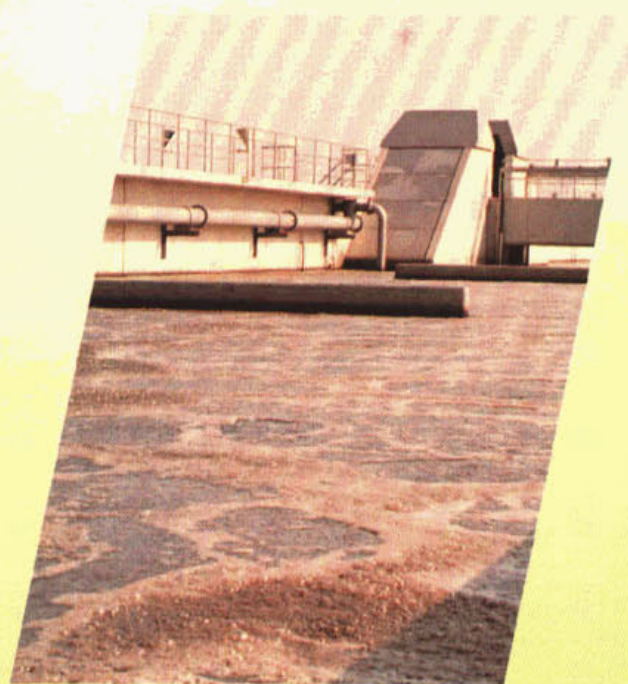


Monitoren voor P en N



Monitoren voor P en N

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

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

Programma PN-1992

stowa

Inhoud

Inhoud	i
Ten geleide	ii
0 SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	5
2 IN BESCHOUWING GENOMEN MEETAPPARATUUR	6
2.1 Algemeen	6
2.2 Fosfaatmeting	7
2.3 Ammoniummeting	7
2.4 Nitraat- en nitrietmeting	8
2.5 Redoxpotentiaalmeting	8
2.6 O ₂ -minimator	9
3 BEPERKT LITERATUURONDERZOEK	11
4 PRAKTIJKPROEVEN	13
4.1 Participanten	13
4.2 Beschrijving van de regelingen	13
4.3 Projectfasering	22
5 SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN EN EVALUATIE	23
5.1 Algemeen	23
5.2 Reeuwijk/Randenburg	24
5.3 Everstekooog	25
5.4 De Drie Ambachten	28
5.5 Horstermeer	30
5.6 Beesd en Zetten	32
5.7 Hattem	34
5.8 Holten	36
6 CONCLUSIES	39
7 SLOTBESCHOUWING	41
7.1 Ervaringen	41
7.2 Toepassingsmogelijkheden van het meetsignaal	41
7.3 Voortgang	42
8 REFERENTIES	43

Bijlagen:

1. Voorbeelden van toetsing metingen analyse-apparatuur

Ten geleide

In 1990 werd het STORA-onderzoek naar de verwijdering van fosfaat en stikstof op rioolwaterzuiveringsinrichtingen geïntensiveerd en versneld. Doel van het speciaal hierop gerichte spoedprogramma "PN 1992" - dat van de zuiverende waterkwaliteitsbeheerders een extra onderzoeksinspanning van zeven miljoen gulden in drie jaar vraagt - is het elimineren van onzekerheden en knelpunten in de thans operationele methoden en technieken. Dit om de zuiverende deelnemers in de STOWA tijdig een voldoende beproefd instrumentarium te bieden om te kunnen voldoen aan de effluenteisen voor die stoffen in 1995 en later.

In dit kader pasten een inventarisatie en praktijkonderzoek op rwzi's naar de mogelijkheden die de on line-meting van fosfaat en stikstofverbindingen biedt voor het verbeteren van de effluentkwaliteit, voor het verkleinen van de spreiding in zuiveringsresultaten en voor regelingen die tot procesoptimalisatie kunnen leiden.

De resultaten geven aan dat voldoende betrouwbare meetsignalen verkregen kunnen worden en de verwachting gerechtvaardigd is dat goede regelingen gerealiseerd kunnen worden.

Het onderzoek werd door het algemeen bestuur van de STOWA - op voorstel van de Stuurgroep PNS 1992* - opgedragen aan DHV Water B.V. (projectteam bestaande uit ing. P.C.A.M. van Helvoort, ir. R. van der Kuij en ing. P.P. Weesendorp (tot december 1991)) en namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit mw. dipl.ing. G. Both (voorzitter), ing. F.A. Brandse, ing. R. van Dalen, ir. S.B. Gaastra, ir. P.C. Stamperius en ing. J.J. Verbraaken.

De resultaten waarop de inhoud van het rapport is gebaseerd, zijn verkregen in praktijkexperimenten waaraan werd meegewerkt door de hoogheemraadschappen van Rijnland en van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en West-friesland, de zuiveringsschappen Amstel- en Gooiland, Rivierenland, Veluwe en West-Overijssel, en het waterschap De Drie Ambachten. De STOWA is hen voor deze bijdrage zeer erkentelijk.

Utrecht, april 1993

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

• De Stuurgroep PNs 1992 die tot dit project adviseerde, bestond uit:
ir. R. den Engelse (voorzitter), ir. J. Boschloo, ir. A.E. van Giffen, ir. C. Kerstens, ir. K.F. de Korte, ir. T. Meijer, ir. P.C. Stamperius, alsmede ir. W. van Sarkenburg voor de coördinatie met het programma RWZI - 2000. Als technisch secretaris treedt op ir. P. de Jong van Witteveen + Bos Raadgevende Ingenieurs.

Een verdergaande verwijdering van fosfor en stikstof kan naar verwachting op een groot aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) worden bereikt door een geautomatiseerde procesvoering. Inzicht in het concentratieverloop van de te verwijderen componenten is daarvoor essentieel.

Afhankelijk van het te bereiken doel kan worden gekozen uit verschillende typen metingen. Er kan direct fosfor (ortho-P of P_{totaal}) en stikstof ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ of $\text{NO}_x\text{-N}$) worden gemeten, maar ook metingen zoals de redoxpotentiaal en de troebeling in het actiefslib kunnen worden toegepast om de bedrijfsvoering van een zuiveringsinrichting verder te optimaliseren.

In Nederland is met deze werkwijzen nog weinig ervaring opgedaan. Daarom zijn in het kader van het STOWA-programma "Stikstof- en fosforverwijdering" op een achttal lokaties de toepassingsmogelijkheden van een aantal meetapparaten nader onderzocht.

Bij de beoordeling van de resultaten zijn de volgende aspecten onderscheiden:

- de voorbehandeling van het actiefslibmonster met behulp van een ultrafiltratie-eenheid;
- het analyse-apparaat;
- de toegepaste regeling;
- de kosten.

In tabel 1 zijn de resultaten en de ervaringen globaal weergegeven.

voorbehandeling

De analyse van fosfor en stikstof is veelal gebaseerd op spectrofotometrie. Voor een betrouwbare meting in actiefslib is daarom voorbehandeling door middel van ultrafiltratie noodzakelijk.

Bij de experimenten is gedurende een lange periode een ultrafilter van het merk Abcor/Koch beproefd. Omdat dit filter vrijwel probleemloos functioneerde, zijn geen andere filters toegepast.

De standtijd van een filtermodule hangt af van de lokatie (slibgehalte, grofvuilverwijdering, plaats van bemonsteren en dergelijke), de filtraathoeveelheid en de gevolgde reinigingsprocedure. Door een goede reiniging kan een standtijd van meer dan een maand worden bereikt. Veiligheidshalve wordt veelal een standtijd van 1 à 3 weken aangehouden.

De levensduur van een filtermodule kan bij een goede reiniging tenminste 1 jaar bedragen.

Op basis van experimenten is vastgesteld dat het toegepaste filtermateriaal geen ammonium, nitraat of fosfaat adsorbeert c.q. affiltreert. De voorbehandeling heeft dan ook geen versturende invloed op de navolgende meting.

meet-apparaat

In dit project is een vijftal metingen getest:

- fosfaat (ortho-P);
- ammonium (NH₄-N);
- nitraat + nitriet (NO_x-N);
- redoxpotentiaal;
- troebelings met een O₂-minimator.

De redoxpotentiaal en de troebelings worden direct in het actiefslib bepaald. Er is geen voorbehandeling met behulp van een filter nodig.

Van de geteste monitoren is het meetsignaal voldoende betrouwbaar en bruikbaar voor toepassing in een regeling. Afwijkingen van het meetsignaal vallen binnen de door de fabrikant opgegeven meetnauwkeurigheid.

Preventief onderhoud is in alle gevallen noodzakelijk om een betrouwbaar signaal te kunnen blijven garanderen. Afhankelijk van de monitor betreft dit:

- reiniging van elektrode, leidingwerk en meetcel (1 keer per 1 à 2 weken);
- vervangen van het elektrodemembraan en leidingwerk (1 à 2 keer per jaar) en de elektrode (minimaal 1 keer per jaar);
- bijvullen van chemicaliën (1 keer per 1 à 2 weken).

toepassing van het meetsignaal

Met uitzondering van de experimenten op de rwzi's Everstekoog en Holten is het signaal van de geteste monitoren toegepast in de regeling van de beluchters. Daarbij is getracht het nitrificatie/denitrificatieproces en in een aantal gevallen de biologische P-verwijdering verder te optimaliseren.

Op de rwzi Everstekoog is het signaal van de fosfaatmonitor toegepast in de regeling van de chemicaliëndoseerpomp voor simultane precipitatie in de beluchttingsruimte.

Op de rwzi Holten is het signaal van de redoxmeters toegepast voor de regeling van een tweetal recirculatiepompen.

De resultaten zijn beoordeeld op basis van de effluentkwaliteit. Deze is in een aantal gevallen vergeleken met de kwaliteit in de periode voorafgaand aan het onderzoek of met de concentraties in een parallel bedreven beluchttingsstraat (rwzi Horstermeer).

Er lijken voldoende mogelijkheden aanwezig om tot een goede regeling te kunnen komen. Het meetsignaal is hiervoor voldoende nauwkeurig en betrouwbaar.

Hoewel de regelstrategie niet altijd is geoptimaliseerd, bestaat de indruk dat met de geteste meetapparatuur de effluentkwaliteit voor fosfor en/of stikstof veelal kan worden verbeterd. In een enkel geval is zelfs een stabiliserende werking van de regeling op de effluentkwaliteit vastgesteld.

Het is echter nog niet mogelijk het effect van de metingen c.q. regelingen op bijvoorbeeld de effluentkwaliteit te kunnen kwantificeren, omdat de daarvoor benodigde (geoptimaliseerde) referentiesituatie ontbreekt.

Gezien de positieve ervaringen is het zinvol om nader onderzoek te verrichten naar de mogelijkheden van regelen van de P- en N-verwijdering in de praktijk. Naast optimalisatie van de regelstrategie zou daarbij meer aandacht kunnen worden besteed aan eventuele neveneffecten van de gevolgde strategie.

kosten

De investeringen voor de ultrafiltratie-eenheid (benodigd voor P- en N-metingen) variëren tussen f 12.000,- en f 18.000,-. De investeringen voor de analyse-apparatuur zijn afhankelijk van de toegepaste monitor. De redoxmeter is relatief goedkoop: circa f 6.000,-. De prijzen van de P- en N-monitoren liggen rond f 50.000,-. De prijs van de O₂-minimator is met f 100.000,- het hoogst.

Bovenstaande bedragen zijn inclusief BTW, maar exclusief bijkomende kosten zoals behuizing, aanpassingen aan de bestaande installatie en dergelijke. De bijkomende kosten hebben in dit project, afhankelijk van de lokatie, f 10.000,- tot f 100.000,- bedragen.

Er dient te worden vermeld dat de weergegeven investeringen golden bij aanvang van het project (eind 1989). Door een verhoogde interesse en nieuwe ontwikkelingen is inmiddels een aantal prijzen verlaagd.

De exploitatiekosten (gebaseerd op de kapitaalslasten, de chemicaliënkosten en de onderhoudskosten) variëren van f 2.000,- bij toepassing van een redoxmeter tot f 30.000,- bij toepassing van een O₂-minimator.

Tabel 1 Samenvattend overzicht van de bedrijfservaringen

RWZI	type meting	doel***	ultrafiltratie-eenheid		monitor		totaal onderhoud (h/week)	investering [f]	exploitatiekosten [f/jaar]**
			toepassing (ja/nee)	standtijd (maken)	aanwezigheid [h]	bruikbaarheid			
Reeuwijk	NH ₄ -N	N-verwijdering	ja	2-3		goed	3	66.161	19.100
Eversteekoo	ortho-P	P-verwijdering	ja	2-8	± 5	goed	4	55.000	17.600
De Drie Ambachten	troebelings	N-verwijdering P-verwijdering	neen	nvt	± 5	matig	1	100.000	30.200
De Drie Ambachten	ortho-P	P-verwijdering	ja	2	± 5	goed	1	60.000	27.740
Horstermeer	NH ₄ -N	N-verwijdering	ja	1	± 5	goed	1	54.000	18.200
Beesd	redoxpotentiaal	N-verwijdering P-verwijdering	neen	nvt	± 1	goed	4	5.900	2.030
Zetten	redoxpotentiaal	N-verwijdering P-verwijdering	neen	nvt	± 1	goed	4	5.900	2.030
Hattem	NO _x -N	N-verwijdering	ja	1	± 2	goed	1	54.000	15.285
Hoiten****	redoxpotentiaal	N-verwijdering P-verwijdering	neen	nvt	± 1	goed	4	5.412	1.375

* De investeringen hebben betrekking op de ultrafiltratie-eenheid en het analyse-apparaat.

** De exploitatiekosten hebben betrekking op de kapitaalslasten, chemicaliën en onderhoud.

*** Op de rwzi Eversteekoo is de chemicaliënpomp geregeld ten behoeve van simultane precipitatie. Op de rwzi De Drie Ambachten kan naast biologische P-verwijdering aanvullende chemische precipitatie worden toegepast. Op de overige rwzi's werd verdergaande P-verwijdering door biologische opname bewerkstelligd.

**** De weergegeven kosten bij de rwzi Hoiten hebben betrekking op één redoxmeter. In de regeling zijn twee meters opgenomen.

Op korte termijn zullen de effluenteisen voor rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) worden aangescherpt en zullen maatregelen moeten worden genomen voor een verdergaande verwijdering van fosfor en stikstof.

Conventionele uitbreiding van het actiefslib-systeem (vergroten van de slibmassa) is financieel veelal onaantrekkelijk. In eerste instantie zal op bestaande rwzi's worden getracht met de reeds beschikbare middelen de bedrijfsvoering met het oog op de fosfor- en de stikstofverwijdering te optimaliseren.

Automatisering is één van de hulpmiddelen om de bedrijfsvoering van een rwzi te verbeteren. Daarbij wordt veelal gebruik gemaakt van relatief simpele technieken:

- tijdschakeling;
- pompregeling op basis van een niveaumeting of een debietmeting;
- beluchterregeling op basis van meting van het zuurstofgehalte.

Met deze regelingen c.q. sturingen is het niet of nauwelijks mogelijk de procescondities optimaal af te stemmen op de te verwerken fosfor- en stikstofvrachten. Daartoe is meer inzicht nodig in het verloop van de concentraties van de betreffende componenten.

De meetapparatuur voor P en N is het afgelopen decennium verder ontwikkeld. Met name bij de voorbehandeling (filtratie) van monsters van rioolwater en actiefslib zijn goede resultaten bereikt. Toepassen van de meetapparatuur is daardoor aantrekkelijker geworden.

In het kader van het STOWA-programma "Stikstof- en fosforverwijdering" zijn op een aantal lokaties in Nederland de toepassingsmogelijkheden van verschillende typen meetapparatuur onderzocht. Aan de hand van een beperkte literatuurstudie en enkele praktijkexperimenten zijn de mogelijkheden geïnventariseerd voor metingen in het kader van P- en N-verwijdering, en mogelijkheden om met behulp van een regeling het proces te optimaliseren, de effluentwaliteit te verbeteren en de spreiding in de resultaten te verkleinen.

De bij het onderzoek betrokken waterkwaliteitsbeheerders hebben separaat over hun bevindingen gerapporteerd. In onderhavige rapportage zijn de resultaten van de verschillende onderzoeken samengevat weergegeven.

Hoofdstuk 2 bevat een overzicht en een beschrijving van de in beschouwing genomen meetapparatuur. In hoofdstuk 3 is op basis van een globale literatuurinventarisatie een overzicht gegeven van de ervaringen in het buitenland.

De praktijkproeven in Nederland zijn beschreven in hoofdstuk 4. In de hoofdstukken 5 en 6 zijn de resultaten, de evaluatie en de conclusies van deze proeven samengevat weergegeven.

Hoofdstuk 7 bevat de slotbeschouwing en aanbevelingen voor eventuele voortzetting van het onderzoek.

2 IN BESCHOUWING GENOMEN MEETAPPARATUUR

2.1 Algemeen

In dit project zijn zes typen meetapparaten toegepast (tabel 2). De meetprincipes worden in de navolgende paragrafen beschreven.

Tabel 2 In beschouwing genomen meetapparatuur

meting	meetprincipe	merk/leverancier	type
ortho-fosfaat (P)	spectrofotometrisch	Applikon	ADI 2015 Proces Colo- rimeter
	spectrofotometrisch	Hach	
ammonium (NH ₄ -N)	elektrode (NH ₄)	Bran & Lubbe	Ionometer AC200
	elektrode (NH ₄)	Applikon	ADI 2020
ammonium (NH ₄ -N)	spectrofotometrisch	Dr. Lange	Amtrax
nitraat+nitriet(NO _x -N)	UV-meting	Dr. Lange	LPG 192
redoxpotentiaal	elektrode	Ingold - Knick/Elscolab	DXK
	elektrode	Ingold - WTW/Retsch	Zensolyt ESA
O ₂ -minimator	troebeling	Schreiber / Bosman	-

Voor een betrouwbare meting van fosfor en stikstof moet zwevende stof uit het medium worden verwijderd. Bij de uitgevoerde experimenten is gebruik gemaakt van de ultrafiltratie-eenheid van het merk Abcor/Koch. Gedurende korte tijd is op de rwzi Everstekeog ook een cross-flow-filter (filtermedium: fijn gaas) van het merk Applikon beproefd. Toepassing hiervan leverde echter in deze configuratie regelmatig verstoppingsproblemen. De ultrafiltratie-eenheid is daarom vervangen door een eenheid van het merk Abcor/Koch.

Omdat de ultrafiltratie-eenheid van Abcor/Koch naar tevredenheid functioneerde, zijn in onderhavig project geen andere merken in beschouwing genomen.

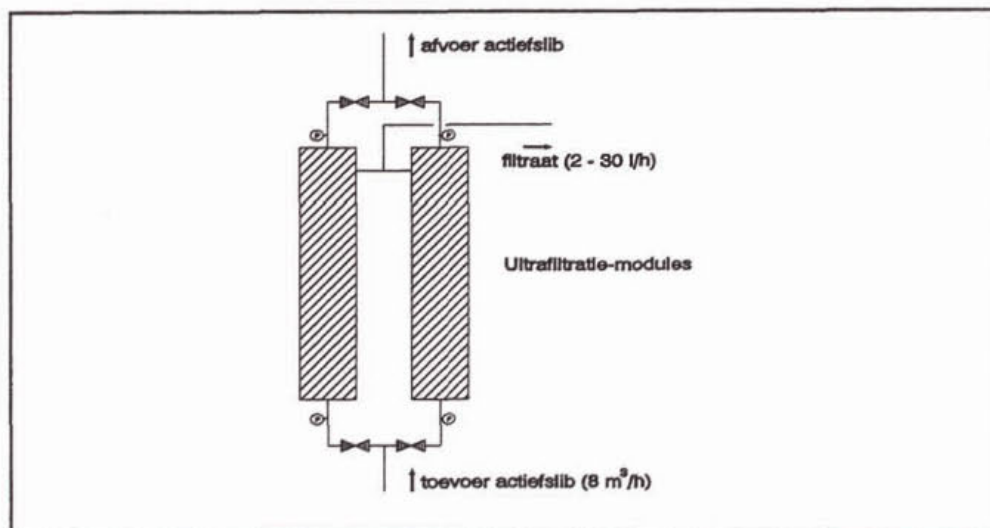
In figuur 1 staat een filtratie-eenheid schematisch weergegeven.

Omdat de totale reinigingsprocedure met chloorbleekloog (of waterstofperoxyde) en leidingwater circa 1 dag bedraagt, bestaat de filtratie-eenheid veelal uit twee parallel geschakelde modules.

Eventueel kan met één leiding worden volstaan. In dat geval moet tijdens het wisselen van de modules tijdelijk de bemonitoring worden stilgezet. In vergelijking met de totale vertragings-tijd tussen bemonsteren en meten - deze kan enkele minuten tot een uur bedragen - is dat geen probleem.

Om vuilafzetting te voorkomen wordt de filtratie-eenheid continu doorstroomd met een relatief groot debiet ($\pm 8 \text{ m}^3/\text{h}$). Slechts een kleine hoeveelheid (2 - 30 l/h) wordt door de filterwand naar de analyse-apparatuur gevoerd.

De redoxpotentiaal wordt direct met een elektrode in het actiefslib gemeten. Voorbehandeling bij de O_2 -minimator is met het oog op de werking van de meter ongewenst.



Figuur 1 Ultrafiltratie-eenheid van het merk Abcor/Koch met een capaciteit van $8 \text{ m}^3/\text{h}$

2.2 Fosfaatmeting

De toegepaste fosfaatanalysers bemonsteren het medium batchgewijs.

Door toevoeging van chemicaliën wordt ortho-fosfaat omgezet in dodecamolybdaatzuur. Dit wordt vervolgens gereduceerd tot fosformolybdeenblauw. Deze kleuring wordt gemeten door de analyse-apparatuur en is een maat voor het fosfaatgehalte.

De minimale cyclustijd van de totale meting bedraagt 12 minuten.

De spoel- en calibratie-procedures van de analyse-apparatuur kunnen worden geprogrammeerd. De procedures worden dan automatisch gestart en uitgevoerd.

2.3 Ammoniummeting

Het ammoniumgehalte kan op verschillende wijzen worden bepaald:

- ionselectieve elektrode;
- spectrofotometrisch waarbij ammonium eerst wordt omgezet in een blauwe indofenolverbinding;
- colorimetrisch/spectrofotometrisch, waarbij ammonium eerst wordt omgezet in gasvormig ammoniak.

In het onderzoek is alleen de eerste werkwijze in beschouwing genomen.

Bij de ionselectieve elektrode wordt met natronloog de pH van het monster verhoogd tot > 11 . Het ammoniumion wordt daardoor omgezet in gasvormig ammoniak. De concentratie van ammoniak wordt vervolgens gemeten met behulp van een elektrode.

De analyse-apparatuur van Applikon wordt batchgewijs met medium gevoed. De analyse-apparatuur van Bran&Lubbe wordt daarentegen continu doorstroomd. Bij beide apparaten worden de spoel- en calibratieprocedures automatisch uitgevoerd.

De totale cyclustijd van een NH_4 -meting bedraagt circa 10 minuten.

2.4 Nitraat- en nitrietmeting

Voor de bepaling van nitraat is een drietal werkwijzen bekend:

- ionselectief met behulp van een elektrode;
- UV-spectrofotometrisch;
- colorimetrisch/spectrofotometrisch.

Door storing van andere ionen is de meting met behulp van een ionselectieve elektrode nauwelijks bruikbaar in het milieu van rwzi's.

Bij de colorimetrisch/spectrofotometrische methode wordt nitraat gereduceerd tot nitriet. Door toevoeging van chemicaliën wordt een violette azo-kleurstof gevormd. De kleuring is een maat voor het nitraat- en het nitrietgehalte in het medium.

Bij de uitgevoerde experimenten is gebruik gemaakt van meting met behulp van een UV-spectrofotometer. De totale cyclustijd van deze meting bedraagt circa 3 minuten.

Bij de metingen wordt zowel nitriet ($\text{NO}_2\text{-N}$) als nitraat ($\text{NO}_3\text{-N}$) gemeten. Gelet op het geringe aandeel nitriet in een actief-slibstelsel is de meting te beschouwen als een nitraatmeting.

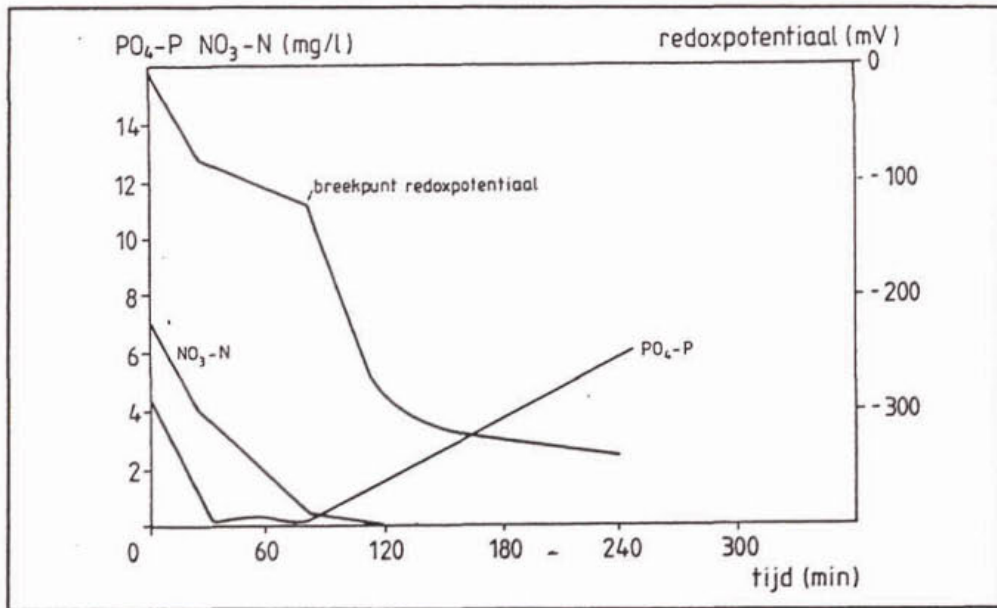
De analyse-apparatuur wordt continu doorstroomd. Afhankelijk van de doorstroming van het filter kan de meetvertraging oplopen tot maximaal enkele minuten. De spoel- en calibratieprocedures worden automatisch gestart en uitgevoerd.

2.5 Redoxpotentiaalmeting

De Oxydatieve Reductie Potentiaal (ORP), of de redoxpotentiaal, is een maat voor de momentane "overall" oxydatietoestand in het medium en wordt voor een groot deel bepaald door het zuurstof- en het nitraatgehalte.

De redoxpotentiaal is bruikbaar, omdat met name de overgangssituaties tussen aërobe, anoxische en anaërobe fasen door detecteerbare veranderingen worden gemarkeerd. In figuur 2 is hiervan een voorbeeld weergegeven.

De desbetreffende experimenten zijn uitgevoerd met redox-elektrode van het merk Ingold. Daarbij is gebruik gemaakt van de in de industrie toegepaste robuuste uitvoeringen.



Figuur 2 Voorbeeld van een verloop van de redoxpotentiaal en de nitraat- en fosfaatconcentratie in een onbeluchte periode [5]

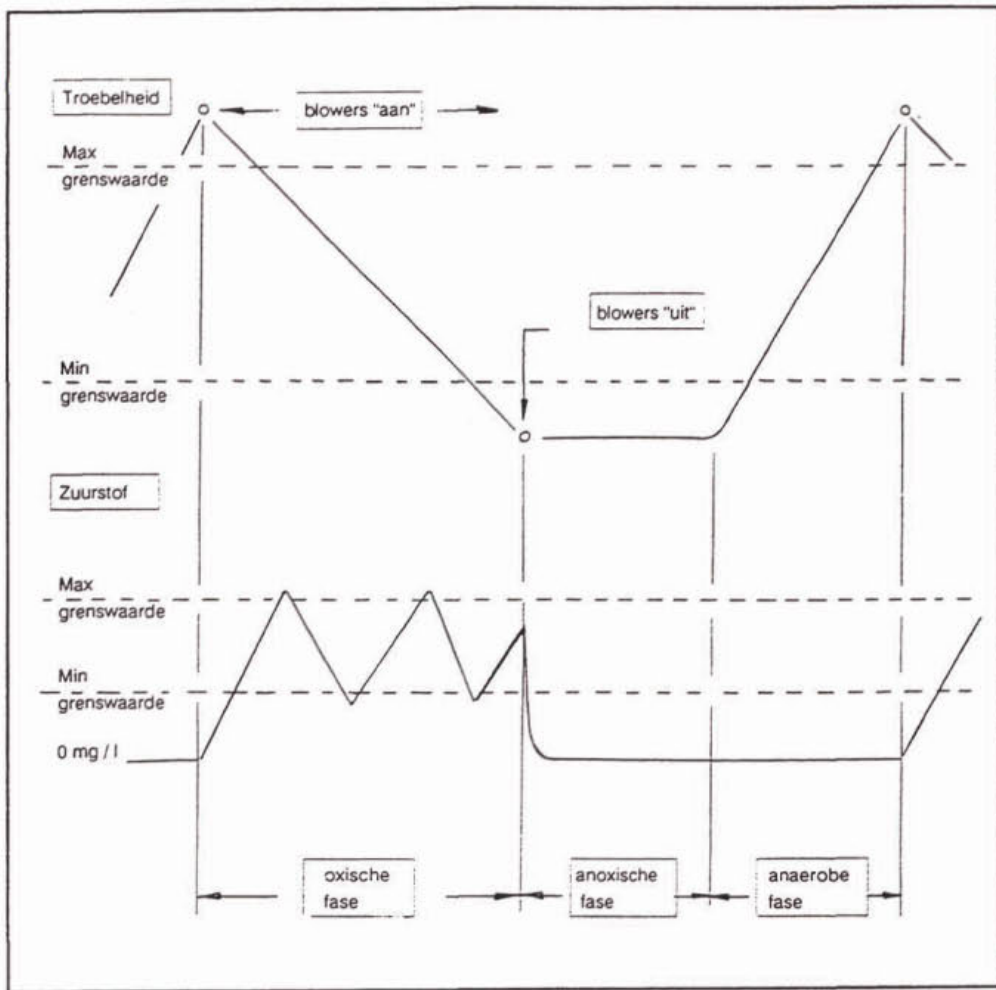
2.6 O₂-minimator

De werking van de O₂-minimator van de firma Schreiber/Bosman berust op het verschijnsel dat actiefslibvlokken onder anaërobe condities enigszins desintegreren. Bij de overgang van een anoxysch naar een anaëroob milieu neemt de troebelheid van het medium significant toe.

Door meting van de troebelheid van een voorbezonden monster, kunnen de verschillende procesomstandigheden in een intermitterend aëroob, anoxysch en anaëroob milieu worden vastgesteld. In figuur 3 is een verloop van de troebelheid en het zuurstofgehalte in een dergelijk systeem weergegeven.

Het meetapparaat wordt batchgewijs gevoed met actiefslib (ongefiltreerd). In een bezinktrecter wordt het slib afgescheiden. Het voorbezonden monster wordt door een troebelheidsmeter (fabriek Dr.Lange) geleid.

De spoelprocedure voor de bezinktrecter wordt automatisch gestart en uitgevoerd. De calibratie van de troebelheidsmeter is handmatig.



Figuur 3 Voorbeeld van een verloop van de troebeling in een intermitterend belucht systeem [3]

Bij aanvang van de praktijkproeven in 1990 (hoofdstuk 4) is een beperkte literatuurinventarisatie uitgevoerd. De bevindingen daarvan zijn in een werkrapport vastgelegd [8].

Er is informatie verzameld over de bestaande meetmethoden en regelingen in de praktijk. Voorts is een aantal randvoorwaarden belicht, die een rol kunnen spelen bij de keuze en de implementatie van een procesregeling op basis van monitorsignalen.

In dit hoofdstuk is het resultaat van deze studie samengevat weergegeven.

In de literatuur is de keuze van een bepaald type monitor veelal bepaald op basis van:

- procesconfiguratie en slibbelasting;
- BZV/N/P-verhouding en procestemperatuur;
- fluctuaties in de hydraulische, BZV-, N- en P-belasting;
- eventuele alternatieven;
- flexibiliteit van de procesvoering;
- plaats van bemonstering;
- data-opslag en -verwerking;
- complexiteit.

In de praktijk zal de keuze mede worden bepaald door de investeringen, de bedrijfsvoeringskosten en operationele aspecten, zoals bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden.

In Duitsland is op een beperkt aantal lokaties ervaring opgedaan met het regelen op basis van 'on-line' N- en P-metingen. Over het algemeen worden ammoniummetingen toegepast in verband met de geldende effluenteisen. Vooralsnog zijn deze gebaseerd op N_{kj} en (nog) niet op N_{totaal} . Regelmatige ijking van de meter blijkt noodzakelijk om een betrouwbaar meetsignaal te kunnen garanderen. De responsietijd van de meter bedraagt circa 15 minuten bij een afstand tussen het filter en de monitor van circa 1 meter. De onderhoudswerkzaamheden nemen normaliter 0,5 - 2 uur per week in beslag.

Ook met nitraatmetingen zijn goede ervaringen opgedaan. Er worden aanzienlijke besparingen gemeld van de beluchtingsenergie. Ook blijkt flotatie van slib in de nabezinktanks te kunnen worden voorkomen.

Het meten van zowel ortho-fosfaat als totaal-fosfor blijkt succesvol. De meting heeft op een aantal lokaties een bewakingsfunctie, waarbij boven een ingestelde waarde chemicaliën worden gedoseerd.

Van de redoxpotentiaalmeting wordt gemeld dat een gelijke effluentkwaliteit als bij een nitraatmeting haalbaar is. De absolute waarde van de redoxpotentiaal blijkt per lokatie aanzienlijk te kunnen verschillen. Het verloop van de redoxpotentiaal in beluchte en niet-beluchte zones is overigens wel vergelijkbaar.

Om ongewenste fluctuaties van het signaal te voorkomen, moet de meting plaatsvinden in een goed gemengd deel van het actief-slibstelsel.

De drift van de meting wordt als nadeel genoemd. De redoxpotentiaalmeting wordt echter over het algemeen ervaren als een betrouwbaar apparaat dat weinig onderhoud behoeft.

Ook van de O₂-minimator worden goede resultaten gemeld. De O₂-minimator wordt zowel voor een verdergaande verwijdering van P als van N toegepast. Er worden verwijderingsrendementen van fosfor gemeld van 60 - 70%.

On-line monitoren kunnen het inzicht verhogen in de werking van een zuiveringsproces door de concentratieschommelingen van de verschillende procesparameters in de tijd zichtbaar te maken. Op grond van dit waardevolle inzicht kunnen veelal een doelgerichte keuze en een efficiënte regelstrategie worden bepaald ten behoeve van monitorkeuze en procesoptimalisering. Deze procesoptimalisering kan tot uiting komen in besparing van beluchtingsenergie en chemicaliënkosten en in een betere kwaliteit van het effluent. De kwaliteitsverbetering geldt zowel de spreiding als ook de absolute waarden van BZV- en nutriëntgehalten in het gezuiverde afvalwater.

Teichgräber (1988) geeft aan dat monitorsystemen meestal enkele uren onderhoud per week te vergen, dat na enige training van het personeel in eigen beheer kan worden uitgevoerd. Het implementeren en bedienen van een procesregeling met behulp van monitoren vraagt in ieder geval om meer specialistische kennis.

Een goede interpretatie van de ervaringen en meetresultaten is problematisch, omdat de voor een goede evaluatie benodigde informatie over relevante procesparameters veelal ontbreekt. Ook de proefomstandigheden worden veelal summier belicht. Extrapolatie naar de Nederlandse situatie wordt daardoor bemoeilijkt.

Het lijkt in dit kader zinvol een aantal onderbelicht gebleven aspecten door middel van een gerichte literatuurstudie nader te onderzoeken. Er is inmiddels een nieuwe reeks relevante artikelen over het onderwerp 'monitoren', inclusief praktijkervaringen, in de vakliteratuur gepubliceerd.

Met name de keuze voor een optimale regelstrategie met monitoren in relatie tot de mogelijkheden van een bepaald zuiveringsstelsel (bijvoorbeeld: grootte van de beluchting, slibbelasting, aëratietank met propstrooming, oxydatiesloot, cascade- of compleet gemengd stelsel) zouden verder kunnen worden uitgewerkt.

4 PRAKTIJKPROEVEN

4.1 Participanten

Door zeven waterkwaliteitsbeheerders is op praktijkschaal op een achttal lokaties in de experimenten geparticipeerd. In tabel 3 is hiervan een overzicht gegeven:

Tabel 3 Overzicht participatieprojecten

beheerder	rwzi	ref.*
Hoogheemraadschap van Rijnland	Reeuwijk Randenburg	1
Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen	Everstekeog	2
Waterschap De Drie Ambachten	De Drie Ambachten	3
Zuiveringschap Amstel en Gooiland	Horstermeer	4
Zuiveringsschap Rivierenland	Beesd Zetten	5
Zuiveringschap Veluwe	Hatten	6
Zuiveringschap West-Overijssel	Holten	7

* In hoofdstuk 8 is een referentielijst opgenomen.

In tabel 4 zijn per rwzi het zuiveringssysteem, het type beluchting en enkele kentallen weergegeven.

4.2 Beschrijving van de regelingen

Mede afhankelijk van de configuratie van de rwzi's is door de beheerders gekozen voor een bepaald type meting c.q. regeling. De geteste meetapparatuur staat beschreven in hoofdstuk 2. In deze paragraaf is per rwzi de uiteindelijk toepaste regelstrategie, waarvan de analyse-apparatuur onderdeel uitmaakt, beschreven.

In tabel 5 is een samenvattend overzicht weergegeven van de geteste analyse-apparatuur en de toegepaste regelingen.

rwzi Reeuwijk-Randenburg

De rwzi Reeuwijk-Randenburg is van het type Carrousel. Tijdens het onderzoek is de dompeldiepte van één van de twee beluchters direct geregeld op basis van het ammoniumgehalte. De andere beluchter is conventioneel op basis van het zuurstofgehalte in- en afgeschakeld.

Voorafgaand aan de onderzoeksperiode werden de beide beluchters geregeld op basis van het zuurstofgehalte.

Tabel 4 Overzicht van de in beschouwing genomen zuiveringsystemen

RWZI	actiefabstysteem	type beluchter	ontwerpgegevens			huidige belasting [*]
			capaciteit [ie a 180 g TVZ] [g/(g d.s. dag)]	BZV-belasting [g/(g d.s. dag)]	N _v -belasting [g/(g d.s. dag)]	
Reeuwijk	carrousel	puntbeluchter	25.000	0,054		80
Eversteekooig *	oxydatiesloot	borstebeluchter	28.000	0,045/0,71	0,013/0,02	60/104
De Drie Ambachten	Schrijber	bellembeluchting	77.500	0,09	0,020	56
Horstermeer	propstroomer	bellembeluchting	160.000	0,15	0,05	75
Beesd	oxydatiesloot	borstebeluchter	7.500	0,054		70
Zetten	oxydatiesloot	borstebeluchter	6.500	0,054		70
Hatten	carrousel	puntbeluchter	68.000	0,054	0,012-0,015	± 80
Hollten	propstroomer	bellembeluchting	54.000	0,05	0,016	60

* Winter/Zomer - periode.

Tabel 5 Samenvattend overzicht van de geteste meetapparatuur en de toegepaste regelkringen

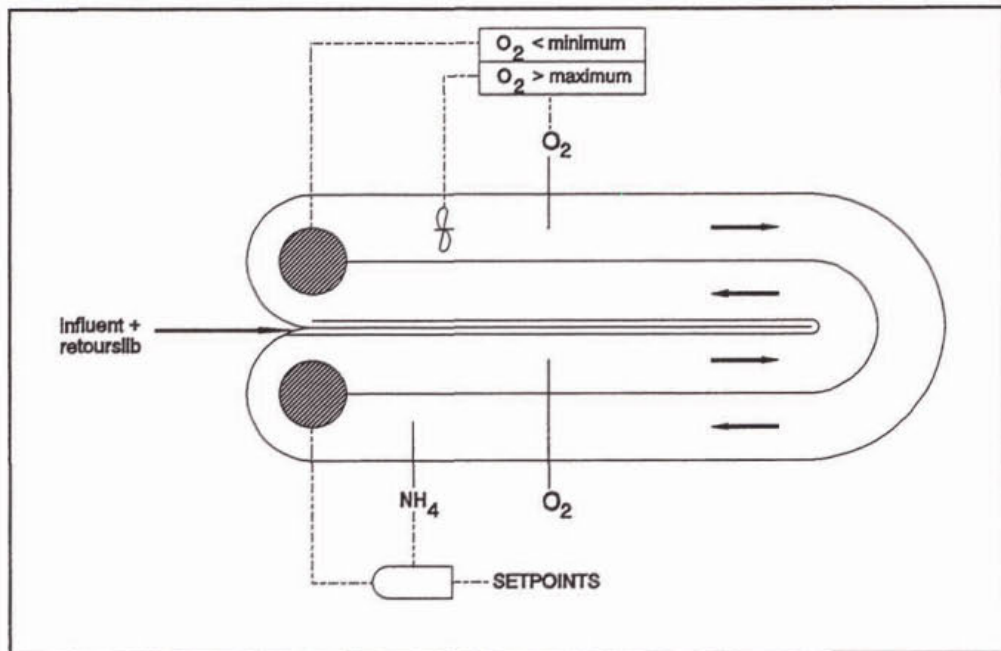
RWZI	GEFESTE MONITOR			REGELING		
	leverancier	monitor	meetvertraging	meetsignaal	regelactie	doel
Reeuwijk	Applikon	NH ₄ -monitor	> 13 min.	NH ₄ -N	dompeldiepte beluchter 2	N-verwijdering
Eversteekoo	Applikon	P-monitor	> 16 min.	ortho-P en/of influentdebiet	chemicaliëndosering	P-verwijdering
De Drie Ambachten	Schreiber/Bosman	O ₂ -minimator	> 55 min.	troebelings	beluchting aan/uit*	P- en N-verwijdering
	Hach	P-monitor	>16 min.	ortho-P	n.v.t. ***	n.v.t. ***
Horstermeer	Bran&Lubbe	NH ₄ -monitor	< 3 min.	NH ₄ -N	blowercapaciteit straat 1/2	N-verwijdering
Beesd	Retsch	redoxpotentiaal	0 min.	ORP	beluchters + voortstuwers aan/uit**	P- en N-verwijdering
	Retsch	redoxpotentiaal	0 min.	ORP	beluchters aan/uit**	P- en N-verwijdering
Hattem	Dr. Lange	NO ₃ -monitor	< 3 min.	NO ₃ -N	beluchter(s)+voortstuwers aan/uit*	N-verwijdering
Holtien	Elscolab	redoxpotentiaal	0 min.	ORP	recirculatiegebiet	P- en N-verwijdering

* Tijdens de beluchte periode wordt de zuurstofinbreng geregeld op basis van het zuurstofgehalte.

** Tijdens de beluchte periode wordt de zuurstofinbreng geregeld op basis van de redoxpotentiaal.

*** Op de rwzi De Drie Ambachten is de regeling van de chemicaliëndoseerpomp op basis van het P-gehalte reeds voorbereid, maar nog niet getest.

In figuur 4 is de op de rwzi Reeuwijk-Randenburg toegepaste regeling schematisch weergegeven.

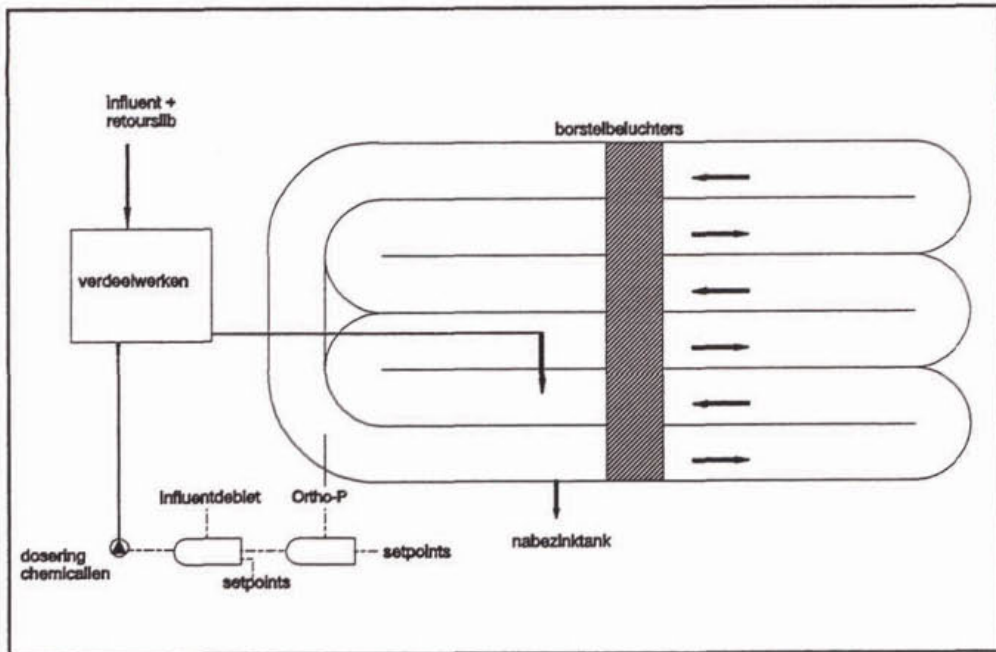


Figuur 4 Regeling van de RWZI Reeuwijk/Randenburg

rwzi Eversteekoo

Op de rwzi Eversteekoo wordt fosfor verwijderd door middel van simultane precipitatie met behulp van ijzer(II)sulfaat. De doseerpomp is tijdens het onderzoek geregeld op basis van het met de analyser gemeten fosfaatgehalte in de beluchtingsruimte, op basis van het influentdebiet, en op basis van zowel het fosfaatgehalte als het influentdebiet. In de periode voorafgaand aan het onderzoek is de doseerpomp handmatig gestuurd.

De hierboven beschreven regeling staat schematisch weergegeven in figuur 5.



Figuur 5 RWZI Everstekooq (nieuwe circuit)

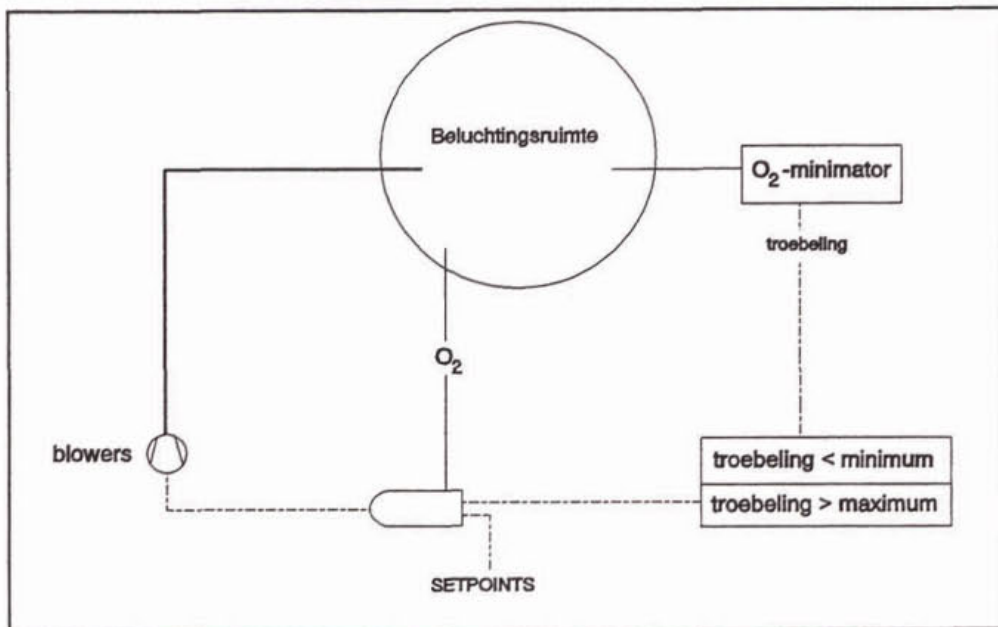
rwzi De Drie Ambachten

De Schreiber-installatie van de rwzi De Drie Ambachten is intermitterend belucht op basis van een troebelheidsmeting met behulp van een O_2 -minimator.

Er kunnen achtereenvolgens drie fasen worden onderscheiden:

- aëroob (nitrificatie);
- anoxysch (denitrificatie)
- anaëroob (biologische fosforverwijdering).

De toegepaste regelstrategie staat weergegeven in figuur 6.



Figuur 6 RWZI De Drie Ambachten

Er is reeds rekening gehouden met een aanvullende chemicaliëndosering tijdens niet-beluchte perioden op basis van het fosfaatgehalte in het actiefslib. De regeling van de doseerpomp is voorbereid, maar nog niet getest.

rwzi Horstermeer

De rwzi Horstermeer is van het type propstomer. Het onderzoek is uitgevoerd in één van de twee beluchtingsstraten. De andere beluchtingsstraat diende daarbij als referentie.

Er zijn drie zones te onderscheiden:

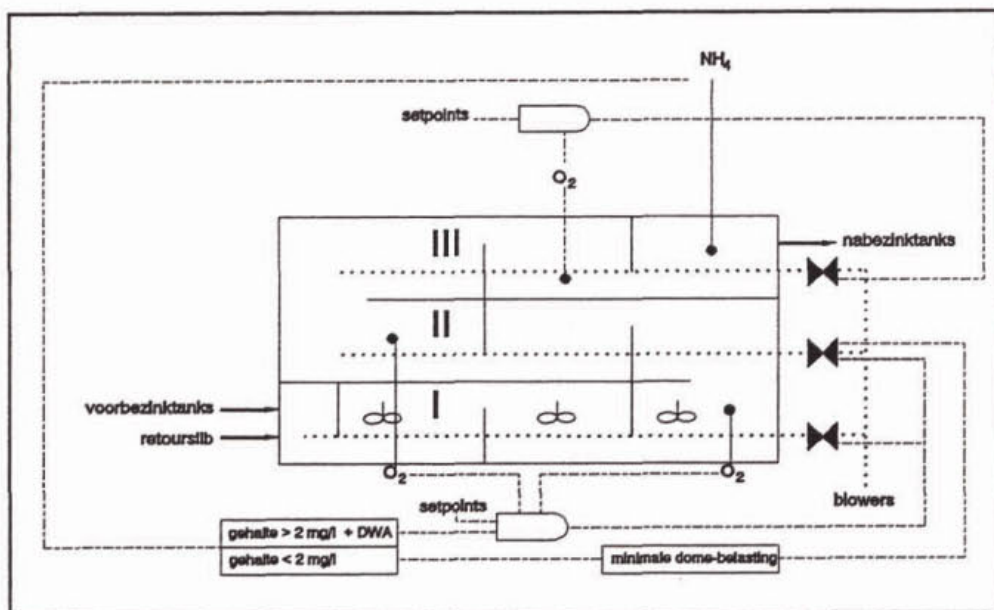
- anaëroob (selector);
- anoxysch (denitrificatie);
- aëroob (nitrificatie).

Nitraat wordt teruggevoerd via het retourslib en gedurende een deel van de proefperiode ook door middel van effluentrecirculatie.

Tijdens het onderzoek is de beluchtingscapaciteit in been I en II geregeld op basis van het ammoniumgehalte in de afloop naar de nabezinktank. Daarbij zijn globaal vier fasen te onderscheiden:

fase	periode	omschrijving
1	10/'90 - 12/'90	de luchtinbreng in been II is geregeld op basis van het NH ₄ -N gehalte
2	1/'91 - 4/'91	de luchtinbreng in been I is geregeld op basis van het NH ₄ -N gehalte
3	5/'91 - 7/'91	de luchtinbreng in been I en II is geregeld op basis van het NH ₄ -N gehalte. Been I niet tijdens RWA
4	8/'91 - 4/'91	de luchtinbreng in been I en II is geregeld op basis van het NH ₄ -N gehalte. Been I niet tijdens RWA, met een tijdvertraging van 4 uur.

De regeling van de laatste fase staat schematisch weergegeven in figuur 7.



Figuur 7 Regeling van de RWZI Horstermeer

rwzi's Beesd en Zetten

De rwzi's Beesd en Zetten zijn beide van het type oxydatie-sloot. Tijdens de experimenten zijn de beluchters intermitterend bedreven. Op basis van een redoxpotentiaalmeting in het actiefslib is de duur van de beluchte periode bepaald. De duur van de anaërobe periode is tijdsafhankelijk gemaakt.

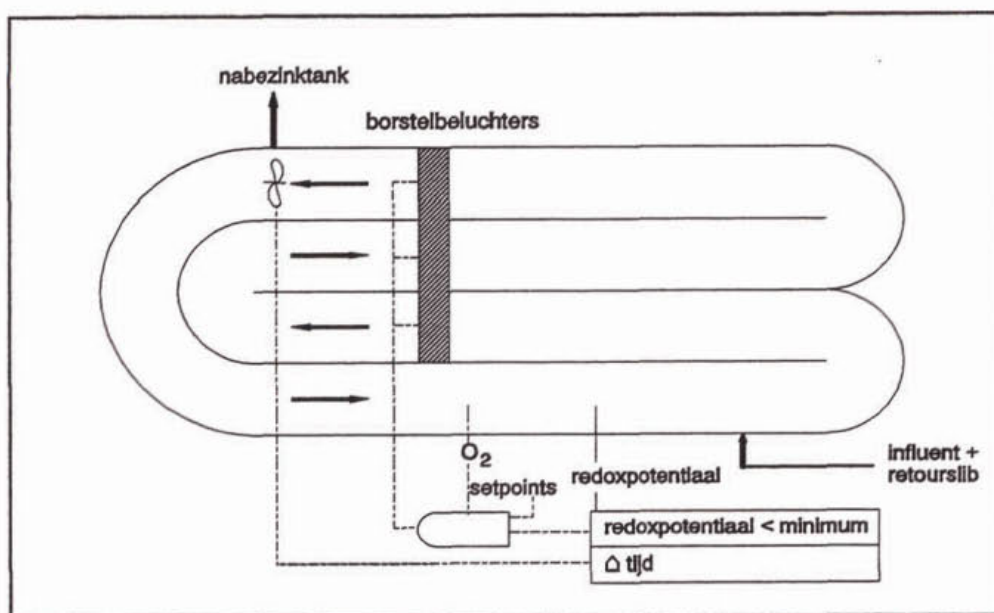
Er kunnen achtereenvolgens drie fasen worden onderscheiden:

- aëroob (nitrificatie);
- anoxysch (denitrificatie);
- anaëroob (biologische fosforverwijdering).

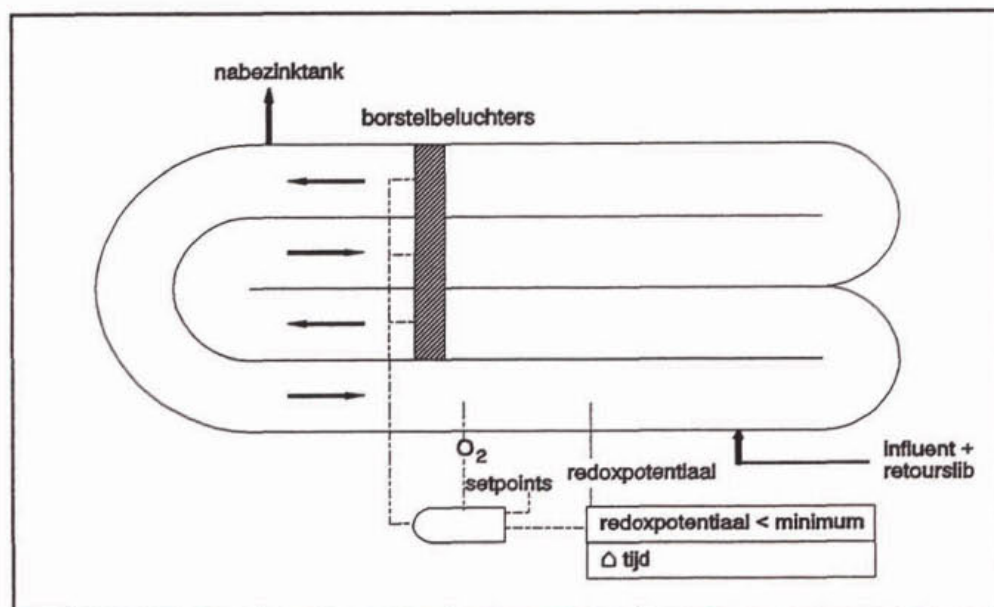
Alleen op de rwzi Beesd is ten behoeve van menging tijdens de anoxysche en anaërobe perioden een voortstuwer geïnstalleerd. Op de rwzi Zetten is in eerste instantie gemengd door intermitterende bedrijfsvoering van één beluchter. Vervolgens is geen aanvullende menging meer toegepast.

De toegepaste regelingen op de rwzi's Beesd en Zetten staan achtereenvolgens weergegeven in de figuren 8 en 9.

Tijdens het onderzoek zijn twee regelstrategieën toegepast. De eerste fase staat schematisch weergegeven in bovenstaande figuren 8 en 9. In de tweede fase is volledig op basis van de redoxpotentiaal geregeld. Daarbij wordt het einde van de beluchte en niet-beluchte perioden bepaald door de verandering van het meetsignaal. Zodra het signaal nagenoeg constant wordt, worden de beluchters in- of afgeschakeld.



Figuur 8 Regeling van de RWZI Beesd



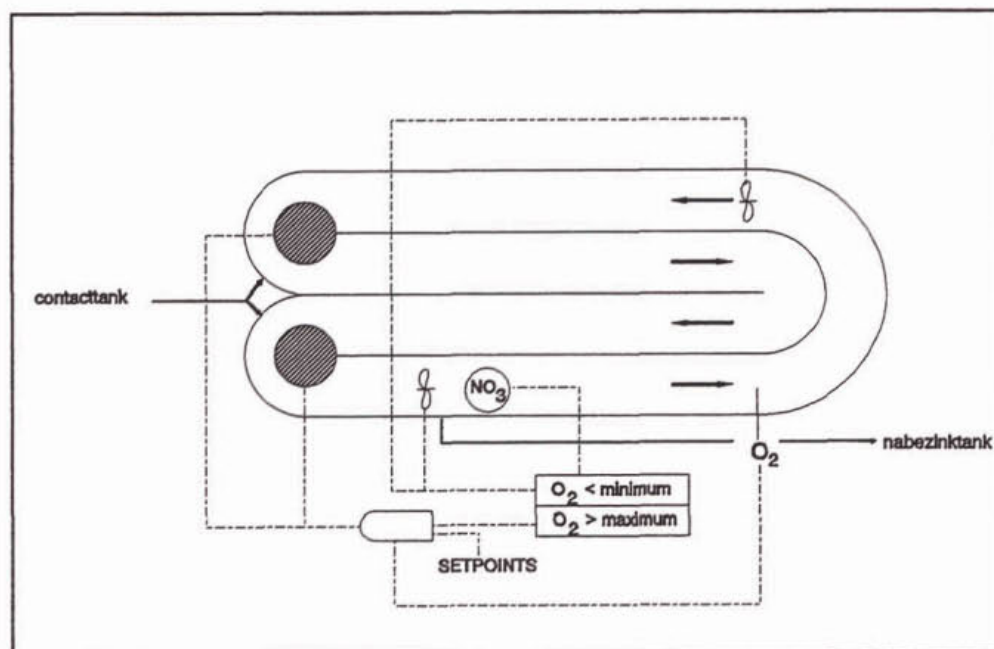
Figuur 9 Regeling van de RWZI Zetten

rwzi Hattem

De rwzi Hattem is van het type Carrousel. Tijdens het onderzoek zijn beide beluchters in eerste instantie intermitterend bedreven op basis van het nitraatgehalte in het actiefslib (figuur 10). Omdat de zuurstofinbrengcapaciteit niet voldoende was om een zuurstofgehalte van meer dan 1 - 2 mg O₂/l te realiseren, is in de vervolgfase slechts één beluchter intermitterend bedreven. De andere beluchter was daarbij continu in bedrijf.

Er zijn achtereenvolgens twee fasen te onderscheiden:

- aëroob (nitrificatie);
- anoxysch (denitrificatie).



Figuur 10 Regeling van de RWZI Hattem

Bovenbeschreven nitraatregeling had tot doel een N_{tot} -gehalte < 10 mg/l te bereiken. Met de regeling gebaseerd op het zuurstofgehalte was dit tot nu toe niet mogelijk.

rwzi Holten

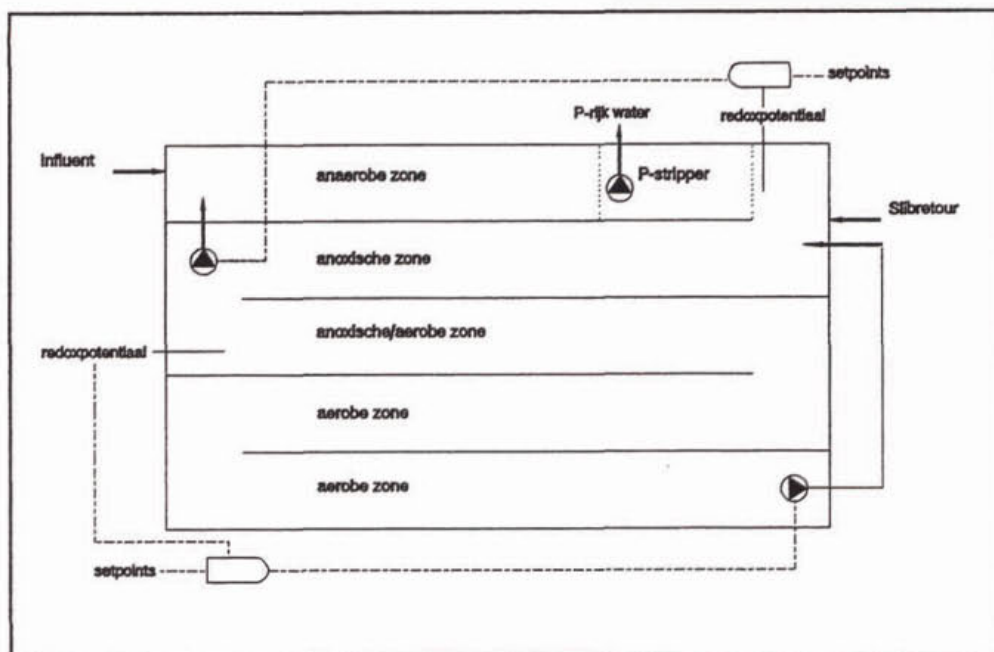
De rwzi Holten is een conventioneel actiefslibstelsysteem met een beluchting volgens het type propstroomer. Ten behoeve van het onderzoek zijn hierin achtereenvolgens drie zones gecreëerd:

- anaëroob (biologische fosforverwijdering);
- anoxysch (denitrificatie);
- aëroob (nitrificatie).

Door middel van twee recirculatiepompen worden een verdergaande fosforverwijdering en denitrificatie bewerkstelligd. De eerste pomp circuleert actiefslib van de anoxysche naar de anaërobe zone. Met behulp van een redoxmeting wordt het nitraatgehalte beperkt, teneinde een maximale fosforafgifte in de anaërobe zone mogelijk te maken.

De tweede pomp circuleert nitraat van de aërobe zone naar de anoxysche zone. Met behulp van een redoxmeting wordt de nitraatvrucht afgestemd op de beschikbare denitrificatiecapaciteit.

De hierboven beschreven regeling staat schematisch weergegeven in figuur 11.



Figuur 11 Regeling van de RWZI Holten

Het experiment op de rwzi Holten is inmiddels afgerond en wordt voortgezet op de rwzi Heino. Deze rwzi is van het type oxydatiesloot.

4.3 Projectfasering

Bij alle projecten zijn globaal de volgende vier fasen te onderscheiden:

- testen meetapparatuur (en filtratieeenheid);
- het meten;
- implementatie van de meetapparatuur in een regeling;
- testen van de regeling.

De onderzoeken zijn eind 1989 gestart en worden in de meeste gevallen na onderhavige evaluatie voortgezet.

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van en de ervaringen met de geteste filtratie- en analyse-apparatuur samengevat weergegeven. Per lokatie worden achtereenvolgens de volgende onderdelen behandeld:

- ultratiefiltratie-eenheid;
- analyse-apparatuur;
- regeling;
- investeringen en exploitatiekosten.

De beoordeling van de filtratie-eenheid en de analyse-apparatuur zijn door verschillende gebruikers beoordeeld. Een dergelijke beoordeling is daardoor enigszins subjectief. Op basis van de weergegeven ervaringen met betrekking tot onder andere onderhoudswerkzaamheden en nauwkeurigheid, wordt een indruk gegeven van de toepasbaarheid van de geteste apparatuur.

Het effect van de toegepaste regeling is veelal gerelateerd aan de periode voorafgaand aan de experimenten. Op een aantal lokaties zijn daarbij de 'setpoints' van de bestaande regelingen en de regelstrategie aangepast op basis van de effluentkwaliteit. Daarbij is niet vergaand geoptimaliseerd.

De weergegeven investeringen hebben alleen betrekking op de analyseapparatuur en de filtratie-eenheid. De bijkomende kosten, zoals behuizing, ombouwwerkzaamheden en dergelijke, verschillen per lokatie. Bij de experimenten blijken deze te kunnen variëren van f 10.000,- tot f 100.000,- (inclusief BTW).

De weergegeven exploitatiekosten beperken zich tot de kapitaalslasten, de chemicaliën en het onderhoud.

De kapitaalslasten zijn berekend op basis van een annuïtaire afschrijving, uitgaande van een arbitraire afschrijvingstermijn van 5 jaar en een rentepercentage van 8,5%. De jaarlijkse rente en afschrijving bedraagt daarmee 25,4% van de totale investeringen.

Alle weergegeven kosten zijn inclusief 17,5% BTW.

Tot slot dient te worden opgemerkt dat de analyseapparatuur in 1991 is aangeschaft. Door een toenemende interesse en door nieuwe ontwikkelingen zijn de kosten in een aantal gevallen aanzienlijk gedaald. De weergegeven kosten zijn derhalve indicatief en alleen als zodanig te gebruiken.

ultrafiltratie-eenheid

De standtijd¹ van het filter wordt bepaald door de gehanteerde reinigingsprocedure. Indien de voorschriften worden aangehouden, kunnen standtijden van 2 à 3 weken worden bereikt.

De toevoerpomp naar de ultrafiltratie-eenheid raakte regelmatig verstopt met grof vuil. Dit wordt als kenmerkend beschouwd voor actiefslibsystemen zonder voorbezinktank.

Deze problemen zijn verholpen door een versnijdende dompelpomp toe te passen en deze in de overstort van de beluchtingsruimte naar de nabezinktank te plaatsen.

Er is experimenteel vastgesteld dat het filtermateriaal geen (duidelijke) invloed heeft op de gemeten ammoniumconcentratie. Het filter verwijdert geen ammonium.

NH₄-monitor

Preventief onderhoud van de analyse-apparatuur is belangrijk om een nauwkeurig en betrouwbaar signaal te garanderen. De meest voorkomende storingen door onvoldoende onderhoud waren:

- een defect membraan;
- kalkafzettingen door de relatief hoge pH (> 11) in afsluiters.

Voor een goede werking van de apparatuur dient het membraan één keer per maand te worden vervangen.

Ter voorkoming van storingen door kalkafzettingen kan de afsluiter regelmatig worden vervangen of frequent worden gespoeld met een zure oplossing.

Kalkafzettingen kunnen mogelijk worden voorkomen door een magnetisch veld rond de toevoerleidingen. Onderzoek hiernaar was bij het beëindigen van het onderhavige project nog gaande.

regeling

Op basis van de bedrijfsgegevens van twee jaren blijkt dat een jaargemiddelde effluentconcentratie van 10 mg N_{total}/l en lager met de vroegere regeling haalbaar is. De rwzi is daarbij echter nog niet volbelast. Toepassing van een regeling ten behoeve van een verdergaande stikstofverwijdering blijft derhalve interessant.

Door deze relatief lage concentraties is het niet mogelijk gebleken eenduidig het effect van de gevolgde regelstrategie vast te stellen. Er is geen merkbare verlaging van de N_{total}-concentratie in het effluent waargenomen. In het voortgezet onderzoek zal daarom de verdeling van afvalwater over de nabij-

¹ de standtijd is de tijd dat de ultrafiltratie-eenheid wordt belast tot aan de reiniging.

gelegen rwzi's zodanig worden ingesteld dat de belasting van de rwzi Reeuwijk/Randenburg gelijk wordt aan de ontwerpcapaciteit.

Evenals op andere lokaties is bij de proefnemingen op de rwzi Reeuwijk een effect waargenomen van de toegepaste regeling op de slibbezineigenschappen. Wellicht dat ook hier de geringe zuurstofinbreng een beperkende invloed heeft.

kosten

De investeringen en de exploitatiekosten voor de rwzi Reeuwijk/Randenburg staan weergegeven in tabel 6.

Tabel 7 Investeringen en exploitatiekosten (incl. BTW)

kostenpost	kosten
investering [f]:	
- filtratieeenheid	18.095
- analyseapparatuur	48.066
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:	
- kapitaalslasten	16.800
- chemicaliën	800
- onderhoud	1.500

5.3

Everstekoog

ultrafiltratie-eenheid

Volgens de firma Applikon kan bij een SS-gehalte van minder dan 100 mg/l (deeltjes kleiner dan 40 µm) in het effluent zonder filter worden gewerkt. Echter, door de relatief lange verblijftijd in de nabezinktanks zou de regeling van de chemicaliëndosering worden bemoeilijkt. Derhalve is besloten actiefslib in de beluchtingsruimte te bemonsteren. Filtratie is dan onvermijdelijk.

In eerste instantie is een cross-flow-filter (filtermedium: fijn gaas) van de firma Applikon toegepast. Door de relatief kleine doorstroomopening raakte dit filter regelmatig verstopt. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de grofvuilverwijdering op de rwzi Everstekoog in het beluchtingscircuit plaatsvindt. Wellicht dat op andere lokaties met een voorgeschakelde grofvuilverwijdering deze problemen niet optreden.

Na ruim een maand proefdraaien is de ultrafiltratie-eenheid van de firma Applikon vervangen door een eenheid van de firma Abcor/Koch.

De standtijd van dit filter is op de rwzi Everstekoog afhankelijk gesteld van het filtraatdebiet. Bij een afname tot 2 l/h wordt de filtermodule gereinigd, waarbij de andere filtermodule in bedrijf wordt gesteld. Direct na reiniging is het filtraatdebiet 25 - 30 l/h. Na een dag neemt dit debiet af tot circa 6 l/h.

Voor de reiniging van de filtermodule wordt gebruik gemaakt van een chloorbleekloog-oplossing. De totale reinigingsprocedure neemt circa een $\frac{1}{2}$ dag in beslag.

De standtijd van de filtermodules varieerde tijdens de proefperiode van 2 weken tot 2 maanden.

Er is experimenteel vastgesteld dat het filtermateriaal geen ortho-fosfaat adsorbeert c.q. affiltreert. Er zijn geen verschillen waargenomen tussen filtratie over een vouwfilter en de geteste filtereenheid.

ortho-P monitor

Door middel van experimenten is vastgesteld dat afwijkingen van het meetsignaal binnen de door de fabrikant opgegeven meetnauwkeurigheid van 5% vallen.

Om (kleine) problemen te voorkomen, is preventief onderhoud belangrijk. Onderhoudswerkzaamheden hadden met name betrekking op:

- reinigen van de meetcel (1 keer per 2 weken);
- calibratie van de lamp (1 keer per maand);
- bijvullen van chemicaliën (1 keer per 2 weken).

De bediening van de geteste monitor was door de uitgebreide programmeermogelijkheden niet eenvoudig. Waarschijnlijk zullen naar aanleiding hiervan in de toekomstige P-monitoren functie-toetsen worden toegepast.

regeling

In de periode voorafgaand aan het onderzoek is de chemicaliëndosering handmatig gestuurd. Tijdens het onderzoek is een drietal regelingen toegepast, gebaseerd op:

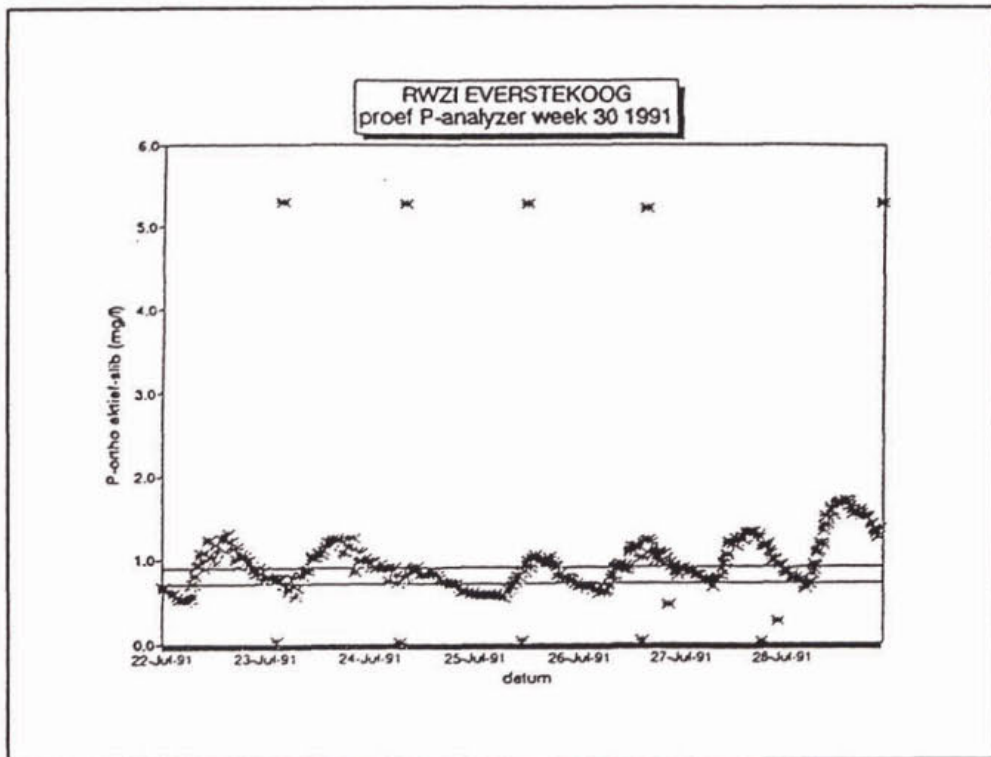
- het fosfaatgehalte in het actiefslib;
- het influentdebiet;
- het fosfaatgehalte in het actiefslib én het influentdebiet.

In de figuren 12 en 13 is het effect van de toegepaste regelingen op de effluentkwaliteit weergegeven.

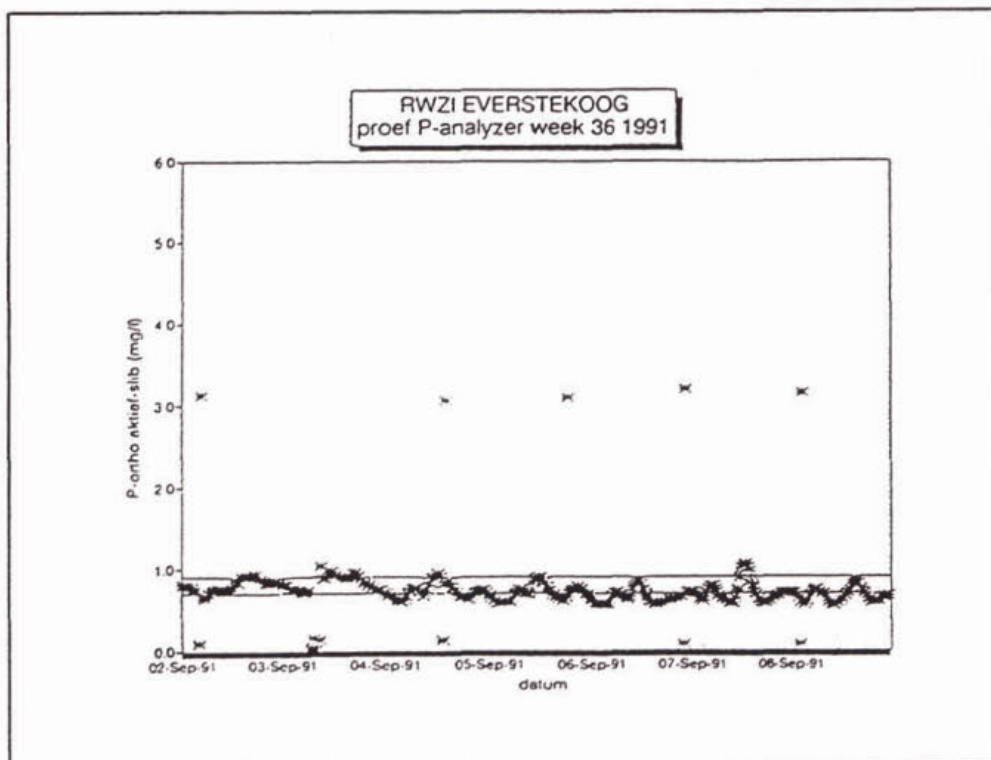
Er kan worden geconcludeerd dat de regelstrategie van invloed is op de stabiliteit van het geregelde proces.

Een stabiele regeling wijst op een efficiënt gebruik van de gedoseerde chemicaliën. Ten opzichte van de periode waarbij de doseerpomp handmatig werd gestuurd, kon met behulp van de P-analyser tot circa 25% aan chemicaliën worden bespaard.

Dit betekent ook een geringere zoutvracht in het effluent.



Figuur 12 Regeling op basis van influentdebiet en fosfaatgehalte van de RWZI Eversteekoog



Figuur 13 Regeling op basis van het fosfaatgehalte van de RWZI Eversteekoog

kosten

In tabel 7 zijn de investeringen en de exploitatiekosten voor de analyse-apparatuur op de rwzi Everstekooq weergegeven.

Tabel 7 Investeringsen en exploitatiekosten (incl. BTW)

kostenpost	kosten
investering [f]:	
- analyseapparatuur	43.000
- filtratieeenheid	12.000
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:	
- kapitaalslasten	14.000
- chemicaliën	1.100
- onderhoud	2.500

5.4 De Drie Ambachten

ultrafiltratie-eenheid

De ultrafiltratie-eenheid is toegepast ten behoeve van de fosfaatmonitor. Filtratie voor de O₂-minimator is niet gewenst.

Er is experimenteel vastgesteld dat het filtermateriaal geen ortho-fosfaat adsorbeert c.q. affiltreert.

De maximale standtijd bedraagt 1,5 maanden. Daarbij loopt het filtraatdebiet terug van circa 30 l/h tot circa 2 l/h. Dit is tevens het minimaal benodigde debiet voor de analyse-apparatuur.

Veiligheidshalve wordt een standtijd van 2 weken aangehouden.

ortho-P monitor

Het leidingwerk in de fosfaatanalyser dient minimaal drie keer per jaar te worden vervangen, teneinde problemen door kristallafzettingen te voorkomen.

Om de 9 dagen worden de chemicaliën aangevuld en wordt de meting gecalibreerd. De calibratie van de analyse-apparatuur is handmatig en neemt maximaal 30 minuten in beslag.

Totaal neemt het onderhoud van de fosfaatmonitor circa 3 uur per week in beslag.

De afwijking van het meetsignaal ten opzichte van de standaardoplossing bedraagt na negen dagen 5%. Dit is gelijk aan de door de fabrikant opgegeven meetnauwkeurigheid.

O₂-minimator

De onderhoudswerkzaamheden aan de O₂-minimator hebben voornamelijk betrekking op:

- reinigen van leidingwerk, bezinktrecter en troebelheidsmeter (één keer per 10 dagen, 0,5 uur);
- reinigen van de meetcuvet (iedere dag, 5 minuten);
- afzuigen van de drijfslag van de bezinktrecter (iedere dag);
- reinigen van de toevoerpomp en aanvoerslangen (één keer per 2 maanden, 4 uren).

De meetapparatuur dient één keer in de twee weken te worden geijkt. De gemiddelde afwijking bedraagt dan gemiddeld 3% ten opzichte van de standaardoplossing.

De door de fabrikant opgegeven meetnauwkeurigheid bedraagt 5%.

De tijd tussen monstername en meten wordt bepaald door de verblijftijd in de bezinktrecter (50 minuten). De totale meetvertraging bedraagt daardoor 55 minuten.

regeling

De O₂-minimator blijkt gevoelig voor veranderingen in het aanvoerpatroon. Door een verhoogde zwevendestofbelasting tijdens regenweer en/of via interne stromen wordt de meting beïnvloed.

Over het algemeen is de volgende fasenverdeling waargenomen (tabel 8).

Tabel 8 Tijdfasering

fase	duur [h]
aëroob	2
anoxysch	1
anaëroob	1,5

In tabel 9 is het verloop van de effluentkwaliteit weergegeven tijdens het onderzoek.

Tabel 9 Effluentkwaliteit De Drie Ambachten over de periode 1/4/1992 tot en met 18/10/1992

No.	BZV-belasting kg/(kg d.s.dag)		effluent [mg/l]				verwijdering [%]		
	BZV	BZV/N	BZV	NH ₄ -N	NO ₃ -N	P _{tot}	N _{tot}	BZV	P _{tot}
1	0,05	2,5	8,3	5,0	15,5	2,1	53	95	77
2	0,05	1,8	6,7	0,4	9,7	3,2	60	91	30
3	*	>2	7,7	0,7	13,7	2,7	57	89	41
4	*	>2	7,6	3,0	9,5	2,6	71	95	63

- 1 - periode 1 april t/m 25 mei 1992
- 2 - periode 13 juni t/m 26 juni 1992
- 3 - periode 27 juni t/m 24 augustus 1992
- 4 - periode 28 september t/m 18 oktober 1992
- * - >0,05 en <0,07 In deze periode is het actiefslib belast geweest met primair slib.

Zonder aanvullende chemicaliëndosering konden fosforgehalten worden gereduceerd van 4 à 5 mg P_{totaal}/l tot minder dan 2 mg P_{totaal}/l .

Over het algemeen kan worden gesteld dat de proefperiode onvoldoende lang is geweest om eenduidig conclusies te kunnen trekken. De resultaten vertonen, met name door enkele aanloopproblemen, grote verschillen.

Tijdens de experimenten is de slibvolume-index gestegen. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat dit is veroorzaakt door een verminderde zuurstofinbreng.

kosten

De investeringen en de exploitatiekosten staan weergegeven in tabel 10.

Tabel 10 Investerings- en exploitatiekosten (incl. BTW)

Kostenpost	P-analyser	O_2 -minimator
investering [f]	60.000	100.000
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:		
- kapitaalslasten	15.240	25.400
- chemicaliën	3.000	
- onderhoud	9.500	4.800

* filtratie-eenheid+ P-analyser

5.5

Horstermeer

ultrafiltratie-eenheid

De standtijd van de filtratie-eenheid is in de loop van het onderzoek vastgesteld. De standtijd wordt bepaald door:

- het drogestofgehalte in de beluchtingsruimte;
- het debiet van de voedingspomp. Er is gebleken dat bij een geringe overcapaciteit (10 m³/h in plaats van 8 m³/h) de standtijd langer is;
- de druk voor filtratie. Door een afsluiter in de afvoer van de filtratie-eenheid is, uitgaande van een minimaal voedingsdebiet van 8 m³/h, de filterdruk enigszins verhoogd. De standtijd werd daardoor langer.

De vertraging van het meetsignaal bedraagt minimaal 15 minuten (opgave leverancier). Bij een minimaal benodigd debiet naar de analyse-apparatuur van 1 l/h kan de vertraging tot circa 1 uur oplopen.

Met het oog op de toegepaste regelstrategie is dit niet acceptabel. Daarom wordt veiligheidshalve een standtijd van 5 dagen aangehouden.

De totale reinigingsprocedure neemt niet meer dan 15 minuten in beslag.

Periodieke reiniging van het leidingstelsel is noodzakelijk.

De levensduur van de filtermodules bedraagt 8 à 12 maanden.

NH₄-monitor

Er is experimenteel vastgesteld dat de afwijkingen van het meetsignaal binnen de door het bedrijf gegarandeerde meetnauwkeurigheid van ± 5% blijven.

Het onderhoud van de monitor bestaat uit:

- het bijvullen van de chemicaliën (één keer per drie weken);
- het vervangen van de elektrode (één keer per jaar);
- het vervangen van het elektrode-membraan (twee à drie keer per jaar);
- het vervangen van de pompslangen.

De geteste apparatuur vertoonde weinig storingen en werd als 'betrouwbaar' en 'gebruikersvriendelijk' ervaren.

regeling

Tijdens de experimenten is slechts één van de twee beluchtungsstraten aangepast. Er zijn roeders in been I geplaatst en er is een regeling op basis van het NH₄-N gehalte geïntroduceerd. In de andere beluchtungsstraat zijn de beluchters geregeld op basis van het zuurstofgehalte. De minimale luchtinbreng beperkte zich daarbij tot de minimale dome-belasting.

De resultaten van de rwzi Horstermeer gedurende de proefperiode staan samengevat weergegeven in tabel 11.

Tabel 11 Samenvattend overzicht van de resultaten op de rwzi Horstermeer

fase*	periode	slibbelasting [kg/(kg d.s.a. .d)]		N _{tot} straat 1		N _{tot} straat 2
		BZV	N _{Kj}	mg/l	% verw.	mg/l
1	10/90 - 12/90	0,08	0,027	14,5	72	26,9
2	1/91 - 4/91	0,08	0,027	14,2	75	25,7
3	5/91 - 6/91	0,10	0,029	12,2	78	21,3
4	8/91 - 12/91	0,07	0,027	11,2	74	22,7
4	1/92 - 4/92	0,07	0,025	10,8	80	25,5

* zie fasering in § 4.2.

In de periode tot december 1991 is, ten behoeve van een verdergaande denitrificatie, in beluchtungsstraat 1 aanvullende recirculatie van effluent toegepast. Op basis van de resultaten is geconcludeerd dat een recirculatieverhouding van 3 (te bewerkstelligen door alleen de retourslibpompen) voldoende is.

Evenals op de andere lokaties is een effect van een verminderde zuurstofinbreng op de slibbezinkings-eigenschappen waargenomen. De slibvolumeindex (SVI) was in de 'teststraat' 130 à 160 ml/g en gedurende de winterperiode zelfs 200 ml/g, terwijl in de referentiestraat waarden werden gemeten van circa 80 ml/g.

kosten

De investeringen en de exploitatiekosten staan weergegeven in tabel 12.

Tabel 12 Investerings- en exploitatiekosten (incl. BTW)

kostenpost	kosten
investering [f]:	
- filtratie-eenheid	12.000
- analyseapparatuur	42.000
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:	
- kapitaalslasten	13.700
- chemicaliën	1.500
- onderhoud	3.000

5.6

Beesd en Zetten

redoxmeters

De redoxmeters moeten regelmatig worden gereinigd. In 1 à 2 weken ontstaat een lichte aangroei van slib op het elektrode-oppervlak.

Tijdens de experimenten is gebleken dat de mate van aangroei kan worden beperkt door de elektrode vrij bewegend in de beluchttingsruimte op te hangen.

Veiligheidshalve wordt het elektrode-oppervlak 1 keer per week gereinigd. Dit neemt circa 5 minuten in beslag.

Eén keer per 3 maanden wordt de platina stift in de elektrode gereactiveerd. De elektrode wordt dan tevens geijkt.

Over de meetperiode bedroeg de afwijking gemiddeld 5 mV. Afhankelijk van het meetbereik is dit 0,5 of 1% van de schaaluitslag. Dit is gelijk aan de door de fabrikant opgegeven meetnauwkeurigheid.

Door vervuiling kan de afwijking tot maximaal 20 mV per week oplopen.

De redoxpotentialaal verschilt per lokatie. Er wordt verondersteld dat dit wordt veroorzaakt door de samenstelling van het influent.

De totale levensduur van de elektrode bedraagt minimaal 1 jaar. Tijdens de proefperiode is de elektrode niet vervangen.

Naast de Ingold elektrode is gedurende drie maanden een elektrode van Endress+Hauser toegepast. Er werden geen duidelijke verschillen tussen beide elektroden waargenomen.

De geteste redoxmeters werden als zeer gebruikersvriendelijk ervaren.

regeling

Het verloop van het redoxsignaal tijdens de beluchte en niet-beluchte perioden is grillig. Een duidelijk omslagpunt op het moment dat geen nitraat meer aanwezig is, is nagenoeg niet waarneembaar.

Door gebruik van een voortstuwer (op de rwzi Beesd) is het signaal gelijkmatiger. Het omslagpunt wordt dan duidelijker.

In tabel 13. is de effluentkwaliteit vóór en tijdens de proefperiode samengevat weergegeven.

Tabel 13 Effluentkwaliteit rwzi's Beesd en Zetten

parameter	eenheid	referentie	tijdens regelen
<i>rwzi Beesd</i>			
influent:			
BZV	kg/d	215	260 - 340
N _{kj}	kg/d	62	65 - 82
P _{totaal}	kg/d	12,2	9,4 - 11,9
effluent:			
temperatuur	°C	14	10 - 17
BZV	mg/l	4	3
N _{kj}	mg/l	3	2 - 3
NO ₃ -N	mg/l	11	3 - 6
N _{totaal}	mg/l	14	6 - 8
P _{totaal}	mg/l	3,8	2,1 - 2,3
<i>rwzi Zetten</i>			
influent:			
BZV	kg/d	228	219 - 241
N _{kj}	kg/d	60	54 - 59
P _{totaal}	kg/d	9,3	7,1 - 8,1
effluent:			
temperatuur	°C	14	12 - 20
BZV	mg/l	7	3 - 4
N _{kj}	mg/l	5	5 - 6
NO ₃ -N	mg/l	13	1 - 4
N _{totaal}	mg/l	18	7 - 9
P _{totaal}	mg/l	5,0	1,4 - 2,5

De referentieperiode liep van juli 1989 tot en met juni 1990. Het onderzoek was in de periode juli 1990 tot en met juli 1992.

Op basis van bovenstaande tabel is geconcludeerd dat door de toegepaste regeling stikstof en fosfor verdergaand kunnen worden verwijderd.

Ook hier dient te worden opgemerkt dat de referentiesituatie niet is geoptimaliseerd; de beluchters werden geregeld op basis van het zuurstofgehalte.

De experimenten zijn tijdelijk onderbroken door vorming van lichtslib. Evenals op een aantal andere lokaties lijkt de slib-volume-index te worden beïnvloed door een verminderde zuurstof-inbreng.

kosten

In tabel 14 is een overzicht weergegeven van de investeringen en de exploitatiekosten van één lokatie.

Tabel 14 Investerings- en exploitatiekosten (incl. BTW)

kostenpost	kosten
investering [f]:	
- redoxmeter	5.900
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:	
- kapitaalslasten	1.500
- chemicaliën	60
- onderhoud	470

5.7

Hatten

ultrafiltratie-eenheid

De standtijd van de filtermodules werd in eerste instantie bepaald op basis van het filtraatdebiet. Daarbij werd een minimaal debiet van 1,4 l/h aangehouden. De filtratie-eenheid was in die periode regelmatig verstopt.

Veiligheidshalve wordt een standtijd van 1 week aangehouden.

De maximale standtijd wordt mede bepaald door de reinigingsmethode. Op basis van ervaring wordt op dit moment de volgende reinigingsprocedure aangehouden:

- spoelen met water;
- 2 dagen in een 10%-ige waterstofperoxyde oplossing;
- spoelen met water.

Tot slot kan worden opgemerkt dat het filter soms door grove bestanddelen verstopt raakt. Dit wordt niet als een structureel probleem ervaren.

NO₃-monitor

Er is experimenteel vastgesteld dat de afwijking van de meting binnen de door de fabrikant opgegeven nauwkeurigheid van $\pm 2\%$ valt.

De meter wordt 1 keer per week handmatig geijkt. De nulpuntsinstelling geschiedt automatisch (2 keer per dag).

Er waren nauwelijks storingen. De meter wordt daarom als zeer betrouwbaar ervaren.

Het chemicaliënverbruik beperkt zich tot circa 10 liter zoutzuur per jaar, ten behoeve van de nulpuntsinstelling.

regeling

In de periode voorafgaand aan het onderzoek zijn de beluchters geregeld op basis van het zuurstofgehalte. In de huidige regeling wordt één beluchter intermitterend bedreven op basis van het nitraatgehalte in het actiefslib. Omdat de zuurstofinbrengcapaciteit tijdens de beluchte fase niet voldoende was om een zuurstofgehalte van meer dan 1 - 2 mg O₂/l te realiseren, is de zuurstofregeling tijdens de onderzoeksperiode buiten bedrijf gesteld.

In tabel 15 is van beide situaties de effluentkwaliteit weergegeven.

Er dient te worden opgemerkt dat de setpoints van de O₂-regeling in de referentiesituatie zijn verlaagd, teneinde de stikstofverwijdering te optimaliseren. De regelstrategie is daarbij niet aangepast.

Tabel 15 Effluentkwaliteit rwzi Hattem

regeling/periode	N _{KJ} [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	N _{totaal} [mg/l]	temperatuur [°C]
<u>O₂-regeling</u>				
1/90 - 7/90	6,8	7,9	14,7	onbekend
7/90 - 12/90	4,7	6,2	10,9	9 - 22
1/91 - 8/91	4,8	9,1	13,9	6 - 22
<u>NO₃-regeling</u>				
1/92 - 3/92*	7,1	11,8	18,9	9 - 14
3/92 - 10/92**	4,0	3,3	7,3	12 - 22

* beide beluchters continu op basis van het nitraatgehalte

** één beluchter continu en één beluchter intermitterend op basis van het nitraatgehalte

In de laatste periode waarin één beluchter continu en één beluchter intermitterend op basis van het nitraatgehalte is bedreven, bleek het mogelijk een N_{tot}-gehalte van < 10 mg/l te bereiken.

De slibbelasting bedroeg tijdens bovengenoemde perioden gemiddeld 34 g BZV/(kg d.s. d) en 14 g N_{kj}/(kg d.s. d).

Aan de hand van de geregistreeerde energieverbruiken voor de beluchting en de in de Carrousel verwijderde hoeveelheid TZV (= CZV + 4,57 x N_{kj}) is per periode de hoeveelheid beluchtingsenergie af te leiden. Het blijkt dat het energieverbruik gedurende het onderzoek met 13% is toegenomen ten opzichte van de referentieperiode met uitsluitend O₂-regeling. Echter, doordat de hoeveelheid verwijderde TZV met 21% toenam, is het specifieke energieverbruik per kg verwijderde TZV met 5% afgenomen ten opzichte van de referentieperiode. Deze afname wordt toegeschreven aan een verbeterde denitrificatie.

kosten

In tabel 16 zijn de investeringen en de exploitatiekosten weergegeven.

Tabel 16 Investerings- en bedrijfsvoeringskosten (incl. BTW)

Kostenpost	kosten
investering [f]:	
- filtratieeenheid	12.000
- analyseapparatuur	42.000
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:	
- kapitaalslasten	13.200
- chemicaliën	550
- onderhoud	1.535

Door de bereikte besparingen op energie en rijksheffing wordt een deel van de kosten gecompenseerd.

5.8 Holten

redoxmeter

Preventief onderhoud van de meter is noodzakelijk, teneinde een betrouwbaar signaal te verkrijgen. Dit betreft met name:

- reinigen van het elektrodeoppervlak (één keer per week);
- aanvullen van electrolietoplossing;
- controle van de referentie-elektrode.

regeling

Voor een goede werking van het op de rwzi Holten toegepaste proces is het van belang dat de twee recirculatiepompen op de juiste wijze staan afgesteld. Enerzijds moet er voldoende nitraat worden teruggevoerd naar de anoxysche zone, anderzijds moet ten behoeve van de fosfaatafgifte de nitraattoevoer naar de anaërobe zone laag worden gehouden, teneinde maximale fosforafgifte te bereiken.

Regeling van de circulatiepompen wordt daarom als noodzakelijk ervaren.

Gedurende het onderzoek is de regelstrategie regelmatig aangepast. Daarbij is onder andere gebruik gemaakt van computersimulatie, om de correcte instelwaarden te vinden.

In tabel 17 is een overzicht gegeven van de effluentkwaliteit in 1981 en gedurende proefperiode vanaf 1990.

In 1990 is een anoxische zone geïntroduceerd ten behoeve van een verdergaande denitrificatie. In 1991 zijn experimenten uitgevoerd met biologische fosforverwijdering. Eind 1991 is de fosforverwijdering geïntegreerd met de stikstofverwijdering. Het proces is daarna verdergaand geoptimaliseerd.

Tabel 17 Effluentkwaliteit rwzi Holten

parameter	eenheid	1981	1990	2/1991	10/1991
<u>inluent:</u>					
N _{kj}	mg/l	69	70	74	81
P _{total}	mg/l	19	12	12	11
<u>belasting:</u>					
BZV	g/(kg d.s. d)	80	40	50	40
N _{kj}	g/(kg d.s. d)	21	17	18	17
<u>effluent:</u>					
N _{kj}	mg/l	17	2,9	5,6	2,4
NO ₃ -N	mg/l	7,4	21	14,1	12,7
N _{tot}	mg/l	24	24	20	15
P _{total}	mg/l	11	5,7	1,1	0,5

Op basis van de resultaten is geconcludeerd dat met behulp van redoxmetingen het proces kan worden geoptimaliseerd voor de verwijdering van zowel stikstof als fosfor.

Het systeem is echter dermate laag belast dat een vergaande verwijdering van nitraat (nog) niet mogelijk is. Hiervoor zou een additionele dosering van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal in de anoxische zone nodig zijn.

Tot slot kan worden vermeld dat bij een beperkte recirculatie van nitraat de slibbezink eigenschappen niet worden beïnvloed. De slibvolume-index bedroeg in die periode 70 à 80 ml/g. Bij een sterk verhoogde recirculatie was een duidelijke verslechtering van de SVI waarneembaar tot 130 ml/g.

kosten

In tabel 18 zijn de investeringen en de exploitatiekosten weergegeven.

Tabel 18 Investerings- en bedrijfsvoeringskosten
per redoxmeter (incl. BTW)

kostenpost	kosten
investering [f]:	
- twee redoxmeters	5.412
bedrijfsvoeringskosten [f/jaar]:	
- kapitaalslasten	1.375
- chemicaliën	70
- onderhoud	540

Op de rwzi Holten zijn twee redoxmeters geïnstalleerd. De totale investeringen bedragen derhalve f 10.824,- inclusief BTW.

Op basis van de resultaten van de geteste filtratie- en analyse-apparatuur en de toegepaste regelstrategieën kan worden geconcludeerd dat:

voorbehandeling:

- de toegepaste ultrafiltratie-eenheid goed functioneert. De standtijd hangt af van de lokatie (slibgehalte, grofvuilverwijdering, plaats van bemonsteren) en de gevolgde reinigingsprocedure. Door een goede reiniging kan een standtijd van meer dan een maand worden bereikt. Veiligheids-halve wordt veelal een standtijd van 1 à 3 weken aangehouden;
- bij een goede reiniging de levensduur van de filtratie-eenheid circa 1 jaar kan bedragen;
- het filtermateriaal geen ammonium, nitraat of fosfaat adsorbeert c.q. affiltreert;

monitoren:

- bij alle monitoren het meetsignaal voldoende betrouwbaar is. Afwijkingen vallen binnen de door de fabrikanten opgegeven meetnauwkeurigheid;
- preventief onderhoud van de analyse-apparatuur noodzakelijk is, teneinde een betrouwbaar signaal te garanderen. Afhankelijk van de monitor betreft dit:
 - . reiniging van elektrode, leidingwerk, meetcel (1 keer per 1 à 2 weken);
 - . vervanging van het elektrodemembraan, elektrode, leidingwerk (1 à 2 keer per jaar);
 - . bijvullen van chemicaliën (1 keer per 1 à 2 weken);
- de absolute waarde van de redoxpotentiaal niet voor iedere lokatie gelijk is, maar dat het verloop van de redoxpotentiaal in beluchte en niet-beluchte fasen vergelijkbaar is;

regelen:

- het signaal van de geteste analyse-apparatuur goed bruikbaar is voor toepassing in een regeling;
- op een aantal lokaties de effluentkwaliteit door toepassing van de monitor in de beluchterregeling kon worden verbeterd ten opzichte van de periode voorafgaand aan het onderzoek;
- de stabiliteit van het geregelde proces afhankelijk is van de gekozen regelstrategie. Op de rwzi Eversteekooog kon door toepassing van een fosfaatmonitor tot 25% van de chemicaliënkosten worden bespaard ten opzichte van de situatie waarbij de doseerpompen handmatig werden gestuurd;

- de slibbezinkeigenschappen worden beïnvloed door de beluchtingscapaciteit. Bij een verlaagde luchtinbreng is een verhoging van de slibvolumeindex waargenomen;

kosten

- de investeringen voor de ultrafiltratie-eenheid (benodigd voor N- en P-metingen) variëren tussen f 12.000,- en f 18.000,-, inclusief BTW;
- de investeringen voor de analyse-apparatuur afhankelijk zijn van de toegepaste monitor.
De redoxmeter is relatief goedkoop: circa f 6.000,-. De prijzen voor de P- en N-monitoren liggen rond f 50.000,-. De prijs van de O₂-minimator is met f 100.000,- het hoogst.
Deze bedragen zijn inclusief BTW en golden bij aanvang van het project (eind 1989). Door een verhoogde interesse en nieuwe ontwikkelingen is een aantal prijzen verlaagd;
- de exploitatiekosten (gebaseerd op de kapitaalslasten, chemicaliënkosten en onderhoudskosten) variëren van f 2.000,- bij toepassing van de redoxmeter tot f 30.000,- bij toepassing van de O₂-minimator;
- de bijkomende kosten, ten behoeve van behuizing, bekabeling, aanpassingen aan de bestaande installatie en dergelijke, f 10.000,- tot f 100.000,- (inclusief BTW) kunnen bedragen, afhankelijk van de lokatie.

7 SLOTBESCHOUWING

7.1 Ervaringen

De ervaringen met meetapparatuur in met name Duitsland, zoals vermeld in het literatuuronderzoek (hoofdstuk 3), worden door de in Nederland uitgevoerde experimenten bevestigd. De meetapparatuur functioneert goed, het meetsignaal is betrouwbaar en kan worden ingepast in bestaande regelingen.

Preventief onderhoud is daarvoor echter in alle gevallen noodzakelijk, maar in omvang minder dan in de literatuur wordt vermeld.

De resultaten met de redoxmeters op de rwzi's Beesd en Zetten bevestigen bovendien dat:

- de absolute waarde van de redoxpotentiaal per lokatie kan verschillen;
- het verloop van de redoxpotentiaal in beluchte en niet-beluchte zones vergelijkbaar is;
- door een goede menging ter plaatse van de redoxelektrode fluctuaties van het meetsignaal kunnen worden verminderd.

De toepassing van de O₂-minimator is daarentegen minder eenduidig dan op basis van de experimenten in Duitsland is geconcludeerd.

De experimenten in Nederland hebben een duidelijk toegevoegde waarde. Er zijn nu ook gegevens beschikbaar over de procesvoering, de systeemconfiguratie en de toegepaste regelingen. De filtratie- en meetapparatuur kan daardoor goed worden beoordeeld en vergeleken.

7.2 Toepassingsmogelijkheden van het meetsignaal

Er lijken voldoende mogelijkheden aanwezig om tot een goede regeling te kunnen komen. Het meetsignaal is hiervoor voldoende nauwkeurig en betrouwbaar.

Hoewel de regelstrategie niet is geoptimaliseerd, lijkt dat met de geteste meetapparatuur de effluentkwaliteit voor fosfor en stikstof veelal kan worden verbeterd. In een enkel geval is zelfs een duidelijk stabiliserende werking van de regeling op de effluentkwaliteit vastgesteld.

Geavanceerde meetapparatuur zal met name worden toegepast in systemen met een wisselende influentbelasting. Tijdsturing en/of regeling van het zuurstofgehalte zijn in dat geval onvoldoende voor optimalisatie van de bedrijfsvoering. Daarvoor is meer inzicht nodig in het verloop van de P- en N-concentraties.

De toepassingsmogelijkheden van de P-monitor bij chemische precipitatie zijn duidelijk. Op basis van het meetsignaal kan direct de chemicaliënpomp worden gestuurd.

Bij de verdergaande verwijdering van stikstof zijn de eisen en de lokale omstandigheden bepalend voor de keuze van de meetapparatuur en de regelaar.

Bij het nastreven van een laag ammoniumgehalte kan een regeling met behulp van de NH_4 -monitor het meest geschikt zijn. Het denitrificatieproces vormt veelal een sluitpost. Een dergelijke regeling geeft daarom geen garantie dat ook een laag N_{tot} -gehalte wordt bereikt.

De NO_3 -monitor kan worden toegepast bijvoorbeeld ter voorkoming van opdrijvend slib in de nabezinktanks door denitrificatie. Het gevaar bestaat echter dat een laag NO_3 -gehalte wordt verkregen, omdat de nitrificatie wordt geremd of zelfs geheel stopt. Bij de toepassing van alleen een NO_3 -monitor moet de belasting van het systeem dusdanig laag zijn dat nitrificatie in alle gevallen kan worden gegarandeerd.

Afhankelijk van de belasting van het systeem kan voor een laag N_{tot} -gehalte eventueel een combinatie van een NH_4 - en een NO_3 -monitor worden toegepast.

De redoxmeter heeft het voordeel ten opzichte van een zuurstofmeter dat extra informatie beschikbaar is over anoxische en anaërobe omstandigheden. De meting is daarom geschikt om lage NO_3 -gehalten te bereiken. Evenals bij een NO_3 -monitor is een laag NH_4 -gehalte hiermee niet gegarandeerd.

De redoxpotentiaal is, doordat de overgangen van de verschillende processen redelijk aanwijsbaar zijn, in principe geschikt voor systemen met intermitterende beluchting. Het is daarvoor wel noodzakelijk dat voldoende beluchtingscapaciteit beschikbaar is.

Op de rwzi Holten is de redoxmeting een goed hulpmiddel gebleken om het P-verwijderingsproces te optimaliseren. Een dergelijke regeling is zelfs noodzakelijk voor de stabiliteit van het biologische proces.

De O_2 -minimator kan alleen worden overwogen in intermitterend beluchte systemen ten behoeve van een verdergaande verwijdering van N en P. De overgang van een anoxische naar een anaërobe periode is redelijk aanwijsbaar.

Toepassing van een monitor behoeft overigens niet uitsluitend te worden overwogen in het kader van procesregeling. Ook bij de informatievoorziening ten behoeve van de bedrijfsvoering kunnen monitoren een rol spelen.

7.3 Voortgang

De experimenten hebben zich tot nu toe voornamelijk gericht op de beoordeling van de filtratie- en de meetapparatuur. Door het ontbreken van een goede (geoptimaliseerde) referentiesituatie is het nog niet mogelijk het effect van de metingen c.q. regelingen op bijvoorbeeld de effluentkwaliteit te kunnen kwantificeren. Het is daarvoor belangrijk dat eerst met de beschikbare middelen de regelstrategie wordt geoptimaliseerd.

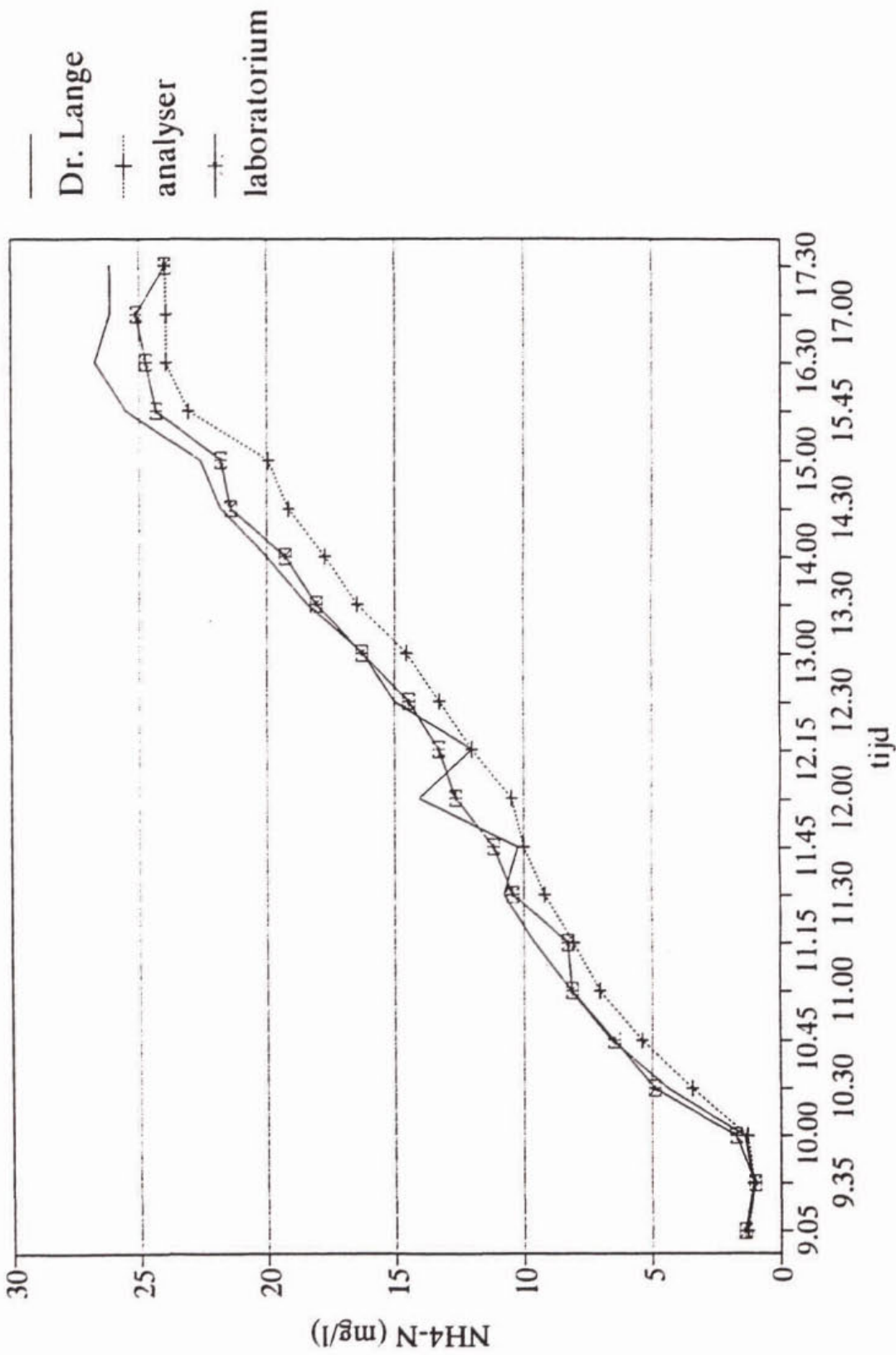
Gezien de positieve ervaringen is het zinvol om nader onderzoek te verrichten naar de mogelijkheden van regelen van de P- en N-verwijdering in de praktijk.

Naast optimalisatie van de bestaande regelstrategie zou daarbij meer aandacht kunnen worden besteed aan eventuele neveneffecten van de gevolgde regelstrategie, zoals bijvoorbeeld de slibvolumeindex.

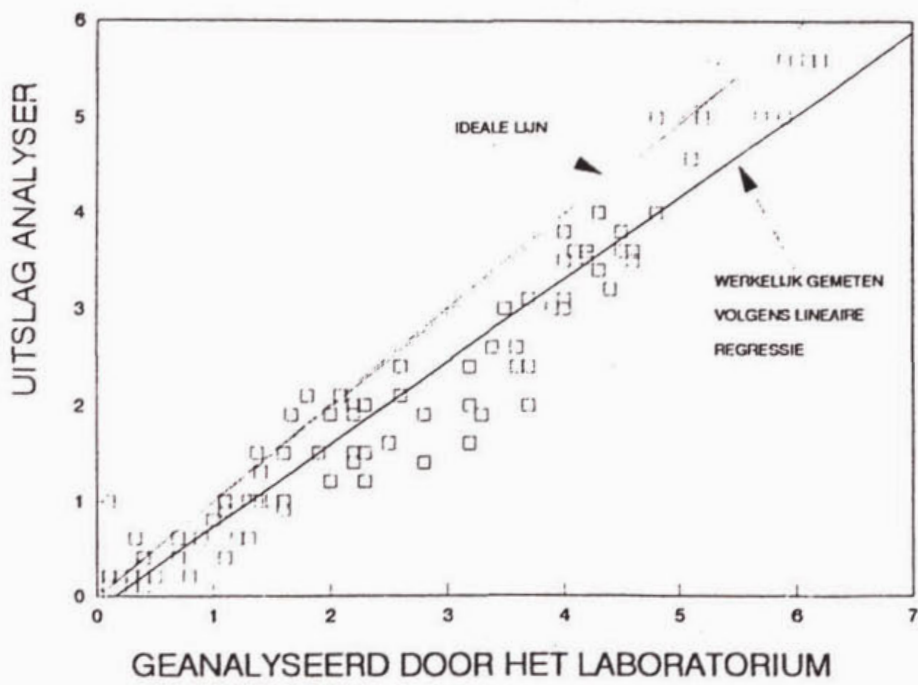
1. Hoogheemraadschap van Rijnland, "Tussenrapportage on-line ammoniummeting en -sturing op de rwzi Randenburg", 11 augustus 1992;
2. Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen, "Beproeving ortho-fosfaatanalyser en regeling chemicaliëndosering rwzi Eversteekoo; eindrapportage", april 1992;
3. Waterschap De Drie Ambachten, "Onderzoek naar optimalisatie van de nutriëntenverwijdering met behulp van een O₂-minimator", 8 oktober 1992;
4. Zuiveringschap Amstel en Gooiland, "Optimalisatie van de stikstofverwijdering met behulp van een on-line NH₄-regeling; concept", september 1992;
5. Zuiveringsschap Rivierenland, "Beproeving redoxmeting rwzi's Beesd en Zetten; eindrapportage", 28 oktober 1992.
6. DHV Water BV in opdracht van het Zuiveringschap Veluwe, "Onderzoek naar optimalisatie stikstofverwijdering op de rwzi Hattem", januari 1993;
7. Zuiveringschap West-Overijssel, "Biologische/chemische fosfaat- en stikstofverwijdering op de r.z.i. Holten/Marke", december 1991;
8. DHV Water BV in opdracht van STOWA, "Monitoren voor P en N; literatuurstudie (werkrapport)", december 1991.

Bijlage 1.

Voorbeelden van toetsing metingen analyse-apparaten aan metingen door een laboratorium



Toetsing NH₄-monitor (Bran&Lubbe) op de rwzi Horstermeer



aanwijzing
nitraatmonitor
 $\text{NO}_x\text{-N}(\text{mg/l})$

