

# Een continu respiatiemeter – nieuwe perspectieven voor het beheersen van het actief-slibproces

## Inleiding

Dit artikel beschrijft een geautomatiseerde continu respiatiemeter\* – in het vervolg aangeduid als WAZU-respiatiemeter – waarmee het mogelijk is on-line metingen uit te voeren met betrekking tot:

- de actuele en potentiële respiratiesnelheid van actief slib;
- de effecten van toxische stoffen op het actief-slibproces;
- de biologische afbreekbaarheid van organische verbindingen in actief slib.



IR. H. L. F. M. SPANJERS  
Vakgroep Waterzuivering LH



DR. IR. A. KLAUWIJK  
Vakgroep Waterzuivering LH

Aangezien in het zuurstofverbruik de sleutel van het actief-slibproces ligt, opent deze WAZU-respiatiemeter nieuwe perspectieven voor (automatische) sturing en regeling van het actief-slibproces.

## Het meten van de respiratiesnelheid

In een actief-slib suspensie vinden zuurstofvergende biochemische reacties plaats: substraatoxydatie; nitrificatie; oxydatie van celmateriaal en van reservestoffen.

Deze reacties resulteren in een overall-zuurstofverbruik van de actief-slib suspensie. De snelheid waarmee het zuurstofverbruik plaatsvindt is een goede maat voor de biologische activiteit van het slib. Deze snelheid, uitgedrukt in massa zuurstof per volume-eenheid en per tijdseenheid, wordt respiratiesnelheid ( $r$ ) genoemd.

Voor de biologische afvalwaterzuivering is het van belang de respiratiesnelheid van actief slib te kunnen meten. Enkele voorbeelden kunnen dit illustreren:

- De respiratiesnelheid kan als basis dienen voor een betere procesbeheersing. Zo kan door een optimale afstemming van de beluchting op het zuurstofverbruik enerzijds worden bespaard op energiekosten voor de beluchting en anderzijds de effluentkwaliteit worden afgestemd op de normen.
- Een plotselinge afname van de respiratiesnelheid, gemeten in een kleinschalige test-reactor waarin deelstromen van influent en retourslib worden samengevoegd, is een indicatie voor een acuut-toxisch effect van het afvalwater op het actief slib.

De waarneming kan dan leiden tot maatregelen die procesverstoring voorkomen.

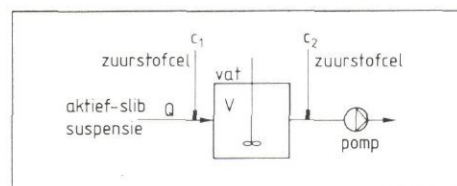
– Bij het onderzoek naar de toxiciteit en biologische afbreekbaarheid van milieuvreemde stoffen in actief slib zal meting van de respiratiesnelheid belangrijke informatie opleveren. Deze voorbeelden impliceren de wenselijkheid van een betrouwbare continue meetmethode voor de respiratiesnelheid die bij voorkeur, met het oog op automatisering, on-line kan worden toegepast.

Veelvuldig toegepast zijn de meetmethoden volgens het manometrische principe dat is gebaseerd op de meting van het verbruikt volume zuurstof [Jenkins, 1960]. Sinds de introductie van de manometrische respiatiemeting zijn verschillende methoden bedacht om de meting te verbeteren. De bekendste uitvoering is die volgens Warburg, waarbij het gasvolume constant wordt gehouden. Algemene nadelen van de manometrische methoden zijn:

- gevoeligheid voor temperatuur- en drukschommelingen;
- de uitvoering van de meting is tijdrovend en vereist veel oefening;
- ongeschiktheid voor continu-toepassing en automatisering.

Na de introductie van de ampèrometrische zuurstofconcentratiemeting door middel van de Clark-cel [Mancy et al., 1962] zijn er ook elektrochemische respiatiemetingen gekomen. Deze berusten op het meten van de concentratie opgeloste zuurstof in een actief-slib suspensie. De zuurstofconcentratiemeting is relatief eenvoudig en leent zich voor on-line toepassingen. Effecten van temperatuur- en drukschommelingen laten zich eenvoudig corrigeren. Men kan globaal twee methoden onderscheiden: de batchgewijze of 'gesloten' respiatiemeting en de continue of 'open' respiatiemeting. Batchgewijze methoden worden het meest toegepast. Hierbij wordt de respiratiesnelheid bepaald door in een slibmonster na uitschakelen van de beluchting en afsluiten van de atmosfeer de afnamesnelheid van het zuurstofgehalte te meten, wat onder andere door Pagga & Günther [1981] is gedaan. Bezwaar is, dat géén continue metingen mogelijk zijn.

In een open respiatiemeter vindt beluchting plaats. Er stelt zich een evenwicht in tussen zuurstoftoevoer en zuurstofverbruik. Indien de zuurstoftoevoercoëfficiënt ( $K_L a$ ) bekend is, kan de respiratiesnelheid direct uit de gemeten zuurstofconcentratie worden berekend [Holmberg & Olsson, 1985]. De waarde van  $K_L a$  kan in principe proefondervindelijk worden vastgesteld. Probleem is, dat uit metingen deze grootheid afhankelijk schijnt van verschillende procesfactoren en bovendien een functie is van de respiratiesnelheid.



Afb. 1 - Principe van de WAZU-respiatiemeter. De respiratiesnelheid wordt berekend uit het verschil tussen de zuurstofconcentratie voor en na het onbeluchte meetvat gedeeld door de hydraulische verblijftijd van de actief-slib suspensie

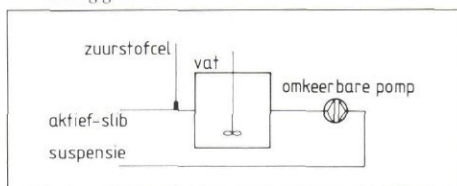
$$r(t) = \frac{[C_1(t) - C_2(t + t_h)] Q}{V}$$

$r(t)$  : respiratiesnelheid op tijdstip  $t$   
 $C_1(t)$  : concentratie  $O_2$  in invoer op tijdstip  $t$   
 $C_2(t + t_h)$  : concentratie  $O_2$  in uitvoer op tijdstip  $t + t_h$   
 $Q$  : debiet  
 $V$  : volume respiatievat  
 $t_h$  : hydraulische verblijftijd  $t_h = Q/V$

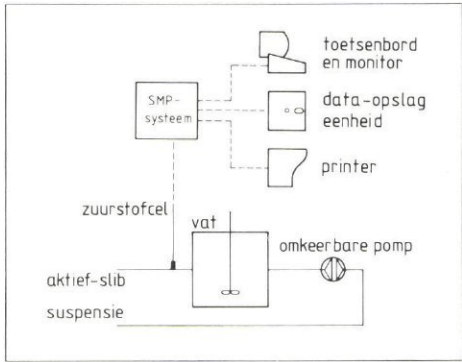
## WAZU-respiatiemeter

Bij de vakgroep Waterzuivering van de Landbouwhogeschool Wageningen is een respiatiemeter ontwikkeld, waarmee continu de respiratiesnelheid van actief slib gemeten kan worden. Deze methode berust op meting van de zuurstofconcentratie in de ingaande en in de uitgaande stroom van een gesloten en volledig gevuld respiatievat. Uit de verblijftijd en het gemeten verschil van de zuurstofconcentraties is de respiratiesnelheid te berekenen. Met behulp van een digitaal meet- en regelsysteem is het mogelijk de respiratiesnelheid te registreren. De praktische realisatie is in afb. 1 schematisch weergegeven. Voorwaarden zijn: het zuurstofgehalte van de suspensie is voldoende hoog; het respiatievat kan als ideaal gemengd worden beschouwd; het monsterdebiet en het volume zijn bekend. Bezwaar van deze methode is, dat twee afzonderlijke zuurstofsensoren een verschillende responskarakteristiek en verouderingspatroon kunnen vertonen. Dit probleem is ondervangen bij de huidige vorm van de WAZU-respiatiemeter die werkt met slechts één sensor (afb. 2). Door de slib suspensie afwisselend in beide richtingen te pompen, wordt beurtelings het zuurstofgehalte gemeten in belucht slib en in slib dat een (verblijftijd) niet is belucht.

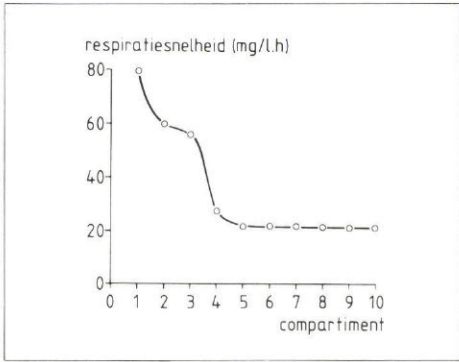
Afb. 2 - Principe van de WAZU-respiatiemeter met één zuurstofelektrode. In deze uitvoering is de stroomrichting van de actief-slib pomp omkeerbaar, zodat de ene zuurstofcel het ene moment de zuurstofconcentratie van de ingaande stroom en het andere moment de zuurstofconcentratie van de uitgaande stroom meet. Bij de berekening van de respiratiesnelheid wordt met behulp van een rekenprogramma het faseverschil tussen in- en uitgaande stroom in rekening gebracht.



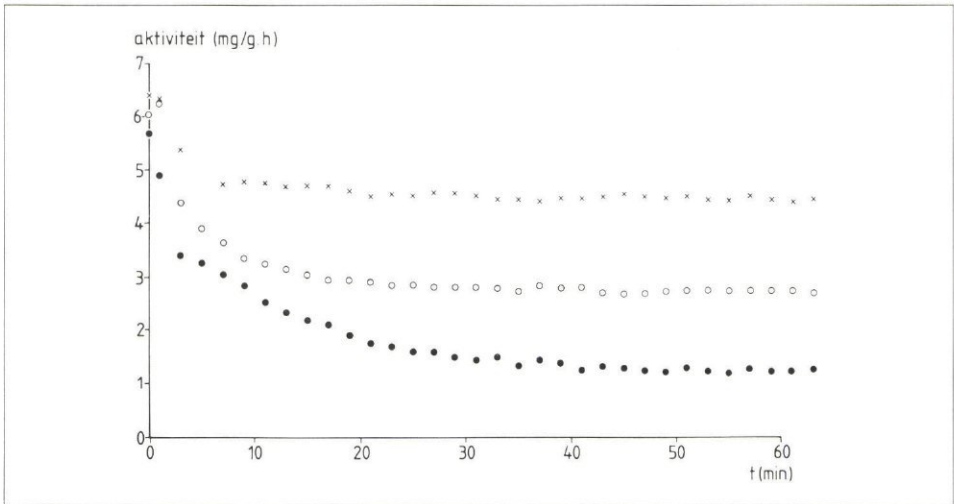
\* Octrooi-aanvraag ingediend.



Afb. 3 - De WAZU-respirometer bestaat uit een meet-opstelling (zuurstofmeter, meetvat en omkeerbare pomp) en een Siemens modulair systeem verbonden aan toetsenbord, monitor, data-opslag en printer.



Afb. 5 - De actuele respiratiesnelheid in alle tien compartimenten van een propstroom-actief-slibinrichting. De totale aëratietank had een volume van 500 liter; het afvalwaterdebiet en het retourdebiet was 30 l/uur.



Afb. 4 - Verloop van de activiteit (mg O<sub>2</sub> per g droge, gesuspenderde stof) van endogeen actief-slib na toediening van KCN (x: 0,5 mg KCN/g; o: 4,9 mg KCN/g en .: 28,2 mg KCN/g).

De respiratiesnelheid laat zich op de in afb. 1 beschreven wijze eenvoudig berekenen. Een belangrijk aspect bij de juiste interpretatie van de meetgegevens is het hydraulisch gedrag van het meetsysteem. Immers, het slib in het vat geeft een situatie weer, die altijd een verblijftijd achterloopt op de situatie in het verse slib en kan er als zodanig niet mee vergeleken worden. Het hydraulisch gedrag wordt bepaald door verblijftijdsmetingen. Is het hydraulisch model eenmaal vastgelegd, dan kan de respiratiesnelheid op elk moment bepaald worden uit de gemeten zuurstofconcentraties. De WAZU-respirometer is gekoppeld aan een digitaal meet- en regelsysteem (Siemens SMP modulair systeem), dat zorgt voor de zuurstofconcentratie-meting, de berekening van de respiratiesnelheid en de regeling van de frequentie waarmee de draairichting van de pomp omkeert. De omkeerfrequentie is afhankelijk van de snelheid waarmee het signaal van de zuurstofsensoren een evenwichtswaarde bereikt. De mogelijkheid om de gemeten waarde automatisch te corrigeren voor atmosferische luchtdrukveranderingen is in het programma ingebouwd. Afb. 3 geeft

een beeld van de meetopstelling. De aanwezigheid van rekenfaciliteiten maakt het mogelijk om aan de respiratiesnelheid gerelateerde grootheden op indirecte wijze te bepalen. Zo kan het biochemisch zuurstofverbruik van een afvalwater voor substraat-oxydatie (inclusief nitrificatie) worden berekend door de gemeten respiratiesnelheid over de tijd te integreren.

### Toepassingsmogelijkheden voor de WAZU-respirometer

De WAZU-respirometer kan gebruikt worden ter bepaling van:

- toxiciteit en biodegradatie van organische en anorganische verbindingen;
- de zuurstofverbruiksnelheid van actief slib in een zuiveringssysteem.

#### Toxiciteits- en biodegradatietest

Een toepassing van de WAZU-respirometer ligt in het toxiciteits- en biodegradatieonderzoek. Met een WAZU-respirometer is het mogelijk om het effect van een toevoeging van een bepaalde stof op de respiratiesnelheid van actief slib in beeld te brengen. Men kan bijvoorbeeld de

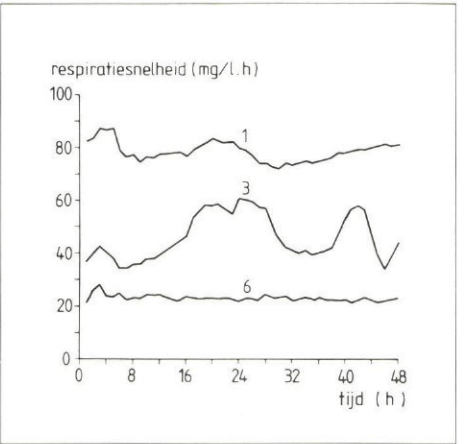
respiatiemeter aansluiten op een batchvat met actief slib, waarin desgewenst de milieucondities (pH, temperatuur, zuurstofconcentratie, substraat) gestandaardiseerd zijn. Door met de WAZU-respirometer de respiratiesnelheid van actief slib te meten, wordt het effect van een toevoeging van een stof op de respiratiesnelheid zichtbaar gemaakt.

Afb. 4 geeft ter illustratie het effect van toevoeging van KCN op de capaciteit (de respiratiesnelheid per g droge stof gesuspenderde stof) van endogeen ademend actief slib. Aangezien er met een open batchvat gewerkt wordt, kan men ook de concentratie van de opgeloste stoffen volgen. Uit de verandering in concentratie van de specifieke stof en de respiratiesnelheid kunnen conclusies over de biodegradeerbaarheid getrokken worden. Bij de meeste toxiciteits- en biodegradatietesten volgt men óf het zuurstofverbruik óf de CZV, danwel de concentratie specifieke stof [Houtmeyers & Steegmans, 1985]. Bij de WAZU-respirometer daarentegen kan men alle parameters gelijktijdig volgen.

#### Zuurstofverbruiksnelheid actief slib

De meting van het actuele zuurstofverbruik van actief slib is de meest voor de hand liggende toepassing van de WAZU-respirometer. Afb. 5 geeft een beeld van de respiratiesnelheid van het actief slib in de verschillende compartimenten van de aëratietank van een propstroom-actief-slib-inrichting. In de compartimenten 1 t/m 3 is het zuurstofverbruik hoog; hier vindt het substraat-zuurstofverbruik plaats. In de laatste zeven compartimenten is de respiratiesnelheid laag, daar treedt endogene verademing op. Afb. 6 laat zien hoe de

Afb. 6 - Het verloop van de respiratiesnelheid in compartiment 1, 3 en 6 van een propstroomreactor met tien compartimenten (volume aëratietank 500 l, afvalwater en retourdebiet 30 l/uur) over twee emalen. De respiratiesnelheid in compartiment 6 bleef vrijwel constant, terwijl de sterkste variatie in respiratiesnelheid in compartiment 3 te zien was. Deze variatie wordt toegeschreven aan variatie in vervuilingsgraad van het afvalwater.



respiratiesnelheid in de tijd varieert.

De sterkste variatie treedt op in het derde compartiment. Deze sterke variatie is toe te schrijven aan variatie in de vervuilingsgraad van het afvalwater.

Naast de actuele respiratiesnelheid is het ook mogelijk met de WAZU-respiratiemeter de potentiële respiratiesnelheid te bepalen.

Onder actuele respiratiesnelheid verstaan we de respiratiesnelheid die optreedt in de aëratietank, terwijl de potentiële respiratiesnelheid slaat op de respiratiesnelheid die onder bepaalde milieucondities optreedt. Bij deze milieucondities valt te denken aan pH, zuurstofconcentratie, temperatuur en aanwezigheid van bepaalde substraten.

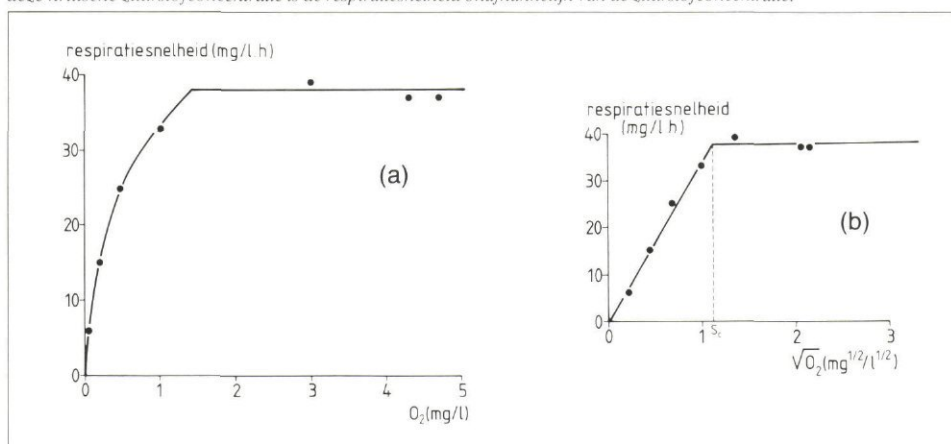
Het effect van de zuurstofconcentratie in het meetvat zelf op de respiratiesnelheid wordt geïllustreerd met afb. 7. Hieruit blijkt, dat beneden een bepaalde kritische zuurstofconcentratie de respiratiesnelheid evenredig is met de wortel uit de zuurstofconcentratie. Boven de kritische zuurstofconcentratie is de respiratiesnelheid constant. In hoeverre deze waarnemingen iets zeggen over het effect van de zuurstofconcentratie in een aëratietank op de respiratiesnelheid, is niet zonder meer aan te geven en vraagt nader onderzoek.

## Discussie

In de inleiding is gesteld, dat er een aantal methoden zijn om de respiratiesnelheid te meten:

1. manometrisch;
2. elektrochemisch in een gesloten vat na een éénmalige toevoeging van afvalwater;
3. elektrochemisch in een open vat, eventueel met continue aanvoer van afvalwater of actief slib/water op basis van zuurstofconcentratie en zuurstofinbrengconstante;
4. elektrochemisch in een gesloten vat met continue aanvoer van het actief-slib/water-mengsel (de WAZU-respiratiemeter).

Afb. 7 - De respiratiesnelheid van nitrificerend actief slib (2,2 g gesuspendeerde droge stof per liter) bij aanwezigheid van overmaat ammoniumchloride en bij constante pH van 7,0 als functie van de zuurstofconcentratie in het meetvat. In (a) is de respiratiesnelheid uitgezet tegen de zuurstofconcentratie en in (b) tegen de wortel uit de zuurstofconcentratie. Beneden een zuurstofconcentratie van 1,2 mg/l is de respiratiesnelheid lineair evenredig met de wortel uit de zuurstofconcentratie. Boven deze kritische zuurstofconcentratie is de respiratiesnelheid onafhankelijk van de zuurstofconcentratie.



Deze methoden hebben voor- en nadelen.

De manometrische methode is bewerkelijk en arbeidsintensief, terwijl het niet mogelijk is om eventuele verandering in pH bij te sturen. Een belangrijk bezwaar is het tijdsverschil tussen inzetten proef en start van nauwkeurige waarneming.

Deze bezwaren tegen de manometrische methode gelden in meer of mindere mate ook voor de elektrochemische methode met gesloten vat en éénmalige toevoeging van afvalwater.

Bij de derde methode – open vat op basis zuurstofconcentratie en zuurstofinbrengconstante – is de zuurstofinbrengconstante een zwakke schakel in het geheel. Deze zuurstofinbrengconstante varieert onder invloed van temperatuur, concentratie opgeloste en gesuspendeerde stoffen, alsook onder invloed van de hoogte van de respiratiesnelheid zelf [Holmberg, 1984]. Hierdoor is de meetmethode niet al te nauwkeurig.

De WAZU-respiratiemeter daarentegen is nauwkeurig, opent mogelijkheden om milieufactoren, zoals temperatuur, zuurstofconcentratie etc. te volgen, danwel constant te houden en maakt continue metingen mogelijk. Combinatie met een micro-computer maakt diverse meet- en regelacties en on-line-berekeningen mogelijk. Kortom deze meetmethode is beter dan de andere drie methoden.

De toepassingsmogelijkheden van de WAZU-respiratiemeter ligt in de sfeer van informatieverzamelen over afvalwaterkwaliteit, bewaking zuiveringsinrichtingen, automatische regeling van het actief-slibproces (beluchting, retourdebiet, spuidebiet, optimalisatie van de processen aërobe oxydatie organische stoffen, nitrificatie, denitrificatie en wellicht ook luxury phosphate uptake) en meting zuurstofinbrengend vermogen van beluchtungs-

apparatuur onder bedrijfsomstandigheden.

De meest interessante mogelijkheid is voorlopig toepassing bij het bewaken van de zuiveringsinrichting. In het verlengde hiervan liggen mogelijkheden rond de (automatische) regeling van de beluchting, waarmee ten opzichte van een niet geregeld systeem een besparing van 30% van de energiekosten te bereiken is. Voorts is de WAZU-respiratiemeter inzetbaar bij toxiciteits- en biodegradatieonderzoek en ter bewaking van een zuiveringsinrichting voor toxische stoffen in het afvalwater.

## Conclusie

De WAZU-respiratiemeter is een welkome aanvulling op het arsenaal van bepalmogelijkheden bij de afvalwaterzuivering via het actief-slibproces. De methode is betrouwbaar, continu uitvoerbaar en vormt de sleutel voor de toekomstige (automatische) procesbeheersing van het actief-slibstelsel.

## Verantwoording

Het onderzoeksproject 'Meten en regelen actief-slibproces' wordt in samenwerking met de sectie 'Meet-, regel- en systeemkunde' van de Landbouwhogeschool uitgevoerd. In dit artikel is gebruikgemaakt van resultaten van het werk van de doctoraalstudent Van der Last en de stagiaire Van der Slik.

## Literatuur

- Jenkins, D. (1960). *The use of manometric methods in the study of sewage and trade wastes*, in: Waste Treatment. Pergamon Press, New York.
- Mancy, K. H., Okun, D. and Reilly, C. N. (1962). *A galvanic cell oxygen analyser*. J. Elektroanal. Chem. 4, 65-92.
- Pagga, U. and Günther, W. (1981). *The BASF-toximeter – A helpful instrument to control and monitor biological waste water treatment plants*. Wat. Sci. Tech., 13, 233-238.
- Holmberg, U. and Olsson, G. (1985). *Simultaneous estimation of oxygen transfer rate and respiration rate; Modelling and control of biological processes*. Preprints/Proceedings 1st IFAC Symposium, Noordwijkerhout, 11-13 December 1985.
- Houtmeyers, J. en Steegmans, R. (1985). *Testprocedures voor biodegradatie: algemeen overzicht; Lessencyclus Biodegradatie- en toxiciteitsproeven*, Technol. Inst. KIV/NVA, Leuven.