

Mogelijkheden tot controle en sturing van kleine WZI's

Bart Vanderhaegen[%] en Peter Vanrolleghem[#]

[%]nv EPAS - Technologiepark 3 - 9052 Zwijnaarde Tel. 09 241 56 18 - Fax. 09 221 82 18

[#]BIOMATH - Universiteit Gent - Coupure Links 653 - 9000 Gent

1. Inleiding

Door het steeds groeiende milieubewustzijn en de daaruit voortvloeiende strengere normen, waaraan de waterzuiveringsinstallaties (WZI's) moeten voldoen, wordt het voor de exploitanten van deze stations steeds moeilijker de juiste beslissingen te nemen op het vlak van de operationele instellingen. Sterk wisselende influentkarakteristieken bij zowel industriële (kwaliteit) als huishoudelijke afvalwaters (kwantiteit) spelen hierbij een bepalende rol. Het is gekend dat zelfs de goed gevolgde zuiveringsinstallaties zeer frequent (meer dan 30% van de tijd) de gestelde lozingsvoorwaarden niet halen **Error! Bookmark not defined.**

Het adequaat sturen van het biologisch proces in een waterzuiveringsinstallatie wordt bemoeilijkt door o.a. de volgende factoren :

1. De beperkte aanwezigheid van economisch haalbare, accurate en bruikbare on-line metingen.
2. Een onvoldoende inzicht in de biologische procesvoering. Het gebruik van deskundig gekalibreerde simulatiemodellen kan dit probleem voldoende verhelpen.
3. De responstijd op gewijzigde werkingsvoorwaarden kan variëren van enkele uren tot meerdere dagen, zodat correcties enkel laattijdig en daardoor met dikwijls dure hulpmiddelen worden uitgevoerd. Intelligente wisselwerking tussen het staalname en meetsysteem en het simulatiemodel moet leiden tot een zelfregulerende controle van afvalwaterzuiveringsstations.

Om verzekerd te zijn van een goede procesefficiëntie, zodat beantwoord wordt aan de lozingsnormen, is het inzetten van een permanente controle-infrastructuur noodzakelijk. Strengere controles, het recent invoeren van EMAS (Eco Management and Audit Scheme) en een groeiend milieubewustzijn nopen tot een beter georganiseerde en gefundeerde aanpak van de procesvoering en de procescontrole. Dit geldt niet alleen voor de grote (R)WZI's maar ook voor kleine WZI's, omdat de milieu-impact van deze laatste niet mag onderschat worden. Bij de implementatie van zowel kleine als grote WZI's dient dus een degelijke controle en sturingsinfrastructuur ingecalculeerd te worden. Terwijl de implementatie een economische overweging blijft, zijn kennis en technologie momenteel voorhanden.

2. Controle en sturing van actief slib systemen : noodzaak tot automatisatie

2.1. On-line meetsystemen

In het verleden werd weinig rekening gehouden met de plaatsing van meetsensoren binnen de specifieke configuratie van bijv. actief slib bekkens. Toch vraagt een goede processturing voldoende informatie over de specifieke processen die plaatsgrijpen in de verschillende fasen van het

zuiveringsproces. Om te blijven voldoen aan de steeds strenger wordende eisen wordt de implementatie van on-line sensoren een noodzaak om een adequate processturing mogelijk te maken.

In de hiernavolgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van sensoren, die kunnen ingezet worden om on-line informatie te verkrijgen van het actief slib systeem. Meer specifiek wordt ingegaan op de mogelijkheden voor de intensieve opvolging van de verschillende processen die plaatsgrijpen in een actief slib. De opdeling wordt gemaakt in functie van de plaats waar de sensoren kunnen geïnstalleerd worden :

1. Influent.
2. Effluent.
3. Actief slib.
4. Nabezinker.

2.1.1. Influentkarakteristieken

2.1.1.1. Organische belasting en toxiciteit

Voldoende kennis over het te behandelen afvalwater is van groot belang om een juiste processturing mogelijk te maken. In de praktijk worden de karakteristieken van het influent vaak soms slechts eenmaal per dag geanalyseerd. Het analysepakket wordt bovendien nog beperkt tot de meest rudimentaire parameters zoals CZV en pH. De kwaliteit van het influent is echter onderhevig aan schommelingen te wijten aan wijzigingen in het productieproces. Deze schommelingen kunnen voor een belangrijk deel opgevangen worden in egalisatiebekkens indien deze voorhanden zijn. Toch blijft een on-line influentbewaking een cruciaal element in afvalwaterzuivering.

Naast de opvolging van de pH, de temperatuur en de geleidbaarheid is het bekomen van een correct beeld van de organische belasting en eventuele toxiciteit van het influent van belang. Principieel zijn twee manieren voorhanden om de organische belasting te bepalen, namelijk een louter chemische of een biologische manier. Onder de chemische manier worden on-line CZV- en TOC-apparatuur verstaan. De bepaling van CZV is een van de meest uitgevoerde analyses in afvalwaterzuivering. Deze parameter geeft een correct beeld van de verwijdering van organisch materiaal en is aldus een van de belangrijkste parameters. Toch blijft een on-line CZV-analyse niet evident. Vaak werden problemen gemeld met bijv. verstoppingen. Daarom wordt aangeraden de te analyseren waters voorafgaandelijk te filtreren. Dit vraagt een extra bewerking van het staal en betekent ook een verlies aan informatie aangezien de particuliere CZV niet wordt in rekening gebracht.

De TOC-analyse is gebaseerd op de verbranding van organisch materiaal naar CO₂, wat vervolgens gemeten wordt door middel van IR-spectrometrie. Twee basisprincipes worden aangewend om de conversie uit te voeren : een catalytische conversie bij hoge temperatuur of een oxidatie door toevoegen van ozon. Beide methoden vertonen enkele problemen. Bij de catalytische oxidatie bestaat het risico van het smelten van zouten die het oppervlak van de catalysator vervuilen. Bij de toevoeging van persulfaat kan onvolledige oxidatie optreden wanneer de pH van het staal te laag is en een verhoogd gehalte aan particulier materiaal kan de penetratie van UV verhinderen. Zowel de CZV- als de TOC-analyse vragen een voorbehandeling van de stalen. Algemeen wordt gebruik gemaakt van ultrafiltratie voor het afscheiden van het particulier materiaal. Hoewel in het verleden menige aanpassingen uitgevoerd werden om de procescontinuïteit te verbeteren, vraagt deze bijkomende behandelingsstap extra onderhoud. Algemeen wordt vaak gerefereerd naar de TOC-bepaling als zijnde een analyse die een belangrijke inspanning vergt op het vlak van onderhoud. Desalniettemin blijft TOC-bepaling de aangewezen methode wanneer het afvalwater weinig zouten en particulier materiaal bevat.

Een belangrijk nadeel van de besproken methodes is dat geen informatie verschaft wordt omtrent de biodegradeerbaarheid en/of toxiciteit van de organische verbindingen. Dit gebeurt wel wanneer biologische sensoren worden aangewend, die op basis van respirometrie het influent karakteriseren. In aanwezigheid van biodegradeerbaar organisch materiaal verbruikt de aërobe biomassa actief zuurstof. De mate, waarin zuurstof verbruikt wordt, is een maat voor de activiteit van de biomassa en de hoeveelheid biodegradeerbaar materiaal. Respirometers kunnen volgens 4 criteria worden gecatalogeerd. Een eerste is de wijze van zuurstofinbreng. In de meeste sensoren wordt het monster voorafgaandelijk belucht. Andere systemen zijn voorzien van een beluchtingsapparaat. Een tweede criterium is de manier waarop het afvalwater in de sensor gebracht wordt. Zowel continue als discontinue toestellen zijn op de markt. Ten derde kunnen de respirometers geclassificeerd worden op basis van de informatie die verschaft wordt. Sommige apparatuur is gefocuseerd op de slibactiviteit en is aldus geschikt om het influent te bewaken op toxiciteit. Andere toestellen zijn meer gericht op het bepalen van de afvalwaterkarakteristieken. Finaal kan nog een onderscheid gemaakt worden tussen respirometers die al dan niet gebruik maken van een calibratiesubstraat. Het gebruik van een calibratiesubstraat maakt een evaluatie van de inhibitie mogelijk, los van de organische belasting. Bepaalde systemen maken gebruik van wijzigingen in de maximale zuurstofopnamesnelheid om de aanwezigheid van inhibitoren vast te stellen. Aangezien de maximale respiratiesnelheid eveneens beïnvloed wordt door de samenstelling van het afvalwater, dienen de nodige aanpassingen te worden gemaakt om deze interferentie te elimineren.

Op basis van batchexperimenten wordt met respirometrie een inschatting van de snel afbreekbare BZV (ktBZV of korte termijn BZV) bekomen, waardoor de evolutie van de influentvracht kan worden ingeschat. Indien de samenstelling van het afvalwater constant is, kan een correlatie opgesteld worden tussen de on-line ktBZV en de CZV van het afvalwater.

In alle systemen staat de zuurstofsonde centraal. Dit vraagt een continue calibratie en onderhoud van de elektrode. In vergelijking met de on-line CZV- en TOC-toestellen vragen respirometers nochtans minder onderhoud.

Naast beide hierboven beschreven methoden, kan de organische belasting bepaald worden door middel van UV-licht. Veel organische componenten absorberen UV-straling en verschillende studies toonden een sterk verband aan tussen UV-absorptie en TOC. Deze relatie kan verstoord worden door de aanwezigheid van particulier materiaal, hetgeen opnieuw een voorafgaandelijke filtratie noodzakelijk maakt.

2.1.1.2. Nutriënten

De on-line meting van stikstof en fosfor in het influent om de vracht aan nutriënten te bepalen, dient met voorzichtigheid te gebeuren. Vooreerst wordt door deze analyses geen volledig beeld van de aanwezige nutriënten bekomen, omdat organische stikstof niet bepaald wordt. Tevens is een processturing op basis van de influentsamenstelling algemeen niet aan te raden, zodat een on-line bepaling van de nutriënten niet noodzakelijk is.

2.1.2. Karakterisatie van de gemengde vloeistof

De gemengde vloeistof is de beste monsternamplaats wanneer de gegenereerde data aangewend worden voor procescontrole. Door de steeds strengere eisen dient de performantie van de WZI's uitgebreid te worden met nutriëntenverwijdering. Dit vraagt een aangepaste controlestrategie, die ondersteund moet worden met een voldoende rijke informatiestroom, die enkel kan geleverd worden door on-line sensoren. De mogelijkheden tot controle zijn afhankelijk van de specifieke configuratie. Als voorbeelden van controlemogelijkheden worden vernoemd : de dosering van chemicaliën, de zuurstofvoorziening, dosering van externe koolstof voor denitrificatie, controle van de recirculatie en

de overschakeling tussen anaërobe, anoxische en aërobe fasen in de biologische stikstof- en fosforverwijdering.

Het gebruik van pH- en zuurstofelectrodes is sterk ingeburgerd in de bedrijfsvoering van WZI's. Dit heeft te maken met de relatief beperkte aankooprijks en onderhoud van deze sondes. Toch kunnen problemen rijzen met aanlading van electrodes in dit milieu. Het gebruik van zelfreinigende, zelfcontrolerende en zelfcalibrerende electrodes kan een oplossing bieden. Net als voor influentbewaking kan respirometrie aangewend worden om duidende informatie te bekomen over de toestand van het actief slib en kan aldus gebruikt worden voor de sturing van het proces.

De verwijdering van nutriënten is een complex microbiologisch proces waarbij verschillende groepen van bacteriën samenwerken om stikstof en fosfor te verwijderen. Elk proces vraagt een aangepaste processturing, wat de globale operationele sturing van een WZI met nutriëntenverwijdering bemoeilijkt. Aldus is het bekomen van voldoende data noodzakelijk om het proces optimaal te laten doorgaan. Ook in dit geval is het gebruik van on-line sensoren ter hoogte van het beluchtingsbekken aan te raden. Op de markt zijn verschillende on-line analyse-apparaten voorhanden voor de bepaling van ammonium, nitraat en fosfaat. Voor de bepaling van ammonium hebben twee processen hun waarde in de praktijk reeds bewezen :

1. Ionselectieve electrodes, gebaseerd op de omzetting van ammonium naar ammoniak in alcalisch milieu, wat gedetecteerd wordt door een gassensitieve electrode.
2. De indofenolblauw-methode, die een geautomatiseerde laboratoriumanalyse is.

Nitraat en nitriet kunnen bepaald worden door middel van de volgende methodes :

1. UV-absorptie bij 210 nm wordt beschouwd als de beste technologie en vraagt weinig toevoeging van chemicaliën.
2. Ionselectieve electrodes zijn gevoelig voor interferenties en drifting.
3. Een colometrische methode waarbij nitraat gereduceerd tot nitriet en gemeten wordt na vorming van een azoverbinding.

Momenteel worden sensoren beschikbaar voor de analyse van totale stikstof, waardoor extra informatie kan verkregen worden.

Fosfaatfosfor wordt algemeen bepaald aan de hand van de molybdeenblauw- en de vanadaat-molybdaat-methode. Sensoren op basis van deze methodes kunnen als betrouwbaar beschouwd worden, doch vragen een aanzienlijke hoeveelheid aan chemicaliën. Net als voor de stikstofanalyses kan de totale fosfor worden bepaald na omzetting tot fosfaat in zuur milieu.

Zowel voor stikstof- als fosforbepaling is een voorafgaande filtratie van de stalen aangewezen, wat een extra inspanning vraagt op het vlak van investering en onderhoud.

Door het relatief onderhoudsintensieve karakter van deze on-line sensoren en de nodige financiële inspanning bij aankoop wordt nog steeds getracht nieuwe meetprincipes te ontwikkelen, die kunnen aangewend worden voor controle van de nutriëntenverwijdering. Op het vlak van stikstof worden twee belangrijke nieuwe methodologieën vermeld, nl. het gebruik van redoxpotentiaal- en pH-metingen.

De redox- of oxidatie/reductie-potentiaal (ORP) kan aangewend worden om informatie te verzamelen tijdens anaërobe en anoxische fasen in een meetbereik dat voor de zuurstofsensoren niet toegankelijk is. Het gebruik van ORP is gebaseerd op het detecteren van een "knie", d.i. een plotse daling van de ORP. Deze daling wijst op het verdwijnen van een ORP-buffer, te vergelijken met een pH-buffer. Een belangrijke ORP-buffer is nitraat. Het voorkomen van een ORP-knie treedt op bij een volledige

omzetting van nitraat door denitrificatie. Hoewel geen kwantificering van de nitraatconcentratie wordt uitgevoerd, kan deze methode toch aangewend worden voor de sturing van nutriëntenverwijdering.

Een tweede nieuwe technologie voor de opvolging van de stikstofverwijdering is zoals vermeld het gebruik van pH-electroden om het nitrificatie- en denitrificatieproces op te volgen en bij te sturen. Op basis van pH-signalen wordt een inschatting gemaakt van de ammonium- en nitraatconcentratie en van de koolstofdosis die nodig is voor een optimale denitrificatie. Ook de nitrificatie- en denitrificatiesnelheid kunnen afgeleid worden uit de ruwe gegevens, zodat deze sensoren kunnen aangewend worden voor toxiciteitsbewaking.

Het meten van het slibgehalte in het beluchtingsbekken kan gebeuren door turbidimetrie. Algemeen worden drie methodes aangewend :

1. Optische meting.
2. Absorptie van ultrasone golven.
3. Absorptie van gamma-straling.

Een nieuw principe is gebaseerd op het gebruik van microgolven. Deze manier zou minder gevoelig zijn voor verstoringen. Verschillende problemen met aanlading, gasbellen, kleur en andere interferenties werden in belangrijke mate geëlimineerd door aanpassingen van de sensoren, zodat algemeen kan worden gesteld dat deze methodiek een betrouwbare meting geeft van het gehalte aan zwevende stoffen.

Schommelingen in het slibgehalte worden veroorzaakt door enerzijds de aangroei van de biomassa en anderzijds hydraulische fenomenen. De aangroei van biomassa zal nooit aanleiding geven tot plotse veranderingen die het inzetten van on-line sensoren verantwoorden. Toch kunnen hydraulische fenomenen, zoals wijzigingen in influent- en/of retourdebiet een verplaatsing van het slib van het actief slib bekken naar de nabezinker veroorzaken. Aldus kunnen wel wijzigingen op korte termijn optreden in de slibconcentratie. Dit heeft voornamelijk gevolgen voor de slibafscheiding ter hoogte van de nabezinkers, zodat eerder gepleit wordt voor een bewaking ter hoogte van deze plaats dan ter hoogte van het beluchtingsbekken.

2.1.3. Nabezinker

Slibbezinking vormt een essentiële schakel in het zuiveringsproces van afvalwater. Tijdens deze stap worden alle bezinkbare stoffen afgescheiden, wat een bepalende invloed heeft op de effluentkwaliteit. In vele gevallen treden problemen met de slibbezinking op of is de dimensionering van de nabezinker niet afdoende om een goede slibafscheiding te garanderen. Belangrijk op dit vlak is dat tendenzen vroegtijdig kunnen vastgesteld worden, zodat op een accurate wijze kan ingegrepen worden. Hieruit blijkt de noodzaak voor sensoren die een getrouwe inschatting geven van de slibdekenhoogte, slibconcentratieprofielen, de retourconcentratie en de bezinkingskarakteristieken van het slib.

De opvolging van slibconcentraties is bijgevolg van groot belang. De uitgelezen techniek hiervoor is het meten van de turbiditeit. Door middel van dergelijke sondes kan de hoogte van het slibdeken, het slibconcentratieprofiel en de slibconcentratie in de retourstroom continu gevolgd worden.

Een nieuw type van sensor, de Settlo-meter[®], werd ontwikkeld voor de on-line opvolging van slibbezinkingskarakteristieken. De sensor bestaat uit een geminiaturiseerde nabezinker, waarbij het slibfront tijdens batch bezinkingsprocessen opgevolgd wordt. Uit de verwerking van de gegevens kunnen belangrijke procesgegevens zoals de bezinkingssnelheid, de scherpte van het slibfront en het slibvolume afgeleid worden. Hierdoor wordt een on-line beeld weergegeven van de bezinkingskarakteristieken, waardoor vroegtijdig verstoringen kunnen gesignaleerd worden. Tevens kan de sensor aangewend worden om het gebruik van polymeren ter verbetering van de slibbezinking te

evalueren en op praktijkschaal te sturen. De toepassingsmogelijkheden van deze sensor zijn veelbelovend voor de opvolging van de slibafscheiding. Door koppeling van het principe van de Settlo-meter® aan beeldanalyse kunnen de mogelijkheden worden uitgebreid tot on-line bepaling van slibconcentratieprofielen en vlok-morfologische kenmerken.

2.1.4. Effluentkarakterisatie

On-line metingen zijn geschikt voor het bepalen van de effluentkwaliteit in het reeds geschetste kader van de steeds strenger wordende wetgeving. On-line metingen van stikstof, fosfor en turbiditeit kunnen, gecombineerd met off-line analyses, een volledig beeld geven van de effluentkwaliteit. Controle op basis van de effluentparameters is minder geschikt aangezien het meet-signaal wordt uitgevlakt en vertraagd in de tijd. Als uitzondering kan de controle van de chemicaliëndosering bij chemische fosforverwijdering vermeld worden.

Voor de opvolging van de effluentkwaliteit kan gebruik gemaakt worden van dezelfde sensoren als beschreven in de vorige paragrafen.

De effluentkwaliteit kan eveneens ingeschat worden aan de hand van gegevens van de on-line opvolging ter hoogte van het beluchtingsbekken.

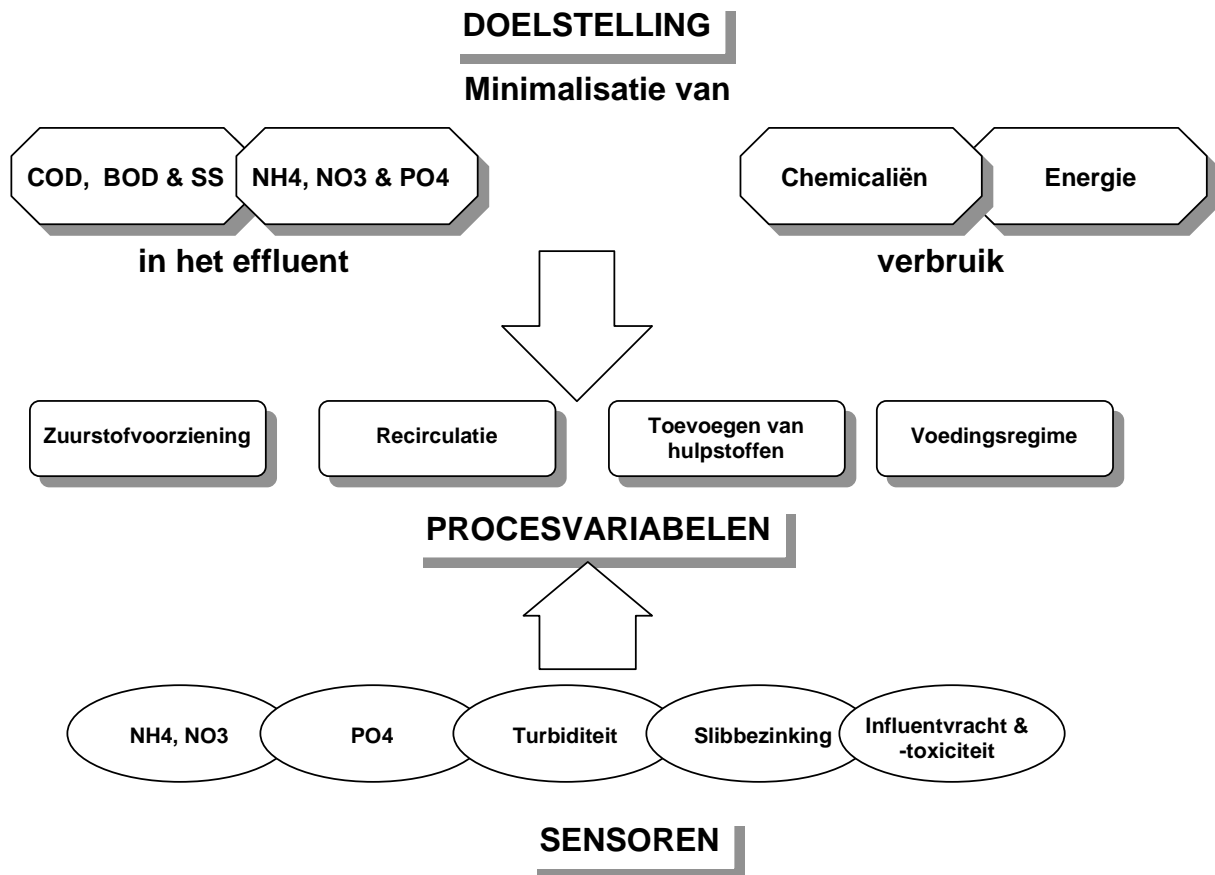
2.2. Procescontrole van actief slib

De doelstelling van een actief slib installatie is om tegen een zo laag mogelijke kostprijs een zo goed mogelijke effluentkwaliteit te bekomen. De procesvariabelen, waarop kan ingegrepen worden, zijn weliswaar beperkt, doch de complexiteit van het geheel noopt tot een sterke onderbouw van de procesvoering. In Figuur 1 wordt de interactie tussen on-line metingen door middel van sensoren, de operationele instellingen en de beoogde doelstellingen schematisch weergegeven voor een WZI met nutriëntenverwijdering.

Uit verschillende praktijkervaringen is gebleken dat een optimale controle van een WZI kan leiden tot een substantiële vermindering van de werkingskosten. Tevens wordt door een on-line bewaking van dit systeem de kans op calamiteiten verminderd en kan de manuele supervisie beperkt worden tot een minimum. Dit is een eerste belangrijke stap in de richting van geautomiseerde systemen.

Een bijkomend voordeel van een optimaal uitgerust systeem is dat met de huidige technologische mogelijkheden de bewaking van het actief slib kan gebeuren door middel van telemonitoring. De opvolging kan gebeuren door externe specialisten waardoor de zorg voor het systeem gedeeltelijk wegvalt voor het bedrijf. Deze optie is voornamelijk van belang voor kleinere WZI's aangezien deze vaak niet over het nodige gekwalificeerd personeel beschikken.

Figuur 1. Interactie tussen on-line sensoren, doelstellingen en procesvariabelen



2.3. Modelgebaseerde data-interpretatie en procesoptimalisatie

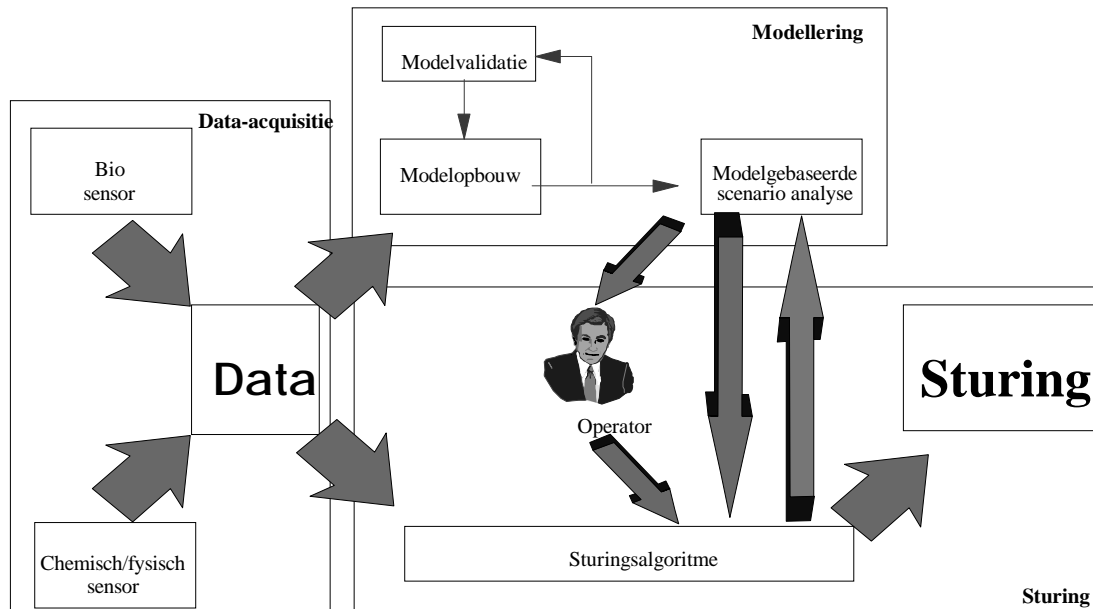
Een goed beheer van een waterzuiveringsproces vergt een grondig inzicht in de biologische procesvoering. Gezien de complexiteit van de verschillende processen, die simultaan in het actief slib bekken plaatsgrijpen, is er nood aan een hulpmiddel dat de beslissingen van de operator en de sturing van de WZI ondersteunt. Recente ontwikkelingen hebben aangetoond dat om een beter inzicht te krijgen in de structuur en het gedrag van de waterzuivering simulatie gunstige perspectieven biedt. In de literatuur worden verschillende modellen beschreven, die het gedrag van het biologisch systeem trachten te vatten in wiskundige vergelijkingen, waaronder het algemeen aanvaarde IAWQ-model Nr. 1 en het recent gepubliceerde IAWQ-model Nr. 2, dat met een aantal bijkomende processen is uitgebreid.

De validiteit van deze modellen moet grondig worden geanalyseerd. Het aanwenden van wiskundige modellen vergt bovendien een voortdurende fitting aan de reële werksituatie. De recent ontwikkelde methodiek voor calibratie en validatie van wiskundige modellen is voornamelijk gebaseerd op een uitgebreide analyse van het influent. Aan de hand van respirometrische testen worden de karakteristieken van het influent en het actief slib in functie van het wiskundig model bepaald. Louter influent gefocuste analyses geven geen volledig beeld van het systeem en dienen te worden aangevuld met gedetailleerde informatie die kan geleverd worden door on-line sensoren.

De integratie van modellering in de sturing van WZI's (**Error! Reference source not found.**) is het logische vervolg op het vatten van biologische kennis in wiskundige modellen. Biologische kennis

wordt bekomen door een intensieve on-line en off-line meetcampagne, die als invoer gebruikt wordt voor het mathematische simulatiemodel. Om dit te bereiken is een intelligente communicatie nodig tussen data-acquisitie, modellering en sturing (Figuur 2).

Figuur 2. Schematische weergave van Modelgebaseerde data-interpretatie en procesoptimalisatie



Door de integratie van een geavanceerde data-acquisitie, simulatie van de biologische processen en een optimaal sturingsalgoritme zullen de waterzuiveringssystemen steeds verder evolueren naar geautomatiseerde, autonome systemen. De inbreng van operatoren zal beperkt worden door de verdere evolutie van de technologie en inbreng van externe experts. Deze evolutie zal zich voornamelijk doorvoeren voor kleinere WZI's die centraal zullen opgevolgd worden. Grotere bedrijven zullen deze technologie eerder binnenshuis aanwenden.