

NN31050.86-8

1986-08

stora

Energiebesparing
op
carrousel en oxydatiesloten

Bibliotheek STOWA

stowa

alleen ter inzage, niet voor uitlening
nagebruik RETOUR s.v.p.

serie: thema

Zuiveringstechniek - energie

86-8

32/000 (d. 24)

stora

postbus 414, 2280 AK Rijswijk

☎ 070-99.11.33

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

BIBLIOTHEEK DE HAAFF

Droevendaalsesteeg 3a

Postbus 241

6700 AE Wageningen

APR 2003

Energiebesparing

op

carrousel en oxydatiesloten

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.

1707716



0000 0928 9113

	Inhoud	I - II
	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING	3
3	HET THEORETISCH ENERGIEVERBRUIK VOOR DE BELUCHTING	4
4	INVENTARISATIE ENERGIEVERBRUIK OXYDATIESLOTEN	6
4.1	Verwerking bedrijfsgegevens	6
4.2	Resultaten van het onderzoek	6
4.2.1	<i>specifiek energieverbruik versus slibbelasting</i>	6
4.2.2	<i>de invloed van de seizoenen</i>	8
4.2.3	<i>de invloed van de stikstofaanvoer</i>	8
5	DOEL EN OPZET PRAKTIJKONDERZOEK	12
5.1	Doel	12
5.2	Verlaging van de gemiddelde zuurstofinbreng	12
5.3	Regeling van de slibbelasting	14
5.4	Optimalisatie nitrificatie-denitrificatie	14
5.5	Onderzoekprogramma	15
5.6	Beperkingen van het onderzoek	16
6	ENERGIEBESPARING DOOR INTERMITTEREND BELUCHTEN	17
6.1	Vooronderzoek	17
6.1.1	<i>verband snelheid - slibbezinking</i>	17
6.1.2	<i>dynamisch intermitterend beluchten</i>	19
6.2	Bedrijfsresultaten bij intermitterend beluchten	19
6.2.1	<i>beschrijving bedrijfsvoering</i>	19
6.2.2	<i>resultaten</i>	20
7	DE INVLOED VAN DE SLIBBELASTING OP HET ENERGIEVERBRUIK	23
7.1	Bedrijfsvoering	23
7.2	Resultaten	23

8	REGELING NITRIFICATIE EN DENITRIFICATIE MET EEN AMMONIA-ELEKTRODE	27
8.1	Mogelijkheden voor de regeling van het nitrificatie- en denitrificatieproces	27
8.2	Bedrijfsvoering	28
8.3	Resultaten	29
8.3.1	<i>het functioneren van de monitor als analyse-apparaat</i>	29
8.3.2	<i>het functioneren van de regeling op basis van de ammonia-concentratie</i>	30
8.3.3	<i>bedrijfsresultaten</i>	30
9	CONCLUSIES	33

BIJLAGEN:

1	Afleiding van het theoretisch energieverbruik voor de beluchting.	35
2	De rwzi's uit de inventarisatie.	39
3	Beschrijving van de rwzi Dokkum en de rwzi Houten.	41
4	Beschrijving van het onderzoeksprogramma	43
5	Resultaten metingen onderzoek snelheid-slibbezinking en dynamiek intermitterend beluchten.	49
6	Bedrijfsresultaten meetperiode intermitterend beluchten (rwzi Dokkum en rwzi Houten)	51
7	Bedrijfsresultaten meetperiode met regeling van de slibbelasting (rwzi Dokkum en rwzi Houten)	55
8	Bedrijfsresultaten van de regeling met de ammonia-monitor	57
9	Beschrijving ammonia-monitor	60

Ten geleide

Het energieverbruik van ultra laagbelaste actief-slibinstallaties ver-
toont - bij identieke ontwerpgrondslagen - aanzienlijke verschillen
per vervuilingseenheid per jaar. Dit geldt in het bijzonder voor on-
derbelaste oxydatiesloten, waar handhaving van de stroomsnelheid -
ter voorkoming van slibbezinking - meer vermogen eist dan voor de
zuurstofvoorziening nodig is.

In bovengenoemde situatie zijn aanzienlijke besparingen mogelijk door
intermitterend beluchten en verhoging van de slibbelasting tot het ont-
werpniveau. Generalisatie is echter niet mogelijk: de besparingen die-
nen per geval te worden afgezet tegen de meerkosten van een aangepaste
bedrijfsvoering.

Het onderzoek werd door het algemeen bestuur van de STORA op advies van
de OAC* opgedragen aan DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. en begeleid
door een commissie bestaande uit: ir. J. Boschloo (voorzitter), ir. J.
Bosma, ir. R. den Engelse, ir. J.H.J.M. van der Graaf, drs. E.V. van
Heekeren en ir. L.M.E. Schouteten.

Vanwege het algemene belang van onderzoek naar mogelijkheden voor ener-
giebesparing participeerde de Directie Algemeen Energiebeleid van het
ministerie van Economische Zaken voor één derde in de kosten van het
project.

Dank is de STORA verschuldigd aan de provincies Friesland en Utrecht,
voor hun medewerking aan de experimenten op de rioolwaterzuiveringsin-
richtingen Dokken en Houten.

Rijswijk, september 1986.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

*De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit:
prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff
(secretaris) en ir. J. Boschloo, ir. R. den Engelse, prof.dr. P.G. Fohr,
ir. R. Karper, drs. S.P. Klapwijk, dr. E.J.M. Kobus, ir. J.S. Kuyper,
ir. Tj. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing, drs. J.
Verhaagen, drs. A.A. Wismeijer (leden).

SAMENVATTING

Bij het aëroob zuiveren van afvalwater in ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties wordt het totale energieverbruik in belangrijke mate ($> 80\%$) bepaald door het energieverbruik van de beluchting.

Inventarisatie van de gegevens over twee bedrijfsjaren van 32 oxydatiesloten met een ontwerpcapaciteit > 10.000 i.e. gaf aan dat het specifieke energieverbruik, uitgedrukt in kWh/i.e.jr. voor dit type zuivering bij gelijke ontwerpgrondslag kan liggen tussen 20 en 50 kWh/i.e.jr.

Daarnaast bleek uit de inventarisatie nog dat:

- 90% van de beschouwde rwzi's een slibbelasting heeft die lager is dan de ontwerpbelasting;
- er een duidelijke relatie aanwezig is tussen $N(Kj)$ -aanvoer en energieverbruik;
- bij bedrijf op ontwerpbelasting een specifiek energieverbruik van circa 21 kWh/i.e.jr. verwacht mag worden;
- het specifiek energieverbruik bij afnemende slibbelasting sterk toeneemt.

Het hoge specifieke energieverbruik van de onderbelaste installaties wordt veroorzaakt door:

- de relatief grotere zuurstofbehoefte voor de endogene ademing;
- de noodzaak om bij continue beluchting meer vermogen in te brengen dan nodig is voor de totale zuurstofbehoefte, teneinde voldoende stroomsnelheid te creëren om slibbezinking te voorkomen.

In experimenten op praktijkschaal aan onderbelaste oxydatiesloten (1984 rwzi Dokkum en 1985 rwzi Houten) is nagegaan in hoeverre energiebesparende maatregelen realiseerbaar zijn en welke feitelijke besparing hierdoor wordt bereikt.

Zo zijn de effecten nagegaan van:

- intermitterend beluchten
- het verlagen van het slibgehalte waardoor de slibbelasting wordt verhoogd tot de ontwerpbelasting
- stikstofverwijdering (nitrificatie - denitrificatie) door sturing van de beluchter door een ammonia-electrode in het effluent.

Randvoorwaarde hierbij was, dat energiebesparing niet ten koste mag gaan van een slechtere effluentkwaliteit en zonder grote investering kan worden gerealiseerd.

Energiebesparing door intermitterend beluchten is mogelijk. Op de rwzi Houten gaf intermitterend beluchten een energieverbruik van 34 kWh/i.e.jr. Hieruit is een besparing van circa 18 kWh/i.e.jr. te berekenen ten opzichte van de referentiewaarde van 52 kWh/i.e.jr. Randvoorwaarde voor de toepasbaarheid van intermitterend beluchten is, dat het bezonken slib weer volledig in suspensie kan worden gebracht. Dit laatste bleek op de rwzi Dokkum (slibvolumeindex 75 ml/g) niet mogelijk. Door een eenvoudig onderzoek naar de dynamiek van intermitterend beluchten in te stellen kan voor iedere situatie een uitspraak over de praktische toepasbaarheid van intermitterend beluchten gedaan worden.

Het regelen van de slibbelasting op de waarde van de ontwerp-slibbelasting door verlagen van het slibgehalte kan leiden tot energiebesparing. Deze maatregel in combinatie met intermitterend beluchten leidde op de rwzi Houten tot een energieverbruik van circa. 28 kWh/i.e.jr. Hiermee is een besparing van 24 kWh/i.e.jr. te berekenen ten opzichte van een referentiewaarde van 52 kWh/i.e.jr.

Het resterend energieverbruik is nog relatief hoog, doordat door beperkingen in de slibafvoer het gemiddelde slibgehalte op de rwzi Houten slechts verlaagd kon worden van 4,5 naar 3,5 (in plaats van 2,0) kg d.s./m³.

Op de rwzi Dokkum werd het slibgehalte verlaagd van 4,0 naar 2,5 kg d.s./m³. Regeling van de beluchters op zuurstofgehalte had een zodanige snelheid in het circuit ten gevolge, dat hier slibafzettingen optraden. Om deze te voorkomen diende vaak met maximaal vermogen belucht te worden. De mogelijke energiebesparing werd hierdoor teniet gedaan.

Op de rwzi Houten werd tevens een goed beeld verkregen van het specifiek energieverbruik als functie van de slibbelasting. Dit beeld kwam zeer goed overeen met de resultaten uit het inventarisatie-onderzoek.

Met een regeling van de beluchting op basis van ammonia concentratiemeting wordt een vergaande denitrificatie bereikt. Ten opzichte van de regeling op het zuurstofgehalte is er sprake van een rustiger regelgedrag. De hoogteverstelinrichting wordt minder frequent ingeschakeld en kan zelfs achterwege gelaten worden. Optimalisatie naar energieverbruik heeft niet kunnen plaatsvinden doordat het slibgehalte onvoldoende laag kon worden gehouden.

Per situatie zal steeds moeten worden afgewogen of de mogelijke besparingen opwegen tegen de inspanningen van een aangepaste bedrijfsvoering.

Bij de reiniging van afvalwater in rioolwaterzuiveringsinrichtingen (rwzi's) wordt energie verbruikt. Het energieverbruik per inwonerequivalent hangt onder meer af van het zuiveringssysteem en de toegepaste slibbelasting of ruimtebelasting.

Door de gestegen energieprijzen is het aandeel van de energiekosten in de exploitatielasten van rioolwaterzuiveringsinrichtingen aanzienlijk toegenomen. Een besparing op deze bedrijfskosten door verlaging van het energieverbruik is derhalve van bijzonder belang.

In dit onderzoek wordt ingegaan op de mogelijkheden van energiebesparing op oxydatiesloten door aanpassing van de bedrijfsvoering. De oxydatiesloot werd om de volgende redenen gekozen:

- het energieverbruik per inwonerequivalent blijkt in de praktijk bij dit type rwzi te variëren van 20-50 kWh/i.e.jr.;
- het aandeel van de energiekosten voor de beluchting is bij een zelfde ontwerp-slibbelasting beluchting hoog (> 80%), waardoor verwacht kan worden, dat door procestechnische maatregelen de meeste besparing in energiekosten kan worden verkregen;
- dit type rwzi komt in Nederland het meest voor.

Het energieverbruik van oxydatieslootinstallaties in de praktijk is onderzocht in een inventarisatie van een aantal Nederlandse rwzi's.* Op basis van de resultaten daarvan zijn maatregelen in de bedrijfsvoering voorgesteld, waarmee in de praktijk energiebesparing verwacht mag worden.

In praktijkonderzoek is nagegaan in hoeverre de voorgestelde maatregelen in de praktijk realiseerbaar zijn en welke feitelijke besparing op het energieverbruik hierdoor wordt bereikt.

Ter wille van de overzichtelijkheid worden in dit rapport zowel de resultaten van het inventarisatie-onderzoek als van het praktijkonderzoek gepresenteerd.

* Inventariserend onderzoek naar het energieverbruik van ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties. DHV-rapport, december 1983.

HET THEORETISCH ENERGIEVERBRUIK VOOR DE BELUCHTING

Het energieverbruik voor de beluchting wordt bepaald door een aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn:

- de zuurstofbehoefte van het actiefslib ;
- de aard van het afvalwater ;
- de bedrijfsvoering ;
- het zuurstofdeficiet ;
- het rendement van de beluchter.

In bijlage 1 wordt, uitgaande van de theoretisch berekende zuurstofbehoefte, nagegaan wat de invloed van de aangevoerde hoeveelheid $N(Kj)$ en de mate van denitrificatie is op de energievraag van de beluchting.

Het verband tussen de energievraag voor de beluchting en de slibbelasting zoals met de in bijlage 1 gegeven theorie gevonden wordt, is weergegeven in figuur 1.

Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- $N(Kj)$ -aanvoer: 12 g $N/(i.e.)$;
- denitrificatie: 80% ;
- temperatuur: 18°C ;
- rendement beluchter in afvalwater bij maximaal zuurstofdeficiet: 2 kg O_2/kWh ;
- zuurstofconcentratie in de beluchttingszone in de bedrijfssituatie: 2 mg O_2/l .

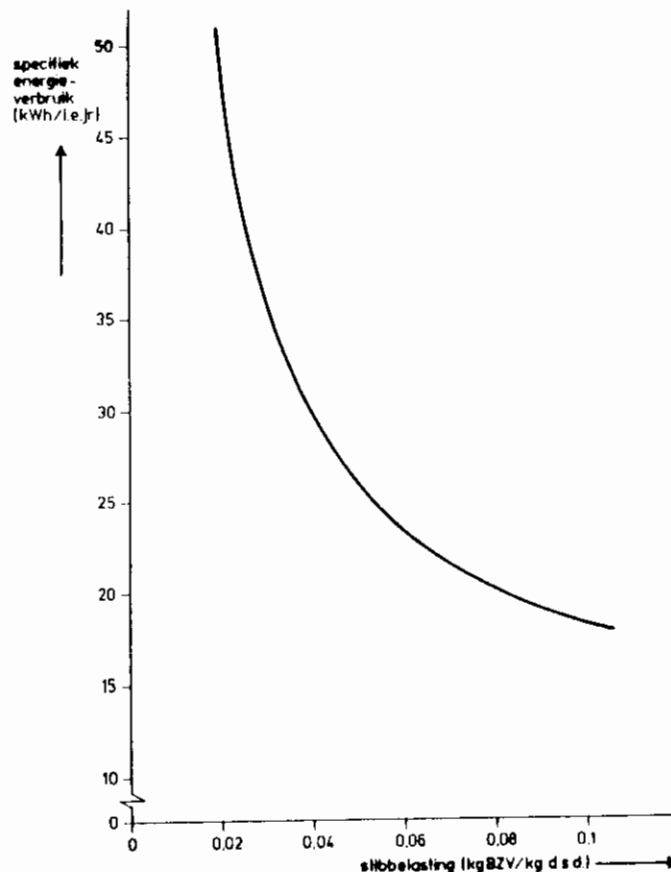


Fig. 1. Theoretisch verband tussen de specifieke energievraag en de slibbelasting

Uit figuur 1 blijkt, dat de specifieke energievraag bij lagere slibbelastingen sterk oploopt. Dit wordt veroorzaakt door toenemende zuurstofbehoefte van de endogene ademhaling. Hierdoor wordt weliswaar het slib verdergaand gemineraliseerd, maar de effluentkwaliteit verbetert niet of nauwelijks.

Het in de praktijk optredende energieverbruik zal afhangen van:

- de actuele slibbelasting;
- de N(Kj) aanvoer;
- de mate van nitrificatie en denitrificatie;
- de temperatuur van het actiefslib.

Het inventarisatie-onderzoek heeft zich met name op deze punten toegespitst.

4 INVENTARISATIE ENERGIEVERBRUIK OXYDATIESLOTEN

4.1 Verwerking bedrijfsgegevens

Door DHV is in 1982 het energieverbruik van oxydatiesloten geïnventariseerd. Er zijn gegevens verzameld over de bedrijfsjaren 1980 en 1981 van 32 oxydatiesloten met een ontwerpcapaciteit van meer dan 10.000 i.e.

Deze categorie bestaat voor het grootste gedeelte uit carroussels. In bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de betrokken rwzi's, de ontwerpcapaciteit en de actuele belasting in 1981.

De verzamelde gegevens betroffen:

- het afvalwaterdebiet;
- het BZV van in- en effluent;
- het N(Kj)-gehalte van influent;
- het N(Kj), NH₄-N-, NO₃-N- en NO₂-N-gehalte van het effluent;
- het slibgehalte van het beluchtingscircuit;
- het energieverbruik van de beluchting.

De analysegegevens zijn afkomstig van 24-uurs bemonsteringen.

Met de gegevens zijn de actuele belasting (in i.e.), de slibbelasting, de N(Kj)- en N-totaal-verwijdering, alsmede het specifieke energieverbruik per i.e. per jaar berekend.

4.2 Resultaten van het onderzoek

4.2.1 *specifiek energieverbruik versus slibbelasting*

Voor iedere installatie is het jaargemiddelde specifieke energieverbruik (in kWh/i.e.jr) en de actuele slibbelasting berekend. De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 2.

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- voor de waarde voor het specifieke energieverbruik van de beluchting voor een oxydatieslootinstallatie bij de ontwerp-slibbelasting van 0,054 kg BZV/kg d.s.d. wordt onder praktijkomstandigheden 21 kWh/(i.e.jr) afgeleid. Dit is lager dan de uit theoretische gegevens berekende 25 kWh/(i.e.jr) in bijlage 1;
- van de onderzochte installaties heeft 90% een slibbelasting lager dan de ontwerp-slibbelasting van ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties;
- het specifieke energieverbruik voor de beluchting neemt sterk toe met afnemende slibbelasting; de vorm van de gevonden relatie stemt goed overeen met het in bijlage 1 afgeleide verband tussen specifiek energieverbruik en de slibbelasting;
- de spreiding in de meetpunten is relatief groot. Dit kan veroorzaakt zijn door:
 - . verschillen in rendementen van oppervlaktebeluchters
 - . wijze van bedrijfsvoering
 - . aard van het afvalwater (o.a. de α -factor)
 - . verschil in stikstofaanvoer per i.e.
 - . seizoeneffecten.

Op twee aspecten wordt hierna nader ingegaan.

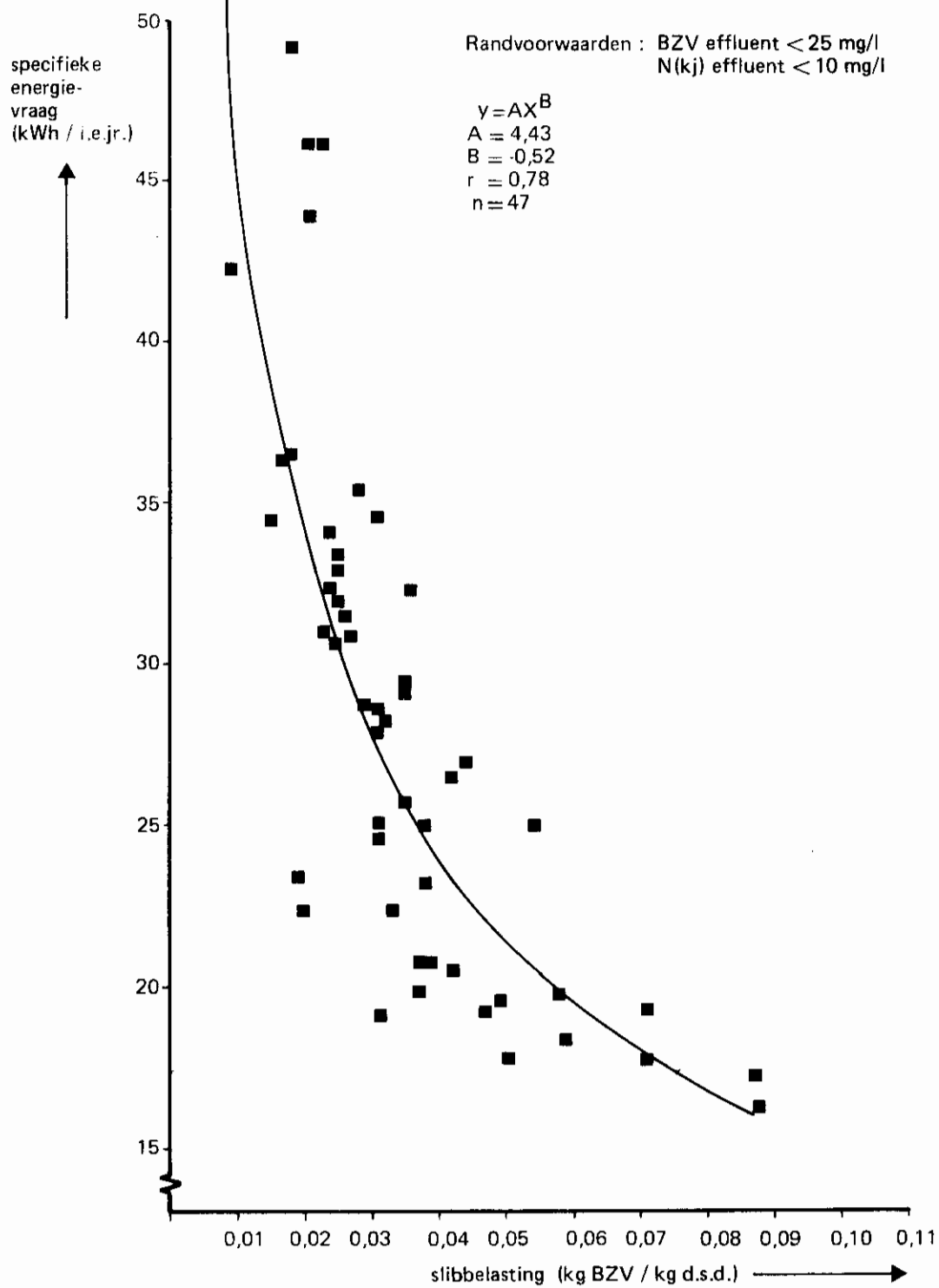


Fig. 2. Verband tussen het specifiek energieverbruik (jaargemiddelden) en de actuele slibbelasting

4.2.2 de invloed van de seizoenen

Om een indruk te krijgen van de invloed van de seizoenen op het energieverbruik ten gevolge van verschillen in endogene ademhalingsnelheden zijn de maandresultaten van respectievelijk het zomer- en het winterseizoen vergeleken. Het zomerseizoen betreft de maanden mei, juni, juli, augustus en september. Het winterseizoen betreft de maanden november, december, januari, februari en maart. De gegevens van april en oktober zijn gezien het overgangskarakter van deze maanden niet meegenomen.

Om te voorkomen dat verschillen in nitrificatie en denitrificatie de vergelijking al te zeer beïnvloeden, zijn alleen de maandgemiddelden waarbij de totaal-N-verwijdering meer dan 70% bedroeg in de beschouwing betrokken.

In figuur 3 zijn de winter- en zomerresultaten naast elkaar gepresenteerd.

De geconstateerde verschillen in specifiek energieverbruik tussen de zomer- en de wintersituatie zijn gering. Gezien de betrekkelijk lage correlatiecoëfficiënten kan het verschil niet significant worden genoemd. Dit betekent dat binnen het onderzochte belastingsgebied, slibbelasting tussen 0,01 - 0,09 kg BZV/(kg d.s.d.), verschillen in endogene ademingsnelheden geen rol van betekenis spelen.

4.2.3 de invloed van de stikstofaanvoer

Bij het ontwerp van rwzi's wordt vooral in de laatste jaren een aanvoer van 12 g N(Kj)/i.e. als grondslag gekozen. De gemiddelde aanvoer van N(Kj) is bij de geïnventariseerde installaties hoger. In 1980 bedroeg de gemiddelde dagaanvoer meer dan 15 g/i.e. en in 1981 meer dan 14 g/i.e.

In de theoretische beschouwing is de invloed van de verwijdering van N(Kj) op het energieverbruik in rekening gebracht. Om deze invloed aanschouwelijk te maken voor de praktijksituatie zijn de maandgemiddelden uit de inventarisatie gesplitst in twee groepen waarnemingen (omzetting < 12 g N/i.e., respectievelijk \geq 12 g N/i.e.). Ook in dit geval zijn, om beïnvloeding door verschillen in nitrificatie en denitrificatie te voorkomen, bij de samenstelling van de afbeelding alleen die resultaten beschouwd waarvoor gold dat meer dan 70% totaalstikstof werd verwijderd. De gegevens zijn verwerkt in figuur 4.

Zoals verwacht mocht worden ligt het energieverbruik in de maanden met N(Kj)-omgezet \geq 12 g/i.e. belangrijk hoger dan in de maanden met N(Kj)-omgezet < 12 g/i.e. De uit de grafiek afgeleide waarden voor het energieverbruik van de oxydatiesloot bij ontwerpbelasting zijn:

- N(Kj)-omgezet < 12 g/i.e.): energieverbruik ca. 19 kWh/(i.e.jr);
- N(Kj)-omgezet \geq 12 g/(i.e.): energieverbruik ca. 25 kWh/(i.e.jr).

Deze cijfers hebben vooral indicatieve waarde omdat de correlatiecoëfficiënten van de gevonden relaties laag zijn.

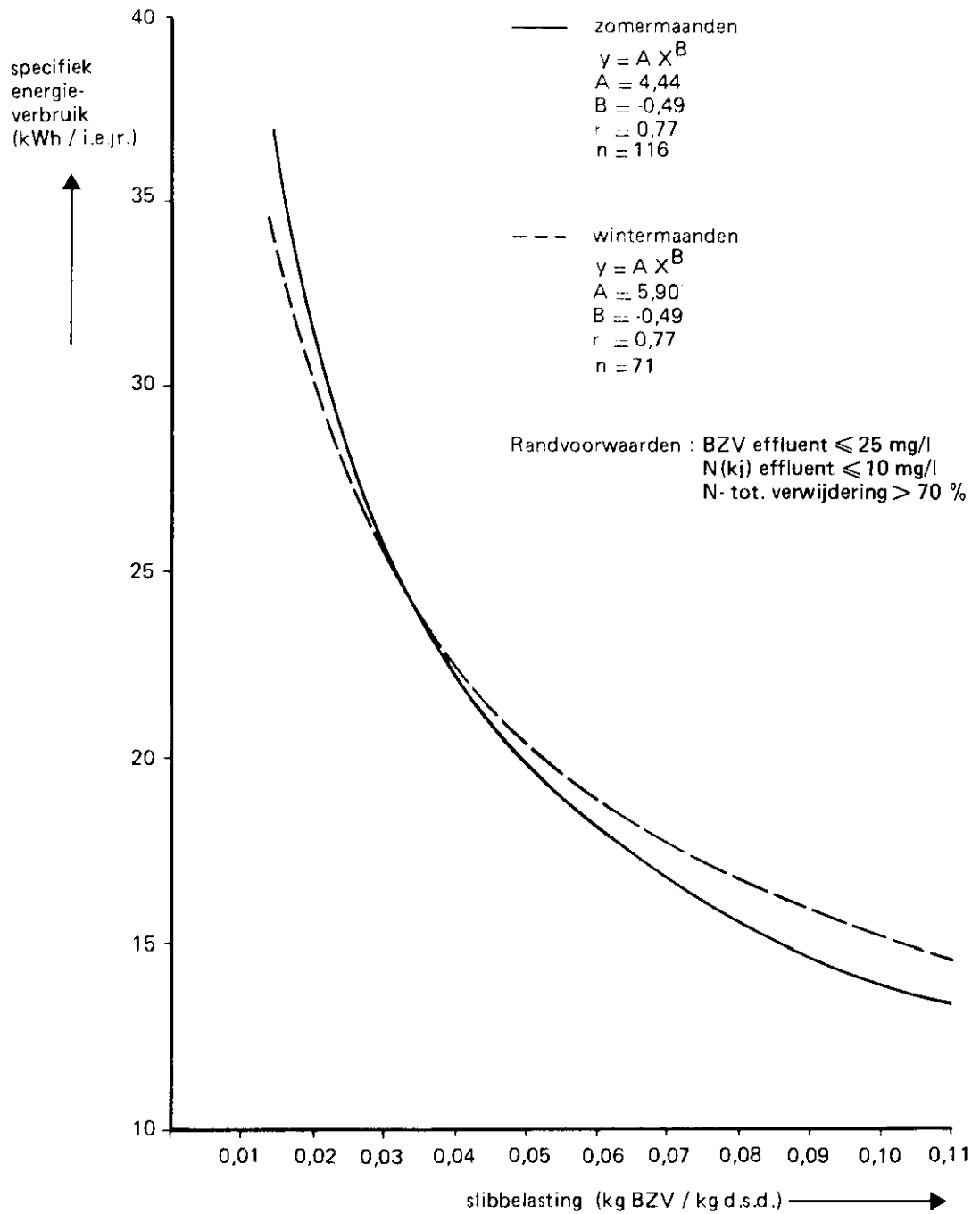


Fig. 3. Het specifieke energieverbruik (maandgemiddelden) als functie van de slibbelasting in de zomer- en in de wintermaanden

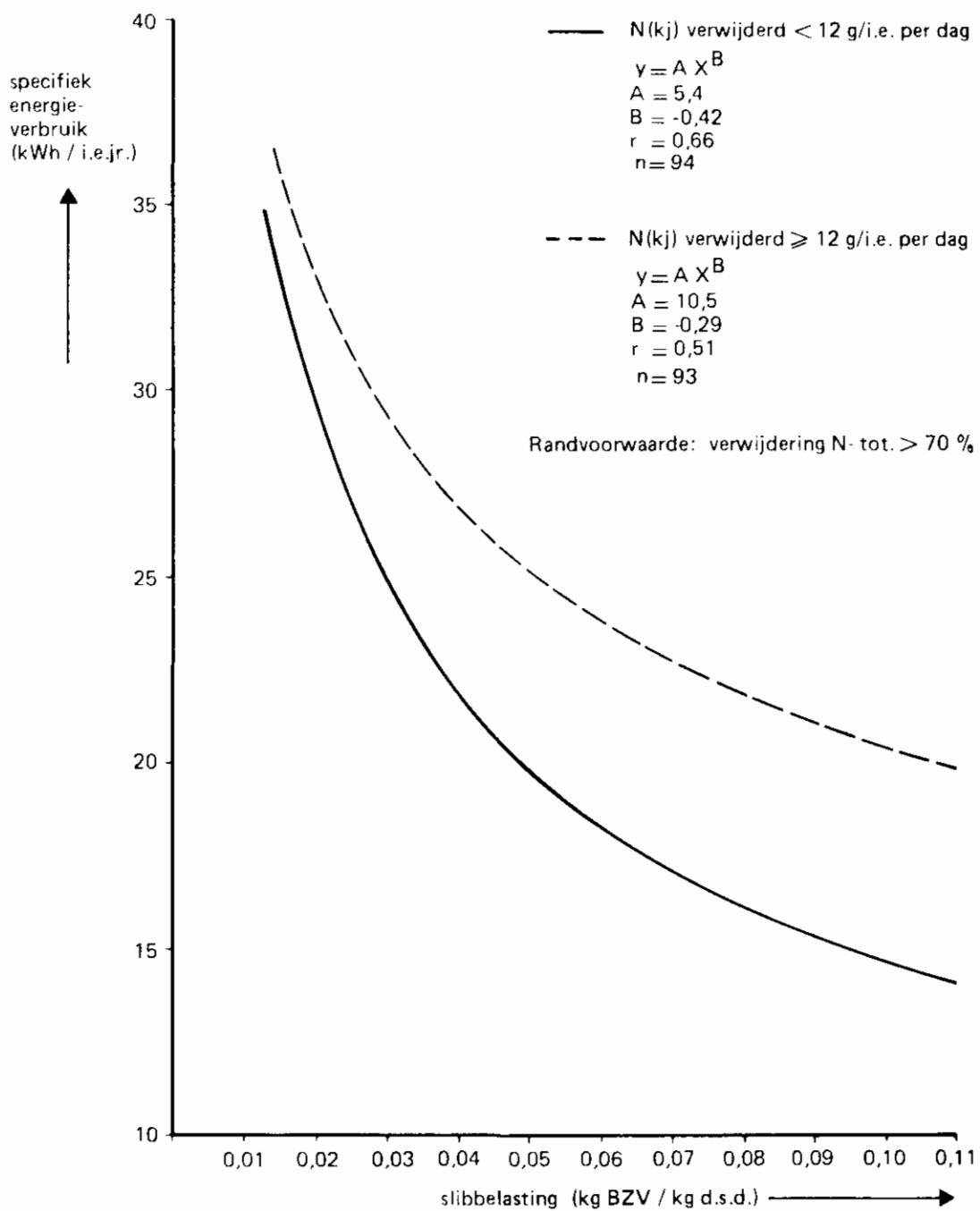


Fig. 4. De invloed van de hoeveelheid verwijderde Kjeldahl-N op het specifieke energieverbruik (maandgemiddelden) van oxydatiesloten

De inventarisatie wijst uit, dat er grote verschillen bestaan in het specifieke energieverbruik van de beluchting.

De verschillen zijn met name terug te voeren op de slibbelasting, die in de praktijk lager is dan de ontwerp-slibbelasting.

Van maatregelen in de bedrijfsvoering zoals aanpassing van de gemiddelde zuurstofinbreng aan de zuurstofbehoefte, instellen van de ontwerp-slibbelasting en verlaging van de zuurstofbehoefte door maximale denitrificatie, zou een aanzienlijke energiebesparing verwacht kunnen worden.

5 DOEL EN OPZET PRAKTIJKONDERZOEK

5.1 Doel

In praktijkonderzoek wordt nagegaan in hoeverre

- verlaging van de gemiddelde zuurstofinbreng
- regeling van de slibbelasting, en
- optimalisatie van de nitrificatie-denitrificatie

realiseerbaar zijn en welke feitelijke energiebesparing hiermee bereikt kan worden. Als randvoorwaarde hierbij geldt, dat de maatregelen in relatie tot de besparingen geringe tot geen extra investeringen vergen, en dat daarnaast de effluentkwaliteit niet negatief mag worden beïnvloed.

5.2 Verlaging van de gemiddelde zuurstofinbreng

In ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties met oppervlaktebeluchters zijn de functies van beluchten en voortstuwen gecombineerd. In onderbelaste installaties is de zuurstofbehoefte lager en kan het ingebrachte vermogen voor het beluchten door regeling van de dompeldiepte of het toerental teruggebracht worden. Het ingebrachte vermogen voor het voortstuwen kan echter niet verder omlaag gebracht worden dan een grenswaarde, waarbij een minimum snelheid in het circuit gehandhaafd blijft. Bij deze minimumsnelheid, die afhankelijk is van de bezinkeigenschappen, wordt het slib nog in suspensie gehouden en worden afzettingen van slib voorkomen. In de meeste gevallen is 25 à 30 cm/s voldoende. Deze snelheid wordt in stand gehouden bij inbreng van circa 60 à 70% van het opgestelde vermogen.

In figuur 5 is het verloop van het specifieke energieverbruik als functie van de relatieve belasting van een rwzi weergegeven, bij continu opwekken van het maximaal vermogen (lijn A), resp. van 70% (lijn B) en van 60% (lijn C) van het maximaal vermogen. Van de meeste installaties tussen de lijnen A en B kan de bedrijfsvoering aangepast worden, zonder dat er gevaar bestaat voor slibafzetting ten gevolge van onvoldoende stroomsnelheid.

Tussen de lijnen B en C is de aanpassing afhankelijk van de slibeigenschappen, en met name van het minimaal benodigde vermogen om het specifieke slib volledig in suspensie te houden. Bij de ontwerpbelasting is de in de inventarisatie gevonden gemiddelde waarde voor het specifiek energieverbruik 21 kWh/(i.e. jr.). De installatie is bij continue beluchting regelbaar van 71% (lijn C) of van 83% (lijn B) tot 120% van de belasting. Daarboven is de geïnstalleerde OC te klein, daaronder is er gevaar voor slibbezinking.

Indien de actuele belasting lager is dan de genoemde ondergrens voor de belasting zal bij continue beluchting het specifiek energieverbruik stijgen.

In dat geval is intermitterende beluchting de enige mogelijkheid om tot een verdergaande reductie van het energieverbruik te komen. Bij intermitterende beluchting worden de beluchters niet meer continu bedreven maar door middel van tijd klokken aan- en uitgeschakeld.

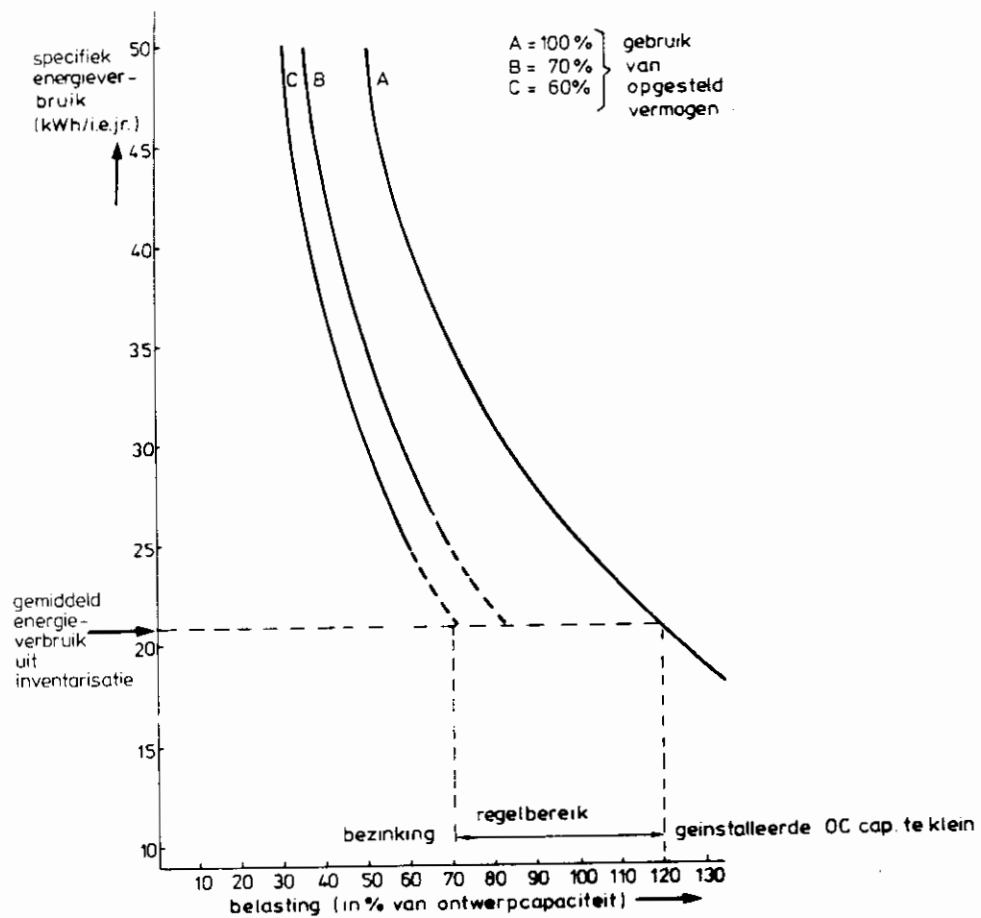


Fig. 5. Het specifiek energieverbruik als functie van de belasting en de beluchtingscapaciteit

De hydraulische verblijftijd in oxydatiesloten bedraagt één tot enige dagen. Als toe- en afvoer zodanig gesitueerd zijn, dat voor kortsluitstroming niet gevreesd behoeft te worden, zal aanvoer bij uitgeschakelde beluchting niet tot een significante vermindering van de effluentkwaliteit leiden.

Bij intermitterend beluchten is het probleem dat het slib, dat in perioden van stilstand van de beluchters bezonken is, weer volledig in suspensie moet worden gebracht. Hierbij spelen de eigenschappen van het actiefslib per installatie een doorslaggevende rol.

Intermitterend beluchten is door verschillende beheerders op onderbelaste installaties al toegepast als maatregel om energie te besparen. Gericht onderzoek met name op het punt van het slibgedrag heeft echter tot nu toe niet plaatsgevonden.

Een andere mogelijkheid om bij sterk onderbelaste installaties de beluchtingscapaciteit te verlagen is het scheiden van de functies van voortstuwten en beluchten van de oppervlaktebeluchters. Dit kan gerealiseerd worden door het installeren van één of meer voortstuwingsseenheden in het circuit, die voldoende stroomsnelheid creëren om slibbezinking te voorkomen. Deze maatregel wordt in de praktijk ook toegepast. In het kader van dit praktijkonderzoek is aan deze mogelijkheid verder geen aandacht besteed.

5.3 Regeling van de slibbelasting

De inventarisatie toonde aan dat het grootste deel van de beschouwde rwzi's onderbelast is.

Om de ontwerp-slibbelasting (0,054 kg BZV/kg d.s. d) te handhaven, zal bij onderbelaste installaties het slibgehalte evenredig moeten dalen met de verminderde belasting (in kg BZV/d). In verband met vlokvorming, bezinking en schuimvorming wordt voor het slibgehalte een veilige ondergrens van 2 kg d.s./m³ aangehouden. In figuur 6 is het theoretisch verloop van het slibgehalte als functie van de belasting van de rwzi weergegeven. Hierin is bovendien de pratijksituatie van de in de inventarisatie beschouwde rwzi's ingetekend. Uit de figuur blijkt, dat op 5 overbelaste rwzi's na, het slibgehalte boven de gewenste lijn ligt. Op de lijn is de zuurstof-, c.q. energiebehoefte, rekening houdend met de randvoorwaarde van minimaal 2 kg d.s./m³, zo laag mogelijk.

Bij belastingen lager dan 70% zal de door regeling van de slibbelasting afgenomen zuurstofbehoefte niet meer gerealiseerd kunnen worden door regeling in het continue gebied, maar zal intermitterend belucht moeten worden.

5.4 Optimalisatie van de nitrificatie-denitrificatie

In ultra-laag belaste actief-slibinstallaties vindt naast een goede BZV-verwijdering een vergaande totaal-N-verwijdering plaats door nitrificatie en denitrificatie. Voor nitrificatie moet zuurstof ingebracht worden, terwijl door denitrificatie bespaard wordt op de zuurstofinbreng.

Een optimalisatie van het nitrificatie/denitrificatieproces is daarom van belang voor het energieverbruik. De afstemming van beide processen is mogelijk door het regelen van de beluchtingscapaciteit. Hiertoe is op veel rwzi's een zuurstofelektrode geïnstalleerd, waarvan het signaal gebruikt wordt om de dompediepte van de beluchters te sturen. Het effect van de regeling dient door frequente meting van de effluentkwaliteit gecontroleerd te worden.

Door variaties in de aanvoer en inhomogeniteiten in het slibgehalte in het beluchtingscircuit, resulterend in een betrekkelijk snel fluctuerend electrodesignaal, is in de praktijk de frequentie van de bijstelling van de dompediepte op basis van het signaal van de zuurstofelektrode hoog. Daarnaast zijn de kwaliteit van de zuurstofelektrode en de vereiste ijking en onderhoud vaak knelpunten.

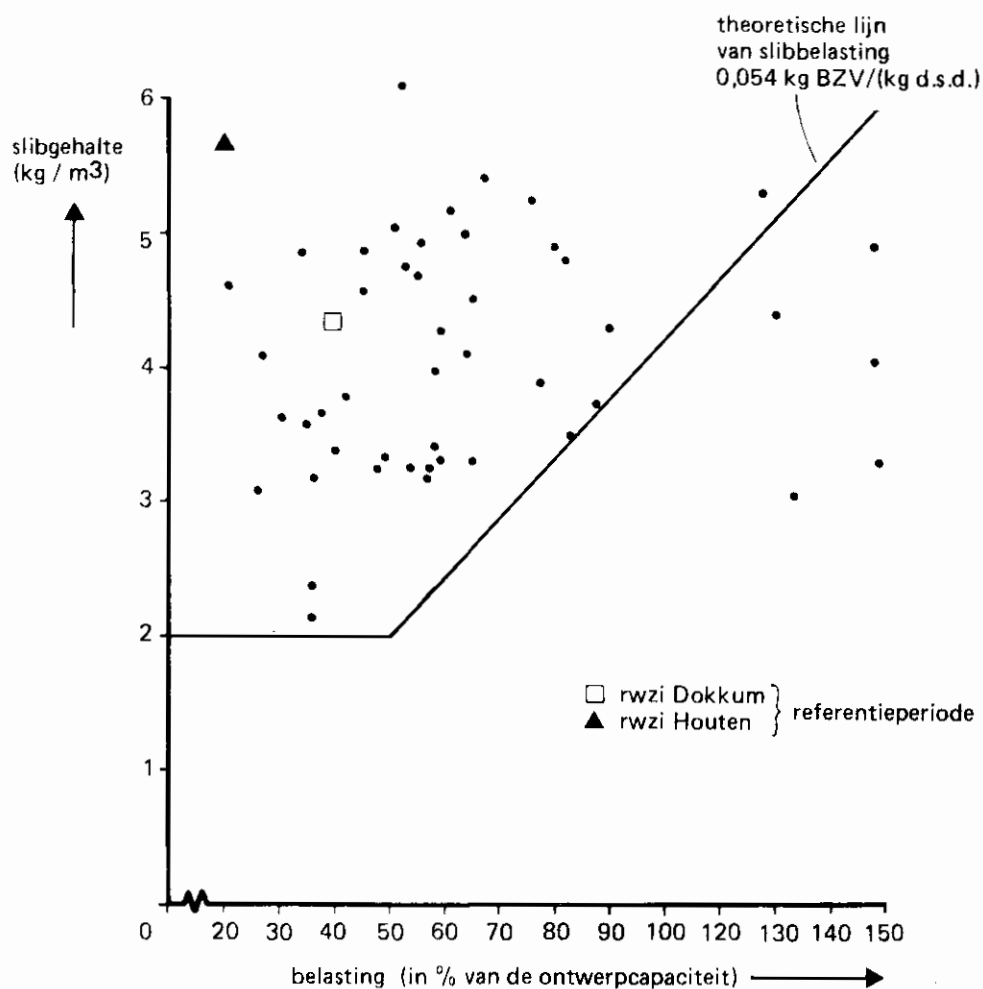


Fig. 6. Het slibgehalte en de belasting van de rwzi

Directe regeling op basis van de N(Kj) in het effluent lijkt daarom voordelen te bieden. De nauwkeurigheid en interferentie-gevoeligheid van de beschikbare sensoren was hierbij tot nu toe echter een knelpunt.

Door het beschikbaar komen van een sensor, die deze nadelen niet heeft, is het nu mogelijk om een dergelijke regeling in de praktijk te onderzoeken.

5.5 Het onderzoekprogramma

Het onderzoekprogramma bestond uit de volgende onderdelen:

- vooronderzoek slibbezinking en intermitterende beluchting;
 - onderzoek energiebesparing door intermitterende beluchting;
 - onderzoek regeling slibbelasting;
 - onderzoek optimalisatie nitrificatie-denitrificatie,
- en werd in 1984 en 1985 uitgevoerd op achtereenvolgens twee rwzi's.

Als selectiecriteria voor de rwzi's werden gehanteerd:

- ontwerpcapaciteit minimaal 10.000 i.e.;
- installatie voor maximaal 70% van de ontwerpcapaciteit belast;
- installatie voorzien van minimaal 2 beluchters;
- minimaal één beluchter voorzien van dompeldiepteregeling op basis van zuurstofelektrodesignaal;
- proportionele in- en effluentbemonstering;
- hoog specifiek energieverbruik;
- maximale stroomsnelheid in beluchtingscircuit voldoende hoog.

In 1984 werden alleen de rwzi's van de Provinciale Waterstaat Friesland beschouwd; de rwzi Dokkum bleek het best aan de gestelde criteria te voldoen.

In 1985 zijn de rwzi's van zeven andere waterkwaliteitsbeheerders bij de selectie betrokken; de rwzi Houten werd daaruit gekozen.

Voor de schema's en gegevens van beide rwzi's wordt verwezen naar bijlage 3. Voor een gedetailleerde beschrijving van het onderzoeksprogramma wordt verwezen naar bijlage 4.

5.6 Beperkingen van het onderzoek

De resultaten van het onderzoek op de rwzi's Dokkum en Houten gelden alleen voor de betreffende rwzi's en de omstandigheden, zoals die zich tijdens het onderzoek voordeden. De uitkomsten van het onderzoek kunnen daarom niet zonder meer vertaald worden in een feitelijke realiseerbare energiebesparing voor elke onderbelaste rwzi.

Bij het onderzoek wordt alleen aandacht besteed aan de mogelijke resultaten ten aanzien van energiebesparing (kWh). Er vindt geen vertaling plaats naar de mogelijke verlaging van de energiekosten. Dit zal afhangen van de specifieke electriciteitstarieven, en met name van het aandeel daarin van het maximaal afgenomen vermogen (kW_{max}).

6 ENERGIEBESPARING DOOR INTERMITTEREND BELUCHTEN

6.1 Vooronderzoek

Het vooronderzoek had betrekking op:

- het verband tussen stroomsnelheid en slibbezinking en
- de dynamiek van intermitterend beluchten.

De beschrijving van meetprogramma en meetmethoden is samengevat in bijlage 4. In bijlage 5 zijn de resultaten van de metingen op de twee rwzi's grafisch weergegeven.

6.1.1 *verband snelheid-slibbezinking*

Het verband tussen de afname van het slibgehalte in het beluchtingscircuit als functie van de tijd bij verschillende specifieke vermogens is weergegeven in figuur 7 voor de rwzi Dokkum en in figuur 8 voor de rwzi Houten.

In figuur 9 is het verband tussen het specifiek energieverbruik in kWh/(i.e. jr) en de belasting in % van de ontwerpcapaciteit weergegeven voor de rwzi Dokkum en de rwzi Houten, waarbij uitgegaan is van een verwachtingswaarde van 21 kWh/(i.e. jr) bij de ontwerpbelasting (randvoorwaarden: continue beluchting, geen slibbezinking).

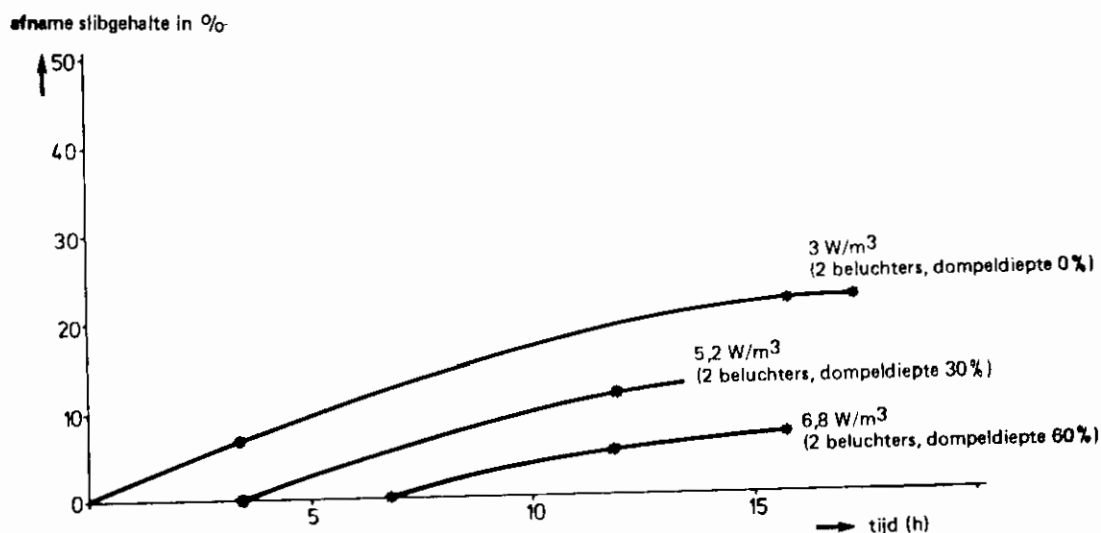


Fig. 7. Afname slibgehalte in beluchtingscircuit rwzi Dokkum als functie van de tijd bij verschillende ingebrachte vermogens

Het regelbereik van de rwzi Houten blijkt aanzienlijk groter te zijn dan van de rwzi Dokkum, wat veroorzaakt wordt door:

- het geïnstalleerd vermogen op de rwzi Houten (max. 12 W/m³) is groter dan op de rwzi Dokkum (max. 9,6 W/m³)
- de bezinkeigenschappen van het slib: de slibvolume-index in Dokkum is lager dan in Houten 75 ml/g, respectievelijk 100 ml/g).

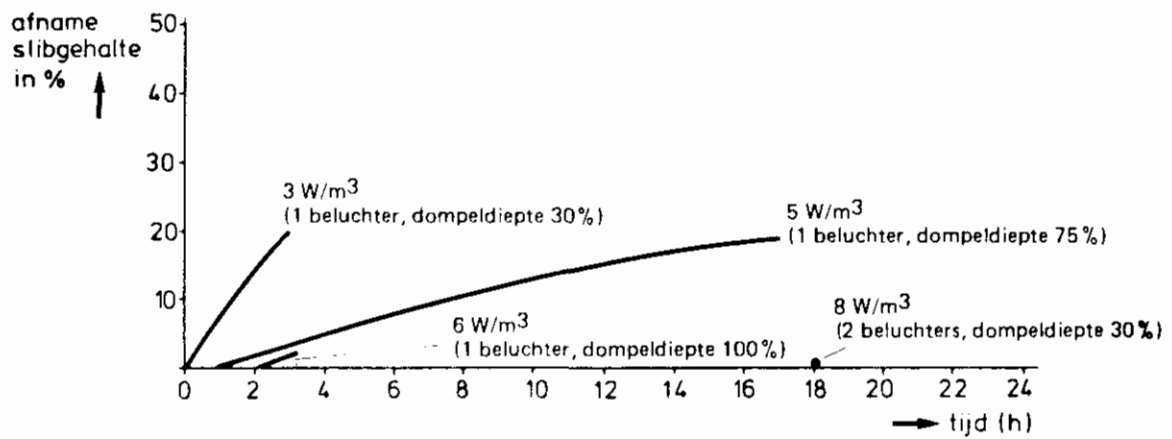


Fig. 8. Afname slibgehalte in beluchtingscircuit rwzi Houten als functie van de tijd bij verschillende ingebrachte vermogens

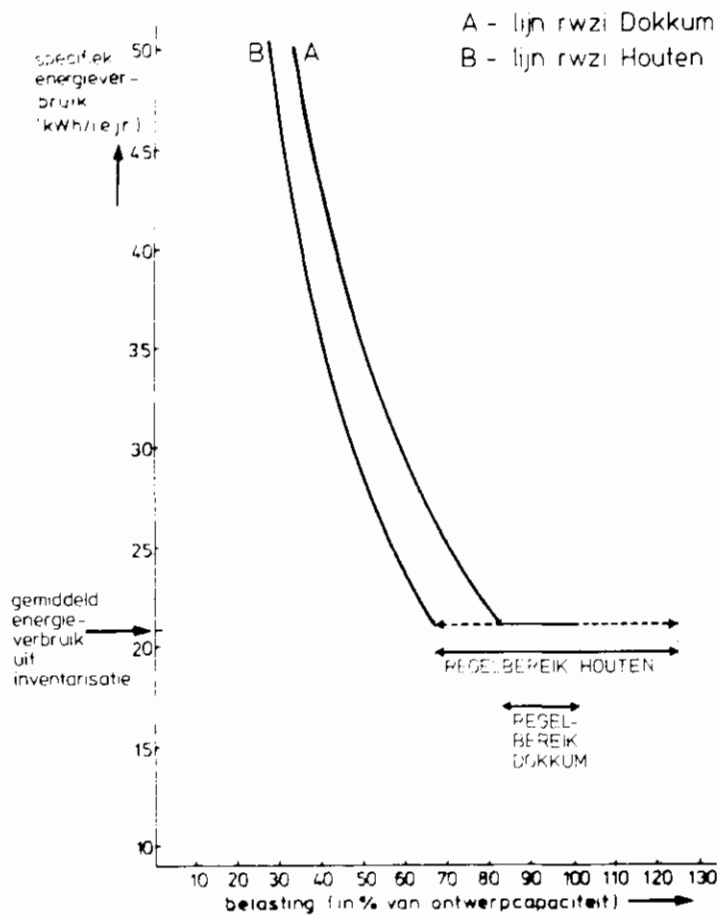


Fig. 9. Theoretisch verloop specifiek energieverbruik als functie van de belasting van de rwzi Dokkum en rwzi Houten bij continue beluchting

Hierbij is het geïnstalleerd vermogen bepalend voor de bovengrens van het regelbereik en zijn de slibeigenschappen bepalend voor de ondergrens van het regelbereik.

In de figuur zijn tevens de waarden van het gemiddelde specifieke energieverbruik van enige jaren weergegeven.

6.1.2 *dynamiek intermitterend beluchten*

Op de rwzi Dokkum bleek de looptijd van beide beluchters, om het gedurende de wachttijd bezonken slib weer in suspensie te brengen, sterk te variëren. Bij wachttijden tot 3 uren is geen eenduidige relatie af te leiden tussen de wachttijd en de looptijd, die minimaal benodigd is om het bezonken slib weer in suspensie te brengen. Daarnaast bleek het niet mogelijk het bezonken slib weer volledig in suspensie te brengen, zodat de uitgangsslibconcentratie niet bereikt werd.

Op de rwzi Houten bleek het wel mogelijk het bezonken slib bij maximaal vermogen weer in suspensie te brengen. De looptijd die hiervoor benodigd was varieerde van 1 tot 2 uur.

Ook bij onderzoek van een aantal series opeenvolgende loop- en wachttijden bleek bij maximaal vermogen slib weer volledig in suspensie gebracht te kunnen worden. De looptijd, die hiervoor benodigd was, lag tussen 1 en 3 uur.

Bij een vermogensinbreng van 6 W/m^3 gedurende de looptijden bleek het niet meer mogelijk het bezonken slib weer volledig in suspensie te brengen. Om eenmaal bezonken slib weer in suspensie te brengen, moet dus meer vermogen worden ingebracht dan om hetzelfde slib in suspensie te houden.

6.2 Bedrijfsresultaten bij intermitterend beluchten

6.2.1 *beschrijving bedrijfsvoering*

Op de rwzi Dokkum is tijdens het onderzoek een vast schakelschema voor de intermitterende beluchting gebruikt. De maximale wachttijd was 2 uur, terwijl gedurende de looptijden de beide beluchters met maximaal vermogen ingeschakeld werden. Het schema voor de intermitterende beluchting is weergegeven in figuur 10.

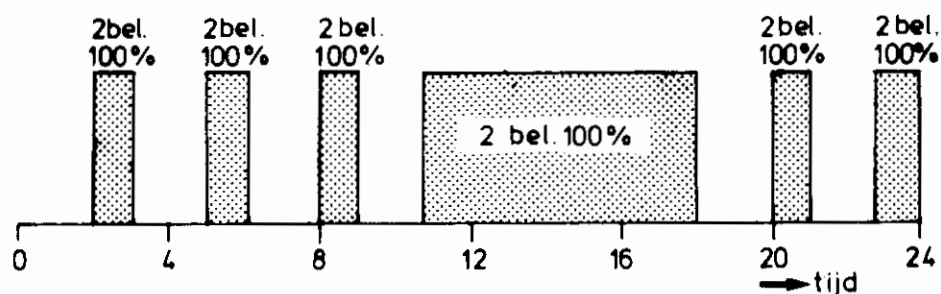


Fig. 10. Schema intermitterende beluchting rwzi Dokkum

Bij het onderzoek op de rwzi Houten was de bedrijfsvoering van de beluchters:

- 1 beluchter continu op 90% van de maximale dompeldiepte
 - 1 beluchter automatisch gestuurd door het signaal van de zuurstofelektrode in het afstromende kanaal van de beluchter.
- Omdat na afloop van de wachttijd de zuurstofconcentratie bij de O₂-elektrode nul is, wordt deze beluchter op maximale dompeldiepte ingeschakeld.
- Het aantal beluchtingsuren is op basis van bijstelling van het beluchtingsprogramma geoptimaliseerd;
- wanneer N(Kj) > 5 mg/l werd het aantal beluchtingsuren verhoogd;
 - wanneer N(Kj) < 5 mg/l en N-NO₃ > 5 mg/l werd het aantal beluchtingsuren verlaagd.

Tijdens de meetperiode was op beide installaties het slibgehalte in het beluchtingscircuit circa 4 kg/m³.

6.2.2 resultaten

De bedrijfsresultaten van de meetperioden met intermitterende beluchting voor de rwzi's Dokkum en Houten zijn weergegeven in bijlage 6.

Bij maximaal ingebracht vermogen kon in Dokkum de bezonken slibmassa niet volledig in suspensie gebracht worden, waardoor de slibafzettingen op de bodem van het beluchtingscircuit toenamen. De bezinkeigenschappen van het slib verhinderen de toepassing van intermitterend beluchten.

De gemiddelde belasting van de rwzi Dokkum was in de meetperiode door een aantal meetdagen met flinke neerslag zeer hoog (110% van de ontwerpcapaciteit). Dit valt buiten het regelbereik van de installatie bij continue beluchting (zie figuur 9).

De voornaamste bedrijfsresultaten (gemiddelde van dagwaarnemingen) van de meetperiode zonder de neerslagdagen zijn samengevat in tabel 1.

Als gevolg van genoemde oorzaken werd de overige dagen niet voldaan aan de randvoorwaarde, dat de effluentkwaliteit door de energiebesparende maatregel niet zou verslechteren. Met name de N(Kj)-concentratie nam toe van 5 à 6 mg/l tot waarden boven 10 mg/l.

Intermitterende beluchting behoort dus op de rwzi Dokkum niet tot de mogelijkheden voor verdere energiebesparing.

Hoewel op de rwzi Houten al sprake was van toepassing van intermitterende beluchting bleek het mogelijk te zijn het aantal beluchtingsuren verder te reduceren. Bij de oorspronkelijke bedrijfssituatie bedroeg de totale looptijd van de beluchters 16,5 uur/dag. Gedurende deze tijd was één beluchter continu in bedrijf en de tweede beluchter, die op basis van de O₂-concentratie gestuurd werd, gemiddeld 9 uur/dag.

Tijdens het onderzoek naar intermitterende beluchting bleek de looptijd gereduceerd te kunnen worden tot circa 12 uur/dag. Gedurende deze uren was de beluchter, die gestuurd werd, gemiddeld 10 uur/dag in bedrijf.

		influent	effluent	rendement %
CZV	(mg/l)	550	118	78,6
BZV	(mg/l)	220	7,3	96,7
N(Kj)	(mg/l)	38	7,8	79,5
N-totaal	(mg/l)	38	13,6	64,2
i.e.		20423	679	96,7
debiet	(m ³ /d)		4995	
slibgehalte	(kg/m ³)		2,5	
slibbelasting	(kg BZV/kg d.s.d)		0,044	
specifiek energieverbruik	(kWh/i.e.jr)		24,2	

Tabel 1. Samenvatting bedrijfsresultaten intermitterende beluchting rwzi Dokkum (gedeelte meetperiode).

De voornaamste bedrijfsresultaten (gemiddelde van dagwaarnemingen) zijn samengevat in tabel 2

		influent	effluent	rendement %
CZV	(mg/l)	660	46	93,0
BZV	(mg/l)	187	3,4	98,2
N(Kj)	(mg/l)	57	4,2	92,6
N (tot)	(mg/l)	57	5,7	89,9
i.e.		10222	185	98,2
debiet	(m ³ /d)		2955	
slibgehalte	(kg/m ³)		4,5	
slibbelasting	(kg BZV/kg d.s.d)		0,016	
specifiek energieverbruik	(kWh/i.e.jr)		34,2	

Tabel 2. Samenvatting bedrijfsresultaten intermitterende beluchting rwzi Houten

In tabel 3 zijn voor de rwzi Houten de resultaten uit de periode met intermitterende beluchting vergeleken met die uit de referentieperiode met normale bedrijfsvoering.

Bij een vergelijkbare effluentkwaliteit is het energieverbruik met ca. 18 kWh/i.e. jr. afgenomen.

Uit de resultaten van het praktijkonderzoek kan geconcludeerd worden, dat intermitterende beluchting voor onderbelaste rwzi's een goede maatregel is om energie te besparen, mits er voldoende vermogen ingebracht kan worden om het bezonken slib weer volledig in suspensie te brengen. Dit is afhankelijk van de stroomsnelheid in het circuit bij maximaal ingebracht vermogen en van de slibeigenschappen; met name mag de slibvolume-index niet te laag zijn.

parameter	referentie	intermitterende beluchting
CZV-effluent (mg/l)	22	46
BZV-effluent (mg/l)	1,6	3,4
N(Kj)-effluent (mg/l)	2,0	4,2
N-tot-effluent (mg/l)	5,6	5,7
slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	0,009	0,016
energieverbruik (kWh/i.e. jr.)	52,1	34,1

Tabel 3. Vergelijking bedrijfsresultaten referentieperiode met periode intermitterende beluchting

Met een eenvoudig onderzoek naar de dynamiek van het intermitterend beluchten kan voor elke installatie de realiseerbaarheid van deze maatregel nagegaan worden.

7 DE INVLOED VAN DE SLIBBELASTING OP HET ENERGIEVERBRUIK

7.1 Bedrijfsvoering

Bij de rwzi Dokkum moest op basis van de gemiddelde actuele belasting het slibgehalte in het beluchtingscircuit op een waarde van 2-2,5 kg/m³ gebracht worden, om de gemiddelde slibbelasting op de ontwerp-slibbelasting van 0,054 kg BZV/(kg d.s.d) te brengen. In twee weken werd het slibgehalte in het circuit teruggebracht van circa 4,0 kg/m³ tot een waarde van circa 2,2 kg/m³ door een extra hoeveelheid surplusslib af te pompen naar de slibindikker. Wegens het mislukken van intermitterende beluchting werd tijdens de meetperiode met verlaagd slibgehalte continu belucht met minimaal één beluchter. Beide beluchters werden gestuurd op het signaal van de zuurstofelektrode, waarbij beluchter 1 continu was ingeschakeld, en beluchter 2 gedurende 10 uur per dag.

Op de rwzi Houten zou op basis van de gemiddelde actuele belasting van de zuivering het slibgehalte teruggebracht moeten worden tot 1 à 1,5 kg/m³, om de gemiddelde slibbelasting op de ontwerpwaarde van 0,054 kg BZV/(kg d.s.d) te regelen. Aan het minimumslibgehalte in het beluchtingscircuit is in verband met te verwachten problemen met vlokvorming, bezinking en schuimvorming een ondergrens van 2 kg/m³ gesteld. Bij dit slibgehalte is de verwachte slibbelasting gemiddeld 0,036 kg BZV/(kg d.s.d). Door het verpompen van een extra hoeveelheid surplusslib naar de slibbuffer is het slibgehalte in circa 3 weken tot circa 2 kg/m³ verlaagd. Na het slagen van de proeven met intermitterende beluchting is ook bij deze experimenten intermitterend belucht.

Tijdens de looptijden was een beluchter continu op 90% van de dompeldiepte ingeschakeld en werd de andere beluchter geregeld op het signaal van de zuurstofelektrode in het afstromende kanaal.

7.2 Resultaten

De gedetailleerde bedrijfsresultaten zijn weergegeven in bijlage 7. Tijdens de meetperiode op de rwzi Dokkum bleek het niet mogelijk het slib volledig in suspensie te houden. Het slibgehalte nam aanvankelijk in de eerste drie dagen van de meetperiode af van 2,2 kg/m³ tot 0,7 kg/m³. Nadat beide beluchters gedurende een weekende op maximale dompeldiepte ingeschakeld waren geweest, bleek het slibgehalte in het beluchtingscircuit 3,9 kg/m³ te bedragen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er reeds slibafzetting op de bodem had plaatsgevonden, veroorzaakt door een te geringe stroomsnelheid in het beluchtingscircuit. Met name tijdens het bedrijf met één beluchter bleek slibbezinking op te treden.

Het gevolg was, dat op de plaats van de zuurstofelektrode door het verminderde slibgehalte (en het hiermee gepaard gaande verminderde zuurstofverbruik) een zuurstofconcentratie gemeten werd, die hoger was dan het maximum setpoint van de zuurstofregeling. Op basis daarvan werd de dompeldiepte van de beluchter verminderd, waardoor de stroomsnelheid nog verder afnam.

Deze ongewenste ontwikkeling werd tegengegaan door beide beluchters gedurende enige uren per dag op maximale dompeldiepte in te schakelen om zoveel mogelijk slib in suspensie te brengen en de minimale dompeldiepte van de continu draaiende beluchter te verhogen. Verder werd gewerkt met een slibgehalte van 2,5 kg/m³.

Deze maatregelen hadden uiteraard een negatief effect op het specifiek energieverbruik.

Een samenvatting van de resultaten wordt gegeven in tabel 4.

		influent	effluent	rendement %
CZV	(mg/l)	324	54	83,4
BZV	(mg/l)	96	1,5	98,5
N(Kj)	(mg/l)	28	4,5	84,3
N (tot)	(mg/l)	28	11,4	60,1
i.e.		21023	323	98,5
debiet	(m ³ /d)		11886	
slibgehalte	(kg/m ³)		2,5	
slibbelasting	(kg BZV/kg d.s.d)		0,045	
specifiek energieverbruik	(kWh/i.e.jr)		28,3	

Tabel 4. Samenvatting bedrijfsresultaten regeling slibbelasting
rwzi Dokkum

In Houten bleek het niet mogelijk het slibgehalte op de gewenste waarde van 2 kg/m³ te handhaven, door problemen met het afvoeren van surplusslib en veelvuldige regenaanvoer.

De voornaamste bedrijfsresultaten (gemiddelden van dagwaarnemingen) zijn samengevat in tabel 5.

Met het stijgen van het slibgehalte gedurende de meetperiode neemt de zuurstofbehoefte toe door de toename van de zuurstofvraag voor de endogene ademhaling. Het energieverbruik neemt daarom met het stijgen van het slibgehalte toe. In figuur 11 is het verband tussen het specifieke energieverbruik (in kWh/(i.e.jr)) en de slibbelasting weergegeven, gebaseerd op de resultaten van de metingen (dagwaarnemingen) in Houten. Aggregatie van de meetresultaten tot perioden van enkele dagen levert geen wezenlijk ander beeld op.

Het gevonden verband geeft een relatief lage verwachtingswaarde voor het specifiek energieverbruik bij de ontwerp-slibbelasting. Een mogelijke verklaring hiervoor is de relatief lage waarde van de endogene ademingsnelheid (gemiddeld 70 g O₂/kg organische droge stof per dag). Daarnaast is het aantal meetpunten in het gebied met een slibbelasting > 0,03 kg BZV/(kg d.s. d) door de relatief grote onderbelasting van de rwzi Houten te gering om over het verloop van het verband bij de ontwerp-slibbelasting een betrouwbare uitspraak te kunnen doen.

		influent	effluent	rendement
CZV	(mg/l)	352	29	91,7
BZV	(mg/l)	137	2,6	98,1
N(Kj)	(mg/l)	37	5,9	84,1
N (tot)	(mg/l)	37	11,5	69,2
i.e.		11686	221	98,1
debiet	(m ³ /d)		4617	
slibgehalte	(kg/m ³)		3,5	
slibbelasting	(kg BZV/kg d.s.d)		0,024	
specifiek energieverbruik	(kWh/i.e.jr)		27,7	

Tabel 5. Samenvatting bedrijfsresultaten van de slibbelasting
(rwzi Houten)

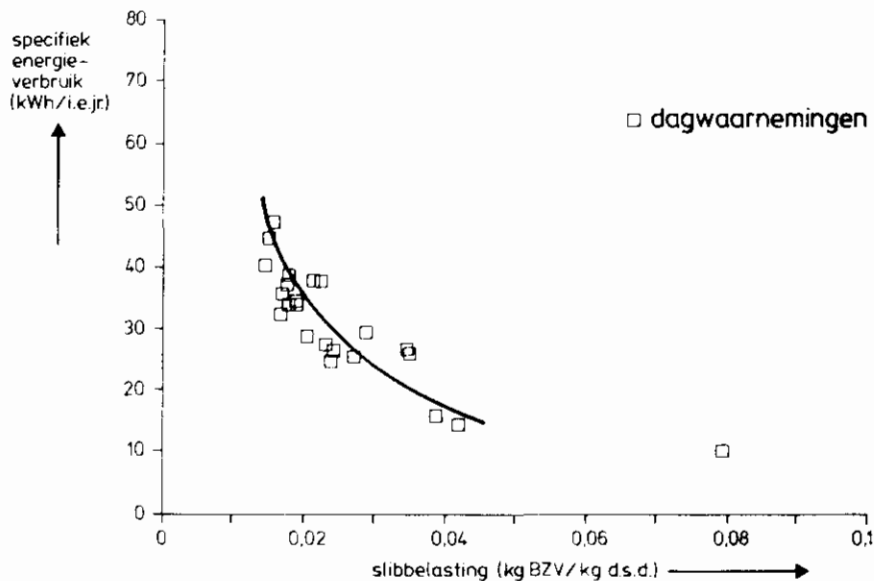


Fig. 11. Het specifiek energieverbruik voor de beluchting als
functie van de actuele slibbelasting (rwzi Houten)

Op onderbelaste installaties zal de daling van de zuurstofbehoefte door een verhoging van de slibbelasting, vaak alleen in een energiebesparing resulteren, wanneer intermitterend beluchten mogelijk is. Als dat niet het geval is, zal continu beluchten slibafzettingen op de bodem moeten voorkomen, waardoor de mogelijke energiebesparing sterk zal verminderen. Dit laatste was het geval op de rwzi Dokkum. Op de rwzi Houten is de slibbelasting verhoogd in combinatie met intermitterend beluchten. In tabel 6 zijn de resultaten uit deze periode vergeleken met die uit de meetperiode met alleen intermitterend beluchten (bij een slibgehalte van ca. 4 kg/m³).

parameter	periode intermitterend beluchten	periode regelen slibbelasting
CZV-effluent (mg/l)	46	29
BZV-effluent (mg/l)	3,4	2,6
N(Kj)-effluent (mg/l)	4,2	5,9
N-tot-effluent (mg/l)	5,7	11,5
slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	0,016	0,024
energieverbruik (kWh/i.e. jr.)	34,1	27,7

Tabel 6. Vergelijking bedrijfsresultaten eerste twee meetperioden
(rwzi Houten)

Uit de resultaten blijkt, dat bij een vergelijkbare effluentkwaliteit het energieverbruik door het verhogen van de slibbelasting met ca. 6 kWh/(i.e. jr.) is afgenomen. Het energieverbruik is nog vrij hoog, omdat door beperkingen in de slibafvoer het slibgehalte niet op de gewenste waarde van 2 kg/m^3 (bijbehorende slibbelasting $0,036 \text{ kg/kg d.s.d.}$) gehouden kon worden. Wanneer dat tot de mogelijkheden hoort, kan een verdere afname van het energieverbruik naar een waarde onder de $25 \text{ kWh/(i.e. jr.)}$ verwacht worden.

8 REGELING NITRIFICATIE EN DENITRIFICATIE MET EEN AMMONIA-ELEKTRODE

8.1 Mogelijkheden voor de regeling van het nitrificatie- en denitrificatieproces

Ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties bezitten een vergaande totaal-N-verwijdering door nitrificatie en denitrificatie. Het nitrificatieproces verbruikt zuurstof en is alleen mogelijk onder aërobe omstandigheden bij een minimale zuurstofconcentratie. Het denitrificatieproces is alleen mogelijk onder anoxische omstandigheden waarbij nitraat omgezet wordt in stikstof. In het beluchtingscircuit komen derhalve aërobe en anoxische zones voor.

Omdat het nitrificatieproces zuurstof (en daarmee energie) verbruikt en het denitrificatieproces bespaart op de zuurstofinbreng (en daarmee op het energieverbruik) is het uit het oogpunt van energiebesparing zinvol om zoveel mogelijk van het gevormde nitraat te denitrificeren. Daarbij dient echter voldoende zuurstof ingebracht te worden voor het nitrificatieproces.

Gemiddeld wordt er in ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties een effluentconcentratie van minder dan 5 mg/l N(Kj) bereikt.

De regeling van de mate van nitrificatie en denitrificatie is mogelijk met behulp van de beluchters. Bij vrijwel alle grotere installaties vindt automatische regeling plaats op het signaal van een zuurstofelektrode, die is geplaatst op enige afstand van een van de beluchters.

Omdat de zuurstofbehoefte afhankelijk is van factoren als belasting van de installatie en temperatuur, is het noodzakelijk de automatische zuurstofregeling regelmatig bij te stellen op basis van de gemeten effluentkwaliteit N(Kj) en $\text{NO}_3\text{-N}$. De bijstelling kan resulteren in het verplaatsen van de zuurstofelektrode of het veranderen van het minimum en maximum setpoint.

In feite berust de regeling op een continue meting van een indirecte grootte (de zuurstofconcentratie), die regelmatig moet worden bijgesteld op basis van een meting van een directe grootte (de effluentkwaliteit).

Een alternatief voor de bovengenoemde regeling gaat uit van de meting van een directe grootte. Bij ultra-laagbelaste actief-slibinstallaties komen hiervoor in principe de volgende parameters in aanmerking: N(Kj), $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ of een combinatie hiervan.

Directe automatische meting van Kjeldahl-N is nog niet mogelijk, meting van de overige parameters is mogelijk met de ammonium- (NH_4^+) -elektrode, de ammonia- (NH_3) -elektrode en de nitraat (NO_3^-) -elektrode. De ammonium-elektrode is zeer gevoelig voor de aanwezigheid van interfererende ionen als kalium, natrium, rubidium, caesium, lithium, magnesium, strontium, barium en zink. Een aantal van deze ionen komt in wisselende concentraties in afvalwater voor, zodat deze elektrode minder geschikt is.

De ammonia-elektrode is een zg. gaselektrode, waarbij de partiële druk van de ammonia, die zich in het monster bevindt, gemeten wordt. De meting is gebaseerd op de meting van de pH van een dunne film van elektrolyet-oplossing, die door een gaspermeabel membraan van de oplossing gescheiden is (zie figuur 12).

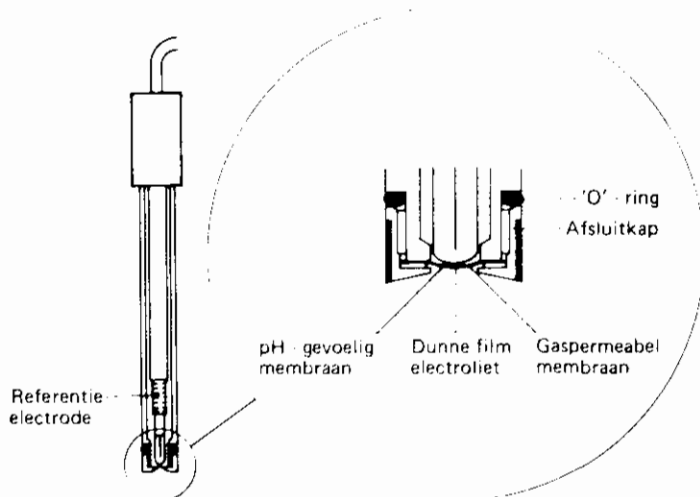


Fig. 12. Doorsnede van NH₃-electrode

Het grote voordeel van de ammonia-electrode is de ongevoeligheid voor de interfererende ionen, die bij de ammonium-electrode de meting verstoren.

Nitraat-electroden zijn, hoewel in mindere mate dan ammonium-electroden, ook gevoelig voor de aanwezigheid van interfererende ionen, in dit geval fluoride, chloride, jodide, nitriet, sulfaat, chloriet en chlooraat.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden, dat voor de sturing van de zuurstofinbreng op basis van de continue meting van één parameter op dit moment alleen de ammonia-electrode in aanmerking komt.

Hoewel verschillende firma's ammonia-electroden kunnen leveren, wordt op dit moment door slechts één firma een apparaat geleverd, dat op een rwzi kan worden geïnstalleerd, d.w.z. waarin de electrode gecombineerd is met de noodzakelijke randapparatuur, zoals pompen, temperatuurregeling en chemicaliëndosering. Dit toestel (fabrikaat Kent, model 8022) is op de rwzi Houten in het onderzoek naar energiebesparing door de optimalisatie van nitrificatie en denitrificatie gebruikt.

8.2 Bedrijfsvoering

In figuur 13 is de opstelling van de ammonia-monitor op de rwzi Houten schematisch weergegeven.

Het monster werd onttrokken aan de effluentgoot, gefiltreerd in een kaarsenfilter (poriediameter 50 micron) en vervolgens naar de ammonia-monitor gevoerd. Voor een gedetailleerde beschrijving van de ammonia-monitor wordt verwezen naar bijlage 9.

De schakelpunten t.b.v. een regelactie van de verstelinrichting van de beluchter werden op de monitor ingesteld op 2,5 mg/l en 1,5 mg/l-(NH₃) voor de maximum- respectievelijk de minimumconcentratie.

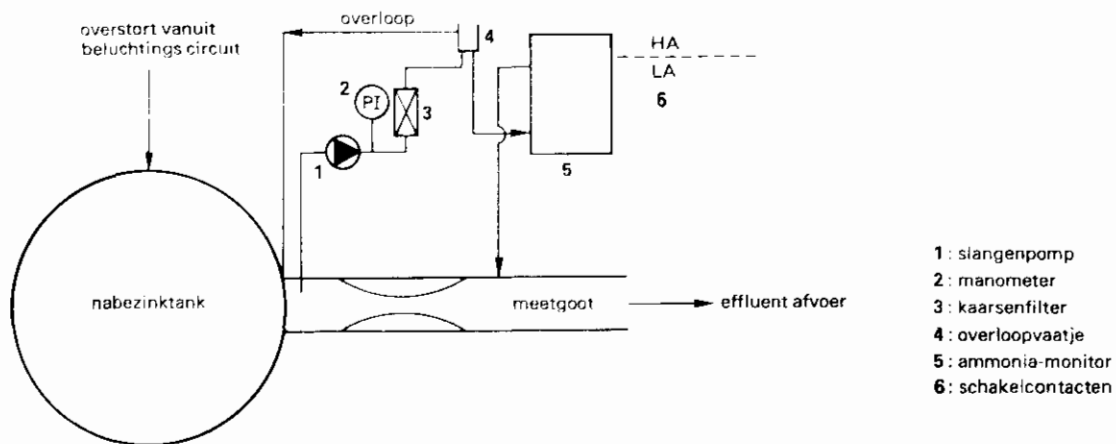


Fig. 13. Opstelling ammonia-monitor

Tijdens het onderzoek werd een beluchter gestuurd op basis van het signaal van de ammonia-monitor, terwijl de tweede beluchter gedurende 16,5 uur/dag continu in bedrijf was op 90% van de maximale dompel-diepte. Dit was conform de normale bedrijfssituatie op de rwzi met regeling op basis van de zuurstofconcentratie.

Het signaal van de ammonia-monitor werd continu geregistreerd op een recorder, evenals het opgenomen vermogen van de automatisch geregelde beluchter.

8.3 Resultaten

Gedurende vier weken heeft de regeling van de beluchting op basis van de ammonia-concentratie plaatsgevonden. Daarbij is aandacht be-steed aan:

- het functioneren van de monitor als analyse-apparaat;
- het functioneren van de regeling op basis van de ammonia-concentratie;
- de bedrijfsresultaten (effluentkwaliteit, energieverbruik, mogelijke invloed op andere parameters).

8.3.1 *het functioneren van de monitor als analyse-apparaat.*

De ammonia-monitor voldeed goed als analyse-apparaat; een goede over-eenstemming werd gevonden tussen de gemeten waarden van de standaard-analyse van het 24-uurs effluentmonster en de waarden gemeten met de ammonia-monitor. De automatische ijking van de monitor functioneerde goed.

Problemen kunnen optreden door verstoppingen in slangen en doorvoeren, door aangroei van organismen. Deze problemen zijn echter op eenvoudige wijze te ondervangen, door het installeren van een ander type filter (ultra-filter) en door het doseren van extra chemicaliën aan het monster. Hierdoor zal het onderhoud beperkt blijven tot reinigen van het ultrafilter (1x/week), bijvullen van de chemicaliën (1x/week) en vervangen van het membraan (1x/maand).

8.3.2 *het functioneren van de regeling op basis van de ammonia-concentratie.*

Deze regeling functioneerde goed. Met de gekozen schakelpunten bleek het mogelijk een gemiddelde Kjeldahl-N-concentratie in het effluent beneden de gewenste grensconcentratie van 5 mg/l te bereiken. Vergelijken met de regeling op basis van de zuurstofconcentratie is het aantal regelacties van de verstelmotor van de beluchter aanzienlijk verminderd. De regeling op basis van het NH_3 -signaal stuurt relatief langzame processen (nitrificatie, denitrificatie), terwijl het signaal van de zuurstofelectrode snel kan fluctueren. In de meetperiode was de frequentie van het in bedrijf stellen van de verstelmotor minder dan twee keer per dag, tegen gemiddeld zes tot acht keer per dag bij regeling op basis van het zuurstofgehalte. Daarnaast wordt bij overschrijding van het maximum-setpoint de beluchter steeds naar maximale dompediepte gestuurd. De beluchter met regelbare dompediepte zou vervangen kunnen worden door een beluchter met vast toerental, vaste dompediepte en een aan/uit-regeling.

De plaats van de ammonia-monitor bleek niet geheel optimaal. Door de verblijftijd in de nabezinktank (gemiddeld 26 uur bij dwa) is de amplitude van het verloop van de ammonia-concentratie als functie van de tijd met name bij rwa groot (zie figuur 14). Meting dicht bij het beluchtingscircuit zal de snelheid van de regeling gunstig beïnvloeden, bijvoorbeeld onttrekking van een monster, rechtstreeks uit het circuit en rechtstreekse filtratie door een ultrafilter of het plaatsen van een continu doorstroomde kleine bezinkunit, parallel aan het circuit en het onttrekken van een monster uit het effluent hiervan.

8.3.3. *bedrijfsresultaten*

De effluentkwaliteit tijdens de onderzoeksperiode is goed geweest. De bedrijfsresultaten worden weergegeven in bijlage 8. De voornaamste resultaten zijn samengevat in tabel 7.

Het gestelde doel van een goede nitrificatie- denitrificatie is gezien de mate van N(Kj)-verwijdering (> 92%) en de lage N-NO_3 -concentratie (< 2 mg N-NO_3 /l) met behulp van de onderzochte regeling bereikt. Optimalisatie naar minimum energieverbruik heeft niet plaatsgevonden.

Een vergelijking van de bedrijfsresultaten in de referentieperiode met regeling van één beluchter op basis van de zuurstofconcentratie en de periode met regeling van één beluchter op basis van de ammonia-concentratie is samengevat in tabel 8. In beide perioden was de looptijd van de niet-geregelde beluchter gelijk (16,5 uur/dag).

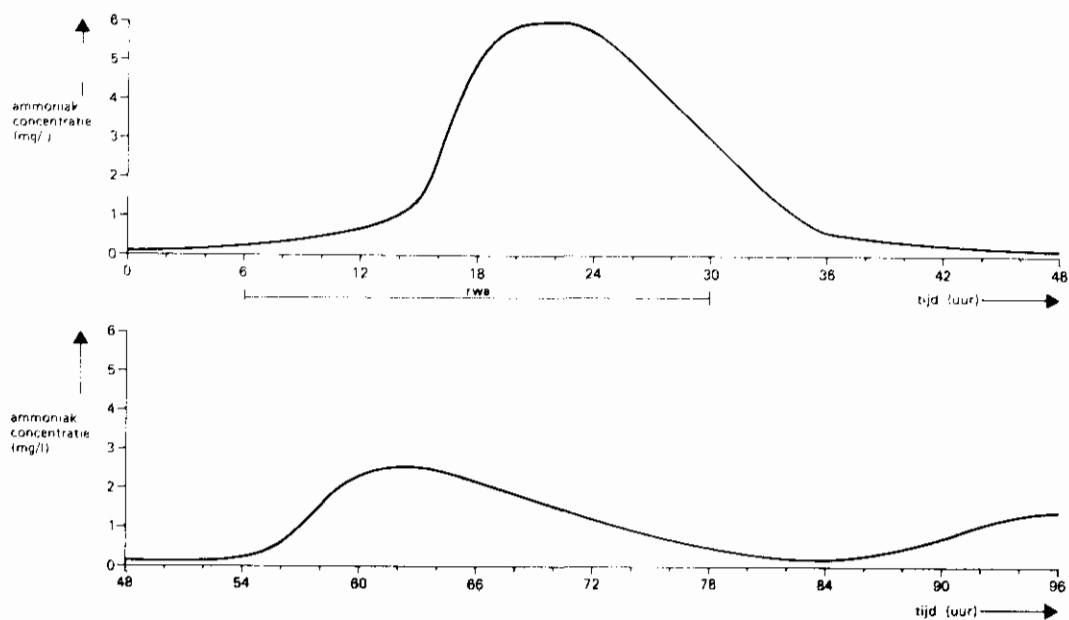


Fig. 14. Verloop van de ammoniaconcentratie als functie van de tijd

		influent	effluent	rendement %
CZV	(mg/l)	494	36	92,7
BZV	(mg/l)	151	2,9	98,1
N(Kj)	(mg/l)	51	3,9	92,4
N (tot)	(mg/l)	51	5,8	88,6
i.e.		8656	168	98,1
debiet	(m ³ /d)		3098	
slibgehalte	(kg/m ³)		3,1	
slibbelasting	(kg BZV/kg d.s.d)		0,019	
specifiek energieverbruik	(kWh/i.e.jr)		39,8	

Tabel 7. Samenvatting bedrijfsresultaten ammonia-regeling

In beide perioden is sprake van een vergaande denitrificatie ($\text{NO}_3\text{-N} < 2 \text{ mg/l}$). Het energieverbruik in de periode met ammonia-regeling is ca. 12 kWh/i.e. jr. lager. Dit wordt mede veroorzaakt door de hogere slibbelasting gedurende deze periode, zodat geen uitspraak mogelijk is over het effect van de regeling op de mogelijke energiebesparing.

parameter	referentie zuurstofregeling	periode ammonia-regeling
CZV-effluent	22	36
BZV-effluent	1,6	2,9
N(Kj)-effluent	2,0	3,9
N(tot)-effluent	5,6	5,8
slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)	0,009	0,019
energieverbruik (kWh/i.e.jr.)	52,1	39,8

Tabel 8. Vergelijking bedrijfsresultaten perioden met zuurstofregeling en met ammonia-regeling

Uit het onderzoek op de rwzi Houten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- de toegepaste ammonia-monitor geeft een stabiel en betrouwbaar signaal;
- de automatische ijking van het apparaat functioneert goed;
- om verstopping te voorkomen is voorbehandeling in een ultrafilter noodzakelijk;
- de monitor vraagt weinig onderhoud;
- meting op een plaats dicht bij het beluchtingscircuit is gewenst;
- vergeleken met de regeling op basis van het zuurstofgehalte is er een rustiger regelgedrag en minder kans op slijtage. Mogelijk kan de dompeldiepteverstelling vervallen.

CONCLUSIES

1. Door intermitterend beluchten kan energie worden bespaard op onderbelaste rwzi's. Op de rwzi Houten werd met deze maatregel een energiebesparing van 18 kWh/i.e.jr. bereikt ten opzichte van de referentiewaarde van 52 kWh/i.e.jr.
In de praktijk kan de toepassing van intermitterend beluchten beperkt worden door het bezinkgedrag van het slib, waarbij zich blijvend slibafzettingen kunnen voordoen op de bodem van het beluchtingscircuit. Dit laatste deed zich voor op de rwzi Dokkum.
2. Op onderbelaste installaties kan energie bespaard worden door het regelen van de slibbelasting op de waarde van de ontwerp-slibbelasting. Afhankelijk van de belasting van de rwzi zal hierbij tevens intermitterende beluchting toegepast moeten worden. Op de rwzi Houten leidde dit tot een energiebesparing van 25 kWh/i.e.jr.
In de praktijk kan het handhaven van een laag slibgehalte een beperking voor de toepassing zijn.
3. De regeling van de zuurstofinbreng op basis van de meting van de ammonia-concentratie is goed mogelijk. Vergeleken met de regeling op basis van de zuurstofconcentratie is sprake van een rustiger regelgedrag.
Dompeldiepteverstelling van de beluchter(s) is bij deze regeling niet noodzakelijk.
4. De uitkomsten van het onderzoek kunnen niet zonder meer vertaald worden in een feitelijk realiseerbare energiebesparing voor een specifieke onderbelaste rwzi. De energiebesparing is afhankelijk van de individuele kenmerken van de installatie.
5. De mate, waarin de bereikbare energiebesparing zal resulteren in een verlaging van de jaarlijkse lasten moet per installatie vastgesteld worden. Hierbij spelen de volgende factoren een rol:
 - de gevolgen van de gewijzigde bedrijfsvoering voor de surplus-slibaan groei en de kosten van slibverwerking en afzet;
 - de electriciteitstarieven;
 - verminderde slijtage en onderhoud van apparatuur.

B I J L A G E N

AFLEIDING VAN HET THEORETISCH ENERGIEVERBRUIK VOOR DE BELUCHTING

Volgens de theorie van Von den Emde wordt de zuurstofbehoefte van het actiefslib in een zuiveringsinrichting bepaald door de volgende bijdragen:

- a. de endogene ademhaling van het slib (O_e);
- b. verademing van substraat (O_s);
- c. nitrificatie (O_n);
- d. denitrificatie (O_d).

De totale zuurstofbehoefte per i.e. per jaar is gelijk aan:

$$O_t = O_e + O_s + O_n - O_d \quad [1]$$

- ad a. De endogene ademhaling voor ultra-laag belaste actief-slib-installaties bedraagt 0,06 kg O_2 /(kg.d.s.d.) bij 18°C. Per inwonerequivalent (i.e.) bedraagt de jaarlijkse zuurstofbehoefte van de endogene ademhaling:

$$O_e = 0,06 \cdot \frac{1}{B_T} \cdot 0,054 \cdot 365 \quad \text{kg } O_2/(\text{i.e. jr}) \quad [2]$$

waarin B_T : slibbelasting in kg BZV/kg.d.s.d.)

Een verdere afname van de slibbelasting leidt volgens bovenstaande formule tot een omgekeerd evenredige stijging van de specifieke zuurstofbehoefte van de endogene ademhaling.

- ad b. Voor de verademing van het aangeboden substraat wordt gerekend met een zuurstofbehoefte van 0,5 kg O_2 /kg verwijderd BZV. Per i.e. bedraagt de jaarlijkse zuurstofbehoefte hiervoor:

$$O_s = 0,5 \cdot 0,054 \cdot \eta_{BZV} \cdot 365 \quad \text{kg } O_2/(\text{i.e. jr}) \quad [3]$$

waarin: η_{BZV} : rendement BZV-verwijdering.

- ad c. Voor nitrificatie is 4,6 kg O_2 /kg genitrificeerde stikstof nodig. Per i.e. bedraagt de jaarlijkse zuurstofbehoefte voor nitrificatie:

$$O_n = 4,6 \cdot N_{ox} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \quad \text{kg } O_2/(\text{i.e. jr}) \quad [4]$$

waarin:

N_{ox} = aantal gram genitrificeerde stikstof per i.e.

- ad d. Door denitrificatie komt een hoeveelheid zuurstof beschikbaar, die equivalent is aan 2,9 kg O_2 /kg gedenitrificeerde stikstof. Per i.e. bedraagt de vermindering in de jaarlijkse zuurstofbehoefte ten gevolge van denitrificatie:

$$O_d = 2,9 \cdot N_D \cdot 10^{-3} \cdot 365 \quad \text{kg } O_2/(\text{i.e. jr}) \quad [5]$$

waarin:

N_D = aantal gram gedenitrificeerde stikstof per i.e.

In het effluent van ultra-laag belaste actief-slibinstallaties (ontwerpslibbelasting 0,054 kg BZV/(kg.d.s.d.)) worden lage BZV- en N(Kj)-gehalten aangetroffen. Het verband tussen de N(Kj)-respectievelijk BZV-concentratie in het effluent en de slibbelasting is weer gegeven in de figuren 15 en 16. Uit de gegevens blijkt, dat bij lagere slibbelastingen de effluentkwaliteit niet noemenswaard verbetert.

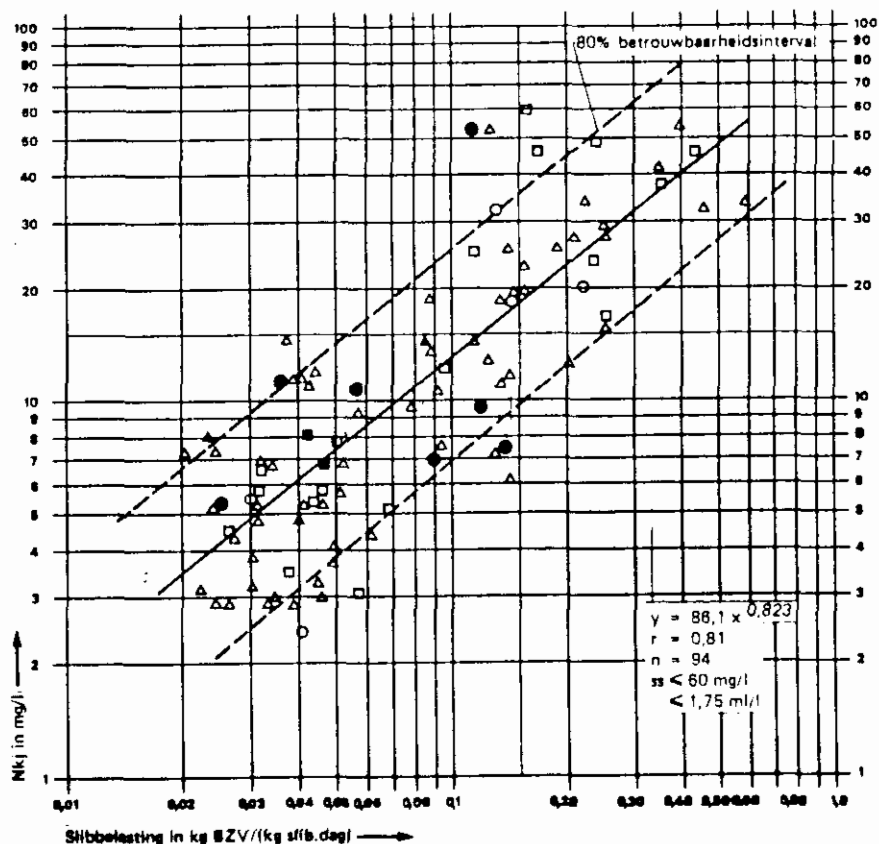


Fig. 15. De gemiddelde Kjeldahl -N- concentratie in het effluent van actief-slibinstallaties als functie van de slibbelasting*

Omdat de nitrificatiecapaciteit in oxydatiesloten niet beperkend is, zal een verschil in aangevoerde hoeveelheid N(Kj) duidelijk tot uitdrukking komen in een verschil in de zuurstofbehoefte en daarmee in de energievraag. De theoretische invloed van de aangevoerde hoeveelheid N(Kj) op de energievraag wordt weergegeven in figuur 17. Bij de berekening van de zuurstofbehoefte volgens vergelijking [1] zijn de volgende grondslagen gehanteerd:

- slibbelasting 0,054 kg BZV/(kg d.s.d.);
- N(Kj) -gehalte slurpslib 5%;
- volledige nitrificatie;
- denitrificatie 0%, 40% en 80%;

* bron: Statistische verwerking van effluentgegevens van Nederlandse afvalwaterzuiveringsinstallaties. DHV-rapport, oktober 1981.

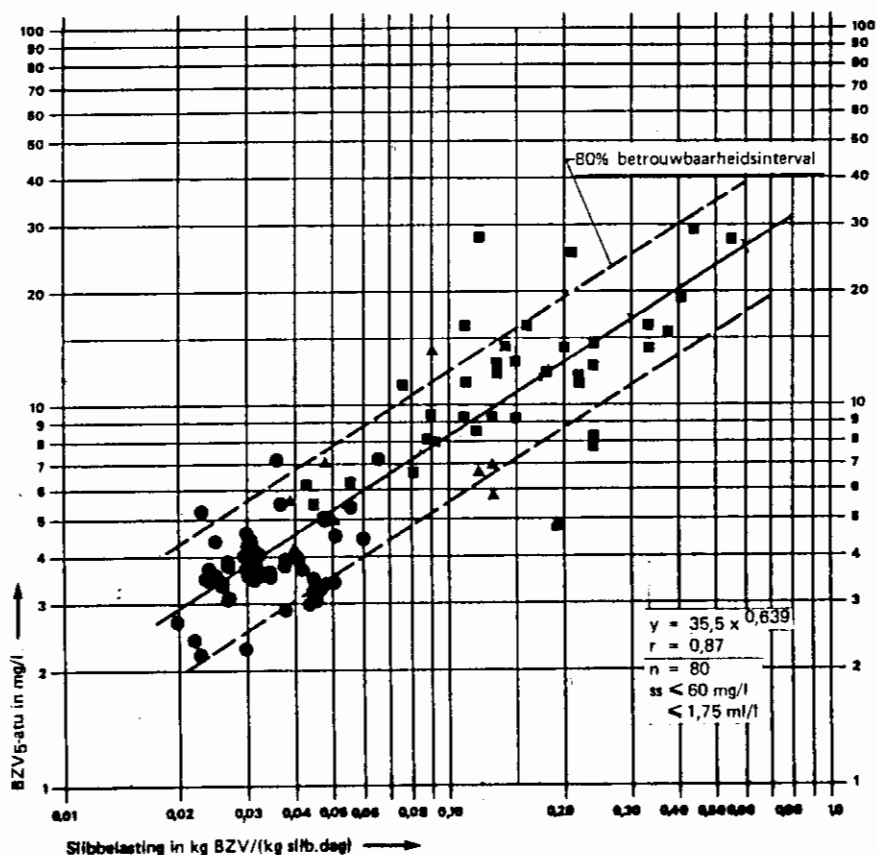


Fig. 16. De gemiddelde BZV-concentratie in het effluent van actiefslibinstallaties als functie van de slibbelasting*

Ter bepaling van de grootte van de energievraag voor de beluchting zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- rendement beluchter bij maximaal zuurstofdeficiet: 2 kg O₂/kWh;
- zuurstofconcentratie in de beluchttingszone in de bedrijfs-situatie: 2 mg O₂/l.

Het energieverbruik bij continu gebruik van het gebruikelijke geïnstalleerde vermogen van de beluchters bij volledige belasting van de ultra-laag belaste actief-slibinstallaties bedraagt 25 kWh/i.e.jr. Dit komt overeen met het theoretisch energieverbruik bij een aanvoer van 12 g N(Kj)/i.e. en 80% denitrificatie.

* bron: Statistische verwerking van effluentgegevens van Nederlandse afvalwaterzuiveringsinstallaties. DHV-rapport, oktober 1981.

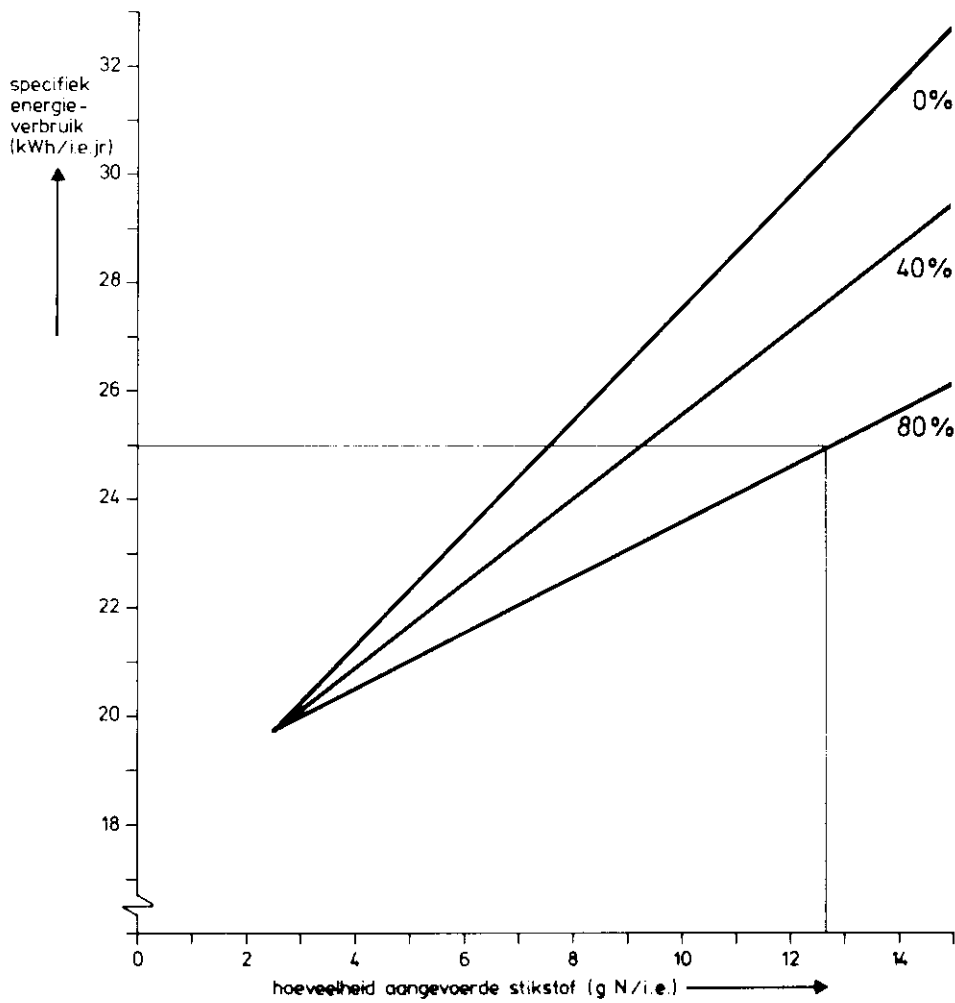


Fig. 17. De theoretische invloed van de aangevoerde hoeveelheid Kjeldahl-N op de energievraag bij verschillende percentages denitrificatie

DE RWZI'S UIT DE INVENTARISATIE

beheerder	installatie	ontwerp capaciteit i.e.	actuele belasting in 1981 i.e.	jaar van in- gebruikname	
Prov. Fries- land	Akkrum	12.000	2.520	1976	
	Birdaard	20.000	7.100	1979	
	Bolsward	45.000	16.460	1976	
	Damwoude	24.000	13.940	1975	
	Dokkum	40.000	16.890	1979	
	Gorredijk	20.000	11.510	1973	
	Heerenveen- Noord	35.000	20.290	1979	
	Joure	47.000	49.480	1976	
	Lemmer	20.000	15.210	1978	
	Sloten	16.500	9.080	1976	
	Sneek	40.000	25.940	1975	
	Wolvega	45.000	36.960	1973	
	Workum	17.000	15.250	1979	
	Zuiv.schap Limburg	Hoensbroek	200.000	127.000	1974
		Kerkrade	150.000*	48.310	1972
Maastricht- Heugem		50.000	30.520	1975	
Rimburg		75.000	25.820	1972	
Venlo		200.000	240.990		
Hoogheem- raadschap Rijnland	Bodegraven Hazerswoude (dorp)	40.000	47.130	1977	
		7.500	2.980		
	Nieuwveen	17.500	10.400	1975	
Technolo- gische Dienst Oost-Brabant	Hapert	45.000	37.030		
	Hilvarenbeek	75.000	26.790		
	St.Oedenrode	75.000	29.900		
Zuiv.schap Regge en Dinkel	Almelo				
	-Sumpel	115.000	90.890	1975	
	Den Ham	11.000	6.220	1977	
	Denekamp	10.000	14.410	1971	
	Enter	8.000	4.460	1975	
	Losser	25.000	34.630	1972	
	Nijverdal	97.000	75.040	1976	
	Ootmarsum	11.500	6.560	1974	
Rijssen	32.000	29.740	1975		

* slechts één straat van 75.000 in gebruik genomen

	rwzi Dokkum	rwzi Houten
ontwerpbelasting (i.e.)	40.000	30.000
max. hydraulische belasting (m ³ /h)	1.900	1.200
<u>zandvanger</u>		
oppervlaktebelasting (m ³ /m ² .h)	-	30
oppervlakte (m ²)	-	40
<u>beluchtingscircuit</u>		
volume (m ³)	10.000	7.500
aantal kanalen	4	4
kanaalbreedte (m)	8,8	6
kanaaldiepte (m)	3,2	3,2
diepte beluchttingszone	4,0	4,0
vorm beluchttingszone	rond	rond
aantal beluchters	2	2
type beluchters	Hubert	Spaans-b
beluchttingsdiameter (m)	3,0	2,75
toerental beluchter (o.p.m.)	31,7	32
contacttank	nee	ja
<u>nabezinktank</u>		
oppervlaktebelasting (m ³ /m ² .h)	1,0	0,75
oppervlakte (m ²)	1900	1600

Tabel 9. Ontwerpgegevens rwzi Dokkum en rwzi Houten

parameter	rwzi Dokkum			rwzi Houten		
	influent	effluent	rende- ment	influent	effluent	rende- ment
CZV (mg/l)	509	77	85,0	447	22	95,1
BZV (mg/l)	168	3,9	97,7	91	1,6	98,2
Kj-N (mg/l)	46	5,8	87,4	32	2,0	93,7
N-tot. (mg/l)	46	16,0	65,3	32	5,6	82,5
i.e.	20356	470	97,7	6774	121	98,2
debiet (m ³ /d)		6555			4015	
slibgehalte (kg/m ³)		4,2			5,6	
slibbelasting (kg BZV/kg d.s.d.)		0,034			0,009	
specifiek energie- verbruik (kWh/i.e.jr)		29,4			52,1	

Tabel 10. Samenvatting bedrijfsresultaten referentieperiode van de rwzi's Dokkum en Houten (Dokkum 1983, Houten 1984)

BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEKPROGRAMMA

1 Vooronderzoek slibbezinking en intermitterende beluchting

Dit vooronderzoek vond plaats om het regelbereik van de beluchters bij continue beluchting vast te leggen en inzicht te verkrijgen in het bedrijven van intermitterende beluchting.

De ondergrens van het regelbereik van de beluchters wordt bepaald door de kritische snelheid. Onder kritische snelheid wordt die stroomsnelheid verstaan, waarbij nog juist geen slibbezinking optreedt. Deze wordt als volgt bepaald.

De stroomsnelheid in het circuit in de maximale bedrijfssituatie - alle beluchters in bedrijf bij maximale dompeldiepte - wordt sprongsgewijs verminderd door verkleining van de dompeldiepte. Op het moment dat in een bepaalde bedrijfssituatie de slibconcentratie in de tijd significant verandert is de kritische snelheid onderschreden. Voor een betrouwbaar resultaat wordt de meting tenminste éénmaal herhaald.

Alvorens met de uitvoering van de metingen werd begonnen, zijn de beluchters gedurende een week continu bij maximaal vermogen bedreven.

Hierdoor werd het reeds aanwezige bodemslib voor een belangrijk deel weer in suspensie gebracht. Voor het meten van de stroomsnelheid die minimaal benodigd is om het slib in suspensie te houden is vervolgens het meetprogramma, zoals weergegeven in tabel 11, voor de rwzi Dokkum en in tabel 12 voor de rwzi Houten, uitgevoerd.

meting nr.	aantal beluchters in bedrijf	dompeldiepte in % van het maximaal bereik
1	2	100%
2	2	80%
3	2	60%
4	2	40%
5	2	30%
6	2	20%
7	2	0%
8	1	100%

Tabel 11. Meetprogramma rwzi Dokkum onderzoek snelheid-slibbezinking

Bij het intermitterend beluchten worden één of meer beluchters afwisselend gedurende enige tijd in- en uitgeschakeld. In de periode dat de beluchters zijn uitgeschakeld zal het slib bezinken. Na het inschakelen van de beluchters zal, bij voldoende stroomsnelheid, het bezonken slib weer in suspensie worden gebracht. Op deze manier is het in principe mogelijk om in de periode met lage belasting aanzienlijke energiebesparingen te verkrijgen.

meting nr.	aantal beluchters in bedrijf	dompeldiepte in % van het maximaal bereik
3	2	100%
4	2	50%
5	2	30%
6	1	100%
7	1	75%
8	1	100%
9	1	75%
10	1	35%

Tabel 12. Meetprogramma rwzi Houten onderzoek stroomsnelheid-slibbezinking

Het is echter onbekend hoe hoog de stroomsnelheid moet zijn en hoe lang deze moet worden gehandhaafd om het bezonken slib weer in suspensie te brengen. Een eventuele relatie tussen deze snelheid en de schakelfrequentie van de beluchter is eveneens onbekend.

Het volgende meetprogramma is uitgevoerd:

- de slibconcentratie is op verschillende plaatsen en diepten gemeten bij maximale dompeldiepte en alle beluchters in bedrijf;
- vervolgens zijn alle beluchters gedurende enige tijd ("wachtijd") uitgeschakeld;
- nadat alle beluchters bij max. dompeldiepte weer zijn ingeschakeld zijn de dompeldiepte, het vermogen, de gemiddelde stroomsnelheid en de slibconcentratie gemeten;
- de meting is beëindigd, nadat gedurende 1 uur geen significante wijziging in de slibconcentratie meer wordt waargenomen;
- indien de laatstgemeten slibconcentratie lager blijkt te zijn dan aan het begin van de proef, dan wordt de gehele meting bij dezelfde gekozen dompeldiepte tenminste éénmaal herhaald.

Dit meetprogramma is uitgevoerd voor verschillende wachttijden.

Voor het bepalen van de invloed van de loop- en wachttijd bij intermitterend beluchten op het slibgehalte in het circuit zijn achtereenvolgens de metingen verricht, zoals weergegeven in tabel 13, voor de rwzi Dokkum en in tabel 14 voor de rwzi Houten.

De volgende parameters zijn tijdens het onderzoek gemeten:

- a. het door de beluchters opgenomen vermogen;
- b. de stroomsnelheid in de carrousel;
- c. het slibgehalte in de carrousel;
- d. de laagdikte van het bodemslib.

meting nr.	wachttijd (uur)	looptijd (2 bel bij dompeldiepte 100%) (uur)
9 A, B	1	2
10 A, B	1	14
11 A, B	2	2,5
12 A, B	3	4
13 A, B	2	19
14 A, B	3	68

Tabel 13. Meetprogramma rwzi Dokkum intermitterend beluchten

meting nr.	wachttijd in uren	looptijd in uren	beluchters in bedrijf aantal	dompeldiepte
11	2	2	2	100%
12	1	2	2	100%
13	1	2	2	100%
14	1.5	1.5	2	100%
15	1	1	2	100%
16	2	1	2	100%
17	3	1	2	100%
18	1	2	2	30%
19	2	1	2	30%
20	1	2	1	100%

Tabel 14. Meetprogramma rwzi Houten intermitterend beluchten

Ad a. Vermogensmeting

Het door de beluchters opgenomen vermogen is op de rwzi Dokkum bepaald met behulp van een Norma vermogensmeetkoffer (4109 6D 1 D/E) en op de rwzi Houten met behulp van een Hioki vermogensmeetkoffer (model 3163).

De meetkoffer was aangesloten op de klemmen in de schakelkast in het bedrijfsgebouw. Aan de meetkoffer was een recorder verbonden, waarmee het vermogen werd geregistreerd. Tevens is het vermogen gemeten met behulp van de in de schakelkast aanwezige kWh-meter.

Ad b. De stroomsnelheidsmeting

De metingen van de stroomsnelheid zijn uitgevoerd met behulp van een OTT-molen type C-31. serie nr. 1-68820, schoepdiameter 125 mm. De metingen zijn uitgevoerd in een dwarsprofiel in het aanstromende kanaal van een beluchter. Het dwarsprofiel is verdeeld gedacht in 12 gelijke oppervlakken.

In het zwaartepunt van elk vlak is de gemiddelde stroomsnelheid over een periode van 60 seconden bepaald.

Op basis van de twaalf waarnemingen is het debiet door het dwarsprofiel bepaald.

Voor de gemiddelde stroomsnelheid in het dwarsprofiel is het quotiënt aangehouden van het debiet en de natte oppervlakte verminderd met het oppervlak van slibafzettingen in het dwarsprofiel op de bodem van de carrousel.

Ad c. De slibconcentratiemeting

De slibconcentratie is bij het onderzoek op de rwzi Dokkum op twee manieren gemeten:

- door het bemonsteren van de vloeistof in de bovenste 50 cm van de beluchttingszone van de carrousel en de bepaling van de droogrest van deze monsters;
- met behulp van een slibconcentratiemeter merk Eurcontrol type MEX-2, meetsonde 30-15. Meting vond plaats in dezelfde punten, waar ook de stroomsnelheid gemeten werd. Het instrument bestaat uit een lichtbron en een foto-elektrische cel. Vergelijking van de hoeveelheid uitgezonden en ontvangen licht geeft een maat voor de concentratie van het slib dat zich tussen de lichtbron en de foto-elektrische cel bevindt. Deze methode gaf geen betrouwbare resultaten.

Voor de bepaling van het slibgehalte op de rwzi Houten zijn monsters genomen in twee dwarsprofielen:

- in het aanstromende kanaal van beluchter II bij de vaste meetbrug (zie fig. 19);
- in de beluchttingszone aan de afstromende kant van beluchter II.

Per dwarsprofiel zijn 6 monsters genomen

- 3 op een diepte van 0,50 m onder het wateroppervlak;
- 3 op een diepte van 0,50 m boven de bodem.

Voor het nemen van de monsters is gebruik gemaakt van een laboratoriumpompje.

Van elk van de monsters is de droogrest bepaald volgens normblad NEN 3235-4.2.

Ad d. De laagdikte van het bodemslib

Tijdens de snelheidsmetingen is de dikte van de sliblaag op de bodem van de carrousel ter plaatse van de meetraai gemeten. Onder bodemslib wordt in dit verband verstaan het gebied boven de bodem van de carrousel waar geen meetbare waarde voor de stroomsnelheid gevonden wordt.

2 Onderzoek energiebesparing intermitterende beluchting

Op grond van de gegevens uit het vooronderzoek is een programma voor de regeling van de beluchting opgesteld. De zuivering is gedurende een periode met deze regeling bedreven, waarbij bijstelling van het beluchttingsprogramma op grond van de concentraties Kjeldahl-N en $\text{NO}_3\text{-N}$ in het effluent heeft plaatsgevonden.

In dit onderdeel zijn de volgende parameters gemeten.
dagelijks : debiet influent, energieverbruik beluchters
3x/week : influent: BZV, CZV en N(Kj)
 effluent: BZV, CZV, N(Kj), N-NO₃ en N-NO₂
 beluchtingscircuit: droogrest
min. 1x/week: slib: gloeirest, slibindex.

3 Onderzoek regeling slibbelasting

Hierbij wordt bepaald welke energiebesparing kan worden verkregen door een zuivering zo goed mogelijk op de ontwerp-slibbelasting te bedrijven.

Omdat de zuiveringsinrichtingen die in dit project betrokken zijn, onderbelast zijn, betekent dit een verlaging van het slibgehalte in het beluchtingscircuit beneden het ontwerp-slibgehalte van 4 kg/m³ tot minimaal 2 kg/m³.

Tijdens de meetperiode is de beluchting gestuurd op O₂-gehalte. Bij het optreden van slibbezinking is intermitterend belucht (bij positieve resultaten van §2).

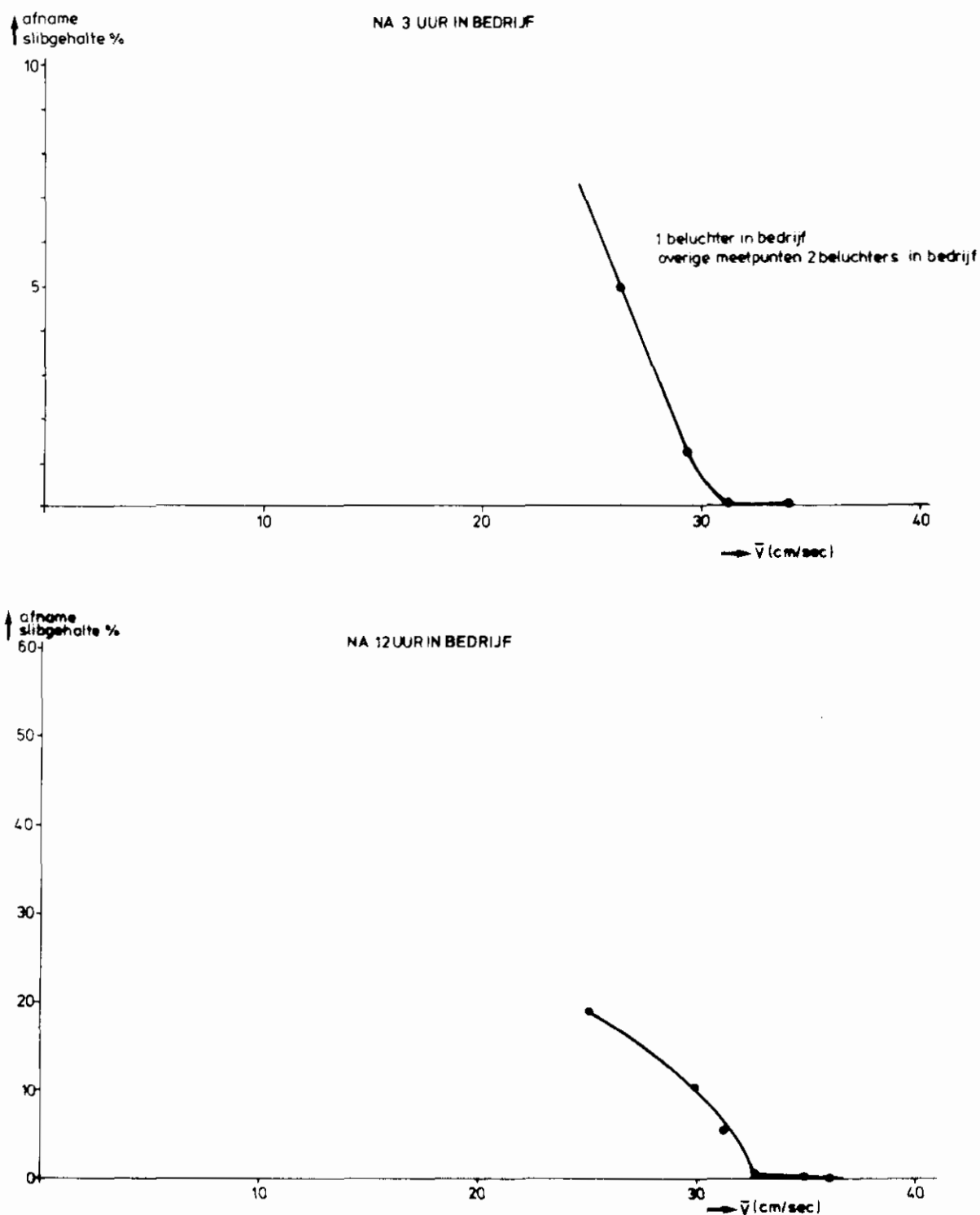
In dit onderdeel zijn dezelfde parameters als in §2 vastgelegd.

4 Onderzoek optimalisatie nitrificatie-denitrificatie

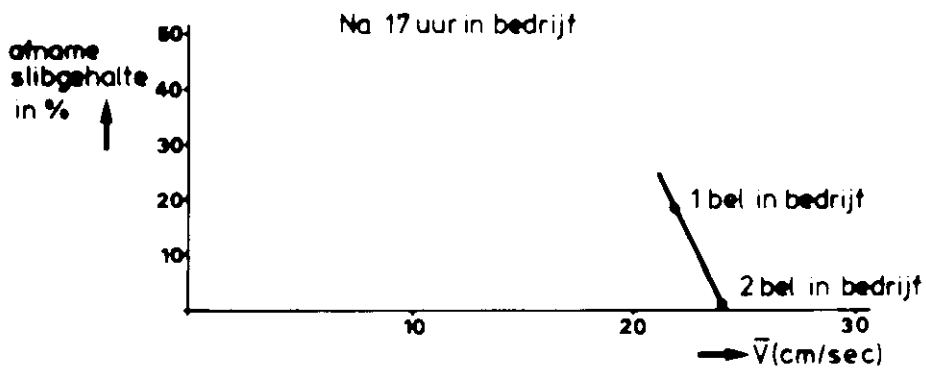
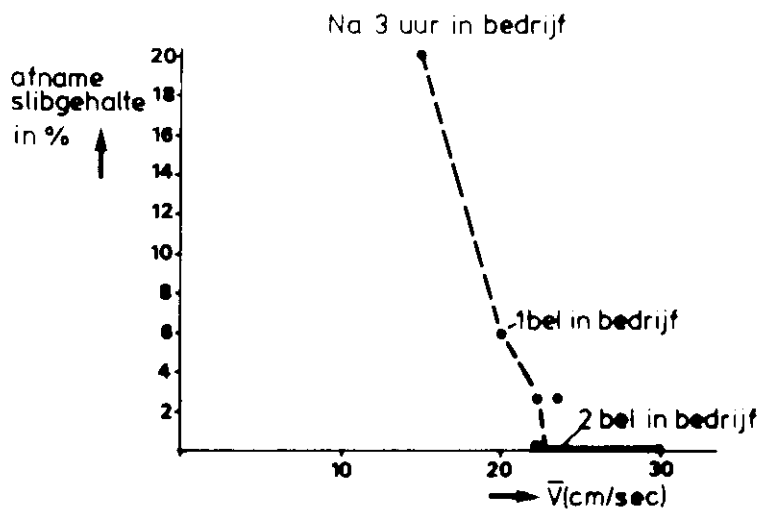
Hierbij is de continue automatische bepaling van het ammonia-gehalte in het effluent bestudeerd als regelbaarheid voor de beluchtingscapaciteit. Daarnaast zijn de verschillen in energieverbruik en schakelfrequentie bekeken tussen deze regeling en die op basis van het zuurstofgehalte in het beluchtingscircuit. Dezelfde parameters als in §2 zijn daarbij vastgelegd.



RESULTATEN METINGEN ONDERZOEK SNELHEIDSSLIBBEZINKING EN DYNAMIEK INTERMITTEREND BELUCHTEN



Figuur 20. Afname slibgehalte in beluchtingscircuit (in % van uitgangconcentratie) als functie van de gemiddelde stroomsnelheid (rwzi Dokkum)



Figuur 21. Afname slibgehalte in beluchtingscircuit (in % van uitgangskonzentratie) als functie van de gemiddelde stroomsnelheid (rwzi Houten)

BEDRIJFSRESULTATEN MEETPERIODE INTERMITTEREND BELUCHTEN

INTERMITTERENDE BELUCHTING RWZI DOKKUM

Datum	84-08-27	84-08-28	84-08-29	84-08-30	84-09-03	84-09-04	84-09-05	84-09-06
INFLUENT								
debiet (m ³ /d)	5240	4920	4810	5010	6510	11440	10200	4980
CZV (mg/l)	490	475	635	605	1510	1510	640	480
BZV (mg/l)	190	180	250	265	520	530	250	170
N(Kj) (mg/l)	48	46	50	66	65	57	34	40
i.e. (a 54 g BZV)	18437	16400	22269	24586	62689	112281	47222	15678
v.e. (rijksformule)	20650	18729	23075	25234	65355	112524	45072	18337
EFFLUENT								
CZV (mg/l)	109	108	106	144	98	122	108	89
BZV-atu (mg/l)	11	7	3	8	9	15	11	9
N(Kj) (mg/l)	5.4	6.7	8.4	11	16	19	18	16
N.NO ₂ +N.NO ₃ (mg/l)	9.6	6.6	4.2	2.5	0.5	0.7	0.2	0.2
i.e. (a 54 g BZV)	1067	638	267	742	1085	3178	2078	830
v.e. (rijksformule)	3892	3789	3858	5407	6189	13272	10781	4485
BEL. CIRCUIT								
droogrest (g/l)	2.9	2.5	2.4	2.3	3.3	3.4	3.8	3.8
gloeirest (Zds)	37.2	37.3	37	37.4	36.5	37	36.8	37.1
slibindex (ml/g)	65	72	70	75	60	65	62	62
ENERGIEVERBR.								
beluchters (kWh)	1413	1284	1287	1284	1299	1317	1311	1293

INTERMITTERENDE BELUCHTING RWZI HOUTEN

	85-05-06	85-05-07	85-05-09	85-05-13	85-05-14	85-05-16	85-05-20	85-05-21	85-05-23
Datum									
INFLUENT									
debiet (m ³ /d)	2490	2310	3310	8580	10810	2230	5390	8060	1510
CZV (mg/l)	900	560	NA	1270	2010	835	1510	1020	1340
BZV (mg/l)	230	195	NA	255	460	285	325	260	295
NIKj (mg/l)	78	62	NA	86	157	85	115	78	110
i.e. (a 54 g BZV)	10606	8342	NA	40517	92085	11769	32440	38807	8249
v.e. (rijksformule)	17381	10823	NA	79271	163801	15157	60953	61635	15458
EFFLUENT									
CZV (mg/l)	39	44	53	56	58	36	39	42	43
BZV-atu (mg/l)	1	1.3	2	10.5	13	7.4	5.8	5.2	4.8
NIKj (mg/l)	2.5	2.7	10.5	19	14	11	17	13	9.8
N.NO2+N.NO3 (mg/l)	2.9	1.9	0.2	0.4	0.4	0.8	0.45	0.3	1.9
i.e. (a 54 g BZV)	46	56	123	1668	2602	306	579	776	134
v.e. (rijksformule)	698	723	1857	6808	7326	1069	3494	4541	736
BEL. CIRCUIT									
droogrest (g/l)	4	3.9	4.1	4.1	4.5	4.3	5.5	5.3	5.6
gloeirest (zds)	37	38	36	41	39	35	37	37	38
slibindex (ml/g)	135	127	107	95	89	88	87	75	93
ENERGIEVERBR.									
beluchters (kWh)	931	690	688	807	566	669	964	938	1566
beluchtingsschema	fig.1	fig. 2	fig. 2	fig. 3	fig. 3	fig. 4	fig. 4	fig. 4	fig. 5
endogene ademhaling (kg O2/kg d.s.d)		0.072			0.082			0.072	

INTERMITTERENDE BELUCHTING RWZI HOUTEN

Datum	85-05-27	85-05-28	85-05-30	85-06-03	85-06-04	85-06-06	85-06-10	85-06-11	85-06-13
INFLUENT									
debiet (m ³ /d)	2260	2060	2910	2820	5010	2760	4630	7410	5070
CZV (mg/l)	880	850	1075	790	865	410	220	315	315
BZV (mg/l)	265	285	195	180	180	145	73	100	115
N(Kj) (mg/l)	80	75	72	57	61	33	21	36	32
i.e. (a 54 g BZV)	11091	10872	10508	9400	16700	7411	6259	13722	10797
v.e. (rijksformule)	15639	13650	22699	16458	31835	8599	8127	19740	12992
EFFLUENT									
CZV (mg/l)	48	37	32	34	46	38	23	26	29
BZV-atu (mg/l)	2.4	4.8	2	2.8	3.9	2.3	2	2.3	2.5
N(Kj) (mg/l)	4.2	1.9	2.5	1.5	3.5	3.1	1.5	2.2	5.3
N.NO ₂ +N.NO ₃ (mg/l)	0.2	0.9	0.7	2.1	0.8	0.4	1	0.9	1.2
i.e. (a 54 g BZV)	100	183	108	146	362	118	171	316	235
v.e. (rijksformule)	844	523	702	640	1726	800	768	1484	1499
BEL. CIRCUIT									
droogrest (g/l)	5.3	4.5		4.5	4.5	4.6	4.5	4.1	4.9
gloeirest (%ds)		40		41	42	41	43	44	
slibindex (ml/g)	75	87		87			87	98	88
ENERGIEVERBR.									
beluchters (kWh)	1381	1264	1386	1033	1046	1078	969	990	1026
beluchtingsschema	fig. 5	fig. 5	fig. 5	fig. 6	fig. 6	fig. 7	fig. 7	fig. 7	fig. 7
endogene ademhaling (kg O ₂ /kg d.s.d)		0.065			0.06			0.058	

INTERMITTERENDE BELUCHTING RWZI HOUTEN

Datum	85-06-17	85-06-18	85-06-20
INFLUENT			
debiet (m ³ /d)	2810	2560	5020
CZV (mg/l)	800	820	185
BZV (mg/l)	200	220	90
N(Kj) (mg/l)	58	60	20
i.e. (a 54 g BZV)	10407	10430	8367
v.e. (rijksformule)	16627	15562	7708
EFFLUENT			
CZV (mg/l)	21	34	55
BZV-atu (mg/l)	2.5	2.8	3.1
N(Kj) (mg/l)	1.8	2.8	6.1
N.NO ₂ +N.NO ₃ (mg/l)	1.2	1.2	0.5
i.e. (a 54 g BZV)	130	133	288
v.e. (rijksformule)	456	666	2311
BEL. CIRCUIT			
droogrest (g/l)		4.9	4.8
gloeirest (%ds)		42	44
slibindex (ml/g)		90	90
ENERGIEVERBR.			
beluchters (kWh)	998	974	793
beluchtingschema	fig. 7	fig. 7	fig. 7
endogene ademhaling (kg O ₂ /kg d.s.d)	0.055		

BEDRIJFSRESULTATEN MEETPERIODE MET REGELING VAN DE SLIBBELASTING

RWZI DOKKUM

	84-10-08	84-10-09	84-10-10	84-10-11	84-10-15	84-10-16	84-10-22	84-10-23	84-10-24	84-10-25
INFLUENT										
debiet (m ³ /d)	11520	10470	7060	7660	5860	5440	25520	12460	17937	13148
CZV (mg/l)	445	250	320	510	425	455	225	400	270	315
BZV (mg/l)	105	85	110	200	145	160	59	110	73	66
N(Kj) (mg/l)	29	23	34	40	42	51	17	33	25	26
i.e. (a 54 g BZV)	22400	16481	14381	28370	15735	16119	27883	25381	24248	16070
v.e. (rijksformule)	36962	20656	18645	29482	20085	20795	42915	38128	38291	31688
EFFLUENT										
CZV (mg/l)	57	53	58	67	89	89	48	39	55	37
BZV-atu (mg/l)	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
N(Kj) (mg/l)	2.3	2.7	2.9	3.3	4.3	7.2	6.7	2.6	3.8	3.2
N.ND2+N.ND3 (mg/l)	10.2	10.2	11.4	15.1	15.1	9.5	4.9	5.2	6.2	4.2
i.e. (a 54 g BZV)	213	194	131	284	217	201	945	231	332	243
v.e. (rijksformule)	4321	3801	2795	3493	3537	3684	11146	3522	7211	3771
BEL. CIRCUIT										
droogrest (g/l)	2.7	2.4	1.8	2.1	2.2	1.6	2.7	3.3	3.4	2.6
glourest (zds)	44.4	43.2	41.4	41.9	41.7	41.5	40.4	42.1	44.3	43
slibindex (ml/g)	57	48	53	59	54	60	60	54	60	62
ENERGIEVERBR.										
beluchters (kWh)	1668	1548	1524	1845	1551	1341	1707	2169	1542	1350

ONDERZOEK REGELING SLIBBELASTING RWZI HOUTEN

Datum	85-07-15	85-07-16	85-07-18	85-07-22	85-07-23	85-07-25	85-07-29	85-07-30
INFLUENT								
Debiet (m ³ /d)	3730	2700	5420	5630	2050	1790	9870	10400
CZV (mg/l)	340	400	540	370	580	610	390	130
BZV-atu (mg/l)	145	130	110	165	260	250	175	60
N(Kj) (mg/l)	47.1	39.8	47	43	54	70	15	19
i.e. (a 54 g BZV)	10131	6333	10706	17377	9870	8398	31681	11684
v.e. (rijksformule)	11506	8728	22728	17719	9416	9247	25144	12528
EFFLUENT								
CZV (mg/l)	30	30	50	40	30	70	10	20
BZV-atu (mg/l)	1	1	7	4	3	3	3	2
N(Kj) (mg/l)	3.7	4.5	9.7	11	13	9.5	6.7	5
N.NO ₂ +N.NO ₃ (mg/l)	47.0	29.1	8.4	3.3	4.1	7.3	5.7	4.5
i.e. (a 54 g BZV)	69	50	703	417	114	99	548	385
v.e. (rijksformule)	972	758	2840	2823	1018	1128	2227	2476
BEL. CIRCUIT								
droogrest (g/l)	2.1	2.1	2.8	3.2	3.5	2.7	2.9	2.4
gloeirest (%ds)	38.2	41.3	39.3	40.7	38.2	57.7	45.2	44.5
slibindex (ml/g)	85	96	97	105	87	147	104	109
ENERGIEVERBR.								
beluchters (kWh)	711	645	737	750	778	856	907	842
beluchtingsschema	fig. 8	fig. 8		fig. 9		fig. 10		
endogene ademhaling (kg O ₂ /kg d.s.d)	0.031			0.044			0.043	

ONDERZOEK REBELING SLIBBELASTING RWZI HOUTEN

Datum	85-08-01	85-08-05	85-08-06	85-08-08	85-08-12	85-08-13	85-08-15	85-08-19
INFLUENT								
Debiet (m3/d)	3640	3810	2040	2850	2300	2050	6470	8070
CZV (mg/l)	420	390	450	660	610	650	190	280
BZV-atu (mg/l)	160	130	170	200	245	260	115	140
N(Kj) (mg/l)	43	31	55	57	63	64	25	21
i.e. (a 54 g BZV)	10785	9172	6422	10556	10435	9870	13779	20922
v.e. (rijksformule)	12467	11254	7949	14574	11473	10734	10936	16856
EFFLUENT								
CZV (mg/l)	30	40	20	30	19	24	60	11
BZV-atu (mg/l)	2	1	2	2	2	4	8	2
N(Kj) (mg/l)	6.9	8.9	7.4	7.8	2.5	2.6	4.3	0.4
N.NO2+N.NO3 (mg/l)	4.2	8.0	0.5	12.7	2.4	1.8	0.8	2.2
i.e. (a 54 g BZV)	135	71	76	106	85	152	959	299
v.e. (rijksformule)	1244	1708	610	1039	389	409	2863	575
BEL. CIRCUIT								
droogrest (g/l)	2.7	3.1	3	4.1	4.2	4	4.3	3.6
gloeirest (Zds)	45.8	43.9	43.8	43	43	46	46	42
slibindex (ml/g)	88	97	77	90	76	83	74	72
ENERGIEVERBR.								
beluchters (kWh)	870	841	836	1003	969	1047	1044	834
beluchtingsschema			fig.10		fig.11	fig. 11		fig.12
endogene ademhaling (kg O2/kg d.s.d)		0.048			0.04			0.032

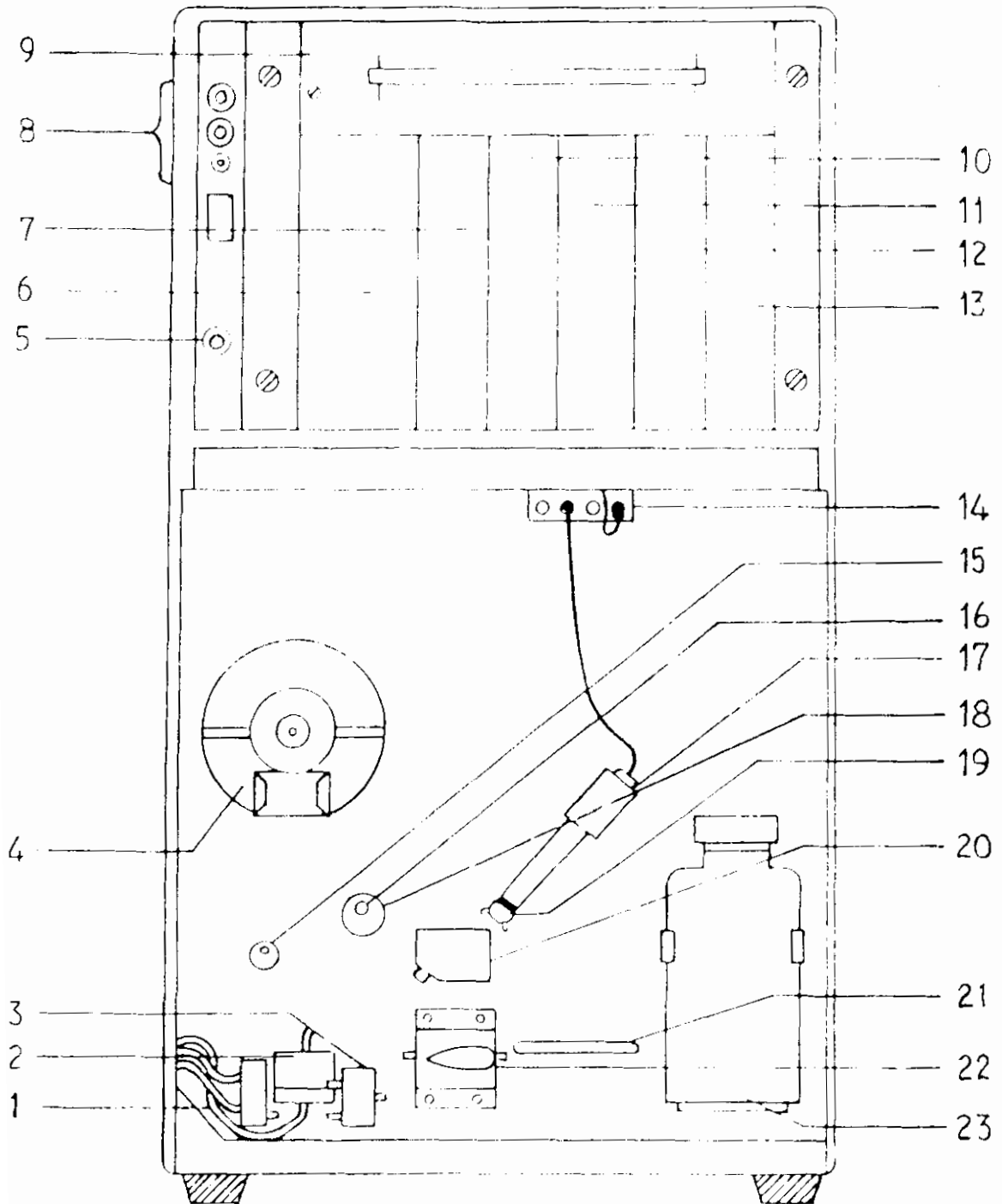
ONDERZOEK REGELING SLIBBELASTING RWZI HOUTEN

Datum	85-08-20	85-08-22	85-08-26	85-08-27	85-08-29	85-09-02	85-09-03	85-09-04
INFLUENT								
Debiet (m ³ /d)	4050	4970	4600	2420	3490	3080	10260	5110
CZV (mg/l)	310	210	575	520	470	480	120	300
BZV-atu (mg/l)	170	110	155	190	148	150	51	110
N(Kj) (mg/l)	40	31	41	50	53	66	46	24
i.e. (a 54 g BZV)	12750	10124	13204	8515	9565	8556	9690	10409
v.e. (rijksformule)	11088	9710	19483	10063	13809	13374	18823	11630
EFFLUENT								
CZV (mg/l)	15	24	32	26	28	35	29	23
BZV-atu (mg/l)	3	3	3.1	1.4	2	2.1	2	1.2
N(Kj) (mg/l)	3	7.1	8.4	7	6.9	8.9	3.7	4.5
N.NO2+N.NO3 (mg/l)	1.8	1.3	1.5	1.7	0.6	0.9	0.7	1.3
i.e. (a 54 g BZV)	225	276	264	63	129	120	380	114
v.e. (rijksformule)	646	1559	1799	780	1154	1295	2617	1237
BEL. CIRCUIT								
droogrest (g/l)	3.8	4.4	4	4.3	4.1	4	4	4
gloeirest (Zds)		43	45	47	48	44	39	50
slibindex (ml/g)	74	68	75	70	78	80	80	80
ENERGIEVERBR.								
beluchters (kWh)	928	897	902	940	936	1051	986	977
beluchtingsschema				fig. 12		fig.12	fig.12	fig.12
endogene ademhaling (kg O ₂ /kg d.s.d)			0.043					

BEDRIJFSRESULTATEN VAN DE BEWELING MET DE AUTOMATIE-MONITOR

Datum	85-10-02	85-10-03	85-10-07	85-10-08	85-10-10	85-10-14	85-10-15	85-10-17	85-10-21	85-10-22	85-10-24
INFLUENT											
debiet (m ³ /d)	2230	2450	7560	6590	2100	2260	2140	2190	2420	2100	2220
CZV (mg/l)	585	610	415	200	520	475	645	635	705	815	595
BZV (mg/l)	170	190	125	70	180	140	200	190	220	230	155
N(K) (mg/l)	71	68	32	21	53	70	66	67	71	72	75
i.e. (a 54 g BZV)	7020	8620	17500	8540	7000	5850	7926	7706	9859	8944	6353
v.e. (rijksformule)	11267	12533	23572	10836	8892	9980	11254	11451	13841	13347	11753
EFFLUENT											
CZV (mg/l)	33	38	43	31	30	31	32	37	40	39	37
BZV-atu (mg/l)	2.8	2.6	3	3	2	2	2.3	2	5	4	3
N(K) (mg/l)	2.2	2.2	4.6	2.9	2.1	2.9	6.2	2.4	7.7	6.9	5.1
N.ND2+N.NO3 (mg/l)	2	1.6	2.1	3.2	0.9	1.4	1	1.4	1.5	1.2	1.2
i.e. (a 54 g BZV)	116	118	420	366	78	84	91	81	224	156	151
v.e. (rijksformule)	533	654	2689	1620	462	556	717	584	1011	823	621
BEL. CIRCUIT											
droogrest (g/l)	2.8	3.1	3.4	2.8	3	3.1	3.8	2.8	3.6	3.8	3.8
gloeirest (kds)	45	38	33	34	35	40	37	39	42	38	37
slibindex (ml/g)	129	116	118	121	120	129	131	143	144	153	147
ENERGIEVERBR.											
beluchters (kWh)	744	1100	1028	1081	715	723	995	758	1024	1080	751
endogene ademhaling (kg O2/kg d.s.d)	0.07			0.067			0.067			0.067	

BESCHRIJVING AMMONIA MONITOR



MODEL 8022 AMMONIA MONITOR

FRONT VIEW

1. Solenoid valve (energises to admit emergency sample when normal sample is lost in header tank)
2. Inlet sensor block (containing thermistor to sense loss of reagent supply to monitor)
3. Solenoid valve (energises during standardisation to admit primary calibration solution to monitor)
4. Peristaltic pump
5. SUPPLY ON lamp (illuminates when power is connected to the monitor)
6. 8020 100 Amplifier
7. 8024 200 Current output module
8. SERVICE lamp(red) and ON-LINE lamp(green) with push-button (optional feature)
9. Linear motor readout (digital display optional alternative)
10. 8060 300 Compensation module
11. 8060 400 Alarm and temperature control module
12. 8020 500 Power Supply
13. 8020 600 Function module
14. Electrodes connection point (junction box)
15. Second mixing coil
16. Solution earth connection
17. Ammonia probe
18. First mixing coil
19. Flow-through cap
20. Drain block
21. Heat exchanger (fixed to rear of panel)
22. SAMPLE/CALIBRATE manual changeover valve (connects secondary calibration to the monitor)
23. Secondary calibration solution bottle