2	85	AO-tweetoeren -dompeldiepte	2	 <p>x regelt op ca. 1,5 mgO₂/l</p>
7. Apeldoorn 1968	4 van elk 3040 m ³	2	92	AO-dompeldiepte (traploos)	4	 <p>x regelt op 0,5 - 2 mgO₂/l</p>
8. Epe 1971	2 x 2 in serie (contact- stabilisatie) van elk 1575m ³	1	70	AO-aan-uit	2	 <p>x₁ en x₂ regelen op 0,5 - 1,5 mgO₂/l</p>
9. Barneveld 1971	2 x 2 in serie (contact- stabilisatie van elk 1575m ³	1	52	HO-aan-uit -dompeldiepte	2	<p>schema idem Epe O₂-gehalte overdag 1 - 1 mgO₂/l 's nachts 2 - 3 mgO₂/l</p>

rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal en inhoud tanks	puntbeluchters		wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	aan- tal	zuurstofelectroden
		aantal per tank	capaci- teit (kg O_2 / h)			plaats(en) x = O_2 -electrode ● = puntbeluchter
10. Almelo- Vissedijk 1974	2 van elk 3450 m ³	2	50	AO-dompeldiepte -2 beluchters aan-uit (weekend)	2	 <p>x_1 op 0 - 0,5 mgO_2/l x_2 op 0,5 - 1,5 mgO_2/l</p>
11. Enschede- West 1977	2 van elk 5000 m ³	4	47	AO-dompeldiepte	2	 <p>x regelt op 0,5 - 1,5 mgO_2/l</p>
12. Enschede- Zuid 1972	2 in serie van elk 1125 m ³	1	80	AO-dompeldiepte HO-stotend-slepend	2	 <p>x_1 regelt op 0 - 0,5 mgO_2/l x_2 regelt op 0,5 - 1,5 mgO_2/l</p>
13. Goor 1972	2 van elk 1350 m ³	2	75	AO-dompeldiepte beluchters 1 staan uit	1	 <p>x regelt op 0,5 - 1,5 mgO_2/l</p>

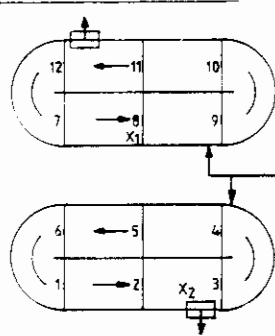
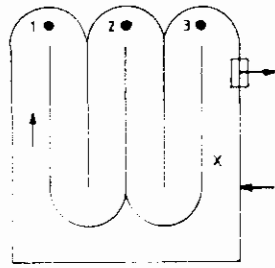
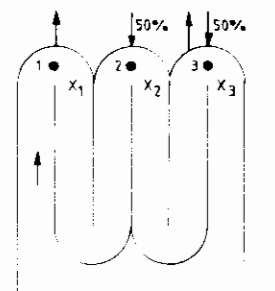
rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal en inhoud tanks	puntbeluchters		wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
		aantal per tank	capaci- teit (kg O_2 / h)		aan- tal	plaats(en) x = O_2 -electrode ● = puntbeluchter
14. Hengelo 1973	3 x (1+1) 3 van 2820 m ³ (1e trap) 3 van 7320 m ³ (2e trap)	1e trap 1 2e trap 2	64,5 64,5	AO-dompeldiepte -tweetoeren	6	 <p>x_1 regelt op 0 - 0,5 mgO_2/l</p> <p>x_2 regelt op 0,5 - 1,5 mgO_2/l</p>
15. Olden- zaal 1972	4 van elk 4500 m ³ (volledig gemengd)	1	45	AO-dompeldiepte	1	 <p>x regelt op 0,5 - 1,5 mgO_2/l in alle 4 bassins te plaatsen</p>

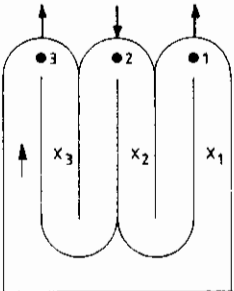
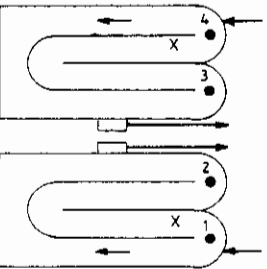
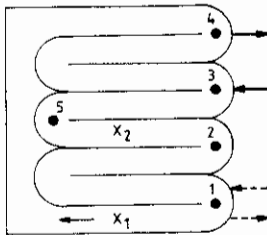
Bijlage 3: Gegevens over de regeling van de zuurstofinbreng
van de geïnventariseerde propstroombeluchtingssystemen

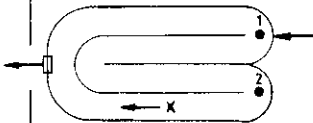
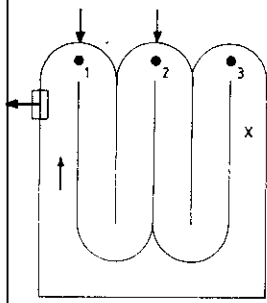
rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal en inhoud tanks	compressor R=rootsblower C=centrifugaal compressor		verdeling beluchtings- elementen capaciteit (kgO ₂ /h)	wijziging beluch- tingscapaciteit A=automatisch T=tijdplan H=handbediend O=zuurstof N=NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ D=debiet	zuurstofelectroden	
		type	aantal			aan- tal	plaats(en) x=O ₂ -electrode
1. Vinkel 1977 (twee- traps)	2 in serie 1e trap 600 m ³ 2e trap 1200 m ³	R	4 (2 in gebruik)	gelijkmatig 2 x 170	blower 1 vast toerental AO-blower 2 tweetoeren	2	 <p>x₁ registreert x₂ regelt op 1-2 mgO₂/l</p>
2. Holten- Markelo 1977	2 van elk 1575 m ³	R	2	4 secties met resp. 34, 25, 25 en 16% 197	AO-toerental (traploos) regelbereik 40 - 100%	1	 <p>x regelt op ca. 1 mgO₂/l in tweede tank geen O₂-elec- trode</p>
3. Steenwijk 1976	2 van elk 2700 m ³	C	3 (1 re- serve)	idem Holten 270	HO-smoren in persleiding	2	 <p>x registreert</p>
4. Dedems- vaart 1979	2 van elk 925 m ³	R	2 (1 re- serve)	idem Holten 92	AO-toerental (traploos) regelbereik 60 - 100%	1	 <p>x regelt op ca. 1 mgO₂/l in tweede tank geen O₂-elec- trode</p>

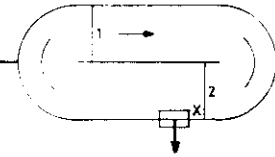
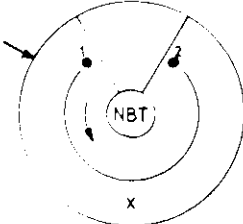
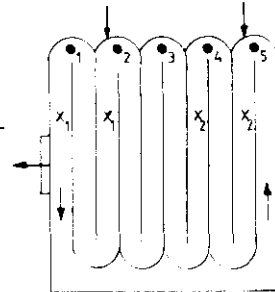
rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal en inhoud tanks	compressor R=rootsblower C=centrifugaal compressor		verdeling beluchtungs- elementen capaciteit (kgO ₂ /h)	wijziging beluch- tingscapaciteit A=automatisch T=tijdplan H=handbediend O=zuurstof N=NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺ D=debiet	zuurstofelectroden	
		type	aantal			aantal	plaats(en) x=O ₂ -electrode
5. Raalte 1977	2 van elk 1509 m ³	R	3 (1 re- serve)	idem Holten 186	AO-toerental (traploos) regelbereik 31 - 100%	1	 <p>x regelt op ca. 1 mgO₂/l</p>
6. Renkum 1977	3 van elk 2550 m ³	R	4	tapered aeration in 4 secties 385	blowers 1 en 2 niet regelbaar AO-blowers 3 en 4 -aan-uit -tweetoeren regelbereik 50 - 100%	6	 <p>x₁ regelt op 2-3 mgO₂/l; x₂ registreert</p>
7. Hoogezand 1974	2 van elk 3125 m ³	R	4	gelijkmatig 281	AO-aan-uit -tweetoeren regelbereik 40 - 100%	1	 <p>Mogelijkheid voor regelen met een tweede O₂- electrode achter in de tank</p>
8. Amsterdam Zuid 1977	6 totaal 15000 m ³	R	5 (2 re- serve)	gelijkmatig	blowers kunnen aan-uit worden geschakeld op basis van NH ₄ ⁺ - gehalte (capa- citeit wordt zelden gewij- zigd)	0	mogelijkheden voor plaatsen van zuurstof- electroden zijn aanbracht (einde tanks)

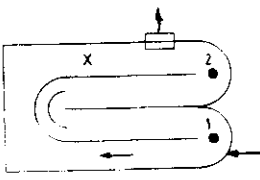
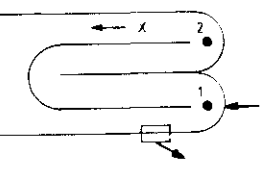
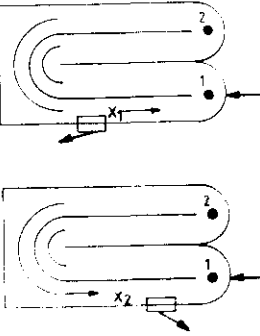
Bijlage 4: Gegevens over de regeling van de zuurstofinbreng
van de geïnventariseerde omloopbeluchtingssystemen

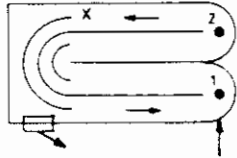
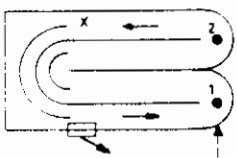
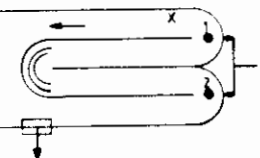
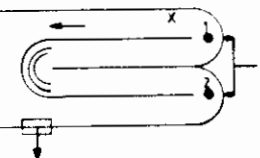
rwzi jaar van inbedrijf- stelling	aantal, type en inhoud tanks	aantal, type en capaciteit beluchters	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
				aan- tal	plaats(en) x = electrode ● = puntbeluchter
1. Veghel-Uden 1976	2 oxydatie- sloten van elk 18400 m ³	2x6 mammoet- rotoren van elk 115 kgO ₂ /h	AO-beluchters 4 en 5 + 9 en 10 tweetoeren -aan-uit -overstortrand	2 x 1	 <p>x op 0,5-1,5 mgO₂/l</p>
2. Hapert 1975	1 carroussel van 11250 m ³	3 puntbeluch- ters van elk 100 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte H -beluchter 1 aan-uit	1	 <p>x op 0,5-1,5 mgO₂/l</p>
3. Hilvaren- beek 1976	1 carroussel van 18750 m ³	3 puntbeluch- ters van elk 170 kgO ₂ /h	beluchter 3 is uitgeschakeld AO-dompeldiepte H -aan-uit	3	 <p>x₁ en x₂ op 1,5-2,5 mgO₂/l</p>

rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal, type en inhoud tanks	aantal, type en capaciteit beluchters	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
				aan- tal	plaats(en) x = electrode ● = puntbeluchter
4. St. Oeden- rode 1976	1 caroussel van 18750 m ³	3 puntbeluch- ters van elk 170 kgO ₂ /h	beluchter 2 is uitgeschakeld AO-dompeldiepte HN-aan-uit (incidenteel)	3	 <p>x₁ en x₃ op 1-2 mgO₂/l</p>
5. Oosterwijk 1973	2 caroussels van elk 5000 m ³	2x2 puntbe- luchters van elk 80 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte TN-aan-uit beluchters 2 en 3 blijven altijd aan beluchters 1 en 4 ca. 90 min. aan, 60 min. uit	2 x 1	 <p>x regelt op 0,5-1,5 mgO₂/l</p>
6. Oyen 1975	2 caroussels van elk 20400 m ³	2x5 puntbe- luchters van elk 150 kgO ₂ /h	AO-tweetoeren -beluchter 1 (meestal uit) dompeldiepte H -aan-uit (beluchters 2 en 5)	2 x 2	 <p>x₁ regelt beluch- ter 1 x₂ (verplaatsbaar) regelt beluch- ters 2 t/m 5 0,5-1,5 mgO₂/l</p>

rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal, type en inhoud tanks	aantal, type en capaciteit beluchters	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
				aan- tal	plaats(en) x = electrode ● = puntbeluchter
7. Geestmer- ambacht 1973	1 caroussel van 25000 m3	4 puntbeluch- ters van elk 141 kgO ₂ /h	TN -aan-uit -dompeldiepte regelbereik 50 - 100%	0	
8. Beemster 1973	1 caroussel van 17400 m3	3 puntbeluch- ters van elk 141 kgO ₂ /h	TN-aan-uit -dompeldiepte regelbereik 50 - 100%	0	
9. Niedorpen 1978	1 caroussel van 3000 m3	2 puntbeluch- ters van elk 40 kgO ₂ /h	TN-aan-uit -dompeldiepte regelbereik 50 - 100%	0	
10. Wieringen 1978	1 oxydatie- sloot van 2500 m3	4 mammoetroto- ren van elk 14 kgO ₂ /h	AO -aan-uit HN	1	bij overstort
11. Riel 1971	1 oxydatie- sloot van 1000 m3	2 mammoetroto- ren	TN-aan-uit -overstortrand regelbereik 65 - 100%	0	
12. Kaatsheuvel 1978	1 caroussel van 7500 m3	2 puntbeluch- ters van elk 84,3 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte TN-aan-uit regelbereik 50 - 100%	1	O ₂ -regeling werkt alleen 's zomers
13. Rijen 1976	1 caroussel van 11140 m3	3 puntbeluch- ters van elk 148 kgO ₂ /h	AO-aan-uit -dompeldiepte beluchters 1 en 2 beluchter 3 vast regelbereik beluchters 1 en 2 45 - 100%	1	 x regelt op 0,5-1 mgO ₂ /l  x regelt op 1,7-2,0 mgO ₂ /l

rwzi + jaar van inbedrijfs- stelling	aantal, type en inhoud tanks	aantal, type en capaciteit beluchters	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
				aan- tal	plaats(en) x = electrode ● = puntbeluchter
14. Heino 1976	1 oxydatie- sloot van 3125 m ³	2 mammoetroto- ren van elk 48 kgO ₂ /h	AO-aan-uit rotor 1 -overstortrand	1	 <p>x regelt op 1,5 mgO₂/l</p>
15. Vollenhove 1975	2 oxydatie- sloten van elk 2250 m ³ 1 buiten gebruik ivm onderbelas- ting	2x2 mammoet- rotoren van elk 34 kgO ₂ /h	AD-aan-uit rotor 1 H -overstortrand	0	
16. Brummen 1977	1 compacte oxydatie- sloot van 3880 m ³	2 puntbeluch- ters van elk 60 pk	AO-aan-uit beluchter 2	:	 <p>x regelt op 0,5-1,5 mgO₂/l</p>
17. Almelo- Sumpel 1975	1 carroussel van 28750 m ³	5 puntbeluch- ters van elk 130 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte T -aan-uit	2 elec- troden ver- plaats- baar	 <p>x₁ regelt op 0 - 0,5 mgO₂/l x₂ regelt op 0,5 - 1,5 mgO₂/l</p>

rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal, type en inhoud tanks	aantal, type en capaciteit beluchters	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
				aan- tal	plaats(en) x = electrode • = puntbeluchter
18. Enter 1975	1 carroussel van 2000 m ³	2 puntbeluch- ters van elk 22,5 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte T -aan-uit	1	 <p>x regelt op 0,5 - 1,5 mgO₂/l</p>
19. Losser 1972	1 carroussel van 6300 m ³	2 puntbeluch- ters van elk 72 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte T -aan-uit	1	 <p>x regelt op 0,5 - 1,5 mgO₂/l</p>
20. Nijverdal 1976	2 carous- sels van elk 12300 m ³	2x2 puntbeluch- ters van elk 136 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte T -aan-uit	2	 <p>x₁ en x₂ regelen op 0,5 - 1,5 mgO₂/l</p>

rwzi + jaar van inbedrijf- stelling	aantal, type en inhoud tanks	aantal, type en capaciteit beluchters	wijziging beluch- tingscapaciteit A = automatisch T = tijdplan H = handbediend O = zuurstof N = $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ D = debiet	zuurstofelectroden	
				aan- tal	plaats(en) x = electrode ● = puntbeluchter
21. Ootmarsum 1974	1 carroussel van 2900 m ³	2 puntbeluch- ters van elk 37,5 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte T -aan-uit	1	 <p>x regelt op 0,5-1,5 mgO₂/l</p>
22. Rijssen 1975	1 carroussel van 8000 m ³	2 puntbeluch- ters van elk 90 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte T -aan-uit	1	 <p>x regelt op 0,5-1,5 mgO₂/l</p>
23. Delden 1969	1 oxydatie- sloot van 1750 m ³	4 manmoetroto- ren van elk 13 kgO ₂ /h	HO-overstortrand	1 mo- biele O ₂ - elec- trode	 <p>x regelt op 1,75-2,25 mgO₂/l</p>
24. Stadskanaal 1978	1 carroussel van 6350 m ³	2 puntbeluch- ters van elk 96 kgO ₂ /h	AO-dompeldiepte	1	 <p>x regelt op 1,75-2,25 mgO₂/l</p>

Bijlage 5: Zuurstofprofielen omhoogheen rwzi Geestmerambacht

