

Richtlijnen voor het dimensioneren van ronde nabezinktanks voor actiefslibinstallaties

1. Inleiding

Bij het zuiveren van afvalwater in een actief slibinstallatie speelt de nabezinktank een belangrijke rol. De biologische zuivering van afvalwater vindt plaats in een mengsel van afvalwater en actief slib in de beluchtingsruimte, waarna het actief slib in de nabezinktank weer gescheiden moet worden van het gezuiverde afvalwater. Omdat in Nederland de nabezinktank meestal de laatste stap is in het behandelingsproces, zal het niet goed functioneren van de nabezinktank het lozen van slib op het oppervlaktewater als direct gevolg hebben.



IR. J. A. STOFKOPER
DHV Raadgevend
Ingenieursbureau *



IR. C. C. M. TRENTelman
DHV Raadgevend
Ingenieursbureau

De meeste nabezinktanks in Nederland zijn gedimensioneerd op basis van een aantal vuistregels. De ervaring wijst echter uit dat nogal wat nabezinktanks min of meer frequent grote hoeveelheden slib met het effluent verliezen en dat derhalve deze vuistregels niet geschikt zijn voor het dimensioneren van nabezinktanks. In het buitenland zijn enkele modellen ontwikkeld, waarmee het bezinkproces in nabezinktanks kan worden beschreven en op basis waarvan tevens dimensioneringsrichtlijnen voor nabezinktanks zijn opgesteld. Deze richtlijnen zijn echter zo verschillend van opzet dat een onderlinge vergelijking en toetsing niet zonder meer mogelijk is.

Als onderdeel van het STORA project 4.12/hydraulische en technologische aspecten van nabezinktanks, is daarom een praktijkonderzoek uitgevoerd naar de werking van ronde nabezinktanks voor actief slibinstallaties. De uitkomsten van dit onderzoek hebben geleid tot de formulering van nieuwe dimensioneringsrichtlijnen voor ronde nabezinktanks. Alvorens deze richtlijnen te beschrijven zijn in hoofdstuk 2. van dit artikel de bestaande dimensioneringsrichtlijnen, de

ATV-richtlijn, de solid flux theorie en het WRC-rekenmodel beschreven en onderling vergeleken.

Vervolgens is in hoofdstuk 3 de opzet van het praktijkonderzoek beschreven. De resultaten van het onderzoek zijn in hoofdstuk 4 weergegeven en zijn vergeleken met de hierboven genoemde bestaande richtlijnen. Omdat deze niet geheel voldoen onder Nederlandse omstandigheden is een nieuwe richtlijn ontwikkeld welke in hoofdstuk 5 is beschreven. Ter afsluiting is in hoofdstuk 6 een tweetal dimensioneringsvoorbeelden uitgewerkt.

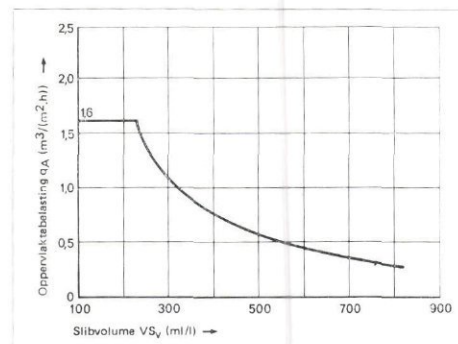
2. Procesbeschrijving

2.1. Het nabezinkproces in grote lijnen

De belangrijkste functie van de nabezinktank in een actief slibinstallatie is het scheiden van het gereinigde afvalwater van het actief slib. Daarnaast zal in de nabezinktank het slib enigszins moeten worden ingedikt om door terugvoering van dit slib naar de beluchtingsruimte aldaar een voldoende hoge slibconcentratie te kunnen handhaven. Tenslotte moet in de nabezinktank slib gebufferd kunnen worden om te voorkomen, dat slib over de overstortrand van de nabezinktank gaat wanneer bij verhoogde wateraanvoer slib uit de beluchtingsruimte naar de nabezinktank wordt uitgespoeld.

Het scheiden van slib en water vindt plaats in de zogenaamde scheidingszone, een laag van 0,3 à 0,5 m dikte, die zich horizontaal uitspreidt over de gehele tankdoorsnede. Het slib wordt vervolgens ingedikt in een indikzone. Deze indikzone is een sliblaag die zich op de bodem van de tank bevindt. De hoogste drogestofconcentratie wordt dan ook op de bodem van de tank gemeten. Tenslotte moet er slib in de nabezinktank gebufferd kunnen worden. Bij verhoogde afvalwateraanvoer neemt de drogestoftoevoer vanuit de beluchtingsruimte naar de nabezinktank toe. De retourslibconcentratie neemt echter minder snel toe, zodat er een onbalans ontstaat en slib in de nabezinktank achterblijft. Hierdoor vormt zich een bufferzone, een laag slib die zich tussen de scheidingszone en de indikzone bevindt. Het kenmerk van deze laag is dat de drogestofconcentratie erin overal even groot is.

Zo kan de inhoud van de nabezinktank opgebouwd gedacht worden uit een opeenstapeling van een aantal verschillende zones, van onder naar boven: de indikzone, een eventuele bufferzone, de scheidingszone en daar bovenop de nog niet genoemde waterzone, waarin de afstroming van effluent naar de effluentgoot plaatsvindt. Vrijwel altijd kan in de nabezinktank



Afb. 1 - Toelaatbare oppervlaktebelasting voor horizontaal doorstroomde nabezinktanks als functie van het slibvolume in de beluchtingsruimte volgens de ATV [5, 6].

een zeer duidelijke overgang tussen het slib en de waterlaag worden onderscheiden, de zogenaamde slibspiegel.

Deze algemene proces-beschrijving kan in verschillende vormen in rekenmethoden of mathematische modellen worden teruggevonden. De belangrijkste zijn de door het West-Duitse ATV-Fachausschuss 2.5 'Absetzverfahren' [5, 6] en de door het Britse Water Research Center [4] ontwikkelde rekenmethoden en de solid flux of zone settling theorie. Deze drie modellen spelen een belangrijke rol in het onderhavige onderzoek en zijn hieronder nader toegelicht.

2.2. De ATV richtlijn

De dimensionering van nabezinktanks volgens de ATV-richtlijn verloopt als volgt. Eerst wordt de oppervlakte van de nabezinktank vastgesteld. Dit gebeurt met behulp van afb. 1, waarin voor horizontaal doorstroomde nabezinktanks de toelaatbare oppervlaktebelasting (q_A) afhankelijk van het slibvolume (VS_v) is weergegeven. Het slibvolume is het produkt van slibindex en drogestofconcentratie in de aanvoer van de nabezinktank:

$$VS_v = G_a \cdot I_{sv} \quad (1)$$

Hierin is:

G_a = de drogestofconcentratie in de aanvoer van de nabezinktank [kg/m³]

I_{sv} = de slibindex, bepaald volgens DIN en NEN normen [ml/g]

De slibindex is het volume in ml dat 1 gram actief slib na 30 minuten bezinken in een maatcilinder van 1 l inneemt. Het bezinkselvolume van het slib dient bij deze bepaling 200–300 ml te bedragen, eventueel te bereiken door verdunning met effluent. Bij het vaststellen van de lijn in afb. 1 is een toelaatbare drogestofconcentratie van 30 mg/l in het effluent als criterium gebruikt. De lijn heeft bij benadering de

* Thans werkzaam bij Directoraat Generaal Internationale Samenwerking, Guiné Bissau.

vorm van een hyperbool, met andere woorden het produkt van het slibvolume en de bijbehorende toelaatbare oppervlaktebelasting, q_A , heeft een tamelijk constante waarde. Dit produkt wordt gedefinieerd als de slibvolumebelasting (vs_A).

$$vs_A = q_A \cdot VS_v \quad (2)$$

De toelaatbare slibvolumebelasting beweegt zich tussen 300 en 400 l/(m² · h). Deze belasting mag bij dwa niet worden overschreden. Indien vermindering van effluentkwaliteit tijdens rwa niet is toegestaan, dan zal afb. 1 ook bij rwa gelden.

Omdat bij rwa een deel van het actief slib in de nabezinktank wordt gebufferd zal de slibconcentratie in de aanvoer van de nabezinktank en daarmee het slibvolume dalen.

Hiermee wordt bij de dimensionering van de nabezinktank wel rekening gehouden. De grootte van het retourslibdebiët wordt vastgesteld uit de massabalans over de nabezinktank.

$$q_r \cdot G_{rs} = (q + q_r) \cdot G_a \quad [\text{kg/h}] \quad (3)$$

waarin:

q = het aanvoerdebiet naar de nabezinktank $[\text{m}^3/\text{h}]$

q_r = het retourslibdebiët $[\text{m}^3/\text{h}]$

G_{rs} = de drogestofconcentratie in het retourslib $[\text{kg}/\text{m}^3]$

De in het retourslib bereikbare drogestofconcentratie hangt af van de indikeigenschappen van het slib, welke gekarakteriseerd worden door de slibindex. De omstandigheden waaronder indikking plaatsvindt in de nabezinktank zijn niet dezelfde als die tijdens de slibindex bepaling, zodat een drogestofconcentratie van $1000/I_{sv}$, welke na 30 minuten wordt bereikt in een maatcilinder, niet gebruikt kan worden.

Op basis van bedrijfservaringen wordt de maximaal bereikbare retourslibconcentratie tijdens dwa, $G_{rs, \max}$ berekend uit:

$$G_{rs, \max} = \frac{1200}{I_{sv}} \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (4)$$

Metingen hebben aangetoond, dat $G_{rs, \max}$ bij rwa hogere waarden aanneemt. Dit wordt toegeschreven aan de verhoogde drogestofaanvoer tijdens regen, waardoor het actief slib betere bezinkeigenschappen krijgt.

Tijdens rwa geldt:

$$G_{rs, \max} = \frac{1200}{I_{sv}} + 2 \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad (5)$$

Nadat de oppervlakte is bepaald, worden de inhouden en diepten van de verschillende zones vastgesteld. De vereiste gemiddelde

diepte is de som van de volgende laagdikten:

h_1 = indikzone

h_2 = scheidingszone

h_3 = waterzone

h_4 = bufferzone

De hoogte van de indikzone wordt berekend met:

$$h_1 = \frac{G_a \cdot I_{sv}}{1000} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

De hoogte van de scheidingszone (h_2) wordt gesteld op 0,8 à 1,0 m. Bij bufferzones groter dan 1,0 m mag de hoogte van de scheidingszone bij rwa tot 0,5 m worden beperkt.

De waterzone (h_3) moet tenminste 0,5 m hoog zijn.

De dimensionering van de bufferzone (h_4) verloopt als volgt. Bij rwa wordt een hoeveelheid drogestof uit de beluchtingsruimte verdrongen, gelijk aan $\Delta G_a \cdot V_{at}$ en in de nabezinktank gebufferd met een

$$\text{concentratie van } \frac{500}{I_{sv}}$$

De hoogte van de bufferzone is dan:

$$h_4 = \frac{\Delta G_a \cdot V_{at} \cdot I_{sv}}{500 \cdot A_{nbt}} \quad [\text{m}] \quad (7)$$

waarin:

ΔG_a = de afname van de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte $[\text{kg}/\text{m}^3]$

V_{at} = de inhoud van de beluchtingsruimte $[\text{m}^3]$

A_{nbt} = de oppervlakte van de nabezinktank $[\text{m}^2]$

De afname van de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte tijdens rwa kan op twee manieren worden bepaald, nl. door de keuze van het retourslibdebiët of door de toelaatbare hydraulische oppervlaktebelasting van de nabezinktank tijdens rwa. Wordt uitgegaan van het retourslibdebiët bij rwa, dan kan met de bereikbare retourslibconcentratie uit de drogestofbalans (3) het slibgehalte in de beluchtingsruimte (G_a) worden berekend bij rwa. Het verschil tussen G_a bij dwa en G_a bij rwa moet in de nabezinktank gebufferd worden.

In plaats van een retourslibdebiët bij rwa aan te nemen, kan ook een maximale toelaatbare oppervlaktebelasting worden gekozen. Het verschil tussen het maximaal toelaatbare slibgehalte in de beluchtingsruimte bij deze oppervlaktebelasting, af te

lezen uit afb. 1 en G_a bij dwa moet gebufferd worden. Om het zuiveringsrendement tijdens rwa te waarborgen is als randvoorwaarde gesteld dat het drogestofgehalte in de beluchtingsruimte met niet meer dan 30 % of 1,3 kg/m³ mag teruglopen.

De totale gemiddelde diepte van de tank (niet de kantdiepte) mag in geen geval minder dan 2,0 m bedragen.

De ATV-richtlijn maakt geen onderscheid tussen ronde en rechthoekige tanks.

2.3. De solid fluxtheorie of zone settlingtheorie

'Zone settling' kan worden waargenomen tijdens bezinking, waarbij een duidelijke scheiding tussen 'helder' water en bezinkend slib (slibspiegel) optreedt. Dit is bij actief slib het geval, omdat de slibvlokken die zich juist onder de slibspiegel bevinden alle dezelfde bezinksnelheid hebben door de vorming van onderling samenhangende slibagglomeraten.

Wanneer een deel van de nabezinktank wordt beschouwd, nl. een zuil met een diepte gelijk aan die van de nabezinktank, dan is op elke willekeurige hoogte in de zuil het drogestoftransport (in kg drogestof/(m² · h)) naar beneden ten gevolge van de zwaartekracht gelijk aan het produkt van de daar heersende concentratie en slibbezinksnelheid:

$$v_{slib} \cdot G \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

In de nabezinktank vindt bovendien nog transport naar beneden plaats ten gevolge van het retourslibdebiët.

Dit drogestoftransport is gelijk aan het produkt van de slibconcentratie en het retourslibdebiët dat in de zuil naar beneden stroomt:

$$(q_r \cdot G)/A_{nbt} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

In dit model wordt er vanuitgegaan dat de bezinksnelheid van het slib alleen een functie is van de drogestofconcentratie: $v_{slib} = v(G)$ en dat de invloed van de retourslibstroom over het gehele tankoppervlak gelijkelijk verdeeld is.

Het totale verticale drogestoftransport is dan:

$$g_A = R \cdot q_A \cdot G + v_{slib} \cdot G \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})] \quad (8)$$

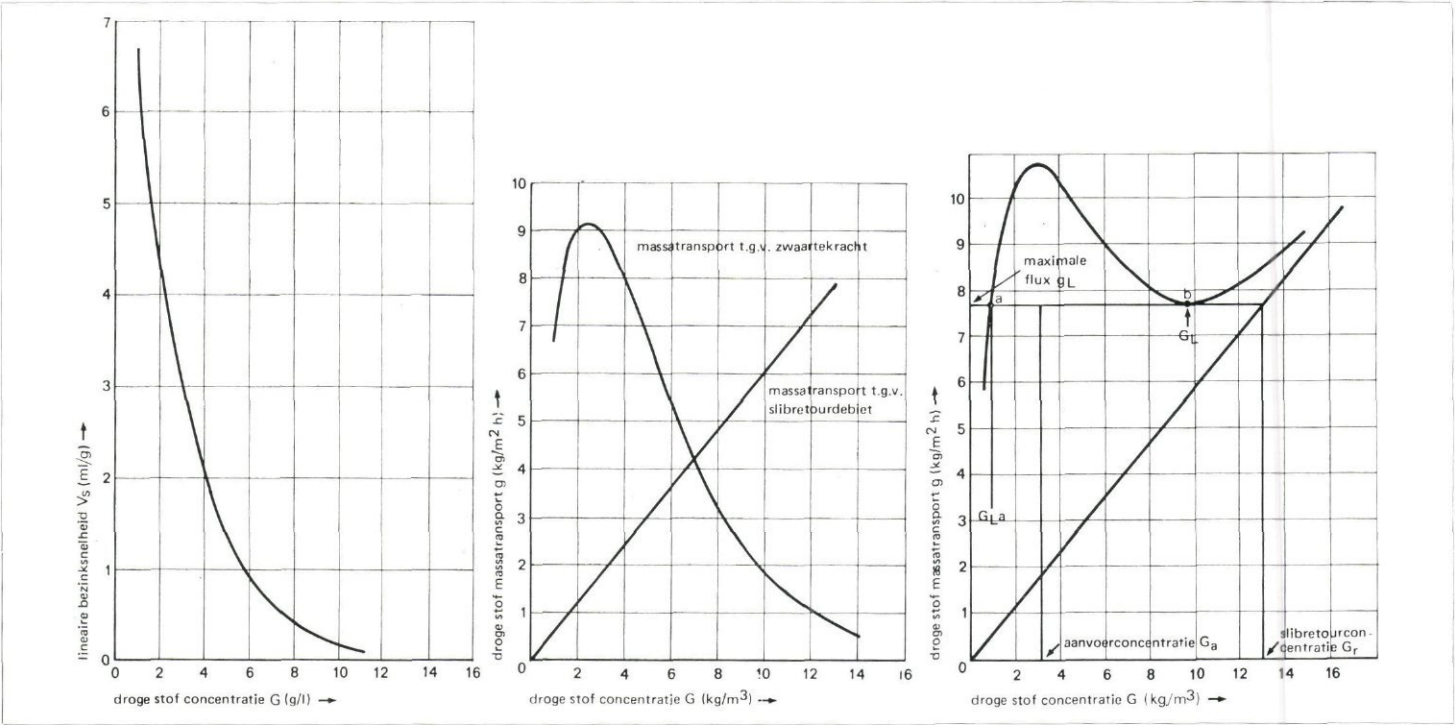
waarin:

g_A = het verticale drogestoftransport, dit is de drogestofbelasting $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

R = de retourslibverhouding $[q_r/q]$ $[-]$

q_A = de oppervlaktebelasting $[\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$

v_{slib} = bezinksnelheid van het slib $[\text{m}/\text{h}]$



Afb. 2 - Grafische weergave van de solid fluxtheorie [4].

Deze methode is grafisch weergegeven in afb. 2.

In het linkerveld van afb. 2 is de lineaire bezinksnelheid van een bepaald slijb uitgezet als functie van de drogestofconcentratie. Het middelste veld in deze afb. geeft het massatransport als gevolg van de zwaartekracht en retourslijbdebiët afzonderlijk weer.

In het rechtervlak is de sommatie van beide componenten aangegeven.

Zolang er evenwicht heerst in de nabezinkt-tank, gaat er door iedere laag (met concentratie G) evenveel slijbdrogestof als er aangevoerd wordt.

Wanneer het drogestoftransport toeneemt, dan zal op een zeker moment in een laag de maximaal toelaatbare drogestofbelasting worden bereikt. Dit is de laag, waarin de drogestofconcentratie gelijk is aan G_L , overeenkomend met punt b in het rechterveld van afb. 2.

Bij verdere toename van het drogestoftransport zal in deze laag drogestof achterblijven, en wel net zoveel als het verschil tussen de aangevoerde hoeveelheid en het maximaal bereikbare transport bedraagt. Deze laag neemt daardoor in dikte toe. De slijbconcentratie in de laag blijft constant en is gelijk aan G_L . Aldus wordt het ontstaan van een bufferzone verklaard met als kenmerk een constante drogestofconcentratie. Zolang de aangevoerde hoeveelheid slijb (de drogestofbelasting) groter is dan het maximale drogestoftransport door de bufferzone, blijft de slijbspiegel stijgen.

Het verticaal drogestoftransport door de bufferzone is tijdens de gehele periode van overbelasting gelijk aan g_L .

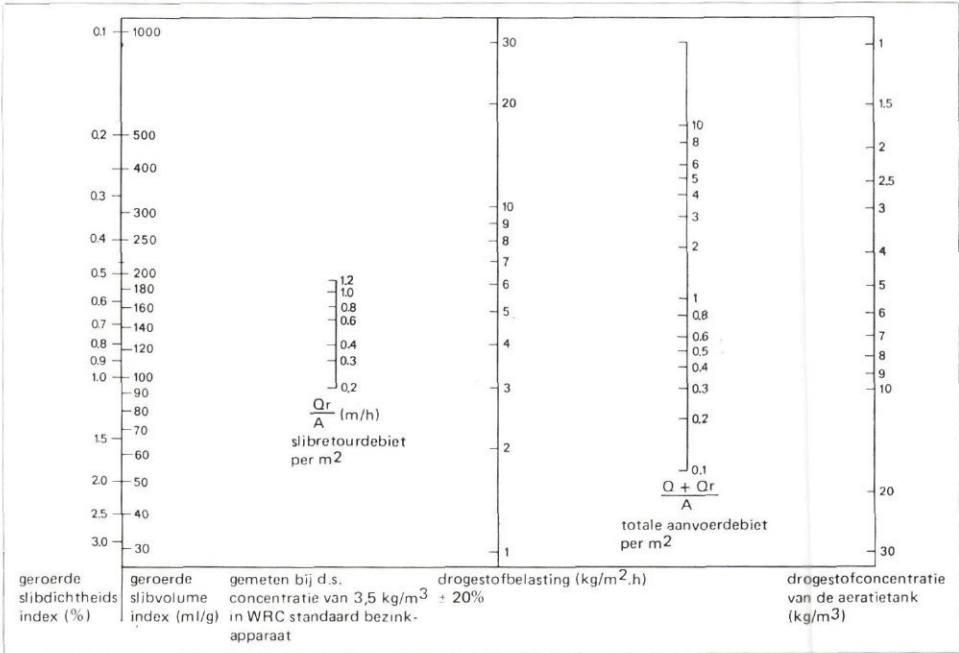
2.4. *Het WRC-rekenmodel* [4]

Het Water Research Center gebruikt de solid fluxtheorie als basis voor haar rekenmethode, waarbij de lineaire bezinksnelheid evenwel niet expliciet als parameter wordt gebruikt. De slijbbezinkbaarheid

wordt uitgedrukt in een slijbindex. Het verband tussen de index en de toelaatbare drogestofbelasting (g_L) is empirisch bepaald.

De hierbij gehanteerde slijbindex (SSVI_{3,5}) wordt gemeten in gestandaardiseerde bezinkcilinders (50 cm hoogte en 10 cm inwendige diameter) waarin een stel roer-staven langzaam (1 omwenteling per

Afb. 3 - Nomogram ter bepaling van de toelaatbare drogestofbelasting c.q. maximale slijbindex volgens het WRC.



minuut) ronddraait. Na 30 minuten wordt het bezinkselvolume afgelezen (verder overeenkomstig NEN-norm).

De genoemde relatie tussen de geroerde slibindex en de toelaatbare drogestofbelasting is weergegeven in het linker deel van afb. 3. Het rechter deel van deze afb. geeft de toelaatbare drogestofbelasting weer als produkt van deze totale hydraulische oppervlaktebelasting (inclusief retourslib) en de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte $(1 + R) \cdot q_A \cdot G_A$. De retourslibstroom is volgens de solid fluxtheorie dus van grote invloed. Het WRC stelt dat met haar berekeningswijze de toelaatbare drogestofbelasting binnen 20 % nauwkeurig kan worden voorspeld.

2.5. Discussie

De bovenbeschreven modellen en rekenmethoden zijn onderling niet vergelijkbaar en niet direct toepasbaar voor het ontwerpen van nabezinktanks onder Nederlandse omstandigheden.

De vergelijking wordt door het volgende bemoeilijkt:

— De ATV-richtlijn is gebaseerd op de slibindex bepaald volgens DIN. Het WRC rekenmodel gaat daarentegen uit van de geroerde index.

Experimenteel is aangetoond dat er geen eenduidig verband tussen beide indices bestaat, waardoor omrekening van de ene naar de andere richtlijn niet mogelijk is.

— De WRC-richtlijn is gebaseerd op de solid fluxtheorie. Deze theorie kent de retourslibverhouding een grote rol toe. Verhoging van de retourslibverhouding resulteert volgens de solid fluxtheorie in een grotere capaciteit van de nabezinktank. In de ATV-richtlijn is deze verhouding van ondergeschikt belang. Volgens de ATV kan bij verhoging van de retourslibcapaciteit juist een slechtere effluentkwaliteit worden verkregen. Dit wordt toegeschreven aan de extra turbulentie die deze debietsverhoging veroorzaakt, m.a.w. verhoging van het retourslibdebiat kan averechts werken.

— In de ATV-richtlijn speelt de diepte van de nabezinktank een grote rol. Bij de solid fluxtheorie en bij de WRC-richtlijn is de diepte buiten de ontwerprijchlijnen gehouden.

De omstandigheden waaronder nabezinktanks in Nederland moeten functioneren wijken soms aanzienlijk af van die in Engeland of Duitsland:

— In Nederland gelden effluenteisen te

allen tijde, dus ook bij rwa. In Duitsland daarentegen worden dergelijke eisen vaak alleen gesteld voor dwa omstandigheden. Tijdens rwa mag het effluent verslechteren van bijv. 30 mg drogestof/l bij dwa tot 60 mg drogestof/l tijdens rwa.

— Het RWC beschrijft de effluenteisen anders: 'geen-slib-over-de rand'. Hierbij is niet nader aangegeven, hoeveel mg drogestof/l het effluent mag bevatten.

— De rwa/dwa-verhouding is voor Nederlandse rwzi's vaak aanmerkelijk hoger dan die, welke bij de ATV-rekenmethode als uitgangspunt wordt gehanteerd. Verder worden er in Nederland relatief grote beluchtingsruimten gebouwd (lage slibbelasting).

Geen van de modellen en rekenmethoden geeft voldoende inzicht in de procesdynamica. Hieraan is toch behoefte omdat daarmee aangegeven kan worden hoe lang een situatie van overbelasting mag duren, alvorens dit tot sliboverstorting zal leiden. Dit alles heeft ertoe geleid om in STORA-verband door middel van daartoe ingerichte proeven op praktijkschaal de drie rekenmethoden te evalueren en de toepassingsmogelijkheden voor Nederlandse omstandigheden aan te geven.

TABEL I - Gegevens van de nabezinktanks en de procescondities tijdens de proeven.

rwzi		Oppervlaktebelasting	Retourverhouding	Drogestofconcentratie v/d aanvoer**	Slibindex		Drogestofbelasting***	Slibvolumebelasting	Nabezinktank	
		v_A m ³ /(m ² · h)	R	G_A kg/m ³	I_{sv} ml/g	SSVI _{3,5} ml/g	g_A kg/(m ² · h)	q_A l/(m ² · h)	diаметer m	kantdiepte m
Almelo	—	0,92	0,28	1,9	100	70	2,2	170	40	2,0
Apeldoorn NBT 1	—	1,02	0,83	0,4	440	—	0,7	180	43,3	2,5
Apeldoorn NBT 5	Δ	1,02	0,93	0,3	550	—	0,6	170	43,3	2,5
Beverwijk	—	0,85	0,68	2,8	130	60	4,0	310	30	2,0
Deventer NBT 3	—	0,49	0,5	3,0	160	100	2,2	240	36	2,5
Deventer NBT 4	—	0,49	0,5	2,3	200	(200)	1,7	230	36	2,5
Echten	—	0,79	0,91	2,6	100	75	4,2	220	45	2,0
Gieten	—	0,50	0,67	5,4	130	80	4,5	350	39	1,5
Goor	+	0,49	1,02	2,2	440	260	2,2	480	33,8	2,0
Haarlem/Schalkwijk	—	0,36	0,54	0,6	250	(150)	0,4	50	45	1,5
Hapert	—	1,50	0,33	3,5	50	40	6,4	260	30,3	1,5
Harderwijk groot	Δ	0,75	0,66	5,2	120	70	6,8	500	46	2,0
Harderwijk klein	Δ	0,68	0,70	5,2	120	70	6,4	450	38	1,5
Helmond 1	Δ	0,44	0,39	3,1	—	(180)	1,9	—	47,9	1,5
Helmond 2	Δ	0,68	0,36	4,0	—	(180)	3,7	—	47,9	1,5
Hoensbroek	Δ	1,0	1,0	4,6	70	50	10,0	350	44	1,5
Huizen	—	0,64	0,81	0,6	300	(300)	0,8	130	41	2,0
Hulst	—	0,90	0,33	2,0	90	100	2,4	160	42	2,0
Joure	Δ	0,48	1,27	4,9	120	90	5,5	290	37,3	1,5
Oss ****		0,46–0,82	0,48–1,36	1,9–5,9	130–200	90–130	2,5–7,4	220–630	41,8	2,0
Raalte	—	0,74	0,51	3,7	60	65	3,9	160	41,5	2,5
Rijen *****		0,52–1,09	0,2–1,2	2,5–3,8	110–200	80–130	2,6–5,8	210–500	45,5	2,25
Rijssen	+	0,73	0,69	2,3	170	100	2,8	290	41	1,5
Uden-Veghel	+	1,17	0,46	3,4	90	90	5,8	360	41	2,0
Wijk bij Duurstede	+	0,90	0,39	3,3	75	80	4,1	240	35,6	1,5

* De tekens achter de naam van de proef hebben de volgende betekenis:

+ de proef heeft tot sliboverstort geleid (geen evenwicht)

— de proef is met een evenwicht geëindigd

Δ aan het einde van de proef was nog geen evenwicht

** aan het einde van de proef

*** $g_A = \left(\frac{q + q_r}{A} \right) \cdot G_A$ ter vergelijking met de WRC-richtlijn en de solid fluxtheorie

**** 10 verschillende metingen (4 keer + en 6 keer —)

***** 14 verschillende metingen (6 keer +, 3 keer Δ en 5 keer —)

3. Praktijkonderzoek

3.1. Proefprogramma

Het praktijkonderzoek aan ronde nabezink-tanks is in twee fasen uitgevoerd. Eerst is op twee zuiveringsinrichtingen (Rijen, Oss) een vrij uitgebreid onderzoek verricht. De meetresultaten van deze twee inrichtingen hebben geleid tot een voorstel voor een nieuwe ontwerprichtlijn voor ronde na-bezinktanks. Vervolgens is deze voorgestelde richtlijn geverifieerd door praktijkmetingen aan de nabezinktanks van 19 andere inrichtingen. Het totaal van onderzoeksresultaten heeft geleid tot de in dit artikel beschreven richtlijnen.

Bij de keuze van de nabezinktanks zijn de volgende randvoorwaarden gehanteerd:

- De nabezinktank is rond.
- De diameter is groter dan 30 m, omdat aangenomen wordt, dat bij kleine nabezink-tanks het stromingspatroon anders kan zijn en de invloed van de inlaatzone groter is dan bij grote tanks.
- De nabezinktanks zijn volgens de in Nederland gebruikelijke bouwwijze ge-bouwd. Nader gespecificeerd, betekent dit een kantdiepte van 1,5 tot 2,5 m, een bodemhelling van 1 : 12 aflopend naar het midden toe, een centrale inlooptrommel, een effluentgoot rondom de tank en slib-ruiming door een slibschraper.
- De aanvoer naar de inrichting moet gedurende een aantal (ca. 8) uren constant blijven.

Tijdens de nabezinktankproeven is een aantal metingen verricht waardoor de proefresultaten kunnen worden vergeleken met de ATV-richtlijn, de solid fluxtheorie en het WRC-rekenmodel en waardoor tevens inzicht in de procesdynamica werd verkregen. De volgende bepalingen zijn telkens gedaan:

- hydraulische belasting (q en q_r)
- bezinkbaarheid van het slib (I_{sv} , $SSVI_{3,5}$)
- drogestofconcentraties van aanvoer en retour-slib
- drogestofverdeling in de tank (profielen)
- slibspiegelhoogte.

In tabel I zijn de afmetingen van de onder-zochte nabezinktanks en de belangrijkste parameters van de in totaal 47 proeven verzameld.

3.2. Verloop van een proef

Iedere proef begint in principe met een nabezinktank waarin vrijwel geen slib aan-

wezig is, het slib bevindt zich in de beluch-tingsruimte. Deze situatie wordt bereikt door gedurende enige uren de rioolwater-aanvoer te onderbreken en alleen de retour-slibstroom gaande te houden. Hierdoor wordt tevens afvalwater in het rioolstelsel gebufferd om zodoende tijdens de proef voldoende lang over afvalwater te kunnen beschikken. De proef begint op het moment dat de aanvoerpompen worden gestart. Kort daarna stroomt het effluent over de overstortrand van de nabezinktank. Aanvankelijk is er een groot verschil tussen de aangevoerde slibhoeveelheid $((q + q_r) \cdot G_a)$ en de afgevoerde hoeveelheid $(q_r \cdot G_r)$, doordat bij het begin van de proef de drogestofconcentraties van aanvoer en retour-slib nagenoeg gelijk zijn. Deze beide concentraties gaan tijdens de proef uiteenlopen.

Er ontstaat een duidelijk onderscheid tussen een sliblaag op de bodem van de nabezinktank en een waterlaag erboven, gescheiden door de slibspiegel. In het begin ligt er alleen wat slib in het midden van de tank. Na het starten van de proef wordt eerst de kegel met slib gevuld. Zodra de gehele dwarsdoorsnede van de tank met slib is bedekt, komt de slibspiegel horizontaal te liggen en blijft dit ook ge-durende het verdere verloop van de proef. De drogestofconcentratie van het retour-slib blijft toenemen, zolang de slibspiegel stijgt. Doordat slib in de nabezinktank wordt gebufferd, daalt de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte en dus ook in de aanvoer van de nabezinktank. In sommige gevallen is deze daling aanzienlijk ($\sim 40\%$). In het geval dat de nabezinktank niet wordt overbelast ontstaat er een even-wichtssituatie. De slibspiegel komt tot stil-stand, in de regel dicht in de buurt van de kantdiepte en de drogestofconcentraties in het retour-slib en in de beluchtingsruimte veranderen nauwelijks meer, zie afb. 4.

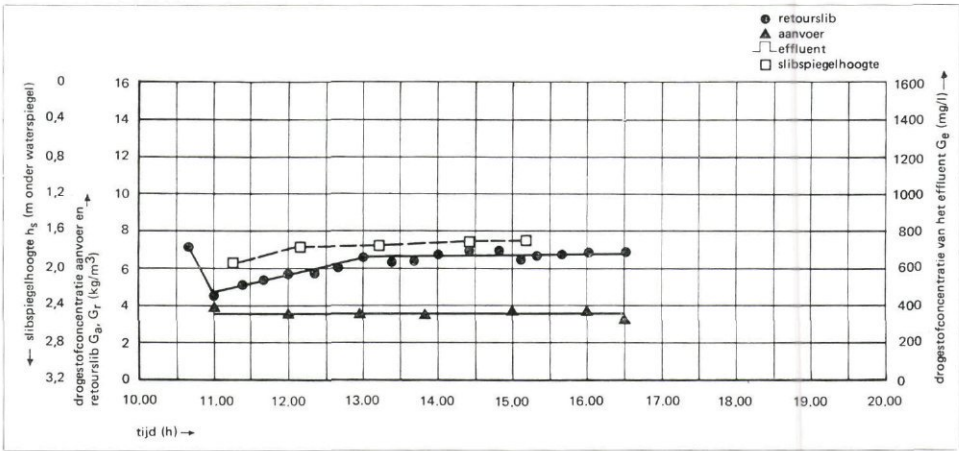
De proef wordt beëindigd, wanneer ge-durende enkele uren geen verandering meer is opgetreden in de slibspiegelhoogte en de drogestofconcentraties. Indien de nabezinktank wel wordt over-belast, zal de slibspiegel blijven stijgen met een snelheid die, afhankelijk van de mate van overbelasting, kan oplopen tot meer dan 50 cm/uur, zie afb. 5. Deze proeven zijn gestopt op het moment dat slib over de rand van de effluentgoot begint te stromen. Enkele proeven moesten eerder worden beëindigd omdat er te weinig afvalwater was om nog langer een constant debiet over de nabezinktank te kunnen handhaven. Bij de meeste proeven die aldus zijn onderbroken, was het wel mogelijk aan te geven of, bij voortduring van de proef, deze wel of niet tot sliboverstort geleid zou hebben.

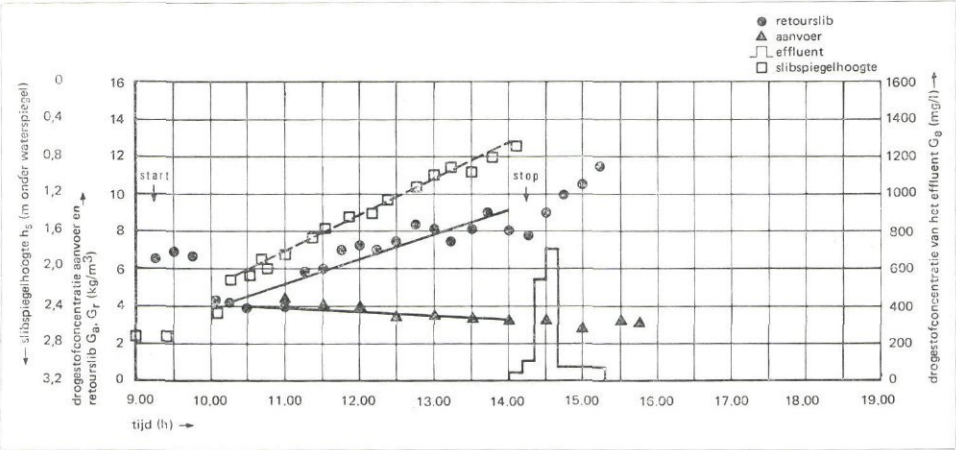
Voor de beschrijving van de drogestof-verdeling in de nabezinktank moet onder-scheid gemaakt worden tussen de proeven waarbij de slibspiegel blijft stijgen tot het slib over de overstortrand van de nabezink-tank gaat (geen evenwicht) en de proeven waarbij de slibspiegel vanaf een zeker moment niet verder stijgt (wel evenwicht).

In het laatste geval bevindt de slibspiegel zich in het algemeen op een hoogte van maximaal ca. 0,3 m boven de kantdiepte. Onder de slibspiegel neemt de drogestof-concentratie toe in de richting van de bodem van de tank. De concentratie op de bodem van de tank is altijd groter dan de retour-slibconcentratie. Opvallend is de duidelijke horizontale gelaagdheid van de slibzone behoudens dichtbij de inloop-constructie.

In het geval dat geen evenwichtssituatie wordt bereikt, ontstaat er een bufferzone met een constante drogestofconcentratie. Niet alleen is de concentratie in deze laag

Afb. 4 - Voorbeeld van het verloop van een proef, die tot evenwicht heeft geleid.





Afb. 5 - Voorbeeld van het verloop van een proef die met sliboverstort is geëindigd.

overal dezelfde, zij verandert ook niet in de loop van de tijd.
De dikte van de scheidingszone is over de gehele tankoppervlakte nagenoeg constant en bedraagt 0,3 à 0,5 m.
De indikzone heeft ook een tamelijk constante dikte van ca. 0,5 m. Schematisch is de drogestofverdeling in afb. 6 weer-gegeven.
De effluentkwaliteit verandert in de loop van een proef (ook bij stijgende slibspiegel) nauwelijks. Vanaf het moment dat de slibspiegel tot op minder dan ca. 20 cm van de onderkant van de effluentgoot is gestegen, kan plotseling slib gaan overstorten en de drogestofconcentratie in het effluent tot enkele honderden mg/l oplopen.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de nabezinktankproeven vergeleken met de eerdergenoemde theorieën en ontwerprichtlijnen. Vervolgens is ingegaan op enkele belangrijke aspecten welke ook zijn terug te vinden in de richtlijnen die in hoofdstuk 5 zijn beschreven. Het gaat hierbij om de retourslibverhouding, het bufferen van slib in de nabezinktank, de stijgsnelheid van de slibspiegel en de kantdiepte van de nabezinktank.

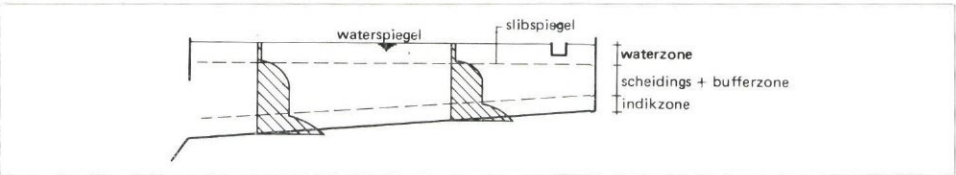
4.1. Vergelijking met de ATV-richtlijn

Uit de proeven is gebleken, dat de hydraulische oppervlaktebelasting, het drogestofgehalte van de aanvoer naar de nabezinktank en de slibindex, geheel in overeenstemming met de ATV-richtlijn, de belang-

rijkste parameters zijn. De parameter waarin oppervlaktebelasting, drogestofconcentratie en slibindex zijn verenigd, is de slibvolumebelasting, volgens $vs_A = q_A \cdot G_A \cdot I_{sv}$.
In afb. 7 is van iedere proef aangegeven of deze met sliboverstort (X) of in evenwicht (●) is geëindigd. De proeven waarbij aan het eind nog geen evenwicht was bereikt, zijn met een ▲ aangeduid. Het aangegeven slibvolume heeft telkens betrekking op de situatie aan het einde van de proef. Bij de plaatsing van de punten is dus al rekening gehouden met de afname van de slibconcentratie in de beluchtingsruimte door buffering van slib in de nabezinktank. Uit deze grafiek blijkt dat de ATV-richtlijn in grote lijnen met de meetresultaten overeenkomt, zij het dat bij de hogere slibvolumina de ligging van de ATV-lijn zou mogen worden verschoven. Uit de metingen blijkt tevens dat niet met één waarde voor de toelaatbare slibvolumebelasting kan worden volstaan, immers de lijn in afb. 7 zou dan een hyperbool zijn.

Volgens de ATV zal het toestaan van een iets hogere belasting dan de in afb. 7 aangegeven grenslijn leiden tot effluent met een wat hogere drogestofconcentratie, bijv. 60 mg/l in plaats van 30 mg/l. Een geleidelijke toename van de drogestofconcentratie in het effluent als gevolg van overbelasting van de nabezinktank is echter niet waargenomen. Integendeel, uit de hier gepresenteerde metingen is gebleken dat een situatie van overbelasting resulteert in het stijgen van de slibspiegel in de nabezinktank

Afb. 6 - Drogestofverdeling in de nabezinktank.



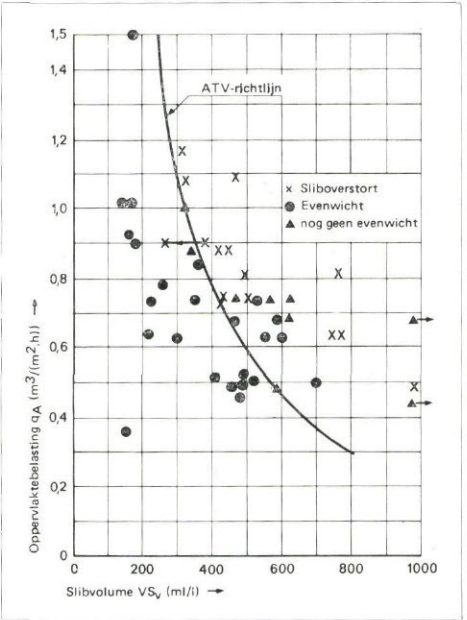
en uiteindelijk eindigt in het overstorten van slib.
De drogestofconcentratie in het effluent blijft zeer laag, tot het moment waarop het overstorten begint. Dan neemt de drogestofconcentratie sprongsgewijs toe tot vele honderden mg/l.

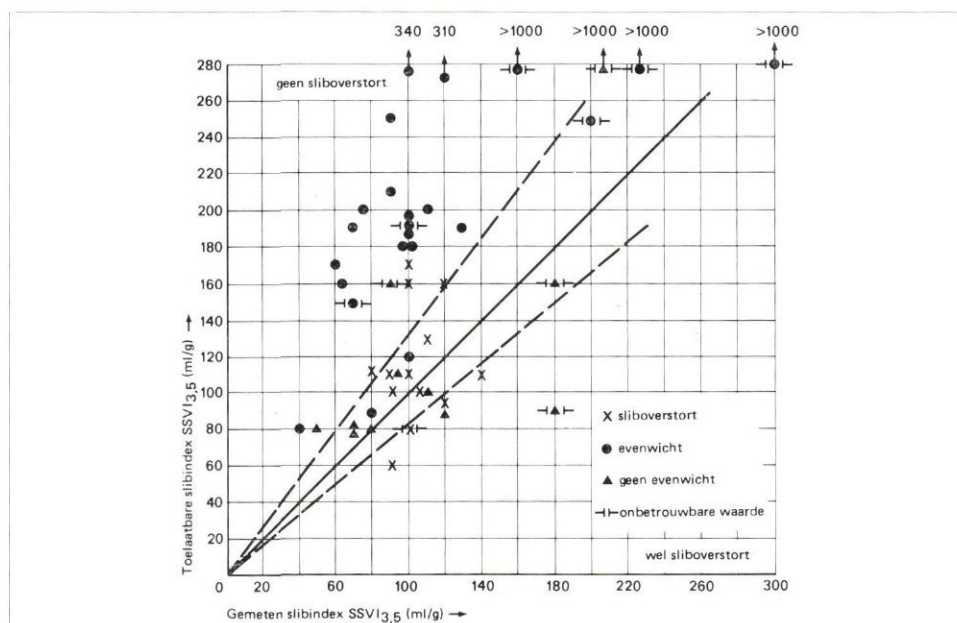
Wel is geconstateerd, dat bij hoger belaste actief slibinstallaties waarbij de inhoud van de beluchtingsruimte klein is ten opzichte van die van de nabezinktank de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte sterk kan afnemen door buffering van slib in de nabezinktank. Waargenomen is, dat in die situaties de drogestofconcentratie in het effluent toeneemt, niet als gevolg van het overstorten van slib, maar door verlies van kleine slibvlokjes, hetgeen wordt toegeschreven aan de minder goede flocculatie van slib in de nabezinktank bij lage drogestofconcentraties (< 2 kg/m³).
Het kiezen van een belasting van de nabezinktank hoger dan de ATV-richtlijn aanvaardt zal alleen resulteren in een wat hogere drogestofconcentratie in het effluent, zolang het uit de beluchtingsruimte uitgespoelde slib in de nabezinktank kan worden gebufferd.

4.2. De WRC-richtlijn

De WRC-richtlijn geeft het verband aan tussen de geroerde slibindex en de drogestofbelasting op de nabezinktank, waarbij nog niet geen sliboverstorting wordt veroorzaakt.
Deze richtlijn is getoetst door bij de toegepaste drogestofbelastingen de maximaal toelaatbare slibindexen te berekenen en

Afb. 7 - De ATV-richtlijn [5, 6] en de afloop van de proeven als functie van de oppervlaktebelasting en het slibvolume.





Afb. 8 - Vergelijking tussen de volgens het WRC toelaatbare slibindex en de gemeten slibindex (SSV_{1,5}).

deze waarde te vergelijken met de gemeten geroerde slibindexen en met het al of niet optreden van sliboverstorting. De resultaten zijn weergegeven in afb. 8.

In deze figuur geeft ieder punt één proef weer.

Boven de getrokken lijn in afb. 8 is de toelaatbare SSVI groter dan de gemeten waarde. Belastingssituaties in dit veld mogen dus niet tot het overstorten van slib leiden. Onder de getrokken lijn is de toelaatbare SSVI kleiner dan de gemeten waarde. In dit gebied moet dus rekening worden gehouden met sliboverstortingen. Volgens het WRC kan met het nomogram de toelaatbare belasting tot op $\pm 20\%$ nauwkeurig bepaald worden. Wordt deze nauwkeurigheids grens omgerekend in de toelaatbare slibindexen, dan zijn de grenzen $+33\%$ en -21% . Van ruim de helft van alle proeven is een juiste 'voorspelling' gedaan. Ca. één tiende is fout 'voorspeld', de rest van de proeven ligt binnen de nauwkeurigheids grenzen zodat de 'voorspelling' niet kan worden geverifieerd. Gezien de vrij grote marges waarmee gerekend wordt, wordt deze methode minder geschikt geacht als ontwerprichtlijn.

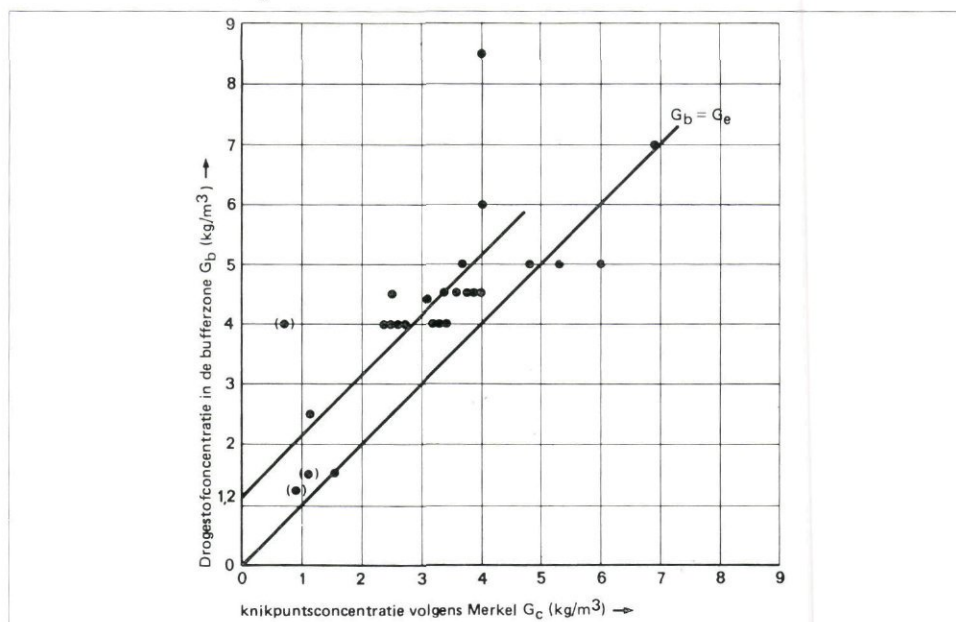
4.3. De solid fluxtheorie

Als kwalitatieve procesbeschrijving voldoet de solid fluxtheorie goed. Het geeft een goed inzicht in de relatie tussen de drogestofbelasting, de slibbezinkbaarheid en de stijging van de slibspiegel en geeft een goede verklaring voor het ontstaan van een bufferzone.

Voor de metingen te Rijen en Oss is de theorie tevens gebruikt om er de toelaatbare

drogestofbelasting van de nabezinktank mee te voorspellen. Bij beide inrichtingen werd daartoe de lineaire bezinksnelheid van het slib bepaald als functie van de drogestofconcentratie. Met deze lineaire bezinksnelheidsfuncties en de toegepaste retourslibdebieten blijken volgens de solid fluxtheorie toelaatbare hydraulische belastingen op de nabezinktanks slechts een fractie te zijn van de in de praktijk gemeten hydraulische belastingen. Op grond hiervan is geconcludeerd dat deze methode minder geschikt is voor het dimensioneren van nabezinktanks.

Afb. 9 - De gemeten drogestofconcentratie in de bufferzone (G_b) vergeleken met de knikpuntconcentratie van Merkel (G_c).



4.4. De retourslibverhouding

De proeven te Rijen hebben aangetoond dat de retourslibcapaciteit slechts een geringe invloed heeft op het al dan niet bereiken van een evenwichtssituatie in de nabezinktank, dus op de capaciteit van de tank. De bij een inventarisatie² verzamelde gegevens laten zien dat het waarschijnlijk van de slibindex afhangt of verhoging van het retourslibdebiet de capaciteit van de tank vergroot of juist verkleint.

Wanneer bij een zuiveringsinrichting met goed bezinkbaar slib tijdens rwa de retour-vijzels op 'hoog toeren' worden gezet kan het moment van sliboverstorting worden uitgesteld of zelfs helemaal worden voorkomen.

Is sprake van slecht bezinkbaar slib, dan is juist een klein retourdebiet gunstig om het moment van sliboverstorting uit te stellen. De extra hydraulische belasting van het grote retourdebiet verstoort dan het bezinkproces kennelijk zo sterk, dat de theoretische capaciteitstoename meer dan teniet wordt gedaan. Tussen goed en slecht bezinkbaar slib ligt een vrij breed overgangsgedrag ($100 < I_{sv} < 200$ ml/g).

4.5. Buffering van drogestof in de nabezinktank

Het volume van de slibzone in de nabezinktank wordt bepaald door de hoeveelheid slib en de drogestofconcentratie van dit slib in de nabezinktank.

Een groot deel van dit slib bevindt zich in de bufferzone. Volgens Merkel [7] heerst daar de knikpuntconcentratie ($G_c = 480/I_{sv}$ kg/m³).

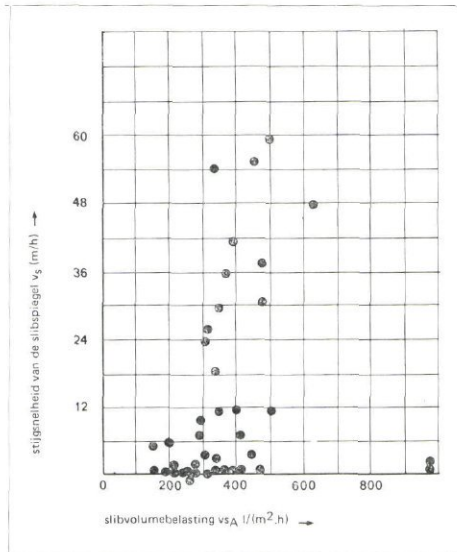
Deze waarde wordt ook in de ATV-richtlijn gehanteerd voor de berekening van de hoogte van de bufferzone (afgerond op $500/I_{sv}$). De tijdens de proeven gemeten drogestofconcentraties in de bufferzone zijn vergeleken met de corresponderende berekende waarden van de knikpuntconcentratie G_c (zie afb. 9). Uit deze afb. 9 blijkt dat de knikpuntconcentratie een veilige benadering is. Gemiddeld ligt de gemeten concentratie $1,2 \text{ kg/m}^3$ hoger.

4.6. De kantdiepte en de stijgsnelheid van de slibspiegel

Wanneer een bepaalde hydraulische belasting wordt ingesteld, kan een evenwichtssituatie ontstaan, of de slibspiegel zal als gevolg van overbelasting blijven stijgen tot het slib over de overlooprand van de nabezinktank stroomt. Tijdens het stijgen van de slibspiegel wordt slib in de nabezinktank gebufferd. Hierdoor nemen de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte en daarmee ook de drogestof- en slibvolumebelasting op de nabezinktank af. Als de nabezinktank maar diep genoeg is, zou de drogestofbelasting en de slibvolumebelasting op de nabezinktank zover kunnen afnemen dat er geen sprake meer is van overbelasting en een evenwichtssituatie ontstaat.

De hoogte van de slibspiegel in deze evenwichtssituatie zal worden bepaald door de hoeveelheid slib die moet worden gebufferd en de concentratie waarmee dit gebeurt. De slibspiegel zou dus op iedere willekeurige hoogte tot stilstand kunnen komen. Bij de proeven die tot evenwicht hebben geleid is de slibspiegel evenwel vrijwel nooit meer dan tot 0,3 m boven de kantdiepte gestegen. Steeg de slibspiegel wel verder dan deze 0,3 m, dan leidde dit onherroepelijk tot sliboverstorting. De profresultaten wijzen dus niet op het bestaan van een marge in de belasting van de nabezinktank, waarbij de slibspiegel niet op 0,3 m, maar op een wat grotere afstand van de bodem tot stilstand komt, althans bij de onderzochte kantdiepten. In hoeverre in diepe nabezinktanks, bijv. 4 m, dit wel het geval zou kunnen zijn, is niet bekend. Tanks met een kantdiepte $> 2,5 \text{ m}$ waren niet beschikbaar. Bij het ontwerpen van nabezinktanks met een kantdiepte van 1,5–2,5 m is het evenwel juist om ervan uit te gaan, dat de slibspiegel ofwel op ca. 0,3 m van de kantdiepte tot stilstand komt, ofwel dat de slibspiegel zal blijven stijgen en sliboverstorting zal plaatsvinden.

Hoelang een zekere overbelasting kan aanhouden, voordat slib overstort, hangt af van de kantdiepte en van de stijgsnelheid van de slibspiegel.



Afb. 10 - De stijgsnelheid van de slibspiegel als functie van de slibvolumebelasting.

In afb. 10 is deze stijgsnelheid weergegeven in relatie tot de slibvolumebelasting. De stijgsnelheid blijkt bij overbelasting al snel tot $0,5 \text{ m/h}$ te kunnen oplopen. Dat betekent dat een extra tankdiepte van $0,5 \text{ m}$ het moment van sliboverstorting ca. 1 uur kan uitstellen. Bij de gebruikelijke ledigings-tijden in Nederland biedt dit extra uur weinig soelaas. Met een enigszins diepere tank kan dan ook niet worden voorkomen dat overstorting van slib plaatsvindt, wel zal de duur van een overstorting worden verkort.

5. Richtlijnen voor het ontwerpen van ronde nabezinktanks

5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zijn richtlijnen opgesteld voor het ontwerpen van ronde nabezinktanks van actief slibinstallaties. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op de resultaten van de experimenten aan ronde nabezinktanks, die volgens de in Nederland gebruikelijke wijze zijn geconstrueerd. Dat wil zeggen: de tanks hebben een centrale inlooptrommel, een centrale retourslib-aflaat, perifere aflaat van effluent, bodemhelling 1 : 12 en slibuiming door schrapers. De diameter van de tanks waaraan gemeten is varieerde van 30 tot $47,9 \text{ m}$.

De richtlijnen hebben betrekking op:

- de benodigde oppervlakte
- de mesbelasting
- de kantdiepte
- de retourslibverhouding.

5.2. De benodigde oppervlakte

Voor het vaststellen van het oppervlak van

de nabezinktank wordt de slibvolumebelasting vs_A als maat gebruikt. Dit is het produkt van de oppervlaktebelasting (q_A) en het slibvolume (VS_v). Dit laatste is op haar beurt het produkt van de drogestofconcentratie van de aanvoer naar de nabezinktank (G_a) en de slibindex (I_{sv}). Voor de dimensionering is de situatie bij het maximale debiet, waarbij de nabezinktank nog goed moet functioneren, maatgevend. De toelaatbare slibvolumebelasting is, zoals in afb. 11 is weergegeven, afhankelijk van het slibvolume. Voor het slibvolume (VS_v) moet die waarde gekozen worden, welke in de evenwichtssituatie tijdens rwa optreedt. Een deel van de totale slibhoeveelheid is dan in de nabezinktank gebufferd, de aanvoer van de nabezinktank is minder geconcentreerd en derhalve is het slibvolume (VS_v) lager dan bij dwa.

Een schatting van de afname van G_a tijdens rwa is gebaseerd op de volgende aannamen.

1. Bij dwa is de hoeveelheid slib in de nabezinktank te verwaarlozen.
2. De gemiddelde concentratie van het gebufferde slib in de nabezinktank is afhankelijk van de slibindex en wordt berekend met de volgende formule:

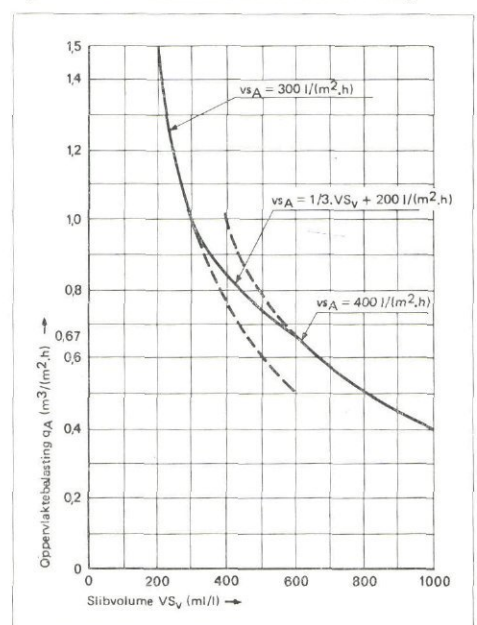
$$G_c = 480/I_{sv} \quad [\text{kgXm}^3] \quad (9)$$

Indien G_a groter is dan G_c , wordt gebufferd met de concentratie G_a .

3. De slibspiegel is tijdens de rwa-evenwichtssituatie hoogstens $0,3 \text{ m}$ boven de kantdiepte gestegen.

De hoeveelheid slib die tijdens rwa gebufferd kan worden, wordt berekend door

Afb. 11 - De toelaatbare slibvolumebelasting.



de inhoud van de tank onder de slibspiegel te vermenigvuldigen met de drogestofconcentratie volgens (9). Deze toelaatbare slibhoeveelheid bedraagt:

$$TD_{s,max} = \frac{1}{4} \cdot \pi D^2 (1/6 \cdot D \cdot \tan \alpha + 0,3) \cdot G_c \quad [\text{kg}] \quad (10)$$

waarin:

$TD_{s,max}$ = totale drogestofhoeveelheid die gebufferd kan worden in de nabezinktank [kg]

D = diameter nabezinktank [m]

$\tan \alpha$ = bodemhelling (in het algemeen 1/12)

De gebufferde hoeveelheid voldoet aan de formule:

$$TD_s = V_{at} \cdot (G_{a,dwa} - G_{a,rwa}) \quad [\text{kg}] \quad (11)$$

Bij de berekening van de hoeveelheid slib die in de nabezinktank wordt gebufferd is uitgegaan van eenzelfde slibconcentratie voor de gehele sliblaag. Dit is uiteraard een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Het lijkt echter, gezien de variaties en onzekerheden, niet zinvol om de drogestofverdeling nauwkeuriger, dat wil zeggen in verschillende lagen opgebouwd, te specificeren. Door de concentratie van het gebufferde slib volgens (9) te berekenen wordt een veilige aanname gedaan, die redelijk betrouwbaar is en de praktijk niet te veel geweld aandoet.

Het bufferen van slib in de nabezinktank is gebonden aan twee restricties:

1. De drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte mag niet kleiner dan 2 kg/m^3 worden om te voorkomen dat als gevolg van minder goede flocculatie, veel kleine slibvlokjes met het effluent worden verloren.
2. Er mag niet meer dan 30 % van de totale hoeveelheid drogestof in de nabezinktank(s) worden gebufferd om het zuiveringsrendement niet te zeer te doen verminderen (conform de ATV-richtlijn).

De berekening van het oppervlak verloopt iteratief. In hoofdstuk 6 zijn hiervan twee rekenvoorbeelden gegeven.

5.3. De mesbelasting

Een maximaal toelaatbare mesbelasting van $5\text{--}10 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ is vaak gehanteerd als uitgangspunt voor de dimensionering van de overstortlengte van de effluentgoot. Het gebruik van een dergelijk maximum stemt zeker niet overeen met hetgeen waargenomen wordt in de praktijk. Bij het literatuuronderzoek [1], bij de inventarisatie [2] en bij het praktijkonderzoek [3] is de ervaring opgedaan dat een tweezijdige overstort geen

betere, maar eerder een slechtere effluentkwaliteit oplevert.

Gebleken is namelijk, dat bij het toepassen van een effluentgoot met tweezijdige overstort, in geval van overbelasting slib wordt verloren vanaf het moment dat de slibspiegel tot ongeveer 0,2 m van de onderkant van de goot is gestegen. Omdat de helft van het effluent via de buitenzijde van de goot de nabezinktank verlaat, zal als gevolg van de toegenomen sleepspanning slib worden meegenomen. Bij overbelasting vindt dan ook altijd eerst slibverlies plaats via de buitenrand van de goot, terwijl aan de binnenzijde vaak nog lange tijd goed effluent wordt afgelaten. Door de buitenrand niet te benutten, hetgeen uitgetest is door deze af te plakken, bleek uitstel van overstorting te worden verkregen. Het toepassen van een tweezijdige overstort geeft, mogelijk tegen de verwachting in, eerder overstorting van slib te zien. Zolang er geen sprake is van overbelasting, is de slibspiegel zo ver verwijderd van de overstortrand, dat evenmin effluentkwaliteitsverbetering door toepassing van een tweezijdige overstort mag worden verwacht. Aanbevolen wordt daarom om in ronde nabezinktanks, ongeacht de diameter, al het effluent over één overstortrand te laten stromen, die langs de gehele omtrek van de tank ligt.

5.4. De kantdiepte

Indien de nabezinktank niet wordt overbelast zal de slibspiegel niet verder dan ca. 0,3 m boven de kantdiepte stijgen. In een dergelijke situatie zal bij een kantdiepte van ca. 1,5 m, bij toepassing van een eenzijdige overstort, de slibspiegel op voldoende veilige afstand van de overstortrand blijven. Bij het toepassen van een tweezijdige overstort (goot op consoles, op enige afstand van de wand) wordt dezelfde veiligheid bereikt bij een kantdiepte van $1,5 \text{ m} + \text{gootdiepte}$, dat wil zeggen ca. 2 m. Derhalve is ook ter beperking van de kantdiepte het toepassen van een eenzijdige overstort aan te bevelen.

Overwogen kan worden om bij grote nabezinktanks (bijv. $\varnothing > 40 \text{ m}$) ter compensatie van windinvloeden, een wat grotere kantdiepte te kiezen, bijv. 2 m. Kwantitatieve gegevens ter onderbouwing hiervan zijn evenwel niet beschikbaar.

5.5. De retourslibverhouding

De vereiste retourslibverhouding ($R = q_r/q$) wordt bepaald door de bezinkbaarheid van het slib en de drogestofbalans over de nabezinktank.

De bezinkbaarheid van het slib, uitgedrukt in de slibindex (I_{sv}), bepaalt tot hoever

het retourslib kan indikken in de nabezinktank.

Het bereikbare drogestofgehalte in het retourslib volgt uit (4):

$$G_{rs,max} = \frac{1200}{I_{sv}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

Bij rwa kan deze 2 kg/m^3 extra toenemen. De drogestofbalans over de nabezinktank in evenwicht wordt bepaald volgens (3):

$$q_r \cdot G_{rs} = (q + q_r) \cdot G_a \quad [\text{kg/h}] \quad (3)$$

R wordt bepaald door:

$$R = \frac{G_a}{G_{rs} - G_a} \quad [-/-] \quad (12)$$

Deze drogestofbalans geldt zowel bij dwa als bij rwa-evenwicht. Zo kan dus R bij dwa en bij rwa worden berekend door invulling van $G_{rs,max}$ en G_a .

Hierbij wordt rekening gehouden met de buffering in de nabezinktank tijdens rwa. De invloed van de retourslibcapaciteit is soms sterk afwijkend van hetgeen op theoretische basis zou worden verwacht. Soms levert vergroting van de retourslibcapaciteit in de praktijk een grotere toelaatbare belasting op (overeenkomstig de solid fluxtheorie), maar in andere gevallen juist een kleinere toelaatbare belasting. Het is daarom aan te bevelen de retourcapaciteit regelbaar te maken. Of de sturing van de retourslibcapaciteit direct aan het pompregiem van de aanvoer moet worden gekoppeld zal in de praktijk moeten blijken.

6. Ontwerpvorbeelden

In dit hoofdstuk zijn twee voorbeelden gegeven van het dimensioneren van ronde nabezinktanks, volgens de in hoofdstuk 5 beschreven richtlijnen.

Dit is gedaan voor twee installaties:

1. eentraps laag belast actief slibinstallatie
 2. installatie met oxydatieslootcondities.
- In beide gevallen is ervan uitgegaan dat de nabezinktank bij rwa geen slib mag verliezen.

Rekenvoorbeeld 1, actief slibinstallatie

Uitgangspunten

actief slibinstallatie	30.000	i.e.
BZV-belasting beluchtingsruimte (35 g BZV/i.e.)	1.050	kg BZV/d
slibbelasting	0,15 kg BZV/	(kg . ds . d)
maximale hydraulische belasting, q_A	900	m^3/h
drogestofconcentratie in beluchtingsruimte bij		
dwa, G_a	3,5	kg/m^3
slibindex, I_{sv}	190	ml/g

TABEL II - Berekening van de vereiste oppervlakte van de nabezinktank, voorbeeld 1, actief slibinstallatie.

Slib-volume	Aanvoer-concentratie bij rwa	Slibvolume-belasting	Oppervlakte-belasting	Oppervlakte	Diameter	Toelaatbare buffering	Gevraagde buffering
VS _v ml/l	G _{a,rwa} kg/m ³	vs _A l/(m ² · h)	q _A m ³ /(m ² · h)	A _{nbt} m ²	D m	TD _{s,max} kg	TD _s kg
665	3,50	400	0,60	1500	43,7	4760	0
600	3,15	400	0,67	1350	41,4	3710	700
530	2,80	377	0,71	1265	40,1	3030	1400
466	2,45	355	0,76	1180	38,8	2500	2100

Gevraagd
oppervlakte nabezinktank

Berekening
inhoud beluchtingsruimte:

$$V_{at} = \frac{1050 \text{ kg BZV/d}}{0,15 \text{ kg BZV/(kg ds : d)} \cdot 3,5 \text{ kg/m}^3} = 2000 \text{ m}^3$$

Het slibvolume bij dwa bedraagt:

$$VS_{v,dwa} = G_a \cdot I_{sv} = 3,5 \text{ g/l} \cdot 190 \text{ ml/g} = 665 \text{ ml/l}$$

Tijdens rwa mag maximaal 30 % worden gebufferd zodat het slibvolume mag dalen tot minimaal:

$$VS_{v,rwa} = (1 - 0,3) \cdot VS_{v,dwa} = 465 \text{ ml/l}$$

Het slibgehalte in de beluchtingsruimte bedraagt dan 2,5 kg/m³ en is hoger dan het gestelde minimum van 2 kg/m³.

In tabel II is het iteratieproces weer-gegeven. Telkens is bij een gekozen slib-volume, te beginnen met 665 ml/l, de toelaatbare slibvolumebelasting en oppervlaktebelasting uit afb. 11 afgelezen. Vervolgens is bij deze oppervlaktebelasting het oppervlak en de diameter van de nabezinktank en de toelaatbare hoeveelheid gebufferd slib in de nabezinktank volgens (10) berekend. Het slib wordt gebufferd met G_a of G_e (9).

Wanneer de toelaatbare buffering groter is dan de gevraagde hoeveelheid = V_a · (G_{a,dwa} - G_{a,rwa}), wordt de berekening herhaald met een lager slibvolume. De berekening gaat door tot:

— de toelaatbare buffering = gevraagde buffering

— het slibgehalte in de beluchtingsruimte 30 % is afgenomen

— het slibgehalte in de beluchtingsruimte 2 kg/m³ is geworden.

De berekening is hier uitgevoerd in stappen van 10 % in slibvolume.

De toelaatbare oppervlaktebelasting is 0,76 m³/(m² · h). De tank heeft een diameter van 38,8 m.

In dit rekenvoorbeeld blijkt de maximale buffering (30 %) maatgevend te zijn.

Rekenvoorbeeld 2, oxydatiesloot

Uitgangspunten

oxydatiesloot	30.000	i.e.
BZV-belasting	1.620	kg BZV/d
slibbelasting	0,054	kg BZV/(kg · ds · d)

maximale hydraulische belasting, q _A	900	m ³ /h
drogestofconcentratie in beluchtingsruimte bij dwa, G _a	4	kg/m ³
slibindex, I _{sv}	140	ml/g

Gevraagd
oppervlakte nabezinktank

Berekening
inhoud beluchtingsruimte:

$$V_{at} = \frac{1620 \text{ kg BZV/d}}{0,054 \text{ kg BZV/(kg ds : d)} \cdot 4 \text{ kg/m}^3} = 7500 \text{ m}^3$$

Het slibvolume bij dwa bedraagt:

$$VS_{v,dwa} = G_a \cdot I_{sv} = 4 \text{ g/l} \cdot 140 \text{ ml/g} = 560 \text{ ml/l}$$

Tijdens rwa mag maximaal 30 % worden gebufferd, zodat het slibvolume mag dalen tot minimaal:

$$VS_{v,rwa} = (1 - 0,3) \cdot VS_{v,dwa} = 392 \text{ ml/l}$$

Het slibgehalte in de beluchtingsruimte bedraagt dan 2,8 kg/m³ en is hoger dan het gestelde minimum van 2 kg/m³.

In tabel II is het iteratieproces op dezelfde wijze als bij voorbeeld 1 weergegeven. Het slibvolume is telkens met 5 % afgenomen.

De vereiste oppervlaktebelasting is 0,74 m³/(m² · h). De tank krijgt een diameter van 39,4 m.

TABEL III - Berekening van de vereiste oppervlakte van de nabezinktank, voorbeeld 2, oxydatiesloot.

Slib-volume	Aanvoer-concentratie bij rwa	Slibvolume-belasting	Oppervlakte-belasting	Oppervlakte	Diameter	Toelaatbare buffering	Gevraagde buffering
VS _v ml/l	G _{a,rwa} kg/m ³	vs _A l/(m ² · h)	q _A m ³ /(m ² · h)	A _{nbt} m ²	D m	TD _{s,max} kg	TD _s kg
560	4	387	0,69	1300	40,7	4500	0
532	3,8	377	0,71	1270	40,2	4140	1500
504	3,6	368	0,73	1230	39,6	3770	3000
476	3,4	359	0,75	1200	39,1	3441	4500

In dit rekenvoorbeeld is het maximale bufferend vermogen van de nabezinktank tijdens rwa, maatgevend.

Bij de hierboven gepresenteerde voorbeelden is ervan uitgegaan dat als gevolg van het bufferen van slib in de nabezinktank, de drogestofconcentratie in de beluchtingsruimte afneemt.

Bij actief slibinstallaties met een relatief kleine verhouding beluchtingsruimte/nabezinktankinhoud zal het slibgehalte met 30 % afnemen, bij oxydatiesloten is dit minder.

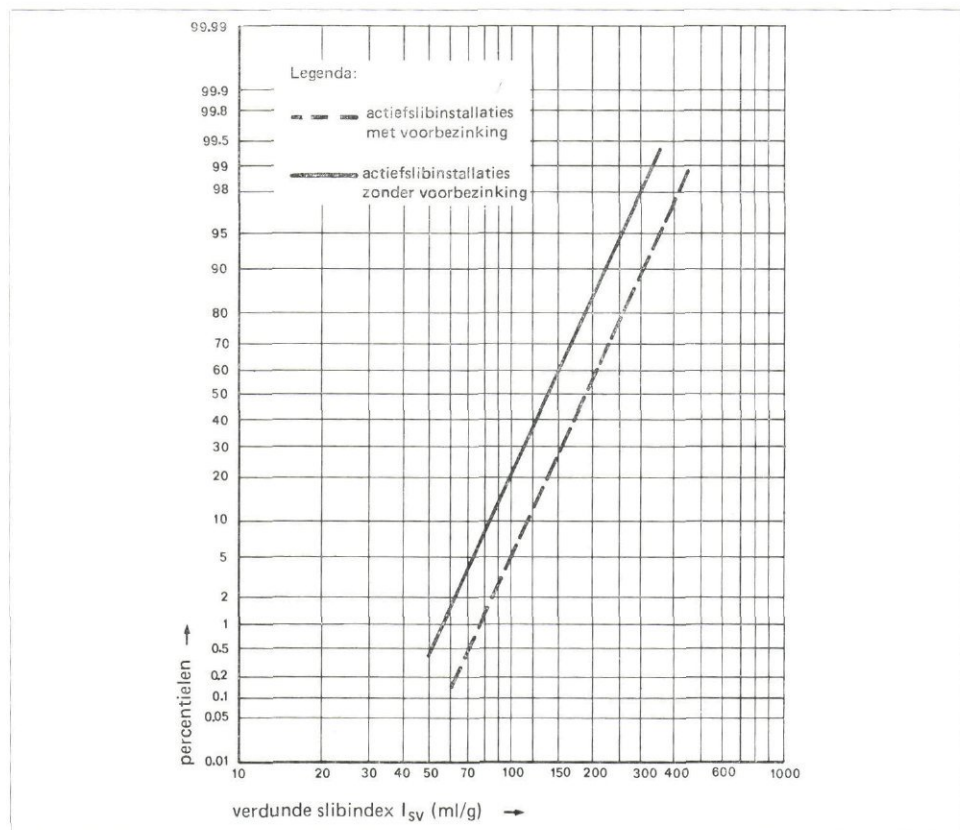
In beide gevallen is het bufferen van slib ook direct merkbaar in de afname van de drogestofconcentratie in de toevoer van de nabezinktank.

Bij propstroom reactoren zal dit beeld niet geheel opgaan. Weliswaar wordt er slib gebufferd, maar dit zal de eerste tijd nog niet leiden tot een afname van de slibconcentratie in de toevoer van de nabezinktank.

Voorts is ervan uitgegaan, dat tijdens rwa altijd een evenwichtsituatie moet worden bereikt. Wanneer echter meer slib mag worden gebufferd dan de hier aangehouden 30 % (bijv. bij tweetraps installaties in de tussenbezinktank), of rwa condities maar van korte duur zijn (korte ledigingstijden), of sliboverstort met een zekere frequentie is toegestaan, zou een hogere slibvolumebelasting gekozen kunnen worden.

7. Slotbeschouwing

In dit artikel is een richtlijn gepresenteerd voor het ontwerpen van horizontaal doorstroomde ronde nabezinktanks voor actief slibinstallaties. Deze richtlijn, die berust op een groot aantal praktijkmetingen, kan gebruikt worden voor de bepaling van het minimaal benodigde nabezinktankoppervlak, de kantdiepte, de overstortlengte (mesbelasting) en het retourslibdebiet. Op een aantal belangrijke punten wijkt de hier voorgestelde richtlijn af van de tot nu toe veelal in Nederland gebruikte vuistregels en wel met name op de bepaling van de mesbelasting en het minimaal benodigde nabezinktankoppervlak. Experimenten op praktijkschaal hebben



Afb. 12 - Cumulatieve frequentieverdeling van de slibindex van actief slibinstallaties met en zonder voorbezinking.

aangetoond, mogelijk geheel tegen de verwachting in, dat het toepassen van een 2-zijdige overstort geen voordeel biedt boven een eenzijdige overstort. Integendeel, in situaties van overbelasting zullen nabezinktanks met een 2-zijdige overstort eerder overstorting van slib te zien geven.

Voor het bepalen van het minimaal benodigde oppervlak van de nabezinktank kan met behulp van de richtlijn een afweging gemaakt worden tussen parameters als oppervlaktebelasting, q_A , en slibgehalte in de beluchtingsruimte, G_A , en zal een verwachting moeten worden uitgesproken over de slibbezinkingseigenschappen. Door het kunnen maken van een afweging tussen slibgehalte en oppervlaktebelasting kan een optimalisatie tussen beluchtingsruimtevolume en nabezinktankoppervlak worden doorgevoerd.

De grootste onzekerheid bij het ontwerpen van nabezinktanks ligt in de keuze van de slibindex. Er treedt een grote spreiding op in de gemiddelde I_{sv} bij verschillende inrichtingen en tevens kan de I_{sv} op een inrichting in de loop van de tijd soms aanzienlijk variëren. Om enig inzicht te verkrijgen in de te verwachten slibindexen zijn van een aantal Nederlandse rwzi's de jaargemiddelden

van de slibindex (volgens NEN) verzameld en statistisch bewerkt. Omdat verwacht mag worden dat de aanwezigheid van primair slib in het actief slib de bezinkbaarheid van het laatste beïnvloedt, zijn de inrichtingen in twee groepen verdeeld, nl. inrichtingen zonder voorbezinking (oxydatiesloten en carroussels; $n = 53$) en inrichtingen met voorbezinking ($n = 27$). In totaal zijn 124 jaargemiddelden gebruikt waarvan 86 van oxydatiesloten en 38 van rwzi's met voorbezinking. In afb. 12 is de frequentieverdeling weergegeven.

De 50-percentiel van de oxydatiesloten ligt bij 140 ml/g en van de rwzi's met voorbezinking bij 190 ml/g. De 80-percentielen bedragen resp. 190 en 260 ml/g. (De X-percentiel is die waarde waaronder zich X % van de waarnemingen bevinden).

De moeilijkheid is nu, welke slibindex als uitgangspunt moet worden gekozen voor de dimensionering van de nabezinktank. Wordt de 50-percentiel genomen, dan zal er rekening moeten worden gehouden dat 50 procent van de inrichtingen een gemiddelde index heeft die hoger is dan de gekozen waarde. Het kiezen voor meer veiligheid, door bijvoorbeeld uit te gaan van een 80-percentiel zal tot grotere nabezinktanks en dus hogere investeringen leiden.

In afb. 12 zijn overigens jaargemiddelden verwerkt. Een inrichting met een gemiddelde slibindex van 140 ml/g zal gedurende een aanzienlijk deel van de tijd een slibindex > 140 ml/g hebben, hetgeen inhoudt, dat ook op een inrichting die ontworpen is voor een slibindex van 140 ml/g en in de praktijk een gemiddelde index van 140 ml/g heeft, toch incidenteel een sliboverstorting kan plaatsvinden.

Indien de slibindex van de te ontwerpen zuiveringsinrichting niet bekend is, blijft ook bij een voorzichtige aanname van de index, zoals de 80-percentiel uit afb. 12, de mogelijkheid van sliboverstorting aanwezig.

Bovenstaande houdt in, dat de hier gepresenteerde richtlijn geen garantie kan geven op het niet meer overstorten van slib uit de nabezinktank.

Wel kan het verkleinen van de kans op sliboverstorting worden vertaald in de extra investeringskosten voor nabezinkfaciliteiten.

De in afb. 12 gepresenteerde data zijn afkomstig van inrichtingen, waar geen speciale voorzieningen tegen licht slibbestrijding zijn ingebouwd.

Het verdient daarom aanbeveling om de kosten van maatregelen, gericht op de verbetering van de slibindex, af te wegen tegen de bouw van nabezinktanks met een lage(re) hydraulische belasting.

Literatuur

1. STORA-rapport. *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces*. 1. Literatuuronderzoek, 1981.
2. STORA-rapport. *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces*. 2. Ontwerpegegevens en bedrijfservaringen van nabezinktanks van 23 rioolwaterzuiveringsinrichtingen in Nederland, 1981.
3. STORA-rapport. *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces*. 3. Praktijkonderzoek aan ronde nabezinktanks, 1981.
4. White, M. J. D. *Settling of activated sludge*. WRC Technical Report, TR 11, mei 1975.
5. Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 2.5 Absetzverfahren. *Die Bemessung*. Korrespondenz Abwasser, 8/1973, 20e jaargang: 193-198.
6. Erläuterungen und Ergänzungen zum Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 2.5 Absetzverfahren. *Die Bemessungen der Nachklärbecken von Belebungsanlagen*. Korrespondenz Abwasser, 8/1976, 23e jaargang: 231-235.
7. Merkel, W. von. *Die Bemessung horizontal durchströmter Nachklärbecken von Belebungsanlagen*. GWF - Wasser/Abwasser 112 (1971) H 12, pag. 596-600.
8. Jaarverslag van de Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant.
9. Jaarverslag van het Waterschap Regge en Dinkel.