

GEAVANCEERDE VOORZUIVERING VAN AFVALWATER



RAPPORT

2006
13

PRAKTIJKTOEPASSING OP DE RWZI AMSTELVEEN
GEAVANCEERDE VOORZUIVERING VAN AFVALWATER

RAPPORT

2006

13

ISBN 90.5773.346.3



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 00 FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

UITGAVE STOWA, UTRECHT 2006

AUTEUR dr.ir. A.F. van Nieuwenhuijzen (Witteveen+Bos)

MET BIJDRAGEN VAN

dr.ir. A.R. Mels (Lettinga Associates Foundation –LeAF)
ing. C.E. Brandt (Waternet, voorheen Dienst Waterbeheer en Riolering)
ir. P. Piekema (Waternet, voorheen Dienst Waterbeheer en Riolering)
drs.ir. E.C. Ottenhoff (Witteveen+Bos)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

ir. A. de Man (voorzitter, Waterschapsbedrijf Limburg)
ing. A.H.M. Sengers (Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard)
ing. J. Grovenstein (Hoogheemraadschap van Rijnland)
ing. O.B. Kluiving (Waterschap Hunze en Aa's)
dr.ir. A. Klapwijk (Wageningen Universiteit - Milieutechnologie)
ir. C.A. Uijterlinde (STOWA)

VOORKANT Luchtfoto van de rwzi Amstelveen (foto: Waternet)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2006-13
ISBN 90.5773.346.3

TEN GELEIDE

Waterbeheerders streven naar optimalisatie van afvalwatersystemen. Verbetering van de effluentkwaliteit tegen lagere kosten en met zo min mogelijk hulpmiddelen is het nagestreefde doel. Met dit oogpunt heeft de STOWA de afgelopen jaren uitgebreid onderzoek laten uitvoeren naar de mogelijkheden van vergaande fysische, chemische en fysisch-chemische zuiveringstechnieken. In de onderzoeken zijn de resultaten beschreven van theoretische beschouwingen, gecombineerd met laboratorium- en pilot-plantonderzoek en praktijktesten op diverse rwzis in Nederland. De resultaten van het onderzoek bieden zicht op een sterk verhoogd effect van de voorbehandeling, waardoor het rendement van de biologische zuiveringsstap kan worden verbeterd. Geavanceerde voorzuivering middels PE-dosering op de voorbezinktank kan zodoende bijdragen aan een betere effluentkwaliteit zonder groot-schalige en dure uitbreidingsmaatregelen.

In het vervolg op voornoemde onderzoeken heeft de STOWA besloten om de haalbaarheid van geavanceerde voorzuivering op een praktijkinstallatie te laten toetsen. Dit rapport beschrijft een tweejarig proefonderzoek met geavanceerde voorzuivering (met PE) en chemische ondersteunde voorzuivering (met metaalzout) op de rwzi Amstelveen (in beheer bij Waternet). Onderzocht is of PE- en/of metaalzoutdosering op de voorbezinking van de rwzi Amstelveen een betrouwbare en economische manier is, om in de toekomst te blijven voldoen aan de effluentnorm voor totaal stikstof (10 mg/l). De capaciteitsvergroting van bestaande (biologische) zuiveringsinrichtingen staat daarbij centraal. De bedrijfsvoering, operationele en economische aspecten zijn belangrijke aandachtspunten binnen dit project.

Het twee jaar durende onderzoeksprogramma had als primair doel de toetsing van de haalbaarheid van geavanceerde voorzuivering middels PE-dosering in de praktijk waarbij gestreefd werd naar constante en lage N_{totaal} -concentraties in het effluent van de rwzi Amstelveen door toepassing van geavanceerde en/of chemisch ondersteunde voorzuivering.

Op basis van de onderzoeksresultaten wordt geconcludeerd dat toepassing van geavanceerde voorzuivering voordelen kan opleveren in de waterlijn en de slibverwerking, maar altijd als locatiespecifiek maatwerk moet worden beschouwd.

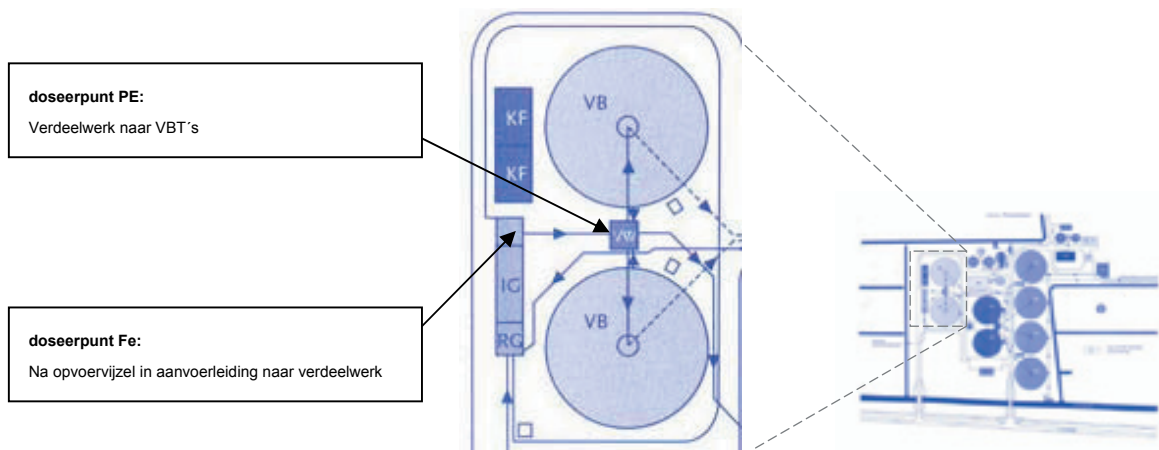
Utrecht, april 2006

de directeur van de STOWA, ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

Uit pilot-plantonderzoek en deskresearch blijkt dat vergaande fysisch-chemische voorzuivering van afvalwater in velerlei opzichten voordelen kan bieden [1, 7, 8, 9, 11, 12]. Door toepassing van vergaande voorzuivering kan de biologische capaciteit van een zuivering aanzienlijk uitgebreid worden zonder dat bouwkundige aanpassingen vereist zijn. Een verdere ontwikkeling van vergaande voorzuivering is de geavanceerde voorzuivering door middel van dosering van organische polymeren (PE) aan de voorbezinktanks zonder gebruik te maken van metaalzouten (als bij pre-precipitatie of FAST-dosering). Deze geavanceerde voorzuivering blijkt een efficiënte methode om (tijdelijk) knelpunten met betrekking tot overbelasting van zuiveringsonderdelen op te lossen en bijgaand de sliblijn te ontlasten. Geavanceerde voorzuivering is echter in Nederland tot op heden niet op praktijkschaal toegepast in de communale afvalwaterzuivering. Doel van dit onderzoek is beschrijving van een praktijksituatie met geavanceerde voorzuivering middels enkel PE-dosering op voorbezinktanks en het aantonen van de mogelijkheden en voordelen van deze manier van geavanceerde voorzuivering [10]. Waternet heeft daarbij de uitbreiding van de biologische capaciteit en optimalisatie van het afvalwaterzuiveringsproces voor ogen door geavanceerde en/of met chemisch (met metaalzout) ondersteunde voorzuivering op de rwzi Amstelveen ten tijde van overbelasting en verbouw.

Onderzocht is of geavanceerde (met alleen PE) en/of metaalzoutdosering op de voorbezinking een betrouwbare en economische manier is, om in de toekomst te gaan voldoen aan de effluentnorm voor totaal stikstof (10 mg/l). Dit is gebeurd door het op full-scale testen van de in het STOWA-onderzoek 'Vergaande Voorzuivering van Afvalwater' [8, 9, 10] ontwikkelde doseerstrategie van PE en metaalzout. In het onderzoek is de invloed van geavanceerde voorzuivering en metaalzoutdosering op het gehele zuiverings- en slibverwerkingsproces van de rwzi Amstelveen bepaald en onderling vergeleken. De capaciteitsvergroting van bestaande (biologische) zuiveringsinrichtingen staat daarbij centraal. De bedrijfsvoering, operationele en economische aspecten zijn belangrijke aandachtspunten binnen dit project.



De werkzaamheden binnen het onderzoeksproject concentreren zich met name op een uitgebreid meetprogramma op de rwzi Amstelveen vooraf en ten tijde van de geavanceerde voorzuivering (met alleen PE) en de metaalzoutdosering. Het project is in vier opeenvolgende onderdelen opgesplitst met vooraf en tussendoor referentieperioden:

- referentieperiode: analyse van de werking van de rwzi Amstelveen onder huidige omstandigheden. Het jaar 2003 geldt als referentiejaar. Vooraf aan de PE-testen en tussen de verschillende testperioden zijn referentieperioden ingelast om de werking van de rwzi zonder geavanceerde voorzuivering herhaaldelijk te toetsen. In de referentieperioden zijn de parameters geanalyseerd zonder dat PE werd gedoseerd (PE = 0 mg actief PE/100 NTU/l);
- periode PE: analyse van de werking van de rwzi Amstelveen met PE-dosering (0,2 – 0,6 mg actief PE/100 NTU/l) op de voorbezinktanks. De PE-perioden zijn onderverdeeld in:
 - Test 1: PE = 0,21 - 0,38 mg PE/100 NTU/l, PE-dosering werd gestuurd op troebelheid in aanvoer VBT;
 - Test 2: PE = 0,15 - 0,32 mg PE/100 NTU/l, PE-dosering werd geregeld op troebelheid in afloop VBT;
 - Test 3: PE = 0,20 - 0,56 mg PE/100 NTU/l, PE-dosering werd geregeld met controle op troebelheid in afloop VBT.
- periode Me: analyse van de werking van de rwzi Amstelveen met een dosering van metaalzout (3,0 - 7,0 mg Me/l) op de voorbezinktank (Me-scenario). Fe-dosering werd debietproportioneel gestuurd. In deze fase is geen organisch polymeer gedoseerd.

In het algemeen namen de verwijderingprestaties over de voorbezinktanks ten tijde van geavanceerde voorzuivering en tijdens Fe³⁺-dosering op het eerste gezicht niet spectaculair, maar wel structureel toe. Geavanceerde voorzuivering met dosering van flocculanten aan de voorbezinktanks kan echter het gehele zuiveringsproces optimaliseren en knelpunten in de beluchting en de slibverwerking oplossen.

Met geavanceerde PE-dosering neemt de CZV- en BZV-verwijdering over de voorbezinktank met 15% tot 20% in absolute zin toe (in vergelijking met de referentie zonder dosering). Met Fe³⁺-dosering neemt de CZV- én BZV-verwijdering met ca. 20% toe ten opzichte van de perioden zonder dosering. Aangetoond is dat de aanvoer naar de actief-slibtanks door geavanceerde voorzuivering stabiel is geworden, waardoor de bedrijfsvoering constanter en effectiever is. De stikstofverwijdering over de voorbezinktanks werd niet beïnvloed door geavanceerde voorzuivering of metaalzoutdosering. Door fosfaatprecipitatie werd met de metaalzoutdosering fosfaat al over de voorbezinktanks tot ca. 85% verwijderd.

De BZV- en CZV-verwijdering in het actief-slibstelsel verliep uitstekend tijdens zowel de PE-dosering als de Fe³⁺-dosering. Ook het CZV-gehalte in het effluent werd beïnvloed door de PE- en de Fe-dosering. In vergelijking met de referentieperiode 2003 was de stikstofverwijdering in het systeem ten tijde van testperioden 2004 en 2005 beter. In de loop van de testperiode met PE-dosering nam de concentratie van stikstof in het effluent geleidelijk af tot een redelijk constant gemiddelde waarde van 7,2 mg N/l in 2004 en 7,4 in 2005 (zelfde periode 2003 gemiddeld: 9,2 mg N/l).

In de sliblijn van de rwzi Amstelveen zijn door toepassing van geavanceerde voorzuivering voordelen in de indikbaarheid van primair slib waargenomen, waardoor de gisting hydraulisch minder zwaar belast werd. Door de verbeterde werking van de gisting werd ten tijde van geavanceerde voorzuivering minder restslib geproduceerd. Met metaalzoutdosering op de

voorbezinktank verslechterde de indikbaarheid van het primair slib, zodat de gisting zwaarder belast werd en de werking achteruit ging. Hierdoor en door de hogere chemisch slibproductie steeg de restslibproductie tijdens metaalzoutdosering.

Op basis van de resultaten van de uitgebreide praktijktesten op de rwzi Amstelveen is gebleken dat toepassing van geavanceerde voorzuivering voor de situatie op de rwzi Amstelveen voordelen oplevert in de waterlijn en met name in de slibverwerking. Grote effecten van geavanceerde voorzuivering op de effluentkwaliteit zijn niet aangetoond, hoewel de stikstofconcentratie in het effluent gedurende de proefperiode (2004/2005) duidelijk lager en stabiel was dan in het voorgaande referentiejaar (2003).

parameter	geavanceerde voorzuivering met PE-dosering	chemische ondersteunde voorzuivering met metaalzout-dosering
verwijdering N over VBT	+/-	+/-
verwijdering P over VBT	+/-	+
verwijdering CZV over VBT	+	+
verwijdering drogestof over VBT	+	++
beluchttingsenergie AT	+	+
BZV-belasting in AT	+	+
N in effluent	+	+/-
P in effluent	+/-	+/-
CZV in effluent	+	+
bedrijfsvoering	+	+
indikbaarheid primair slib	+	-
werking gisting	+	-
rest-slibproductie	+	-

Uit de economische analyse blijkt dat de meeste winst door geavanceerde voorzuivering te behalen is in de sliblijn door de effectievere gisting en de verminderde ontwaterd slibproductie. Besparing in beluchttingsenergie en restheffingen dragen ook bij aan een kosteneffectieve geavanceerde voorzuivering.

Op basis van de onderzoeksresultaten wordt geconcludeerd dat toepassing van geavanceerde voorzuivering duidelijke voordelen kan opleveren maar dat toepassing locatiespecifiek maatwerk is en blijft.

Aanbevolen wordt om toepassing van PE-dosering op voorbezinktanks altijd als een maatwerkoplossing te beschouwen. De meeste winst kan worden behaald indien de rwzi is uitgerust met flexibele beluchttingsregelingen en flexibele compartimentering. Optimale PE-dosering vindt plaats door het injecteren van PE in een volledig gevulde aanvoerleiding met voldoende turbulentie om voldoende menging tussen afvalwater en PE te verkrijgen en luchtinslag te voorkomen en overdosering van PE ten allen tijde te voorkomen.

Om verdere optimalisatie van geavanceerde voorzuivering mogelijk te maken, is het nodig om testen uit te voeren op een zuiveringsinstallatie met een flexibele en variabele verdeling tussen nitrificatie en denitrificatie zones om zodoende stikstofconcentraties in het effluent te kunnen minimaliseren. Tevens dienen betrouwbare, onderhoudsvrije en accurate troebelheidsmetingen online verder ontwikkeld en toegepast te worden om een efficiënte regeling van PE mogelijk te maken.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

SUMMARY

Desk and pilot plant research revealed that physical-chemical pre-treatment of wastewater can have many advantages in design, process and optimisation [see 1, 7, 8, 9, 11, 12]. A further development of chemically enhanced pre-treatment is advanced pre-treatment by means of dosing of organic polymers (PE) to the pre-settling tanks, without addition of inorganic metal salts (like in case of pre-precipitation or combined dosage methods like the F.A.S.T-system). This type of advanced pre-treatment is proven to be an efficient method to solve (temporary) bottlenecks with regard to extension and optimisation of wastewater treatment units and sludge treatment. However, advanced pre-treatment of this kind has not yet been applied on full scale wastewater treatment plants in the Netherlands.

Aim of the research project described in this report is the description of a full scale application of advanced pre-treatment with organic polymers and the verification and quantification of earlier stated advantages [10] of this kind of pre-treatment. In addition, the owner and operator of wwtp Amstelveen, Water Company Waternet of Waterboard Amstel, Gooi and Vecht, is interested in the potential of advanced pre-treatment to extend treatment capacity and to comply with effluent standard for namely nitrogen during extension and optimisation works at the wwtp. For that reason, the treatment efficiency, operational issues, reliability and cost effectiveness of advanced pre-treatment has been investigated on a full scale trial set-up at wwtp Amstelveen.

The research efforts within this project focussed on a broad and extensive measuring campaign at the wwtp Amstelveen, preceding and during different kinds of applications and dosing methods of advanced pre-treatment. Within the two-year testing period (from begin 2004 to end 2005) four different testing periods were defined. The year 2003 is referred to as the reference year. In between the testing periods with advanced pre-treatment, reference periods without chemically enhanced pre-treatment were created:

- period 1 PE: analysis of operation of wwtp during PE-dosing (0.2 – 0.6 mg active PE/100 NTU/l) at the pre-settling tank (PST). The PE-period is divided over:
 - Test 1: PE = 0.21 – 0.38 mg PE/100 NTU/l, PE-dosing steered on turbidity in the feedwater of the PST;
 - Test 2: PE = 0.15 – 0.32 mg PE/100 NTU/l, PE-dosing steered on turbidity in the overflow of the PST;
 - Test 3: PE = 0.20 – 0.56 mg PE/100 NTU/l, PE-dosing controlled on turbidity in the overflow of the PST.
- period 2 Me: analysis of operation of wwtp during metal salt-dosing (3.0 – 7.0 mg Me/l), without PE-dosage at the pre-settling tank (PST). Fe-dosing was steered flow proportional.

In general the removal performances over the pre-settling tanks during advanced pre-treatment and during metal salt dosage was definitely structural, but not very spectacular. However, it was proven that advanced pre-treatment can optimise the wastewater treatment processes and sludge handling also in practice.

By means of advanced pre-treatment with PE-dosage, BOD and COD removal over the pre-settling tank increases by 15%, respectively 20% in absolute terms (in reference with no chemical enhanced pre-treatment). With metal salt dosage BOD removal increases for about 20%.

Nitrogen removal over the pre-settling tanks was not influenced by advanced pre-treatment or metal salt dosage, however phosphorous was, as expected, only removed by metal salt addition.

It was demonstrated that the feedwater to the activated sludge as of a more stable composition during advanced pre-treatment, so operation and performance of the total treatment plant increased. BOD and COD were removed excellently within the activated sludge system. It was proven statistically that COD removal increased during advanced pre-treatment due to increased capture of COD-containing fines within PE-flocs and activated sludge flocs. In comparison with the reference period (the year 2003) nitrogen removal during advanced pre-treatment (year 2004 and 2005) increased significantly: During 2003 (without advanced pre-treatment) the yearly average nitrogen concentration in the effluent of wwtp Amstelveen was 9.2 mg N/l, whereas in 2004 and 2005 (with advanced pre-treatment) nitrogen total in the effluent was as low as 7.2 mg N/l, respectively 7.4.

It was demonstrated that sludge thickening of primary sludge improved during advanced pre-treatment with PE. This resulted in lower volumetric loadings of the sludge digesters and longer hydraulic retention times within the digesters. Finally less digested sludge was produced during advanced pre-treatment, so sludge dewatering and final deposit was operated more efficiently. Metal salt addition on the feedwater of the pre-settling tanks showed exactly the opposite effect: thickening of primary sludge decreased, loading to digesters increased and the hydraulic retention time decreased. This resulted in a less efficient digestion and dewatering and in more final sludge for transport and deposition.

parameter	advanced pre-treatment with PE-dosage	chemically enhanced pre-treatment with metal salt addition
removal of N over PST	+/-	+/-
removal of P over PST	+/-	+
removal of COD over PST	+	+
removal of TSS over PST	+	++
aeration energy AT	+	+
BOD load in AT	+	+
N in effluent	+	+/-
P in effluent	+/-	+/-
COD in effluent	+	+
operation	+	+
thickening	+	-
digestion	+	-
final sludge production	+	-

From an economical analysis it is revealed that advanced pre-treatment can be cost effective, mainly due to savings in the sludge treatment line and some savings on aeration energy.

Based on the research results it is concluded that advanced pre-treatment can have some major benefits, but it remains always as a local specific tailor made solution.

STOWA IN BRIEF

The Institute of Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater purification installations and dam inspectors. In 2002 that includes all the country's water boards, the provinces and the State.

These water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative-legal and social-scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed on the basis of requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as centres of learning and consultancy bureaux, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

All the money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some six million euro.

For telephone contact STOWA's number is: +31 (0)30-2321199.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

GEAVANCEERDE VOORZUIVERING VAN AFVALWATER

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding en achtergronden	1
	1.2 Probleemstelling en doel	2
	1.3 Leeswijzer	3
2	RWZI AMSTELVEEN	4
	2.1 Algemeen	4
	2.2 Zuiveringsprestaties 2003 - 2005	5
3	PROEFOPZET	7
	3.1 Inleiding	7
	3.2 Methoden en materialen	8
	3.2.1 Testperioden	8
	3.2.2 Metingen en analyses	8
	3.2.3 Doseerstrategie	9
	3.2.4 Polymeer	10
	3.2.5 Pe-dosering	11
	3.2.6 Metaalzoutdosering	12
	3.3 Fractionering en deeltjestelling	13

4	RESULTATEN	14
4.1	Inleiding	14
4.2	Werking voorbezinktank	14
4.2.1	Verwijderingsprestaties voorbezinktank algemeen	14
4.2.2	Prestatie tijdens geavanceerde voorzuivering met pe-dosering	18
4.2.3	Prestaties tijdens chemisch ondersteunde voorzuivering metaalzoutdosering	19
4.3	Effecten op het actief-slibstelsel	20
4.4	Effecten op de effluentkwaliteit	22
4.4.1	Algemeen	22
4.4.2	Effecten op werking nabezinktanks	26
4.4.3	Controle effecten op effluentkwaliteit door correlatieanalyse	27
4.5	Effecten op de slibverwerking	28
4.5.1	Algemeen	28
4.5.2	Slibproducties	28
4.5.3	Slibindikking	29
4.5.4	Slibgisting	29
4.5.5	Slibontwatering	29
4.6	Bedrijfsvoeringstechnische aspecten	29
4.6.1	Drijfslag	29
4.6.2	Simultane metaalzoutdosering	30
4.6.3	Biogasproductie en energiehuishouding	31
4.6.4	Slibafzet en verwerking	31
4.6.5	Doseerstrategie	31
4.7	Economische evaluatie	32
5	CONCLUSIES EN AANBEVELING	33
5.1	Conclusies	33
5.2	Aanbevelingen	35
6	REFERENTIES	36
	BIJLAGEN	
	Bedrijfsgegevens rwzi Amstelveen 2003 t/m 2005	39
	Fractionering en deeltjesgrootte-analyse	43
	Temperatuursverloop	49
	Resultaten voorbezinktank en AT's per onderzoeksfase	51
	Correlatieanalyse	53

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING EN ACHTERGRONDEN

In het STOWA-onderzoek 'Fysisch-Chemische Voorzuivering van Afvalwater' is in 2003 geconcludeerd dat vergaande voorzuivering het zuiveringsproces in het algemeen kan optimaliseren en de biologische capaciteit van een zuivering aanzienlijk kan uitbreiden zonder dat bouwkundige aanpassingen vereist zijn [1, 7]. Een verdere ontwikkeling van vergaande voorzuivering is de geavanceerde voorzuivering door middel van dosering van organische polymeren (PE) aan de voorbezinktanks zonder gebruik te maken van metaalzouten (als bij preprecipitatie of FAST-dosering). Deze geavanceerde voorzuivering blijkt een efficiënte methode om (tijdelijk) knelpunten met betrekking tot uitbreidingen van zuiveringsonderdelen op te lossen en de sliblijn te ontlasten [8]. Verbetering van het rendement van de voorbezinking door toevoegen van chemicaliën is niet nieuw; metaalzouten worden veelvuldig voor diverse toepassingen gebruikt. Gebruik van alleen PE als vlokmiddel, gestuurd op basis van troebelheid, is echter innovatief. Na ruim zes jaar van onderzoek in verschillende STOWA-projecten [1, 7, 8, 9], blijkt dat de rwzi Amstelveen goede mogelijkheden heeft om deze manier van vergaande voorzuivering in de praktijk te testen [10] (zie ook intermezzo). Doordat voor de rwzi Amstelveen een tekort aan biologische capaciteit wordt verwacht, is geavanceerde voorzuivering één van de toe te passen technieken om ook in de toekomst het aangevoerde afvalwater efficiënt te kunnen behandelen.

INTERMEZZO UITKOMSTEN UIT VOORGAAND ONDERZOEK (STOWA 2003-20)

In voorgaand onderzoek zijn onder andere fractioneringsproeven uitgevoerd waarbij de waterkwaliteitsparameters per deeltjesgroottefractie zijn bepaald. Door de BZV/N-verhouding van de fracties te vergelijken met die van het voorbezonden water kan worden vastgesteld tot welke fractie de voorbezinking verwijderd. In het algemeen heeft de fractionering van het afvalwater op deeltjes-grootte (45; 5,0; 1,0; 0,45 μm) voor alle bemonsterde rwzi's gedetailleerd inzicht verschaft in de samenstelling van het afvalwaterinfluent en de verdeling van verontreinigingsparameters over de deeltjesgrootte. De uitgevoerde flocculatie- en bezinkingstesten geven een beeld van de huidige en maximaal mogelijke werking van de voorbezinktank (met of zonder ondersteunde doseringen) en de optimale polymeedosering voor geavanceerde voorbehandeling.

Op basis van de onderzoeksresultaten bleken de rwzi Amstelveen en de rwzi Assen (onder voorbehoud van toekomstige aanvoer zuivelafvalwater) het meest geschikt voor toepassing van vergaande voorzuivering middels PE-dosering. Voor de rwzi Venray zou vergaande voorzuivering een structurele capaciteitsvergroting kunnen opleveren. Voor de rwzi's Kralingseveer en Alphen-Noord leken de mogelijkheden van vergaande voorzuivering beperkt door de relatief lage BZV/N-verhouding in de toevoer van de voorbezinktanks. Deze conclusies zijn enkel indicatief voor de potentie van geavanceerde voorzuivering op de rwzi's en zou met behulp van praktijkexperimenten moeten worden getoetst.

Uit de modelmatige capaciteitsberekeningen bleek dat bij een milde voorbehandeling (0,5 - 1 mg PE/100 NTU/l) de belasting van de biologische zuivering zo wordt beperkt dat bij alle onderzochte rwzi's het benodigde actief-slibvolume om aan een effluenteis van 10 mg

Ntotaal/l te voldoen met 15 – 20% kan worden gereduceerd. Bij dosering van 2 mg PE/100 NTU/l bleken bij alle onder-zochte rwzi's volumereducties van 20 tot 40% mogelijk. Hierbij werd aangetekend dat bij een deel van de berekeningen het anoxische deel groter wordt dan 50 % van het totale AT-volume, wat uit oogpunt van lichtslibbestrijding niet wordt aanbevolen.

Uit een indicatieve kostenanalyse bleek dat bij een standaard rwzi van circa 100.000 i.e. door een lage PE-dosering (1 mg PE/100 NTU/l) op een bestaande voorbezinktank circa EUR 25.000/j bespaard zou kunnen worden op het energieverbruik van de beluchtinginstallatie. Tevens zou de biogasproductie (niet in kosten omgerekend) verhoogd en de slibproductie verlaagd kunnen worden. Daar staat circa EUR 75.000/j aan kosten van de PE-dosering tegenover. De PE-dosering reduceert de vuilvracht dusdanig dat het benodigd beluchting-volume wordt verkleind; als hierdoor bouwkundige uitbreidingsmaatregelen achterwege kunnen blijven, resulteert dit in een totaal kostenvoordeel van bijna EUR 75.000/j. Om de haalbaarheid van geavanceerde voorzuivering op bestaande installaties vast te stellen zijn gedetailleerde kostenberekeningen nodig, afgestemd op de lokale situatie.

Doel van dit onderzoek is de beschrijving en toetsing van toepassing en effecten van geavanceerde voorzuivering (met enkel PE-dosering op voorbezinktanks) in de praktijksituatie waarbij verlaging van het stikstofgehalte in het effluent nagestreefd wordt. De opschaling van de resultaten van lab- en pilotstudies uit voorgaande onderzoeken is daarbij van belang.

1.2 PROBLEEMSTELLING EN DOEL

Uit onderzoek op lab – en pilotschaal en deskresearch blijkt dat geavanceerde voorzuivering van afvalwater in velerlei opzichten voordelen kan bieden [1, 7, 8, 9, 11, 12]. Dit is echter in Nederland tot op heden niet op praktijkschaal toegepast in de communale afvalwaterzuivering.

Doel van dit onderzoek is beschrijving van een praktijksituatie met geavanceerde voorzuivering middels PE-dosering op voorbezinktanks en het aantonen van de mogelijkheden en voordelen van deze manier van geavanceerde voorzuivering[10]. Daarnaast is tot doel gesteld de uitbreiding van de biologische capaciteit en optimalisatie van het afvalwaterzuiveringsproces door toepassing van geavanceerde en/of chemische voorzuivering op de rwzi Amstelveen ten tijde van overbelasting en verbouw.

Onderzocht is of PE- en/of metaalzoutdosering op de voorbezinking een betrouwbare en economische manier is, om in de toekomst te gaan voldoen aan de effluentnorm voor totaal stikstof (10 mg/l). Dit is gebeurd op full-scale testen van de in het STOWA-onderzoek 'Vergaande Voorzuivering van Afvalwater' ontwikkelde doseerstrategie van PE. In het onderzoek is de invloed van PE- en metaalzoutdosering op het gehele zuiverings- en slibverwerkingsproces van de rwzi Amstelveen bepaald en onderling vergeleken. De capaciteitsvergroting van bestaande (biologische) zuiveringsinrichtingen staat daarbij centraal. De bedrijfsvoering, operationele en economische aspecten zijn belangrijke aandachtspunten binnen dit project.

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt de bestaande situatie rondom de rwzi Amstelveen beschreven met daarbij de toelichting op de referentiesituatie. Hoofdstuk 3 geeft toelichting op de onderzoeksofzet. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten allereerst algemeen en vervolgens per onderzoeksperiode beschreven waarna een economische evaluatie plaatsvindt. Hoofdstuk 5 vat de uitkomsten samen en geeft aanbevelingen.

2

RWZI AMSTELVEEN

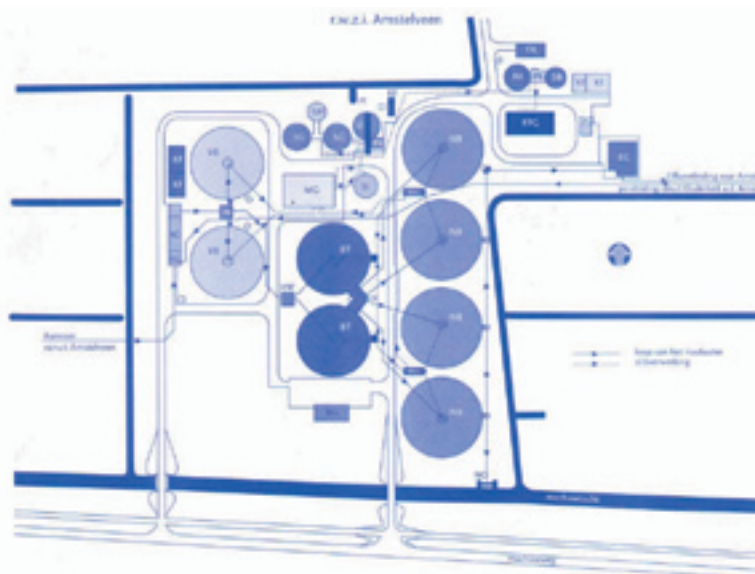
2.1 ALGEMEEN

De rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) Amstelveen is in beheer van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht en wordt bedreven door Waternet. De rwzi Amstelveen is een conventionele actief-slibinstallatie met voornamelijk huishoudelijk afvalwater en weinig fluctuatie en invloeden van industriële activiteiten op het influent. Vanaf 1956 wordt afvalwater en regenwater uit Amstelveen en Nes aan de Amstel op de rwzi Amstelveen gezuiverd. Oorspronkelijk had de installatie een capaciteit voor 36.000 i.e. (à 54 g BZV), waarna in 1968 uitbreiding plaatsvond naar 72.000 i.e. (à 54 g BZV). Sinds 1992 is ook Ouderkerk aan de Amstel aangesloten op de rwzi Amstelveen. De huidige installatie heeft een capaciteit voor 97.500 i.e. (à 54 g BZV) en een hydraulische capaciteit van 4.650 m³/h. Eind 2005 is de actief-slibinstallatie geoptimaliseerd en gerenoveerd.

De rwzi Amstelveen bestaat uit twee voorbezinktanks, twee actief-slibsystemen (nitrificerend en denitrificerend, met simultane P-precipitatie) en vier nabezinktanks.

Het afvalwater wordt aangevoerd via het vrijverval-hoofdriool van de gemeente Amstelveen en via een persleiding vanuit Ouderkerk aan de Amstel en Nes aan de Amstel. Na passage van de roosterharken en opvoer in een vijzelgemaal stroomt het influent via een verdeelwerk naar twee voorbezinktanks. Van daaruit worden twee ronde actief-slibtanks (met simultane P-precipitatie, voordennitrificatie en nitrificatie) gevoed met bezonken afvalwater. Het gezuiverde water wordt verdeeld over vier nabezinktanks. Het effluent wordt op de Amstel geloosd. De afmetingen van de onderdelen en een weergave van de gehele rwzi zijn weergegeven in Tabel 1 en Afbeelding 1.

AFBEELDING 1 SCHEMATISCHE WEERGAVE RWZI AMSTELVEEN



Het primair slib wordt eerst van zand ontdaan in de zandvanger en in de primairslibindikker gravitair ingedikt. Surplusslib wordt eveneens in een gravitaire indikker ingedikt. Primair en surplusslib worden gezamenlijk vergist en in een na-indikker verwerkt. Vandaar wordt het uitgegiste slib via een slibbuffer geleid en in een filterpers ontwaterd tot 25% drogestof. Het rejectiewater en overstortwater van de indikers wordt teruggevoerd naar het ontvangewerk van de rwzi. Naast eigen slib wordt in sommige periodes op de rwzi Amstelveen ook het slib van de rwzi Uithoorn vergist en ontwaterd. Het ontwaterde slib gaat naar de vuilverbranding in Amsterdam-West.

De ontwerp- en procestechnische gegevens van de rwzi zijn weergegeven in Tabel 2.

TABEL 1 TECHNISCHE GEGEVENS RWZI AMSTELVEEN

onderdeel	aantal	capaciteit / (totale) afmeting	eenheid
influentgemaal	1	4.650	m ³ /h
oppervlak voorbezinktanks	2	2.270	m ²
kantdiepte voorbezinktank	2	2	m
volume selector	2	290	m ³
volume voordennitrificatie	2	3.220	m ³
volume nitrificatie	2	6.050	m ³
volume beluchtingstank	2	9.560	m ³
oppervlak nabezinktanks	4	5.024	m ²
retourslibgemaal	4	1.880 - 2.800	m ³ /h
indikker primair slib	1	113	m ²
indikker surplusslib	1	113	m ²
na-indikker	1	113	m ²
slibgistingstank	2	3.000	m ³

TABEL 2 ONTWERP- EN PROCESTECHNISCHE GEGEVENS RWZI AMSTELVEEN

parameter	eenheid	2005	2004	2003	ontwerp
slibbelasting	kg BZV/kg d.s. dag	0,07	0,08	0,08	0,06
	kg CZV/kg d.s. dag	0,17	0,21	0,21	0,18
slibconcentratie	kg d.s./m ³	4,2	4,3	4,4	3,65
slibleeftijd	dag	17	15	19	
surplusslibproductie ¹	kg d.s./dag	2.300	2.800	2.200	1.500
specifieke slibproductie	kg _{org} ds/kg BZV _{verw}	0,62	0,55	0,45	
	kg _{org} ds/kg CZV _{verw}	0,26	0,25	0,18	
Me/P-verhouding	mol Me/mol P	0,84	0,57	0,70	
SVI (gemiddeld)	ml/g	110/117	115	110/115	

2.2 ZUIVERINGSPRESTATIES 2003 - 2005

Het gemiddelde totaal te verwerken dagdebiet in 2003 bedroeg 24.350 m³/d. De gemiddelde belasting in 2003 bedroeg 104.580 i.e._{136TZV}. De samenstelling van het influent, toeloop van de voorbezinktank inclusief retourstromen en afloop voorbezinktank voor de jaren 2003, 2004 en 2005 zijn weergegeven in Tabel 3. Het onderzoek naar geavanceerde voorzuivering heeft plaatsgevonden tussen april 2004 en november 2005.

¹ duidelijk hogere slibproductie dan ontwerp van 1.500 kg d.s./dag, hierdoor zijn indikers frequent overbelast en storten over naar waterlijn.

TABEL 3 GEMIDDELDE SAMENSTELLING VAN INFLUENT, AFLOOP VOORBEZINKTANK EN EFFLUENT 2003, 2004 EN 2005

parameter	eenheid	2005	2004	2003
jaardebiet	m ³ /jr	9.042.510	11.731.830	8.885.560
gemiddeld dagdebiet	m ³ /d	24.770	32.140	24.350
influentenamenstelling (exclusief retourstromen)				
CZV	kg/d	10.625	13.726	9.701
BZV	kg/d	3.668	5.379	3.810
zwevende stof	kg/d	5.480	6.310	4.084
N _{kjeldahl}	kg/d	911	1.212	989
N _{totaal}	kg/d	911	1.212	989
P _{totaal}	kg/d	146	204	154
i.e. à 136 g TZV	136 g O ₂ /d	108.750	141.660	104.580
BZV/N	-	4,0	4,4	3,9
CZV/BZV	-	2,9	2,6	2,5
aanvoer voorbezinktanks inclusief retourstromen				
CZV	kg/d	19.865	20.535	27.911
BZV	kg/d	6.936	7.955	9.891
zwevende stof	kg/d	13.105	13.324	21.391
N _{kjeldahl}	kg/d	1.476	1.810	1.926
P _{totaal}	kg/d	333	394	479
i.e. à 136 g TZV	136 g O ₂ /d	195.650	211.810	269.930
BZV/N	-	4,7	4,4	5,1
CZV/BZV	-	2,9	2,6	2,8
afloop voorbezinktanks				
CZV	kg/d	6.873	8.577	8.974
BZV	kg/d	2.610	3.474	3.284
zwevende stof	kg/d	3.192	3.539	3.101
N _{kjeldahl}	kg/d	937	1.251	1.380
P-tot	kg/d	135	184	196
i.e. à 136 g TZV	136 g O ₂ /d	82.020	105.100	112.360
BZV/N	-	2,8	2,8	2,4
CZV/BZV	-	2,6	2,5	2,7
effluent rwzi Amstelveen				
CZV	kg/d	910	1.144	731
BZV	kg/d	107	110	66
zwevende stof	kg/d	220	315	211
N _{kjeldahl}	kg/d	90	102	84
N _{totaal}	kg/d	260	300	245
P _{totaal}	kg/d	22	28	19
CZV	mg/l	37	35	32
BZV	mg/l	3,6	2,8	2,8
zwevende stof	mg/l	8,9	9,8	8,7
N _{kjeldahl}	mg/l	3,3	3,0	3,1
NH ₄	mg/l	1,6	1,5	1,6
NO ₃	mg/l	6,9	6,1	6,6
NO ₂	mg/l	0,2	0,2	0,2
NO _x	mg/l	7,1	6,3	6,8
N _{totaal}	mg/l	10,4	9,3	10,0
P _{totaal}	mg/l	0,7	0,8	0,8
P _{ortho}	mg/l	0,4	0,5	0,6
i.e. à 136 g TZV	136 g O ₂ /d	9.731	12.152	8.233

3

PROEFOPZET

3.1 INLEIDING

Aangezien de afvalwaterstromen tussen voorbezinktanks en actief-slibtanks worden samen gevoegd, is het onvermijdelijk om de praktijkproef direct op beide zuiveringsstraten uit te voeren. In een eerste projectfase wordt de bestaande situatie op de rwzi gemonitord en als uitgangspunt voor de werking van de rwzi beschouwd. In de daaropvolgende onderzoeksfasen wordt de werking van de rwzi met geavanceerde voorzuivering (met PE) onderzocht. Daarbij zijn de effluentkwaliteit en de algemene bedrijfsvoering de leidende onderwerpen van onderzoek.

AFBEELDING 2 VOORBEZINKTANK RWZI AMSTELVEEN MET MONSTERNAMEKAST



De werkzaamheden binnen het onderzoeksproject concentreren zich met name op een uitgebreid meetprogramma op de rwzi Amstelveen vooraf en ten tijde van de PE- en metaalzoutdosering. Het project is in vier opeenvolgende onderdelen opgesplitst met vooraf en tussendoor referentieperioden (zie ook Tabel 4):

- referentieperiode: analyse van de werking van de rwzi Amstelveen zonder geavanceerde voorzuivering. Het jaar 2003 geldt als referentiejaar. Vooraf aan de PE-testen en tussen de verschillende testperioden zijn referentieperi-oden ingelast om de werking van de rwzi zonder geavanceerde voorzuivering herhaaldelijk te toetsen. In de referentieperioden zijn de parameters geanalyseerd zonder dat PE werd gedoseerd (PE = 0 mg actief PE/100 NTU/l);
- periode PE: analyse van de werking van de rwzi met PE-dosering (0,2 – 0,6 mg actief PE/100 NTU/l) op de voorbezinktanks. De PE-perioden zijn onderverdeeld in:
 - Test 1: PE = 0,21 - 0,38 mg PE/100 NTU/l, PE-dosering werd gestuurd² op troebelheid in aanvoer VBT:

² gebaseerd op (0,4 mg actief PE/100 NTU/L)

- Test 2: PE = 0,15 - 0,32 mg PE/100 NTU/l, PE-dosering werd geregeld² op troebelheid in de afloop VBT;
- Test 3: PE = 0,20 - 0,56 mg PE/100 NTU/l, PE-dosering werd geregeld² met controle op troebelheid in afloop VBT.
- periode Me: analyse van de werking van de rwzi met een dosering van metaalzout (3,0 – 7,0 mg Me/l) op de voorbezinktank (Me-scenario) debietproportioneel gedoseerd op het influent.

3.2 METHODEN EN MATERIALEN

3.2.1 TESTPERIODEN

Tijdens de proefneming is het chronologische verloop van de testperiode beschreven en in verschillende testperioden onderscheiden in 4 testperioden en 5 referentieperioden zoals beschreven in Tabel 4.

TABEL 4 TESTPERIODEN

fase	datum		dosering en doseermethode
	begin	eind	
Referentie 1:	01-01-04	19-04-04	PE = 0
Test 1:	20-04-04	22-06-04	PE = 0,21 - 0,38 mg PE/100 NTU/l, gestuurd op troebelheid aanvoer VBT
Referentie 2:	23-06-04	14-09-04	PE = 0
Test 2:	15-09-04	08-11-04	PE = 0,15 - 0,32 mg PE/100 NTU/l, geregeld op troebelheid afloop VBT
Referentie 3:	09-11-04	28-11-04	PE = 0
Test 3:	29-11-04	25-02-05	PE = 0,20 - 0,56 mg PE/100 NTU/l, geregeld op troebelheid afloop VBT
Referentie 4:	26-02-05	27-05-05	PE = 0
Test 4:	28-05-05	01-08-05	Fe = 3 - 7 mg/l, debietproportioneel gestuurd op aanvoerdebiet
Referentie 5:	02-08-05	08-11-05	Fe = 0

Opgemerkt moet worden dat de indikkers van de rwzi Amstelveen structureel overbelast zijn waardoor regelmatig sterk geconcentreerd (CZV, TSS, N en P) overstortwater van de indikkers naar de waterlijn is afgevoerd. Hierdoor ontstonden grote pieken aan drogestof, CZV, BZV en nutriënten in het influent van de zuivering (zie hoge belasting voorbezinktanks in Tabel 3). Bij de data-interpretatie zijn de piekbelastingen zoveel mogelijk achterhaald en uit het databestand verwijderd. Desondanks kan het overstorten van de indikkers de resultaten van de proefnemingen hebben beïnvloed.

3.2.2 METINGEN EN ANALYSES

De analyses voor de waterkwaliteit zijn door Waternet uitgevoerd in een STERlab-geaccrediteerd laboratorium. Ter ondersteuning van het onderzoek is de analysefrequentie ten opzichte van de standaard uitgevoerde routinematige analyses aanzienlijk uitgebreid. Tijdens de onderzoeksperioden zijn onder andere de volgende parameters en kenmerken gemeten (zie Tabel 5) en gemonitord (zie ook bijlage I).

² gebaseerd op (0,4 mg actief PE/100 NTU/L)

TABEL 5 METINGEN PER ONDERDEEL

aanvoer voorbezinktanks (incl. retourstromen)	afloop voorbezinktank	effluent
online monitoring troebelheid voor PE-dosering	monitoring werking AT's	monitoring effluentkwaliteit
debiet		debiet
CZV	CZV	CZV
BZV	BZV	BZV
N _{kjeldahl}	N _{kjeldahl}	N _{kjeldahl}
NH ₄ -N	NH ₄ -N online	NH ₄ -N
NO ₃ -N	NO ₃ -N online	NO ₃ -N
	NO ₂ -N online	NO ₂ -N
P _{totaal}	P _{totaal}	P _{totaal}
	P _{ortho} -P	P _{ortho} -P
drogestofgehalte	drogestofgehalte	drogestofgehalte

Daarnaast werd de sliblijn gemonitord op:

- productie primair slib door monitoring van slibdebiet en drogestofgehalte (steekmonsters)
- werking voorindikker primair slib (mogelijk andere indicatiegraad door geflocculeerd slib)
- productie surplusslib door monitoring van slibdebiet en drogestofgehalte
- monitoring ds-afbraak door vaststelling ds-balans over gisting
- biogasproductie gisting (monitoring energieopwekking WKK)
- ontwaterbaarheid uitgegist slib
- slibafvoer

Vanuit bedrijfsvoeringsaspecten zijn gemeten:

- PE-verbruik
- Me-verbruik
- energiegebruik (beluchting)
- biogasproductie en -gebruik

3.2.3 DOSEERSTRATEGIE

Voor het onderzoek is een geheel nieuwe doseerstrategie ontwikkeld gebaseerd op het werk van Mels et al. [13]. De strategie gaat uit van de relatie tussen aan deeltjes gerelateerd CZV en de troebelheid van het influent [11]. Door de PE-dosering af te stemmen op de troebelheid van het influent kan de dosering afgesteld worden op een gewenste verwijdering van CZV, rekening houdend met het aandeel opgelost CZV. De PE-dosering wordt aangegeven in de eenheid mg actief PE per 100 NTU troebelheid per liter afvalwater.

Het doel van de sturing is op een eenvoudige wijze een constante te behalen in de afloop van de voorbezinktank, waarbij een minimale hoeveelheid polymeer wordt verbruikt. Aan de hand van het debiet en de gemeten troebelheid van het influent wordt de hoeveelheid te doseren polymeer bepaald. Het verband tussen de ingaande en uitgaande signalen is als volgt te omschrijven:

$$PE = a * NTU * Q_{infl} + b * Q_{infl}$$

De factoren a en b zijn afhankelijk van het type afvalwater en de aanmaakconcentratie van de PE-oplossing.

Door de factoren a en b onafhankelijk van de PE-concentratie te maken wordt de syntax als volgt:

$$QPE = (a * NTU * Q_{infl} + b * Q_{infl}) / CPE$$

Tijdens het praktijkonderzoek geavanceerde voorzuivering op de rwzi Amstelveen, is de dosering van PE op twee manieren aangestuurd:

1. Sturing: De signalen van het aanvoer debiet en de troebelheid van het influent (aanvoer + retourstromen), worden in de plc vertaald naar een hoeveelheid polymeer. Dit is een sturing omdat er geen regelkring is, er is geen terugkoppeling (er wordt niet gereageerd op) met het proces (voorbezinken). Een afwijking van de gewenste waarde (afloop VBT) zorgt niet voor verandering van het uitgaande signaal.
2. Regeling: Het signaal van de troebelheidmeting in de afloop van de VBT wordt vergeleken met een gewenste waarde. Wijkt deze af van de gewenste waarde wordt het doseerdebiet van PE aangepast. Is de actuele waarde lager dan gewenste waarde, wordt er meer PE gedoseerd. De snelheid waarmee dit gebeurd is afhankelijk van de parameters van de P&ID regelaar. Hiermee wordt voldoen aan de voorwaarde om dit een regeling te noemen.

Zowel de sturing als de regeling is beschreven door Mels et al. [11, 13] waarin de regeling werkt met standaard componenten uit de meet en regeltechniek. De factoren zijn gedurende proef geoptimaliseerd.

De sturing en de regelingen zijn getest, maar leidden niet tot de gewenste resultaten. De sturing reageerde goed op de inkomende signalen, maar de troebelheid van de afloop van de VBT was niet in relatie te brengen met de hoeveelheid gedoseerde polymeer. Verhoging van de PE-dosering door de parameters van de regeling te veranderen, toonde geen effect op troebelheid, maar wel effect op andere componenten.

3.2.4 POLYMEER

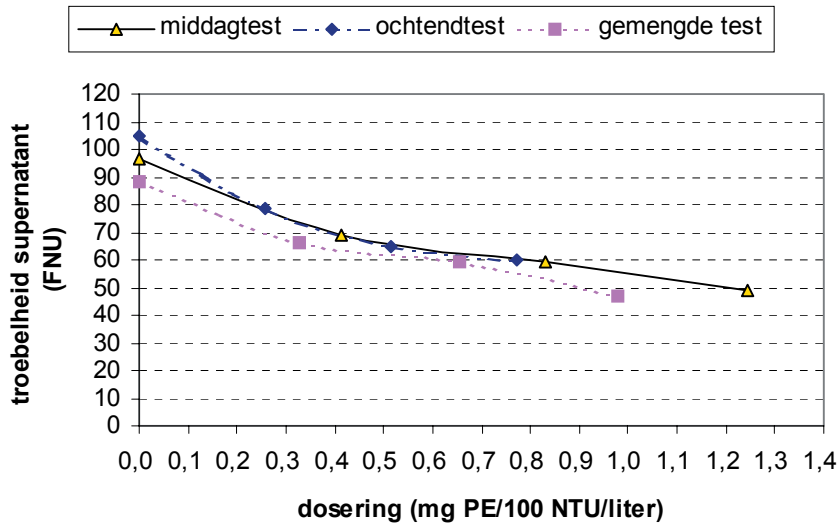
Het type en de dosering van het polymeer zijn geselecteerd aan de hand van flocculatietesten en prijsvorming door vijf geselecteerde polymeerleveranciers. Voor de situatie op de rwzi Amstelveen is NALCO CE 45031 (geleverd door MelSpring) geselecteerd als meest efficiënt polymeer. Het product heeft de volgende karakteristieken:

- kationisch organisch polyquaternair amine polymeer emulsie
- middel moleculair gewicht
- 46% actief PE
- epichlorohdrin < 5 ppm
- 1,3 dichloro-2-propanol < 500 ppm
- organische chlorides < 1.000 ppm
- pH : 5 – 7
- specifiek gewicht: 1,14 – 1,18 ton/m³
- volledig oplosbaar, 0,1% stockoplossing

Voorafgaande aan het praktijkonderzoek is middels bekerglasproeven de PE-dosering bepaald op 0,20 tot 0,40 mg PE/100 NTU/liter om een rendementsverbetering van het voorbezinkproces te bereiken van circa 30% (op basis van troebelheid). Hiermee is aanvankelijk het onderzoek opgestart. In de loop van het onderzoek zijn aanvullende bekerglastesten uitgevoerd om

de dosering te toetsen en nieuwe instellingen vast te stellen. De resultaten van deze testen zijn weergegeven in Afbeelding 3. Vanaf een PE-dosering van ca. 0,6 mg PE/100 NTU/l neemt de troebelheidverwijdering nog maar marginaal toe.

AFBEELDING 3 RESULTATEN BEKERGLASPROEF TER BEPALING OPTIMALE PE-DOSERING



3.2.5 PE-DOSERING

Het polymeer werd gedoseerd met een tijdelijke opstelling. Vanuit de container werd het PE aangemaakt tot een stockoplossing van 0,1 %. Het PE werd vervolgens, aangestuurd door het signaal van sturing geregeld.

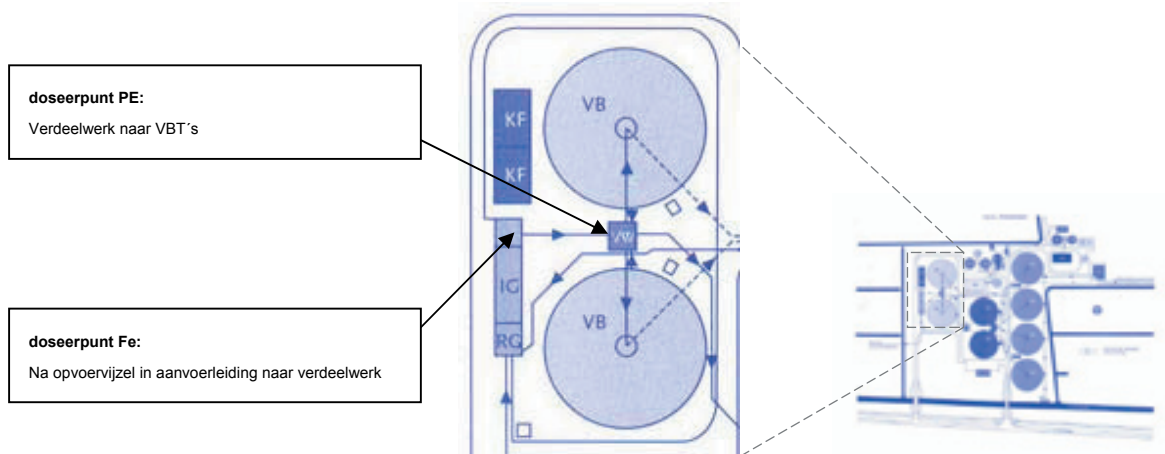
AFBEELDING 4 CONTAINER MET PE-TANK EN DOSEERINSTALLATIE



Het PE werd provisorisch door twee leidingen in de twee verdeelruimtes van het verdeelwerk aan het influent toegevoegd ter plaats van een turbulente overlaat. Tijdens testperiode 1 was de dosering van PE niet ideaal. De verdeling en de menging van het PE in het afvalwater was niet beïnvloedbaar of controleerbaar. Tevens was luchtinslag mogelijk waardoor de gevormde vlokken floeterden. Hierdoor kan het effect van de PE-dosering nadelig beïnvloed zijn. In ideale omstandigheden wordt het PE in een turbulente aanvoerleiding (mogelijk voorzien van statische menger) ingebracht om voldoende menging te garanderen. Vanuit de aan-

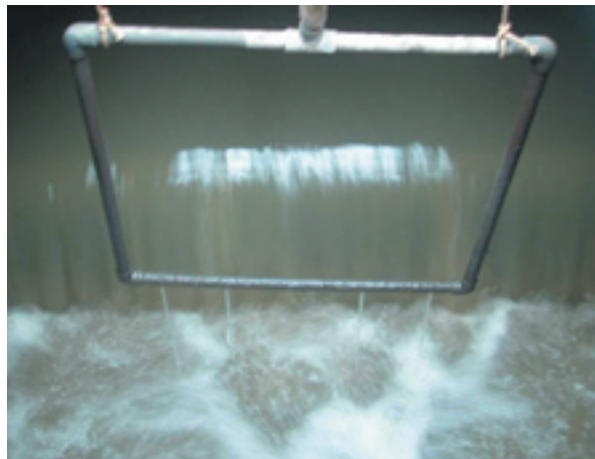
voerleiding bereikt het met PE gemengde afvalwater een verdeelwerk of inlooptrommel alwaar gecontroleerde flocculatie op kan treden. In de voorbezinktank bezinken de gevormde vlokken vervolgens. In de proefopzet kon deze ideale situatie alleen gedeeltelijk worden benaderd.

AFBEELDING 5 LOCATIE VAN DOSEERPUNTEN OP RWZI AMSTELVEEN



Na verloop van testperiode 2 bleek de sturing op troebelheid van het influent niet het gewenste effect op de verwijderingprestaties over de voorbezinktank te hebben. Vervolgens is een aangepaste regeling ontwikkeld waarin de PE-dosering afgestemd werd op het verschil van de uitgaande troebelheid en een setpoint voor troebelheid in de afloop van de voorbezinktanks volgens een standaard P&ID-regeling (test 3).

AFBEELDING 6 DOSEERSYSTEEM VAN PE IN HET VERDEELWERK



3.2.6 METAALZOUTDOSERING

In de loop van het onderzoek is de geavanceerde voorzuivering met polymeedosering vervangen door chemisch ondersteunde voorzuivering met een metaalzoutdosering. Vanaf mei 2005 is periodiek driewaardig ijzerzout (41% FeCl_3 oplossing, MelSpring) gedoseerd aan het ruwe influent in de overstortput van de influentvijzels. De metaal-zoutdosering is debietproportioneel gedoseerd.

AFBEELDING 7

MOBIELE DOSEERINSTALLATIE VOOR FE



3.3 FRACTIONERING EN DEELTJESTELLING

Ter vaststelling van de verdeling van verontreinigingen over deeltjesgrootte en de deeltjesverdeling in het influent en het overloopwater van de voorbezinktanks zijn in mei 2004 fractioneringstesten en deeltjestellingen uitgevoerd.

De fractioneringstesten zijn uitgevoerd conform de door STOWA beschreven methodiek 'Deeltjesfractionering van afvalwater' [8]. Naast de fractionering over 45 μm , 5 μm , 1 μm en 0,45 m is een fractioneringdiameter van 20 μm geselecteerd om de bezinkbare fractie (> 20 μm) beter in beeld te krijgen. Door zowel het influent (vóór PE-dosering) en het overloopwater van de voorbezinktanks te fractioneren is de deeltjesverwijdering over de voorbezinktanks in beeld gebracht.

Naast de fractionering zijn door de sectie Gezondheidstechniek van de TU Delft deeltjestellingen uitgevoerd met een MetOne-deeltjester met een bereik van 2,0 tot 750 μm voor zowel het influent (vóór PE-dosering) als het overloopwater van de voorbezinktanks.

De resultaten van de deeltjesanalyse zijn beschreven in bijlage II.

4

RESULTATEN

4.1 INLEIDING

Omdat voorondersteld wordt dat geavanceerde voorzuivering niet alleen invloed heeft op de voorbezinking maar op het gehele zuiverings- en slibverwerkingsproces, zijn de resultaten en aandachtspunten per onderdeel van het zuiveringsproces beschreven.

4.2 WERKING VOORBEZINKTANK

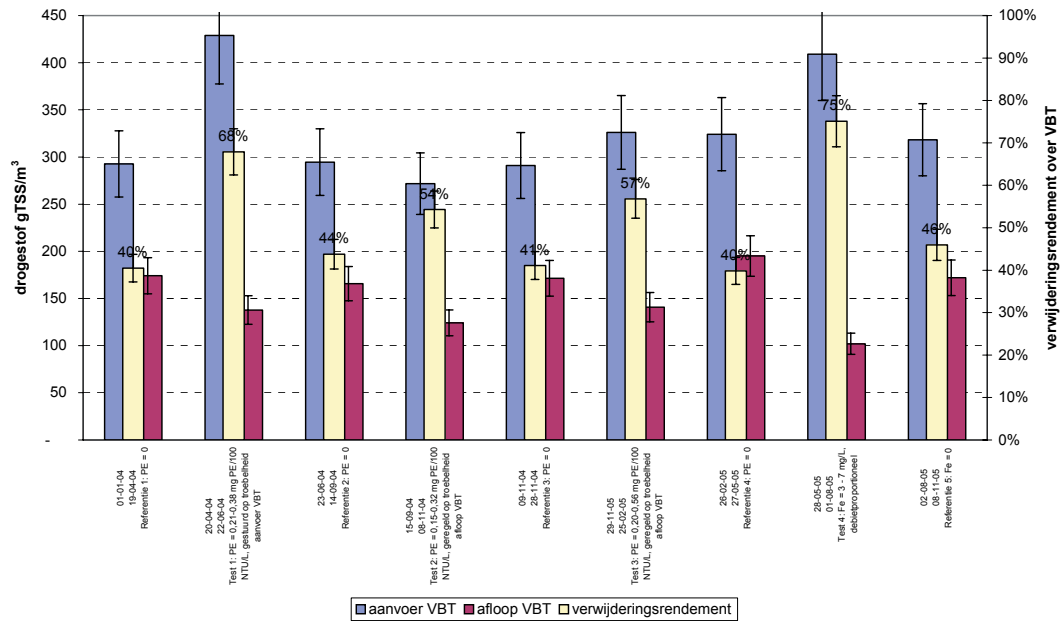
4.2.1 VERWIJDERINGSPRESTATIES VOORBEZINKTANK ALGEMEEN

In het algemeen namen de verwijderingsprestaties over de voorbezinktanks op het eerste gezicht niet spectaculair, maar wel structureel, toe ten tijde van PE-dosering en Fe^{3+} -dosering. De perioden met geavanceerde voorzuivering (met PE) vertoonden hogere verwijderingsprestaties voor met name organische stof en drogestof. Ook met metaalzoutdosering neemt de verwijdering van organische bestanddelen en drogestof duidelijk toe. Tevens neemt in deze testperiode de fosfaatverwijdering over de voorbezinktank toe door P-precipitatie.

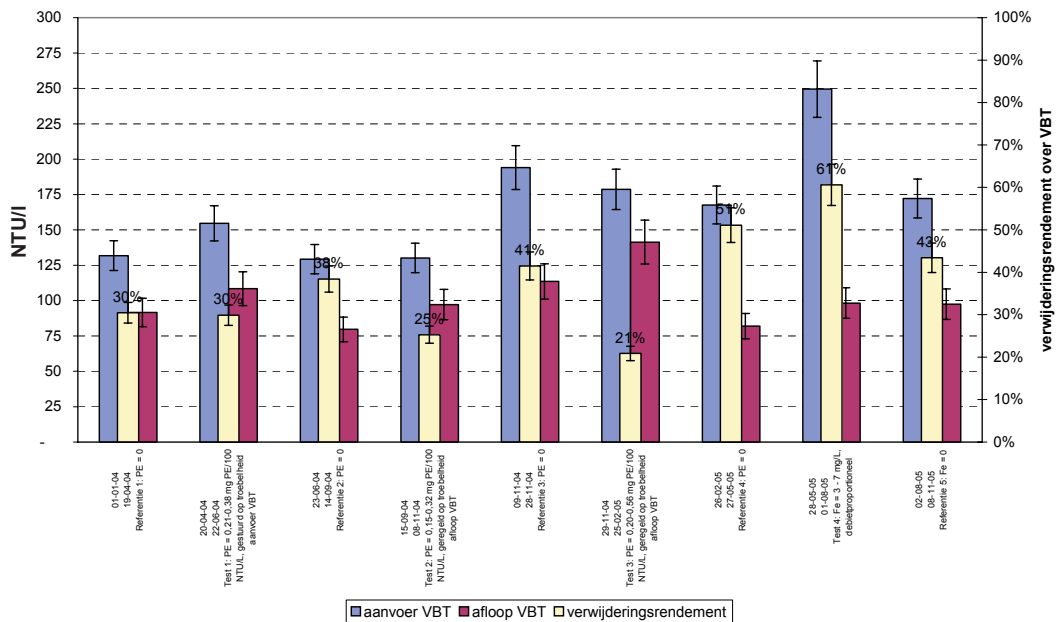
Voor bijvoorbeeld drogestof (waarvoor op basis van voorgaande testresultaten op lab- en pilotschaal een duidelijke verbetering in verwijding verwacht werd) zijn de concentraties in het overloopwater van de voorbezinking lager met dosering van PE en Me in vergelijking met perioden zonder dosering. Nog duidelijker en structureler neemt het verwijderingsrendement in de perioden met dosering toe in vergelijking met perioden zonder dosering. Voor troebelheid is het effect van geavanceerder voorzuivering op de verwijderingsprestatie minder duidelijk (zie Afbeelding 8, Afbeelding 9).

Vergelijking tussen geavanceerde voorzuivering met PE-dosering met chemische ondersteunde voorzuivering met metaalzout toont aan dat drogestof en troebelheid door Fe-dosering beter verwijderd worden dan met PE-dosering.

AFBEELDING 8 VERWIJDERING VAN DROGESTOF OVER DE VOORBEZINKTANKS PER FASE



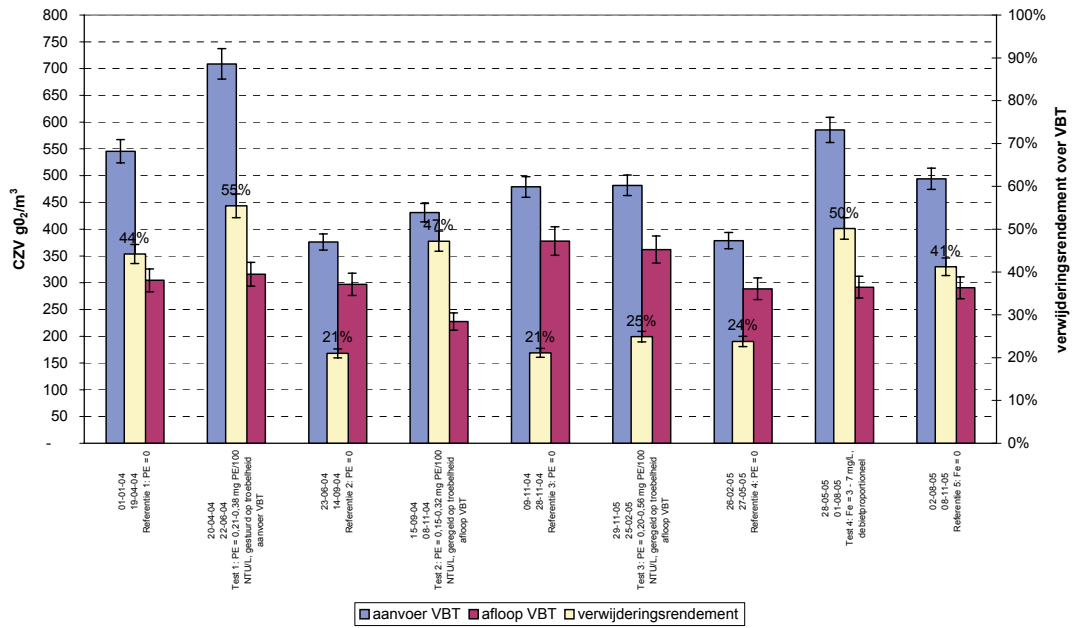
AFBEELDING 9 VERWIJDERING VAN TROEBELHEID OVER DE VOORBEZINKTANKS PER FASE



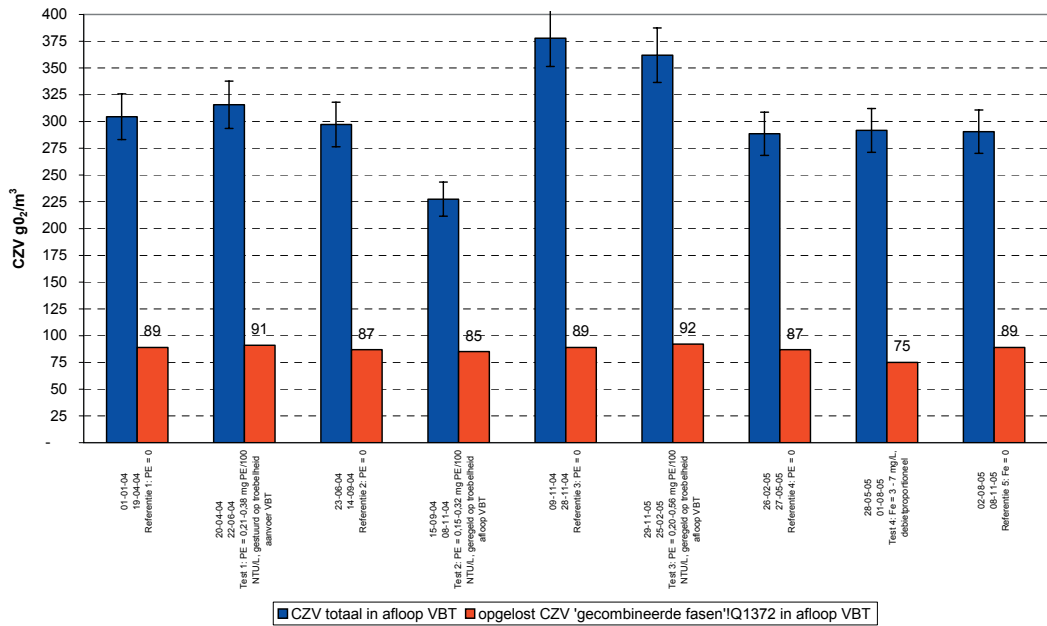
In vergelijking met troebelheid en drogestof is voor de testperioden met PE-dosering en Me-dosering CZV en BVZ een beperkte verlaging van de concentraties in het overloopwater van de voorbezinktanks waar te nemen. De verwijderingprestaties over de voorbezinktank zijn met zowel PE- als Me-dosering structureel beter in vergelijking met de perioden zonder dosering (zie Afbeelding 10 en Afbeelding 12).

Bij nadere beschouwing blijkt in de perioden met geavanceerde voorzuivering met PE-dosering de CZV-verwijdering over de voorbezinktank met 15% tot 20% in absolute zin toe te nemen, terwijl de BVZ-verwijdering met ongeveer 10% toeneemt (in vergelijking met de perioden zonder dosering). Met Fe³⁺-dosering neemt de CZV- én BVZ-verwijdering met ca.20% (absoluut) toe ten opzichte van de perioden zonder ijzerdosering.

AFBEELDING 10 VERWIJDERING VAN CZV OVER DE VOORBEZINKTANKS PER FASE

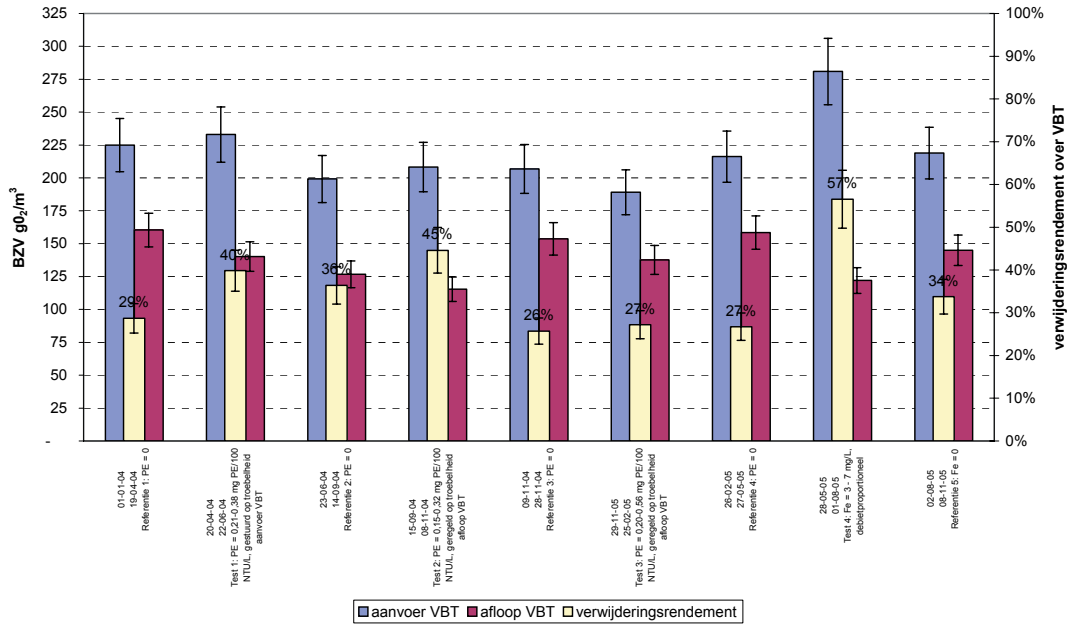


AFBEELDING 11 TOTAAL VERSUS OPGELOST CZV IN AFLOOP VOORBEZINKTANK



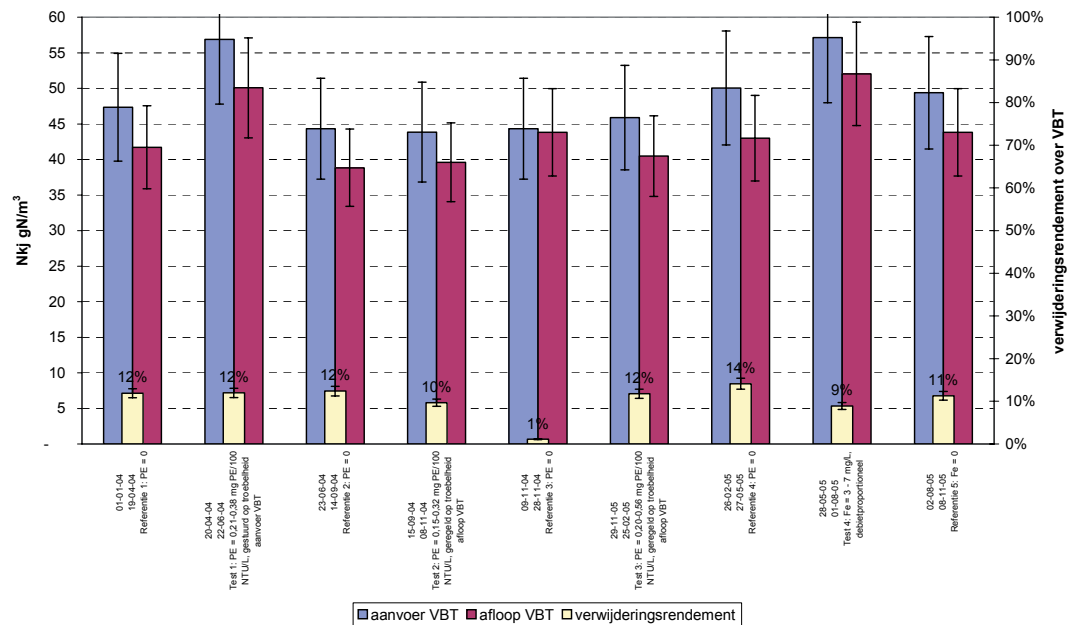
Het gehalte aan opgelost CZV in het overloopwater van de voorbezinktanks (zie Afbeelding 11) was in alle perioden met geavanceerde voorzuivering ongeveer gelijk met de referentieperioden. In de testperiode met ijzerdosering was het opgelost CZV, met gemiddeld 75 mg/l, lager dan in de overige testperioden.

AFBEELDING 12 VERWIJDERING VAN BVZ OVER DE VOORBEZINKTANKS PER FASE

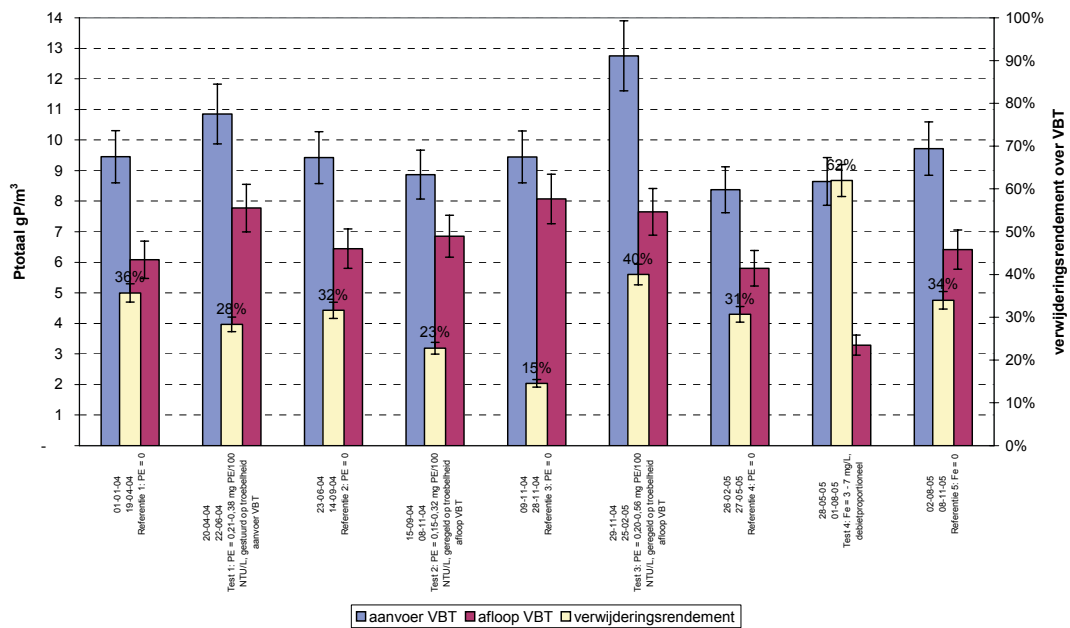


Stikstof en fosfaat werden met geavanceerde voorzuivering met PE-dosering, zoals verwacht, niet substantieel beter verwijderd dan zonder dosering. Door de Fe³⁺-dosering werd fosfaat in het overloopwater van de voorbezinktanks overwegend verlaagd tot minder dan 1,0 mg/l, waardoor simultane precipitatie in de AT's niet meer of minder nodig was. Stikstof werd door de ijzerdosering niet beter verwijderd dan zonder dosering.

AFBEELDING 13 VERWIJDERING VAN STIKSTOF (N_{KJELDHAL}) OVER DE VOORBEZINKTANKS PER FASE



AFBEELDING 14 VERWIJDERING VAN TOTAALFOSFAAT OVER DE VOORBEZINKTANKS PER FASE



4.2.2 PRESTATIE TIJDENS GEAVANCEERDE VOORZUIVERING MET PE-DOSERING

De verwijderingprestaties over de voorbezinktank met PE-dosering voor met name de parameters droogrest, CZV en BZV bleken niet spectaculair maar wel significant te zijn. Zoals in Tabel 6 en Afbeelding 15 weergegeven is op basis van de gemiddelde verwijderingrendementen over de voorbezinktanks per onderzoeksperiode een duidelijke verbetering van de verwijdering van droogrest, CZV en BZV met oplopende PE-dosering aangetoond. Opvallend is naast de verhoging van het verwijderingsrendement de stabielere werking van de voorbezinktank met PE-dosering. Het overloopwater was van een duidelijk constantere kwaliteit met PE-dosering dan zonder PE-dosering (zie grote spreiding in verwijderingrendementen zonder dosering en zeer beperkte spreiding met PE-dosering in Tabel 6)

TABEL 6 GEMIDDELDE VERWIJDERINGSPRESTATIES (MET STANDAARDDEVIATIE) OVER EEN PROEPPERIODE PER PE-DOSERING OP BASIS VAN 224 MEETDAGEN

PE-dosering (mg actief PE/100 NTU/l)	0	0,20	0,30	0,41	0,48	0,56
gemiddelde verwijdering DS	49%±22%	64%±10%	73%±9%	81%±6%	80%±5%	86%±6%
gemiddelde verwijdering BZV ₅	31%±26%	43%±9%	53%±8%	57%±6%	55%±7%	59%±7%
gemiddelde verwijdering CZV	44%±19%	52%±8%	54%±8%	58%±8%	57%±9%	62%±8%
gemiddelde verwijdering N _{kjeldah}	15%±5%	19%±8%	18%±6%	18%±5%	19%±6%	18%±5%
gemiddelde verwijdering P _{totaal}	38%±14%	43%±10%	47%±9%	56%±10%	53%±7%	57%±5%
BZV/N in overloopwater VBT	3,7	3,2	2,6	2,4	2,6	2,3

De verwijdering van droogrest steeg structureel van gemiddelde 50% zonder PE-dosering naar gemiddeld 80% bij een PE-dosering van 0,41 tot 0,48 mg actief PE/100 NTU/l. Met een dosering van 0,56 mg actief PE/100 NTU/l werd zelfs een verwijdering van rond 85% behaald.

Voor CZV steeg het gemiddelde verwijderingsrendement over de voorbezinktank van 45% zonder dosering naar bijna 60% met dosering van 0,41 tot 0,56 mg actief PE/100 NTU/l.

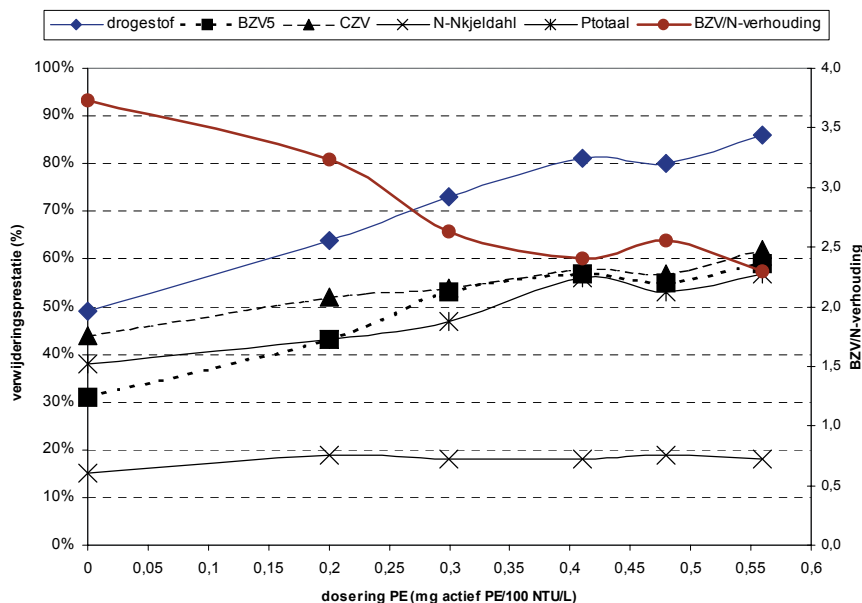
De verwijdering van BZV steeg van gemiddeld 32% zonder PE-dosering naar gemiddeld circa 55% bij dosering van 0,41 en 60% bij 0,56 mg actief PE/100 NTU/l.

Conform de bevindingen uit eerder onderzoek [8, 9, 10] wordt door vergaande voorzuivering met PE-dosering nauwelijks extra stikstof verwijderd, aangezien het overgrote deel van stikstof in het influent in opgeloste vorm als ammonium aanwezig is.

De fosfaatverwijdering nam toe van een al hoog gemiddelde van 38% zonder dosering naar gemiddeld circa 55% met een PE-dosering van boven de 0,41 mg actief PE/100 NTU/l. Door alleen PE te doseren wordt alleen aan deeltjes gerelateerd fosfaat over de voorbezinktanks verwijderd, precipitatie van fosfaat vindt hierbij niet plaats.

Na beëindiging van de PE-dosering daalde het verwijderingsrendement over de voorbezinktank voor alle parameters weer tot het niveau van vóór de PE-dosering in de referentieperiode. De daling van de verwijderingsprestaties volgde direct, zonder een duidelijk najleffect, op het stopzetten van de PE-dosering. Ook werd de spreiding in de verwijderingsprestaties van de voorbezinktanks na beëindiging van de PE-dosering weer aanzienlijk groter.

AFBEELDING 15 GEMIDDELDE VERWIJDERINGRENDEMENTEN PER ONDERZOEKSPERIODE MET VERSCHILLENDE PE-DOSERINGEN (CONFORM TABEL 6 OP BASIS VAN 224 MEETDAGEN)



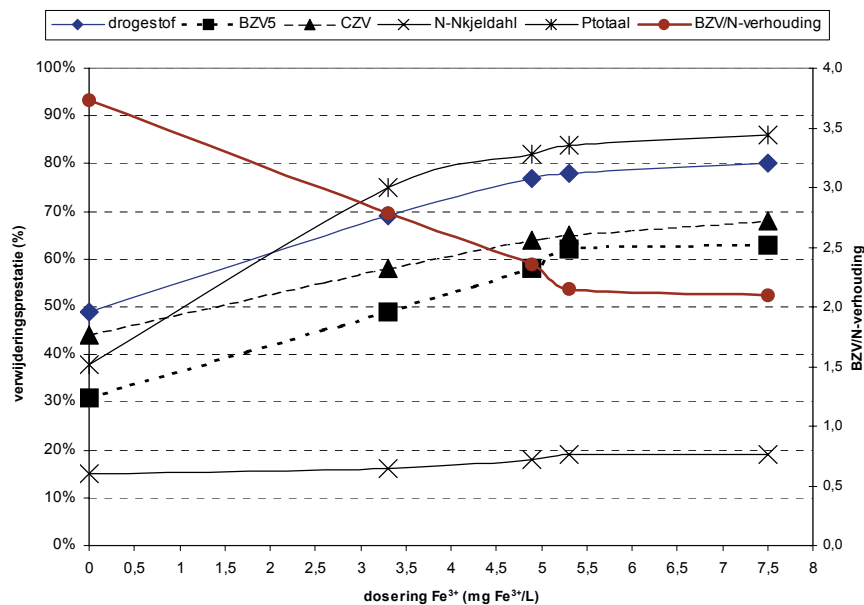
4.2.3 PRESTATIES TIJDENS CHEMISCH ONDERSTEUNDE VOORZUIVERING METAALZOUTDOSERING

Met de dosering van metaalzout op de voorbezinktanks stegen de verwijderingsprestaties voor drogestof (80%) en fosfaat (tot ca. 85% door precipitatie) over de voorbezinktank. Reeds met lage ME/P-verhoudingen (0,2 - 0,3 mol Me/mol P) werd meer dan 80% P-verwijdering gerealiseerd over de voorbezinktank. BZV werd duidelijk verder verwijderd over de voorbezinking met Fe^{3+} -dosering dan in de referentiesituatie en tijdens PE-dosering. Het effect op de stikstofverwijdering is met metaalzoutdosering nihil. Hierdoor daalt de BZV/N-verhouding van ruim 3,4 naar ca. 2 bij een dosering van 5,5 mg Me/l. Boven een dosering van 5,5 mg Me/l vlakken de rendementcurven af. Een hogere metaalzoutdosering blijkt wel de spreiding in de verwijderingsrendementen te verlagen. Dit wijst, net zoals bij de PE-dosering, op een stabielere samenstelling van het afloopwater van voorbezinktank.

TABEL 7 GEMIDDELDE VERWIJDERINGSPRESTATIES (MET STANDAARDDEVIATIE) OVER EEN PROEFPERIODE ER Fe^{3+} -DOSERING OP BASIS VAN 38 MEETDAGEN

Fe-dosering (mg Fe^{3+} /l)	0	3,30	4,90	5,30	7,50
gemiddelde verwijdering DS	49%±22%	69%±15%	77%±9%	78%±5%	80%±4%
gemiddelde verwijdering BZV ₅	31%±26%	49%±12%	58%±8%	62%±6%	63%±4%
gemiddelde verwijdering CZV	44%±19%	58%±13%	64%±9%	65%±5%	68%±5%
gemiddelde verwijdering N _{kjeldahl}	15%±5%	16%±5%	18%±7%	19%±4%	19%±4%
gemiddelde verwijdering P _{totaal}	38%±14%	75%±10%	82%±8%	84%±2%	86%±2%
BZV/N in overloopwater VBT	3,7	2,8	2,4	2,2	2,1

AFBEELDING 17 GEMIDDELDE VERWIJDERINGRENDEMENTEN PER ONDERZOEKSPERIODE MET VERSCHILLENDE Fe^{3+} -DOSERINGEN (CONFORM TABEL 7 OP BASIS VAN 38 MEETDAGEN)



4.3 EFFECTEN OP HET ACTIEF-SLIBSYSTEEM

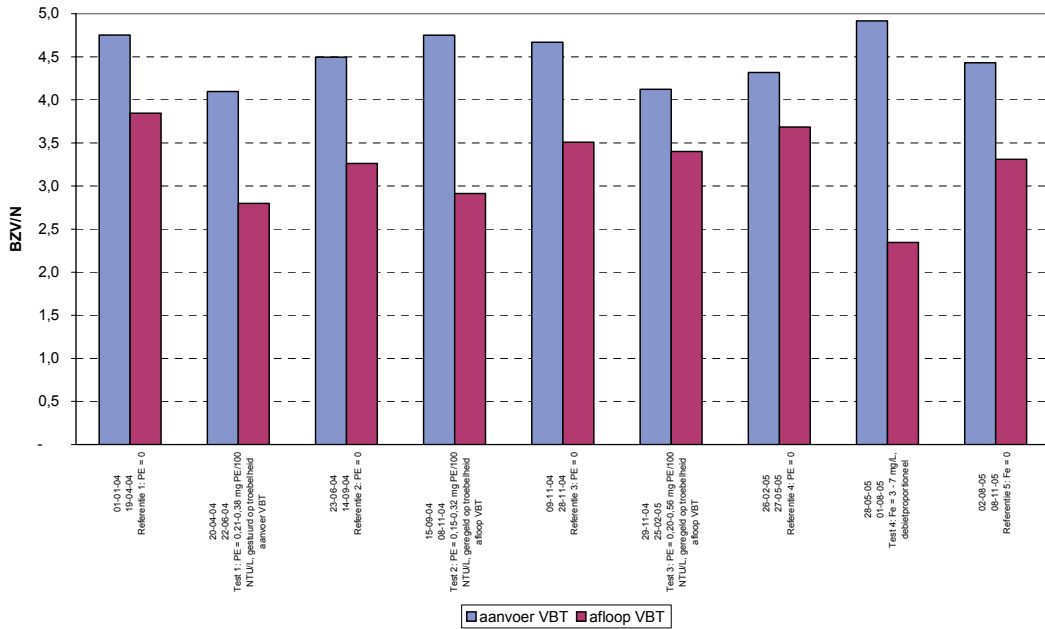
Het actief-slibproces verliep tijdens de testperiode met PE- en Fe-dosering zonder noemenswaardige problemen. Problemen met verwijderingsprestaties voor organische stof en nutriënten en knelpunten met de slibvolume-index zijn niet opgetreden gedurende de verschillende testperioden.

Alhoewel een structurele verlaging van de BZV/N-verhouding in het overloopwater van de voorbezinktanks is vastgesteld door toedoen van geavanceerde voorzuivering is deze nooit kritisch geweest voor denitrificatie. Ten opzichte van de bedrijfsvoering zonder chemicaliëndosering op de voorbezinktank is de BZV/N-verhouding na PE-dosering nauwelijks lager, terwijl bij de Fe^{3+} -dosering de BZV/N aantoonbaar lager ligt (zie Afbeelding 17). Ten tijde van Fe-dosering zijn dan ook hogere nitraatconcentraties in het effluent gemeten in vergelijking met de situatie zonder dosering of met PE-dosering. Overwegend verliep de totale stikstofverwijdering overigens goed gedurende alle testperioden.

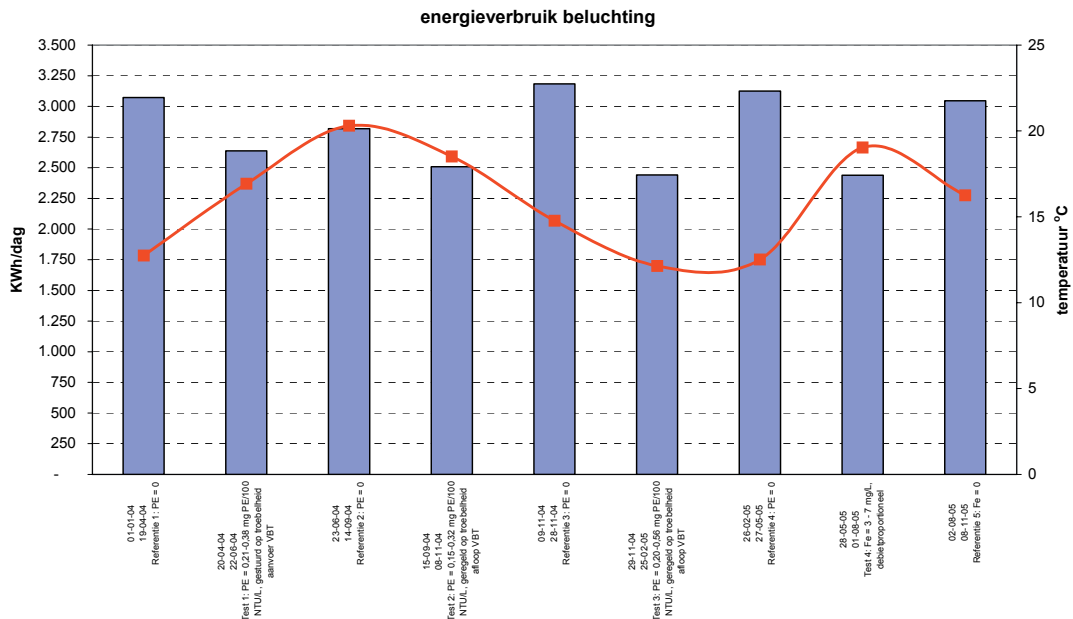
In het algemeen was de bedrijfsvoering van het actief-slibstelsel ten tijde van de PE-dosering meer constant dan zonder PE-dosering. Zo is bijvoorbeeld de vereiste beluchtingcapaciteit van de AT's zeer constant van aard. Op basis van de gegevens in Afbeelding 18 is een afname

in de zuurstofvraag door PE- en Fe-dosering aantoonbaar. Het energieverbruik voor de beluchting lag in de geanalyseerde testperioden met geavanceerde voorzuivering structureel ca. 10% lager dan zonder vergaande voorzuivering.

AFBEELDING 17 BZV/N-VERHOUDING IN AANVOER EN AFLOOP VAN DE VOORBEZINKTANKS

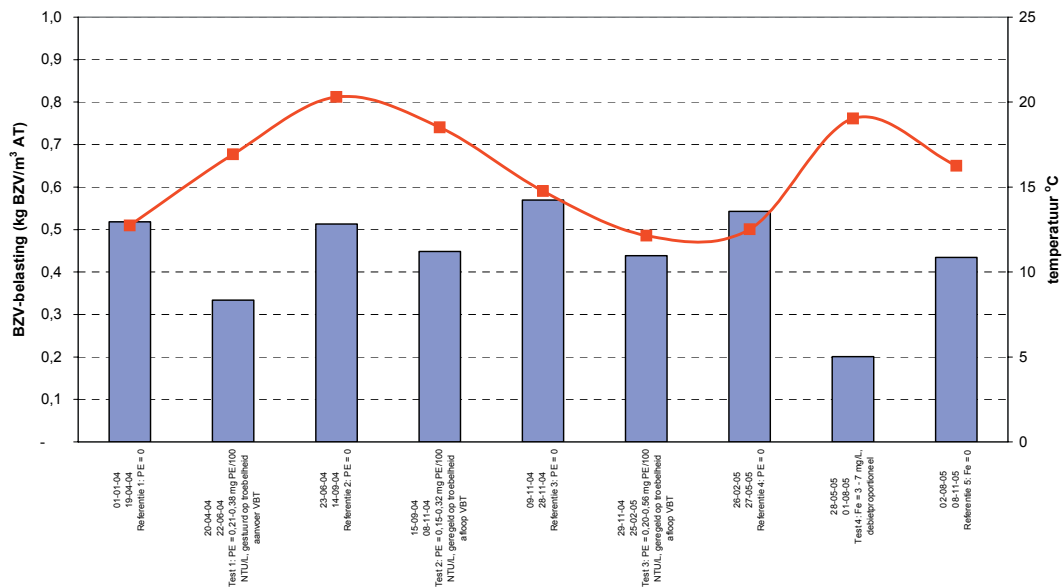


AFBEELDING 18 ENERGIEVERBRUIK VAN DE BELUCHTING ALS INDICATIE VOOR DE ZUURSTOFVRAAG PER FASE

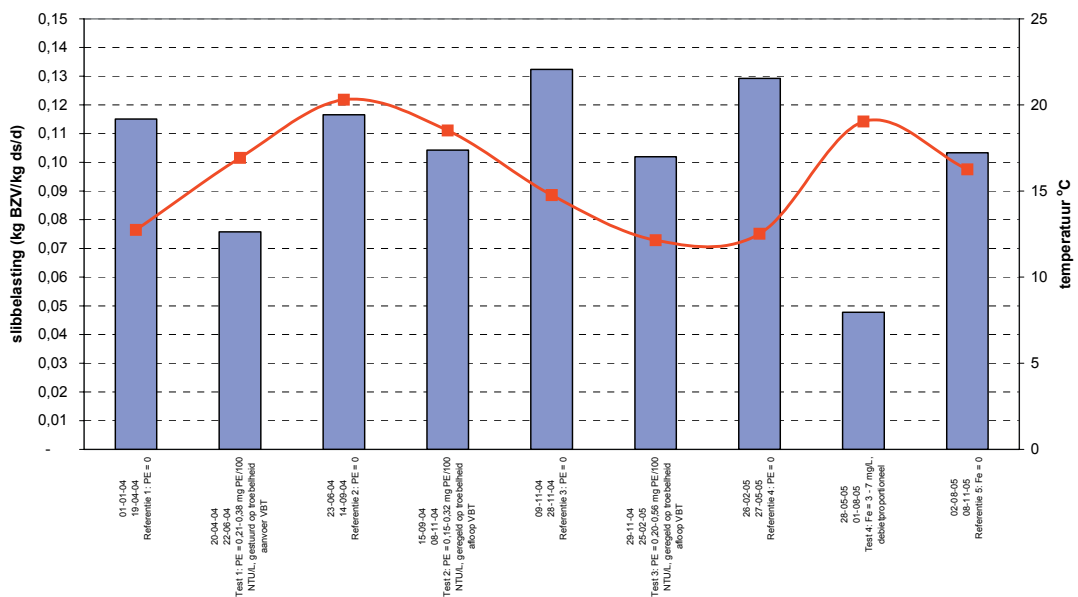


De gemiddelde BZV-belasting van de AT's is per testperiode berekend en weergegeven in Afbeelding 19. In de grafiek is duidelijk de verlaging van de BZV-belasting van de AT's door toedoen van geavanceerde voorzuivering waar te nemen. Door chemisch ondersteunde voorzuivering met metaalzout daalde de BZV-belasting tot 0,2 kg BZV/m³ AT. Met name door verandering van de BZV-belasting varieerde ook de slibbelasting in de AT's per testperiode (zie Afbeelding 20).

AFBEELDING 19 GEMIDDELDE BEREKENE BZV-BELASTING IN AT'S PER FASE



AFBEELDING 20 GEMIDDELDE BEREKENE SLIBBELASTING IN AT'S PER FASE



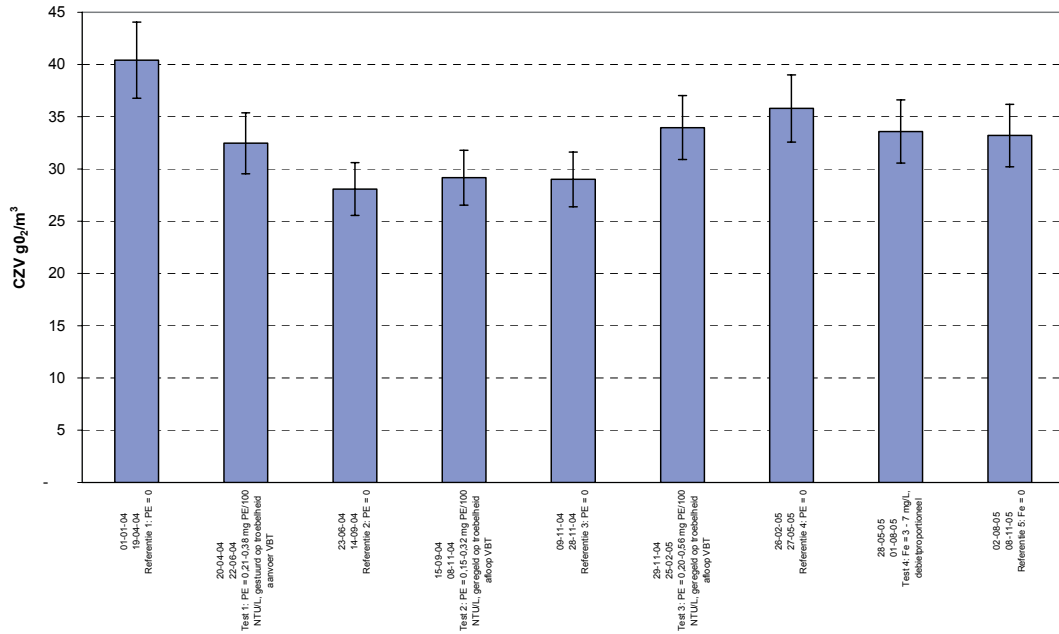
4.4 EFFECTEN OP DE EFFLUENTKWALITEIT

4.4.1 ALGEMEEN

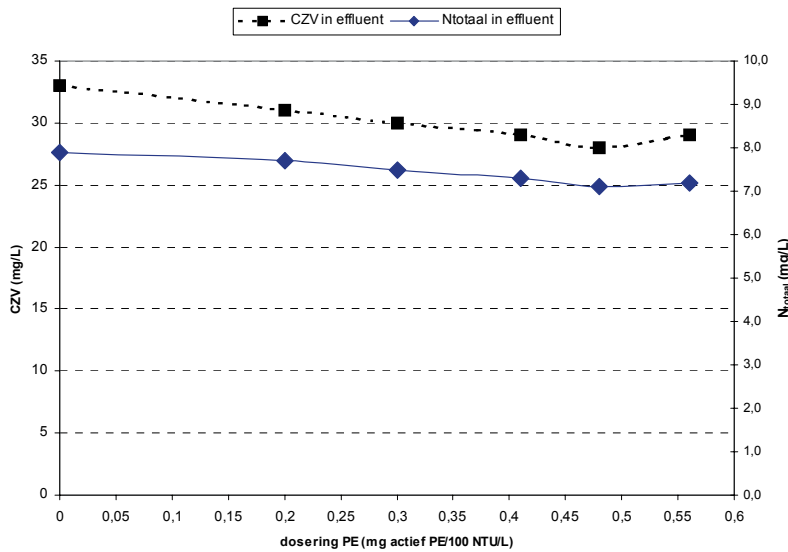
De effluentkwaliteit was gedurende de gehele proefperiode dermate goed dat de wettelijk verplichte eisen ($P = 1 \text{ mg/l}$ en $N = 10 \text{ mg/l}$) werden behaald ongeacht toepassing en het type dosering. Ten opzichte van het voorgaande jaar zonder PE-dosering, waarin de omstandigheden (droog en warm weer) voor stikstofverwijdering ideaal waren, is de effluentkwaliteit met PE-dosering beter.

De BZV- en CZV-verwijdering in het actief-slibstelsysteem verliep uitstekend tijdens zowel de PE-dosering als de Fe³⁺-dosering. Ook het CZV-gehalte in het effluent werd beïnvloed door de PE- en de Fe-dosering, al is per periode dit niet heel duidelijk waarneembaar in Afbeelding 21 (PE-dosering) en Afbeelding 23 (Fe-dosering). Uitzetting van het CZV-gehalte in het effluent tegen de PE-dosering (zie Afbeelding 22) presenteert een bevinding aan die ook eerder in STOWA-verband [8, 9, 11 en 13] is aangetoond en wordt bevestigd door Lurie en Rebun [14]; door PE-dosering op de voorbezinktanks wordt een CZV-fractie verwijderd die zonder dosering door het actief-slib en de nabezinktanks zouden spoelen. Temperatuursinvloeden zijn hierbij niet aangetoond.

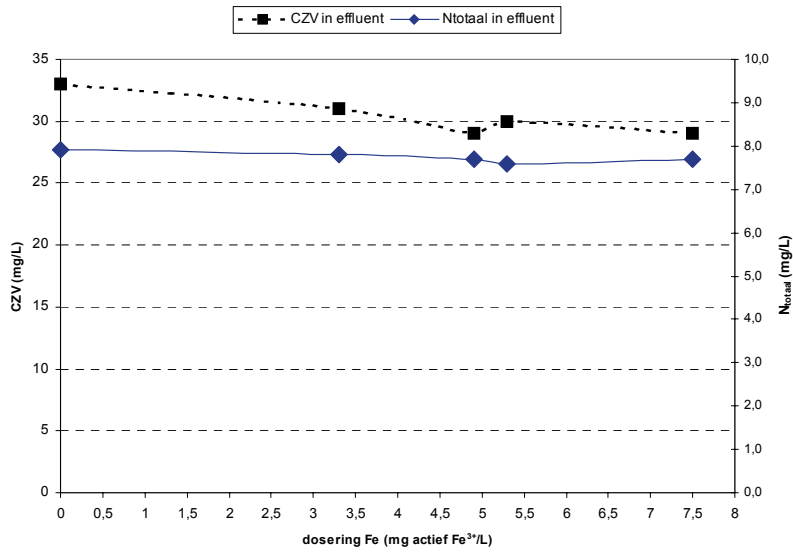
AFBEELDING 21 CZV IN HET EFFLUENT PER FASE



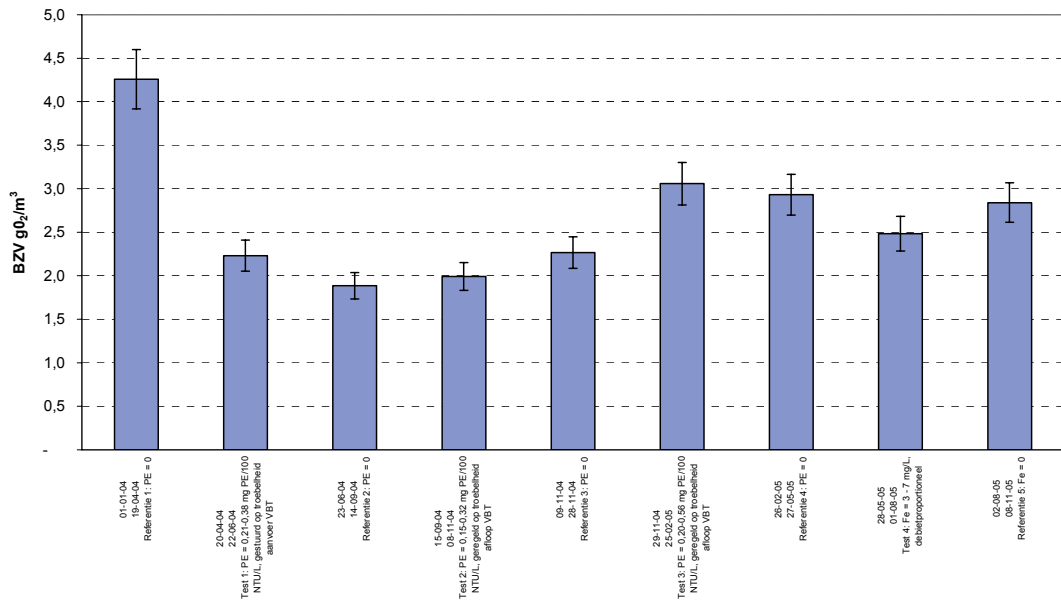
AFBEELDING 22 CZV EN N IN HET EFFLUENT AFHANKELIJK VAN PE-DOSERING



AFBEELDING 23 CZV EN N IN HET EFFLUENT AFHANKELIJK VAN FE-DOSERING

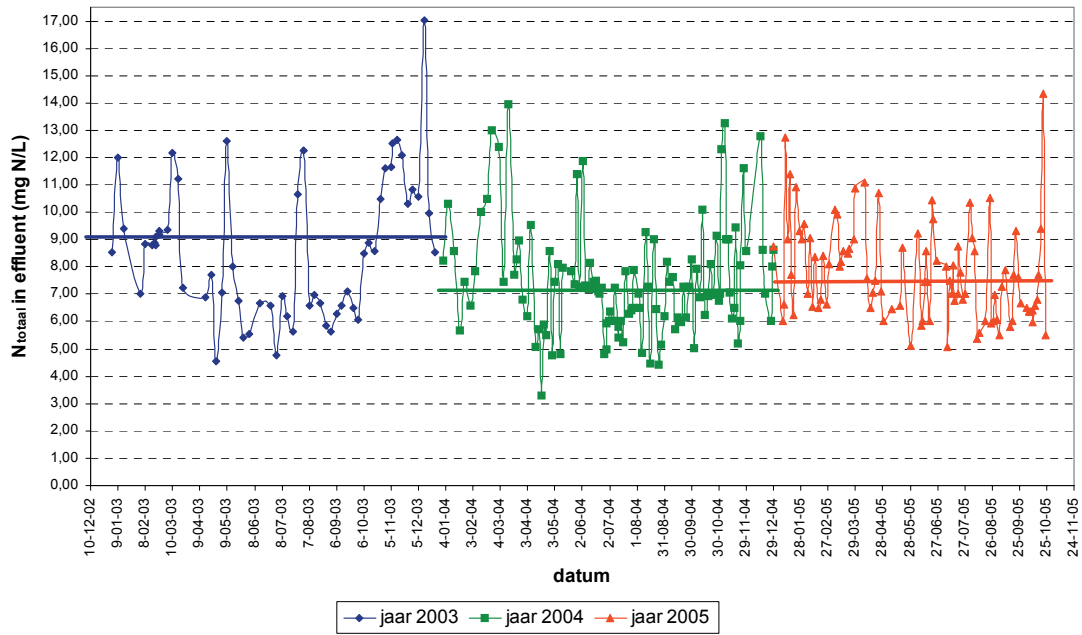


AFBEELDING 24 BZV IN HET EFFLUENT PER FASE



De belangrijkste en meest kritische parameter om de effluentkwaliteit te bepalen is voor de rwzi Amstelveen de N_{totaal} -concentratie. Als onderzoeksvoorwaarde is, conform de lozingseis, een maximale N_{totaal} -concentratie in het effluent van 10 mg/l gesteld. De jaargemiddelde verwijdering van stikstof is dan ook uitvoerig gemonitord en geanalyseerd (zie Afbeelding 25, Afbeelding 26 en Afbeelding 27). Om bij de analyse de temperatuursinvloed op de stikstofverwijdering over de periode te compenseren is tevens een vergelijking uitgevoerd met de effluentkwaliteit over dezelfde periode van het jaar 2003 zonder PE-dosering. Daarbij moet wel bedacht worden dat het jaar 2003 door zijn droge en warme karakter relatief gunstig was voor stikstofverwijdering. In vergelijking met de referentieperiode 2003 was de stikstofverwijdering in het systeem ten tijde van testperioden 2004 en 2005 beter. In de loop van de testperiode met PE-dosering nam de concentratie van stikstof in het effluent geleidelijk af tot een redelijk constant gemiddelde waarde van 7,2 mg N/l in 2004 en 7,4 in 2005 (zelfde periode 2003 gemiddeld: 9,2 mg N/l).

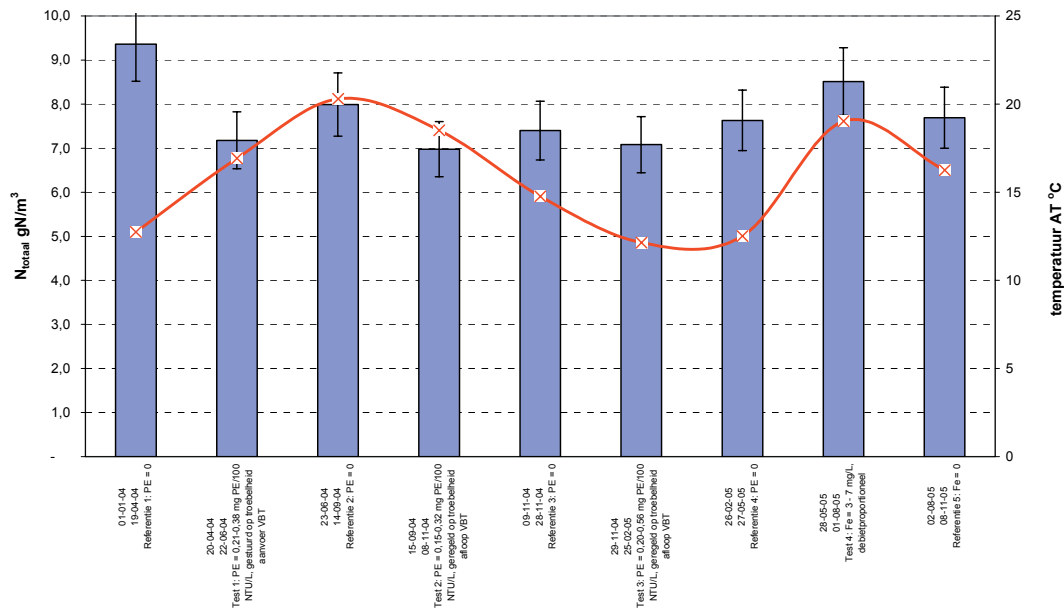
AFBEELDING 25 TOTAALSTIKSTOF IN EFFLUENT IN 2003, 2004 EN 2005



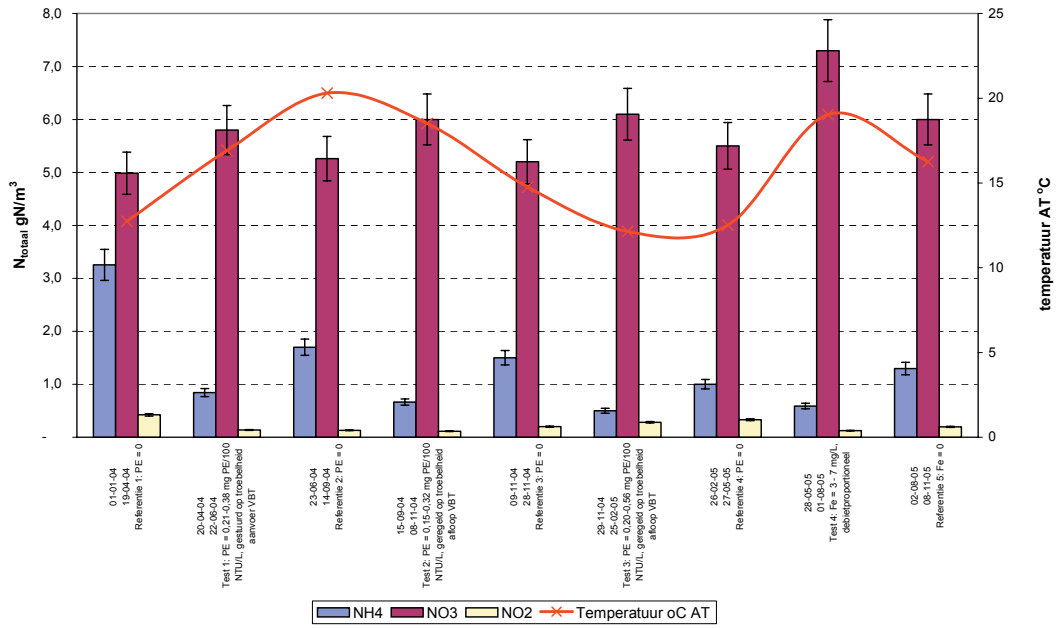
Met uitzondering van de periode met ijzerzoutdosering waren de stikstofconcentraties voor alle onderzoeksperioden ongeveer gelijk. Met de ijzerdosering nam de verwijdering van BZV over de voorbezinktank toe en daalde de BZV/N-verhouding. Hierdoor zou de denitrificatie belemmerd kunnen worden met als gevolg hogere waarden voor stikstof in het effluent.

Voor fosfaat in het effluent is geen aantoonbare relatie met het type en de dosering chemicaliën op de voorbezinktanks waargenomen (zie Afbeelding 28). Dit geldt slechts voor de rwzi Amstelveen met simultane precipitatie.

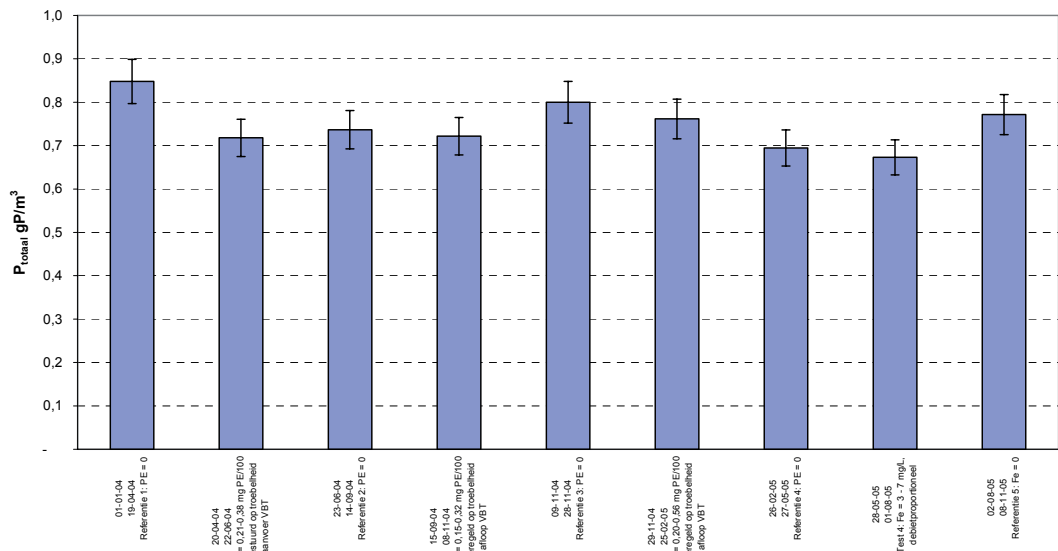
AFBEELDING 26 TOTAALSTIKSTOF IN EFFLUENT



AFBEELDING 27 STIKSTOFCOMPONENTEN IN EFFLUENT



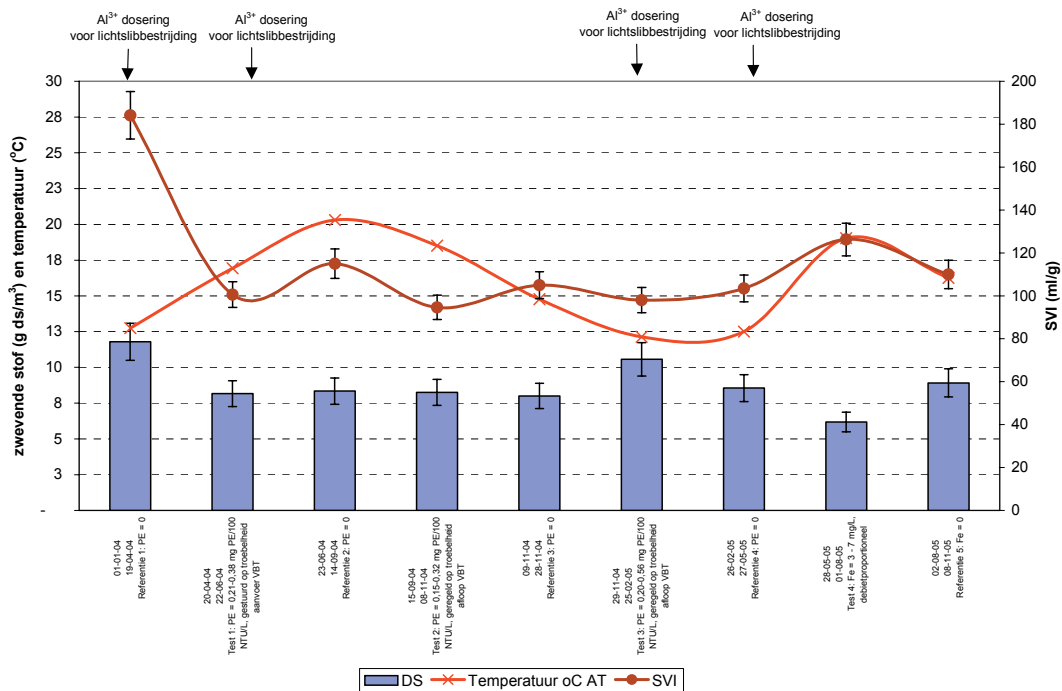
AFBEELDING 28 TOTAALFOSFAAT IN EFFLUENT



4.4.2 EFFECTEN OP WERKING NABEZINKTANKS

De SVI werd niet nadelig beïnvloed door de toepassing van geavanceerde voorzuivering. Uit de SVI-lijn in Afbeelding 29 is alleen op te maken dat de SVI in de eerste referentieperiode (seizoensgerelateerd) hoog was en alleen tijdens de ijzerdosering boven een SVI van 120 ml/g kwam. Het drogestofgehalte in het effluent was met uitzondering van de eerste referentieperiode laag met waarden onder de 10 mg/l.

AFBEELDING 29 DROGESTOF IN EFFLUENT VAN DE EN HET VERLOOP VAN DE SVI



4.4.3 CONTROLE EFFECTEN OP EFFLUENTKwalITEIT DOOR CORRELATIEANALYSE

Uit de statistische correlatieberekeningen (zie bijlage V) volgt voor de behaalde testresultaten een significante correlatie tussen dosering en (directe) effecten (de verwijderingsprestaties van CZV) op de voorbezinktank.

DETAILEFFECTEN DOOR PE-DOSERING OP STIKSTOFVERWIJDERING

De effecten van de PE-dosering op de concentraties ammonium en nitraat in het effluent zijn nader beschouwd op basis van uurgemiddelden van online-data (meting ééns per twee minuten). Op basis van deze reeksen is tevens een correlatieanalyse uitgevoerd.

Uit de trendanalyse blijkt dat het ammoniumgehalte daalt en het nitraatgehalte in het effluent stijgt bij toenemende PE-dosering (zie bijlage V). Een duidelijk verband tussen de hoogte van de PE-dosering en de concentratie aan ammonium en nitraat in het effluent is op basis van de meetreeksen en de correlatieanalyse echter niet vastgesteld.

DETAILEFFECTEN DOOR Fe³⁺-DOSERING OP STIKSTOFVERWIJDERING

De effecten van de Fe³⁺-dosering op de concentraties ammonium en nitraat in het effluent zijn nader beschouwd op basis van uurgemiddelden van online-data (meting ééns per minuut). Op basis van deze reeksen is een tweede correlatieanalyse uitgevoerd.

Net zoals bij de PE-dosering blijkt uit de trendanalyse dat het ammoniumgehalte daalt en het nitraatgehalte in het effluent stijgt bij toenemende Fe³⁺-dosering (zie bijlage V). Een duidelijk verband tussen de hoogte van de PE-dosering en de concentratie aan ammonium en nitraat in het effluent is op basis van de meetreeksen en de correlatieanalyse echter niet vastgesteld.

In de correlatieanalyse is een significante relatie vastgesteld tussen dosering en CZV-verwijdering in het effluent. Er is geen significante correlatie gevonden tussen dosering en de gehalten aan ammonium, nitraat en fosfaat in het effluent. Dit impliceert dat ongeacht de aanpassingen in de voorzuivering de stikstof- en fosfaatverwijdering niet negatief wordt beïnvloed.

4.5 EFFECTEN OP DE SLIBVERWERKING

4.5.1 ALGEMEEN

Toepassing van vergaande voorzuivering heeft niet alleen invloed op de werking van de waterlijn maar heeft ook effect op sliblijn.

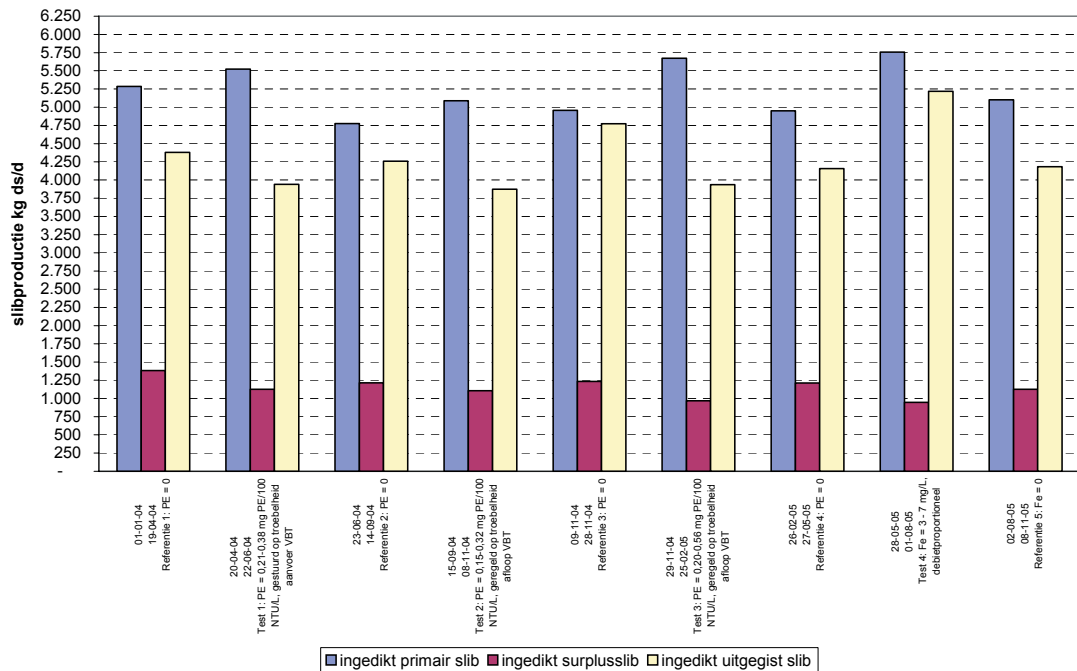
Door de verdergaande deeltjes- en vlokverwijdering in de voorbezinktanks wordt verondersteld dat de primair-slibproductie toeneemt. Doordat door de vergaande voorzuivering een lagere vuillast naar het actief-slibstelsel wordt gevoerd, zal de surplusslibproductie afnemen.

Door de toevoeging van PE aan het influent kan het indik- en ontwateringsgedrag van met name het primair slib verbeteren.

4.5.2 SLIBPRODUCTIES

Uit de monitoring van de primair- en surplusslibproductie is de op basis van theoretische berekeningen verwachte verandering in de slibproductie naar voren gekomen door toedoen van de PE- en/of Me-dosering (zie Afbeelding 30). Met geavanceerde voorzuivering neemt de primair-slibproductie (in kg drogestof per dag) toe terwijl de surplus-slibproductie enigszins afneemt. Opvallend is ook de constantere slibproductie ten tijde van de PE-dosering ten opzichte van de slibproductie in de periode vóór de PE-dosering. Doordat de gisting hydraulisch minder zwaar belast werd ten tijde van de PE-dosering (door betere indikbaarheid van het primair slib) nam de ontwaterdslibproductie in kg ds/d met circa 10% af ten opzichte van de referentieperioden door toepassing van geavanceerde voorzuivering. Door chemisch ondersteunde voorzuivering met Fe-dosering nam de ontwaterdslibproductie op drogestofbasis met ongeveer 20% toe ten opzichte van de referentieperiode.

AFBEELDING 30 SLIBPRODUCTIE PER FASE



4.5.3 SLIBINDIKKING

De indikbaarheid van het primair slib verbetert duidelijk door toevoeging van PE op de voorbezinktanks.

Met Fe-dosering neemt indikbaarheid van het primair slib sterk af. Hierdoor gaat dunner (en dus meer) slib naar de gisting, die daardoor hydraulisch overbelast raakt.

4.5.4 SLIBGISTING

Het gistingsproces verliep tijdens PE-dosering gemakkelijker doordat door de betere indikbaarheid een kleinere primair-slibstroom naar de gisting gepompt werd en daardoor de verblijftijd in de gisting langer was. Dit uitte zich echter niet in hogere afbraakpercentages of een hogere biogasproductie (zie ook paragraaf 4.6.4).

4.5.5 SLIBONTWATERING

Effecten op de bedrijfsvoering van de slibontwatering in de filterpers door dosering op de voorbezinking zijn niet waargenomen.

4.6 BEDRIJFSVOERINGSTECHNISCHE ASPECTEN

4.6.1 DRIJFLAAG

Bij de opstart van de PE-dosering in het verdeelwerk ontstond een geringe drijfslag op de voorbezinktanks (zie Afbeelding 31). De vorming van de drijfslagen op de voorbezinktanks leverde geen bedrijfsvoeringstechnische aspecten op. De drijfslag nam af na verlaging of beëindiging van de PE-dosering.

AFBEELDING 31 DRIJFLAAG OP DE VOORBEZINKTANK TIJDENS PE-DOSERING



Uit bekersglasproeven op locatie uitgevoerd bleek de vlokvorming met het afvalwater uit het verdeelwerk goed te verlopen, maar floteerde circa éénderde van de gevormde vlokken terwijl tweederde van de vlokken bezonk. In de praktijksituatie was het inmengen van het PE in de turbulente overlaat in het verdeelwerk niet ideaal. Naast een ongecontroleerde verdeling en menging kan luchtinslag plaatsvinden waardoor luchtbelletjes in de PE-vlok kunnen worden opgenomen zodat de vlok opdrijft in plaats van bezinkt. Onder laboratoriumomstandigheden in bekersglasexperimenten wordt dit verschijnsel ook waargenomen bij een

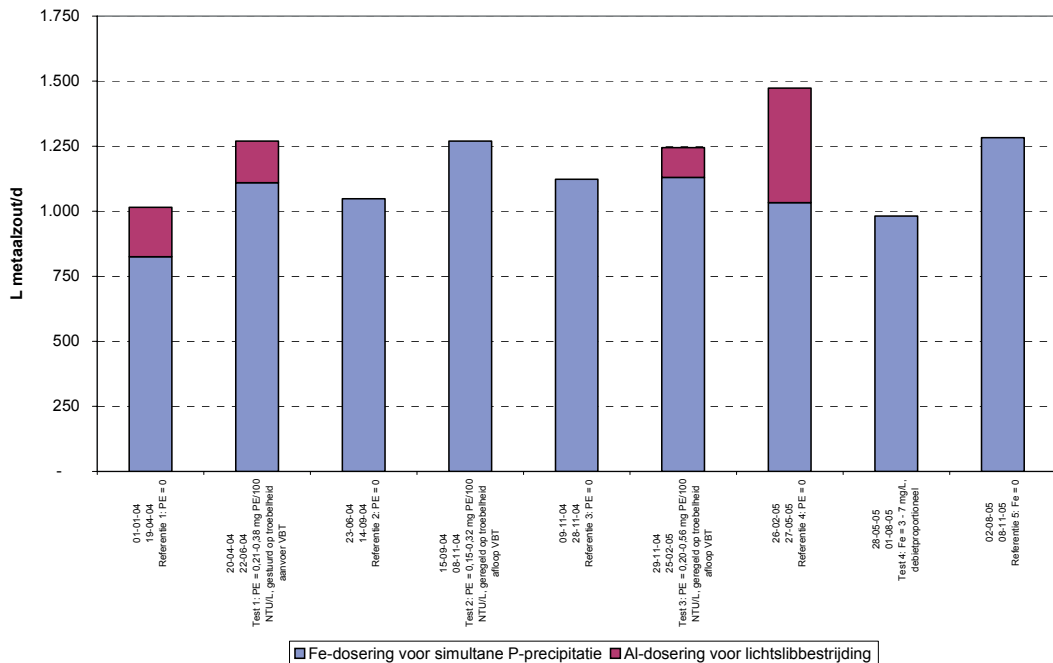
te intensieve menging (met luchtinslag) [8]. Door de luchtbelletjes in de PE-vlokken stijgt een deel van de vlokken op in plaats dat bezinking optreedt. De opstijgende vlokken vormen de drijfslagen op de tanks. De drijfslagruimers en de -afvoerput op de rwzi Amstelveen bleken voldoende capaciteit te hebben om de lagen effectief te verwijderen. Naast het minder fraaie visuele effect, blijken de gevormde drijfslagen geen nadelige gevolgen op de bedrijfsvoering van de rwzi te hebben gehad. Voorkomen van drijfslagvorming door PE-dosering kan door optimale dosering (overdosering voorkomen) en dosering in turbulente leiding zonder luchtinslag. Na aanpassing van de doseervoorziening en de sturing werden geen drijfslagen meer waargenomen.

Ten tijde van de ijzerdosering op de voorbezinktank zijn geen drijfslagen waargenomen.

4.6.2 SIMULTANE METAALZOUTDOSERING

Ten tijde van de PE-dosering is vanuit de bedrijfsvoering aangegeven dat het verbruik aan metaalzout voor simultane P-verwijdering (vraaggestuurde Me-dosering op fosfaatgehalte in het effluent) steeg. In Afbeelding 32 is het verbruik van metaalzouten (Fe^{3+} voor simultane P-precipitatie en Al^{3+} voor lichtslibbestrijding) in de AT's weergegeven. Het vermoeden van de bedrijfsvoering wordt hiermee bevestigd: tijdens PE-dosering werd duidelijk meer metaalzout gedoseerd op de AT. Verondersteld wordt dat door de lagere slibbelasting in het actiefslibproces door vergaande voorzuivering de P-opslag in het actiefslib verlaagd wordt. Uitgaande van een theoretische biologische P-opslag van 2% in slib kan de vermindering in slibhoeveelheid in de AT door geavanceerde voorbehandeling bijdragen aan de verminderde natuurlijke P-verwijdering en de toename in simultane metaalzoutdosering. Nader onderzoek moet uitwijzen welke processen dit verschijnsel veroorzaken.

AFBEELDING 32 METAALZOUTDOSERING OP AT VOOR SIMULTANE FOSFAATVERWIJDERING (Fe^{3+}) EN LICHTSLIBBESTRIJDING (Al^{3+})



4.6.3 BIOGASPRODUCTIE EN ENERGIEHUISHOUDING

Doordat PE- en Fe³⁺-dosering op de voorbezinktanks de balans aan organischestof over de zuivering kan veranderen, is een mogelijk gevolg een verandering in energiehuishouding over de zuivering.

Tevens kan de biogasproductie stijgen doordat meer organisch materiaal met de primairslibstroom naar de gisting wordt gevoerd en doordat de verblijftijden in de gisting langer zijn door betere (voor)indikking. Daarbij dient aangetekend te worden dat de gasmotor van 80 kW tussen begin oktober 2004 en half november 2004 vervangen is door een grotere gasmotor van 230 kW. Na de vervanging zijn de gemeten gasproducties betrouwbaar: de totale gasproductie bestaat uit verbruik door motor, verbruik door cv en spui.

4.6.4 SLIBAFZET EN VERWERKING

Doordat de gisting hydraulisch minder zwaar belast werd ten tijde van de PE-dosering (door betere indikbaarheid van het primair slib) nam de ontwaterdslibproductie met ca. 10% af en ten opzichte van de referentieperioden door toepassing van geavanceerde voorzuivering. Door chemisch ondersteunde voorzuivering met Fe-dosering nam de ontwaterdslibproductie met ca. 20% toe ten opzichte van de referentieperiode (zie Afbeelding 30).

4.6.5 DOSEERSTRATEGIE

In het algemeen is vastgesteld dat de doseerstrategie, waarbij op PE-dosering werd gestuurd op de troebelheid van de afloop van de voorbezinktanks, niet volgens de theoretische gedachtegang functioneerde. De regeling reageerde in het begin heel langzaam op de veranderingen in troebelheid. Later bij andere parameters voor de P&ID is dit wel sneller, echter in beide gevallen werd bij maximale uitsturing de gewenste waarde niet gehaald. Ook niet toen het setpoint (gewenste waarde in afloop VBT) werd verhoogd.

Een goede sturing of regeling:

1. moet eenvoudig zijn
2. moet gebruik maken van eenvoudig meetbare signalen
3. moet kunnen omgaan met ruis in de metingen
4. moet niet te snel en langzaam reageren op het proces
5. moet het proces stabiel maken, niet van het ene uiterste naar het andere uiterste gaan
6. moet zorgen dat het proces de gewenste resultaten geeft.

Zowel de sturing als de regeling voldoen aan eisen 1 en 2. Eis 3 is instelbaar, aan de meetkant en in de parameters. De overige drie eisen zijn sterk afhankelijk van het proces. Zolang het proces zich anders gedraagt als de verwachting, kun je dit niet verwijten aan de regeling of sturing.

Als een verhoging van de hoeveelheid PE niet tot verlaging van de troebelheid leidt, ligt de oorzaak dichterbij het proces dan de aansturing. Ook in het feit dat troebelheid een verzamelparameter (en indirect) is, kan hierin een verklaring liggen. Mogelijk heeft de PE-dosering meer invloed in de verdeling in de verdeling van de troebelheidsveroorzakende componenten dan op de daadwerkelijke gemeten (totale) troebelheid.

4.7 ECONOMISCHE EVALUATIE

In de STOWA-studie Vergaande voorzuivering van afvalwater [10] is een indicatieve theoretische kostenanalyse uitgevoerd waaruit bleek dat voor een standaard rwzi van circa 100.000 i.e. (conform rwzi Amstelveen) door een lage PE-dosering (1 mg PE/100 NTU/l) op een bestaande voorbezinktank circa EUR 25.000/j bespaard zou kunnen worden op het energieverbruik van de beluchtinginstallatie. Daar staat circa EUR 75.000/j aan kosten van de PE-dosering tegenover. De PE-dosering reduceert de vuilvracht dusdanig dat het benodigd beluchtingvolume wordt verkleind; als hierdoor bouwkundige uitbreidingsmaatregelen achterwege kunnen blijven, resulteert dit in een totaal kostenvoordeel van bijna EUR 75.000/j.

Vanuit de resultaten van het praktijkonderzoek is onderstaande kostenevaluatie opgesteld waarin zijn beschouwd: de PE-dosering, de zuurstofvraag in de AT's, metaalzoutvraag voor simultane P-precipitatie en lichtslibbestrijding, slibafzet en de restheffing. Mogelijke extra voordelen zijn een toename in biogasproductie door de betere werking van de gisting, maar deze component kon door onvoldoende data niet in de kostenanalyse worden opgenomen.

Het grootste voordeel van geavanceerde voorzuivering is voornamelijk in de sliblijn te behalen door de effectievere gisting en de verminderde ontwaterdslibproductie. Besparing in beluchtingsenergie en restheffingen dragen ook bij aan een kosteneffectieve geavanceerde voorzuivering. Door te investeren in PE-dosering kan voor deze case op jaarbasis ca. EUR 30.000,- worden bespaard.

TABEL 8 KOSTENEVALUATIE GEAVANCEERDE VOORZUIVERING TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIESITUATIE

parameter	eenheidsprijs	referentie zonder dosering		geavanceerde voorzuivering		besparing (+) uitgave (-)	
PE-dosering	€ 1,80 per kg actief	-	kg/jaar	€ -	18.800 ³ kg/jaar	€ 33.840	- € 33.840
beluchtingsenergie	€ 0,07 per kWh	1.121.400	kWh/jaar	€ 78.500	915.400 kWh/jaar	€ 64.100	+ € 14.400
simultane Fe ³⁺ /Al ³⁺ -dosering	€ 185 per m ³	380	m ³ /jaar	€ 70.300	410 m ³ /jaar	€ 75.850	- € 5.550
slibafzet	€ 165 per ton	1.600	ton/jaar	€ 264.000	1.400 ton/jaar	€ 231.000	+ €33.000
restheffing	€ 35 per i.e.	7.900	i.e.	€ 276.500	7.300 i.e.	€ 255.500	+ € 21.000
totaal				€ 689.300		€ 660.290	+ € 29.010

In de kostenevaluatie is uitgegaan van de voor de praktijkproef geldende kostprijs voor PE. Deze prijs is met EUR 1,80 per kg actief PE relatief laag. Het kantelpunt om geavanceerde voorzuivering kosteneffectief toe te passen op de rwzi Amstelveen ligt met een PE-dosering van 0,4 mg actief PE per 100 NTU/L bij een PE-prijs van 3,30 per kg actief PE.

³ gebaseerd op (0,4 mg actief PE/100 NTU/L)

5

CONCLUSIES EN AANBEVELING

5.1 CONCLUSIES

Toepassing van geavanceerde voorzuivering is en blijft maatwerk. Dosering van flocculanten aan de voorbezinktanks kan het gehele zuiveringsproces optimaliseren en knelpunten in de beluchting en de slibgisting oplossen.

Op basis van de resultaten van de uitgebreide praktijktesten op de rwzi Amstelveen is gebleken dat toepassing van geavanceerde voorzuivering met PE-dosering voor de situatie op de rwzi Amstelveen voordelen oplevert in zowel de waterlijn als ook de slibbehandeling. Ook was de stikstofconcentratie in het effluent gedurende de proefperiode met geavanceerde voorzuivering (2004/2005) duidelijk lager en constanter dan in het voorgaande referentiejaar (2003).

Op basis van de onderzoeksresultaten is een significante correlatie vastgesteld tussen geavanceerde voorzuivering met PE-dosering of chemisch ondersteunde voorzuivering met Fe-dosering en de (directe) effecten (de verwijdering-prestaties van CZV, BZV en drogestof) op de werking van de voorbezinktank. Met de correlatieanalyse is de aanname bevestigd dat een relatie bestaat tussen troebelheid en aan deeltjes gerelateerd CZV in het influent.

In de perioden met geavanceerde voorzuivering met PE-dosering neemt de CZV-verwijdering over de voorbezinktank met 15% tot 20% in absolute zin toe, terwijl de BZV-verwijdering met ongeveer 10% toeneemt (in vergelijking met de perioden zonder dosering). Met Fe³⁺-dosering neemt de CZV- én BZV-verwijdering met circa 20% toe ten opzichte van de perioden zonder ijzerdosering.

Stikstof en fosfaat werden met geavanceerde voorzuivering met PE-dosering, zoals verwacht, niet substantieel beter verwijderd dan zonder dosering. Door de Fe³⁺-dosering werd fosfaat in het overloopwater van de voorbezinktanks overwegend verlaagd tot minder dan 1,0 mg/l, waardoor simultane precipitatie in de AT's niet meer of minder nodig was. Stikstof werd door de ijzerdosering niet beter verwijderd dan zonder dosering.

Aangetoond is dat de aanvoer naar de actief-slibtanks door geavanceerde voorzuivering stabiel is geworden, waardoor de bedrijfsvoering constanter en effectiever is. De voordelen hiervan zijn o.a. besparing van beluchtingsenergie (circa 10% vermindering door geavanceerde voorzuivering) en een efficiëntere slibverwerking (betere indikbaarheid, meer biogas en ca. 10% minder restslib). Een nadeel is een hogere chemicaliëngebruik op de AT's.

De BZV- en CZV-verwijdering in het actief-slibstelsel verliep uitstekend tijdens zowel de PE-dosering als de Fe³⁺-dosering. Ook het CZV-gehalte in het effluent werd beïnvloed door de PE- en de Fe-dosering. In vergelijking met de referentieperiode 2003 was de stikstofverwijdering in het systeem ten tijde van testperioden 2004 en 2005 beter. In de loop van de test-

periode met PE-dosering nam de concentratie van stikstof in het effluent geleidelijk af tot een redelijk constant gemiddelde waarde van 7,2 mg N/l in 2004 en 7,4 in 2005 (zelfde periode 2003 gemiddeld: 9,2 mg N/l).

Door overdosering en onvoldoende meng- en flocculatievoorzieningen kan bij PE-dosering drijfslagvorming op de voorbezinktanks plaatsvinden, die de werking van de tanks overigens niet negatief beïnvloedt. Drijfslagvorming door PE-dosering wordt voorkomen door optimale dosering (overdosering voorkomen) en dosering in turbulente leiding zonder luchtinslag.

In de sliblijn van de rwzi Amstelveen zijn door toepassing van geavanceerde voorzuivering duidelijke voordelen in de indikbaarheid van primair slib waargenomen, waardoor de gisting hydraulisch minder zwaar belast werd. Door de verbeterde werking van de gisting werd ten tijde van geavanceerde voorzuivering minder restslib geproduceerd. Met metaalzoutdosering op de voorbezinktank verslechterde de indikbaarheid van het primair slib, zodat de gisting zwaarder belast werd en de werking achteruit ging. Hierdoor en door de hogere chemisch slijbproductie steeg de rest-slijbproductie tijdens metaalzoutdosering.

TABEL 9

VASTGESTELDE VOORDELEN VAN GEAVANCEERDE EN CHEMISCHE VOORZUIVERING TEN OPZICHTE VAN CONVENTIONELE VOORZUIVERING
(+ = POSITIEF EFFECT, - = NEGATIEF EFFECT, +/- = NEUTRAAL EFFECT)

parameter	geavanceerde voorzuivering met PE-dosering	chemische ondersteunde voorzuivering met metaalzout-dosering
verwijdering N over VBT	+/-	+/-
verwijdering P over VBT	+/-	+
verwijdering CZV over VBT	+	+
verwijdering drogestof over VBT	+	++
beluchttingsenergie AT	+	+
BZV-belasting in AT	+	+
N in effluent	+	+/-
P in effluent	+/-	+/-
CZV in effluent	+	+
bedrijfsvoering	+	+
indikbaarheid primair slib	+	-
werking gisting	+	-
rest-slijbproductie	+	-

Uit de economische evaluatie blijkt dat de meeste winst door geavanceerde voorzuivering voornamelijk in de sliblijn is te behalen door de effectievere gisting en de verminderde ontwaterdslijbproductie. Besparing in beluchttingsenergie en restheffingen dragen ook bij aan een kosteneffectieve geavanceerde voorzuivering. Door te investeren in PE-dosering kan op jaarbasis ca. EUR 30.000,- bespaard worden. Voor de rwzi Amstelveen ligt het kantelpunt om geavanceerde voorzuivering kosteneffectief bij een PE-dosering van 0,4 mg actief PE per 100 NTU/L toe te passen bij een PE-prijs van 3,30 per kg actief PE.

In het algemeen is vastgesteld dat de doseerstrategie niet volgens de theoretische gedachtegang functioneerde. De regeling reageerde in het begin heel langzaam op de veranderingen in troebelheid. Voor effectieve toepassing is een goed werkende onderhoudsarme en betrouwbare troebelheidmeting vereist.

Door de vereiste optimalisatie van de stikstofhuishouding over de zuivering en de gestelde N-eis in het effluent is gekozen voor een relatief lage PE-dosering. Door hoger te doseren,

kunnen de effecten van geavanceerde voorzuivering op de bedrijfsvoering worden vergroot zonder dat de N-eis in gevaar wordt gebracht. Hiervoor zijn online-monitoringvoorzieningen nodig om de dosering efficiënt af te stemmen op de effluentkwaliteit en de gewenste inter-ne optimalisatieparameters. Ook is geconcludeerd dat door de starre zuiveringsconfiguratie van de AT's (vaste verhouding tussen nitrificatie en denitrificatiezones) en de frequent overstortende indiktanks de rwzi Amstelveen een moeilijke zuivering is om de voordelen van geavanceerde voorzuivering aan te tonen. Zuiveringsinstallaties met een flexibelere verdelingsmogelijkheid tussen beluchte en onbeluchte compartimenten zouden grotere voordelen moeten hebben door chemicaliëndosering op de voorbezinktanks.

5.2 AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van het praktijkonderzoek geavanceerde voorzuivering op de rwzi Amstelveen wordt aanbevolen om geavanceerde voorzuivering met PE-dosering op voorbezinktanks toe te passen indien beluchtingcapaciteit in de AT's of slibverwerkingscapaciteit gecreëerd moet worden zonder bouwtechnische maatregelen. Daarbij moet de PE-dosering optimaal plaatsvinden door injectie van PE in een volledig gevulde aanvoerleiding met voldoende turbulentie om voldoende menging tussen afvalwater en PE te verkrijgen en luchtinslag te voorkomen en overdosering van PE ten allen tijde te voorkomen.

Geavanceerde voorzuivering met PE-dosering is boven Fe^{3+} -dosering te verkiezen omdat:

- beluchttingsenergie geminimaliseerd wordt door verwijdering van organisch materiaal;
- nitraatgehalte in het effluent kan stijgen doordat Fe^{3+} opgelost en makkelijk degradeerbaar BZV vastlegt waardoor de BZV/N-verhouding daalt en denitrificatie belemmerd kan worden;
- geen chemisch slib geproduceerd wordt met PE-dosering;
- het primair slib beter indikbaar wordt met PE-dosering op de voorbezinktank;
- minder restslib geproduceerd wordt.

Daarentegen is Fe-dosering boven PE-dosering te verkiezen omdat:

- metaalzout per actief bestanddeel goedkoper is dan organisch polymeer;
- met metaalzout fosfaat direct geprecipiteerd wordt in de voorzuivering, waardoor metaalzoutdosering elders in het proces verminderd kan worden.

Om verdere optimalisatie van geavanceerde voorzuivering mogelijk te maken, is het nodig om:

- testen uit te voeren op een zuiveringsinstallatie met een flexibele en variabele verdeling tussen nitrificatie en denitrificatie zones;
- betrouwbare, onderhoudsvrije en accurate troebelheidsmetingen online uit te kunnen voeren;
- sturingsregelingen van chemicaliën op troebelheid of drogestof verder te ontwikkelen;
- ijzerdosering in combinatie met polymeerdosering op praktijkinstallatie te testen.

Aangezien de zuiveringsconfiguratie voor de nitrificatie- en denitrificatiezone op de rwzi Amstelveen star is en overstortende indikkers de influentsamenstelling regelmatig verstoorden, kon niet het maximale effect van geavanceerde voorzuivering bereikt worden. Om optimale resultaten van geavanceerde voorzuivering te bereiken wordt toepassing op een flexibele zuiveringsconfiguratie aanbevolen. In eerdere studies is reeds aangegeven dat de combinatie van geavanceerde voorzuivering door PE-dosering en het gemodificeerde UCT-proces (mUCT) of het BCFS[®]-proces meer effect kan worden bereikt.

6

REFERENTIES

1. STOWA (1998). Fysisch/chemische voorzuivering van afvalwater - Identificatie en evaluatie van waterzuiveringsscenario's gebaseerd op fysisch/chemische voorzuivering, STOWA, rapport nummer 98-29, september 1998, Utrecht.
2. STOWA (2001). Fysisch/chemische voorzuivering - Onderzoek naar voorzuiveringstechnieken: Organische polymeren; flotatie; directe grovemediafiltratie, directe membraanfiltratie, denitrificerende A-trap. STOWA, rapport nummer 2001-07, Utrecht.
3. STOWA (2002). Fysisch/chemische voorzuivering - Oriënterend onderzoek naar Influentfractionering en nabehandelingstechnieken. STOWA, rapport nummer 2001-20, Utrecht.
4. STOWA (2002). Fysisch/chemische voorzuivering - Resumé en scenario evaluatie met DEMAS+. STOWA, rapport nummer 2001-21, Utrecht.
5. STOWA (2004). Vergaande voorzuivering van afvalwater – haalbaarheidstudie voor praktijktoepassing. STOWA rapport nummer 2003-20, Utrecht.
6. Mels, A.R. (2001). Physical-chemical pre-treatment as an option for increased sustainability of municipal wastewater treatment plants. Proefschrift Wageningen Universiteit.
7. Van Nieuwenhuijzen, A.F. (2002). Scenario Studies into Advanced Physical-chemical Pre-treatment. Proefschrift Technische Universiteit Delft. ISBN 90-407-2249-8.
8. Mels, A.R., Nieuwenhuijzen, A.F. van, and Klapwijk, B. (2002). Turbidity-related Dosing of Organic Polymers to Control the Denitrification Potential of Flocculated Municipal Wastewater. Chemical Water and Wastewater Treatment VII. Hahn, Hoffmann, Ødegaard (eds.). IWAPublishing London, pp. 71-79.
9. M. Lurie and Rebun (1997). Effect of Properties of Polyelectrolytes on their interaction with particulates and soluble organics, Water Science & Technology, Vol. 36, No. 4, pp.93-101.

BIJLAGEN

BIJLAGE I

BEDRIJFSGEGEVENS RWZI AMSTELVEEN

2003 T/M 2005

				2005	2004	2003
Influent						
	Jaardebiet	m ³ /jr		9.042.510	11.731.030	0.005.560
	Q	m ³ /d		24.774	32.142	24.344
	CZV	kg/d		10.825	13.728	9.701
	BZV	kg/d		3.660	5.379	3.010
	ZWS	kg/d		5.480	8.310	4.084
	N-Kj	kg/d		911	1.212	989
	N-tot	kg/d		911	1.212	989
	P-tot	kg/d		146	204	154
	v.e.(O)	-		100.750	141.660	104.579
	czv/bzv	-		2,9	2,8	2,5
Afloop voorbezinking						
	CZV	kg/d		8.873	8.577	8.974
	BZV	kg/d		2.610	3.474	3.284
	ZWS	kg/d		3.192	3.539	3.101
	N-Kj	kg/d		937	1.251	1.380
	P-tot	kg/d		135	104	196
Verwijdering voorbezinktank						
	CZV	%		35	38	7
	BZV	%		29	35	14
	ZWS	%		42	44	24
	N-Kj	%		3-	3-	40-
	P-tot	%		8	10	27-
Effluent						
	CZV	kg/d		910	1144	731
	BZV	kg/d		107	110	66
	N-Kj	kg/d		90	102	84
	N-tot	kg/d		260	300	245
	P-tot	kg/d		22	20	19
	CZV	mg/l		37	35	32
	BZV	mg/l		3,6	2,0	2,0
	N-Kj	mg/l		3,3	3,0	3,1
	NH4	mg/l		1,6	1,5	1,6
	NO3	mg/l		8,9	6,1	6,6
	NO2	mg/l		0,2	0,2	0,2
	NOx	mg/l		7,1	6,3	6,0
	N-tot	mg/l		10,4	9,3	10,0
	P-tot	mg/l		0,7	0,8	0,8
	P-ortho	mg/l		0,4	0,5	0,6
	zws	mg/l		8,9	9,8	8,7
	Zuurgraad	pH		7,6	7,6	7,6
	v.e.(O)	-		9.731	12.152	8.233
Verwijdering installatie						
	CZV	%		91	92	92
	BZV	%		97	90	90
	N-Kj	%		90	92	92
	N-tot	%		71	75	75
	P	%		85	88	88
	v.e.(O)	%		91	91	92

Actief slib				
drogestof AT	g/l (kg/m ³)	4,2	4,3	4,4
Gloeirest	%	33	34	34
Slibindex	ml/gr	110/117	115	110/115
surplus slibproductie	kgds/d	2.300	2.800	2.200
Slibleeftijd	d	16512	13887	18085
Slibbel.bzv	kg/(kg.d)	0,00	0,00	0,00
Slibbel.czv	kg/(kg.d)	0,00	0,00	0,00
specifieke slibprod	kg _{org} ds/kg BZV _{act}	0,62	0,55	0,45
specifieke slibprod	kg _{org} ds/kg CZV _{act}	0,26	0,25	0,18
P in slib	g P/kgds	49	56	80
Slibproductie				
prim.slib	m ³ /jr	46.355	45.957	43.187
	%	4,2	4,5	4,5
	ton ds/jr	1.947	2.068	1.943
sec.slib	m ³ /jr	17.228	17.768	17.684
	%	2,7	2,5	2,7
	ton ds/jr	465	444	477
Totaal rwzi	m ³ /jr	63.583	63.725	60.871
	%	3,8	3,9	4,0
	ton ds/jr	2.412	2.512	2.421
Gisting				
		2005	2004	2003
Toevoer-totaal	m ³ /jr	63.583	63.725	63.583
	ton ds/jr	2.412	2.512	2.412
Temp	°C	33	33	33
verblijftijd	d	142	142	142
Ds-verw.	%	36,7	34,0	29,0
Uitgegist slib	m ³ /jr	63.583	63.725	63.682
	ton ds/jr	1.526	1.657	1.783
drogestof	%	2,4	2,6	2,8
Gloeirest	%	41,0	41,0	41,4
naar mechanische ontw	m ³ /jr			
Biogas				
productie	m ³ /jr	673.543	691.871	650.077
spuigas/fakkelt	m ³ /jr	64	190.839	87.425
verbr. motor	m ³ /jr	34.849	301.304	293.548
verbr. cv	m ³ /jr	638.630	199.728	269.104
	m ³ /jr			
slibdroging	m ³ /jr			
specifieke biogasprod	l/(kgds _{act} .d)	760	809	893
Mechanische ontwatering				
filterpers	ton ds/jr	1.526	1.657	1.526
	%	24,9	24,4	24,5
Afvoer ontwaterd slib (weegbrug)				
ref. slibbalans	ton ds/jr	1.375	1.395	1.415
	%	22,9	23,8	23

Chemicalien waterlijn			2005	2004	2003
	FeClSO4	ton/jr	584	578	582
	Al(OH)Cl2	ton/jr	61	37	
	molverhouding	Me/P	0,84	0,57	0,70
	doseerhoogte	mgMe/l _{gtskwal}	8,4	6,3	8,0
Chemicalien sliblijn					
	FeClSO4	ton/jr	163	206	160
Poly-electrolyet					
	Filterpers	kg actief PE/jr	11.000	5.281	10.805
		g/kgds	7,2	3,2	6,2
Aardgas					
	totaal	nm ³ /jr	5.881	454	1.450
	vebr.motor	nm ³ /jr	5.881	380	1.300
	verbr. cv	nm ³ /jr	0	74	150
Electriciteit					
	Opgewekt	MWh/jr	1.169	542	528
	inkoop	MWh/jr	1.430	1.915	2.077
	sliblijn	MWh/jr	115	127	102
	beluchting	MWh/jr	1.057	1.002	1.280
	spec. energ.verbr. bel.	kwh/kgCZV _{gts}	0,03	0,01	0,01
	rw. TZV (CZV+4,57kJN)	kg/d	9.834	12.684	14.166
	spec. energverbr. bel.	kwh/kgdTZV	0,29	0,22	0,01
Vuilafvoer					
	zand	ton/jr	64	29	40
	roostergoed	ton/jr	24	145	104
Drinkwater					
	Totaal	m ³ /jr	3.091	2.752	1.760

BIJLAGE II

FRACTIONERING EN DEELTJESGROOTTE-ANALYSE

DEELTJESANALYSE VAN INFLUENT EN OVERLOOPWATER VOORBEZINKTANK

De fractionering van het influent en het overloopwater vond plaats op 6 en 7 mei 2004. In Afbeelding 33 tot en met zijn de uitkomsten van de fractionering en de deeltjestellingen van het influent en het overloopwater van de voorbezink tanks weergegeven. Het getoonde beeld van de fractionering van het influent komt overeen met eerdere fractioneringen van het afvalwater van de rwzi Amstelveen [10], waardoor de testen als representatief worden beschouwd.

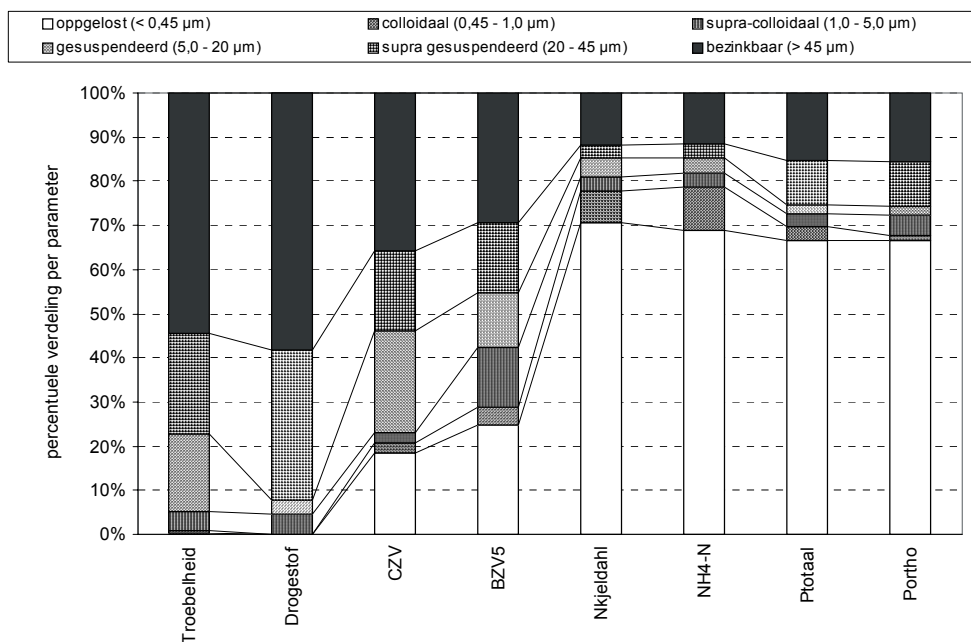
DEELTJESFRACTIES

In Afbeelding 33 zijn de uitkomsten van de fractionering van het influent van de voorbezink tanks weergegeven als percentuele verdeling van de verontreinigingen over de deeltjesfracties. In de fractionering is een additionele fractie tussen 20 en 45 μm toegevoegd om het bezinkbare aandeel van de verontreinigingen beter in beeld te krijgen (de in een voorbezink tank bezinkbare fractie bestaat deeltjes van circa 20 μm en groter, [11, 12]).

Op basis van de fractioneringresultaten zou zonder PE-dosering bijna 55% van het CZV, 45% van het BZV, 15% van N_{Kjeldahl} en circa 25% van P_{totaal} verwijderd kunnen worden aangezien deze percentage overeenkomen met de deeltjesfractie groter dan 20 μm . Daarnaast is nog eens 25% van het CZV, 30% van het BZV, 10% van N_{Kjeldahl} en bijna 10% van P_{totaal} gerelateerd aan gesuspenderde en colloïdale deeltjes kleiner dan 20 μm . Met name stikstof (70%) en fosfaat (65%) zijn aanwezig in opgeloste vorm als ammonium en orthofosfaat.

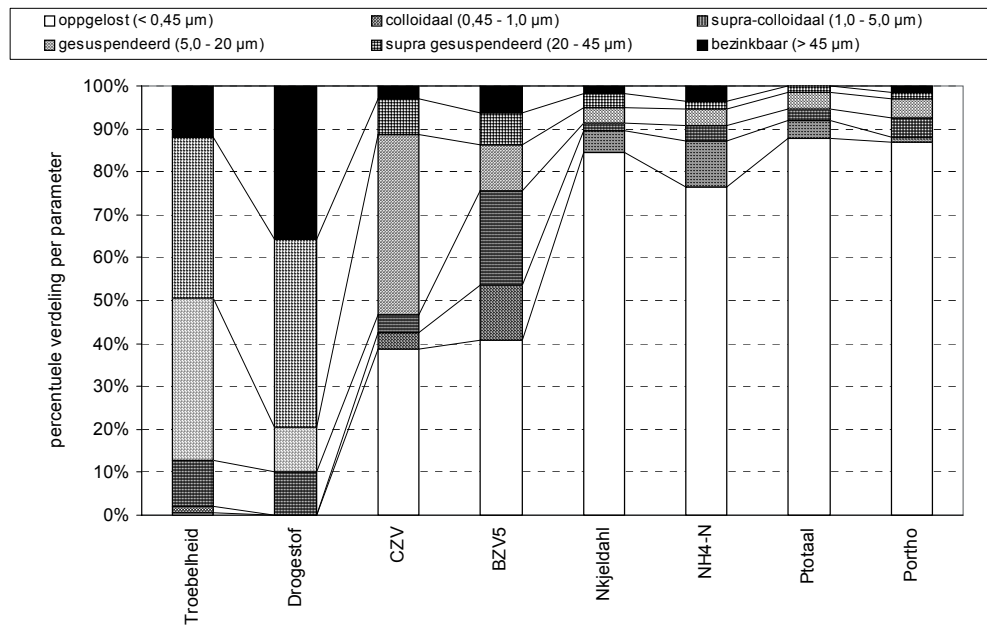
AFBEELDING 33

FRACTIONERING VAN HET INFLUENT VAN DE VOORBEZINKTANKS (VÓÓR PE-DOSERING) (MONSTERNAME: 6 MEI 2004)



AFBEELDING 34

FRACTIONERING VAN HET OVERLOOPWATER VAN DE VOORBEZINKTANKS MET PE-DOSERING (MONSTERNAME: 6 MEI 2004)



Door de resultaten van de fractionering van het influent zonder PE-dosering (Afbeelding 33) te vergelijken met de uitkomsten van de testen van het overloopwater (Afbeelding 34) van de voorbezinktanks met PE-dosering kan het effect van de PE-dosering op de deeltjesfractie bepaald worden. Uit de vergelijking blijkt dat het aandeel van de bezinkbare en gesuspendeerde fracties per verontreiniging duidelijk verlaagd is door het PE-ondersteunde voorbezinking.

In het overloopwater is nog maar 10% van het CZV en 15% van het BZV aan bezinkbare deeltjes groter dan 20 µm gerelateerd. Verder is circa 50% van het CZV en BZV gerelateerd aan fijn gesuspendeerd en colloïdaal materiaal en 40% is opgelost.

Voor stikstof en fosfaat is het opgeloste aandeel gestegen tot 85% tot 90%. Slecht 10% tot 15% van Nkjeldahl en Ptotaal in het overloopwater is nog gerelateerd aan deeltjesmateriaal, waarvan het overgrote aandeel als colloïdale deeltjes.

CUMULATIEVE DEELTJESGROOTTEVERDELING

In de grafieken van Afbeelding 35, is uit verdelingen duidelijk op te maken dat ten opzichte van het influent in het overloop nauwelijks nog bezinkbare deeltjes groter dan 20 µm aanwezig zijn (zie de horizontaal lopende gestippelde lijn in de grafieken tussen 20 µm en 1.000 µm), terwijl in het influent nog een aanzienlijk deel van de verontreinigingen aan deze fractie gerelateerd is. Tussen 20 µm en 5 µm komen de twee lijnen van het influent en het overloopwater geleidelijk bij elkaar. In het gebied van de deeltjesdiameters kleiner dan 5 µm verlopen beide verdelingslijnen nagenoeg identiek.

Door de onderlinge vergelijking van de twee lijnen kan tevens het verwijderingsrendement van de voorbezinktank met PE-dosering worden bepaald. Op basis van deze bepaling is vastgesteld dat in de voorbezinktanks (op 6 mei 2004):

- CZV van circa 670 mg/l naar 300 mg verwijderd kon worden (rendement = 55%);
- BZV van 200 mg/l naar 110 mg/l verwijderd kon worden (rendement = 45%);
- Ptotaal van 10 mg/l naar 7,2 mg/l verwijderd kon worden (rendement = 28%);
- Nkjeldahl van 67 mg/l naar 58 mg/l verwijderd kon worden (rendement = 13%);
- droogrest van 300 mg/l naar 100 mg/l verwijderd kon worden (rendement = 67%).

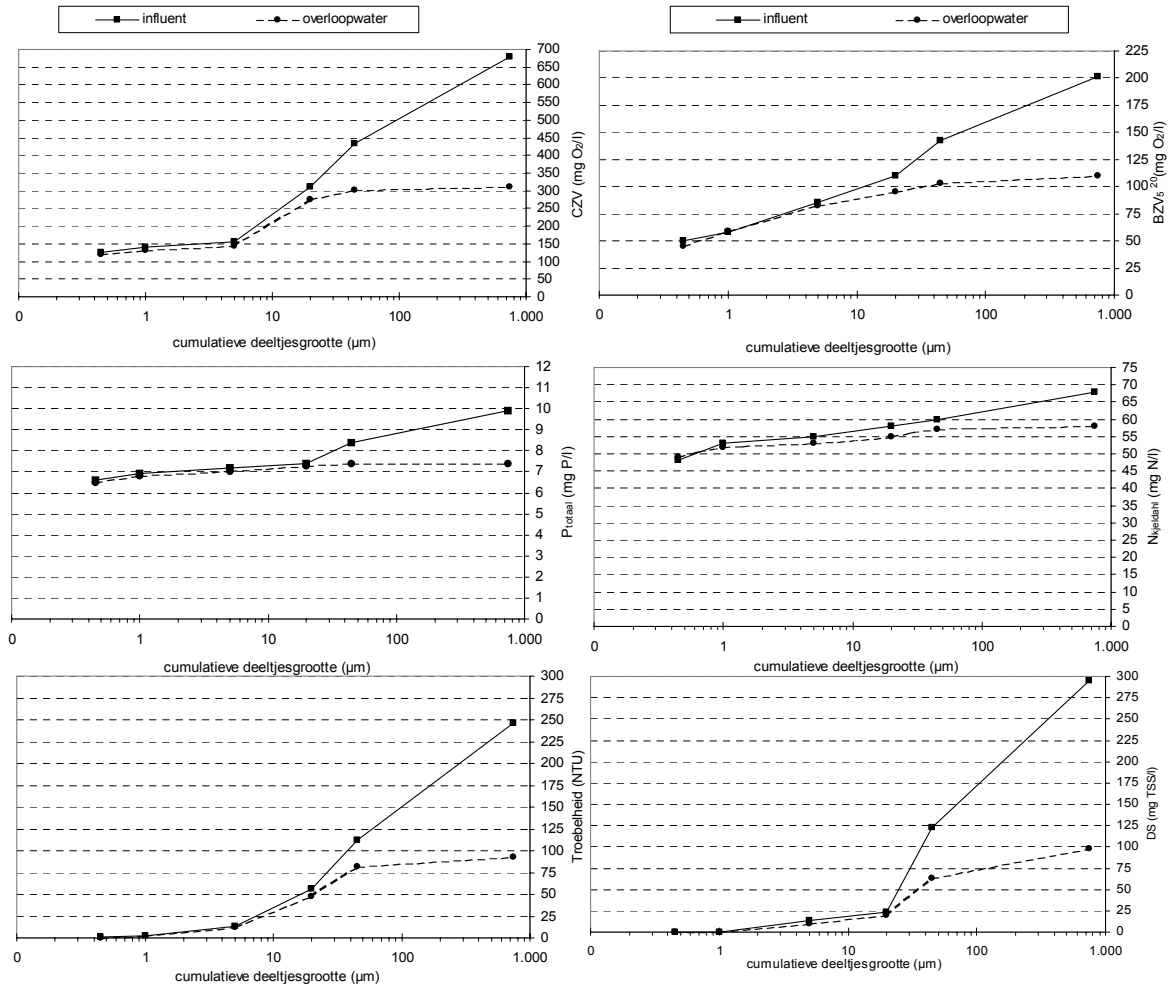
In is de BZV/N-verhouding over cumulatieve deeltjesverdeling weergegeven voor zowel influent als overloopwater van de voorbezinktanks. De BZV/N-verhouding van het influent ligt nog rond drie, terwijl in het overloopwater van de voorbezinktanks met PE-dosering de BZV/N-verhouding is gedaald tot beneden twee. Bij een verhouding van twee wordt de stikstofverwijdering niet gehinderd [11]. Door verdere deeltjesvergadering kan de BZV/N-houding tot één dalen. Dit zal de denitrificatie in het zuiveringsproces wel nadelig kunnen beïnvloeden.

De resultaten bevestigen eerder werk in het kader van het STOWA-onderzoek Vergaande voorzuivering van afvalwater - haalbaarheidstudie voor praktijktoepassing. STOWA rapport nummer 2003-20, Utrecht.

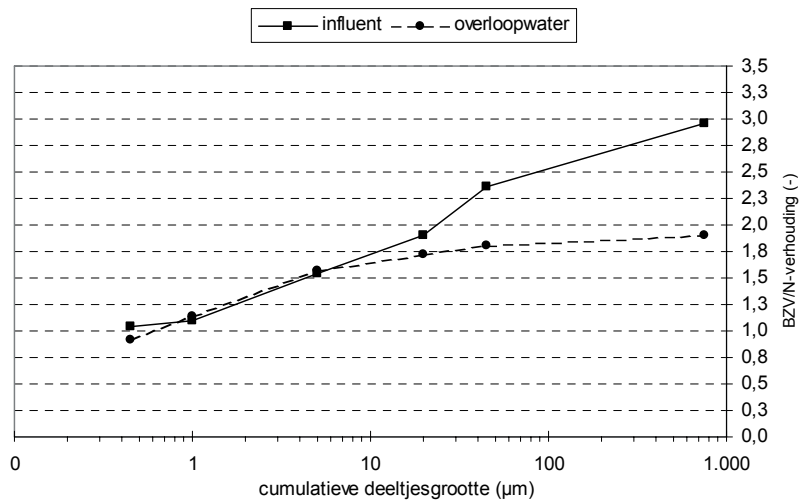
DEELTJESTELLING

De resultaten van de deeltjestellingen van het influent (volle lijn) en het overloopwater (gestippelde lijn) van de voorbezinktanks zijn weergegeven in. Uit de grafiek is op te maken dat de gemiddelde deeltjesdiameter in het afvalwater afneemt van circa 20 µm in het influent naar een gemiddelde deeltjesdiameter van onder 8 µm in het overloopwater. De spreiding in gemeten deeltjesdiameters is aanzienlijk lager in het overloopwater dan in het influent. Ook is te zien dat, zoals te verwachten, het aantal deeltjes (oppervlak onder de lijn) in het overloopwater lager is ten opzichte van het influent. Dit is het gecombineerde resultaat van vlokvorming en bezinking.

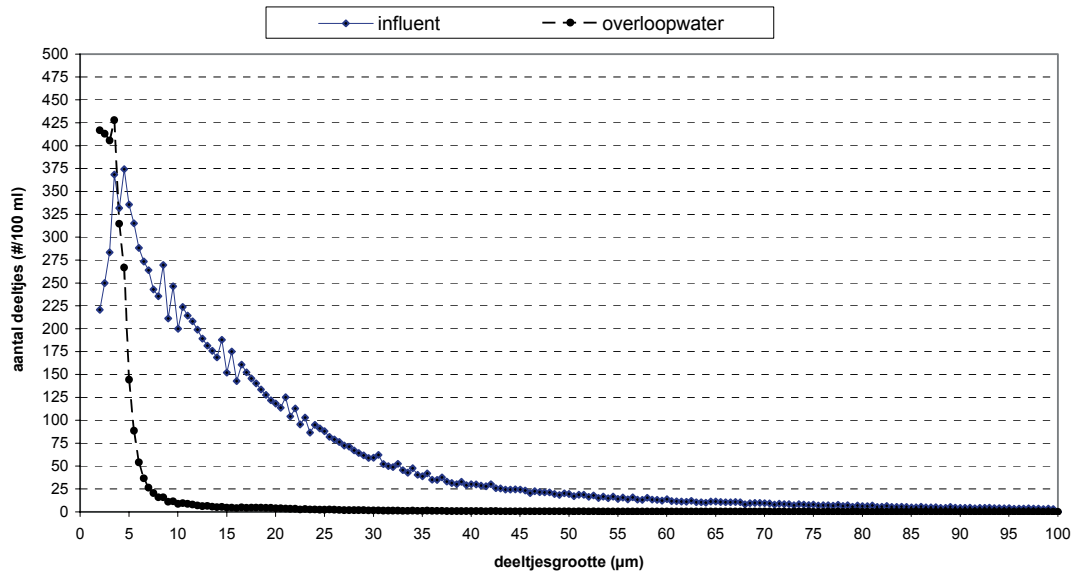
AFBEELDING 35 CUMULATIEVE DEELTJESGROOTTEVERDELING PER KWALITEITSPARAMETER VAN INFLUENT EN OVERLOOPWATER VAN DE VOORBEZINKTANKS (MONSTERNAME: 6 MEI 2004)



AFBEELDING 36 CUMULATIEVE DEELTJESGROOTTEVERDELING EN BZV/N-VERHOUDING VAN INFLUENT EN OVERLOOPWATER VAN DE VOORBEZINKTANKS (MONSTERNAME: 6 MEI 2004)

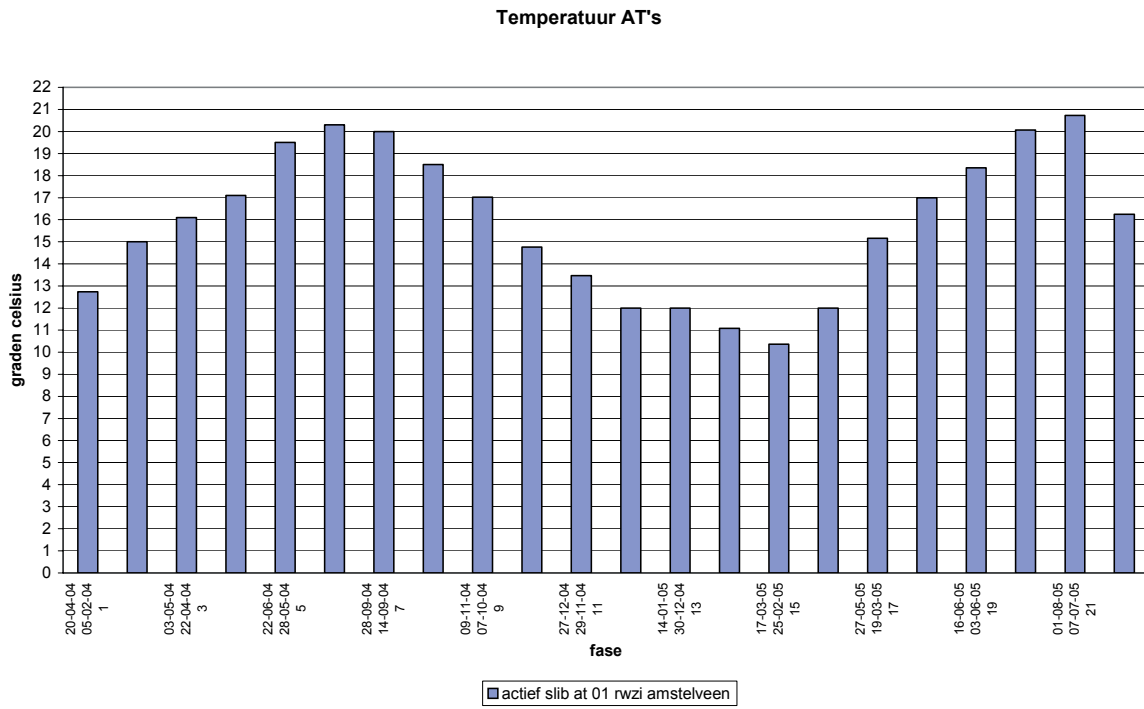


AFBEELDING 37 DEELTJESTELLING VAN INFLUENT EN OVERLOOPWATER VAN DE VOORBEZINKTANKS VAN DE RWZI AMSTELVEEN
(MONSTERNAME: 6 MEI 2004)



BIJLAGE III

TEMPERATUURSVERLOOP



BIJLAGE IV

RESULTATEN VOORBEZINKTANK EN AT'S PER ONDERZOEKSFASE

Meetpunt			influent VE	influent VE	influent VE	influent VE	influent VE	influent VE
Waarn. sr.			DS mg/l	BZV5 mg/l	CZV mg/l	KjN mg/l	S_PO4 mg/l	troebhd FTU
Eenheid			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	FTU
FASE	eind	begin	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB
Referentie 1:	19-04-04	01-01-04	293	225	546	47	9	132
Test 1: PE =	22-06-04	20-04-04	429	233	709	57	11	155
Referentie 2:	14-09-04	23-06-04	295	199	376	44	9	129
Test 2: PE =	08-11-04	15-09-04	272	208	431	44	9	130
Referentie 3:	28-11-04	09-11-04	291	207	479	44	9	194
Test 3: PE =	25-02-05	29-11-05	326	189	482	46	13	179
Referentie 4:	27-05-05	26-02-05	324	216	379	50	8	168
Test 4: Fe =	01-08-05	28-05-05	409	281	586	57	9	250
Referentie 5:	08-11-05	02-08-05	318	219	494	49	10	172

Meetpunt			afloop VB	afloop VB	afloop VB	afloop VB	afloop VB	afloop VB	afloop VB
Waarn. sr.			DS mg/l	BZV5 mg/l	CZV mg/l	KjN mg/l	S_PO4 mg/l	troebhd FTU	Q m3/d
Eenheid			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	FTU	m3/d
FASE	eind	begin	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	
Referentie 1:	19-04-04	01-01-04	174	160	305	42	6	92	30880
Test 1: PE =	22-06-04	20-04-04	138	140	316	50	8	108	22754
Referentie 2:	14-09-04	23-06-04	166	127	297	39	6	80	38713
Test 2: PE =	08-11-04	15-09-04	124	115	227	40	7	97	37134
Referentie 3:	28-11-04	09-11-04	171	154	378	44	8	114	35417
Test 3: PE =	25-02-05	29-11-05	141	138	362	40	8	141	30431
Referentie 4:	27-05-05	26-02-05	195	158	289	43	6	82	32752
Test 4: Fe =	01-08-05	28-05-05	102	122	292	52	3	98	15721
Referentie 5:	08-11-05	02-08-05	172	145	291	44	6	97	28622

Meetpunt			effluent	effluent	effluent	effluent	effluent	effluent	effluent	effluent	effluent
Waarn. sr.			DS	BZV5 mg/l	CZV mg/l	Ntot	S_PO4 mg/l	NH4	NO3	NO2	NOx mg/l
Eenheid			mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
FASE	eind	begin	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB
Referentie 1:	19-04-04	01-01-04	11,8	4,3	40,4	8,7	0,8	3,3	5,0	0,4	5,4
Test 1: PE =	22-06-04	20-04-04	8,2	2,2	32,5	6,8	0,7	0,8	5,8	0,1	6,1
Referentie 2:	14-09-04	23-06-04	8,3	1,9	28,1	7,1	0,7	1,7	5,3	0,1	5,4
Test 2: PE =	08-11-04	15-09-04	8,2	2,0	29,2	6,8	0,7	0,7	6,0	0,1	6,9
Referentie 3:	28-11-04	09-11-04	8,0	2,3	29,0	6,9	0,8	1,5	5,2	0,2	6,8
Test 3: PE =	25-02-05	29-11-05	10,6	3,1	34,0	6,9	0,8	0,5	6,1	0,3	6,7
Referentie 4:	27-05-05	26-02-05	8,6	2,9	35,8	6,8	0,7	1,0	5,5	0,3	6,9
Test 4: Fe =	01-08-05	28-05-05	6,2	2,5	33,6	8,0	0,7	0,6	7,3	0,1	7,2
Referentie 5:	08-11-05	02-08-05	8,9	2,8	33,2	7,5	0,8	1,3	6,0	0,2	6,5

Verwijderingsprestaties voorbezinktanks per onderzoeksfase

Meetpunt			DS	BZV5	CZV	KjN	S_PO4	troebhd
Waarn.srt.			%	%	%	%	%	%
Eenheid			LAB	LAB	LAB	LAB	LAB	LAB
FASE	eind	begin						
Referentie 1:	19-04-04	01-01-04	40%	29%	44%	12%	36%	30%
Test 1: PE =	22-06-04	20-04-04	68%	40%	55%	12%	28%	30%
Referentie 2:	14-09-04	23-06-04	44%	36%	21%	12%	32%	38%
Test 2: PE =	08-11-04	15-09-04	54%	45%	47%	10%	23%	25%
Referentie 3:	28-11-04	09-11-04	41%	26%	21%	1%	15%	41%
Test 3: PE =	25-02-05	29-11-05	57%	27%	25%	12%	40%	21%
Referentie 4:	27-05-05	26-02-05	40%	27%	24%	14%	31%	51%
Test 4: Fe =	01-08-05	28-05-05	75%	57%	50%	9%	62%	61%
Referentie 5:	08-11-05	02-08-05	46%	34%	41%	11%	34%	43%

Slibproductie en BZV/N-raatio's per onderzoeksfase

Meetpunt			ingedikt primair	ingedikt secundair	ingedikt uit
Waarn.srt.			DS kg/d	DS kg/d	DS kg/d
Eenheid			DS kg/d	DS kg/d	DS kg/d
FASE	eind	begin	kg/d	kg/d	kg/d
Referentie 1:	19-04-04	01-01-04	5286	1383	4381
Test 1: PE =	22-06-04	20-04-04	5523	1125	3940
Referentie 2:	14-09-04	23-06-04	4775	1215	4268
Test 2: PE =	08-11-04	15-09-04	5080	1107	3873
Referentie 3:	28-11-04	09-11-04	4950	1234	4773
Test 3: PE =	25-02-05	29-11-05	5672	967	3936
Referentie 4:	27-05-05	26-02-05	4952	1211	4157
Test 4: Fe =	01-08-05	28-05-05	5756	945	5219
Referentie 5:	08-11-05	02-08-05	5102	1127	4105

Elektrische energie, biogas, temperatuur en SVI per onderzoeksfase

Meetpunt			influent VE	afloop VBT	elek beluc	biogas vert	1319AT01	
Waarn.srt.			BZV/N	BZV/N	elektra	Q	actief slib at	01 rwzi a
Eenheid					kWh	m3/d	DOZ1924	AT
FASE	eind	begin	-				Temperatu	SVI
Referentie 1:	19-04-04	01-01-04	4,8	3,8	3072	1933	13	184
Test 1: PE =	22-06-04	20-04-04	4,1	2,8	2638	1634	17	101
Referentie 2:	14-09-04	23-06-04	4,5	3,3	2818	1713	20	115
Test 2: PE =	08-11-04	15-09-04	4,8	2,9	2508	1295	19	95
Referentie 3:	28-11-04	09-11-04	4,7	3,5	3184	1304	15	105
Test 3: PE =	25-02-05	29-11-05	4,1	3,4	2441	2191	12	98
Referentie 4:	27-05-05	26-02-05	4,3	3,7	3125	2260	13	103
Test 4: Fe =	01-08-05	28-05-05	4,9	2,3	2440	1957	19	126
Referentie 5:	08-11-05	02-08-05	4,4	3,3	3047	1813	16	110

BIJLAGE V

CORRELATIEANALYSE

CORRELATIEANALYSE

Doel van de correlatie-analyse is om de afhankelijkheid tussen de dosering (van polymeren (PE) en ijzer (Fe)) en de effecten in het watersysteem vast te stellen.

Met behulp van een correlatieanalyse is onderzocht of de dosering van invloed kan zijn op de effecten in het watersysteem. Voor de analyse is het volgende bepaald.

- correlatie tussen dosering en het (directe) effect hierop;
- autocorrelatie van de effecten;
- correlatie tussen dosering en verandering van NO_3 en NH_4 gehalte;
- correlatie tussen dosering en overige effecten.

Basis zijn de datareeksen van uurgemiddelden van online-data (meting ééns per minuut).

Om deze correlaties te bepalen is er gebruik gemaakt twee databestanden, één op dagbasis en één op uurbasis. Op dagbasis is er informatie over zowel de hoeveelheid Fe^{3+} en PE en deze hoeveelheden in verhouding tot een debiet. Het overzicht in de bijlage laat zien dat er een zeer hoge correlatie bestaat tussen de hoeveelheid mg PE en PE/L bij de PE dosering en tussen de hoeveelheid L/h en Fe^{3+} /l bij de ijzerdosering. Het debiet zou dus min of meer constant zijn.

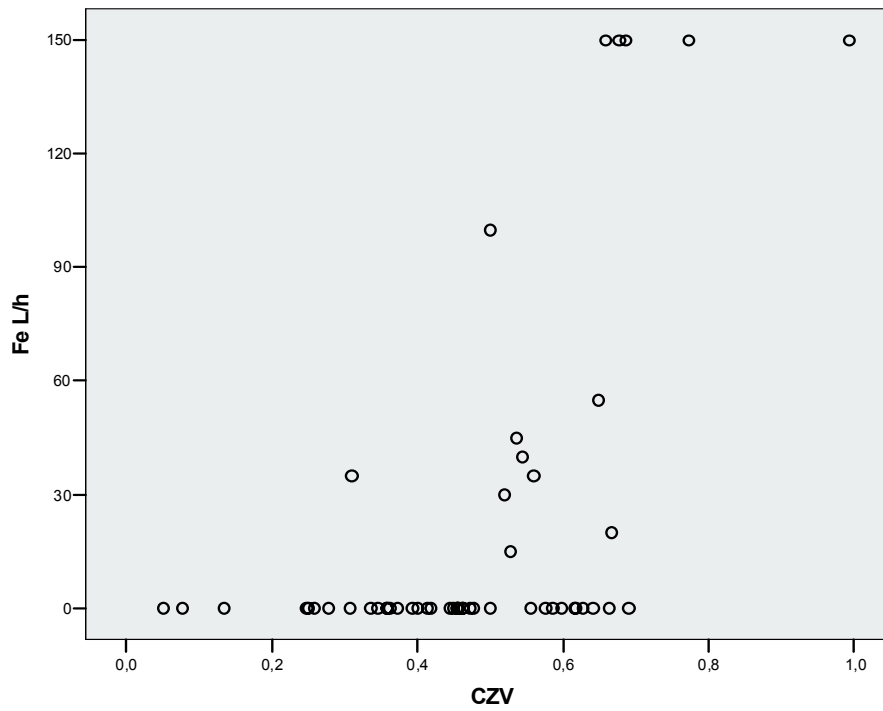
CORRELATIE DOSERING EN EFFECTEN

De tabel in bijlage 1 laat de correlatie zien tussen de hoeveelheid mg PE en PE/L en de hoeveelheid L/h en Fe^{3+} /l met het effect van deze doseringen. Deze correlaties zijn bepaald met behulp van gegevens op dagbasis. De 'Pearson Correlation' is de correlatiecoëfficiënt en de waarde achter 'Sig.' bepaalt de mate waarin deze correlatie significant is. Hoe dichter deze waarde bij 0 ligt, hoe significanter.

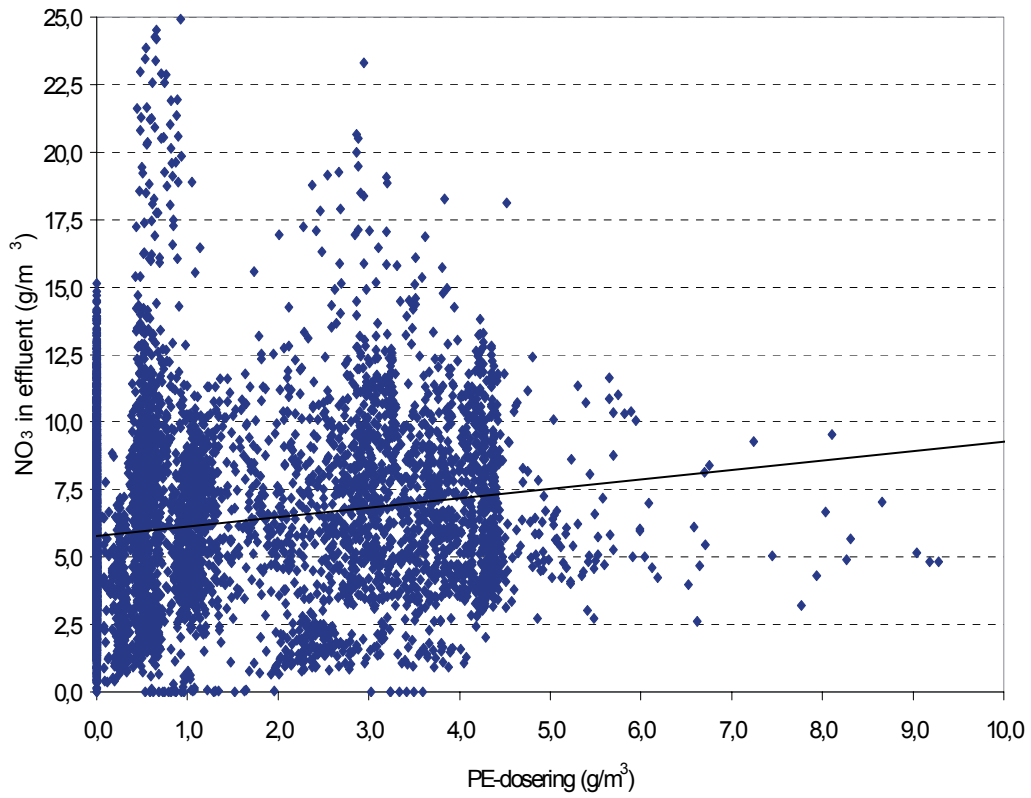
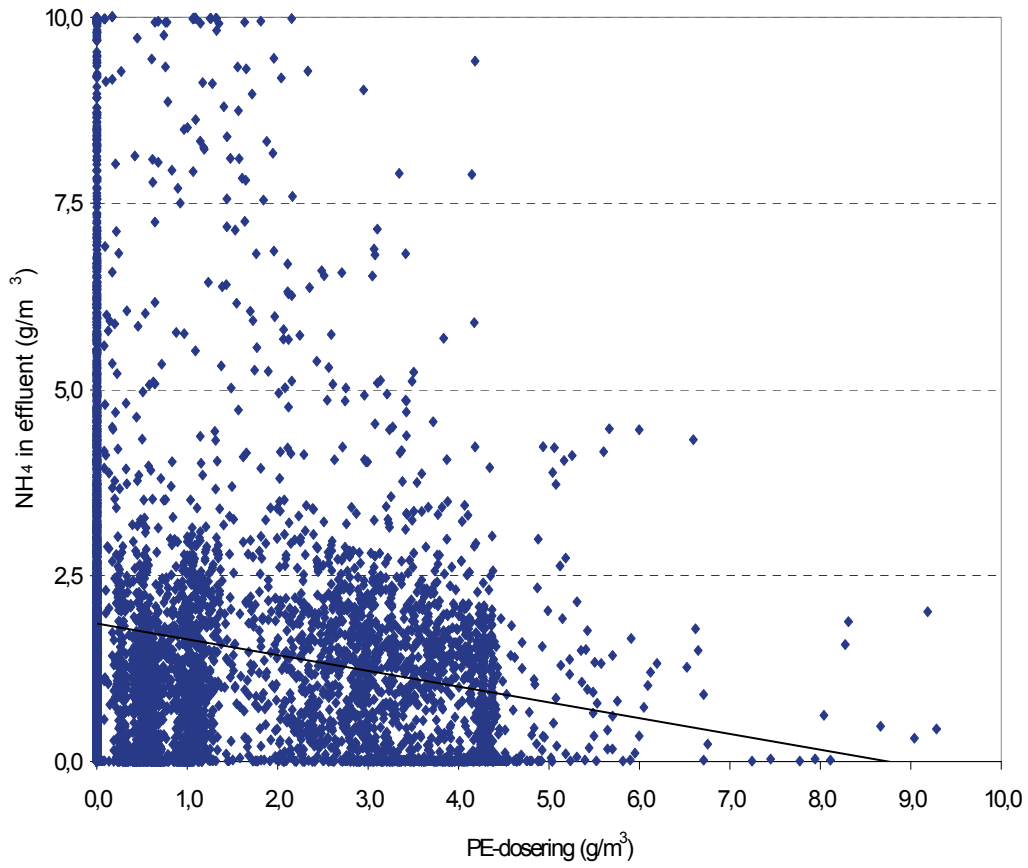
De tabel laat een aantal keer een significante correlatie zien. Echter, dit zou mogelijkwijs veroorzaakt kunnen worden doordat de dosering wordt 'geregeld'. De mate van doseren kan een reactie zijn op een hoge of lage waarde van gemeten effecten.

De mate waarin gedoseerd wordt, schijnt min of meer afhankelijk te zijn van de troebelheid van het afvalwater. Uit tabel 1 blijkt dat vooral de correlatie tussen dosering en het CZV gehalte hoog is. Wanneer het CZV gehalte een maat is voor de troebelheid, zou deze hoge waarde logisch zijn.

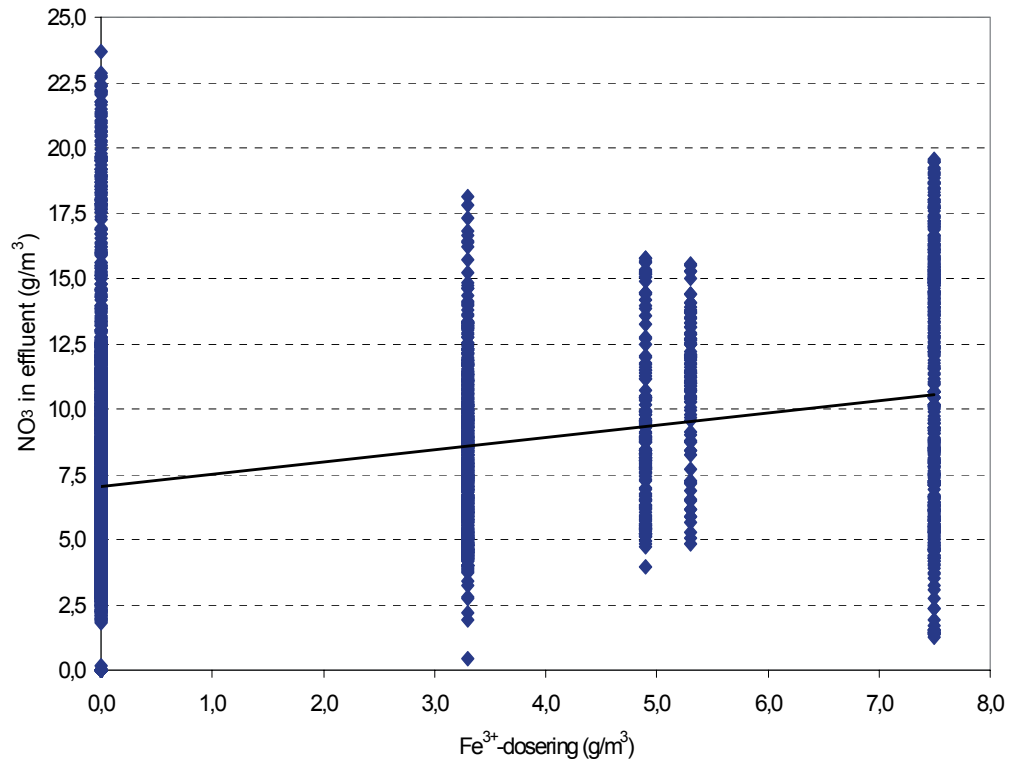
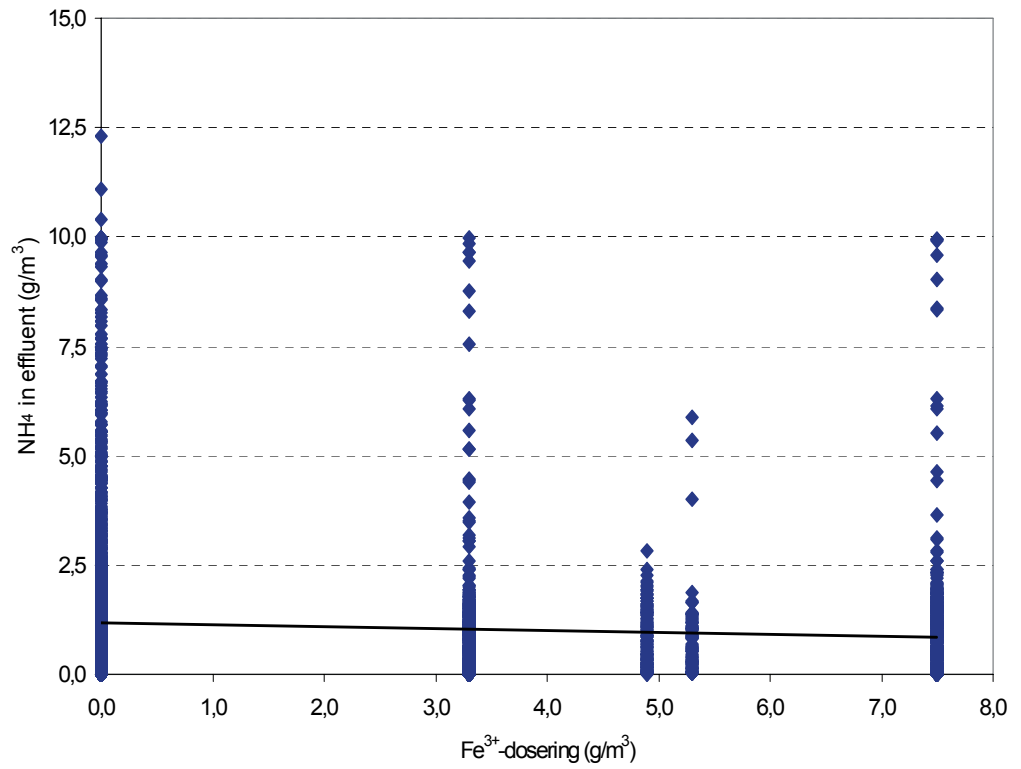
Het verband tussen het percentage CZV en de ijzergehalte is hieronder in een scatterplot weergegeven.



AFBEELDING 38 RELATIE PE-DOSERING EN AMMONIUM EN NITRAATGEHALTE IN HET EFFLUENT



AFBEELDING 39 RELATIE Fe^{3+} -DOSERING EN AMMONIUM EN NITRAATGEHALTE IN HET EFFLUENT



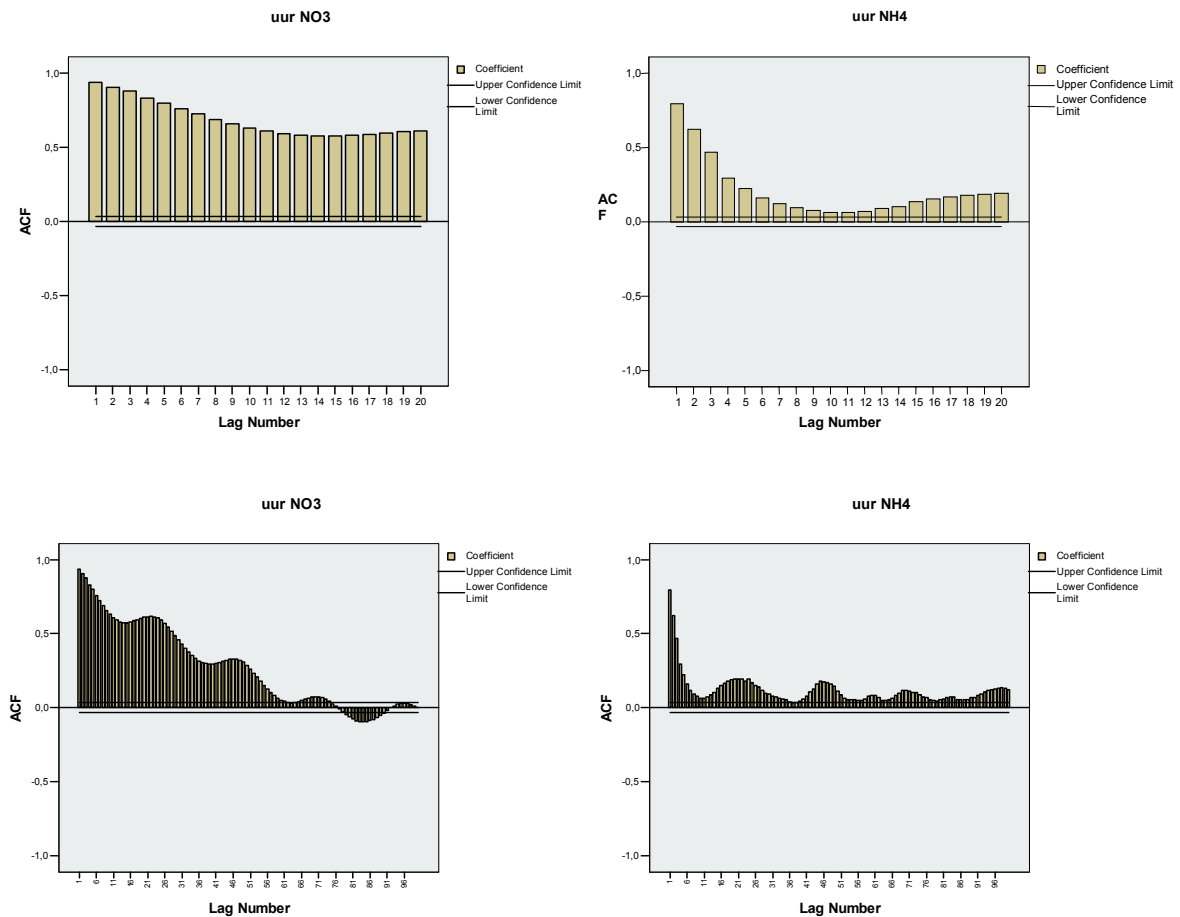
Als gevolg van de hierboven beschreven situatie, zou het dus zinvoller zijn om naar een mogelijke afhankelijkheid tussen dosering en toe- en afname van de effecten te kijken.

AUTOCORRELATIE VAN DE EFFECTEN

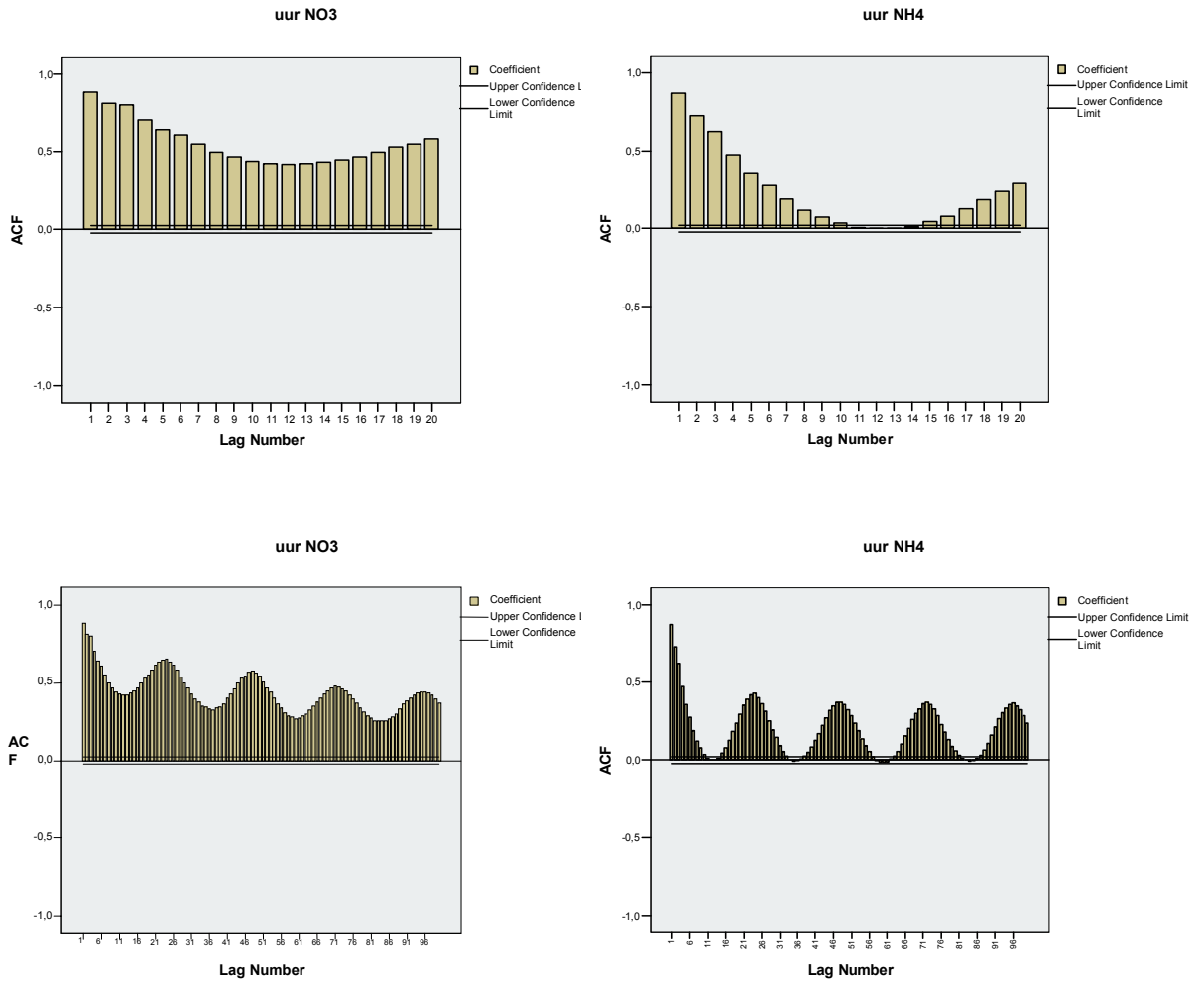
Een andere reden waarom het beter zou kunnen zijn om naar de toe- en afname van de effecten te kijken is dat deze hoeveelheden in zekere mate autogecorreleerd kunnen zijn. Dit betekent dat de hoeveelheden op een bepaald tijdstip afhankelijk zouden kunnen zijn van de hoeveelheden een tijdstip ervoor. Voor het NO₃ en NH₄ gehalte is dit onderzocht. Voor deze reeksen waren gegevens op uurbasis beschikbaar.

Afbeelding 1 en 2 laten zien dat er inderdaad sprake is van een hoge autocorrelatie. De hoogte van een 'staafje' laat de correlatie zien tussen waarden op een bepaald tijdstip met waarden een aantal 'lags' (in dit geval uren) ervoor. Een waarde dicht bij de waarde één duidt op een hoge correlatie. De onderste twee figuren van afbeelding 1 en 2 laten daarbij ook een duidelijk dagpatroon zien. Dit is te herkennen aan de pieken die voorkomen na periodes van 24 uur.

AFBEELDING 1 AUTOCORRELATIE NO₃ EN NH₄ ALS EFFECT VAN VARIËREN VAN FE³⁺-GEHALTE



AFBEELDING 2 AUTOCORRELATIE NO3 EN NH4 ALS EFFECT VAN VARIËREN VAN PE-GEHALTE



CORRELATIE DOSERING EN VERANDERING VAN NO3 EN NH4 GEHALTE

Voor de beschikbare gegevens van dosering en NO3 en NH4 gehalte is voor zowel het directe effect en de toe- en afname (DIFF) van het effect de correlatie vastgesteld. In de tabel hieronder is dit weergegeven.

TABEL 1 CORRELATIE DOSERING OP NO3 EN NH4 GEHALTE IN HET EFFLUENT

dosering (mgFe/l)			dosering (mgPE/l)		
dosering (mgFe/l)	Pearson Correlation	1	dosering (mgPE/l)	Pearson Correlation	1
	Sig. (2-tailed)			Sig. (2-tailed)	
	N	3459		N	7480
uur NO3	Pearson Correlation	.286(**)	uur NO3	Pearson Correlation	.111(**)
	Sig. (2-tailed)	0		Sig. (2-tailed)	0
	N	3392		N	7478
uur NH4	Pearson Correlation	-.073(**)	uur NH4	Pearson Correlation	-.130(**)
	Sig. (2-tailed)	0		Sig. (2-tailed)	0
	N	3458		N	7478
DIFF(uurNO3,1)	Pearson Correlation	-0.004	DIFF(uurNO3,1)	Pearson Correlation	-0.011
	Sig. (2-tailed)	0.826		Sig. (2-tailed)	0.321
	N	3389		N	7471
DIFF(uurNH4,1)	Pearson Correlation	-0.001	DIFF(uurNH4,1)	Pearson Correlation	-0.02
	Sig. (2-tailed)	0.935		Sig. (2-tailed)	0.08
	N	3456		N	7471

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Wat opvalt, is dat de correlatie met het gehalte NO3 en NH4 significant is, maar wanneer er gekeken wordt naar de correlatie met toe- en afname (DIFF) van het NO3 en NH4 gehalte, de correlatie laag is.

Er is geen verband zichtbaar tussen dosering en NO3 en NH4 gehalte.

De grote hoeveelheid nullen die terug te vinden zijn in de reeks met doseringen zouden ook zeker bij kunnen dragen aan deze resultaten.

CORRELATIE DOSERING EN OVERIGE EFFECTEN

De correlaties met het NO3 en NH4 gehalte zijn bepaald met behulp van reeksen op uurbasis. Van de overige effecten zijn reeksen beschikbaar op dagbasis. Deze reeksen zijn korter. Dit betekent dat een berekende correlatie minder significant zou kunnen zijn, omdat er minder data beschikbaar is.

Daarnaast zijn bij deze reeksen met doseringen ook veel nulwaarden terug te vinden, waardoor het aantonen van een mogelijk verband lastiger zal worden.

In tabel 2 in de bijlage staan de correlaties tussen dosering en (toe- of afname) van de overige effecten. In de tabel zijn, net als bij de gegevens op uurbasis, geen significantie correlaties terug te vinden.

CONCLUSIE

Samenvattend kan het volgende gezegd worden.

Er is een significante correlatie tussen dosering en (directe) effecten. Dit wordt mogelijk-erwijs beïnvloed door sturing van de dosering.

Er is een sterke autocorrelatie zichtbaar bij het NO3 en NH4 gehalte.

Geen significante correlatie tussen dosering en de effluentgehalten aan NO3 en NH4 in het effluent.

CORRELATIE DOSERING EFFECT

Correlations		Correlations	
mg PE actief/100 NTU L	mg PE actief/100 NTU L	L/h	mg Fe ³⁺ /l
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
mg PE/L	mg PE/L	mg Fe ³⁺ /l	mg Fe ³⁺ /l
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(afl.VBTDSmg)30,1)	(afl.VBTDSmg)30,1)	(afl.VBTDSmg)30,1)	(afl.VBTDSmg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(afl.VBTBZV5mg)30,1)	(afl.VBTBZV5mg)30,1)	(afl.VBTBZV5mg)30,1)	(afl.VBTBZV5mg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(afl.VBTCZVmg)30,1)	(afl.VBTCZVmg)30,1)	(afl.VBTCZVmg)30,1)	(afl.VBTCZVmg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(afl.VBTk)Nmg)30,1)	(afl.VBTk)Nmg)30,1)	(afl.VBTk)Nmg)30,1)	(afl.VBTk)Nmg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(afl.VBTS_PO4mg)30,1)	(afl.VBTS_PO4mg)30,1)	(afl.VBTS_PO4mg)30,1)	(afl.VBTS_PO4mg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(effluentBZV5mg)30,1)	(effluentBZV5mg)30,1)	(effluentBZV5mg)30,1)	(effluentBZV5mg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(effluentCZVmg)30,1)	(effluentCZVmg)30,1)	(effluentCZVmg)30,1)	(effluentCZVmg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N
(effluentK)Nmg)30,1)	(effluentK)Nmg)30,1)	(effluentK)Nmg)30,1)	(effluentK)Nmg)30,1)
Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation	Pearson Correlation
Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)	Sig. (2-tailed)
N	N	N	N

(effluentS_P04mgI30,1)	N	99	0.16	99	0.081	(effluentS_P04mgI30,1)	N	50	45
	Pearson Correlation	0.16		Pearson Correlation			Pearson Correlation	-0.227	.344(*)
	Sig. (2-tailed)	0.114		Sig. (2-tailed)	0.423		Sig. (2-tailed)	0.112	0.021
	N	99		N	99		N	50	45
(effluentNH4mgI30,1)	Pearson Correlation	0.181		Pearson Correlation	0.152	(effluentNH4mgI30,1)	Pearson Correlation	-0.109	-0.003
	Sig. (2-tailed)	0.073		Sig. (2-tailed)	0.133		Sig. (2-tailed)	0.437	0.983
	N	99		N	99		N	53	47
(effluentNO3mgI30,1)	Pearson Correlation	0.079		Pearson Correlation	0.048	(effluentNO3mgI30,1)	Pearson Correlation	-0.011	-0.076
	Sig. (2-tailed)	0.439		Sig. (2-tailed)	0.635		Sig. (2-tailed)	0.935	0.61
	N	99		N	99		N	53	47
(effluentNO2mgI30,1)	Pearson Correlation	-0.092		Pearson Correlation	-0.08	(effluentNO2mgI30,1)	Pearson Correlation	0.012	-0.068
	Sig. (2-tailed)	0.367		Sig. (2-tailed)	0.43		Sig. (2-tailed)	0.93	0.652
	N	99		N	99		N	53	47
(effluentNOxmgI30,1)	Pearson Correlation	0.024		Pearson Correlation	0	(effluentNOxmgI30,1)	Pearson Correlation	0.009	-0.086
	Sig. (2-tailed)	0.816		Sig. (2-tailed)	0.998		Sig. (2-tailed)	0.951	0.565
	N	99		N	99		N	53	47
(DS,1)	Pearson Correlation	0.023		Pearson Correlation	-0.016	(DS,1)	Pearson Correlation	.397(**)	-.397(**)
	Sig. (2-tailed)	0.821		Sig. (2-tailed)	0.875		Sig. (2-tailed)	0.006	0.006
	N	98		N	98		N	47	47
(BZV5,1)	Pearson Correlation	-0.172		Pearson Correlation	-.209(*)	(BZV5,1)	Pearson Correlation	.353(**)	-0.048
	Sig. (2-tailed)	0.096		Sig. (2-tailed)	0.042		Sig. (2-tailed)	0.009	0.748
	N	95		N	95		N	53	47
(CZV,1)	Pearson Correlation	0.063		Pearson Correlation	0.043	(CZV,1)	Pearson Correlation	.580(**)	-0.137
	Sig. (2-tailed)	0.539		Sig. (2-tailed)	0.675		Sig. (2-tailed)	0	0.358
	N	98		N	98		N	52	47
(KJN,1)	Pearson Correlation	-0.002		Pearson Correlation	0.021	(KJN,1)	Pearson Correlation	0.164	-0.111
	Sig. (2-tailed)	0.987		Sig. (2-tailed)	0.834		Sig. (2-tailed)	0.264	0.472
	N	98		N	98		N	48	44
(S_P04,1)	Pearson Correlation	-0.056		Pearson Correlation	-0.022	(S_P04,1)	Pearson Correlation	.287(*)	-0.198
	Sig. (2-tailed)	0.589		Sig. (2-tailed)	0.832		Sig. (2-tailed)	0.045	0.192
	N	95		N	95		N	49	45

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

CORRELATIE DOSERING OP TOE- EN AFNAME VAN HET EFFECT

Correlations		Correlations	
mg PE actief/100 NTU L	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L .913(**) 0 99	mg Fe ³⁺ /l .917(**) 0 53
mg PE/L	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L .913(**) 0 99	mg Fe ³⁺ /l .917(**) 0 53
DIFF(afl.VBTDSmg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L 0.067 0.516 96	DIFF(afl.VBTDSmg)30,1) -0.143 0.36 43
DIFF(afl.VBTBZV5mg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L 0.035 0.738 93	DIFF(afl.VBTBZV5mg)30,1) 0.109 0.443 52
DIFF(afl.VBTCZVmg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L -0.094 0.363 96	DIFF(afl.VBTCZVmg)30,1) -0.222 0.118 51
DIFF(afl.VBTk)Nmg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L -0.059 0.57 96	DIFF(afl.VBTk)Nmg)30,1) -0.127 0.391 48
DIFF(afl.VBTS_P04mg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L -0.041 0.69 96	DIFF(afl.VBTS_P04mg)30,1) -0.084 0.578 46
DIFF(effluentBZV5mg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L -0.574 0.311 5	DIFF(effluentBZV5mg)30,1) 0.377 0.623 4
DIFF(effluentCZVmg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L -0.634 0.25 5	DIFF(effluentCZVmg)30,1) -0.698 0.302 4
DIFF(effluentk)Nmg)30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	mg PE actief/100 NTU L -0.002 0.988 98	DIFF(effluentk)Nmg)30,1) -0.125 0.399 48

DIFF(effluentS_P04:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.04 0.696 98	-0.023 0.824 98	-0.11 0.457 48	DIFF(effluentS_P04:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.124 0.4 48	-0.011 0.944 43
DIFF(effluentNH4:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.074 0.468 98	0 0.999 98	-0.009 0.95 52	DIFF(effluentNH4:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.013 0.928 52	-0.007 0.942 52
DIFF(effluentN03:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.009 0.93 98	0.006 0.955 98	0.01 0.942 52	DIFF(effluentN03:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.049 0.728 52	0.01 0.942 52
DIFF(effluentN02:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.03 0.771 98	0.01 0.922 98	-0.003 0.986 52	DIFF(effluentN02:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.002 0.988 52	-0.003 0.986 52
DIFF(effluentNOx:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.007 0.947 98	0.006 0.954 98	-0.002 0.991 52	DIFF(effluentNOx:mg 30,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.039 0.786 52	-0.002 0.991 52
DIFF(DS,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.001 0.991 96	0.02 0.846 96	-0.011 0.944 43	DIFF(DS,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.032 0.837 43	-0.011 0.944 43
DIFF(BZV5,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.099 0.35 91	-0.032 0.764 91	-0.007 0.961 52	DIFF(BZV5,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.026 0.852 52	-0.007 0.961 52
DIFF(CZV,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.115 0.264 96	0.1 0.331 96	0.149 0.297 51	DIFF(CZV,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.12 0.402 51	0.149 0.297 51
DIFF(KjN,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.009 0.93 96	-0.021 0.838 96	0.127 0.41 44	DIFF(KjN,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	0.115 0.459 44	0.127 0.41 44
DIFF(S_P04,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.041 0.704 90	-0.088 0.407 90	-0.011 0.944 46	DIFF(S_P04,1)	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-0.011 0.944 46	-0.011 0.944 46

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

