

EFFLUENTNABEHANDELING OP DE RWZI MAASBOMMEL



RAPPORT

2007

17

PRAKTIJKONDERZOEK NABEHANDELINGSTECHNIEKEN
EFFLUENTNABEHANDELING OP DE RWZI MAASBOMMEL

2007

17

ISBN 978.90.5773.366.6



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 231 79 80
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 2007

PROJECTUITVOERING

ing. J.P.H. Piron, Waterschap Rivierenland
ir. J. Kruit, Royal Haskoning
ing. J.G. Segers, Waterschap Rivierenland
ir. W. van Betuw, Royal Haskoning

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

ir. C.P. Petri, Waterschap Rijn en IJssel
ing. G.B.J. Rijs, RIZA
ir. F.D.G. Kiestra, Waterschap Aa en Maas
ir. P. de Been, Hoogheemraadschap van Delfland
ing. M.J.A. Boersen, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
ir. C.A. Uijterlinde, STOWA

FOTO'S OMSLAG

Nabehandelingsreactor RWZI Maasbommel (Waterschap Rivierenland, Tiel)
Continu zandfilter (Royal Haskoning, Nijmegen)
Actievekoolkolom (Royal Haskoning, Nijmegen)
Actieve kool in granulaire vorm (Royal Haskoning, Nijmegen)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2007-17
ISBN 978.90.5773.366.6

TEN GELEIDE

De komende tijd staat voor de waterbeheerders in Nederland in het teken van de implementatie van de Europese Kader Richtlijn Water (KRW). De KRW doelstelling bestaat voornamelijk uit het realiseren van een goede biologische en chemische toestand van het oppervlaktewater. Aangezien lozingen van rwzi's een significante invloed kunnen hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit, kan het wenselijk zijn extra maatregelen op de rwzi's te nemen.

De extra maatregelen kunnen bestaan uit het introduceren van nabehandelingstechnieken die de afloop van de nabezinktank nog schoner moeten maken. In 2002-2004 is op de rwzi Maasbommel onderzoek uitgevoerd naar toepassing van een membraanbioreactor en continue zandfiltratie voor vergaande verwijdering van nutriënten. Uit de resultaten bleek dat een zeer vergaande verwijdering van nutriënten moeilijk was. Andere KRW-gerelateerde stoffen werden gedeeltelijk verwijderd.

In het huidige vervolgonderzoek ligt de nadruk op de verwijdering een breed scala van stoffen, waaronder nutriënten, zware metalen, organische microverontreinigingen en in beperkte mate medicijnen. Hiermee werd beoogd inzicht te krijgen in het bereiken van een effluent met een goede chemische toestand. Daarnaast is de biologische effluentkwaliteit beoordeeld.

De gekozen technieken voor het bereiken van de genoemde effluentkwaliteit zijn de toepassing van actieve kool in poeder en granulaire vorm en het doseren van polymeer al dan niet in combinatie met ultrafiltratie. De resultaten van de studie geven inzicht in welke technologie geschikt is om de KRW-gerelateerde stoffen te verwijderen. Het toepassen van actieve kool in granulaire vorm lijkt voldoende potentie te hebben om te voldoen aan de voorlopig gestelde eisen.

Utrecht, oktober 2007

De directeur van de STOWA,

Ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

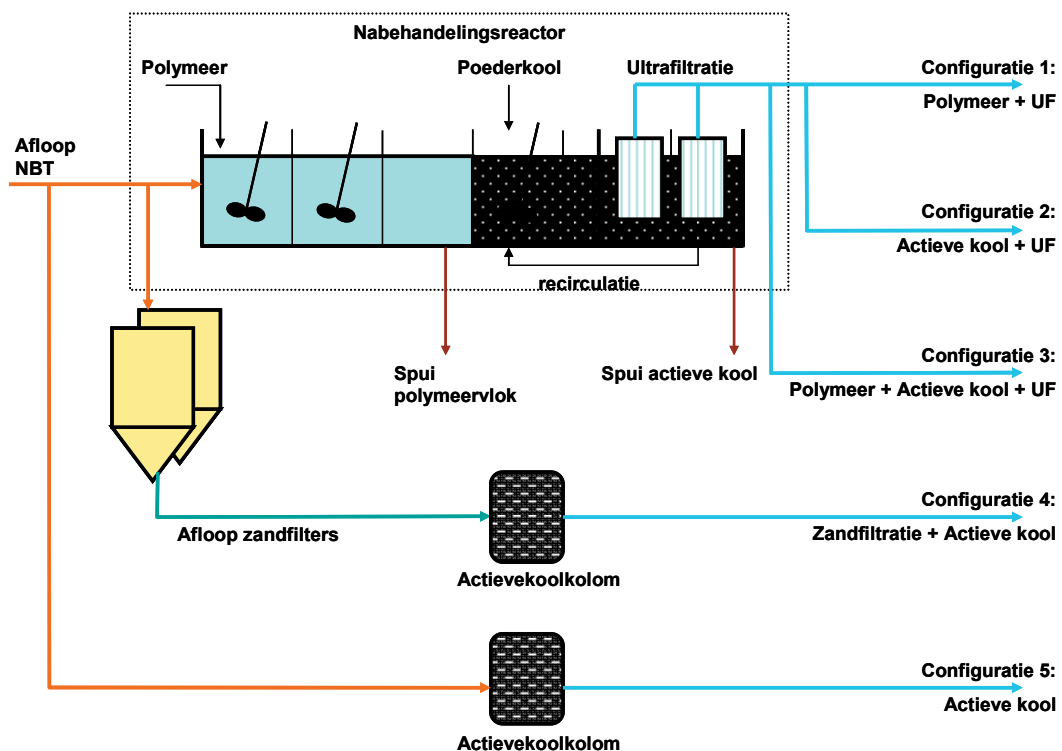
In de periode 2006 - 2007 is op de rwzi Maasbommel een onderzoek naar de toepassing van nabehandelingstechnieken voor een rwzi uitgevoerd. Dit onderzoek volgt op het onderzoek in 2002-2004, waarin een MembraanBioReactor (MBR) en continue zandfiltratie met elkaar zijn vergeleken op de rwzi Maasbommel. De toepassing van actieve kool en polymeerdosering in verschillende configuraties en het verwijderen van KRW gerelateerde stoffen komt in dit rapport aan bod. In opdracht van de STOWA hebben Waterschap Rivierenland en Royal Haskoning getracht de volgende onderzoeksvraag te beantwoorden:

“Welke nabehandelingstechniek is toepasbaar om de binnen de KRW geselecteerde stoffen te verwijderen?” In het kader van dit onderzoek zijn koper, zink en nikkel, polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's), diuron en simazine als voorbeeld stoffen geselecteerd. Daarnaast werd beoogd inzicht te krijgen in effecten op de biologische kwaliteit van het effluent door middel van bioassays. Een nevenvraag was wat de bedrijfsvoeringsaspecten zijn van de technieken.

De nabehandelingstechnieken zijn weergegeven in figuur A:

FIGUUR A.

SCHEMA NABEHANDELINGSTECHNIKEN



In de polymeer- en poederkoolreactor werd de slib/waterscheiding gerealiseerd met een UF.

RESULTATEN

Nutriënten, CZV en zwevende stof

De toepassing van actieve kool en / of polymeerdosering heeft nagenoeg geen effect op de verwijdering van nutriënten. Alleen de actievekoolkolom na de zandfilters laat nog een significante stikstofverwijdering (> 90% nitraat-N) zien door denitrificatie in de biofilm die groeit op het koolbed. Wanneer de koolkolom direct na de nabezinktank is geschakeld is de verwijdering lager, circa 10% van het nitraat-N.

Het CZV-rendement door polymeerdosering en ultrafiltratie is verwaarloosbaar, maar door actieve kool wordt circa 45 - 70% verwijderd. De rendementen van de actievekoolkolom na de zandfiltratie zijn lager, maar niet representatief als gevolg van de hoge mate van zwevestofuitspoeling door de zandfilters. De toepassing van poederkool heeft een hogere CZV verwijdering dan de koolkolom.

De verwijdering van zwevende stof is bij de polymeerdosering en poederkool in combinatie met de ultrafiltratie uiteraard volledig. De actievekoolkolom direct na de nabezinktank laat ook een hoge verwijdering zien van meer dan 70% tot concentraties van <2 mg/l. De actievekoolkolom achter de zandfilters laat nagenoeg geen verwijdering van zwevende stof zien.

Zware metalen

Het algemene beeld is dat zware metalen zowel door polymeerdosering alsook door actieve kool goed kunnen worden verwijderd tot onder de MTR waarden en voorlopige Environmental Quality Standards (EQS). Dit geldt overigens ook voor de nabezinktank in de intensieve periodes in het onderzoek. Alleen voor nikkel blijven de rendementen van de actieve kool iets achter en levert polymeerdosering een aanzienlijk hoger rendement op. In tabel A zijn de resultaten voor de verschillende technieken voor koper, zink en nikkel weergegeven.

TABEL A.

RENDEMENTEN VAN TECHNIEKEN VOOR ZWARE METALEN (IN %)

Parameter	Polymeer, UF	Poederkool, UF	Koolkolom na ZF	Koolkolom na NBT
Koper	83	65	74	66
Zink	75	83	62	66
Nikkel	70	33	20	20

Bioassays

De milieubezwaarlijkheid van het effluent is bepaald met bioassays en de ER-Calux. De uitgevoerde TEB-metingen (Microtox, algen) laten vaak dezelfde resultaten zien, maar zijn soms met elkaar in tegenspraak zoals blijkt in tabel B. In het algemeen geldt dat actieve kool een aanzienlijke verlaging van toxiciteit en oestrogene activiteit laat zien en polymeerdosering op beide aspecten een verslechtering. In een kwart van de testen heeft de afloop van de nabezinktank waarden voor Microtox die een indicatie zijn voor chronische toxiciteit.

TABEL B.

RENDEMENTEN VAN TECHNIEKEN VOOR TEB ANALYSES (IN %)

Parameter	Polymeer, UF	Poederkool, UF	Zandfilters	Koolkolom na ZF	Koolkolom na NBT
Microtox	- 62	61	3	-12	40
Alg	0	67	-10	80	74

Organische microverontreinigingen

Ampa en Glyphosaat worden door de koolkolom, polymeer en UF niet verwijderd. Poederkool met UF levert een verwijdering op 20%. Diuron en simazine worden tot aan de detectielimiet verwijderd door de toepassing van actieve kool. De actievekoolkolom achter de nabezinktank laat voor diuron een verwijdering zien van circa 80% bij 6.600 behandelde bedvolumina.

Pathogenen

De norm voor lozen op zwembadwater is niet bereikt tijdens vijf metingen in de afloop van de zandfilters, actievekoolkolom en nabehandelingreactor met poederkool. Uit het onderzoek met de poederkoolreactor en ultrafiltratie is gebleken dat een log 3 verwijdering wordt gerealiseerd. Dit werd ook al gemeten tijdens het vorige onderzoek met de membraanbioreactor.

Medicijnen

Door de koolkolom achter de nabezinktank te situeren worden de medicijnen tot zeer lage concentraties verwijderd. Tot 2.500 bedvolumina worden sulfamethoxazol en diclofenac voor 85% en carbamazepine en metoprolol voor 95% verwijderd. Bij 7.200 bedvolumina is de verwijdering van diclofenac en sulfamethoxazol al afgenomen tot minder dan 55%.

Bedrijfsvoering

Wat betreft de toepassing van actieve kool wordt opgemerkt dat de voorkeur uitgaat naar korrelkool in de vorm van een actievekoolkolom. Dit is de minst complexe installatie en levert het grootste bedrijfsvoeringgemak. De koolkolom heeft regelmatig een spoeling nodig. Het spoelwaterverlies van de actievekoolkolom is circa 2% als het achter de zandfilters en circa 4% als het direct na de nabezinktank is geplaatst. Dit is lager dan de 5% van een continu zandfilter.

De bedrijfsvoering van poederkool is problematisch. Aangezien de poederkool slecht bezinkt, zal hiervoor altijd een aanvullende scheidingsstap geïnstalleerd moeten worden. Membraanfiltratie in ondergedompelde vorm lijkt als scheidingsstap niet geschikt omdat de membranen, bij een poederkoolconcentratie van 2 - 3 g/l, dan kapot kunnen worden geschuurd.

De toepassing van polymeer voor de verwijdering van zware metalen heeft ook nadelige aspecten. Ten eerste leidt de moeilijk te beheersen overdosering tot een verslechtering van de biologische kwaliteit van het effluent. Daarnaast is het gebruik van dergelijke milieubezwaarlijke stoffen op grote schaal niet echt duurzaam. Eventueel zijn er wel alternatieven beschikbaar die gunstiger score in de ABM.

EVALUATIE

De verschillende nabehandelingstechnieken zijn op basis van hun verwijderingsrendementen en bedrijfsvoeringsaspecten geëvalueerd (tabel C).

TABEL C OVERZICHT VERGELIJKING VAN NAGESCHAKELDE TECHNIEKEN

Parameter	Polymeer UF	Poederkool UF	Polymeer Poederkool UF	Zandfilters N en P	Koolkolom met zandfilters	Koolkolom
Verwijdering van stoffen						
stikstof	-	+ / 0	0	+ / 0	+ / 0	0
fosfaat	-	+ / 0	0	+	+	0
CZV	0	++	+	+ / 0	+ / 0	+ / 0
zwevende stof	++	++	++	+ / 0	+ / 0	++
zware metalen	++	+	++	+ / 0	++	+
diuron en simazine	-	++	nb	+ / 0	++	++
AMPA en glyfosaat	nb	+	nb	0	0	nb
ER-Calux	-	++	nb	-	++	++
toxiciteit	-	+	nb	-	+	+
medicijnen	nb	nb	nb	nb	nb	+
desinfectie	++	++	++	0	0	0
Bedrijfsvoerings aspecten	+	-	-	0	0	+

Betekenis van symbolen is een range van verwijderingsrendement: - = < 0%; 0 = 0 - 20%; + / 0 = 20 - 50%; + = 50 - 70%; ++ = 70 - 100 %)

CONCLUSIES

Actieve kool

- Onafhankelijk van de uitvoeringsvorm laat de toepassing van actieve kool (met een standtijd tot 4 maanden) een overall verbetering van het effluent zien door verwijdering van:
 - CZV, ca. 50%;
 - herbiciden en pesticiden tot beneden het detectieniveau;
 - acute toxiciteit / TEB bioassays tot beneden het detectieniveau;
 - oestrogene activiteit bioassay tot beneden het detectieniveau;
 - zware metalen (koper en zink 50 - 90% en nikkel ca. 40%);
 - de gemeten medicijnen, circa 80 - 90%.
- Op basis van eenvoud en bedrijfsvoeringgemak is een kolomuitvoering te prevaleren boven een poederkoolreactor. Daarnaast verwijdert de kolom aanvullend ook nog nitraat door denitrificatie indien de aanvoer lage zuurstofconcentraties bevat;
- De poederkoolreactor heeft (door ultrafiltratie) een absolute verwijdering van zwevende stof. Daar staat tegenover dat de actievekoolkolom na de nabezinktank het zeventendestofgehalte, ook tijdens RWA, reduceert tot waarden onder de 2 mg/l;
- De actievekoolkolom kan achter de nabezinktank alsook achter de zandfiltratie worden geschakeld.

Polymeerdosering

- dosering van polymeer (50 ml/m³) aan het rwzi-effluent levert na ultrafiltratie een verwijdering van koper, zink en nikkel van respectievelijk 83, 75 en 70%;
- het hier toegepaste polymeer is een categorie A stof (conform de ABM) en levert een verhoogde toxiciteit van het effluent. Alternatieven zijn echter op de markt voorhanden;
- aanvullende verwijdering van nutriënten, CZV en organische microverontreinigingen is door polymeerdosering verwaarloosbaar.

AANBEVELINGEN

Voor de verwijdering van KRW-gerelateerde stoffen lijkt het schakelen van een actiefekoolkolom na de nabezinktank het meest voor de hand te liggen. Hiermee wordt een aanzienlijke verbetering van de chemische kwaliteit gerealiseerd door de verwijdering van CZV, zwevende stof, zware metalen, organische microverontreinigingen en de gemeten medicijnen. Dit leidt daarnaast tot een verlaging van de overall toxiciteit. Wanneer een rwzi op gevoelig oppervlaktewater loost waarin de biologische kwaliteit van groot belang is, is de toepassing van een actiefekoolkolom een waardevolle nabehandelingstechnologie.

De actiefekoolkolom kan ook achter zandfilters worden geplaatst. Van belang hierbij is dat de uitspoeling van zwevende stof en ijzerslib uit het zandfilter minimaal is, zodat geen nadelige effecten voor de bedrijfsvoering van de koolkolom plaatsvinden. De toepassing van discontinue zandfiltratie voor de actiefekoolkolom verdient de voorkeur boven continue zandfiltratie omdat daaruit minder slib spoelt. Er zijn echter nog geen ervaringen met deze procesconfiguratie in de praktijk opgedaan.

De actiefekoolkolom is op pilotschaal nu succesvol gebleken. Het is echter nog onbekend of de behaalde resultaten met de actiefekoolkolom ook op een demo of full-scale installatie op een andere rwzi kunnen worden gehaald. Voornamelijk de verwijdering van zware metalen, herbiciden en pesticiden en medicijnen gedurende een langere standtijd (bedvolumina > 10.000) is nog onzeker. Meer onderzoek naar de relatie tussen verzadiging van het koolbed en verschillende stoffen in het effluent van de rwzi is noodzakelijk. Daarnaast is het wenselijk om meer inzicht te krijgen in de bedrijfsvoeringsaspecten alsmede de optimale standtijd in een full-scale configuratie. De toepassing van actieve kool heeft veel positieve kanten, maar de kosten zijn niet gering en hangen sterk af van de standtijd.

De toepassing van poederkool in de geteste configuratie kan als matig worden beoordeeld. Dit komt door de slechte bezinkbaarheid en de nadelige effecten op de membranen. De toepassing van poederkool in de beluchtingstank van een rwzi zou een betere configuratie zijn, omdat de poederkool aan de slibvlokken hecht en wordt afgescheiden in de nabezinktank. De verwachting is echter wel dat dit tot hoge verbruiken van poederkool leidt omdat de poriën van de kool minder toegankelijk zijn voor opgeloste organische microverontreinigingen vanwege de aanhechting van slib.

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 6,5 miljoen euro.

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

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

Email: stowa@stowa.nl.

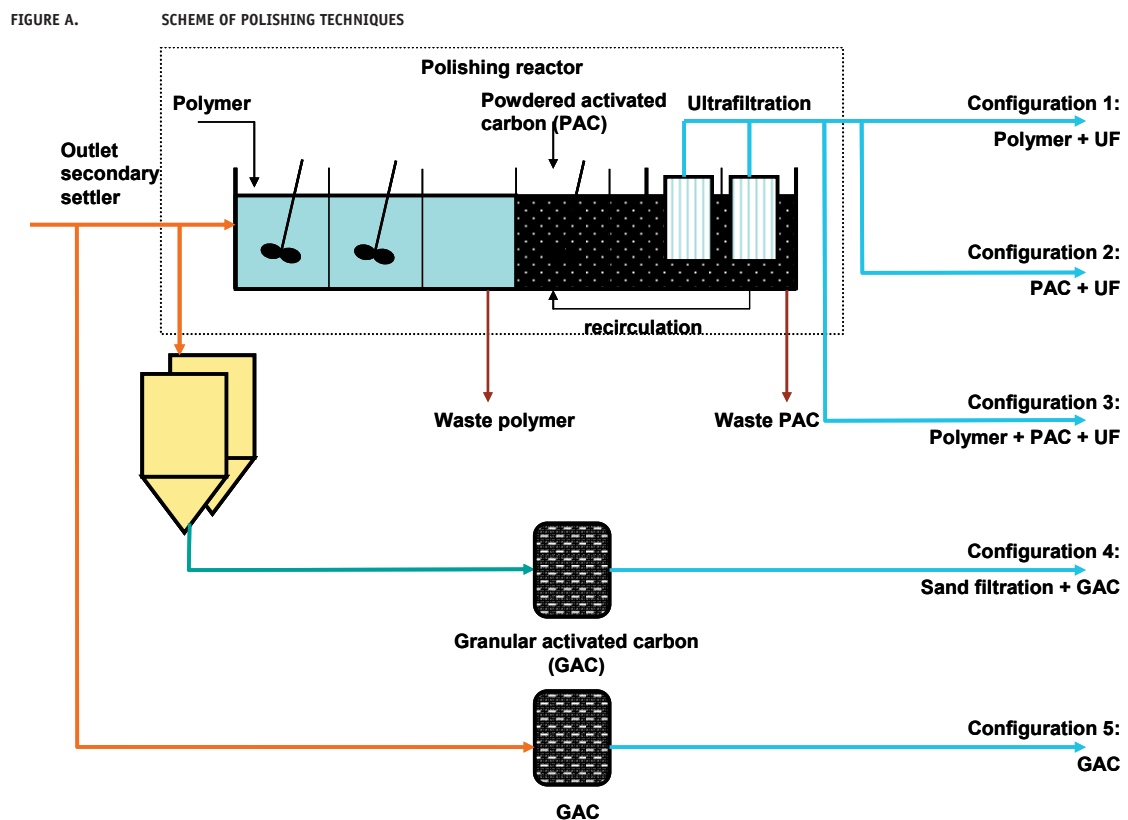
Website: www.stowa.nl

SUMMARY

An investigation into the applicability of polishing techniques was started at WWTP Maasbommel in April 2006. The investigations were a follow-up of the study to the applicability and comparison of a membrane bioreactor and continuous sand filtration in 2002 - 2004. Activated carbon and a polymer reactor with ultrafiltration are the main techniques to remove Water Framework Directive (WFD) related substances. The research was carried out by the Waterboard Rivierenland (river land) and Royal Haskoning, and financed by the STOWA. The main research question was:

Which polishing technique is applicable to remove the WFD related substances? Copper, zinc en nickel, PAH's, diuron and simazine were selected as examples. Apart from this the effect on biological effluent quality was studied by bioassays. Another research objective was to obtain insight in the operation and maintenance aspects.

The studied polishing techniques are presented in Figure A:



Separation of sludge in the polymer and powdered activated carbon (PAC) reactor was carried out by ultrafiltration membranes.

RESULTS

Nutrients, COD, and TSS

Hardly any nutrients were removed by the applications with activated carbon and polymer. The GAC after the sand filters removed nitrate significantly (> 90%) by denitrification by a bio-film. However, when the granular activated carbon (GAC) column was situated directly after the secondary settler the removal efficiency was only 12%.

The removal efficiency of COD by the polymer reactor and UF is negligible. The removal by activated carbon is approximately 44 - 70%. The efficiency of GAC after the sand filters is lower due to high washouts of suspended solids from the sand filters. PAC has a higher removal efficiency for COD than GAC.

Suspended solids are completely removed by the polymer reactor and UF and PAC and UF. The GAC after the secondary settler removed more than 70% of the TSS to concentrations below the detection limit (2 mg/l). After the sand filters hardly any TSS was removed.

Heavy metals

Heavy metals were in general removed till concentrations below the Maximum Tolerable Risk -values by the polymer dosage, activated carbon, and secondary settler. The removal of nickel was higher in the polymer reactor compared to the PAC and GAC. Tabel A presents the removal efficiency of copper, zinc, and nickel.

TABLE A. REMOVAL EFFICIENCY OF HEAVY METALS (IN %)

Parameter	Polymeer, UF	PAC, UF	GAC after sand filters	GAC after secondary settler
copper	83	65	74	66
Zinc	75	83	62	66
nikcel	70	33	20	20

Bioassays

The potential environmental risks of the effluent were assessed with bioassays and ER-Calux (estrogen receptor chemically activated luciferase reporter gene expression). The bioassays with Microtox and algae (Table B) are mostly similar, but some are contradictory. Activated carbon substantially reduces the toxicity and endocrine disrupting activity of the effluent. In 25% of the samples, of the effluent of the secondary settler (the influent of the polishing techniques), the outcome of the Microtox test indicated chronic toxicity.

TABLE B. REMOVAL EFFICIENCY OF TOXICITY FOR MICROTOX AND ALGAE (IN %)

Parameter	Polymer, UF	PAC, UF	Sand filters	GAC after sand filters	GAC after secondary settler
microtox	- 62	61	3	-12	40
algae	0	67	-10	80	74

Organic micro pollutants

Ampa and glyphosate were not removed by GAC, polymer reactor and UF. The combination of PAC and UF resulted in a 20% reduction. Diuron and simazine were found below the limit of detection after activated carbon. GAC after the secondary settler removed diuron by 80% after 6.600 treated m³ per m³ activated carbon (bed volumes).

Pathogens

The quality standard for effluent to discharge on swimming water was not obtained by sand filtration, GAC, and PAC UF. PAC and UF obtained a 3 log reduction of pathogens that was also found in a previous research.

Medicines

The GAC after the secondary settler removes effectively medicines. Sulfamethoxazol and diclofenac were removed by 85% and carbamazepine and metoprolol by 95% after 2.500 bed volumes. The removal efficiency decreased to 55% after 7.200 bed volumes.

OPERATION AND MAINTENANCE

Whit respect to the operation the GAC is preffered over PAC, because it is less complex, and has the highest maintenance comfort. The GAC colum was washed frequently with approximately 2% of the produced filtrate after the sand filters and 4% after the secondary settler. This amount of wash water is lower than used for the sand filters.

The operation of the PAC is problematic, due to the low settleability and necessary additional settler or filter. Submerged membrane filtration is not an appropriate technology for this combination, since the membranes were demolished by the PAC.

The operation of a polymer reactor is also problematic due to required marginal over dosing of polymer, which is difficult to maintain and may result in increased toxicity of the effluent. Moreover, the introduction of a toxic polymer at full scale not really sustainable.

Evaluation

The different polishing techniques are compared in table C on their removal efficiency and operation and maintenance aspects.

TABLE C. COMPARATIVE EFFLUENT POLISHING TECHNIQUES

Parameter	Polymer, UF	PAC, UF	Polymer PAC, UF	Sand filters N and P	GAC and Sand filters	GAC after secondary settler
Removal efficiency						
nitrogen	-	+/0	0	+/0	+/0	0
phosphorus	-	+/0	0	+	+	0
COD	0	++	+	+/0	+/0	+/0
TSS	++	++	++	+/0	+/0	++
heavy metals	++	+	++	+/0	++	+
diuron and simazine	-	++	nb	+/0	++	++
AMPA and glyfosaat	nb	+	nb	0	0	nb
ER-Calux	-	++	nb	-	++	++
toxicity	-	+	nb	-	+	+
medicines	nb	nb	nb	nb	nb	+
disinfection	++	++	++	0	0	0
Operation and maintenance	+	-	-	0	0	+

The symbols represent a removal efficiency range: - = < 0%; 0 = 0 - 20%; +/0 = 20 - 50%; + = 50 - 70%; ++ = 70 - 100

CONCLUSIONS

Activated carbon

- Application of activated carbon always shows an improvement of the effluent quality, independent of how it is applied:
 - COD removal of approximately 50%;
 - effluent concentrations of herbicides and pesticides below the limit of detection;
 - toxicity below the limit of detection;
 - ER-Calux below the limit of detection;
 - removal of heavy metals (copper and zinc by 50 – 90% and nickel approximately by 40%);
 - the studied medicins, approximately 80 - 90%.
- Comfort of the operation and maintenance of GAC is higher than with the PAC. Even nitrate is removed in the GAC if provided oxygen concentrations are low;
- The PAC and UF remove TSS completely. The GAC after the secondary settler also removed TSS to below the limit of detection (<2 mg/l);
- GAC columns can be placed after sand filters or directly after the secondary settler.

Polymer dosage

- The dosage of polymer (50 ml/m³) to the WWTP-effluent resulted after the UF in a reduction of copper, zinc and, nickel of respectively 83, 75, and 70%;
- The applied polymer is considered a (highly) toxic substance (class A) and resulted in an increase of toxicity of the effluent. Possibly alternative (less toxic) polymers are suitable;
- Additional removal of nutrients, COD and organic micro pollutants is negligible.

RECOMMENDATIONS

Activated carbon filtration in a column seems the most preferable polishing technique to remove WFD related substances. The removal of COD, suspended solids, heavy metals, organic micro pollutants, and measured medicins by GAC is significant. Furthermore a reduction of the overall toxicity is realised by GAC. When a WWTP discharges on sensitive surface water GAC after the secondary settler is an excellent polishing technique.

The GAC can also be placed after a sand filtration step. But the washout of suspended solids or ferric sludge needs to be controlled for optimal operation. For this reason discontinuous sand filters are preferred over continuous sand filters. However experiences with this combination are low.

The GAC is successful at pilot scale. However, there are still uncertainties of this application on demo- and fullscale and at different WWTP's. Especially the removal of heavy metal, herbicides and pesticides and medicins on the long run (> 10.000 bed volumes) is still uncertain. More research is needed to obtain insight in these aspects of the GAC.

The application of PAC with UF is quite moderate. The reason for this are the unfavourable settleability and effect on the membranes. The dosage of PAC in the activated sludge process might be more interesting. However, this might result in a high PAC use and lower removal efficiency due to the influence of the sludge.

DE STOWA IN BRIEF

The Foundation for Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are all ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater treatment installations and dam inspectors.

The 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 based on requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as knowledge institutes and consultants, 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.

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 6,5 million euro.

For telephone contact 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.

EFFLUENTNABEHANDELING OP DE RWZI MAASBOMMEL

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
	1.1 Onderzoeksvraag	1
	1.2 Nabehandelingstechnieken	1
	1.3 Leeswijzer	2
2	SYSTEEMBESCHRIJVINGEN	3
	2.1 rwzi Maasbommel	3
	2.2 Nabehandelingstechnieken	4
	2.3 Polymeerreactor en ultrafiltratie	5
	2.3.1 Werking polymeer	5
	2.3.2 Dimensionering en bedrijfsvoering	6
	2.4 Poederkoolreactor en actievekoolkolom	7
	2.4.1 Werking actieve kool	7
	2.4.2 Dimensionering en bedrijfsvoering poederkoolreactor	9
	2.4.3 Dimensionering en bedrijfsvoering actievekoolkolom	9
3	UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	11
	3.1 Fasering	11
	3.2 Meetprogramma	12
	3.2.1 Toelichting meetprogramma	12
4	RESULTATEN HAALBAARHEID KWALITEITSNORMEN	14
	4.1 Algemeen	14

4.2	Polymeerreactor en ultrafiltratie	14
4.2.1	CZV, nutriënten, en zwevende stof	14
4.2.2	Zware metalen	15
4.2.3	Bioassays	16
4.2.4	Organische microverontreinigingen	16
4.3	Poederkoolreactor en ultrafiltratie	17
4.3.1	CZV, nutriënten en zwevende stof	17
4.3.2	Zware metalen	17
4.3.3	Bioassays	17
4.3.4	Organische microverontreinigingen	18
4.4	Polymeer, poederkool en Ultrafiltratie	18
4.4.1	Nutriënten, CZV en zwevende stof	18
4.4.2	Zware metalen	19
4.5	Zandfilters en actievekoolkolom	19
4.5.1	N en P verwijdering door zandfilters	19
4.5.2	CZV, nutriënten en zwevende stof	21
4.5.3	Zware metalen	21
4.5.4	Bioassays	22
4.5.5	Organische microverontreinigingen	23
4.6	Actievekoolkolom na de nabezinktank	23
4.6.1	CZV, nutriënten en zwevende stof	23
4.6.2	Zware metalen	24
4.6.3	Bioassays	25
4.6.4	Organische microverontreinigingen	26
4.6.5	Medicijnen	26
5	BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN NABEHANDELINGSTECHNIEKEN	28
5.1	Polymeer en ultrafiltratie	28
5.1.1	Toxiciteit	28
5.1.2	Slib	28
5.2	Poederkool en ultrafiltratie	29
5.3	Polymeer, poederkool en ultrafiltratie	30
5.4	Actievekoolkolom na de zandfilters	30
5.5	Actievekoolkolom direct na de nabezinktank	32
6	EVALUATIE	34
6.1	Verwijderingsrendementen en effluentkwaliteit	34
6.2	Bedrijfsvoeringsaspecten	37
6.3	Eindevaluatie	37
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	39
7.1	Conclusies	39
7.2	Aanbevelingen	40
8	REFERENTIELIJST	41
	BIJLAGEN	
1	RESULTATEN	43
2	OPLOSBAARHEID METAALHYDROXIDES EN METAALSULFIDES	61
3	BEDRIJFSVOERING POLYMEER EN UF	63
4	BEDRIJFSVOERING POEDERKOOI EN UF	65

1

INLEIDING

In 2004 is het tweejarige onderzoek naar de vergelijking van een membraanbioreactor (MBR) en nageschakelde continue zandfiltratie op de rwzi Maasbommel afgerond (STOWA 2004-28). Een belangrijke conclusie uit dit onderzoek luidt dat voor het bereiken van MTR-kwaliteit voor een aantal zware metalen, pesticiden/herbiciden (en hormonen) de toepassing van een MBR of nageschakelde zandfiltratie niet afdoende is gebleken. Daarnaast geldt dat met de uitwerking van de Kader Richtlijn Water (KRW) de normering van een groot aantal stoffen voor het oppervlaktewater zal worden aangepast (normen van voorlopige EU-dochterrichtlijn prioritaire KRW-stoffen). Op basis hiervan is een vervolgonderzoek gestart op de rwzi Maasbommel waarin de toepasbaarheid van diverse nabehandelingstechnieken wordt onderzocht op pilotschaal. In dit onderzoek zijn de voorlopige Environmental Quality Standards (EQS) van juli 2006 en de MTR-waarde als toetsingskader gebruikt voor het effluent.

1.1 ONDERZOEKSVRAAG

De belangrijkste onderzoeksvraag in deze studie is welke nabehandelingstechniek toepasbaar is om de binnen de KRW geselecteerde stoffen te verwijderen. In het kader van dit onderzoek zijn koper, zink en nikkel, PAK's, diuron en simazine als voorbeeld stoffen geselecteerd. Daarnaast werd beoogd inzicht te krijgen in effecten op de biologische kwaliteit van het effluent door middel van bioassays. Een nevenvraag is wat de bedrijfsvoeringsaspecten zijn van de technieken.

1.2 NABEHANDELINGSTECHNIKEN

Op basis van in het verleden uitgevoerde studies is een specifieke keuze gemaakt van de relevante stoffen en de verwijdering hiervan door nabehandelingstechnieken. Deze nabehandelingstechnieken behandelen de afloop van de nabezinktank (NBT). Het onderzoek bestaat uit verschillende fasen waarin de volgende configuraties zijn onderzocht:

- polymeerreactor – ultrafiltratie (UF);
- poederkoolreactor – UF;
- polymeer – poederkoolreactor – UF;
- continue zandfilters (N en P) – actievekoolkolom;
- actievekoolkolom.

In de polymeer- en poederkoolreactor wordt de slib/waterscheiding gerealiseerd met een UF. De bedrijfsvoering van de UF was geen aandachtspunt van het onderzoek. Het onderzoek is in april 2006 gestart en had een doorlooptijd van één jaar. Het onderzoek is opgedeeld in drie fasen waarin alle technieken zijn onderzocht.

- 1 De MTR-kwaliteit omvat normen voor de algemene milieukwaliteit en geldt als het kwaliteitsniveau waaraan alle oppervlaktewater in Nederland minimaal aan voldoen. De MTR-waarde van een stof is de concentratie van de stof in het milieu waarbij de soorten in het ecosysteem voor 95% beschermd zijn voor effecten veroorzaakt door die stof.
- 2 Proposed Directive setting Environmental Quality Standards for Priority Substances and Other Pollutants, 17 juli 2006.

1.3 LEESWIJZER

In dit rapport wordt in de hoofdstukken 2 en 3 de systeembeschrijving en de onderzoeksopzet gegeven. In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de verschillende nabehandelingstechnieken gegeven. Een overzicht met alle meetresultaten is te vinden in bijlage 1. Hoofdstuk 5 blikt terug op de bedrijfsvoeringsaspecten en geeft aanwijzingen over de mate van geschiktheid voor de toepassing van de technieken in de praktijk. Tot slot geven de hoofdstukken 6 en 7 de evaluatie, conclusies en aanbevelingen op basis van de prestaties en bedrijfsvoeringsaspecten van de nabehandelingstechnieken.

2

SYSTEEMBESCHRIJVINGEN

In dit hoofdstuk komen achtereenvolgens de rwzi Maasbommel, de zandfilters en de geselecteerde nabehandelingstechnieken aan de orde.

2.1 RWZI MAASBOMMEL

De rwzi Maasbommel bestaat uit een oxidatiesloot met borstelbeluchters. De capaciteit bedraagt 7.400 i.e. à 136 g TZV bij een DWA en RWA debiet van respectievelijk 50 en 150 m³/h. De slibbelasting bedraagt gemiddeld 0,054 kg BZV/kg ds.d. Voor het proces worden geen aanvullende chemicaliën gedoseerd voor stikstof- of fosfaatverwijdering. De rwzi is gelegen in landelijk gebied, met veel recreatieve activiteiten. De influent- en afloop nabezinktank karakteristieken zijn in tabel 1 weergegeven.

FIGUUR 1

OXIDATIESLOOT RWZI MAASBOMMEL



TABEL 1

KARAKTERISTIEKEN INFLUENT EN AFLOOP NABEZINKTANK VAN DE RWZI MAASBOMMEL APRIL 2006 – APRIL 2007

Parameter	Eenheid	Influent*	Afloop NBT*
DWA	m ³ /h	50	-
RWA	m ³ /h	150	-
CZV	mg/l	570	30
BZV	mg/l	200	<5
Nkj	mg/l	60	2,5
N-totaal	mg/l	60	6
P-totaal	mg/l	8	2

* Meetgegevens en spreiding influent en afloop NBT gegeven in bijlage 1

Het effluent van de conventionele rwzi wordt nabehandeld met behulp van continue zandfilters. De zandfilterinstallatie is sinds 2003 in bedrijf genomen en afgebeeld in figuur 2. Het betreft een tweetal filters voor respectievelijk denitrificatie (met acetol-dosering), defosfatering (met ijzerdosering) en zwevendestofverwijdering. De filters zijn in serie geschakeld en hebben beide een capaciteit van maximaal 120 m³/h.

De aanvoer van de afloop van de NBT van meer dan 120 m³/h wordt omgeleid, hetgeen nauwelijks voorkomt. Ná de nabezinktank doorloopt het water een statisch rooster met een poriegrootte van 2 mm en wordt vanuit een pompput opgevoerd naar het eerste (denitrificerend) filter. Het defosfaterende filter wordt vervolgens onder vrij verval gevoed. Het vrijkomende waswater van beide zandfilters wordt direct geloosd op de beluchtingsruimte van de conventionele RWZI. De karakteristieken van de zandfilters zijn weergegeven in tabel 2. De prestaties van de zandfilters komen bij de resultaten van de nabehandelingstechnieken aan de orde.

FIGUUR 2

2-TRAPS ZANDFILTERINSTALLATIE OP RWZI MAASBOMMEL



TABEL 2

KARAKTERISTIEKEN 2-TRAPS ZANDFILTRATIE

Parameter	Eenheid	Waarde
C/NO ₃ -N verhouding dosering acetol	mol/mol	4
Me/P verhouding dosering FeCl ₃	mol/mol	3
Filteroppervlak per filter	m ²	8
Oppervlaktebelasting ontwerp	m/h	15
Totale hoogte zandfilters	m	7,5
Bedhoogte zandfilters	m	1,8
Korrel diameter zand denitrificerend filter	mm	1,2 – 2,0
Korrel diameter zand defosfaterend filter	mm	1,0 – 1,6
Zandsnelheid denitrificerend filter	mm/min	4,0
Zandsnelheid defosfaterend filter	mm/min	6,0

2.2 NABEHANDELINGSTECHNIEKEN

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van een pilot-plantopstelling van een actiefekoolkolom en een nabehandelingreactor. In figuur 3 zijn de verschillende configuraties van de nabehandelingstechnieken weergegeven.

2.3 POLYMEERREACTOR EN ULTRAFILTRATIE

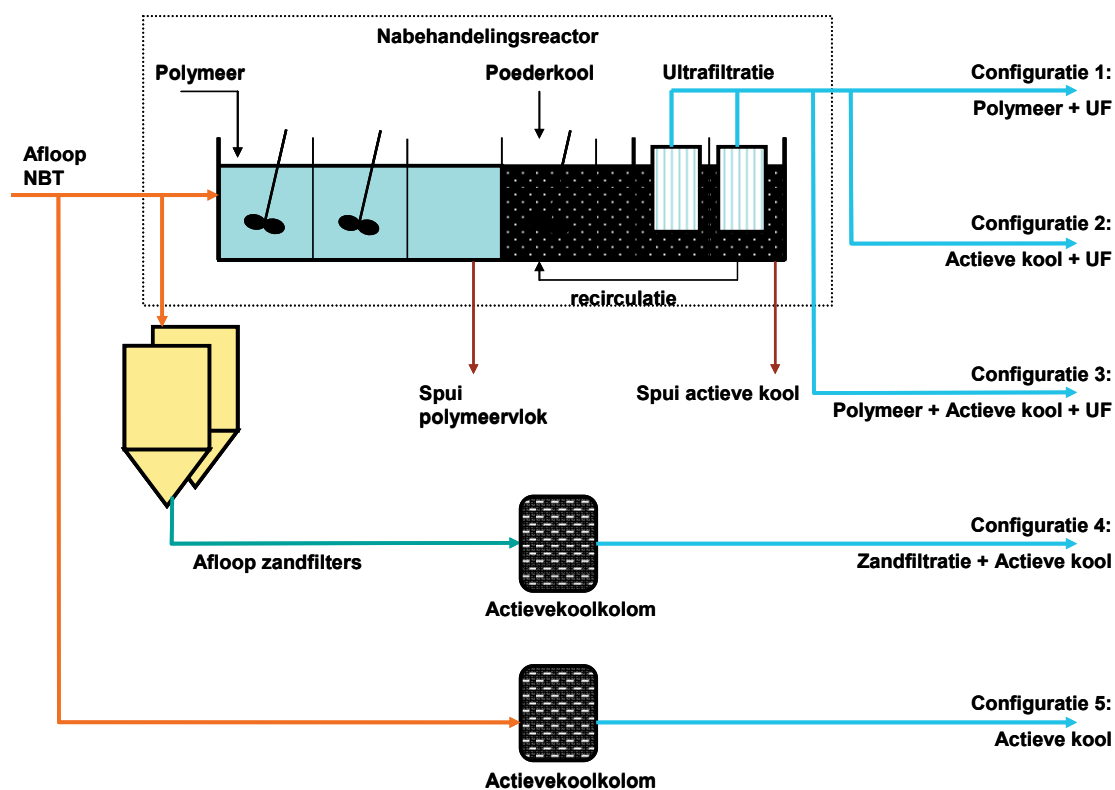
In deze paragraaf wordt de werking van het polymeer en de dimensionering van de reactor toegelicht.

2.3.1 WERKING POLYMEER

Nalmet® 8149 is een polymeer dat het mogelijk maakt metalen uit het afvalwater te verwijderen. Op de polymeerketen bevinden zich sulfide- en hydroxidegroepen waaraan opgeloste en complex gebonden metalen zich binden. Nalmet® is voor de opgeloste metalen effectief voor monovalente en divalente in oplossing zijnde metaalionen. De affiniteit van Nalmet (van hoog naar laag) is kwik > zilver > cadmium > koper > lood > zink > kobalt(II) > nikkel > ijzer (II) > mangaan (II). Nalmet® is niet effectief voor trivalente metalen, oxo-anionen en metaalcyanidecomplexen.

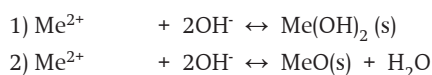
FIGUUR 3

SYSTEEMBESCHRIJVINGEN NABEHANDELINGSTECHNIKEN



Het polymeer heeft in het beginstadium watermoleculen rondom de iongroepen zitten. De opgeloste metalen hebben echter een sterkere binding met de iongroep en het voorheen “gebonden” water gaat daardoor in oplossing. Gelijktijdig aan dit proces vindt binding van metalen aan de polymeer plaats waarna deze precipiteert. Deze eigenschap maakt het mogelijk om het polymeer met metaalneerslag te verwijderen uit het effluent.

De techniek berust op het precipiteren van opgeloste metalen. Metaalprecipitatie berust voor dit product op de formatie van onoplosbare metaal(Me^{2+})-hydroxides of metaalsulfides. De reactievergelijking van de formatie van metaalhydroxides is als volgt:



De reactievergelijking van de formatie van metaalsulfides is als volgt:



Ten opzichte van hydroxides hebben sulfides het voordeel dat lagere effluentgehalten bereikt kunnen worden, minder interactie plaats met chelaten (ionen die metalen in oplossing houden), de reactiesnelheid hoger is en metaalsulfides betere indik- en ontwateringeigenschappen hebben.³

2.3.2 DIMENSIONERING EN BEDRIJFSVOERING

De nabehandelingreactor (in figuur 3) bestaat uit 7 nageschakelde tanks waarvan er in de laatste twee tanks een slib/waterscheiding wordt gerealiseerd met UF-modules (Zeeweed®). De eerste en tweede tank worden gebruikt als coagulatie en flocculatietank (CSTR). De derde tank fungeert als bezinktank waar vanuit het gevormde slib is gespuid. Uiteindelijk wordt via de membranen het effluent onttrokken. In tabel 3 is de dimensionering van de installatie weergegeven.

De dosering van het polymeer is debietproportioneel automatisch uitgevoerd. De doseringsconcentratie is gedurende het onderzoek gevarieerd. De blanco periode (geen dosering) bedroeg twee weken. Daarna is een theoretische dosering van het polymeer gehanteerd op basis van uitgevoerde bekersglasproeven. Het verwijderingsrendement van Nalmet is getest op een theoretische, verlaagde, en verhoogde dosering waarvan de concentraties zijn gegeven in tabel 3. Het gevormde slib hoopt zich op in het derde compartiment van de installatie en is regelmatig gespuid.

TABEL 3

DIMENSIONERING EN BEDRIJFSVOERINGASPECTEN POLYMEERREACTOR

Parameter	Eenheid	Waarde
Dimensionering		
Capaciteit	m ³ /h	5
Coagulatie tank	m ³	8
Coagulatie tijd	h	1,6
Flocculatie tank	m ³	9
Flocculatie tijd	h	1,8
Bezinktank	m ³	9
Loze ruimte	m ³	14
Membraan tank*	m ³	6
Membraan oppervlak*	m ²	220
Bedrijfsvoering		
Theoretische dosering#	l/m ³	0,05
Verhoogde dosering	l/m ³	0,07
Verlaagde dosering	l/m ³	0,02
Dosering in fase 3	l/m ³	0,03

* Er is slechts 1 membraanmodule gebruikt voor de bedrijfsvoering.

100% actief.

3 Veeken, A.H.M. and W.H. Rulkens. (2003) Innovative developments in the selective removal and reuse of heavy metals from wastewaters. Water Science and Technology. Vol. 47 N0. 10.

2.4 POEDERKOOLREACTOR EN ACTIEVEKOOLKOLOM

De toepasbaarheid van actief kool is onderzocht met een poederkoolreactor en een actieve koolkolom. De werking, dimensionering en bedrijfsvoering van beide configuraties is in deze paragraaf beschreven.

2.4.1 WERKING ACTIEVE KOOL

Actieve kool is een koolstofvorm die de eigenschap heeft om allerlei stoffen te adsorberen. Grondstoffen voor actieve kool zijn onder andere hout, kokosnoten, steenkool en turf. De productie van kool geschiedt door een stoom-activatieproces bij temperaturen tussen de 800 en 1.000 °C. Door deze behandeling ontstaat een poreuze structuur met een hoog inwendig oppervlak van circa 500 tot 1.500 m²/g. Er worden drie poriegroottes onderscheiden, te weten:

- macroporiën > 25 nm;
- mesoporiën > 1 nm < 25 nm;
- microporiën < 1 nm.

Met actievekoolfiltratie kunnen voornamelijk apolaire stoffen uit het effluent worden verwijderd. In de drinkwaterbereiding wordt deze techniek veelvuldig toegepast voor de verwijdering van kleur, pesticiden, organisch materiaal, adsorbeerbare organische halogeenverbindingen (AOX) en daarnaast voor geur- en smaakverbetering. In het algemeen geldt dat hoe meer apolair een stof is (Log Kow > 1) des te sterker deze hecht aan de actieve kool. In dit onderzoek is poederkool en granulaire kool toegepast. Poederkool heeft deeltjes met een diameter van 1 - 150 µm. Granulaire kool heeft normaal deeltjes met een diameter van 0,5 - 4 mm.

Adsorptie

Het adsorptieproces berust op aanhechting van moleculen aan het kooloppervlak door chemische en fysische krachten. De fysische krachten zijn voornamelijk Van der Waals krachten en zijn in het waterzuiveringsproces dominant. De efficiency van de kool berust op het beschikbare oppervlak.

Het adsorptieproces van een stof wordt beschreven met de Freundlich-vergelijking:

$$x/m = K_f C_e^{1/n}$$

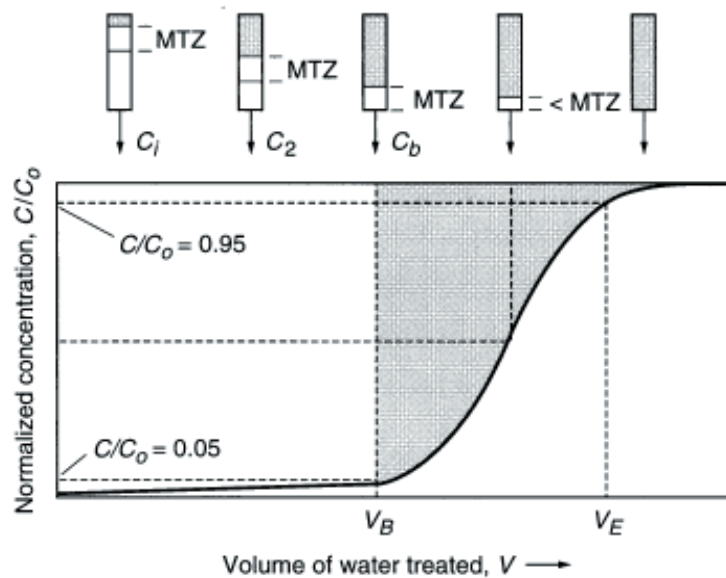
x	de hoeveelheid geadsorbeerde stof (mg);
m	de hoeveelheid kool (g);
K _f	de Freundlich capaciteitsfactor (mg);
C _e	evenwichtsconcentratie van stof in oplossing na adsorptie (mg/l);
1/n	Freundlich intensiteitsparameter.

Voor de adsorptie van een bepaalde stof is het van belang dat er voldoende tijd is voor de stof om in de porie te dringen en zich aan de actieve kool te hechten. Dit wordt uitgedrukt als de contacttijd: (volume kool / debiet water). In de regel dient een minimale contacttijd van 10 minuten te worden gehanteerd. Na verloop van tijd raken de poriën verzadigd en is er een evenwicht bereikt waarin de effluentconcentratie gelijk is aan de influentconcentratie. De belading wordt uitgedrukt in behandelde bedvolumes die is weergegeven in de hoeveelheid water over het volume van het actieve kool (m³_{water}/m³_{actieve kool}).

In figuur 4 is de verzadigingszone (MTZ) van het koolbed en de verzadigingscurve van de effluentconcentratie (C) / influentconcentratie (C_0) in de tijd weergegeven. Theoretisch spreekt men over een doorslag wanneer de effluentconcentratie 5% bedraagt van de influentconcentratie, en over bedverzadiging bij 95%.

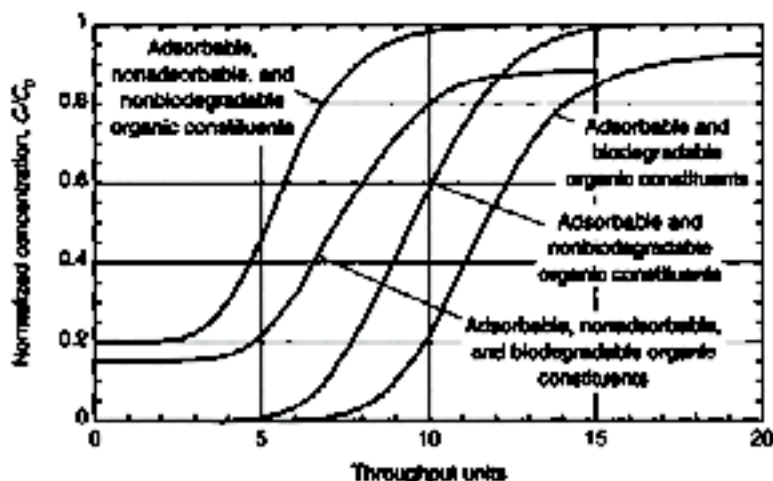
FIGUUR 4

MTZ (MASS TRANSFER ZONE) = VERZADIGINGSZONE VAN KOOLBED IN DE TIJD



De verzadigingscurve is stofspecifiek. In figuur 5 zijn vier verzadigingscurven weergegeven waarin het effect van een mengsel van organische stoffen (adsorbeerbare, niet adsorbeerbare, biologisch afbreekbare en niet biologisch afbreekbare organische stoffen) is afgebeeld. Wanneer het mengsel niet-adsorbeerbaar organische stoffen bevat start de curve niet bij $\{0,0\}$. Wanneer het mengsel biologisch afbreekbare stoffen en adsorbeerbare stoffen bevat, zoals het effluent van de rwzi, zal het verzadigingspunt niet op C_{uit}/C_{in} (C/C_0) is 1 liggen maar lager. Daarnaast zal voor effluent de curve een grilliger verloop tonen.

FIGUUR 5

VERZADIGINGSCURVEN VAN MENGSEL (BIJVOORBEELD CZV)³

4 Metcalf & Eddy, Wastewater engineering treatment and reuse, fourth edition, 2003.

Biologische groei en filtratie

Naast adsorptie zijn er nog andere verwijderingsmechanismen die een rol spelen bij toepassing van actieve kool, namelijk biologische omzetting en filtratie. Biologische omzetting is mogelijk vanwege biologische groei op de koolkorrel in de vorm van een biofilm. Deze groei is mogelijk als in het influent van het koolfilter nog afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is. Daarnaast heeft de granulaire kool in een kolomopstelling, in tegenstelling tot de poederkool, een filterwerking. De poriën van de granulaire kool zorgen voor een filtering van zwevende stof.

2.4.2 DIMENSIONERING EN BEDRIJFSVOERING POEDERKOOLECTRATOR

Poederkool heeft een deeltjesgrootte verdeling van 1 - 150 µm. Het gebruikte type poederkool is NORIT SAE SUPER. De inzet van poederkool is een gangbare technologie voor de verwijdering van apolaire stoffen in de waterzuivering van (petro)chemische bedrijven. In de nabe-handelingreactor is poederkool continu gedoseerd. Op een behandeld volume van 50 m³/d is 2 kg/d (40 ppm) poederkool gedoseerd. De poederkool blijft achter in de reactor waardoor het drogestofgehalte toeneemt. Het poederkoolgehalte in de reactor is gestuurd op 3 g/l en een poederkoolleeftijd van circa 30 dagen. In tabel 4 is de dimensionering en bedrijfsvoering van de poederkoolreactor weergegeven.

TABEL 4

DIMENSIONERING EN BEDRIJFSVOERING POEDERKOOLECTRATOR

Parameter	Eenheid	Waarde
Dimensionering		
Capaciteit	m ³ /h	5
Contacttank	m ³	20*
Membraantank	m ³	6
Membraanoppervlak	m ²	220
Bedrijfsvoering		
Poederkooldosering	mg/l	40
Koolconcentratie in tank	g/l	1-3

* Inclusief de membraantank

2.4.3 DIMENSIONERING EN BEDRIJFSVOERING ACTIEVEKOOLECTRATOR

Het toegepaste type kool is 830P (figuur 6) welke staat voor een deeltjesgrootteverdeling van 0,6 - 2,4 mm (wat een zeer fijne fractie is) en waarbij de P staat voor fosfaatarm. De kool bevat grote poriën voor het transport, middelgrote poriën voor de binding van grote moleculen (zoals humuszuren) en kleine poriën voor herbiciden en pesticiden. De kool is gemaakt van steenkool.

In tabel 5 zijn de dimensionering en bedrijfsvoeringaspecten van de actievekoolkolom gegeven. De actievekoolkolom wordt bedreven op een constant debiet van circa 0,9 - 1,2 m³/h en een contacttijd van 20 minuten.

De spoelfrequentie is 1 maal per week. Het spoeldebiet wordt gelijkmatig (gedurende 1 minuut) opgebouwd naar een debiet van 13 m³/h. Hierbij wordt een bedexpansie van circa 25% bereikt. Dit terugspoeldebiet wordt circa 15 minuten aangehouden (totdat het spoelwater helder oogt). Tenslotte wordt het spoelproces weer rustig (gedurende 1 minuut) afgebouwd. De procesconditie was bij naschakeling van de zandfilterinstallatie anoxisch/ anaëroob en na de nabezinktank aëroob.

TABEL 5

DIMENSIONERING EN BEDRIJFSVOERING ACTIEVEKOLKLOM

parameter	Eenheid	Waarde
Dimensionering		
EBCT*	min	20
Volume actieve kool	m ³	0,4
Oppervlakte	m ²	0,45
Bedrijfsvoering		
Aanvoerdebiet	m ³ /h	0,9 - 1,2
Oppervlaktebelasting	m/h	2,25 - 3
Terugspoeldebiet	m ³ /h	13
Bedexpansie terugspoeling	%	25

*EBCT (Empty bed contact time) staat voor de contacttijd

FIGUUR 6

ACTIEVEKOLKLOM EN GRANULAIRE KOOL



3

UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

In dit hoofdstuk is de wijze van uitvoering van het onderzoek beschreven. Hierin zijn de verschillende fases en het meetprogramma beschreven.

3.1 FASERING

Voor het testen van de genoemde technieken is de fasering zoals weergegeven in tabel 6 aangehouden. Elke fase beslaat een periode van circa 4 maanden. In de tabel is de tijdsperiode per configuratie zwart gemarkeerd. Fase 1 en 2 bevatten een intensieve meetperiode van 3 weken waarin de in- en effluentkwaliteit tijdens de optimale procesinstellingen is onderzocht.

TABEL 6 SCHEMATISCHE WEERGAVE DOORLOOPTIJD EN FASERING ONDERZOEK NABEHANDELINGSTECHNIKEN

Configuratie	Onderzoeksfase		
	1	2	3
NBT – polymeer – UF			
NBT – Zandfilters – AK _{kolom}			
NBT – AK _{poeder} – UF			
NBT – polymeer – AK _{poeder} – UF			
NBT – AK _{kolom}			

NBT = nabezinktank, UF = ultrafiltratie, AK_{kolom} = actiefekoolkolom, AK_{poeder} = poederkool.

In fase 1 zijn de systeemshakelingen “NBT - polymeer - UF” en “NBT - zandfilters -actievekoolkolom” onderzocht. Vooraangaand aan fase 2 is al het polymeerslib uit de nabehandelingreactor verwijderd. In fase 2 is de actiefekoolkolom na de zandfilters nog in bedrijf gehouden om een verzadiging van het koolbed waar te nemen. Daarnaast is in de nabehandelingreactor poederkool gedoseerd.

Tijdens fase 3 is een tweetal configuraties getest, te weten de combinatie van polymeer, poederkool en ultrafiltratie en de directe koolfiltratie na de NBT (procesconfiguraties 3 en 5 uit figuur 3). De koolkolom is niet meer na de zandfilters geschakeld, maar direct na de NBT. Uit deze laatste proef moet vooral blijken of filtratie vooraf noodzakelijk is (bijvoorbeeld zandfiltratie) en hoe het functioneren van de koolkolom is onder meer aërobe condities.

3.2 MEETPROGRAMMA

In dit onderzoek zijn stoffen welke boven de detectielimiet zijn gemeten op de rwzi Maasbommel én als relevant zijn aangemerkt gemeten. Het betreft dan:

- Basisparameters CZV en zwevende stof
- Nutriënten: stikstof (N) en fosfaat (P);
- Zware metalen: algemeen en Cu, Zn en Ni in het bijzonder;
- Bioassays: ER-Calux, Totaal Effluent Beoordeling (TEB)
- Organische microverontreinigingen:
 - o Herbiciden/pesticiden: diuron, simazine, lindaan, AMPA (aminomethyleenfosfonzuur) en glyfosaat;
 - o PAK's: som 10 en 16⁵.
- Medicijnen: Specifiek voor de actievekoolkolom
- Pathogenen: E. Coli en thermotolerante bacteriën van de coligroep;

De detectielimieten en meetonzekerheid van de parameters is weergegeven in bijlage 1. Er is zoveel mogelijk bemonsterd bij DWA. De monsters zijn allen 24-uurs monsters. In fase 1 en 2 zijn tijdens de intensieve periode de basisparameters, nutriënten en zware metalen 12 keer bemonstert. Het aantal monsters van de overige parameters varieerde gedurende het onderzoek. In bijlage 1 zijn per fase de analyseresultaten opgenomen.

De verwijdering van hormoonverstorende stoffen is met de ER-CALUX methode onderzocht. Deze meting zegt iets over de oestrogene activiteit van het betreffende afvalwater. Tevens is een Totaal Effluent Beoordeling (TEB) uitgevoerd. Dit instrument biedt de mogelijkheid om de zeer uitgebreide lijst van afzonderlijke stoffen te vervangen door de toxiciteit van het afvalwater te meten met bioassays. De TEB zijn bemonsterd in een RVS monsternamevat afgebeeld in figuur 7. Aan de hand van de bevindingen in het TEB-praktijkonderzoek naar rwzi-effluenten, uitgevoerd door RWS-RIZA, zijn alleen de TEB-analyses voor acute toxiciteit⁶ met Microtox, algen en watervlooien als relevant aangemerkt. Omdat algen en watervlooien op het effluent van de RWZI Maasbommel een vergelijkend resultaat (zelfde gevoeligheid) vertoonde, is de TEB met watervlooien vanwege kostenoverwegingen weggelaten.

3.2.1 TOELICHTING MEETPROGRAMMA

Per nabehandelingstechniek zijn gedurende de gehele onderzoeksperiode naast de basisparameters en nutriënten nog specifieke gidsparementen gemeten. De gidsparementen zijn voor:

- de polymeerreactor – UF: zware metalen
- poederkoolreactor actievekoolkolom: CZV, herbiciden en pesticiden, PAK's.

De andere parameters zijn in de intensieve periode onderzocht. In deze intensieve periode is 3 weken intensief gemeten, 4 dagen per week;

5 De 16 PAK's zijn: naftaleen, acenaftyleen, acenaften, fluoreen, fenanthreen, anthraceen, fluorantheen, pyreen, benz(a)anthraceen, chryseen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, dibenz(a,h)anthraceen, benzo(ghi)peryleen, indeno(1,2,3cd)pyreen

6 Acute toxiciteitsonderzoek bij effluent rwzi's, Neerslag 2006/2. Colinda Blommenstijn Waterschap Vallei & Eem

FIGUUR 7

MONSTERNAMEVAT TEB METINGEN



Medicijnen

Daarnaast is in fase 3 het functioneren van de actievekoolkolom achter de nabezinktank bestudeerd door twee medicijnengroepen te meten. De medicijnen komen voor in de afloop van de nabezinktank en beschikken over verschillende Log Kow waarden. Van de verwijdering van de medicijnen is een verzadigingscurve gemaakt om inzicht te krijgen in het doorslagpunt voor stoffen met een verschillende Log Kow waarde. De volgende medicijnen zijn als tracers gemeten om een goed beeld van de relatie tussen de log Kow en het verwijderingsrendement te krijgen:

- sulfamethoxazol, gebruikt voor de bestrijding van bacterie-infecties (Log Kow = 0,89);
- metoprolol, een bètablokker tegen hart en vaatziekten (Log Kow = 2,4);
- carbamazepine, gebruikt tegen aandoeningen in het zenuwstelsel (Log Kow = 2,45) en;
- diclofenac, een pijnstiller en ontstekingsremmer (Log Kow = 4,5).

4

RESULTATEN HAALBAARHEID KWALITEITSNORMEN

In dit hoofdstuk zijn de meetresultaten gepresenteerd. Eerst worden een aantal algemene resultaten besproken. In de navolgende paragrafen is per nabehandelingstechniek het accent gelegd op de resultaten van de verwijdering van nutriënten, toxiciteit en gidsparameters. Alle resultaten betreffen het rekenkundige gemiddelde van de debietproportionele 24-uurs monsters gedurende de intensieve meetperiodes onder DWA-condities. De resultaten van de intensieve periode evenals hun gemiddelde standaardafwijking en aantal monsters zijn gegeven in bijlage 1.

4.1 ALGEMEEN

In tegenstelling tot het onderzoek van 2002-2004 is gebleken dat de in- en effluentconcentraties van PAK's (som 16 en 10) in alle metingen onder de detectielimiet lagen. Daarnaast bleek ook dat linaan en de zware metalen arseen, cadmium, chroom en lood niet of nauwelijks in de afloop van de nabezinktank werd waargenomen. Hierdoor was het niet mogelijk om hiervan verwijderingsrendementen van de nabehandelingstechnieken vast te stellen.

Opnieuw werd bevestigd dat pathogenen alleen met ultrafiltratie vrijwel volledig worden verwijderd (de verwijdering is log 3). Er treedt geen verwijdering van pathogenen op met zandfiltratie en/of actiefekoolfiltratie.

Met de toepassing van actieve kool zijn zoals verwacht eenduidige verbeteringen van de ER-Calux waarde aangetoond. De potentiële oestrogene activiteit daalde na deze processtap in alle gemeten situaties met meer dan 95%. Het effluent van het polymeer en UF heeft een hogere potentiële oestrogene activiteit dan de afloop van de nabezinktank.

4.2 POLYMEERREACTOR EN ULTRAFILTRATIE

In deze paragraaf wordt de behaalde effluentkwaliteit voor de diverse stofgroepen besproken.

4.2.1 CZV, NUTRIËNTEN, EN ZWEVENDE STOF

De verwijdering van CZV, nitraat-N, N-totaal, P-totaal en zwevende stof is in tabel 7 weergegeven. Uit de tabel blijkt dat er nagenoeg geen verwijdering van CZV, N-totaal en P-totaal is gerealiseerd. De MTR-waarden voor N en P worden dan ook niet gehaald. De verwijdering van zwevende stof is vanwege de membranen 100%.

TABEL 7

EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING CZV, NUTRIËNTEN EN ZWEVENDE STOF

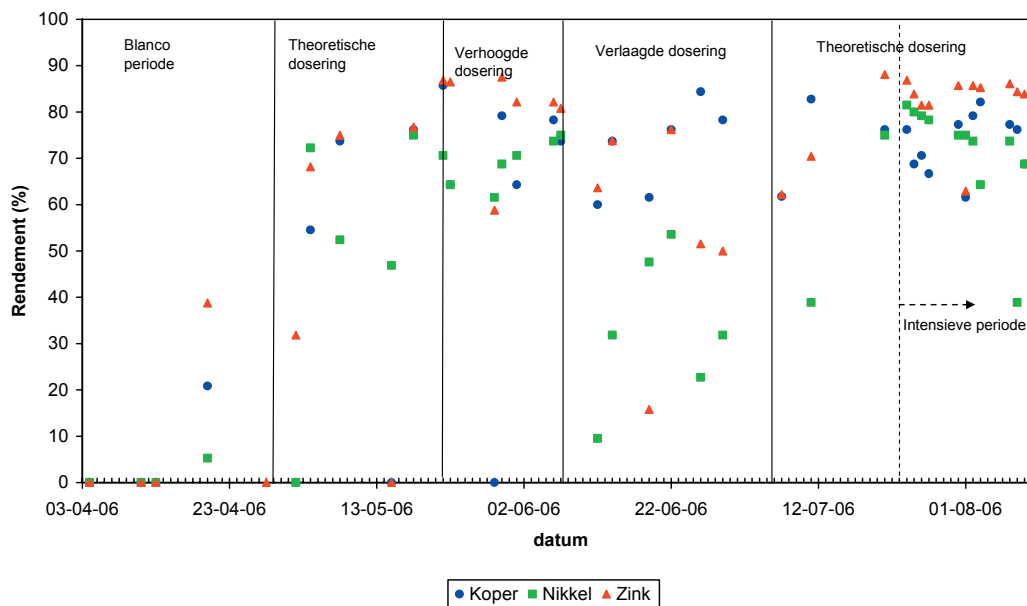
Parameter	NBT (mg/l)	polymeer UF (mg/l)	MTR-waarde (mg/l)	Rendement (%)
CZV	27	24	-	11
Nitraat-N	1,5	1,1	-	27
N-totaal	5	6	2,2	< 0
P-totaal	1,6	1,8	0,15	< 0
Zwevende stof	6	0	-	100

4.2.2 ZWARE METALEN

De nadruk in dit onderzoek ligt op de verwijdering van zink, koper en nikkel. Het verwijderingsrendement in de intensieve periode is voor deze metalen respectievelijk 83, 75 en 70% geweest. Het verloop van de verwijdering van zink, koper en nikkel bij verschillende doseringen is weergegeven in figuur 8. Uit deze figuur blijkt dat in de blancoperiode (waarin geen polymeer is gedoseerd) slechts beperkt metalen zijn verwijderd. Gedurende de periode met de theoretische dosering duurt het enige tijd voordat de hoeveelheid polymeer in evenwicht is met de hoeveelheid metalen in de reactor. De effluentconcentraties worden al in de theoretische periode door de dosering aanzienlijk verlaagd. Daarna is de dosering een korte periode verhoogd en neemt de effluentconcentratie nog verder af. In de periode van verlaagde dosering nemen de effluentconcentraties en de spreiding van de resultaten weer toe. In de periode van verlaagde dosering nemen de effluentconcentraties en de spreiding van de resultaten weer toe.

FIGUUR 8.

VERWIJDERINGSRENDEMENT ZINK, KOPER EN NIKKEL VAN POLYMEER EN UF



In tabel 8 is de verwijdering van de metalen in de intensieve periode weergegeven en een vergelijking gemaakt met de MTR en voorlopige Environmental Quality Standards. Het effluent van het polymeer en UF voldoet aan de EQS voor nikkel. De MTR-waarde wordt in de intensieve periode voor geen enkel metaal overschreden.

TABEL 8 EFFLUENTKWALITEIT EN VERWIJDERING ZWARE METALEN

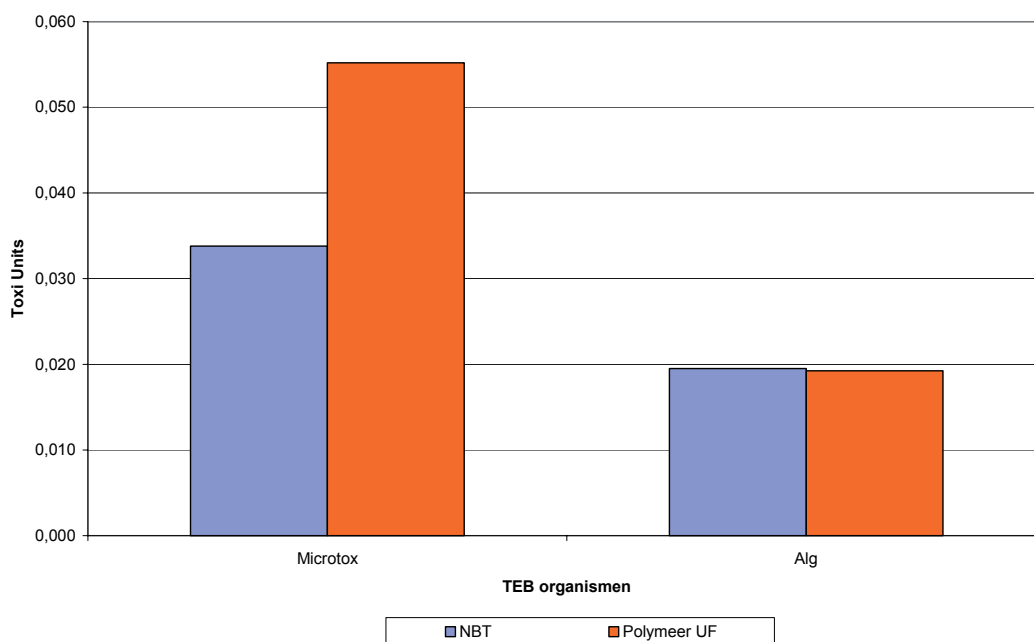
Parameter	NBT (µg/l)	polymeer UF (µg/l)	MTR-waarde (µg/l)	EQS (µg/l)	Rendement (%)
Zink	16,2	2,7	40		83
Koper	2,0	0,5	3,8		75
Nikkel	2,0	0,6	6,3	20	70

4.2.3 BIOASSAYS

Het gemiddelde van 4 metingen van de TEB analyses is weergegeven in figuur 9. In de figuur zijn toxiciteitsenheden afgebeeld waarbij bij 50% van de organismen een effect is geconstateerd (EC_{50}). Hieruit valt af te leiden dat het effluent van de polymeerreactor en ultrafiltratie voor Microtox een hogere toxiciteitsenheden heeft dan de afloop van de nabezinktank, voor alg is de toxiciteit nagenoeg gelijk. De toxiciteit voor Microtox is mogelijk een effect van de toevoeging van het polymeer.

De toxiciteit van de afloop van de nabezinktank is in vergelijking met de gemeten waarde in oppervlaktewater (Noordhollandsch Kanaal⁷ voor Microtox (0,012) en alg (0,004)) enkele malen hoger. Dit betekent dat de afloop van de NBT in theorie een negatieve invloed kan hebben op de biologische kwaliteit van oppervlaktewater.

FIGUUR 9 RESULTATEN ACUTE TOXICITEITSTESTEN VOOR MICROTOX EN ALG



4.2.4 ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

De organische microverontreinigingen diuron, simazine, AMPA en glyfosaat worden niet met deze nabehandelingstechniek verwijderd (zie bijlage 1).

⁷ Roex, E., Rotteveel, S., Ferdinandy M., en Bakker V. Totaal-effluentbeoordeling toegepast in de praktijk, H2O nr. 10 - 2007.

4.3 POEDERKOOLECTRATOR EN ULTRAFILTRATIE

In deze paragraaf zijn de resultaten van de nabehandelingstechniek poederkoolreactor en ultrafiltratie beschreven.

4.3.1 CZV, NUTRIËNTEN EN ZWEVENDE STOF

De verwijdering van CZV, P-totaal, en zwevende stof is gegeven in tabel 9. Stikstof werd slechts in beperkte hoeveelheid (20%) verwijderd. Uit de tabel blijkt dat het CZV-gehalte in de afloop van de nabezinktank door toepassing van de poederkoolreactor en UF aanzienlijk (72%) wordt gereduceerd. Het CZV-gehalte in het effluent van de poederkool en UF is in de gehele periode lager dan 15 mg/l. P-totaal wordt voor 31% verwijderd. Voor N-totaal en P-totaal worden de MTR-waarden niet gehaald.

TABEL 9 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING CZV, P-TOTAAL EN ZWEVENDE STOF

Parameter	NBT (mg/l)	poederkool UF (mg/l)	MTR-waarde (mg/l)	Rendement (%)
CZV	24	6,7	-	72
Nitraat-N	5,4	4,6	-	15
N-totaal	8,2	6,4	2,2	22
P-totaal	1,9	1,3	0,15	31
Zwevende stof	8	0	-	100

4.3.2 ZWARE METALEN

De zware metalen zijn gedurende het onderzoek elke twee weken gemeten. In fase 2 overschreed de afloop van de NBT de MTR-waarde voor koper en zink in respectievelijk 6 en 3 maanden. De gemiddelde effluentconcentraties van koper en zink zijn lager dan de MTR-waarde (tabel 10). De verwijdering van zink, koper en nikkel uit de afloop van de NBT in de intensieve periode is respectievelijk 65, 83 en 33% geweest. Hieruit blijkt dat het effluent van de nabehandelingstechniek de MTR-waarde en Environmental Quality Standards niet overschrijdt.

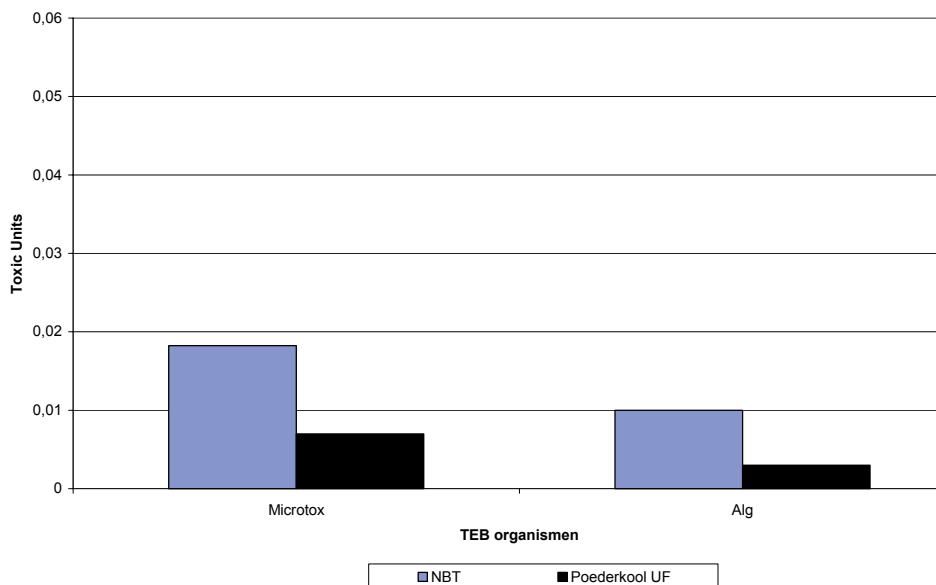
TABEL 10 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING ZWARE METALEN

Parameter	NBT (µg/l)	poederkool UF (µg/l)	MTR-waarde (µg/l)	EQS# (µg/l)	Rendement (%)
Zink	29,1	10,3	40		65
Koper	3,4	0,59	3,8		83
Nikkel	2,1	1,4	6,3	20	33

4.3.3 BIOASSAYS

De resultaten van de TEB analyses zijn weergegeven in figuur 10. Hieruit valt af te leiden dat het effluent van de poederkool en ultrafiltratie voor de organismen een 60% lagere toxiciteits-eenheid heeft dan de afloop van de nabezinktank. In vergelijking met de resultaten in paragraaf 4.2 is de toxiciteit van de afloop van de nabezinktank circa 2 maal zo laag. De poederkool vermindert de toxiciteit door de verwijdering van organische microverontreinigingen en zware metalen tot waarden gelijk aan die van oppervlaktewaterkwaliteit (Noordhollandsch Kanaal). Effluent van de poederkoolreactor zou daarom in theorie niet of nauwelijks tot een verslechtering van de biologische kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater leiden.

FIGUUR 10 RESULTATEN ACUTE TOXICITEITSTESTEN VOOR MICROTOX EN ALG



4.3.4 ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

In tabel 11 is de verwijdering van herbiciden en pesticiden weergegeven. Voor zowel diuron als simazine worden de MTR-waarde en Environmental Quality Standards bereikt in de afloop van de nabezinktank. Diuron wordt voor meer dan 75% verwijderd. AMPA en Glyfosaat worden slechts gedeeltelijk (20%) verwijderd. Dit komt door het polaire karakter van deze stoffen en de daardoor beperkte adsorptie aan de actieve kool.

TABEL 11 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING VAN HERBICIDEN EN PESTICIDEN

Parameter	NBT (µg/l)	poederkool UF (µg/l)	MTR-waarde (µg/l)	EQS (µg/l)	Rendement (%)
AMPA	3,5	2,8	-		20
Glyfosaat	0,9	0,7	-		20
Diuron	0,04	< 0,01	0,43	0,2	> 75
Simazine	0,01	< 0,01	0,14	1	-

4.4 POLYMEER, POEDERKOOL EN ULTRAFILTRATIE

In fase 3 zijn de voorgaande nabehandelingstechnieken gecombineerd in één systeem. De resultaten van dit systeem zijn hieronder beschreven. Op deze configuratie zijn geen analyses ter bepaling van de organische microverontreinigingen en bioassays uitgevoerd.

4.4.1 NUTRIËNTEN, CZV EN ZWEVENDE STOF

De verwijdering van CZV, nitraat-N, N-totaal en P-totaal gedurende fase 3 is in tabel 12 weergegeven. Uit de tabel blijkt dat het CZV-gehalte in de afloop van de nabezinktank door toepassing van de poederkool en UF voor circa 60% wordt gereduceerd. Gedurende de gehele onderzoeksperiode is het CZV-gehalte in het effluent van de polymeer, poederkool en UF lager dan 20 mg/l. Nitraat-N en N-totaal worden niet verwijderd. P-totaal wordt voor slechts 5% verwijderd wat laag is in vergelijking met de 40% in fase 2.

TABEL 12 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING CZV, NUTRIËNTEN EN ZWEVENDE STOF

Parameter	NBT (mg/l)	polymeer, poederkool, UF (mg/l)	MTR-waarde (mg/l)	Rendement (%)
CZV	25	9	-	62
Nitraat-N	2,4	3	-	< 0
N-totaal	4,7	4,6	2,2	2
P-totaal	1,9	1,8	0,15	5
Zwevende stof	8	0	-	100

4.4.2 ZWARE METALEN

De gemiddelde verwijdering van zink, koper en nikkel uit de afloop van de NBT is respectievelijk 83, 81 en 48% geweest. In tabel 13 zijn de gemiddelde effluentconcentraties en een vergelijking met de MTR waarde en Environmental Quality Standards weergegeven. In fase 3 overschreed de afloop van de NBT de MTR-waarde voor koper en zink in respectievelijk 4 en 7 monsters. Het effluent van het polymeer en poederkool en UF reactoren overschrijdt niet de MTR-waarde en Environmental Quality Standards.

TABEL 13 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING VAN ZWARE METALEN

Parameter	NBT (µg/l)	polymeer, poederkool UF (µg/l)	MTR-waarde (µg/l)	EQS (µg/l)	Rendement (%)
Zink	34	6,4	40		81
Koper	3,3	0,5	3,8		85
Nikkel	2,1	1,1	6,3	20	48

4.5 ZANDFILTERS EN ACTIEVEKOOLKOLOM

In deze paragraaf zijn de resultaten van de combinatie van de nabehandelingstechnieken zandfilters en actievekoolkolom gegeven. In eerste instantie komt de verwijdering van stikstof en fosfaat door de zandfilters aan de orde. Daarna wordt de combinatie van de nabehandelingstechnieken beschreven.

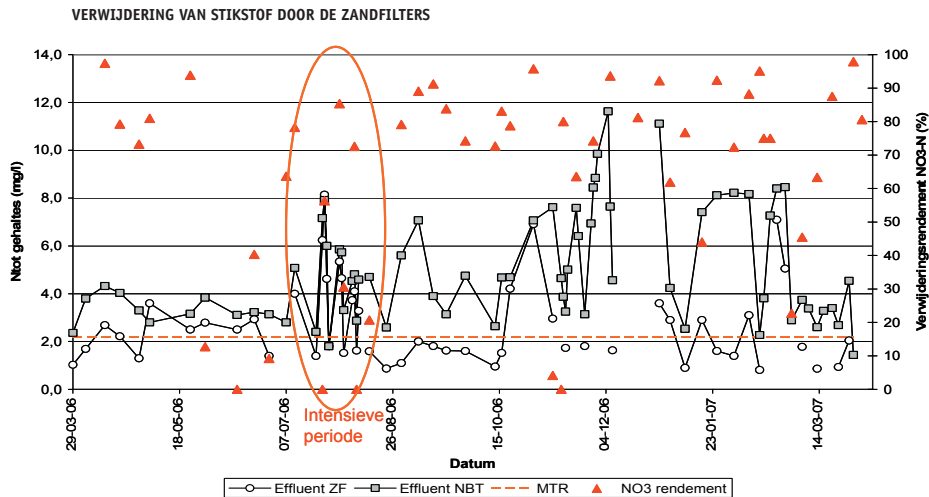
4.5.1 N EN P VERWIJDERING DOOR ZANDFILTERS

De zandfilters dienen het effluent op te werken naar MTR-kwaliteit voor stikstof en fosfaat respectievelijk 2,2 en 0,15 mg/l. Het vorig onderzoek (STOWA 2004-28) heeft aangetoond dat nominale concentraties van respectievelijk 2,5 en 0,3 - 0,5 mg/l in deze specifieke praktijk-situatie realistisch zijn. In de periode van april 2006 - april 2007 is de effluentkwaliteit van de filters opnieuw intensief op N en P gemeten.

Stikstof

In figuur 11 is de effluentkwaliteit voor N-totaal alsmede het behaalde verwijderingsrendement van nitraat gegeven. Uit het figuur blijkt dat de MTR waarde van 2,2 mg/l niet altijd wordt gehaald. Een verklaring hiervoor is een hogere zwevende stof, organische N, en ammonium-N gehalte in de afloop van de nabezinktank. De nitraatverwijdering varieert veelal tussen de 70 en 95%. In een aantal gevallen is de nitraatverwijdering aanzienlijk lager. Verklaringen hiervoor zijn overbelasting, storing in de C-bron dosering, te weinig denitrifi-cerende biomassa en vervuiling van het filterbed.

FIGUUR 11

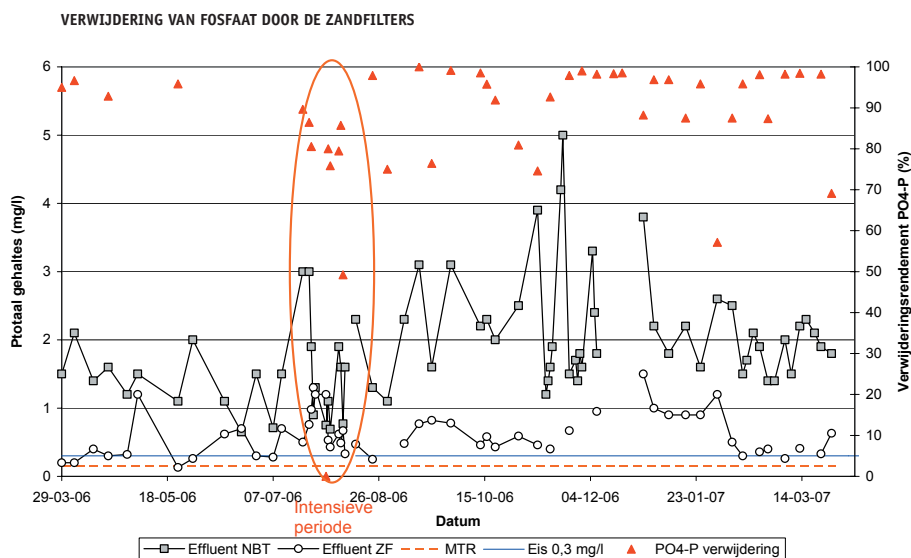


Fosfaat

In figuur 12 is de effluentkwaliteit voor P-totaal alsmede het behaalde verwijderingsrendement van ortho-P gegeven. Uit de figuur blijkt dat de MTR waarde van 0,15 mg/l lang niet altijd wordt gehaald. De P-totaal concentratie varieert veelal tussen de 0,3 en 1 mg/l. Dit is een gevolg van relatief hoge P-totaal concentraties in de afloop van de nabezinktank van 1,5 tot 4 mg/l. Daarnaast is het zwevende stofgehalte in de afloop van de zandfilterinstallatie langzaam toegenomen van 2,5 – 3 mg/l in 2003-2005 naar 5 - 10 mg/l in de periode 2006-2007.

Door de hoge P-concentraties moet veel FeCl_3 worden gedoseerd wat leidt tot extra te verwijderen fosfaatslib. Een gedeelte hiervan kan niet worden afgevoerd met het waswater en komt in de afloop. De verwijdering van ortho-fosfaat is meestal meer dan 90%, echter kan het dalen tot circa 75%. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn hoge zwevendestofgehalten, verminderde vlokvorming, afgesleten/geronde zandkorrels. Het verwijderingsrendement van P-totaal is lager, gemiddeld 65%. Dit komt door uitspoeling van zwevende stof en het fosfaatslib. In feite moet meer slib met het spoelwater worden afgevoerd. Het filter is echter niet op een hoger spoelwaterdebiet ontworpen.

FIGUUR 12



4.5.2 CZV, NUTRIËNTEN EN ZWEVENDE STOF

In tabel 14 is de gemiddelde kwaliteit en het verwijderingsrendement weergegeven gedurende de intensieve meetperiode. Tijdens deze periode was het behandelde bedvolumina 6.600 tot 7.900 m³_{water}/m³_{actieve kool}.

TABEL 14 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING CZV, NUTRIËNTEN EN ZWEVENDE STOF

Parameter	NBT (mg/l)	Zandfilters (mg/l)	Actievekoolkolom (mg/l)	Rendement Zandfilters* (%)	Rendement Koolkolom* (%)
CZV	27	21	15,6	22	26
Nitraat-N	1,5	1,4	0,04	7	97
N-totaal	5	4	3	20	25
P-totaal	1,56	0,71	0,68	54	4
Ortho-P	1,5	0,3	0,2	80	33
Zwevende stof	5,8	4,3	4,7	26	< 0

* Rendement ten opzichte van afloop zandfilters

Zoals in paragraaf 4.5.1 is aangegeven, is de verwijdering van nitraat-N en N-totaal door de zandfilters laag en wordt nog géén MTR-kwaliteit gehaald. In de koolkolom wordt het resterende nitraat bijna volledig verwijderd door de biomassa op het koolbed. Het zuurstofgehalte in de afloop van de zandfilters is laag, circa 0,5 – 1 mg/l. Vanwege de hoge nitraat- en ammoniumconcentratie wordt de MTR-waarde niet gehaald. In de koolkolom wordt fosfaat slechts in beperkte mate verwijderd.

Het CZV wordt gedeeltelijk in de zandfilters en in de actievekoolkolom verwijderd. De toename van zwevende stof uit de actievekoolkolom is toe te schrijven aan biomassa en ijzerslib uitspoeling van het koolfilter.

4.5.3 ZWARE METALEN

In tabel 15 is voor koper, nikkel en zink de gemiddelde kwaliteit en het verwijderingsrendement weergegeven. De MTR-waarde is eenmaal (van de 12 monsters) in de afloop van de zandfilters voor zink overschreden. Het effluent van de actievekoolkolom voldoet aan de MTR-waarden en aan de Environmental Quality Standards.

In theorie kan de verwijdering van metalen door de actievekoolkolom worden verklaard door vier processen:

- Opname van metalen door de biofilm op het kooloppervlak⁸;
- Door verwijdering van zwevende stof worden ook metalen verwijderd;
- Adsorptie van metaalcomplexen aan het koolbed;
- Daarnaast zijn er aanwijzingen dat de biologische groei onder anaërobe omstandigheden plaatsvindt. Tijdens het spoelen van het koolbed ontwijkt H₂S-lucht en de purperzwavelbacteriën *Thiospirillum* sp. en *Chromatium* sp. zijn in het spoelwater en op de koolkorrels waargenomen. Deze bacteriën reduceren sulfaten tot sulfiden, waarmee vervolgens zware metalen geprecipiteerd kunnen worden.

8 Scott, J.A. and A.M. Karanjkar. (1998). Immobilized biofilms on granular activated carbon for removal and accumulation of heavy metals from contaminated streams. Water Science and technology. Vol. 38, No. 8-9.

TABEL 15 EFFLUENTKWALITEIT EN VERWIJDERING ZINK, KOPER EN NIKKEL

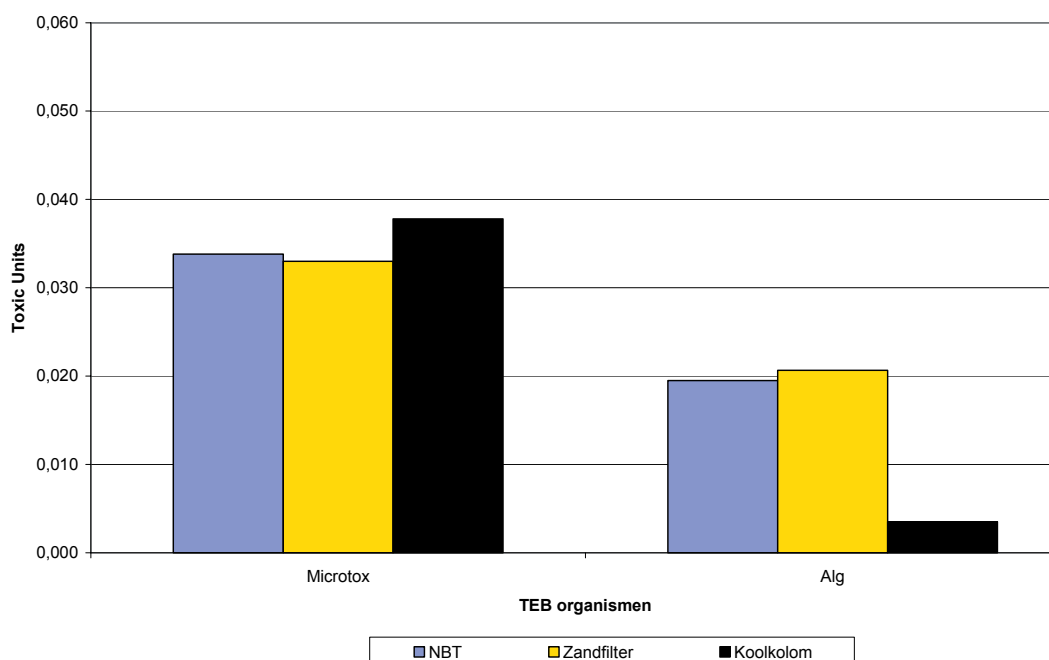
Parameter	NBT	Zandfilters	Koolkolom	MTR-waarde	EQS	Rendement Zandfilter	Rendement Koolkolom*
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(%)	(%)
Zink	16,2	12,0	3,1	40		26	74
Koper	2,0	1,3	0,5	3,8		35	62
Nikkel	2,0	1,5	1,2	6,3	20	25	20

* Rendement ten op zichte van afloop zandfilters

4.5.4 BIOASSAYS

Het gemiddelde resultaat van de TEB-analyses is gepresenteerd in figuur 13. De afloop van de zandfilters heeft voor Microtox en alg nagenoeg dezelfde toxiciteit als de nabezinktank. Het effluent van de actiefekoolkolom heeft een 80% lagere toxiciteit voor alg dan de afloop van de nabezinktank en zandfilters. De toxiciteit van het effluent is na de actiefekoolkolom voor Microtox enkele malen hoger en voor alg gelijk aan de waarden in oppervlaktewater.

FIGUUR 13 RESULTATEN ACUTE TOXICITEITTESTEN VOOR MICROTOX EN ALG



In tabel 16 zijn de resultaten van deze ER-CALUX weergegeven. De afloop van de zandfilterinstallatie heeft bijna altijd een hogere oestrogene activiteit dan de afloop van de NBT. Dit werd in het eerdere onderzoek te Maasbommel (STOWA 2004-28) niet geconstateerd. De achterliggende oorzaak hiervan is onbekend, maar ook bij andere zandfilters met ijzerchloridedosering is dit eerder geconstateerd. De actiefekoolkolom laat een goede verwijdering van de oestrogene activiteit zien tot meestal onder de detectielimiet. De lozing van effluent van de actiefekoolkolom zou in theorie dus geen nadelige oestrogene effecten op de biologische kwaliteit van het oppervlaktewater hebben.

TABEL 16

ER-CALUX METINGEN IN PG 17B-OESTRADIOL EEQ/LITER

Datum meting	Afloop nabezinktank	Afloop zandfilters	Effluent koolkolom
24-07-2006	32	226	< LOD*
26-07-2006	792	1.227	< LOD*
31-07-2006	833	794	< LOD*
01-08-2006	1.023	1.679	755

*LOD staat voor limit of detection = 27 pg EEQ/l

4.5.5 ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

AMPA en glyfosaat worden grotendeels door het zandfilter verwijderd. De aanvullende verwijdering van beide stoffen in de koolkolom is beperkt te noemen. De matige verwijdering is te wijten aan de goede wateroplosbaarheid van beide verbindingen.

De verwijdering van diuron en simazine is weergegeven in tabel 17. De actievekoolkolom verwijdert de herbiciden diuron en simazine tot beneden de detectielimiet. De effluentconcentraties voor diuron en simazine voldoen aan de MTR-waarde en voorlopige Environmental Quality Standards.

TABEL 17

EFFLUENTKwaliteit en verwijdering van herbiciden en pesticiden

Parameter	NBT (µg/l)	Zandfilters (µg/l)	Effluent Koolkolom (µg/l)	MTR-waarde (µg/l)	EQS (µg/l)
Diuron	0,04	0,04	< 0,01	0,43	0,2
Simazine	0,01	< 0,01	< 0,01	0,14	1

4.6 ACTIEVEKoolkolom na de nabezinktank

De nadruk in deze procesconfiguratie ligt op de verwijdering van zwevende stof, zware metalen, diuron en medicijnen. De medicijnen zijn geselecteerd om inzicht te krijgen in de verzadiging van het koolbed.

4.6.1 CZV, nutriënten en zwevende stof

In tabel 18 is de gemiddelde kwaliteit en het verwijderingsrendement weergegeven gedurende de intensieve meetperiode. Tijdens deze periode liepen de behandelde bedvolumes op van 0 tot $7.250 \text{ m}^3_{\text{water}}/\text{m}^3_{\text{actieve kool}}$.

TABEL 18

EFFLUENTKwaliteit en verwijdering CZV, nutriënten en zwevende stof

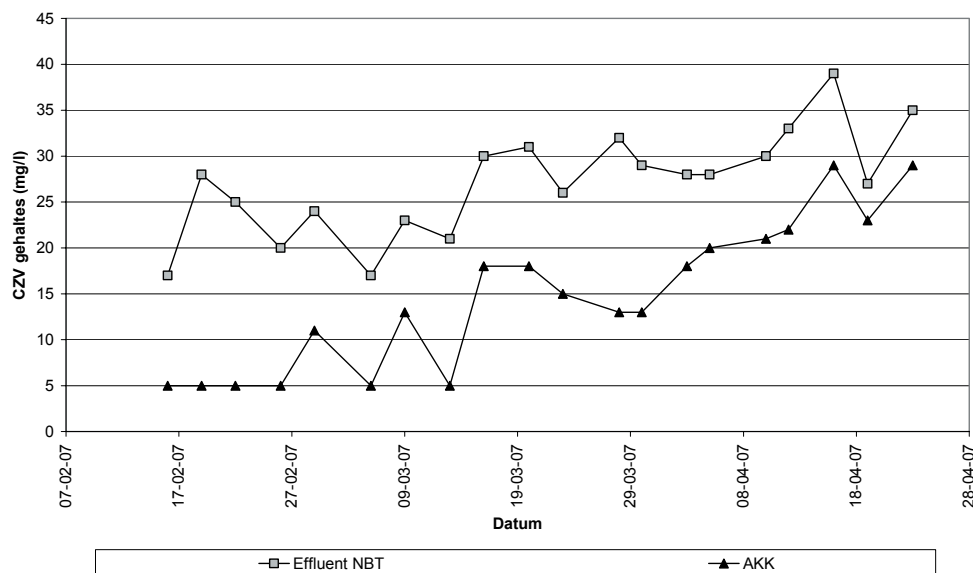
Parameter	NBT (mg/l)	Koolkolom (mg/l)	Rendement Koolkolom (%)
CZV	27	14,7	46
Nitraat-N	1,7	1,5	12
N-totaal	4,3	3,9	10
P-totaal	2,4	2,2	8
Ortho-P	1,6	1,2	25
Zwevende stof	7	< 2	> 71

De verwijdering van nitraat-N en P-totaal door de koolkolom is circa 10%. De afloop van de nabezinktank bevatte een zuurstofconcentratie van circa 2 – 4,5 mg/l (en redoxpotentiaal van 80 – 150mV) waardoor denitrificatie in de actiefekoolkolom werd bemoeilijkt. Voor stikstof wordt de MTR-waarde niet gehaald.

Het zwevende stof uit de actiefekoolkolom is zeer laag, de onopgeloste bestanddelen werden tot aan de detectielimiet verwijderd. Daarnaast is extra onderzoek gedaan naar de mate van verwijdering van zwevende stof onder RWA-concentraties (constant debiet). Bij RWA-concentraties van 10 en 20 mg/l zwevende stof in de afloop van de nabezinktank was de concentratie in het effluent van de koolkolom lager dan 2 mg/l.

De verwijdering van CZV is weergegeven in figuur 14. Het CZV wordt door de actiefekoolkolom gemiddeld voor 46% verwijderd. In de figuur neemt de CZV concentratie in het effluent van de actiefekoolkolom toe door een hogere concentratie in de afloop van de nabezinktank en een toename in de verzadiging van het koolbed.

FIGUUR 14 AFLOOPCONCENTRATIE CZV VAN NABEZINKTANK (NBT) EN EFFLUENT ACTIEVEKOOKOLOM (AKK)



4.6.2 ZWARE METALEN

In tabel 19 is voor zware metalen de gemiddelde kwaliteit en het verwijderingrendement weergegeven gedurende de gehele periode. De kwaliteitsnormen worden voor alle zware metalen gehaald. In bijlage 1 is het verloop van het verwijderingrendement van koper, nikkel en zink gegeven. In de beginperiode (< 2.000 bedvolumina) was de verwijdering van koper en zink hoog (circa 90%). Naarmate het aantal bedvolumina toeneemt tot 7.200 is het verwijderingsrendement afgenomen tot circa 30 - 40%.

TABEL 19 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING VAN ZWARE METALEN

Parameter	Afloop NBT (µg/l)	Effluent Koolkolom (µg/l)	Rendement Koolkolom (%)	MTR-waarde (µg/l)	EQS (µg/l)
Zink	33,1	11,3	66	40	
Koper	2,9	1,0	66	3,8	
Nikkel	2,2	1,75	20	6,3	20

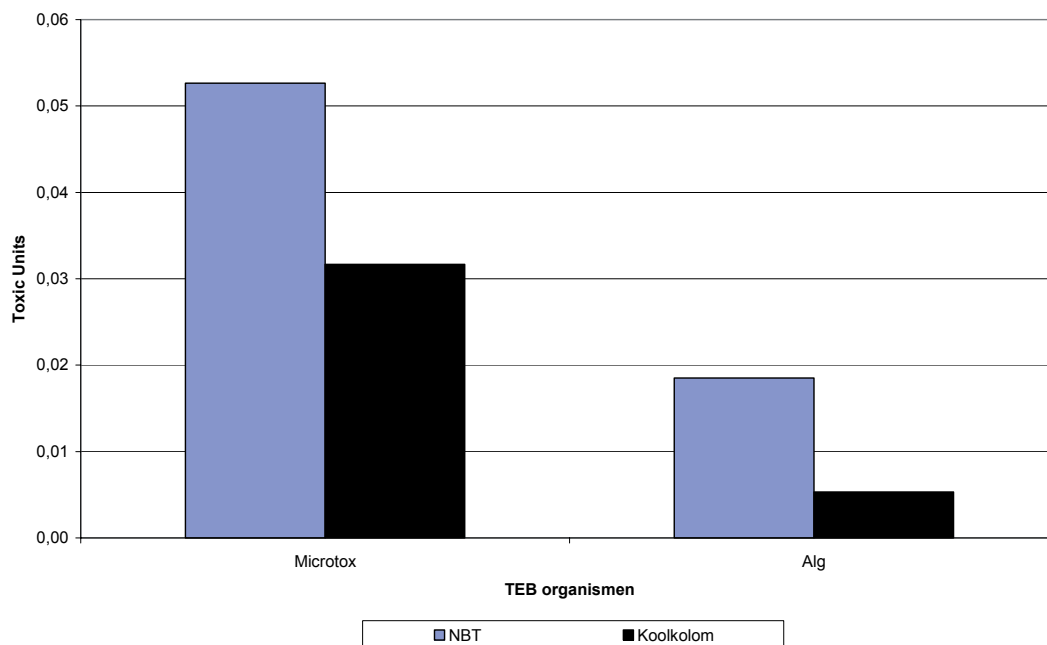
Uit de massabalans van de verwijdering van zwevende stof en in en uitgaande concentraties metalen blijkt dat de verwijdering van koper volledig te wijten is aan afvang van zwevende stof. Een dalende zwevende stof concentratie in de afloop van de nabezinktank leidt dan ook tot een afnemend rendement voor de verwijdering van koper.

De verwijdering van zink en nikkel is voor respectievelijk 40 en 30% te relateren aan zwevende stof afvang. De afname in verwijderingsrendement kan daarom zowel door de verzadiging van het koolbed als de afname in de zwevende stof concentratie in de afloop van de nabezinktank komen.

4.6.3 BIOASSAYS

In figuur 15 is het gemiddelde van drie TEB-analyses voor microtox en alg gegeven. De afloop van de nabezinktank heeft in deze metingen een hogere toxiciteit dan in vergelijking met in voorgaande fases. Daarnaast blijkt dat de toxiciteit van de afloop van de nabezinktank door de actiefekoolkolom sterk wordt gereduceerd (40% voor Microtox en 75% voor alg). In vergelijking met de andere nabehandelingstechnieken wordt met de actiefekoolkolom achter de nabezinktank de hoogste verwijdering van toxiciteit waargenomen. Echter door de hoge concentraties in de afloop van de nabezinktank heeft ook het effluent van de actiefekoolkolom nog een hogere toxiciteitswaarde voor Microtox dan gemeten in oppervlaktewater. De toxiciteitswaarde van alg in oppervlaktewater wordt door toepassing van de actiefekoolkolom wel gehaald.

FIGUUR 15 RESULTATEN ACUTE TOXICITEITTEST VOOR MICROTOX EN ALG



In tabel 20 zijn de resultaten van ER-CALUX gegeven. Ook hier blijkt dat de actievekoolkolom een veel lagere oestrogene activiteit laat zien dan de afloop van de NBT.

TABEL 20 EFFLUENTKwaliteit ER-CALUX IN PG 17B-OESTRADIOL EEQ/LITER

Bedvolumina (m ³ /m ³)	Afloop NBT (pg/l)	Actievekoolkom (pg/l)	Rendement (%)
2.400	430	53	88
3.200	367	< LOD*	> 92
3.700	515	< LOD*	> 94
4.600	50	35	30
6.800	< LOD*	< LOD*	nb

*LOD staat voor limit of detection = 27 pg EEQ/l

4.6.4 ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN

De verwijdering van diuron is weergegeven in tabel 21. De actievekoolkolom verwijdert de diuron tot beneden de detectielimiet. Na 6.600 behandelde bedvolumina is de verwijdering van diuron nog 82%. De effluentconcentratie is lager dan de MTR-waarde van 0,43 µg/l en EQS van 0,2 (µg/l).

TABEL 21 EFFLUENTKwaliteit EN VERWIJDERING VAN DIURON

Bedvolumina (m ³ /m ³)	NBT (µg/l)	Actievekoolkolom (µg/l)	Rendement Koolkolom (%)
390	0,02	< 0,01	> 50
680	0,01	< 0,01	Nb
5.200	0,03	< 0,01	> 67
5.800	0,03	< 0,01	> 67
6.600	0,19	0,03	82

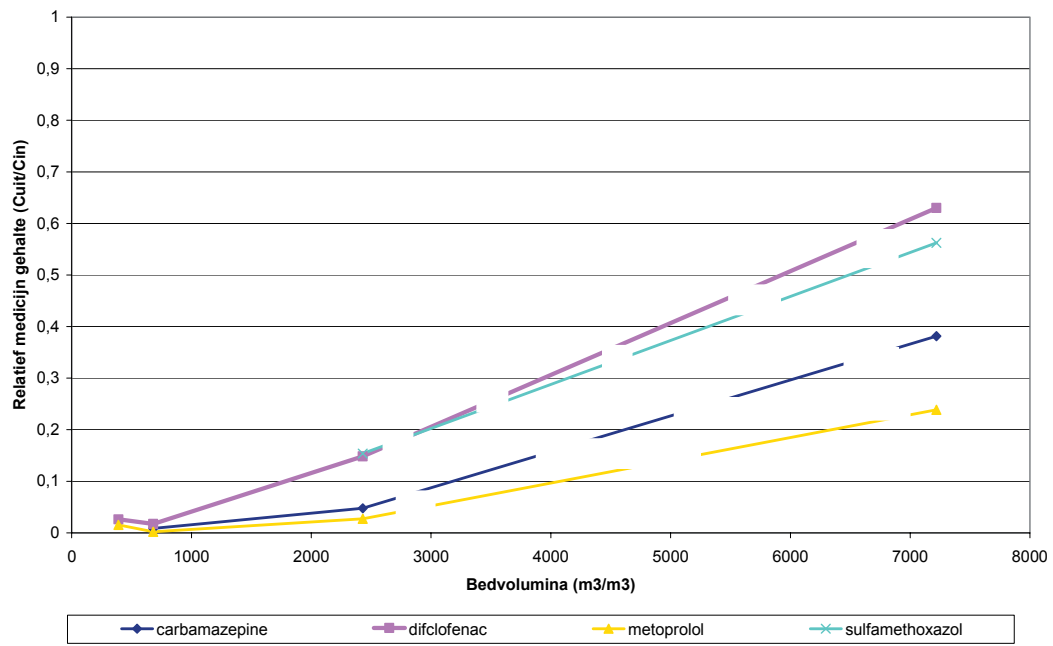
4.6.5 MEDICIJNEN

De doorslagcurve (waarin het omgekeerde van het verwijderingsrendement als C_{uit}/C_{in} tegen de bedvolumina is uitgezet) voor de vier tracer medicijnen is weergegeven in figuur 16. De concentraties in de afloop van de nbt en effluent van de actievekoolkolom zijn gegeven in bijlage 1. Van 0 tot 1000 bedvolumina wordt circa 95% van de medicijnen verwijderd. Van 1.000 tot 1.800 wordt nog meer dan 90% verwijderd. Van 1.800 tot 2.400 bedvolumina neemt de verwijdering van sulfamethoxazol en diclofenac af tot 85%. Carbamazepine en metoprolol worden tot 2.400 bedvolumina nog voor 95% verwijderd.

Bij 7.200 bedvolumina is de verwijdering al afgenomen tot 37% voor diclofenac, 44% voor sulfamethoxazol, 62% voor carbamazepine en 75 voor metoprolol. Daarnaast blijkt uit de figuur dat er geen eenduidige relatie bestaat tussen de log Kow's van de medicijnen en de verwijderingsrendementen. Het doorslagpunt is een subjectief begrip afhankelijk van de criteria die gesteld worden aan het verwijderingsrendement. Bijvoorbeeld wanneer het criteria voor doorslag bij een verwijderingsrendement van 70 % wordt gesteld, is de standtijd van de actieve kool voor diclofenac en sulfamethoxazol circa 4.000 bedvolumina.

FIGUUR 16

VERZADIGINGSCURVE MEDICIJNEN IN ACTIEVEKOOLKOLOM



5

BEDRIJFSVOERINGSASPECTEN NABEHANDELINGSTECHNIEKEN

In dit hoofdstuk zijn de bedrijfsvoeringsaspecten van de verschillende nabehandelings technieken beschreven.

5.1 POLYMEER EN ULTRAFILTRATIE

De dosering van Nalmet zorgde na verloop van tijd voor verstoppingen in de doseerleiding vanwege kristallisatie. Met enig onderhoud werden deze problemen verholpen. Een nadelig aspect van Nalmet® is de pH-waarde van 14, waardoor het werk met een hoge mate van voorzichtigheid en met persoonlijke beschermingsmiddelen dient te gebeuren.

5.1.1 TOXICITEIT

Bij toetsing van Nalmet® aan de Algemene BeoordelingsMethodiek blijkt dat deze valt in de klasse 8: “schadelijk voor in water levende organismen en kan in het aquatisch milieu op de lange termijn schadelijke effecten veroorzaken”. Dit komt door de slechte biologische afbreekbaarheid. De laagste LC₅₀-waarden voor vis en watervlo vallen in de categorie weinig - matig acuut toxisch.

De toepassing van Nalmet in combinatie met UF zal na verwachting door de vlokafvanging niet tot milieuproblemen in het ontvangende oppervlaktewater zal gaan leiden. Voorwaarde hierbij is dat géén overdosering van het polymeer zal plaatsvinden.

Uit de resultaten van de TEB-analyses blijkt dat er wel een verslechtering van de effluentkwaliteit voor organismen is. Eventueel zijn er wel alternatieven beschikbaar die gunstiger score in de ABM.

5.1.2 SLIB

De verwijdering van zware metalen vindt plaats door precipitatie en de vorming van polymerslib. Er zijn drie slibmonsters geanalyseerd op zware metalen. In tabel 22 zijn de gemiddelde concentraties zware metalen in mg/kg drogestof slib van het polymerslib gegeven ten opzichte van biologisch slib van de rwzi Maasbommel (2006). Uit de gegevens blijkt dat de concentraties redelijk overeenkomen. De afzet van dit slib zal daarom naar verwachting weinig problemen opleveren.

TABEL 22

ZWARE METALEN IN POLYMEERSLIB EN SLIB RWZI MAASBOMMEL (2006) IN MG/KG DS

Parameter	Polymeerslib	Slib rwzi Maasbommel
Zink	1.247	1.158
Koper	387	562
Nikkel	73	28
Cadmium	0,4	1,1
Lood	58	91
Chroom	31	29
Arseen	2,5	5,8

De bezinkbaarheid van het polymeerslib is gemeten bij een drogestofgehalte van 0,2 g/l en vergeleken met slib uit de aëratietank (verdund tot 0,2 g/l). In figuur 17 zijn beide Imhoffglazen weergegeven na 1 uur bezinktijd. Op de foto is te zien dat de bezinking nagenoeg gelijk is. De gemiddelde slibproductie omgerekend naar een full-scale toepassing van deze configuratie bedraagt circa 0,8 kg ds/dag wat in verhouding met de slibproductie van de rwzi circa 6% is.

FIGUUR 17

BEZINKBAARHEID VAN SLIB RWZI MAASBOMMEL (LINKS) EN POLYMEERSLIB (RECHTS)



5.2 POEDERKOOI EN ULTRAFILTRATIE

Tijdens het onderzoek zijn enkele ervaringen opgedaan op het gebied van bedrijfsvoering-aspecten van poederkool. Hierbij is een aantal aandachtspunten geconstateerd:

- De poederkool is zeer fijn en heeft sterke neiging tot stuiven, hierdoor bestaat er gevaar voor inhalatie van poederkool en vervuiling van de apparatuur;
- Een poederkoolslurrie van 15 g/l is moeilijk te verpompen met een slangenpomp waardoor uitzakking in de leidingen kan plaatsvinden.
- Daarnaast heeft de poederkool slechte bezinkeigenschappen, waardoor het niet met bezinking kan worden afgescheiden van het water. Bij toepassing van poederkooldosering op de afloop van de nabezinktank is nog membraanfiltratie noodzakelijk bij normale bezinktijden.
- Wanneer het eindelijk bezonken is (na 2 dagen) klinkt het in.

5.3 POLYMEER, POEDERKOOL EN ULTRAFILTRATIE

In deze fase is door inspectie en microscopisch onderzoek geconstateerd dat de membranen door de schurende werking van poederkool zijn stuk gegaan. De permeabiliteit daalde tot $60 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$ en was niet meer te verhogen door een maintenance reiniging met chloor en zuur. Na een intensieve reiniging met warm water en chloorbleekloog nam de permeabiliteit slechts toe tot circa $125 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$. Binnen enkele dagen was de permeabiliteit weer afgenomen tot beneden de $100 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar}$.

Tevens is er tijdens visuele inspectie een fijne fractie poederkool waargenomen in het permeaat. Een aantal van de membranen bleken te zijn gescheurd. Daarnaast was het buitenoppervlak van de membranen afgeschuurd. Dit is te zien op de foto in figuur 18. Dit betekent dat deze configuratie van poederkool in combinatie met UF ondergedompelde membranen niet robuust is.

FIGUUR 18

AFGESCHUURDE ULTRAFILTRATIE MEMBRANEN

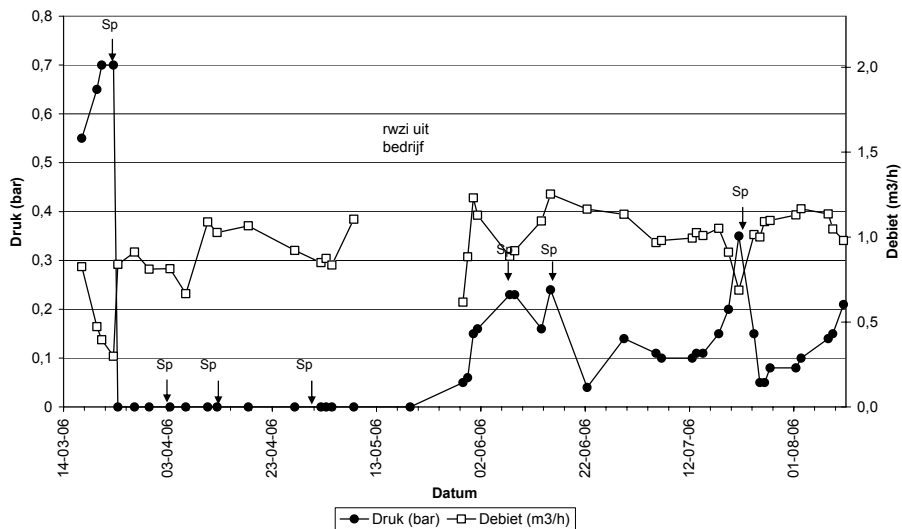


5.4 ACTIEVEKOLKOLOM NA DE ZANDFILTERS

De drukopbouw en het aanvoerdebiet van de koolkolom zijn regelmatig gemeten. In figuur 19 is het verloop van de drukopbouw en het aanvoerdebiet weergegeven gedurende fase 1. Uit de figuur valt af te leiden dat veelal na een spoeling de druk afneemt tot circa 0,03 bar. De spoeling is in eerste instantie uitgevoerd na het overschrijden van 0,3 bar. Het gemiddelde tijdsinterval waarin de druk toeneemt tot 0,3 bar is in deze configuratie circa 10 dagen. Achtereenvolgens is de spoelfrequentie verhoogd tot eenmaal per 7 dagen om de aanwas van biomassa te verminderen en het kooloppervlak vrij te maken voor adsorptie. Tenslotte is eenmaal per week gespoeld om eerder de biomassa te verwijderen. Het spoelwaterverbruik is per spoeling circa $3,5 \text{ m}^3$ met een debiet van $13 \text{ m}^3/\text{h}$. Bij een spoelfrequentie van eenmaal per week is het spoelwatergebruik 2% van het behandelde water.

FIGUUR 19

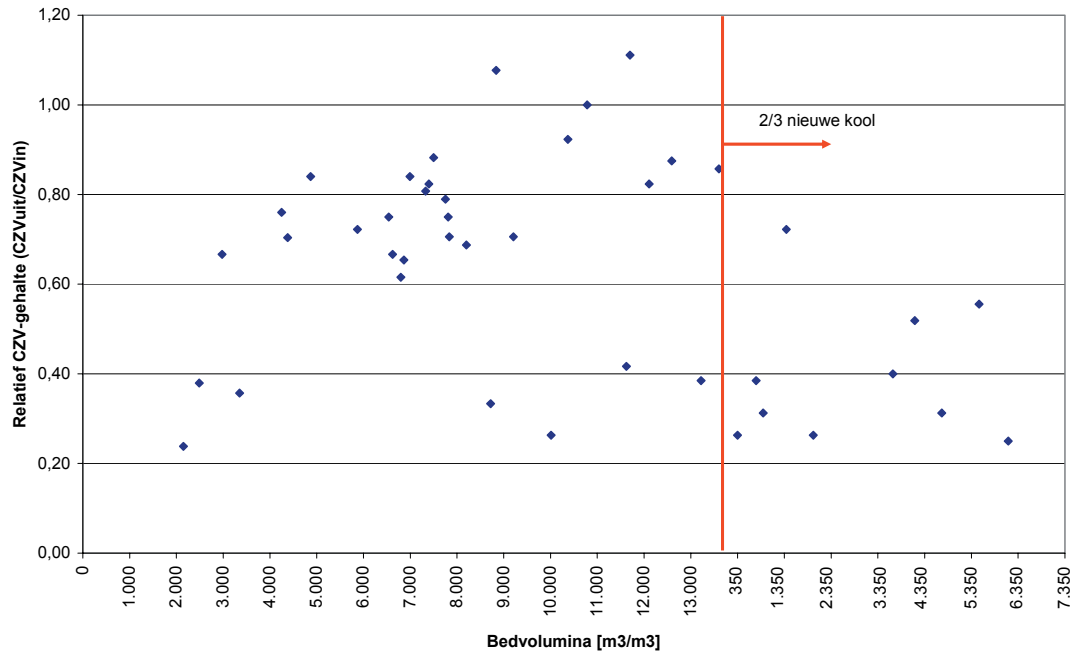
BEDRIJFSVOERING ACTIEVEKOOKOLOM FASE 1 (SP = SPOELING)



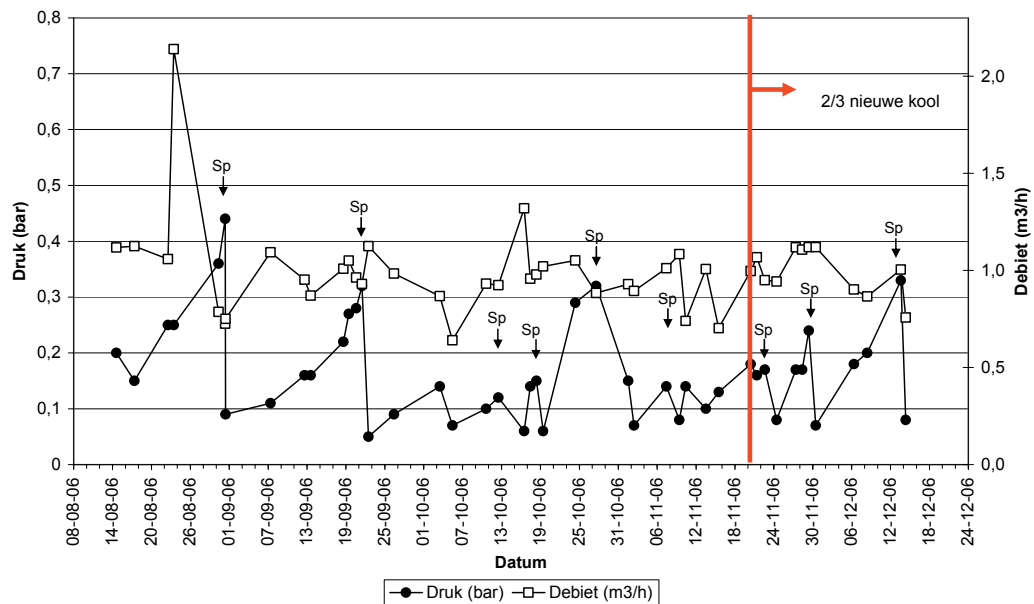
De verzadiging van de actieve kool met CZV is af te leiden uit de hoeveelheid geadsorbeerde CZV. In figuur 21 is de relatie tussen het aantal bedvolumina en de relatieve concentratie CZV in het effluent (CZV_{uit}/CZV_{in}) afgebeeld. Tussen de 0 en 4.000 bedvolumina is de CZV-verwijdering wisselend tussen de 30 en 75%. Dit veronderstelt dat soms een groot aandeel CZV niet wordt geadsorbeerd aan het koolbed. In de periode van 4.000 naar 8.000 bedvolumina neemt over het algemeen de verwijdering van CZV af tot circa 15 - 20%. Dit duidt op een toenemende verzadiging van het koolbed. Van 8.000 tot 14.000 bedvolumina is de CZV verwijdering grillig, maar laat het merendeel van de punten een effluentgehalte zien die nagenoeg gelijk is aan de ingaande concentratie.

Voor het vaststellen van de verzadiging van het koolbed is het CZV-gehalte, in vergelijking met de drinkwater toepassing, een niet juiste parameter gebleken. De waarden worden teveel beïnvloed door processen als biologische afbraak, slibgroei en slibuitspoeling, waardoor het aandeel van werkelijke adsorptie aan de kool niet meer zichtbaar is. Na 13.600 bedvolumina (ruim 7 maanden) is 2/3 van het koolbed vervangen door nieuwe kool. In het begin tussen de 0 en 3.000 bedvolumina is de verwijdering van CZV hoog circa 60 - 70%. Daarna is de verwijdering wisselend tussen de 0 en 70%. Het verloop van het debiet en de druk in fase 2 is afgebeeld in figuur 21.

FIGUUR 20 VERZADIGING ACTIEVEKOOKOLOM OP BASIS VAN CZV



FIGUUR 21 BEDRIJFSVOERING ACTIEVEKOOKOLOM FASE 2 (SP = SPOELING)

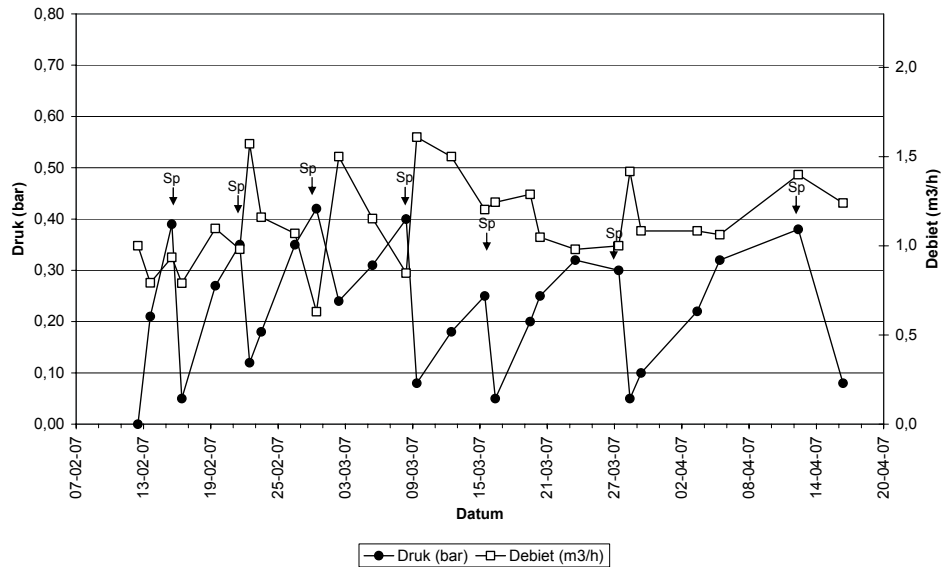


5.5 ACTIEVEKOOKOLOM DIRECT NA DE NABEZINKTANK

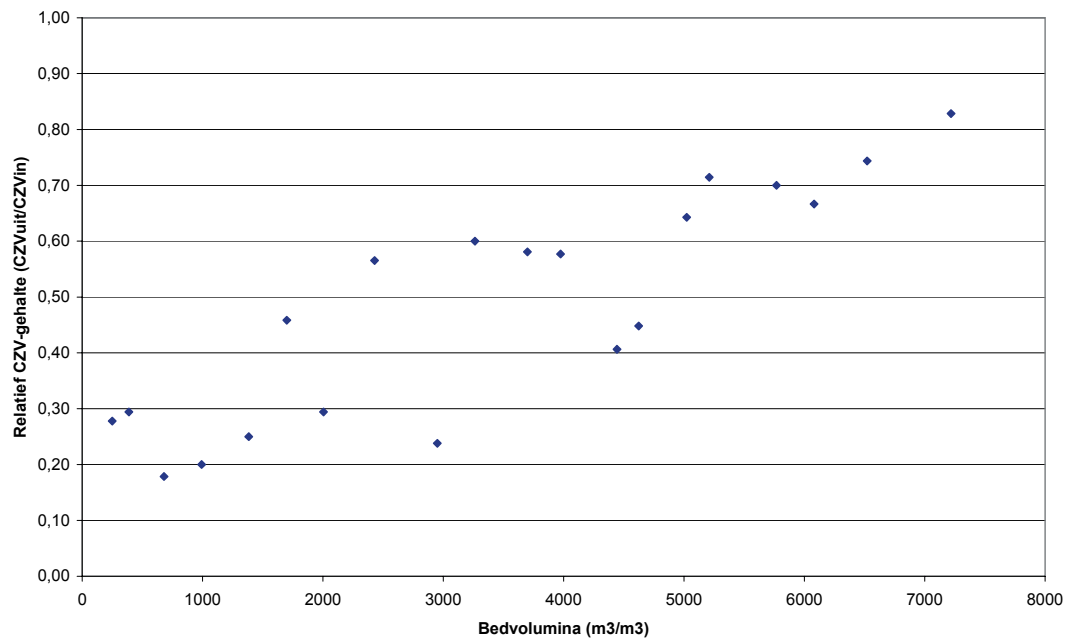
De drukopbouw en het aanvoerdebiet van de koolkolom zijn regelmatig gemeten. In figuur 22 is het verloop van de drukopbouw en het aanvoerdebiet weergegeven. De druk loopt bij DWA in een week tijd op tot 0,4 bar, bij RWA (12-03-07 - 15-03-07) gaat het sneller. Wanneer deze druk bereikt is, is een handmatige spoeling uitgevoerd met 13 m³/h. De toename van druk is gerelateerd aan de hoeveelheid afgevangen zwevende stof. Er is echter in geen enkele meting doorslag geconstateerd van zwevende stof. De snelheid in druktoename in de actievekoolkolom tot 0,4 bar is afhankelijk van variaties in de aanvoer. Het gemiddelde tijdspad waarin de druk toeneemt tot 0,3 bar is in deze configuratie circa 5 dagen. Dit is twee keer zo snel als in de configuratie achter de zandfilters. Het spoelwaterverbruik is dan ook tweemaal zo hoog circa 4% van het behandelde water.

In figuur 23 is het verloop van de CZV-verzadiging van de actiefekoolkolom gegeven. Ook in dit figuur is de CZV verwijdering verzadiging grillig. In de begin periode is tot circa 3.000 bedvolumina is de verwijdering circa 60 - 80%. Daarna neemt de verzadiging toe en de CZV-verwijdering af tot circa 30 - 40%.

FIGUUR 22 BEDRIJFSVOERING ACTIEVEKOOKOLOM NA NABEZINKTANK (SP = SPOELING)



FIGUUR 23 BEDRIJFSVOERING ACTIEVEKOOKOLOM NA NABEZINKTANK (SP = SPOELING)



6

EVALUATIE

De belangrijkste onderzoeksvraag in deze studie is welke nabehandelingstechniek *toepasbaar* is om de binnen de KRW geselecteerde *stoffen te verwijderen* tot concentraties die voldoen aan de MTR- waarde en voorlopige Environmental Quality Standards. In het kader van dit onderzoek zijn nutriënten, koper, zink en nikkel, PAK's, diuron en simazine als voorbeeld stoffen geselecteerd. Daarnaast wordt beoogd inzicht te krijgen in effecten op de biologische kwaliteit van het effluent door middel van bioassays. Een nevenvraag is wat de *bedrijfsvoeringsaspecten* zijn van de technieken.

Hierna zullen de resultaten van de geteste procesconfiguraties worden besproken op basis van bovenstaande aspecten. De volgende configuraties zijn onderzocht:

- polymeerreactor – ultrafiltratie (UF);
- poederkoolreactor – UF;
- polymeer – poederkoolreactor – UF;
- continue zandfilters (N en P) – actiefekoolkolom;
- actiefekoolkolom.

In de polymeer- en poederkoolreactor wordt de slib/waterscheiding gerealiseerd met een UF.

6.1 VERWIJDERINGSRENDEMENTEN EN EFFLUENTKWALITEIT

In deze paragraaf zijn de verwijderingsrendementen en de behaalde effluentkwaliteit van de nabehandelingstechnieken geëvalueerd.

Nutriënten, CZV en zwevende stof

De toepassing van actieve kool en / of polymeerdosering heeft nagenoeg geen effect op de verwijdering van nutriënten. Alleen de actiefekoolkolom na de zandfilters laat nog een significante stikstofverwijdering (> 90% nitraat-N) zien door denitrificatie in de biofilm die groeit op het koolbed. Dit werd mogelijk door lage zuurstofgehalten in de afloop van de zandfilters. Wanneer de koolkolom direct na de nabezinktank is geschakeld is de verwijdering veel lager, slechts 12% van het nitraat-N. Dit is voornamelijk te wijten aan het zuurstofgehalte in het te behandelen afloop van de nabezinktank (3 - 5 mg/l).

De actiefekoolkolom achter de zandfilters kon in de intensieve periode de effluentconcentratie van N-totaal niet reduceren tot MTR-kwaliteit vanwege de hoge ammoniumconcentraties. MTR-kwaliteit wordt wel als haalbaar beschouwd bij lagere concentratie ammonium in de afloop van de nabezinktank en een goede bedrijfsvoering van de zandfilters en actiefekoolkolom.

Voor de bestaande continue twee-traps zandfilterinstallatie is het van belang dat deze de ingangspecificaties met betrekking tot nitraat en fosfaat ontvangt. Vooral een te hoge fosfaatconcentratie (> 1,5 mg/l) in de afloop van de nabezinktank zorgt voor een niet optimaal

functionerende 2^e trap, waardoor de gewenste MTR-waarde van 0,15 mg/l niet gehaald wordt. Daar de optimalisatieruimte van een zandfilter beperkt is, moet dit vooral worden gezocht in het actief-slibstelsysteem. Er is voldoende praktijkervaring om een fosfaatgehalte te produceren van < 1,5 mg/l in het actief-slibstelsysteem.

Het CZV-rendement door polymeerdosering en ultrafiltratie is verwaarloosbaar, maar door actieve kool wordt circa 45 - 70% verwijderd. De rendementen van de actievekoolkolom na de zandfiltratie zijn lager (> 40%), maar niet representatief als gevolg van de hoge mate van zwevendestofuitspoeling door de zandfilters. De toepassing van poederkool heeft een hogere CZV verwijdering (60 - 80%) dan de koolkolom (40 - 60%).

De verwijdering van zwevende stof is bij de polymeerdosering en poederkool in combinatie met de ultrafiltratie uiteraard volledig. De actievekoolkolom direct na de nabezinktank laat ook een hoge verwijdering zien van meer dan 70% tot concentraties van <2 mg/l. De actievekoolkolom achter de zandfilters laat nagenoeg geen verwijdering van zwevende stof zien. Dit komt door zwevende stof uitspoeling (vanuit zandfilters en koolkolom) veroorzaakt door een hoge belasting met ijzerslib en hoge mate van biomassa groei op het koolbed.

Zware metalen

Het algemene beeld is dat zware metalen zowel door polymeerdosering alsook door actieve kool goed kunnen worden verwijderd tot onder de MTR waarden en voorlopige Environmental Quality Standards. Dit geldt overigens ook voor de nabezinktank in de intensieve periodes in het onderzoek. Alleen voor nikkel blijven de rendementen van de actieve kool iets achter en levert polymeerdosering een aanzienlijk hoger rendement op. In tabel 23 zijn de resultaten voor de verschillende technieken voor koper, zink en nikkel weergegeven.

TABEL 23

RENDEMENTEN VAN TECHNIEKEN VOOR ZWARE METALEN (IN %)

Parameter	Polymeer, UF	Poederkool, UF	Koolkolom na ZF	Koolkolom na NBT
Koper	83	65	74	66
Zink	75	83	62	66
Nikkel	70	33	20	20

De koolkolom na de zandfiltratie is anaëroob bedreven en de koolkolom na de NBT aëroob. De rendementen zijn echter nagenoeg gelijk, waardoor de goede metaalverwijdering niet door aanvullende sulfideprecipitatie onder anaërobe condities kan worden verklaard. Het mechanisme van metaalverwijdering moet dan vooral gezocht worden in de aanvullende verwijdering van zwevende stof, de opname door de aanwezige biofilm en de adsorptie van complexgebonden metalen door de kool.

Bioassays

De milieubezwaarlijkheid van het effluent is bepaald met bioassays en de ER-Calux. Algemeen geldt dat actieve kool een aanzienlijke verlaging van toxiciteit en oestrogene activiteit laat zien en polymeerdosering op beide aspecten een verslechtering. De ER-Calux van de nabezinktank varieerde gedurende het jaar aanzienlijk. Er is geen relatie gevonden tussen de seizoenen en ER-Calux resultaten. Zo zijn concentraties tot beneden de detectielimiet gemeten en concentraties tot 2.700 EEQ/l.

De uitgevoerde TEB-metingen (Microtox, algen) laten vaak dezelfde resultaten zien, maar zijn soms met elkaar in tegenspraak zoals blijkt in tabel 24. Zo waren de Microtox-resultaten bij de actiefekoolkolom achter de zandfilters een aantal keer aanzienlijk hoger dan van de nabezinktank en de zandfilters. Hiervoor was geen directe verklaring te geven, maar uit resultaten van andere metingen van RWS-RIZA blijkt dat de Microtox over het algemeen gevoeliger is dan de andere 2 testen. Dit maakt dat een lange reeks metingen en het toepassen van een combinatie van testen noodzakelijk is om een juiste conclusie te kunnen trekken. Uit de tabel 24 kan worden afgeleid dat de hoogste verwijdering van toxiciteit wordt gerealiseerd met poederkool UF en de actiefekoolkolom achter de nabezinktank.

TABEL 24

RENDEMENTEN VAN TECHNIEKEN VOOR TEB ANALYSES (IN %)

Parameter	Polymeer, UF	Poederkool, UF	Zandfilters	Koolkolom na ZF	Koolkolom na NBT
Microtox	- 62	61	3	-12	40
Alg	0	67	-10	80	74

Bij het beoordelen van de TEB-resultaten moet in acht worden gehouden dat de monsters sterk geconcentreerd moeten worden om een EC50 te kunnen vaststellen. Zo moet voor de Microtox 20 - 50 keer worden geconcentreerd om een EC50 in de nabezinktank te kunnen vaststellen en voor de alg 50 - 100 keer. Door RWS-RIZA wordt een EC50 van 20 maal concentreren aangehouden als indicatie voor chronische effecten in het effluent. In een kwart van de testen heeft de afloop van de nabezinktank waarden voor Microtox die een indicatie zijn voor chronische toxiciteit.

Dit laat niet onverlet dat de TEB-analyses aanvullende informatie leveren ten opzichte van de chemische analyses. In dit onderzoek wordt slechts een selectie van organische microverontreinigingen gemeten. Met behulp van TEB-metingen worden de effecten van alle organische micro's in enkele metingen bepaald.

Organische microverontreinigingen

Ampa en Glyphosaat worden door de koolkolom, polymeer en UF niet verwijderd. Poederkool met UF levert een verwijdering op 20%. Diuron en simazine worden tot aan de detectielimiet verwijderd door de toepassing van actieve kool. De actiefekoolkolom achter de nabezinktank laat voor diuron een verwijdering zien van circa 80% bij 6.600 behandelde bedvolumina. De voorlopige Environmental Quality Standards worden met actieve kool voor deze twee stoffen gehaald.

Pathogenen

Voor de lozing op een oppervlaktewater met de functie zwemwater is het van belang pathogenen te verwijderen tot minder dan 20 Kve/ml. De norm voor lozen op zwemwater is echter niet bereikt tijdens vijf metingen in de afloop van de zandfilters, actiefekoolkolom en nabehandelingreactor met poederkool. Uit het onderzoek met de poederkoolreactor en ultrafiltratie is gebleken dat een log 3 verwijdering wordt gerealiseerd. Dit werd ook al gemeten tijdens het vorige onderzoek met de membraanbioreactor. De koolkolom en de zandfilters laten een verwijdering zien die verwaarloosbaar is (log 0). Bij een noodzaak tot desinfectie zal voor dergelijke technieken nog een aanvullende stap moeten worden ingezet. Een alternatief voor ultrafiltratie zou dan UV-desinfectie kunnen zijn in combinatie met actiefekoolfiltratie.

Medicijnen

Door de koolkolom achter de nabezinktank te situeren worden de medicijnen tot zeer lage concentraties verwijderd (op basis van 4 metingen). Tot 2.500 bedvolumina worden sulfamethoxazol en diclofenac voor 85% en carbamazepine en metoprolol voor 95% verwijderd. Bij 7.200 bedvolumina is de verwijdering van diclofenac en sulfamethoxazol al afgenomen tot minder dan 55%. De standtijd van de actieve kool in de praktijk is variabel. Dit is namelijk afhankelijk van de concentraties in de aanvoer van de actievekoolkolom de gehanteerde effluenteisen en daaruit afgeleide noodzakelijke verwijderingsrendementen. Met de resultaten van deze studie kan een indruk verkregen worden wat de standtijd van de kool dan ongeveer zou kunnen zijn. In de praktijk is het effluent van alle rwzi's anders en is de verzadiging van de actieve kool en de standtijd ook anders.

6.2 BEDRIJFSVOERINGASPECTEN

Wat betreft de toepassing van actieve kool wordt opgemerkt dat de voorkeur uitgaat naar korrelkool in de vorm van een actievekoolkolom. Dit is de minst complexe installatie en levert het grootste bedrijfsvoeringgemak. De koolkolom heeft regelmatig een spoeling nodig. Het spoelwaterverlies van de actievekoolkolom is circa 2% als het achter de zandfilters en circa 4% als het direct na de nabezinktank is geplaatst. Dit is lager dan de 5% van een continu zandfilter.

De bedrijfsvoering van poederkool is problematisch. Aangezien de poederkool slecht bezinkt, zal hiervoor altijd een aanvullende scheidingsstap geïnstalleerd moeten worden. Membraanfiltratie in ondergedompelde vorm lijkt als scheidingsstap niet geschikt omdat de membranen dan kapot kunnen worden geschuurd. Een externe membraanmodule met een dead-end bedrijfsvoering zou vanwege de lagere wrijvende krachten de kans op membraan-slijtage verkleinen.

De toepassing van polymeer voor de verwijdering van zware metalen is ook problematisch. Ten eerste leidt de moeilijk te beheersen overdosering tot een verslechtering van de biologische kwaliteit van het effluent. Daarnaast is het gebruik van dergelijke milieugevaarlijke stoffen op grote schaal niet echt duurzaam. Eventueel zijn er wel alternatieven beschikbaar die gunstiger scoren in de ABM.

6.3 EINDEVALUATIE

Het blijkt dat de toepassing van actieve kool over een breed scala van componenten een aanzienlijke verbetering van het effluent laat zien. Voornamelijk de verlaging van de oestrogene activiteit en de verwijdering van organische micro's, medicijnen en zware metalen springen in het oog. Dit uit zich ook in de vermindering van toxiciteit van het afvalwater. De polymeer-dosering voor de verwijdering van zware metalen levert ten opzichte van actieve kool alleen een meerwaarde voor de verwijdering van nikkel. De MTR-waarde alsook de Environmental Quality Standards zijn voor zware metalen en de herbiciden en pesticiden met alle nageschakelde technieken gehaald. De technieken zijn in de onderzoeksperiode met een constant debiet belast.

Wat betreft de bedrijfsvoeringaspecten prevaleert het gebruik van een koolkolom boven die van een poederkoolreactor. Het direct schakelen van de actievekoolkolom na de nabezinktank is goed mogelijk.

De vergelijking van de verschillende technieken is in tabel 25 gepresenteerd.

TABEL 25 OVERZICHT VERGELIJKING VAN NAGESCHAKELDE TECHNIKEN

Parameter	Polymeer UF	Poederkool UF	Polymeer Poederkool UF	Zandfilters N en P	Koolkolom met zandfilters	Koolkolom na NBT
Verwijdering van stoffen						
stikstof	-	+/-0	0	+/-0	+/-0	0
fosfaat	-	+/-0	0	+	+	0
CZV	0	++	+	+/-0	+/-0	+/-0
zwevende stof	++	++	++	+/-0	+/-0	++
zware metalen	++	+	++	+/-0	++	+
diuron en simazine	-	++	nb	+/-0	++	++
AMPA en glyfosaat	nb	+	nb	0	0	nb
ER-Calux	-	++	nb	-	++	++
toxiciteit	-	+	nb	-	+	+
medicijnen	nb	nb	nb	nb	nb	+
desinfectie	++	++	++	0	0	0
Bedrijfsvoerings-aspecten	+	-	-	0	0	+

Betekenis van symbolen is een range van verwijderingsrendement: - = < 0%; 0 = 0 - 20%; +/-0 = 20 - 50%; + = 50 - 70%; ++ = 70 - 100

De investeringskosten voor een full-scale actievekoolkolom zijn voor 20.000 en 100.000 i.e. (à 136 gram TZV/d) weergegeven in tabel 26. Deze kosten zijn bepaald op basis van kengetallen uit het STOWA rapport Verkenningen zuiveringstechnieken en KRW (2005-28). De installatie is gedimensioneerd op 1,5 maal DWA. In de tabel zijn de exploitatiekosten voor een standtijd tussen de 0,6-0,7 jaar en een standtijd van 0,3 jaar gegeven. Uitgangspunt hierbij is dat de bedrijfsvoeringskosten voor 50% bestaan uit het koolverbruik. De exploitatiekosten zijn per i.e. bij een installatie van 100.000 i.e. en een standtijd van 0,6 - 0,7 jaar het laagst (7,6 €/i.e./jaar of € 0,10/m³)

TABEL 26 INVESTERINGS- EN EXPLOITATIEKOSTEN ACTIEVEKOOKOLOM ACHTER NABEZINKTANK

Parameter	Eenheid	Standtijd 0,6 - 0,7 jaar		Standtijd 0,3 jaar	
		20.000 i.e.	100.000 i.e.	20.000 i.e.	100.000 i.e.
investeringen	Euro	1.342.000	2.417.000	1.342.000	2.417.000
kapitaalslasten	Euro/j	128.000	211.000	128.000	211.000
bedrijfsvoering	Euro/j	126.000	545.000	189.000	818.000
exploitatie	Euro/j	254.000	756.000	317.000	1.029.000
exploitatie per i.e.	Euro/i.e./j	13	7,6	16	10,3

Met betrekking tot de specifieke systeemkeuze kan het volgende worden vastgesteld:

- Een goede N- en P-verwijdering dient plaats te vinden in het actiefslibstelsysteem. Vervolgens kunnen zeer lage N- en P-gehalten worden gerealiseerd door nageschakelde zandfiltratie;
- voor verwijdering van organische micro's, zwevende stof (niet chemisch slib) en toxiciteitsverlaging kan een actievekoolkolom direct na de nabezinktank geplaatst worden of direct achter een zandfilter;
- voor verwijdering van zware metalen is een actievekoolkolom een goede methode. Indien nikkel problematisch is zal aanvullend polymeer gedoseerd kunnen worden.

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Voor de onderzoeksvraag “welke nabehandelingstechnieken toepasbaar zijn om de binnen de KRW geselecteerde stoffen te verwijderen” is de toepassing van actieve kool en de dosering van polymeer getest, al dan niet in combinatie met zandfiltratie of membraanfiltratie. De omstandigheden van dit onderzoek dienen bij het interpreteren van de conclusie in acht te worden genomen. Er is zoveel mogelijk bemonsterd bij DWA condities en een constant debiet is over de pilotinstallaties geleid. Daarnaast zijn de waargenomen concentraties lager dan verwacht. Uit deze testen kan het volgende worden geconcludeerd:

7.1 CONCLUSIES

Actieve kool

- Onafhankelijk van de uitvoeringsvorm laat de toepassing van actieve kool (met een standtijd tot 4 maanden) een overall verbetering van het effluent zien door verwijdering van:
 - o CZV, circa 50%;
 - o herbiciden en pesticiden tot beneden het detectieniveau;
 - o acute toxiciteit / TEB bioassay tot beneden het detectieniveau;
 - o oestrogene activiteit bioassay tot beneden het detectieniveau;
 - o zware metalen (koper en zink 50 – 90% en nikkel circa 40%);
 - o de gemeten medicijnen, circa 80 - 90%.
- Op basis van eenvoud en bedrijfsvoeringgemak is een kolomuitvoering te prevaleren boven een poederkoolreactor. Daarnaast verwijdert de kolom aanvullend ook nog nitraat door denitrificatie indien de aanvoer lage zuurstofconcentraties bevat;
- De poederkoolreactor heeft (door de nageschakelde ultrafiltratie) een volledige verwijdering van zwevende stof. Daar staat tegenover dat de actievekoolkolom na de nabezinktank het zwevendestofgehalte, ook tijdens RWA, reduceert tot waarden onder de 2 mg/l;
- De actievekoolkolom kan achter de nabezinktank alsook achter de zandfiltratie worden geschakeld.
- De exploitatiekosten zijn per i.e. bij een installatie van 100.000 i.e. en een standtijd van 0,6 - 0,7 jaar het laagst (7,6 €/i.e./jaar)

Polymeerdosering

- dosering van polymeer (50 ml/m³) aan het rwzi-effluent levert na ultrafiltratie een verwijdering van koper, zink en nikkel van respectievelijk 83, 75 en 70%;
- het hier toegepaste polymeer is een categorie A stof (conform de ABM) en levert een verhoogde toxiciteit van het effluent. Alternatieven zijn echter op de markt voorhanden;
- aanvullende verwijdering van nutriënten, CZV en organische microverontreinigingen is door polymeerdosering verwaarloosbaar;

7.2 AANBEVELINGEN

- Voor de verwijdering van KRW-gerelateerde stoffen lijkt het schakelen van een actieve koolkolom na de nabezinktank het meest voor de hand te liggen. Hiermee wordt een aanzienlijke verbetering van de chemische kwaliteit gerealiseerd door de verwijdering van CZV, zwevende stof, zware metalen, organische microverontreinigingen en de gemeten medicijnen. Dit leidt daarnaast tot een verlaging van de overall toxiciteit. Wanneer een rwzi op gevoelig oppervlaktewater loost waarin de biologische kwaliteit van groot belang is, is de toepassing van een actieve koolkolom een waardevolle nabehandelingstechnologie.
- De actieve koolkolom kan ook achter zandfilters worden geplaatst. Van belang hierbij is dat de uitspoeling van zwevende stof en ijzerslib uit het zandfilter minimaal is, zodat geen nadelige effecten voor de bedrijfsvoering van de koolkolom plaatsvinden. De toepassing van discontinue zandfiltratie voor de actieve koolkolom verdient de voorkeur boven continue zandfiltratie omdat daaruit minder slib spoelt. Er zijn echter nog geen ervaringen met deze procesconfiguratie in de praktijk opgedaan.
- De actieve koolkolom is op pilotschaal nu succesvol gebleken. Het is echter nog onbekend of de behaalde resultaten met de actieve koolkolom ook op een demo of full-scale installatie op een andere rwzi kunnen worden gehaald. Voornamelijk de verwijdering van zware metalen, herbiciden en pesticiden en medicijnen gedurende een langere standtijd (bedvolumina > 10.000) is nog onzeker. Meer onderzoek naar de relatie tussen verzadiging van het koolbed en verschillende stoffen in het effluent van de rwzi is noodzakelijk. Daarnaast is het wenselijk om meer inzicht te krijgen in de bedrijfsvoeringaspecten alsmede de optimale standtijd in een full-scale configuratie. De toepassing van actieve kool heeft veel positieve kanten, maar de kosten zijn relatief hoog en hangen sterk af van de standtijd.
- De toepassing van poederkool in de geteste configuratie kan als matig worden beoordeeld. Dit komt door de slechte bezinkbaarheid en de nadelige effecten op de membranen. De toepassing van poederkool in de beluchtingstank van een rwzi zou een betere configuratie zijn, omdat de poederkool aan de slibvlokken hecht en wordt afgescheiden in de nabezinktank. De verwachting is echter wel dat dit tot hoge verbruiken van poederkool leidt omdat de poriën van de kool minder toegankelijk zijn voor opgeloste organische microverontreinigingen vanwege de aanhechting van slib. Het is nog onzeker wat de verwijderingsrendementen zijn voor zware metalen, medicijnen en organische microverontreinigingen in deze configuratie.

Toepassing van poederkool in een MBR kan in vergelijking met in de conventionele rwzi de effluentkwaliteit nog eens extra verbeteren. Hierdoor wordt naast de verwijdering van zware metalen, medicijnen en herbiciden en pesticiden ook het afvalwater gedesinfecteerd. Dit maakt hergebruik van het effluent voor bijvoorbeeld in de industrie mogelijk. Aandachtspunt hierbij is wel de mogelijkheid dat poederkool de membranen kan beschadigen.

8

REFERENTIELIJST

Janssen, A.N., Thomas, M., de Koning, J. en van der Graaf, J.H.J.M. (2006), Modification of filtration characteristics by PAC addition during dead-end filtration of wwtp effluent, Water and Environmental Management Series, Young Researchers 2006, Editors; Richard Stuetz and Lim Teik-Thye, IWA, London, UK.

Kiestra, F., Piron, D., Segers, J. en Kruit, J., Vergelijking membraanbioreactor en zandfiltratie, H2O nr. 23 - 2004.

Metcalf & Eddy, Wastewater engineering treatment and reuse, fourth edition, 2003.

Roex, E., Rotteveel, S., Ferdinandy, M., en Bakker, V. Totaal-effluentbeoordeling toegepast in de praktijk, H2O nr. 10 - 2007.

Scott, J.A. and A.M. Karanjkar. (1998). Immobilized biofilms on granular activated carbon for removal and accumulation of heavy metals from contaminated streams. Water Science and technology. Vol. 38, No. 8-9.

STOWA-rapport 2003-15, Verwijdering van hormoonverstorende stoffen in rioolwaterzuiveringsinstallaties.

STOWA-rapport 2004-28, Vergelijkend onderzoek MBR en Zandfiltratie RWZI Maasbommel.

STOWA-rapport 2005-28, Verkenningen zuiveringstechnieken en KRW.

STOWA-rapport 2005-32, Verkennende monitoring van hormoonverstorende stoffen en pathogenen op rwzi's met aanvullende zuiveringstechnieken.

Veeken, A.H.M. and W.H. Rulkens. (2003) Innovative developments in the selective removal and reuse of heavy metals from wastewaters. Water Science and Technology. Vol. 47 NO. 10.

BIJLAGE 1

RESULTATEN

TOELICHTING OP GEMETEN STOFGROEPEN

Detectielimieten en meetonzekerheid

De gebruikte meetinstrumenten gaven voor sommige parameters een waarde onder de detectielimiet. In tabel 27 is de detectielimiet voor de verschillende stoffen weergegeven, inclusief de meetonzekerheid.

TABEL 27. DETECTIELIMIETEN EN MEETONZEKERHEID ANALYSES

Parameter	Eenheid	Detectielimiet	Meetonzekerheid in % *
CZV	mg/l	5	4,3
Nitraat-N	mg/l	0,05	4,0
Nitriet-N	mg/l	0,01	11
N-kj	mg/l	0,05	nb
P-totaal	mg/l	0,01	nb
Ortho-fosfaat	mg/l	0,05	39,5
Droge stof	mg/l	2	5,4
Zink	µg/l	5	8,4
Koper	µg/l	1	9,8
Nikkel	µg/l	1	10,9
Cadmium	µg/l	0,01	11,6
Lood	µg/l	1	19,1
Chroom	µg/l	1	10,7
Arseen	µg/l	1	28,4
ER-calux	pg EEQ/l	27	nvt
Diuron	µg/l	0,01	nb
Simazine	µg/l	0,01	nb
Lindaan	µg/l	0,01	nb
Glyfosaat en AMPA	µg/l	0,1	25

* Bijvoorbeeld: meting ortho-fosfaat is 5 mg/l. Dan ligt de waarde (met een waarschijnlijkheid van 95%) tussen de $5 \pm 1,97$ mg/l (= $5 \pm 39,5\%$).

Ter bepaling van het rekenkundig gemiddelde en de standaarddeviatie zijn de analyse-resultaten die beneden de detectielimiet zijn gevonden meegenomen met als waarde de helft van de detectielimiet.

INFLUENT RWZI MAASBOMMEL

TABEL 28 INFLUENT RWZI MAASBOMMEL APRIL 2006 - APRIL 2007 (MG/L)

Datum	BZV	CZV	Kj-N	P _{totaal}
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4-4-2006	180	620	46	7,9
13-4-2006	130	415	47	7
20-4-2006	210	600	67	8,6
28-4-2006	210	520	60	8,9
4-5-2006	225	575	70	9
15-5-2006	310	720	83	11
23-5-2006	135	415	35	5
30-5-2006	150	420	35	5,8
7-6-2006	275	690	90	10
14-6-2006	320	625	74	9,9
22-6-2006	150	865	90	12
29-6-2006	290	770	80	10
7-7-2006	60	240	18	2,4
11-7-2006	265	850	87	11
21-7-2006	320	815	79	10
26-7-2006	285	860	91	12
31-7-2006	240	755	65	8,2
3-8-2006	135	405	34	4,5
9-8-2006	245	640	73	9,3
15-8-2006	105	290	26	3,7
23-8-2006	58	215	25	3,2
30-8-2006	78	265	22	3,4
14-9-2006	180	570	70	11
29-9-2006	253	654	76	13
16-10-2006	270	680	77	12
31-10-2006	260	695	78	12
15-11-2006	120	365	40	5,9
30-11-2006	180	530	10	6,6
7-12-2006	120	370	42	6,7
29-12-2006	230	745	57	9,7
10-1-2007	100	285	37	5,5
25-1-2007	78	295	31	5
9-2-2007	155	410	36	6,2
26-2-2007	55	175	17,3	2,8
13-3-2007	150	365	48	8,1
28-3-2007	170	550	69	12
12-4-2007	235	575	78	12
27-4-2007	260	590	74	13
Gemiddelde	198	571	56	8
Standaarddeviatie	83	207	25	3

RESULTATEN FASE 1

In deze bijlage zijn de resultaten van de verschillende onderzoeksfases gegeven. In de tabellen zijn naast de meetgegevens ook het gemiddelde en standaarddeviatie gegeven.

CZV, nutriënten en zwevende stof

In de intensieve periode in fase 1 zijn er 12 monsters genomen ter bepaling van de CZV, nutriënten en zwevende stof.

TABEL 29 AFLOOP NABEZINKTANK

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
11-07-06	13	25	2,04	0,14	1,2	2,9	5,08	1,5	1,5
21-07-06	6	28	1,1	0,05		1,3	2,45	3	2,9
24-07-06	6,4	35	0,98	0,08	4,1	6,1	7,16	3	2,8
25-07-06	5	31	1,12	0,1	4,9	6,7	7,92	1,9	1,9
26-07-06	3,6	30	1,3	0,1	2,7	4,6	6	0,9	0,9
01-08-06	3,6	29	2,65	0,1	1,6	3,1	5,85	0,75	0,7
02-08-06	7,4	33	1,33	0,1	2,6	4,3	5,73	1,1	1
03-08-06	5,2	24	1,86	0,05	0,34	1,4	3,31	0,69	0,58
07-08-06	5,6	22	1,25	0,08	2	3,2	4,53	1,9	1,9
08-08-06	5,2	24	1,53	0,08	2,3	3,2	4,81	1,6	1,4
09-08-06	4,2	20	1,52	0,05	0,3	1,3	2,87	0,77	0,63
10-08-06	4,4	22	1,69	0,1	1,7	2,8	4,59	1,6	1,3
Gemiddelde	5,8	26,9	1,5	0,1	2,2	3,4	5,0	1,6	1,5
Standaarddev	2,5	4,8	0,5	0,0	1,4	1,8	1,6	0,8	0,8

TABEL 30 EFFLUENT POLYMEER EN ULTRAFILTRATIE

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
11-07-06	0	18	2,5	0,4	1,6	2,9	5,8	2,1	2
21-07-06	0	32	1,1	0,06	0,67	3,2	4,4	2,8	
24-07-06	0	33	0,4	0,05	3,7	3,7	4,2	3,4	
25-07-06	0		1,12	0,07		8,3	9,5	2,7	
26-07-06	0		1,3	0,03		7,8	9,1	1,7	
01-08-06	0	29	1,14	0,06	5,7	8,1	9,3	2,4	
02-08-06	0	31	1,14	0,05	2,5	4,8	6,0	0,95	
03-08-06	0	22	1,29	0,04	2,4	4,3	5,6	0,72	
07-08-06	0	18	0,86	0,02	1,9	3,4	4,3	1,2	1,2
08-08-06	0	17	0,72	0,04	4,5	4,5	5,3	1,7	1,7
09-08-06	0	16	1,05	0,03	2	2,9	4,0	1	
10-08-06	0	21	1,1	0,03	1,6	2,9	4,0	1,1	
Gemiddelde	0,0	23,7	1,1	0,1	2,7	4,7	5,9	1,8	1,6
Standaarddev	0,0	6,8	0,5	0,1	1,5	2,1	2,1	0,9	0,4

TABEL 31 AFLOOP ZANDFILTERS

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
11-07-06	7	18	2,17	0,08	0,44	1,7	4	0,7	0,24
21-07-06	2	20	0,48	0,01		0,9	1,4	0,5	0,3
24-07-06	5,2	24	1,77	0,07	2,8	4,4	6,2	0,76	0,38
25-07-06		26	2,55	0,09	3,7	5,5	8,1	0,98	0,37
26-07-06	3,8	26	0,19	0,03	2,5	4,4	4,6	1,3	0,6
01-08-06	5,6	25	1,84	0,1	1,9	3,4	5,3	1,2	0,7
02-08-06	3,8	26	1,58	0,07	1,7	3	4,7	0,53	0,2
03-08-06	3,6	17	0,51	0,01	0,15	1	1,5	0,43	0,14
07-08-06	4,2	17	1,59	0,04	0,93	2,1	3,7	0,62	0,39
08-08-06	3,2	19	1,76	0,04	1,4	2,3	4,1	0,49	0,2
09-08-06	4,2	16	0,61	0,01	0,17	1	1,6	0,67	0,32
10-08-06	4,6	17	1,34	0,04	1	1,9	3,3	0,33	0,05
Gemiddelde	4,3	20,9	1,4	0,0	1,5	2,6	4,1	0,7	0,3
Standaarddev	1,3	3,9	0,7	0,0	1,1	1,5	1,9	0,3	0,2

TABEL 32 EFFLUENT ACTIEVEKOOLKOLOM ACHTER ZANDFILTERS

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
11-07-06	7,2	13	0,16	0,04	0,61	1,5	1,7	0,67	0,25
21-07-06		15	0,03	0,01		0,9	0,9	0,4	0,25
24-07-06	3	16	0,03	0,01	4,4	5,3	5,3	0,63	0,16
25-07-06	6,2	16	0,03	0,01		7,2		1,0	0,32
26-07-06	5,8	17	0,03	0,02	4,1	5,2	5,2	0,95	0,31
01-08-06	5,4	21	0,03	0,01	3,4	4,6	4,6	1,6	0,7
02-08-06	5,2	21	0,03	0,01	3	4	4,0	0,48	0,025
03-08-06	5	14	0,03	0,01	0,4	1	1,0	0,48	0,09
07-08-06	2,6	15	0,03	0,01	2,2	2,8	2,8	0,79	0,55
08-08-06	2,4	15	0,03	0,01	3,2	3,7	3,7	0,48	0,08
09-08-06	4,8	12	0,03	0,01	0,63	1,2	1,2	0,44	0,025
10-08-06	4	12	0,03	0,01	1	1,8	1,8	0,21	0,025
Gemiddelde	4,7	15,6	0,04	0,01	2,3	3,3	3,0	0,7	0,2
Standaarddev	1,5	3,0	0,04	0,01	1,5	2,1	1,7	0,4	0,2

Zware metalen

In fase 1 zijn in de intensieve periode 12 monsters genomen ten behoeve van de zware metalen analyses.

TABEL 33 AFLOOP NABEZINKTANK

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
24-07-06	0,005	1,5	2,1	2,7	0,5	19	1,2
25-07-06	0,005	0,5	1,6	2,5	0,5	15,5	0,5
26-07-06	0,005	0,5	1,7	2,4	0,5	13,5	0,5
27-07-06	0,005	0,5	1,5	2,3	0,5	13,5	0,5
31-07-06	0,005	0,5	2,2	2,0	0,5	17,5	1,2
01-08-06	0,005	0,5	1,3	2,0	0,5	13,5	0,5
02-08-06	0,005	0,5	2,4	1,9	0,5	17,5	0,5
03-08-06	0,005	0,5	2,8	1,4	0,5	17,0	0,5
07-08-06	0,005	0,5	2,2	1,9	0,5	18,0	1,2
08-08-06	0,005	0,5	2,1	1,8	0,5	16,0	1,2
09-08-06	0,005	0,5	1,6	1,6	0,5	15,5	0,5
10-08-06	0,005	0,5	2,1	1,8	0,5	17,5	1,2
Gemiddelde	0,01	0,6	2,0	2,0	0,5	16,2	0,8
Standaarddev	0,0	0,3	0,4	0,4	0,0	1,9	0,4

TABEL 34 EFFLUENT POLYMEER EN ULTRAFILTRATIE

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
24-07-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	1,2
25-07-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
26-07-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
27-07-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
31-07-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	1,1
01-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	5,0	0,5
02-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
03-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
07-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
08-08-06	0,005	0,5	0,5	1,1	0,5	2,5	1,2
09-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
10-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
Gemiddelde	0,01	0,5	0,5	0,6	0,5	2,7	0,7
Standaarddev	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,7	0,3

TABEL 35 AFLOOP ZANDFILTERS

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
24-07-06	0,01	0,5	2,5	1,8	0,5	15,5	0,5
25-07-06	0,01	0,5	1,5	1,7	0,5	12,0	0,5
26-07-06	0,01	0,5	1,7	2,0	0,5	11,0	0,5
27-07-06	0,01	0,5	1,4	1,6	0,5	9,0	0,5
01-08-06	0,01	0,5	1,1	1,4	0,5	10,5	0,5
02-08-06	0,005	0,5	0,5	1,5	0,5	9,5	0,5
03-08-06	0,005	0,5	1,2	1,1	0,5	12,0	0,5
07-08-06	0,01	0,5	1,5	1,3	0,5	13,5	0,5
08-08-06	0,01	0,5	1,0	1,4	0,5	12,0	0,5
09-08-06	0,005	0,5	1,6	1,6	0,5	15,5	0,5
10-08-06	0,01	0,5	0,5	1,4	0,5	11,5	0,5
Gemiddelde	0,01	0,5	1,3	1,5	0,5	12,0	0,5
Standaarddev	0,0	0,0	0,6	0,3	0,0	2,1	0,0

TABEL 36 EFFLUENT ACTIEVEKOOLKOLOM ACHTER ZANDFILTERS

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
24-07-06	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	6	0,5
25-07-06	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	6	0,5
26-07-06	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	2,5	0,5
27-07-06	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	2,5	0,5
01-08-06	0,005	0,5	0,5	1,2	0,5	2,5	0,5
02-08-06	0,005	0,5	0,5	1,1	0,5	2,5	0,5
03-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
07-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
08-08-06	0,005	0,5	0,5	1,1	0,5	2,5	1,2
09-08-06	0,005	0,5	0,5	0,5	0,5	2,5	0,5
10-08-06	0,005	0,5	0,5	1,2	0,5	2,5	0,5
Gemiddelde	0,01	0,5	0,5	1,2	0,5	3,1	0,6
Standaarddev	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,4	0,2

Bioassays

In fase 1 zijn 4 monsters genomen ten behoeve van de Microtox analyse en drie ten behoeve van de alg analyse.

TABEL 37 MICROTOX

Datum	Afloop NBT	Afloop zandfilter	Afloop Effluent	Afloop polymeer UF
21-6-2006	0,071		0,023	0,091
26-7-2006	0,021	0,036	0,007	0,048
31-7-2006	0,036	0,032	0,053	0,050
1-8-2006	0,019	0,036	0,053	0,053
2-8-2006	0,022	0,028	0,053	0,034
Gemiddelde	0,034	0,033	0,038	0,055
Standaarddev	0,022	0,004	0,022	0,021

TABEL 38 ALG

Datum	Afloop NBT	Afloop zandfilter	Afloop Effluent	Afloop polymeer UF
21-7-2006	0,026		0,005	0,042
26-7-2006	0,022	0,018	0,003	0,011
31-7-2006	0,017	0,024	0,003	0,01
1-8-2006	0,013	0,02	0,003	0,014
Gemiddelde	0,020	0,021	0,004	0,019
Standaarddev	0,006	0,003	0,001	0,015

Organische microverontreinigingen

TABEL 39 GLYFOSAAT EN AMPA

Datum	Afloop NBT		Afloop zandfilters		Aktievekoolkolom		Polymeer UF	
	Glyfo	AMPA	Glyfo	AMPA	Glyfo	AMPA	Glyfo	AMPA
30-05-06	1,7	3,4			0,17	0,82		
22-06-06	2,0	1,1			2,2	6,3		
07-07-06	1,4	2,5			0,5	1,8		
24-07-06	2,7	11	0,67	6,4	0,71	8,6	2,8	13
25-07-06	1,8	7,9					2,4	12
26-07-06	2,0	10					1,4	12
Gemiddelde	1,9	6,0	0,7	6,4	0,9	4,4	2,2	12,3
Standaarddeviatie	0,4	4,2			0,9	3,7	0,7	0,6

Pathogenen

TABEL 40 PATHOGENEN

Datum	Afloop NBT		Afloop zandfilters		Aktievekoolkolom		Polymeer UF	
	E.coli	coli totaal	E.coli	coli totaal	E.coli	coli totaal	E.coli	coli totaal
22-6-2006	11.600	20.000	23.000	23.000	15.000	33.000	60	100
29-6-2006	5.300	18.000	430	2.500	250	1.900	<20	<25
7-7-2006	151.000	510.000	103.000	510.000	84.000	350.000	20	80
26-7-2006	5.200	46.000	8.600	39.000	10.500	56.000	<20	50
9-8-2006	22.000	54.000	11.200	56.000	2.600	8.400	80	360

RESULTATEN FASE 2*CZV, nutriënten en zwevende stof*

In de intensieve periode in fase 1 zijn er 12 monsters genomen ter bepaling van de CZV, nutriënten en zwevende stof.

TABEL 41 AFLOOP NABEZINKTANK

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
13-11-06	8,8	23	3,2	0,05	0,08	1,4	4,7	1,2	
14-11-06		21	2,1	0,07	0,49	1,7	3,9	1,4	
15-11-06	3,4	18	1,4	0,05	0,73	1,8	3,3	1,6	1,5
16-11-06		22	2,9	0,01		2,1	5,0	1,9	
20-11-06	14	28	4,2	0,19	2,4	3,2	7,6	4,2	
21-11-06		31	3,7	0,21	3,2	2,5	6,4	5,0	
24-11-06	11	18	3,1	0,04	0,07	2,8	5,9	1,5	1,2
27-11-06	5,4	20	4,5	0,04	0,1	2,4	6,9	1,7	
28-11-06		20	6	0,04	0,12	2,4	8,4	1,4	
29-11-06		23	6,2	0,04		2,6	8,8	1,8	
30-11-06	6,6	24	6,9	0,05		2,9	9,9	1,6	2,5
05-12-06		32	8,4	0,23		3	11,6	3,3	
Gemiddelde	8,2	24,0	5,4	0,1	1,2	2,7	8,2	2,6	1,9
Standaarddev	3,9	4,7	2,1	0,1	1,2	0,6	2,5	1,2	0,7

TABEL 42 EFFLUENT POEDERKOOI EN ULTRAFILTRATIE

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
13-11-06	0	5	0,01	4,4	0,03	0,7	5,1	1,2	
14-11-06	0	5	0,01	3,2	0,03	0,3	3,5	1,2	
15-11-06	0	5	0,01	2,5	0,03	0,6	3,1	1,3	1,2
16-11-06	0	5	0,04	2,3		5	7,3	1,7	
20-11-06	0	14	0,3	4,7	0,57	2,7	7,7		
21-11-06	0	5	0,65	5,6	0,31	2,5	8,8		
24-11-06	0	5	0,01	3,0	0,03	0,3	3,3	1,2	1,2
27-11-06	0	5	0,01	4,5	0,03	1,8	6,3	0,88	
28-11-06	0	5	0,01	5,4	0,03	2,1	7,5	0,81	
29-11-06	0	15	0,01	6,5		2,3	8,8	0,63	
30-11-06	0	5	0,01	8,1		1	9,1	2,6	1,8
Gemiddelde	0,0	6,7	0,1	4,6	0,1	1,8	6,4	1,3	1,4
Standaarddev	0,0	3,8	0,2	1,8	0,2	1,4	2,3	0,6	0,3

Zware metalen

In fase 2 zijn in de intensieve periode 11 monsters genomen ten behoeve van de zware metalen analyses.

TABEL 43 AFLOOP NABEZINKTANK

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
15-11-06	0,005	0,5	2,9	1,9	0,5	21	0,5
20-11-06	0,01	1	5	2,4	0,5	31,5	0,5
21-11-06	0,005	0,5	5	2	0,5	27,5	0,5
24-11-06	0,01	0,5	4,6	1,7	0,5	26,5	0,5
27-11-06	0,005	0,5	2,6	2,2	0,5	25	1,2
28-11-06	0,005	0,5	2,3	2,2	0,5	22,5	1,1
29-11-06	0,005	0,5	2,1	2,4	0,5	21	1,1
30-11-06	0,01	0,5	3	2,4	1,4	55	1,2
05-12-06	0,02	1,2	3,7	2,2	0,5	33	1,2
06-12-06	0,01	0,5	4	1,9	0,5	31,5	1,0
07-12-06	0,005	0,5	2,4	1,6	0,5	25,5	0,5
Gemiddelde	0,01	0,6	3,4	2,1	0,6	29,1	0,9
Standaarddev	0,0	0,3	1,1	0,3	0,3	9,6	0,3

TABEL 44 EFFLUENT POEDERKOOL EN ULTRAFILTRATIE

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
15-11-06	0,005	0,5	0,5	1	0,5	6	0,5
20-11-06	0,005	0,5	1,4	1,8	0,5	13,5	0,5
21-11-06	0,005	0,5	0,5	1,3	0,5	10	0,5
24-11-06	0,005	0,5	0,5	1,1	0,5	6	0,5
27-11-06							
28-11-06	0,005	0,5	0,5	1,5	0,5	9,5	1,0
29-11-06	0,005	0,5	0,5	1,5	0,5	10	1,1
30-11-06	0,005	0,5	0,5	1,4	0,5	10,5	1,2
05-12-06	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	15	1,1
06-12-06	0,005	0,5	0,5	1,6	0,5	13	1,2
07-12-06	0,005	0,5	0,5	1,4	0,5	9,5	0,5
Gemiddelde	0,01	0,5	0,6	1,4	0,5	10,3	0,8
Standaarddev	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	2,9	0,3

Bioassays

In fase 2 zijn 4 monsters genomen ten behoeve van de Microtox en alg analyses.

TABEL 45 MICROTOX EN ALG IN TOXIC UNITS

Datum	Microtox		Alg	
	Afloop NBT	Effluent Poederkool UF	Afloop NBT	Effluent Poederkool UF
20-11-2006	0,023	0,007	0,008	0,003
21-11-2006	0,026	0,007	0,009	0,003
27-11-2006	0,014	0,007	0,008	0,003
28-11-2006	0,010	0,007	0,01	0,003
Gemiddelde	0,018	0,007	0,009	0,003
Standaarddev	0,008	0	0,001	0

Organische microverontreinigingen

TABEL 46 GLYFOSAAT EN AMPA

Datum	Afloop NBT		Afloop zandfilters		Aktievekoolkolom		Poederkool UF	
	Glyfo	AMPA	Glyfo	AMPA	Glyfo	AMPA	Glyfo	AMPA
31-10-06	1,3	4,5	0,5	0,5	0,5	0,9	0,5	0,5
20-11-06	0,5	2,1	0,5	1,9	0,5	1,2	0,5	3,0
21-11-06	1,1	3,4	0,5	1,6	0,5	1,8	1,3	3,6
27-11-06	0,5	2,9	0,5	1,7	0,5	2,0	0,5	3,1
28-11-06	0,5	3,3	0,5	1,8	0,5	1,4	0,5	3,2
29-11-06	1,3	4,5	0,5	1,6	0,5	2,1	1	3,5
Gemiddelde	0,9	3,5	0,5	1,5	0,5	1,6	0,7	2,8
Standaarddeviatie	0,4	0,9	0,0	0,5	0,0	0,5	0,4	1,2

TABEL 47 DIURON

Datum	Afloop NBT	Afloop Zandfilter	Actieve koolkolom	Poederkool UF
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
20-11-06	0,05	0,05	<0,01	<0,01
21-11-06	0,05	0,05	<0,01	<0,01
27-11-05	0,03	0,03	<0,01	<0,01
28-11-06	0,03	<0,03	<0,01	<0,01
29-11-07	0,03	0,03	<0,01	<0,01
05-12-06	0,03	<0,03	<0,01	<0,01
Gemiddelde	0,04	0,03	<0,01	<0,01
Standaarddeviatie	0,01	0,02	0	0

TABEL 48 SIMAZINE

Datum	Afloop NBT	Afloop Zandfilter	Actieve koolkolom	Poederkool UF
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
20-11-06	0,02	0,02	<0,01	0,01
21-11-06	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
27-11-05	0,01	0,01	<0,01	<0,01
28-11-06	0,01	0,01	<0,01	<0,01
29-11-07	0,01	0,01	<0,01	<0,01
05-12-06	0,03	0,03	<0,01	<0,01
Gemiddelde	0,02	0,01	<0,01	<0,01
Standaarddeviatie	0,01	0,01	0	0

RESULTATEN FASE 3

CZV, nutriënten en zwevende stof

In fase 3 (poederkool en polymeer en actievekoolkolom na de nabezinktank) is geen intensieve periode gestart omdat de optimale bedrijfsvoering al bekend was. Daarom zijn de resultaten van de gehele periode gebruikt voor de beschrijving van de kwaliteiten en rendementen. In totaal zijn er per configuratie 20 monsters genomen voor de parameters CZV, nutriënten en zwevende stof.

TABEL 49 AFLOOP NABEZINKTANK VOOR POEDERKOOI EN POLYMEER

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
10-01-07	4	16	1,3	0,03	0,1	1,2	2,53	1,8	1,6
18-01-07	12	27	4,7	0,11	0,66	2,6	7,41	2,2	1,6
25-01-07	6	20	6,8	0,12	0,11	1,2	8,12	1,6	1,2
02-02-07	6	28	6,1	0,32	0,025	1,8	8,22	2,6	2,1
09-02-07	16	31	4,4	0,57	1,4	3,2	8,17	2,5	1,6
14-02-07	4	18	0,8	0,07	0,12	1,4	2,27	1,5	1,2
16-02-07	5,8	17	0,9	0,11		2,8	3,81	1,7	1,4
19-02-07	8,8	28	0,94	0,13		6,2	7,3	2,1	
22-02-07	8,2	25	1,1	0,2	5,6	7,1	8,4	1,9	1,3
26-02-07	11	20	6,6	0,16	0,1	1,7	8,5	1,4	0,95
01-03-07	8,2	24	1,5	0,09		1,3	2,9	1,4	
06-03-07	8,4	17	1,2	0,14	1,3	2,4	3,7	2,0	1,4
09-03-07	4,4	23	1,9	0,08		1,4	3,4	1,5	
13-03-07	5	21	1,2	0,1	0,43	1,3	2,6	2,2	1,6
16-03-07	5,8	30	1,3	0,08		1,9	3,28	2,3	
20-03-07	5,2	31	1,6	0,1		1,7	3,4	2,1	
23-03-07	4,2	26	1,2	0,08	0,2	1,4	2,7	1,9	1,4
28-03-07	19	32	1,7	0,14	0,36	2,7	4,54	1,8	0,68
30-03-07	7,8	29	1,3	0,14		1,6	3,04		
03-04-07		28	1,3	0,08		1,8	3,18		1,7
Gemiddelde	7,9	24,6	2,4	0,1	0,9	2,3	4,9	1,9	1,4
Standaarddev	4,1	5,2	2,1	0,1	1,6	1,6	2,4	0,4	0,3

TABEL 50

AFLOOP NABEZINKTANK VOOR ACTIEVEKOOLKOLOM

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
16-02-07	5,8	17	0,9	0,11		2,8	3,81	1,7	1,4
19-02-07	8,8	28	0,94	0,13		6,2	7,3	2,1	
22-02-07	8,2	25	1,1	0,2	5,6	7,1	8,4	1,9	1,3
26-02-07	11	20	6,6	0,16	0,1	1,7	8,5	1,4	0,95
01-03-07	8,2	24	1,5	0,09		1,3	2,9	1,4	
06-03-07	8,4	17	1,2	0,14	1,3	2,4	3,7	2,0	1,4
09-03-07	4,4	23	1,9	0,08		1,4	3,4	1,5	
13-03-07	5	21	1,2	0,1	0,43	1,3	2,6	2,2	1,6
16-03-07	5,8	30	1,3	0,08		1,9	3,28	2,3	
20-03-07	5,2	31	1,6	0,1		1,7	3,4	2,1	
23-03-07	4,2	26	1,2	0,08	0,2	1,4	2,7	1,9	1,4
28-03-07	19	32	1,7	0,14	0,36	2,7	4,54	1,8	0,68
30-03-07	7,8	29	1,3	0,14		1,6	3,04		
03-04-07		28	1,3	0,08		1,8	3,18		1,7
05-04-07		28	1,8	0,07		1,7	3,57		2,5
10-04-07	5,2	30	2,3	0,18		2,7	5,18	3,6	
12-04-07	5,2	33	1,2	0,07	0,12	2,0	3,3	3,7	2,8
16-04-07	7,4	39	1,2	0,15		3,6	5,0	4,6	
19-04-07	3,4	27	1,5	0,06	0,14	1,8	3,4	2,4	1,9
23-04-07	2,4	35	1,3	0,14		3,5	4,9	4	
Gemiddelde	7,0	27,2	1,7	0,1	1,0	2,5	4,3	2,4	1,6
Standaarddev	3,7	5,7	1,2	0,0	1,9	1,6	1,8	1,0	0,6

TABEL 51

EFFLUENT POEDERKOOL, POLYMEER EN ULTRAFILTRATIE

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
10-01-07	0	5	1,6	0,01	0,03	0,5	2,1	0,8	0,8
18-01-07	0	10	5,2	0,01	0,08	0,5	5,7	2,3	2,2
25-01-07	0	15	7,2	0,01	0,03	0,5	7,7	1,2	1,1
02-02-07	0	17	3,6	0,01	0,11	0,9	4,5	2	1,4
09-02-07	0	5	3,8	0,01	0,94	2	5,8	2,4	1,7
14-02-07	0	5	2,4	0,01	0,34	1	3,4	1,2	1
16-02-07	0	5							
19-02-07	0	10							
22-02-07	0	12	1,1	0,01	6,8	7,6	8,7	1,7	1,5
26-02-07	0	5	3	0,16	2,2	2,2	5,4	1,1	0,61
01-03-07	0	5							
06-03-07	0	10	1,9	0,01	0,65	0,8	2,7	1,5	1,4
09-03-07	0	5							
13-03-07	0	5	1,4	0,01	1,1	1,9	3,3	2,1	1,5
16-03-07	0	10							
20-03-07	0	12							
23-03-07	0	16	3	0,01	0,13	1,1	4,1	2,5	1,6
28-03-07	0	5	3,9	0,01	0,1	1,1	5,0	2,6	2,2
30-03-07	0	12							
03-04-07	0	16	1,5	0,01			1,5		2
Gemiddelde	0,0	9,3	3,0	0,0	1,0	1,7	4,6	1,8	1,5
Standaarddev	0,0	4,4	1,7	0,0	1,9	2,0	2,1	0,6	0,5

TABEL 52 EFFLUENT ACTIEVEKOOLKOLOM NA NABEZINKTANK

Parameter	DS	CZV	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Kj-N	N _{totaal}	P _{totaal}	PO ₄
Eenheid	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
16-02-07	1	5	0,47	0,11		2,8	3,4	1,3	
19-02-07	1	5	0,36	0,19		6,5	7,1	1,9	
22-02-07	1	5	0,38	0,25	6,5	7,2	7,8	1,6	1
26-02-07	1	5	3,9	0,57	0,13	0,9	5,4	0,88	0,38
01-03-07	1	11	2,2			1,0	3,2		1,0
06-03-07	1	5	1,8	0,2	1,7	2,1	4,1	1,5	1,3
09-03-07	1	13	1,5	0,14		0,7	2,3		1,2
13-03-07	1	5	1,3	0,33	0,48	0,9	2,5	2,2	1,9
16-03-07	1	18	1,3	0,21		1,1	2,6	2,2	
20-03-07	1	18	1,4	0,26		1,1	2,8	1,9	
23-03-07	1	15	1,2	0,14	0,12	0,9	2,2	1,8	1,4
28-03-07	1	13	1,4	0,19	0,34	1,5	3,1	1	0,57
30-03-07	1	13	1,3	0,1					
03-04-07		18	1,5	0,07				1,7	
05-04-07		20	2	0,03		1	3,0	2,4	
10-04-07	1	21	2,4	0,16		2,4	5,0	3,6	
12-04-07	1	22	1,5	0,04	0,08	1,3	2,8	3,3	
16-04-07	1	29	1,2	0,11		3,5	4,8	4,4	
19-04-07	1	23	1,5	0,03	0,07	1,3	2,8	2,3	1,9
23-04-07	1	29	1,4	0,12		2,8	4,3	2,6	
Gemiddelde	1,0	14,7	1,5	0,2	1,2	2,2	3,8	2,2	1,2
Standaarddev	0,0	8,0	0,8	0,1	2,2	1,9	1,6	0,9	0,5

Zware metalen

In fase 3 zijn 19 monsters genomen ten behoeve van de zware metalen analyses voor de configuratie poederkool, polymeer en ultrafiltratie. Daarnaast zijn voor de configuratie actie-vekkolom achter de nabezinktank 9 monsters genomen.

TABEL 53 AFLOOP NABEZINKTANK VOOR POEDERKOOI EN POLYMEER

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
10-01-07	0,005	0,5		1,8	0,5	46	0,5
18-01-07	0,01	0,5	4	1,9	1,2	60	1,1
25-01-07	0,01	0,5	3,3	2,6	0,5	33	1,4
02-02-07	0,01	0,5	3,9	2,6	1,1	50	1,4
09-02-07	0,01	1,1	6	2,7	1,2	55	0,5
14-02-07		0,5	3,4	1,9		27	1,1
16-02-07		0,5	3,4	1,9		23	1,2
22-02-07		0,5	3	2,6		24	0,5
26-02-07		0,5	2,6	1,7		42	0,5
01-03-07		0,5	3,7	1,7		31	0,5
06-03-07	0,01	0,5	3,3	2,0	1,0	37	1,3
09-03-07		0,5	2,6	2,1		22	1,1
13-03-07		0,5	2,6	2,2		28	1,3
16-03-07		0,5	2,3	2,4		27	1,2
20-03-07		0,5	2,5	1,9		22	0,5
23-03-07		0,5	2,2	1,8		21	0,5
28-03-07	0,01	0,5	6	2,2	1,4	35	0,5
30-03-07		0,5	2,7	2		28	1,1
03-04-07		0,5	2,5	2,1		34	
Gemiddelde	0,01	0,5	3,3	2,1	1,0	33,9	0,9
Standaarddev	0,0	0,1	1,1	0,3	0,4	11,7	0,4

TABEL 54 AFLOOP NABEZINKTANK VOOR ACTIEVEKOOKOLOM

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
16-02-07		0,5	3,4	1,9		23	1,2
22-02-07		0,5	3	2,6		24	0,5
26-02-07		0,5	2,6	1,7		42	0,5
01-03-07		0,5	3,7	1,7		31	0,5
06-03-07	0,01	0,5	3,3	2,0	1,0	37	1,3
09-03-07		0,5	2,6	2,1		22	1,1
13-03-07		0,5	2,6	2,2		28	1,3
16-03-07		0,5	2,3	2,4		27	1,2
20-03-07		0,5	2,5	1,9		22	0,5
23-03-07		0,5	2,2	1,8		21	0,5
28-03-07	0,01	0,5	6	2,2	1,4	35	0,5
30-03-07		0,5	2,7	2		28	1,1
03-04-07		0,5	2,5	2,1		34	
05-04-07	0,005	0,5	2,4	2,4	0,5	39	1,2
10-04-07	0,005	0,5	2,9	2,6	0,5	38	1,4
12-04-07	0,01	0,5	2,3	2,3	1,3	60	1,3
16-04-07	0,005	0,5	3,2	2,5	0,5	50	1,3
19-04-07	0,005	0,5	2,3	2,8	0,5	40	0,5
23-04-07	0,005	0,5	2,1	2,2	0,5	28	1
Gemiddelde	0,01	0,5	2,9	2,2	0,8	33,1	0,9
Standaarddev	0,0	0,0	0,9	0,3	0,4	10,3	0,4

TABEL 55 EFFLUENT POEDERKOOLOM, POLYMEER EN ULTRAFILTRATIE

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
16-02-07		0,5	0,5	1,1		2,5	1,5
22-02-07							
26-02-07							
01-03-07		0,5	1,6	1,1		2,5	0,5
06-03-07	0,005	0,5	0,5	1,4	0,5	8	0,5
09-03-07		0,5	1,1	1,5		8	1,1
13-03-07		0,5	0,5	1,7		10	1,3
16-03-07		0,5	1,1	1,8		10	1,2
20-03-07		0,5	1,2	1,5		8	0,5
23-03-07		0,5	0,5	1,3		9	0,5
28-03-07	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	8	0,5
30-03-07		0,5	1,2	1,7		10	0,5
03-04-07		0,5	1,2	1,8		13	1
05-04-07	0,005	0,5	1,3	2,1	0,5	18	0,5
10-04-07	0,005	0,5	1,4	2,3	0,5	18	1,1
12-04-07	0,005	0,5	0,5	2,1	0,5	15	1,2
16-04-07	0,005	0,5	1,4	2,3	0,5	16	1,1
19-04-07	0,005	0,5	1,3	2,4	0,5	18	0,5
23-04-07	0,005	0,5	1,5	2,0	0,5	18	0,5
Gemiddelde	0,01	0,5	0,5	1,1	0,5	6,3	0,9
Standaarddev	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	3,1	0,4

TABEL 56

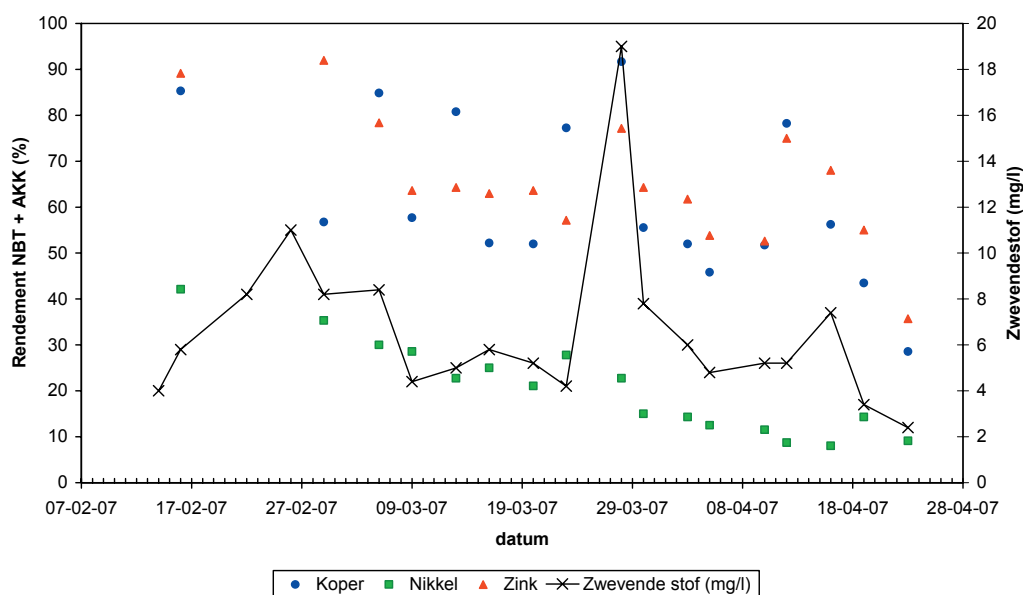
EFFLUENT ACTIEVEKOOLKOLOM ACHTER DE NABEZINKTANK

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
28-03-07	0,005	0,5	0,5	1,7	0,5	8	0,5
30-03-07		0,5	1,2	1,7		10	0,5
03-04-07		0,5	1,2	1,8		13	1
05-04-07	0,005	0,5	1,3	2,1	0,5	18	0,5
10-04-07	0,005	0,5	1,4	2,3	0,5	18	1,1
12-04-07	0,005	0,5	0,5	2,1	0,5	15	1,2
16-04-07	0,005	0,5	1,4	2,3	0,5	16	1,1
19-04-07	0,005	0,5	1,3	2,4	0,5	18	0,5
23-04-07	0,005	0,5	1,5	2,0	0,5	18	0,5
Gemiddelde	0,0	0,5	1,0	1,8	0,5	11,3	0,8
Standaarddev	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	5,2	0,4

In figuur 24 is het verwijderingsrendement van koper, zink en nikkel en het ingaande gehalte aan zwevende stof gegeven. In de beginperiode tussen 16 februari en 6 maart (2.000 bedvolumina) is de verwijdering van koper en zink tussen de 80 - 90% en van nikkel tussen de 30 - 40%. In de periode hierna tot 16 april (6.500 bedvolumina) neemt de verwijdering van zink en koper af tot waarden tussen de 50 - 70%. De verwijdering van nikkel neemt in deze periode verder af tot circa 10%. Na deze periode neemt de verwijdering van zink en koper af tot 30 - 40% (7.200 bedvolumina).

FIGUUR 24

VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN KOPER, ZINK EN NIKKEL EN ZWEVENDE STOF GEHALTE IN DE AFLOOP VAN DE NABEZINKTANK



Bioassays

In fase 3 zijn 2 monsters genomen ten behoeve van de Microtox en alg analyses voor de actievekoolkolom achter de nabezinktank.

TABEL 57 MICROTOX EN ALG PERIODE ACTIEVEKOOKOLOM NA NABEZINKTANK

Datum	Microtox		Alg	
	Afloop	Effluent	Afloop	Effluent
	NBT	Koolkolom	NBT	Koolkolom
16-4-2007	0,053	0,026	0,013	0,004
23-4-2007	0,053	0,037	0,024	0,006
Gemiddelde	0,053	0,032	0,019	0,005
Standaarddev	0,000	0,008	0,008	0,002

Organische microverontreinigingen

TABEL 58 DIURON

Datum	Afloop NBT	Actievekoolkolom
Eenheid	ug/l	ug/l
16-2-2007	0,02	< 0,01
19-2-2007	< 0,02	< 0,01
5-4-2007	0,03	< 0,01
10-4-2007	0,03	< 0,01
16-4-2007	0,19	0,03
Gemiddelde	0,06	0,01
Standaarddev	0,08	0,01

Medicijnen

TABEL 59 CONCENTRATIES MEDICIJNEN IN AFLLOOP NBT EN EFFLUENT ACTIEVEKOOKOLOM

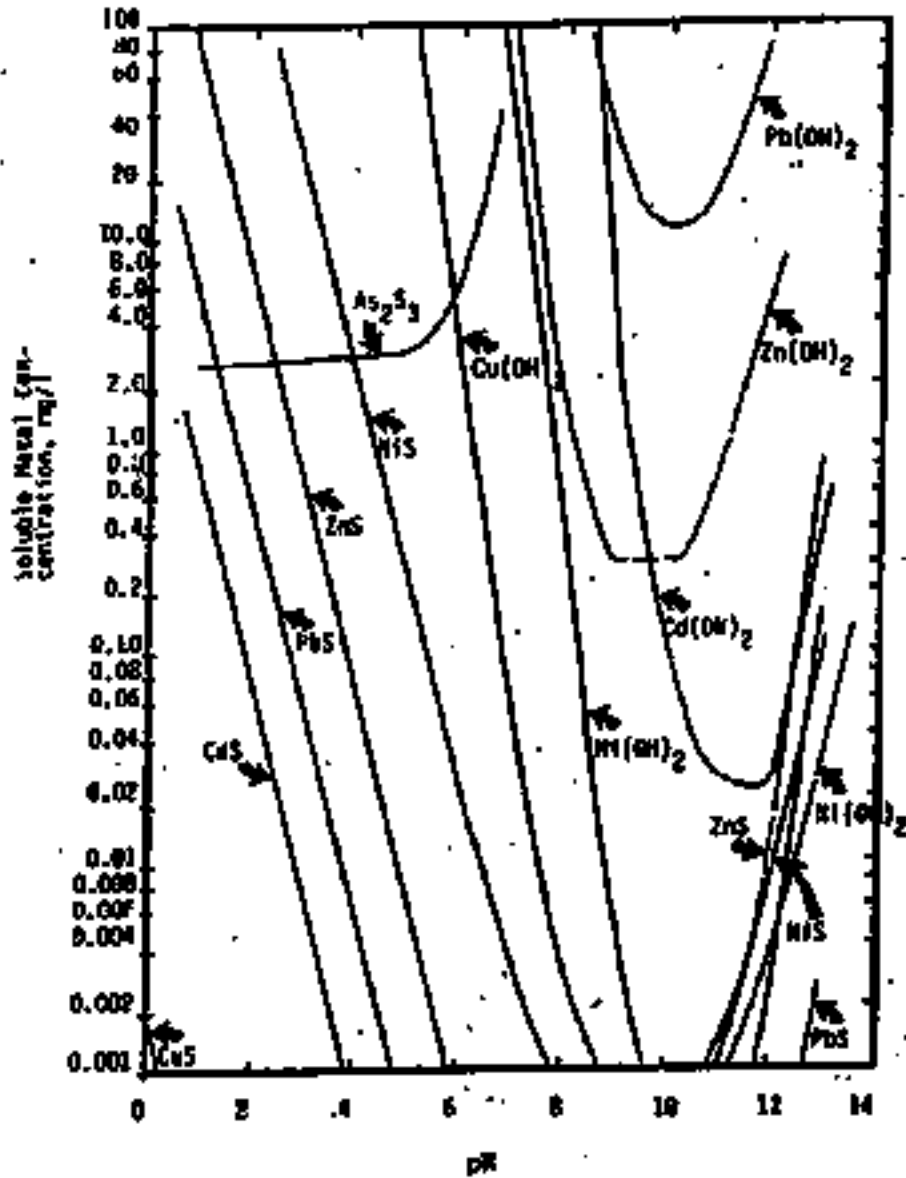
Bed-volumina	Afloop NBT in ug/l				Effluent actievekoolkolom in ug/l			
	Carbama-zepine	Difclo-fenac	Meto-prolol	Sulfa-metho-xazol	Carbama-zepine	Difclo-fenac	Meto-prolol	Sulfa-metho-xazol
390	0,005	0,19	1,3	0,005	0,005	0,005	0,02	0,005
680	0,57	0,29	2,3	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
2.430	0,42	0,27	1,1	0,13	0,02	0,04	0,03	0,02
7.219	1,6	0,73	3,1	0,16	0,61	0,46	0,74	0,09

BIJLAGE 2

OPLOSBAARHEID METAALHYDROXIDES EN METAALSULFIDES

In onderstaand figuur is de oplosbaarheid van metaal-hydroxides en metaal sulfides bij verschillende pH weergegeven. Over het algemeen neemt de oplosbaarheid af bij toenemende pH.

FIGUUR 25 OPLOSBAARHEID METAAL-HYDROXIDES EN METAAL-SULFIDES ALS FUNCTIE VAN DE PH



BIJLAGE 3

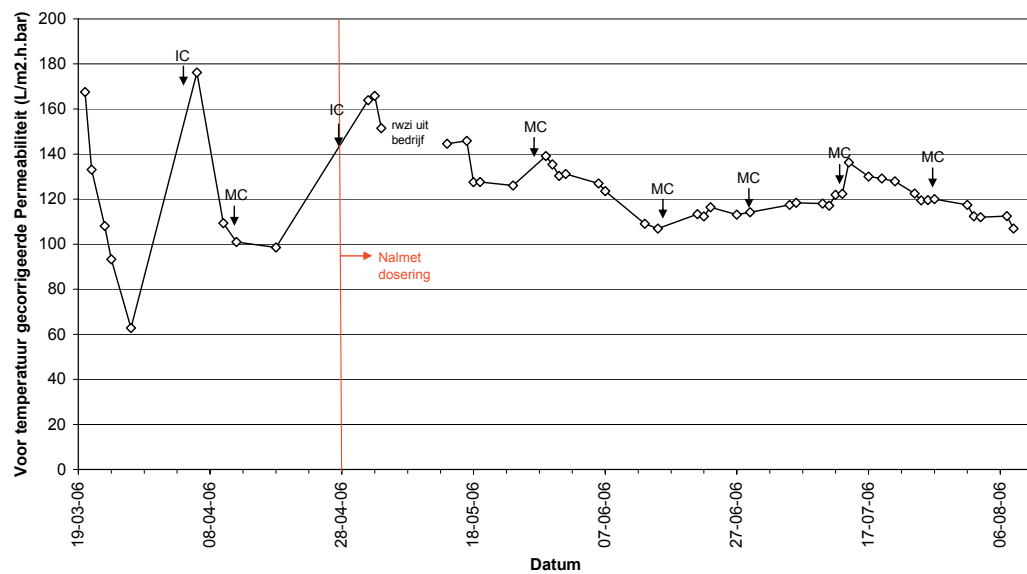
BEDRIJFSVOERING POLYMEER EN UF

BEDRIJFSVOERING FASE 1

Gedurende fase1 is permeabiliteit van de UF geregistreerd. Het permeaat werd gedurende de gehele periode door 1 membraanmodule onttrokken op een debiet van 4,5 - 5 m³/h. De permeabiliteit is tussen een waarde van 140 en 100 l/m².h.bar gehandhaafd, door regelmatig met chloorbleekloog te reinigen (maintenance reiniging). Het verloop van de permeabiliteit is weergegeven in figuur 26. De bedrijfsvoering van de membranen is echter geen specifiek aandachtspunt in deze studie. Uit het figuur valt op te merken dat de bedrijfsvoering van de membranen na de Nalmet dosering stabiel werd. Zonder Nalmet dosering ondervindt het membraan een hoge filtratieweerstand door kleine deeltjes in het effluent die de poriën verstoppfen. Met de dosering van Nalmet worden deze kleine deeltjes tot grotere vlokken gevormd en neemt de filtratieweerstand af.

FIGUUR 26

BEDRIJFSVOERING MEMBRANEN FASE 1 (IC = INTENSIEVE REINIGING, MC = MAINTENANCE REINIGING)



BIJLAGE 4

BEDRIJFSVOERING POEDERKOOL EN UF

BEDRIJFSVOERING FASE 2

Gedurende fase2 is permeabiliteit van de UF geregistreerd. Het permeaat werd gedurende de gehele periode door 1 membraanmodule onttrokken op een debiet van 4,5 - 5 m³/h. Het verloop van de permeabiliteit is weergegeven in figuur 27.

FIGUUR 27

BEDRIJFSVOERING MEMBRANEN FASE 2 (IC = INTENSIEVE REINIGING, MC = MAINTENANCE REINIGING)

