

1992-05_nageschakelde-filtratie-DynaSand-filter

stowa



zuiveringschap
drenthe

Nageschakelde filtratie met een DynaSand filter

Experimenten op de RWZI Westerbork

92-05



zuiveringschap
drenthe

Nageschakelde filtratie met een DynaSand filter

Experimenten op de RWZI Westerbork

92-05

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

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

INHOUD	BLZ
TEN GELEIDE	3
0 SAMENVATTING	4
1 INLEIDING	5
2 BESCHRIJVING VAN HET ZUIVERINGSPROCES	6
3 DYNASAND FILTRATIE	8
3.1 Werking van het DynaSand filter	8
3.1.1 water- en zandbeweging	8
3.1.2 mammoetpomp	8
3.1.3 waswaterinrichting	10
3.2 Filtraatkwaliteit	10
3.3 Bedweerstand	11
3.4 Spoelwaterdebiet	12
3.5 Verschillen DynaSand filtratie versus conventionele filtratie	13
4 OPZET VAN HET ONDERZOEK	14
5 RESULTATEN	18
5.1 Inleiding	18
5.2 Periode 1: DynaSand-filter parallel dubbellaagsfilter	18
5.3 Periode 2: vlokkingsfiltratie ten behoeve van P-verwijdering	27
6 VERKENNING VAN DE MOGELIJKHEDEN VAN DYNASAND FILTRATIE VOOR DE TERTIAIRE AFVALWATERZUIVERING	36
6.1 Inleiding	36
6.2 Praktijk van defosfateren	36
6.3 Filtratietypen	36
6.4 Vervolgonderzoek	37
7 CONCLUSIES	39

Bijlagen

Ten geleide

De defosfateringskorrelreactor van de rwzi Westerbork is voorzien van twee dubbellaagssnelfilters voor het afvangen van zwevend kristallijn materiaal uit het effluent van de korrelreactor. Deze filters zijn storingsgevoelig, met name op het punt van spoelen, terwijl de geleverde effluentkwaliteit niet constant is door doorslag van zwevend en/of afgevangen materiaal.

Het DynaSand filter is een continu werkend filter waarin het filtermateriaal (zand) continu wordt geregenereerd. In de periode september 1990 tot juli 1991 zijn op de rwzi Westerbork de eigenschappen van het DynaSand filter als nageschakeld filter onderzocht; daarbij is vooral gelet op het optreden van de storingen die bij de conventionele filtratietechniek werden geconstateerd.

Het onderzoek werd uitgevoerd door het zuiveringsschap Drenthe, in het bijzonder door mw. ir. F.E. Viek-Holtvoort en de heer J. Zeewuster, bedrijfsvoerder van de rwzi Westerbork. De rapportage werd in opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (thans STOWA) verzorgd door mw. ir. J.P. Kramer van DHV Water B.V.

Astraco Trading B.V. stelde ten behoeve van de experimenten het DynaSand filter ter beschikking.

Den Haag, juni 1992

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

0 SAMENVATTING

In de periode september 1990 tot juli 1991 is op de rwzi te Westerbork de toepasbaarheid van DynaSand filtratie als onderdeel van de afvalwaterbehandeling onderzocht.

Het zuiveringsproces van de rwzi bestaat uit een oxydatiesloot en nabezinking, gevolgd door een defosfateringsinstallatie bestaande uit een korrelreactor met nafiltratie over conventionele drukfilters.

De storingsgevoeligheid van de drukfilters - doorslag bij piekconcentraties in het influent en bij niet tijdig spoelen van het filter - heeft ertoe geleid vergelijkende proeven met een DynaSand filter uit te voeren.

DynaSand filtratie is een continue vorm van filtratie. Door continue circulatie en reiniging van zand kan het filter onafgebroken filtreren, waarbij een kwalitatief en kwantitatief constante filtraatstroom wordt gegenereerd.

In het eerste deel van de proefperiode is een vergelijkend onderzoek met één van de drukfilters (normale filtratiesnelheid 20 m/h) en een DynaSand filter, beide geschakeld na de korrelreactor, uitgevoerd.

De voornaamste conclusies van deze proefperiode zijn:

- het DynaSand filter heeft tot filtratiesnelheden van 14 m/h een goede werking;
- de effluentkwaliteit van het DynaSand filter (toegepaste filtratiesnelheden 8-14 m/h) is vergelijkbaar met de effluentkwaliteit van de bestaande drukfilters (filtratiesnelheid 20 m/h). Uitgaande van een ontwerpsnelheid van 15 m/h voor DynaSand filtratie impliceert dit een vergroting van het bedoppervlak van 30% ten opzichte van drukfiltratie;
- het DynaSand filter heeft een vrijwel constante effluentkwaliteit; bij het effluent van het drukfilter wordt aan het einde van de filterrun enige doorslag geconstateerd;
- het DynaSand filter is relatief ongevoelig voor pieken in de concentratie van verontreinigingen in het influent.

In het tweede deel van het onderzoek is het DynaSand filter toegepast als vlokkingfilter ter verwijdering van P uit het effluent van de nabezinktank. Deze optie is interessant geworden vanwege de lagere P-vracht in het influent van de zuivering.

Bij toepassing van ijzerchloride als vlok- en precipitatiemiddel zijn bij Me/o-P-verhoudingen vanaf 1,4 P-verwijderingsrendementen tussen 70 en 90% behaald, waarbij het P-gehalte in het effluent van het DynaSand filter minder dan 1 mg/l was.

Hierbij dient te worden vermeld dat de gehanteerde Me/o-P-verhouding is gerelateerd aan de dosering van het vlokmiddel ten opzichte van het P-gehalte in het influent van het filter (= effluent nabezinktank).

1 INLEIDING

Gedurende de periode september 1990 tot juli 1991 is op de rwzi te Westerbork onderzoek verricht naar de toepassing van DynaSand filtratie als onderdeel van de afvalwaterbehandeling.

Het zuiveringsproces van de rwzi te Westerbork bestaat uit een oxydatiesloot, type Carrousel®, nabezinking, korrelreactor en drukfiltratie. Bij bovengenoemd onderzoek is gekeken naar de inzet van DynaSand filtratie ter vervanging van de conventionele drukfiltratie met als doel een vergelijking tussen beide vormen van filtratie te kunnen maken. Vanwege de sterk afnemende P-belasting van het afvalwater in de afgelopen jaren en de daaruit voortvloeiende lage P-gehalten van het te behandelen water, is in het onderzoek tevens vervanging van de laatste twee zuiveringstrappen (korrelreactor gevolgd door drukfiltratie) door DynaSand filtratie beschouwd. Bij deze laatste optie dient een vlokmiddosering te worden toegepast.

In het voorliggende rapport wordt verslag gedaan van het uitgevoerde onderzoek.

In hoofdstuk 2 komt de procesbeschrijving van de huidige zuivering aan de orde.

In hoofdstuk 3 wordt vervolgens ingegaan op de werking van het DynaSand filter waarbij tevens een vergelijking wordt gemaakt met conventionele filtratie.

Aan de opzet van het onderzoek wordt aandacht besteed in hoofdstuk 4. Bespreking en interpretatie van de resultaten komen aan de orde in hoofdstuk 5.

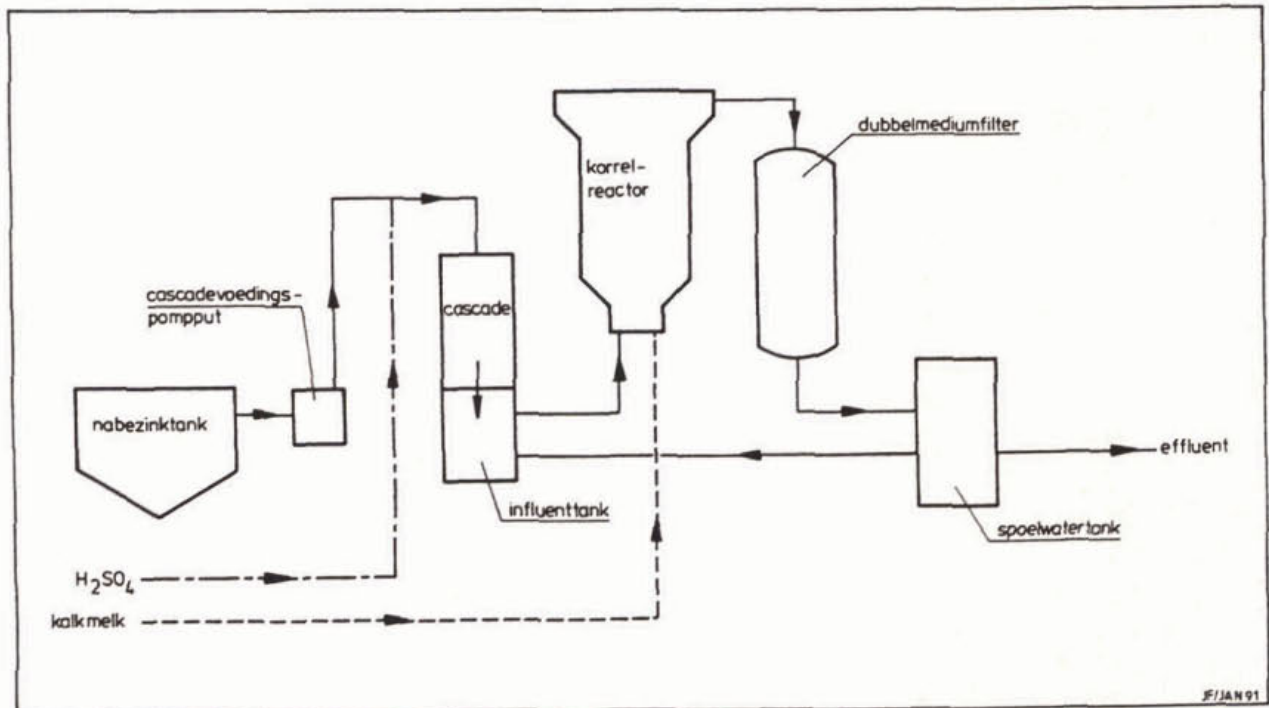
Vervolgens wordt een algemene vergelijking tussen DynaSand filtratie en conventionele filtratie gemaakt in hoofdstuk 6.

Hoofdstuk 7 tenslotte bevat de conclusies en aanbevelingen.

2 BESCHRIJVING VAN HET ZUIVERINGSPROCES

Het zuiveringsproces van de rwzi te Westerbork bestond aanvankelijk uit een zandvang, gevolgd door een oxydatiesloot en nabezinking. In 1988 is ter verwijdering van fosfaten uit het afvalwater een defosfateringsinstallatie, bestaande uit een korrelreactor met nafiltratie, bijgebouwd. Figuur 1 geeft het processchema voor de defosfateringsinstallatie.

In de korrelreactor wordt $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gedoseerd tot pH-waarden van 8,5-9, waarbij calciumfosfaat wordt gevormd dat zich op het entmateriaal afzet. Het effluent van de korrelreactor wordt vervolgens over een dubbellaagsfilter geleid voor het afvangen van carry-over. Hierbij zijn twee filters toegepast vanwege de cyclische procesvoering.



Figuur 1. Processchema defosfateringsinstallatie rwzi Westerbork

De twee filters zijn uitgevoerd als dubbellaagsdrukfilters (zand/anthraciet), elk met een capaciteit van 100 m³/h, bij een filtratiesnelheid van 20 m/h. De belangrijkste kenmerken van de filters zijn weergegeven in tabel 1.

Nadere gegevens zijn verzameld in bijlage 1.

Sinds de ingebruikname van de filters is gebleken dat deze storingsgevoelig zijn. Bij het niet tijdig spoelen van een filter is regelmatig toenemende drukval en verslechtering van de filtraatkwaliteit geconstateerd. Ook is doorslag van de filters bij piekbelastingen in de influentkwaliteit opgetreden.

Tabel 1 - Kenmerken drukfiltratie rwzi Westerbork

. aantal filters	:	2
. type	:	neerwaartse dubbellaagse snelfiltratie
. afmetingen:		
diameter	:	2,5 m
hoogte	:	3,0 m
oppervlakte	:	5,0 m ²
. capaciteit:		
debiet	:	100 m ³ /h (bij spoeling 200 m ³ /h)
filtratiesnelheid	:	20 m/h
. filtermedium:		
beddikte	:	1,5 m
hydro-anthraciet	:	0,8 m, fractie 1,6-2,5 mm
zand	:	0,7 m, fractie 0,8-1,2 mm
. spoelschema filters:		
lucht	:	65 Nm/h, 10 min.
water	:	25 m/h, 8 min.
spoelwaterverbruik	:	18 m ³ per spoeling
terugspoelcommando	:	op grond van tijd, 2 x per 24 uur: filter 1: 3.00 h/15.00 h filter 2: 10.00 h/20.00 h*

* filter 2 is gebruikt voor het vergelijkend onderzoek

Vanwege de hierboven geschetste problemen is het DynaSand filter als mogelijk alternatief voor de snelfilters naar voren gekomen. Vanwege de continue afvoer en reiniging van zand is dit filter immers continu in bedrijf. Piekbelastingen hebben in mindere mate effect op de effluentkwaliteit. DynaSand filtratie is bovendien weinig onderhoudsgevoelig en vraagt weinig aandacht bij de procesvoering.

Om deze redenen is proefonderzoek gestart naar de werking van DynaSand filtratie in vergelijking met de conventionele drukfilters.

Vanwege de sterk afnemende P-belasting van het afvalwater in de afgelopen jaren en het daaruit voortvloeiende lage P-gehalte van het afvalwater (1-5 mg/l in het effluent van de nabezinktank in de periode januari - juli 1991), is aanvullend onderzoek verricht naar vlokingsfiltratie. De defosfatering met korrelreactor en drukfilters is daarbij vervangen door DynaSand filtratie met dosering van een vlokmiddel voor dit filter.

3 DYNASAND FILTRATIE

In paragraaf 3.1 van dit hoofdstuk wordt ingegaan op de werking van het DynaSand filter. In de daarop volgende paragrafen 3.2, 3.3 en 3.4 worden de voor dit filter kenmerkende aspecten nader toegelicht. Vervolgens wordt aandacht besteed aan de verschillen met conventionele filtratie.

3.1 Werking van het DynaSand filter

DynaSand filtratie is een vorm van snelfiltratie waarbij een continue afvoer, reiniging en circulatie van zand plaatsvindt. Hierdoor kan het filtratieproces onafgebroken plaatsvinden, in tegenstelling tot conventionele snelfilters die, na een periode in bedrijf geweest te zijn, teruggespoeld dienen te worden.

3.1.1 water- en zandbeweging

De werking van het DynaSand filter wordt uitgelegd aan de hand van figuur 2.

De voeding van het filter (1,2) vindt plaats via een aantal verdeelarmen onder in het bed (3). Vanaf de verdeelarmen doorstroomt het water in opwaartse richting het zandbed (4); na filtratie wordt het gezuiverde water via een overstort (5) afgevoerd.

Tegelijk met de opwaartse filtratie treedt er een continue zandbeweging in neerwaartse richting op. Deze zandbeweging vindt plaats doordat continu het meest verontreinigde zand dat zich onder in de conus van het filter bevindt door de mammoetpomp wordt onttrokken. Injectie van een kleine hoeveelheid lucht (9,13) onderin de mammoetpomp is reeds voldoende om een mengsel van zand, water en afgefilterde verontreinigingen door de mammoetpomp naar boven te laten transporteren. De grootte van de luchtinjectie bedraagt maximaal 2 Nm^3 per m^2 bedoppervlak per uur. De mammoetpomp bevindt zich centrisc in het filtervat, met de aanzuigopening onderin de conus (8).

Het in de mammoetpomp naar boven getransporteerde zand (7) wordt opgevangen in de spoelruimte (10).

Het vervuilde spoelwater stort over in de spoelwatergoot en wordt afgevoerd. Het zand, dat door het turbulente transport door de mammoetpomp reeds voor een groot gedeelte is gereinigd door schuurwerking, bezinkt in de spoelruimte en valt vervolgens in de zandwasser (12).

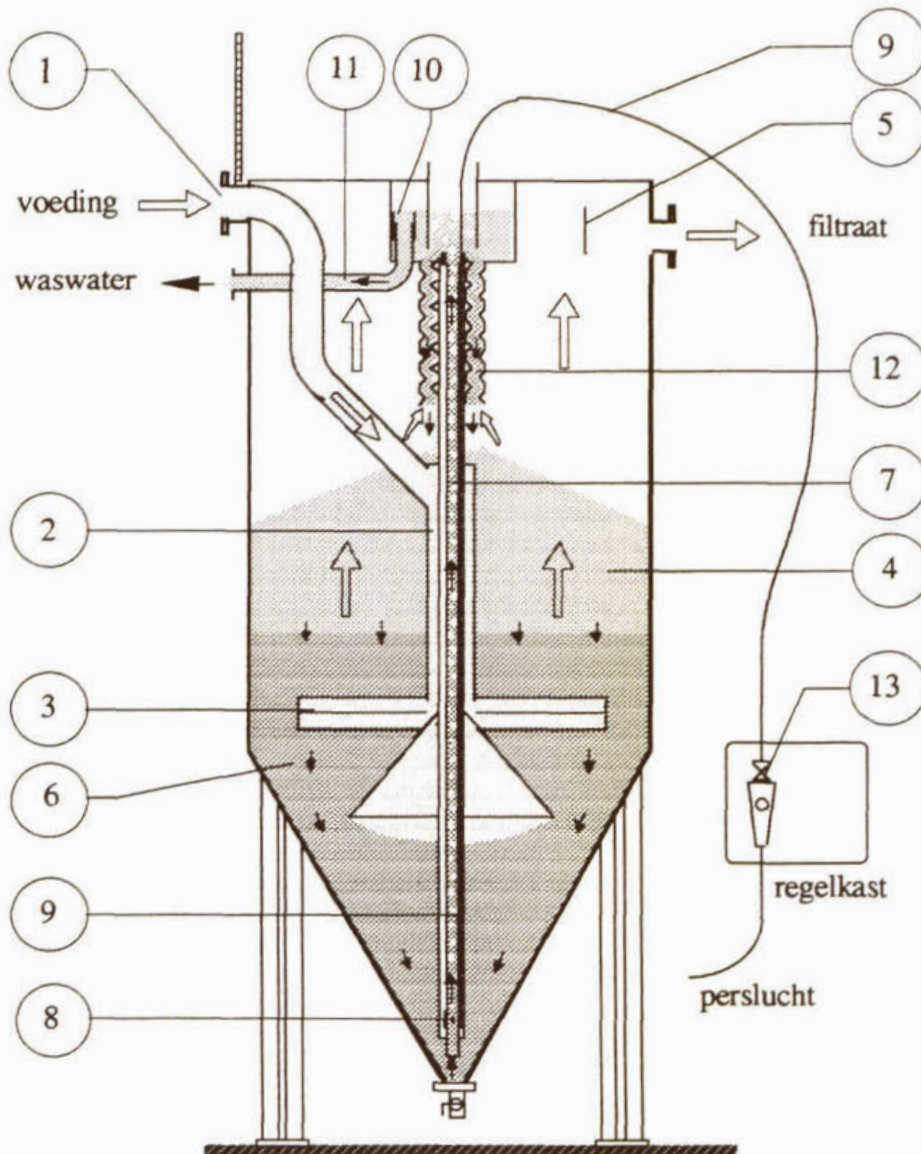
In de zandwasser vindt scheiding van de laatste verontreinigingen en de zandkorrels plaats (zie par. 3.1.3). De zandkorrels bezinken tenslotte in het filtraat en vullen het filterbed aan.

3.1.2 mammoetpomp

Voor het transporteren van het mengsel van zand en verontreinigingen vanuit de conus naar de spoelwaterinrichting wordt gebruik gemaakt van een mammoetpomp. Het principe van de mammoetpomp berust op de injectie van lucht onderin de pijp waardoor in de pijp een mengsel van zand, verontreinigingen, water en lucht met een lagere dichtheid wordt verkregen.

Het op grond hiervan ontstane drukverschil over de mammoetpomp vormt de drijvende kracht voor het transport van het mengsel.

Een verhoging van de zandcirculatiesnelheid in een bepaalde situatie wordt verkregen door vergroting van de luchtinjectie. De zandcirculatiesnelheid is gedefinieerd als de zakking van het zandbed per tijdseenheid. Deze bedraagt voor de toepassingen van het filter van enkele tot ca. 20 mm/min.



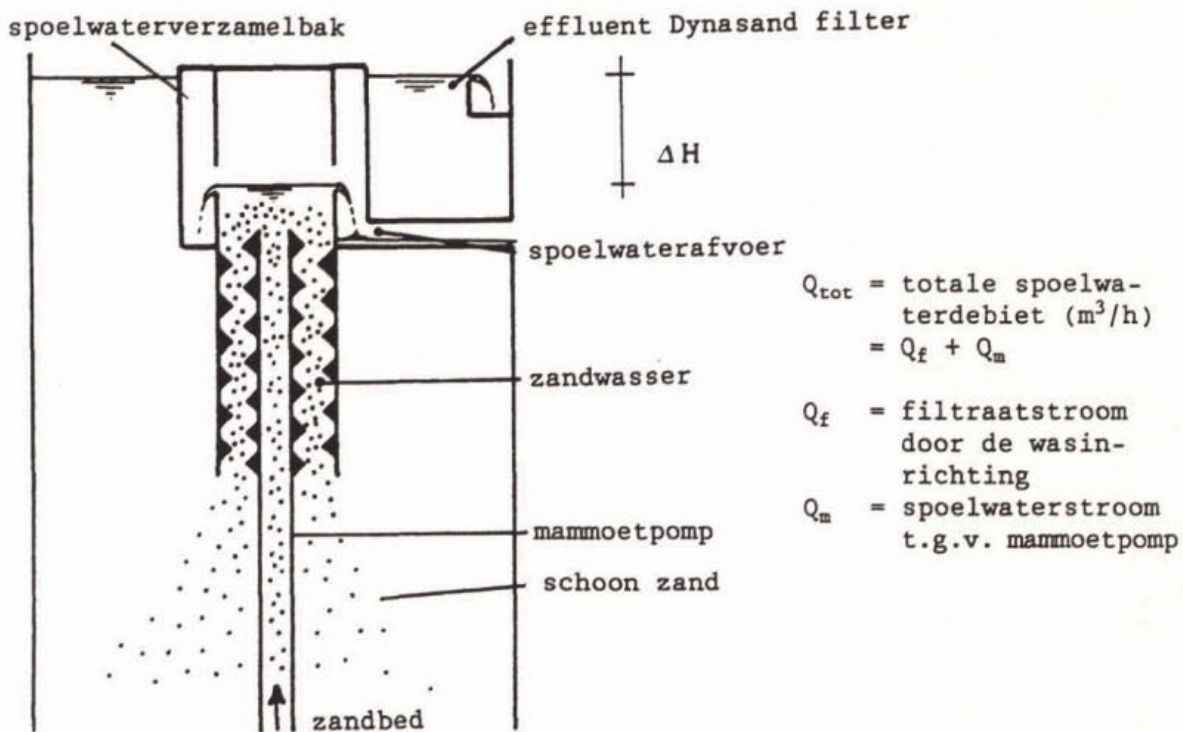
 DynaSand filter

Figuur 2. Doorsnede DynaSand filter

3.1.3 waswaterinrichting

De zandwasser bevindt zich bovenin het filter, in het filtraat en is concentrisch geplaatst rond de mammoetpomp. Aan één zijde staat de wasser in verbinding met de spoelruimte, aan de andere zijde met het filtraat.

De zandwasser heeft als functie het zand, dat wordt aangevoerd vanuit de spoelruimte, te scheiden van de meegevoerde verontreinigingen. Deze scheiding van zand en verontreinigingen wordt tot stand gebracht door de opwaartse filtraatstroom door de wasinrichting heen. Deze wordt opgewekt door het (instelbaar) verschil in niveau, ΔH , tussen waswater en filtraat. De zware zanddeeltjes bezinken in de wasinrichting, de veel lichtere verontreinigingen echter worden met de filtraatstroom meegepoeld en met het spoelwater afgevoerd. Figuur 3 geeft de doorsnede van de wasinrichting en spoelwaterverzamelbak weer.



Figuur 3. Wasinrichting en spoelwaterverzamelbak

De totale spoelwaterhoeveelheid bestaat derhalve uit 2 componenten: een hoeveelheid water die samen met het verontreinigde zand door de mammoetpomp naar de spoelwater ruimte wordt getransporteerd en een deel filtraat dat de wasinrichting in opwaartse richting doorstroomt. De laatste vormt verreweg het grootste aandeel in de totale spoelwaterhoeveelheid.

3.2 Filtraatkwaliteit

Bij conventionele filtratie wordt de filtraatkwaliteit beïnvloed door de volgende parameters:

- influentkwaliteit;
- hydraulische belasting;
- grootte van het korrelmateriaal;
- temperatuur.

Het filtratierendement neemt af met toenemende filtratiesnelheid. Het toepassen van een fijner filtermedium leidt tot een hoger filtratierendement.

Tot slot wordt de filtraatkwaliteit nog beïnvloed door de temperatuur: naarmate deze hoger is (lagere viscositeit) verloopt het filtratieproces beter. Het filtratieproces kan aanzienlijk worden verbeterd door de toepassing van een vlokmiddeldosering. In hoeverre een dergelijke dosering noodzakelijk is hangt met name af van de aard van de verontreinigingen die afgevangen dienen te worden.

Het verloop van het filtratieproces in het DynaSand filter is bovendien nog afhankelijk van de zandcirculatiesnelheid. Verlaging van deze snelheid heeft een betere filterwerking tot gevolg, en derhalve een betere filtraatkwaliteit. Een lagere zandcirculatiesnelheid impliceert immers dat het zand een langere verblijftijd in het filter heeft. Dit heeft tot gevolg dat de verontreinigingen dieper in het zandbed zullen infiltreren, waardoor in hogere mate gebruik wordt gemaakt van het bergend vermogen van het bed. De vullingsgraad van de poriën met verontreinigingen is hoger, hetgeen de filterwerking bevordert.

De toegepaste zandcirculatiesnelheid mag echter een bepaald minimum niet onderschrijden, teneinde doorslag van verontreinigingen in het filtraat te voorkomen. Dit kan als volgt worden toegelicht.

Indien een statisch, opwaarts doorstroomd filter wordt beschouwd, zetten de verontreinigingen zich aanvankelijk onderin het bed af. Naarmate het filtratieproces vordert, wordt onderin het zandbed de maximale vullingsgraad van de poriën bereikt; de verontreinigingen zullen zich vervolgens hoger in het bed afzetten. Het depositieprofiel of vuilfront dat enige tijd na aanvang van filtratie ontstaat zal zich met een bij benadering constante snelheid in opwaartse richting verplaatsen. In het DynaSand filter treedt naast verplaatsing van het vuilfront in opwaartse richting, afvoer van verontreinigd zand in neerwaartse richting op.

De minimale zandcirculatiesnelheid dient derhalve zodanig groot te zijn dat oprukken van het vuilfront in opwaartse richting wordt voorkomen.

De waarde van deze minimum zandcirculatiesnelheid hangt af van de influentkwaliteit, de korrelgrootte van het filterzand en de filtratiesnelheid. Ze dient in de praktijk proefondervindelijk te worden vastgesteld.

Het filtraat van een DynaSand filter is, vanwege het continu karakter van het filter, van vrijwel constante kwaliteit.

3.3 Bedweerstand

Bij conventionele snelfiltratie is de bedweerstand afhankelijk van:

- de influentkwaliteit;
- de filtratiesnelheid;
- de tijd.

Bij de aanvang van een filterrun is de bedweerstand gelijk aan de hydraulische weerstand ten gevolge van de waterstroming door het zandbed. Deze wordt de schoonbedweerstand genoemd. Gedurende het filtratieproces worden verontreinigingen in het filterbed afgezet, waardoor de poriën nauwer worden. Bij constante filtratiesnelheid resulteert dit in een toenemende bedweerstand in de loop van de tijd.

Bij DynaSand filtratie is de bedweerstand afhankelijk van:

- de influentkwaliteit;
- de filtratiesnelheid;
- de zandsnelheid.

In tegenstelling tot conventionele filtratie, zal zich bij DynaSand filtratie, enige tijd na de inbedrijfstelling, een evenwichtssituatie instellen. Zowel de aanvoer van verontreinigingen met het influent als de afvoer van verontreinigingen met het zand is immers continu. Enige tijd na de aanvang van filtratie ontstaat een constant depositieprofiel waarbij zich onderin het bed véél afgezette verontreinigingen bevinden, en naar boven toe minder (opwaartse filtratie). Het filtratieproces is dan in evenwicht, de aanvoer van verontreinigingen is gelijk aan de afvoer. De bedweerstand is dan eveneens constant in de tijd.

Zoals hierboven is aangegeven, is de zandcirculatiesnelheid van invloed op het depositieprofiel. Bij lagere zandcirculatiesnelheden worden de verontreinigingen minder snel afgevoerd. Op een bepaald niveau in het filterbed zal de hoeveelheid afgezette verontreinigingen groter zijn. Bovendien zal de depositie zich ook dieper in het bed bevinden. Bij lagere zandcirculatiesnelheden wordt de bedweerstand dus hoger.

3.4 Spoelwaterdebiet

Vanwege het continu karakter van het DynaSand filter is de spoelwaterproduktie constant in de tijd.

In 3.1.3 is toegelicht dat het totale spoelwaterdebiet de som is van twee delen:

1. de spoelwaterstroom die met het verontreinigde zand in de mammoetpomp mee wordt gevoerd;
2. de spoelwaterstroom die ontstaat door de filtraatstroom dóór de wasinrichting, in opwaartse richting.

Het laatstgenoemde aandeel vormt in het algemeen het grootste aandeel in de totale spoelwaterhoeveelheid. Het totale spoelwaterdebiet bedraagt doorgaans 5-8% van het influentdebiet.

De absolute grootte van de spoelwaterhoeveelheid hangt af van twee grootheden:

- 1 het niveauverschil tussen waswater en filtraat, ΔH (figuur 3)

Bij toenemende ΔH neemt de drijvende kracht voor de filtraatstroom door de wasinrichting toe, en daarmee de filtraatstroom. Instelling en aanpassing van dit niveauverschil vindt handmatig plaats;

2 de zandcirculatiesnelheid

Toename van de zandcirculatiesnelheid impliceert een toename van het zandtransport, en dus spoelwatertransport, door de mammoetpomp.

Anderzijds zal zich bij een hogere zandcirculatiesnelheid een groter volume zand in de wasinrichting bevinden. Dit betekent dat de weerstand voor de opwaartse filtraatstroom door de wasinrichting toeneemt en de filtraatstroom afneemt. Het aandeel spoelwater ten gevolge van de filtraatstroom in de totale spoelwaterhoeveelheid is aanzienlijk groter dan het aandeel spoelwater dat met de mammoetpomp wordt meegevoerd. Het over-all effect van verhoging van de zandsnelheid is derhalve een reductie van de spoelwaterhoeveelheid.

3.5 Verschillen DynaSand filtratie versus conventionele filtratie

De verschillen tussen DynaSand filtratie en conventionele filtratie worden hieronder puntsgewijs behandeld:

- de continue reiniging van verontreinigd zand bij DynaSand filtratie impliceert een onafgebroken filtratieproces met een continue spoelwaterstroom en een vrijwel constante effluentkwaliteit en bedweerstand;
- door de continue afvoer van verontreinigingen bij een DynaSand filter is de slibaccumulatie in het bed, en daarmee de bedweerstand, aanzienlijk geringer dan bij een conventioneel snelfilter (na enige tijd). Een DynaSand filter kan derhalve worden ingezet bij relatief hoge belastingen en/of vlokmiddeldoseringen, zelfs met een relatief fijn filtermedium;
- voor het terugspoelen van conventionele filters zijn aanvullende voorzieningen zoals leidingen, buffertanks (voor reinwater en spoelwater) en terugspoelpompen vereist. Het spoelproces bij DynaSand filtratie vindt daarentegen plaats in het filter, door middel van luchtinjectie in de mammoetpijp, zodat geen aanvullende voorzieningen nodig zijn en de installatie compact is;
- het DynaSand filter wordt opwaarts doorstroomd, waardoor de maximaal toepasbare filtratiesnelheid wordt beperkt;
- ten opzichte van conventionele snelfiltratie is opschaling van DynaSand filtratie nadelig; ook bij op grote schaal uitgevoerde filters in beton (oppervlakte ca. 40 m²) is per oppervlakte-eenheid van ca. 5 m² een mammoetpomp en wassysteem vereist.

Het DynaSand onderzoek is uitgevoerd met een praktijkfilter van 3,0 m² (diameter 2,0 m).

Gedurende het onderzoek aan het DynaSand filter zijn die parameters gevarieerd, die relevant zijn voor het filtratieproces en de waterkwaliteit beïnvloeden:

- vlokmiddeldosering;
- filtratiesnelheid;
- zandcirculatiesnelheid.

Vanwege de vergelijking van het DynaSand filter met de conventionele filters is de korrelgrootte van het zand gelijk gekozen aan de korrelgrootte van het zand in het drukfilter.

De invloed van de zandcirculatiesnelheid is reeds in eerdere onderzoeken aan de orde gesteld, zodat deze in dit onderzoek in beperkte mate gevarieerd is. De conclusie van deze onderzoeken is dat het filtratieproces beter verloopt, naarmate de zandcirculatiesnelheid afneemt. Een lagere zandcirculatiesnelheid impliceert een hogere vullingsgraad van de poriën en derhalve een betere filterwerking. De toegepaste zandcirculatiesnelheid mag echter niet te laag worden, teneinde doorslag van verontreinigingen te voorkomen (zie paragraaf 3.2).

Periode 1: DynaSand filter versus dubbellaagsfilter als nafiltratie achter korrelreactor

DynaSand filter (DSF) parallel met dubbellaagsfilter (DLF F109), ter vergelijking van beide vormen van filtratie; behandeling van effluent van korrelreactor ter verwijdering van amorf materiaal.

Proefperiode 1 is nader onderverdeeld in een aantal proeven, waarbij één of meerdere parameters zijn gewijzigd.

In tabel 2 is hiervan een overzicht gegeven. De hydraulische belasting is gevarieerd van een voor een DynaSand filter min of meer gemiddelde belasting tot ongeveer de maximale belasting die bij de toegepaste korreldiameter van het filtermateriaal toegepast kan worden, gelet op oplichting het bed.

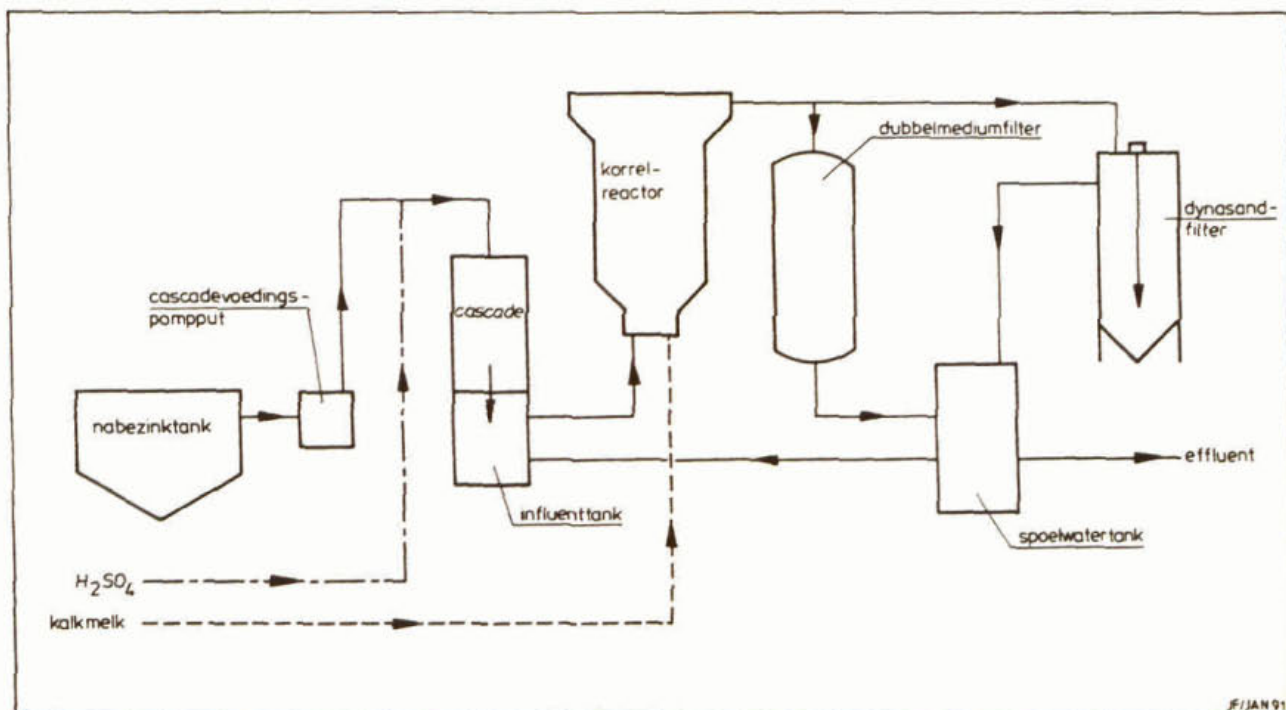
Voor de precieze invulling van de proefperiode wordt verwezen naar bijlage 3a. In figuur 4 is het processchema van de opstelling weergegeven. Voor nadere gegevens omtrent de opstelling wordt verwezen naar bijlage 5.

Als referentiefilter is één van de twee bestaande drukfilters onder de normale procescondities bedreven. De gegevens hiervan zijn eveneens weergegeven in tabel 2.

Het effluent van de korrelreactor bevat een totaal-P-gehalte tussen 1 en 7 mg/l. Hiervan is slechts een zeer gering aandeel P in de opgeloste vorm aanwezig (0,1 - 1,8 mg/l), aangezien het opgeloste fosfaat reeds in de korrelreactor door toevoeging van Ca(OH)₂ grotendeels is omgezet tot het slecht oplosbare Ca₃(PO₄)₂. Dit betekent dat de aanwezige P grotendeels affiltreerbaar is, zodat in principe geen aanvullend vlok- of precipitatiemiddel gedoseerd hoeft te worden.

Tabel 2 - Filtergegevens/procescondities periode 1

	DynaSand filter DST 30	drukfilter (F109)
filterbedoppervlak	3 m ²	5 m ²
bedhoogte:	1,5 m	1,5 m
. zandfractie	0,8-1,25 mm	0,8-1,2 mm (0,7 m)
. anthracietfractie	n.v.t.	1,6-2,5 mm (0,8 m)
filtratiesnelheid	8-18 m/h	20 m/h
zandcirculatiesnelheid	2-8 mm/min.	n.v.t.
vlokmiddeldosering, Sachtoklar, 5,4% Al	0-75 mg/l Sachtoklar/ 0-4 mg/l Al	0



Figuur 4. Processchema nazuivering Westerbork en proefopstelling Dyna-Sand filter periode 1

Periode 2: DynaSand filter versus korrelreactor + dubbellaagsfilter

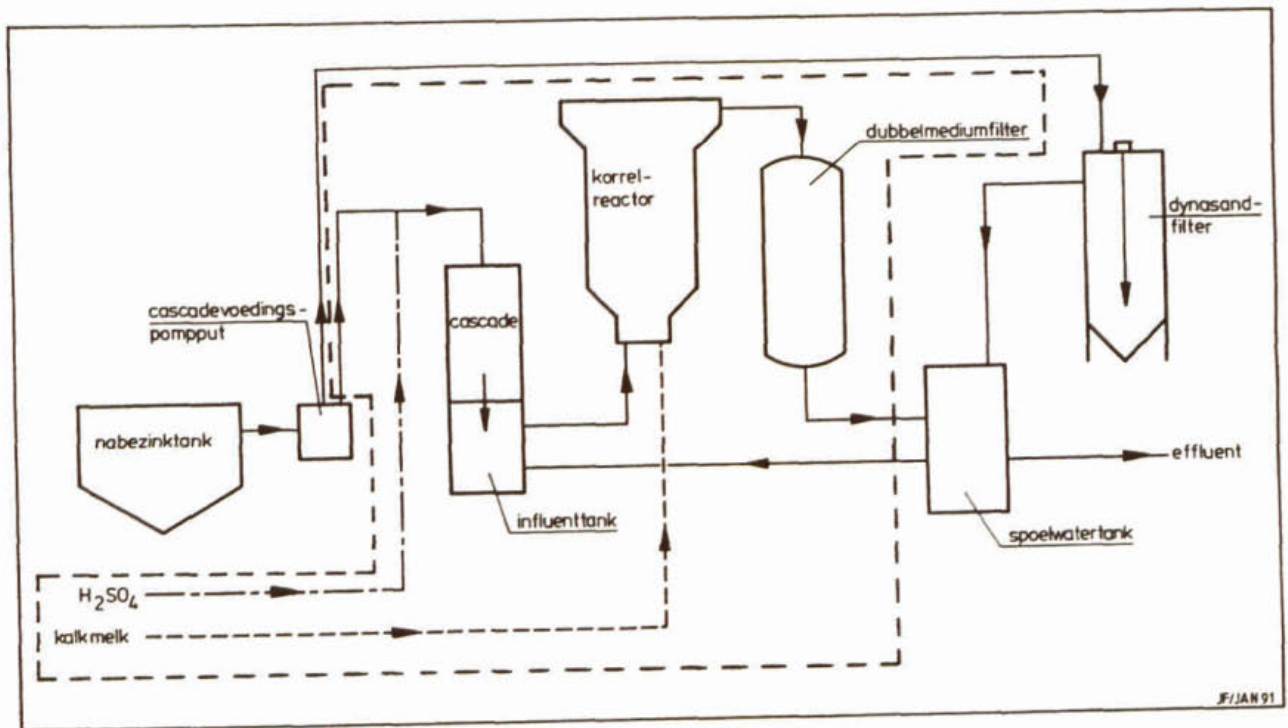
In deze periode is het DynaSand filter als vervanging van korrelreactor/dubbellaagsfilter toegepast. Dit was relevant in verband met de huidige lage P-belasting van het afvalwater. De combinatie korrelreactor/dubbellaagsfilters is in deze periode buiten werking gesteld. Het principe van het DynaSand filter, continue afvoer van verontreinigingen, impliceert dat water met een relatief hoog gehalte aan verontreinigingen en/of een hoge vlokmiddeldosering kan worden behandeld.

Het processchema voor deze periode is weergegeven in figuur 5. In deze periode is het effluent van de nabezinktank over het filter geleid. Het grootste deel van het totaal P-gehalte is in deze situatie aanwezig als opgelost P; slechts een klein deel is gebonden aan zwevende stof en (in deze vorm) direct affiltreerbaar. Teneinde het P-gehalte in deze situatie sterk te reduceren is een dosering in de vorm van ijzerchloride (precipitatie- en vlokmiddel) en Sachtoklar (vlokmiddel) toegepast.

In eerste instantie is gebruik gemaakt van hetzelfde zand als bij de proeven in periode 1. Gezien de hoge drogestofbelasting en de dosering van vlok/precipitatiemiddelen zijn bij deze fractie zand (0,8-1,25 mm) logischerwijze herhaaldelijk verstoppingen opgetreden. De gebruikelijke voorschriften voor DynaSand filtratie schrijven voor dergelijke belastingen immers zand van de fractie 1-2 mm voor. Vervanging van het zand door grover zand heeft dan ook direct tot het einde van deze problemen geleid.

Tabel 3 - Filtergegevens/procescondities periode 2

DynaSand filter DST 30		
filterbedoppervlak	3	m ²
bedhoogte:	1,5	m
. zandfractie		
(01-01-'91/27-05-'91)	0,8 - 1,25	mm
(28-05-'91/17-07-'91)	1,0 - 2,0	mm
filtratiesnelheid	8 - 17	m/h
zandcirculatiesnelheid	3 - 9	mm/min
vlokmiddeldosering, Sachtoklar, 5,4% Al		
(01-01-'91/01-02-'91)	33 - 125	mg/l
ijzerchloride, 13,8% Fe		
(14-03-'91/18-07-'91)	58 - 135	mg/l



Niet in gebruik

Figuur 5. Processchema nazuivering Westerbork en proefopstelling Dyna-Sand filter periode 2

5 RESULTATEN

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de proefresultaten besproken en geïnterpreteerd. Bij de vergelijking van het DynaSand filter en het conventionele, statische drukfilter worden feitelijk twee criteria gehanteerd:

- de troebelheid van het effluent

Deze dient laag te zijn (globaal < 5 NTU). De troebelheid is geen directe parameter voor de P-concentratie, geeft echter wel indicatie en is eenvoudig, direct en continu te meten;

- de mogelijkheid om piekbelastingen op te vangen

Hierbij gaat het ten eerste om pieken in de concentratie van verontreinigingen in het influent. Deze ontstaan veelal als gevolg van regenweeraanvoer (RWA) naar de rwzi. De verhoogde hydraulische belasting verslechtert de sedimentatiecondities, waardoor meer zwevende stof uit de nabezinktank wordt meegevoerd. Ten tweede dient binnen een vrij brede range van hydraulische belastingen (DWA-RWA) een goede effluentkwaliteit te worden geproduceerd.

5.2 Periode 1: DynaSand filter parallel aan het dubbellaagsfilter

De resultaten van periode 1 (DSF parallel DLF) zijn integraal weergegeven in bijlage 3. Voor de diverse deelperioden zijn zowel de troebeling van het influent als van het effluent van beide filters weergegeven (continue meting). Uit de continu geregistreeerde troebelheidsgegevens zijn de ½-uur gemiddelden bepaald en grafisch weergegeven (bijlage 3b). Daarnaast bevat de bijlage een overzicht van de vrijwel dagelijks verrichte metingen van het totaal-P-gehalte en het opgelost-P-gehalte (bijlage 3c). Het betreft hier 24-uurs monsters. De conclusies worden hieronder gepresenteerd aan de hand van de meest relevante meetgegevens.

Influentcondities

De troebeling van het influent van de filters (= effluent reactor) varieert doorgaans tussen 10 en 15 NTU (figuur 5 t/m 12). Tevens komen pieken voor van 30 NTU en hoger, waarschijnlijk door het optreden van RWA en de daaruit voortvloeiende hogere hydraulische belasting. Dit veroorzaakt een verhoogde zwevendestofafvoer uit de nabezinktank. In tabel 4 zijn kwaliteitsgegevens van het influent weergegeven.

Tabel 4 - Kwaliteitsgegevens influent DynaSand filter/dubbellaagsfilter
aug-dec-'90

	afloop korrelreactor:			
	troebeling (NTU)	zwevend stof (mg/l)	t - P (mg/l)	o - P (mg/l)
gemiddeld	10 - 15	18	2,9	0,42
minimum	6	1	1,1	0,11
maximum	> 30	142	7,0	1,80

Filtraatkwaliteit Dynasand filter

In het onderstaande wordt de invloed van de diverse parameters op de filtraatkwaliteit besproken. Een overzicht van de filtraatkwaliteit wordt gepresenteerd in tabel 4. Tabel 5 bevat een overzicht van de behaalde rendementen.

1 filtratiesnelheid

De filtraatkwaliteit van het DynaSand filter is in principe gerelateerd aan de filtratiesnelheid. Bij het uitgevoerde onderzoek waren de verschillen in effluentkwaliteit voor de diverse filtratiesnelheden echter gering. De troebeling van het effluent van het DynaSand filter lag globaal tussen 1 en 3 NTU (figuur 5, 6, 7). Figuur 8 wordt buiten beschouwing gelaten, omdat deze een niet stabiele toestand weergeeft (zie Beperkingen van de DynaSand filtratie, pag. 20).

Het DynaSand filter produceert water met een vrij constante kwaliteit; vanwege het continue karakter van het filter is de looptijd immers in principe onbeperkt;

2 variatie influentkwaliteit

Pieken in de concentraties van verontreinigingen in het influent zijn in het effluent van het DynaSand filter over het algemeen nauwelijks zichtbaar. Dit geldt met name voor toepassing van lagere randcirculatiesnelheden en in mindere mate voor hogere snelheden. Bij verdubbeling van de troebeling van het influent, van ca. 15 naar ca. 30 NTU, blijft de troebeling van het filtraat bij de lagere zandsnelheden vrijwel constant, en wel kleiner dan 2 NTU (figuur 6, 7).

Dit fenomeen kan worden toegeschreven aan de continue afvoer van verontreinigingen bij het DynaSand filter;

3 zandcirculatiesnelheid

Vergelijking van de figuren 5 en 10 toont aan dat een verhoging van de zandcirculatiesnelheid de filtraatkwaliteit nadelig beïnvloedt. Dit effect manifesteert zich duidelijker naarmate de filtratiesnelheid hoger is. Bij hogere zandcirculatiesnelheden vertoont het filter tevens een grotere gevoeligheid voor variaties in de influentkwaliteit dan bij lagere zandcirculatiesnelheden;

4 vlokmiddeldosering

De figuren 11 en 12 geven de effluentkwaliteit van het DynaSand filter weer bij toevoeging van een vlokformingsmiddel (Sachtoklar, 5,4% Aluminium). Het influent van de korrelreactor bevat vrijwel geen aan zwevende stof gebonden, affiltreerbaar, P. Dit impliceert dat het totaal-P-gehalte vrijwel gelijk is aan het opgelost-P-gehalte. Door toevoeging van chemicaliën ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) kristalliseert calciumfosfaat in de korrelreactor, en wordt het opgelost-P-gehalte aanzienlijk gereduceerd. Het influent van het filter (effluent korrelreactor) bevatte in de periode 22/11-06/12 3-7 mg/l totaal-P en 0,8-1,8 mg/l opgelost-P.

Toevoegingen van vlokmiddelen zullen gezien het lage opgelost-P-gehalte het filtratierendement voor P derhalve nauwelijks beïnvloeden.

Dit wordt door de genoemde figuren 11 en 12 bevestigd.

Beperkingen van de DynaSand filtratie

In figuur 8 is de kwaliteit van het effluent van het DynaSand filter bij een hoge filtratiesnelheid (18 m/h) weergegeven. De zandcirculatiesnelheid in deze situatie bedroeg 3 mm/min. Deze zandcirculatiesnelheid is waarschijnlijk te laag om tot een evenwichtssituatie te komen. Er worden in deze situatie relatief veel verontreinigingen aangevoerd, de afvoer is echter te gering (paragraaf 3.2).

De stijging van de bedweerstand in de periode 08/10-10/10 van ca. 0,80 m naar 1,00 m bevestigt dit vermoeden. Figuur 8 laat tevens zien dat het filter in deze situatie gevoelig is voor piekbelastingen, wat de snelheid waarmee het filter zal doorslaan verhoogt. Om een evenwichtssituatie te creëren dient de zandcirculatiesnelheid te worden verhoogd.

Toepassing van een snelheid van 18 m/h levert, gezien de afmetingen van het korrelmateriaal, gevaar op voor oplichting van het zandbed indien de totale bedweerstand ten gevolge van de hydraulische stroming én de depositie, te hoog wordt. Toepassing van een grover medium verlegt de grens van maximaal toe te passen filtratiesnelheid, maar heeft ook directe gevolgen voor de effluentkwaliteit.

Vergelijking DynaSand filter - dubbellaagsdrukfilter

1 gemiddelde effluentkwaliteit

Bij lagere zandsnelheden in het DynaSand filter is de filtraatkwaliteit vergelijkbaar met de filtraatkwaliteit van het conventionele dubbellaagsdrukfilter. Beide hebben een troebeling tussen 1 en 3 NTU. Illustratief hiervoor zijn de figuren 5, 6 en 7. Vermeld dient te worden dat de toegepaste filtratiesnelheid in het DynaSand filter varieerde tussen 8 en 14 m/h. De filtratiesnelheid in het drukfilter bedroeg 20 m/h;

2 pieken in de effluentkwaliteit

In het effluent van de conventionele drukfilters is diverse malen een verhoogde troebeling waargenomen. Hiervoor kunnen twee oorzaken worden genoemd:

- het drukfilter (F109) wordt tweemaal per dag gespoeld namelijk om 10.00 h en 20.00 h. Tegen het eind van de looptijd van de tweede filterrun treedt effluentverslechtering op. De troebelingspiegel stijgt van 1-2 NTU tot 3-6 NTU. Dit dient te worden toegeschreven aan het te laat spoelen van het filter en kan onder andere worden voorkomen door de spoeling eerder te laten plaatsvinden. De pieken in de troebelingspiegel van het effluent ten gevolge hiervan treden periodiek op, elke 24 uur (figuur 5);
- pieken in de concentratie van verontreinigingen in het influent leiden tot verhoogde troebelingspieken van het effluent van het drukfilter. Troebelingspieken tot 25-30 NTU in het influent, zijn in het effluent zichtbaar als pieken tot 10 NTU.

De kwaliteit van het effluent van het DynaSand filter is, in tegenstelling tot de situatie bij de drukfilters, vrijwel constant in de tijd en vrijwel onafhankelijk van eventuele piekconcentraties van verontreinigingen in het influent. Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat figuur 8 een niet-stabiele situatie weergeeft die voor de vergelijking van de filters buiten beschouwing moet worden gelaten.

Tabel 4 - Kwaliteitsgegevens influent/effluent DynaSand filter/dubbel-laagsfilter

	troebelingspiegel (NTU)	zwevend stof (mg/l)	t - P (mg/l)	o - P (mg/l)
influent:				
- gemiddeld	10-15	18	2,9	0,42
- minimum	6	1	1,2	0,11
- maximum	>30	142	7,0	1,80
DS-filter effluent:				
- gemiddeld	2-4	5	1,1	0,5
- minimum	1	1	0,2	0,1
- maximum	10	18	3,9	2,7
DL-filter effluent:				
- gemiddeld	2-4	4	1,1	0,6
- minimum	1	1	0,2	0,1
- maximum	10	10	3,6	2,3

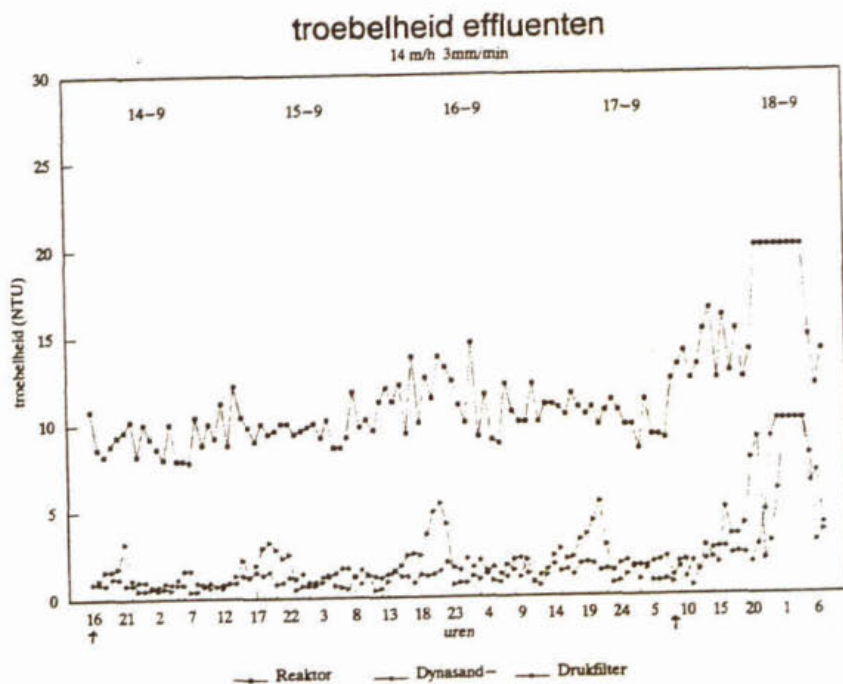
Tabel 5 - Rendementen van DynaSand filter en dubbellaagsfilter

	DSF rendement * (%)	DLF rendement * (%)
zwevend stof	72	78
t - P	62	62
o - P	0	0

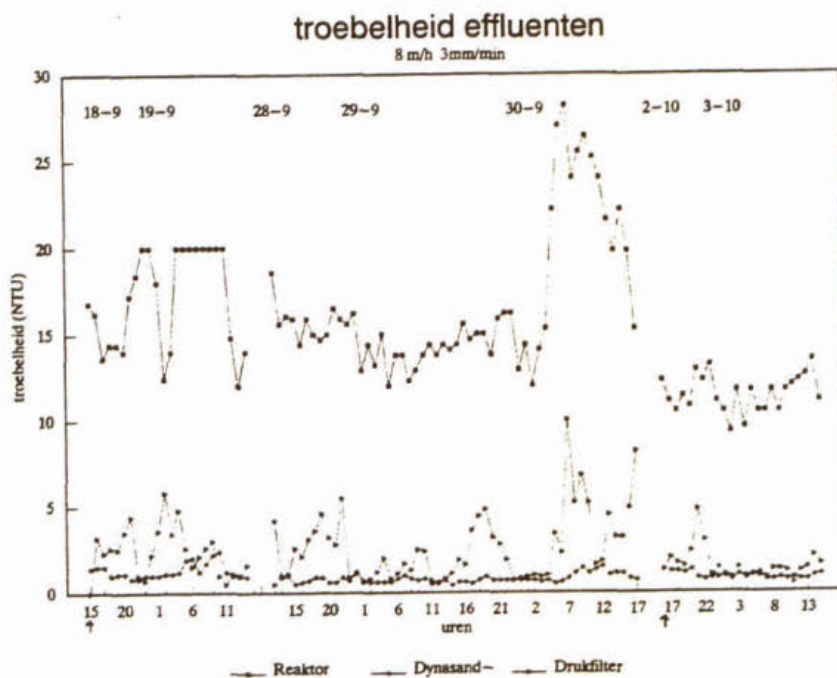
* gemiddelde waarde op grond van tabel 4.

conclusies periode 1

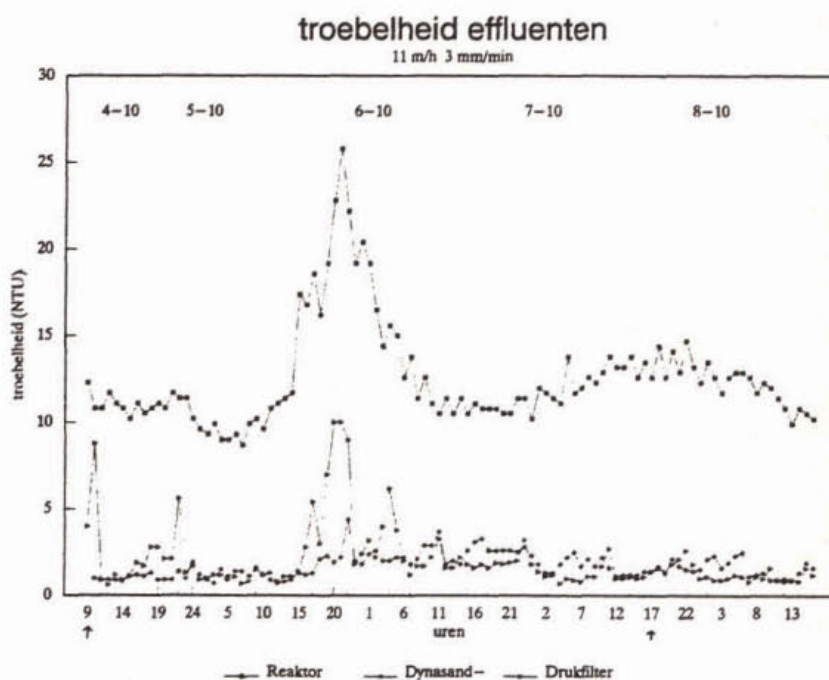
- het DynaSand filter heeft tot filtratiesnelheden van 14 m/h een goede werking;
- bij filtratie van het effluent van de korrelreactor is de effluentkwaliteit van het DynaSand filter vergelijkbaar met de effluentkwaliteit van de bestaande drukfilters. Hierbij dient te worden vermeld dat teneinde een goede kwaliteit te garanderen de toegepaste filtratiesnelheden voor DynaSand filtratie 8-14 m/h bedroegen, en de snelheid in het drukfilter 20 m/h.
Uitgaande van een ontwerpsnelheid van 10-15 m/h impliceert het toepassen van DynaSand filtratie ten opzichte van drukfiltratie een vergroting van de bedoppervlakte van 30-100%;
- het DynaSand filter heeft een continu karakter en dientengevolge een in de tijd vrijwel constante effluentkwaliteit. De troebeling van het effluent van het drukfilter vertoont een stijging vanaf 18-20 uur na een filterspoeling tot het einde van de filterrun (24 h). Dit kan worden voorkomen door het filter tijdig te spoelen;
- het DynaSand filter is relatief ongevoelig voor pieken in de concentratie van verontreinigingen in het influent.



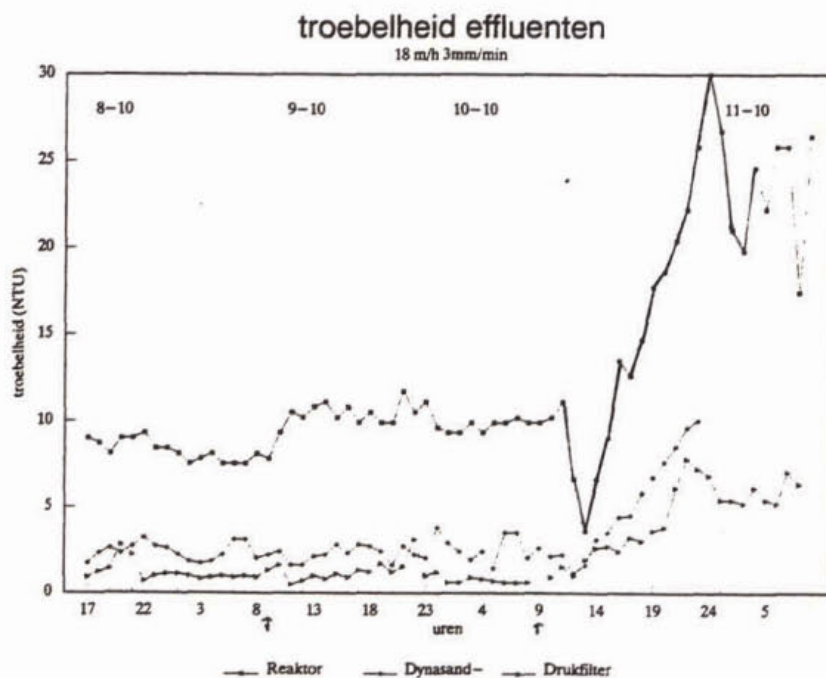
Figuur 5. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 14/09-18/09



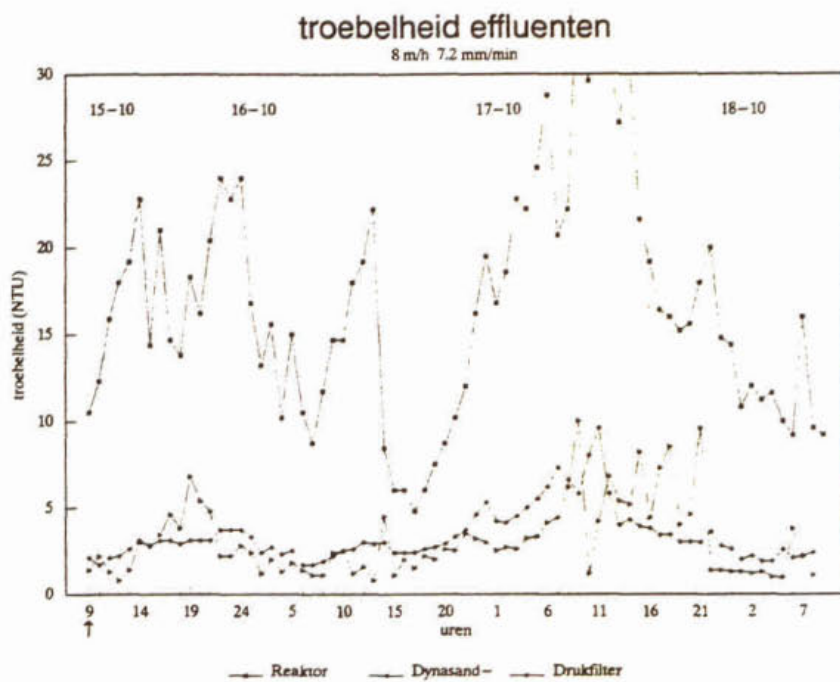
Figuur 6. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 18/09-03/10



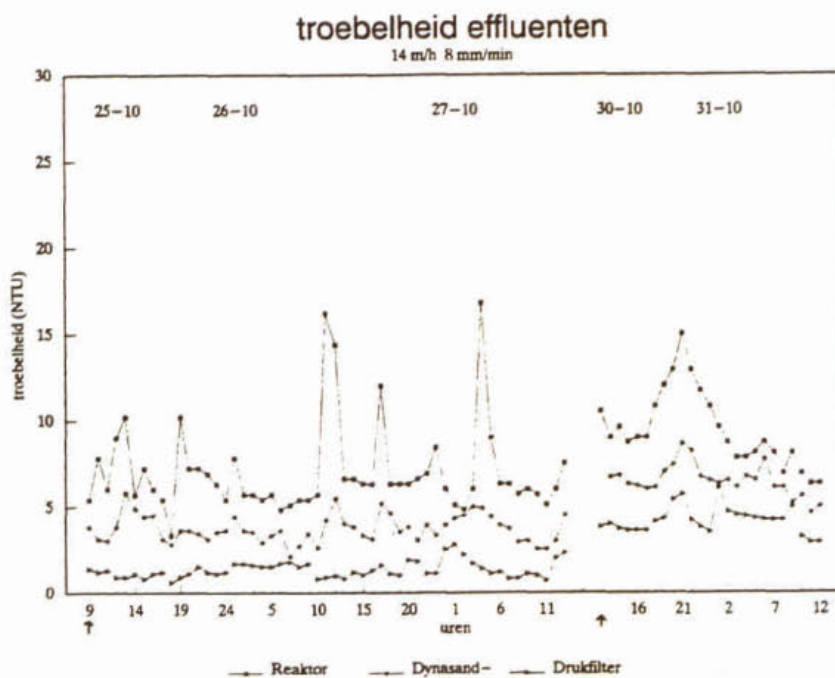
Figuur 7. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 04/10-08/10



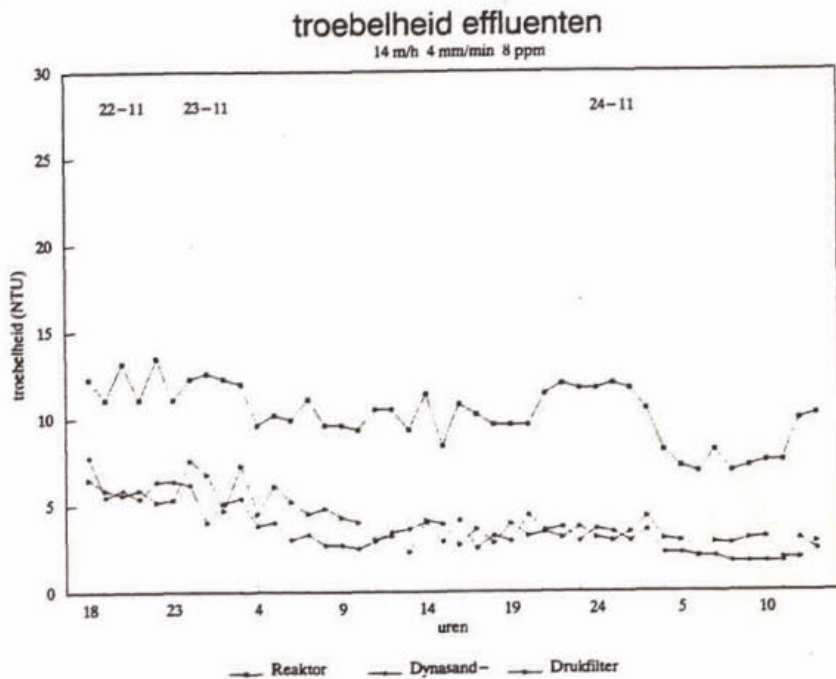
Figuur 8. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 08/10-11/10



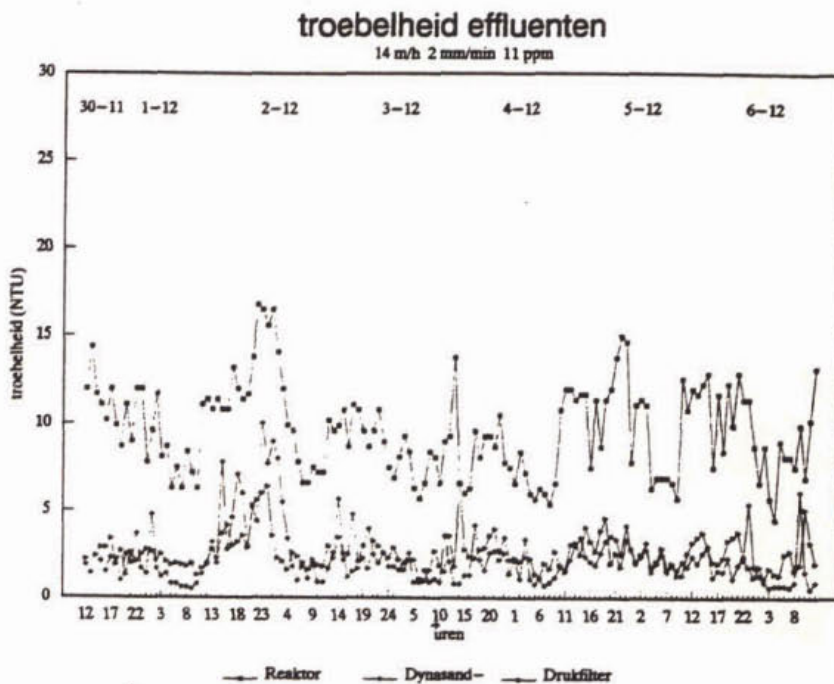
Figuur 9. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 15/10-18/10



Figuur 10. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 25/10-31/10



Figuur 11. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 22/11-24/11



Figuur 12. Troebelheid effluenten reactor, DSF, DLF 30/11-6/12

5.3 Periode 2: vlokkingfiltratie ten behoeve van P-verwijdering

Periode 2 beslaat het tijdsbestek januari-juli 1991. Het in deze periode uitgevoerde onderzoek betreft een aanvulling op het oorspronkelijke onderzoekprogramma. Hierbij is het effluent van de nabezinktank over het DynaSand filter geleid. Dosering van een vlokmiddel was noodzakelijk voor de verwijdering van fosfaat. In deze periode zijn de korrelreactor en de nageschakelde filters uit bedrijf genomen.

In deze periode zijn diverse praktische problemen opgetreden zoals bevrozing van het filter in januari; daarnaast zijn verstoppingsproblemen opgetreden. Zoals eerder in dit rapport is vermeld, is dit te wijten aan de aanvankelijk verkeerde keuze van de afmetingen van het korrelmateriaal; voor een dergelijke toepassing wordt zand 1-2 mm voorgeschreven.

In deze periode is tevens een ongelijkmatige zakking van het zand opgetreden. De afwijkingen van de zandsnelheid bedroegen 10-40% van de gemiddelde zandsnelheid, terwijl in normale situaties maximaal 10% afwijking optreedt.

Door het vervangen van het zand door een grover filtermateriaal (1-2 mm) is aan deze problemen het hoofd geboden. Verstopping van de wasinrichting is niet meer opgetreden; de zandcirculatiesnelheden op diverse plaatsen in het bed weken echter onderling nog steeds af. De oorzaak hiervan kan zijn de aanwezigheid van voorwerpen in het bed (ter plaatse van de mammoetpomp, onderin de conus) of het niet geheel centrisch zijn van de mammoetpomp.

De onderzoeksperiode kan worden onderverdeeld in drie perioden:

- aluminiumdosering zand 0,8-1,25 mm;
- ijzerdosering zand 0,8-1,25 mm;
- ijzerdosering zand 1-2 mm.

In de figuren 13 tot en met 17 zijn de resultaten van de continue troebelheidsmetingen weergegeven; in de tabellen 6, 7 en 8 zijn de kwaliteiten van influent en effluent weergegeven voor de hiervoor genoemde deelperioden. Voor de procescondities van periode 2 wordt verwezen naar tabel 3.

De opgetreden verstoppingsproblemen vertroebelen de resultaten. Het zand is eind mei 1991 vervangen; na dit tijdstip is het filter onder vrijwel constante condities aan een duurproef van 6 weken onderworpen. Hierbij is de filtratiesnelheid op 14 m/h gehandhaafd en de Fe-dosering op 12 mg/l Fe^{3+} . Tabel 8 geeft de gemiddelde resultaten van deze periode weer. In deze periode is de Me/o-P-verhouding hoog geweest. Dit als gevolg van de zeer lage P-gehalten die in het influent van de rwzi voorkwamen.

Bij de constant ingestelde ijzerdosering leidde dit tot hoge Me/o-P-verhoudingen.

Tabel 6 - Kwaliteitsgegevens influent/effluent DynaSand filter met aluminiumdosering; zand 0,8-1,25 mm

	influent DynaSand filter*	effluent DynaSand filter	rendement** (%)
troebelings (NTU):			
- gemiddeld	2-10	2-4	
zwevend stof (mg/l):			
- gemiddeld	12	8	33
- minimum	3	1	
- maximum	23	16	
tot-P (mg/l):			
- gemiddeld	3,3	2,6	21
- minimum	1,3	0,9	
- maximum	4,6	5,0	
o-P (mg/l):			
- gemiddeld	2,9	1,8	38
- minimum	1,1	0,4	
- maximum	4,1	3,2	
vlokmiddeldosering (5,4% Al) (mg/l)	36-125		
filtratiesnelheid (m/h)	11-14		

* = effluent van de nabezinktank

** = rendement betrokken op gemiddelde kwaliteit

In de figuren 18 en 19 zijn de totaal-P-gehalten van het influent en van het effluent weergegeven als functie van de Me/o-P-verhouding. Deze verhouding is gedefinieerd als:

$$\text{Me/o-P} = \frac{\text{aantal molen gedoseerd zout (Al}^{3+} \text{ of Fe}^{3+})}{\text{aantal molen o-P in het influent van het filter}}$$

Hierbij is uitgegaan van het opgelost-P-gehalte (o-P). Het verschil van totaal-P en o-P is immers het reeds affiltreerbare P.

In dit kader dient benadrukt te worden dat de gehanteerde Me/o-P-verhouding betrokken is op het P-gehalte van het influent van het DynaSand filter en niet, zoals gebruikelijk bij chemisch defosfateren, op het influent van de rwzi. Aangezien in de rwzi (Carrousel®, nabezinking) reeds P-verwijdering plaatsvindt, zal de Me/o-P-verhouding gedefinieerd ten opzichte van het influent van de rwzi lager zijn. Indien globaal wordt aangenomen dat 50% P wordt verwijderd in Carrousel®/nabezinking impliceert dit een halvering van de Me/o-P-verhoudingen, indien deze worden betrokken op het influent van de rwzi (jaargemiddelde P-gehalte influent rwzi in 1991 bedroeg 11 mg/l P, het gemiddelde P-gehalte in het effluent van de nabezinktank was slechts bekend voor de periode januari-juli 1991 en bedroeg 3,5 mg/l P).

Tabel 7 - Kwaliteitsgegevens influent/effluent DynaSand filter met ijzerdosering; zand 0,8-1,25 mm

	influent DynaSand filter*	effluent DynaSand filter	rendement** (%)
troebelings (NTU):			
- gemiddeld	4-10	2-4	
zwevend stof (mg/l):			
- gemiddeld	8	5	38
- minimum	1	1	
- maximum	23	13	
tot-P (mg/l):			
- gemiddeld	4,2	1,5	64
- minimum	2,7	0,5	
- maximum	6,0	2,6	
o-P (mg/l):			
- gemiddeld	3,9	0,7	82
- minimum	2,3	0,03	
- maximum	6,0	1,6	
vlokmiddeldosering (13,5% Fe) (mg/l)	44-125		
filtratiesnelheid (m/h)	8-14		

* = effluent van de nabezinktank

** = rendement betrokken op gemiddelde kwaliteit

De figuren 20, 21 en 22 zijn gegenereerd uit de figuren 18 en 19 en zijn een weergave van de behaalde verwijderingsrendementen voor totaal-P, als functie van de gehanteerde Me/o-P-verhouding.

Uit de tabellen en figuren kan het volgende worden afgeleid:

- toepassing van aluminium leidt tot slechte P-verwijderingsrendementen (10-30%);
- toepassing van een ijzerdosering leidt bij Me/o-P-verhoudingen vanaf 1,4 tot goede verwijderingsrendementen (70-90%);
- bij ijzerdosering en Me/o-P-gehalten > 1,4 is het P-gehalte in het effluent kleiner dan 1 mg/l P.

Tabel 8 - Kwaliteitsgegevens influent/effluent DynaSand filter met ijzerdosering; zand 1-2 mm

	influent DynaSand filter*	effluent DynaSand filter	rendement** (%)
troebeling (NTU):			
- gemiddeld		1-4	
zwevend stof (mg/l):			
- gemiddeld	11	2	82
- minimum	1	<1	
- maximum	24	5	
tot-P (mg/l):			
- gemiddeld	2,0	0,6	71
- minimum	1,1	0,18	
- maximum	3,8	1,2	
o-P (mg/l):			
- gemiddeld	1,6	0,15	91
- minimum	0,6	0,03	
- maximum	3,3	0,46	
vlokmiddeldosering (13,5% Fe) (mg/l)	87		
filtratiesnelheid (m/h)	14-17		

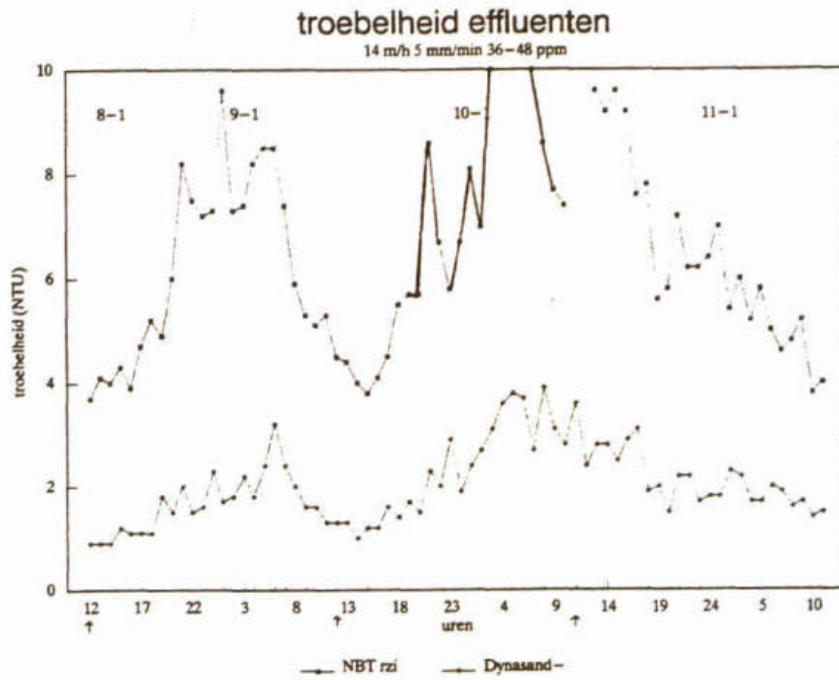
* = effluent van de nabezinktank

** = rendement betrokken op gemiddelde kwaliteit

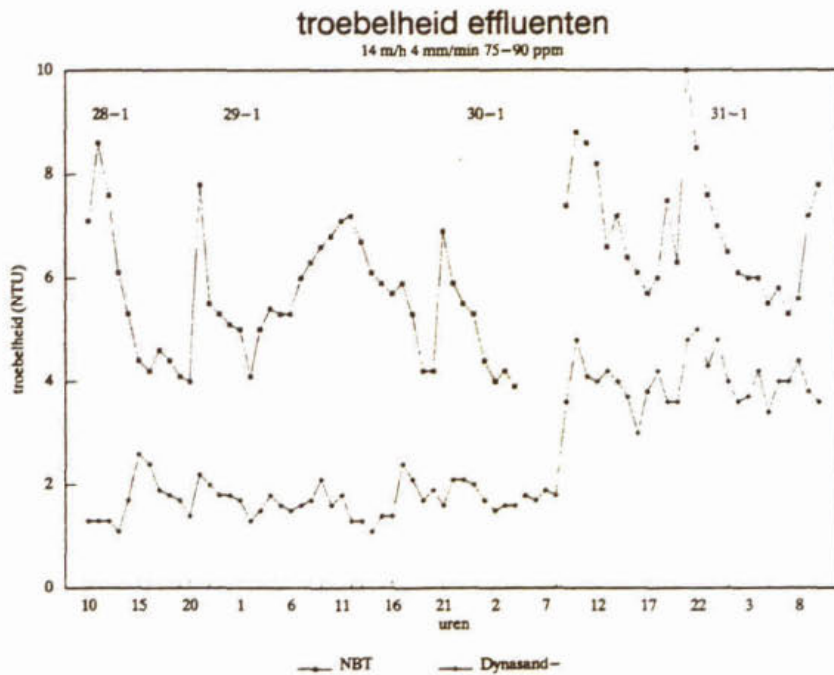
conclusie periode 2

Vlokkingsfiltratie in een DynaSand filter is een goede techniek voor de verwijdering van fosfaat. Bij een filtratiesnelheid van 14 m/h en een P-gehalte tot 5 mg/l in het effluent van de nabezinktank en een Fe³⁺ dosering met Me/o-P-verhoudingen >1,4 leidde tot verwijderingsrendementen voor totaal-P van 70 tot 90%. Hierbij werd een P-gehalte in het effluent < 1 mg/l bereikt.

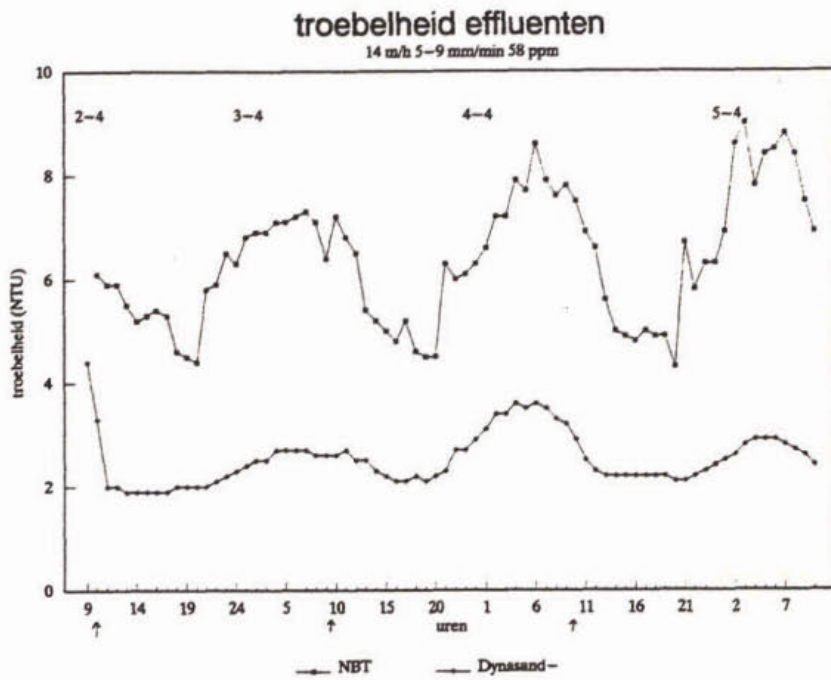
In deze situatie, waarbij het effluent van de nabezinktank over het DynaSand filter wordt geleid, is de maximale filtratiesnelheid van het DynaSand filter afhankelijk van RWA. Aangezien RWA slechts een gedeelte van de tijd optreedt, kan een hogere ontwerpfiltratiesnelheid worden aangehouden dan in de situatie beschreven in periode 1. Het debiet over de korrelreactor, en derhalve de filtratiesnelheid, in periode 1 werd immers constant gehouden door recirculatie.



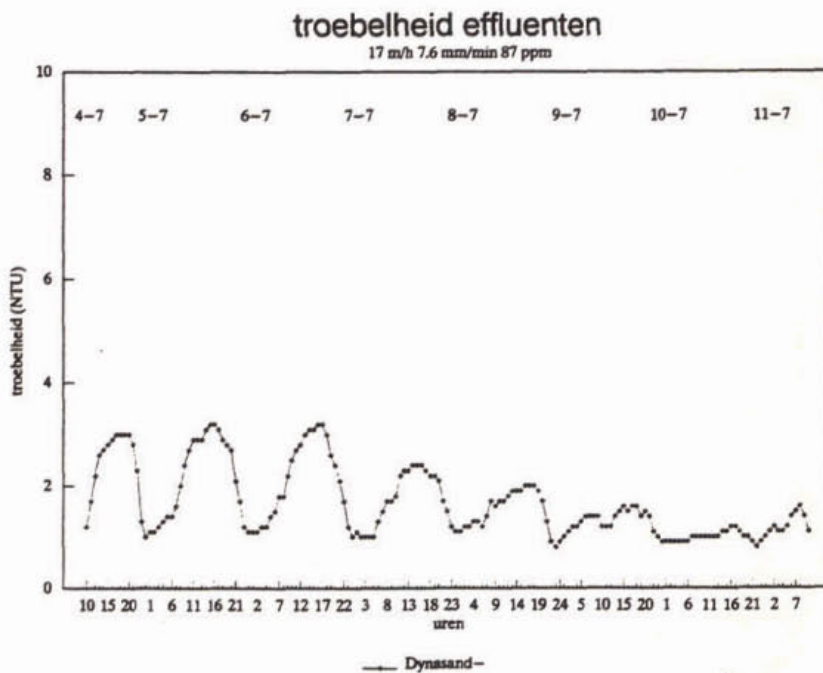
Figuur 13. Troebelheid influent - effluent DynaSand filter (08/01-11/01)



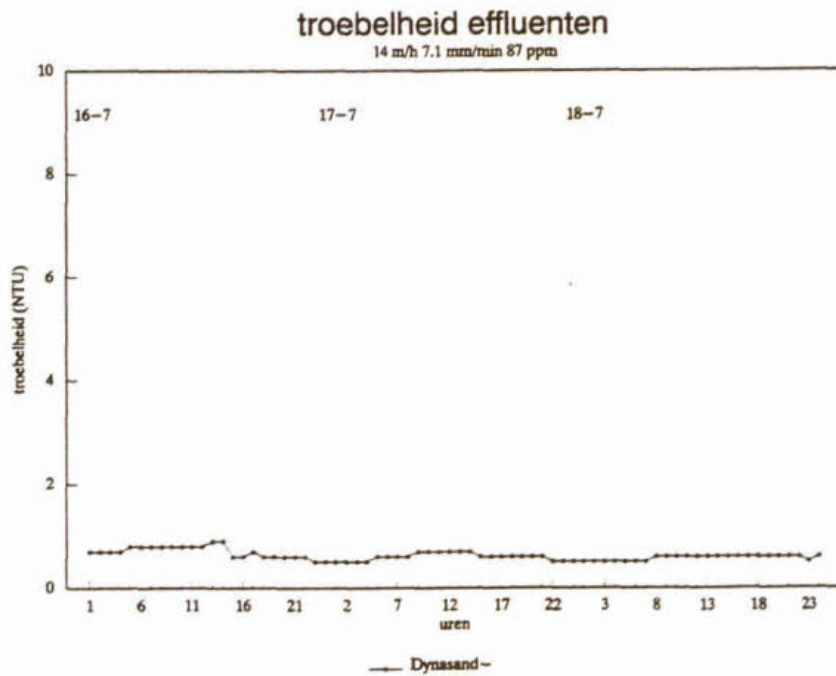
Figuur 14. Troebelheid influent - effluent DynaSand filter (28/01-31/01)



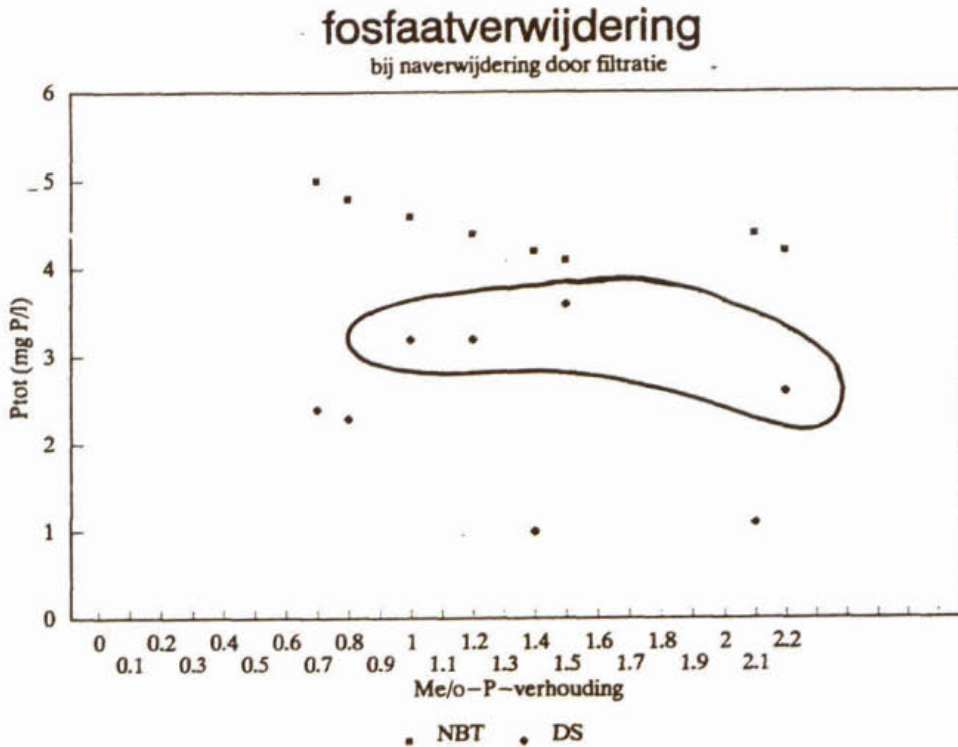
Figuur 15. Troebelheid influent - effluent DynaSand filter (02/04-05/04)



Figuur 16. Troebelheid effluent DynaSand filter (04/07-11/07)



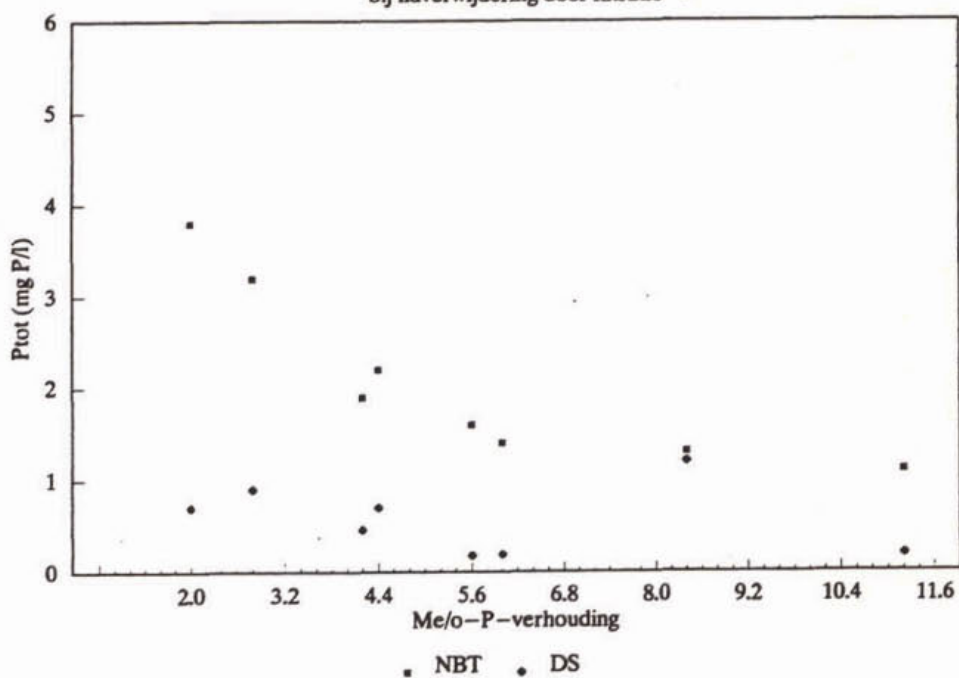
Figuur 17. Troebelheid effluent DynaSand filter (16/07-18/07)



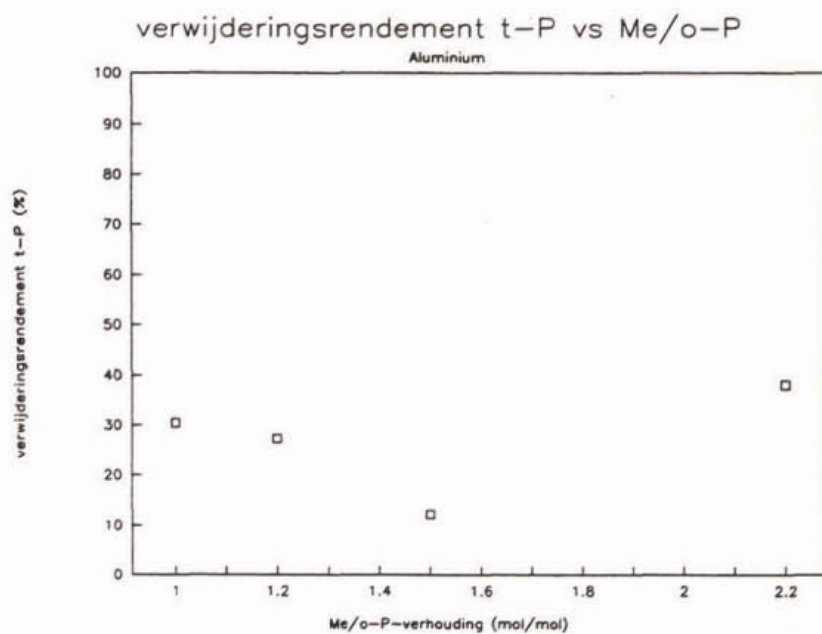
Figuur 18. Fosfaatverwijdering bij Me/o-P-verhoudingen < 2;
zand 0,8-1,25 mm; de omcirkelde metingen betreffen
Al-dosering, overig Fe-dosering

fosfaatverwijdering

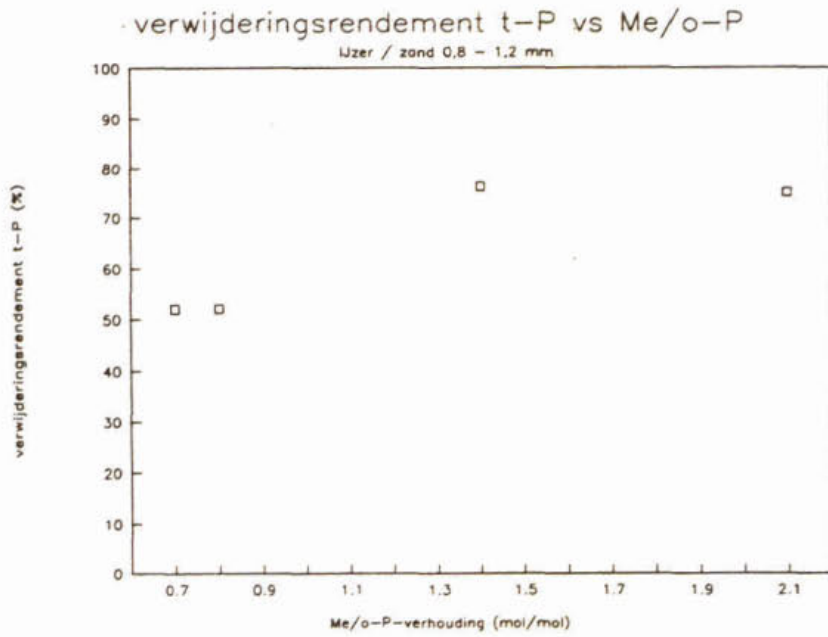
bij naverwijdering door filtratie



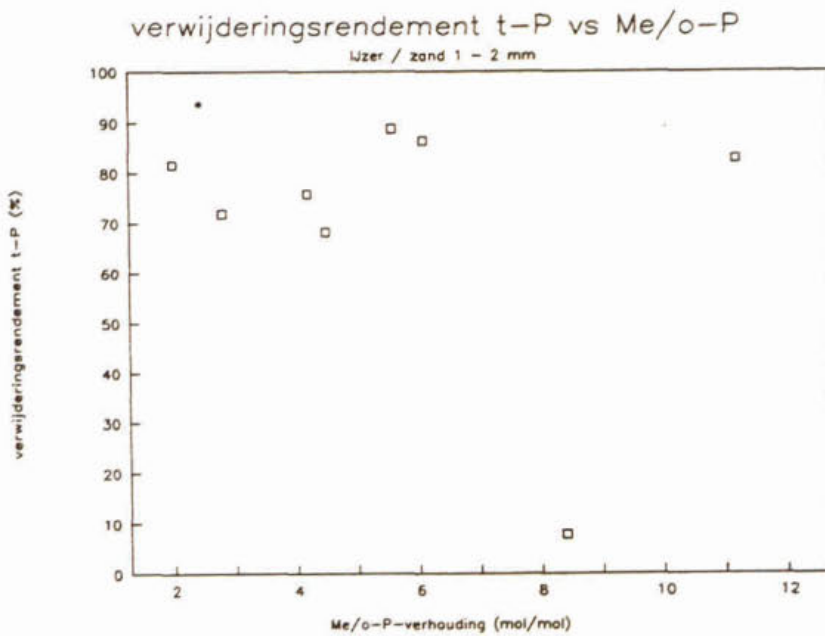
Figuur 19 . Fosfaatverwijdering bij Me/o-P-verhoudingen > 2; zand 1-2 mm, Fe-dosering



Figuur 20. Fosfaatverwijderingsrendement als functie van de Me/o-P-verhouding; Al-dosering; zand 0,8-1,25 mm



Figuur 21. Fosfaatverwijderingsrendement als functie van de Me/o-P-verhouding; Fe-dosering; zand 0,8-1,25 mm



Figuur 22. Fosfaatverwijderingsrendement als functie van de Me/o-P-verhouding; Fe-dosering; zand 1-2 mm

6 VERKENNING VAN DE MOGELIJKHEDEN VAN DYNASAND FILTRATIE VOOR DE TERTIAIRE AFVALWATERZUIVERING

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de mogelijkheden voor implementatie van DynaSand filtratie voor de tertiaire zuivering van afvalwater. In de huidige rioolwaterzuivering wordt op diverse locaties gedefosfaateerd. In verband met de op handen zijnde verscherpte regelgeving ten aanzien van de P-eis in het effluent van de rwzi's zal nadere aandacht aan aanvullende P-verwijderingstechnieken besteed moeten worden. In dit kader wordt hier aandacht besteed aan diverse vormen van filtratie.

6.2 Praktijk van defosfateren

In de toekomst zal de effluenteis voor het P-gehalte worden verscherpt. Zie hiervoor bijlage 6. Dit betekent dat bij een groot aantal rioolwaterzuiveringsinrichtingen aanvullende maatregelen moeten worden getroffen.

Indien in een afvalwaterzuivering niet wordt gedefosfaateerd, varieert het P-gehalte in het effluent in de huidige situatie globaal tussen 5 en 10 mg/l.

In de praktijk wordt op een aantal locaties gedefosfaateerd, bijvoorbeeld door chemische precipitatie van fosfaat door toevoeging van ijzer- of aluminiumzouten, of door biologische defosfatering.

De P-gehalten in het effluent worden hierdoor gereduceerd; echter voor het bereiken van de verscherpte grenswaarde voor P zullen mogelijk ook hier aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn.

In eerste instantie lijkt het voor de hand liggend, indien mogelijk, aan de P-eisen te voldoen door P-verwijdering in de bestaande zuiveringen te integreren dan wel verder te optimaliseren, zoals met chemische precipitatie, bijvoorbeeld in de voorbezinktank of simultaan geschiedt. Om diverse redenen echter kan het toepassen van een filtratiefase interessant zijn:

- 1 indien de P-eis, ondanks integratie van P-verwijdering niet wordt gehaald, is aanvullende zuivering nodig, waarvoor filtratie een zeer goede mogelijkheid is;
- 2 naast verscherping van de P-eis is eveneens een verscherping van de N-eis voor het effluent van rwzi's op handen. Afhankelijk van het type biologische zuivering zal in het biologische deel van het afvalwaterbehandelingsproces nitrificatie/denitrificatie optreden. Een dergelijk proces zou door simultaan defosfateren mogelijk negatief worden beïnvloed waardoor bijvoorbeeld P-verwijdering door middel van filtratie van effluent van de nabezinktank interessant wordt.

6.3 Filtratietypen

Grofweg kunnen de verschillende vormen van filtratie worden ingedeeld in twee typen:

- discontinue filtratie:
 - * gravitatiefiltratie;
 - * drukfiltratie;
- continue filtratie (DynaSand filtratie).

Hieronder wordt kort ingegaan op bovengenoemde filtratietechnieken in relatie tot de drogestofbelasting.

De P-belasting van de filtratiefase na de nabezinktank wordt sterk beïnvloed door de mate waarin reeds in de primaire en secundaire zuivering (biologisch c.q. chemisch) P-verwijdering plaatsvindt. Indien géén P-verwijdering plaatsvindt in het voortraject zal de filtratiefase als vlokkingfiltratie (met dosering van chemicaliën) uitgevoerd moeten worden.

In dit geval biedt continue-filtratie het specifieke voordeel van een hoge te verwerken drogestofbelasting, zonder beperking van looptijden. Met name voor de verwijdering van $\text{Fe}(\text{OH})_3/\text{FePO}_4$ -vlokken met een lage soortelijke dichtheid (volumineuze vlok) leidt dit in een conventionele discontinue filtratiefase tot korte looptijden (bij een hoger P-gehalte, mogelijk zelfs tot enkele uren).

Daarnaast resulteren hydraulische (RWA-afvoer) en kwalitatieve variaties van het nabezonken water in een wisselende belasting van de nageschakelde tertiaire filtratie. Hierdoor wordt het bovengeschetste beeld versterkt.

Een systeem met een hoge intrinsieke vlokberging is dan onontbeerlijk. Continue filtratie is in dergelijke situaties een aantrekkelijke keuze.

Indien wél P-verwijdering plaatsvindt in de primaire- en secundaire zuiveringstrappen, maar onvoldoende, is de belasting van de filtratietrap aanzienlijk lager. Voor de polijstingsfiltratie blijft de keuze voor discontinue of continue filtratie dan open.

In deze situatie zijn kosten, eisen en wensen ten aanzien van de bedrijfsvoering doorslaggevend.

6.4 Vervolgonderzoek

Door de specifieke voordelen van DynaSand filtratie vanwege de hoge toelaatbare drogestofbelasting, biedt dit filter goede perspectieven voor de verwijdering van fosfaat in de tertiaire afvalwaterbehandeling.

Gebaseerd op het onderzoek in Westerbork verdienen de volgende punten nadere aandacht in een mogelijk vervolgonderzoek:

- 1 maximale drogestofbelasting in relatie tot de gewenste effluentkwaliteit

De resultaten van een dergelijk onderzoek geven de eventuele noodzaak aan van een (gedeeltelijke) defosfatering in het voorgaande deel van de zuivering;

- 2 noodzaak en bruikbaarheid van een meet- en regelsysteem

Hiermee wordt beoogd het proces optimaal te bedrijven afhankelijk van de wisselende belastingen (hydraulisch, kwalitatief);

3 chemicaliën

Het gebruik van chemicaliën en de produktie van slib dienen te worden geminimaliseerd. Dit vereist een nadere studie om inzicht te krijgen in welk stadium van de zuivering P-verwijdering het meest efficiënt verloopt. In dit kader kan ook de toepassing van (aangezuurd) drinkwaterslib (Fe) worden onderzocht;

4 opschaling;

5 kosten.

Bij de rwzi te Westerbork is een vergelijkend onderzoek van DynaSand filtratie met conventionele snelfiltratie uitgevoerd. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen een DynaSand filter en de bestaande drukfilters ter behandeling van het effluent van de korrelreactor. Uit de resultaten van dit onderzoek kan het volgende worden geconcludeerd:

- 1 bij geoptimaliseerde procescondities voor het DynaSand filter (met name lage zandcirculatiesnelheid) is het behaalde filtratierendement vrijwel gelijk aan het rendement van de conventionele snelfilters. Hierbij dient te worden vermeld dat de maximale filtratiesnelheid voor het DynaSand filter 14 m/h bedraagt. De filtratiesnelheid in het drukfilter daarentegen is 20 m/h. Dit impliceert dat in het geval van DynaSand filtratie ca. 40% meer bedoppervlak vereist is;
- 2 DynaSand filtratie is een vorm van continue filtratie. Dit houdt in dat er onafgebroken een effluent- en spoelwaterstroom wordt gegenereerd. De effluentkwaliteit is bij constante influentkwaliteit onveranderlijk in de tijd. Bij het drukfilter wordt 18 h na aanvang van een filterrun verslechtering van de effluentkwaliteit geconstateerd. Hierbij stijgt de troebelingsgraad tot 2 à 4 maal de oorspronkelijke waarde. Verkorten van de lengte van de filterrun voorkomt deze problemen;
- 3 gedurende het onderzoek is gebleken dat het DynaSand filter in veel mindere mate gevoelig is voor pieken in de influentconcentratie dan de conventionele drukfilters. Een dergelijke piek in het influent is bij het drukfilter in afgevlakte vorm in het effluent zichtbaar. Bij het DynaSand filter is deze piek vrijwel niet meer terug te vinden in de effluentkwaliteit. Dit kan worden toegeschreven aan de vrijwel directe verwijdering van een aanzienlijk deel van de verontreinigingen zodra deze het filterbed intreden;
- 4 het spoelwaterverlies in het DynaSand filter bedraagt ca. 5% ten opzichte van 1% bij de conventionele filtratie. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door een hogere absolute spoelwaterproduktie per m² bedoppervlak per uur en anderzijds door de lagere opbrengst per m² per h in het DynaSand filter. Aangezien het spoelwater weer in het zuiveringsproces kan worden teruggeleid, is dit bij afvalwaterbehandeling van gering belang.

DynaSand filtratie als vlokkingfilter voor P-reductie.

Vanwege de onafgebroken afvoer van verontreinigingen kan in het DynaSand filter water met een hoge drogestofbelasting en eventuele vlokmiddeldosering worden behandeld.

In dit kader is vlokkingfiltratie in het DynaSand filter ter verwijdering van P uit het effluent van de nabezinktank toegepast. Hierbij zijn met dosering van Fe-zouten goede resultaten behaald.

Dergelijke typen influent leiden bij conventionele filtratie tot (mogelijk onaanvaardbaar) korte looptijden.

B I J L A G E N

BIJLAGE 1

Gegevens van de dubbellaags drukfilters

Snelfilter F108/109

-	aantal	:	2	
-	type	:	drukfilters	
-	systeem	:	neerwaartse	snelfiltratie
			(dubbellaags)	
-	capaciteit			
	. bij normaal bedrijf	:	100 m ³ /h	ieder
	. bij spoelen van het andere filter	:	200 m ³ /h	
-	diameter	:	2,5 m	
-	cylindrische hoogte	:	3 m	
-	oppervlaktebelasting			
	. bij normaal bedrijf	:	20 m/h	
	. bij spoelen van het andere filter	:	40 m/h	
-	filterbedsamenstelling	:	hydro-anthraciet,	zand en grind
-	hydro-anthraciet	:	bovenste laag	
	. fractie	:	1,6-2,5 mm	
	. laagdikte	:	0,8 m	
-	zand	:	onderste laag	
	. fractie	:	0,8-1,2 mm	
	. laagdikte	:	0,7 m	
-	grint	:	steunlaag	
	. fractie	:	1,7-2,2 mm	
	. laagdikte	:	0,1 m	

Elk filter is voorzien van een bodemplaat met 252 filternozzles.

-	spoelschema filters			
	. lucht	:	65 Nm/h,	10 minuten
	. water	:	25 m/h,	8 minuten
	. spoelwaterverbruik	:	18 m ³	per filterspoeling
-	maximum drukval over filterbed			
	. bij normaal bedrijf	:	ca. 0,5 bar	
	. bij spoelen van het andere filter	:	ca. 1,0 bar	
	. maximum situatie	:	2,0 bar	

Spoelwatertank V111

-	aantal	:	1	
-	volume	:	20 m ³	

Filtervoedingspompen (P106-P107)

Besturing

Continu bedrijf door middel van schakelaar in-uit op de schakelkast;
toerenregeling door middel van niveaumeting LCA1053/1054 in de over-
stortbakken van de korrelreactor door middel van frequentieregeling.
Medium wordt gepompt naar twee filters F108-F109 of naar één filter
indien het andere filter wordt teruggespoeld.

Signalering en beveiliging

Droogloopbeveiliging door middel van niveaumeting LCA1053/1054-LL in de overstortbakken van de korrelreactor.

Indicatie manometers PI1061/1071:

- pompen naar twee filters : niet vervuild: ca. 5 mwk
vervuild : 5-15 mwk
- pompen naar één filter : niet vervuild: ca. 9 mwk
vervuild : 9-19 mwk

Snelfilters (F108-F109)

Besturing

Discontinuu bedrijf.

Terugspoelen op commando van:

- drukverschilschakelaar PdISA1086-1096 (afstelling ca. 8 mwk)
- schakelklok (één maal per 24 uur)
- drukknop op schakelkast (handinschakeling)

Tegelijkertijd kan slechts één filter gespoeld worden.

Indien een spoelprogramma start op druk of met hand-startcommando wordt de eerstvolgende klokstart binnen 4 uur overgeslagen.

Signalering en beveiliging

Indicatie van de drukval over de filterkopbodempompen door middel van manometers PI1081/1091.

Indicatie van de aard van vervuiling van een filter door middel van manometers PI1061/1071 van de filtervoedingspompen P106-P107.

Spoelprogramma

De spoelprogramma's zijn voor beide snelfilters F108 en F109 identiek. Het spoelprogramma van snelfilter F108 is in lid 4.7.3.2. nader omschreven; voor snelfilter F109 moet in plaats van de 8 in de codering een 9 worden gelezen.

Besturing

- beginstand : kleppen XCV1081 en XCV1083 zijn geopend; kleppen XCV1082 en 1062, FCV1084 en 1085 zijn gesloten
- stap 1 :
 - starten spoelprogramma
 - voorwaarden:
 - . het filter is gedurende 4 uur niet gespoeld; (alleen bij klokstart)
 - . filter F109 wordt niet teruggespoeld
 - . LSA1111-H is aangesproken; (spoelwassertank voldoende)

- vol)
- stap 2 : openen van klep XCV1062 en klep XCV1082; de twee filtervoedingspompen pompen naar filter F109
 - stap 3 :
 - sluiten van klep XCV1081
 - het filter wordt gedraind tot vlak boven het filterbed; luchttoevoer vindt plaats via de balkeerterugslagklep boven het filter
 - tijdsduur: 10 minuten
 - stap 4 : klep XCV1083 sluit
 - stap 5 :
 - spoelluchtblower P110 start
 - klep FCV1084 opent hydraulisch vertraagd
 - stap 6 :
 - de spoellucht ontwijkt via de balkeerterugslagklep en eventueel via klep XCV1082
 - tijdsduur: 10 min.
 - stap 7 :
 - klep XCV1084 sluit
 - spoelluchtblower P110 stopt
 - het filterbed komt in ca. 2 min. in rust
 - stap 8 :
 - spoelwaterpomp P113 start
 - klep FCV1085 opent hydraulisch vertraagd
 - stap 9 :
 - na 8 min. sluit klep XCV1082
 - het filter vult zich met bedrijfswater
 - stap 10 :
 - na 2 min. sluit klep FCV1085; spoelwaterpomp P113 stopt; het filter is geheel met water gevuld
 - stap 11 : rusttijd 3 min.; het filterbed komt in rust
 - stap 12 :
 - klep XCV1081 opent
 - klep XCV1083 opent
 - stap 13 : start wachttijd ± 2 min.
 - stap 14 : filteren over beide filters; terugkeer naar beginstand

Signalering en alarmering

 Elke stap wordt pas geïnitieerd als de vorige stap beëindigd is.

Indien een stap in het programma of het gehele programma te lang duurt, volgt alarmmelding.

Het programma wordt dan geblokkeerd in de betreffende stap en niet beëindigd. Wel worden alle afsluiters gesloten behalve XCV1062, en de spoelwaterpomp en spoelluchtblower geblokkeerd.

Door het bedienen van de startdrukknop opnieuw gestart met het openen van klep XCV1081 en klep XCV1083. Als beide open zijn, wordt verder gegaan met stap 1. Het spoelprogramma van het andere filter wordt nog steeds geblokkeerd.

Zodra een startcommando wordt gegeven, volgt signalering op de schakelkast.

Spoelluchtblower (P110)

Besturing

Discontinuu, automatisch bedrijf in het terugspoelprogramma van de snelfilters, zie lid 4.7.

Onbelast aanlopen door middel van magneetventiel MV1102.

Signalering en beveiliging

Overdrukbeveiliging door middel van klep PSV1103.

Indicatie van de druk door middel van manometer PI1101: ca. 2-4 bar tijdens het spoelen afhankelijk van de vervuilingsgraad van het filter.

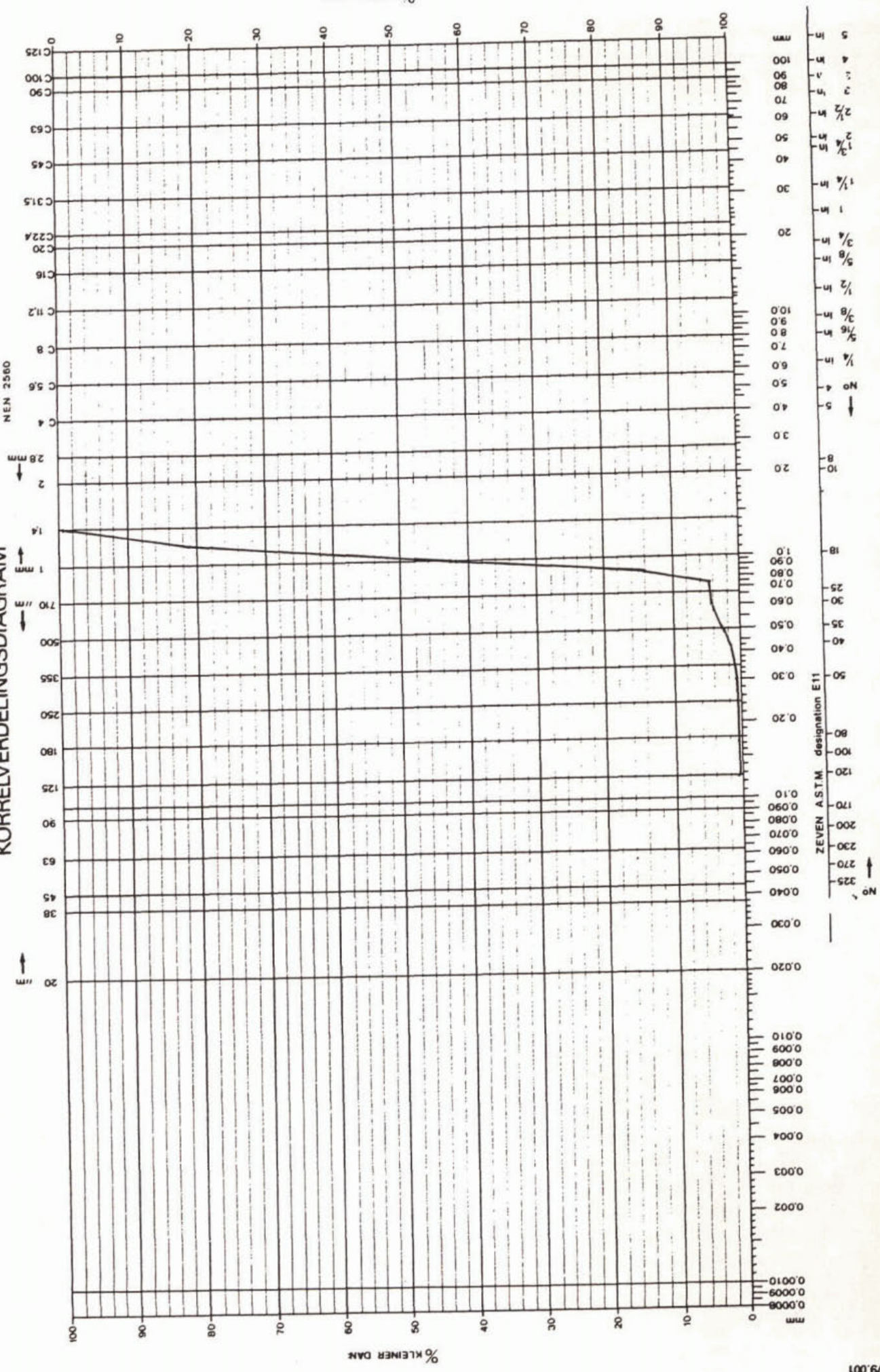
BIJLAGE 2

Zeefcurve van het korrelmateriaal DynaSand filter fractie 0,8-1,2 mm

opdrachtgever: lab. nr.: 90-178 (G) blad: 2/2
 Zuiveringsschap Drenthe dossier no.: E1075-01-001
 werk: Dyna Sand proeven datum: 19 september 1990
 te Westerbork monster: zand 0,8-1,25mm

KORRELVERDELINGSDIAGRAM

NEN 2560



Opdrachtgever: Zuiveringsschap Drenthe
Project : Dyna Sand proeven te Westerbork

Lab.rapp.nr.: 90-178 (G) BLAD: 1/2
Boekingsnr.: E1075-01-001
Datum : 19 september 1990

MONSTER(S): I : zand 0,8-1,25mm
II :
III:
IV :
V :

BEMONSTERD DOOR: DHV (ing H.Braakensiek) DATUM: 5 september 1990

GEVRAAGD: Onderzoek conform "Standaard RAW Bepalingen 1985" voor:
a) Korrelverdeling (proef 6.0).

PROCEDURES: a) conform "Standaard RAW Bepalingen 1985"
zie ook bijbehorende grafiek (blad 2/2)

RESULTATEN:

		Korrelverdeling in cum. % (m/m):				
Monsters----->>		I	II	III	IV	V
Op zeef ASTM E-11 *)	1,7 mm	0,0				
Op zeef Nen 2560-	1,4 mm	0,6				
Op zeef ASTM E-11 **)	1,18mm	20,9				
Op zeef Nen 2560-	1 mm	56,9				
..	850 um	86,0				
..	710 um	95,5				
..	600 um	95,3				
..	500 um	97,0				
..	425 um	98,5				
..	300 um	99,2				
..	250 um	99,3				
..	180 um	99,4				
..	150 um	99,4				
..	125 um	99,5				
Door zeef Nen 2560	125 um	0,5				

*) = #mesh no.12

**)= #mesh no.16

OPMERKING:

BIJLAGE 3A

Proefperiode en procescondities onderzoek DynaSand filter periode 1

Periode 1

DS-filter ter behandeling van het effluent van de korrelreactor; DS-filter parallel aan DM-filter.

Tabel B.1. - Procescondities periode 1

Periode	filtratie snelheid (m/h)	vlokmiddel- dosering * (mg/l)	zandcirculatie- snelheid (mm/min.)	
1	14/09-18/09	14	-	3
2	18/09-03/10	8	-	3
3	04/10-08/10	11	-	3
4	08/10-11/10	18	-	3
5	15/10-18/10	8	-	7
6	25/10-08/11	14	-	8
7	09/11-12/11	8	-	8
8	12/11-17/11	14	-	4
9	22/11-24/11	14	8	4
10	29/11-30/11	14	5	4
11	30/11-06/12	14	11	2
12	06/12-08/12	14	75	2

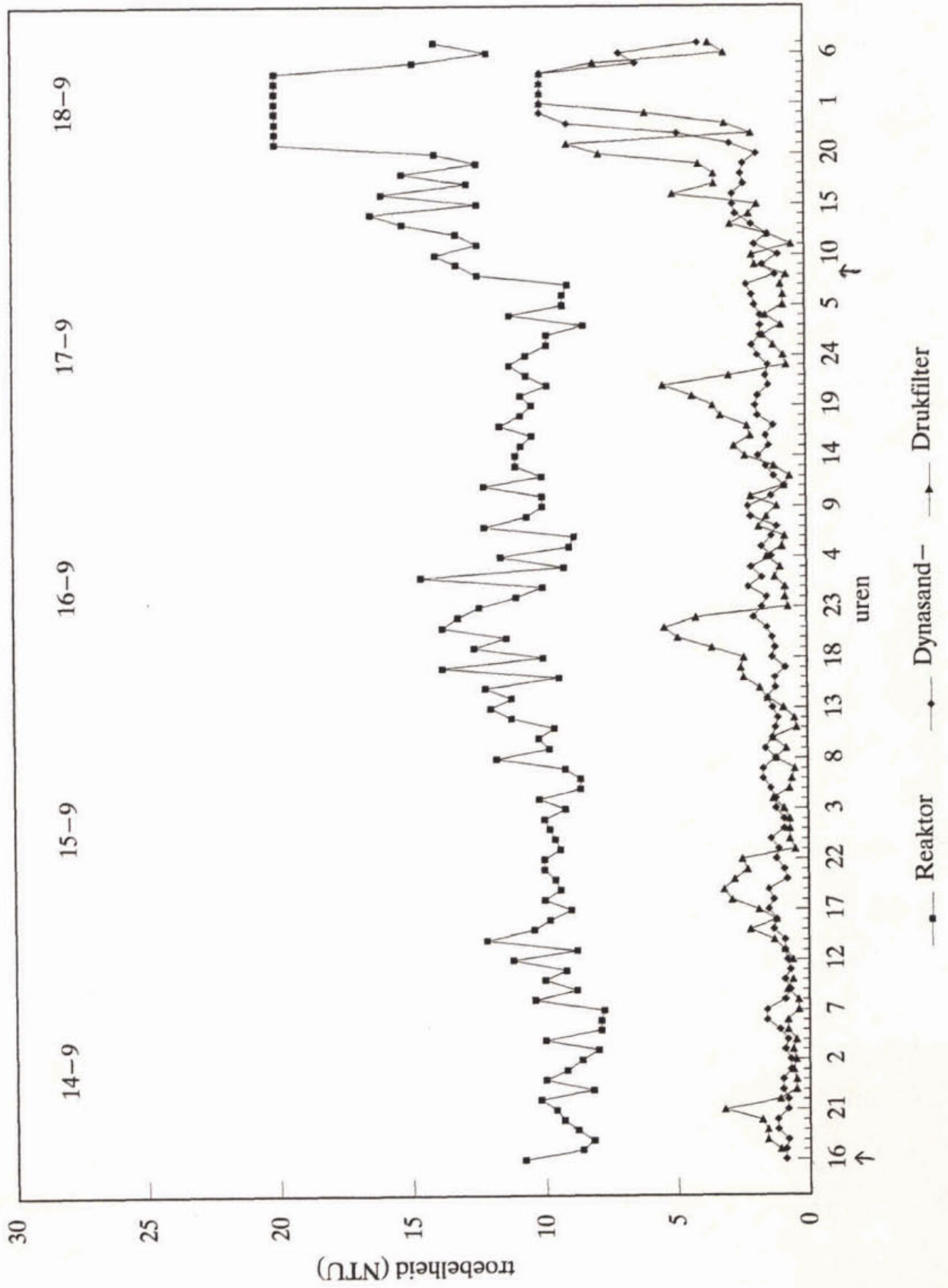
* Sachtoklar, 5,4% Aluminium

BIJLAGE 3B

Resultaten van het DynaSand filter en het drukfilter, periode 1

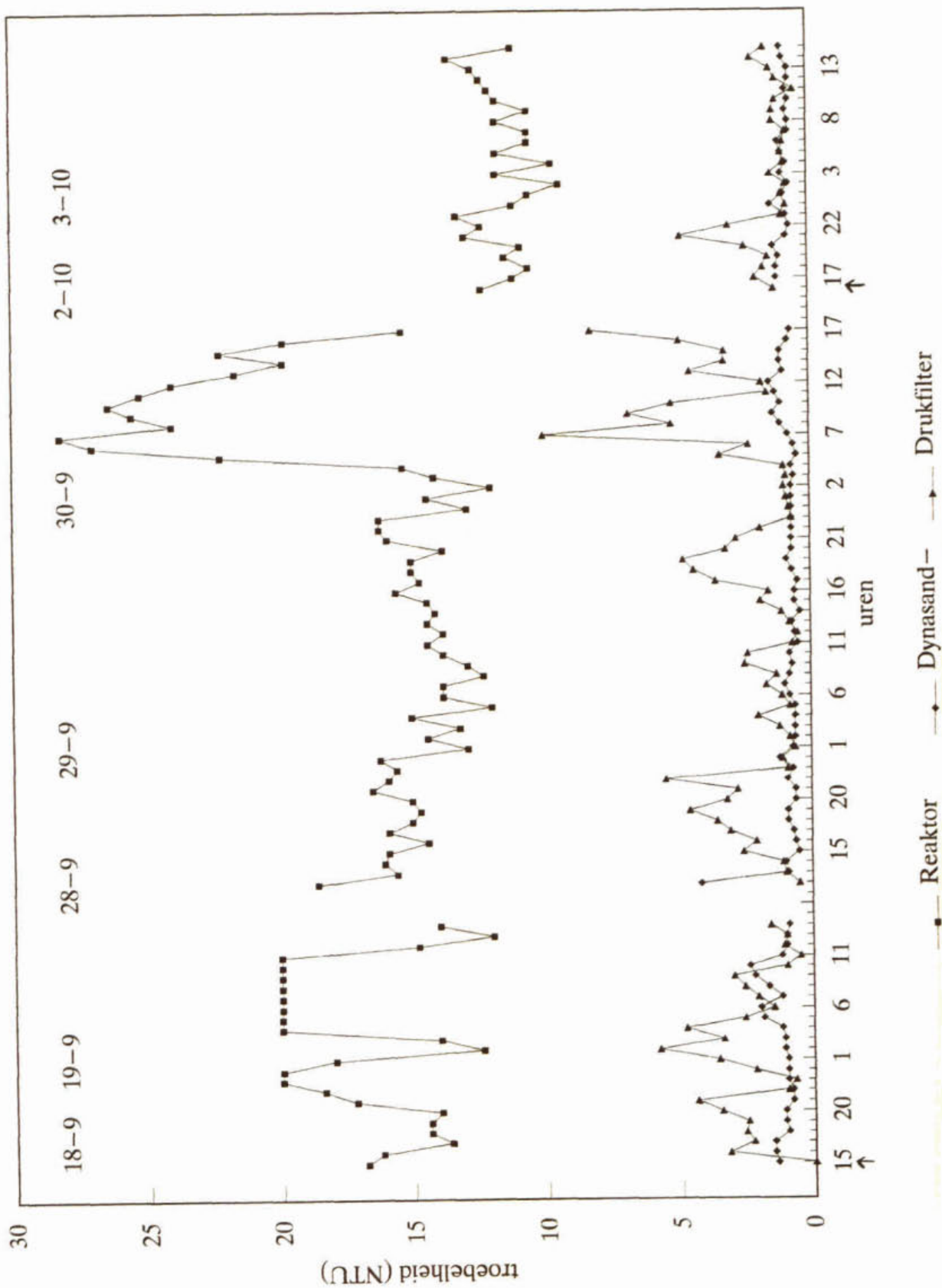
troebelheid effluenten

14 m/h 3mm/min



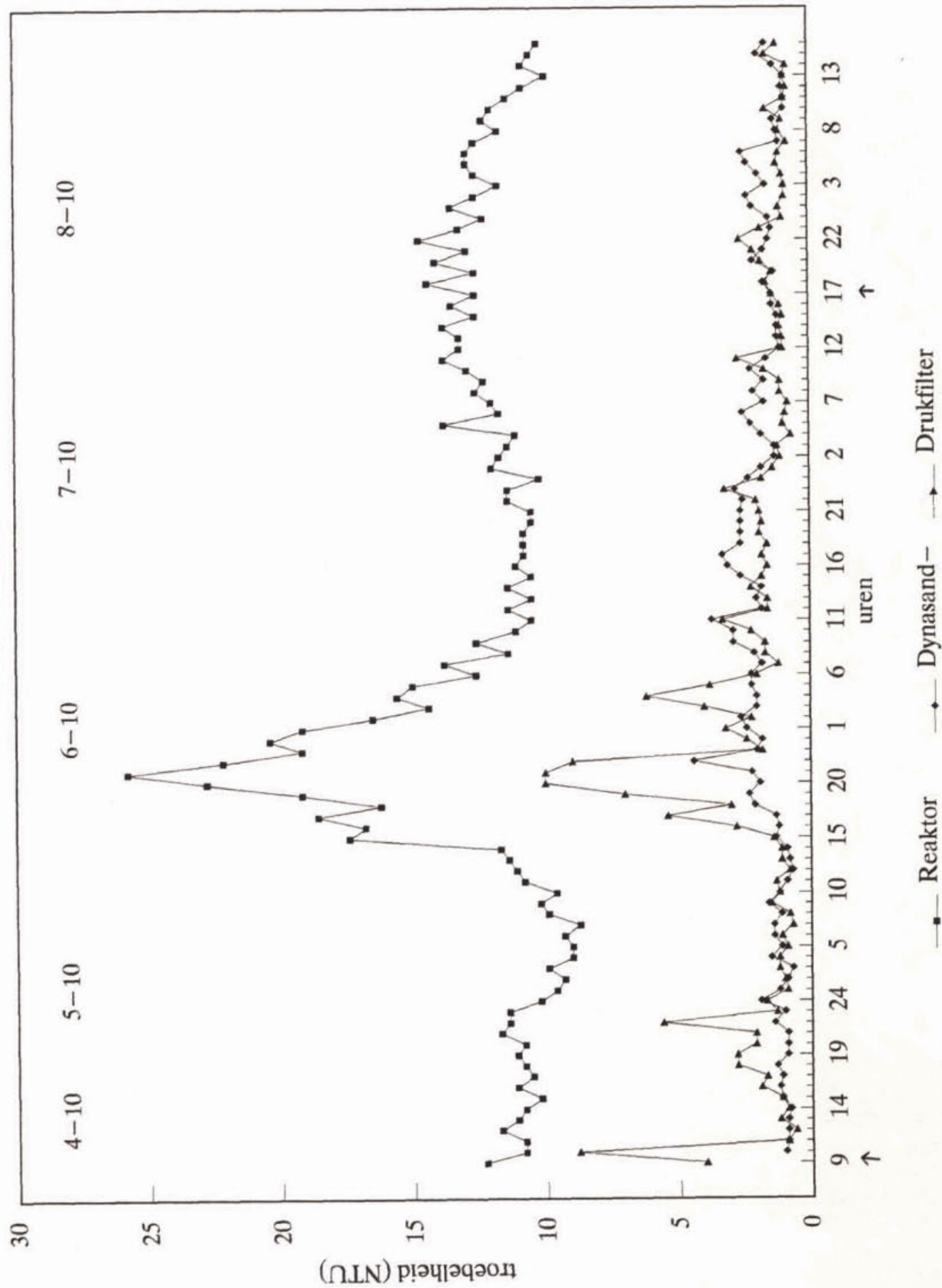
troebelheid effluenten

8 m/h 3mm/min



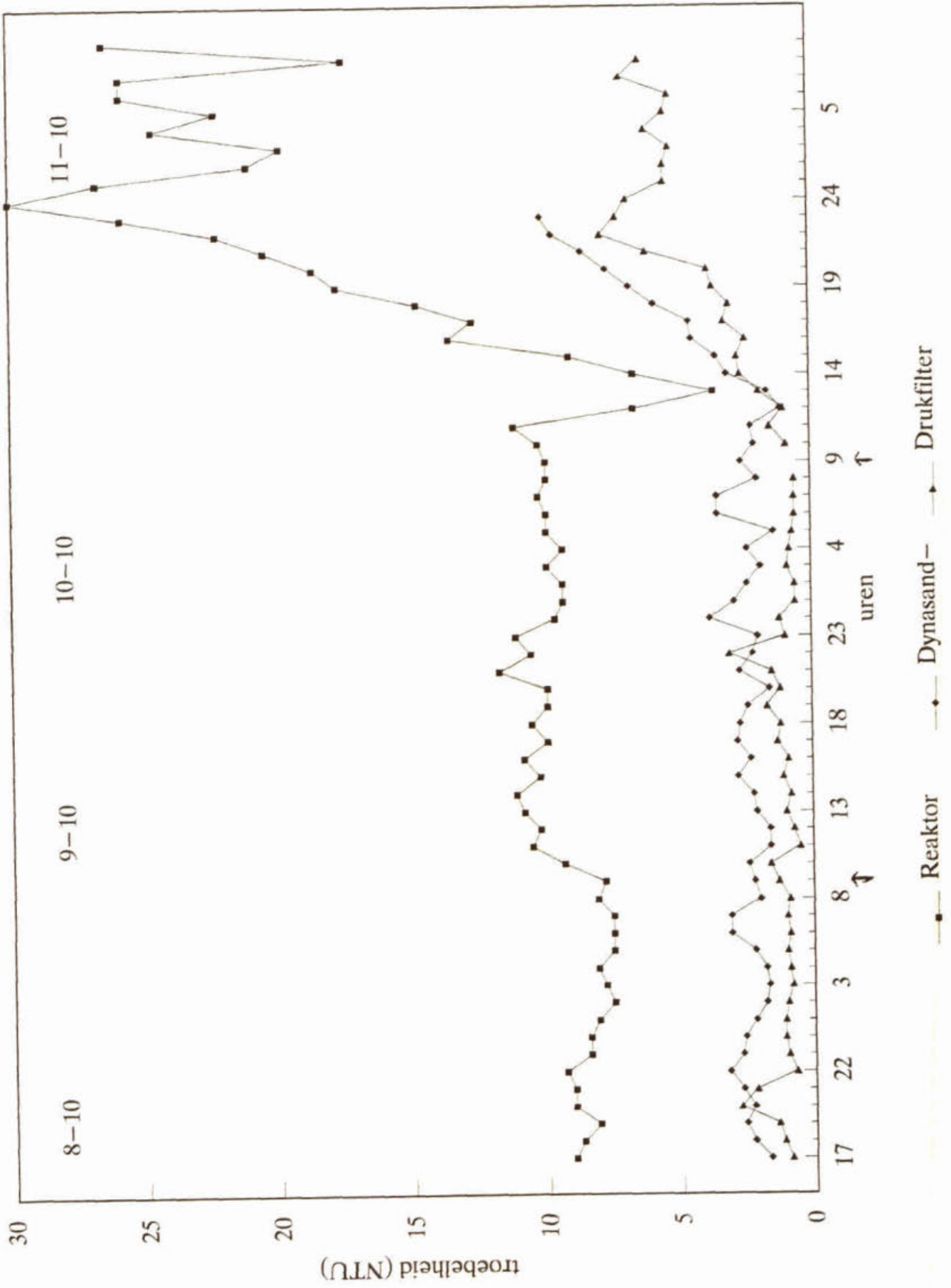
troebelheid effluenten

11 m/h 3 mm/min



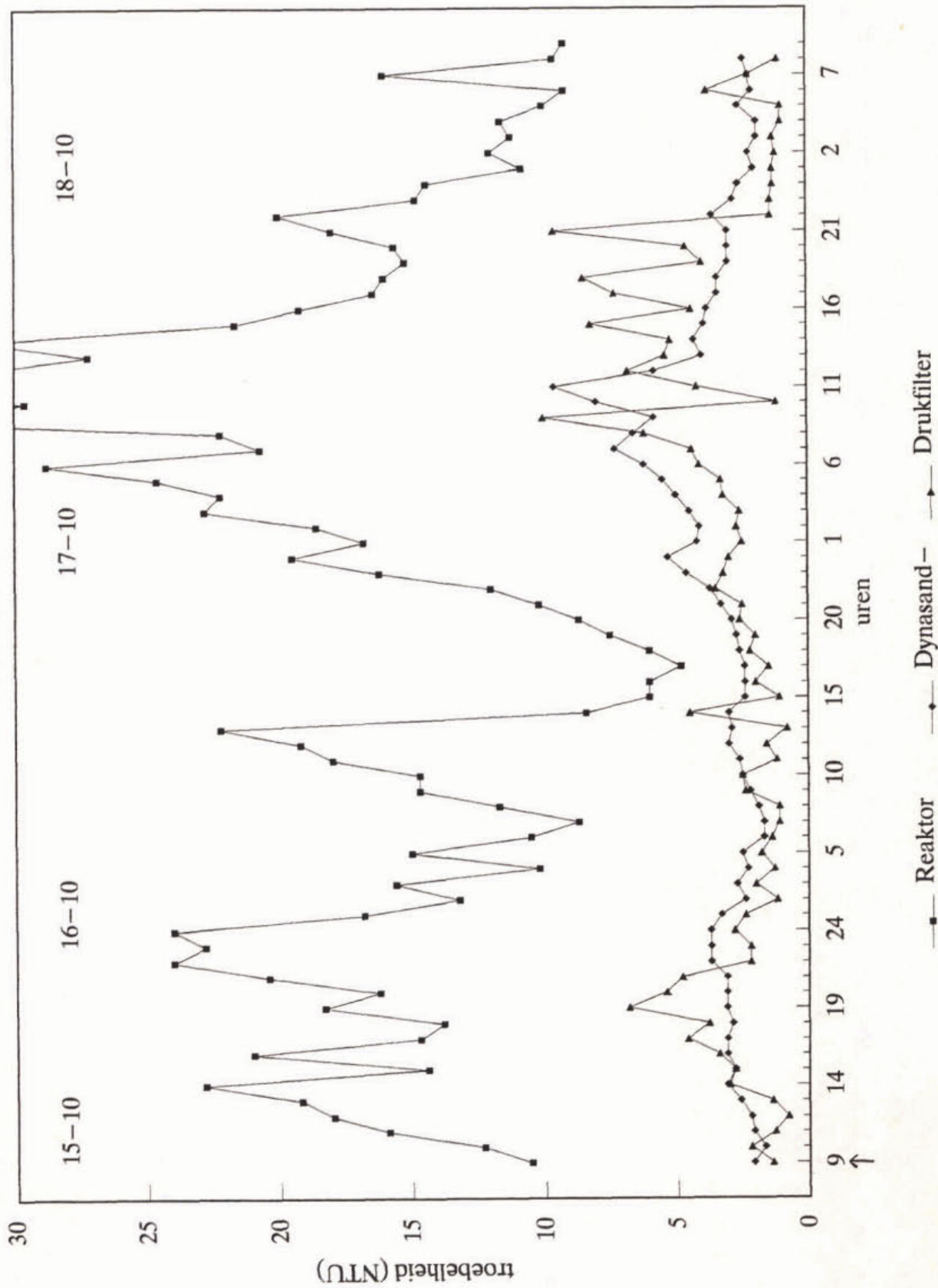
troebelheid effluenten

18 m/h 3mm/min



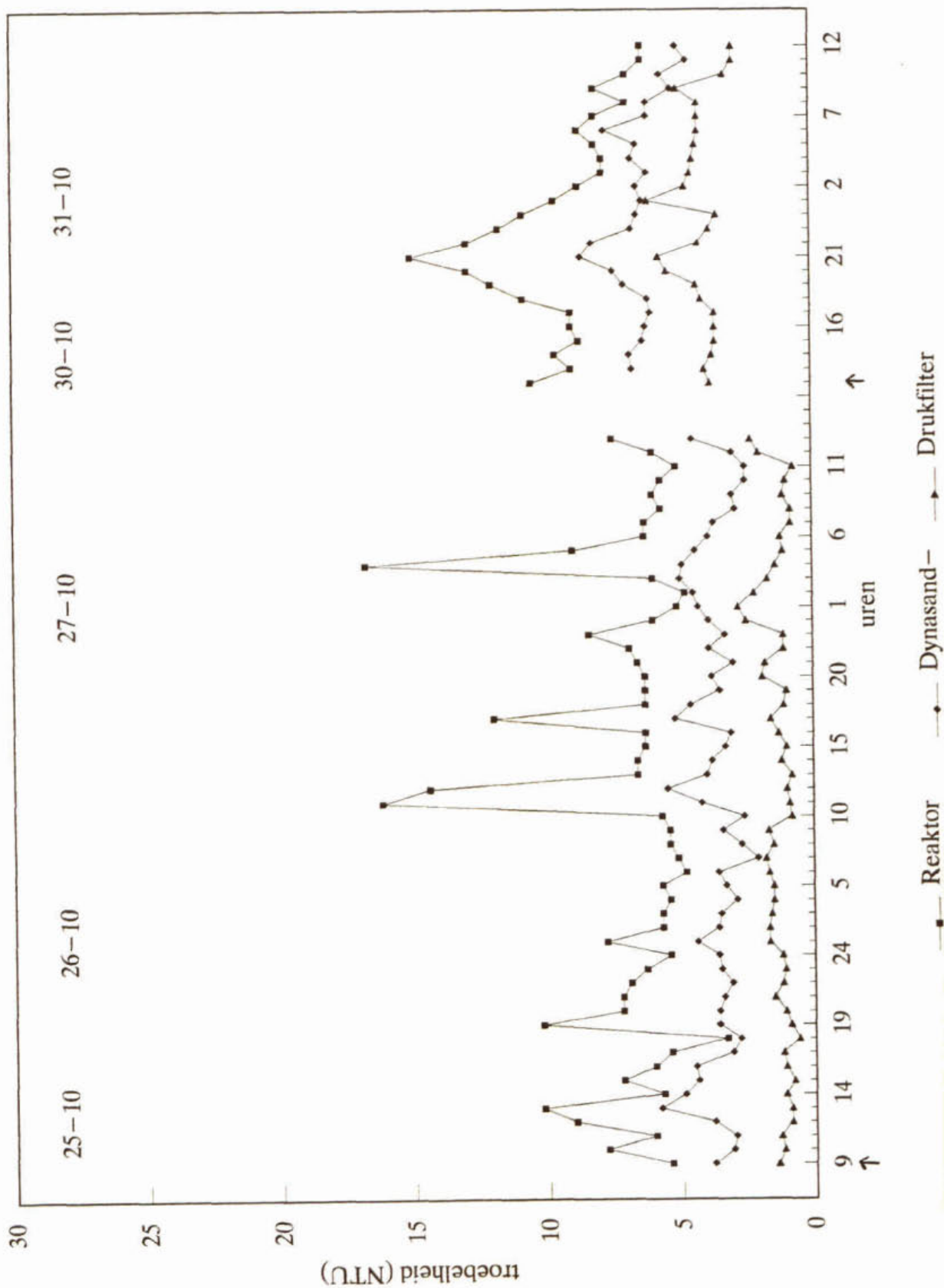
troebelheid effluenten

8 m/h 7.2 mm/min



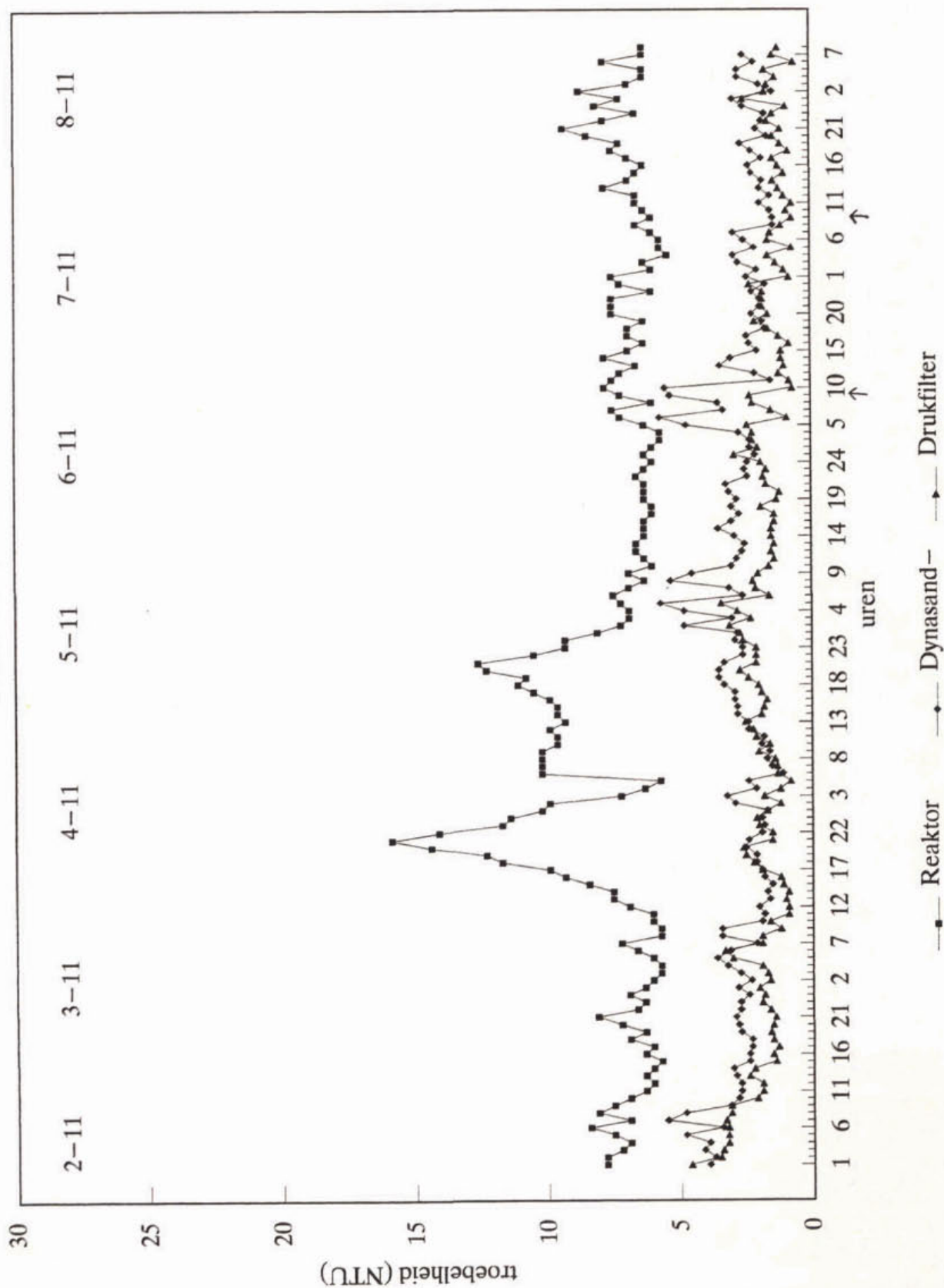
troebelheid effluenten

14 m/h 8 mm/min



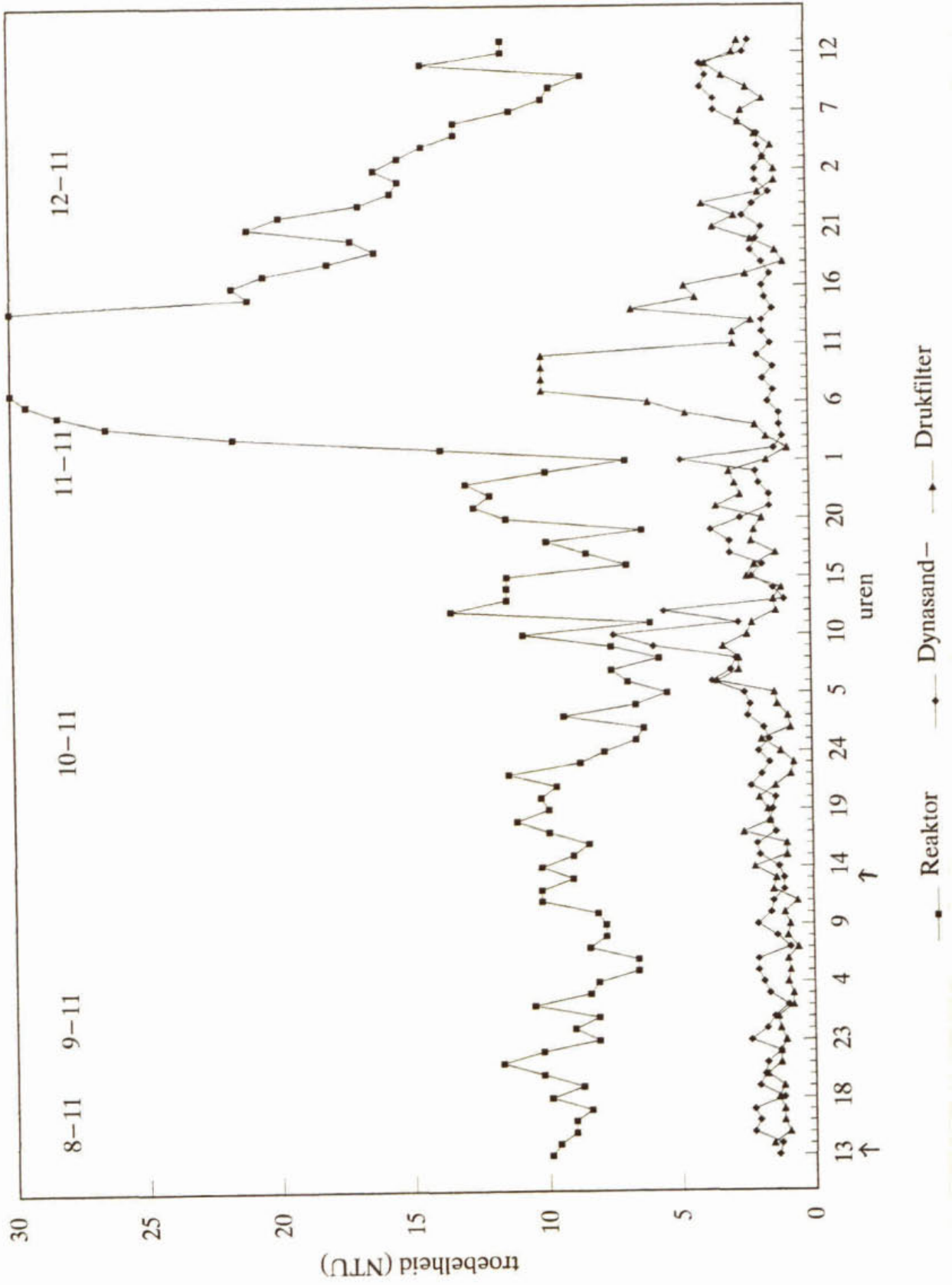
troebelheid effluenten

14 m/h 8 mm/min



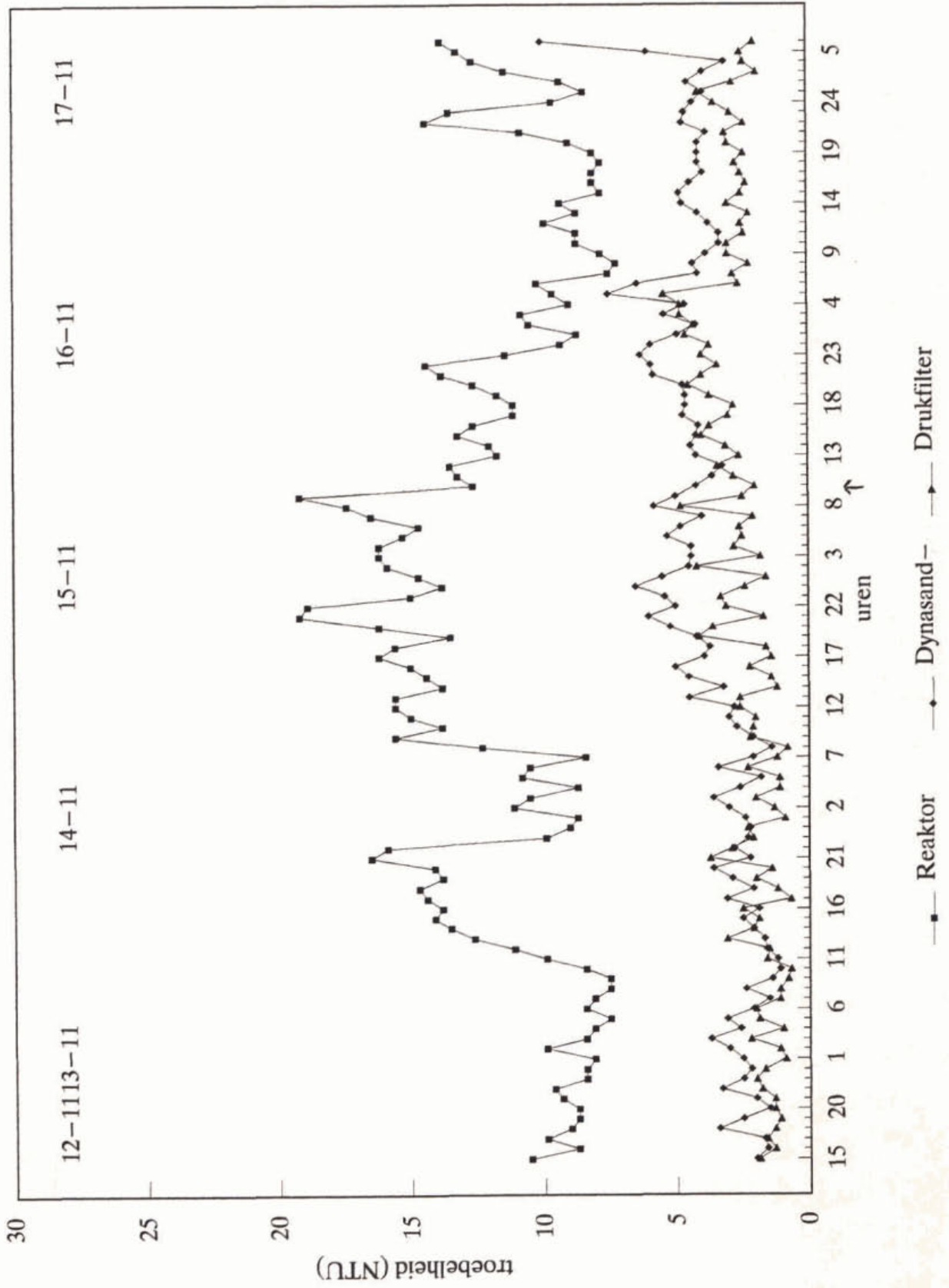
troebelheid effluenten

8 m/h 8mm/min



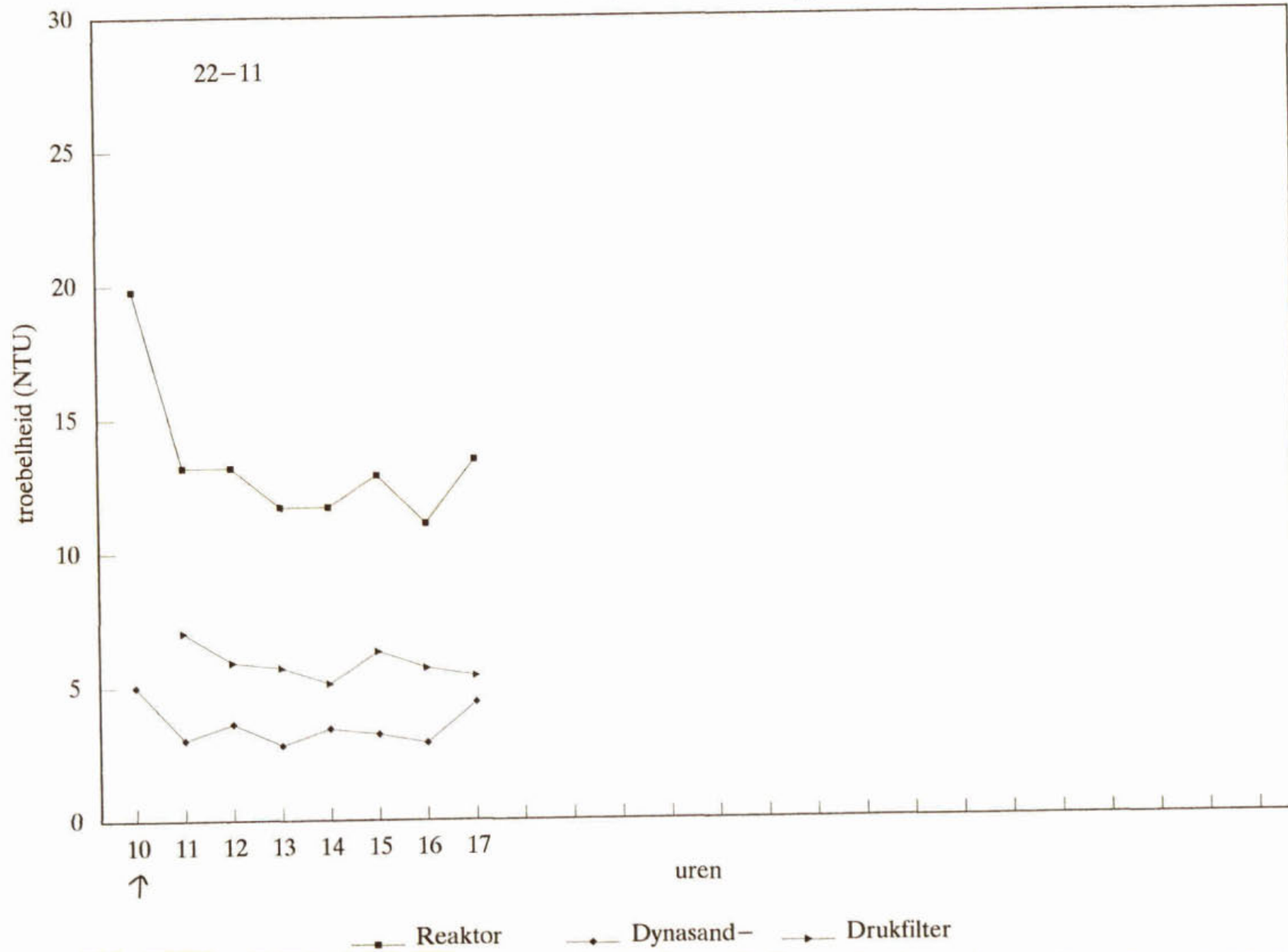
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min



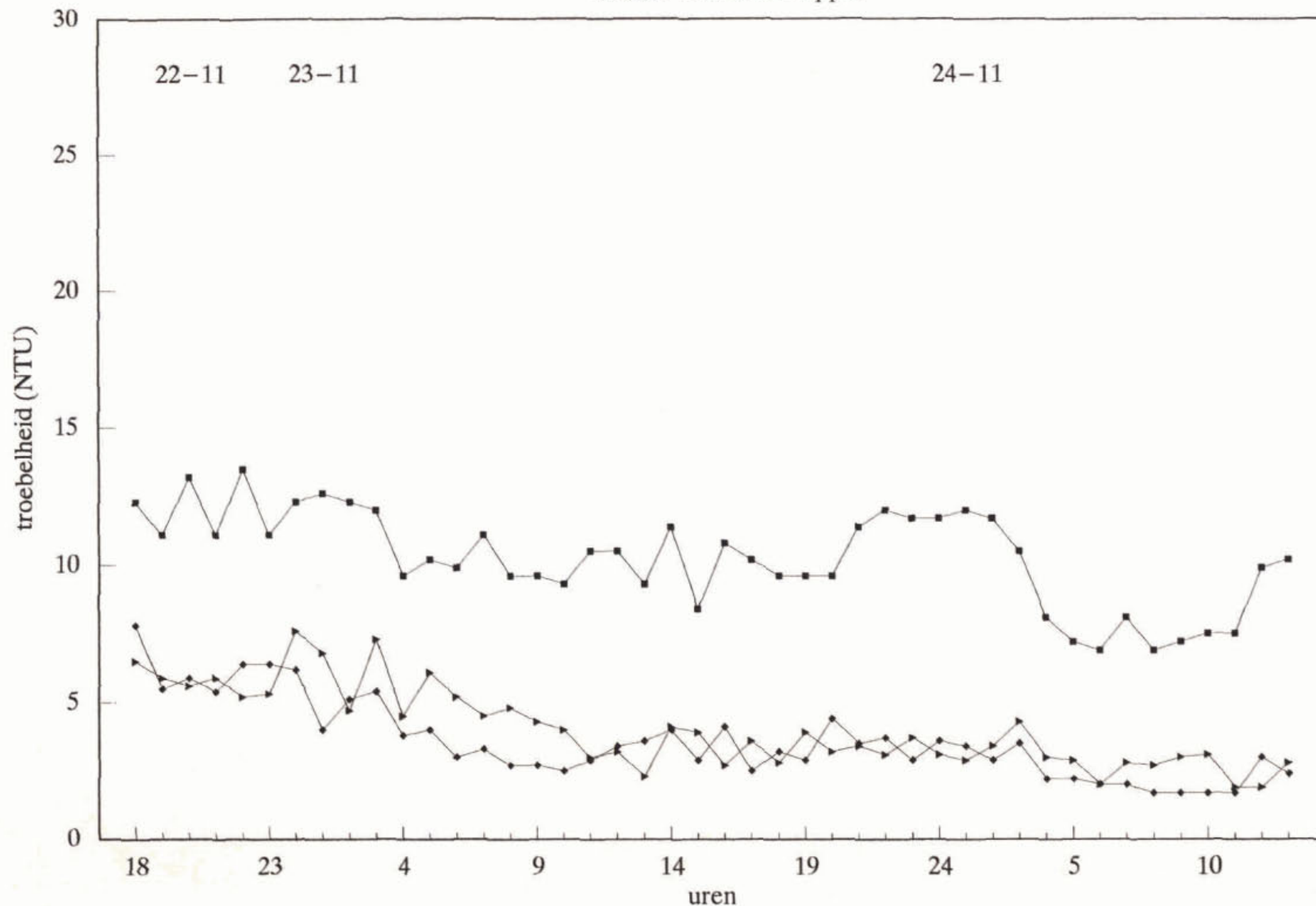
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min 15 ppm



troebelheid effluenten

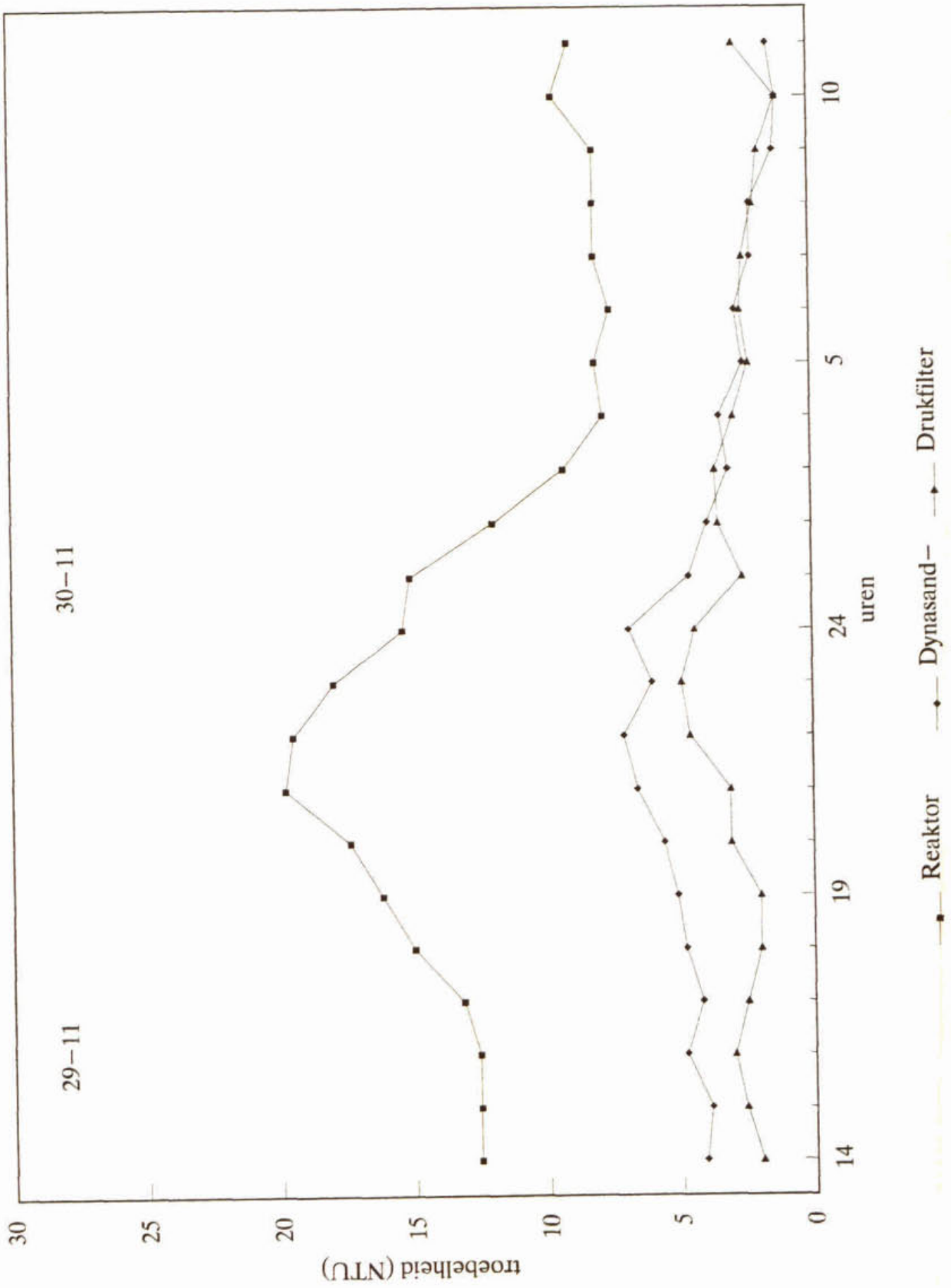
14 m/h 4 mm/min 8 ppm



■ Reaktor ◆ Dynasand ▲ Drukfilter

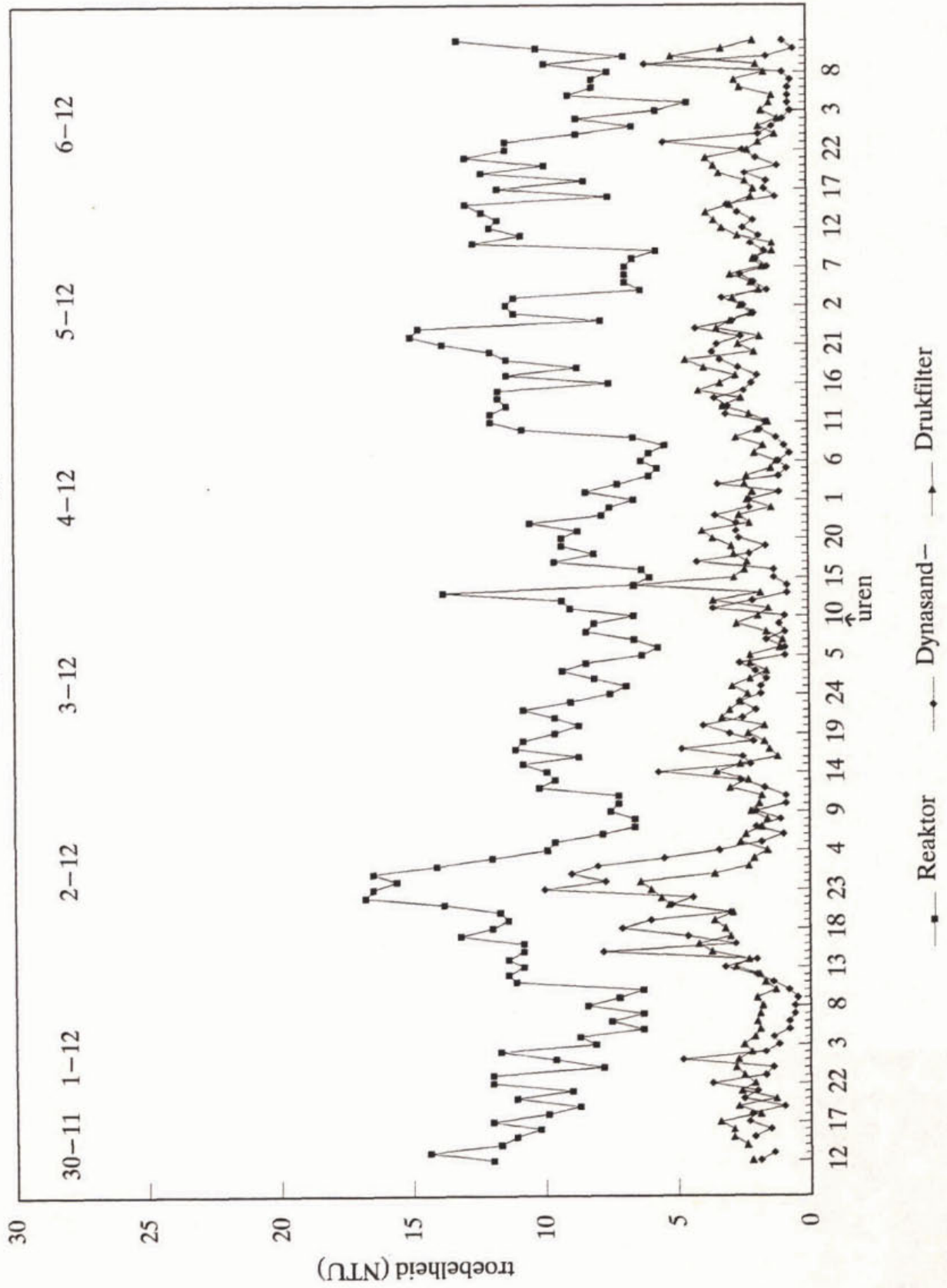
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min 5 ppm



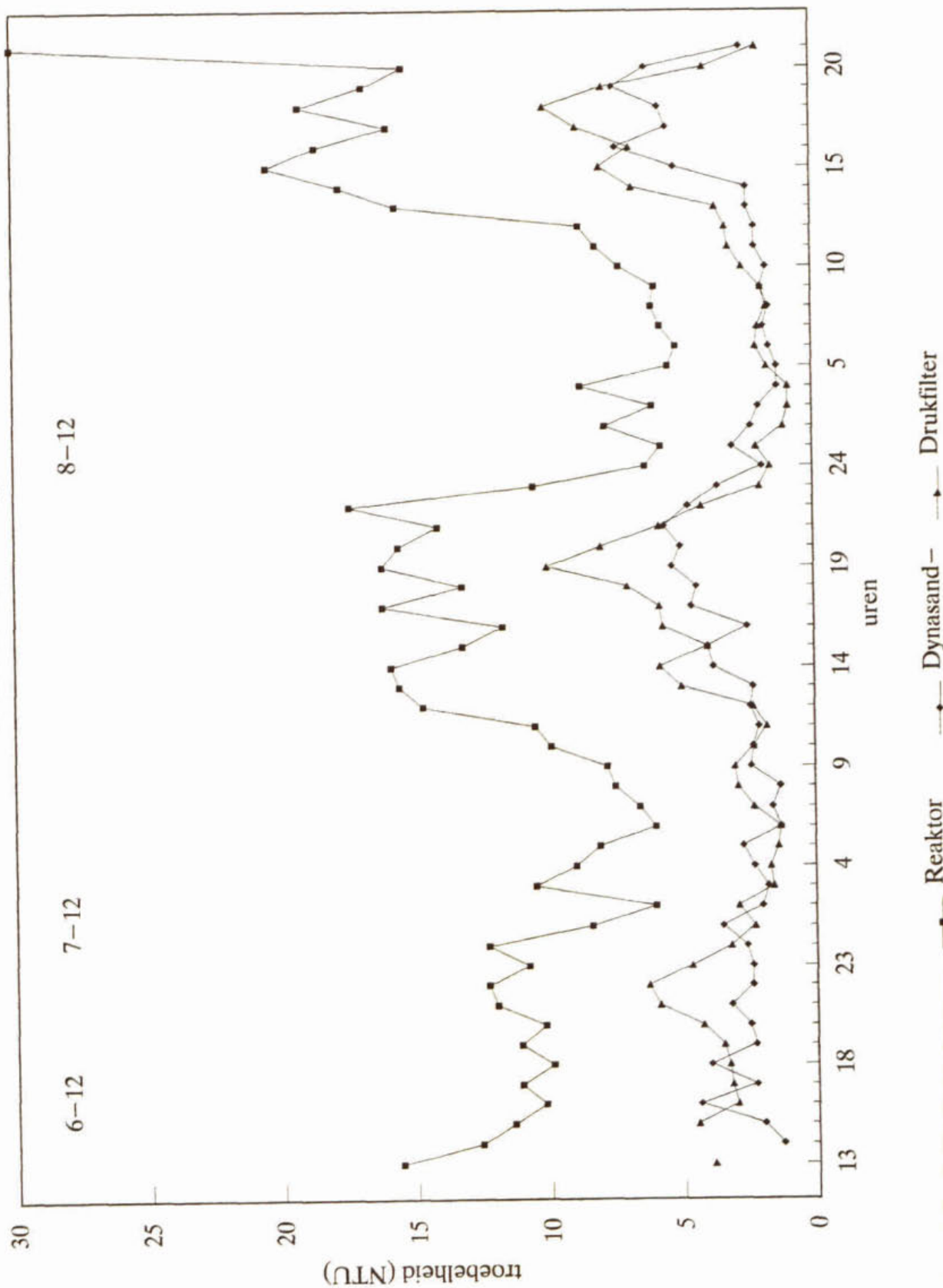
troebelheid effluenten

14 m/h 2 mm/min 11 ppm



troebelheid effluenten

14 m/h 2 mm/min 75 ppm



Metingen dynasandonderzoek op rwzi Westerbork

datum yywwdd	lucht- debiet (m ³ /h)	lucht- druk (bar)	snelheid				filterweerstand (op de diepte) :				filtr. snelheid (m/h)	debiet waswater (m ³ /h)
			plaats 1 (mm/min)	plaats 2 (mm/min)	plaats 3 (mm/min)	plaats 4 (mm/min)	3.35 m (cm)	3.10 m (cm)	2.85 m (cm)	2.35 m (cm)		
900823	1.8	3.3	7.9	3.8	7.8	4.7	62	40	36		9	1.2
900824	1.8	3.3	7.2	4.3	7.5	4.1	70	40	36		9	1.1
900827	1.8	3.5	7.4	4.5	7.5	4.0	100	56	49		10	0.9
900828	1.8	3.8	7.8	4.7	7.8	5.1	80	44	37		11	1.0
900829	1.8	3.4	7.6	4.3	7.0	4.1	80	54	47		9	0.9
900913	0.9	3.4	3.2	3.4	3.5	3.2	80	60	50		14	2.0
900914	0.9	3.4	2.5	3.0	2.5	2.5	78	58	48		14	2.0
900917	0.9	3.4	2.2	2.5	2.9	2.2	77	58	49		14	2.3
900918	0.9	3.4	2.6	2.4	2.6	2.2	81	60	50		14	
900918	1.1	3.4	3.2	3.1	3.2	3.3	57	41	33		8	
901002	1.1	3.4	2.4	2.9	2.8	3.3	50				8	2.1
901003	1.1	3.4	2.5	3.0	3.0	3.4	49				8	2.0
901004	1.1	3.4	2.9	3.3	3.8	4.1	67				11	1.9
901005	1.1	3.4	3.3	3.3	3.7	4.0					11	
901008	1.1	3.4	3.2	3.2	3.4	3.0	61				11	2.2
901009	0.9	3.4	2.8	3.2	2.9	3.2	96				18	2.0
901010	0.9	3.4	2.7	3.5	3.2	3.6	96				18	1.9
901011	0.9	3.4	3.2	3.4	3.2	3.2	100				18	
901012	2.1	3.4	6.8	6.0	8.4	8.2	51				9	0.9
901015	2.1	3.4	6.8	6.8	7.7	7.3	53				8	0.9
901016	2.1	3.4	6.9	6.2	7.9	7.1	45				8	0.9
901017	2.1	3.4	6.6	6.6	7.5	7.4	48				8	0.9
901018	2.1	3.4	7.8	7.5	8.8	8.0	74				14	0.9
901025	2.1	3.4	7.3	7.4	8.4	8.3	77				14	0.8
901026	2.1	3.4	6.8	7.9	8.3	9.2	76				14	0.8
901029	2.1	3.4	6.7	8.4	8.5	9.5					14	0.8
901030	2.1	3.4	6.5	7.7	8.3	9.2	79				14	0.8
901102	2.1	3.4	7.4	10.0	8.2	10.0	74	50	40	16	14	0.8
901106	2.1	3.4	7.0	9.5	7.5	8.8	74	49	40	17	14	1.8
901107	2.1	3.4	8.9	8.0	8.4	7.6	78	54	45	20	14	1.8
901108	2.1	3.4	7.3	8.6	8.0	8.7	76	52	42	19	14	1.8
901109	2.3	3.4	7.4	7.6	7.3	7.7	50	32	25		8	1.8
901110	2.4	3.4	7.4	7.7	8.7	7.8	53	33	26		8	1.8
901112	2.4	3.4	8.2	6.8	8.6	7.6	51	32	25		8	1.8
901113	1.1	3.4	4.7	4.4	5.1	4.7	93	68	53	21	14	3.0
901115	1.0	3.4	3.7	3.7	4.0	4.1	85	60	48	19	14	2.6
901116	1.0	3.4	3.3	3.4	3.5	3.5	83	56	46	19	14	2.3
901121	1.2	3.4	4.0	4.1	4.3	4.3	76	51	42	19	14	1.8
901122	1.2	3.4	4.2	4.0	4.4	4.3	79	50	41	18	14	1.8
901127	1.1	3.4	4.6	5.2	4.5	4.9	85	58	46	19	14	
901128	1.1	3.4	3.7	4.3	3.9	4.4	83	57	46	19	14	2.5
901129	1.1	3.4	9.0	10.0	9.5	11.0	89	64	50	20	14	
901203	0.8	3.4	2.3	1.8	1.0	3.0	93	64	54	20	14	3.0
901204												
901205												
901206	1.1	3.4	1.4	1.7	1.3	3.1	100	82	70	29	14	3.0
901207	1.1	3.4	1.7	1.0	2.6	3.3	100	61	54	22	14	
901208												
901209												
901210	1.1	3.4	2.5	4.7	2.7	3.2	82	55	46	22	14	1.8

Resultaten 24-uurs-bemonstering dynasandonderzoek rwzi Westerbork

datum yyymmdd	onopg.stof(mg/l)		t-P (mg/l)		o-P (mg/l)	
	afl.KR	afl.SF	afl.KR	afl.SF	afl.KR	afl.SF
900823	3	5	1,1	0,34	0,13	0,14
900824	1	2	1,2	0,20	0,19	0,12
900827	1	1	1,4	0,20	0,11	0,08
900828						
900829	3	1	1,1	0,23	0,11	0,10
900913	15	9	2.0	0.29	0.20	0.20
900914						
900917	29	7	3.1	0.7	0.13	0.20
900918	23	10	3.8	0.8	0.12	0.16
900919	23	3	3.0	0.7	0.27	0.5
901002	14	2	2.4	0.7	0.25	0.48
901004	13	3	2.0	1.1	0.27	0.5
901005	45	4	7.0	0.8	0.31	0.6
901008						
901009	27	5	3.3	0.7	0.43	0.5
901010	3	3	3.7		3.2	
901011	3	2	3.0	1.0	0.5	0.6
901012						
901015	22	3	2.5	0.9	0.27	0.41
901016						
901017						
901018	19	1	3.2		0.26	0.7
901025	2	1	1.4	0.8	0.6	0.5
901026						
901029	16	3	2.5	1.5	0.5	0.7
901030	12	5	2.1	1.3	0.8	0.9
901102						
901106	6	5	1.3	0.6	0.35	0.30
901107	2	4	1.4	0.34	0.27	0.23
901108	27	6	2.0	0.32	0.14	0.18
901109	13	5	3.8	2.2	0.5	0.7
901110						
901112						
901113						
901115	4	1	2.4	1.6	0.6	0.7
901116						
901121						
901122	18	4	3.6	3.2	0.6	1.4
901127	8	1	3.2	1.2	0.42	0.6
901128	2	10	3.2	1.4	0.8	0.8
901129						
901203	32	8	6	2.7	1.8	2.0
901204						
901205						
901206	142	4	7	3.6	0.7	2.3
901207						
901208						

BIJLAGE 4A

Proefperiodes en procescondities van het onderzoek aan het DynaSand filter, periode 2

Periode 2

DS-filter ter behandeling effluent nabezinktank; DS-filter parallel aan combinatie korrelreactor/DM-filter.

Tabel B.2. - Procescondities periode 2

Periode	filtratie snelheid (m/h)	vlokmiddel- dosering (mg/l)	zandcirculatie- snelheid (mm/min.)
1	02/01-04/01	14	3,5
2	04/01-08/01	11-14	5
3	08/01-09/01	14	5
4	11/01-16/01	14	4
5	16/01-18/01	14	4
6	28/01-31/01	14	4
7	31/01-01/02	14	4
8	14/03-16/03	8	4
9	20/03-22/03	14	4
10	25/03-28/03	14	5-8
11	02/04-05/04	14	5-9
12	05/04-07/04	14	8-9
13	08/04-09/04	8	8
14	28/05-30/05	14	8,5
15	11/06-14/06	14	5-7
16	18/06-19/06	14	7,5
17	02/07-04/07	14	7,8
18	04/07-11/07	17	7,6
19	16/07-18/07	14	7,1

* dosering Sachtoklar, 5,4% Al

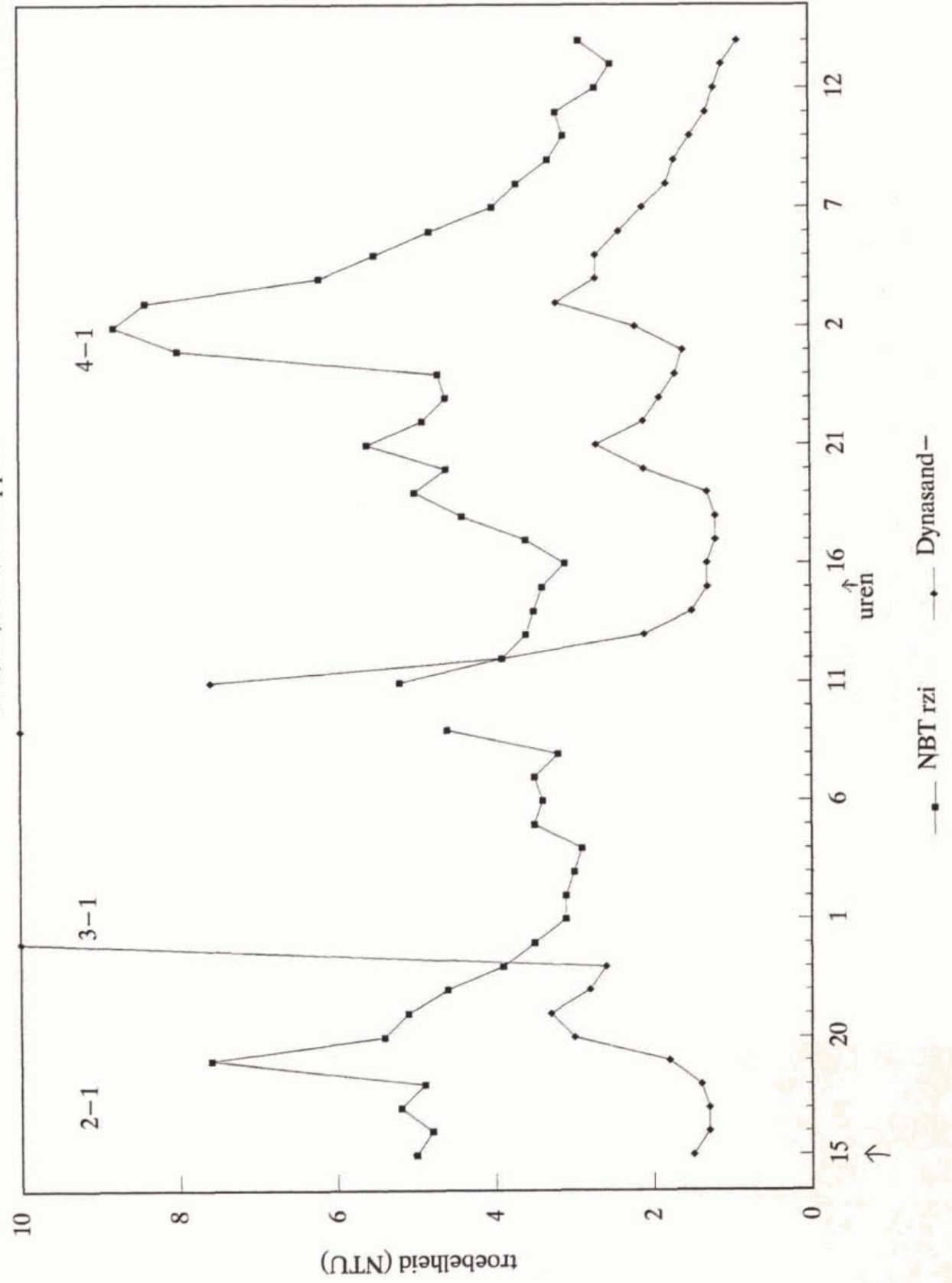
** dosering ijzerchloride, 13,8% Fe³⁺

BIJLAGE 4B

Resultaten van het DynaSand filter, periode 2

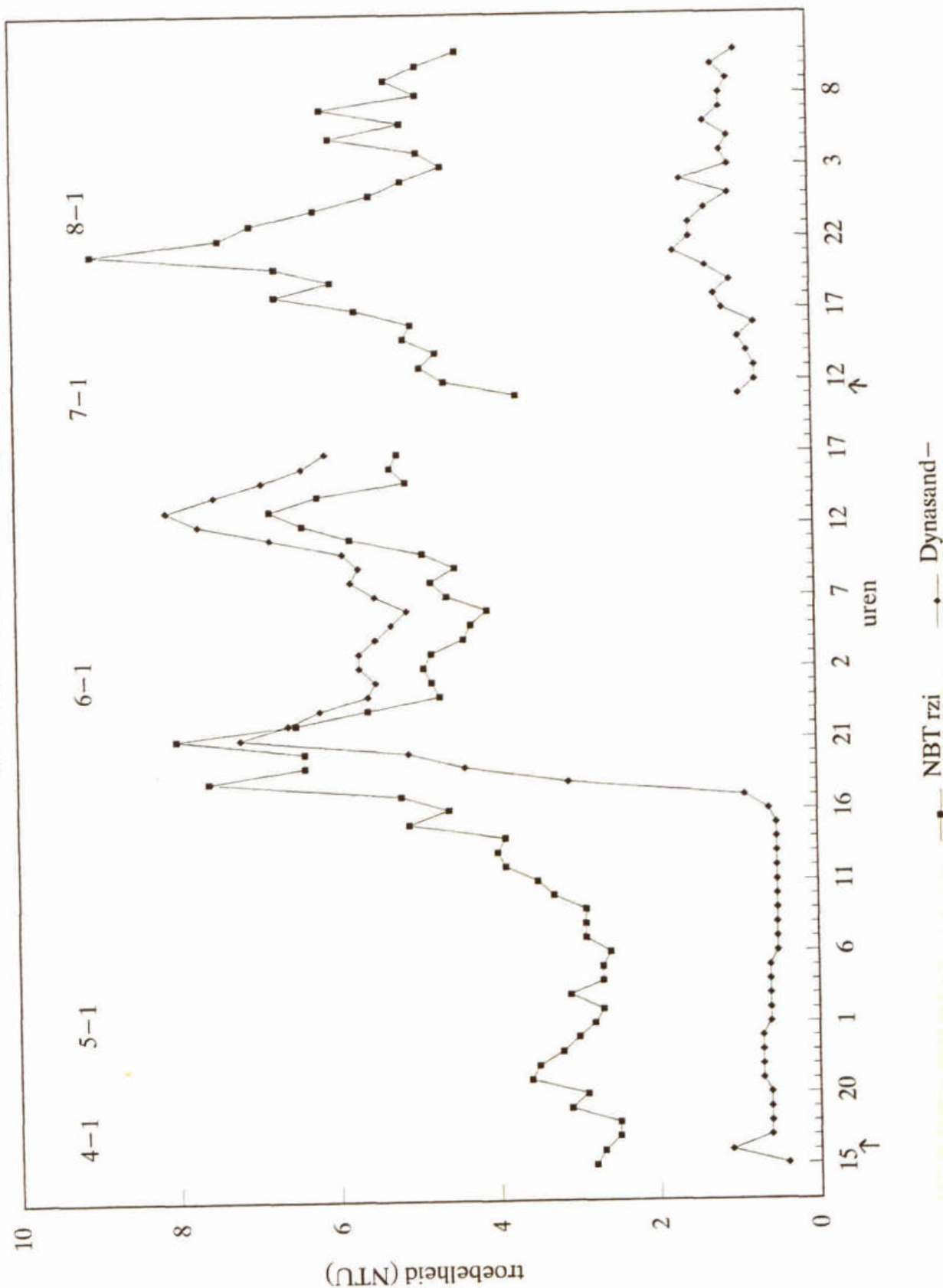
troebelheid effluënten

14 m/h 3,5 mm/min 0 ppm



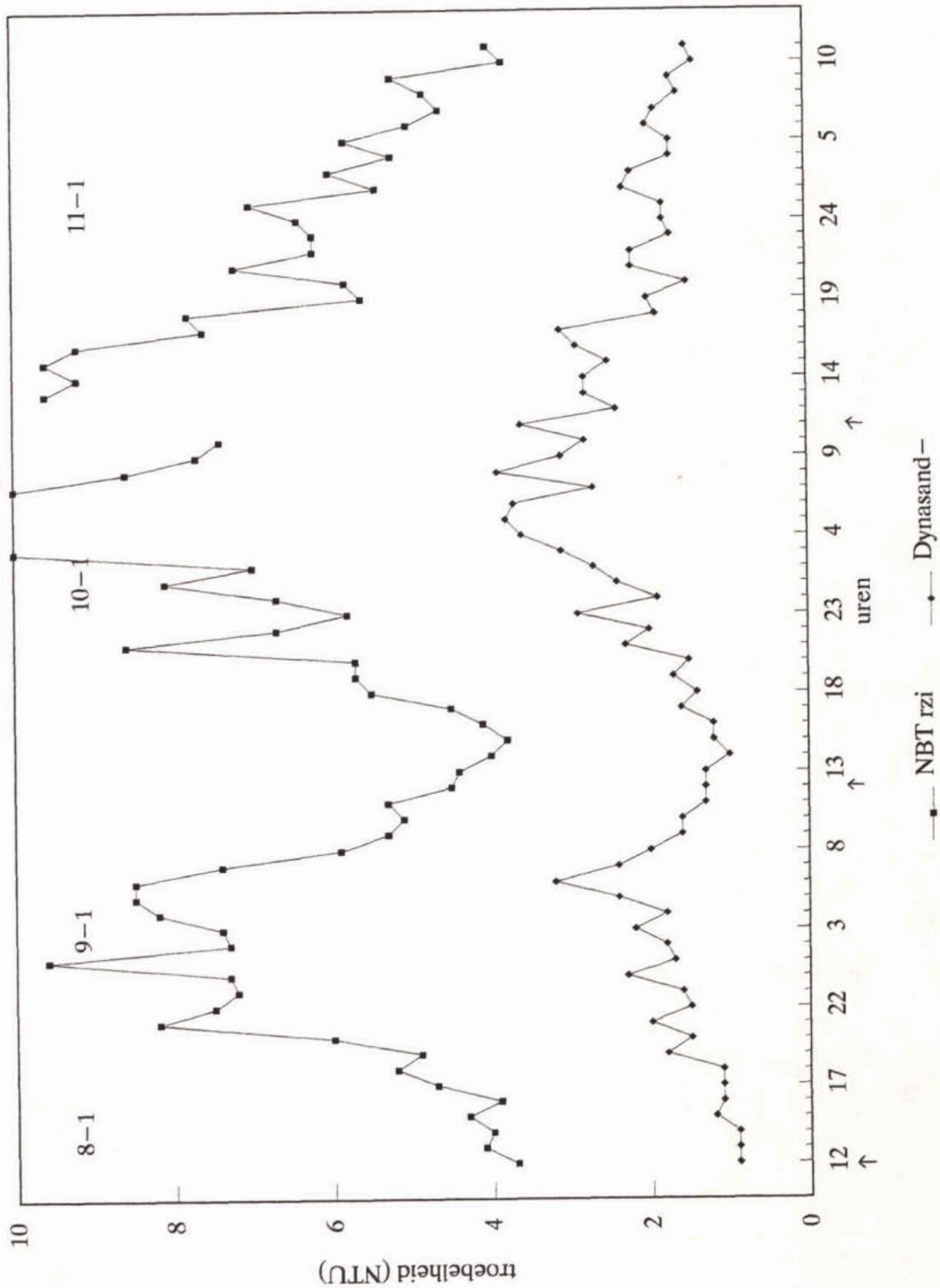
troebelheid effluenten

11-14 m/h 5 mm/min 42-33 ppm



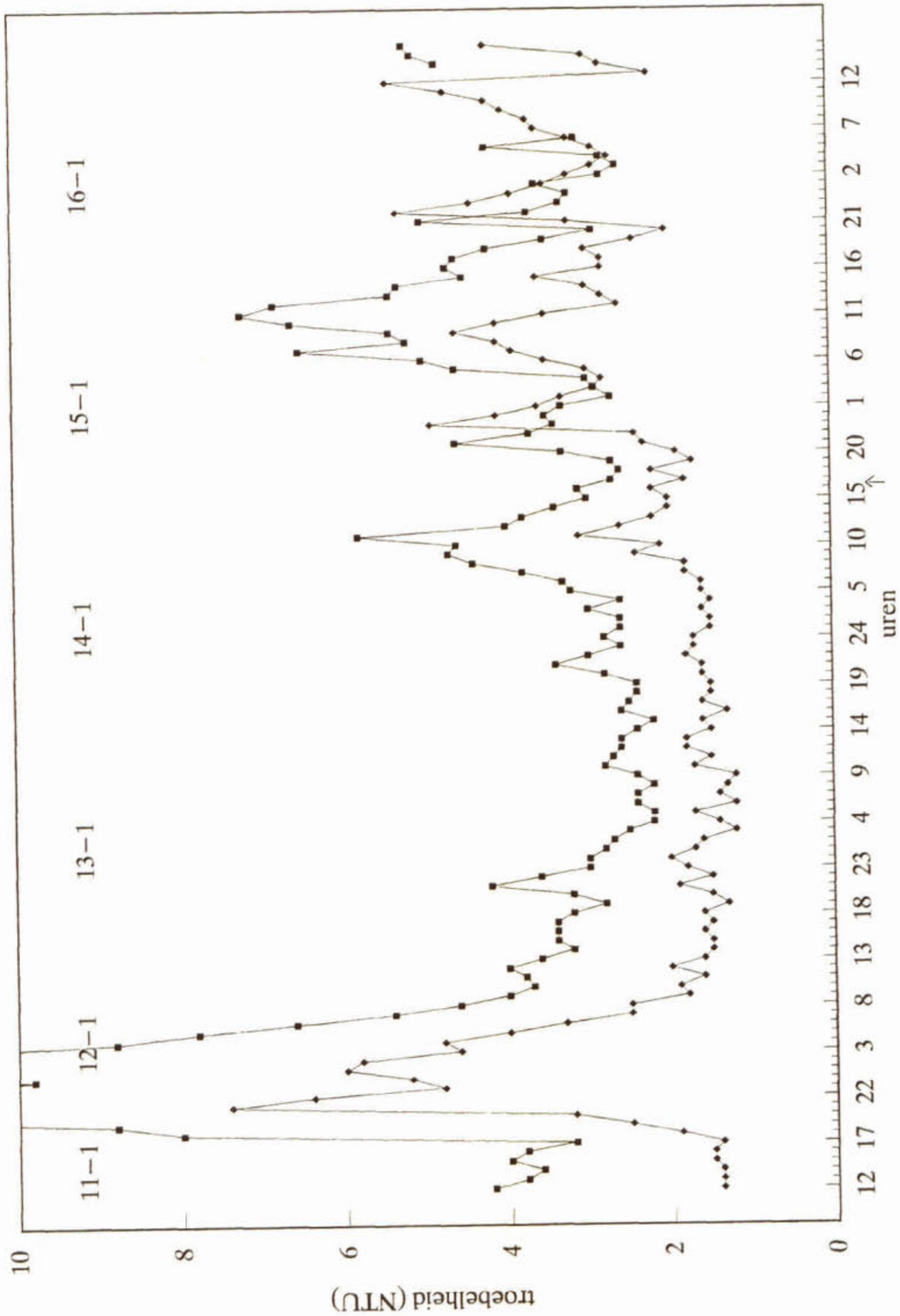
troebelheid effluenten

14 m/h 5 mm/min 36-48 ppm



troebelheid effluenten

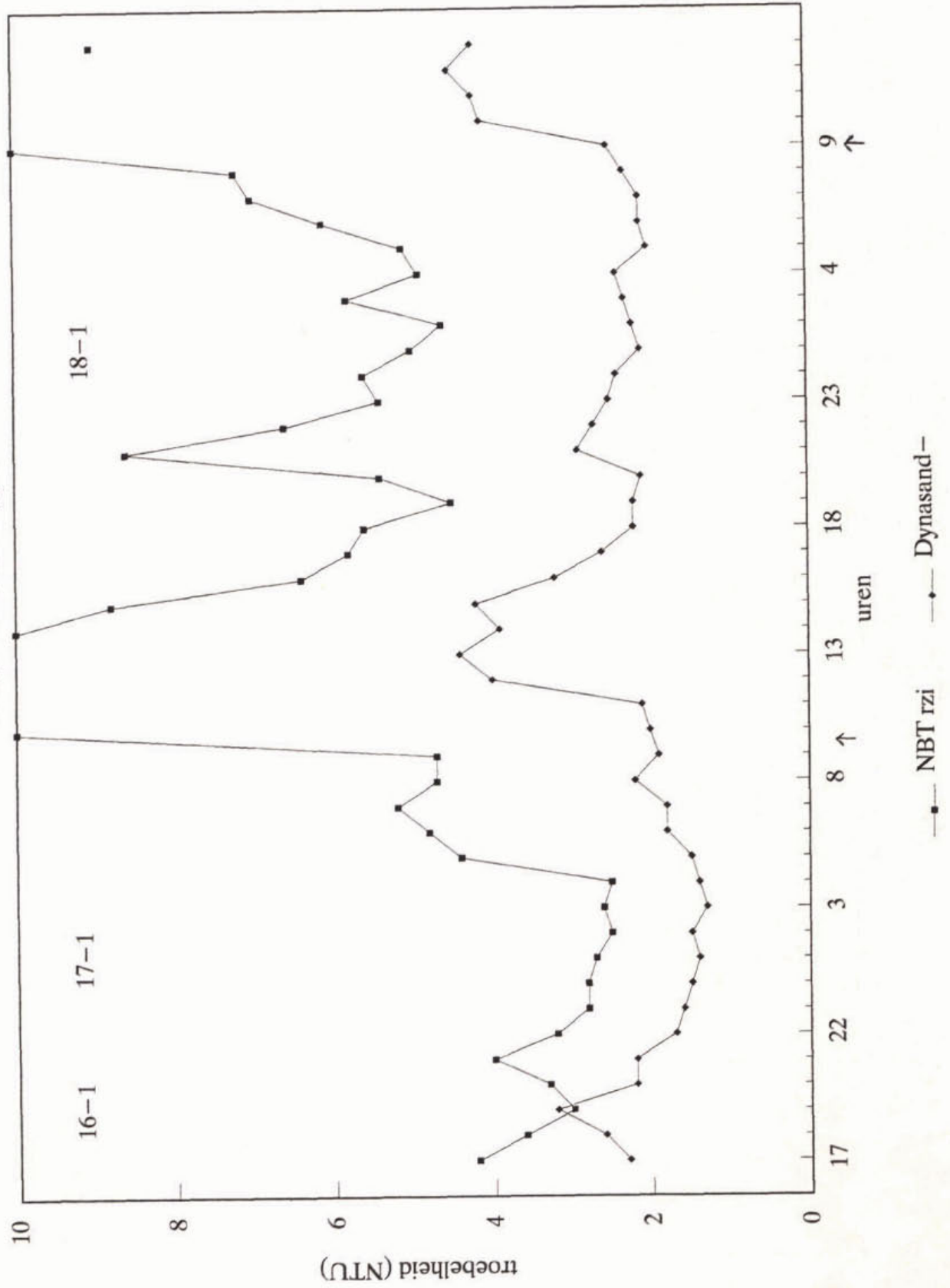
14 m/h 3-4 mm/min 55ppm



■ NBT rzi ● Dynasand

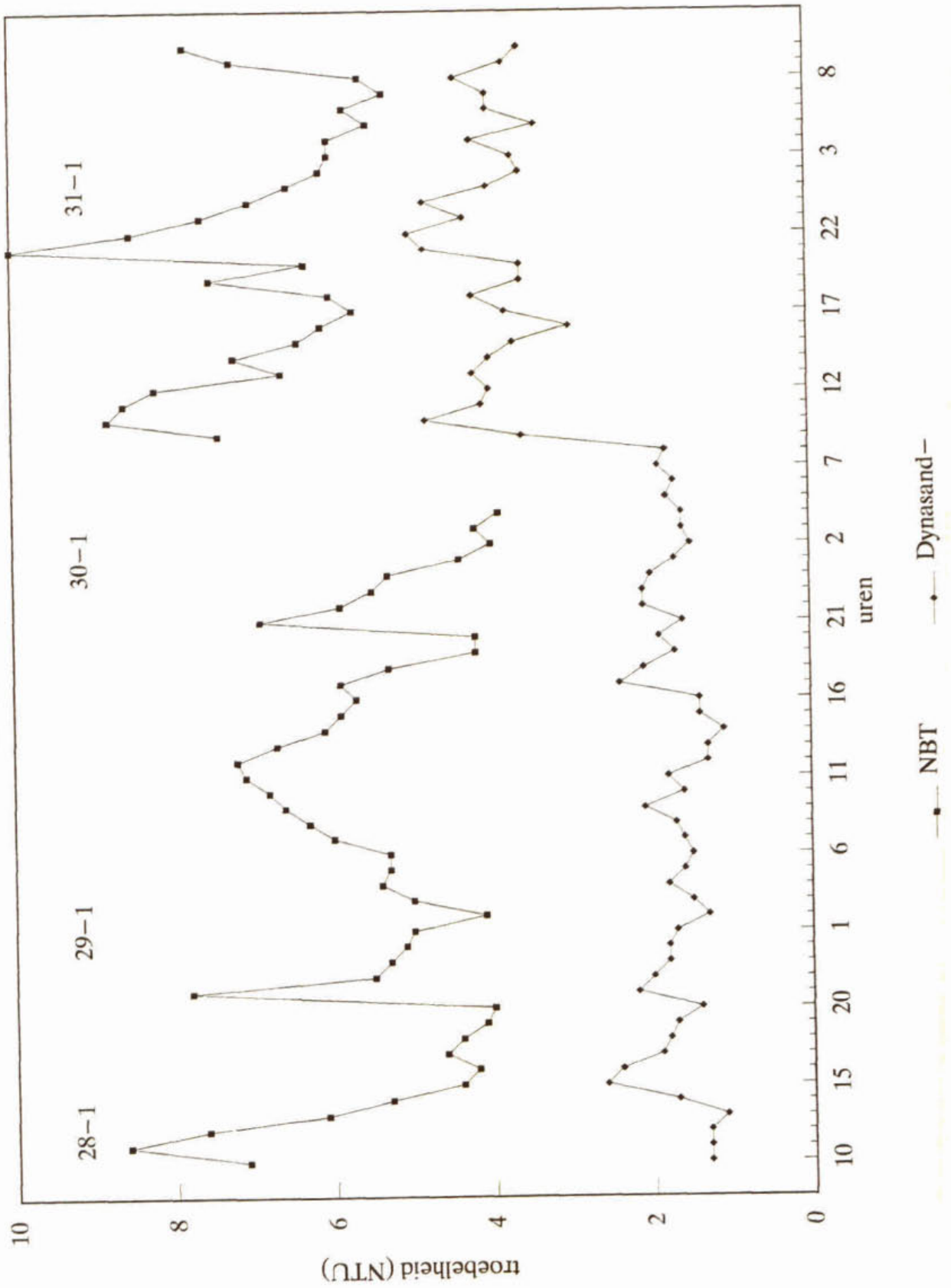
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min 75 ppm



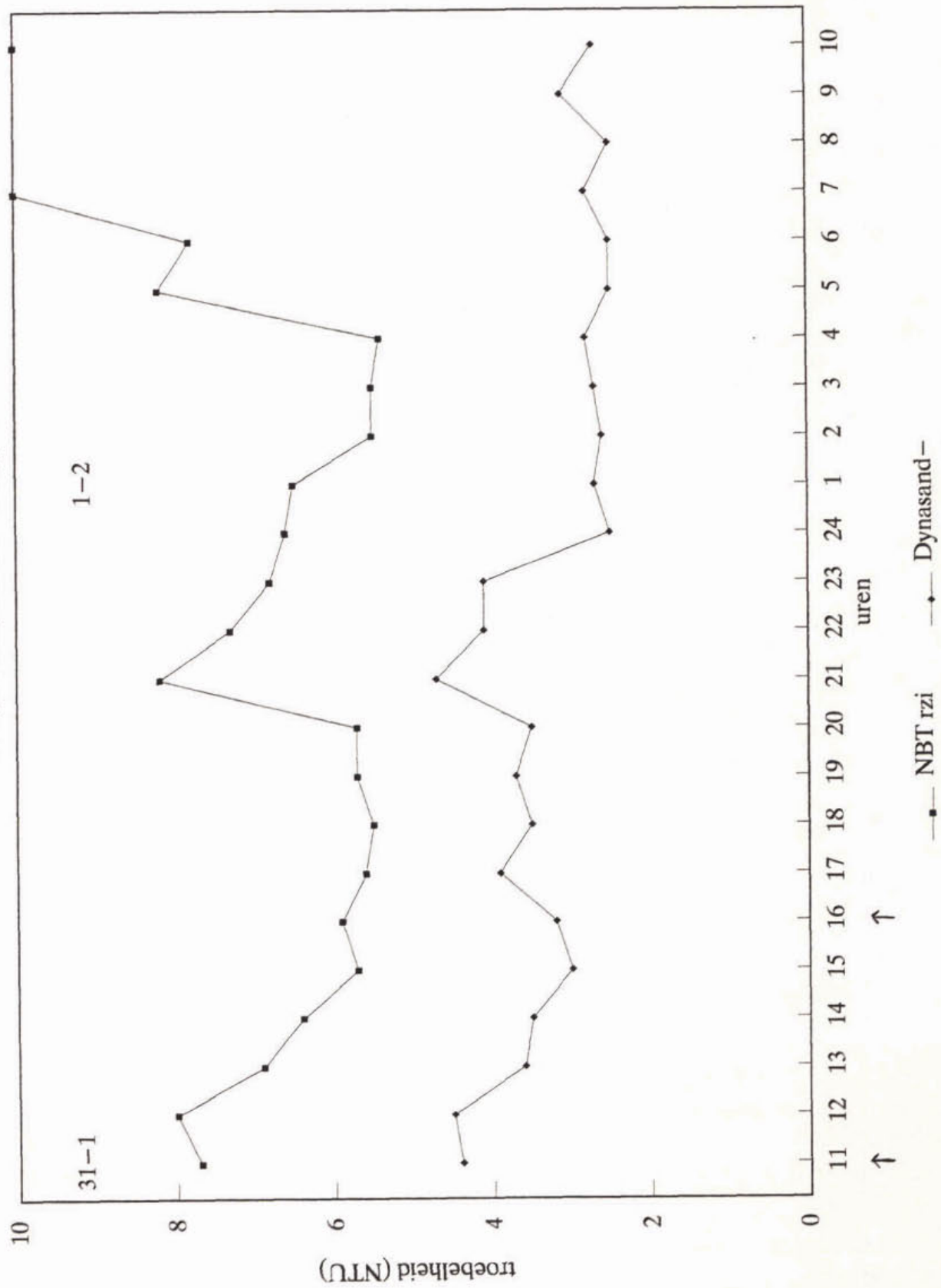
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min 75-90 ppm



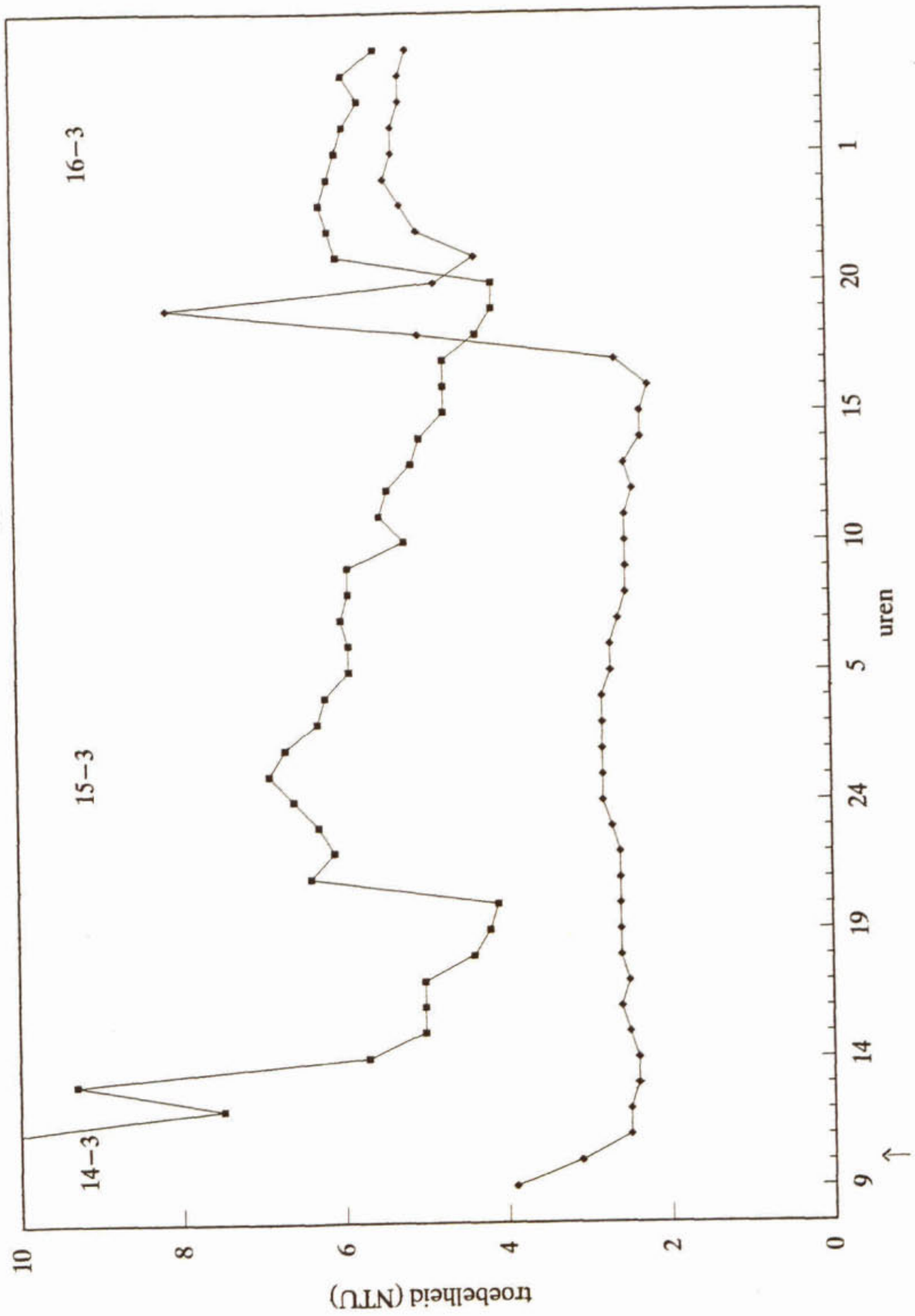
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min 100-125 ppm



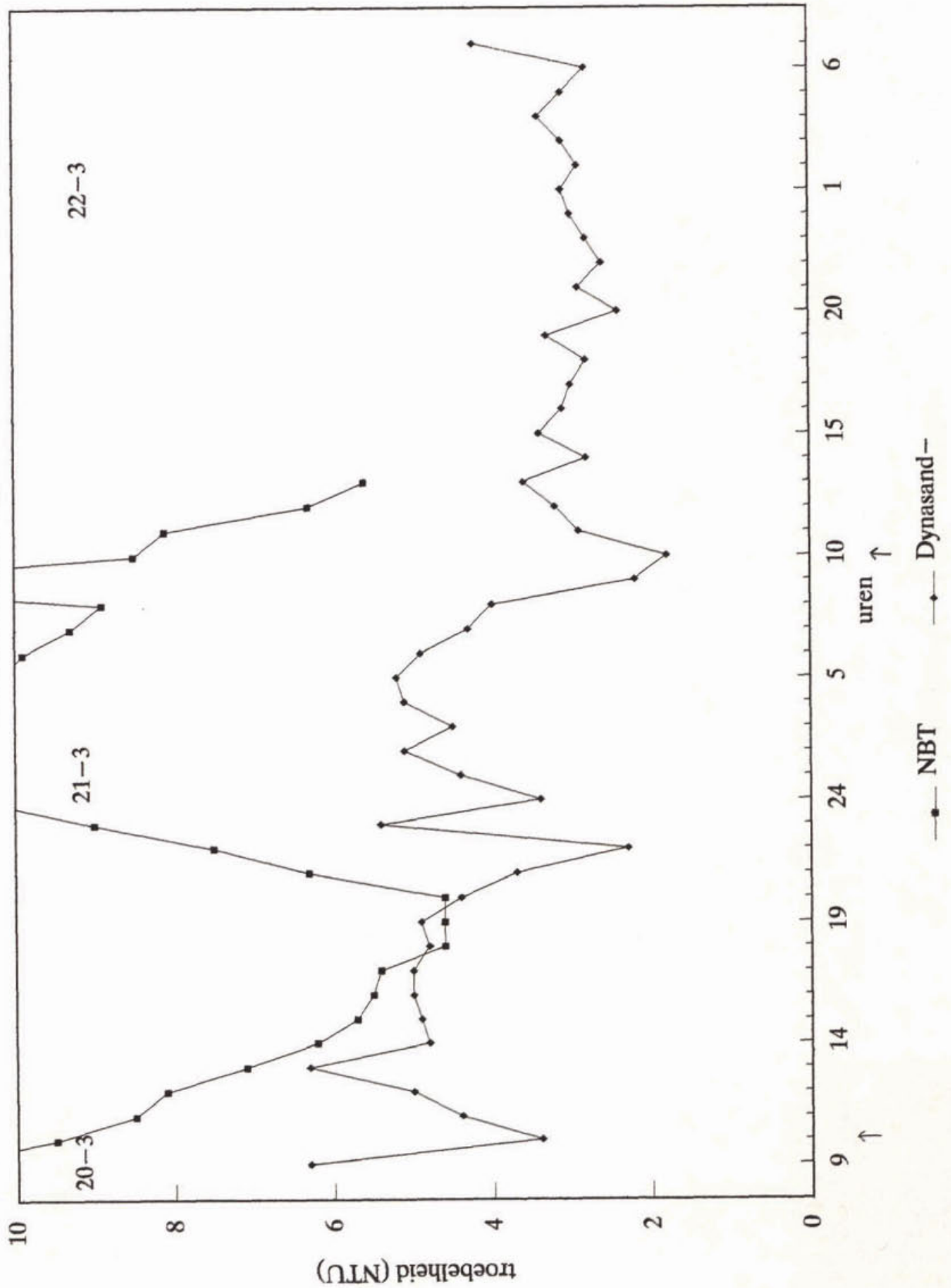
troebelheid effluenten

8 m/h 4 mm/min 44ppm



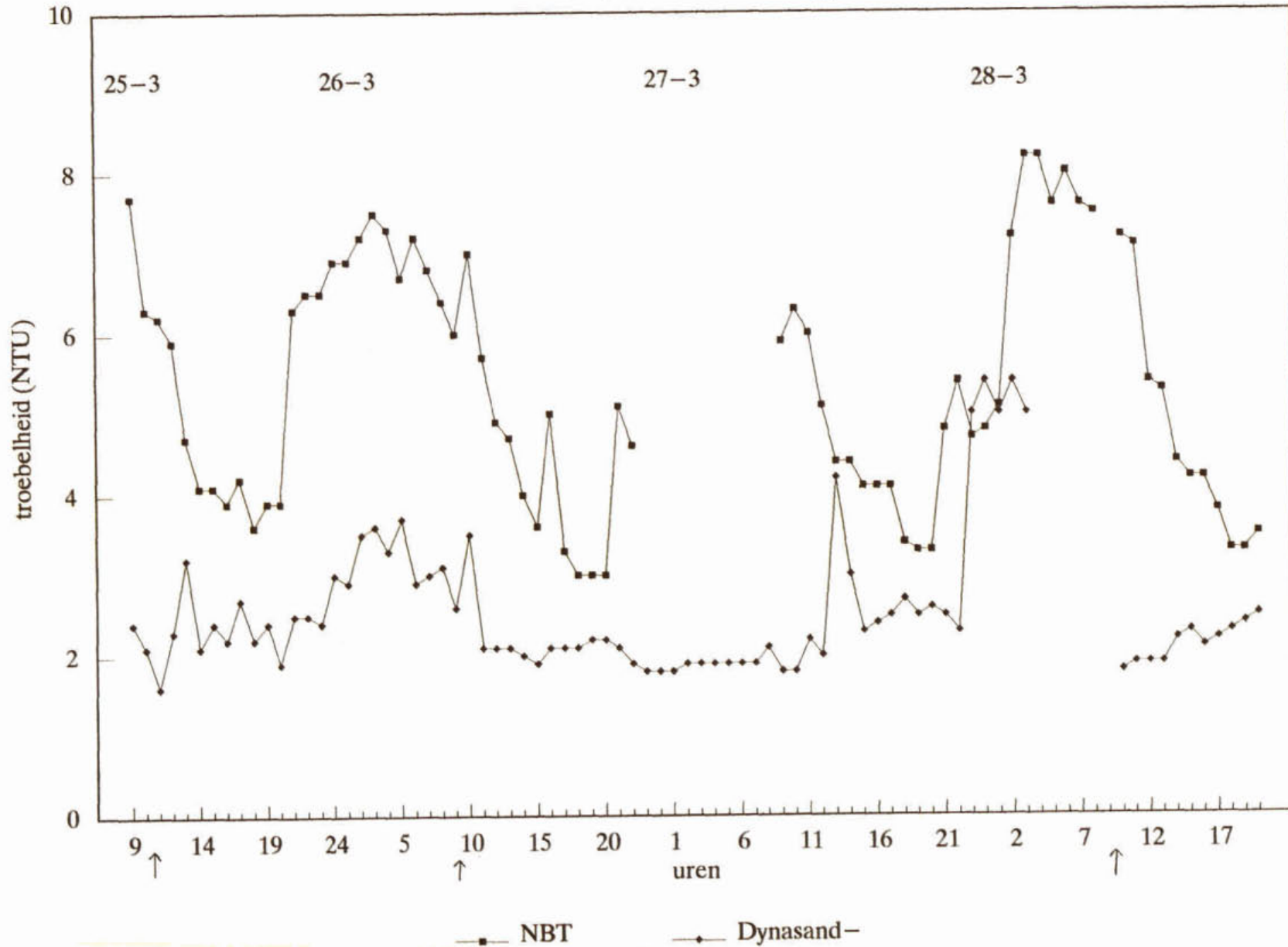
troebelheid effluenten

14 m/h 4 mm/min 87 ppm



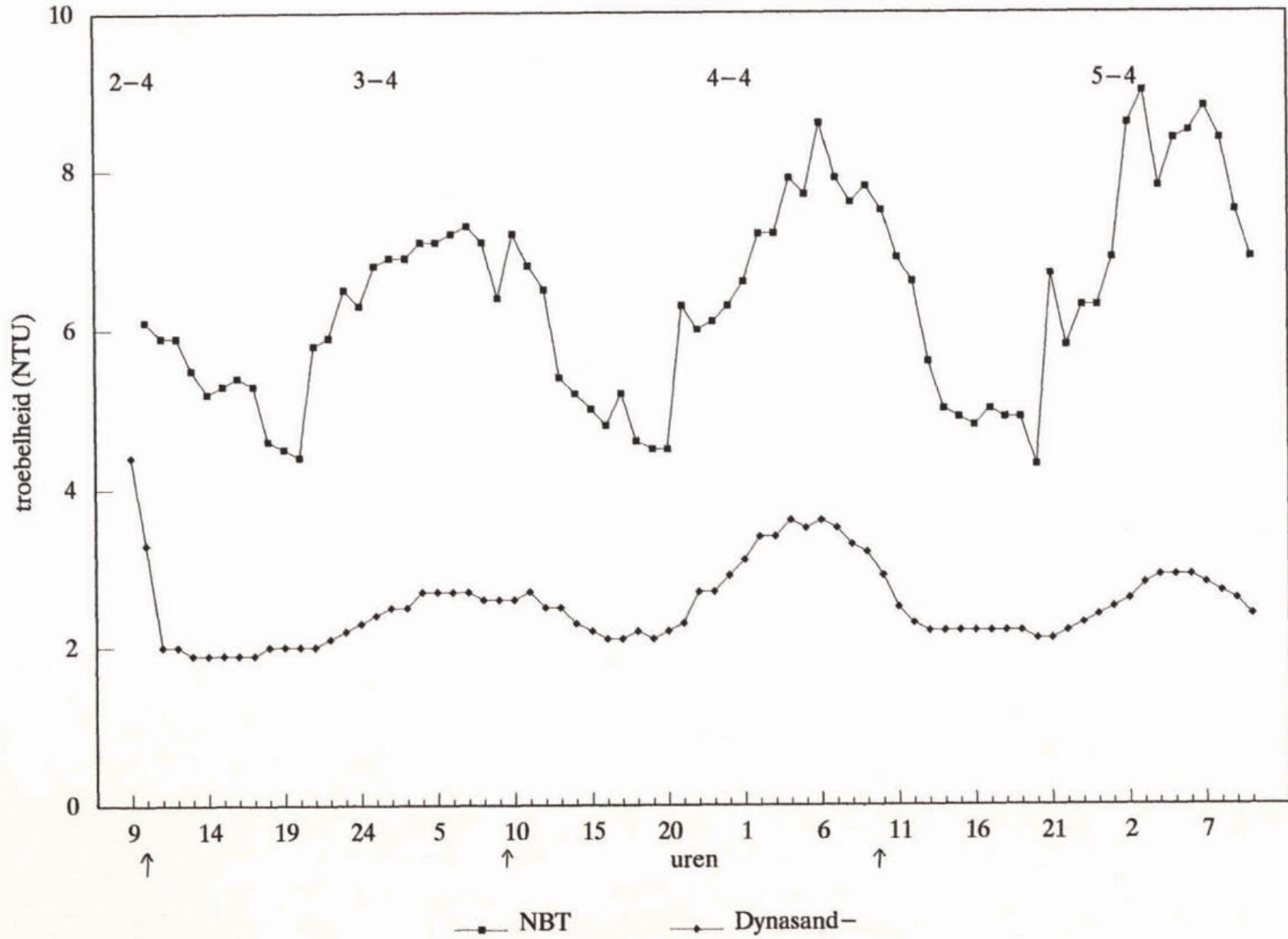
troebelheid effluenten

14 m/h 5-8 mm/min 88 ppm



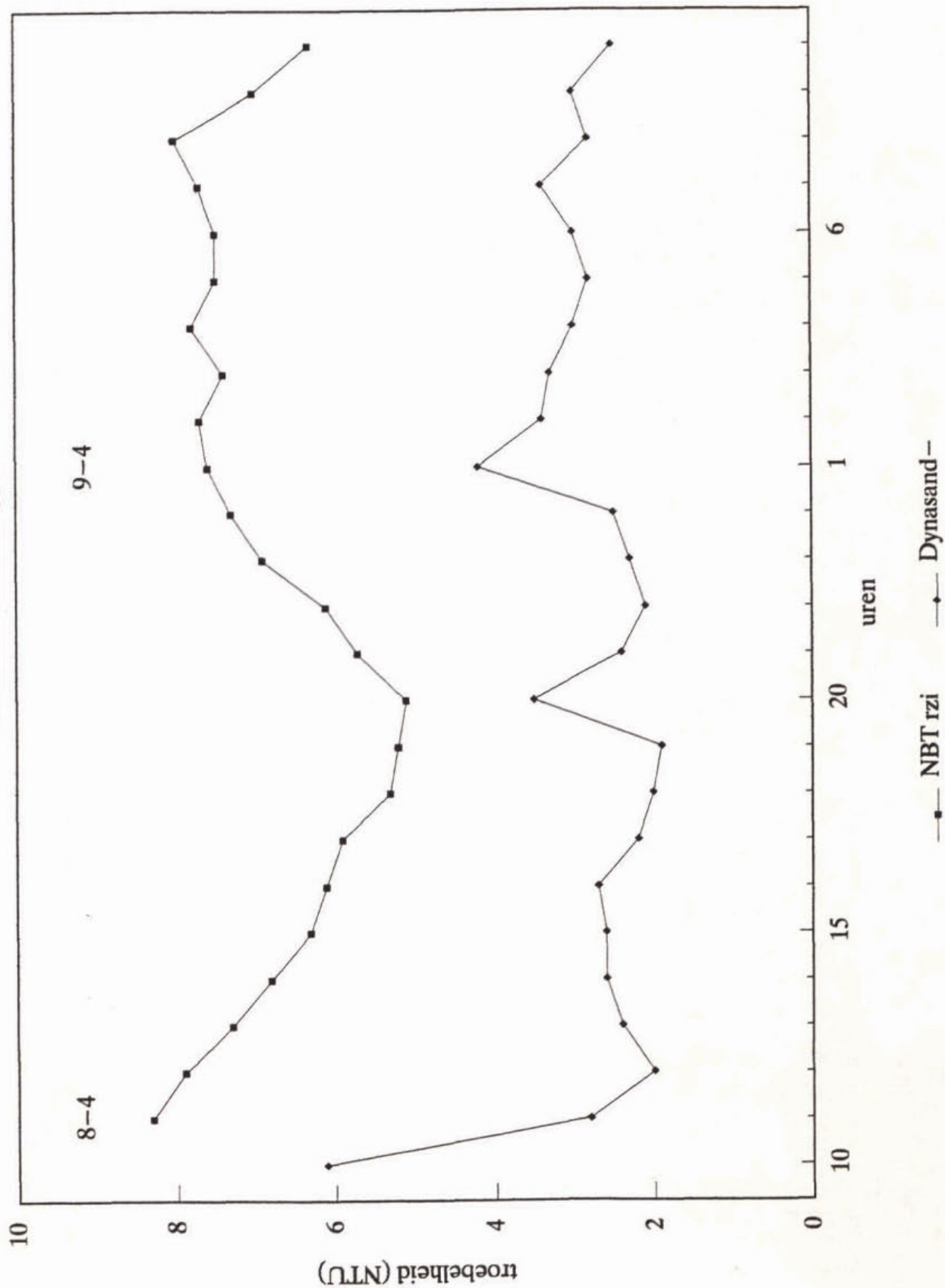
troebelheid effluenten

14 m/h 5-9 mm/min 58 ppm



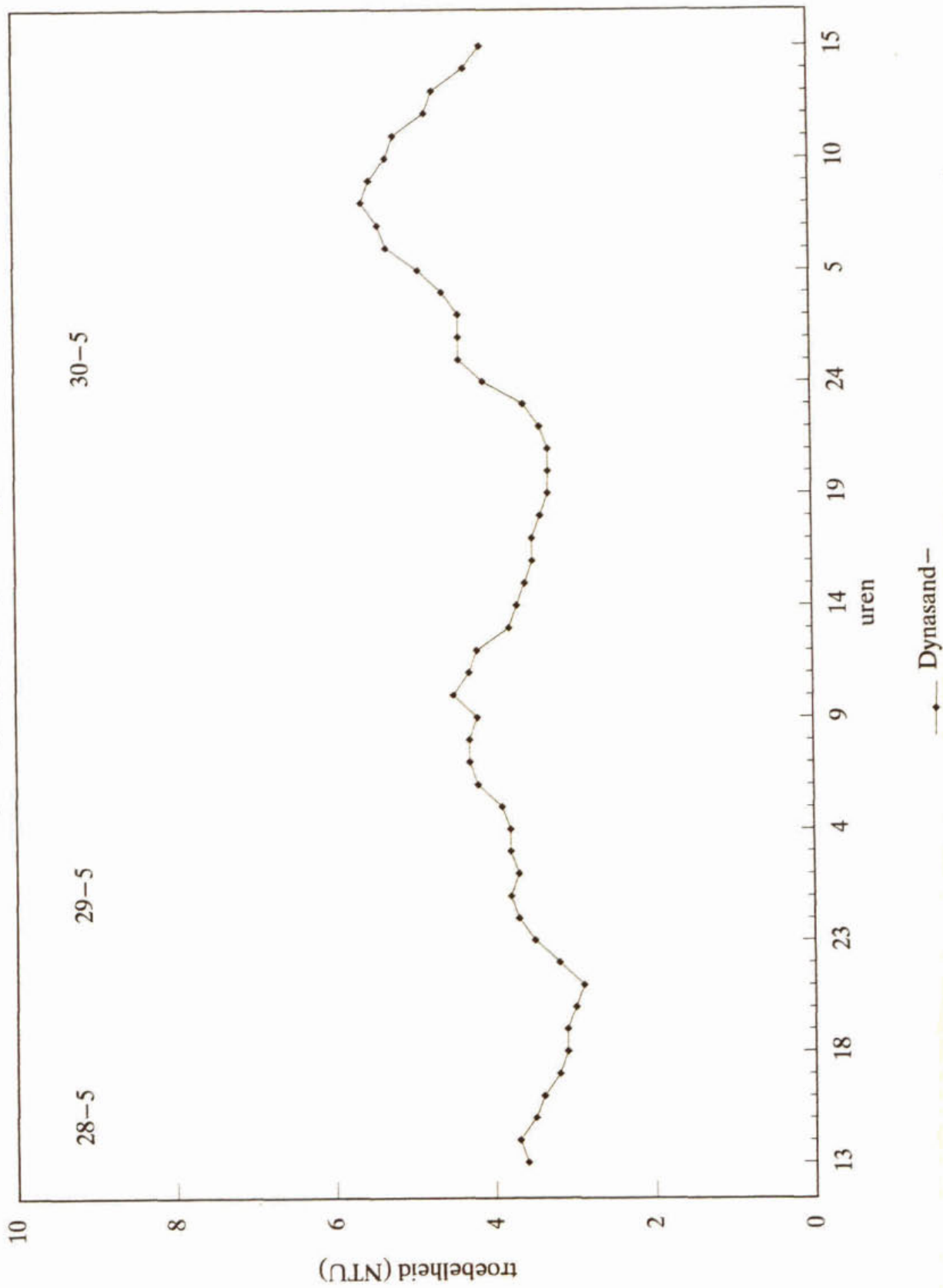
troebelheid effluenten

8 m/h 8 mm/min 135 ppm



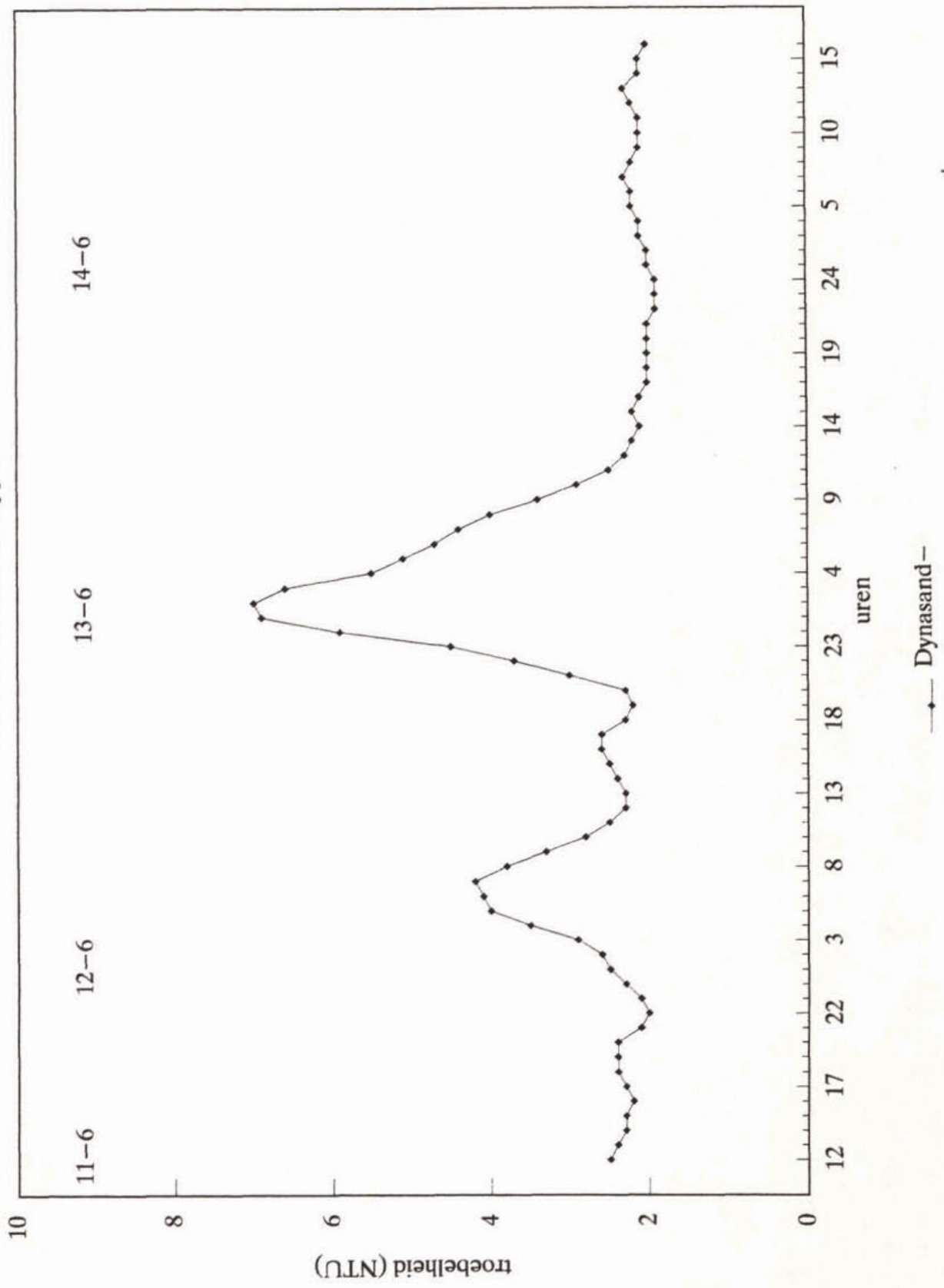
troebelheid effluent

14 m/h 8,5 mm/min 87 ppm



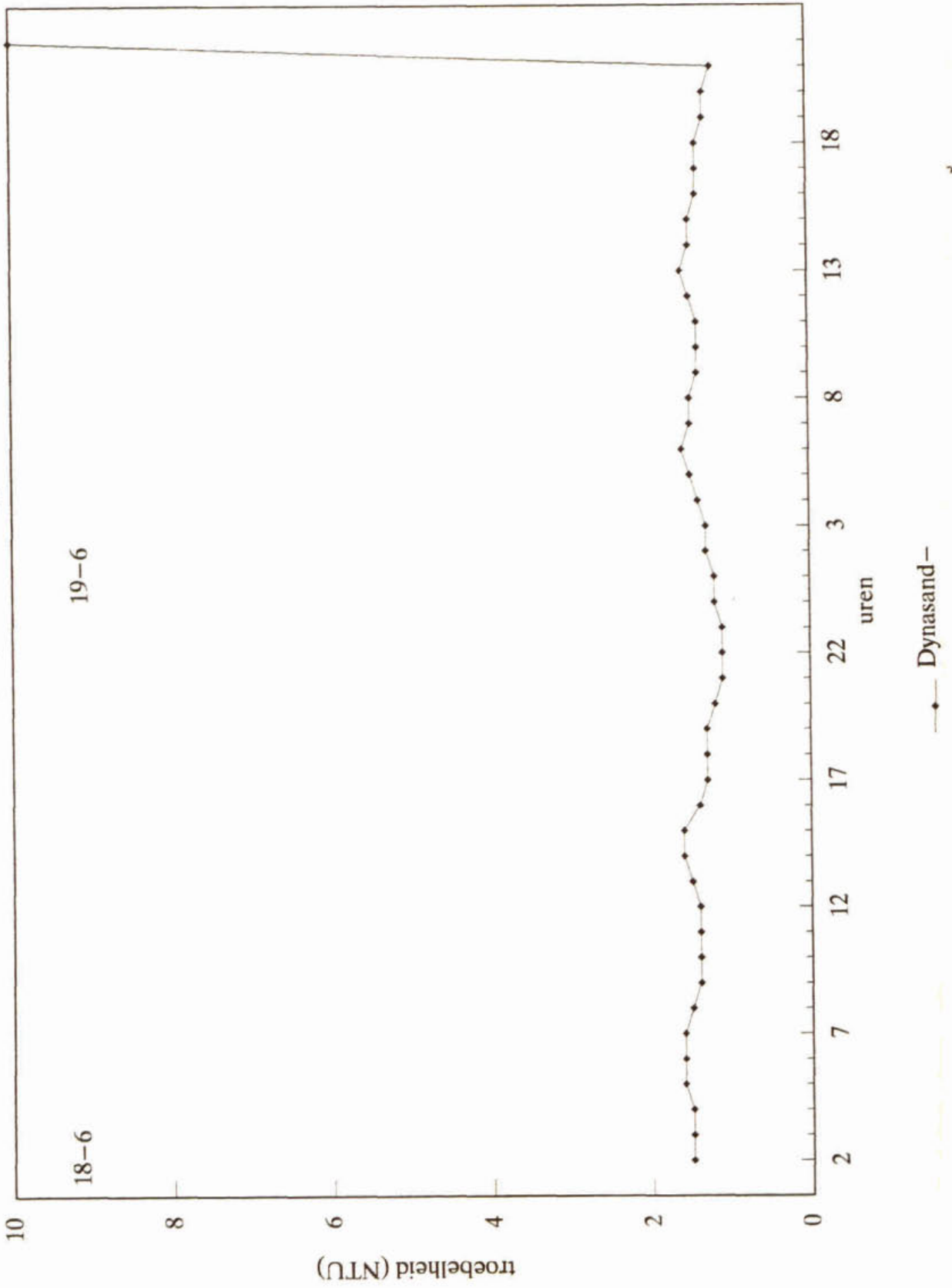
troebelheid effluenten

14 m/h 5-7 mm/min 87 ppm



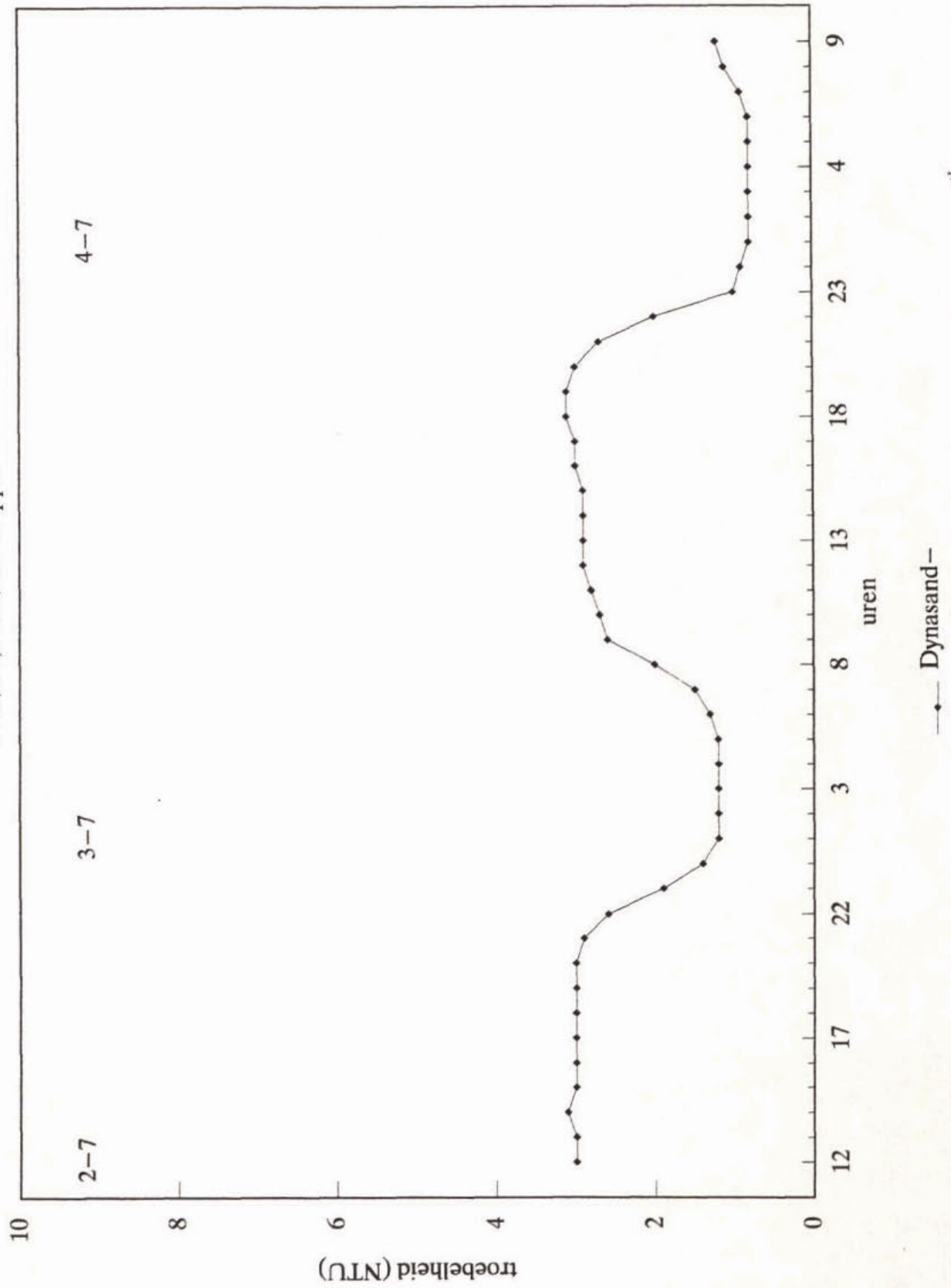
troebelheid effluenten

14 m/h 7,5 mm/min 87 ppm



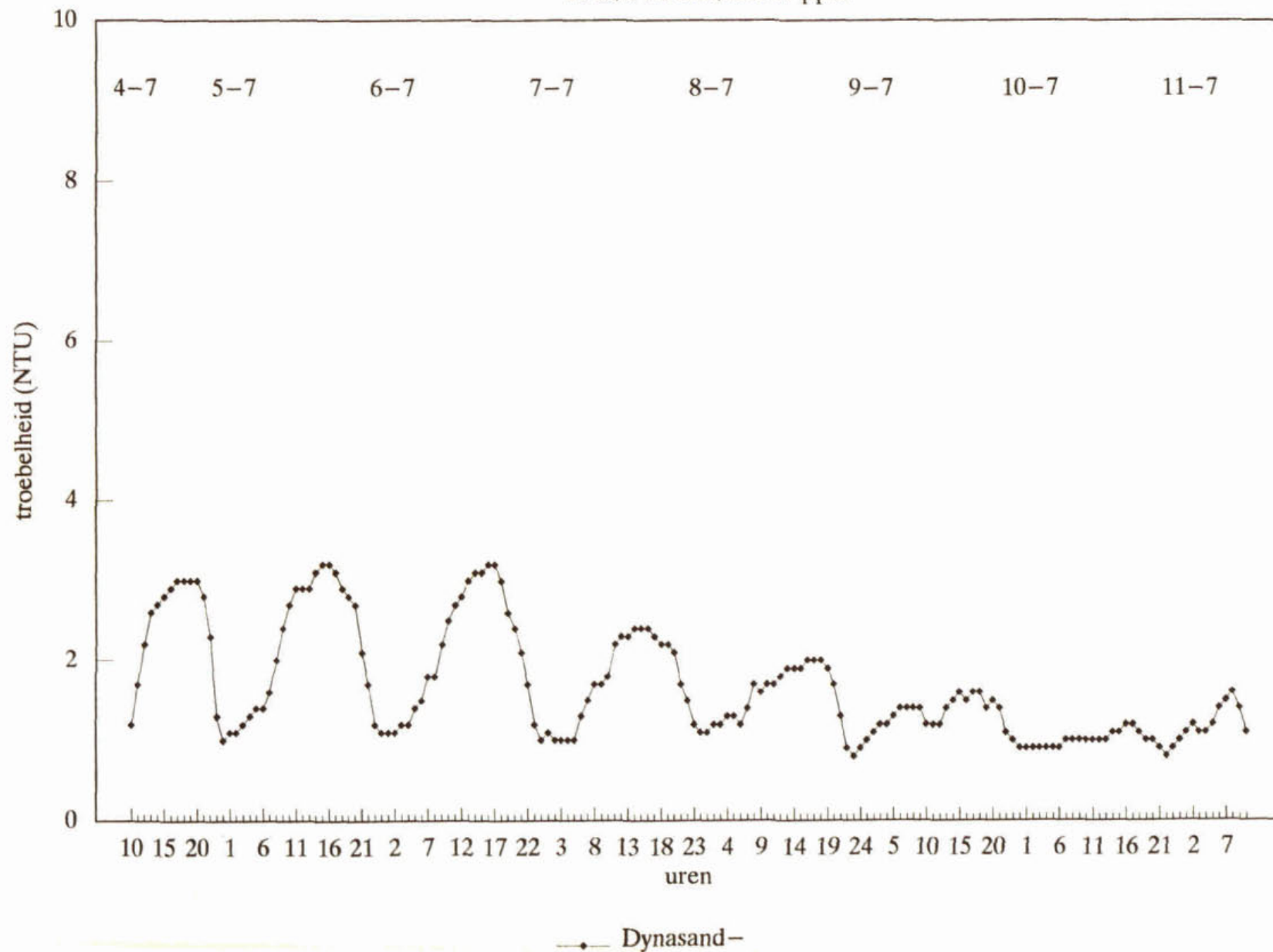
troebelheid effluenten

14 m/h 7,8 mm/min 87 ppm



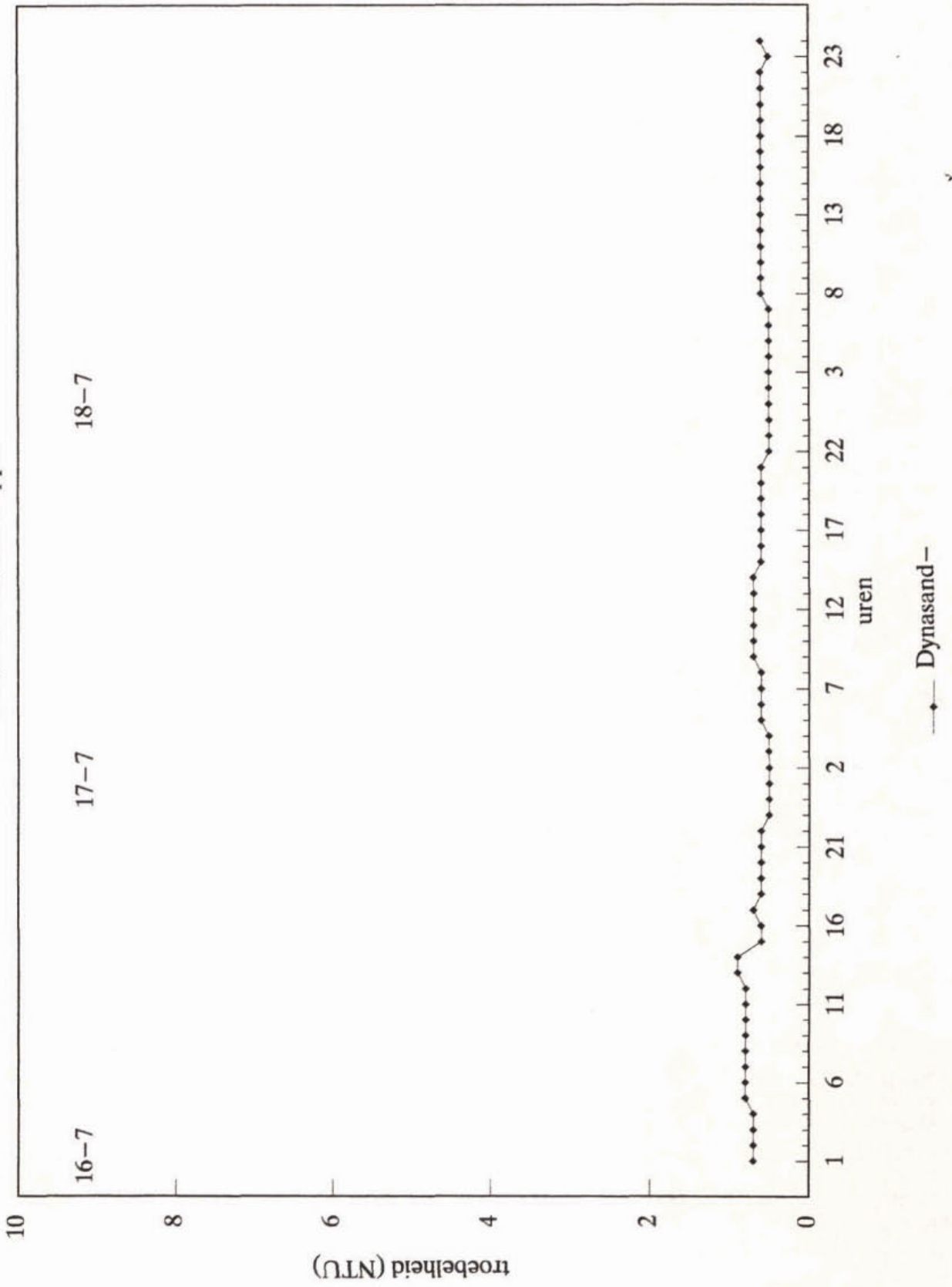
troebelheid effluenten

17 m/h 7.6 mm/min 87 ppm



troebelheid effluenten

14 m/h 7.1 mm/min 87 ppm

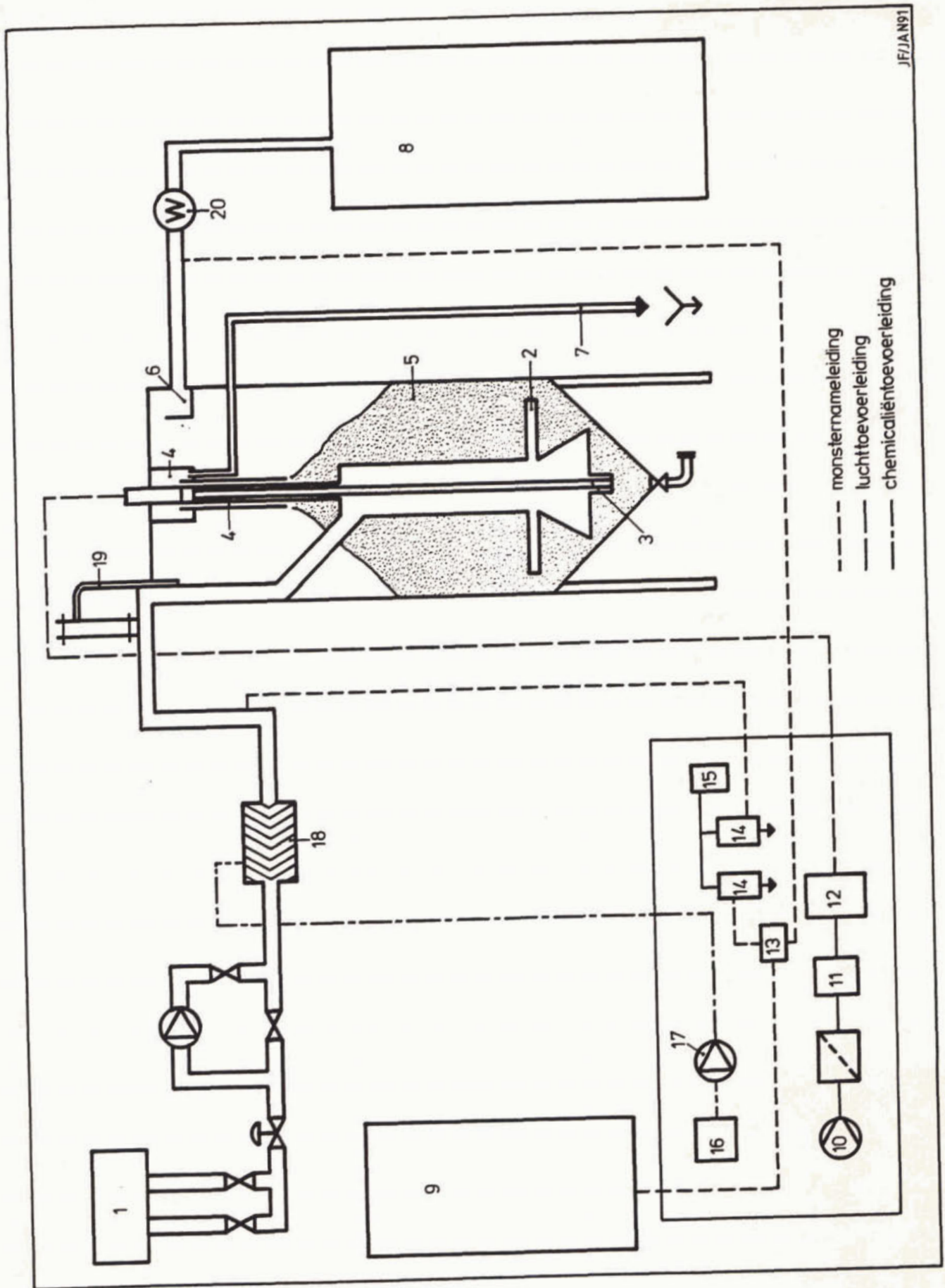


datum yyymmdd	lucht- debiet (m ³ /h)	lucht- druk (bar)	snelheid				filterweerstand (op de diepte) :				filtr. snelheid (m/h)	debiet waswater (m ³ /h)
			plaats 1 (mm/min)	plaats 2 (mm/min)	plaats 3 (mm/min)	plaats 4 (mm/min)	3.35 m (cm)	3.10 m (cm)	2.85 m (cm)	2.35 m (cm)		
910524	2.4	4.0	4.4	4.4	4.8	4.8	50	29	23		14	2.4
910525												
910526												
910527	2.4	4.0	8.0	8.5	8.7	9.0	54	23	17			
910528												
910529												
910611	1.8	4.0	7.3	8.0	6.5	6.0	57	28	23		14	2.6
910612	1.8	4.0	3.3	5.2	3.5	3.2	58	30	23		14	2.4
910613												
910617	1.8	4.0	7.4	9.1	7.2	5.2	58	29	22		14	2.4
910618	1.8	4.0	7.2	10.0	7.5	5.8	56	28	22		14	2.4
910619	1.8	4.0	7.3	9.5	7.5	6.2	51	25	19		14	2.4
910625	2.4	4.0	7.7	10	8.0	9.0	53	26	19		14	2.4
910626	2.4	4.0	8.5	9.1	7.7	5.9	47	23			14	2.4
910627												
910702	2.4	4.0	9.4	9.2	7.8	5.5	55	31	23		14	2.4
910703	1.8	4.0	8.5	9.2	7.7	7.6	50	24	18		14	2.4
910704	1.8	4.0	7.6	11	7.1	4.7	55	26	20		14	2.4
910705												
910709	1.8	4.0	9.5	9.7	7.0	6.3	52	27	19		17	2.3
910710												
910711	1.8	4.0	7.5	9.3	5.6	6.7	49	26	19		17	2.3
910712												
910716	1.8	4.0	9.5	9.6	4.2	4.6	50	23	17		14	2.3
910717	1.8	4.0	8.2	9.2	5.7	5.6	48	22	16		14	2.3

dosering Me/t-P (mol/mol)	dosering Me/o-P (mol/mol)	datum yy#ddd	onopgeloste stof (mg/l)			t-P (mg/l)			o-P (mg/l)		
			afl. NBT	afl.DS	waswater	afl.NBT	afl.DS	waswater	afl.NBT	afl.DS	waswater
		910524									
		910525									
		910526									
		910527									
2.1	2.8	910528	24	3		3.2	0.9		2.4	0.35	
1.8	2.0	910529	14	1		3.8	0.7		3.3	0.18	
3.1	4.5	910611	13	3		2.2	0.7		1.5	0.21	
5.2	8.4	910612	17	5		1.3	1.2		0.8	0.46	
3.4	4.5	910613	1	<1		2	0.9		1.5	0.1	
		910617		2	500		0.7	24		0.15	0.06
		910618									
		910619									
		910625		1	450		0.6	26		0.09	0.17
		910626									
		910627									
		910702			340			7			0.04
6.1	11.2	910703	3	1		1.1	0.19		0.6	0.06	
		910704									
		910705									
		910709		1			0.19	15		0.03	0.08
4.8	6.1	910710				1.4	0.19		1.1	0.06	
		910711									
		910712									
4.2	5.6	910716	3	3		1.6	0.18		1.2	0.04	
3.5	4.2	910717		3		1.9	0.46		1.6	0.04	

BIJLAGE 5

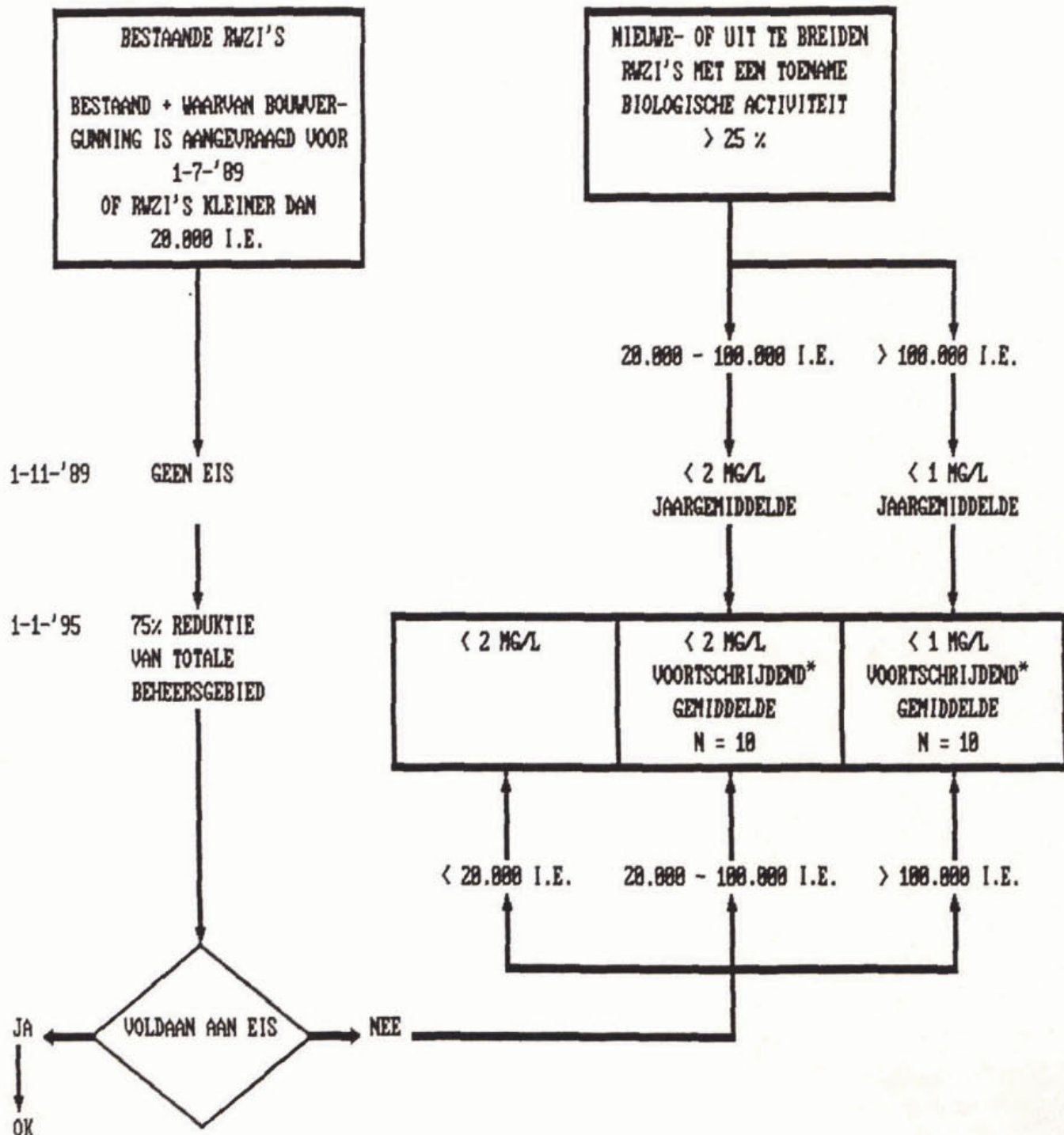
Opstelling van het DynaSand filter



BIJLAGE 6

Eisen aan de P-verwijdering volgens concept AMvB

EISEN T.A.V. P-VERWIJDERWIJDERING ZOALS GEFORMULEERD IN DE CONCEPT-AMvB



* De waarde van het voortschrijdend gemiddelde over 10 waarnemingen

