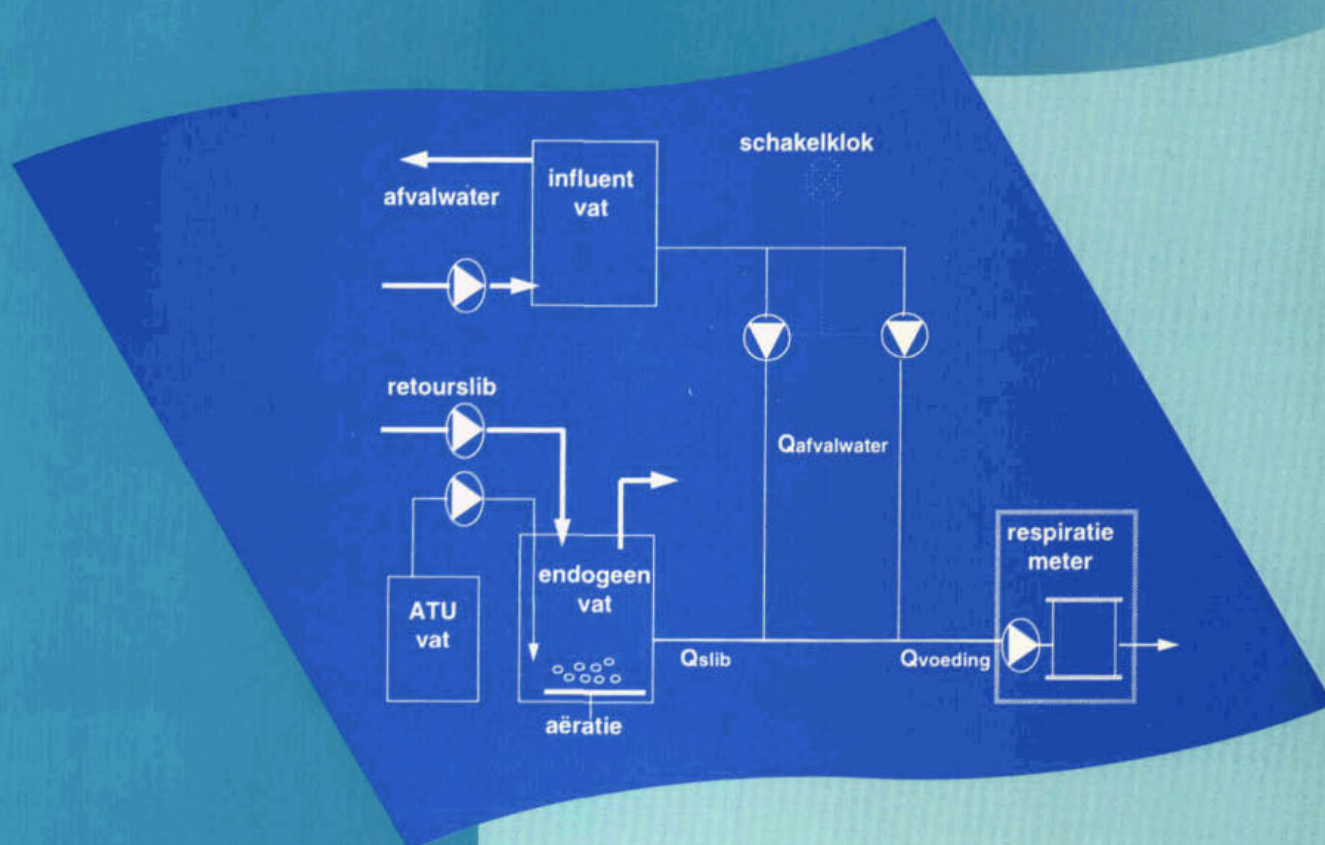


Semi-continue meetmethode voor de S_5 -concentratie in afvalwater via respiratiemetingen

Bepaling van de IAWQ- Y_H en $-K_S$ uit batchrespirogrammen



Semi-continue meetmethode voor de S_5 -concentratie in afvalwater via respiratiemetingen

Bepaling van de IAWQ- Y_H en $-K_S$ uit batchrespirogrammen

97 23

Arthur van Schendelstraat 816
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
Telefoon 030 232 11 99
Fax 030 232 17 66

Publicaties en het publicatie-
overzicht van de STOWA kunt u
uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.
ISBN 90.74476.88.0

INHOUD

Ten geleide	
SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	2
2 ACHTERGRONDEN	4
2.1 Fysisch/chemische influentkarakterisering ten behoeve van modelstudies	4
2.2 Respirometrie	5
2.2.1 Algemeen	5
2.2.2 Respirometrische bepaling van IAWQ-S _s (semi-continu)	7
2.2.3 Respirometrische bepaling van IAWQ-Y _H en IAWQ-K _s (uit batchexperiment)	8
3 PRAKTIJKTEST	11
3.1 Algemeen	11
3.2 Meetopstelling	11
3.2.1 Semi-continue methode	11
3.2.2 Batchmetingen	12
3.3 Proeven- en analyseschema	13
3.4 Resultaten van de batchexperimenten	14
3.4.1 Bepaling van de heterotrofe yield Y _H	14
3.4.2 Bepaling van de halfwaardecoëfficiënt K _s	15
3.5 Resultaten van de semi-continue bepaling van IAWQ-S _s	17
3.6 Resultaten van de bepaling van X _s	21
3.7 Samenvatting van de resultaten	23
4 EVALUATIE	24
4.1 Bedrijfszekerheid	24
4.2 Nauwkeurigheid	24
4.3 Kostenvergelijking	25
4.4 Meerwaarde	26
4.5 Randvoorwaarden	27
5 CONCLUSIES	29
6 LITERATUUR	31
7 LIJST VAN AFKORTINGEN	32
BIJLAGE I: SEMI-CONTINU MEETPRINCIPE	34
BIJLAGE II: ACHTERGRONDEN BATCH-RESPIROMETRIE	38
BIJLAGE III: GEVOELIGHEIDSANALYSES	40
BIJLAGE IV: KARAKTERISTIEKEN VAN DE RWZI	43
BIJLAGE V: NADERE BESCHOUWING VAN 'S _s '	45
BIJLAGE VI: DE ROL VAN DROGESTOF IN DE S _s -BEREKENING	47
HANDBOEK VOOR ZELFBOUW	49

Ten geleide

Dynamische processimulatie met behulp van SIMBA (gebaseerd op IAWQ model#1) is door de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders geaccepteerd als een waardevol hulpmiddel voor de optimalisatie van (met name de regelstrategie van) actiefslibsystemen. Hiervoor dient het model, op basis van aanvullende meetprogramma's en veel procesinformatie, vergaand gecalibreerd te zijn om het verloop van de relevante procesgrootheden voldoende nauwkeurig te kunnen reproduceren.

Een belangrijk onderdeel van deze essentiële informatie is de karakterisering van het influent naar debiet en concentraties. Tot nu toe werden de diverse fracties in het influent berekend uit chemische en fysisch/chemische laboratoriumanalyses: kostbare meetprogramma's door het chemicaliënverbruik en de benodigde laboratoriumcapaciteit. Om te voorkomen dat dit een beletsel zou kunnen zijn voor het toepassen van dit hulpmiddel bij het optimaliseren van rwzi's moet gezocht worden naar meer eenvoud en efficiëntie bij de influentkarakterisering.

In dit kader is door de firma Vertis B.V. de mogelijkheid onder de aandacht gebracht om met behulp van een respirometer semi-continu het snel afbreekbaar organisch substraat in afvalwater (S_s) te bepalen. Daarnaast was de Landbouwuniversiteit Wageningen bezig om met respirometrie batch-gewijs de belangrijke IAWQ-model-grootheden Y_H (de yield van de heterotrofe biomassa) en de K_s (de halfwaardecoëfficiënt) te bepalen.

Het thans voorliggende rapport beschrijft de ontwikkeling van een praktisch toepasbare en efficiënte meetmethode op basis van respirometrie voor de semi-continue bepaling van S_s en de batch-gewijze bepaling van Y_H en K_s . De rapportage bevat tevens een handboek voor de zelfbouw van de meetopstelling en een diskette met software voor het zodanig bewerken van de respirogrammen, dat de verkregen waarden rechtstreeks als input voor Simba-modellering kunnen dienen.

Het onderzoek werd door het bestuur van de STOWA opgedragen aan de firma Vertis B.V. te Veendam (projectteam bestaande uit mw. ir. R.A. Hamming, drs. I.T.M. Hemmers, ing. M. Wetterauw en ir. A.S.M. Witteborg). Vertis B.V. werkte daarbij samen met ir. H. Brouwer, dr.ir. K. Keesman en dr.ir. A. Klapwijk, allen van de Landbouwuniversiteit Wageningen. Het project werd namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. G.J.F.M. Vlekke (voorzitter), ir. H. Draaijer, ir. R.M.W. Schemen, ing. A.H.M. Sengers, ir. P.C. Stamperius en ir. P. Versteeg.

Aan het onderzoek werden bijdragen geleverd door het zuiveringsschap Rivierenland en medewerkers van de rwzi Nijmegen, en door het Ifak (Institut für Automation und Kommunikation) te Magdeburg (dr. R. Tschepetzki). De STOWA is deze instanties daarvoor zeer erkentelijk.

Utrecht, maart 1997

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

Samenvatting

Eén van de toepassingen van dynamische simulatie is de optimalisatie van de regelstrategie van actiefslibsystemen. Hiervoor dient het simulatiemodel vergaand gekalibreerd te zijn zodat het werkelijke verloop van belangrijke procesgrootheden voldoende nauwkeurig is te reproduceren. De hoeveelheid relevante procesinformatie die op een installatie aanwezig is, is vaak onvoldoende van kwantiteit en kwaliteit om een dergelijke hoogwaardige kalibratie mee te bereiken. Een aanvullend meetprogramma is dan noodzakelijk. Een aanvullend meetprogramma is onder meer bedoeld om het influent te karakteriseren. Drie belangrijke componenten in influent zijn snel en langzaam afbreekbaar organisch substraat (S_S resp. X_S) en ammonium (S_{NH}). Ammonium kan rechtstreeks en on-line worden gemeten. De concentraties van S_S en X_S worden afgeleid uit een combinatie van gefiltreerde en ongefiltreerde BZV- en CZV-metingen. Meetprogramma's voor influentkarakterisering, die gebaseerd zijn op dit soort metingen, zijn relatief kostbaar vanwege het chemicaliënverbruik en de benodigde laboratoriumcapaciteit (arbeidsintensief).

In deze studie is een praktisch toepasbare en efficiënte meetmethode ontwikkeld voor semi-continue bepaling van de S_S -concentratie in afvalwater op basis van respiratiemeting, ten behoeve van modelleringsstudies. De methode berust op de automatische meting van drie verschillende respiratiesnelheden (behorend bij drie verschillende belastingssituaties) die afwisselend, na elkaar met één respirometer worden gemeten. Uit de verkregen tijdreeksen van de respiratiesnelheden wordt vervolgens op basis van het IAWQ Model#1 de S_S -concentratie afgeleid. Hierbij zijn waarden nodig voor de IAWQ-parameters voor de heterotrofe yield Y_H en de halfwaardecoëfficiënt K_S . Deze worden respirometrisch bepaald door middel van een batchexperiment, uitgevoerd met dezelfde meetopstelling.

Om een zelfbouwopstelling voor de semi-continue meetmethode van de S_S -concentratie in afvalwater te testen is gedurende een maand een praktijkproef uitgevoerd op de rwzi van Nijmegen. Uit de proef is geconcludeerd dat de methodiek praktisch goed uitvoerbaar is. De respirometrisch gevonden S_S -concentratie vertoont dezelfde dynamiek en ligt ongeveer op hetzelfde niveau als de S_S -concentratie bepaald via de fysisch/chemische wijze. De waarde bepaald voor de parameter Y_H is vrij constant en bedraagt in dit specifieke geval 0,80 tot 0,82 g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}. De waarden voor K_S vertonen een grote spreiding, ze variëren tussen 0,03 en 1 mg CZV/l. De semi-continue methode voor bepaling van de S_S -concentratie is gevoelig voor de waarde van Y_H en in geringe mate voor de waarde van K_S . Op basis van uitgevoerde gevoeligheidsanalyses en de gevonden spreiding in de waarden voor Y_H en K_S is geconcludeerd dat een meetfrequentie van één keer per week voor beide parameters volstaat.

De semi-continue methode levert met een hogere frequentie waarden voor de S_S -concentratie dan mogelijk is op fysisch/chemische wijze. Het onderscheid tussen snel en langzaam afbreekbare organische componenten in afvalwater wordt in de fysisch/chemische methode gemaakt op basis van oplosbaarheid, terwijl dit in de respirometrische methode op biologische gronden gebeurt. Uit een kostenvergelijking (chemicaliënverbruik, apparatuur en metingen) voor een meetperiode van drie weken blijkt dat de respirometrische bepaling van de S_S -concentratie aanzienlijk goedkoper uitvalt dan de fysisch/chemische methode. De respiratiemeting vergt praktisch geen laboratoriumcapaciteit, maar vraagt voor de uitvoering wel de begeleiding van een hoog opgeleide technoloog.

De keuze tussen respirometrische of fysisch/chemische bepaling van de S_S -concentratie is situatieafhankelijk. Deze afweging wordt met name bepaald door de beoogde toepassing van het simulatiemodel en van de karakteristieken van het te modelleren zuiveringsproces.

In het handboek voor zelfbouw is beschreven hoe een meetopstelling voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie kan worden gebouwd en bedreven. Met behulp van de bijgeleverde software is de S_S -concentratie te berekenen uit tijdreeksen van respiratiesnelheden.

1 Inleiding

Processimulatie met behulp van SIMBA (gebaseerd op IAWQ Model#1) [1] is door de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders geaccepteerd als een potentieel waardevol hulpmiddel voor de optimalisatie van actiefslibsystemen.

Een van de toepassingen van dynamische simulatie is de optimalisatie van de regelstrategie van actiefslibsystemen. Om dit te kunnen doen dient het simulatiemodel vergaand gekalibreerd te zijn: het model moet in staat zijn het werkelijk verloop van de relevante procesgrootheden (bijv. zuurstof, ammonium, nitraat) voldoende nauwkeurig te reproduceren. Veelal is de hoeveelheid relevante procesinformatie die op een installatie aanwezig is onvoldoende van kwantiteit en kwaliteit om een dergelijke hoogwaardige kalibratie mee te bereiken [13]. Een aanvullend meetprogramma is dan noodzakelijk.

Een belangrijk onderdeel van een aanvullend meetprogramma is de karakterisering van het influent (debiet en concentraties). Drie belangrijke componenten in het influent van een rwzi zijn snel en langzaam afbreekbaar organisch substraat (S_S resp. X_S) en ammonium (S_{NH}). De laatste kan rechtstreeks worden gemeten, bijvoorbeeld met een on-line monitor.

Voor de andere twee bestaan nog geen eenvoudige rechtstreekse bepalingen, laat staan on-line. Zij moeten worden afgeleid uit een combinatie van gefiltreerde en ongefiltreerde BZV- en CZV-metingen. Meetprogramma's voor influentkarakterisering, die gebaseerd zijn op dit soort metingen, zijn relatief kostbaar vanwege het chemicaliënverbruik en de benodigde laboratoriumcapaciteit (arbeidsintensief). Bovendien is de vertaling van deze laboratoriumanalyses naar IAWQ componenten arbitrair. Om te voorkomen dat dit nadeel een hinderpaal gaat vormen voor het effectief toepassen van dynamische modellering als hulpmiddel bij het optimaliseren van rwzi's, dient te worden gezocht naar efficiëntere en nauwkeurigere methoden van influentkarakterisering.

De afgelopen jaren is veel onderzoek verricht naar de toepassingsmogelijkheden van respirometrie [8, 9] bij influent- en slibkarakterisering. Recent is door Vertis een methode ontwikkeld voor een semi-continue bepaling van de fractie snel afbreekbaar organisch substraat (S_S) in afvalwater met behulp van respirometrie [14]. De methode levert waarden voor de S_S -concentratie die goed correleerden met waarden afgeleid uit CZV- en BZV-metingen. Hierbij is aangegeven dat het belang van betrouwbare waarden voor de yield van de heterotrofe biomassa (Y_H) en de halfwaarde-coëfficiënt van snel afbreekbaar organisch substraat (K_S) groot is. In het STOWA rapport "Methoden voor influentkarakterisering" [11] is geconcludeerd dat een eenvoudige meting voor deze parameters de betrouwbaarheid van de methode zal bevorderen.

De vakgroep milieutechnologie van de Landbouwniversiteit Wageningen doet al enige jaren onderzoek naar de toepassing van respiratiemetingen [2, 8]. De expertise van de LUW op het gebied van het interpreteren van respirogrammen is ingezet voor de ontwikkeling van batchexperimenten ten behoeve van de bepaling van waarden voor Y_H en K_S .

In deze studie wordt een praktisch toepasbare en efficiënte meetmethode ontwikkeld voor semi-continue bepaling van de S_S -concentratie in afvalwater op basis van respiratiemeting, ten behoeve van modelleringsstudies. Voor deze methode worden waarden van de IAWQ-parameters voor Y_H en K_S respirometrisch bepaald door middel van een batch experiment. Om te pogen ook hoogfrequente informatie over de X_S -concentratie in afvalwater te verkrijgen wordt gezocht naar een relatie tussen de gemeten S_S -concentraties en fysisch/chemisch bepaalde X_S -concentraties. Dit verslag bevat de resultaten van deze studie, alsmede een handboek voor zelfbouw van de meetopstelling.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de achtergronden van de respirometrie gegeven en is de methode voor semi-continue bepaling van de S_S -concentratie beschreven. In hoofdstuk 3 worden de opzet en de resultaten van de praktijktest beschreven. In hoofdstuk 4 wordt de ontwikkelde methode geëvalueerd aan de hand van de uitkomsten van de praktijktest. Hoofdstuk 5 beschrijft de conclusies.

Het bijgevoegde Handboek voor zelfbouw bestaat uit twee gedeelten: het eerste gedeelte vormt een handleiding voor het zelf bouwen en bedienen van een meetopstelling, het tweede gedeelte beschrijft de dataverwerking en bevat software om vervolgens de S_S -concentratie in afvalwater te berekenen.

2 Achtergronden

In dit hoofdstuk worden de achtergronden beschreven van de bepaling van de influentconcentraties van snel en langzaam afbreekbaar organisch substraat (S_S en X_S). In paragraaf 2.1 wordt de fysisch/chemische bepaling van S_S en X_S beschreven. In paragraaf 2.2 worden de achtergronden van respirometrie en de respirometrische bepalingsmethodiek van de S_S -concentratie uiteengezet.

2.1 Fysisch/chemische influentkarakterisering ten behoeve van modelstudies

Fysisch-chemische karakterisering van het influent is gebaseerd op de volgende metingen: $CZV_{inf,tot}$, $CZV_{inf,mf}$, $CZV_{eff,mf}$, $BZV_{5,inf}$. In het STOWA onderzoek "Methoden voor influentkarakterisering" [11] is beschreven hoe uit deze metingen de versleuteling naar IAWQ Model #1 componenten is te maken. De berekening van de concentraties snel en langzaam afbreekbaar organisch substraat (S_S en X_S) is hieronder weergegeven:

$S_S = CZV_{inf,mf} - S_I$	
Met	
$S_I = CZV_{eff,mf} * 0,9$	voor laagbelaste installaties met hoog zuiveringsrendement
$S_I = CZV_{eff,mf} * 0,9 - BZV_{5,eff}$	voor hoogbelaste installaties met laag zuiveringsrendement
$X_S = \alpha * (CZV_{inf,tot} - CZV_{inf,mf})$	
Met	
$\alpha = \frac{BZV_{20} / (1 - Y_{H,BZV}) - S_S}{CZV_{inf,tot} - CZV_{inf,mf}}$	Ofwel: $X_S = BZV_{20} / (1 - Y_{H,BZV}) - S_S$
$BZV_{20} = BZV_5 / (1 - e^{-k*5})$	$k = 0,23 [d^{-1}]$
	$Y_{H,BZV} = 0,20 [g CZV_{biomassa} / g CZV_{substraat}]$

Figuur 1: Afleiding van de IAWQ componenten S_S en X_S uit conventionele bepalingsmethoden

De waarde van α geeft aan welk deel van het onopgeloste CZV langzaam afbreekbaar substraat vertegenwoordigt. In bovenstaande vergelijkingen wordt deze fractie bepaald via waarden van BZV_5 , BZV_{20} en de microbiologische yield $Y_{H,BZV}$. De betrouwbaarheid van de methodiek is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de waarden voor $Y_{H,BZV}$ en BZV . De geringe nauwkeurigheid van deze waarden maakt bepaling van X_S via conventionele methoden lastig [11].

In het navolgende onderzoek zijn aan het influent bepalingen van CZV_{tot} , CZV_{mf} , BZV_5 en BZV_{20} uitgevoerd en is de X_S -concentratie op bovenbeschreven wijze berekend. Om wellicht, net als voor de respirometrisch gemeten S_S -concentratie, ook voor de X_S -concentratie in afvalwater hoogfrequent informatie te verkrijgen, wordt nagegaan in hoeverre er sprake is van een constante verhouding tussen fysisch/chemisch berekende X_S -concentraties en respirometrisch bepaalde S_S -concentraties.

2.2 Respirometrie

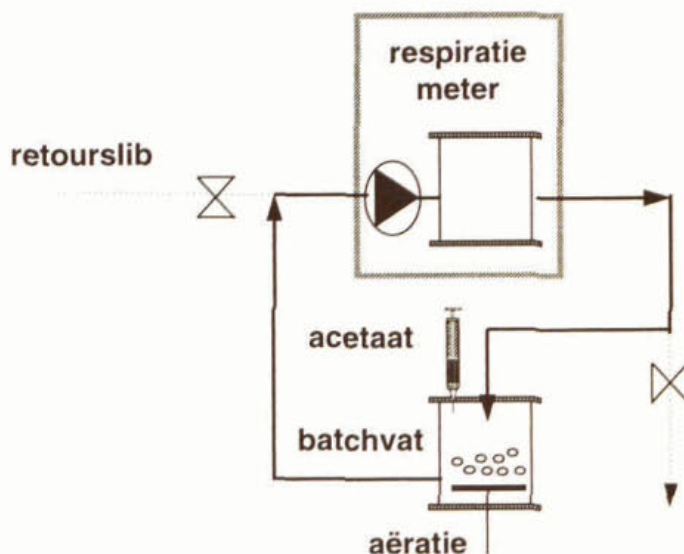
2.2.1 Algemeen

Respirometrie staat voor het geheel van meten en toepassen van de respiratiesnelheid in actiefslibsystemen. De respiratiesnelheid staat voor de zuurstofverbruiksnelheid (bv. mg O₂/l.uur) van het actiefslib. Het meten van de respiratiesnelheid gebeurt met een respirometer. In zijn simpelste vorm bestaat de respirometer uit een gesloten en volledig gemengd vaatje waarin zich een mengsel van actiefslib en afvalwater bevindt. In het respiratievatje vinden de reguliere actiefslibprocessen plaats, waaronder oxidatie van substraat onder verbruik van zuurstof. Als in het respiratievatje de verandering van de zuurstofconcentratie wordt gemeten (met een zuurstofsonde), kan de respiratiesnelheid worden berekend.

Er is een aantal verschillende respirometers op de markt verkrijgbaar. In alle gevallen bestaat de meter uit een respiratievat waar het zuurstofverbruik plaatsvindt en een apparaat om de verandering in de zuurstofconcentratie te meten. De totale uitvoeringsvorm en de daarmee samenhangende bediening van de respirometers verschilt sterk. In de praktijk is een aantal toepassingen van respirometers denkbaar. De belangrijkste daarvan liggen in de sfeer van monitoring, bijvoorbeeld toxiciteitsdetectie. Het toepassen van respirometers voor sturingsdoeleinden bevindt zich voornamelijk in de onderzoekssfeer.

Er zijn twee basisprincipes voor respirometing te onderscheiden, te weten de batchmeting en de continue meting.

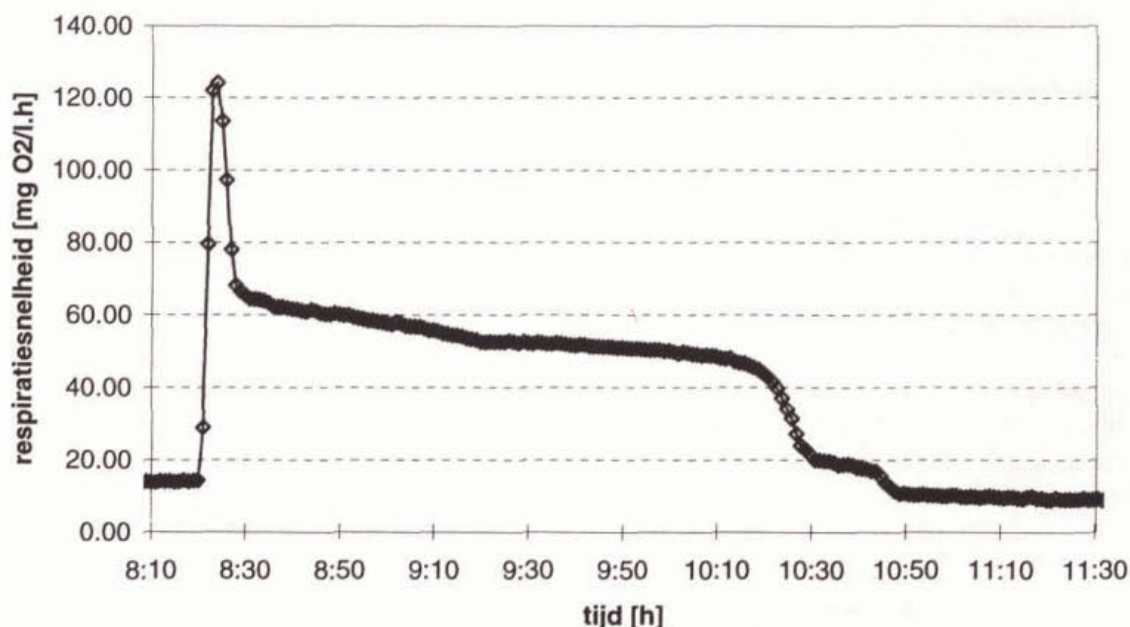
- batchmeting
Een voorbeeld van een meetopstelling waarmee batchexperimenten kunnen worden uitgevoerd, is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Voorbeeld van een meetopstelling voor batchexperimenten.

Bij de batchmeting wordt gebruik gemaakt van een monster actiefslib uit de installatie. Dit actiefslib kan in de respirometer op allerlei wijzen worden gemanipuleerd door de procesomstandigheden te wijzigen. Een belangrijke wijze van procesmanipulatie is het toevoegen van substraat aan het slibmonster, waardoor de respiratiesnelheid gaat veranderen. Deze verandering wordt vastgelegd in een zogenaamd respirogram (zie figuur 3); dat wil zeggen de respiratiesnelheid van het actiefslib wordt weergegeven als functie van de

tijd. Specifieke technieken voor analyse van dit respirogram leveren een grote hoeveelheid informatie over zowel actiefslib als gedoseerd substraat (bijvoorbeeld afvalwater).



Figuur 3: Voorbeeld van een batch-respirogram.

- continue meting

Bij de continue meetmethode wordt een respiratievat doorstroomd met een slibstroom die uit een actiefslibstelsysteem wordt gepompt. In deze opstelling wordt het slib in de meetopstelling continu ververs: dit in tegenstelling tot de batchmeting waar een experiment plaatsvindt met een steekmonster actiefslib. Ook de continue meting kan worden gemanipuleerd door dosering van bijvoorbeeld substraat in de aanvoerstroom. Een dergelijke meetopstelling kan worden gebruikt om inzicht te krijgen in variaties in de slib- en afvalwaterkarakteristieken van een operationeel actiefslibstelsysteem.

In termen van het IAWQ Model#1 kan de respiratiesnelheid worden beschreven volgens onderstaande vergelijking (dit is de IAWQ-matrixvergelijking voor zuurstof). Voor de betekenis van de gebruikte symbolen wordt verwezen naar de lijst van afkortingen in hoofdstuk 7.

$$r = \frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BH} + \frac{4,57 - Y_A}{Y_A} \mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BA}$$

De respiratiesnelheid is op deze manier beschreven in termen van oxidatie van snel afbreekbaar substraat (S_S) en nitrificatie (S_{NH}). Bovenstaande vergelijking bevat een aantal grootheden die niet of moeilijk separaat meetbaar zijn. Ze kunnen niet afgeleid worden uit één enkele respirometing. De mogelijkheid om een respirometing te manipuleren maakt het echter mogelijk de rol van bepaalde grootheden uit te schakelen. Bijvoorbeeld: als er een nitrificatieregger (ATU) aan het actiefslib wordt toegevoegd mag in bovenstaande vergelijking de waarde van μ_A , en daarmee het gehele rechterdeel van de vergelijking, gelijk aan nul worden gesteld, hetgeen het aantal onbekenden aanzienlijk reduceert. Op deze wijze kan een combinatie van verschillende metingen leiden tot de gewenste informatie. Bovenstaande achtergronden vormen de basis voor de opzet van de beoogde meetmethodiek voor een semi-continue bepaling van S_S in het influent van rwzi's. Voor een breder overzicht van respirometrie wordt verwezen naar de literatuur [8, 9].

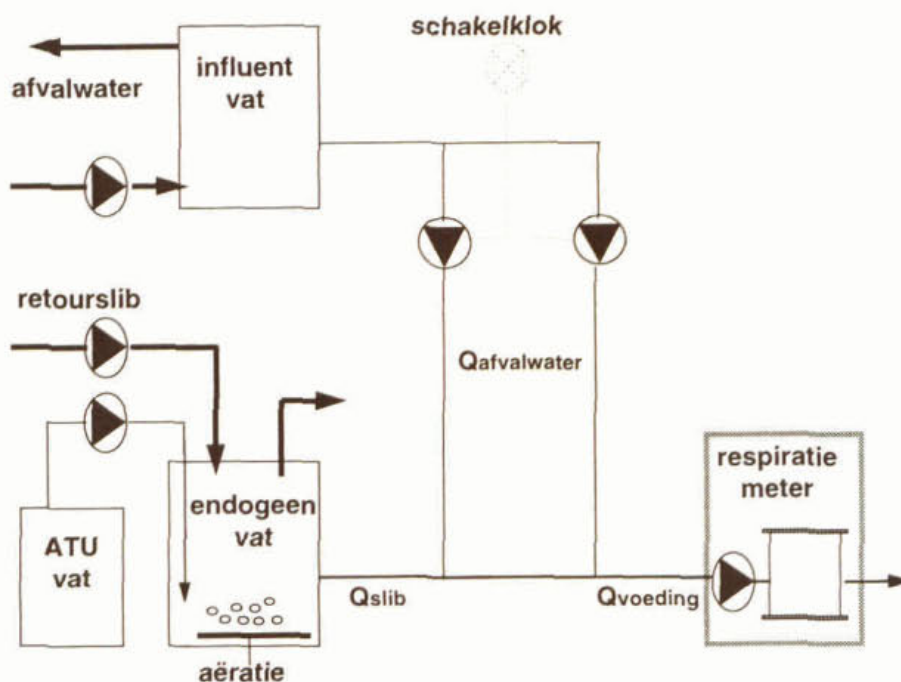
2.2.2 Respirometrische bepaling van IAWQ- S_S (semi-continu)

De respirometrische bepaling van de afvalwater S_S -concentratie is gebaseerd op de meting van drie verschillende respiratiesnelheden (gemeten via continue respiatiemeting):

- endogeen (alleen slib uit het endogeenvat)
- laagbelast (slib uit het endogeenvat en een klein deel influent)
- hoogbelast (slib uit het endogeenvat en een groter deel influent).

Voor elk van de drie situaties kan over het respiatievat een massabalans worden opgesteld voor S_S . Tevens kunnen de respiratiesnelheden geschreven worden in termen van de IAWQ-matrix. Een en ander levert een stelsel vergelijkingen waaruit de influent S_S -concentratie kan worden geschreven als functie van bekende grootheden (debieten, respiratiesnelheden) en twee parameters (Y_H en K_S). De afleiding van de berekening voor de influent S_S -concentratie is weergegeven in bijlage I.

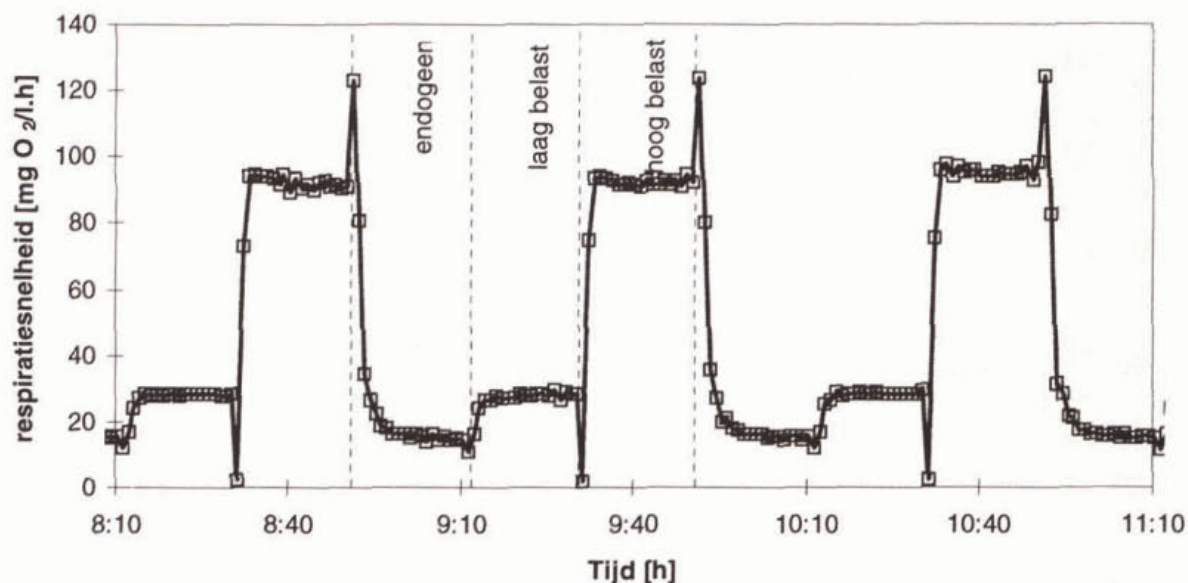
De gehanteerde methode gaat uit van het gebruik van één (continu doorstroomde) respiatiemeter die zodanig wordt bedreven dat de drie benodigde respiratiesnelheden cyclisch (dat wil zeggen afwisselend, na elkaar) worden gemeten. De meetopstelling die hiervoor nodig is, is schematisch weergegeven in figuur 4:



Figuur 4: Meetopstelling voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie in afvalwater

De respiratie-opstelling bestaat uit een endogeenvat en een respiatiemeter. Het endogeenvat wordt gevoed met slib van de zuivering en continu belucht. Door ATU te doseren in het endogeenvat wordt voorkomen dat zuurstof voor nitrificatie wordt verbruikt.

Het cyclisch variëren van de afvalwaterstroom naar de respiatiemeter levert een meetreeks als weergegeven in figuur 5.



Figuur 5: Signaal van een cyclisch bedreven respirometer

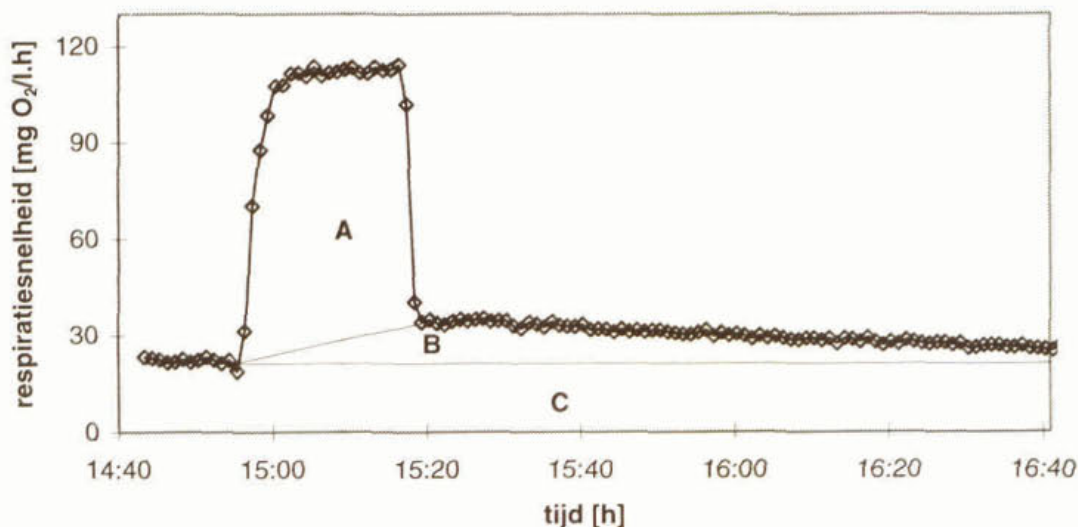
2.2.3 Respirometrische bepaling van IAWQ- Y_H en IAWQ- K_S (uit batchexperiment)

Het principe van de bepaling van de heterotrofe opbrengstcoëfficiënt (Y_H) en de halfwaardecoëfficiënt van snel afbreekbaar organisch substraat (K_S) is gebaseerd op een respirometrisch batchexperiment (zie ook paragraaf 2.2.1). Door toevoeging van een snel afbreekbaar organisch substraat aan endogeen respirerend slib wordt een respiratieprofiel (respirogram) verkregen waaruit de parameterwaarden voor zowel Y_H als K_S kunnen worden bepaald.

De batchexperimenten zijn uitgevoerd met acetaat. De keuze voor acetaat is arbitrair, er is niet met zekerheid te stellen dat de waarde van de yield voor acetaat overeen zal komen met de waarde voor afvalwatersubstraat [5, 12]. Bovendien is het mogelijk dat tijdens het batchexperiment reservestoffen worden opgeslagen in de cel. Dit leidt tot een lager zuurstofverbruik dan wanneer volledige omzetting zou plaatsvinden en daarmee tot hoge waarden voor de yield [12]. Met nadruk wordt daarom gesteld dat in dit onderzoek een waarde is bepaald voor de modelparameter IAWQ- Y_H , die zal afwijken van de microbiologische yield. Voor de respirometrische bepaling van de S_S -concentratie is de gevonden waarde goed bruikbaar. Eenzelfde redenering geldt voor de waarde van K_S verkregen uit een batchrespirogram met acetaat in vergelijking met de K_S van afvalwater.

Bepaling van de heterotrofe yield Y_H

De heterotrofe yield Y_H kan worden afgeleid uit het respirogram door het cumulatieve zuurstofverbruik ten gevolge van de acetaatdosering te bepalen. Dit cumulatieve zuurstofverbruik komt overeen met het oppervlak onder de grafiek, verminderd met het zuurstofverbruik ten gevolge van endogene respiratie (C). In figuur 6 is het cumulatieve zuurstofverbruik, ook wel exogene respiratie genoemd, weergegeven als de som van oppervlakken A en B.



Figuur 6: Batchexperiment met dosering van acetaat en ATU.

A - zuurstofverbruik ten gevolge van omzetting van acetaat

B - zuurstofverbruik ten gevolge van vorming en omzetting van gevormde reservestoffen

C - zuurstofverbruik ten gevolge van endogene respiratie

Door toevoeging van ATU treedt geen zuurstofverbruik ten gevolge van nitrificatie op. Er vindt geen acetatomzetting plaats ten gevolge van denitrificatie doordat het zuurstofgehalte tijdens het batchexperiment steeds hoger dan 2 mg/l is. Voor de berekening van de Y_H wordt aangenomen dat het toegediende acetaat volledig wordt omgezet in biomassa, water en koolstofdioxide. Hierdoor kan de Y_H voor acetaat worden berekend volgens onderstaande vergelijking (1):

$$(1 - Y_H) * CZV_{\text{acetaat}} = \int OUR_{\text{ex}}(t) dt \quad \text{ofwel: } Y_H = \frac{CZV_{\text{acetaat}} - \int OUR_{\text{ex}}(t) dt}{CZV_{\text{acetaat}}} \quad (1)$$

waarin:

Y_H = heterotrofe opbrengstcoëfficiënt [kg CZV_{biomassa}/kg CZV_{substraat}]

OUR_{ex} = exogene zuurstofverbruiksnelheid [mg O₂/l.h]

CZV_{acetaat} = chemisch zuurstofverbruik van acetaat bij volledige oxidatie [mg O₂/l]

Bij bovenbeschreven bepaling van de Y_H moet de volgende kanttekening worden gemaakt. In figuur 6 is te zien dat het batchrespirogram met acetaat als substraat in twee delen uiteenvalt: zuurstofverbruik ten gevolge van omzetting van acetaat (A) en zuurstofverbruik ten gevolge van de vorming en de omzetting van reservestoffen (B).

Het oppervlak onder de curve dat moet worden toegewezen aan de vorming en omzetting van reservestoffen is moeilijk te bepalen. Enerzijds is de exacte ligging van de scheidingslijn tussen A en B moeilijk te bepalen, omdat niet bekend is in welke mate de reservestofvorming bijdraagt aan het zuurstofverbruik. Anderzijds is de exacte ligging van de scheidingslijn tussen B en C moeilijk te bepalen, omdat niet bekend is in welke mate het endogene zuurstofverbruik toeneemt als gevolg van de vorming van biomassa uit acetaat.

Voor de berekening van Y_H voor de semi-continue methode is het zuurstofverbruik ten gevolge van reservestofvorming en -omzetting niet van belang. De verklaring hiervoor ligt in het verschil in tijdschalen tussen batchexperiment en semi-continue methode.

Tijdens de continue meting van de respiratiesnelheid heeft het slib veel minder tijd voor de omzetting van substraat dan tijdens een batchmeting. De verblijftijd in het respiratievat tijdens continue meting van de respiratiesnelheid bedraagt enkele minuten. Volledige verversing (5 *

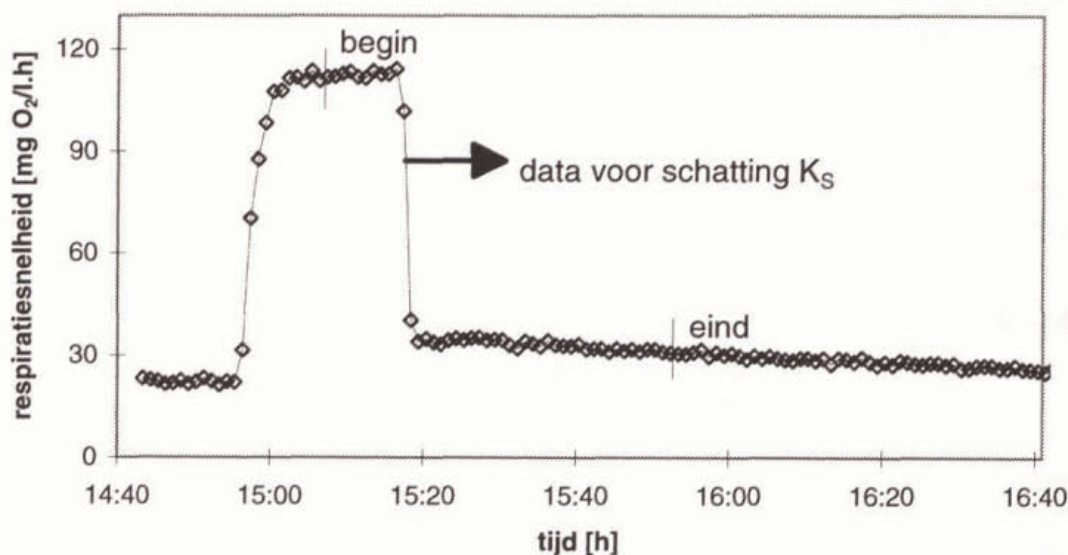
verblijftijd) duurt ongeveer 10 tot 15 minuten. Daarentegen duurt een batchexperiment in de orde van enkele uren (zie figuur 6). Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de vorming en omzetting van reservestoffen pas na enige tijd start en veel langer doorgaat dan de omzetting van acetaat. Dit betekent dat de bijdrage van de omzetting van gevormde reservestoffen aan het cumulatieve zuurstofverbruik buiten beschouwing moet worden gelaten voor de yield-bepaling voor toepassing in de semi-continue methode.

Als gevolg hiervan moet voor de berekening van de yield ten behoeve van de semi-continue methode in vergelijking (1) niet het cumulatieve zuurstofverbruik (A+B) maar alleen het zuurstofverbruik door oxidatie van acetaat worden ingevuld (A).

Het computerprogramma Matlab/Simulink biedt de benodigde routines voor het berekenen van het cumulatieve zuurstofverbruik uit het respirogram; voor een toelichting zie het Handboek voor zelfbouw.

Bepaling van de K_S

De K_S , de halfwaardeconstante voor de groei van heterotrofe biomassa op S_S , kan op de volgende wijze uit een acetaat-respirogram worden bepaald. In figuur 7 is nogmaals het batchrespirogram weergegeven.



Figuur 7: Batchexperiment met dosering van acetaat en ATU.

De K_S kan worden bepaald uit het dalende deel van het respirogram. Dit deel wordt beschreven door de volgende vergelijking (die is overgenomen uit de IAWQ-matrix). Voor een verklaring van de symbolen wordt verwezen naar de lijst van afkortingen.

$$\frac{dS_o}{dt} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} * \mu_H * \left(\frac{S_s}{K_S + S_s} \right) * \left(\frac{S_o}{K_{OH} + S_o} \right) * X_{BH} \quad (2)$$

De K_S wordt verkregen door deze vergelijking kloppend te maken met de meetwaarden uit het respirogram (tussen 'begin' en 'eind' in figuur 7). Het computerprogramma Matlab/Simulink biedt hiervoor de benodigde routines; voor een toelichting zie Handboek voor zelfbouw.

3 Praktijktest

3.1 Algemeen

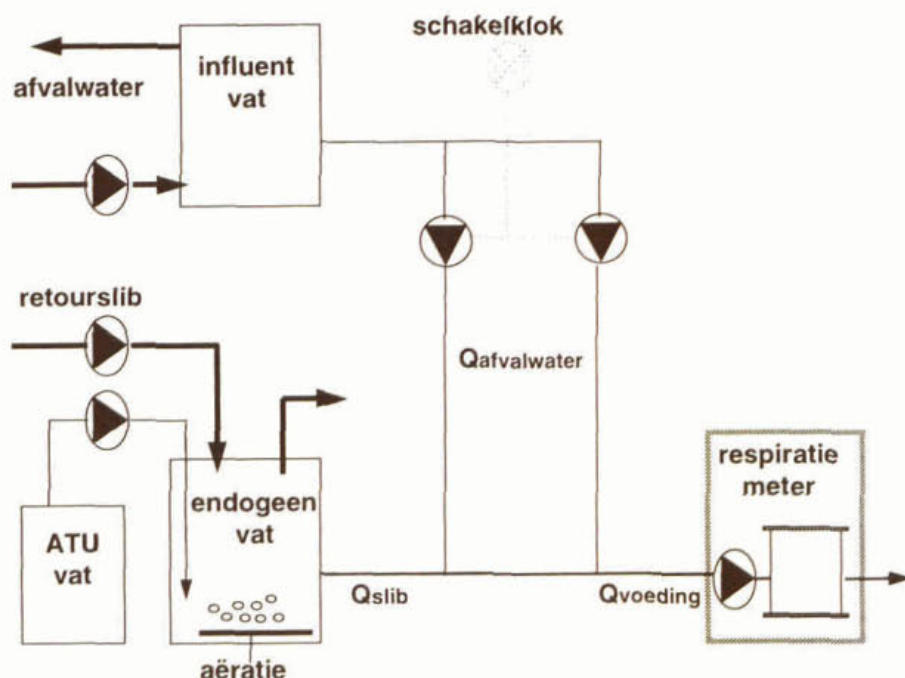
Er is een praktijkproef uitgevoerd om een zelfbouwopstelling voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie in afvalwater te testen.

De praktijkproef is uitgevoerd op de rioolwaterzuiveringsinstallatie van Nijmegen. De rwzi Nijmegen is een laagbelaste actiefslibinstallatie met beluchtingsbassins in propstroom. Biologische defosfatering wordt niet door het IAWQ Model #1 beschreven. Voor toepassing van de semi-continue methode geldt daarom als randvoorwaarde dat de rwzi niet wordt gestuurd op biologische defosfatering. De rwzi Nijmegen voldoet aan deze randvoorwaarde: er vindt voorprecipitatie van fosfaat plaats door dosering van ijzer(III)chloride aan de inloop van de voorbezinking.

3.2 Meetopstelling

3.2.1 Semi-continue methode

Een schematische voorstelling van de zelfbouwopstelling is weergegeven in figuur 8. Een respiratiemeter wordt gevoed met retourslib en voorbezonden afvalwater. Het retourslib wordt via een endogeenvat naar de respiratiemeter gepompt. Aan het endogeenvat wordt ATU gedoseerd.



Figuur 8: Schematische weergave van de meetopstelling voor semi-continu bedrijf

- Het endogeenvat, met een volume van 60 liter, wordt continu gevoed met retourslib van de zuivering (debiet 23 l/h). De gemiddelde drogestofconcentratie van het retourslib is 4,5 g/l. Het endogeenvat wordt intensief belucht, waardoor de zuurstofconcentratie in het vat altijd hoger is dan 6 mg O_2 /l.

- Een ATU-oplossing, met een concentratie van 1,5 g/l, wordt met een debiet van 0,3 l/h aan het endogeenvat gedoseerd. De ATU-concentratie in het endogeenvat is altijd hoger dan 15 mg/l, bij slibconcentraties van 3 tot 5 g/l. Bij deze ATU-concentratie blijkt de nitrificatie volledig te worden geremd. Dit is getest via dosering van NH_4Cl aan endogeen slib.
- De opstelling is gebouwd rondom een Manotherm RA1000 respirometer. Het volume van het meetvat in de respirometer is 0,73 l. Het debiet naar de respirometer (Q_{voeding}) is instelbaar en bedraagt circa 21 l/h en wordt aangevoerd door een interne slangenpomp. Via een stelsel van interne kleppen wordt iedere halve minuut geschakeld tussen toevoer en afvoer naar het meetvat. Het zuurstofgehalte wordt iedere halve minuut gemeten en geregistreerd. Hieruit wordt de respiratiesnelheid berekend.
- De meetopstelling bestaat verder uit een aantal slangenpompjes, een schakelklok, een pompelpomp, een endogeenvat, ATU-dosering en een drogestofmeetsonde met datalogger. Voor een gedetailleerde beschrijving van de meetopstelling wordt verwezen naar het Handboek voor zelfbouw.
- Cyclisch wordt de respiratiesnelheid van endogeen slib, laagbelast slib en hoogbelast slib gemeten. In de endogene periode wordt geen afvalwater gedoseerd en wordt alleen endogeen slib aangevoerd. In de laagbelaste situatie wordt een geringe hoeveelheid afvalwater toegevoegd; in de hoogbelaste situatie wordt meer afvalwater toegevoegd.
- De afvalwaterdebieten in de laag- en hoogbelaste situatie moeten zodanig worden gekozen dat de zuurstofconcentratie in de respirometer altijd hoger dan 2 mg O_2/l blijft. Dit in verband met de aanname in de S_S -berekening: $S_0/(K_{\text{OH}}+S_0) \approx 1$. Onderstaande tabel geeft een indruk van de debietgroottes zoals gebruikt tijdens de meetperiode. Als richtlijn kan worden gesteld dat de 'belasting' [uitgedrukt in g influent CZV/g ds] (zie onderstaande vergelijking) in de hoogbelaste situatie een factor tien keer zo groot is als in de laagbelaste situatie.

$$\text{'belasting'} = \frac{\text{CZV}_{\text{inf}} * Q_{\text{afvalwater}}}{\text{ds}_{\text{slib}} * (Q_{\text{voeding}} - Q_{\text{afvalwater}})}$$

Tabel 1: Debietgroottes voor de drie belastingssituaties tijdens de meetperiode

	endogeen	laagbelast	hoogbelast
Q_{voeding} [l/h]	18 - 24	18 - 24	18 - 24
$Q_{\text{afvalwater}}$ [l/h]	0	0,5 - 1	4 - 8
'belasting' [mg CZV/g ds]	0	2	22

- De lengte van de periodes noodzakelijk om te komen tot een betrouwbare evenichtswaarde van de respiratiesnelheid bij het betreffende niveau van belasting is afhankelijk van de verblijftijd in het respirometervat. Bij bovenbeschreven dimensies volstaat een periode van 20 minuten [14]. Hiermee duurt een volledige cyclus (= de drie verschillende belastingssituaties) één uur.

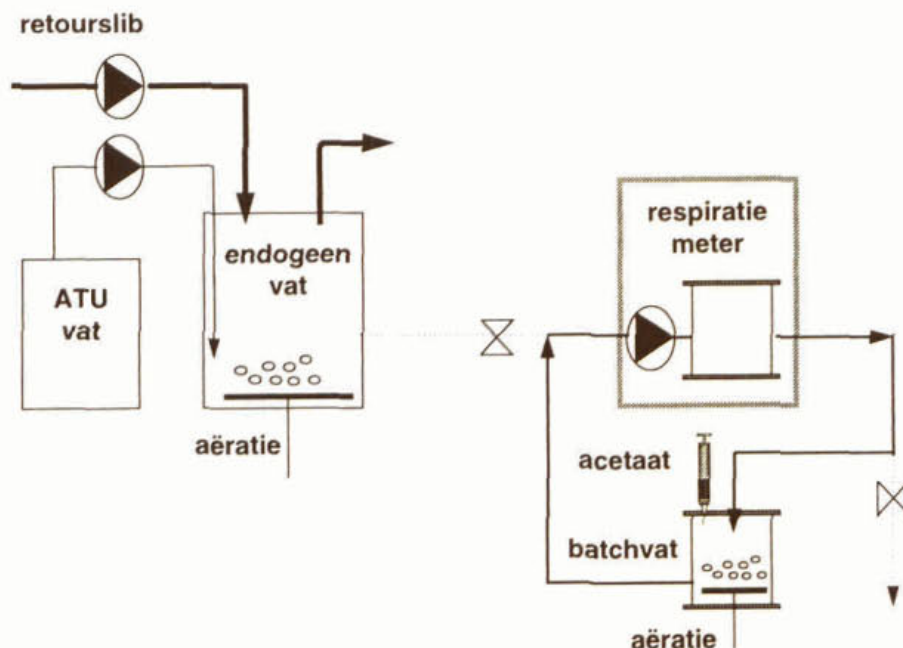
3.2.2 Batchmetingen

Periodiek zijn batchexperimenten uitgevoerd voor de bepaling van Y_H en K_S . De semi-continue en de batchmetingen kunnen met dezelfde meetopstelling worden uitgevoerd. Het schakelen tussen de batch en continue methode is eenvoudig te realiseren door middel van een aantal slangenklemmen. Dit is beschreven in het Handboek voor zelfbouw. Figuur 9 geeft een schematisch overzicht van de meetopstelling bedreven volgens de batchmethode.

Bij het uitvoeren van batchexperimenten is de meetopstelling als volgt bedreven:

- Via het openen en sluiten van een aantal slangenklemmen (zie Handboek voor zelfbouw) wordt een batchvat in serie geschakeld met het respirometervat en worden beide vaatjes gevuld met endogeen slib. Het endogeen slib wordt gerecirculeerd over het respirometervat.

- Het batchvat heeft een vulvolume van 1,5 liter en wordt zodanig belucht dat het zuurstofgehalte in het respiatiemeetvat gedurende het hele experiment > 2 mg/l blijft.
- Het recirculatie-debiet bedraagt circa 21 l/h (gelijk aan Q_{voeding} bij de semi-continue meting).
- Vervolgens wordt met een pipet 1 ml acetaatoplossing (222,5 g natriumacetaat/l) toegevoegd aan het batchvat, zodat de acetaatconcentratie in het systeem (totaal volume 2,24 l) 78 mg CZV/l bedraagt (1 mg natriumacetaat = 0,79 mg CZV).



Figuur 9: Schematische weergave van de meetopstelling bedreven volgens de batchmethode

Parallel aan de respiatiemetingen met behulp van bovenbeschreven meetopstelling zijn batchexperimenten uitgevoerd met behulp van de RESCUE analyzer. Dit is een meetopstelling ontwikkeld door de Landbouw Universiteit Wageningen, waarmee volledig geautomatiseerd batchexperimenten kunnen worden uitgevoerd en geanalyseerd.

De RESCUE analyzer is ingezet om hoogfrequent de Y_H en de K_S te bepalen om na te gaan in hoeverre deze parameters in de tijd variëren. De mate van variatie van deze parameters is immers bepalend voor de frequentie waarmee de batchexperimenten moeten worden uitgevoerd.

De werking van de RESCUE analyzer is in bijlage II kort toegelicht.

3.3 Proeven- en analyseschema

De praktijkproef is uitgevoerd in de periode van 17 september tot 12 oktober 1996. Gedurende deze vier weken is continu gemeten met de respiratie-opstelling. Ook het drogestofgehalte van het slib in het endogeen vat is continu geregistreerd.

De respirometrische bepalingsmethode voor de influent S_S -concentratie wordt vergeleken met de fysisch/chemische bepaling. Hiertoe zijn parallel aan de respiatiemetingen tijdproportionele 4-uurs monsters van het voorbezonden influent genomen. Deze bemonstering heeft in de periode van 17 september tot 7 oktober op werkdagen plaatsgevonden. Tot het moment van analyse zijn de monsters gekoeld bewaard. Monsters die meer dan 24 uur moesten worden bewaard, zijn bovendien aangezuurd tot pH 2.

Aan deze monsters zijn de volgende analyses uitgevoerd:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| ● CZV _{totaal} | ieder 4-uursmonster |
| ● CZV _{mf} | ieder 4-uursmonster |
| ● drogestof | ieder 4-uursmonster |
| ● BZV ₅ bepaling | eens per dag een 4-uursmonster |
| ● BZV ₂₀ bepaling. | eens per drie dagen een 4-uursmonster |

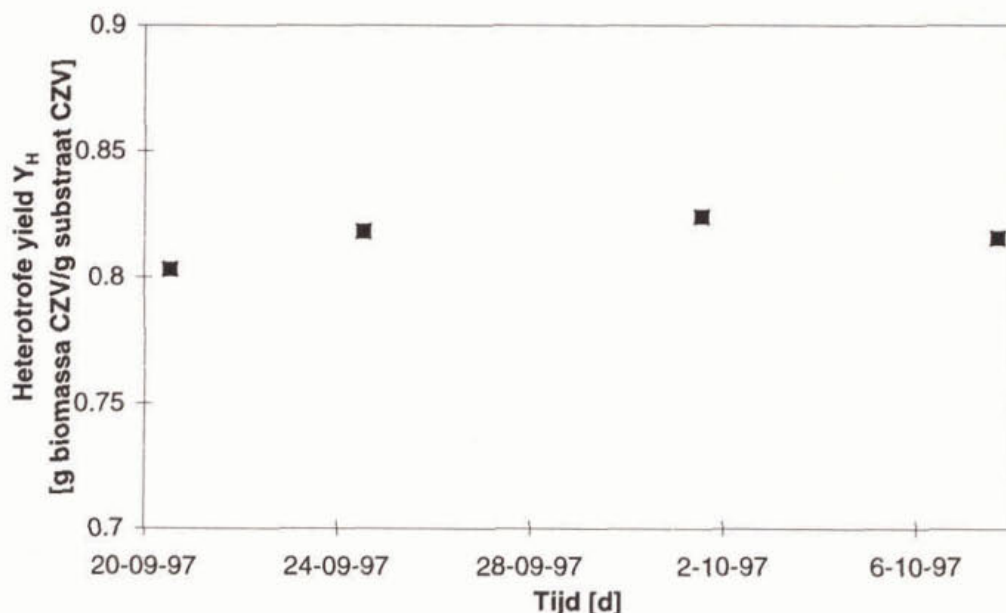
Verder is het drogestofgehalte in het endogeenvat on-line gemeten met behulp van een drogestofmeetsonde. Dagelijks zijn drogestofbepalingen uitgevoerd om de werking van de sonde te controleren.

Alle bepalingen zijn in duplo uitgevoerd, met uitzondering van de BZV-bepalingen. De BZV-bepalingen zijn door het laboratorium van het Zuiveringsschap Rivierenland in Tiel uitgevoerd. Alle overige bepalingen zijn uitgevoerd door het laboratorium van de proefhal van de Landbouw Universiteit Wageningen in Bennekom.

3.4 Resultaten van de batchexperimenten

3.4.1 Bepaling van de heterotrofe yield Y_H

Zowel met de zelfbouwopstelling als de RESCUE analyzer zijn periodiek batchexperimenten uitgevoerd ter bepaling van de heterotrofe yield en van de mate van fluctuatie van de yield. Met de zelfbouwopstelling zijn vier batchexperimenten met acetaat uitgevoerd. De resultaten zijn gegeven in figuur 10.



Figuur 10: Yield bepaald met de zelfbouwopstelling

De vastgestelde waarde voor de IAWQ- Y_H varieert tussen 0,80 en 0,82 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}]. In deze bepalingen is het zuurstofverbruik ten gevolge van de vorming en omzetting van reservestoffen buiten beschouwing gelaten. De gevonden waarden zijn hoog in vergelijking met de waarden van 0,46 - 0,69 die in de literatuur worden vermeld voor de biologische yield [1]. Kanttekeningen bij de bepaling van de yield uit een batchrespirogram met acetaat als substraat zijn genoemd in paragraaf 2.2.3. De resultaten van de yield's bepaald uit experimenten met de RESCUE analyzer zijn weergegeven in bijlage III. De RESCUE-experimenten zijn uitgevoerd om

een uitspraak te kunnen doen over de mate van fluctuatie van de yield in de tijd. Uit de resultaten (zie bijlage III) blijkt dat de waarde voor de yield over de hele meetperiode vrij constant is.

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de invloed van de waarde van de yield op de berekende S_S -concentraties. Het resultaat van de gevoeligheidsanalyse is beschreven in bijlage III. De invloed van Y_H op de waarde van de influent S_S -concentratie blijkt aanzienlijk en hangt af van de waarde van de yield. De gevoeligheid is als volgt te kwantificeren, bij benadering geldt (zie bijlage III):

$$\frac{S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{1 - Y_H(2)}{1 - Y_H(1)}$$

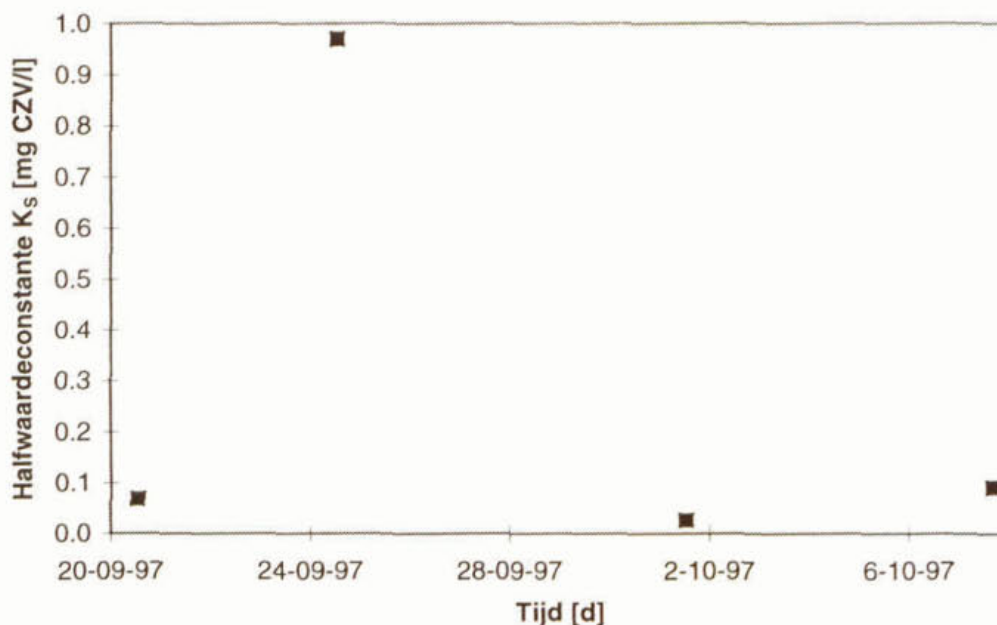
De indexen (1) en (2) verwijzen naar twee te vergelijken situaties. Dit betekent dat een stijging van de yield van 0,80 tot 0,82 een stijging van de S_S -concentratie veroorzaakt van

$$\frac{S_S(2) - S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{Y_H(2) - Y_H(1)}{1 - Y_H(1)} = \frac{0,82 - 0,80}{1 - 0,80} = 10\%$$

Op basis van de geringe spreiding in de gemeten waarden voor de yield en de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses kan voor de bepalingsfrequentie van de yield één keer per week worden aangehouden.

3.4.2 Bepaling van de halfwaardecoëfficiënt K_S

Zowel met de zelfbouwopstelling als de RESCUE analyzer zijn batchexperimenten uitgevoerd ter bepaling van de K_S en van de mate van fluctuatie van de K_S . Met de zelfbouwopstelling zijn vier batchexperimenten met acetaat uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 11.



Figuur 11: K_S -waarden bepaald met de zelfbouwopstelling

In figuur 11 is te zien dat de bepaalde waarden voor K_S variëren tussen 0,03 en 1 mg CZV/l. Ook de K_S -waarden bepaald uit de batchexperimenten uitgevoerd met de RESCUE analyzer geven overeenkomstige resultaten, namelijk waarden kleiner dan 1 mg CZV/l.

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de invloed van de waarde van de K_S op de berekende S_S -concentraties. Het resultaat van de gevoeligheidsanalyse is beschreven in bijlage III. Hieruit blijkt dat de waarde van K_S invloed heeft op de waarde van de influent S_S -concentratie. De invloed van K_S is als volgt te kwantificeren, bij benadering geldt (zie bijlage III):

$$\frac{S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{K_S(1) + C}{K_S(2) + C}$$

Hierin is C afhankelijk van debieten, respiratiesnelheden, Y_H en ook van K_S . De waarde van C is groot in vergelijking tot de waarde van K_S en ligt in het bereik van 7 tot 15 [mg CZV/l]. Dit bereik geldt voor de omstandigheden van de periode waarvoor de gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd en voor K_S waarden van 0.01 tot 1 mg/l. De waarde van C stijgt als de K_S toeneemt.

Een stijging van de K_S van 0,01 tot 1 veroorzaakt een stijging van de S_S -concentratie van

$$\frac{S_S(2) - S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{K_S(2) - K_S(1)}{K_S(2) + C} = \frac{1,0 - 0,01}{1,0 + 11} = 8\%$$

De nauwkeurigheid waarmee de K_S kan worden bepaald is afhankelijk van de kwaliteit van het verkregen respirogram. Het respirogram moet voldoende meetpunten bevatten in het dalende deel van de curve waaruit de K_S kan worden bepaald. Wanneer maar enkele data beschikbaar zijn waarop de respiratiecurve kan worden gefit, gaat dit ten koste van de betrouwbaarheid waarmee de K_S kan worden geschat. In de batchexperimenten werd de respiratiesnelheid iedere minuut geregistreerd; in het dalende deel van de respiratiecurve vallen dan slechts één of twee meetpunten. Nog afgezien van meetfouten die altijd aanwezig zijn, is de betrouwbaarheid van de K_S -bepaling op basis van één of twee meetwaarden gering.

De betrouwbaarheid van de bepaling van K_S kan worden verbeterd door de batchproeven uit te voeren met een lagere biomassaconcentratie. Er worden dan meer meetpunten verkregen in het deel van de respiratiecurve waaruit de K_S wordt geschat. Echter, omdat uit het batchrespirogram ook de waarde voor de heterotrofe yield wordt geschat, is het gewenst de omstandigheden (slibbelasting, slibconcentratie en S_S -concentratie) voor de batchproeven zoveel mogelijk gelijk te kiezen aan de omstandigheden tijdens de continue respiratiemetingen. De methode wordt dan zo weinig mogelijk gestoord door effecten die veroorzaakt worden door verschillende omstandigheden/belastingssituaties. Een voorbeeld van een dergelijk effect is de vorming en omzetting van reservestoffen, deze is afhankelijk van de belastingssituatie. In paragraaf 2.2.3 is het effect van de reservestoffen op de yieldbepaling uiteengezet.

Wanneer de K_S wordt gebruikt voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie, is het vergroten van de betrouwbaarheid van de K_S -bepaling echter niet noodzakelijk, gezien de geringe gevoeligheid van de berekende S_S -concentraties voor de K_S in het gevonden gebied (bijlage III). In het geval de K_S -waarde groot is en dan wel invloed heeft op de S_S -concentratie, is de beschreven K_S -bepaling wel nauwkeurig omdat er in die situatie meer meetpunten in het relevante deel van het respirogram zullen liggen.

Op basis van de gemeten waarden voor de K_S en de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse kan voor de bepalingsfrequentie van de K_S één keer per week worden aangehouden.

Hoewel de betrouwbaarheid van de K_S -bepaling uit een acetaatrespirogram voor deze specifieke situatie ($K_S < 1$ mg CZV/l) gering is en de K_S dan nauwelijks van invloed is op de S_S -concentratie, is het toch zinvol de K_S -bepaling uit te voeren om de volgende reden. Uit het voorliggende onderzoek is niet met zekerheid te stellen dat de K_S -waarde bepaald uit een acetaatbatchrespirogram voor elk actiefslib kleiner dan 1 mg CZV/l zal zijn.

Indien de K_S -bepalingen waarden kleiner dan 1 mg CZV/l opleveren kan voor toepassing in de semi-continue S_S -berekening worden gerekend met een vaste waarde, bijvoorbeeld 0,5 mg CZV/l.

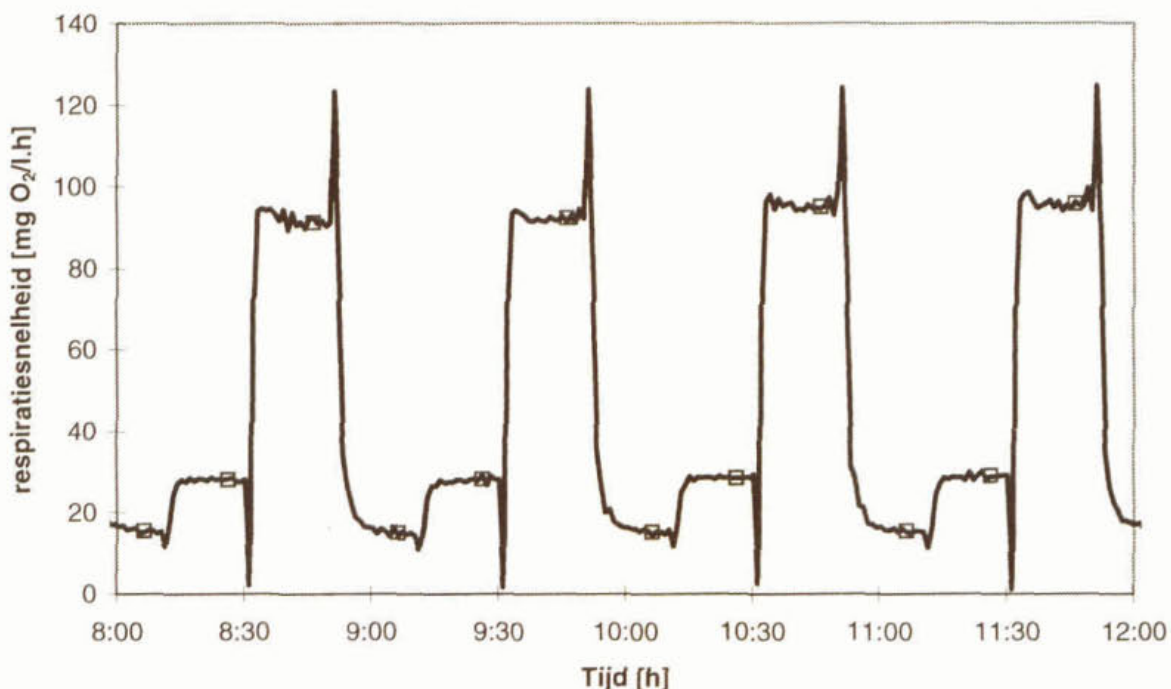
3.5 Resultaten van de semi-continue bepaling van IAWQ- S_S

In deze paragraaf worden de resultaten gegeven van de S_S -concentratie in afvalwater bepaald volgens de semi-continue methode. Achtereenvolgens worden de bevindingen beschreven van de:

- respiratiesnelheden tijdens de praktijkproef
- onderbrekingen gedurende de meetperiode
- situatie tijdens RWA
- berekende S_S -concentratie in het influent.

Respiratiesnelheden

De respirometer meet cyclisch de respiratiesnelheid in respectievelijk de endogene, de laagbelaste en de hoogbelaste situatie. In figuur 12 is het verloop van de respiratiesnelheid als functie van de tijd weergegeven. Als voorbeeld is hier de periode 5 oktober van 8 tot 12 uur getoond.

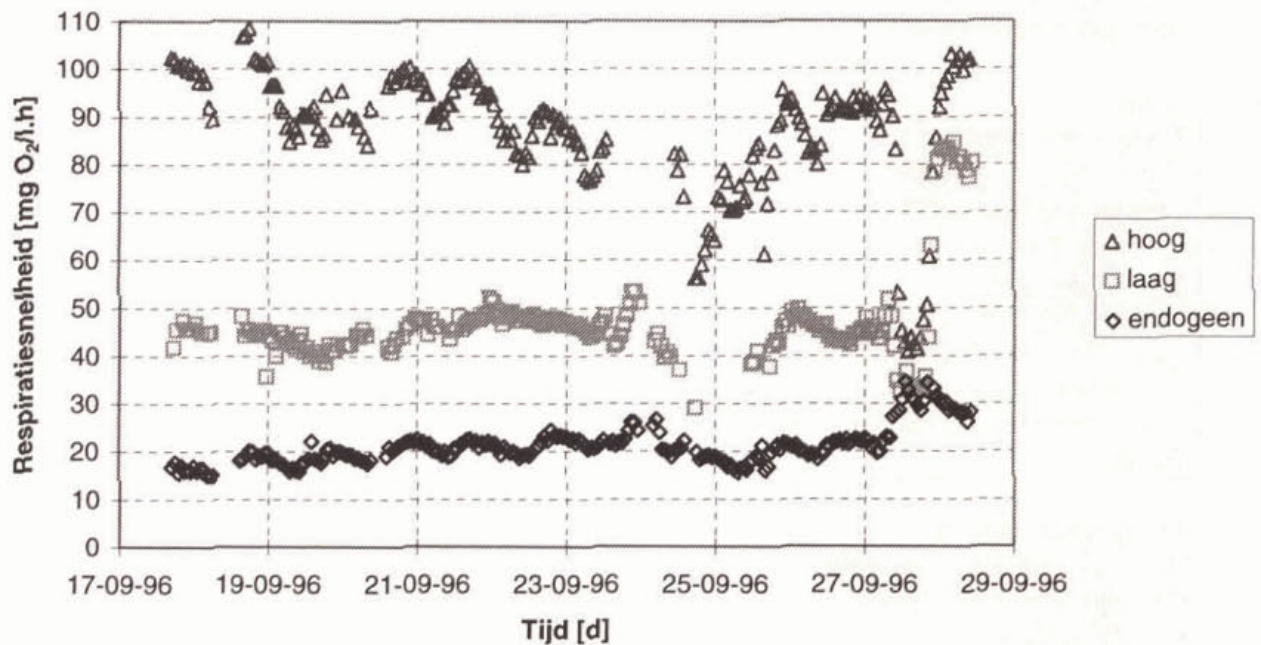


Figuur 12: Respiratiesnelheid als functie van de tijd (5 oktober 1996)

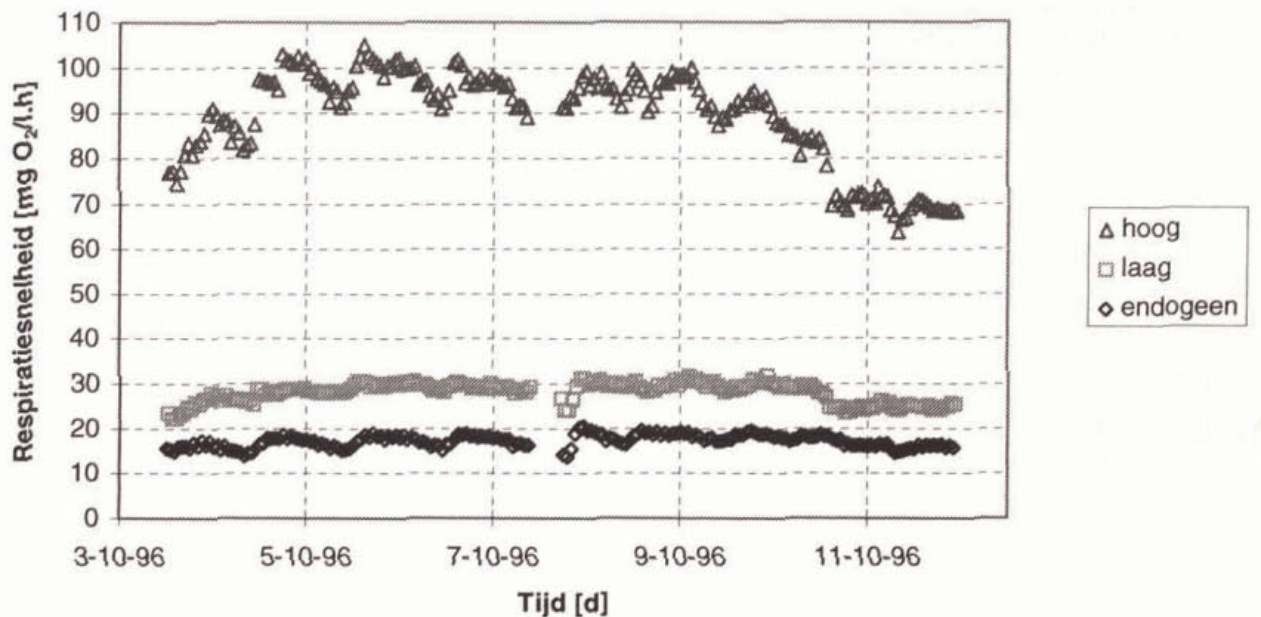
De pieken en dalen bij de overgang van belastingniveau worden veroorzaakt door de wijze waarop de respiratiesnelheid wordt berekend uit de gemeten zuurstofgehalten. Ook duurt het na een wijziging van de belasting enige tijd voordat het systeem in evenwicht is. Dit heeft te maken met de verblijftijd in het respirometervat die enkele minuten bedraagt.

Bij de berekening van de S_S -concentratie wordt gewerkt met de evenichtswaarde per belastingsniveau. Deze waarden zijn in figuur 12 aangegeven als blokjes. Het betreft de gemiddelde waarde van zeven punten (zie Handboek voor zelfbouw). Op deze wijze wordt iedere twintig minuten een nieuwe evenichtswaarde bepaald. Iedere twintig minuten wordt de S_S -concentratie berekend op basis van de laatst gemeten drie evenichtswaarden.

De respiratiesnelheid ('steady state' waarden) is als functie van de tijd weergegeven in de figuren 13 en 14. Het betreft de periodes 17 t/m 28 september en 3 t/m 11 oktober. Het afvalwaterdebiet tijdens de laagbelaste situatie is in de periode van 17 t/m 28 september (figuur 13) ongeveer twee keer zo groot als is de periode van 3 t/m 11 oktober (figuur 14). Dit veroorzaakt de verschillen in onderlinge niveaus in beide figuren.



Figuur 13: Respiratiesnelheid ('steady state' waarden) als functie van de tijd voor de periode 17 tot 29 september



Figuur 14: Respiratiesnelheid ('steady state' waarden) als functie van de tijd voor de periode 3 tot 12 oktober

Onderbrekingen

De gaten in de tijdreeksen van de figuren 13 en 14 zijn veroorzaakt door technische storingen en menselijke fouten. Ook is de continue meting een aantal keren onderbroken om batchproeven uit te voeren ter bepaling van de parameters Y_H en K_S (zie paragraaf 3.4). Een overzicht van de 'storingen' is weergegeven in tabel 2. De bedrijfszekerheid van de meetmethode wordt besproken in paragraaf 4.1.

Tabel 2: Onderbrekingen van continue respiratiemeting tijdens de praktijktest

Oorzaak onderbreking	aantal	duur [h]	procentueel [% v/d tijd]
opstart	1	2	0,3
<i>Technische storingen</i>			
- (stroom)storing RWZI	1	5	0,9
- influentpompje kapot	1	18	3,1
- recirculatiepomp respiratiemeter kapot	2	68	11,6
<i>Menselijke fouten</i>			
- zuurstoflimitatie door instellingsfout respiratiemeter	1	9	1,5
- geen influenttoevoer (slang hangt boven vloeistofniveau)	1	2	0,3
- na debietaanpassing vergeten pomp aan te zetten	1	22	3,7
- na debietaanpassing pompen verkeerd geschakeld	1	47	8,0
Totaal		173	29.6

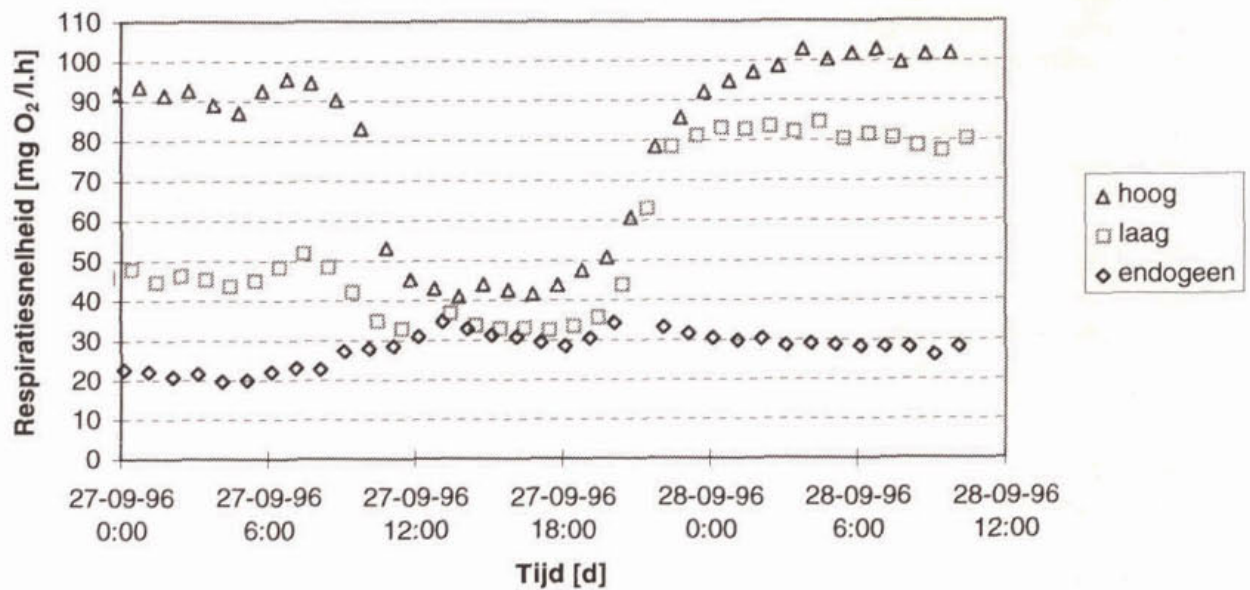
Analyseresultaten

De resultaten van de parallel uitgevoerde fysisch/chemische bepalingen zijn gegeven in bijlage IV. Hier zijn ook onderstaande algemene meetgegevens opgenomen:

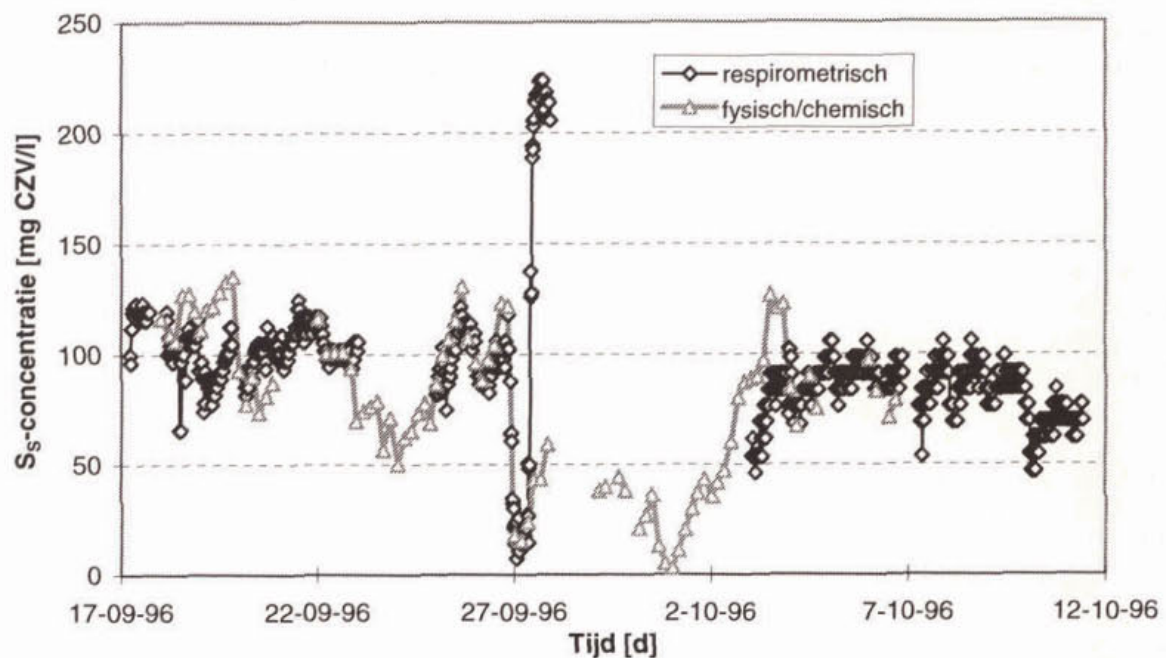
- CZV_{mf} , CZV_{tot} en BZV van het influent van de meetopstelling (voorbezonden afvalwater).
- Het on-line gemeten drogestofgehalte in de endogeentank.
- De dagtotalen van de hoeveelheid neerslag en het influentdebiet van de rwzi Nijmegen.
- De resultaten van de standaard uitgevoerde analyses aan het effluent van de rwzi Nijmegen.

RWA

Tijdens de meetperiode is een aantal keren een RWA-situatie opgetreden. Tijdens regenweeraanvoer neemt door verdunning de concentratie S_S in het influent af. Als gevolg hiervan worden de onderlinge verschillen in de respiratiesnelheden tijdens de drie verschillende belastingssituaties genivelleerd. In figuur 15 is hiervan een voorbeeld gegeven.



Figuur 15: Respiratiesnelheden bij RWA voor 27 en 28 september als functie van de tijd.



Figuur 16: Respirometrisch- en fysisch/chemisch bepaalde influent- S_s als functie van de tijd

S_s -concentratie in het influent

De influent S_s -concentratie is berekend uit de respiratiesnelheden (zie figuren 13 en 14). In figuur 16 zijn deze berekende waarden weergegeven voor de gehele meetperiode. Hierbij zijn voor de Y_H en K_S respectievelijk de waarden $0,815 \text{ [g CZV}_{\text{biomassa}}/\text{g CZV}_{\text{substraat}}]$ en $0,3 \text{ [mg CZV/l]}$ gebruikt, dit zijn de gemiddelde waarden afkomstig uit de respirogrammen gemaakt met de zelfbouwopstelling. Ter vergelijking is in figuur 16 ook het verloop afgebeeld van de S_s -concentratie bepaald via de fysisch/chemische methode ($S_s = \text{CZV}_{\text{inf,mf}} - 0,9 \cdot \text{CZV}_{\text{eff}}$).

Uit de figuur blijkt dat zowel de dynamiek als het niveau van de respirometrisch bepaalde S_S -concentratie vrij goed de fysisch/chemisch bepaalde waarden benadert. Een uitzondering hierop wordt gevonden in een situatie kort na regenweeraanvoer (28 september), hier wijken de waarden van beide methoden sterk af. De respirometrische methode vindt hier zeer hoge waarden voor de S_S -concentraties die drie maal zo groot zijn als de fysisch/chemisch bepaalde waarden.

Volgens recent inzicht heerst twijfel over de juistheid van de bepaling van opgelost CZV via een membraanfiltratie ($0,45 \mu\text{m}$) [7]. Naar verwachting kan een deel van de colloïdaal opgeloste stoffen het membraanfilter passeren. Om uitsluitend het opgeloste CZV te bepalen, moet voorafgaand aan de membraanfiltratie een flocculatie met zinksulfaat worden uitgevoerd [3].

Er is een test uitgevoerd waarbij aan tien monsters voorbezonden afvalwater van de zuivering, zowel met als zonder voorflocculatie, membraan gefiltreerde CZV-bepalingen zijn gedaan. De resultaten van de test zijn weergegeven in bijlage IV. Hieruit blijkt dat voor het voorbezonden afvalwater van de rwzi Nijmegen geen significant verschil bestaat tussen $\text{CZV}_{\text{mf, na flocculatie}}$ en CZV_{mf} . In de literatuur [3] wordt echter melding gemaakt van aanzienlijke verschillen tussen $\text{CZV}_{\text{mf, na flocculatie}}$ en CZV_{mf} . Wellicht is voor het voorbezonden afvalwater van de rwzi Nijmegen geen verschil gevonden omdat er voorprecipitatie van fosfaat plaatsvindt door dosering van ijzer(III)chloride aan het influent van de voorbezinker.

In het voorgaande is de semi-continue respirometrische bepaling van de S_S -concentratie in afvalwater vergeleken met de fysisch/chemische methode. In de respirometrische methode wordt de concentratie snel afbreekbaar substraat gemeten. Bij de fysisch/chemische methode wordt het onderscheid tussen snel en langzaam afbreekbare organische componenten in afvalwater gemaakt op basis van oplosbaarheid. Op dit punt bestaat onduidelijkheid; het is mogelijk dat een deel van de opgeloste componenten langzaam afbreekbaar is. Om te voorkomen dat een toetsing van de semi-continue meetmethode wordt vertroebeld door bovenstaande problematiek is een test gedaan met als kunstmatig influent een acetaatoplossing van bekende concentratie [77 mg CZV/l]. De resultaten van deze proef zijn beschreven in bijlage V. Het blijkt dat de respirometrische berekeningsmethode een S_S -concentratie levert die overeenkomt met de acetaatconcentratie van de toegediende oplossing.

In de theoretische afleiding voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie zoals uiteengezet in bijlage I, wordt rekening gehouden met fluctuaties in het drogestofgehalte van het endogeenslib (vergelijkingen 13 en 14 uit bijlage I). Echter, de respiratiesnelheden voor de drie verschillende belastingssituaties: endogene omstandigheden, laagbelaste en hoogbelaste omstandigheden, worden niet parallel gemeten, maar vanwege de beschikbaarheid van slechts één respiatiemeter, cyclisch na elkaar. Met fluctuaties in het drogestofgehalte die tijdens een volledige cyclus (drie belastingssituaties) optreden, wordt geen rekening gehouden. Met andere woorden, aangenomen wordt dat het drogestofgehalte tijdens een cyclus constant blijft.

Om te controleren of deze aanname gerechtvaardigd is, is de theoretische afleiding uitgebreid met een 'drogestofcorrectie' waardoor ook fluctuaties in het drogestofgehalte binnen een cyclus in rekening worden gebracht. De resultaten van de S_S -berekening zowel met als zonder 'drogestofcorrectie' zijn weergegeven in bijlage VI. Hieruit blijkt dat de gevonden concentraties nauwelijks verschillen. De 'drogestofcorrectie' is daarom overbodig. Dit betekent voor de proefopstelling dat de drogestofmeetsonde niet strikt noodzakelijk is.

3.6 Resultaten van de bepaling van X_S

IAWQ Model #1 onderscheidt twee afbreekbare CZV-componenten in afvalwater: een snel afbreekbare opgeloste fractie S_S en een langzaam afbreekbare fractie X_S . Om na te gaan of deze twee componenten onder DWA omstandigheden in vaste verhouding voorkomen is voor 12 vieruursmonsters de X_S -concentratie bepaald via de fysisch/chemische methode. De

bepalingsmethodiek is conform het STOWA rapport 'Methoden voor influentkarakterisering' [11] en beschreven in paragraaf 2.1.

Zoals in paragraaf 2.1 is vermeld, wordt bij deze methode gewerkt met een aantal gegevens met een lage betrouwbaarheid, namelijk BZV_5 , BZV_{20} en de $Y_{H,BZV}$. Uitgaande van deze meetgegevens wordt een waarde α berekend die niet-opgelost CZV opdeelt in inerte en langzaam afbreekbare organische stof. Uit α en CZV_{tot} en CZV_{mf} wordt uiteindelijk X_S berekend volgens:

$$X_S = \alpha * (CZV_{tot} - CZV_{mf})$$

Tabel 3 geeft de gevonden waarden voor BZV_5 , BZV_{20} en α .

Tabel 3: Verhoudingsgetallen voor fysisch/chemische bepaling van X_S

datum	BZV_5 [mg/l]	BZV_{20} [mg/l]	BZV_5/BZV_{20} [-]	$\alpha_{0,2}$ ($Y_{H,BZV} = 0.2$) [-]	$\alpha_{0,5}$ ($Y_{H,BZV} = 0.5$) [-]
18-09-96 21:30	73			0,20	0,78
20-09-96 00:00	88	99	0,89	0,23	0,90
21-09-96 04:00	89			0,44	0,97
24-09-96 04:00	77			0,78	1,55
26-09-96 08:00	62			0,05	0,55
26-09-96 16:00	46	78	0,59	-0,03	0,38
27-09-96 16:15	23			0,32	0,62
30-09-96 20:00	36	54	0,67	0,55	1,10
2-10-96 00:00	48			0,68	1,29
3-10-96 08:00	100			0,80	1,70
4-10-96 00:00	76	125	0,61	0,10	0,78
4-10-96 16:00	69			0,41	0,94
gemiddeld			0,69	0,38	0,96

In kolom 4 van tabel 3 is de verhouding $BZV_5:BZV_{20}$ gegeven. Deze verhouding is vier maal bepaald en varieert van 0,59 tot 0,89. De gemiddelde waarde bedraagt 0,69. Deze komt overeen met de waarde van 0,68 die in het STOWA onderzoek 'Methoden voor influentkarakterisering' [11] wordt genoemd.

Voor alle monsters waarvan het BZV_5 is bepaald, is bovendien een waarde voor α berekend. De waarde van α is mede afhankelijk van de gekozen waarde voor $Y_{H,BZV}$. In de literatuur worden hiervoor verschillende waarden gegeven: 0,2 [11] en 0,5 [4]. In de kolommen 5 en 6 van de tabel zijn de waarden van α gegeven, berekend met waarden voor $Y_{H,BZV}$ van 0,2 en 0,5 g $CZV_{biomassa}$ /g $CZV_{substraat}$.

In beide gevallen blijkt dat de waarde van α sterk varieert. Ook komt een groot aantal onwaarschijnlijk lage waarden voor en een aantal onmogelijke waarden (groter dan 1, kleiner dan 0). Hieruit kan worden geconcludeerd dat α niet nauwkeurig kan worden bepaald volgens de gehanteerde fysisch/chemische methode. Dit betekent dat X_S bepaald via de fysisch/chemische methode onvoldoende nauwkeurig is om na te gaan of er een vaste verhouding bestaat tussen S_s en X_S in afvalwater.

Op dit moment is het onduidelijk hoe de X_S -concentratie het best kan worden bepaald. Er is sprake van een kennisleemte op dit punt. Bij modelstudies kan worden gewerkt met een constante waarde voor α . Dat wil zeggen met X_S als een constante fractie van het niet-opgelost CZV. α is te gebruiken als kalibratieparameter, hierbij zijn twee werkwijzen mogelijk:

- voor α wordt een vaste waarde gekozen en het model wordt vervolgens gekalibreerd met behulp van de kinetische en stoichiometrische parameters
- het model wordt gekalibreerd met behulp van zowel kinetische en stoichiometrische parameters als α . Vervolgens wordt gewerkt met de vaste waarde voor α die tijdens de kalibratie is gevonden.

De waarde van α bevindt zich waarschijnlijk tussen 0,2 en 0,9. Door de keuze voor een vaste waarde van α wordt een groot aantal CZV- en BZV-bepalingen uitgespaard.

3.7 Samenvatting van de resultaten

- Zowel de zelfbouwopstelling als de RESCUE analyzer hebben tijdens de meetperiode goed gefunctioneerd. De semi-continue methode en de batchmethode zijn via de zelfbouwopstelling goed uitvoerbaar.
- De via de semi-continue methode gevonden S_S -concentratie vertoont dezelfde trend als de S_S -concentratie bepaald via de fysisch/chemische wijze, en ligt ongeveer op hetzelfde niveau. In de situatie gedurende een korte periode na RWA is geen correlatie gevonden tussen de fysisch/chemisch en de respirometrisch bepaalde S_S -concentratie. Het lijkt erop dat deze situatie niet met de respirometrische methode te beschrijven is.
- In bijlage V is een experiment beschreven, waarbij een acetaatoplossing van bekende concentratie als substraat diende voor de semi-continue methode. Dit levert als resultaat een berekende S_S -concentratie die overeenkomt met de werkelijke concentratie van de toegediende oplossing. Hiermee is aangetoond dat de yield voor toepassing in de semi-continue berekening van S_S moet worden bepaald uit een batchrespirogram op basis van het cumulatieve zuurstofverbruik verminderd met het zuurstofverbruik ten gevolge van de vorming en omzetting van reservestoffen.
- De gedurende de meetperiode gevonden waarden voor I_{AQ-Y_H} uit batchrespirogrammen met acetaat als substraat, zijn vrij constant en bedragen 0,80 tot 0,82 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}]. In vergelijking met in de literatuur genoemde waarden voor de microbiologische yield (0,46 tot 0,69 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}]) is dit vrij hoog. De bepaling van S_S is gevoelig voor de waarde van de yield, maar gezien de geringe fluctuaties van de yield voldoet een meetfrequentie van de yield van één keer per week.
- De tijdens het onderzoek gevonden waarden voor de K_S vertonen een grote spreiding en variëren van 0,03 tot 1 [mg CZV/l]. Deze waarden zijn laag in vergelijking met in de literatuur gevonden waarden [1]. De spreiding in de gevonden waarden voor K_S kan worden verkleind door aanpassingen in de proefopzet. Gezien de geringe gevoeligheid van de S_S -bepaling voor de K_S (in de range van 0,03 tot 1 mg CZV/l) is deze aanpassing niet noodzakelijk en voldoet een meetfrequentie van de K_S van één keer per week.
- In dit onderzoek is gebleken dat de X_S -concentratie niet nauwkeurig is te meten volgens de fysisch/chemische methode zoals beschreven in het STOWA rapport 'Methoden voor influentkarakterisering'. Er kan daarom op basis van dit onderzoek niet worden nagegaan hoe de verhouding is tussen de S_S - en de X_S -concentratie in afvalwater.
- Op dit moment is het onduidelijk hoe de X_S -concentratie het best kan worden bepaald. Er is sprake van een kennisleemte op dit punt. Bij modelstudies kan worden gewerkt met een constante waarde voor α . Dat wil zeggen met X_S als een constante fractie van het niet-opgelost CZV; α is te gebruiken als kalibratieparameter.

4 Evaluatie

4.1 Bedrijfszekerheid

De meetopstelling is gedurende 29 % van de meetperiode buiten bedrijf geweest ten gevolge van technische storingen (16 %) en menselijke fouten (13 %) (zie ook tabel 2 uit hoofdstuk 3).

De menselijke fouten kwamen vooral voort uit:

- de complexiteit van de meetopstelling: een grote hoeveelheid aan- en afvoerslangen, snoeren en stekkers;
- het grote aantal testhandelingen dat tijdens het onderzoek is uitgevoerd.

Door de slangen en snoeren goed te coderen en een duidelijk bedieningsvoorschrift op te stellen neemt de kans op fouten aanzienlijk af. In een praktijktoepassing zullen minder tests en minder aanvullende experimenten worden uitgevoerd. Dit leidt ook tot een afname van de kans op fouten. Gedurende de praktijktest is de recirculatiepomp van de respiratiemeter het meest gevoelige deel van de meetopstelling gebleken. Deze pomp bewerkstelligt de menging in het respiratiemeetvat en maakt onderdeel uit van de Manotherm RA1000 respiratiemeter. De recirculatiepomp is tijdens de meetperiode een keer vastgelopen, waarna de pomp moest worden vervangen. De meetopstelling is hierdoor gedurende 12 % van de tijd buiten bedrijf geweest. In een voorkomend geval kan de recirculatiepomp op eenvoudige wijze worden vervangen; de levertijd van een nieuwe pomp bedraagt circa één etmaal. De overige technische storingen, te weten stroomuitval bij de rwzi en het uitvallen van een meer dan vijftien jaar oude slangenpomp, zijn van ondergeschikt belang bij het beoordelen van de bedrijfszekerheid van de meetopstelling.

Dagelijkse controle van het functioneren van de meetopstelling voorkomt dat bij uitvallen van onderdelen veel tijd verloren gaat. Uitgaande van een regulier meetprogramma, een goede codering van slangen, snoeren en stekkers en een duidelijk bedieningsvoorschrift kan met de beschreven meetopstelling tot meer dan 95% effectieve meettijd worden behaald.

4.2 Nauwkeurigheid

Vergelijking van de resultaten van de fysisch/chemische S_S -bepaling met de respirometrische bepaling laat zien dat de bepaalde S_S -concentraties dezelfde dynamiek vertonen en op vrijwel hetzelfde niveau liggen (zie figuur 16).

In de periode na RWA op 28 oktober komen de S_S -concentraties, bepaald volgens de respirometrische methode en de fysisch/chemische methode, totaal niet met elkaar overeen. Het lijkt erop dat deze situatie niet met de respirometrische methode is te beschrijven.

De nauwkeurigheid van de respirometrische methode wordt om twee redenen hoger geacht dan de nauwkeurigheid van de fysisch/chemische methode.

1. IAWQ Model #1 onderscheidt CZV-componenten naar biochemische eigenschappen: biomassa, snel afbreekbaar substraat, langzaam afbreekbaar substraat, inerte organische verbindingen. Ook is voor alle CZV-componenten, met uitzondering van X_S , aangegeven dat ze in opgeloste vorm (S_i , S_s) of in niet-opgeloste vorm (X_{BH} , X_{BA} , X_i , X_P) voorkomen. Via fysische scheidingsmethodes kunnen de fracties opgelost, colloïdaal opgelost en niet-opgelost CZV worden onderscheiden. Om van een fractieverdeling naar een verdeling in afbreekbaarheid te komen, worden min of meer arbitraire aannames gedaan over de afbreekbaarheid van iedere fractie. Bij de respirometrische karakterisering daarentegen wordt daadwerkelijk onderscheid gemaakt tussen snel en langzaam afbreekbaar substraat [11,13,14].

2. De nauwkeurigheid van de fysisch/chemische methode wordt beïnvloed door de methode van monsternamen, opslag en transport van monsters.

4.3 Kostenvergelijking

Hieronder worden de kosten van de respirometrische semi-continue methode vergeleken met de kosten van de fysisch/chemische methode. Er wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds de noodzakelijke metingen ten behoeve van de uitvoering en anderzijds investerings- en afschrijvingskosten. Het gaat om een grove vergelijking. Verschillende kostenposten zijn situatie-afhankelijk.

Er wordt een vergelijking gemaakt voor een meetperiode van 21 dagen. Deze periode kan als gebruikelijk worden beschouwd voor wat complexere simulatiestudies.

Metingen

Het benodigde aantal metingen voor het bedrijven van de semi-continue meetopstelling is gegeven in tabel 4. De tabel geeft het benodigde aantal metingen voor een respirometrische bepaling van de influent S_5 -concentratie uitgaande van een meetperiode met een effectieve duur van 21 dagen.

Tabel 4: Inspanning bij respirometrische influentkarakterisering.

	aantal keren	metingen/keer	totaal metingen
meetopstelling bouwen ¹⁾	1	8	8
dagelijkse controle	20	0.5	10
batchexperimenten	3	6	18
ijken onderdelen meetopstelling	3	2	6
meetopstelling verwijderen	1	4	4
totaal			46

¹⁾ Hierbij is uitgegaan van beschikbaarheid van de onderdelen van de meetopstelling op locatie.

Een fysisch/chemische bepaling van de S_5 -concentratie met dezelfde meetfrequentie als de semi-continue respirometrische methode is vanuit praktisch oogpunt niet haalbaar. In de praktijk wordt daarom ten behoeve van modelleringsstudies veelal met vieruursmengmonsters van het influent en met zesuursmengmonsters van het effluent gewerkt. Hierbij worden de in- en effluentgehalten CZV_{mf} en het effluentgehalte BZV bepaald. Om de kosten van het analyseprogramma te beperken, wordt daarbij het effluentgehalte BZV vaak slechts één maal per dag bepaald. Ook bij deze aanmerkelijk lagere meetfrequentie is fysisch/chemische bepaling van de S_5 -concentratie zeer arbeidsintensief (zie tabel 5).

Tabel 5: Inspanning bij fysisch/chemische influentkarakterisering.

	aantal keren	metingen/keer	totaal metingen
monsternamen-apparaten plaatsen	1	2	2
dagelijks legen, monsters vervoeren	21	2 ¹⁾	42
membraanfiltratie	210	5/60	18
CZV-bepalingen	420	4/60	28
BZV-bepalingen	42	4/60	3
monsternamen-apparaten verwijderen	1	2	2
totaal			95

¹⁾ Situatie afhankelijk

De tabel geeft het benodigd aantal metingen voor een fysisch/chemische bepaling van de influent S_s -concentratie op basis van vieruursinfluents monsters en zesuurseffluent monsters. In influent en effluent wordt het gehalte CZV_{mf} (in duplo) bepaald. In het effluent wordt bovendien dagelijks een BZV bepaling (duplo) uitgevoerd.

Materiaalkosten

De nieuwwaarde van de respirometer bedraagt circa hfl. 60.000,-. De nieuwwaarde van de overige onderdelen van de meetopstelling, inclusief aanvoerpompen van afvalwater en retourslib bedraagt circa hfl. 30.000,-. Tabel 6 geeft (uitgaande van een effectieve meetperiode van 21 dagen) een kostenberekening voor de aanschaf en huur van materialen benodigd voor de semi-continue methode. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de respirometer voor de periode van 1 maand wordt gehuurd, tegen een tarief van hfl. 1500,- per maand en dat de overige apparatuur wordt aangeschaft. De afschrijving van de aangeschafte apparatuur wordt berekend over een periode van 10 jaar. Eventueel kan parallel een aantal CZV bepalingen worden uitgevoerd ter controle van het meetresultaat.

De kosten van het fysisch/chemisch bepalen van S_s , voor een meetprogramma zoals aangegeven in tabel 5, worden bepaald door het chemicaliënverbruik en de gehanteerde laboratoriumtarieven. In tabel 6 geldt als uitgangspunt voor de kostenberekening van het fysisch/chemisch bepalen van S_s een 'all in' tarief (inclusief metingen) van hfl. 30,- per CZV- en BZV-bepaling.

Tabel 6: Kostenberekening

Kostenposten voor de respirometrische influentkarakterisering	Nieuwwaarde (hfl.)	Berekeningswijze	Kosten
huur respirometer (1 maand)	ca. 60.000,-	1 maand huur = 1500,-	1500,-
overige materialen	ca. 30.000,-	afschrijving over 10 jaar (520 weken), 4 weken gebruik	230,-
ATU		meetperiode 3 weken	150,-
arbeidskosten (= metingen * uurtarief technoloog)		46 uur * 120 hfl./uur	5520,-
Totale kosten van de respirometrische methode			7400,-
Kostenposten voor de fysisch/chemische influentkarakterisering	All in tarief per bepaling (hfl.)	Berekeningswijze	Kosten
CZV-bepalingen	30,-	420 * 30 = 12600,-	12600,-
BZV-bepalingen	30,-	42 * 30 = 1260,-	1260,-
Totale kosten van de fysisch/chemische methode			13860,-

Voor een meetperiode van 21 dagen bedragen de kosten voor de respirometrische bepaling van de influent S_s -concentratie ongeveer hfl. 7400,-. Voor de fysisch/chemische methode zijn de kosten ongeveer hfl. 13.900,-. De meetfrequentie is in dit geval echter één meetwaarde per 4 uur en daarmee 12 maal zo laag als bij de respirometrische methode.

4.4 Meerwaarde

De voordelen van de respirometrische methode ten opzichte van de fysisch/chemische zijn:

- hogere meetfrequentie;
- hoger geachte nauwkeurigheid;
- lagere kosten per meetprogramma.

Een bijkomend voordeel van de respirometrische methode is dat in geval van acute toxiciteit van het bemeten afvalwater, de gemeten respiratiesnelheden afnemen naar 0 mg O₂/l.h. Dit betekent weliswaar dat de S_S-concentratie niet langer kan worden bepaald, maar geeft tegelijkertijd aan dat het bemeten afvalwater toxisch is voor het actiefslib. Dit heeft als consequentie dat het betreffende deel van de dataset niet mag worden toegepast voor de kalibratie van een IAWQ #1 simulatiemodel. Het IAWQ Model #1 beschrijft immers het verschijnsel toxiciteit niet.

Bij een influentkarakterisering volgens de fysisch/chemische methode is toxiciteit niet herkenbaar. Dit kan leiden tot verkeerde uitvoering van simulatiestudies.

De nadelen van de respirometrische methode ten opzichte van de fysisch/chemische zijn:

- hogere investeringskosten;
- het hoger kennisniveau noodzakelijk bij de uitvoering van karakterisering.
De uitvoering van de respirometrische methode zal met name tijd kosten van een technoloog.
De fysisch/chemische methode vereist vooral een inspanning van laboratoriumpersoneel en de beschikbaarheid van voldoende laboratoriumcapaciteit.

De keuze tussen respirometrische of fysisch/chemische bepaling van de S_S-concentratie is situatieafhankelijk. Deze afweging wordt met name bepaald door de beoogde toepassing van het simulatiemodel en van de karakteristieken van het te modelleren zuiveringsproces.

De beoogde toepassing van een simulatiemodel is bepalend voor de gewenste nauwkeurigheid van de modelkalibratie en is daarmee mede bepalend voor de noodzakelijke meetfrequentie en de vereiste nauwkeurigheid van de toegepaste meetmethode voor de S_S-concentratie.

De vereiste meetfrequentie wordt bovendien bepaald door de mate van dynamiek in de influent S_S-concentratie en het effect van deze dynamiek op de dynamiek in de zuiveringsinstallatie. Het gaat hierbij vooral om het effect op de korte-termijndynamiek in het zuurstofgehalte in het beluchtingsbassin. Deze korte-termijndynamiek in het zuurstofgehalte wordt niet alleen bepaald door de dynamiek in de S_S-concentratie, maar wordt mede bepaald door de dynamiek in de aanvoer van NH₄-N, de configuratie van het beluchtingsbassin en door de beluchtingsregeling.

In het algemeen wordt een hoogfrequente bepaling van de influent S_S-concentratie interessanter voor het modelleren van zuiveringsinstallaties naarmate meer van de volgende factoren spelen:

- propstroomconfiguratie
- hoogbelaste installatie
- sterk wisselende influentsamenstelling
- toxische lozingen
- voordennitrificatie van nitraathoudend retourslib (in verband met het bepalen van de verhoudingsfactor retourslib/influent in de voordennitrificatieruimte)

Daartegenover wordt een hoogfrequente meting van de S_S-concentratie minder interessant voor modelleringstoepassingen naarmate meer van de volgende factoren spelen:

- omloopsysteem (afvlakking van de dynamiek)
- laagbelaste installatie
- constante influentsamenstelling (geen batchgewijze industriële lozingen, gescheiden rioolstelsel)

4.5 Randvoorwaarden

De toepasbaarheid van de semi-continue methode is afhankelijk van het type actiefslibinstallatie, het type afvalwater en het type actiefslib. Verder worden eisen gesteld aan het type respirometer en aan het simulatiemodel waarvoor de S_S-concentratie wordt bepaald.

Actiefslibinstallaties

De methode is geschikt voor alle actiefslibsinstallaties

- die niet specifiek worden gestuurd op biologische defosfatering

De semi-continue respirometrische methode is gebaseerd op IAWQ Model #1. Dit model beschrijft alleen CZV- en N-verwijdering. Dit betekent dat de methode niet geldig is voor installaties waarin andere biochemische omzettingen plaatsvinden dan beschreven in IAWQ Model #1, zoals biologische defosfatering.

- waar slib en afvalwater voldoen aan de hieronder vermelde voorwaarden.

Afvalwater

De methode is geschikt voor alle soorten afvalwater

- waarin geen grove delen aanwezig zijn

Dit in verband met mogelijke verstopping van pompslangen. Aanvoer van grove delen kan worden voorkomen door influent aan te zuigen via een korf. Niet-voorbezonden afvalwater zal over het algemeen geen problemen geven, wel is in dat geval de dagelijkse controle ter voorkoming van verstoppingen van aanvoerleidingen van belang.

- waarin geen remmende of toxische stoffen voorkomen

In geval van een toxische lozing neemt de respiratiesnelheid acuut af en worden geen betrouwbare waarden voor de S_5 -concentratie meer gevonden.

Bij S_5 -concentraties lager dan circa 15 mg CZV/l neemt de nauwkeurigheid van de methodiek af. Voor modelleringsdoeleinden hoeft dit overigens geen probleem te zijn, omdat de S_5 -concentratie bij lage concentraties ook van minder belang is.

Actiefslib

De methode is geschikt voor actiefslib:

- dat slechts in geringe mate in staat is tot vorming van reservestoffen

Vorming van reservestoffen bemoeilijkt de respirometrische bepaling van de heterotrofe yield (Y_H). Bovendien neemt de batch-meting voor de bepaling van de yield meer tijd in beslag (zie paragraaf 2.2.3), hetgeen ten koste gaat van de semi-continue S_5 -bepaling. Opslag van reservestoffen is vooral te verwachten bij slib dat goed biologisch defosfateert. Mogelijk is slib uit propstroomreactoren beter in staat tot opslag van reservestoffen dan slib uit omloopreactoren [12]. Gedurende het praktijkonderzoek bij de rwzi Nijmegen (propstroomreactoren) bleek echter nauwelijks verstoring van de yieldbepaling plaats te vinden.

- dat geen grove delen bevat

Dit in verband met gevaar van verstopping van pompslangen. Aanvoer van grove delen kan worden voorkomen door slib aan te zuigen via een korf.

Respiratiemeter

Er worden verschillende types respiratiemeters op de markt aangeboden. Een respiratiemeter is geschikt voor toepassing van de beschreven methodiek als de meter continu kan worden gevoed met een slib/afvalwatermengsel en de respiratiesnelheid met een frequentie van 1 meetwaarde per minuut kan worden gemeten en geregistreerd.

Simulatiemodel

De beschreven methodiek is specifiek ontwikkeld voor de bepaling van de S_5 -concentratie zoals dit is gedefinieerd in IAWQ Model #1. De gevonden tijdreeksen voor de S_5 -concentratie kunnen alleen worden toegepast als input voor simulatiemodellen gebaseerd op het IAWQ Model #1.

5 Conclusies

- Methodiek

Er is een respirometrische methodiek ontwikkeld en getest waarmee hoogfrequent de S_S -concentratie in afvalwater bepaald kan worden. De methodiek is gebaseerd op IAWQ Model#1 en combineert batchrespiratiemetingen (t.b.v. de bepaling van de heterotrofe yield Y_H en de halfwaardecoëfficiënt K_S) met een semi-continu bedrijf van de respiatiemeter (t.b.v. de S_S -bepaling). De methodiek is praktisch goed uitvoerbaar en levert bruikbare resultaten voor Y_H , K_S en S_S .

- Parameters

De waarde bepaald voor Y_H is vrij constant en bedraagt in dit specifieke geval 0,80 tot 0,82 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}]. De gevonden waarden voor K_S vertonen een grote spreiding, ze variëren tussen 0,03 en 1 [mg CZV/l].

De semi-continue methode voor bepaling van de S_S -concentratie is zeer gevoelig voor de waarde van Y_H en in geringe mate voor de waarde van K_S . Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses en de gevonden spreiding in de waarden voor Y_H en K_S is geconcludeerd dat een meetfrequentie van één keer per week voor beide parameters volstaat.

- S_S -concentratie

De respirometrisch gevonden S_S -concentratie vertoont dezelfde dynamiek als de op fysisch/chemische wijze bepaalde S_S -concentratie en ligt ongeveer op hetzelfde niveau. Gedurende een korte periode na RWA is echter geen correlatie gevonden tussen de S_S -concentraties bepaald via de semi-continue methode en de fysisch/chemische karakterisering. Het lijkt erop dat deze situatie niet met de respirometrische methode is te beschrijven.

- X_S -concentratie

In dit onderzoek is gebleken dat de X_S -concentratie niet nauwkeurig kan worden gemeten volgens de fysisch/chemische methode zoals beschreven in het STOWA rapport 'Methoden voor influentkarakterisering'. Daarom is op basis van voorliggend onderzoek niet na te gaan of de verhouding $S_S:X_S$ in afvalwater constant kan worden verondersteld. Op dit moment is onduidelijk hoe de X_S -concentratie het best kan worden bepaald. Er is sprake van een kennisleemte op dit punt. Bij modelstudies kan worden gewerkt met X_S als een constante fractie van het niet-opgelost CZV.

- Respirometrisch versus fysisch/chemisch

De semi-continue methode levert met een hogere frequentie waarden voor S_S -concentratie dan mogelijk is op fysisch/chemische wijze. Bij de semi-continue methode wordt praktisch instantaan de S_S -concentratie bepaald van vers afvalwater. Dit in tegenstelling tot de fysisch/chemische methode waarbij afbraak of vervluchtiging van S_S in de tijdsduur tussen bemonstering en analyse kan plaatsvinden. Het onderscheid tussen snel en langzaam afbreekbare organische componenten in afvalwater wordt in de fysisch/chemische methode gemaakt op basis van oplosbaarheid, terwijl dit in de respirometrische methode op biologische gronden gebeurt.

Uit een kostenvergelijking (chemicaliënverbruik, apparatuur en mensuren) voor een meetperiode van drie weken blijkt dat de respirometrische bepaling van de S_S -concentratie aanzienlijk goedkoper uitvalt dan de fysisch/chemisch methode. De respiratiemeting vergt praktisch geen laboratoriumcapaciteit, maar vraagt voor de uitvoering wel de begeleiding van een hoog opgeleide technoloog.

- Randvoorwaarden

De semi-continue respirometrische methode is toepasbaar voor de hoogfrequente bepaling van de influent S_S -concentratie ten behoeve van simulatiestudies met IAWQ Model#1. De methode is voornamelijk niet toepasbaar voor influentkarakterisering van installaties die worden gestuurd op biologische defosfatering. In geval van een toxische lozing in het afvalwater neemt de respiratiesnelheid acuut af. De methode is daardoor in staat lozing van toxische stoffen te signaleren, maar kan in deze situatie niet de S_S -concentratie bepalen.

- Bedrijfszekerheid

De semi-continue meetopstelling kan op eenvoudige wijze door een technoloog worden gebouwd en bedreven. Een duidelijk bedieningsvoorschrift en codering van procesonderdelen, snoeren en slangen vermindert de kans op menselijke fouten. Een effectieve meettijd groter dan 95 % is dan haalbaar.

- Keuze

De keuze tussen respirometrische of fysisch/chemische bepaling van de S_S -concentratie is situatieafhankelijk. Deze afweging wordt met name bepaald door de beoogde toepassing van het simulatiemodel en van de karakteristieken van het te modelleren zuiveringsproces.

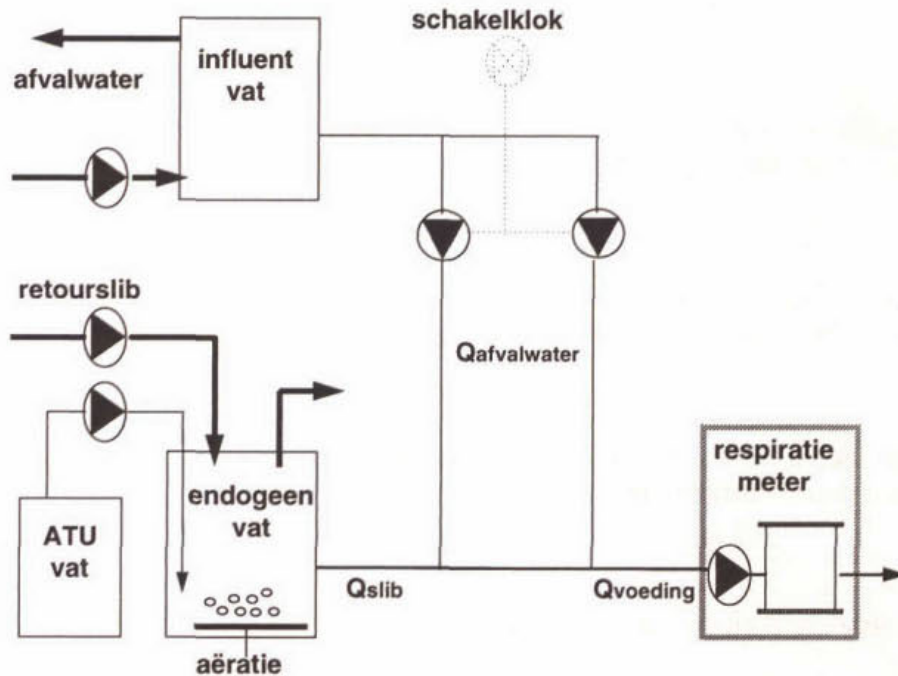
6 Literatuur

- [1] Henze, M., C.P.L. Grady, W. Gujer, G. Marais and T. Matsuo (1986), Activated Sludge Model No. 1, IAWPRC Scientific and Technological reports, No. 1, IAWPRC, London, ISSN 1010-707X.
- [2] Klapwijk, A. (1995) Respirometrie. Landbouw Universiteit Wageningen. Stichting Postacademisch Onderwijs: Regelen en besturen van actief-slib installaties.
- [3] Lesouef, A., M. Payraudeau, F. Rogalla, B. Kleiber. (1992). Optimizing nitrogen removal reactor configurations by on-site calibration of the IAWPRC activated sludge model, Wat. Sci. Tech., 25(6), 105-124.
- [4] Loosdrecht, M. van, Ter Discussie, opgenomen in de Modelkrant jaargang 2, februari 1996, nr. 1. Uitgave van de Technische Commissie Modelleren Zuiveringsprocessen.
- [5] Loosdrecht, M. van, Ter Discussie, opgenomen in de Modelkrant jaargang 2, oktober 1996, nr. 3. Uitgave van de Technische Commissie Modelleren Zuiveringsprocessen.
- [6] Patry, G.G. and D. Chapman (eds.). (1989). Dynamic modeling and expert systems in wastewater engineering. Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan, USA.
- [7] R. Schemen, USHN en P. Versteeg, HH van Rijnland. Mondelinge mededeling begeleidingscommissie d.d. 16 oktober 1996.
- [8] Spanjers, H. (1993), Respirometry in Activated Sludge, Ph.D. Thesis, Landbouw Universiteit Wageningen, Wageningen
- [9] Spanjers, H. en Vanrolleghem, P. (1995). Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge. Wat. Sci. Tech., Vol. 31, No. 2, 105-114.
- [10] STOWA (1995), Modelleren van actiefslibsystemen - Keuze van model en programmatuur, nr. 95-01.
- [11] STOWA (1996), Methoden voor influentkarakterisering - inventarisatie en richtlijnen, nr. 96-08.
- [12] Vanrolleghem, P.A. en F. Coen. (1995). Bepaling van biokinetische karakteristieken. Symposiumbundel NVA Symposium "Modelleren van actiefslib-processen: Ervaringen, Ontwikkelingen en Valkuilen". Uitgave van de Technische Commissie Modelleren Zuiveringsprocessen.
- [13] Witteborg A.S.M., R.A. Hamming & M. Wetterauw, Modelling of a Full Scale Wastewater Treatment Plant - A Case Study, Eighth Forum for Applied Biotechnology, 28-30 september 1994, Proceedings Part I, Med.Fac.Landbouw.Univ.Gent 59/4a, 1994.
- [14] Witteborg A., A. van der Last, R. Hamming, and I. Hemmers (1996), Respirometry for Determination of the Influent S_s -Concentration, Wat. Sci. Tech. Vol. 33, No.1, 311-323.

ATU	=	allylthiourem
BZV ₅	=	BZV na 5 dagen [mg/l]
BZV ₂₀	=	BZV na 20 dagen [mg/l]
CZV _{acetaat}	=	CZV van acetaat bij volledige oxidatie [mg/l]
CZV _{mf}	=	CZV gehalte na membraanfiltratie (0,45 µm)
CZV _{tot}	=	CZV gehalte (totaal = opgeloste en niet-opgeloste componenten)
IAWQ	=	International Association on Water Quality
K _h	=	maximale specifieke hydrolysesnelheid [g substraat CZV/g biomassa CZV.h]
K _S	=	halfwaardeconstante voor S _S bij heterotrofe biomassagroei [mg CZV/l]
K _{OH}	=	halfwaardeconstante in Monodterm voor overgang van aerobe groei naar denitrificatie voor heterotrofe biomassa [mg CZV/l]
K _{NH}	=	halfwaardeconstante in Monodterm voor overgang van S _{NH} naar S _{NO} als stikstofbron bij de groei van heterotrofe biomassa [mg N/l]
K _{NO}	=	halfwaardeconstante in Monodterm voor nitraatlimitatie bij denitrificatie door heterotrofe biomassa [mg N/l]
K _X	=	halfwaardeconstante voor hydrolyse van langzaam afbreekbaar organisch substraat [g substraat CZV/g biomassa CZV]
OUR _{ex}	=	exogene zuurstofverbruikssnelheid (= OUR verminderd met de respiratiesnelheden voor endogene ademhaling en eventuele nitrificatie) [mg O ₂ /l.h]
Q _{slib}	=	slibdebiet naar de respirometer in de semi-continue S _S -bepaling [l/h]
Q _{water}	=	afvalwaterdebiet naar de respirometer in de semi-continue bepaling S _S [l/h]
Q _{voeding}	=	totaal debiet naar de respirometer in de semi-continue S _S -bepaling [l/h]
r	=	respiratiesnelheid [mg O ₂ /l.h]
S _i	=	inerte opgeloste organische stof [mg CZV/l]
S _{ND}	=	opgeloste organisch gebonden stikstof [mg N/l]
S _{NH}	=	ammonium stikstof [mg N/l]
S _{NO}	=	nitraat en nitriet stikstof [mg N/l]
S _O	=	zuurstof [mg CZV/l]
S _S	=	opgeloste snel afbreekbare organische stof [mg CZV/l]
V	=	volume [l]
X _{BA}	=	autotrofe biomassa [mg CZV/l]
X _{BH}	=	heterotrofe biomassa [mg CZV/l]
X _i	=	inerte niet opgeloste organische stof [mg CZV/l]
X _{ND}	=	niet opgeloste organisch gebonden stikstof [mg N/l]
X _P	=	inerte niet-opgeloste organische stof afkomstig van afgestorven biomassa [mg CZV/l]
X _S	=	langzaam afbreekbare niet-opgeloste organische stof [mg CZV/l]
Y _A	=	yield van autotrofe biomassa [mg biomassa/mg substraat]
Y _H	=	yield van heterotrofe biomassa [mg biomassa/mg substraat]
Y _{H,BZV}	=	yield van heterotrofe biomassa tijdens BZV-labanalyse [mg biomassa/mg substraat]
η _h	=	factor voor afname hydrolysesnelheid onder anoxische condities [-]
μ _A	=	groeiconstante van autotrofe biomassa [d ⁻¹]
μ _H	=	groeiconstante van heterotrofe biomassa [d ⁻¹]
ρ _{hydr}	=	hydrolysesnelheid [mg/l.d]

Bijlage I: Semi-continu meetprincipe

De theoretische afleiding voor de influent S_s -berekening is gebaseerd op de experimentele respiratie-opstelling zoals hieronder weergegeven in figuur 17. Voor informatie betreffende het meetprincipe en de werking van de respiatiemeter wordt verwezen naar de literatuur [10].



Figuur 17: Meetopstelling voor de semi-continue bepaling van de influent S_s -concentratie

Door een praktische beperking/randvoorwaarde aan de meetopstelling is het debiet van de voedingspomp ($Q_{voeding}$) vast; hierdoor hangt Q_{slib} af van de keuze van Q_{water} (variabel pompdebiet).

In het IAWQ Model#1 wordt het zuurstofverbruik (respiratie) beschreven als de resultante van twee processen, namelijk autotrofe groei (nitrificatie) en heterotrofe groei. In de praktijk kan het autotrofe deel van de respiratie gescheiden worden van het heterotrofe deel, door ATU te doseren aan het endogeen vat. Hierdoor wordt nitrificatie geremd.

Voor een meting van de respiratiesnelheid kan een massabalans voor S_s opgesteld worden over de respiatiemeter, waarbij de respiratiesnelheid r geschreven wordt in IAWQ Model#1 terminologie (de relevante vergelijking uit de Model#1 matrix). Voor een verklaring van de gebruikte symbolen wordt verwezen naar de lijst van afkortingen in hoofdstuk 7 van dit rapport.

De respiratiesnelheid uitsluitend ten gevolge van heterotrofe groei is, in IAWQ#1 notatie:

$$r = \frac{1 - Y_H}{Y_H} * \mu_H * \frac{S_s}{K_s + S_s} * \frac{S_o}{K_{OH} + S_o} * X_{BH} \quad (1)$$

De eerste belangrijke aanname is dat tijdens alle beoogde metingen van de respiratiesnelheid, de omstandigheden zo kunnen worden gekozen dat geldt:

$$\frac{S_o}{K_{OH} + S_o} \approx 1 \quad (2)$$

ofwel, de anoxische groei in de respiatiemeter is verwaarloosbaar.

De respiratiesnelheid wordt bepaald voor drie verschillende situaties: endogene omstandigheden (superscript ^{end}), laagbelaste situatie (superscript ^{laag}) en hoogbelaste omstandigheden (superscript ^{hoog}). Omdat er slechts beschikt kan worden over één respiatiemeter, moeten deze drie verschillende respiratiesnelheden cyclisch gemeten worden door het afvalwaterdebiet periodiek te veranderen. Vanwege de praktische beperking hierboven genoemd (vast debiet van de voedingspomp, zie figuur 17) is het volgende verband altijd geldig:

$$Q_{slib}^{end} = Q_{slib}^{laag} + Q_{water}^{laag} = Q_{slib}^{hoog} + Q_{water}^{hoog} = Q_{voeding} \quad (3)$$

Eerst wordt gekeken naar een respiatiemeting voor de endogene situatie (geen afvalwatertoevoer naar de respiatiemeter $Q_{water}=0$). In 'steady state' geldt voor de massabalans van snel biologisch afbreekbaar substraat (S_s) over de respiatiemeter:

$$Q_{slib}^{end} * (S_{S,slib} - S_s^{end}) - V * \left(\frac{r^{end}}{1 - Y_H} \right) + V * \rho_{hydr}^{end} = 0 \quad (4)$$

Aangenomen wordt dat onder werkelijk endogene steady state condities, de uitgaande S_s -concentratie gelijk is aan de ingaande S_s -concentratie:

$$S_s^{end} \approx S_{S,slib} \quad (5)$$

Dit betekent dat in deze situatie zuurstofopname alleen wordt veroorzaakt door groei op S_s geproduceerd door hydrolyse. Dan geldt:

$$\rho_{hydr}^{end} = \frac{r^{end}}{1 - Y_H} \quad (6)$$

Voor de steady state situatie tijdens laagbelaste omstandigheden geldt voor de massabalans voor S_s :

$$Q_{slib}^{laag} * S_{S,slib} + Q_{water}^{laag} * S_{S,water} - Q_{voeding} * S_s^{laag} - V * \left(\frac{r^{laag}}{1 - Y_H} \right) + V * \rho_{hydr}^{laag} = 0 \quad (7)$$

En analoog, voor hoogbelaste omstandigheden:

$$Q_{slib}^{hoog} * S_{S,slib} + Q_{water}^{hoog} * S_{S,water} - Q_{voeding} * S_s^{hoog} - V * \left(\frac{r^{hoog}}{1 - Y_H} \right) + V * \rho_{hydr}^{hoog} = 0 \quad (8)$$

In het IAWQ Model#1 wordt hydrolyse beschreven als:

$$\rho_{hydr} = k_h * \frac{X_s / X_{BH}}{K_X + X_s / X_{BH}} * \left[\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} + \eta_h * \frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} * \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right] * X_{BH} \quad (9)$$

met vergelijking (2) wordt dit:

$$\rho_{hydr} = k_h * \frac{1}{K_X * X_{BH} / X_s + 1} * X_{BH} \quad (10)$$

Uit voorgaand kalibratie-onderzoek van het model van de zuivering was geconcludeerd dat:

$$K_X * X_{BH} / X_s \ll 1 \quad (11)$$

zodat geldt:

$$\rho_{hydr} \approx k_h * X_{BH} \quad (12)$$

Aangenomen wordt dat de X_{BH} -concentratie in de respiatiemeter volledig bepaald wordt door de hoeveelheid in het endogene slib (ofwel, de X_{BH} -concentratie in het voorbezonden afvalwater is te verwaarlozen ten opzichte van de hoeveelheid in het slib, en groei en afsterving hebben een verwaarloosbaar effect op de X_{BH} -concentratie in het respiatievat). Dan geldt:

$$X_{BH}^{laag} \approx \frac{Q_{slib}^{laag}}{Q_{voeding}} * X_{BH}^{end} \quad (13)$$

en

$$X_{BH}^{hoog} \approx \frac{Q_{slib}^{hoog}}{Q_{voeding}} * X_{BH}^{end} \quad (14)$$

Combinatie van vergelijkingen (12), (13), (14) en (6) levert:

$$\rho_{hydr}^{laag} = \frac{Q_{slib}^{laag}}{Q_{voeding}} * \rho_{hydr}^{end} = \frac{Q_{slib}^{laag}}{Q_{voeding}} * \frac{r^{end}}{1 - Y_H} \quad (15)$$

en

$$\rho_{hydr}^{hoog} = \frac{Q_{slib}^{hoog}}{Q_{voeding}} * \rho_{hydr}^{end} = \frac{Q_{slib}^{hoog}}{Q_{voeding}} * \frac{r^{end}}{1 - Y_H} \quad (16)$$

Als vergelijkingen (15) en (16) gesubstitueerd worden in respectievelijk vergelijkingen (7) en (8), geeft dit

$$Q_{slib}^{laag} * S_{S,slib} + Q_{water}^{laag} * S_{S,water} - Q_{voeding}^{laag} * S_S^{laag} - \frac{V}{1 - Y_H} * \left(r^{laag} - \frac{Q_{slib}^{laag}}{Q_{voeding}} * r^{end} \right) = 0 \quad (17)$$

en

$$Q_{slib}^{hoog} * S_{S,slib} + Q_{water}^{hoog} * S_{S,water} - Q_{voeding}^{hoog} * S_S^{hoog} - \frac{V}{1 - Y_H} * \left(r^{hoog} - \frac{Q_{slib}^{hoog}}{Q_{voeding}} * r^{end} \right) = 0 \quad (18)$$

Nu worden de respiratiesnelheden beschouwd. Als vergelijkingen (1) en (2) worden toegepast voor de verschillende omstandigheden, worden drie vergelijkingen verkregen:

$$r^{end} = \frac{1 - Y_H}{Y_H} * \mu_H * \frac{S_S^{end}}{K_S + S_S^{end}} * X_{BH}^{end} \quad (19)$$

en

$$r^{laag} = \frac{1 - Y_H}{Y_H} * \mu_H * \frac{S_S^{laag}}{K_S + S_S^{laag}} * X_{BH}^{laag} \quad (20)$$

en

$$r^{hoog} = \frac{1 - Y_H}{Y_H} * \mu_H * \frac{S_S^{hoog}}{K_S + S_S^{hoog}} * X_{BH}^{hoog} \quad (21)$$

Als vergelijking (19) wordt gesubstitueerd in vergelijkingen (20) en (21) en ook vergelijkingen (13) en (14) worden gebruikt, levert dit:

$$r^{laag} = r^{end} * \frac{K_S + S_S^{end}}{S_S^{end}} * \frac{S_S^{laag}}{K_S + S_S^{laag}} * \frac{Q_{slib}^{laag}}{Q_{voeding}} \quad (22)$$

en

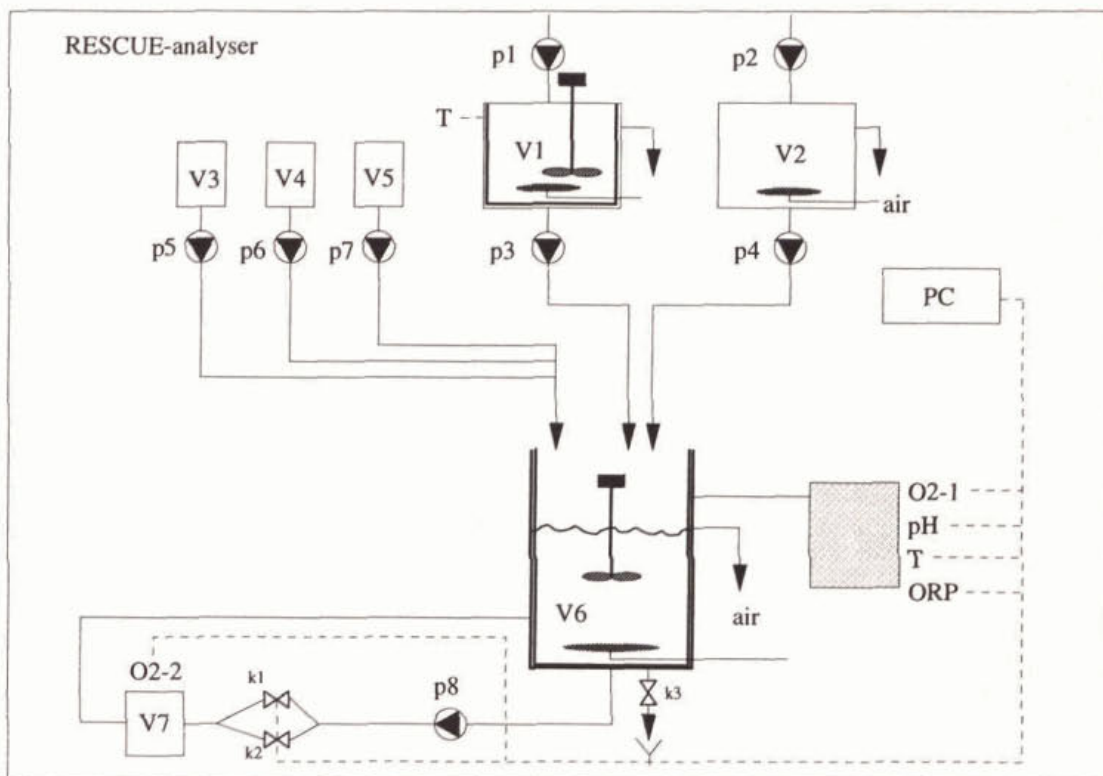
$$r^{hoog} = r^{end} * \frac{K_S + S_S^{end}}{S_S^{end}} * \frac{S_S^{hoog}}{K_S + S_S^{hoog}} * \frac{Q_{slib}^{hoog}}{Q_{voeding}} \quad (23)$$

Uit metingen van de respiratiesnelheden tijdens drie verschillende omstandigheden is een stelsel van vier vergelijkingen (vergelijkingen (17), (18), (22) en (23)) af te leiden met zes onbekende grootheden: de S_S -concentratie van het afvalwater, de S_S -concentratie in de respiatiemeter voor de drie verschillende situaties en de IAWQ-parameters Y_H en K_S .

Als waarden voor deze parameters bekend zijn resulteert dit in een stelsel van vier vergelijkingen met vier onbekende grootheden waaronder de S_S -concentratie van het afvalwater. Hoewel dit stelsel vergelijkingen algebraïsch niet eenvoudig op te lossen is, kan het numeriek met behulp van computer software worden opgelost.

Bijlage II: Achtergronden batch-respirometrie

Separaat aan het onderzoek met de semi-continue respiratie-opstelling is in Nijmegen ook gebruik gemaakt van de RESCUE-analyzer. De RESCUE-analyzer (ontwikkeld in het kader van een SENTER onderzoek) is met name ingezet voor het periodiek meten van Y_H en K_S van acetaat. Daarbij is een aantal andere metingen uitgevoerd, die geen onderdeel van de STOWA rapportage vormen. In deze bijlage volgt een korte beschrijving van de RESCUE-analyzer en van de overige experimenten die hiermee in Nijmegen zijn uitgevoerd en waarover elders gerapporteerd zal worden. Figuur 18 geeft een schematische weergave van de RESCUE-analyzer.



Figuur 18: De RESCUE-analyzer

De RESCUE-analyzer is een systeem waarmee geautomatiseerd batch-experimenten wordenuitgevoerd. De kern van het systeem zijn het batchvat (V6) en de respirometer (V7). Verder bestaat het systeem uit twee voorraadvaten met respectievelijk afvalwater (V1) en actiefslib (V2). De twee voorraadvaten worden continu voorzien van (voorbezonden) afvalwater en actief slib (retourslib). Het slib in het actiefslibvat heeft een verblijftijd van meer dan 2 uur waardoor mag worden aangenomen dat het actiefslib in endogene toestand verkeert. Voorts zijn er drie voorraadvaten met respectievelijk een ammoniumoplossing (V3), een nitrietoplossing (V4) en een acetaatoplossing (V5).

De respirometer (V7) is aangesloten op het batchvat zodat elke minuut de respiratiesnelheid van het actief slib in het batchvat kan worden gemeten. Verder worden in het batchvat de pH en temperatuur geregeld op de gewenste waarde. De PC registreert elke minuut de respiratiesnelheid, de zuurstofconcentraties in het batchvat en in het respirevat, de pH, de temperatuur en de redoxpotentiaal.

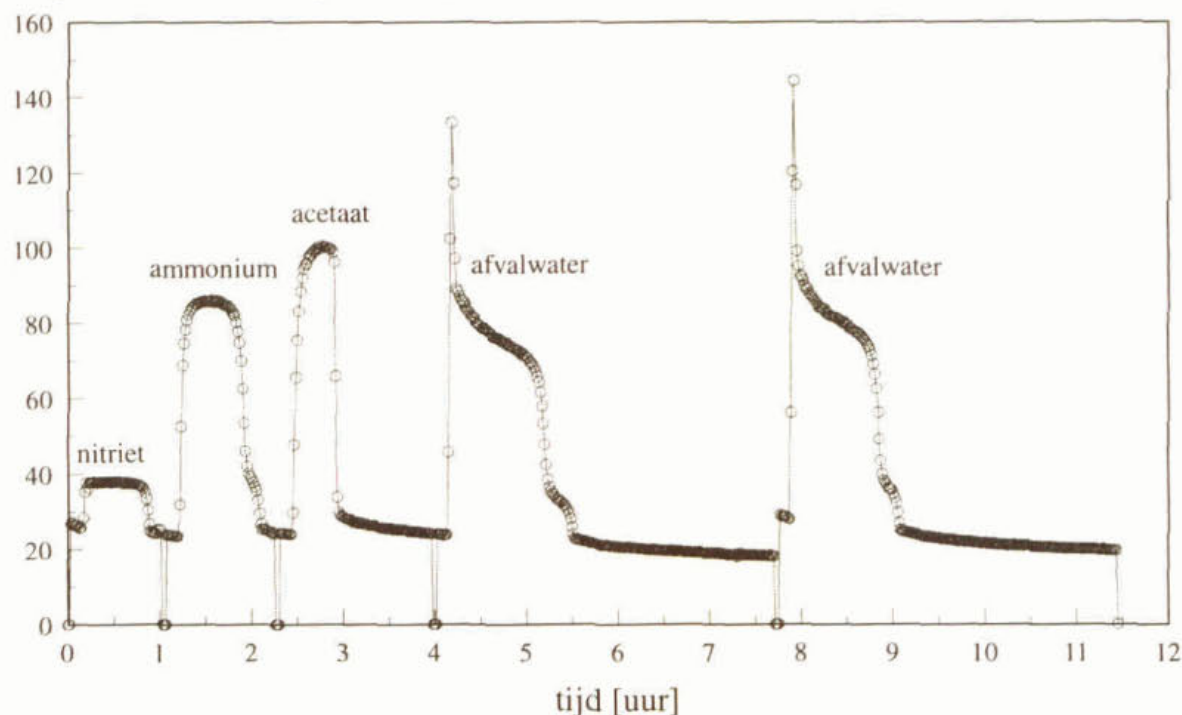
Het vullen en legen van het batchvat, het doseren van afvalwater of een van de drie oplossingen (ammonium, nitriet of acetaat) gebeurt volledig automatisch door middel van een

sturingsprogramma in de PC. Er wordt gebruik gemaakt van software die herkent wanneer de respiratiesnelheid weer teruggekeerd is naar het endogene niveau en zodat vervolgens een nieuwe dosering kan plaatsvinden.

Met de RESCUE-analyzer is in Nijmegen een serie batchexperimenten uitgevoerd met als doelstelling meer inzicht te krijgen in de aktiefslibparameters en in de samenstelling van het afvalwater betreffende organische frakties en concentraties nitrificeerbare stikstof. Hiertoe zijn dagelijks experimenten uitgevoerd met een tijdsinterval van 12 uur. Iedere 12 uur werd een sequentie aan substraat- en afvalwaterexperimenten afgewerkt. Elke cyclus van 12 uur bestond uit een dosering van respectievelijk nitriet, ammonium, acetaat en vervolgens twee maal afvalwater. Bij de tweede afvalwaterdosering werd het batchvat opnieuw gevuld met endogeen aktief slib.

Figuur 19 toont een overzicht van de gemeten respiratiesnelheden voor een totale cyclus van 12 uur. Uit de nitriet-, ammonium- en acetaatrespirogrammen zijn kinetische parameters geschat (r_{NHmax} , r_{NOmax} , r_{Smax} : respectievelijk maximale omzettingssnelheden voor ammonium, nitriet en acetaat en K_{NH} , K_{NO} , K_S : halfwaardecoëfficiënten voor de eerste en de tweede stap van de nitrificatie en voor acetaat). Deze parameters zijn vervolgens gebruikt voor de identificatie van een afvalwaterrespirogram voor de schatting van X_S , S_S en S_{NH} en voor schatting van de hydrolyseconstante k_h en de afstervingsconstante k_d .

respiratiesnelheid [mgO₂/l.uur]

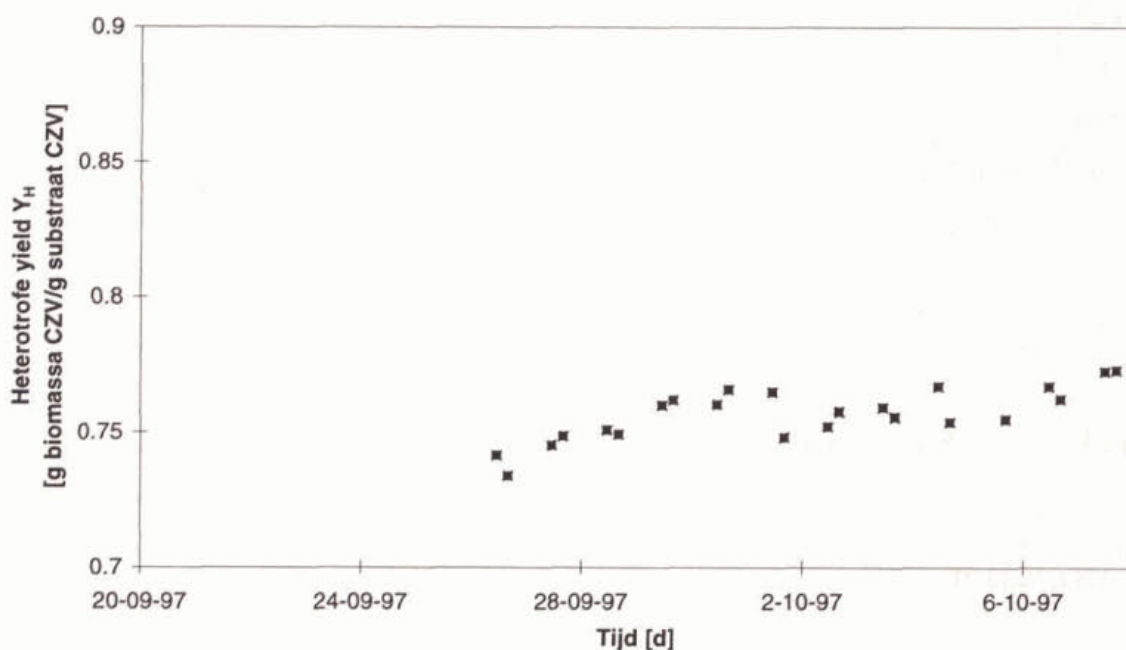


Figuur 19: Meetcyclus van de RESCUE-analyzer

In het kader van het SENTER onderzoek (IOP project IMB 94001) gericht op sturing van de nitrificatie in een propstroomreactor wordt software ontwikkeld waarmee het mogelijk is direct na het verkrijgen van het respirogram de verschillende parameters te identificeren. Deze parameters (met name de maximale nitrificatiesnelheid en de concentratie nitrificeerbare stikstof) worden samen met informatie over het afvalwaterdebiet gebruikt om vast te stellen welk deel van de propstroomreactor moet worden belucht om de gewenste nitrificatie te verkrijgen. Op basis hiervan wordt het aantal te beluchten compartimenten gestuurd.

Bijlage III: Gevoeligheidsanalyses

Met de RESCUE analyzer zijn periodiek batchexperimenten uitgevoerd ter bepaling van de mate van fluctuatie in de heterotrofe yield. De mate van fluctuatie is mede bepalend voor de frequentie waarmee batchexperimenten moeten worden uitgevoerd ter bepaling van de yield. De resultaten zijn gegeven in figuur 20.

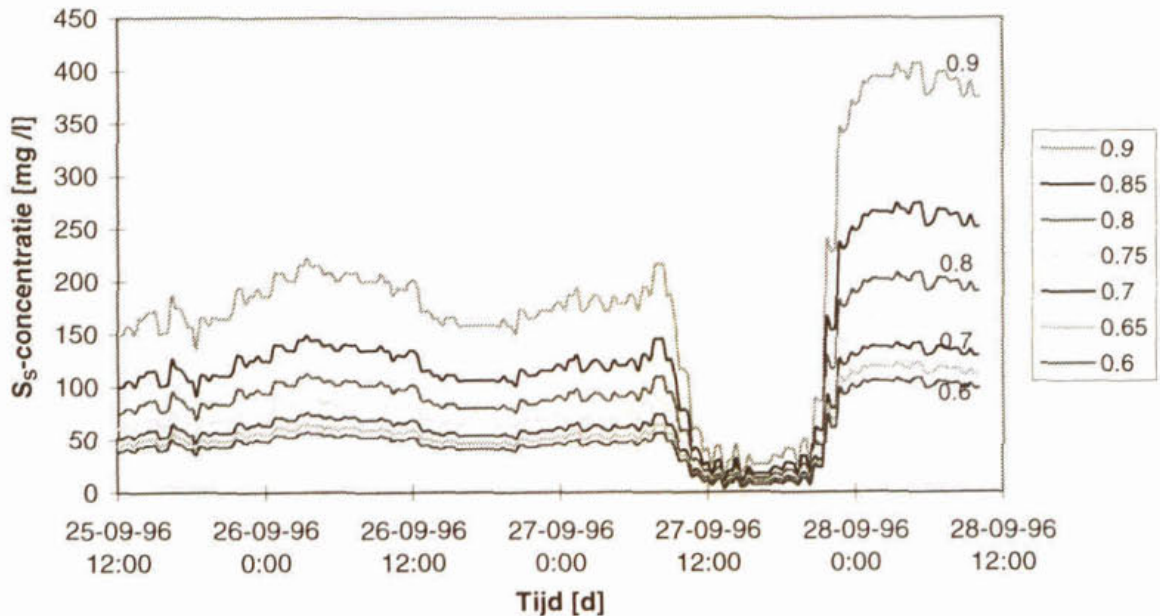


Figuur 20: Yield bepaald met de RESCUE opstelling

Uit figuur 20 blijkt dat de waarde voor de yield over de hele meetperiode vrij constant is. Het verschil in de Y_H -waarden bepaald volgens de zelfbouwopstelling (gemiddeld 0,815) enerzijds en de RESCUE analyzer (gemiddeld 0,75) anderzijds moet worden gezocht in de verschillen tussen beide meetopstellingen. De meetopstellingen verschilden onder meer in volumina, wijze van menging, doseringen, belastingssituaties en het verloop van temperatuur en pH tijdens de proef. Hierdoor wordt onderstreept dat het belangrijk is alle proeven zoveel mogelijk onder dezelfde omstandigheden met dezelfde meetopstelling uit te voeren.

Met behulp van gevoeligheidsanalyses is onderzocht wat de invloed is van veranderingen in de parameterwaarden van Y_H en K_S op de waarden van de respirometrisch bepaalde influent S_S -concentratie.

In figuur 21 zijn de resultaten van variaties in de waarde van Y_H weergegeven. De S_S -berekening is uitgevoerd met Y_H waarden variërend van 0,6 tot 0,9 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}], bij een K_S van 0,3 [mg CZV/l].



Figuur 21: S_S -berekening: invloed van variaties in Y_H

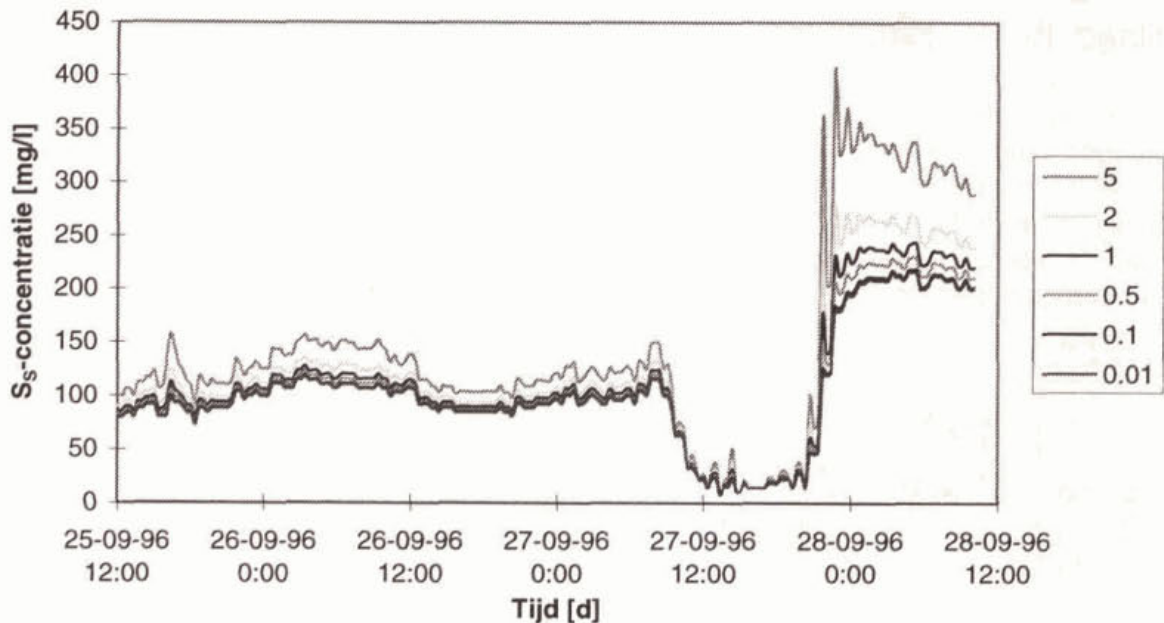
Uit deze figuur blijkt dat de invloed van Y_H op de waarde van de influent S_S -concentratie aanzienlijk is en afhangt van de waarde van de yield. De gevoeligheid is als volgt te kwantificeren, bij benadering geldt:

$$\frac{S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{1 - Y_H(2)}{1 - Y_H(1)}$$

De indexen (1) en (2) verwijzen naar twee te vergelijken situaties. Dit betekent dat een stijging van de yield van 0,80 tot 0,82 een stijging van de S_S -concentratie veroorzaakt van

$$\frac{S_S(2) - S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{Y_H(2) - Y_H(1)}{1 - Y_H(1)} = \frac{0,82 - 0,80}{1 - 0,80} = 10\%$$

In figuur 22 zijn de resultaten van variaties in de waarde van K_S weergegeven. De S_S -berekening is uitgevoerd met K_S waarden variërend van 0,01 tot 5 [mg/l], bij een Y_H van 0,815 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}].



Figuur 22: S_S -berekening: invloed van variaties in K_S

Uit deze figuur blijkt dat de waarde van K_S invloed heeft op de waarde van de influent S_S -concentratie. De invloed van K_S is als volgt te kwantificeren, bij benadering geldt:

$$\frac{S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{K_S(1) + C}{K_S(2) + C}$$

Hierin is C afhankelijk van debieten, respiratiesnelheden, Y_H en ook van K_S . De waarde van C is groot in vergelijking tot de waarde van K_S en ligt in het bereik van 7 tot 15 [mg CZV/l]. Dit bereik geldt voor de omstandigheden van deze periode en voor K_S waarden van 0.01 tot 1 mg/l. De waarde van C stijgt als de K_S toeneemt.

Dit betekent dat een stijging van de K_S van 0,01 tot 1 een stijging van de S_S -concentratie veroorzaakt van

$$\frac{S_S(2) - S_S(1)}{S_S(2)} \approx \frac{K_S(2) - K_S(1)}{K_S(2) + C} = \frac{1,0 - 0,01}{1,0 + 11} = 8\%$$

Samenvattend kan worden gesteld dat

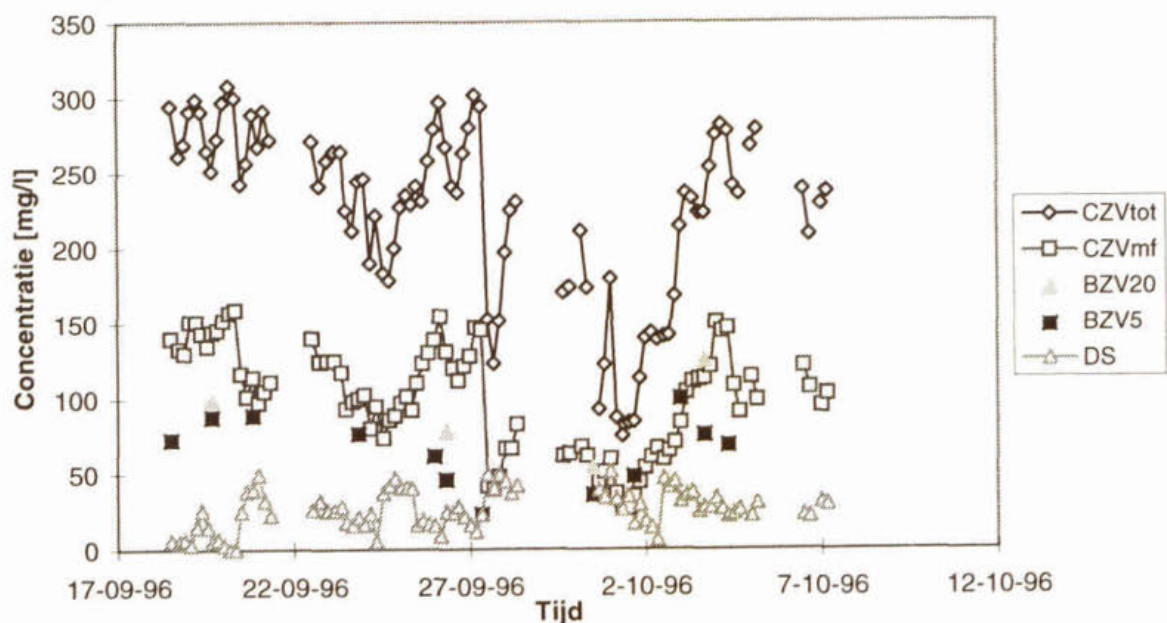
- de waarde van Y_H , zoals bepaald uit de batchexperimenten, slechts een kleine spreiding vertoont (zie hoofdstuk 3.4: Y_H van 0,80 tot 0,82 [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}]), maar dat de gevoeligheid van de influent S_S -concentratie voor de waarde van Y_H groot is;
- de waarde van K_S , zoals bepaald uit de batchexperimenten, een aanzienlijke spreiding vertoont (zie hoofdstuk 3.4: K_S van 0,03 en 1,0 [mg CZV/l]), maar dat de gevoeligheid van de influent S_S -concentratie voor de waarde van K_S in dit gebied klein is.

Op basis van de geringe spreiding in de waarde van Y_H en de geringe gevoeligheid voor de waarde van K_S in het gevonden gebied wordt gesteld dat de frequentie, waarmee tijdens een meetperiode batchexperimenten moeten worden gedaan ter bepaling van parameterwaarden voor Y_H en K_S , beperkt kan blijven tot eens per week.

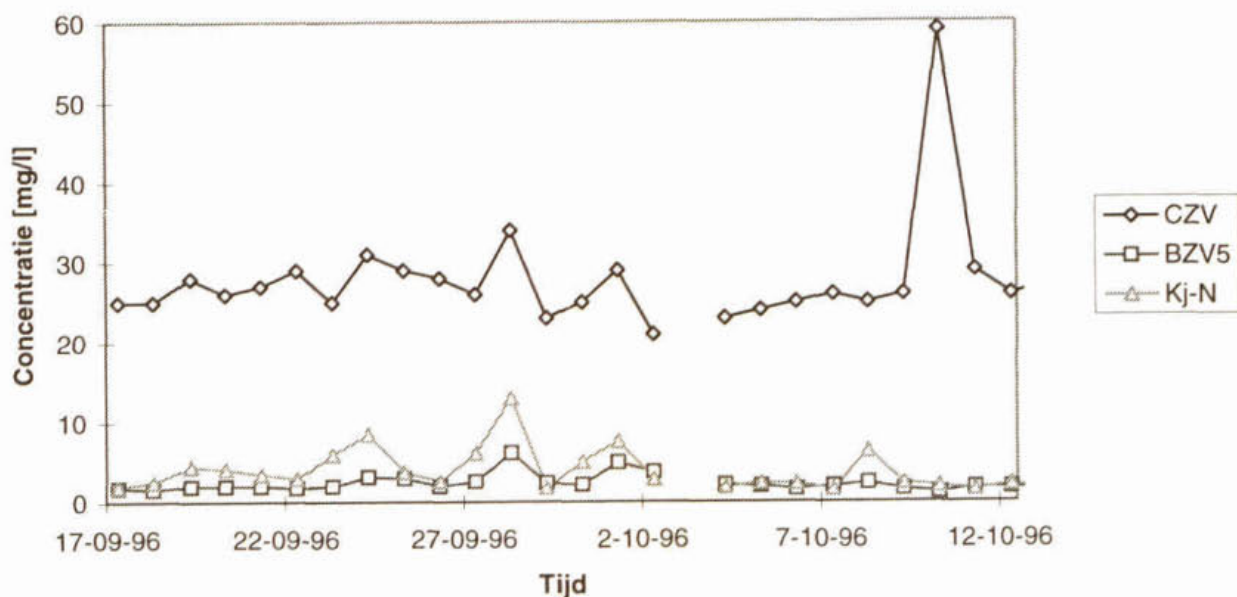
Bijlage IV: Karakteristieken van de rwzi

In onderstaande figuren zijn de analyseresultaten en enige karakteristieken van de rwzi Nijmegen tijdens de meetperiode weergegeven:

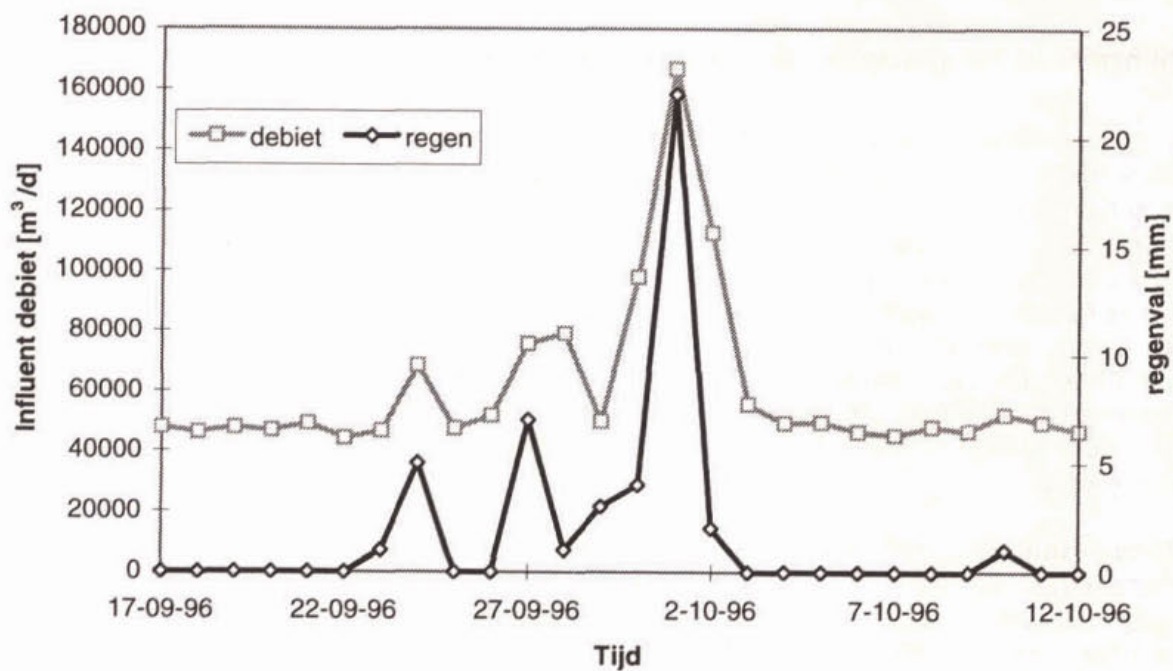
- analyseresultaten van bemonstering van het voorbezonden afvalwater
- analyseresultaten van routinematige bemonstering van het effluent van de zuivering
- debiet naar de zuivering en regenval
- het drogestofgehalte zoals gemeten in het endogeenvat van de meetopstelling



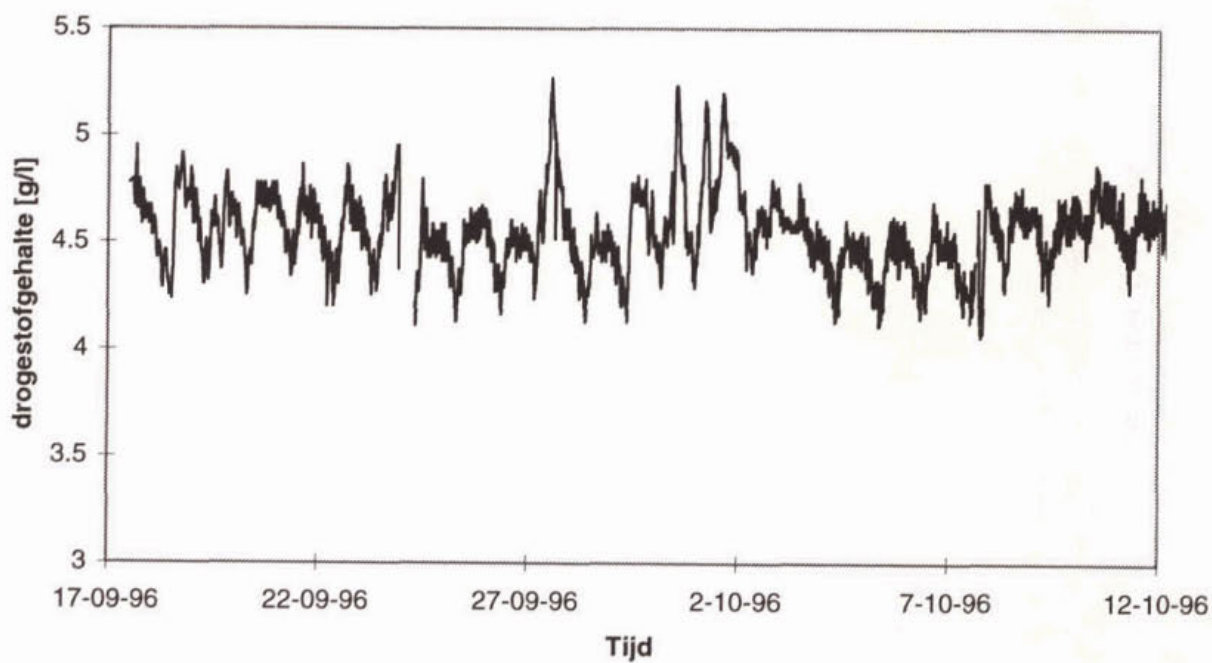
Figuur 23: Resultaten van de fysisch/chemische analyse van het voorbezonden influent



Figuur 24: Resultaten van de fysisch/chemische analyse van het effluent van de zuivering



Figuur 25: Het debiet naar de zuivering en de regenval tijdens de meetperiode



Figuur 26: Drogestofgehalte in het endogeenvat tijdens de meetperiode

Bijlage V: Nadere beschouwing van 'S_S'.

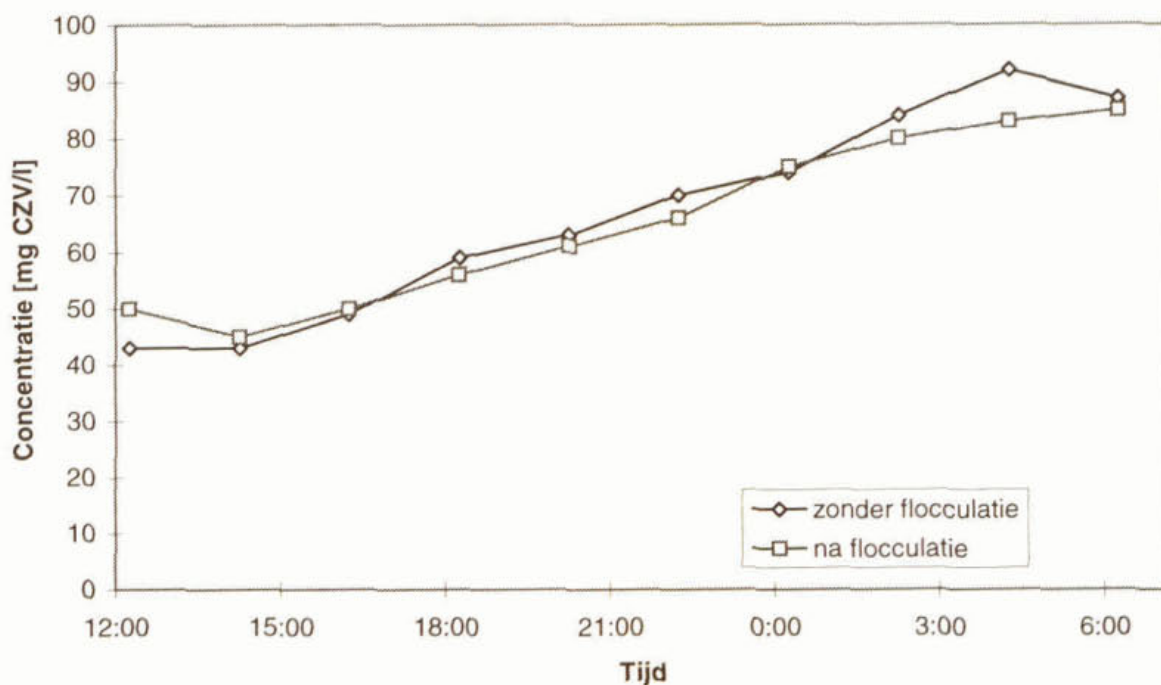
In het voorliggende rapport wordt de semi-continue respirometrische bepaling van de S_S-concentratie in afvalwater vergeleken met de fysisch/chemische methode [11]. De fysisch/chemische methode berust op labanalyses voor CZV_{int,mf} en CZV_{eff,mf}. Het onderscheid tussen snel en langzaam afbreekbare organische componenten (S_S resp. X_S) in afvalwater wordt in de fysisch/chemische methode gemaakt op basis van filtratieresultaten. Hier is ruimte voor discussie: het wordt mogelijk geacht dat (colloïdale) verbindingen die in het filtraat terechtkomen (en daarom als S_S aangemerkt worden) biochemisch gezien moeilijk afbreekbaar kunnen zijn (en dus X_S zouden moeten zijn). Uiteraard hangt een en ander ook nauw samen met de manier waarop de filtratie plaatsvindt.

Om meer inzicht te verkrijgen in deze problematiek is een tweetal extra experimenten uitgevoerd.

Membraanfiltratie met en zonder voorafgaande flocculatie

Voorafgaand aan een membraanfiltratie kan een afvalwatermonster geflocculeerd worden door toevoeging van zinksulfaat. Hiermee worden colloïdale verbindingen, die het membraanfilter kunnen passeren, uitgevlokt zodat ze op het filter achterblijven.

Er is een test uitgevoerd waarbij aan tien monsters voorbezonden afvalwater van de zuivering, zowel met als zonder voorflocculatie, membraan gefiltreerde CZV-bepalingen zijn gedaan. De resultaten van de test zijn weergegeven in figuur 27.

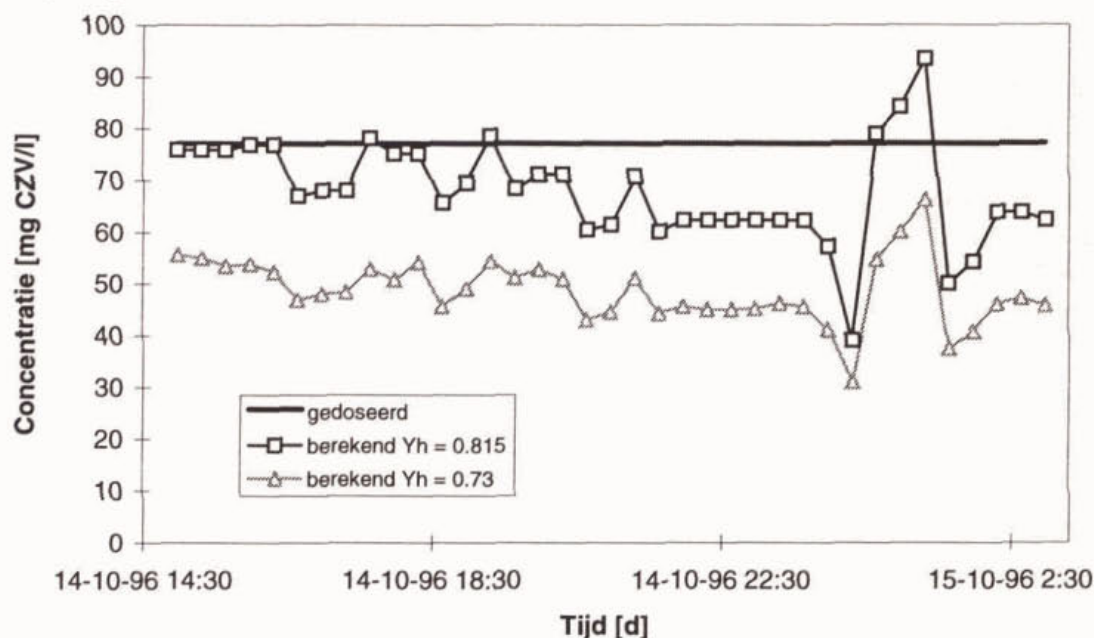


Figuur 27: Bepaling van opgelost CZV: met en zonder flocculatie voorafgaand aan membraanfiltratie.

Hieruit blijkt dat voor het voorbezonden afvalwater van de rwzi Nijmegen geen significant verschil bestaat tussen CZV_{mf, na flocculatie} en CZV_{mf}. In de literatuur [3] wordt echter melding gemaakt van aanzienlijke verschillen tussen CZV_{mf, na flocculatie} en CZV_{mf}. Wellicht is voor het voorbezonden afvalwater van de rwzi Nijmegen geen verschil gevonden omdat er voorprecipitatie van fosfaat plaatsvindt door dosering van ijzer(III)chloride aan het influent van de voorbezinker.

Kunstmatig afvalwater: acetaat

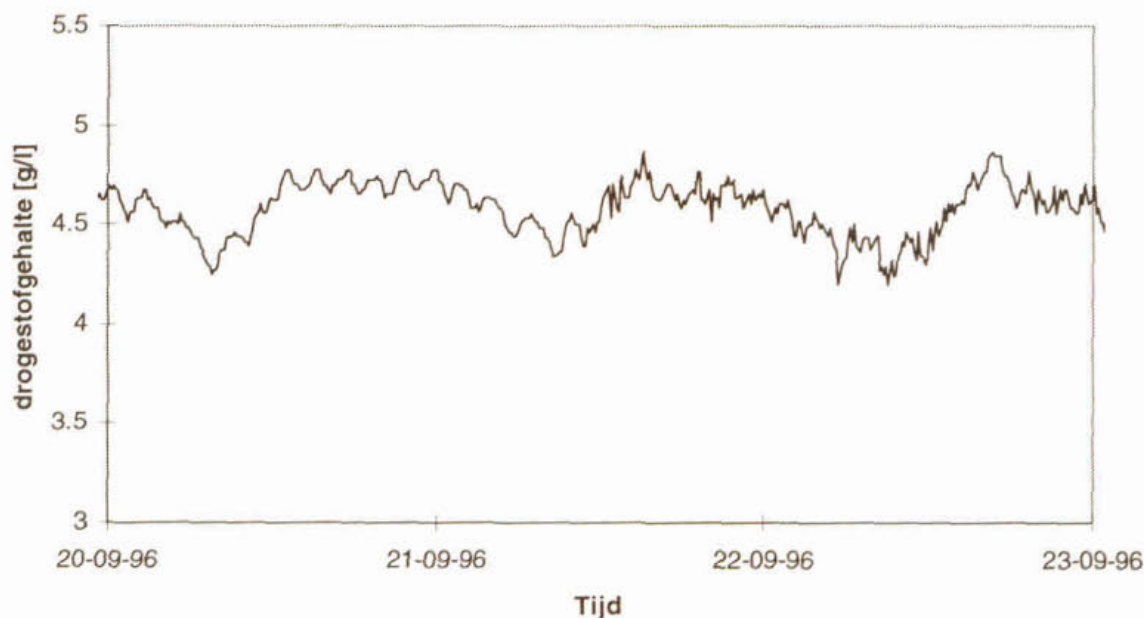
Er is een semi-continue respiratiemeting verricht met als kunstmatig afvalwater een acetaatoplossing van bekende concentratie [77 mg CZV/l]. Acetaat geldt over het algemeen als een snel afbreekbaar substraat. Door te werken met acetaat wordt ondervangen dat er een discrepantie ontstaat tussen de bepaling van Y_H en K_S op basis van acetaat-batchrespirogrammen en de toepassing van deze parameters in de S_S -berekening via de semi-continue methode. Onderstaande figuur 28 geeft het resultaat van de semi-continue S_S -bepaling.



Bijlage VI: De rol van drogestof in de S_S -berekening.

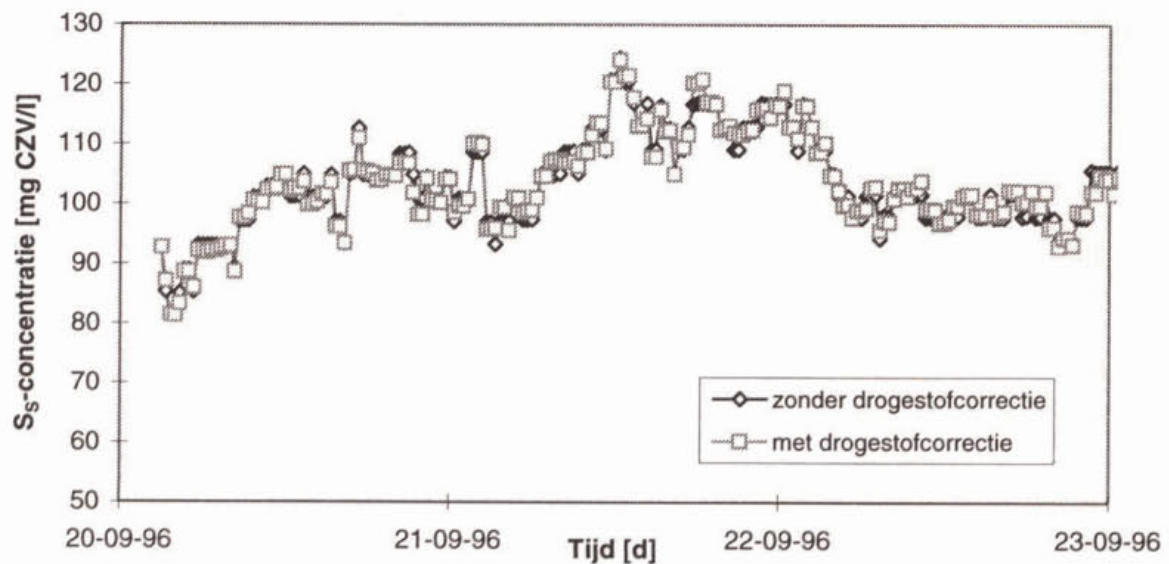
In de theoretische afleiding voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie zoals uiteengezet in bijlage I, wordt rekening gehouden met fluctuaties in het drogestofgehalte van het endogeenslib (vergelijkingen 13 en 14 uit bijlage I). Echter, de respiratiesnelheden voor de drie verschillende belastingssituaties: endogene omstandigheden, laagbelaste en hoogbelaste omstandigheden, worden niet parallel gemeten, maar vanwege de beschikbaarheid van slechts één respirometer, cyclisch na elkaar. Met fluctuaties in het drogestofgehalte die tijdens een volledige cyclus (drie belastingssituaties) optreden, wordt geen rekening gehouden. Met andere woorden, aangenomen wordt dat het drogestofgehalte tijdens een cyclus constant blijft.

Om te controleren of deze aanname gerechtvaardigd is, is de theoretische afleiding uitgebreid met een 'drogestofcorrectie' waardoor ook fluctuaties in het drogestofgehalte binnen een cyclus in rekening worden gebracht. Figuur 29 toont het verloop van de drogestofconcentratie in een deel van de meetperiode.



Figuur 29: Fluctuaties in het drogestofgehalte in het endogeen slib.

In figuur 30 is de bijbehorende S_S -concentratie weergegeven, berekend zowel met als zonder de 'drogestofcorrectie'.



Figuur 30: S_S -concentraties met en zonder drogestofcorrectie

Uit figuur 30 blijkt dat de invloed van fluctuaties in het drogestofgehalte binnen een volledige cyclus op de bepaling van de S_S -concentratie verwaarloosbaar klein is. De afleiding uitgebreid met de 'drogestofcorrectie' is daarom niet in dit rapport opgenomen.

1. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (Common reed)

2. *Scirpus atrovirens* (L.) Link. (Black reed)

3. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

4. *Scirpus hololepis* (L.) Link. (Slender reed)

5. *Scirpus americanus* (L.) Link. (Slender reed)

6. *Scirpus cespitosus* (L.) Link. (Slender reed)

7. *Scirpus eriopodus* (L.) Link. (Slender reed)

8. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

9. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

10. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

11. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

12. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

13. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

14. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

15. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

16. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

17. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

18. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

19. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

20. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

21. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

22. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

23. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

24. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

25. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

26. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

27. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

28. *Scirpus setaceus* (L.) Link. (Slender reed)

HANDBOEK VOOR ZELFBOUW

INHOUD

1 INLEIDING	50
2 MEETOPSTELLING	51
2.1 Materialen en opstelling	51
2.2 Het bedienen van de meetopstelling	53
2.2.1 Continue mode	54
2.2.2 Batch mode	55
2.2.3 Schakelen tussen de continue en de batch mode	55
2.2.4 Pompen ijken	55
2.2.5 Nitrificatieremmingstest	56
2.2.6 Controle van de methodiek	56
2.3 Dagelijkse werkzaamheden en checklist	56
3 DATAVERWERKING	58
3.1 De PARSCHAT-functie	58
3.2 De SS_SCHAT-functie	60

1 Inleiding

Deze bijlage vormt een handboek voor de bouw en het bedrijven van een meetopstelling waarmee het gehalte aan snel afbreekbaar opgelost CZV in afvalwater op respirometrische wijze semi-continu kan worden bepaald. Het gaat hierbij om de bepaling van snel afbreekbaar opgelost CZV zoals dat is gedefinieerd in het IAWQ Model #1 [1]. Het IAWQ Model #1 is een wiskundige beschrijving van de biochemie van actiefslibsystemen en vormt heden ten dage de basis van de meeste simulatiemodellen van actiefslibinstallaties.

Het meetprincipe is ontwikkeld door Vertis bv [14] en is in de vorm van een STOWA onderzoek, in samenwerking met de Landbouw Universiteit Wageningen, geoptimaliseerd en aan een praktijktest onderworpen. De theorie achter het meetprincipe, de onderzoeksresultaten en een vergelijking met de fysisch/chemische bepaling van de S_S -concentratie zijn beschreven in voorliggende rapportage en bijlagen. Met behulp van de respirometrische methode kan de S_S -concentratie van influent met een frequentie van één meetwaarde per 20 minuten worden bepaald. Bovendien worden de groeiopbrengst van de heterotrofe biomassa (Y_H) en de halfwaardeconstante (K_S) voor omzetting van S_S bepaald.

De methode is toepasbaar voor actiefslibinstallaties die niet specifiek zijn uitgelegd voor biologische defosfatering. De verkregen S_S -concentratie is toepasbaar voor simulatiestudies gebaseerd op IAWQ Model #1.

Leeswijzer:

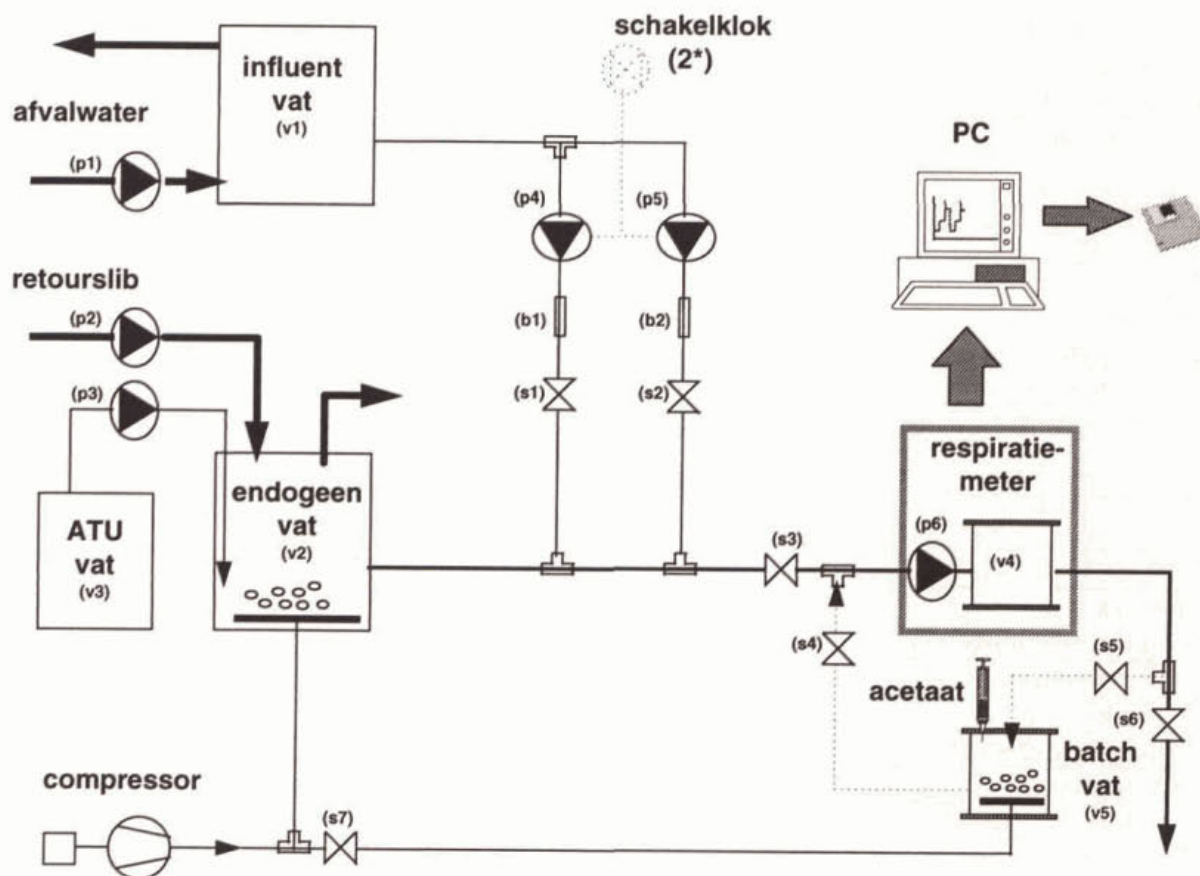
Hoofdstuk 2 van deze handleiding geeft een overzicht van de benodigde materialen voor de bouw van de meetopstelling, alsmede een schematische weergave van de meetopstelling en een toelichting bij de bouw daarvan (2.1). Ook wordt beschreven hoe de meetopstelling moet worden bedreven teneinde S_S , K_S en Y_H te bepalen (2.2). In paragraaf 2.3 worden aanwijzingen en richtlijnen gegeven betreffende de dagelijkse bedrijfsvoering en controlewerkzaamheden.

In hoofdstuk 3 van het handboek wordt aangegeven hoe de verkregen file met respiratiesnelheden moet worden voorbereid en hoe S_S , K_S en Y_H kunnen worden berekend met behulp van de bijgesloten Matlab software.

2 Meetopstelling

2.1 Materialen en opstelling

Figuur 31 geeft een schematische weergave van de meetopstelling. Tabel 7 geeft een overzicht van de benodigde onderdelen. Hieronder volgt een korte toelichting bij de bouw van de meetopstelling.



Figuur 31: Schematische voorstelling van de meetopstelling

Afvalwateraanvoer

Het is van belang de verblijftijd in de aanvoerleiding van afvalwater zo kort mogelijk te houden, zodat de vertraging tussen bemonstering en meetsignaal zo kort mogelijk blijft. Dit kan door afvalwater met een hoog debiet naar een overstortvat (influentvat, v1) bij de meetopstelling te pompen.

Als aanvoerpomp (p1) kan een versnijdende dompelpomp worden gebruikt; hiermee wordt verstopping van de pomp voorkomen. Het is van belang dat het pompdebiet (p1) naar het influentvat en het volume van het influentvat zo op elkaar zijn afgestemd dat de verblijftijd in het vat zo kort mogelijk is. De inhoud van het influentvat moet in menging blijven om te voorkomen dat het vat als bezinker gaat functioneren. Dit kan door het influent onderin het vat toe te voeren. Vanuit het influentvat (v1) wordt afvalwater naar de respirometer gepompt door de slangenpompen (p4) en (p5).

Tabel 7: Lijst van benodigde materialen

materialen	code (figuur 31)	richtlijn ¹⁾
influentvat	v1	60 liter
endogeenvat	v2	60 liter
ATU-vat	v3	60 liter
batchvat	v5	2 liter
aanvoerpomp influent (versnijdende dompelpomp)	p1	2 m ³ /h
aanvoerpomp retourslib	p2	25 l/h
slangenpomp ATU	p3	0.3 l/h
slangenpomp afvalwater klein	p4	0.5-1 l/h
slangenpomp afvalwater groot	p5	4 - 8 l/h
respiratiemeter	p6	18-24 l/h
respiratiemeetvat	v4	0.731 l
PC	PC	I/O poort
compressor		
beluchtingselement groot		
beluchtingselement klein		
2 schakelklokken		
aanvoerslang influent		
aanvoerslang retourslib + filterkorf		
slang voor meetopstelling		ca 15m, Ø 5 mm
6 T-stukken		
2 verbindingstukken	b1, b2	
7 slangenklemmen	s1 t/m s7	
ATU-oplossing		1500 mg/l
natriumacetaatoplossing		222 mg/l
NH ₄ Cl-oplossing		
Finn pipet		

¹⁾ Toegepaste waarde tijdens praktijktest

Retourslibaanvoer

Het retourslib wordt aangevoerd via pomp (p2). Dit kan een slangenpomp zijn. Het is van belang dat de aanzuigslang wordt voorzien van een filterkorf om verstoppingen te voorkomen. Het pompdebiet (p2) en het volume van het endogeen vat (v2) moeten zo op elkaar zijn afgestemd dat de verblijftijd in het endogeenvat 2 tot 4 uur bedraagt. Het zuurstofgehalte in het endogeenvat moet hoog zijn (> 6 mg/l). Het slib in de endogeentank wordt in menging gehouden door de ingeblazen lucht.

Tijdens de praktijktest werd het drogestofgehalte in het endogeenvat met behulp van een drogestofmeetsonde continu gemeten. Vervolgens zijn de gemeten respiratiesnelheden gecorrigeerd voor variatie in het drogestofgehalte tijdens een cyclus. Dit leidde tot een verwaarloosbare toename van de nauwkeurigheid van de berekende S_S-concentraties. Het is daarom niet noodzakelijk het drogestofgehalte in het endogeenvat te meten.

ATU-dosering

Aan het endogeenvat wordt ATU oplossing gedoseerd (p3), zodat geen zuurstofverbruik door nitrificatie plaatsvindt. Bij een ATU concentratie hoger dan 15 mg/l (bij drogestofgehaltes van 3 tot 5 g/l) is een volledige remming van de nitrificatie gewaarborgd.

Afvalwaterdosering

Afvalwaterdosering vindt plaats met de slangenpompen (p4) en (p5) die ieder via een eigen schakelklok worden aan- en uitgeschakeld.

Respiratiemeter

Een respiratiemeter is geschikt voor toepassing in deze meetopstelling als:

- het respiatiemeetvat continu kan worden doorstroomd en de zuurstofgehalten van in- en uitgaande stroom hoogfrequent kunnen worden gemeten;
- de inhoud van het respiatiemeetvat goed in menging kan worden gehouden;
- het respiatiemeetvat niet wordt belucht.

Het debiet naar de respiratiemeter wordt bepaald door slangenpomp (p6) en is constant. In geval van de Manotherm RA1000 respiratiemeter maakt pomp (p6) deel uit van het meetapparaat. De respiratiesnelheid wordt met een frequentie van één waarde per minuut berekend op basis van de gemeten zuurstofgehalten in het in- en effluent van het respiatiemeetvat (v4). Bij de Manotherm RA1000 wordt via een stelsel van kleppen iedere halve minuut geschakeld tussen toevoer en afvoer naar en van het respiatiemeetvat. Zo worden met behulp van één zuurstofsonde influent en effluent van het respiatiemeetvat bemeaten. Op basis van de aldus bemeaten toevoer en afvoer wordt de respiratiesnelheid berekend met een frequentie van één meetwaarde per minuut [8].

Batchvat (v5)

Door het sluiten van de slangenklemmen (s3) en (s6) en het openen van (s4) en (s5) kunnen met de meetopstelling batchexperimenten worden uitgevoerd. Via batchexperimenten worden de modelparameters Y_H en K_S bepaald. Deze zijn van belang voor de berekening van de S_S -concentratie op basis van de in de continue mode gemeten respiratiesnelheden.

Het batchvat heeft een volume van één tot enkele liters. Tijdens een batchexperiment wordt het batchvat zodanig belucht dat het zuurstofgehalte in het respiatiemeetvat niet lager dan 2 mg/l wordt. Batchexperimenten worden uitgevoerd met een acetaatoplossing als substraat. Dosering vindt plaats met behulp van een Finn-pipet. Het batchvat kan aan de bovenkant open zijn, in ieder geval moet een ontsnappingsmogelijkheid aanwezig zijn voor de ingeblazen lucht.

PC

Een PC met I/O-poort is aangesloten op de respiratiemeter. Hierop is de software geïnstalleerd die wordt meegeleverd door de leverancier van de respiratiemeter. Deze PC registreert de gemeten zuurstofgehalten en de berekende respiratiesnelheden en geeft de respiratiesnelheden grafisch weer. De grafische weergave vergemakkelijkt de dagelijkse controle van het functioneren van de meetopstelling.

2.2 Het bedienen van de meetopstelling

Gedurende het grootste deel van de tijd wordt de meetopstelling continu bedreven. In de continue mode worden data verzameld ten behoeve van de berekening van de S_S -concentratie. Ten behoeve van deze berekening moeten de yield van de heterotrofe biomassa (Y_H) en de halfwaardecoëfficiënt voor de omzetting van S_S (K_S) bekend zijn. Deze waarden kunnen worden bepaald door, met dezelfde meetopstelling, batchexperimenten uit te voeren.

Het volstaat éénmaal per week een batchexperiment uit te voeren, met een minimum van 3 batchexperimenten per meetprogramma. Gedurende het overige deel van de meetperiode wordt de meetopstelling in de continue mode bedreven.

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de bediening van de meetopstelling in de continue en in de batch-mode en van het omschakelen tussen beide bedrijfsvoeringen.

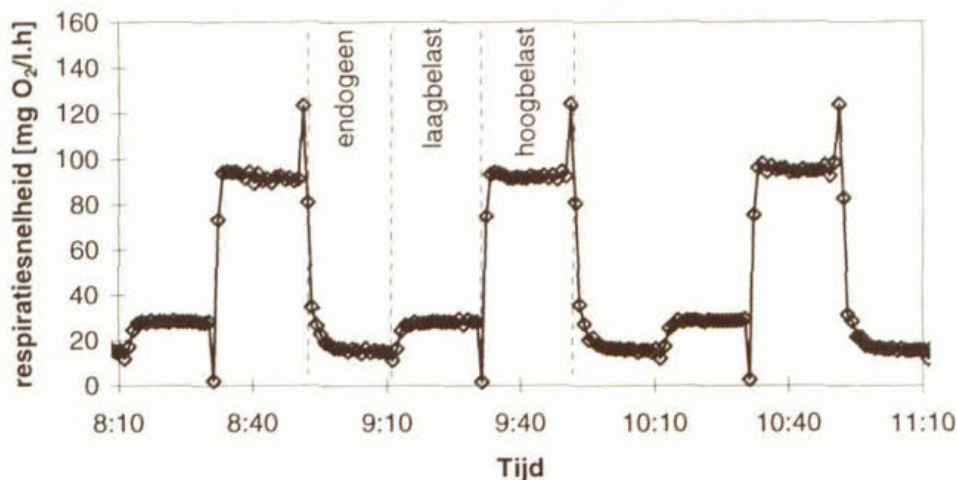
2.2.1 Continue mode

In de continue mode worden afwisselend drie respiratiesnelheden gemeten, namelijk:

- de endogene situatie
- laagbelaste situatie
- hoogbelaste situatie.

De optimale mengverhouding afvalwater/slib voor de laagbelaste en de hoogbelaste situatie is afhankelijk van de activiteit van het retourslib, de influent S_s -concentratie en de temperatuur. Bij het bepalen van deze mengverhouding gelden de volgende richtlijnen:

- De zuurstofconcentratie in het effluent van de respirometer moet te allen tijde hoger zijn dan 2,0 mg/l.
- De drie gemeten respiratiesnelheden (endogeen, laagbelast en hoogbelast) moeten zo veel mogelijk van elkaar verschillen. Naarmate de verschillen tussen niveaus kleiner worden, neemt de nauwkeurigheid van de methode af. Een onderling verschil van meer dan 5 mg O_2 /l.h is voldoende.
- In de hoogbelaste situatie mag de maximale respiratiesnelheid worden bereikt. Voor de methode is het niet belangrijk of nog S_s in het effluent van de respirometer aanwezig is. Het is wel van belang dat altijd een duidelijk onderscheid met de laagbelaste situatie aanwezig is. Als richtlijn kan worden aangehouden dat de belasting (uitgedrukt in g influent CZV/g ds) in de hoogbelaste situatie een factor 10 keer zo groot als in de laagbelaste situatie moet zijn.
- De tijdsduur van een belastingssituatie moet zodanig zijn dat per situatie een constante waarde voor de respiratiesnelheid wordt bereikt. Het interval dat minimaal noodzakelijk is, wordt bepaald door de verblijftijd in het respirometervat (v4). In geval van ideale menging voldoet een tijdsduur van 5 maal de verblijftijd in het respirometervat. Bij de geteste proefopstelling met een verblijftijd in het respirometervat van circa twee minuten is gewerkt met een duur van twintig minuten per belastingsniveau (zie figuur 32).



Figuur 32: Output van een cyclisch bedreven respirometer

De pompen (p4) en (p5) moeten via schakelklokken zodanig worden aan- en uitgeschakeld dat de cyclus endogene belasting, lage belasting, hoge belasting automatisch wordt doorlopen. De endogene respiratiesnelheid wordt gemeten wanneer de pompen (p4) en (p5) zijn uitgeschakeld. Via een schakelklok wordt na twintig minuten pomp (p4) aangeschakeld, voor een periode van veertig minuten. Twintig minuten nadat (p4) is ingeschakeld, schakelt (p5) bij, via een tweede schakelklok, voor een periode van twintig minuten. Dit schakelregime is weergegeven in tabel 8.

Tabel 8: Schakelregime (p4) en (p5)

belasting	p4	p5
endogeen	uit	uit
laagbelast	aan	uit
hoogbelast	aan	aan

2.2.2 Batch mode

Eens per 7 dagen, met een minimum van 3 keer per meetperiode, wordt een batchexperiment uitgevoerd ter bepaling van parameterwaarden voor de Y_H en de K_S .

Batchexperimenten worden uitgevoerd met slib afkomstig uit de endogeentank waaraan ATU is gedoseerd, verdund met effluent. Indien met onverdund slib wordt gewerkt, is de nauwkeurigheid van de bepaling van K_S gering. Batchexperimenten worden uitgevoerd met acetaat als substraat.

2.2.3 Schakelen tussen de continue en de batch mode

De schakeling van de continue naar de batch mode vindt als volgt plaats:

1. Gestart wordt vanuit de endogene situatie.
2. Zet de influentpompen (p4) en (p5) handmatig uit.
3. Zet slangenklemmen (s3) en (s5) open en slangenklem (s6) dicht. Het batchvat wordt nu gevuld met endogeen slib.
4. Zet slangenklem (s3) dicht zodra zich een bekend volume (bijvoorbeeld 0,5 l) endogeenslib in het batchvat bevindt.
5. Voeg effluent toe.
6. Zet slangenklem (s7) zover open dat een zuurstofgehalte hoger dan 6 mg/l in het batchvat wordt bereikt.
7. Wacht tot de respiratiesnelheid zich op een stabiel, endogeen niveau bevindt.
8. Voeg geconcentreerde acetaatoplossing toe, zodanig dat de acetaatconcentratie in het systeem circa 50 mg acetaat-CZV/l bedraagt. Meet het verloop van de respiratiesnelheid totdat de respiratiesnelheid zich weer op het uitgangsniveau bevindt.

Terugschakelen van de batch mode naar de continue mode vindt als volgt plaats

1. Zet slangenklem (s6) open zodat het batchcircuit wordt geleegd.
2. Zet slangenklem (s3) open en slangenklemmen (s4) en (s5) dicht, het batchcircuit is nu weer afgesloten, er wordt weer endogeen slib uit het endogeenvat aangezogen.
3. Zet afsluiter (s7) dicht, zodat het batchvat niet meer wordt belucht.
4. Zet de pompen (p4) en (p5) handmatig aan.

2.2.4 Pompen iken

Afhankelijk van het verloop van de debieten van de pompen (p3), (p4), (p5) en (p6) moeten deze meer of minder vaak worden geijkt. Over het algemeen zal een ijkfrequentie van één keer per week volstaan. De ATU pomp (p3), de retourslibpomp (p2) en de respiratiepomp (p6) kunnen worden geijkt door de uitgaande stromen tijdelijk in een maatcilinder op te vangen. De pompen (p4) en (p5) kunnen worden geijkt door de slangenklemmen (s1) en (s2) dicht te draaien en de koppelstukjes (b1) en (b2) los te maken.

2.2.5 Nitrificatieremmingstest

De semi-continue meetmethode voor de bepaling van de S_S -concentratie werkt alleen indien geen zuurstof verbruikt wordt voor nitrificatie. Hiertoe wordt het nitrificatieproces geremd door dosering van ATU in de endogeentank. Bij ATU-concentraties hoger dan 15 mg/l vindt geen nitrificatie meer plaats. De remming van de nitrificatie kan worden gecontroleerd door toediening van NH_4Cl in de endogene fase. Als dit leidt tot verhoging van de respiratiesnelheid is het nitrificatieproces niet volledig geremd.

2.2.6 Controle van de methodiek

De werking van de semi-continue meetmethode kan worden gecontroleerd door een test uit te voeren met een kunstmatig influent waarvan de S_S -concentratie bekend is. Bij de berekening van de S_S -concentraties wordt gebruik gemaakt van parameterwaarden voor Y_H en K_S die zijn bepaald op basis van batchrespirogrammen met acetaat als substraat. Door nu voor deze test als kunstmatig influent een acetaatoplossing te gebruiken wordt ondervangen dat er een discrepantie ontstaat tussen de bepaling van de Y_H en K_S op basis van acetaatbatchrespirogrammen en de toepassing van deze parameters in de berekening van de S_S -concentratie via de semi-continue methode (zie ook paragraaf 2.2.3 en bijlage V van het rapport).

Voor uitvoering van de test wordt het influentvat vervangen door een vat gevuld met een natriumacetaatoplossing van bekende concentratie. De concentratie acetaat-CZV moet ongeveer overeenkomen met de afvalwater S_S -concentratie, zodat met dezelfde debieten kan worden gewerkt als bij de bepaling van de S_S -concentratie in afvalwater. De meetopstelling wordt vervolgens in de continue mode bedreven en de gemeten respiratiesnelheden worden met behulp van de bijgeleverde software omgerekend naar S_S -concentraties. De gevonden S_S -concentratie moet nu overeenkomen met de toegediende acetaat-CZV-concentratie.

Het beschreven experiment kan tevens worden gebruikt als ijking van de yieldbepaling in het geval er sprake is van reservestofvorming en -omzetting tijdens een batchexperiment. Het zuurstofverbruik ten gevolge van vorming en omzetting van reservestoffen wordt niet meegenomen bij de bepaling van Y_H . Hiervoor is gekozen op basis van tijdschalen; dit is toegevoegd in paragraaf 2.2.3 van het rapport. Het is aan te bevelen deze keuze in de praktijk, via bovenbeschreven werkwijze, te controleren. Indien voor de yieldbepaling een te klein oppervlak wordt toegerekend aan het zuurstofverbruik ten gevolge van reservestofomzetting, wordt een te kleine waarde voor Y_H gevonden. In dat geval zal bij het bovenbeschreven experiment een S_S -concentratie worden gevonden die lager is dan de toegediende concentratie acetaat-CZV (zie bijlage V van het rapport).

2.3 Dagelijkse werkzaamheden en checklist

Hieronder volgt een overzicht van aan te bevelen controlewerkzaamheden gedurende het bedrijven van de meetopstelling:

Dagelijkse werkzaamheden:

- Controleren van het functioneren van de verschillende pompen.
- Controle van de meetopstelling door een visuele beoordeling van de grafische weergave van de gemeten respiratiesnelheden op het scherm van de PC. De drie niveaus in respiratiesnelheid moeten duidelijk herkenbaar zijn. Tabel 9 geeft een overzicht van mogelijke oorzaken van afwijkingen van het standaard patroon.

Eénmaal per week:

- IJken van de verschillende pompen.
- Kalibratie van de zuurstofsonde(s) die deel uitmaken van de respiratiemeter.
- Uitvoeren van een batchexperiment (minimaal 3 keer per meetperiode).

Verder is het van belang:

- De verschillende pompen, slangen, snoeren en stekkers te coderen om zo de kans op menselijke fouten te verkleinen.
- Alle gemeten debieten, verrichte controlewerkzaamheden en eventuele wijzigingen van instellingen vast te leggen in een logboek. Deze gegevens zijn nodig bij de voorbereiding van de ruwe datafiles (zie hoofdstuk 3 van dit handboek voor zelfbouw).

Tijdens de uitvoering van het meetprogramma voor de semi-continue bepaling van de S_S -concentratie is het mogelijk dat storingen optreden waardoor het patroon van de respiratiesnelheden niet meer cyclisch drie niveaus vertoont. Dit kan eenvoudig geconstateerd worden uit de geregistreerde zuurstofgehalten en een visuele beoordeling van het verloop van de respiratiesnelheid op het PC-scherm. In tabel 9 is een overzicht gegeven van storingen die kunnen optreden, welke visuele waarnemingen daarbij horen en wat de oorzaken kunnen zijn. Per waarneming zijn de oorzaken in afnemende volgorde van waarschijnlijkheid gegeven.

Tabel 9: Overzicht van storingen voor de semi-continue meetmethode

waarneming	mogelijke oorzaak
Er is nauwelijks onderscheid tussen de 3 respiratieniveaus: endogeen, laagbelast, hoogbelast	a. debieten influentdoseerpompen zijn te laag b. regenweeraanvoer b. membraan van de zuurstofsonde is lek
Er worden slechts 1 of 2 respiratieniveaus waargenomen	Influentdoseerpomp(en) functioneren niet
De respiratiesnelheid schiet zaagtandsgewijs op en neer, de waarde is regelmatig 0 [mg O_2 /l.h]	a. geen goede menging in het respiratiemeetvat (bij Manotherm RA1000: recirculatiepomp defect) b. aanvoer van endogeenslib is gestagneerd
Er worden zeer hoge respiratiesnelheden gemeten	Er wordt onvoldoende ATU gedoseerd
De zuurstofconcentratie in het effluent van de respiratiemeter is hoger dan 4	a. membraan van de zuurstofsonde is lek b. geen slibaanvoer c. toxische lozing
De zuurstofconcentratie in het effluent van de respiratiemeter is lager dan 1,5	Debiet van influentdoseerpomp(en) is te groot

3 Dataverwerking

Bij dit rapport is een diskette bijgesloten met software voor verwerking van de meetdata. De software bestaat uit twee functies, namelijk

1. de functie PARSchAT, voor de berekening van Y_H en K_S uit een batchrespirogram;
2. de functie SS_SCHAT, voor de berekening van de S_S -concentratie uit een dataset van een semi-continue respiratiemeting.

De software is gerealiseerd met behulp van Matlab/Simulink. De diskette bevat twee subdirectories met dezelfde namen als genoemde functies. Deze subdirectories kunnen door de gebruiker gekopieerd worden naar de harde schijf van de PC.

In het navolgende is toegelicht hoe de software kan worden toegepast.

3.1 De PARSchAT-functie

De PARSchAT-functie wordt gebruikt om waarden voor de Y_H en de K_S te berekenen uit een batchrespirogram. De functie heeft twee inputs, te weten:

1. een ASCII-file bestaande uit twee kolommen: een kolom met tijdwaarden (eenheid 'dag') en een kolom met respiratiesnelheden (eenheid $\text{mg O}_2/\text{l.h}$). Een dergelijk bestand kan worden geconstrueerd uit een databestand zoals geregistreerd door een respiratiemeter. Dit omvat enige handelingen in bijvoorbeeld spreadsheetsoftware. De kolommen in het bestand moeten gescheiden zijn door spaties (extensie .PRN) of door tabs (extensie .TXT).
2. de concentratie CZV in de respiratiemeter na dosering van het substraat (uitgedrukt in mg CZV/l).

De functie heeft twee outputs, te weten

1. de Y_H
2. de K_S

De functie wordt (nadat de juiste directory is aangewezen) gestart door op de commandoregel in het Matlab Command Window in te typen:

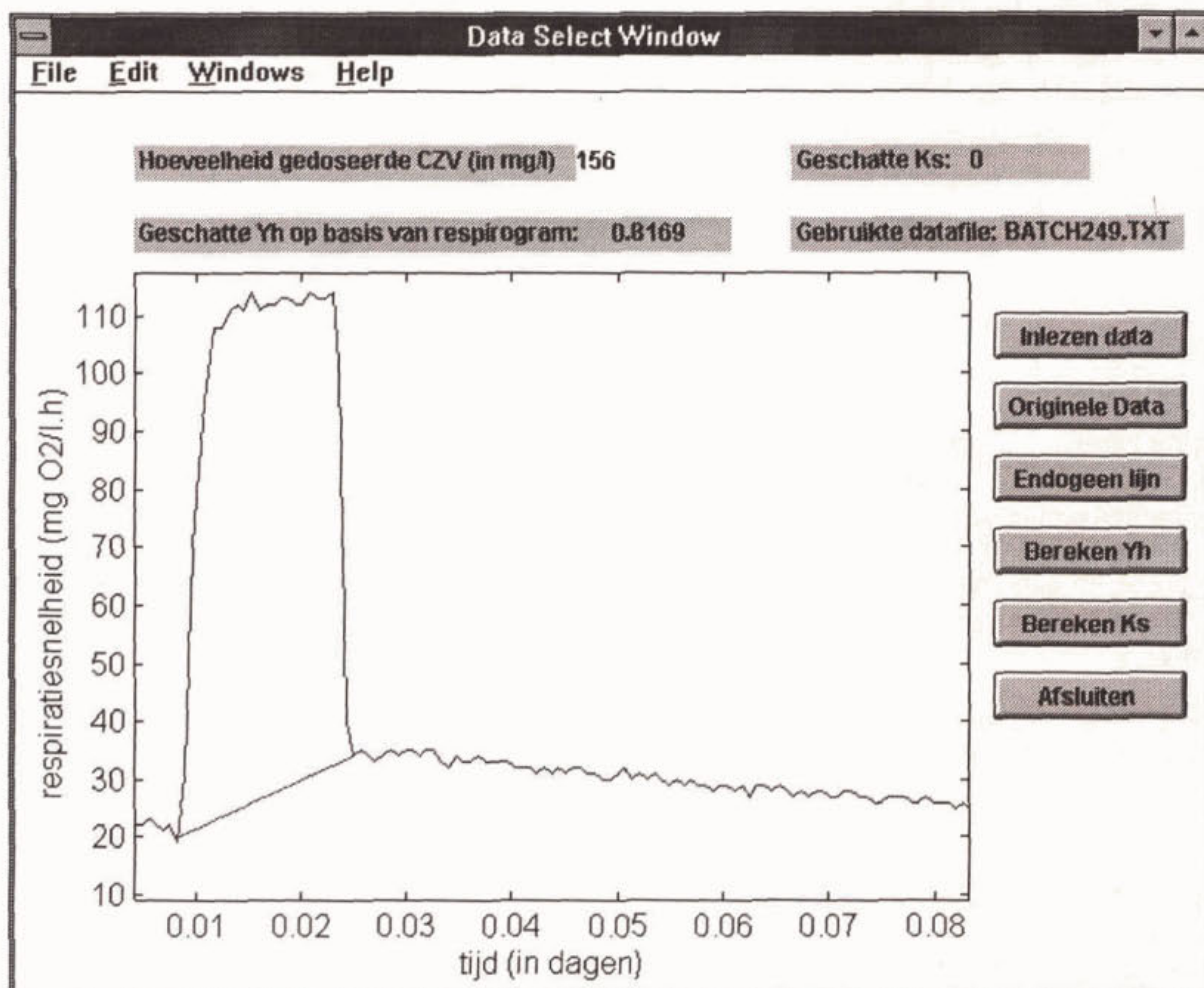
```
>> parschat
```

Er verschijnt dan een window met de titel 'Data Select Window' (zie figuur 33). In dit window kan middels de knop Inlezen data de file worden ingelezen waarin de meetdata van het respirogram zijn opgeslagen. Op de diskette is een aantal voorbeeldfiles opgenomen (de .TXT-files). Na selectie verschijnt een grafiek van het respirogram. Op de bovenste regel moet vervolgens de concentratie CZV worden ingevuld (voor de meegeleverde voorbeeldrespirogrammen geldt voor batch209.txt en batch249.txt een concentratie van 156 mg CZV/l en voor batch110.txt en batch710.txt een concentratie van 78 mg CZV/l).

Vervolgens kan een deel van het respirogram in de grafiek worden geselecteerd door de linker muisknop ingedrukt te houden en een rechthoek over de grafiek 'te slepen'. Deze selectie kan ongedaan worden gemaakt door op de knop Originele data te klikken: dan verschijnt de volledige grafiek weer. Door de selectie wordt aangegeven welk deel van het respirogram zal worden gebruikt voor de berekening van Y_H en K_S . Het is belangrijk dat de selectie zo ruim wordt gekozen dat deze ook een groot deel van de 'staart' van het respirogram omvat, echter niet zo ruim dat onregelmatigheden aan het eind van het batchrespirogram binnen de selectie vallen. Zodra de selectie naar tevredenheid is gemaakt, moet een hulplijn

worden getrokken om de berekening van de Y_H uit te kunnen voeren. De theorie achter deze hulplijn is beschreven in paragraaf 2.2.3 van het hoofdrapport. Door op de knop Endogeen lijn te klikken verschijnt een rode hulplijn. Deze lijn kan op de juiste plaats worden gelegd door eerst het beginpunt en vervolgens het eindpunt met de muis naar de juiste plaats te 'slepen'.

Als nu op de knop Bereken Y_H wordt geklikt, wordt op de tweede regel bovenin het window de berekende waarde ingevuld. Als bovenstaande acties worden uitgevoerd voor de voorbeeldfile *batch249.txt* levert dit figuur 33.



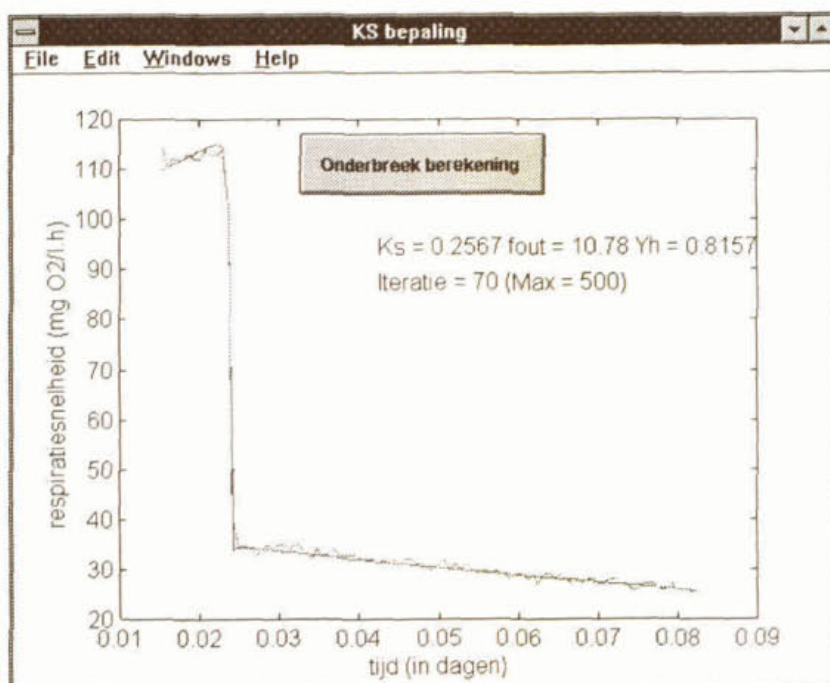
Figuur 33: Voorbeeld van een yield-berekening volgens 'PARSCHAT'

Als vervolgens op de knop Bereken K_S wordt geklikt, verschijnt een nieuw window met de titel 'Ks-bepaling' (zie figuur 34). Dit window toont het deel van het respirogram dat wordt gebruikt voor de K_S -berekening (gele curve). Tevens is een rode curve te zien: dit is de curve die door de software wordt gefit op de gele.

De berekening is meteen gestart en verloopt iteratief: dit betekent dat het schattingsalgoritme vele malen wordt herhaald tot de fout tussen gele en rode curve is geminimaliseerd. De laatst gevonden waarde voor K_S wordt afgedrukt in de grafiek.

De rekentijd voor een schatting van K_S kan aanzienlijk (> 1 uur) zijn, zeker op minder krachtige PC's. Een iteratie vergt meer rekentijd naarmate de fout kleiner wordt omdat het algoritme dan kleinere stapjes moet nemen.

Een voorbeeld, weer voor het respirogram uit de file *batch249.txt*, is weergegeven in figuur 34.



Figuur 34: Voorbeeld van een K_S -schatting volgens 'PARSCHAT'.

De K_S -berekening stopt automatisch wanneer één van de volgende gevallen optreedt:

- de minimale fout is gevonden (de fout is dan kleiner dan de tolerantie)
- het maximum van 500 iteraties is bereikt.

Bovendien heeft de gebruiker de mogelijkheid de berekening te stoppen via de de knop Onderbreek berekening, als de gebruiker tevreden is met de fit tussen de rode en de gele lijn. (Het kan nodig zijn de knop Onderbreek berekening hiertoe een aantal malen aan te klikken.)

Nadat de berekening is voltooid of afgebroken, wordt de gevonden waarde van K_S overgenomen in het window getiteld 'Data Select Window'.

3.2 De SS_SCHAT-functie

De functie SS_SCHAT wordt gebruikt voor de berekening van de S_S -concentratie uit een dataset van een semi-continue respiatiemeting.

Deze functie heeft een zestal inputs:

1. de Y_H [g CZV_{biomassa}/g CZV_{substraat}]
2. de K_S [mg CZV/l]
3. het afvalwaterdebiet bij lage belasting [l/uur]
4. het afvalwaterdebiet bij hoge belasting [l/uur]
5. de tijdsduur van één volledige cyclus (endogeen belast + laagbelast + hoogbelast) [min.]
6. een ASCII-file met data van de semi-continue respiatiemeting. Dit bestand heeft de volgende opbouw:

Kolom 1: tijd [dag]

Kolom 2: respiratiesnelheid [mg O₂/l.h]

Kolom 3: voedingsdebiet naar de respiatiemeter [l/h]

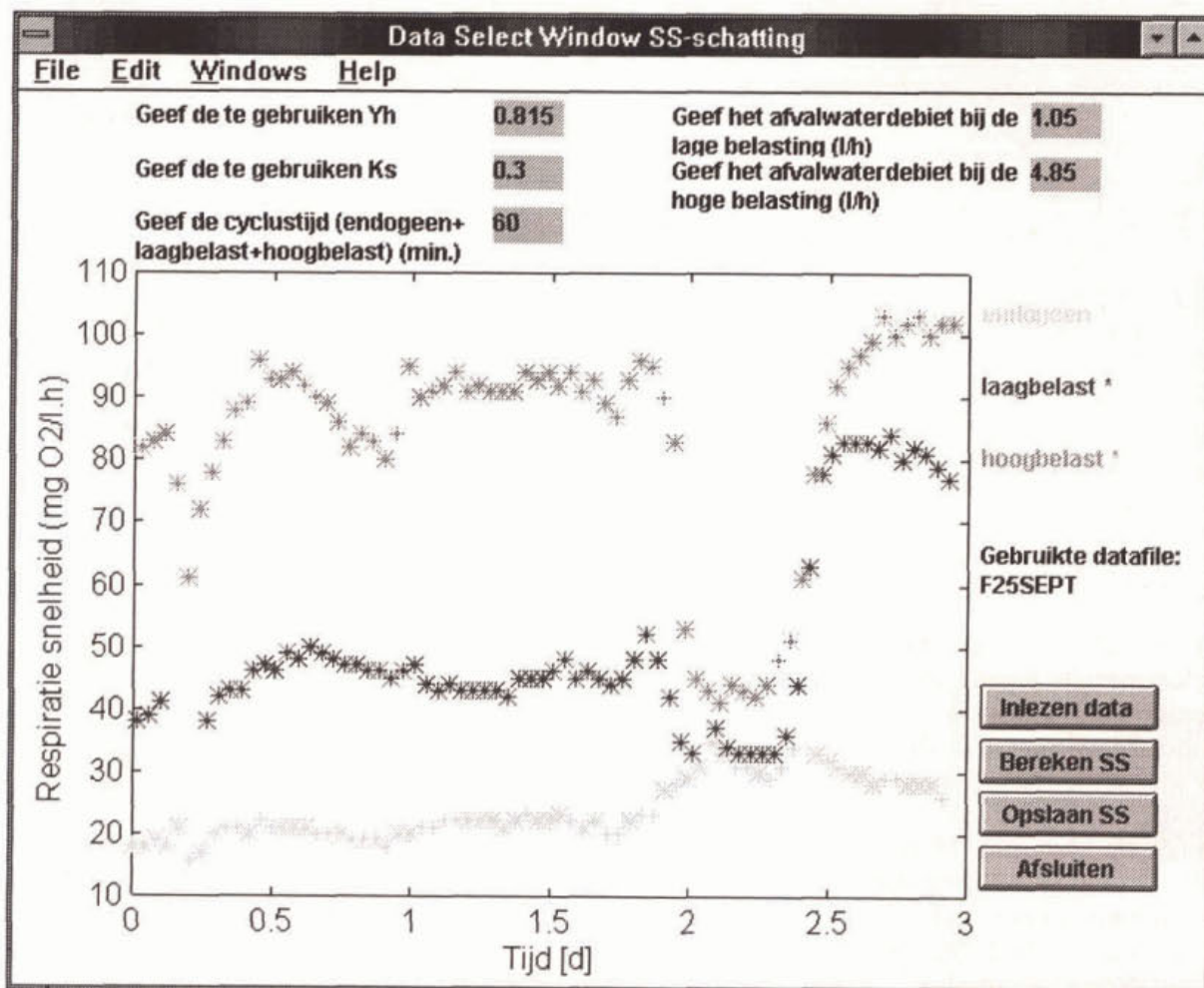
Kolom1 bevat de tijdstippen waarop de respiratiesnelheid een evenwichtswaarde bereikt voor afwisselend de endogeen belaste, de laagbelaste en de hoogbelaste situatie. De tijdsintervallen in kolom 1 zijn constant en gelijk aan een derde gedeelte van de totale cyclustijd (zie ook figuur 12). Kolom 2 bevat de bijbehorende evenwichtswaarden van de respiratiesnelheid per belastingsniveau voor afwisselend de endogeen belaste, laagbelast en hoogbelaste situatie. Het is essentieel dat in de file geen lege cellen voorkomen. In-

dien in de tijdreeksen van de respiratiesnelheden voor de drie belastingssituaties enkele waarden ontbreken, worden deze via interpolatie aangevuld door de functie SS_SCHAT. Een dergelijke ASCII-bestand (zie figuren 13 en 14) moet worden geconstrueerd uit het bestand met respiratiesnelheden zoals geregistreerd door de respirometer (zie figuur 12). Dit omvat enige handelingen in bijvoorbeeld spreadsheetsoftware. De kolommen in het bestand moeten gescheiden zijn door spaties (extensie .PRN) of tabs (extensie .TXT).

De functie geeft één outputfile, namelijk een ASCII-bestand bestaande uit twee kolommen, te weten de tijd kolom en een kolom met de berekende S_5 -concentraties (mg CZV/l). De functie wordt (nadat de juiste directory is aangewezen) gestart door op de commandoregel in het Matlab Command Window in te typen:

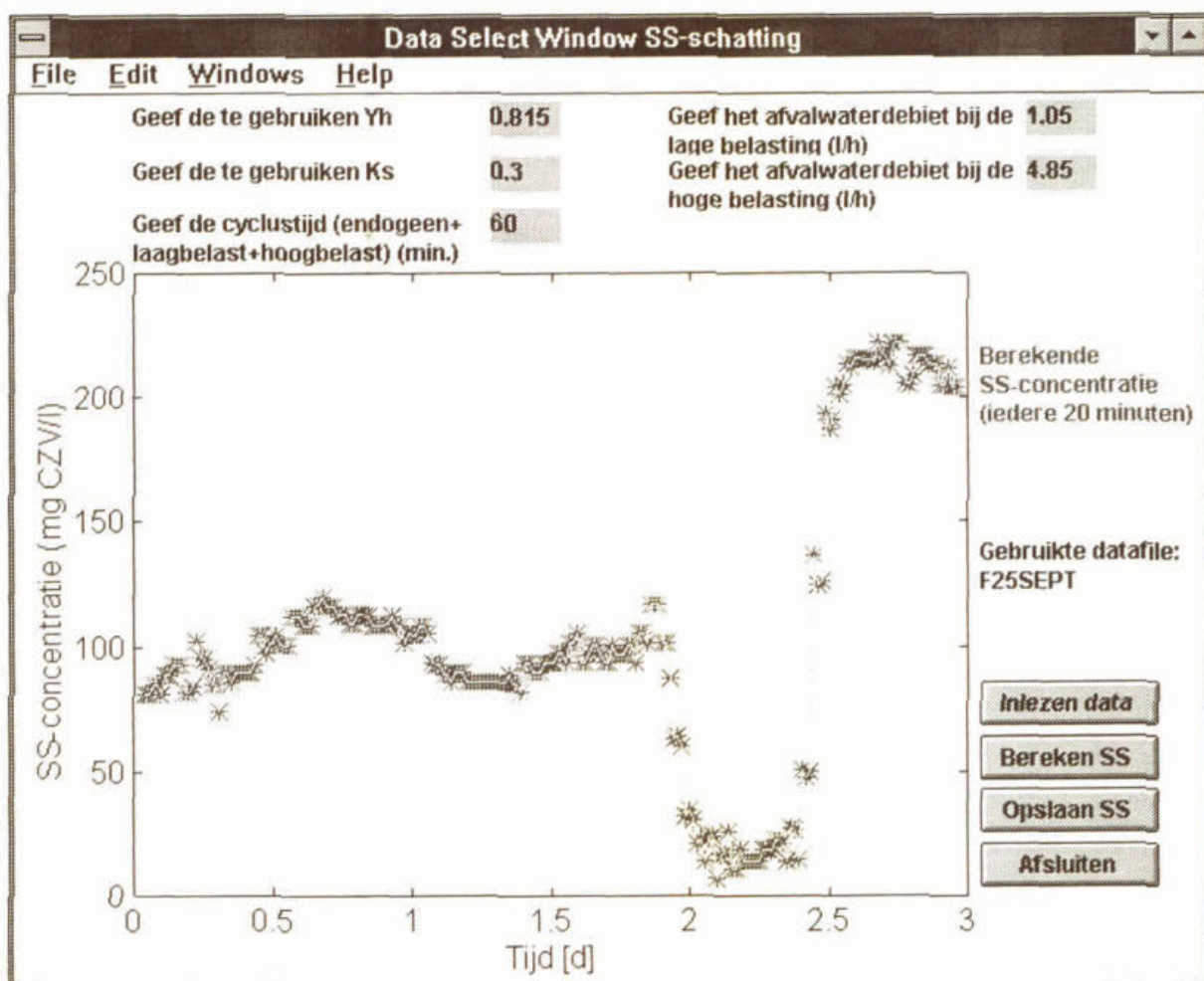
```
>> ss_schat
```

Er verschijnt dan een window met de titel 'Data Select Window SS-schatting'. In de bovenste regels van het window moet de informatie worden ingevuld, die nodig is voor de S_5 -berekening (Y_H , K_S , de afvalwaterdebieten in de laagbelaste en hoogbelaste situatie en de tijdsduur van een volledige cyclus). Vervolgens kan in dit window middels de knop Inlezen data de file worden ingelezen waarin de gemeten tijdreeksen van de respirometingen zijn opgeslagen. Op de diskette is een aantal voorbeeldfiles opgenomen (de .PRN-files). Na selectie verschijnt een grafiek van de verschillende respiratiesnelheden. Figuur 35 geeft een voorbeeld van het window, na laden van voorbeeldfile F25SEPT.PRN.



Figuur 35: Voorbeeld van invoer voor de S_5 -berekening via 'SS_SCHAT'

Het is belangrijk dat de ingevulde cyclustijd correspondeert met die van de tijdreeks van de respiratiesnelheden zoals in het ingelezen bestand, omdat de S_S -berekening alleen dan functioneert. Als alles is ingevuld, kan op de knop Bereken SS worden geklikt. De functie rekent dan de S_S -concentraties uit op basis van de berekening die uitgewerkt is in bijlage I van het hoofdrapport. Dit duurt enige tijd, zeker op minder krachtige PC's. De melding " S_S -concentratie wordt berekend, even geduld..." in het window, geeft aan dat de berekening wordt uitgevoerd. Wanneer de S_S -concentraties zijn berekend, wordt de grafiek met de respiratiesnelheden vervangen door een grafiek met de berekende S_S -concentraties. Figuur 36 toont hiervan een voorbeeld (voor *F25SEPT.PRN*).



Figuur 36: Voorbeeld van de resultaten van de S_S -berekening via SS_SCHAT

Als vervolgens de knop Opslaan SS wordt aangeklikt, wordt een file geschreven met twee kolommen, te weten de tijd kolom en een kolom met de bijbehorende S_S -concentraties. Dit bestand kan verder worden verwerkt tot input-file voor SIMBA (bijvoorbeeld via spreadsheetsoftware). Sluit SS_SCHAT af door de knop Afsluiten aan te klikken.

Resultaten printen

Indien de Matlab-windows worden geprint met behulp van het print-commando in het pull-down menu van het window, worden alleen de grafieken afgedrukt. De buttons en andere tekstvelden zullen niet worden afgedrukt. Dit is een bekend Matlab probleem. Het probleem is te omzeilen door het window met het betreffende plaatje te kopiëren naar bijvoorbeeld een Word-document (met behulp van Alt+Print Scrn en vervolgens binnen Word Ctrl+V).

