

**Optimalisering van
grote nabezinktanks**

Bedrijfservaringen en literatuur

Optimalisering van grote nabezinktanks



Bedrijfservaringen en literatuur

93-18

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**BLAD**

	TEN GELEIDE	3
1	SAMENVATTING	4
2	INLEIDING	5
3	OVERZICHT VAN DE ENQUÊTE-UITKOMSTEN	6
	3.1 De verzamelde gegevens	6
	3.2 Aard van de problemen	6
	3.3 Toetsing aan de STORA-richtlijn	8
	3.4 Conclusies uit de Nederlandse praktijkervaringen	9
4	UITGANGSPUNTEN VOOR HET LITERATUURONDERZOEK	13
	4.1 Geraadpleegde literatuur	13
	4.2 Beperkingen vooraf	13
	4.3 STORA-onderzoek nabezinktanks 1981	13
	4.4 Ontwikkelingen in Duitsland (ATV-richtlijnen)	14
5	NABEZINKTANKS: DOEL, PROCESSEN, KNELPUNTEN	15
	5.1 Doel van nabezinktanks	15
	5.2 Processen in de nabezinktank	16
	5.3 Knelpunten in het nabezinkproces	17
6	PRAKTIJKGERICHT LITERATUURONDERZOEK	20
	6.1 Aard van de publikaties	20
	6.2 Bedrijfservaringen met grote nabezinktanks	20
	6.3 Constructieve verbeteringen bij nabezinktanks	21
	6.3.1 Inloopconstructie	21
	6.3.2 Slibruiming	26
	6.3.3 Tankdiepte en bodemhelling	29
	6.3.4 Constructies om windinvloed te beperken	31
	6.3.5 Ontwerp van effluentgoten	32
	6.3.6 Stromingsgeleiders en keerschotten	33
	6.4 De invloed van ontwerpgrondslagen	34
	6.4.1 Retourslibverhouding (R)	34
	6.4.2 Oppervlaktebelasting	38
	6.4.3 Drogestofbelasting	38
	6.5 Tweetraps nabezinking	39
7	CONCLUSIES LITERATUURONDERZOEK	40
8	LITERATUUR	41
	BIJLAGEN	
	1. Lijst van gebruikte symbolen en afkortingen	
	2. Uitkomsten van de enquête	
	3. STORA-richtlijn voor ronde nabezinktanks	

Ten geleide

In Nederland worden nabezinktanks bij actiefslibinstallaties ontworpen volgens de in 1981 opgestelde STORA-richtlijnen, die gebaseerd zijn op praktijkonderzoek aan een groot aantal nabezinktanks. De diameters van de destijds in beschouwing genomen nabezinktanks waren niet groter dan 44 m.

Inmiddels zijn in Nederland ronde nabezinktanks gebouwd met diameters tussen 50 en 60 m, waarbij in de praktijk gebleken is dat de toelaatbare oppervlaktebelasting c.q. de slibvolumebelasting soms aanmerkelijk lager is dan op grond van de STORA-richtlijnen zou mogen worden verwacht. Duidelijke oorzaken voor dit afwijkend gedrag ontbreken.

Om inzicht te krijgen in het functioneren van de grotere nabezinktanks is onderzoek opgezet langs twee lijnen. De eerste lijn betreft fundamenteel en theoretisch onderzoek aan de stromingsverschijnselen van een slib/watermengsel in een ronde tank. Aan dit onderdeel werd gewerkt door de Vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing TU Delft, die daarover rapporteerde in de STOWA-rapporten 92-13 en 92-14. Bij de aanpak volgens de tweede lijn inventariseerde DHV Water B.V. praktijkproblemen en bedrijfservaringen, en voerde in de praktijk experimenten uit aan de werking van grote nabezinktanks en aan constructieve voorzieningen ter verbetering van deze werking.

In het thans voorliggende rapport wordt ingegaan op de bedrijfservaringen in Nederland met nabezinktanks met een diameter > 50 m, en op de literatuur na 1981 betreffende de werking en constructie van nabezinktanks en het optreden van slibuitspoeling en overstort. De door DHV Water B.V. uitgevoerde praktijkexperimenten zijn afzonderlijk gerapporteerd in STOWA-rapport 93-19.

Het onderzoek werd in 1989, op advies van de Onderzoekadviescommissie (OAC), door het bestuur van de STOWA opgedragen aan DHV Raadgevend Ingenieursbureau B.V. (projectteam bestaande uit ing. P.C.A.M. van Helvoort, ir. R.P. Niermans en ir. R.W. Stapel). Via DHV was de vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing van de Technische Universiteit Delft (prof.ir. J.H. Kop, ir. B. van der Veer en ir. E.A. Vermeer) bij dit project betrokken. Voor de begeleiding van het onderzoek zorgde een commissie bestaande uit ir. J. Ebbenhorst (voorzitter), ir. T.P. de Graaf, ing. J.J. Jonk, dr.ir. C. Kranenburg, ing. J.J. Verbraaken en ir. T.W.M. Wouda.

Utrecht, november 1993

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

- De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit:
prof.ir. J.H. Kop (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en ir. J. Boschloo, dr.ir. J.A. Don, ir. R. den Engelse, ir. A.E. van Giffen, ir. J.J. de Graeff, prof.dr.ir. J.J. Heijnen, dr.ir. P.J. Huiswaard, ir. C. Kerstens, dr. S.P. Klapwijk, ir. A.B. van Luin, ir. G. Martijnse, ir. Tj. Meijer, ir. L.P. Savelkoul, en ir. M. Tiessens (leden).

1 SAMENVATTING

Bedrijfservaringen met enkele grote nabezinktanks (diameter > 50 m) wijzen erop dat deze tanks niet aan de STORA-richtlijn van 1981 zouden voldoen.

Een beeld van de aard en de frequentie van de problemen die bij grote nabezinktanks in Nederland optreden, is verkregen uit een enquête onder de waterkwaliteitsbeheerders naar de werking van de nabezinktanks. De optredende problemen worden veelal veroorzaakt door een combinatie van factoren. Zo leidt een hoge slibvolume-index bij regenweeraanvoer vaak tot sliboverstort. In een aantal tanks treedt slibuitspoeling op door denitrificatie. De invloed van wind en een hoog slibretourdebiet tijdens hoge hydraulische belastingen leiden op enkele lokaties tot slibverlies en vroegtijdige sliboverstort.

Bij toetsing aan de STORA-richtlijn en bij 'gemiddelde' bedrijfsomstandigheden blijken de meeste grote nabezinktanks aan de richtlijn te voldoen. Bij afwijking van deze normale bedrijfscondities, bijvoorbeeld tijdens perioden met een verhoogde slibvolume-index, voldoen enkele tanks niet meer aan de ontwerpgrondslagen.

Door middel van literatuuronderzoek is getracht inzicht te krijgen in ervaringen en ontwikkelingen op het gebied van grote, ronde nabezinktanks met mechanische slibruiming. Bedrijfservaring in Duitsland met grote, ronde nabezinktanks met diameters variërend van 38 tot 71 m leerde dat met name ondiepe tanks last hadden van slibverlies door windinvloeden. In de zomer wordt bij enkele laagbelaste installaties veelvuldig slibverlies geconstateerd door drijvend slib ten gevolge van denitrificatie.

De literatuur wijst erop dat geleiding van het binnenstromende slib/watermengsel moet worden toegepast, zodat het ingedikte slib op de bodem en de helderwaterzone aan het oppervlak zo min mogelijk worden beïnvloed. In dit verband kunnen constructieve verbeteringen aan nabezinktanks bestaan uit *vergrote inlooptrommels, deflectieschotten bij de inloopconstructie en keerschotten aan de wand van de tank*. Hoge vloeistofsnelheden in de buurt van het naar de slibkegel migrerende bodemslib kunnen worden voorkomen door de nabezinktank in het centrum voldoende diepte te geven.

De slibruiming blijkt bij vele nabezinktanks efficiënter te kunnen verlopen door toepassing van *vergrote ruimerbladen, verhoogde ruimersnelheid en/of meerdere ruimerarmen*. Een deflectieschot verlaagt de slibspiegel en zou aldus ook de ruiming van het bodemslib kunnen bevorderen.

Het inschakelen van een hoog retourslibdebiet tijdens een hoge hydraulische belasting van de nabezinktank veroorzaakt een aanzienlijke kortsluitstroming en een ongewenst hoge turbulentie in het inloopgebied. Tijdelijke slibbuffering kan dit probleem oplossen.

Tweetraps bezinking is soms een efficiënte en economische methode voor de verbetering van de werking van één enkele, grote nabezinktank. In het algemeen verdienen voorgeschakelde flotatie of nageschakelde filtratie echter de voorkeur boven tweetraps bezinking.

In 1981 werden STORA-richtlijn geformuleerd voor nabezinktanks van actiefslibinstallaties. Deze richtlijn was van toepassing op ronde tanks met mechanische slibuiming: het meest toegepaste type in Nederland. De richtlijn was mede het resultaat van praktijkproeven met nabezinktanks met een maximale diameter van 44 meter. Inmiddels zijn er in Nederland nabezinktanks gebouwd aan de hand van de bovengenoemde richtlijn. Daarbij zijn tanks met een diameter groter dan 44 meter.

Bedrijfservaringen met enkele van deze grote nabezinktanks wijzen erop dat de volgens de STORA-richtlijn maximaal toelaatbare belastingen veelvuldig tot vroegtijdige sliboverstort kunnen leiden.

Om hier meer inzicht in te krijgen is navraag naar bedrijfservaringen gedaan bij de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders met nabezinktanks met een diameter > 50 m onder hun beheer. Deze enquête leverde gegevens op van 17 rwzi's met dergelijke nabezinktanks. De werking van de tanks is met de beschikbare informatie getoetst aan de STORA-richtlijn. De enquête wordt behandeld in hoofdstuk 3.

Sedert 1981 is door een aantal onderzoekers gepubliceerd over de werking en de constructie van nabezinktanks en het optreden van slibuitspoeling en sliboverstort. Deze literatuur wordt in zijn algemeenheid besproken in de hoofdstukken 4 en 5, terwijl aanpassingen en constructies aan de orde komen in hoofdstuk 6. Het rapport besluit met enkele gevolgtrekkingen voor de praktijk.

3 DE NEDERLANDSE BEDRIJFSERVARING

3.1 De verzamelde gegevens

De gegevens die uit de enquête onder de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders werden verkregen, zijn overzichtelijk gerangschikt in bijlage 2.

3.2 Aard van de problemen

Bath

In 1988 is hier veel last ondervonden van sliboverstort. Uit de bedrijfsstaten blijkt dat in de periode 1-1-'88 tot 1-10-'88 negentig keer het bezinksel in het effluent $\geq 5,0$ ml/l heeft bedragen. De droogrest is in die gevallen hoog (tot enkele honderden mg/l). De SVI is in de bovenstaande periode zeer hoog (tot enkele honderden ml/g). Sliboverstort treedt op tijdens RWA. Vanaf oktober 1988 is de SVI aanzienlijk gedaald, meestal tot waarden onder 110 ml/g. In de periode 1-1-'89 tot 31-12-'89 werd nog maar twee keer méér dan 5,0 ml/l bezinksel in het effluent gemeten. Dit gebeurde in perioden dat de SVI weer boven 110 ml/g was gestegen, bij RWA. Bijzonderheid bij de nabezinktanks in Bath is de afdekking met polyurethaanschuim, waardoor de werking van de nabezinking niet kan worden verstoord door de wind. Het nitraatgehalte in het effluent bedraagt circa 20 mg/l.

Groote IJpolder

Dit is een zuiveringsinrichting voor uitsluitend industrieel afvalwater waar nauwelijks verschil bestaat tussen RWA- en DWA-condities. Er vindt volgens opgave nooit sliboverstort plaats. Het nitraatgehalte in het effluent bedraagt circa 10 mg/l.

Amsterdam-Oost

Er vindt wel eens slibuitspoeling plaats, vanuit alle tanks, maar onbekend is hoe vaak dat per jaar gebeurt. Het is evenmin bekend of dit alleen gebeurt onder RWA-condities. Wel wordt als slibflotatie door denitrificatie als één van de oorzaken genoemd. De nitraatgehalten in het effluent zijn hoog: circa 25 mg/l. Er zijn drijfslaagafvoeren aanwezig in de nabezinktanks. Alle tanks zijn voorzien van een deflectieschot.

Nieuwgraaf

Er vindt incidenteel sliboverstort plaats, met name als de SVI ≥ 150 ml/g. De gemiddelde waarde van de SVI is 130 ml/g. De goede werking van de nabezinktanks wordt toegeschreven aan het relatief kleine aeratievolume. Ondanks een nitraatgehalte in het effluent van circa 10 mg/l, heeft men nooit last gehad van slibflotatie in de nabezinktanks.

Assen

Er vindt circa acht keer per jaar slibuitspoeling plaats, bij RWA en bij hoog retourslibdebiet. Door tijdens RWA de retourslibvijzel met de hand op laag toeren te schakelen, kan sliboverstort enigszins worden tegengehouden. Het nitraatgehalte in het effluent is circa 5 mg/l.

Echten

Sliboverstort vindt één tot drie keer per jaar plaats. Dit gebeurt bij RWA, bij hevige wind, bij hoge retourslibdebieten en indien de SVI stijgt tot boven 170 ml/g. De gemiddelde slibindex bedraagt 145 ml/g. Het nitraatgehalte in het effluent is zeer laag.

Weurt/Nijmegen

Er vindt volgens opgave nooit slibuitspoeling plaats. De bedrijfsstaten laten zien dat de SVI nogal varieert. De gemiddelde waarde van de SVI ligt bij 100 ml/g. Het nitraatgehalte in het effluent bedraagt circa 9 mg/l.

Groote Lucht

Bij alle nabezinktanks treedt wel eens slibuitspoeling op. Dit gebeurt ongeveer twee keer per jaar. Het is niet bekend of in zo'n geval een hoge dan wel een lage retourslibcapaciteit is ingeschakeld. De retourslibvijzels worden discontinu bedreven. De nitraatconcentratie in het effluent bedraagt ca. 11 mg/l. Als één van de oorzaken van slibuitspoeling wordt denitrificatie genoemd. De nabezinktanks bevatten geen drijfslaagafvoer.

Kralingseveer

De laatste jaren zijn geen sliboverstorten gesignaleerd, behalve in januari 1990. Bij windkracht 8 à 9 Beaufort functioneren de nabezinktanks niet meer goed: aan de lezijde vindt dan slibuitspoeling plaats. Bij RWA treedt een door Schieland zelf ontwikkelde retourslibschakeling in werking. Bij overschrijding van het DWA-debiet worden in eerste instantie de retourslibvijzels tijdelijk stilgezet (30 à 60 min). Hierna worden de vijzels op laagtoeren bedreven en vervolgens steeds kort uitgezet. Deze schakeling is instelbaar met tijd klokken en is met behulp van een mathematisch model doorgerekend. Met dit regime wordt de buffercapaciteit van de nabezinktanks grotendeels benut en kan het drogestofgehalte in de aëratietank op 2 à 2,5 kg/m³ gehandhaafd worden, ook bij maximale RWA. De ervaringen met deze retourslibschakeling zijn positief. Voorheen werden tijdens RWA de retourslibvijzels op hoog toeren gezet met uiteindelijk sliboverstort als gevolg.

Eindhoven

Er is 'vaak' sprake van slibverlies, met name bij hoge waarden van de SVI (≥ 200 ml/g). Het effluent bevat gemiddeld 7 tot 10 mg/l nitraat. Dit leidt wel eens tot slibuitspoeling door denitrificatie in de nabezinking. Zeven van de elf grote tanks bezitten geen drijfslaagafvoer. De nabezinktanks hebben geen inlooptrommel, maar een inloopbuis met vier verticale openingen, voorzien van deflectieplaten.

Roermond

Er vindt wel eens sliboverstort plaats, maar onbekend is hoe vaak dit per jaar vóórkomt. Slibverlies treedt met name op tijdens RWA, bij hevige wind en bij slechte bezinkbaarheid van het slib (SVI ≥ 200 ml/g; het jaargemiddelde van de SVI is 107 ml/g; de SVI wordt overigens niet volgens NEN-normen bepaald). Tijdens slibverlies is de drogestofconcentratie in de aëratietank 2 à 2,5 kg/m³. Het nitraatgehalte in het effluent is circa 10 mg/l.

Susteren

Er wordt geen slibverlies waargenomen. De waarde voor SVI is gemiddeld 66 ml/g, maar wordt niet volgens NEN-normen bepaald. De gemiddelde nitraatconcentratie in het effluent ligt rond 20 mg/l.

Venlo

In 1988 werd tien keer slibuitspoeling gerapporteerd, in 1989 geen enkele keer. De omstandigheden, waaronder dit slibverlies optreedt zijn: RWA en slechte bezinkbaarheid van het slib (SVI ≥ 200 ml/g). Slibverstort treedt al op ongeveer twee uren na het begin van een RWA-situatie. Het beluchtingscircuit bevat dan 2,5 à 3 kg/m³ drogestof.

Heugem

Slibverlies treedt op, maar onbekend is hoe vaak dit per jaar gebeurt. In 1988 bedroeg het gemiddelde gehalte aan zwevende stof in het effluent 74 mg/l en het bezinksel 12 ml/l. Voor 1989 zijn deze cijfers respectievelijk 18 mg/l en 1,4 ml/l. De omstandigheden tijdens slibverlies zijn: RWA en een hoge slibindex (SVI ≥ 180 ml/g). De gemiddelde SVI-waarde bedraagt 184 ml/g, maar wordt niet volgens NEN-normen gemeten. Tijdens sliboverstort bedraagt het drogestofgehalte in de aëratietank 3 à 3,5 g/l. Overstort wordt waargenomen ongeveer één uur na het begin van RWA.

Heerlen

Hier wordt geen slibverlies geconstateerd. De gemiddelde waarde van de SVI bedraagt slechts 45 ml/g, maar wordt niet volgens de vigerende NEN-norm gemeten. In het effluent worden nitraatgehaltes van ongeveer 20 mg/l gemeten.

Zeist

Slibverlies wordt een paar keer per jaar gemeld. Dit gebeurt tijdens RWA als de retour-slibcapaciteit op volle toeren draait en het drogestofgehalte in de aëratietank ongeveer 3,5 g/l bedraagt. In deze situatie stroomt het slib al na een paar uren over de rand. Slibuitspoeling als gevolg van denitrificatie komt ongeveer één keer per jaar voor. De N_g - en nitraatgehaltes in het effluent variëren respectievelijk van 12 tot 35 en van 2 tot 10 mg/l. In 1988, toen de SVI nog hoge waarden bereikte (≥ 180 ml/g), trad wel eens slibuitspoeling op. In 1989 lag de gemiddelde waarde van de SVI rond 100 ml/g.

Dokkum

Sliboverstort vindt onder extreme RWA-condities ongeveer één keer per jaar plaats. Bij hevige wind werd vroeger, toen de bomen van de windsingel rond de grote nabezinktank nog niet zo hoog waren, last ondervonden in de nabezinktank (scheve slibspiegel). Nu de bomen hoger zijn, veroorzaakt alleen extreem harde wind nog slibverlies. In geval van sliboverstort duurt het zo'n drie uur na het begin van RWA voordat het slib over de rand begint te stromen. De SVI-waarde is gemiddeld 98 ml/g en de nitraatgehaltes in het effluent zijn laag.

3.3 Toetsing aan de STORA-richtlijn

In tabel 1 'Toetsing van 20 Nederlandse nabezinktanks aan STORA-richtlijn' worden twee waarden voor van de slibvolumebelasting (vs_A) gehanteerd.

Het produkt van het drogestofgehalte in de aëratietank tijdens de evenwichtssituatie onder RWA-omstandigheden, de gemiddelde waarde van de SVI en de oppervlaktebelasting tijdens maximale hydraulische belasting levert de waarde van de slibvolumebelasting vs_A die bepalend is voor de toetsing aan de STORA-richtlijn. Daarbij mag maximaal 30% van het slib uit de aëratietank tijdelijk in de nabezinktank worden gebufferd opdat het zuiveringsrendement van de installatie niet teveel afneemt.

De ' vs_A max' geeft de slibvolumebelasting die gebaseerd is op de gemiddelde waarden van de SVI en het drogestofgehalte in de aëratietank tijdens DWA. Deze ' vs_A max' kan als een arbitraire bovengrens worden beschouwd voor de maximaal optredende slibvolumebelasting van de nabezinktanks. Deze belasting treedt op indien het produkt van de waarden van de SVI en het drogestofgehalte in de aëratietank tijdens RWA ruim 40% boven dat van de ontwerp-waarde vs_A ligt. Tijdelijke hogere belastingen kunnen bijvoorbeeld optreden aan het begin van een RWA-periode en indien de waarde van de SVI groter is dan de gemiddelde waarde.

Zo is in het geval van de rwzi Nieuwgraaf te zien dat bij de gemiddelde waarde van het slibvolume (VS_v) wordt voldaan aan de STORA-richtlijn. Bij een hoger drogestofgehalte in de aëratietank en/of hogere SVI, waardoor dit slibvolume bijvoorbeeld met 40% is toegenomen (VS_v max), wordt de STORA-richtlijn echter overschreden.

In tabel 2 zijn de optredende problemen bij nabezinktanks samengevat. De aanduidingen in de kolom 'voldoet aan STORA' hebben de volgende betekenis:

- + / + : voldoet ook bij een 40% groter slibvolume dan gemiddelde waarde aan de STORA-richtlijn
- + / - : voldoet bij een 40% groter slibvolume dan gemiddelde waarde niet meer aan de STORA-richtlijn

-/- : voldoet zelfs bij gemiddelde waarde van het slibvolume niet aan de STORA-richtlijn

In tabel 3 wordt de maximale buffercapaciteit van de verschillende grote nabezinktanks aangegeven. Hiertoe is het beschikbare volume tot 0,3 m boven de kantdiepte berekend. Bij een aantal nabezinktanks, zoals die in Heugem, is die maximale buffercapaciteit minder dan 30% van de gemiddelde hoeveelheid drogestof in de aëratietank tijdens DWA. Hierdoor neemt de kans op sliboverstort tijdens RWA toe.

3.4 Conclusies uit de Nederlandse praktijkervaringen

1. De verkregen gegevens zijn gebaseerd op gemiddelde waarden. Dit leidt tot een onvolledig beeld van de werking van de grote nabezinktanks en maakt het lastig te beoordelen of de tanks voldoen aan de STORA-richtlijn. De voorspellingen van de werking van de tanks op grond van de toelaatbare en berekende slibvolumebelasting en de benodigde buffercapaciteit komen redelijk overeen met de werking in de praktijk.
2. Als oorzaak van de problemen wordt ondermeer de regeling van de retourslibcapaciteit opgegeven. De schakelingen op de rwzi's Assen en Kralingseveer geven aan dat dit probleem nadere studie verdient. Het hiernavolgende literatuuronderzoek zal bevestigen dat de retourslibverhouding een belangrijke invloed heeft op de werking van de nabezinking.
3. Windinvloeden spelen bij grote nabezinktanks een niet te onderschatten rol bij slibuitspoeling. Dit beeld wordt ook bevestigd door het literatuuronderzoek.
4. Denitrificatie in de nabezinktank kan tot opdrijvend slib en slibverlies leiden. Dit kan het gevolg zijn van (te) lange slibverblijftijden in de tank. Een verbeterde slibruiming zou hiervoor een oplossing kunnen bieden (zie hoofdstuk 6.3).

Tabel 1. Toetsing van 20 Nederlandse nabezinktanks aan STORA-richtlijn

rwzi	tank-diameter [m]	aanvoer-debiet [m ³ /h]	drogestof AT min. [kg/m ³]	drogestof AT gemidd. [kg/m ³]	slibvol.-index [ml/g]	VS _v [-]	VS _v max [-]	vs _A [m ³ /m ² .h]	vs _A max [m ³ /m ² .h]	vs _A en vs _A max volgens STORA [m ³ /m ² .h]	
Bath	52.8	1750	2.1	3	110	231	330	0.185	0.264	0.300	0.310
Groote IJpolder	50.5	2500	2.8	4	57	160	228	0.199	0.285	0.300	0.300
Amsterdam-Oost	52	4275	1.75	2.5	68	119	170	0.240	0.342	0.300	0.300
Nieuwgraaf	53	1880	2.45	3.5	130	318	455	0.271	0.388	0.306	0.352
Assen	56.3	1800	2.8	4	100	280	400	0.202	0.289	0.300	0.333
Echten	56.3	1624	2.31	3.3	145	335	479	0.219	0.312	0.312	0.360
Weurt/Nijmegen	54	2200	2.17	3.1	100	217	310	0.208	0.298	0.300	0.303
Groote Lucht I	49	1800	3.43	4.9	62	213	304	0.203	0.290	0.300	0.301
Groote Lucht II	49	1800	2.59	3.7	70	181	259	0.173	0.247	0.300	0.300
Kralingseveer	49.2	680	2.52	3.6	150	378	540	0.135	0.193	0.326	0.380
Eindhoven I	52	1250	3.15	4.5	159	501	716	0.295	0.421	0.367	0.400
Eindhoven II	2	835	3.15	4.5	167	526	752	0.207	0.295	0.375	0.400
Eindhoven III	52	625	3.15	4.5	137	432	617	0.127	0.181	0.344	0.400
Roermond	52.8	1750	2.73	3.9	107	292	417	0.233	0.334	0.300	0.339
Susteren	52.8	1750	2.73	3.9	66	180	257	0.144	0.206	0.300	0.300
Venlo	56.4	1875	2.24	3.2	181	405	579	0.304	0.435	0.335	0.393
Heugem	49.2	1950	2.45	3.5	184	451	644	0.462	0.661	0.350	0.400
Heerlen	49.4	1800	2.59	3.7	45	117	167	0.109	0.156	0.300	0.300
Zeist	49	1500	2.45	3.5	100	245	350	0.195	0.278	0.300	0.317
Dokkum	44.9	1900	2.66	3.8	98	261	372	0.313	0.447	0.300	0.324

Tabel 2. Optredende problemen bij Nederlandse grote nabezinktanks

Toetsing van 20 Nederlandse grote nabezinktanks aan de STORA-richtlijn							
	voldoet aan STORA ja = + nee = -	treedt geregeld overstort op	tijdens hevige wind	onder RWA-condities	als gevolg van denitrificatie	bij hoge slibvolume-indices	bij hoog retourslib-debiet
Bath	+ / +	soms		x		x	
Groote Ippolder	+ / +	nee		x	x		
Amsterdam-Oost	+ / -	soms				x	x
Nieuwgraaf	+ / -	soms		x			
Assen	+ / +	ja	x	x		x	
Echten	+ / +	soms					
Weurt/Nijmegen	+ / +	nee			x		
Groote Lucht - straat I	+ / +	soms			x		
Groote Lucht - straat II	+ / +	soms	x		x		
Kralingseveer	+ / +	soms		x	x	x	
Eindhoven - straat I	+ / -	vaak		x	x	x	
Eindhoven - straat II	+ / +	vaak		x	x	x	
Eindhoven - straat III	+ / +	vaak		x	x	x	
Roermond	+ / +	ja	x	x			
Susteren	+ / +	nee				x	
Venlo	+ / -	ja		x		x	
Heugem	- / -	ja					
Heerlen	+ / +	nee					
Zeist	+ / +	soms			x		
Dokkum	- / -	soms	x	x			x

Tabel 3. Maximale buffercapaciteit van de nabezinktanks

situatie bij volledige benutting van de buffercapaciteit										
rwzi	diameter [m]	bodem helling (α)	slibvol. index I_{sv} [ml/g]	G_c [= $480/I_{sv}$] [kg/m ³]	maximale buffering per NBT [kg]	maximale buffering alle NBT's [kg]	relevante volume AT [m ³]	totaal d.s. AT DWA [kg]	conc. d.s. AT DWA [kg/m ³]	maximale buffer in NBT [%]
Bath	52.8	0.083	110	4.4	9873	59238	44000	132000	3.0	45
Gr. IJpolder	50.5	0.059	57	8.4	13411	40233	16000	64000	4.0	63
Adam-Oost	52.0	0.056	68	7.1	11715	93721	60000	150000	2.5	62
Nieuwgraaf	53.0	0.083	130	3.7	8440	50640	18000	63000	3.5	80
Assen	56.3	0.083	100	4.8	12929	12929	6814	27256	4.0	47
Echten	56.3	0.083	145	3.3	8916	8916	11000	36300	3.3	25
Weurt/Nijm.	54.0	0.083	100	4.8	11543	69256	25299	78427	3.1	88
Gr. Lucht	51.0	0.083	62	7.7	15947	47842	10000	49000	4.9	98
	51.0	0.083	70	6.9	14125	42374	10000	37000	3.7	115
Kral.veer	52.9	0.083	150	3.6	8187	49122	26000	93600	3.6	52
Eindhoven	52.0	0.083	159	4.5	9769	39076	9000	40500	4.5	96
	52.0	0.083	167	4.5	9769	29307	5850	26325	4.5	111
	52.0	0.083	137	4.5	9769	39076	9000	40500	4.5	96
Roermond	52.8	0.067	107	4.5	8709	17418	12250	47775	3.9	36
Susteren	52.8	0.067	66	7.3	14119	28239	12250	47775	3.9	59
Venlo	56.5	0.083	181	3.2	8703	34811	50000	160000	3.2	22
Heugem	50.0	0.083	184	3.5	6834	6834	12500	43750	3.5	16
Heerlen	58.8	0.056	45	10.7	16655	16655	1920	7104	3.7	234
Zeist	50.5	0.083	100	4.8	9628	19255	7290	25515	3.5	75
Dokkum	50.0	0.083	98	4.9	9564	9564	10000	38000	3.8	25

4 UITGANGSPUNTEN VOOR HET LITERATUURONDERZOEK

4.1 Geraadpleegde literatuur

De hier verwerkte literatuur is verkregen via van een on-line search in de volgende bestanden, aan de hand van de onderstaande descriptoren:

Aqualine	-	secondary / final * sedimentation * tanks * na 1981
Chemical Abstracts	-	wastewater treatment / clarification / settling / sedimentation
Compendex	-	secondary * sedimentation / settling / clarifier(s) / clarification * sewage / wastewater / (waste + water)

Hiermee zijn een op het Duitse taalgebied, een op het Engelse taalgebied, en een voornamelijk op civieltechnisch gebied georiënteerd bestand geraadpleegd.

4.2 Beperkingen vooraf

Bij het 'screenen' van de beschikbare literatuur is een aantal beperkingen in acht genomen. Zo is met name gekeken naar publikaties die betrekking hebben op ronde, horizontaal doorstroomde nabezinktanks van actiefslibinstallaties met mechanische slibruiming. Op grond van civieltechnische, hydraulische en economische overwegingen worden, vooral bij middelgrote en grote zuiveringsinrichtingen, meestal ronde tanks gebouwd. Een aantal voor- en nadelen van ronde tanks ten opzichte van rechthoekige tanks staat vermeld in tabel 4.

VOORDELEN	NADELEN
lage slibverblijftijden	minder stabiel stromingspatroon
dynamische slibdekenfiltratie	minder goede slibindikking
eenvoudig slibruimingssysteem	grotere kortsluitstroming
regelmatige slibruiming	windgevoeligheid
lage onderhoudskosten	ruimtebeslag

Tabel 4. Voor- en nadelen van ronde ten opzichte van rechthoekige nabezinktanks

Ronde tanks met slibafzuigsystemen zijn niet in deze studie opgenomen. De reden voor deze beperking is de volgende: er zijn weliswaar redenen om slibafzuiging boven slibruiming te verkiezen (bijvoorbeeld lage slibverblijftijd, geen slibtransport naar centrale slibzak, geen bodemhelling), maar in de praktijk blijkt vaak dat de nadelen van slibafzuigingssystemen (lage drogestofconcentratie van slib, verstoring van het hydraulische profiel, vooral bij retour-slibverhoudingen $> 1,0$) deze systemen niet efficiënter maken dan slibruimingssystemen.

Publikaties over rechthoekige NBT's en systemen met slibafzuiging zijn slechts in de studie opgenomen voor zover ze relevante informatie over de optimalisering van het nabezinkproces in ronde tanks opleverden.

4.3 STORA-onderzoek nabezinktanks 1981

Uitgangspunt voor deze literatuurstudie vormde het STORA-rapport uit 1981 [29,30], waarin constructie-eisen en dimensioneringsgrondslagen voor ronde tanks met mechanische slibruiming

ming werden gedefinieerd. In dat rapport worden Engelse (WRC = Water Research Centre) en Duitse (ATV = Abwasser Technischer Verein) richtlijnen met elkaar vergeleken en wordt hun toepasbaarheid voor de Nederlandse situatie geëvalueerd. Deze typische "Nederlandse situatie" wordt gekenmerkt door een hoge regenweeraanvoer/droogweeraanvoer- (RWA/DWA) verhouding, relatief grote aëratietanks, lange ledigingstijden tijdens RWA en hoge grondwaterstand ten opzichte van de situatie in Duitsland, hetgeen het bouwen van diepe tanks onaantrekkelijk maakt [28].

Bij het opstellen van de STORA-ontwerprichtlijnen bleek dat de WRC-ontwerpgrondslagen en de 'solid flux' theorie minder geschikt zijn voor het dimensioneren van Nederlandse nabezinktanks [31]. Dit hangt nauw samen met het feit dat de WRC een afwijkende methode hanteert voor de berekening van de slibindex. De STORA-dimensioneringsgrondslagen voor nabezinktanks, zoals vastgelegd in 1981, kunnen daarom worden beschouwd als zijnde het meest verwant met de Duitse ATV-richtlijnen.

Ekama en Marais hebben de ontwerpgrondslagen van WRC, ATV en STORA in 1986 nog eens met elkaar vergeleken en komen tot dezelfde conclusie: zij noemen de STORA-richtlijn een 'minor relocation' van de ATV-richtlijn [12].

De ATV-richtlijn definieert een oppervlaktebelasting als functie van de toegestane hoeveelheid onopgeloste bestanddelen in het effluent, terwijl de STORA-richtlijn rekening houdt met het tijdstip van sliboverstort. De WRC-richtlijn heeft als uitgangspunt: "geen slib over de rand".

Met de ATV-richtlijn wordt de tankdiepte berekend; de retourslibverhouding wordt van minder belang geacht, maar de ATV wijst wél op het negatieve effect van een hoge retourslibverhouding op de effluentkwaliteit. Deze relatie werd door praktijkproeven in Nederland bevestigd [30]. Een en ander hangt sterk samen met de goede bezinkbaarheid van het slib. Tijdens hoge hydraulische belastingen van de nabezinktank kan goed bezinkbaar slib (met een slibvolume-index < 100 ml/g) ondanks een vergroot retourdebiet voldoende worden ingedikt, en kan een deel van het slib uit de aëratietank in de nabezinktank worden gebufferd, zonder dat sliboverstort plaatsvindt.

Ekama en Marais benadrukken eveneens het belang van de slibkarakteristieken (waaronder begrepen: de slibvolume-index) voor het ontwerp van nabezinktanks. Bij slecht bezinkbaar slib moet volgens hen de maximaal toelaatbare oppervlaktebelasting dienovereenkomstig worden verlaagd.

Het is daarom beter de slibvolumebelasting in plaats van de oppervlaktebelasting als ontwerpparameter te gebruiken. In deze laatste parameter is de slibvolume-index opgenomen. Hiermee wordt de relatie tussen aëratie en nabezinkproces aangetoond, want de slibkarakteristieken worden voornamelijk bepaald door de procesvoering in de aëratietank.

Bij het dimensioneren van in Nederland te bouwen nabezinktanks wordt de maximaal toelaatbare oppervlaktebelasting gekozen aan de hand van het slibvolume. Het slibvolume is direct gerelateerd aan de slibindex en daarmee aan de slibkarakteristiek. De bestaande STORA-richtlijn voor ronde nabezinktanks staat vermeld in bijlage 3.

4.4 Ontwikkelingen in Duitsland (ATV-richtlijnen)

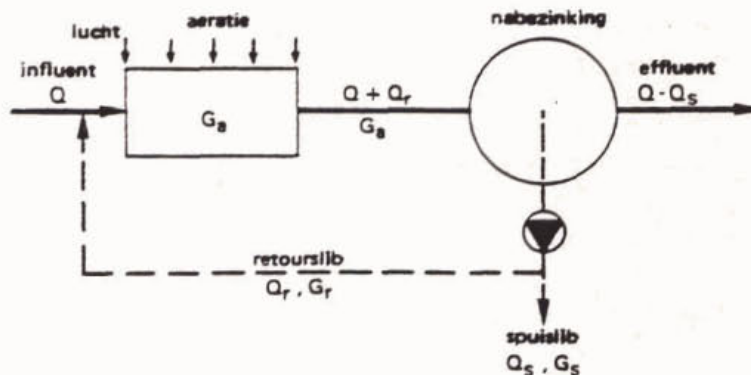
De 'verwantschap' van de ATV-richtlijn met de bestaande STORA-richtlijn was de reden de laatste ontwikkelingen in Duitsland op het gebied van ronde nabezinktanks nader te bezien. In het kader van dit STORA-project is daarom een bezoek gebracht aan het ATV-seminar "Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf", op 18 en 19 januari 1990 in Stuttgart. De daar gepresenteerde onderzoeksresultaten en inzichten zijn in deze literatuurstudie verwerkt.

5 NABEZINKTANKS: DOEL, PROCESSEN, KNELPUNTEN

5.1 Doel van nabezinktanks

In het algemeen zijn bij actief-slibprocessen (zie figuur 1) aan de nabezinktanks de volgende rollen toegedacht:

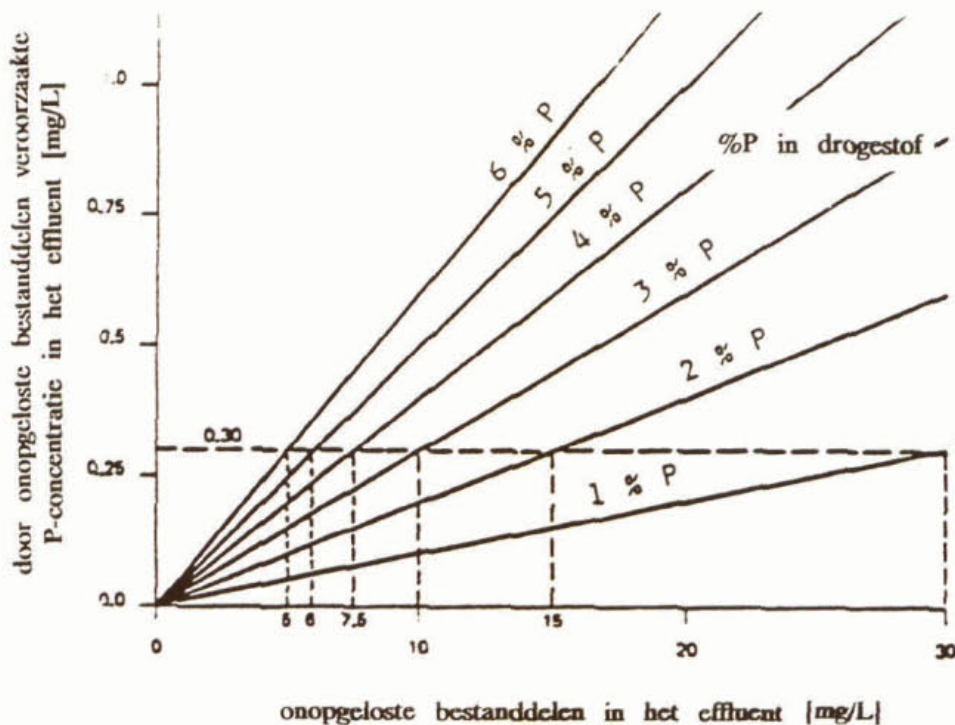
- scheiding van slib en water: de biologische zuivering van afvalwater vindt plaats in een beluchtingsruimte met behulp van gesuspendeerde actiefslibvlokken. Het actiefslib moet in de nabezinkfase worden gescheiden van het gezuiverde afvalwater en worden teruggevoerd naar de aëratieruimte;
- verzameling en indikking van het slib, dat als retourslib of spuislib uit de nabezinktank wordt afgevoerd: de slibconcentratie in de beluchtingsruimte kan slechts op peil gehouden worden indien het slib dat uit de nabezinktank wordt teruggevoerd voldoende ingedikt is. Snelle ruiming van het afgescheiden slib is een vereiste, indien de kans op slibflotatie als gevolg van denitrificatie aanwezig is;
- buffering van slib tijdens perioden van verhoogde hydraulische belasting (RWA) van de installatie: tijdens een verhoogde hydraulische belasting van het systeem spoelt een aanzienlijk deel van het slib vanuit de beluchtingsruimte in de nabezinktanks. Gedurende enige tijd neemt daardoor de drogestofconcentratie in de nabezinktank (sterk) toe: het slib wordt in de tank gebufferd.



Figuur 1. Schematische weergave van het actief-slibproces

Het onvoldoende uitvoeren van een of meer van de bovenstaande taken door de nabezinktank heeft tot gevolg dat kleine of grote hoeveelheden slib in het effluent belanden (sliboverstort).

Naast de drie genoemde taken wordt in toenemende mate van nabezinktanks verwacht dat ze in staat zijn het gehalte aan onopgeloste bestanddelen (Eng.: 'suspended solids'; D.: 'Suspended') in het effluent tegen te houden. Er bestaat een direct verband tussen de hoeveelheid drogestof in het effluent en de concentratie CZV en totaalfosfaat [1,16]. Voor fosfaat is deze relatie in figuur 2 weergegeven. Te zien is dat met name bij defosfaterend slib (met hoog % P op drogestof-basis) het gehalte aan drogestof in het effluent een bijdrage kan leveren aan de P_{tot} -vracht van het effluent: 7,5 mg/l drogestof met 4% P zorgt bijvoorbeeld voor een extra P_{tot} -vracht van 0,30 mg/l.



Figuur 2. De bijdrage van onopgeloste bestanddelen aan het P_{totaal} gehalte van het effluent, in relatie tot het %P in de drogestof

Met het aanscherpen van effluenteisen voor CZV en totaalfosfaat dient daarom ook het gehalte aan onopgeloste bestanddelen in het effluent te worden teruggedrongen. Op grond hiervan is de vierde rol van nabezinktanks als volgt te definiëren:

- het minimaliseren van het gehalte aan onopgeloste bestanddelen in het effluent, zowel onder DWA- als onder RWA-condities, teneinde de CZV- en fosfaatbelasting van het effluent te verminderen.

5.2 Processen in de nabezinktank

De processen in nabezinktanks zijn complex en dynamisch van aard. De complexiteit wordt veroorzaakt door de veelheid aan processen, die zich naast elkaar en in onderlinge afhankelijkheid tijdens de (na)bezinking afspelen. Zo wordt de flocculatie van slibvlokken sterk beïnvloed door de hydraulische condities in de tank, tot uitdrukking komend in bijvoorbeeld vloeistofsnelheid en -turbulentie. Fysische factoren zoals het temperatuursverschil tussen influent en tankinhoud, zijn van invloed op dit proces. De constructie van de tank en de mechanische aspecten van het nabezinkproces, zoals de slibruiming, beïnvloeden bovenstaande werking. Bovendien is nabezinking een dynamisch proces, waarbij voortdurend slib/watermengsel wordt aangevoerd en effluent en slib wordt onttrokken. De variabelen die de afscheiding en indikking van actief slib in een nabezinktank bepalen, zijn samengevat in tabel 5 [naar: 5].

SLIBAFSCHEIDING beïnvloed door:	SLIBINDIKKING beïnvloed door:
<u>afvalwater</u>	
* debiet	* d.s. debiet
* temperatuur	
<u>tank</u>	
* oppervlakte en opp.belasting	* oppervlakte
* diepte	* diepte
* meslengte, -positie en -belasting	* slibruimsysteem
* inloopconstructie	
* tankconfiguratie	
* slibruimsysteem	
* hydraulisch profiel	
* golf en windinvloeden	
<u>slib</u>	
* slibbelasting	* bezinksnelheid
* bezinksnelheid	* slibindex
* slibindex	* slibconcentratie en -belasting
* nitrificatiecapaciteit	* hoogte slibdeken
* retourslibstroom	
<u>biologische parameters</u>	
* actiefslibproces	
* BZV-belasting	

Tabel 5. Variabelen die de slibafscheiding en de slibindikking beïnvloeden

Voor een uitgebreide beschrijving van de hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces wordt verwezen naar de betreffende STORA-rapporten [29,30].

5.3 Knelpunten in het nabezinkproces

Ronde, horizontaal doorstroomde nabezinktanks in Nederland worden veelal als volgt geconstrueerd:

1. de invoer van het slib/watermengsel verloopt via een centrale inlooptrommel;
2. het effluent wordt aan de periferie van de tank onttrokken;
3. over de bodem (helling 1:12) loopt een mechanisch aangedreven schraperruimer die het slib door middel van een gebogen ruimerblad in een centraal gelegen slibzak deponeert;
4. de kantdiepte varieert van 1,5 tot 2,0 m, afhankelijk van de diameter van de tank en de ligging van de effluentgoot.

Een ideale, horizontale doorstroming van de nabezinktank over de volledige straal van de tank

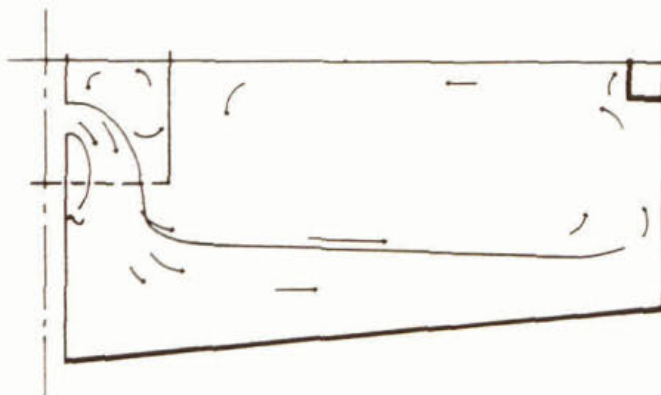
zal in de praktijk door een aantal factoren worden verstoord:

- door dichtheidsstromingen, ten gevolge van het verschil in temperatuur en/of drogestofgehalte tussen tankinhoud en binnenstromend slib/watermengsel [24,27,29];
- door verschil in viscositeit tussen bezonken slib en minder geconcentreerd slib/watermengsel;
- de beweging van de slibruimer, die een tangentiële vloeistofstroming introduceert;
- windinvloeden, die turbulentie aan het tankoppervlak veroorzaken en daarmee het laminaire stromingspatroon in de tank verstoren (en bovendien tot gevolg kunnen hebben dat de slibspiegel 'scheef' komt te liggen).

Metingen hebben aangetoond dat slibdeeltjes op de bodem van de tank een sterk radiaal (naar de periferie) gerichte beweging bezitten, en dat ze daarbij een afbuiging in tangentiële richting ten gevolge van de ruimerbeweging ondervinden (hyperbolisch stromingsprofiel). Het blijkt dat de radiale stroomsnelheid vrij snel afneemt naarmate men dichter bij het tankoppervlak komt en in dat gebied zelfs van richting kan omkeren. Een en ander kan verklaard worden door het verschil in dichtheid tussen het drogestof-rijke binnenstromende afvalwater en de drogestof-arme helderwaterzone.

Het watervolume van de nabezinktank wordt strikt hydraulisch gezien niet efficiënt gebruikt door het bestaan van deze 'dode' helderwaterzone [26].

Het snelle, radiale transport bij de bodem van de tank leidt bij de periferie van de tank tot een zogenaamd cascade- of wandeffect (zie figuur 3): aan de rand van de tank keert de stroming van het slib/watermengsel om. Mede door de zuigende invloed van de effluentonttrekking op het volume-element dicht bij de rand van de tank, kan dit effect, zeker bij hoge mesbelastingen, tot het uitspoelen van slibdeeltjes leiden [5,25].

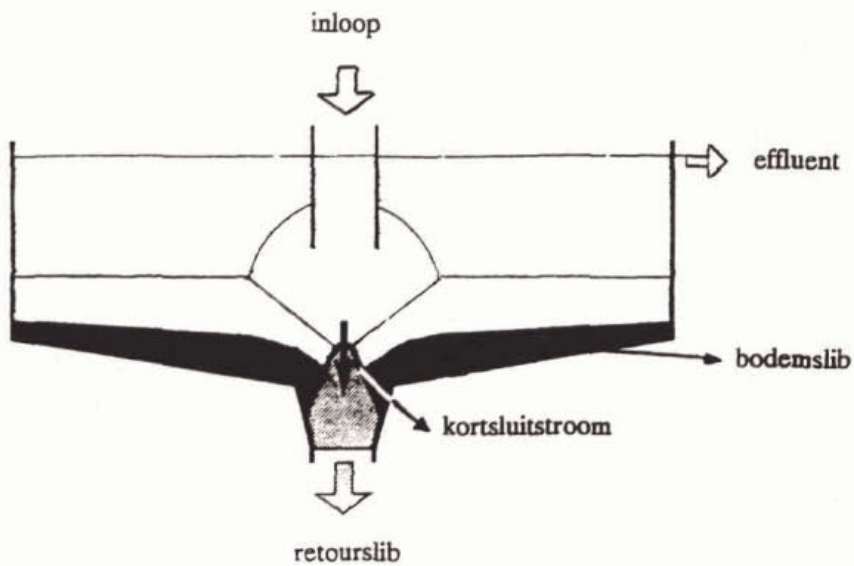


Figuur 3. Het cascade- of wandeffect in nabezinktanks

Een ander hydraulisch knelpunt vormt het volume-element in de tank waar het slib/watermengsel uit de inlooptrommel in contact komt met het bodemslib dat naar de slibzak wordt getransporteerd. Op dit knelpunt ontstaat een stroming vanuit de inlooptrommel direct naar de slibkegel, de zogenaamde 'kortsluitstroming' (zie figuur 4).

Het slib/watermengsel in deze kortsluitstroming zorgt enerzijds voor een hydraulische- en drogestof-'ontlasting' van de nabezinktank, maar verlaagt anderzijds het drogestofgehalte van de retourstroom; het mengsel krijgt geen tijd in te dikken. Het goed bezinkbare slib wordt weliswaar snel afgevoerd, maar een aanzienlijke kortsluitstroming verhoogt de kans op slibflotatie. Door het ontstaan van neren in de buurt van de inlooptrommel wordt de toestrooming van ingedikt bodemslib naar het middel van de tank namelijk belemmerd. Dit leidt tot het ontstaan van stagnante sliblagen op de bodem van de tank. Na verloop van tijd kunnen deze

lagen door gasvorming als gevolg van denitrificatie komen opdrijven [14].



Figuur 4. Weergave van 'kortsluitstroming' in nabezinktanks

Günthert heeft een relatie kunnen vaststellen tussen de retourslibstroom en de kortsluitstroom op grond van praktijkproeven bij vier nabezinktanks. Hieruit blijkt dat bij een retourslibverhouding van 1,0 de kortsluitstroom al voor circa 35% aan de retourstroom bijdraagt [15].

6 PRAKTIJKGERICHT LITERATUURONDERZOEK

6.1 Aard van de publicaties

De complexiteit en de dynamiek van het nabezinkproces vinden hun weerslag in de aard van de literatuur die over dit onderwerp beschikbaar was. Net als in 1981 [29] kan worden vastgesteld dat het aantal publicaties in de afgelopen jaren met wiskundige (dynamische) modellen groot is. Voor zover deze modellen niet getoetst zijn aan de hand van proeven in praktijkinstallaties, zijn ze echter als niet van belang beschouwd voor de praktijkgerichte literatuuronderzoek.

De literatuurrecherche leverde een reeks van relevante artikelen op, zoals die over bedrijfservaringen met grote nabezinktanks in Duitsland [10]. Een aantal publicaties heeft de invloed van slechts één aspect (bijvoorbeeld slibruiming) van nabezinktanks als onderwerp. Een ander deel van de praktijkgerichte literatuur is gericht op verbeteringen in de constructie (inlooptrommel, effluentgoten) van nabezinktanks. Het belang van de constructieve aspecten van nabezinktanks voor de optimale werking van de nabezinking wordt in publicaties veelvuldig genoemd [onder andere: 33]. Daarom is in dit rapport aan de constructie van nabezinktanks relatief veel aandacht geschonken. Eventuele constructieve verbeteringen zouden ook van belang kunnen zijn voor de werking van tanks met een diameter kleiner dan 50 meter.

In dit licht verdienen de in de periode 1981-1990 verschenen ATV- en WPCF-handleidingen voor nabezinktanks [onder andere: 4 en 5] aparte vermelding. Deze publicaties leveren interessante gegevens op voor ontwerpgrondslagen en constructie van ronde tanks met mechanische slibruiming.

6.2 Bedrijfservaringen met grote nabezinktanks

Bischofsberger en Günthert onderzochten de werking van grote, ronde nabezinktanks in Duitsland op veertien zuiveringsinrichtingen [10]. Hiervan hadden negen installaties nabezinktanks met een diameter groter dan 50 meter; drie installaties hadden tanks met een diameter groter dan 60 meter. In totaal werden circa 50 tanks in de enquête betrokken. Op één inrichting na waren alle tanks parallel geschakeld.

Behalve op één installatie waren alle tanks uitgerust met schildruimers en doorgestoken of dubbele ruimerbruggen. Het drogestofgehalte in de aërietanks varieerde van 2,0 tot 5,3 g/l (gem. 3,0 g/l). De slibvolume-index bedroeg 45 tot 120 ml/g met uitzondering van drie inrichtingen, waar de index tussen 150 en 180 ml/g lag. Op twee tanks na werd een retour-slibverhouding kleiner dan 80% aangehouden. De oppervlaktebelastingen varieerden van 0,26 tot 0,92 m/h bij gemiddelde hydraulische belasting.

Uit het onderzoek van Bischofsberger en Günthert blijkt dat grote nabezinktanks in het algemeen geen bijzondere problemen opleveren. In sommige gevallen kan het desondanks toch raadzaam zijn te kiezen voor meerdere kleinere tanks in plaats van één zeer grote tank. De moeilijk te beïnvloeden dichtheidsgradiënten, temperatuurverschillen en windeffecten kunnen de werking van met name grote nabezinktanks verslechteren. Bij slechts één onderzochte inrichting trad sliboverstort op bij maximale oppervlaktebelasting.

De enquête leerde dat slibuitspoeling geregeld optrad tijdens hevige wind. Bij relatief ondiepe nabezinktanks kwam dit verschijnsel het meeste voor. Het verhogen van de tankwand tot 1,0 m boven het wateroppervlak helpt nauwelijks de invloed van de wind te beperken. Deze afstand zou, zo concluderen de onderzoekers, dus minimaal 1,0 m moeten bedragen.

Enkele van de onderzochte grote tanks bleken last te hebben van slibflotatie in de zomermaanden als gevolg van denitrificatie. Laagbelaste systemen ondervonden uiteraard meer last van

denitrificatie dan hoogbelaste systemen. Bij één installatie bevond zich een ontgassingsruimte met drijfslaagafvoer vóór de nabezinktanks. De hydraulische verblijftijd in deze ruimte was 10 minuten bij een oppervlaktebelasting van 7 m/h. De nabezinking verliep bij deze installatie zonder problemen. Bischofsberger en Günthert tonen zich een voorstander van zo'n voorgeschakelde ontgassingsruimte.

Op een zuiveringsinrichting met een groot percentage industrieel afvalwater in de aanvoer werd bij overbelasting van de nabezinking polyelektrolyt (PE) gedoseerd in de toevoer van de nabezinktanks. De dosering werd gestuurd door een slibspiegelmeter. Een dergelijk PE-doseringssysteem is ook in Nederland door de STORA onderzocht: het bleek goed te voldoen als 'bewaking' tegen overstortsituaties [31].

6.3 Constructieve verbeteringen bij nabezinktanks

6.3.1 Inloopconstructie

Doel van de inloopconstructie is het gelijkmatig verdelen over de nabezinktank van het slib/watermengsel uit de aëratieruimte.

Hierbij moeten de min of meer als 'hydraulisch stagnant' te beschouwen helderwaterzone en indikzone zo min mogelijk worden verstoord. Dit kan worden bereikt met een horizontaal-radiaal gerichte, weinig turbulente instroming van het slib/watermengsel. De flocculatie dient te worden bevorderd en lucht- en gasbellen moeten zoveel mogelijk kunnen ontspannen. Dit vereist lage vloeistofsnelheden bij de uitstroomopening van de inloopconstructie, en verstrooiing van de bewegingsenergie van het influent om turbulente stroming te verminderen.

In Nederland worden veelal centraal gelegen inlooptrommels geconstrueerd, zonder bijzondere voorzieningen om het binnenstromende slib/watermengsel in radiale richting af te buigen.

Dit kan resulteren in een ongewenst grote kortsluitstroming.

Zonder stromingsgeleiding van het instromende slib/watermengsel bestaat de kans op een vroegtijdige verstoring van het horizontale stromingsprofiel. Dichtheid en viscositeit worden in dat geval in een te vroeg stadium bepalend voor de stroming in de tank.

In de ATV-richtlijn [4] worden inlooptrommels relatief groot gedimensioneerd. Verblijftijden van 3 tot 5 minuten worden aanbevolen voor een goede flocculatie en voor de benodigde ontgassing van het slib/watermengsel uit de aëratieruimte. Deze ontgassing veroorzaakt waarschijnlijk een drijfslag in de inlooptrommel. Er moeten daarom voorzieningen worden getroffen om dit drijvende slib te bestrijden (bijvoorbeeld met behulp van een sproeikop).

Bij een zeer intensieve beluchting in de aëratietank beveelt de ATV aan vóór de nabezinktanks een aparte ontluchtingsruimte te bouwen, met een mogelijkheid van drijfslaagafvoer (en eventueel bodemslibruiming). Bischofsberger en Günthert doen dezelfde aanbeveling, en achten een verblijftijd van 10 minuten in zo'n ontgassingsruimte voldoende [10].

Bischofsberger en Günthert halen een onderzoek van Wolf aan, waarin deze stelt dat de diameter van de inlooptrommel 15 tot 20% van de diameter van de tank dient te bedragen om de door hem aanbevolen hydraulische verblijftijden van 5 tot 10 minuten en lage snelheden van het uittredende slib/watermengsel te kunnen bereiken. In het STORA-literatuuronderzoek van 1981 [29] werd zijn uitspraak opgetekend: "Bij een veel te kleine trommeldiameter kunnen leidschotten ongunstig werken door sterke wervelingen. Wanneer de trommeldiameter voldoende groot is kunnen deze leidschotten overbodig zijn".

In het onderzoek van Bischofsberger en Günthert [10] aan grote tanks werden percentages van 7 tot 13% en één keer 25% van de diameter van de tank gemeten. Uit de reeds in het STORA-rapport [29] besproken reeks proeven van Anderson zou blijken dat de invoertrommel het

beste zo groot als praktisch mogelijk kan worden gedimensioneerd, teneinde een zo laag mogelijke horizontale snelheid te krijgen.

Voor ronde, horizontaal doorstroomde nabezinktanks wordt door de WPCF [5] de diameter van de conventionele inlooptrommel op 20-25% van de diameter van de tank gesteld. Onderzoek van Murphy [20] heeft aangetoond dat een te smalle diameter van de trommel een sterke, neerwaarts gerichte dichtheidsstroming tot gevolg heeft. Het neerwaarts stromende slib/watermengsel migreert daarna snel over de bodem van de tank in radiale richting, met alle gevaar van een wandeffect ter hoogte van de effluentonttrekking.

De dimensies van de inlooptrommel in de VS worden veelal aangepast aan de maximaal toelaatbare benedenwaarts gerichte snelheid uit de trommel. Een aantal fabrikanten adviseert de trommeldiameter in geen geval hoger te kiezen dan 10,7 tot 13,0 m. Hierbij worden maximale snelheden in de trommel van 2,5 tot 3,0 cm/s en een maximum voor de verticale snelheidscomponent van 1,0 tot 1,3 cm/s toelaatbaar geacht.

De insteekdiepte van de inlooptrommel varieert in de VS van 30 tot 75% van de tankdiepte. Sommige fabrikanten adviseren een insteekdiepte van 2/3 van de kantdiepte. Op een aantal installaties beweegt de inlooptrommel met de ruimerbrug mee en creëert aldus een extra tangentiële vloeistofstroming.

De ATV [2] beveelt aan de uitloopopeningen van de inlooptrommel zo diep mogelijk te kiezen in verband met optredende dichtheidsstromingen. De onderkant van de uitloopopeningen moeten echter boven de indik- en ruimzone uitkomen en de bovenkant moet zo ver mogelijk van de helderwaterzone verwijderd blijven.

Een verbeterde werking van nabezinktanks wordt ook in de VS bereikt door de centrale inlooptrommel te vervangen door een grote flocculatieruimte of -trommel ('flocculating feedwell').

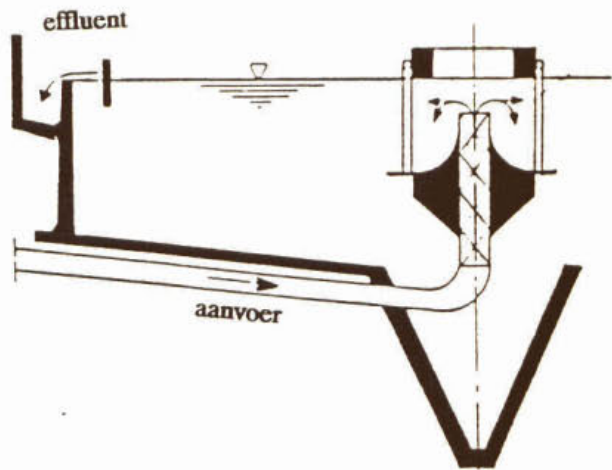
In deze ruimte wordt de bewegingsenergie verstrooid en simultane flocculatie van slibvlokken bevordert. Diameters van 35% van de diameter van de tank worden gerapporteerd. Stukenberg e.a. [32] en Parker [22] overwogen aanvankelijk mechanisch roeren ter bevordering van de vlokvorming in de trommel, maar vonden dat de energieverstrooiing de flocculatie reeds genoeg bevorderde. De verblijftijden in deze flocculatieruimte kunnen oplopen tot 30 minuten [5].

Er zijn verscheidene constructieve vormen bedacht voor het verstrooien van de energie van het slib/watermengsel. Teneinde een onregelmatig stromingsprofiel na de bocht in de aanvoercilinder zo veel mogelijk te dempen, is een verticale loop van deze cilinder van minstens 2-3 meter volgens Seyfried [26] noodzakelijk. In de aanvoerbuis naar de inlooptrommel kan bijvoorbeeld een spiraalsgewijze stroming van het slib/watermengsel worden geïnduceerd (zie figuur 5).

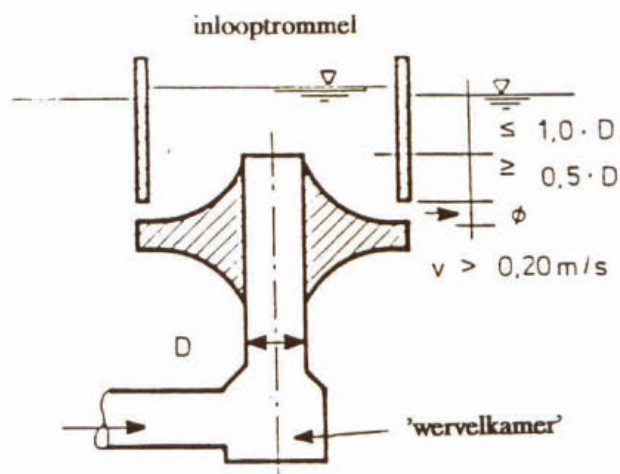
Een andere optie is het installeren van een wervelkamer onderin de stijgbuis van de aanvoering, volgens Groche [13] (zie figuur 6).

Valentin [35] construeert een duikwand in de inlooptrommel om de vloeistofsnelheidsverdeling daar te verbeteren. Bovendien brengt hij verticale lamellen aan in de wand van de trommel, teneinde een tangentiële uitstroming te verkrijgen, in de draairichting van de slibruimer op de bodem van de tank, waardoor het verschil in snelheid met deze ruimer wordt verkleind.

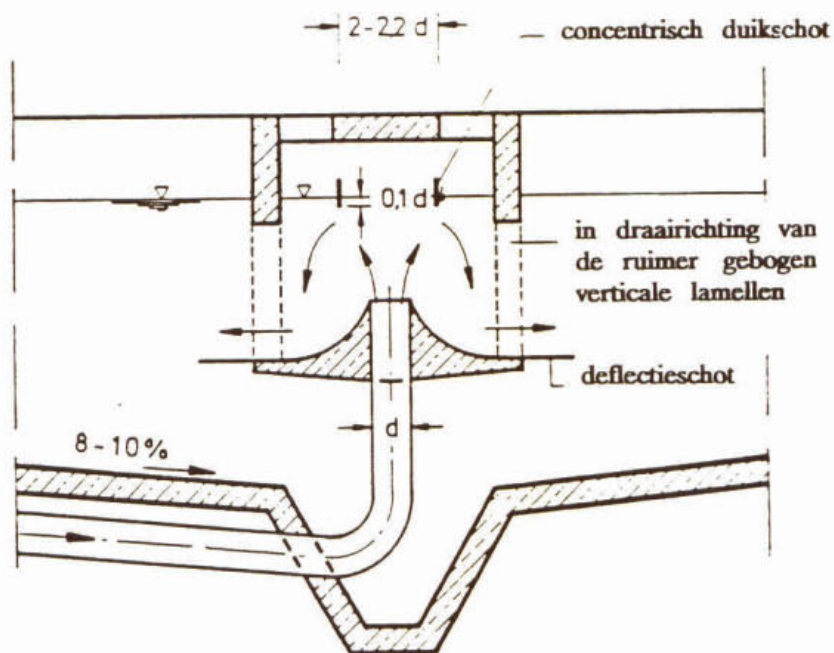
Bovendien dwingt de centripetale kracht die deze 'cyclonwerking' teweegbrengt de zware slibdeeltjes naar beneden en bevordert zo de slib/waterscheiding (zie figuur 7).



Figuur 5. Inloopconstructie met spiraalvormige aanvoercilinder en klein deflectieschot

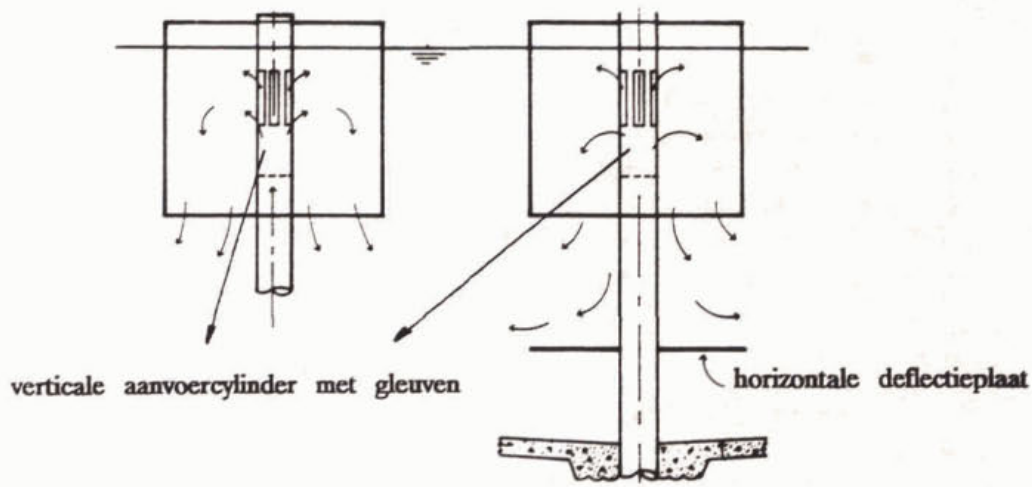


Figuur 6. Inloopconstructie met wervelkamer volgens Groche



Figuur 7. Inloopconstructie volgens Valentin

Een aantal fabrikanten in de VS construeert een verticale inlooptrommel met openingen die het water/slibmengsel in radiale richting doen afbuigen. Dit dient het ontstaan van sterke, neerwaarts gerichte kortsluitstromingen tegen te gaan door de horizontale snelheidscomponent te vergroten. Soms wordt een deflectieplaat onder de inlooptrommel geplaatst (zie figuur 8) [5].



Figuur 8. Inlooptrommel met verticale gleuven

Bender [6] deed proeven met een geperforeerde trommelwand. Deze constructie zorgde voor een veel slechtere effluentkwaliteit dan in het geval van de oorspronkelijke, dichte trommelwand. De onderzoeker betwijfelt of een inlooptrommel eigenlijk wel in staat is een uniform stromingspatroon over de gehele straal van de nabezinktank te creëren. De verstoring door dichtheidsstromingen lijkt hiervan de oorzaak te zijn. In het STORA-literatuuronderzoek van 1981 werd het failliet van de geperforeerde inlooptrommel en het overheersende effect van dichtheidsstromingen al gememoreerd [29].

In hetzelfde STORA-onderzoek werd het werk van Anderson uit 1940 besproken, waaruit bleek dat een inlooptrommel met schuine schotten en relatief grote inlooptrommels (doorsnede trommel = 6,1 m; doorsnede tank = 34,4 m) wel in een voorbezinktank, maar niet in een nabezinktank werkte, waarschijnlijk als gevolg van dichtheidsstromingen [29].

Op een Duitse industriële zuiveringsinrichting werden goede resultaten geboekt met een inlooptrommel met verticale gleuven en voor de gleuven geplaatste verticale deflectieplaten ('Prallbleche') (36 verticale gleuven; doorsnede trommel = 7 m; doorsnede tank = 57 m; een gesloten onderkant van de trommel, als maatregel tegen sliboverstort).

Seyfried [26] geeft een 'kritische vloeistofsnelheid' aan, waarboven het ingedikte bodemslib weer wordt opgewerveld. Bij goed bezinkbaar slib en lage slibindices ligt deze maximaal toelaatbare snelheid hoger dan bij slecht bezinkbaar slib. Een vloeistofsnelheid van 20 maal de toegepaste oppervlaktebelasting wordt door hem als veilig beschouwd met het oog op fluctuaties in de hydraulische belasting van de nabezinktank. Dit zou bij een oppervlaktebelasting van 1,0 m/h neerkomen op een kritische vloeistofsnelheid van 0,6 cm/s!

Volgens Billmeier [7] bestaat er een 'kritische snelheidsgradiënt' waar boven méér slibvlokken worden afgebroken dan er vlokken worden gevormd en waarbij de concentratie van kleine, moeilijk bezinkbare slibdeeltjes (als gevolg van 'scouring') in het effluent toeneemt. De drogestofconcentratie in het effluent berekent hij met de formule:

$$G_E = 3,15 * 10^{-4} * (VS_A * (1 + r) / h_{NBT})^2 \quad [\text{mg/l}]$$

met:

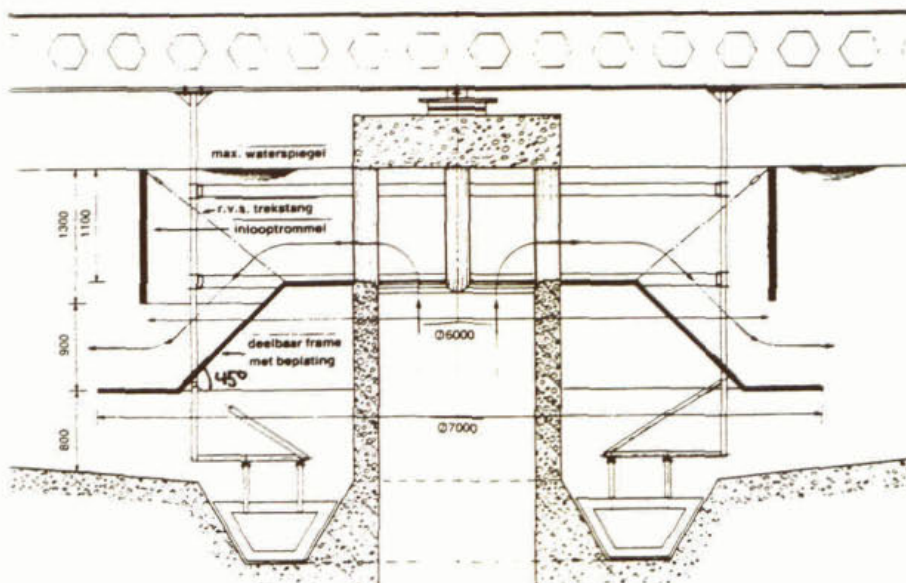
G_E	=	drogestofconcentratie in effluent	[mg/l]
VS_A	=	slibvolumebelasting	[l/(m ² *h)]
R	=	retourslibverhouding	[-]
h_{NBT}	=	hoogte nabezinktank ('mittlere Nutztiefe')	[m]

Crosby [11] deed proeven op praktijkschaal met inloopconstructies zonder deflectieschot. Hij vond de beste resultaten indien het slib/watermengsel vlak onder of ruim boven de slibdeken werd ingelaten, afhankelijk van de bezinkeigenschappen van het slib. Voor slibsoorten met een goede bezinkbaarheid en een lage slibvolume-index was een lage slibspiegel optimaal. Slecht bezinkbaar slib kon het beste onder de slibspiegel worden ingelaten, zodat filtratie in de slibdeken en indikking door compressie werden bevorderd. Een situatie waarbij het slib/watermengsel vlak boven de slibspiegel wordt ingelaten, diende zijns inziens te worden vermeden, vooral bij wisselende en/of hoge hydraulische belastingen, teneinde hoge radiale stroomsnelheden, slechte condities voor bezinking en een slechte effluentkwaliteit te voorkomen. Parker [22] pleit voor lage slibdekenniveaus.

Perifere inlaat van influent in ronde tanks wordt in de VS soms toegepast [5]. Meestal worden het effluent en het ingedikte slib in het centrum van de tank onttrokken, en verlopen daardoor de stromingen van bodemslib en afvalwaterstroom parallel van buiten naar binnen. Dit principe wordt ook in Zwitserland toegepast bij zogenaamde 'Rimflo' tanks. Volgens Seyfried [26] heeft deze constructieve vorm, door de onvermijdelijke hoge mesbelasting in het centrum van de tank, zijn superioriteit in de praktijk allerminst bewezen.

Deflectieschot

Deflectieschotten kunnen de kortsluitstroming naar de slibkegel verhinderen door het slib/watermengsel uit de inlooptrommel in radiale richting af te buigen. Bij een gelijktijdige verbeterde slibuiming zou dit moeten leiden tot een hogere drogestofconcentratie van het retourslib, en daarmee tot een verlaging van de retourslibverhouding en een verbetering van het hydraulische profiel in de tank. Een tekening van een deflectieschot, zoals toegepast op rwzi Horstermeer, is afgebeeld in figuur 9 [uit: 37].



Figuur 9. Inloopconstructie met deflectieschot op rwzi Horstermeer

Een ander doel van het aanbrengen van een deflectieschot of -plaat is het verlagen van de slibspiegel in de tank. Het volledige retourdebiet wordt door de slibdeken geleid en met het bodemslib en de slibdeken naar de slibtrechter 'gezogen'. Deze stroming vervult als het ware een aanvullende ruimerfunctie. Door deze verbeterde ruiming ligt de slibspiegel lager dan in tanks zonder deflectieschot. Een lagere slibspiegel geeft tijdens regenweeraanvoer een groter bufferend vermogen. Het wegzuigen van de slibdeken en de dienovereenkomstige verlaging van de slibspiegel hebben als nadeel dat de filter-werking van de slibdeken gedeeltelijk verdwijnt: colloïdaal materiaal wordt niet meer 'ingevangen'. Dit leidt tot een verminderde flocculatie en een verhoogd gehalte aan zwevende stof in het effluent [30].

In nabezinktanks in Duitsland wordt rond de uitstroomopening van de inlooptrommel veelal een klein deflectieschot ('horizontaler Einlaufkranz') geplaatst om een gelijkmatige horizontale stroming uit de inlooptrommel te verkrijgen. Schlegel [24] noemt een deflectieplaat ('Prallteller') op 1/3 tot 1/2 van de tankdiepte zinvol.

Bij oplopende vloeistofsnelheden en/of turbulentie in de buurt van het deflectieschot, bijvoorbeeld aan het begin van een periode met verhoogde hydraulische belasting, treedt volgens Seyfried [26] een 'uitwassing' van het bodemslib op, zodat de lichte slibdeeltjes in de richting van de effluentgoot kunnen migreren. Hetzelfde effect vindt Seyfried overigens bij inloopconstructies die een sterk neerwaartse stroming veroorzaken en aldus het naar de slibkegel migrerende, ingedikte bodemslib opwervelen.

Op de rwzi Amsterdam-Oost is geëxperimenteerd met twee nabezinktanks: één met en één zonder deflectieschot. Het deflectieschot bleek een betere indikking van het slib en een lagere slibspiegel tot gevolg te hebben. In de tank met deflectieschot echter nam het gehalte aan onoplosbare bestanddelen in het effluent toe aan het begin van een periode van regenweeraanvoer [18]. Deze waarneming onderschrijft de hypothese van Seyfried.

In de VS zijn goede ervaringen opgedaan met deflectieplaten met een diameter van 1,1 tot 1,2 maal de diameter van de inlooptrommel [19].

6.3.2 *Slibruiming*

Door Billmeier [8], Günthert [14] en Resch [23] wordt het belang van een goede slibruiming voor de goede werking van een nabezinktank benadrukt. In installaties met een relatief hoge slibspiegel en slechte slibkarakteristieken vond Günthert een verbetering van de slibruiming na het vergroten van de ruimerbladen. In het STORA-literatuuronderzoek ten behoeve van nabezinktanks in 1981 werd melding gemaakt van de verbeterde werking van tanks in Engeland, nadat de ruimerbladen waren verhoogd [29].

Billmeier [8] berekent de hoeveelheid te ruimen slib (= inkomend slib - 'kortsluitstroomslib') en bepaalt hiermee de benodigde bladhoogte van de ruimer. De kortsluitstroom is als functie van de 'retourslibstroomfactor' door Günthert [15] bepaald. De berekening is hieronder weergegeven:

Berekening van de bladhoogte in een NBT volgens Billmeier [8]

De relevante formule luidt:

$$h_{\text{ruimerblad}} = \frac{(0,65 - 0,23 * \log^n R) * (1 + R) * VS_A * \delta}{(a * n_R)^{2/3} * 1000} [m]$$

met:

$h_{\text{ruimerblad}}$	=	bladhoogte	[m]
$(0,65 - 0,23 * \log^n R)$	=	kortsluitstroomfactor Ω (zie fig. 10)	[-]
R	=	retourslibverhouding (geldigheid: $0,2 < R < 1,8$)	[-]
VS_A	=	slibvolumebelasting	$[l/(m^2 * h)]$
		(NB: $VS_A = q_A * G_a * I_{sv}$, met:	
		q_A = oppervlaktebelasting $[m^3/(m^2 * h)]$	
		G_a = slibgehalte in de aëratieruimte $[g/l]$	
		I_{sv} = verdunde slibvolume-index (ml/g)	
δ	=	ruimfactor: het aantal rotaties dat een slibdeeltje gemiddeld nodig heeft om vanaf de bodem van de tank in de slibzak te geraken. (NB: vaak wordt $\delta = 1,5$ gekozen bij de ATV [3]) ¹	[-]
a	=	aantal schraperarmen ²	[-]
n_R	=	frequentie van de schraperarmen	$[h^{-1}]^3$

De berekende gemiddelde bladhoogte 'h' wordt dus groter:

- bij stijgend slibretourdebiet (zie fig. 11)
- bij hogere hydraulische belasting, hoger drogestofgehalte in de aëratietank en/of hogere verdunde slibvolume-index
- bij toenemende diameter van de nabezinktank
- bij toename van de ruimfactor

De berekende gemiddelde bladhoogte 'h' wordt daarentegen kleiner:

- bij toename van het aantal schraperarmen
- bij verhoging van de ruimersnelheid

De beschikbare gemiddelde indiktijd 't_c' kan als volgt worden berekend:

$$t_c = \delta / (n_R * a) \quad [h]$$

Het drogestofgehalte 'G_b' van het te ruimen slib op de bodem van de nabezinktank bedraagt:

$$G_b = 1000 * (t_c)^{1/3} / I_{sv} \quad [kg/m^3]$$

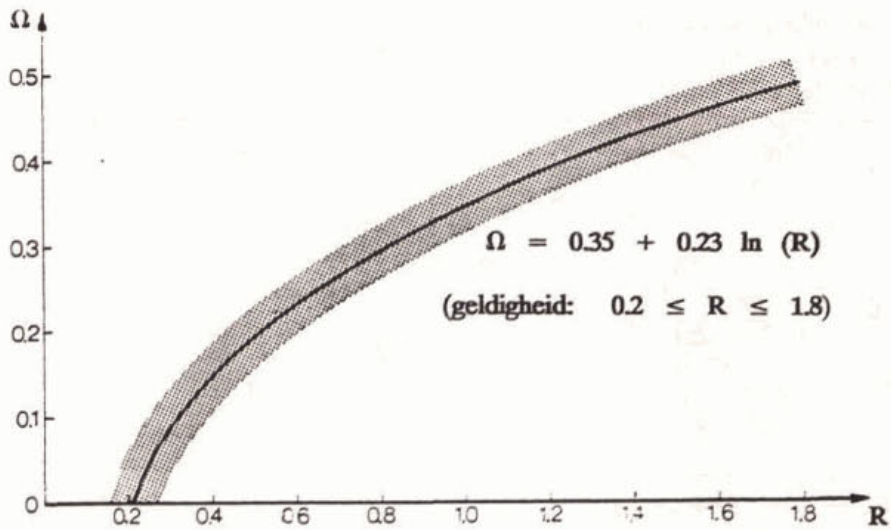
¹ δ hangt af van de vorm en de stand van de ruimer, en van de bodemhelling af.

² $a = 1,5$ indien $25 \text{ m} < \text{diameter nabezinktank} < 40 \text{ m}$, en

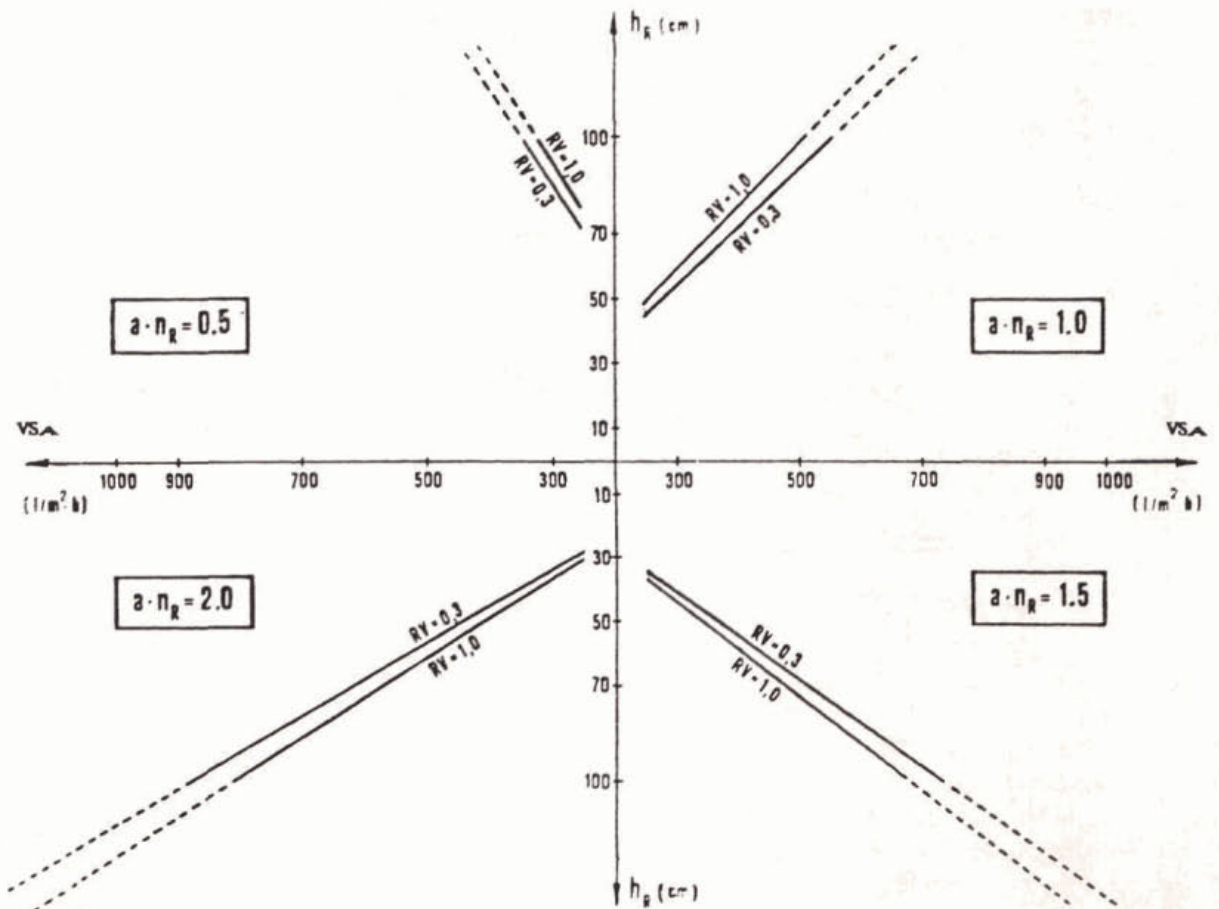
$a = 2$ voor diameter NBT $> 40 \text{ m}$; ([2]).

³ $n_R = v_{\text{ruimer}} / (\pi * D)$.

kortsluitstroom



Figuur 10. De invloed van de retourslibverhouding (R) op de kortsluitstroom (Ω)



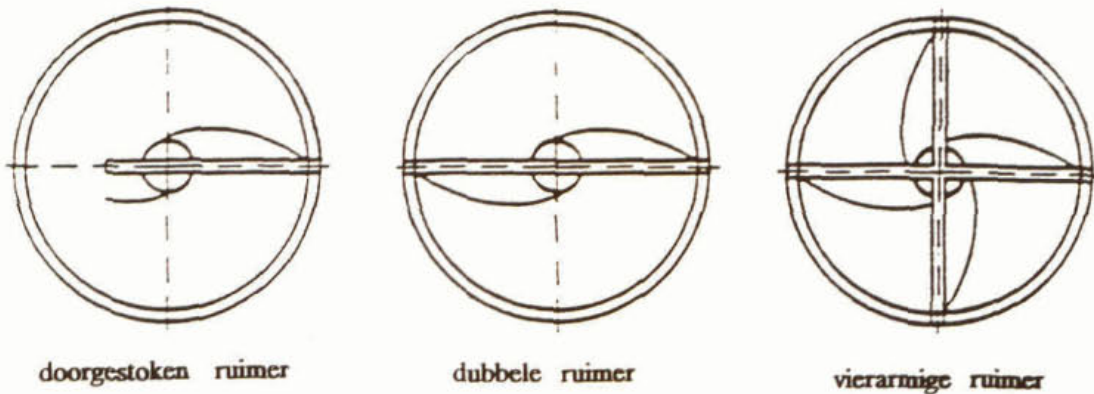
Figuur 11. Gemiddelde bladhoogte als functie van retourslibverhouding, lengte en frequentie van de schraperarmen en de slibvolumebelasting

De gemiddelde hoogte van de ruimerbladen wordt hierbij aangepast aan de hoogte van de berekende indikzone; de bladhoogte neemt naar het centrum van de tank in hoogte toe. Bij grotere diameter van de tank moeten de schraperbladen overeenkomstig groter worden, al wordt door de ATV [3] een maximaal toelaatbare gemiddelde hoogte van 0,8 meter aangehouden. De gemiddelde bladhoogte in Duitsland bedraagt 0,4-0,6 meter [23]. Op grond van eigen berekeningen zijn volgens Billmeier de bladhoogten in de praktijk veelal te laag [8].

De slibruiming kan, behalve door het verhogen van de ruimerbladen ook worden verbeterd door het verhogen van de ruimersnelheid en/of het vergroten van het aantal schraperarmen. De slibruiming beïnvloedt de indiktijd: hoe sneller de ruiming verloopt, hoe minder tijd voor slibindikking beschikbaar is. Slecht bezinkbaar slib verlangt een langere indiktijd dan slib met goede bezinkeigenschappen. Bestaat er kans op denitrificatie in de tank dan is een snelle ruiming gewenst [14].

De ruimersnelheid voor de Duitse situatie varieert tussen 2 en 4 cm/s. Billmeier vermeldt dat bij tanks met een grote kantdiepte deze snelheid tot 6 cm/s kan worden opgevoerd [8]. Jedele acht een traploos regelbare ruimersnelheid in het bereik 2-6 cm/s zinvol [17]. Zelfs bij een ruimersnelheid van 6,7 cm/s werd door Günthert geen verslechtering van de effluentkwaliteit waargenomen (diameter tank = 30 m; bladhoogte = 0,35 m; $q_A = 0,35-0,74 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; gemiddelde hoogte tank = 2,75 m) [14]. In de VS worden ruimersnelheden van 3 tot 4 cm/s toegepast [5].

Resch beveelt tenminste twee ruimersnelheden aan teneinde de ruimfunctie aan de retourslibcapaciteit en een verhoogd aanbod van drogestof tijdens regenweercondities te kunnen aanpassen. Als de ruimersnelheid niet verder kan worden opgevoerd, kunnen dubbele of zelfs vierarmige ruimerconstructies ter vervanging van doorgestoken ruimers worden overwogen (zie figuur 12).

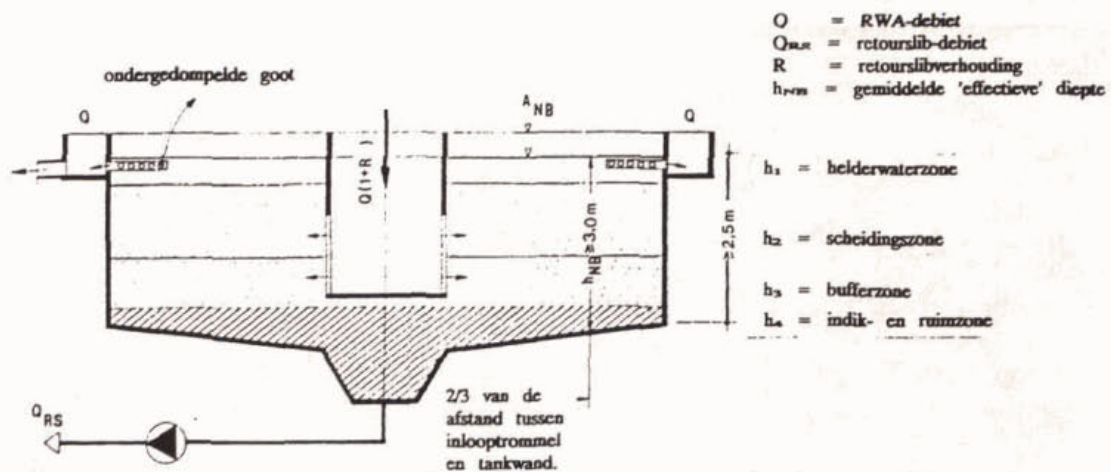


Figuur 12. Plaatsing van ruimschilden in ronde nabezinktanks

Onderzoek op de rwzi Geestmerambacht kon geen uitsluitsel geven omtrent de vraag of een hele ruimer betere resultaten gaf dan een halve ruimer [21]. Een praktijkproef op rwzi Amsterdam-Oost gaf, op grond van de effluentkwaliteit, geen aanleiding de doorgestoken ruimers te vervangen door hele ruimers [36].

6.3.3 Tankdiepte en bodemhelling

De ATV [2] berekent een 'mittlere Nutztiefe' van de tanks uit de som van vier zones in de tank: de helderwaterzone, de scheidingszone, de bufferzone en de indik- en ruimzone (zie figuur 13).



Figuur 13. Ruimtelijke indeling van het nabezinkproces in een horizontaal doorstroomde, ronde nabezinktank

De 'mittlere Nutztiefe' komt overeen met de diepte van de nabezinktank op 2/3 van de afstand tussen inlooptrommel en tankwand:

helderwaterzone:

$$h_1 = 0,5 \text{ m}$$

scheidingszone:

$$h_2 = 1,0 \text{ m tijdens regenweeraanvoer ('Mischwasser')}$$

bufferzone:

$$h_3 = \frac{G_a * I_{sv} * V_{AT}}{500 * O_{NBT}} \text{ m}$$

indik- en ruimzone:

$$h_4 = \frac{G_a * I_{sv} * (1 + R)}{1000} \text{ m (minimaal: 0,25 m)}$$

met:

G _a	=	drogestofconcentratie in de aëratietank	[g/l]
I _{sv}	=	verdunde slibvolume-index	[ml/g]
V _{AT}	=	volume aëratietank	[m ³]
O _{NBT}	=	oppervlakte nabezinktank	[m ²]
R	=	retourslibverhouding	[-]

Billmeier [8] noemt vier redenen voor het bouwen van diepe nabezinktanks:

- betere sedimentatie-condities zorgen voor minder onopgeloste bestanddelen in het effluent;
- toename van de turbulentie bij de inlooptrommel tijdens RWA-condities geeft een

- verhoogde kans op slibtransport naar de effluentgoot, maar de (kant)diepte van de tank werkt bufferend op de toegenomen belasting;
- bij tanks met grote diameter en/of hoge ruimersnelheid kan het door de schraperruimer opgewerkte bodemslib weer bezinken door een grotere kantdiepte;
- diepe tanks geven, door de hogere hydrostatische druk van de bovenstaande waterlaag, een betere slibindikking door compressie.

Door de ATV worden een minimale kantdiepte van 2,5 m en een minimale 'mittlere Nutztiefe' van 3,0 m aanbevolen. Een enquête bij Duitse rwzi's met grote nabezinktanks geeft aan dat de minimale kantdiepte van de verschillende tanks niet in alle gevallen 2,5 m bedraagt. Dit resulteerde bij de betreffende, relatief ondiepe tanks vaak in een verhoogd gehalte aan onopgeloste bestanddelen in het effluent vergeleken met onderzochte tanks met een grotere kantdiepte. De bodemhelling bedraagt meestal 1:15, op grond van DIN 19 552 [3].

Seyfried propageert bodemhellingen van $\leq 1:10$ teneinde meer ruimte - minder turbulentie - te creëren bij de uitstroomopening van de inlooptrommel en een betere hydraulische werking van de ronde tank te verkrijgen. Een hyperbolisch gebogen bodem zou op theoretische gronden de beste keuze zijn; dit is echter een bijzonder dure constructie [26].

In de VS varieert de kantdiepte van 3,7 m tot 6,2 m, met een gemiddelde van 4,6 m. Er is een tendens in de VS om diepere tanks te gaan bouwen [5]. Parker toonde aan dat diepe tanks (5,5 m) een betere effluentkwaliteit leveren dan 'ondiepe' tanks (3,7 m). Hij bemerkte dat diepe tanks een minder variabele effluentkwaliteit leveren, en dus beter bestand zijn tegen wisselende hydraulische belastingen [22]. Ook ander onderzoek toonde aan dat de werking van nabezinktanks in belangrijke mate afhangt van de diepte van de tanks. Relatief ondiepe tanks blijken een hoger gehalte aan onopgeloste bestanddelen in het effluent te veroorzaken dan diepe tanks [33].

Een Amerikaanse onderzoeker Tekippe bleek daarentegen niet in staat op grond van een uitgebreid literatuuronderzoek een eenduidige correlatie vast te stellen tussen tankdiepte en effluentkwaliteit. In de meeste door hem geraadpleegde literatuur werd wél de invloed van de slibspiegelhoogte, de fluctuaties in de hydraulische belasting en de bezinkeigenschappen van het slib in de relatie kantdiepte - effluentkwaliteit aangetoond [34].

De bodemhelling in de VS is gewoonlijk 1:12 [5].

In Nederland zijn grote kantdiepten vaak moeilijk te realiseren vanwege de hoge grondwaterstand. De noodzaak van (dure) ontwatering van de grond tijdens de constructie en het gevaar van 'opdrijven' bij het leeg zetten van de tanks zijn de redenen dat in Nederland veelal geen tanks met een kantdiepte groter dan 2,5 m worden gebouwd.

6.3.4 Constructies om windinvloed te beperken

Tanks met een grote diameter ondervinden relatief veel invloed van wind en temperatuur. Er zijn een aantal mogelijkheden om deze invloeden te beperken [10,26]:

- het plaatsen van een concentrische middenwand in een grote tank, zodat in feite twee tanks ontstaan;
- het bouwen van diepere tanks dan op grond van de ATV-richtlijn;
- het aanhouden van een tankrand-hoogte van minimaal 1 m boven de waterspiegel;
- het onttrekken van effluent via ondergedompelde radiale of concentrische geperforeerde buizen ('getauchte Rohren') in plaats van de conventionele effluentgoten. Bij een nabezinktank met 'getauchte Rohren' en een hoge tankwand op de rwzi te Husum werd pas boven windkracht 9 een lichte toename van slibvlokken in het effluent waargenomen;
- het aanleggen van beplanting als windscherm.

6.3.5 Ontwerp van effluentgoten

De mesbelasting wordt in Nederland niet meer gehanteerd als ontwerpparameter voor nabezinktanks. De STORA-richtlijn voor ronde nabezinktanks adviseert in alle gevallen, onafhankelijk van de mesbelasting, een enkele, perifere overstortrand te construeren.

In Duitsland, waar diepere tanks dan in Nederland worden geconstrueerd, wordt de mesbelasting nog wel als ontwerpparameter gebruikt. Daar bouwt men nog vaak effluentgoten met een tweezijdige overstort. De afstand van de goot tot de tankwand is daarbij gelijk is aan de waterhoogte op de plaats van de goot.

De in het buitenland en vroeger door de ATV zelf toegepaste mesbelastingen van 8-10 m²/h voor tweezijdige en ≤ 15 m²/h voor eenzijdige overstortranden, zijn voor de situatie in Duitsland volgens Seyfried vaak te hoog. Hij beveelt aan tot 5 m²/h te gaan bij eenzijdige overstortranden en slibvolume-indices ≤ 100, en tot 3 m²/h bij indices ≥ 100. Hij vermeldt dat Imhoff en Müller-Neuhaus maximale mesbelastingen van resp. 3-5 m²/h en 5-8 m²/h gebruiken [26]. In de ATV-richtlijn wordt maximaal 3 m²/h voor tweezijdige overstortranden en maximaal 6 m²/h voor eenzijdige overstortranden aanbevolen. Voor slecht bezinkbaar slib beveelt de ATV aan iets lagere mesbelastingen aan te houden [4].

In de VS worden mesbelastingen van 5 tot 15 m²/h gehanteerd. Meervoudige overstortranden worden ook daar algemeen toegepast, vnl. om het 'cascade'-effect tegen te gaan. Voor de meeste nabezinktanks met een diameter < 45 m is echter een enkelvoudige effluentgoot vaak voldoende [5].

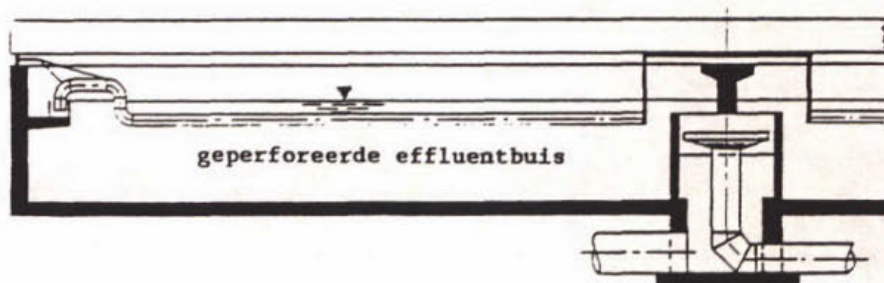
In het STORA-literatuuronderzoek van 1981 [29] werd reeds melding gemaakt van de theorie van Merkel, volgens welke de effluentgoten gelijkmatig verdeeld kunnen worden over het tankoppervlak, uitgezonderd in de inloopzone.

Schlegel [25] oppert in dit verband de mogelijkheid van radiaal gelegen effluentgoten ter vermindering van het gehalte aan gesuspendeerd materiaal in het effluent. Hij illustreert dat bij gelijkblijvende oppervlaktebelasting de mesbelasting lineair zal toenemen met het vergroten van de tank en dat het drogestofgehalte van het effluent dienovereenkomstig zal stijgen.

Hoewel duur in constructie en onderhoud hebben de door Schlegel aangeprezen ondergedompelde effluentbuizen ('getauchte Rohren') onmiskenbare voordelen:

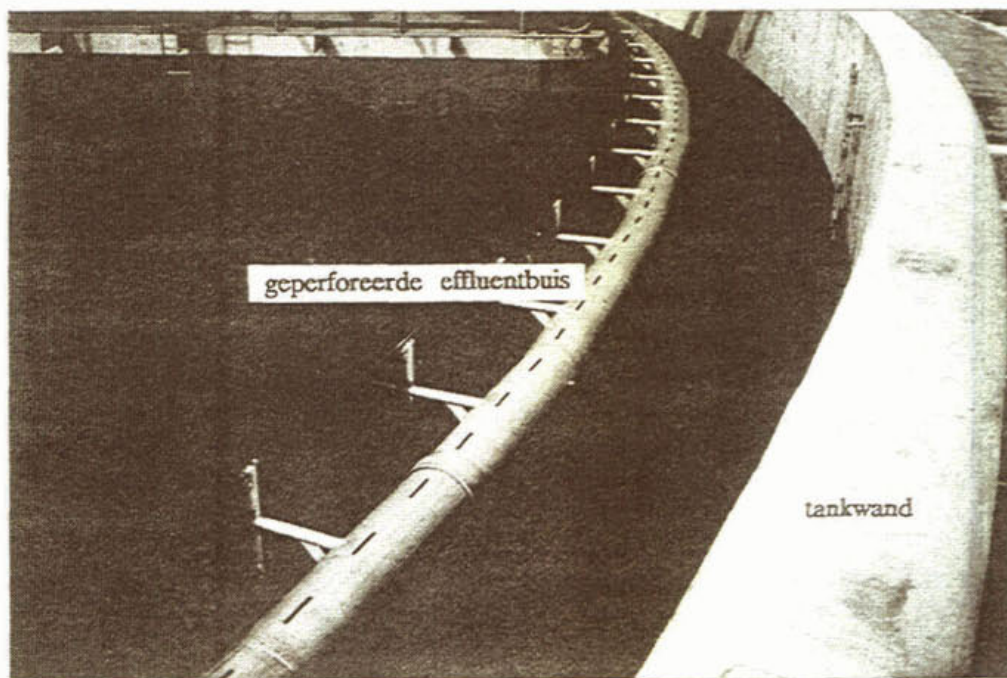
- het effluent wordt over een groter gedeelte van het tankoppervlak onttrokken waardoor de verticale snelheidscomponent ter hoogte van de effluentonttrekking wordt verlaagd;
- de invloed van zon en wind wordt geringer;
- de invloed van drijfslagen op de effluentkwaliteit wordt verminderd.

Figuur 14 toont een constructie van ondergedompelde effluentbuizen die door middel van een hevel op bestaande effluentgoten kan worden aangesloten [25].



Figuur 14. Nabezinktank bestaande uit een rondlopende, geperforeerde, ondergedompelde effluentbuis en een conventionele perifere effluentgoot

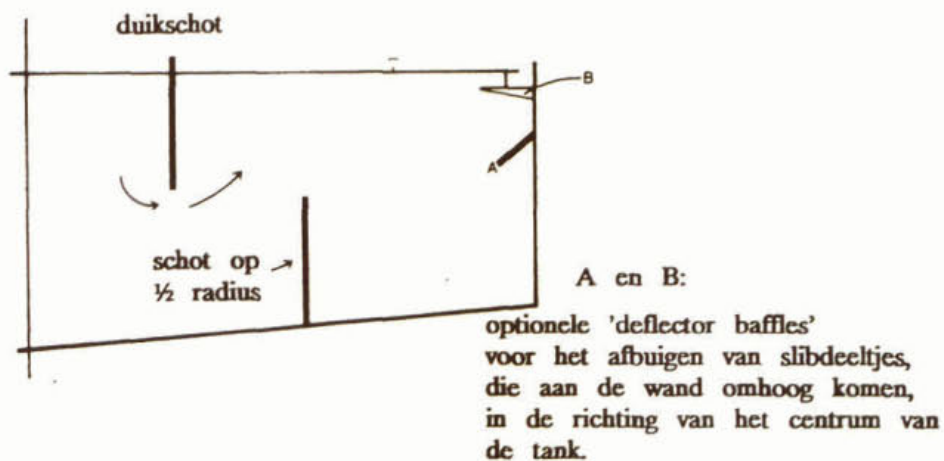
Op één van de rwzi's van de stad München zijn nabezinktanks uitgerust met ondergedompelde effluentbuizen, die concentrisch op 1 m van de tankwand zijn gelegen (zie figuur 15). Bedrijfservaringen met deze constructie zijn nog niet bekend.



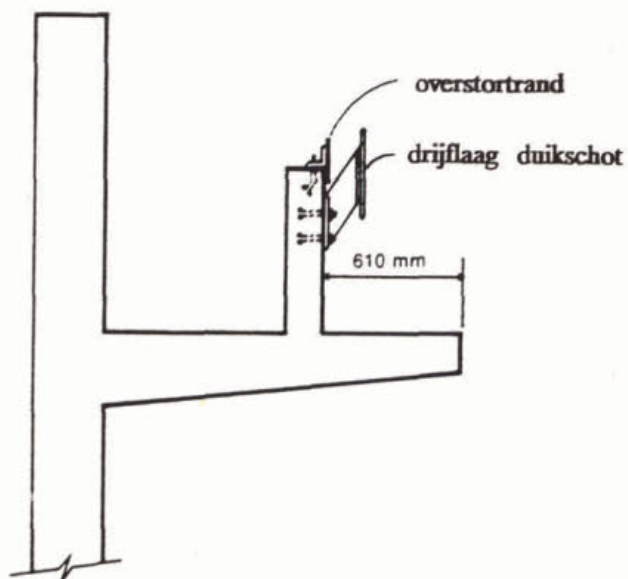
Figuur 15. Concentrische ondergedompelde geperforeerde effluentbuis

6.3.6 Stromingsgeleiders en keerschotten

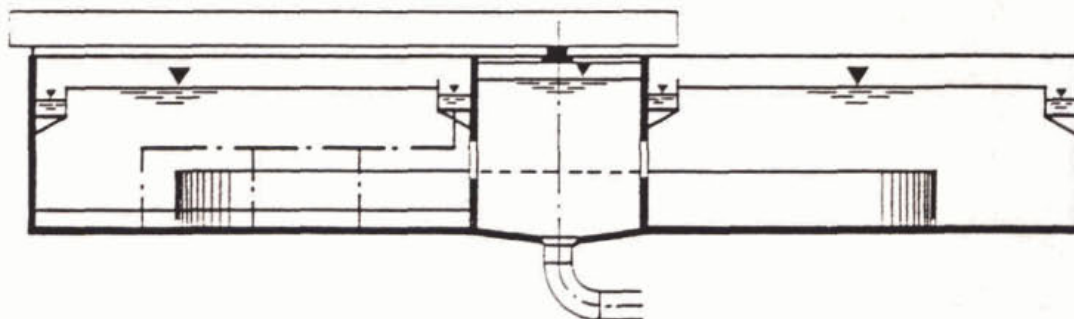
Het tegengaan van het 'cascade-effect' of 'rebound phenomenon' in nabezinktanks is in de VS bereikt door op strategische plaatsen keerschotten aan te brengen die de stroming aan de periferie van de tank doen afbuigen [32,11]. In de VS en in Duitsland wordt geëxperimenteerd met concentrische schotten op de bodem van de tank, op circa de helft van de straal. Op deze wijze tracht men de snelle, radiaal gerichte stroming over de bodem in verticale richting af te buigen [5,25]. In de figuren 16, 17 en 18 zijn deze stroming-geleidende constructies weergegeven.



Figuur 16. Keerschotten in nabezinktanks ter vermindering van het wandeffect [11]



Figuur 17. Constructie van de effluentgoot voor het ombuigen van de stroming aan de wand van de tank [32]



Figuur 18. Ronde nabezinktank met stroming-remmende concentrische plaat op de bodem van de tank [25]

6.4 De invloed van de ontwerpgrondslagen

De invloed van een aantal ontwerpparameters op de werking van de nabezinking is in een aantal publicaties nader belicht. Achtereenvolgens worden de invloed van de retourslibverhouding, de oppervlaktebelasting en de drogestofbelasting behandeld.

6.4.1 Retourslibverhouding (R)

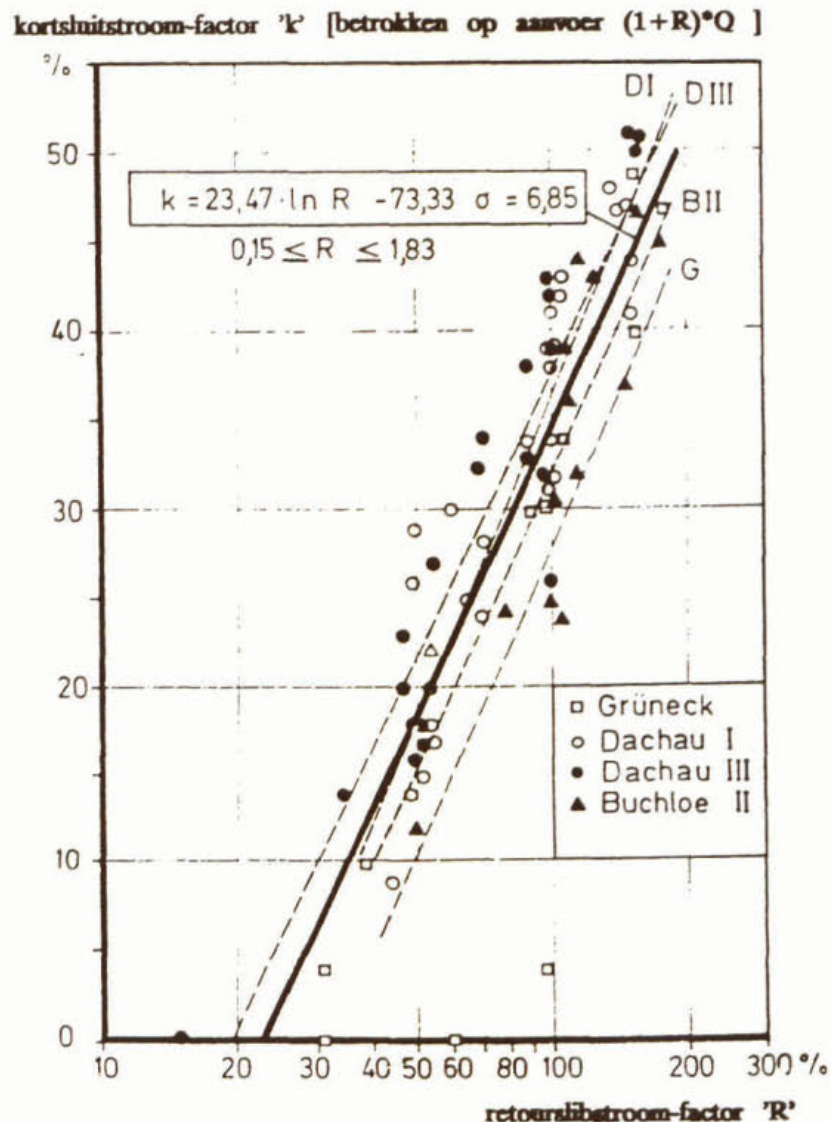
Hoge retourdebieten zorgen voor een hoge hydraulische belasting van de tank, een groter aandeel van de kortsluitstroming en meer turbulentie in het inloopgebied. De turbulentiegraad in de stroming vanuit de inlooptrommel heeft Billmeier [7] gerelateerd aan de grootte van het retourslibdebiet R : de turbulentiegraad blijkt evenredig met $(1 + R)^{3/2}$. Bij gelijkblijvend debiet neemt volgens dit verband, bij toename van R van 0,3 naar 1,0, de turbulentiegraad

met ongeveer een factor twee toe.

De toename van deze turbulentie heeft grote gevolgen voor de verspreiding van de droge stof over de nabezinktank. De droge stof wordt in een golvend patroon van dichtheden over een grotere hoogte van de nabezinktank verspreid. Dit leidt uiteindelijk tot een hoger gehalte aan droge stof aan de periferie van de tank; het drogestofgehalte van het effluent neemt toe.

Bij gelijkblijvende R en verdubbeling van de hydraulische belasting van de nabezinktanks neemt de turbulentie in de buurt van de inlooptrommel met een factor drie toe. Billmeier adviseert daarom bij een tijdelijke toename van de hydraulische belasting niet te kiezen voor een hogere retourslibverhouding, maar voor tijdelijke buffering van het slib. Tijdens regenweeraanvoer zou de factor R niet groter mogen worden dan 2,0. Voor slibindices ≥ 150 ml/g dient voor $R = 1,5$ te worden aangehouden. Bij normale hydraulische belastingen dient de retourslibverhouding weer te worden verlaagd.

Door Günthert is de relatie retourslibverhouding versus kortsluitstroom onderzocht in vier praktijkinstallaties. Figuur 19 geeft de resultaten weer. Uit deze figuur blijkt dat bij hoge retourdebieten het aandeel van de kortsluitstroming aanzienlijk is.



Figuur 19. Invloed van de retourslibfactor 'R' op de kortsluitstroming. Metingen in vier verschillende nabezinktanks [15]

Billmeier toonde het belang van de retourslibverhouding aan voor de dimensionering van de nabezinktank. Hij berekende de helderwaterzone (h_1), de scheidingszone (h_2), de bufferzone (h_3) en de indik- en ruimzone (h_4) uit figuur 13 aan de hand van de volgende formules:

$$h_1 = 0,5 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{0,5 * q_A * (1 + R)}{1 - (VS_v / 1000)} \text{ m}$$

$$h_3 = 1,2/1000 * vs_A \text{ m}$$

$$h_4 = \frac{(1 + R) * vs_A * t_e}{200 * t_e + 600} \text{ m}$$

$$h_{\text{tot}} = 0,5 + \frac{500 * (1 + R)}{VS_v * (1000 - VS_v)} + \frac{1,2}{1000} + \frac{(1 + R) * t_e}{200 * t_e + 600} * vs_A \text{ m}$$

met:

q_A	= oppervlaktebelasting	$[m^3/(m^2*h)]$
R	= retourslibverhouding	$[-]$
VS_v	= gecorrigeerd slibvolume	$[ml/l]$
vs_A	= slibvolumebelasting	$[l/(m^2*h)]$
t_e	= gemiddelde indiktijd van het slib	$[h]$

De retourslibverhouding R volgt uit de volgende formule:

$$R = \frac{G_a}{p * G_b - G_a}$$

met:

G_a	= drogestofconcentratie in de aëratietank	$[g/l]$
G_b	= drogestofconcentratie in de indikzone	$[g/l]$
p	= G_r/G_b	$[-]$
G_r	= drogestofconcentratie in het retourslib	$[g/l]$

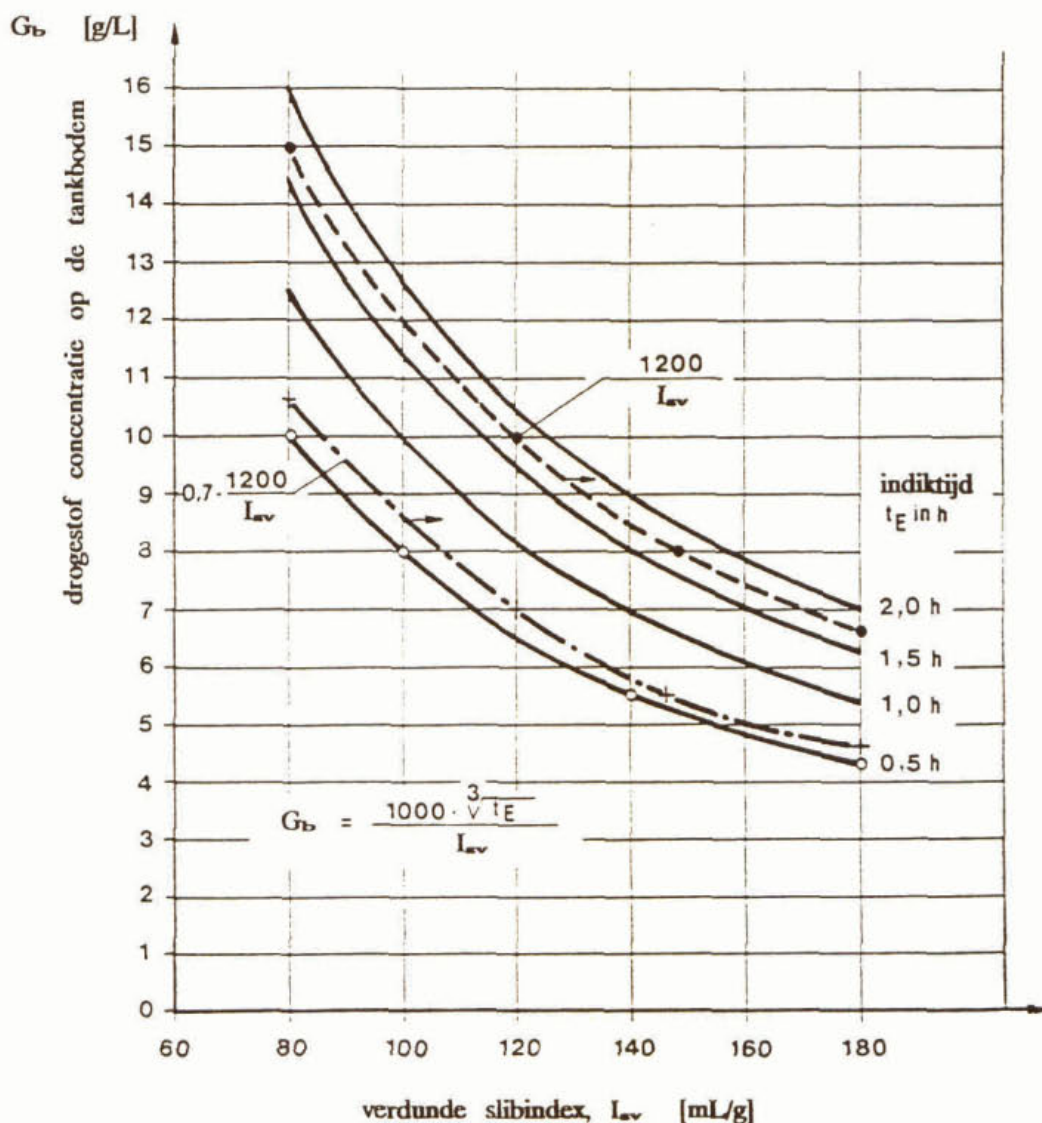
Het drogestofgehalte G_b in de indikzone wordt berekend met de volgende formule:

$$G_b = \frac{1000 * (t_e)^{1/3}}{I_{sv}} \text{ g/l (zie figuur 20)}$$

De dimensieloze factor 'p' is kleiner dan 1,0 en hangt af van de hydraulische aspecten en van de drogestof-kortsluitfactoren α en β , volgens de formule:

$$p = (1 - \alpha)/(1 - \beta)$$

Hierbij stelt α dat deel van de slibretourstroom voor dat direct vanuit de inlooptrommel naar de slibzak stroomt. Volgens de ATV [3] ligt dit aandeel tussen 40 en 80%. De factor β heeft betrekking op de hoeveelheid drogestof die direct vanuit de inlooptrommel naar de slibzak verdwijnt. Billmeier berekende dat de door de ATV [4] gehanteerde waarde voor 'p', namelijk $\leq 0,7$, tussen de waarden 0,5 en 0,9 kan variëren [8].

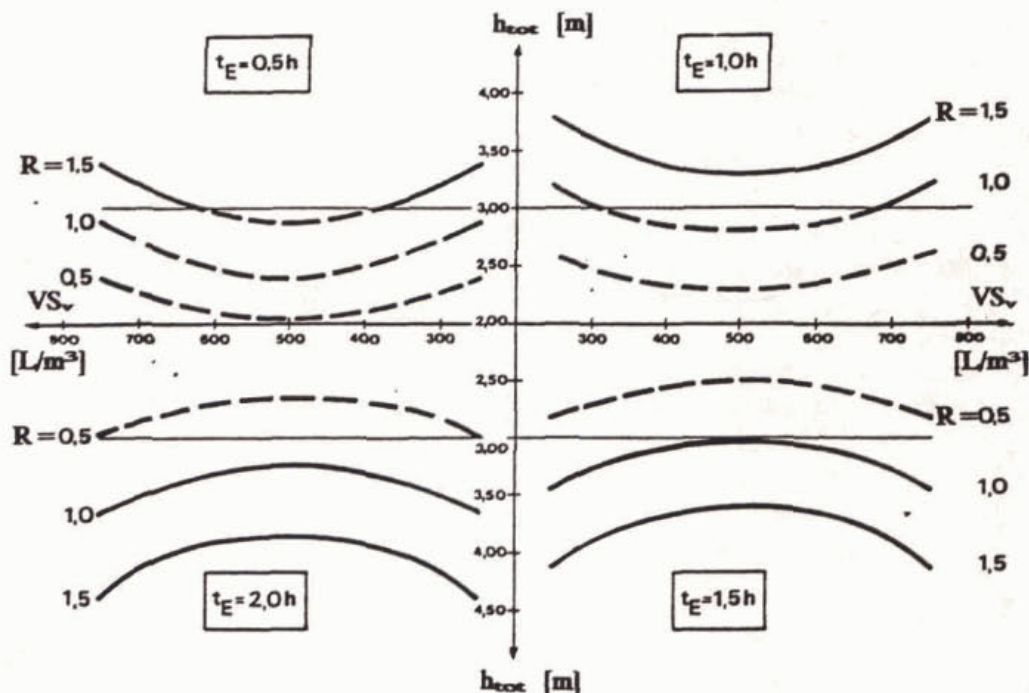


Figuur 20. Gemiddelde drogestofconcentratie van slib op de bodem van de nabezinkt-tank, G_b , als functie van verdunde slibindex, I_{sv} , en de indiktijd t_e .

De retourslibverhouding R komt in de berekening van de hoogten h_2 en h_4 voor en heeft hierdoor invloed op de totale diepte van de tank. Dit komt tot uitdrukking in figuur 21 waarin de gemiddelde tankdiepte als functie van het slibvolume (VS_s), de indiktijd (t_e) en de retour-slibverhouding (R) is weergegeven [9]. Billmeier laat in deze figuur zien dat een lage retour-slibverhouding, in combinatie met bepaalde waarden van het slibvolume, kan leiden tot

(volgens ATV-richtlijnen) te ondiepe tanks. Zeker bij tank met een diameter ≥ 45 meter kan de minimale kantdiepte van 2,5 m of de minimale 'gemiddelde' diepte van 3,0 m limiterend worden voor de nabezinking.

In Nederland komen veel laagbelaste systemen voor met een bijbehorende hoge retourslibberhouding. Deze hoge waarde van R leidt met de berekening volgens Billmeier tot relatief diepe tanks.



Figuur 21. De berekende totale diepte van een horizontaal doorstroomde nabezinktank, h_{tot} , als functie van retourslibfactor 'R' en slibvolume 'VS_v', bij verschillende indiktijden t_E en een slibvolumebelasting van $300 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ [9]

6.4.2 Oppervlaktebelasting

Billmeier [9] adviseert de oppervlaktebelasting niet boven 1,2 m/h te laten stijgen, ook niet bij lage slibvolumina. Hij gaat hierbij uit van de ontwerpparameter slibvolumebelasting: $vs_A = 300 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Hij beveelt aan nabezinktanks te dimensioneren op regenweeraanvoer (RWA), waarbij voor de verhouding regenweeraanvoer/droogweeraanvoer (RWA/DWA) in Duitsland zijns inziens een hogere waarde dient te worden gekozen dan de gebruikelijke 2,0. Wolf voert aan, dat met de strenger wordende Duitse effluenteisen de invloed van regenwateraanvoer bij de dimensionering van nabezinktanks beter in acht moet worden genomen. Hij stelt vast dat er weinig kwantitatieve gegevens over deze invloed bekend zijn. Een door hem ontwikkeld dynamisch model is nog niet in de praktijk getoetst [38].

6.4.3 Drogestofbelasting

Uit het literatuuronderzoek van Tekippe [34] kon op grond van publicaties over 'full scale' tanks worden afgeleid dat er een positieve correlatie bestaat tussen het gehalte aan onopgeloste

bestanddelen in het effluent en de drogestofbelasting van de nabezinktank. Een eenduidig mathematisch verband kon echter niet worden geformuleerd, omdat de relatie te zeer bleek te worden beïnvloed door systeemgebonden procesvariabelen.

6.5 Tweetraps nabezinking

Tweetraps nabezinking, als methode om het gehalte aan onopgeloste bestanddelen in het effluent te verlagen, is zowel door Seyfried [26] als door Schlegel [25] onderzocht. Hun conclusies luiden als volgt:

- bij hetzelfde totale oppervlak werken twee nabezinktanks weliswaar beter dan een enkele tank, maar de extra investeringskosten voor een tweede tank kunnen beter worden besteed aan een nageschakelde filtratie;
- de combinatie nabezinktank/filtratie-eenheid is superieur aan twee nabezinktanks waar het de uiteindelijke effluentkwaliteit betreft;
- bij toepassing van twee nabezinktanks moeten er nog voldoende onopgeloste bestanddelen in het effluent van de eerste tank aanwezig zijn om flocculatie in de tweede tank mogelijk te maken. De eerste tank mag dus niet 'te goed' werken;
- bij overbelasting van de nabezinktank is het toepassen van een slib-flotatie-eenheid in een bypass tussen aëratietank en nabezinktank aantrekkelijke.¹

Bischofsberger en Günthert komen in hun onderzoek naar de werking van grote nabezinktanks tot de conclusie dat een tweetraps nabezinking voordelen kan bieden boven toepassing van één grote tank, in het geval er zeer hoge effluenteisen worden gesteld [10].

¹ Seyfried wijst op de mogelijkheid, bij een rwzi met een seizoensgebonden aanvoer (bijv. campagnebedrijven), de tijdelijke overbelasting van de nabezinktank met zo'n bypass op te vangen.

CONCLUSIES LITERATUURONDERZOEK

Bedrijfservaringen met grote nabezinktanks zijn slechts in beperkte mate gepubliceerd. Het nabezinkproces is zo gecompliceerd en afhankelijk van systeemgebonden procesparameters (zoals slibvolume-index en ruimingssysteem), dat vergelijking van afzonderlijke artikelen over de werking van nabezinktanks een hachelijke zaak is. Een grootschalig literatuuronderzoek (320 literatuurplaatsen) in de V.S. op het gebied van nabezinktanks onderschrijft deze conclusie [34].

De grote nabezinktanks in Duitsland blijken over het algemeen goed te functioneren. In de zomer treedt bij laagbelaste systemen slibverlies op door slibflotatie als gevolg van denitrificatie. Invloed van wind op de slibuitspoeling is vrijwel overal aantoonbaar en manifesteert zich het duidelijkst bij ondiepe tanks. Bij één onderzochte installatie werd met succes een polyelectrolyt-dosering toegepast tegen sliboverstort.

De literatuur geeft wel voor de constructieve verbeteringen aan de nabezinktank tendensen aan:

- inlooptrommels worden bij voorkeur groot gedimensioneerd ter vermindering van de vloeistofsnelheden en ter bevordering van de flocculatie van het slib;
- deflectieschotten lijken goed te functioneren ter vermindering van de kortsluitstroom, ter verbetering van de indikking van het retourslib en voor het uitstellen van het tijdstip van sliboverstort;
- keerschotten kunnen worden toegepast ter vermindering van de slibuitspoeling ten gevolge van het wand- of 'cascade'-effect;
- de slibruiming kan vaak worden verbeterd door een hogere ruimersnelheid, het installeren van meerdere ruimerarmen en/of het verhogen van de ruimerbladen;
- diepe tanks genieten de voorkeur boven ondiepe tanks voor een beter hydraulisch profiel en als buffer tegen slibuitspoeling.

Grote en ondiepe nabezinktanks zijn gevoeliger voor windinvloeden dan diepe tanks en tanks met een kleine diameter. Ondergedompelde effluentgoten zijn een oplossing voor dit probleem.

Een kritisch moment treedt op aan het begin van een periode van regenweeraanvoer, wanneer de hydraulische belasting van de nabezinktank plotseling toeneemt en de drogestofaanvoer vanuit de aëratietank hoog is. Vooral als de aanvoer van slib/water direct boven de indik- en ruimzone wordt ingelaten, is slibuitspoeling door 'scouring' van de slibdeken mogelijk.

Inschakelen van een hoog retourslibdebiet kan in deze situatie tot gevolg hebben dat een aanzienlijke kortsluitstroming ontstaat en dat de turbulentie in het inloopgebied ongewenst hoog wordt. Het tijdelijk bufferen van slib door het kiezen van een lager retourslibdebiet verdient in zo'n geval de voorkeur.

Tweetraps bezinking is soms een efficiënte en economische methode voor de verbetering van de werking van één enkele, grote nabezinktank. In het algemeen verdienen voorgeschakelde flotatie of nageschakelde filtratie echter de voorkeur boven tweetraps bezinking.

1. Addicks, R., "Einfluß von Feststoffen im Kläranlagenablauf auf die Parameter CSB und Phosphor", ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf', Lehrgang Nr. 12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.
2. ATV, "Grundsätze für die Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen mit Anschlußwerten über 10.000 Einwohnergleichwerten", ATV-Regelwerk, Arbeitsblatt A 131, St. Augustin, 1981. (en aanvullend: ATV- Fachausschüsse "Ist es sinnvoll, abweichend von A 131 Nachklärbecken von Belebungsanlagen zu bemessen?", Korrespondenz Abwasser, 31. Jahrgang, 7/1984).
3. ATV-Arbeitsberichte, "Schlammräumungssysteme für Nachklärbecken von Belebungsanlagen", Korrespondenz Abwasser, 35. Jahrgang, 3/1988.
4. ATV-Arbeitsblatt A 131 (Entwurf - September 1989), "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen mit Anschlußwerten über 5000 Einwohnergleichwerten", ATV/VKS, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. (GFA), 1989 (Gelbdruck).
5. Augustus, M., "Clarifier Design", WPCF Washington D.C., Manual of Practice No. FD-8, 1985.
6. Bender, J.H. et al., "Don't bother with secondary clarifier distribution inlets", Water/Engineering & Management, 1987, Vol. 134 nr. 12.
7. Billmeier, E., "Der Einfluß der Rücklaufführung auf das Absetzverhalten belebter Schlämme", GWF Wasser-Abwasser, 127. Jahrgang, 5/1986.
8. Billmeier, E., "Der Einfluß der Schlammräumung auf die Feststoffabtrennung in Nachklärbecken von Belebungsanlagen", Korrespondenz Abwasser, 35. Jahrgang, 3/1988. (zie ook: Billmeier, E., "The influence of blade height on the removal of sludge from activated sludge settling tanks", Water Sci. Technol., 1988, Vol. 20 nr. 4/5)
9. Billmeier, E., "Diskussion der neuen Richtlinien zur Bemessung der Nachklärung von Belebungsbecken", ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf', Lehrgang Nr. 12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.
10. Bischofsberger W. und W. Günthert, "Konstruktive und betriebliche Erfahrungen am runden Nachklärbecken mit großen Durchmessern", Abwassertechnik, 6, 1982 und Abwassertechnik 3/1983 (Fortsetzung 6/1982 und Schluß).
11. Crosby, R.M. and J. Bender, "Hydraulic Characteristics of Activated Sludge Secondary Clarifiers", Project Summary Report No. EPA 600/2-84-131, U.S. Environmental Protection Agency, 1984.
12. Ekama, G.A. and G.v.R. Marais, "Sludge settleability and secondary settling tank design procedures", Water Pollution Control, 1986, Vol. 85, No.1.
13. Groche, D., "Horizontaldurchströmte Nachklärbecken", 55. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium, 1980, R. Oldenburg Verlag, München.

14. Günthert, F.W., "Thickening zone and sludge removal in circular final settling tanks", *Water Sci. Technol.*, 1984, Vol. 16 nr. 10.
15. Günthert, F.W., "Feststoffverteilung und Kurzschlußstrom in Nachklärbecken von Belebungsanlagen", *GWF Wasser-Abwasser*, 126. Jahrgang, 3/1985.
16. Jedele, K., "Die dritte Reinigungsstufe in der kommunalen Abwasserreinigung", *VDI-Handbuch Abwasserreinigung und Gewässerschutz*, BW 43-12-02, 1980.
17. Jedele, K., "Nachklärsysteme", *ATV-Fortbildungskurs F2, 'Abwasserreinigung im Lichte neuer Forderungen'*, Fulda, 1988.
18. Koedood, J., "Proef deflectieschot in nabezinktank RI Oost", *Riolering en Waterbeheersing Amsterdam - afd. Waterbeheer & Technologie*, 1988.
19. McKinney, R.E., "Sedimentation Tank Design and Operation", *Proc. from a Short Course*, James M. Montgomery Consult. Eng., Inc., 1977.
20. Murphy, K.L., "Tracer Studies in Circular Sedimentation Basins", *Proc. 39th Ind. Waste Conf.*, Purdue Univ., West-Lafayette, IN, 1984.
21. "Onderzoek slibruiming in de nabezinktank van de rioolwaterzuiveringsinrichting Geestmerambacht", *RIZA*, 1975.
22. Parker, D.C., "Assessment of secondary clarifier design concepts", *J.W.P.C.F.*, Vol. 55, 1983.
23. Resch, H., "Räumeinrichtungen in Nachklärbecken biologischer Kläranlagen", *ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf'*, Lehrgang Nr. 12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.
24. Schlegel, S. und M. Fürer, "Untersuchungen zur Verbesserung des Feststoffrückhalts an einem längsdurchströmten Nachklärbecken", *Korrespondenz Abwasser*, 1985, 32, No.3.
25. Schlegel, S., "Modifikationen des Nachklärbeckens zur Reduzierung des Feststoffabtriebes", *ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf'*, Lehrgang Nr.12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.
26. Seyfried, C.F., "Gestaltung der Zu- und Abläufe von Nachklärbecken", *ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf'*, Lehrgang Nr. 12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.
27. Steinmann, G., "Bemessung von Nachklärbecken von Tropfkörperanlagen", *ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf'*, Lehrgang Nr. 12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.
28. Stofkooper, J.A. en C.C.M. Trentelman, "Richtlijnen voor het dimensioneren van ronde nabezinktanks voor actiefslibinstallaties", *H₂O*, 15, nr. 14, 1982.
29. STORA-rapport "Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces", deel 1 - Literatuuronderzoek, 1981.

30. STORA-rapport "Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces", deel 2 - Ronde nabezinktanks (Ontwerpgegevens en bedrijfservaring / Ruimer- en inloopconstructies), 1981.
31. STORA-rapport "Overbelasting van nabezinktanks - Voorkoming van slibverlies met polyelectrolieten", 1981.
32. Stuckenberg, J.R., et al, "Activated sludge clarifier design improvements", J.W.P.C.F., Vol. 55, 1983.
33. Tekippe, R.J. and J.H. Bender, "Activated sludge clarifiers: design, requirements and research priorities", J.W.P.C.F., 1987, Vol. 59 nr. 10.
34. Tekippe, R.J., "Critical Literature Review and Research Needed on Activated Sludge Secondary Clarifiers", pp. 67-81/175-195, for: U.S. Environmental Protection Agency, by: James M. Montgomery Consulting Eng. Inc., 1989.
35. Valentin, F., "Zur Problematik der verzögerten Bewegung in Rundbecken mit zentrischer Beaufschlagung", Mitteilungen aus Hydraulik und Gewässerkunde, H. 50, 1989, TU München.
36. "Vergelijkend onderzoek betreffende nabezinktanks uitgerust met ruimerlengte D of met ruimerlengte 2/3 D op de rwzi Amsterdam-Oost", Dienst Openbare Werken Amsterdam, RWS/RIZA, oktober 1983.
37. Weesendorp, P.P. en J.H.J.M. van der Graaf, "Enkele technologische bijzonderheden van de rwzi Horstermeer", H₂O nr.10, 1986.
38. Wolf, P., "Beeinflussung der Wirkung von Nachklärbecken durch Niederschlagswasser", ATV-Seminar für die Abwasserpraxis, 'Verminderung von Feststoffen im Kläranlagenablauf', Lehrgang Nr. 12187/12.069, Technische Akademie Esslingen, 1990.



BIJLAGE 1

LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN EN AFKORTINGEN

a	=	aantal schraperarmen	[-]
G_a	=	drogestofconcentratie in de aëratietank	[g/l]
G_b	=	drogestofconcentratie in de indikzone	[g/l]
G_c	=	drogestofconcentratie in het effluent	[mg/l]
G_r	=	drogestofconcentratie in het retourslib	[g/l]
h_{NBT}	=	hoogte nabezinktank ('mittlere Nutztiefe')	[m]
I_{sv}	=	verdunde slibvolume-index	[ml/g]
h	=	ruimerbladhoogte	[m]
k	=	kortsluitstroomfactor	[-]
n_R	=	frequentie van de schraperarmen	[h ⁻¹]
p	=	G_r/G_b	[-]
q_A	=	oppervlaktebelasting	[m ³ /(m ² *h)]
R	=	retourslibverhouding	[-]
SVI	=	I_{sv}	[ml/g]
t_c	=	gemiddelde indiktijd van het slib	[h]
vs_A	=	slibvolumebelasting	[l/(m ² *h)]
VS_v	=	slibvolume	[ml/l]
δ	=	ruimfactor: het aantal rotaties dat een slibdeeltje gemiddeld nodig heeft om vanaf de bodem van de tank in de slibzak te geraken	[-]
Ω	=	k	
ATV	=	Abwassertechnischer Verein (Duitsland)	
AT	=	aëratietank	
DWA	=	droogweeraanvoer	
NBT	=	nabezinktank	
RWA	=	regenweeraanvoer	
WCPF	=	Water Pollution Control Federation (Verenigde Staten)	
WRC	=	Water Research Council (Groot-Brittannië)	

BIJLAGE 2

UITKOMSTEN VAN DE ENQUÊTE

Enquête 'optimalisering grote nabezinktanks' STORA-project 1.1.6

r.w.z.i.	Bath	Groote IJpolder	Amsterdam-Oost	Nieuwgraaf
dwa gemiddeld actueel [m ³ /h]:	6000	2500	4000	4700
rwa maximaal gemeten [m ³ /h]:	14000	2500	19000	14000
beluchttingsruimte type:	Propstroom	Carrousel	Propstroom	Carrousel
inhoud [m ³]:	44000	16000	60000	18000
slibgehalte gemiddeld dwa [g/L]:	3	4	2.5	3.5
slibbelasting:	0.046	0.06	0.07	0.045
SVI [ml/g]:	110	57	68	130
aantal grote NBT's:	8	1	8	6
diameter (netto) [m]:	52.8	50.5	52	53
netto kantdiepte [m]:	1.4	2	1.6	1.2
diameter inlooptrommel [m]:	5	8.5	8.7	4
insteekdiepte inlooptrommel [m]:	1.5	1	1	2
deflectieschot:	nee	nee	ja	nee
max. naar 1 NBT incl. retour [m ³ /h]	3065	4000	6175	3055
overstortranden:	2	1	2	2
ruimersnelheid [cm/s]:	4	4.5	4.5	4
regelbare snelheid:	nee	nee	nee	nee
ruimer:	0.7	1	1	1
bladhoogte [m]:	0.3	0.3	0.3	0.2/0.3/0.4
bodestelling (indien geen 1:12):		1:17	1:18	
drijf laagafvoer:	nee	ja	ja	nee
slibretourcapaciteit [m ³ /h]:	350-1315	750/1500	950/1900	875/1175
continu:	continu	continu	continu	continu
sliboverstort:	nauwelijks, nu SVI rond 110 kan worden gehouden. Hoge SVI > overst	nee	ja, bij rwa + bij denitrificatie	incidenteel als SVI >150; geen probl. door kleine ben. buffercapac.
effluent NO ₃ -N [mg/L]:	ca. 20	ca. 10	ca. 25	ca. 10
opmerkingen:	sinds okt. '88 is puur industrieel SVI geleidelijk afvalwater. gedaald; gevolg: 2 i.p.v. 90 ov/jr NBT's afgedekt.		proef defl.schot	oplopende ruimer- bladhoogte! extra bellenbel. voor terugdringen Nkj in effl; toch geen denit. in NBT

Enquête 'optimalisering grote nabezinktanks' STORA-project 1.1.6

r.w.z.i.	Assen	Echten	Weurt/Nijmegen	Groote Lucht
dwa gemiddeld actueel [m ³ /h]:	650	2000	5000	4200
rwa maximaal gemeten [m ³ /h]:	2500	3700	13000	10500
beluchttingsruimte type:	Carrousel	Carrousel	Propstroom	Propstroom
inhoud [m ³]:	10600	25000	25300	19900
slibgehalte gemiddeld dwa [g/L]:	4	3.3	3.1	4.9
				3.7
slibbelasting:	0.053	0.065	0.11	0.1
SVI [ml/g]:	100	145	100	62
				70
aantal grote NBT's:	1	1	6	6
diameter (netto) [m]:	56.3	56.3	54	49
netto kantdiepte [m]:	1.5	1.5	1.34	2
diameter inlooptrommel [m]:	5	5	4	7.5
insteekdiepte inlooptrommel [m]:	1.5	1.5	1.5	1.5
deflectieschot:	nee	nee	nee	nee
max. naar 1 NBT incl. retour [m ³ /h]	2826	2650	3900	3000
overstortanden:	1	1	3	1
ruiaersnelheid [cm/s]:	7.2	5.7	4	3.6
regelbare snelheid:	nee	nee	nee	nee
ruier:	0.7	0.7	0.7	0.7
bladhoogte [m]:	0.8	0.4	0.27	0.15-0.4
bodemhelling (indien geen 1:12):				
drijfslaagafvoer:	ja	ja	ja	nee
slibretourcapaciteit [m ³ /h]:	765/1026	765/1026	850/1130/1700	600/1200
continu:	continu	continu	continu	discontinu
sliboverstort:	ca. 8 keer p.jr bij rwa en hoge R.	soms, bij rwa, bij hoge SVI (>170), bij wind en bij hoge R.	nee	2 keer per jaar bij denitrific.
effluent NO ₃ -N [mg/L]:	ca. 5	ca. 1	ca. 9	ca. 11
opmerkingen:	overstort na 4-8 uren rwa	zie proef		oplopende ruier- bladhoogte!

Enquête 'optimalisering grote nabezinktanks' STORA-project 1.1.6

r.w.z.i.	Kralingseveer	Eindhoven		
dwa gemiddeld actueel [m ³ /h]:	2850	6500		
rwa maximaal gemeten [m ³ /h]:	11750	15000		
beluchttingsruimte type:	Carrousel	Compleet gemengd	Compleet gemengd	Propstroom
inhoud [m ³]:	26000	9000	5880	4536
slibgehalte gemiddeld dwa [g/L]:	3.6	4.5	4.5	4.5
slibbelasting:		0.2	0.2	0.2
SVI [ml/g]:	150	159	167	137
aantal grote NBT's:	6	4	3	4
diameter (netto) [m]:	49.2	52	52	52
netto kantdiepte [m]:	2	1.5	1.5	1.5
diameter inlooptrommel [m]:	5	nvt	nvt	nvt
insteekdiepte inlooptrommel [m]:	1.2	nvt	nvt	nvt
deflectieschot:	nee	ja	ja	ja
max. naar 1 NBT incl. retour [m ³ /h]	1960	3000	1985	2375
overstortranden:	1	2	2	1
ruimersnelheid [cm/s]:	3.3	4.5	4.5	4.5
regelbare snelheid:	nee	nee	nee	nee
ruimer:	0.7	0.7	0.7	0.7
bladhoogte [m]:	0.25	0.4	0.4	0.4
bodemhelling (indien geen 1:12):				
drijfslaagafvoer:	nee	nee	nee	ja
slibretourcapaciteit [m ³ /h]:	640/1280	1750	1150	1750
continu:	discontinu	continu	continu	continu
sliboverstort:	alleen bij windkracht >=9 bij rwa.	vaak, metname bij rwa en bij hoge SVI (>200) en bij denitrificatie; niet bij wind		
effluent NO ₃ -N [mg/L]:	ca. 6	ca. 10	ca. 7	ca. 8
opmerkingen:	zelfbedachte re- tourslibschake- ling = max buffer bij RWA	ruimerbladhoogte in het centrum van de tank hoger! geen inlooptrommel, maar inloopbuis met 4 uitstroomopeningen.		

Enquête 'optimalisering grote nabezinktanks' STORA-project 1.1.6

r.w.z.i.	Roermond	Susteren	Venlo	Heugea
dwa gemiddeld actueel [m ³ /h]:	2000	2000	2500	900
rwa maximaal gemeten [m ³ /h]:	3500	3500	10000	1950
beluchttingsruimte type:	Propstroom	Propstroom	Carrousel	Carrousel
inhoud [m ³]:	12250	12250	50000	12500
slibgehalte gemiddeld dwa [g/L]:	3.9	3.9	3.2	3.5
slibbelasting:	0.08	0.07	0.08	0.05
SVI [ml/g]:	107	66	181	184
aantal grote NBT's:	2	2	4	1
diameter (netto) [m]:	52.8	52.8	56.4	49.2
netto kantdiepte [m]:	2.5	2.5	1.35	1.4
diameter inlooptrommel [m]:	5	5	1.3	1.2
insteekdiepte inlooptrommel [m]:	1.6	1.6	0.5	0.8
deflectieschot:	nee	nee	nee	nee
max. naar 1 NBT incl. retour [m ³ /h]	2975	2975	3125	3080
overstortranden:	1	1	2	1
ruimersnelheid [cm/s]:	3.5	3.5	4.5	4.4
regelbare snelheid:	nee	nee	nee	nee
ruimer:	1	1	0.7	1
bladhoogte [m]:	0.3	0.3	0.3	0.35
bodemhelling (indien geen 1:12):	1:15	1:15		
drijfslaagafvoer:	ja	ja	ja	ja
slibretourcapaciteit [m ³ /h]:	300-1225	300-1225	625/1250	850/1130
continu:	continu	continu	continu	continu
sliboverstort:	bij rwa en bij hoge SVI (>200) en bij wind	nee	bij rwa en bij hoge SVI (>200) enkele keren per jaar	bij rwa en bij hoge SVI (>180)
effluent NO ₃ -N [mg/L]:	ca. 10	ca. 20	ca. 7	ca. 2
opmerkingen:	SVI niet NEN	SVI niet NEN	overstort na 2 uur 2500 m ³ /h per tank	overstort na 1 uur rwa bij hoge SVI. SVI niet NEN

Enquête 'optimalisering grote nabezinktanks' STORA-project 1.1.6

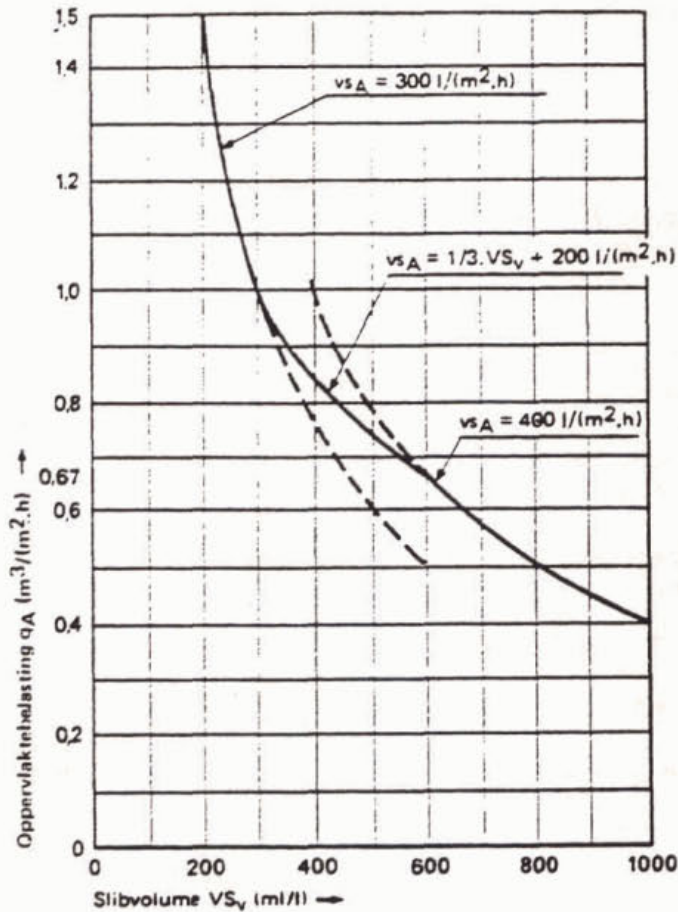
r.w.z.i.	Heerlen	Zeist	Dokkum
dwa gemiddeld actueel [m ³ /h]:	800	800	650
rwa maximaal gemeten [m ³ /h]:	1800	3000	1700
beluchttingsruimte type:	Propstroom	Carrousel	Carrousel
inhoud [m ³]:	1920	7290	10000
slibgehalte gemiddeld dwa [g/L]:	3.7	3.5	3.8
slibbelasting:	0.02	0.12	0.04
SVI [ml/g]:	45	100	98
aantal grote NBT's:	1	2	1
diameter (netto) [m]:	49.4	49	44.9
netto kantdiepte [m]:	1.55	0.6	1.3
diameter inlooptrommel [m]:	3.8	5	5
insteekdiepte inlooptrommel [m]:	2	1.5	1.8
deflectieschot:	nee	plaat	nee
max. naar 1 NBT incl. retour [m ³ /h]	3060	2550	3040
overstortranden:	2	1	1
ruimersnelheid [cm/s]:	4.5	4	4.4
regelbare snelheid:	nee	nee	nee
ruimer:	1	0.7	1
bladhoogte [m]:	0.3	0.3	0.4
bodemhelling (indien geen 1:12):	1:18		
drijfslaagafvoer:	ja	nee	ja
slibretourcapaciteit [m ³ /h]:	630/1260	375-1050	570/1140
continu:	continu	continu	continu
sliboverstort:	nee	paar keer per jr. bij hevige wind bij rwa; soms tgv denitr.	en bij extreme rwa
effluent NO ₃ -N [mg/L]:	ca. 20	ca. 6	ca. 5
opmerkingen:	SVI niet NEN.	verdeling infl. niet optimaal	boomsingel helpt tegen wind. overstort na 3h rwa.

BIJLAGE 3

STORA-RICHTLIJN VOOR RONDE NABEZINKTANKS [30]

Oppervlakte van de tank

Het benodigde oppervlakte van de tank wordt bepaald aan de hand van figuur 22. Maatgevend is de slibvolumebelasting: het produkt van de oppervlaktebelasting, de slibvolume-index en de drogestofconcentratie van de aanvoer vanuit de aërietietank onder RWA-condities. Het debiet bij RWA is hierbij uitgangspunt.



Figuur 22. De maximale slibvolumebelasting als functie van slibvolume en oppervlaktebelasting

Slibbuffering tijdens RWA

De gemiddelde drogestofconcentratie van het gebufferde slib in de tank, G_c , kan worden berekend met formule (1):

$$G_c = 480 / I_{sv} \text{ [g/l]} \quad (1)$$

Hierbij mag de slibspiegel tot maximaal (kantdiepte - 0,3 m) beneden de overstortrand van de effluentgoot stijgen. De toelaatbare hoeveelheid slib wordt dan volgens formule (2):

$$TD_{s,max} = \frac{1}{4} * \pi * D^2 * (1,6 * D * \alpha + 0,3) * G_c \text{ [g]} \quad (2)$$

met:

$$\begin{aligned} D &= \text{diameter nabezinktank} && \text{[m]} \\ \alpha &= \text{bodenhelling (meestal 1/12)} && \text{[-]} \end{aligned}$$

Als randvoorwaarden gelden:

1. maximaal 30% van de drogestof uit de AT mag in de nabezinktank(s) worden gebufferd;
2. de drogestofconcentratie in de AT mag niet beneden de 2 g/l dalen.

De gebufferde hoeveelheid slib voldoet aan de volgende formule (3):

$$TD_s = V_{AT} * (G_{a,DWA} - G_{a,RWA}) \text{ [g]} \quad (3)$$

Mesbelasting

Wordt niet meer als dimensioneringsparameter gehanteerd. In ronde nabezinktanks volstaat een enkelvoudige overstortrand aan de periferie van de tank, ongeacht de diameter van de tank. Het installeren van effluentgoten op consoles, op enige afstand van de tankwand, wordt afgeraden.

Kantdiepte

De kantdiepte dient 1,5 m te bedragen bij toepassing van een enkelvoudige effluentgoot. Bij toepassing van een effluentgoot op consoles dient de kantdiepte te worden verhoogd met de insteekdiepte van deze goot. Een grotere kantdiepte dan de hier voorgeschreven diepte is niet van belang voor het voorkómen van sliboverstort, maar slechts voor het eventueel uitstellen van het tijdstip van sliboverstort. Dit tijdstip is mede afhankelijk van de stijgsnelheid van de slibspiegel tijdens slibbuffering onder RWA-condities.

Retourslibverhouding (R)

De retourslibverhouding, gedefinieerd als $R = Q_r/Q$, kan worden berekend aan de hand van de drogestofbalans over de nabezinktank en de bezinkbaarheid van het slib.

De drogestofbalans over de nabezinktank onder DWA- en RWA-evenwichtscondities luidt:

$$Q_r * G_r = (Q + Q_r) * G_a \text{ [g]} \quad (4)$$

De maximale drogestofconcentratie van het retourslib, $G_{r,max}$, wordt berekend aan de hand van formule (5). De bezinkbaarheid van het slib is hierbij van doorslaggevende betekenis.

$$G_{r,max} = 1200 / I_{sv} \text{ [g/l]} \quad (5)$$

Onder RWA-condities kan $G_{r,max}$ met 2 g/l toenemen.

R wordt nu bepaald uit de verhouding van het drogestofgehalte van de aanvoer uit de AT, G_a , en het verschil tussen dit gehalte en het drogestofgehalte van de retourslibstroom uit de nabezinktank, G_r , volgens formule (6):

$$R = G_a / (G_r - G_a) \text{ [-]} \quad (6)$$

Door invulling van G_a en G_r onder DWA- en RWA-evenwichtscondities kan zo de vereiste retourslibverhouding worden berekend. De invloed van de factor R op de werking van de nabezinktank maakt het wenselijk de slibretourcapaciteit regelbaar te maken.

