

1994-W01_optimalisering-nabezinktanks-
vooronderzoek

stowa

Optimalisering van grote nabezinktanks

Vooronderzoek naar de mogelijkheden
van modellering van de stromingsprocessen

94-W-01

Optimalisering van grote nabezinktanks



Vooronderzoek naar de mogelijkheden
van modellering van de stromingsprocessen

INHOUD**BLAD**

Ten geleide		
1	INTRODUCTIE	3
	1.1 Vooronderzoek fase 2	3
	1.2 Leeswijzer	3
2	ACHTERGRONDEN	4
	2.1 Functies van een nabezinktank	4
	2.2 Verbetering ontwerprichtlijnen gewenst	4
	2.3 Onderzoek (fase 1)	4
3	INVENTARISATIE	6
	3.1 Literatuurscan	6
	3.2 Enquête	6
	3.2.1 Inleiding	6
	3.2.2 Respons	7
	3.2.3 Programmatuur	7
	3.3 Conclusies op basis van literatuurscan en enquête	8
4	BEZOEKEN	10
5	PLAN VAN AANPAK FASE 2	11
6	REFERENTIES	13

BIJLAGEN:

1	Literatuurlijst
2	Enquête met begeleidende brief
3	Overzicht reacties op de enquête
4	Bezoek aan W. Rodi, P. Krebs en A.I. Stamou

Ten geleide

STOWA-onderzoek in de jaren 1991 - 1993 heeft nader inzicht verschaft in het functioneren van grote ronde nabezinktanks en heeft een aanzet gegeven tot een theoretische onderbouwing van de stromingsprocessen in ronde nabezinktanks. Daaruit bleek de behoefte aan een numeriek model om bezinkingsprocessen en dichtheidsstromen te kunnen simuleren, en gevoeligheidsanalyses uit te kunnen voeren naar de invloed van mogelijke constructieve maatregelen op de werking van de nabezinktanks.

Om richting te kunnen geven aan hierop aansluitend vervolgonderzoek werd een tussentijds vooronderzoek ingelast, waarin reeds beschikbare programmatuur, modelleringskennis en buitenlandse ontwikkelingen werden geëvalueerd tegen de achtergrond van de Nederlandse behoeften.

Het vooronderzoek werd door het bestuur van de STOWA opgedragen aan DHV Water B.V. (projectteam bestaande uit ir. R.W. Stapel, ir. E.J. Zandbergen en dr.ir. J. Krijgsman, waaraan toegevoegd dr.ir. J. Kranenburg van de faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft), en namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit ir. J. Ebbenhorst (voorzitter), ing. J.J. Jonk, ir. Z.A. Salomé, ing. J.J. Verbraaken en ir. T.W.M. Wouda.

Geconcludeerd wordt dat in het buitenland interessante ontwikkelingen gaande zijn in geavanceerd numeriek-onderzoek en model-validerend pilotplant-onderzoek. Voor de richting die aan de voortgang van het STOWA-onderzoek gegeven moet worden, spreekt dit werkrapport de voorkeur uit voor een combinatie van numerieke modellering en experimenteel onderzoek ter verificatie van de resultaten van de modelberekeningen, en het samen werken daarbij met een buitenlandse instelling.

Utrecht, augustus 1994

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

1 INTRODUCTIE

In opdracht van de STOWA is in het kader van het project 1.1.6. "Optimalisering van grote nabezinktanks" een vooronderzoek verricht voor fase 2 van het project.

Fase 1 van het project heeft nader inzicht verschaft in het functioneren van grote ronde nabezinktanks en heeft een aanzet gegeven tot een theoretische onderbouwing van de stromingsprocessen in ronde nabezinktanks. Geconcludeerd werd dat er een numeriek model nodig is waarmee ook bezinkingsprocessen en dichtheidsstromen kunnen worden gesimuleerd. Een dergelijk numeriek model kan worden gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse van de invloed van mogelijke constructieve maatregelen op de werking van een nabezinktank, waardoor kostbaar praktijkonderzoek kan worden geminimaliseerd. Het model is een hulpmiddel bij de optimalisering van constructieve maatregelen en het bijstellen van de ontwerpgrondslagen.

1.1 Vooronderzoek fase 2

Een oriënterend onderzoek is uitgevoerd, door DHV Water BV in samenwerking met de faculteit der Civiele Techniek van de TU-Delft, naar reeds beschikbare programmatuur en kennis met betrekking tot het mathematisch modelleren van stromingsprocessen in ronde nabezinktanks. Hierbij is nadrukkelijk gekeken naar ervaringen van en mogelijke samenwerking met buitenlandse instanties. Dit vooronderzoek dient als basis voor de besluitvorming binnen de STOWA over de invulling van het vervolgonderzoek (fase 2).

1.2 Leeswijzer

De achtergronden van dit project worden in hoofdstuk 2 beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gegeven van de inventarisatie van de beschikbare kennis met betrekking tot het mathematisch modelleren van stromingsprocessen in nabezinktanks. De inventarisatie is uitgevoerd door middel van een literatuurscan en een enquête. Om de meest recente ontwikkelingen te achterhalen en aanvullende informatie in te winnen is een enquête gehouden onder de auteurs van artikelen gepubliceerd na 1990. Om kennis te maken, inzichten uit te wisselen en om ons wederzijds te oriënteren op een mogelijke samenwerking is een ontmoeting gearrangeerd met enkele auteurs (hoofdstuk 4). Tot slot worden in hoofdstuk 5 twee alternatieven geschetst voor een plan van aanpak voor fase 2 van dit onderzoek.

2 ACHTERGRONDEN

2.1 Functies van een nabezinktank

De functies van een nabezinktank in rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) worden onder andere beschreven door Billmeier (1992). De dimensies van de nabezinktanks en de bezinkingseigenschappen van het actief-slib bepalen de concentratie zwevend stof in het effluent van een rwzi. Omdat ook parameters zoals COD, BOD, $\text{NH}_4\text{-N}$ en totaal-P gerelateerd zijn aan de concentratie zwevend stof wordt de performance van een rwzi sterk beïnvloed door het functioneren van de nabezinktanks. Een nabezinktank heeft vier functies:

- 1 afscheiding van zwevend stof uit de waterfase van het effluent;
- 2 tijdelijke buffering van actief-slib bij neerslag (RWA-situatie);
- 3 slibindikking;
- 4 verzamelen van ingedikt slib voor recirculatie naar de beluchtingstank.

Deze functies bepalen de zones die in een nabezinktank onderscheiden kunnen worden (Koot 1980):

- de waterzone (1);
- de scheidingszone (1);
- de bergingszone (2);
- de indikkings- of slibzone (3,4).

Een nabezinktank wordt ontworpen op basis van richtlijnen voor de hoogte van deze zones. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op eenvoudige modelberekeningen en ervaringsgegevens.

2.2 Verbetering ontwerprichtlijnen gewenst

Nabezinktanks worden in Nederland gedimensioneerd aan de hand van richtlijnen die door de STORA in 1981 zijn opgesteld. Deze zijn gebaseerd op praktijkonderzoek bij nabezinktanks van een groot aantal rwzi's. Van de destijds onderzochte ronde nabezinktanks bedroeg de maximale diameter 44 meter.

Een belangrijke richtlijn betreft de toelaatbare slibvolumebelasting, welke afhankelijk is van het slibvolume. Bij overschrijding van de toelaatbare waarde neemt volgens deze richtlijn de kans op slibverlies uit de nabezinktank op significante wijze toe.

Inmiddels zijn in Nederland ronde nabezinktanks met een diameter van 50 à 60 m gebouwd. In de praktijk bleek bij een aantal van deze nabezinktanks, reeds bij lagere slibvolumebelasting dan volgens de richtlijn toelaatbaar zou zijn, regelmatig slibverlies op te treden. De vraag rees daarbij of de richtlijn wel van toepassing mag worden verklaard op deze grotere nabezinktanks. Naar aanleiding van deze problematiek is in 1989 onderzoek gestart naar de optimalisering van grote nabezinktanks.

2.3 Onderzoek (fase 1)

Fase 1 van dit onderzoek werd uitgevoerd door DHV Water BV en de vakgroep Gezondheidstechniek en Waterbeheersing van de faculteit der Civiele Techniek TU Delft. DHV Water verrichtte onderzoek naar de praktijk van grote nabezinktanks, TU Delft richtte zich op een mathematische beschrijving van de stroming in een nabezinktank en op fysische modelproeven op laboratoriumschaal.

Het theoretische onderzoek betreft een oriënterende mathematische en fysische modellering.

Praktijkervaringen met het functioneren van grote ronde nabezinktanks in Nederland zijn geïnventariseerd door middel van een enquête. Daarnaast is het functioneren van een aantal grote nabezinktanks door een programma van praktijkmetingen nader onderzocht. Hierbij is tevens de invloed van een aantal maatregelen ter verbetering van de werking van grote nabezinktanks aan de orde gekomen.

Over de resultaten is in STOWA-verband een viertal rapporten uitgebracht (STOWA rapporten 92-13, 92-14, 93-18 en 93-19). Het onderzoek heeft nader inzicht verschaft in het functioneren van grote ronde nabezinktanks en heeft een aanzet gegeven tot een theoretische onderbouwing van de stromingsprocessen in ronde nabezinktanks.

De resultaten van de mathematische modellering voor eenfase-stroming zijn goed vergelijkbaar met de resultaten van de fysische modelproeven. Voor deze stromingssituatie is het rekenmodel PHOENICS geschikt voor het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses voor constructieve maatregelen. Schaalproeven met sedimenthoudend water bevestigen dat in de praktijk dichtheidsstromen zeer bepalend zijn voor het stromingsbeeld in nabezinktanks. Uitbreiding van het huidige computermodel met sedimenttransport en dichtheidsstroming is nodig om te komen tot een hulpmiddel dat het effect van constructieve maatregelen in praktijksituaties kan voorspellen.

Toepassing van een deflectieschot, waardoor de ruiming van slib naar de slibkegel met minder verstoring plaats kan vinden, heeft in het praktijkonderzoek bij de rwzi Assen goede resultaten opgeleverd. Het overstorten van slib kan hierdoor worden uitgesteld of zelfs worden voorkomen. Toepassing van deflectieschotten is met name geschikt voor nabezinktanks met een, in relatie tot de ruimte tussen inlooptrommel en slibkegel, sterke stromingsconcentratie in het centrum.

De experimenten in Roermond gaven geen significante invloed aan van de ruimerbladhoogte en -snelheid op het functioneren van ronde nabezinktanks. Waarschijnlijk hebben zich bij de slibspiegelhoogte geen kritische situaties voorgedaan en was in de beschouwde periode de slibuiming niet de beperkende factor in het functioneren van de nabezinktanks. Om te kunnen komen tot gefundeerde uitspraken over het effect van aanpassingen van het ruimersysteem is nader onderzoek nodig.

Evaluatie (fase 1)

Het is wenselijk om het theoretische inzicht in de stromings- en bezinkingsprocessen te vergroten. Er is een numeriek model nodig waarmee ook bezinkingsprocessen en dichtheidsstromen kunnen worden gesimuleerd. Een dergelijk numeriek model kan worden gebruikt voor een gevoeligheidsanalyse van de invloed van mogelijke constructieve maatregelen op de werking van een nabezinktank, waardoor kostbaar praktijkonderzoek kan worden geminimaliseerd. Het model is een hulpmiddel bij de optimalisering van constructieve maatregelen en het bijstellen van de ontwerpgrondslagen.

Besloten is om een oriënterend onderzoek uit te voeren naar reeds beschikbare programmatuur en kennis met betrekking tot het mathematisch modelleren van stromingsprocessen in ronde nabezinktanks. Hierbij wordt nadrukkelijk gekeken naar ervaringen van en mogelijke samenwerking met buitenlandse instanties. Dit vooronderzoek moet leiden tot een plan van aanpak voor eventueel vervolgonderzoek (fase 2).

3 INVENTARISATIE

De beschikbare kennis met betrekking tot het mathematisch modelleren van stromingsprocessen in nabezinktanks is uitgevoerd door middel van een literatuurscan, gevolgd door een enquête onder de auteurs van recente publikaties. Om kennis te maken, inzichten uit te wisselen en om ons wederzijds te oriënteren op een mogelijke samenwerking is een ontmoeting geïntroduceerd met enkele auteurs.

3.1 Literatuurscan

Ter aanvulling van de literatuurstudie modellen (STOWA rapport 92-13) is een overzicht gemaakt van artikelen die later gepubliceerd zijn. Sinds de literatuurstudie blijken er veel artikelen over de modellering van nabezinktanks te zijn verschenen.

De literatuurlijst (Bijlage 1) is samengesteld na raadpleging van het Aqualine-bestand. Om ook artikelen te vinden die destijds nog moeilijk te traceren waren, zijn referenties vanaf 1990 geselecteerd met de keywords:

- clarification AND modelling (-general-);
- tanks (sedimentation) AND modelling (-general-).

Een verdere selectie is gemaakt op basis van de abstracts. De literatuurlijst is samengesteld op basis van deze artikelen aangevuld met enkele op andere wijze verkregen referenties. In de lijst zijn enkele artikelen verwerkt die de enquête opleverde.

De meest interessante publikaties zijn van de hand van:

- McCorquodale *et al.* (univ. van Windsor, Canada);
- Rodi, Krebs (univ. van Karlsruhe, Duitsland) en Stamou (Nat. Techn. Universiteit Athene (NTUA), Griekenland).

Beide onderzoeksgroepen combineren de numerieke modellering van dichtheidsstromen in nabezinktanks met experimenteel onderzoek ter verificatie.

Een andere benaderingswijze wordt gevolgd door Dahl en Larsen. Zij hebben model parameters voor de (na)bezinking van actief-slib gemeten in een rechthoekige pilot-plant. Het numerieke model om de stromingspatronen te berekenen hoeft volgens hen bij deze benaderingswijze niet erg nauwkeurig te zijn. Verificatie metingen laten zien dat het resultaat van de numerieke simulatie onnauwkeurig is bij de in- en uitlaat zone. Het is daarom niet te verwachten dat met een dergelijk model de effecten van geometrische details (deflectieschotten e.d.) voldoende nauwkeurig kunnen worden voorspeld.

3.2 Enquête

3.2.1 Inleiding

Mede op basis van de resultaten van de literatuurscan is een enquête opgesteld om informatie in te winnen over:

- de meest recente publikaties, laatste ontwikkelingen met betrekking tot de numerieke modellering;
- beschikbaarheid computermodellen, inclusief ontwikkelingen en laatste versies;
- fysische (schaal)modellen: geometrie, gemeten parameters en de gebruikstoestand;
- actuele ontwikkelingen zoals lopend onderzoek, interesse voor het onderwerp;
- huidige adressen.

De enquête met een begeleidend schrijven (Bijlage 2) is verstuurd naar de auteurs van de geselecteerde publicatie verschenen sinds 1990. De enquête is ook verstuurd naar DeVantier vanwege zijn publicatie samen met Larock uit 1987 waar regelmatig naar wordt verwezen.

Gezien het eerdere contact met Krebs en de "dwarsverbanden" met andere auteurs (de groep Karlsruhe, VAW Zürich) is in het begeleidend schrijven aan deze groep auteurs vermeld dat de enquête ook aan hun (ex-)collega's is verzonden.

3.2.2 Respons

De respons op de enquête is (uitzonderlijk) hoog; van de 19 geselecteerde auteurs kregen we 11 reacties namens 15 auteurs. De meeste reacties werden ontvangen voor 22 november 1993; binnen een week na de in de brief genoemde datum van 15 november 1993. De geboden vrijheid om informatie te verstrekken bij de beantwoording van de enquête heeft blijkbaar uitnodigend gewerkt.

De volledige resultaten van de enquête laten zich door de verscheidenheid aan antwoorden moeilijk weergeven in een beknopt overzicht. Het dossier met enquêteformulieren is ter inzage bij DHV Water. In de enquête worden veel details vermeld (deels door te verwezen naar de publicaties) die voor het opstellen van een plan van aanpak niet van belang zijn. Bijlage 3 geeft een beknopt overzicht van de ontvangen reacties.

De belangrijkste resultaten van de enquête zijn:

- klein aantal recente publicaties toegevoegd aan literatuurlijst;
- computermodellen zijn beschikbaar (zie paragraaf 3.2.3);
- er zijn twee 2-D numerieke modellen met twee-fasen stromingen en bezinking, een 3-D model is nog niet beschikbaar;
- bij de numerieke modellering kunnen de bezinkings- en indikkingseigenschappen van actief-slib gemodelleerd worden met o.a. het model van Tacaks *et al.* (1991);
- slechts een beperkt aantal rechthoekige fysische (schaal)modellen is gebruikt; alleen door McCorquodale wordt een model van een ronde tank genoemd (20° segment), waarbij hij aangeeft het model niet gebruikt te hebben voor verificatie van het numerieke model;
- ontwikkelingen vinden plaats op het gebied van de numerieke modellering; de experimentele verificatie vindt slechts beperkt plaats - lopend onderzoek op slechts 3 plaatsen; interesse voor onderzoek aan het nabezinkingsproces is aanwezig, geld ontbreekt;
- bijgewerkt adressenbestand.

3.2.3 Programmatuur

Van de numerieke modellen wordt de dimensie van het model gegeven en de beschikbaarheid. Voor gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de enquête en de artikelen.

Programma's voor de simulatie van de stromingspatronen in een nabezinktank (2-D modellen) zijn:

- FAST2D van W. Rodi.

Het programma wordt alleen ter beschikking gesteld voor wetenschappelijk gebruik in een samenwerkingsverband.

- MZSettler van J.A. McCorquodale en S. Zhou.

Dit programma is te koop voor onderzoeksdoeleinden (prijs ongeveer \$20.000). De prijs van een licentie is nog niet vastgesteld. Demo-versie is beschikbaar gesteld.

- Programma zonder naam van C. Dahl en T. Larsen.
Dit programma is geprogrammeerd in PHOENICS.
- TEACH-SET van A.I. Stamou.
Dit programma is minder geavanceerd dan het later ontwikkelde FAST2D. Het kan kosteloos ter beschikking worden gesteld.

Programmatuur voor de simulatie van het bezinkingsproces zonder rekening te houden met de geometrie van de nabezinktank (1-D modellen):

- GPS-X version 2.0 september 1993 van Hydromantis Inc. (I. Takács).
Commerciële software pakket voor het simuleren van een rwzi die dynamisch wordt belast. Het programma bevat een submodel voor een simulatie van het nabezinkproces. Een demo is opvraagbaar;
- ARA-SIM van M. Freund en R. Otterpohl.
Een 1-D submodel (laagjes met bezinking) is onderdeel van rwzi-simulatie programma. Dit model is onderdeel van de modellenbank STREAM* in gebruik bij DHV Water;
- SedTank van R.W. Samstag.
Een 1-D model. De routine is tevens een onderdeel van het eenvoudige rwzi-model TREAT, dat gratis ter beschikking is gesteld.

3.3 Conclusies op basis van literatuurscan en enquête

1. Het onderzoek aan nabezinktanks kan onderverdeeld worden in een drietal hoofdlijnen:
 - 1a Numerieke simulatie van hydraulische aspecten van het proces, zoals dichtheidsstromen en geometrie, gecombineerd met onderzoek aan een laboratoriummodel.
 - 1b Pilot-plant onderzoek gebruik makend van actief-slib. Processen zoals flocculatie en slibindikking zijn moeilijk of niet te schalen. Het gebruik van een schaalmodel wordt daarom afgewezen (Dahl en Larsen, 1991).
 - 1c Onderzoek gericht op het functioneren van een nabezinktank als onderdeel van een rwzi als geheel. Modelparameters worden gekalibreerd (geoptimaliseerd) voor de simulatie van een specifieke rwzi.

De keuze voor een van de drie hoofdlijnen van onderzoek hangt sterk af van het vertrouwen dat men heeft om naast stromingen veroorzaakt door dichtheidsverschillen ook de variabele eigenschappen van actief-slib te kunnen modelleren (bezinking, flocculatie, indikking eventueel aangevuld met de reologisch eigenschappen). Een exacte modellering van dit complexe proces hoeft op korte termijn niet te worden nagestreefd. Om de ontwerprichtlijnen te kunnen verbeteren zou in eerste instantie volstaan kunnen worden met een significante verbetering van de modellering ten opzichte van de huidige evenwichtsbeschouwing voor de slibseparatie en het -indikingsproces.
2. Een deelstudie is nodig om het literatuuroverzicht van fase 1 van dit onderzoek bij te werken aan de hand van de verzamelde nieuwe publikaties.
3. Voor de numerieke simulatie van het nabezinkproces bestaat wetenschappelijke belangstelling.
4. Aan de experimentele verificatie wordt minder aandacht besteed. Wel worden modelparameters in-situ geoptimaliseerd, maar dat is niet hetzelfde.
5. 2-D numerieke modellen voor de simulatie van nabezinktanks inclusief dichtheidsstromen en bezinking zijn beschikbaar.

Op basis van de literatuur en de enquête wordt geconcludeerd dat voor de 2^e fase van het onderzoek er twee interessante ontwikkelingen zijn: geavanceerd numeriek-onderzoek en een meer pragmatische aanpak.

Voor geavanceerd numeriek onderzoek zijn er de volgende mogelijkheden:

1. project starten met de groep rond Rodi (Krebs, Stamou);
2. samenwerken met McCorquodale, of zijn programma toepassen.

Voor een meer pragmatische aanpak kan gekozen worden voor:

3. samenwerken met Dahl en Larsen, of hun methode toepassen.

Op basis van de literatuurscan en de respons op de enquête is besloten de groep van Prof. W. Rodi in Karlsruhe (Duitsland) te benaderen voor een oriënterend bezoek. Door overleg en medewerking van Dr. P. Krebs kon bij een bezoek op 17 december 1993 ook Dr. A.I. Stamou aanwezig zijn. Stamou (NTUA, Griekenland) is deskundig op het gebied van numerieke berekeningsmethoden. Een verslag van dit bezoek is opgenomen in bijlage 4.

Het bezoek samenvattend kan worden gesteld dat er zich een goede gelegenheid voordoet om gezamenlijk een hulpmiddel (computermodel) voor het ontwerp van nabezinktanks te ontwikkelen. De voordelen van een mogelijke samenwerking zijn:

- Rodi is een internationaal erkende autoriteit op het gebied van numerieke modellering van waterstromingen. Diverse numerieke problemen bij de simulatie van stromingen in een nabezinktank zijn onderkend en grotendeels opgelost.
- Rodi waarborgt de continuïteit van zijn onderzoeksgroep zodat een goede kennisoverdracht plaats vindt (resultaten worden gepubliceerd, begeleiding (korte inwerkperiode), onderhoud contacten met ex-medewerkers).
- Experimentele verificatie van de resultaten van de numerieke modellering is mogelijk met behulp van een laboratoriummodel.
- Goede computerfaciliteiten aanwezig: voor het gebruik van de vectorcomputer worden voor onderzoeksprojecten geen kosten doorberekend. Computerprogramma kan beschikbaar gesteld worden aan een niet commerciële partner als onderdeel van een samenwerkingsproject.
- Van de kant van de STOWA kan kennis voor een toepassing worden ingebracht; engineering, karakterisering van actief-slib en praktijkervaringen. Aandacht dient te worden gegeven aan de nederlandse praktijksituatie met (relatief) ondiepe ronde nabezinktanks.

Een bezoek aan Prof. J.A. McCorquodale in Windsor (Canada) is overwogen. Door de verstrekte informatie en het toezenden van een demo-versie van zijn programmatuur werd een bezoek in dit stadium van het onderzoek niet nodig geacht.

Hij is geïnteresseerd in een vorm van samenwerking. Er kunnen meerdere (gecompileerde) custom made versies ter beschikking worden gesteld. De source code van het programma is niet te koop en zal ook niet ter beschikking worden gesteld. Zijn assistent Dr. S.P. Zhou zou voor ongeveer een maand naar Nederland kunnen komen om de gewenste modificaties aan te brengen en om de gebruiker(s) in te werken.

Mogelijk leidt deze werkwijze tot problemen, omdat niet over de source code beschikt kan worden. Bij aanpassingen van de modellering gedurende het project (inbouwen slibeigenschappen) zijn de kosten en gewenste doorlooptijd moeilijker in de hand te houden, zeker als er numerieke problemen ontstaan.

Wij krijgen de indruk dat McCorquodale numeriek minder geavanceerde methoden toepast dan Rodi. Dit onder meer omdat er nu pas een niet-orthogonale grid generator in zijn model blijkt te worden ingebouwd. Zijn programma is al wel voorzien van een gebruikersvriendelijke pre- en post-processing.

Op basis van de literatuur en de enquête wordt geconcludeerd dat voor de 2^e fase van het onderzoek er twee interessante ontwikkelingen zijn: geavanceerd numeriek-onderzoek en een meer pragmatische aanpak.

Voor geavanceerd numeriek-onderzoek zijn er de volgende mogelijkheden:

- (1). project starten met de groep rond Rodi (Krebs, Stamou);
- (2). samenwerken met McCorquodale.

Voor een meer pragmatische aanpak kan gekozen worden uit:

- (3). programma McCorquodale toepassen;
Het beschikbaar stellen van de source code is een probleem; wel kunnen verschillende custom-made versies van het programma beschikbaar gesteld worden. Voor ons doel is deze werkwijze niet ideaal.
- (4). samenwerken met Dahl en Larsen, of hun methode toepassen.

Het verder ontwikkelen van het PHOENICS-programma (fase 1) wordt gezien als een minder aantrekkelijke mogelijkheid. De robuustheid van het pakket, dat gebruik maakt van standaard numerieke methoden, gaat ten koste van de nauwkeurigheid van de resultaten. Diverse numerieke problemen bij de simulatie van stromingen in een nabezinktank zijn in de literatuur onderkend en grotendeels opgelost. Het gebruik van standaard methoden is niet aan te bevelen. Het in eigen beheer ontwikkelen van een vergelijkbaar numeriek model zal de nodige tijd en deskundigheid vergen en daardoor kostbaar zijn. Aanbevolen wordt om een van de beschikbare computerprogramma's te gebruiken.

Voor de invulling van fase 2 van het onderzoek worden twee alternatieven in hoofdlijnen aangegeven. De voorkeur wordt gegeven aan een combinatie van numerieke modellering en experimenteel onderzoek ter verificatie van de resultaten van de modelberekeningen.

Alternatief 1

Samenwerken met Rodi (1). Resultaten met het huidige model zijn te verwachten na 1 jaar. Resultaten met een verder ontwikkeld model zijn op een termijn van ongeveer 3 jaar te verwachten.

1^e fase:

1^e jaar

- inwerkperiode (literatuurstudie)
- gevoeligheidsanalyse met het huidige model uitvoeren
- verdere ontwikkeling numeriek model
- ontwikkelen laboratoriummodel van ronde nabezinktank en meetopstellingen om de model parameters te meten (o.a. eigenschappen van het actief-slib)

2^e jaar

- verificatie modelberekeningen

2^e fase:

3^e jaar

- testen/aanpassen programma voor ontwerp doeleinden
- verificatie aan de hand van een full-scale proef.

Bij deze tijdsplanning is er vanuit gegaan dat er twee wetenschappers werken aan het probleem. Het numerieke model wordt verder ontwikkeld door de wetenschappelijk medewerkster in Karlsruhe. De tweede medewerker zou na een inwerkperiode kunnen beginnen met een gevoeligheidsanalyse met behulp van het huidige model.

Alternatief 2

Het model van McCorquodale kopen (3) en gelijktijdig experimenteel onderzoek starten op pilot-plant schaal door samen te werken met Dahl en Larsen (4) of hun methode toe te passen. Resultaten van de model berekeningen zijn binnen een jaar te verwachten. De termijn waarop resultaten verwacht mogen worden van onderzoeken aan pilot-plants is niet bekend (geschatte termijn 2-3 jaar). Van Dahl en Larsen (4) is bovendien niet bekend of zij bereid zijn met de STOWA samen te werken.

Beide alternatieven kunnen worden geschat op het aangaan van een verplichting voor een periode van 3-4 jaar. Het totale bedrag dat hiermee gemoeid zal zijn bedraagt ongeveer 500.000,- HFL. Dit bedrag is een ruwe schatting en geeft alleen de ordegrootte aan om de gedachten te bepalen. Hierbij is geen rekening gehouden met subsidie mogelijkheden voor een internationaal project (b.v. EG-subsidie).

Alternatief 1 lijkt de beste investering op de langere termijn te zijn. Door te participeren in vooraanstaand onderzoek krijgen we de beschikking over een geavanceerde numeriek model en wordt bij de verdere ontwikkeling van dit model 'automatisch' rekening gehouden met de simulatie van ronde nabezinktanks voor de nederlandse praktijksituatie.

De participatie van zowel de TU-Delft als DHV Water dient in nader overleg te worden uitgewerkt.

TU-Delft

Participatie van de TU-Delft is gewenst bij de wetenschappelijke begeleiding en de uitwisseling van data en programmatuur op niet commerciële basis.

DHV Water

Participatie van DHV Water kan bestaan uit de projectbegeleiding (financieel en organisatorisch) en een bijdrage aan de vertaling van theorie naar praktijk.

- Billmeier, E., 1992. Dimensioning of final settling tanks of large activated sludge plants for high quality effluent, *Wat. Sci. Tech.* 25(4-5): 23-33.
- Koot, A.C.J., 1980. *Behandeling van afvalwater*. Waltman, Delft: 393 pp.
- STORA, 1981. *Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces*:
- 1 *Literatuur*, 64 pp;
 - 2 *Ronde nabezinktanks (Ontwerpgegevens en bedrijfservaring)*, 85 pp; (Ruimer- en inloopconstructies) 85 pp;
 - 3 *Rechthoekige nabezinktanks (Inventarisatie en praktijkonderzoek)*, 109 pp; Rijswijk.
- STOWA, 1992. *Optimalisering van grote nabezinktanks, Literatuurstudie modellen*. STOWA 92-13: 35 pp.
- STOWA, 1992. *Optimalisering van grote nabezinktanks, Modelleren van de fysische processen*. STOWA 92-14: 51 pp.
- STOWA, 1993. *Optimalisering van grote nabezinktanks, Bedrijfservaringen en literatuur*. STOWA 93-18: 54 pp.
- STOWA, 1993. *Optimalisering van grote nabezinktanks, Metingen aan ruimer en deflectieschot*. STOWA 93-19: 71 pp.

BIJLAGE 1
LITERATUURLIJST

Literatuurstudie modellen (fase 1):

Meest interessante referenties van voor 1990 zijn:

- DeVantier, B.A., and B.E. Larock, 1987. Modeling Sediment-Induced Density Currents in Sedimentation Basins, *J. Hydraulic Engineering* 113(1): 80-94.
- McCorquodale, J.A., A.M. Moursi and I.S. El-Sebakhy, 1988. Experimental Study of Flow in Settling Tanks, *J. Environ. Engineering* 114(5): 1160-1174.

Vanaf 1990:

- Adams, E.W., and W. Rodi, 1990. Modelling flow and mixing in sedimentation tanks, *Journal of Hydraulic Engineering* 116(7): 895-913.
- Botsch, B., 1990. Circular settling tanks with sludge scrapers: effect of the number of scrapers on the flow and separation performance (model circulation), *Korrespondenz Abwasser* 37(7): 770-777.
- Guetter, A.K., and S.C. Jain, 1991. Analytical Solution for Density Currents in Settling Basins, *J. Hydraulic Engineering* 117(3): 324-345.
- Krebs, P., 1991. The hydraulics of final settling tanks. *Water Science and Technology* 23(4/6): 1037-1046.
- Lyn, D.A., and W. Rodi, 1990. Turbulence measurements in model settling tank. *Journal of Hydraulic Engineering* 116(1): 3-21.
- Lyn, D.A., A.I. Stamou and W. Rodi, 1992. Density currents and shear-induced flocculation in sedimentation tanks. *Trans. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering* 118(6): 849-867.

Nieuwe referenties vooronderzoek fase 2:

- Billmeier, E., 1992. Dimensioning of final settling tanks of large activated sludge plants for high quality effluent, *Wat. Sci. Tech.* 25(4-5): 23-33.
- Bretscher, U., P. Krebs and W.A. Hager, 1992. Improvement of flow in final settling tanks, *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, 118(3): 307-321.
- Catunda, P.F.C., and A.C. Haandel, 1992. Activated sludge settling Part I: Experimental determination of activated sludge settleability, *Water SA* 18(3): 165-172.
- Dahl, C., T. Larsen and O. Petersen, 1991. Development of a numerical model for secondary clarifiers, *Proc. 24th Congress IAHR, Madrid, Vol. C: 163-170.*
- Dahl, C., T. Larsen and O. Petersen, 1994. Numerical modelling and Measurement in a Test Secondary Settling Tank, *Congress IAWQ, Budapest.*
- Felder, A., 1993. Untersuchungen zum Coanda-Effect - mögliche Anwendung im Bauingenieurwesen, *Hydraulik und Gewässerkunde Mitteilung Nr. 55, Technische Universität München*, 88 pp.
- Freund, M., R. Otterpohl and M. Dohmann, 1993. Dynamische mathematische Modelle von Nachklärbecken - Übersicht und Vergleich, *Korrespondenz Abwasser* 40(5): 738-746.
- Guetter, A.K., S.C. Jain, 1990. Sediment induced density currents in rectangular settling basins, *Proc. Int. Conference on Physical Modeling of Transport and Dispersion*, E.E. Adams and G.E. Hecker (Eds.), Massachusetts Inst. of Tech.: 9A25-9A30.
- Haandel, A.C. van, 1992. Activated sludge settling part II: settling theory and application to design and optimization, *Water SA* 18(3): 173-180.
- Härtel, L., 1990. Modelling of combined sewage discharges from sewage treatment plants with respect to the final settling stage, *Korrespondenz Abwasser* 37(8): 882 and 884-888.
- Härtel, L., and J.H. Pöpel, 1992. A dynamic secondary clarifier model including processes of sludge thickening, *Water Science and Technology* 25(6): 267-284.
- Krebs, P., D. Vischer and W. Gujer, 1992. Improvement of secondary clarifiers efficiency by porous walls. *Wat. Sci. Tech.* 26: 1147-1156.
- Krebs, P., 1993. Strömungsbeeinflussung in Nachklärbecken. *GWA* 73(11): 894-906.
- Lessard, P., and M.B. Beck, 1991. *Dynamic modelling of wastewater treatment processes. its current status*, *Environmental Science & Technology* 25(1): 30-39.

- Lowe, S.A., and M. Sivakumar, 1991. A penalty finite difference model for Navier-Stokes flow problem in sedimentation basins. *Advances in Water Resources* 14(6): 318-322.
- Lumley, D.J. and P. Balmer, 1991. Solids transport in rectangular secondary settlers. *Water Supply* 9(1): 123-132.
- McCorquodale, J.A., E.M. Yuen, Z. Vitasovic and R.W. Samstag, 1991. Numerical simulation of unsteady conditions in clarifiers. *Water Pollution Research Journal of Canada* 26(2): 201-222.
- McCorquodale, J.A., and S. Zhou, 1993. Effects of hydraulic and solids loading on clarifier performance. *J. Hydraulic Res.* 31(4): 461-478.
- Moreno, O., R. Leduc and R. Gehr, 1991. A computerized algorithm for the design and analysis of step-feed activated sludge/sedimentation systems. *Water Pollution Research Journal of Canada* 26(2): 223-241.
- Otterpohl, R., and M. Freund, 1992. Dynamic models for clarifiers of activated sludge plants with dry and wet weather flows. *Water Science and Technology* 26(5/6): 1391-1400.
- Patry, G.G., and I. Takács, 1992. Settling of Flocculent Suspensions in Secondary Clarifiers. *Wat. Res.* 26(4): 473-479.
- Samstag, R.W., and D.F. Dittmar, Z. Vitasovic and J.A. McCorquodale, 1992. Underflow geometry in secondary sedimentation, *Water Environment Research* 64(3): 204-212.
- Stamou, A.I., 1991. On the prediction of flow and mixing in settling tanks using a curvature-modified $k-\epsilon$ model. *Applied Mathematical Modelling* 15(7): 351-358.
- Stamou, A.I., and G. Noutsopoulos, 1994. Evaluating the Effect of Inlet Arrangement in Settling Tanks Using the Hydraulic Efficiency Diagram, *Journal of Water SA*.
- Stamou, A.I., (accepted). Discussion of "Modelling of Rectangular Settling Tanks", *Trans. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*.
- Szalai, L., P. Krebs and W. Rodi, 1994. Simulation of Flow in Circular Clarifiers with and without Swirl, *J. Hydr Engrg., ASCE*, 120(1): 4-21.
- Takács, I., G.G. Patry and D. Nolasco, 1991. A dynamic model of the clarification-thickening process. *Water Research* 25(10): 1263-1271.
- Zhou, S., J.A. McCorquodale and Z. Vitasovic, 1992. Influences of Density on Circular Clarifiers with Baffles, *J. Environmental Engineering* 118(6): 829-847.
- Zhou, S., and J.A. McCorquodale, 1992. Influence of Skirt Radius on Performance of Circular Clarifier with Density Stratification, *Int. J. for Numerical Methods in Fluids* 14: 919-934.

BIJLAGE 2

ENQUÊTE MET BEGELEIDENDE BRIEF

DHV Water BV
Laan 1914, no. 35
P.O. Box 484
3800 AL Amersfoort
The Netherlands
Telephone +31 - 33682200
Telefax +31 - 33682301

Amersfoort, 20 October 1993

our ref. WCW/JKr/SG/WT-493
file H8179-01-700
Modelling Flows in Sedimentation Tanks

Dear ,

We like to express our interest in your work on modelling flows in sedimentation tanks.

We are interested because we are involved in a study to optimize the efficiency of circular clarifiers in the Netherlands. The study was commissioned in 1989 by the Foundation for Applied Water Research, STOWA, an institution that acts on behalf of the Dutch Water Authorities. The STOWA institution is continuously looking for measures to comply with the stringent effluent standards in our country. Improving the efficiency of secondary clarifiers may be one of these measures. Processes taking place in circular sedimentation tanks should be investigated in both theory and practice. Numerical simulations can be used to predict the effects of modifications to upgrade the performance of existing tanks and to develop new guidelines for clarifier design.

In 1981 STOWA (formerly STORA) published guidelines for the design of circular secondary sedimentation tanks with a diameter of up to 45 m. These guidelines have not proved to be reliable under all circumstances and for all tanks larger than 45 m diameter.

The present study is being carried out by DHV Water BV in close co-operation with the Delft University of Technology. Our company, DHV Water BV, verified design parameters and investigated the effects of baffles and the sludge scraper on the performance of clarifiers in practice. The Delft University of Technology made a literature study and simulated single phase flow with the program PHOENICS. Also measurements on a physical scale model have been carried out. This way we try to link mathematical and physical modelling with practice.



Currently we are having a discussion on the possible next stages of the study. Because density currents need to be implemented in the mathematical model we decided to investigate existing knowledge on this subject by making an update of the literature study followed by an inquiry.

The literature study showed that you have been working on a model of the flow in sedimentation tanks. In order to get a good view at the research programs being carried out and the current state of mathematical models, we would appreciate it if you returned the enclosed questionnaire. Based on the results of the inquiry we will investigate the possibilities of co-operation with institutions abroad.

Please, fill in the enclosed questionnaire. We would appreciate hearing from you at short notice. Forms returned before 15 November 1993 will be used to advise the STOWA on the next stage of the study. Please, contact us by telephone (+31-33682251) or telefax (+31-33682301) if any questions remain.

Yours sincerely,
DHV Water BV

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'W.C. Witvoet'.

(dr. W.C. Witvoet -
project director)

Enclosed:
- questionnaire

References

- STORA, 1981. Hydraulic and Technological Aspects of the Secondary Sedimentation Process,
1: Literature, 64 pp;
2: Circular Secondary Sedimentation Tanks (Design Parameters and Operation Experiences), 85 pp; (Inlet and Sludge Scraper) 85 pp;
3: Rectangular Secondary Sedimentation Tanks (Inventory and Field Survey), 109 pp;
Rijswijk, The Netherlands (Reports in Dutch).
- STOWA, 1992 Optimization of Large Secondary Sedimentation Tanks: Literature Survey of Mathematical Models, STOWA 92-13. 35 pp (Report in Dutch).
- STOWA, 1992 Optimization of Large Secondary Sedimentation Tanks: Modelling Physical Processes, STOWA 92-14. 51 pp (Report in Dutch).
- STOWA, 1993 (in press). Optimization of Large Secondary Sedimentation Tanks: Operation Experiences and Literature Survey (Report in Dutch).
- STOWA, 1993 (in press). Optimization of Large Secondary Sedimentation Tanks: Verification Measurements; Effects Owing to the Inlet Baffle and Height and Speed of the Sludge Scraper. (Report in Dutch).

Modelling Flows in Sedimentation Tanks

The purpose of this questionnaire is to make inquiries on the present state of the art concerning modelling flows in sedimentation tanks. The inquiry is part of a study commissioned in 1989 by the Foundation for Applied Water Research, STOWA, an institution that acts on behalf of the Dutch Water Authorities.

The inquiry consist of three parts: general information (A), the numerical model (B) and the physical scale model (C). Please fill in the relevant parts of the questionnaire. Feel free to supply the information asked for in a convenient way; enclose your visiting-card, a reprint or a drawing of the physical model. Please refer to such enclosures in the answer to the question and list all enclosures at the end of this form or in a covering letter.

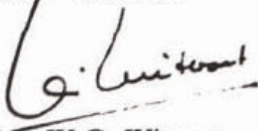
Return the questionnaire to:

DHV Water BV
mr. J. Krijgsman
P.O. Box 484
3800 AL Amersfoort
The Netherlands.

Telephone +31-33682251
Telefax +31-33682301

We thank you in advance for taking the time to reply.

Yours sincerely,
DHV Water BV



(dr. W.C. Witvoet -
project director)

A General Information

**A1. Please give an update of your address
(or enclose your visiting-card).**

Name :
Address :
Zip-Code :
Country :
Telephone :
Telefax :

A2. Please list your publications on sedimentation tanks since 1990.

**A3. Are you currently involved in research on the flow in sedimentation tanks?
Please give a short description of the project and list institutions involved.**

A4. Is the numerical model available for external use?

Free available / Available for scientific use / Licence for rent / Copies for sale

Not available

Comments:

A5. Is the physical model available for external use?

Available for external use / In use / Not available for external use
 Out of order / Dismantled

Comments:

B Numerical Model

B1. Description of numerical model.

Name :
 Version :
 Last update :
 Description :

What kind of user skill is needed to run the computerprogram?

Expert User / Skilled Users / Student (Proof)

Is a users guide available?

Program language : FORTRAN / C /
 or program package : PHOENICS / FLUENT /
 Option not specified :

Hardware requirements, specify type(s) of computer in use:

Personal computer : MSDOS PC: 386DX /
 OS/2 PC: 486DX /
 Apple PC:
 Workstation : SUN :
 VAX :
 Mainframe : IBM :
 Supercomputer : CRAY:

Please give typical computation values.

Computation time	:	
Size of the mesh	:	(number of grid points)
Number of iterations	:	
Number of time steps	:	

B2. Basic equations of the model.

Dimension of the model	:	One / Two / Three
Flow pattern	:	Steady state / Dynamic flow
Continuity equation applied to	:	Water / Sediments / Both
Navier-Stokes equations	:	Yes / No
Turbulence model	:	Constant ν_t model $k-\epsilon$ model Other:
Sedimentation model	:	Solid Flux Model Discrete sedimentation Flocculent sedimentation Hindered sedimentation Compression sedimentation
		Comments:

What kind of settling velocity distribution is used:

B3. Are effects owing to density currents incorporated in the model?

Are these effects accounted for in the turbulence model or in the average equations?

Is sedimentation computed using coupled equations?

B4. Numerical methods.

Cylindrical / Cartesian coordinates
 Finite differences / Finite elements
 TEACH-method / Hybrid scheme / QUICK scheme

Comments:

B5. Limitations:

Are wind induced currents included in the model?

Is the sludge scraper included in the model?

Is the height of the sludge zone fixed or is it inferred from the computations?

C Physical Model

C1. What type of physical model is used?

Rectangular tank / Circular tank
 Centre feed / Peripheral feed
 Complete model / Partial model / Sector model of .. degrees

Scale of the model :

Which scaling rule is applied to determine the dimensions of the physical model?

C2. Dimensions of the scale model.

Surface area	:	
Side water depth	:	
Sludge blanket depth	:	(min.; max)
Bottom slope	:	

Inlet construction :
 Sludge collection device : Scraper / Hydraulic Suction / Not available
 Baffles : Fixed / Optional / Not included

Please describe other structural details or enclose drawing of the physical model.

C3. Please, specify (typical range of) design parameters and include units in use.

Influent discharge :
 Hydraulic detention time :
 Surface loading :
 Weir loading rate :
 Underflow :
 Direction of the underflow : Counter-current / Uniform / Co-current
 Return activated sludge ratio :
 Recycle flow rate :
 Recycle ratio :

Model Sludge:

Material of suspended matter : Clay / Ferrite Floc / Cultivated active sludge /
 Settling characteristics : Discrete / Flocculent
 Compaction characteristics : Not measured
 Sludge Volume Index (SVI)
 Stirred Sludge Volume Index (SSVI)

Suspended solids concentration:

Influent :
 Effluent :
 Percent removal :

 Comments :

C4. What kind of experimental methods are used?

Velocity measurements : Yes / No
 Ultrasound
 Laser Doppler Anemometry
 Electro Magnetic Current
 Option not specified:

 Detention time : Yes / No
 Flow-Through Curve

 Concentration measurements : Yes / No
 Ultrasound
 Turbidity

 Sedimentation velocity distribution :

Comments:

Enclosures:

BIJLAGE 3

OVERZICHT REACTIES OP DE ENQUÊTE

Naam	Land	Lopend onderzoek	Numeriek model	2 fasen stromen	Bezinking	Fysisch model	Opmerkingen
DeVantier, B.A.	USA	Nee, wel interesse	CIRSED, moet herschreven worden	ja	constante snelheid	n.v.t.	Bezoekt Europa in 1994
Härtel, L. Pöpel, J.H.	D	verbetering bezink-tank-routine in rwzi-programma	nog niet beschikbaar	nee		n.v.t.	
Larsen, T.	DK	ja	2-D model geprogrammeerd met PHOENICS, deskundig gebruiker, 3-D in ontwikkeling	ja		'testtank' (12 m ² bij 1 m diep) om numeriek model te kalibreren - buitengebruik gesteld	eigenschappen actief-slib moeilijk schaalbaar, geen schaalmodel gebruiken
Lowe, S.	USA	M.i.v. 1994 weer geïnteresseerd door verandering van werkgever.		-	discrete / flocculente bezinking	model in windtunnel	Proefschrift opvraagbaar
McCorquodale, J.A. Zhou, S.	CAN	2 projecten	2-D model licentie (PC/SUN) demo op aanvraag	ja		model toegepast op ronde nabezinktanks	Veel publikaties. Zowel numeriek als fysisch model
Otterpohl, R. Freund, M.	D	nee	1-D model, onderdeel van de STREAM [®] -modellen-bank	nee	laagjes model		in gebruik bij DHV Water
Rodi, W. Krebs, P.	D	verdere ontwikkeling en toepassing van het model	2-D model beschikbaar voor onderzoeksdoeleinden	ja		- schaalmodel (Krebs 1994) - zie Vischer of Stamou	Voorstel om samen te werken.
Takács, I.	USA	on-line besturing van rwzi's en simulaties	licentie of eigendom (Hydromantis Inc.)	-	laagjes model	n.v.t: rwzi's	Demo gratis opvraagbaar

Naam	Land	Lopend onderzoek	Numeriek model	2 fasen stromen	Bezinking	Fysisch model	Opmerkingen
Samstag, R.W.	CAN	model verbeteringen, diverse praktijk tests	1-D model IDSED, 2-D model TANKXZ	nee	laagjes model		SedTank en Treat modellen ontvangen, 'sludge settling rate is more important than tank hydraulics'
Stamou, A.I.	GR	Flow-Through Curves laboratorium experimenten	2-D model TEACH-SET deskundig gebruiker PC-versie beschikbaar	ja		- Karlsruhe (zie Rodi) - NTUA-Griekenland: 1890 bij 395 mm, 65 mm diep.	Veel publikaties, is bekend met numerieke problemen. Er zou een 3-D, 2-fasen model moeten worden ontwikkeld.
Vischer, D.	CH	pilot-plant	voor modellering zie Krebs	-	-	rechthoekige 'testtank' 15 bij 1 m en 2-3 m diep	Contact opnemen met Mr. P. Baumer

BIJLAGE 4

BEZOEK AAN W. RODI, P. KREBS EN A.I. STAMOU

1 Inleiding

Op 17 december is door dr.ir. C. Kranenburg (TU-Delft) en ir. J. Krijgsman (DHV Water) een bezoek gebracht aan prof.dr. W. Rodi (Karlsruhe). Bij deze ontmoeting waren ook dr. P. Krebs (Karlsruhe) en dr. A.I. Stamou (Nat. Tech. Univ. of Athens: NTUA) aanwezig. De ontmoeting vond plaats op het Institut für Hydromechanik van de Technische Universiteit Karlsruhe. Het doel van het bezoek was om kennis te maken, inzichten uit te wisselen en ons wederzijds te oriënteren op een mogelijke samenwerking.

1.1 Algemeen

Krijgsman

De STOWA is geïnteresseerd in een computerprogramma voor de simulatie van ronde nabezink-tanks. Een dergelijk programma kan gebruikt worden bij het opstellen van richtlijnen om te beoordelen of een ontwerp voldoet aan de gestelde eisen. Deze eisen (voor onder meer de concentratie zwevend stof in het effluent) zijn afhankelijk van de normen voor de te bereiken water-kwaliteit van het ontvangende water.

Door simulatie moet kunnen worden beoordeeld welke ontwerpmaatregelen effectief zijn, zodat alleen veel belovende alternatieven in de praktijk (of in een schaalmodel) behoeven te worden getest.

Rodi

Het ontwikkelen van een betrouwbaar numeriek model kan slechts plaats vinden als de uitkomsten door experimenteel onderzoek geverifieerd kunnen worden; uitsluitend desk-research wordt afgewezen. Bij voorkeur vindt het onderzoek in Karlsruhe plaats, zodat er een directe koppeling is tussen de modellering en de experimentele verificatie.

1.2 Numeriek model

Met het in Karlsruhe beschikbare 2-D model voor 2-fasen stromingen met bezinking kan het stromingspatroon in een (rechthoekige) nabezinktank worden berekend. Numerieke wiskundige problemen lijken te zijn opgelost. Men vraagt zich af welke verdere ontwikkelingen er nog nodig zijn om te komen tot een model dat geschikt is voor ontwerpdoeleinden.

Tijdens de discussie kwamen diverse onderwerpen aan de orde. De onderstaande lijst met onderwerpen dient indien nodig te worden aangevuld en te worden gerangschikt op volgorde van prioriteit, zodat bepaald kan worden welke verbeteringen moeten worden meegenomen om te komen tot een betrouwbaar numeriek model. De mogelijke verbeteringen zijn gegeven in een volgorde van een inschatting van de prioriteit. Deze schatting is subjectief; een nadere afweging van de prioriteiten kan gewenst zijn.

Lijst met onderwerpen.

- 1- Bezinking.
Modellering bezinkingseigenschappen van actief-slib.
- 2- Dynamische belasting.
Slibbuffering en slibverlies bij overgang van DWA naar RWA.
- 3- 3-D modellering (gecompliceerde geometrie, details instroomconstructie e.d.).
Verwacht wordt dat de trend naar goedkope rekenkracht binnen enkele jaren resulteert in workstations die weinig problemen hebben met 3-D berekeningen.
- 4- Flocculatie.
Snelheden en turbulentie zijn nu te berekenen; is er een bijpassend flocculatie model?

- 5- Effect van wind op het stromingspatroon.
- 6- Slibruiming: effecten slibruimingsconstructie.
- 7- Denitrificatie.
Op plaatsen met een lange verblijftijd kan door denitrificatie licht-slib ontstaan.

Het model zou in eerste instantie nog aangepast of verbeterd kunnen worden op de punten 1, 2 en 3 voor de goede simulatie van een ronde nabezinktank met deflectieschotten.

1.3 Fysisch model

Het laboratoriummodel dat ter verificatie van de modelberekeningen wordt gebruikt was tijdens het bezoek niet in bedrijf. Krebs *et al.* (1994) geven een beschrijving van de geometrie van deze rechthoekige proefopstelling.

Er wordt een kleine \varnothing 5 mm electro-magnetische snelheidsmeter gebruikt. Er is onderzoek gedaan aan een modelsuspensie van glasbolletjes van 10-40 μ m diameter. Het meten van de concentratie levert experimentele problemen op: door de optredende bezinking verandert de deeltjesgrootte verdeling waardoor de gemeten lichtverzwakking niet meer evenredig is met de concentratie.

Volgens Krijgsman is dit te verwachten bij deeltjes die niet uniform van grootte zijn. Hij zal zijn kennis op het gebied van lichtverstrooiing door deeltjes inbrengen zodat gecorrigeerd kan worden voor de optredende effecten (kan onderdeel zijn van een mogelijk samenwerkingsproject).

1.4 Mogelijke samenwerking

Het doel van de samenwerking is een hulpmiddel (computermodel) voor het ontwerp van nabezinktanks te ontwikkelen. Voordelen van een mogelijke samenwerking zijn:

- Rodi is een internationaal erkende autoriteit op het gebied van numerieke modellering van *waterstromingen*. Diverse numerieke problemen bij de simulatie van stromingen in een nabezinktank zijn onderkend en grotendeels opgelost.
- Rodi waarborgt de continuïteit van zijn onderzoeksgroep zodat een goede kennisoverdracht plaats vindt (resultaten worden gepubliceerd, begeleiding (korte inwerkperiode), onderhoud contacten met ex-medewerkers).
- Experimentele verificatie van numerieke modellering mogelijk met behulp van een laboratoriummodel.
- Goede computerfaciliteiten aanwezig: voor het gebruik van de vectorcomputer worden voor onderzoeksprojecten geen kosten doorberekend. Computerprogramma kan beschikbaar gesteld worden aan een niet commerciële partner als onderdeel van een samenwerkingsproject.
- Van de kant van de STOWA kan kennis voor een toepassing worden ingebracht; engineering, karakterisering van actief-slib en praktijkervaringen. Het model zal worden toegepast voor de simulatie van (relatief) ondiepe ronde nabezinktanks zoals die in Nederland worden toegepast.

Rodi heeft een projectvoorstel ingediend bij de Volkswagen Foundation om het numerieke model te verbeteren voor praktisch toepassingen o.a. gedetailleerde geometrie en het dynamische gedrag. Medio maart 1994 wordt besloten of dit voorstel wordt geaccepteerd. De wetenschappelijk medewerkster die dit werk zal gaan uitvoeren is al aangetrokken. Zij zal worden ingewerkt door Krebs, die met ingang van 1 januari 1994 werkzaam is bij EAWAG in Zwitserland. De voorkeur gaat uit naar een vorm van samenwerking waarbij een tweede wetenschappelijk medewerker wordt aange-trokken die werkzaam zal zijn in Karlsruhe, een post-doc. heeft de voorkeur boven een Ph.D.-student.

Indicaties van de jaarlijkse kosten:

post-doc.	100.000 DM
Ph.D.-student	85.000 DM
technicus	60.000 DM of meer

De jaarlijkse kosten zijn vergelijkbaar met die in Nederland. Voor de duur van het project worden de kosten voor het experimentele onderzoek geschat op 30.000-50.000 DM.

De kosten voor laboratoriumonderzoek in Griekenland aan een ronde nabezinktank worden door Dr. Stamou geschat op ongeveer 100.000 DM voor 2 jaar, inclusief arbeidsloon en begeleiding. De ontwikkeling van het numerieke model vindt plaats in Karlsruhe.

