

Alternatieven voor nabezinking in het actief-slibproces

Inleiding

In de jaren 1981-1983 is onder auspiciën van de STORA ruime aandacht besteed aan de hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces [34-39]. Een van de uitvloeisels van dit onderzoek was het opstellen van nieuwe ontwerprichtlijnen voor zowel ronde als rechthoekige nabezinktanks. In de nieuwe richtlijnen is de nadruk meer komen te liggen op de slibvolumebelasting als ontwerpgrrootheid naast de al jaren in gebruikte oppervlaktebelasting. Dit heeft



IR. F. W. DE JONG



IR. R. G. VELDKAMP

ondermeer geresulteerd in het bouwen van ruimere nabezinktanks, waarmee een betere effluentkwaliteit werd bereikt. Tegenover deze verbetering stond echter een toename van de bouwkosten. Dit heeft geleid tot de vraag of er andere scheidingstechnieken voor het nabezinkproces in aanmerking komen, waarbij een betere effluentkwaliteit en/of lagere bouw- en exploitatiekosten worden bereikt. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is er een literatuuronderzoek verricht naar alternatieve scheidings-technieken. De doelstelling van dit onderzoek is als volgt geformuleerd:

- Het vaststellen welke technieken in aanmerking komen als alternatief voor nabezinking.
- Het (op grond hiervan) doen van aanbevelingen voor verder onderzoek.

Bij slib/waterscheiding zijn twee processen van belang die gelijktijdig optreden. Het proces waarmee een goede effluentkwaliteit, dat wil zeggen een effluent met een zo laag mogelijk droge stofgehalte wordt bereikt, wordt aangeduid met de term *clarificatie*. Het proces waarmee een zo hoog mogelijk droge stofgehalte van het retourslib wordt bereikt, wordt aangeduid met de term *indikking*. Beide begrippen worden hierna gehanteerd om een bepaalde scheidings-techniek te karakteriseren.

Keuze van de technieken

Als uitgangspunt is gekozen voor een zo breed mogelijke oriëntatie. Om in de veelheid van mogelijke technieken toch enige systematiek aan te brengen is allereerst

gezocht naar een geschikte indeling. Hiervoor kan men vele wegen bewandelen. Uitgaande van bijvoorbeeld conventionele nabezinking, waarbij scheiding plaatsvindt door middel van de zwaartekracht, is het mogelijk om nog andere krachten in beschouwing te nemen, zoals centrifugaalkrachten en elektro-magnetische krachten. Dit bleek echter een te smalle basis om alle mogelijke technieken onder te brengen. Beter is het om als maatstaf een aantal fysische eigenschappen van actief slib te hanteren, waarbij de nadruk wordt gelegd op het verschil in eigenschappen van slibdeeltjes en water. Bij het scheiden van slibdeeltjes en water heeft men te maken met enkele belangrijke invloedsfactoren, namelijk de *soortelijke massa* van het deeltje en de *deeltjesgrootte*. Actief slib gedraagt zich als een vlokkelig slib. Dit betekent dat nog andere invloedsfactoren van belang zijn, namelijk de *hechting* en de *lading* van de deeltjes. De hier genoemde invloedsfactoren, aangevuld met de gevoeligheid voor *trillingen*, zijn opgenomen in tabel I. Hierbij is per factor nog een verdere onderverdeling gemaakt. Voor het onderzoek zijn de op voorhand meest veelbelovende technieken geselecteerd; deze zijn met een ● in de tabel aangegeven. Van deze technieken komen in dit artikel aan de orde lamellenafscidders, centrifuges, filtereren en zeven, flotatie en magnetische scheiding. Niet behandeld worden hydrocyclonen en het toepassen van akoestische trillingen. Het gebruik van hydrocyclonen voor de scheiding van actief slib is niet zinvol. Door de hoge stroomsnelheden en snelheidsgradiënten in een hydrocycloon worden actief-slibvlokken tot

TABEL I – Invloedsfactoren voor de keuze van de scheidingstechnieken.

Factor	Techniek
<i>soortelijke massa</i>	
– groter soortelijk gewicht dan water	– lamellenafscieder ● – centrifuge ●
– grotere massatraagheid dan water	– hydrocycloon ● – swirl
<i>deeltjesgrootte</i>	
– vlokken van 10 tot 2.000 µm	– filtereren ● – zeven ●
<i>hechting</i>	
– aan gasballetjes	– flotatie ●
– aan zware deeltjes	– gefluïdiseerd bed – dekenfiltratie – flocculente bezinking
– aan elkaar	– polyelektrolyten – magnetische scheiding ●
– aan lange moleculen	– elektrolyse
– aan magnetische deeltjes	– vlokvorming en vlokverwijdering
<i>lading</i>	
	– elektrolyse – ionenwisseling
<i>trillingen</i>	
– gevoelig voor radioactiviteit	– ioniserende straling
– gevoelig voor geluidstrillingen	– akoestisch trillen ●

kleine vlokjes uiteengeslagen. Bij de deeltjesgrootte die dan ontstaat is de massa te klein om ze met behulp van hydrocyclonen af te scheiden. Het feit dat in de literatuur nauwelijks iets te vinden is over de toepassing van hydrocyclonen voor dit doel [12], bevestigt de op theoretische gronden gebaseerde negatieve uitspraak. Een uitvoeriger beschrijving is te vinden in het STORA-rapport [41]. Over akoestische trillingen is nog maar heel weinig bekend en dan nog alleen op laboratoriumschaal. De beschreven resultaten zijn wisselend [14, 21, 26]. Deze techniek leent zich voor verder onderzoek op laboratoriumschaal.

Lamellen- en buisafscidders

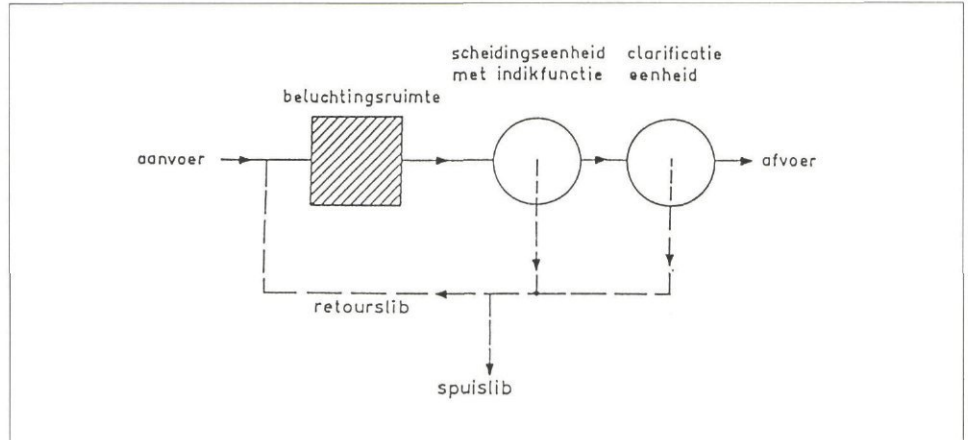
De theoretische grondslagen, waarop de ontwikkeling van lamellen- en buisafscidders is gebaseerd, werden reeds in 1904 beschreven door Hazen [10]. Latere onderzoekers hebben de theorie verder uitgewerkt [1, 45]. Er zijn diverse types ontwikkeld. Men kan onderscheid maken tussen meestroom (direct-current), tegenstroom (counter-current) of dwarsstroom (cross-current) afscidders. Kenmerkend voor deze afscidders zijn de gunstiger hydraulische eigenschappen in vergelijking met nabezinktanks. Voor een efficiënte verwijdering van deeltjes moet de stroming bij voorkeur laminair en stabiel zijn. In conventionele nabezinktanks wordt aan beide voorwaarden niet voldaan; in lamellenafscidders is de stroming altijd laminair en meestal ook stabiel of bijna stabiel. Vlokvorming gebeurt in hoofdzaak onder invloed van turbulentie. Omdat deze ontbreekt in een lamellenafscieder moet de vlokvormingsfase voltooid zijn voordat het water het lamellenpakket bereikt. Eventueel moet er een aparte vlokvormingsruimte worden toegepast.

De indikking van slib zal beter verlopen bij een grotere dikte van de sliblaag en bij een langere slibverblijftijd. De dikte van de sliblaag zal op lamellen veel kleiner zijn dan in een nabezinktank. De verblijftijd van het slib is in de regel korter omdat er gewerkt wordt met hogere oppervlaktebelastingen. Het gevolg is dat de indikking in een lamellenafscieder vaak onvoldoende is. Toepassing van een conus onder het lamellenpakket is voor een goede indikking noodzakelijk. De belangrijkste ontwerp- en bedrijfsparameters voor lamellen- en buisafscidders zijn in tabel II samengevat. Het merendeel der gegevens is afkomstig van buisafscidders. Voor zover bekend werkten alle installaties volgens het tegenstroomprincipe. Van de getallen in tabel II zijn gemiddelden bepaald om ze te kunnen vergelijken met enkele richtwaarden voor conventionele nabezinktanks. In het oog springen de zeer

lage Reynolds-getallen. De Froude-getallen zijn minstens een factor 10 gunstiger. De verblijftijd in het lamellenpakket ligt tussen 500 en 2000 s en is aanzienlijk lager dan de 7000 s voor een nabezinktank. De indikking van het slib kan een probleem zijn. Volgens Dick [2] is de indikking vaak maatgevend voor de toelaatbare belasting van conventionele nabezinktanks. In een bestaande nabezinktank kan de oppervlaktebelasting met een factor 2 tot 4 worden verhoogd door het aanbrengen van lamellen in de bezinkruimte. De droge-stofbelasting neemt dan met eenzelfde factor toe. De slibzone onder de lamellen is echter ongewijzigd gebleven, zodat voor dit gedeelte ook de toelaatbare droge-stofbelasting gelijk is gebleven. De clarificatiecapaciteit is dus wel verhoogd maar de indikkingscapaciteit blijft hetzelfde en de bezinktank is indikking-gelimiteerd. Op dezelfde gronden maakt Mendis [24] een onderscheid in 3 categorieën (zie ook tabel II):

1. slibindex < 75 ml/g, clarificatie-gelimiteerd;
2. slibindex > 75 ml/g, clarificatie-gelimiteerd;
3. slibindex > 75 ml/g, indikking-gelimiteerd.

Als de indikking de capaciteit bepaalt, is de toelaatbare belasting nauwelijks hoger dan die van een conventionele nabezinktank. De effluentkwaliteit is wel beter. Wordt de toelaatbare belasting overschreden dan stijgt de slibspiegel en zodra deze het buizenpakket bereikt neemt het droge-stofgehalte van het effluent toe. Een ander aspect waarin een lamellenafscheider zich onderscheidt van een



Afb. 1 - Tweetrapsconfiguratie met serieschakeling van indikking en clarificatie in de vloeistofstroom.

nabezinktank is de grotere kans op vervuiling. De lamellen maken het gebruik van mechanische slibruimers niet eenvoudig. Wanneer de kans op vervuiling groot is kunnen lamellenafscheiders beter niet toegepast worden. Vervuiling is te voorkomen door de lamellen onder een grote hoek te plaatsen en te kiezen voor een glad materiaal. Bij vervuiling is het laten zakken van de waterspiegel een remedie, soms gecombineerd met schoonspuiten van de buizen. Het in trilling brengen van de lamellen kan het aancoeken van slib voorkomen. Een eenvoudige constructie van de afscheider met de mogelijkheid van een snelle reiniging is van belang. Lamellen verdienen dan de voorkeur boven buizen die gevoeliger zijn voor vervuiling en moeilijker

zijn te reinigen. Een lamellenafscheider vergt meer onderhoud dan een conventionele nabezinktank. Een lamellenafscheider is vooral geschikt voor clarificatie van effluent en minder voor het indikken van slib. Door het voor-schakelen van een eenheid waarin wel een goede indikking wordt bereikt, ontstaat een tweetrapsinstallatie volgens afbeelding 1. Het effluent hiervan heeft een kwaliteit die beter is dan die van een conventionele nabezinktank, terwijl het droge-stofgehalte van het retourslib ook hoger is. Een dergelijke combinatie is beschreven door Malm [23] en wordt verder behandeld bij het centrifugeren.

Conclusies

- Lamellenafscheiders hebben in het algemeen geen hoger toelaatbare droge-stofbelasting dan conventionele nabezinktanks.
- Als de indikking (stijgende slibspiegel) de beperkende factor is, kan met behulp van een lamellenafscheider wel een betere effluentkwaliteit, maar geen hogere oppervlaktebelasting worden bereikt.
- Als niet de indikking maar de clarificatie (te hoog droge-stofgehalte in het effluent) de belasting beperkt, zijn lamellenafscheiders een geschikt alternatief voor nabezinking.

Centrifuges

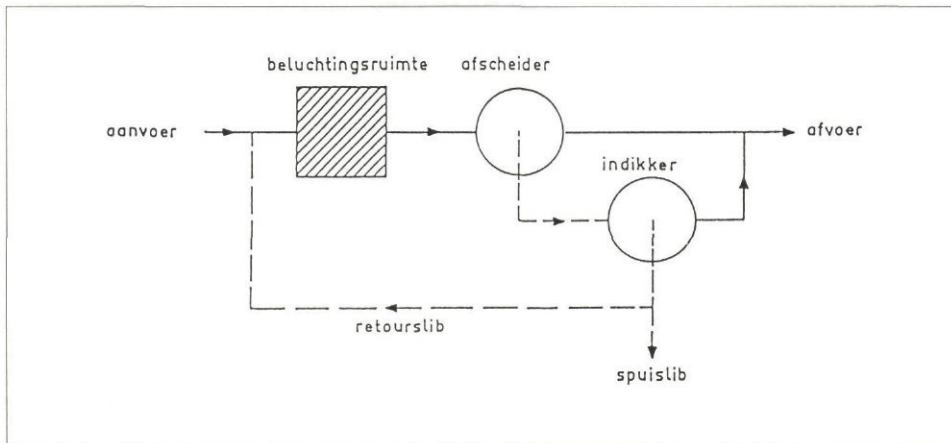
Centrifuges worden in de afvalwaterzuivering toegepast voor de mechanische indikking van spuislib. Met centrifuges zijn versnellingen van vele malen de zwaartekracht te bereiken. Men onderscheidt decanteer-, schotel- en basketcentrifuges. Alleen schotelcentrifuges zijn in staat om continu grote debieten te verwerken [32]. Door Wagner [42] wordt verslag gedaan van proeven waarbij een schotelcentrifuge als vervanging van een nabezinktank werd toegepast. In een proefinstallatie is de combinatie van beluchtingsruimte en centrifuge vergeleken met de conventionele

TABEL II – Bedrijfsparameters van in de praktijk toegepaste lamellen- en buizenafscheiders.

	O	L	Re	Fr	T	OB	DB	SB	In	Ef	SVI
Hansen [9]	3,7	1	11	11	870	3,6	7,6	0,55	2,1	30	70
Slechta [31]	4,2	1	4–	1,3–	820–	1,3–	7,5–	0,87	1,7–	23–	40–
			12	12	2.520	3,8	17,3		4,8	65	100
Slechta [31]	39	1,07	5–	2–	640–	1,5–	8,7–	1,5	2,5	4–	100–
			16	20	2.220	5,2	17,3			156	130
Slechta [31]	83	1,22	12–	11–	500–	3,7–	11–	0,43–	2,9	16	40
			24	47	1.030	7,6	22	0,88			
Girling [8]	560	0,61	8	6	1.000	2,7	5,1	0,53	1,9	30	50–
											100
Mendis [24]											
clar gelim	576	0,61?	12	13	480	4	12	0,9	3	30	< 75
clar gelim	576	0,61?	9	8	630	3	13,8	1,4	4,6	30	> 75
indik gelim	576	0,61?	6	3	950	2	9	0,9	4,5	30	> 75
Leglise [20]	371	–	24	7	–	3,8	–	–	–	30	–
Heckel [11]	9,6	1,5	25	33	680	6,5	21	2,1	3,3	16	<100
Gemiddeld			13	13	940	3,6	12	1,0	3,1		
Conv. bez.			2.000	0,1	7.200	1	3	0,3–	3		150
H=2m L/H=5								0,4			

Kolomindeling:

- O = horizontaal oppervlak (geprojecteerde lengte x breedte) van het buizen- of lamellenpakket in m²
- L = de lengte van de lamel of buis in m
- Re = de kengrootheid van Reynolds bij 10 °C
- Fr = de kengrootheid van Froude² x 10⁻⁶
- T = de verblijftijd in het buizen- of lamellenpakket in s
- OB = de oppervlaktebelasting, gerelateerd aan het horizontaal oppervlak in m³/(m² · h)
- DB = de droge-stofbelasting in kg/(m² · h)
- SB = de slibvolumebelasting in m³/(m² · h)
- In = het droge-stofgehalte van het influent in kg/m³
- Ef = het droge-stofgehalte van het effluent in g/m³
- SVI = de slibindex in ml/g



Afb. 2 - Tweetrapsconfiguratie met serieschakeling van clarificatie en indikking in de slibstroom.

combinatie van beluchtingsruimte en nabezinktank. Het hierin behandelde afvalwater, afkomstig van een kartonfabriek, was sterk verontreinigd. Er trad regelmatig licht slib op, waardoor in de nabezinktank slechts lage oppervlaktebelastingen ($0,14 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) toelaatbaar waren.

De combinatie met centrifuge was beter in staat om pieken in de aanvoer op te vangen, nl. 2,8 dwa tegen 1,9 dwa voor de conventionele combinatie. Het effluent van de nabezinktank had wel een iets betere kwaliteit.

Malm [23] heeft een patentaanvraag ingediend voor een scheidingsmethode die voor een hoog droge-stofgehalte in het retourslib zorgt. Deze methode bestaat uit het na elkaar schakelen van een grove zeef, een fijne zeef en een schotelcentrifuge. De zeven dienen om verstopping van de centrifuge te voorkomen. Het effluent van deze afscheider passeert een tweede scheidingsstrap. Hiervoor kan een nabezinktank, al dan niet voorzien van lamellen, of een flotatie-eenheid worden toegepast. Met centrifuges wordt retour- en spuislib met een hoog droge-stofgehalte geproduceerd. Hierdoor kan de slibverwerking kleiner worden gedimensioneerd. In de beluchtingsruimte kan een hoger droge-stofgehalte worden gehandhaafd, zodat met een kleinere beluchtingsruimte kan worden volstaan. Andere voordelen van centrifuges zijn de snelle recirculatie van het slib, de geringe plaatsruimte en de remming van de groei van draadvormers [30, 43]. Een nadeel van centrifuges is de slechtere effluentkwaliteit. Centrifuges lenen zich voor toepassing in tweetrapsinstallaties. Het zwaartepunt ligt dan op hun indikfunctie. Toepassing in een serieschakeling, zoals door Malm beschreven, geeft een installatie volgens afbeelding 1. Een andere mogelijkheid is weergegeven in afbeelding 2. De centrifuge is geplaatst in de slibafvoer van een scheidingsinstallatie en moet het slib tot een hogere graad indikken.

Conclusies

- Centrifuges zijn niet in staat om aan hoge effluenteisen te voldoen.
- Vergeleken met nabezinktanks zijn centrifuges waarschijnlijk beter in staat om belastingvariaties op te vangen.
- Centrifuges kunnen slecht bezinkbaar slib afscheiden; de groei van draadvormende bacteriën wordt geremd.
- Of centrifuges economisch gezien een alternatief voor nabezinking zijn is niet duidelijk.

Filteren en zeven

In de afvalwatertechniek worden filters en zeven in hoofdzaak toegepast als derde zuiveringstrap om gesuspendeerde deeltjes te verwijderen [33, 40].

Joyce [16] beschrijft proeven waarbij een microzeef als alternatief voor nabezinking wordt gebruikt. De installatie bestond uit een cylinder met verticale as die in de beluchtingsruimte van een actief-slibinstallatie was geplaatst. De zeef werd van buiten naar binnen continu gereinigd met behulp van ultrasonische trillingen. Het slib kwam direct weer in de beluchtingsruimte terecht. Het effluent passeerde een tweede filter buiten de beluchtingsruimte. Het slib van dit filter werd teruggevoerd naar de beluchtingsruimte. Er werden microzeven met een poriegrootte van $10 \mu\text{m}$ gebruikt. Het droge-stofgehalte van het effluent was $15\text{--}30 \text{ g/m}^3$. De belasting van het eerste filter kon oplopen tot maximaal $30 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Het slibgehalte in de beluchtingsruimte was op $6,5 \text{ kg/m}^3$ te handhaven. Deze scheidingsmethode bevorderde de groei van draadvormige bacteriën, die beter te filteren zijn. Voordelen zijn de compactheid, de kleinere beluchtingsruimte vanwege het hoge droge-stofgehalte, het selectief afscheiden van licht slib en het bestand zijn tegen stootbelastingen. Fernbach [6] heeft soortgelijke proeven uitgevoerd. Zijn installatie bestond uit een microzeef met verticale as buiten de

beluchtingsruimte waar de vloeistof van binnen naar buiten doorheen stroomde. Het doorgelaten slib/watermengsel ging naar een nabezinktank om de resterende droge stof te verwijderen. De microzeef werd met sproeiers schoongemaakt en het geconcentreerde slib naar de beluchtingsruimte teruggevoerd. De poriegrootte van de zeef bedroeg $35 \mu\text{m}$ waarmee ongeveer de helft van het actief slib werd tegengehouden. Het droge stofgehalte van het geconcentreerde slib kon oplopen tot 16 kg/m^3 . Een deel van de draadvormende bacteriën passeerden de zeef waarbij kortere draden ontstonden met als gevolg goed bezinkend slib met een lagere slibindex dan slib uit de beluchtingsruimte.

Voordelen zijn een kleinere bezinktank, ongevoeligheid voor draadvormers, een hoger droge-stofgehalte van het retourslib en een snelle recirculatie.

Hüper [13] heeft vergelijkende proeven uitgevoerd met een trommelfilter en een microzeef na een Dortmundtank. Het filterdoek van het trommelfilter had een poriegrootte van $20 \mu\text{m}$, de microzeef van $25 \mu\text{m}$. Het rendement van het trommelfilter was maximaal 94% en nam toe met het droge-stofgehalte van de aanvoer. De toelaatbare oppervlaktebelasting verminderde bij een toenemend droge-stofgehalte. Met de microzeef werd ten hoogste een rendement van 33% bereikt.

Opvallend is dat de vergelijkbare installaties van Joyce en Fernbach een verschillende uitwerking op draadvormers hadden. Dit kan veroorzaakt zijn door een verschillende samenstelling van het afvalwater, een verschillende reinigingsmethode, een verschil in stromingsrichting door de zeef en/of een verschil in poriegrootte. Door Hüper wordt niets vermeld over enige invloed op draadvormers.

Conclusies

- Microzeven lijken een interessant alternatief voor nabezinktanks vanwege de hoge toelaatbare oppervlaktebelasting.
- De poriediameter heeft veel invloed op het rendement.
- Microzeven zijn een mogelijke oplossing voor kleine zuiveringsinstallaties waar men te kampen heeft met licht slib.

Flotatie

Actief-slibdeeltjes hebben een soortelijke massa groter dan water. Wanneer zich een luchtbelletje aan een slibdeeltje hecht zal de soortelijke massa dalen en kan het deeltje opstijgen. De luchtbelletjes hechten zich aan een bestaande slibvlok of worden ingevangen in zich vormende vlokken. Dit kan alleen als de luchtbellen kleiner zijn dan $100 \mu\text{m}$. Voor het inbrengen van luchtbellen komt alleen ontspanningsflotatie in aanmerking.

Hierbij wordt water, in de regel effluent van de flotatie-eenheid, onder een druk van 500 kPa met lucht verzadigd. Het verzadigde water wordt onder atmosferische druk in de flotatie-eenheid gemengd met het actief slib uit de beluchtingsruimte.

Voor het uittreden van de gasbellen en de vorming van de vlokken is een bepaalde hoeveelheid energie (turbulentie) nodig. In de flotatie-ruimte moeten de opdrijvende deeltjes voldoende tijd hebben om het oppervlak te bereiken en daar een drijfslaag te vormen. Het effluent gaat onder een duikschot door en vervolgens over een overstortrand. De drijfslaag wordt met behulp van een drijfslaagruimer verwijderd.

De werking van de flotatie-eenheid, die kan worden afgemeten aan het droge-stofgehalte in effluent en drijfslaag, is van veel factoren afhankelijk. Van invloed zijn onder andere:

- de gewichtsverhouding van de hoeveelheid lucht en de hoeveelheid droge stof;
- de hydraulische belasting;
- de droge-stofbelasting;
- de verblijftijd in de flotatiaruimte;
- het gebruik van chemicaliën;
- de slibindex;
- de werking van de drijfslaagruimer.

In actief-slibinstallaties wordt flotatie gebruikt om spuislib in te dikken. Hierbij is het maximaal te bereiken droge-stofgehalte in de drijfslaag van belang. In enkele gevallen is flotatie toegepast in plaats van nabezinking. Het droge-stofgehalte in het effluent is nu van primair belang.

Voor die gevallen zijn in tabel III de belangrijkste gegevens over flotatie-installaties uit de literatuur samengevat. Jedele [15] geeft in zijn proefschrift de resultaten van 'batch'-proeven en proeven met een semi-technische installatie. Uit het onderzoek blijkt dat het droge-stofgehalte in het effluent kleiner is als er een lagere oppervlaktebelasting (of droge-stofbelasting) wordt toegepast en als de slibindex hoger is. Flotatie zou goedkoper dan

TABEL III – Bedrijfsparameters van in de literatuur gevonden flotatie-eenheden.

	O	OB	DB	In	Ef	Dr	L/S	SVI	PE
<i>proefinstallatie in plaats van nabezinking</i>									
Gehr [7]									
laagbelast a.s	0,9	4,9	13,7	2,9	< 50	70	0,028		1,5
oxydatiesloot	0,9	6,5	10,4	4,6	< 10	39	0,025		0,9
Krofta [17]									
petroch.ind.	1,2	6,5	28	4,3	300	23			
Haltern WD	2,5	4,7	10,8	2,3	< 1	27	0,030	<150	
papierfabriek	0,9	5,4	11,8	1,9	129	11			
Weber [44]	2,5?	4,7?	16,5?	3,5	< 42			<150	<10
Jedele [15]	0,7	3,2	5,4	1,7	< 30	27	0,015	50-100	
	0,7	5,4	9,1	1,7	< 30	19	0,015	100-200	
	0,7	6,5	11,0	1,7	< 30	14	0,015	200-300	
Engwirda [3,4]	?	4,0	10,0	3,0	< 30		0,020		
<i>praktijkinstallatie in plaats van nabezinking</i>									
Mulbarger [25]	257	1,0	3,0	1-8	300	45	0,020	60	
<i>proefinstallatie na nabezinking</i>									
Parsons [27]									
	0,9	13,4	1,1	0,04	30	4	0,070	170	
	0,9	9,8	2,5	0,4	31	6	0,035	170	7,5
Maddock [22]									
	1,0	10,0	8,0	0,8	< 65	25			
	1,0	7,0	10,5	1,5	< 35				
	1,0	10,0	2,0	0,2	15	30			

Kolomindeling:

O = het oppervlak van de flotatie-eenheid in m²

OB = de oppervlaktebelasting in m³/(m² · h) inclusief recirculatiestroom

DB = de droge-stofbelasting in kg/(m² · h)

In = het droge-stofgehalte in het influent in kg/m³ na verdunning met de recirculatiestroom

Ef = het droge-stofgehalte in het effluent in g/m³

Dr = het droge-stofgehalte in de drijfslaag in kg/m³

L/S = de verhouding van de gewichtshoeveelheden lucht en droge stof in kg/kg

SVI = de slibvolume-index in ml/g

PE = de hoeveelheid polyelektrolyt per hoeveelheid droge stof in g/kg

nabezinking zijn als de slibindex groter is dan 150 ml/g. Om bij een bepaalde effluentkwaliteit de maximale oppervlaktebelasting te bereiken, moet het droge-stofgehalte van de aanvoer omstreeks 2 kg/m³ liggen.

Een goede werking van de drijfslaagruimer is van belang. Een kettinruimer is volgens Maddock [22] niet geschikt. Door Krofta [17] en Jedele worden alternatieve systemen gebruikt, die wel goed voldoen.

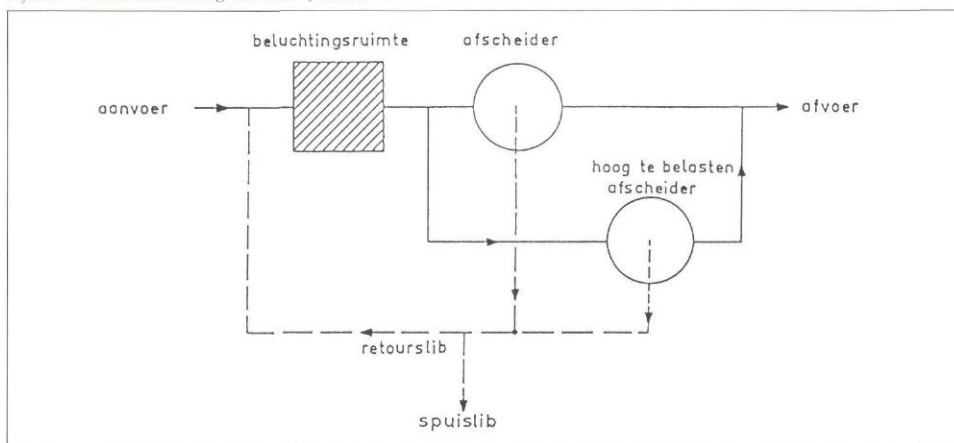
Over het gebruik van chemicaliën, zoals polyelektrolyten, bestaat verschil van mening. Volgens Gehr [7] is het absoluut noodzakelijk en volgens Maddock is er geen positief effect merkbaar, tenzij zeer hoge

doserings worden toegepast. Volgens Weber [44] en Jedele is een goede effluentkwaliteit zonder gebruik van chemicaliën haalbaar. De verschillen in bevindingen zijn misschien te wijten aan een verschil in slibeigenschappen.

Mulbarger [25] concludeert uit zijn praktijkproeven dat nabezinking goedkoper is dan flotatie. Hij gebruikte echter actief slib met een lage slibindex dat goed bezinkt maar slecht floeteert. Bovendien werkte de drijfslaagruimer niet optimaal.

Flotatie is een proces waarbij de luchtinbreng aan de omstandigheden kan worden aangepast. Nadelen van flotatie zijn de kwetsbaarheid, de moeilijke bediening en de hoge bedrijfskosten. Flotatie levert een hoog droge-stofgehalte in het retour- en spuislib op met als voordelen een kleiner retour- en spuidebiet, een slibverwerking met een kleinere hydraulische capaciteit en de mogelijkheid om in de beluchtingsruimte een hoog slibgehalte te handhaven. Doordat het retourslib tevens een hoog zuurstofgehalte heeft, kan actief slib beter gebufferd worden, bijvoorbeeld bij grote aanvoerdebieten. Bij flotatie zijn hogere oppervlaktebelastingen mogelijk dan bij nabezinking. Als voorbeeld is de toelaatbare oppervlaktebelasting voor een nabezinktank en een flotatie-eenheid berekend. Hierbij is uitgegaan van een slibindex van 150 ml/g. De maximaal toelaatbare slibvolume-

Afb. 3 - Parallelschakeling van twee afscheiders.



belasting voor de nabezinktank is bepaald volgens de STORA-richtlijn [36]. Voor de flotatie-eenheid zijn de gegevens van Jedele gebruikt, die een toelaatbare droge-stof-belasting van 9,1 kg/(m²·h) aanhoudt. De resultaten voor droge-stofgehalten in de beluchtingsruimte van respectievelijk 2, 4, 6 en 8 kg/m³ zijn in tabel IV samengevat. De toelaatbare oppervlaktebelasting is bij flotatie 3 tot 5 maal zo groot.

TABEL IV – De toelaatbare oppervlaktebelasting in m³/(m²·h) bij toepassing van flotatie en nabezinking.

Droge-stofgehalte in de beluchtingsruimte, kg/m ³	2	4	6	8
flotatie	4,55	2,28	1,52	1,14
nabezinking	1,00	0,67	0,44	0,33
verhouding flotatie/nabezinking	4,6	3,4	3,5	3,5

Een flotatie-eenheid kan als onderdeel van een tweetrapsinstallatie worden toegepast. Hierbij wordt de flotatie-eenheid parallel aan bijvoorbeeld een conventionele nabezinktank geschakeld, zoals in afbeelding 3. Bij normale aanvoeren werkt alleen de nabezinktank. Alleen bij piekaanvoeren (regen) wordt de flotatie-eenheid ingeschakeld. Het totale oppervlak kan beperkt blijven, omdat met flotatie op een klein oppervlak een groot debiet verwerkt kan worden. De hogere bedrijfskosten van flotatie zijn bij een dergelijke bedrijfsvoering minder bezwaarlijk.

Conclusies

- Technisch gezien is flotatie een alternatief voor nabezinking.
- Flotatie wordt aantrekkelijker naarmate de slibindex hoger is.
- Bij flotatie zijn hogere oppervlaktebelastingen mogelijk dan bij nabezinking.
- De effluentkwaliteit bij flotatie hoeft niet veel te verschillen van die bij nabezinking.

Magnetische scheiding

Deeltjes met sterk magnetische eigenschappen kunnen eenvoudig door middel van magnetische separatoren worden gescheiden. Met behulp van een groot verloop van de magnetische veldsterkte kunnen zelfs zwak magnetische deeltjes (paramagneten) worden afgescheiden.

Een groot verloop van de magnetische veldsterkte wordt verkregen door in een (homogeen) magnetisch veld een matrix (bijvoorbeeld staalwol) aan te brengen. De gradiënt is vlakbij een draad van het staalwol het grootst. Een scheidingsinstallatie (High Gradient Magnetic Separator – HGMS) bestaat uit een tank met een matrix in een magnetisch veld. Door de tank stroomt een vloeistof met daarin paramagnetische deeltjes. Deze deeltjes gedragen zich onder invloed van het magnetische veld als kleine

magneetjes. Aangezien het magnetische veld over de lengte van het deeltje verloopt (gradiënt) wordt de ene pool van het magneetje sterker aangetrokken dan de andere pool wordt afgestoten. Afhankelijk van de combinatie van magnetische, zwaarte- en visceuze krachten zullen de deeltjes zich aan de matrix hechten of met de vloeistof worden afgevoerd. Na verloop van tijd moet de matrix worden gereinigd. Dit gebeurt door het magnetisch veld uit te schakelen en de tank met een groot debiet schoon te spoelen. Behalve met een dergelijke installatie is het ook mogelijk magnetische deeltjes zonder matrix af te scheiden. Er is dan een speciale vormgeving van de tank nodig, waardoor de gradiënt binnen de tank verloopt (Open Gradient Magnetic Separator – OGMS). De magnetische deeltjes worden dan bij de hoogste gradiënt en het effluent bij de laagste gradiënt afgetapt. Schoonspoelen is niet meer nodig. Omdat het magnetisch veld niet uitgeschakeld hoeft te worden, kunnen behalve elektromagneten ook permanente magneten en supergeleidende magneetsystemen worden gebruikt.

Magnetische scheiding wordt in de papierindustrie toegepast voor de verwijdering van titaandioxyde uit kaolienklei. Toepassing is overwogen voor de (gedeeltelijke) ontzwaveling van steenkool door de verwijdering van pyriet (FeS₂). Zowel pyriet als titaandioxyde hebben magnetische eigenschappen.

De Latour [18, 19] toont aan dat magnetische scheiding toegepast kan worden bij de waterzuivering. Hiervoor wordt een paramagnetisch materiaal (meestal magnetiet, Fe₃O₄) toegevoegd, dat zich aan de vuildeeltjes hecht. De hechting kan soms worden verbeterd door toevoeging van vlok-middelen en vlokhulpmiddelen. Stoffen die op deze wijze verwijderd kunnen worden zijn humus, gesuspendeerde deeltjes, bacteriën, fosfaat, algen, virussen, zuurstofverbruikende stoffen en zware metalen. Ook actief slib is op deze manier af te scheiden [5, 29].

Faseur [5] heeft op laboratoriumschaal actief

slib met behulp van een OGMS afgescheiden. Er werd 1 gram magnetiet per kg droge stof gedoseerd. De installatie werkte met een lage veldsterkte en een kleine gradiënt. Als voordelen ten opzichte van conventionele nabezinking worden genoemd een drievoudig debiet, een bijna tweemaal hoger droge-stofgehalte in het retourslib, een verdubbeling van de oppervlaktebelasting en een halvering van de zuurstofverbruikende stoffen in het effluent. De exploitatie- en kapitaalkosten voor een praktijkinstallatie van 10.000 i.e. zouden lager zijn dan die voor een nabezinktank dankzij de kleinere afmetingen en het feit dat de veldsterkte met permanente magneten kan worden opgewekt. TNO [28] heeft in opdracht van Smit-Nymegen, fabrikant van supergeleidende magneten, de technische en economische haalbaarheid van HGMS onderzocht. De afscheiding van actiefslib-vlokken wordt redelijk kansrijk geacht. Met behulp van HGMS zijn in principe zeer hoge oppervlaktebelastingen tot 360 m³/(m²·h) haalbaar. De hechting van actief slib aan magnetiet moet bij HGMS veel groter zijn dan bij OGMS. Of de hechting groot genoeg is om HGMS te kunnen toepassen is niet bekend.

Conclusies

- Indien de hechting van actief slib aan magnetiet voldoende is kan met behulp van permanente magneten actief slib worden verwijderd. De toelaatbare oppervlaktebelasting is dan iets hoger dan bij een conventionele nabezinktank.
- Toepassing van supergeleidende magneten komt alleen in aanmerking als de hechting van actief slib aan magnetisch materiaal voldoende sterk is. Er is dan een aanzienlijk hogere oppervlaktebelasting mogelijk.

Evaluatie

De hiervoor besproken technieken verschillen wat betreft ontwikkeling. Sommige worden in de praktijk reeds toegepast, andere zijn alleen op laboratoriumschaal

TABEL V – Evaluatietabel van de verschillende alternatieven voor nabezinking.

Techniek	Aanwezige kennis en ervaring	Technische aspecten			Economische aspecten		
		belasting	clarificatie	indikking	inv.-kosten	expl.-kosten	
conventionele bezinking	++	--	0	-	0	++	
lamellenafscheiding	+	--	++	--	+	+	
centrifugeren	0	+	-	++	-	?	
filtreren en zeven	0	+	+	++	0	?	
flotatie	+	+	0	++	+	0	
magnetische scheiding	--	+	+	+	-	?	
supergeleidende magn. sch.	--	++	?	?	--	?	
akoestisch trillen	--	?	?	+	?	+	
aanwezige kennis en ervaring	++	veel praktijkervaring			technische aspecten	++	goed
	+	praktijkervaring				--	slecht
	0	toegepast op technische schaal					
	-	toegepast op semi-technische schaal			investering-/	++	lage kosten
	--	toegepast op laboratoriumschaal			exploitatiekosten	--	hoge kosten

TABEL VI – Indeling van de verschillende alternatieven voor nabezinking op grond van de aanwezige kennis en de technische aspecten.

veel-belovend	– magnetische scheiding met supergeleidende magneten	– flotatie
	– magnetische scheiding	– centrifugereren
↑ waardering op grond van technische aspecten	– akoestisch trillen	– filteren en zeven
		– lamellenafscheiding
↓ kansarm		– hydrocyclonen
	weinig ← aanwezige kennis → veel	

ontwikkeld. Het zonder meer vergelijken van de verschillende alternatieven is derhalve niet mogelijk. In tabel V zijn de verschillende technieken gewaardeerd op drie hoofd-aspecten: de aanwezige kennis en ervaring, de technische aspecten en de economische aspecten. De technische aspecten zijn onderverdeeld in de drie belangrijkste procesmatige aspecten, nl. de maximale toelaatbare belasting, de te bereiken effluentkwaliteit (clarificatie) en de te behalen indikkingsgraad van het retourslib. De waardering kent een gradatie in vijf stappen en loopt van ++ (goed/veel/gunstig) naar -- (slecht/weinig/ongunstig).

Gezien het verschil in ontwikkeling is soms een waardering niet goed mogelijk, wat in de tabel met een ? wordt aangegeven. Omdat er weinig bekend is van de kosten worden de economische aspecten verder niet in de evaluatie betrokken.

Op grond van de evaluatietabel zijn de technieken in vier categorieën ingedeeld, zoals schematisch in tabel VI is weergegeven. Een techniek waarvan onvoldoende kennis aanwezig is, maar die wel veelbelovend lijkt, moet nader worden onderzocht op de technische mogelijkheden. Dit betreft magnetische scheiding. Met de nu aanwezige kennis en ervaring kan deze techniek niet op korte termijn nabezinking vervangen. De technieken waar voldoende van bekend is en die veelbelovend lijken zijn flotatie, centrifugereren en in mindere mate filteren en zeven. Ze lenen zich voor het uitvoeren van een haalbaarheidsstudie met het accent op het economische aspect. Afhankelijk van dit onderzoek komen ze in aanmerking om nabezinking op korte termijn te vervangen. Een techniek waarvan onvoldoende bekend is en die kansarm lijkt is akoestisch trillen. Oriënterend (laboratorium-)onderzoek kan de aanwezige kennis vergroten. Technieken waarvan voldoende bekend is en die kansarm zijn, zoals lamellenafscheiders en hydrocyclonen vallen af als alternatief voor nabezinking. Lamellenafscheiders zijn daarentegen wel geschikt voor tweetrapsinstallaties.

Het uitvoeren van onderzoek naar de economische haalbaarheid van tweetrapsinstallaties en vooral de parallelschakeling van afbeelding 3 lijkt zinvol.

Slotopmerking

Dit artikel is een beknopte weergave van een STORA-onderzoek uitgevoerd door de TU Delft, vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing. De volledige resultaten van het onderzoek zijn vastgelegd in het STORA-rapport nr. 87-03, getiteld 'Slib/waterscheiding – Verkenning van alternatieven voor nabezinking'.

Literatuur

1. Billmeier, E. (1979). *Feststoffabscheider mit lamellen- und kastenförmigen Durchflussprofilen*. Wasserwirtschaft, (69) 1979 nr. 3, 73-78.
2. Dick, R. I. (1970). *Discussion on Tube clarification process, operating experiences*. Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the ASCE, (96) 1970 SA4, 1009-1011.
3. Engwirda, S. (1985). *Flotatieclarificatie na beluchting onder verhoogde druk*. (I), (18) 1985, 20, 418-421.
4. Engwirda, S. (1986). *Flotatieclarificatie na beluchting onder verhoogde druk (slot)*. (19) 1986, 18, 410-415, 420.
5. Fasseur, A. e.a. (1986). *Electromagnetic treatment of wastewaters*, In: Proceedings of the Fourth World Filtration Congress, Part I, Ostend, 1986, 3.19-3.25.
6. Fernbach, E. en Tchobanoglous, G. (1975). *Centrifugal screen concentrator for activated sludge process*. Part I and II, Water and Sewage Works (122) 1975, 1, 64-67; 2, 40-42.
7. Gehr, R. en Henry, J. G. (1980). *Assessing flotation behaviour of different types of sewage suspensions*. Progress in Water Technology (12) 1980, 6, Tor I-21.
8. Girling, R. M. (1977). *Experiences with high rate settlers applied to an existing final clarifier*. Winnipeg, Canada, Progress in Water Technology (8) 1977, 6, 521-530.
9. Hansen, S. P. e.a. (1969). *Practical application of idealized sedimentation theory in wastewater treatment*. Journal Water Pollution Control Federation (41) 1969, 8, 1421-1444.
10. Hazen, A. (1904). On sedimentation, Transactions American Society of Civil Engineers (53) 1904, 45-88.
11. Heckel, R. en Korn, H. (1974). *Rationalisierung von Absetzbecken mittels Röhrensedimentation*. Wasserwirtschaft – Wassertechnik (24) 1974, 10, 341-346.
12. Hunt, D. B. e.a. (1972). *The hydrocyclone for solids-liquid separation in biological systems*. Water and Sewage Works (119) 1972, 5, 92-98.
13. Hüper, F. (1985). *Filteranlagen zur Sanierung hydraulisch überlasteter Nachklärungen*. Korrespondenz Abwasser (32) 1985, 10, 871-876.
14. Husmann, W. (1952). *Über den Einfluss von Ultraschall auf Abwasser und Klärschlamm*. Gesundheits-Ingenieur (73) 1952, 7/8, 127-129.
15. Jedele, K. (1984). *Anwendung der Entspannungsflotation zur Trennung des belebten Schlammes vom Wasser*. München, Oldenbourg, 1984, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, no. 84.
16. Joyce, M. e.a. (1975). *Replacement of activated sludge secondary clarifiers by dynamic straining*. Cincinnati, Environmental Protection Agency, 1975, EPA 670/2-75-045.
17. Krofta, M. K. e.a. (1981). *Improved biological treatment with a secondary flotation clarifier*. Lenox. Lenox institute for research Inc., 1981, Technical report No. LIR/09-81/1, NTIS PB 82-154196.
18. Latour, C. de. (1973). *Magnetic separation in water pollution control*. IEEE Transactions on Magnetics, MAG (9) 1973, 3, 314-316.
19. Latour, C. de en Kolm, H. (1975). *Magnetic separation in water pollution control II*. IEEE Transactions on Magnetics, MAG (11) 1975, 5, 1570-1572.

20. Leglise, J. P. en Broussaud, A. *La decantation lamellaire*.
21. Lyon, W. A. (1951). *The effect of ultrasonics on suspended matter in sewage*. Sewage and Industrial Wastes (23) 1951, 9, 1084-1095.
22. Maddock, J. E. L. en Tomlinson, E. J. (1980). *The clarification of effluent from an activated-sludge plant using dissolved-air flotation*. Water Pollution Control (79) 1980, 117-125.
23. Malm, L. G. e.a. (1976). *Biological waste water purification*. Duits patent nr. 2741021, 1976.
24. Mendis, J. B. en Benedek, A. (1980). *Tube settlers in secondary clarification of domestic wastewaters*. Journal Water Pollution Control Federation (52) 1980, 7, 1893-1897.
25. Mulbarger, M. C. en Huffman, D. D. (1970). *Mixed liquor solids separation by flotation*. Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the ASCE (96) 1970, SA 4, 861-871.
26. Muralidhara, H. S. e.a. (1986). *A novel electro-acoustic separation process for fine particle suspensions*, In: Proceedings of the Fourth World Filtration Congress, Part II, Ostend, 1986, 15.11-15.17.
27. Parsons, W. A. (1977). *Activated sludge plant effluent polishing*. Purdue University, Proceedings of the 32nd Industrial Waste Conference, 1977, 24-28.
28. Rulkens, W. H. (1985). *Haalbaarheidsstudie toepassingsmogelijkheden hoge gradiënt magnetische separatie (HGMS) voor de behandeling van afval(water)stromen*, 's-Gravenhage, TNO hoofdgroep maatschappelijke technologie, 1985.
29. Seishin Sangyo, K. K. (1984). *Separation of suspended matter from wastewater*. Japans patent nr. 84 66395, 1984.
30. Seydler, B. en Näher, G. (1978). *Maschinelle Bekämpfung von Blähschlamm in Kläranlagen*. Wasser, Luft und Betrieb (22) 1978, 10, 530-533.
31. Slechta, A. F. en Conley, W. R. (1971). *Recent experiences in plant-scale application of the settling tube concept*. Journal Water Pollution Control Federation (43) 1971, 8, 1724-1738.
32. STORA. (1977). *Slibindikking – I. Literatuur-onderzoek*.
33. STORA. (1980). *Verwijdering van zwevende stof uit effluent – I. Literatuuronderzoek*.
34. STORA. (1981). *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – I. Literatuur*.
35. STORA. (1981). *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – 2. Ronde nabezinktanks (Ontwerpgegevens en bedrijfservaring)*.
36. STORA. (1981). *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – 2. Ronde nabezinktanks (Praktijkonderzoek)*.
37. STORA. (1981). *Overbelasting van nabezinktanks, voorkoming van slibverlies met polyelektrolyten*.
38. STORA. (1983). *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – 2. Ronde nabezinktanks (Ruimer- en inloopeconstructies)*.
39. STORA. (1983). *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces – 3. Rechthoekige nabezinktanks (inventarisatie en praktijkonderzoek)*.
40. STORA. (1983). *Verwijdering van zwevende stof uit effluent – 2. Snelfiltratie en microzeving (praktijkproeven)*.
41. STORA. (1987). *Rapport nr. 87-03: Slib/waterscheiding – Verkenning van alternatieven voor nabezinking*.
42. Wagner, F. (1980). *Düsenseparatoren zur Abtrennung des gereinigten Abwassers vom belebten Schlamm*. Wasserwirtschaft (70) 1980, 6, 232-235.
43. Wagner, F. (1981). *Verhinderung und Bekämpfung von Blähschlamm mit Separatoren*, In: Die Sauerstoffzufuhr beim Belebungsverfahren, Probleme mit Blähschlamm. München, Oldenbourg, 1981, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, nr. 70, 252-259.
44. Weber, J. en Hahn, H. H. (1984). *Flotation zur Sanierung saisonal überlasteter kommunaler Kläranlagen*. Korrespondenz Abwasser (31) 1984, 10, 820-824.
45. Yao, K. M. (1970). *Theoretical study of high-rate sedimentation*. Journal Water Pollution Control Federation (42) 1970, 2, 218-228.

