



Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

# Tank to Tank system

Ballastvand behandlings system for mindre skibe

Juni 2014.

**Titel: Tank to Tank system,**

**Projektgruppe & redaktion:**

Bawat A/S  
Lejrvej 25  
DK-3500, Værløse

Ved,  
Jan S. Hummer, Projekt leder,  
Ole L. Christensen,  
Kim Diederichsen.

**Udgiver:**

Naturstyrelsen  
Haraldsgade 53  
DK-2100, København Ø

ISBN nr. **978-87-7091-588-5**

**År:**

Maj 2014

**Ansvarsfraskrivelse:**

Naturstyrelsen offentliggør rapporter inden for vandteknologi, medfinansieret af Miljøministeriet. Offentliggørelsen betyder, at Naturstyrelsen finder indholdet af væsentlig betydning for en bredere kreds. Naturstyrelsen deler dog ikke nødvendigvis de synspunkter, der kommer til udtryk i rapporterne.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammenfatning</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Indledning</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Rapport</b> .....	<b>9</b>
<b>3. Konklusion</b> .....	<b>12</b>
<b>Litteratur</b> .....	<b>13</b>
<b>Bilag</b> .....	<b>14</b>

# Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet ”Tank to Tank system, behandlings system for ballastvand for mindre skibe”, der er gennemført med tilskud fra Miljøministeriet, 2014.

Projektets reference er: Projekt Bawat T2T, J. Nr. NST-404-00195, Ref. RJE.

Projektgruppen har bestået af:

Jan S. Hummer,  
Ole L. Christensen,  
Kim Diederichsen

I følgegruppen har, udover projektgruppen, også følgende personer deltaget:

Ulrik Christian Berggreen, Naturstyrelsen,  
Peter Olsen, Rederiforeningen  
Per Juul Hansen, KU  
Clea Henrichsen, Søfartsstyrelsen.  
Alexander B. Kleiman, Danske Maritime

Projektet er blevet gennemført i perioden november 2013 til juni 2014.

# Sammenfatning

T2T projektet, som er beskrevet i denne rapport, vedrører muligheden for udvikling af et ballastvand behandlingssystem (BWTS) for mindre skibe. Systemets koncept forudsætter, at det er muligt at efterlade en tank tom efter at skibet er ballasteret og T2T systemet forventes at kunne gennemføre behandlingen hurtigere, billigere og ved mindre investering i udstyr end andre BWTS, inklusive Bawat A/S' allerede udviklede system, Bawat 1 systemet.

Resultaterne fra de gennemførte forsøg har været positive, og har på overbevisende måde bekræftet de hypoteser og antagelser, som var udgangspunktet for projektet.

Projektets hovedkonklusioner er:

1. Det vil det være muligt at udvikle et ballastvand behandlingssystem for mindre skibe baseret på det foreliggende koncept og at opnå IMO typegodkendelse af dette.
2. Der er behov for at gennemføre yderligere forskning på området 'pasteurisering af zooplankton og phytoplankton organismer'.

Resultaterne forventes nu at danne grundlag for en omfattende forsknings- og udviklingsproces, som vil slutte med en typegodkendelse af et BWTS på grundlag af de resultater, der er opnået i nærværende T2T projekt.

# Summary

The T2T project described in this report, concerns the possibility to develop a Ballast Water Treatment System (BWTS) for smaller ships. The system concept requires that one ballast water tank remains empty after ballasting and it is expected that the T2T system can perform the treatment faster, more economic and with lower equipment investments than other BWTS, including the system already developed by Bawat A/S, the Bawat 1 system.

The results from the tests performed have been positive and have convincingly confirmed the assumptions which were the basis for this project.

The main conclusions are:

1. It will be feasible to develop a ballast water treatment system for smaller ships based on the studied concept and to obtain an IMO type approval of such a system.
2. It is recommendable to further study the issue of 'pasteurization of zooplankton and phytoplankton'.

The results are expected to form the basis for a research and development project aiming ultimately in a type approval of the T2T system as a viable process for a competitive BWTS.

# 1. Indledning

T2T projektet skal ses i sammenhæng med Bawat A/S' igangværende arbejde med at få typegodkendelse for sit ballastvand behandlings system (BWTS) – Bawat 1 – som i vid udstrækning benytter samme teknologi som benyttes i indeværende Tank to Tank (T2T) projekt. Systemet består grundlæggende af en pumpe, en pasteuriserings enhed, og et dyse arrangement i de enkelte ballastvand tanke. (Se fig 1 nedenfor)

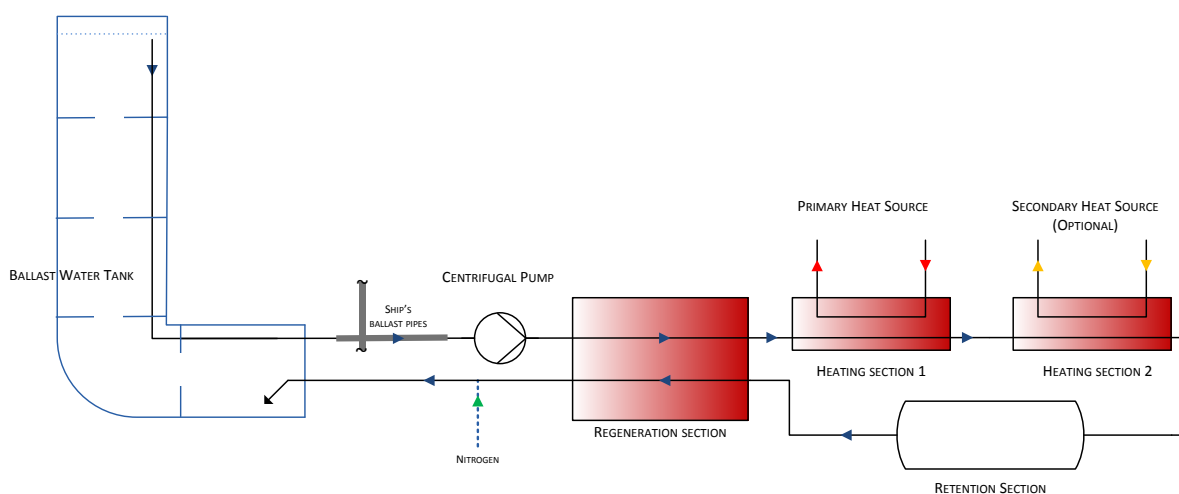


Fig. 1: Bawat 1 systemet – blok diagram.

I Bawat 1 systemet anvendes en behandlings teknologi, hvor ballastvandet udsættes for de-oxygenering og pasteurisering. Tankene behandles sekventielt en ad gangen (evt. parvis styrbord og bagbord), idet vandet pumpes gennem behandlingssystemet et forud bestemt antal gange, der anhangt af den enkelte tanks konstruktion og derfor kan variere fra tank til tank på det givne fartøj. Bawat 1 systemet dimensioneres således, at behandlingen kan færdiggøres indenfor den kortest forventede sejltid mellem losse- og lastehavneanløb. En behandlingstid vil typisk være af størrelsesordenen ca. to døgn – dvs. 48 - 50 timer.

Behandlingen kan gennemføres alene med varme udvundet fra hovedmotorens kølevand suppleret med varme udvundet af en economizer i hovedmotorens udstødningssystem. Begge dele kan betragtes som 'gratis' overskudsvarme.

Bawats kalkulationer viser, at Bawat 1 systemet vil være særdeles konkurrencedygtigt både fsa. anlægsomkostninger (CAPEX) som driftsomkostninger (OPEX) i mellemstore og store skibe. I mindre skibe vil CAPEX sammenlignet med konkurrerende systemer være uforholdsmæssigt høje.

I mindre skibe er det imidlertid således, at det næsten altid vil være muligt efter endt ballastning at kunne forlade lossehavnen med mindst én tom ballasttank. Dette åbner mulighed for kunne gennemføre ballast-

vandbehandlingen meget hurtigere, med meget enklere udstyr og med anvendelse af langt mindre energiforbrug – stadig med anvendelse af overskudsvarme - end hvis behandlingen udføres med Bawat 1 system. Dette opnås ved at pumpe ballastvandet fra en fuld ballasttank gennem behandlingssystemet til en tom tank. Dette kan gentages indtil alt ballastvand er behandlet, idet der i tankenes behandlingsrækkefølge skal tages behørigt hensyn til skibets trimforhold.

Konsekvensen af at gennemføre denne tank-til-tank (T2T) operation i stedet for en ”Bawat 1” operation er, at behandlingstiden - og dermed OPEX - kan reduceres betydeligt, idet vandet blot passerer behandlingsenheden én gang. Såfremt en længere behandlingstid kan accepteres kan alternativt behandlingskapaciteten - og dermed CAPEX – reduceres betydeligt. Bawats beregninger viser potentielle reduktioner af størrelsesordenen 50 – 60%, hvilket vil gøre et T2T system særdeles konkurrencedygtigt på det meget betydelige marked for ballastvandbehandlingssystemer til mindre fartøjer.

For at undersøge om T2T konceptet, som beskrevet ovenfor, er et operationelt realistisk koncept, besluttedes det at gennemføre et projekt, som omfattede litteratur studier, patentering og gennemførelse af forsøg i henholdsvis 1:10-skala. Hvis forsøgene i 1:10 målestok faldt positive ud, ville man efterfølgende udføre forsøg i fuld industriel målestok.

Til gennemførelse af dette projekt har Miljøministeriet/Naturstyrelsen velvilligt bidraget med støtte under Miljøministeriets program for Grøn Teknologi 2013. I denne sammenhæng refereres til Bawat A/S' ansøgning med vedhæftede ansøgnings skema af 28. august 2013, samt til Miljøministeriets tilsagnsskrivelse af 29.november 2013, mrk. J.nr. NST-404-00195 med ref. rje.



## 2. Rapport

Med reference til projekt ansøgningsskemaet og specifikt til punkt 3.7 ”Projektets aktiviteter og leverancer” er der allerede fremsendt en interim rapport til Naturstyrelsen (att.: Ulrik Chr. Berggreen) dateret 17. marts 2014, samt afholdt et styregruppe møde den 24. marts 2014. Kopi af interim rapporten og mødereferatet fra følgegruppemødet er vedhæftet nærværende rapport som hhv. Bilag 1 og Bilag 2.

Interim rapporten omfatter projekt aktiviteter til og med arbejdsplan 4. Aktiviteter i arbejdsplanerne 4a, 4b, 5, 6 og 7 beskrives herefter.

### **Arbejdsplan 4a: Fastlæggelse af analysemetodik for bakterier.**

Erfaringen fra tidligere gennemførte tests har været, at den analyse metode som DHI (Dansk Hydraulisk Institut) normalt anvender specifikt ved kvantificering af E. coli og enterokok bakteriekoncentrationer, som er de to bakterie typer, der i forbindelse med testning af BWTS (Ballastvand behandlings systemer) anvendes som reference bakterier, tilsyneladende ikke sikrer pålidelige og reproducerbare resultater, når vandet var blevet varmebehandlet. Hvilket sker i den i Bawat systemet anvendte pasteurisering.

I drøftelser med DHI blev man derfor enige om at sammenligne resultater fra analyser gennemført dels med ’Most Probable Number’ metoder, som DHI normalt benytter, og dels med en filtreringsmetode, som også ofte benyttes bl. a. i forbindelse med analyser af badevand.

Resultatet fra disse undersøgelser foreligger i rapport fra DHI ’Comparison of ISO 9308-1/ISO 7899-2 and Colilert\*-18/Entolert™-E’ dateret 24. maj 2014, som vedlægges som Bilag 3.

DHI konkluderer, at både ’MPN’ metoden og ’filter’ metoden under tilpassede testbetingelser giver pålidelige resultater.

### **Arbejdsplan 4b: Undersøgelse af indikativ test metodik.**

Der er konstateret stor interesse fra såvel rederier som udstyrsleverandører i at have adgang til et system, der på enkel vis kan give indikation af, hvorvidt et givet BWTS har fungeret efter hensigten. Sådanne systemer er under udvikling flere steder; men et pålideligt og operationelt let tilgængeligt system er endnu ikke bragt til markedet.

Firmaet Litehauz ApS er – i datterselskabet Ballast Water Monitoring A/S (BWM) - i gang med at udvikle et sådant test udstyr, der vil være anvendeligt i såvel mere gængse in-line systemer, som in-voyage systemer baseret på Bawats teknologi. Såvel BWM som Bawat har derfor interesse i at undersøge, hvorledes BWM’s teknologi fungerer i T2T sammenhæng.

BWM havde derfor i forbindelse de planlagte tests i Bawats 1:10 tank på DTU opstillet deres udstyr ved siden af 1:10 tanken. Udstyret var koblet op til T2T anlægget, således at det var muligt at udtage prøver på relevante punkter i proces forløbet.

Resultaterne fra disse tests var positive og indikerede, at også i forbindelse med T2T processen giver BWMs teknologi indikationer om processens effektivitet. BWMs rapport vedr. forsøgene vedlægges denne rapport som Bilag 4.

#### **Arbejdspakke 5: Analyse af resultater fra 1:10 tank, og planlægning af test i fuld målestok.**

De indledende test blev gennemført med ferskvand fra Arresø i Bawats skala 1:10 tank på DTU med følgende procesparametre: Pasteurtemperatur: 72 °C, holdetid: 1 min og hhv. med og uden tilførsel af N<sub>2</sub>.

Resultaterne viste klart, at af de 3 kategorier af mikroorganismer (hhv. zooplankton (ZP), phytoplankton (PP) og bakterier (BA), som teknologien skal testes op imod, var T2T teknologien med de valgte procesparametre effektiv i relation til både ZP og BA, idet de af IMO opstillede udledningskriterier (D-2) var opnåede.

Fsa. PP så det derimod ud til, at de valgte procesparametre ikke sikrede tilstrækkelig reduktion.

Der gennemførtes derfor endnu et forsøg med samme opstilling og procesparametre dog med holdetiden hævet til 2 min. Dette forsøg viste, at der var en absolut positiv indvirkning af den længere proces tid, og det besluttedes derfor at gennemføre testen i fuld målestok på DHIs testanlæg i Hundested med valg af følgende proces parametre: Pasteurtemperatur: 72 °C, holdetid: 2 min og hhv. med og uden tilførsel af N<sub>2</sub>.

Resultaterne fra forsøgene i 1:10 tanken vises i Tabel 1 nedenfor.

#### **Arbejdspakke 6: Forsøg i fuld målestok i Hundested.**

Testen i industriel målestok blev gennemført på DHIs anlæg i Hundested, hvor Bawat allerede havde gennemført sine landbaserede tests i forbindelse med typegodkendelse af Bawat<sub>1</sub> systemet.

Forsøgsplanen blev drøftet intensivt med DHI, og forsøgene blev gennemført med ovennævnte procesparametre, idet 2 x 150 m<sup>3</sup> vand fra Arresø blev pumpet fra anlæggets 750 m<sup>3</sup> tank med 140 m<sup>3</sup>/h gennem behandlingssystemet til to 250 m<sup>3</sup> opbevaringstanke hhv. med og uden tilførsel af N<sub>2</sub>. Forsøgene blev gennemført i fuld overensstemmelse med IMOs G8 kriterier, idet der dog ikke blev etableret et kontrolforsøg.

Resultaterne fra fuld skala testen i Hundested fremgår af Tabel 2 nedenfor. Som det fremgår blev der opnået fuld D-2 overensstemmelse fsa. ZP og PP i det testforløb, hvor der ikke blev tilsat nitrogen.

1:10 Tank 26. februar 2014		Dag 0					Dag 5					IMO D-2
Ubehandlede prøver		Behandlede prøver				Behandlede prøver				Kontrol		
		+N <sub>2</sub>		-N <sub>2</sub>		+N <sub>2</sub>		-N <sub>2</sub>				
		Antal	Reduktion	Antal	Reduktion	Antal	Reduktion	Antal	Reduktion			
Organismer > 50 µm	org/m <sup>3</sup>	13.306	N/A	N/A	N/A	N/A	0	100,00%	5	99,96%	57.600	<10 org/m <sup>3</sup>
Organismer > 10 µm <50 µm	org/mL	6.960	1.432	79,43%	1.960	71,84%	89	98,72%	161	97,69%	3.840	<10 org/mL
<b>Bakterier</b>												
E. Coli	cfu	2.400	<1	100,00%	<1	100,00%	<1	100,00%	<1	100,00%	1.910	<250 cfu/100mL
Enterokokker	cfu	596	<1	100,00%	<1	100,00%	<1	100,00%	<1	100,00%	36	<100 cfu/100mL
Heterotrofe	cfu	26.800	973	96,37%	782	97,08%	>20.000	N/A	>20.000	N/A	116.000	

1:10 Tank 30. april 2014		Dag 0					Dag 5					IMO D-2
Ubehandlede prøver		Behandlede prøver				Behandlede prøver						
		+N <sub>2</sub>		-N <sub>2</sub>		+N <sub>2</sub>		-N <sub>2</sub>				
		Antal	Reduktion	Antal	Reduktion	Antal	Reduktion	Antal	Reduktion			
Organismer > 10 µm <50 µm	org/mL	4.880	854	82,51%	960	80,33%	51	98,97%	78	98,40%		<10 org/mL

DHI, Hundested 1. maj 2014		Dag 0					Dag 5					IMO D-2
Ubehandlede prøver		Behandlede prøver				Behandlede prøver						
		+N <sub>2</sub>		-N <sub>2</sub>		+N <sub>2</sub>		-N <sub>2</sub>				
		Antal	Reduktion	Antal	Reduktion	Antal	Reduktion	Antal	Reduktion			
Organismer > 50 µm	org/m <sup>3</sup>	828.178	67	99,99%	66	99,99%	0	100,00%	0	100,00%		<10 org/m <sup>3</sup>
Organismer > 10 µm <50 µm	org/mL	3.013	668	77,84%	743	75,33%	36	98,79%	6	99,80%		<10 org/mL

Eggs
Under D-2
Over D-2

Tabel 1: Resultater af gennemførte T2T test i hhv. skala 1:10-tank på DTU og på DHIs testanlæg i Hundested

### 3. **Konklusion**

Resultaterne fra de i dette projekt gennemførte tests har været meget positive og overbevisende. De til grundliggende hypoteser og koncepter har vist sig at holde stik, og dannede meget hurtig grundlag for patentering af de væsentligste processer opstillet med relevante forudsætninger.

Sammenfattende kan følgende punkter stå for konklusionerne fra T2T projektet (Arbejdsplan 7):

- 1) Det vil som hovedregel være muligt for mindre skibe (< 10 - 20.000 DWT) at gennemføre en ballastering og forlade en losningshavn med mindst én tom ballast tank.
- 2) Med få ændringer i de under testene anvendte procesparametre vil det være muligt at etablere et behandlings system baseret på den foreliggende koncept, som effektivt vil sikre at vandkvaliteten af ballast vandet efter behandling vil kunne leve op til IMO's krav, både nu, men sikkert også i fremtiden, når formodentlig strengere krav vil blive indført.
- 3) Der vil være behov for at gennemføre yderligere forskning på området "pasteurisering af zooplankton og phytoplankton organismer". Der findes i dag meget omfattende viden om pasteurisering af patogene bakterier, men bogstaveligt intet arbejde vedr. pasteurisering af PP og PZ.
- 4) Et BWTS for mindre skibe, som benytter sig af en T2T teknologi, som ovenfor beskrevet, kan udvikles og typegodkendes. Et T2T system vil både investeringsmæssigt (CAPEX) og driftsmæssigt (OPEX) særdeles konkurrencedygtigt set i relation til alle nuværende ballast vand behandlings systemer.

Bawat A/S, Maj 2014

Jan S. Hummer  
Projektleder.

# Litteratur

Der blev indledningsvist gennemført en litteratur søgning med det formål at finde publiceret arbejde vedr. pasteurisering af phytoplankton (PP) og zooplankton (ZP).

Omfanget af publiceret litteratur vedr. pasteurisering af bakterier, specielt patogene bakterier, er betydeligt; men der blev ikke fundet litteratur vedr. pasteurisering af ZP eller PP, som havde relevans i forbindelse med nærværende projekt.

# Bilag

Interim rapport til Naturstyrelsen, dateret 17.03.14  
Tank to Tank system – Ballastvand behandlingssystem til mindre skibe

Slutrapport - Bilag 1

## Interim rapport til Naturstyrelsen vedrørende projekt Bawat T2T J. Nr. NST- 404- 00195, Ref. RJE

### Program for grøn teknologi.

#### Indledning.

Bawat A/S fik d. 29. november 2013 meddelelse om at ovenstående projekt var godkendt af Naturstyrelsen. Arbejdet med planlægningen af projektet blev umiddelbart iværksat, og projektet følger i alt væsentligt den budgetterede plan. Ligeledes forventes det at projektet i sin helhed vil kunne gennemføres efter de lagte planer, både hvad angår tid og omkostninger.

#### Arbejdsplaner.

**Arbejdsplan 1, litteratur og teknisk nyhedsundersøgelse**, indikerede meget hurtigt, at de ideer der ligger

til grund for et T2T ballast vand behandlings system, ikke var blevet gjort til genstand for tidligere undersøgelser. Samtidig indikerede drøftelser med et par mindre rederier (som f.eks. Uni-Tankers, Lauritzen Kosan etc.), at T2T systemets grund ide var relevant og fornuftig. Dette blev eksempelvis belyst i operationelle scenarier, hvor f.eks. behandlingsprocessen blev koblet mod stabilitetskriterierne, eftersom ballastvandet flyttes i skibets langskibs retning.

**Arbejdsplan 2, patent ansøgning**, sattes derefter i gang, på grundlag af de informationer der var indhentet i forbindelse med arbejdsplan 1. Udarbejdelsen af patentansøgningen blev gennemført i tæt samarbejde med Zacco A/S, som også tidligere havde været involveret i udarbejdelsen af Bawat's tidligere patenter. Den 9. januar 2014 blev patentansøgning på T2T proces systemet for behandling af ballast vand indleveret af Bawat A/S, hvilken dato dermed er patent prioriterings dato for T2T patentet. NST blev umiddelbart herefter orienteret om at patentansøgningen var indleveret.

**Arbejdsplan 3, planlægning af tests i 1:10 tank på DTU**, sattes straks i gang efter at patentansøgningen var indleveret. Indledningsvis blev de overordnede forsøgsbetingelser og tests fastlagt og skitseret af Bawat's stab, hvorefter man på grundlag af disse overordnede skitser, drøftede disse i detaljer med staben fra DHI, Hørsholm. Man opnåede enighed om, hvorledes man mest optimalt kunne opnå den viden fra "1:10 forsøget", som i sidste ende skulle sikre, at de senere omkostningstunge fuldskala forsøg kunne gennemføres, så optimalt som muligt. Bl.a. blev man enige om, at gennemføre 1 forsøg med 2x1m<sup>3</sup> ferskvand fra Arresø, fremfor 2 forsøg med 1m<sup>3</sup>.

På grundlag af de nu fastlagte forsøgsbetingelser, blev 1:10 tanken modificeret til at håndtere de planlagte tests. Ligeledes blev tanken udstyret således, at man også kunne gennemføre undersøgelser af det udstyr for "indikative tests", som firmaet Litehauz A/S er i færd med at udvikle i selskabet Ballast Water Monitoring A/S.

**Arbejdsplan 4, Tests i 1:10 tank på DTU**, blev gennemført onsdag d. 28. februar 2014, efter at diverse modifikationer af 1:10 tanken var udført af firmaet GA Rustfri, og at dampgeneratoren var installeret på

lejebasis af Bourvanil Kompagniet A/S. Forsøget forløb tilfredsstillende, idet det var muligt behandle 2x1m<sup>3</sup> ferskvand fra Arresø ved en pasteuriseringstemperatur på ca. 72 C, både med og uden N<sub>2</sub> tilsætning til test vandet. Resultaterne fra dette forsøg forventes i detaljer at være til rådighed snarrest, og vil kunne forelægges for projektets styregruppe, når de har været drøftet og analyseret med bl.a. DHI og Litehauz. De foreløbige resultater, synes dog positive.

De i projektet budgetterede timer for Bawat A/S, var oprindeligt fordelt mellem civ.ing. Jan S. hummer og civ.ing. Ole L. Christensen. I praksis har dir. Kim Diederichsen, Bawat, været dybt involveret i projektet, således at de reelle timer anvendt på projektet fra Bawat's side, er fordelt mellem ovennævnte 3 personer.

### **1. Styregruppe møde**

Jan S. Hummer har med Ulrik Christian Berggreen, Naturstyrelsen fastlagt mandag d. 24.03.14 til afholdelse af det 1. følgegruppemøde. Se separat møde referat fra dette møde.

Bawat A/S, 19. marts 2014

Ej medtaget:

Møde referat fra 1. styregruppemøde afholdt de. 24.03.14

Rapport fra DHI vedr. analyse metodik i r. t. Coli og Enterokok bakterier.

Rapport fra Litehauz vedr. test af BWM metodik anvendt i T2T sammenhæng.

Projekt regnskab i relation til budget.

## **Tank to Tank System**

### **Tank to Tank System**

Ballastvand behandlingssystem til mindre skibe

**Tank to Tank System**

**Tank to Tank System**

Ballastvand behandlingssystem til mindre skibe

Naturstyrelsen  
Haraldsgade 53  
DK - 2100 København Ø  
Tlf.: (+45) 72 54 30 00

**[www.nst.dk](http://www.nst.dk)**