



Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

# AQUA fingeraftryk

On-line detektion og karakterisering af  
fækale forureninger i vandtekniske systemer

# Kolofon

**Titel:**

AQUA fingeraftryk  
On-line detektion og karakterisering af  
fækale forureninger i vandtekniske  
systemer.

**Emneord:**

Flourescensmåling, onlinemåling,  
spildevand, badevand, svømmebade.

**Projektmidler:**

Projektet er gennemført med støtte fra  
tilskudsmidlerne i forbindelse med den  
miljøteknologiske handleplan.

**Udgiver:**

Naturstyrelsen

**Ansvarlig institution:**

DTU og Krüger A/S

**Forfatter:**

Erik Arvin, DTU  
Colin Stedmon, DMU  
Rasmus Boe-Hansen, Krüger A/S

**Anden bidragyder**

Bożena Seredyńska-Sobecka, DTU  
Christopher K. Waul, DTU  
Nicolas Le Tallec, DTU  
Julie Friis Ziersen, DTU

**Sprog:**

Dansk

**År:**

2011

**ISBN net:**

978-87-7279-219-4

**Udgiverkategori:**

Statslig

**Resume:**

I dette projekt undersøges muligheden  
for at anvende fluorecensmålinger  
som indikation for fækale forureninger  
med henblik på at forbedre den  
hygiejniske sikkerhed i forskellige  
vandtekniske systemer.

Projektets undersøgelser viser at  
fluorecensmålinger er anvendelige til  
at detektere fækale forureninger i alle  
de undersøgte vandtekniske systemer.

**Ansvarsfraskrivelse:**

Naturstyrelsen offentliggør rapporter  
inden for miljøsektoren, finansieret 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.

## Indholdsfortegnelse

Forord .....	1
Resumé .....	2
1 Indledning.....	4
1.1 Baggrund .....	4
1.2 Formål .....	5
2 Fluorescensmålinger i vand.....	7
2.1 Målemetode .....	8
2.2 PARAFAC .....	8
3 Drikkevand .....	11
3.1 Undersøgelsen .....	12
3.2 Resultater og diskussion.....	13
4 Overfladevand .....	19
4.1 Undersøgelsen .....	19
4.2 Resultater og diskussion.....	19
5 Overløbsvand .....	24
5.1 Undersøgelsen .....	24
5.2 Resultater og diskussion.....	25
6 Svømmebadsvand.....	30
6.1 Undersøgelsen .....	30
6.2 Resultater og diskussion.....	31
7 Konklusion .....	38
8 Referencer .....	40

## Forord

Projektet Aqua fingerprint er udført og finansieret af:

- Miljø DTU, Danmarks Tekniske Universitet
- Afdeling for Marin Økologi, Danmarks Miljøundersøgelse, Aarhus Universitet
- Krüger A/S
- Naturstyrelsen, Miljøministeriet

Projektet blev gennemført i perioden marts 2009 til november 2010 af en projektgruppe bestående af:

- Erik Arvin, DTU (projektleder)
- Colin Stedmon, DMU
- Rasmus Boe-Hansen, Krüger A/S
- Bożena Seredyńska-Sobecka, DTU
- Christopher K. Waul, DTU
- Nicolas Le Tallec, DTU
- Julie Friis Ziersen, DTU

Projektets resultater har dannet grundlag for følgende publikationer:

- Seredyńska-Sobecka, B; Stedmon, C.A; Boe-Hansen, R; Waul, C.K. & Arvin, E. Monitoring organic loading to swimming pools by fluorescence Excitation-Emission Matrix with parallel factor analysis (PARAFAC). Under udgivelse af Water Research.
- Stedmon, C.A; Seredyńska-Sobecka, B; Boe-Hansen, R; Le Tallec, N. & Arvin, E. A novel approach to monitoring drinking water quality and contamination. Under submission.
- Ziersen, J.F. (2010) Detection of Wastewater in a Contaminated Stream using Fluorescence/UV-Vis Spectroscopy and PARAFAC Modeling. Bachelor's thesis, DTU Environment. DTU.

Herudover har projektet være præsenteret ved forskellige lejligheder:

- Indlæg på BLST Miljøteknologikonference, september 2009
- Demonstration ved Københavns kulturturnat i Miljøministeriet, oktober 2009
- Indlæg på VandTek 09 konference, november 2009
- Indlæg på Danish Water Forum årsmøde, januar 2010
- Poster på Nordisk Vandforsyningskonference, juni 2010
- Artikel i Ingeniørens netavis, september 2010 /10/.
- Indlæg på IWA nationalkomites generalforsamling, november 2010

## Resumé

I næsten alle vandsystemer er organiske stoffer naturligt forekommende i en kompleks blanding med forskellig oprindelse. Denne pulje af organisk stof vil, hvis den belyses, afgive et unikt fluorescens ”fingeraftryk”, der afhænger af den stofflige sammensætning af puljen. Sammensætningen afspejler i høj grad det miljø, vandet stammer fra, f.eks. indeholder grundvand typisk mange humusforbindelser, mens spildevand har et væsentligt indhold af aminosyrer. Overvågning af specifikke fluorescenskarakteristika samt pludselige ændringer i fluorescens fingeraftrykket kan være en effektiv indikator på forurening, hvilket potentielt kan anvendes i forbindelse med early-warning af hygiejnisk risiko.

I dette projekt undersøges muligheden for at anvende fluorescensmålinger som indikation for fækale forureninger med henblik på at forbedre den hygiejniske sikkerhed i forskellige vandtekniske systemer.

- Vandforsyning
- Kloaksystemer
- Recipienter
- Svømmebade

Projektets undersøgelser viser at fluorescensmålinger er anvendelige til at detektere fækale forureninger i alle de undersøgte vandtekniske systemer.

### Drikkevand

I drikkevandssystemet blev der udført målinger på vandværk og i ledningsnet. Den naturlige variation i sammensætningen af den organiske kulstofpulje synes kun i ringe grad at påvirke muligheden for at detektere fækale forureninger. I undersøgelsen kunne fækale forureninger detekteres ned til en koncentration svarende til 0,2 % spildevand, hvilket svarer til detektion af 40 µg-C/L af spildevandsoprindelse.

### Overfladevand

Der blev foretaget målinger af marint badevand med henblik på at undersøge sammenhængen mellem de bakteriologiske målinger og fluorescens spektret. Det var ikke muligt på baggrund af de udtagne feltprøver at opstille en egentlig sammenhæng mellem badevandskvalitet og fluorescens. Laboratorieforsøg viste at spildevand kunne detekteres ned til en koncentration på 0,2 % svarende til, hvad der blev observeret i drikkevand.

### **Overløbsvand**

I Harrestrup å blev fluorescensmålingerne anvendt til at bestemme spildevandspåvirkningen efter en specifik overløbshændelse. Fluorescensmålingerne viste en god korrelation til en række af de parametre (NVOC, UV<sub>254</sub>, TAN og total fosfat), der normalt benyttes som mål for spildevandsforureningens intensitet i recipienter. For termotolerante coliforme bakterier var der kun ringe korrelation, hvilket formentlig skyldes inhomogenitet i prøven og måleusikkerhed ved den bakteriologiske metode.

### **Svømmebadsvand**

I svømmebade kunne der observeres en sammenhæng mellem badeaktiviteterne i bassinet og fluorescensmålingerne. Svømmebassinernes klorindhold havde ingen målbar effekt på målingen og baggrundsniveauet af organisk stof var lavt og stabilt. Laboratorieforsøg viste at spildevand kunne detekteres ned til en koncentration på 0,2 % svarende til, hvad der blev observeret i drikkevand og marint vand.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

En af de væsentligste trusler mod den hygiejniske sikkerhed i vandtekniske systemer er fækale forureninger. Fækale forureninger er kendetegnede ved, at de selv ved lave koncentrationer kan forårsage meget alvorlige sundhedsproblemer hos store grupper af mennesker.

Dette projekt tager udgangspunkt i følgende systemer:

- Vandforsyning
- Kloaksystemer
- Recipienter
- Svømmebade

**Vandforsyning.** Forurening med spildevand hører til blandt de værste tænkelige uheld i vandforsyninger. Der har historisk været registeret flere eksempler på, hvor spildevand er årsag til forurening af drikkevand. Af eksempler i de senere år kan nævnes Lyngen vandforsyning ved Køge, hvor teknisk vand fra renseanlægget udgjorde en akut sundhedsfare for en større del af vandforsyningens forbrugere.

**Kloaksystemer.** Afledning af store mængder regn- og spildevand kan medføre oversvømmelse af kældre eller opstuvning på terræn typisk i forbindelse med kraftige regnskyl. Dette kan betyde, at personer utilsigtet kan komme i direkte kontakt med spildevand, hvilket kan udgøre en betydelig sundhedsrisiko.

**Recipienter.** Ved overbelastning af kloakerne aflastes systemet ofte ved udledning af ubehandlet spildevand direkte til recipient. Herudover kan der være tilfælde af ulovlige udledninger af spildevand fra skibe, campingvogne, sommerhuse m.v. Udledningen af spildevand kan medføre en direkte sundhedsrisiko for eventuelle badende samt belaste recipienten med næringsstoffer.

**Svømmebade.** Fækale uheld fra badende i svømmebassiner samt mangelfuld afvaskning kan påføre de øvrige badende en betydelig sundhedsrisiko.

De nuværende metoder til at detektere og karakterisere fækale forureninger er alle målinger, der er baseret på indikatororganismer eller måling af afledte parametre f.eks. kemisk

iltforbrug (COD) eller ikke-flygtigt organisk kulstof (NVOC). Karakteristisk for disse målinger er, at de normalt ikke foretages on-line, og dermed ikke giver mulighed for at reagere i tide på den enkelte hændelse. Et early warning system vurderes at kunne medvirke til at reducere konsekvenserne ved den enkelte fækale forurening, idet det muliggør tidlig advarsel (early warning), indgriben og korrektion af fejlen.

Et effektivt early-warning system forudsætter, at målingen sker kontinuerligt og fortolkningen formidles indenfor få minutter. De dyrkningsbaserede mikrobiologiske metoder, der i dag anvendes som indikation for fækale forureninger, er derfor i sagens natur ikke egnede til early warning, da responstiden er for lang (som minimum adskillige timer). De dyrkningsbaserede metoder har imidlertid en meget høj følsomhed, hvilket gør dem velegnede til fejlfinding og stikprøvekontrol. Det er primært dette projekts ambition at udvikle en metode, der kan erstatte eller supplere de dyrkningsbaserede målemetoder i forbindelse med den løbende kvalitetsovervågning af vandtekniske systemer.

## **1.2 Formål**

Det overordnede formål med projektet "AQUA fingeraftryk" er at skaffe ny viden om måling af fækale forureninger i forskellige vandmiljøer: Drikkevand, overløbsvand, overfladevand og svømmebadsvand. Projektet har følgende delmål:

- At karakterisere af den naturlige variation i den organiske puljes spektrale "fingeraftryk" for ovennævnte vandtyper
- At identificere egnede fluorescensbølgelængder, som kan bruges til on-line detektion af fækale forureninger
- At bestemme metodernes følsomhed for detektion af fækale forureninger
- At udvikle videngrundlaget til fremstilling af en effektiv og prisbillig sensor til on-line monitorering af fækale forureninger i forskellige vandmiljøer
- At demonstrere teknologiens anvendelighed i udvalgte af ovenstående vandmiljøer

Projektet vil arbejde i retning af en kontinuerlig overvågning af fækale forureninger, med henblik på at reducere og minimere den hygiejniske risiko ved en række tekniske systemer, herunder

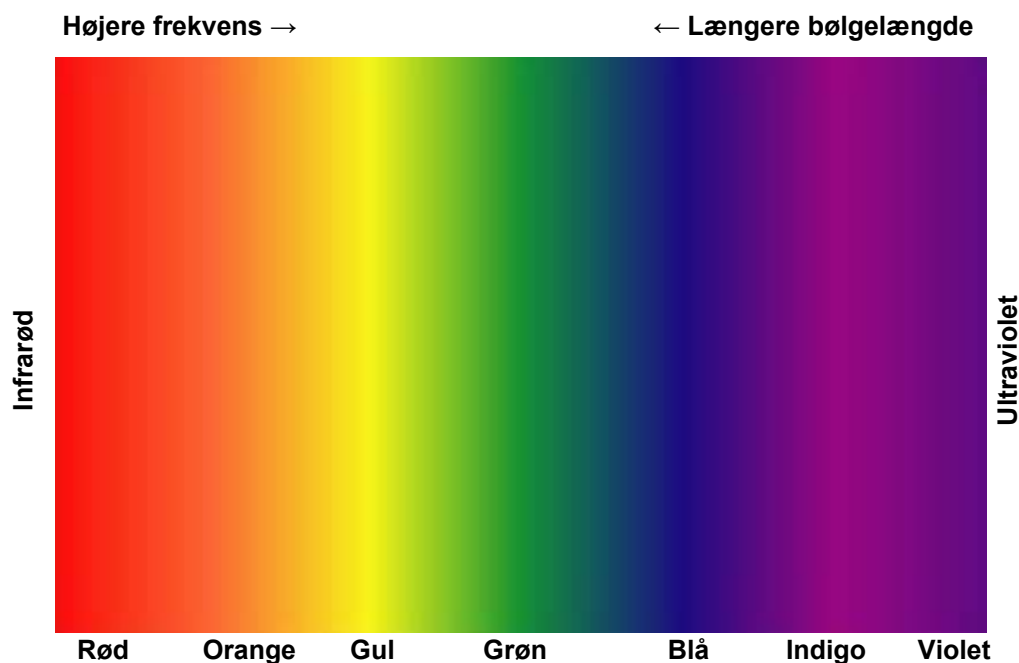
- Drikkevand ved early warning i kritiske punkter (f.eks. vandværk, industrier og hospitaler)
- Badevand ved overvågning og styring af overløbsbygværker
- Svømmebade ved early warning ved fækale uheld eller svigt i rensesystemet
- Direkte udledning af forurenede regnvand til recipienter



En sensor til detektion af fækale forureninger vurderes at være et centralt værktøj til at optimere behandlingsprocesser og transportsystemer, så de i fremtiden kan fungere mere bæredygtige, økonomiske og veldokumenterede.

## 2 Fluorescensmålinger i vand

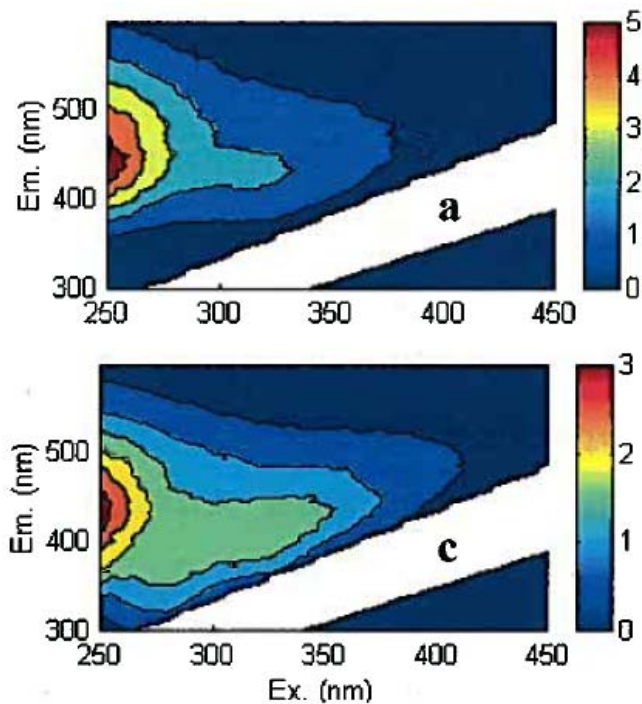
Det er almindeligt kendt, at nogle organiske forbindelser fluorescerer efter belysning. Når den organiske forbindelse rammes af lys med én given bølgelængde exciteres molekylet, hvorefter der udsendes lys med en længere bølgelængde (se Figur 2.1).



**Figur 2.1. Spektrum for synligt lys.**

I næsten alle akvatiske systemer er organiske stoffer til stede som en kompleks blanding af nedbrydningsprodukter fra terrestriske og akvatiske planter og dyr. Denne naturligt forekommende pulje af organisk stof vil afgive et unikt "fingeraftryk", der afhænger af den stofflige sammensætning af puljen. Sammensætningen afspejler i høj grad det miljø, vandet stammer fra, f.eks. indeholder grundvand typisk mange humus forbindelser, mens spildevand har et væsentligt indhold af aminosyrer.

Figur 2.2 viser fluorescens "fingeraftrykket" fra to forskellige vandmiljøer. Øverst fra et vandløb og nederst rensede spildevand. Det fremgår tydeligt af figuren, at sammensætningen af kulstofpuljen medfører markant forskellige fluorescensspektre.



**Figur 2.2. Excitations emissions matrices (EEMs) fra et vandløb (øverst) og rensset spildevand (nederst).**

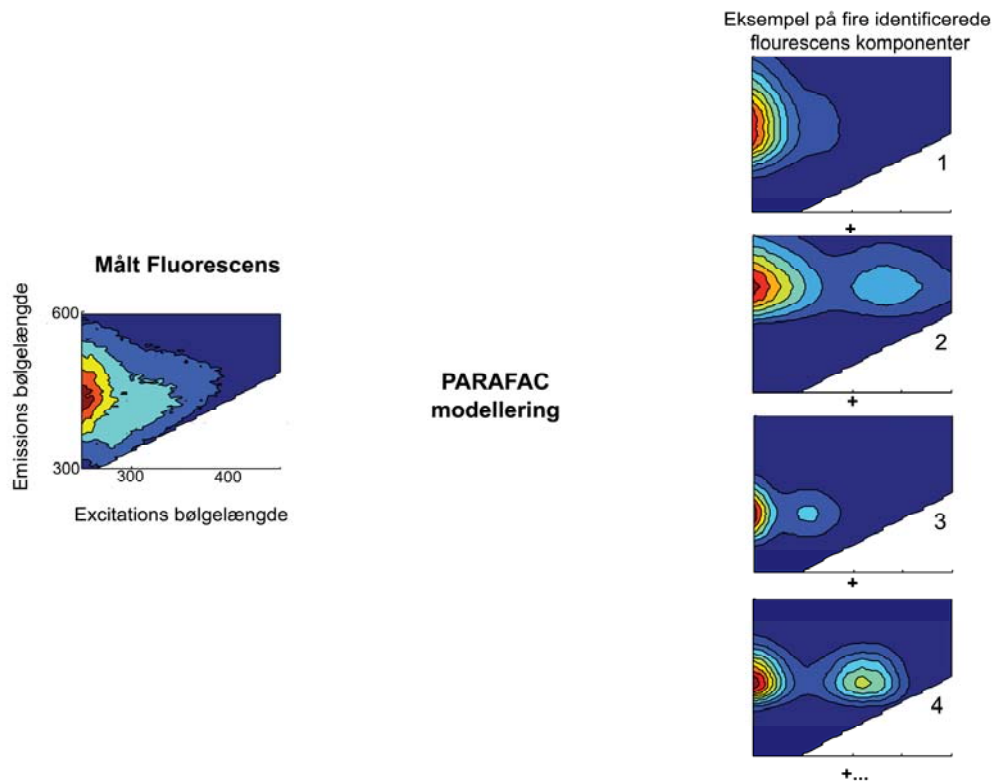
## ***2.1 Målemetode***

I dag findes der erfaringer fra havforskning (gennem 40 år), hvor fluorescens bl.a. har været anvendt til at karakterisere blandinger af organisk materiale fra land i flodvand og i kystnære farvande (udført af DMU siden 2000). I havmiljøet har organisk stof fluorescens vist sig at være en god repræsentant for sammensætningen af puljen af organisk stof /1,9/.

I projektet blev fluorescensmålingerne som udgangspunkt foretaget med en 1 cm cuvette i et Varian Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer. Excitationen blev foretaget i trin på 5 nm i området fra 240 til 450 nm, mens emissionen blev målt i trin på 2 nm i området fra 300 – 600 nm

## ***2.2 PARAFAC***

Når flere vandtyper sammenblandes vil det resulterende fingeraftryk stadig indeholde information, der kan anvendes til at spore blandings oprindelige vandtyper og blandingsforholdene mellem disse. Til dette formål findes en række matematiske og statistiske teknikker, herunder principal komponent analyse (PCA) og parallel faktor analyse (PARAFAC). Princippet i PARAFAC metoden er illustreret i Figur 2.3.



**Figur 2.3. Modelling af fluorescens med PARAFAC**

PARAFAC metoden medfører, at fluorescens spektret kan nedbrydes i en række bidrag fra forskellige komponenter. Det antages, at intensiteten af fluorescensen er lineært afhængig af koncentrationen.

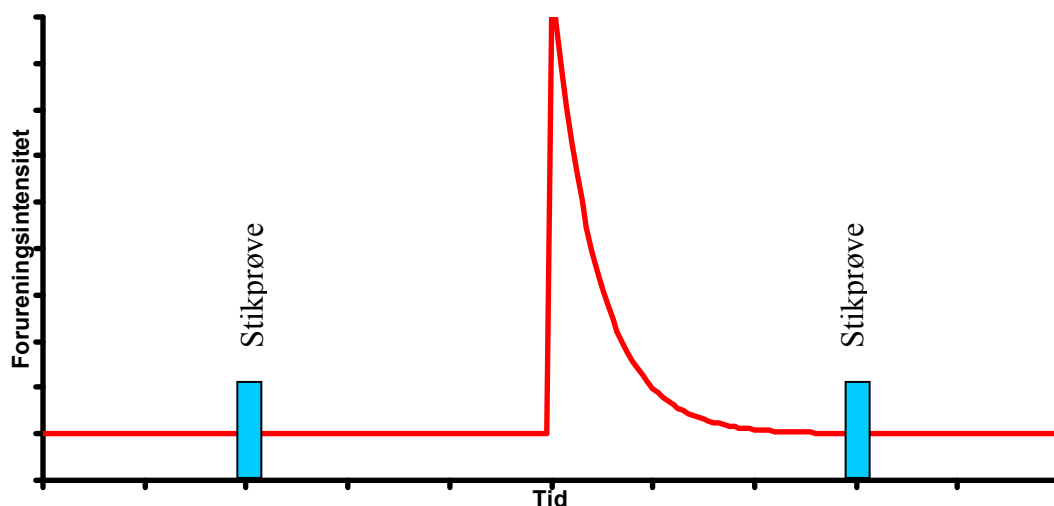
Det er vigtigt at understrege, at komponenterne i denne sammenhæng repræsenterer en modelmæssig fortolkning af spektret og således ikke nødvendigvis er et udtryk for specifikke kemiske stoffer. Typisk vil komponenterne afspejle stofgrupper kombineret med bidrag fra et eller flere enkeltstoffer. Den specifikke sammensætning af kulstofpuljen er altså stadigvæk grundlæggende ukendt og blandingen er for kompleks til komplet karakterisering med eksisterende kemiske teknikker. Fluorescensen kan imidlertid på et mere overordnet niveau relateres til nogle hovedgrupper af fluorophorer. I denne sammenhæng er de væsentligste de protein-relaterede forbindelser og de humus-relaterede /2,3/.

For den protein-relaterede fluorescens gælder at den i høj grad er knyttet til de to fluorescerende aminosyrer tryptofan og tyrosin, der kan optræde som frie forbindelser eller som en del af proteinstrukturer.

Fluorescensen af humusstofferne skyldes overvejende aromatiske forbindelser i f.eks. humussyrer.

### 3 Drikkevand

Effektiv overvågning af drikkevandskvaliteten er et centralt element i forbrugernes sikkerhed for sundt drikkevand. Den eksisterende overvågning er baseret på periodiske stikprøver, hvor kun en marginal del af den samlede produktion undersøges, hvilket i sagens natur betyder, at kun langvarige og systematiske forureninger kan forventes at blive opdaget /4/. Da forureninger af vandforsyning som oftest er knyttede til svigt eller fejl i de tekniske systemer må hændelserne som udgangspunkt forventes at være forholdsvis sjældne og ganske kortvarige.



**Figur 3.1. Eksempel på forureningshændelse (teoretisk).**

Sandsynligheden for at opdage disse hændelser ud fra stikprøvetagning er yderst lille (se Figur 3.1), da kun en lille del af den samlede produktion kan analyseres i praksis. Man kan ud fra dette resonere, at de få kortvarige forureninger, der i dag fra tid til anden konstateres i forbindelse med rutineovervågningen kun udgør toppen af isbjerget. Det virkelige antal forureninger må i sagens natur antages at være mange gange højere. På denne baggrund vurderes der at være et stort behov for etablering af egentlige online systemer til kvalitetsovervågning.

Den organiske kulstofpulje i dansk drikkevand består overvejende af komplekse humusforbindelser samt nedbrydningsprodukter af disse. Indholdet af organisk stof fra den enkelte vandforsyningsboring forventes som udgangspunkt at være lavt og ensartet.

En række naturlige og driftsmæssige forhold kan imidlertid have indflydelse på variationen i sammensætningen af den organiske kulstofpulje. Effektiv detektion af forureninger med fluorescens fingeraftryk forudsætter således, at almindeligt forekommende variationer i kulstofpuljens sammensætning kan adskilles fra de uønskede hændelser. I dette projekt er de uønskede hændelser afgrænsede til fækale forureninger.

### ***3.1 Undersøgelsen***

Undersøgelserne i drikkevand havde to temaer:

- Karakterisering af den naturlige og driftsmæssige variation i fluorescensmålingerne
- Detektion af forskellige grader af spildevandsforurening

Udgangspunktet for undersøgelserne af den naturlige og driftsmæssige variation var Lillevang vandværk i Farum /5/, der er et traditionelt dansk vandværk. Vandet indvindes fra et kildefelt med tre borer, hver med en ydelse på ca. 30 m<sup>3</sup>/t. I den normale drift sættes borerne i drift enkeltvis. Vandbehandlingen består af beluftning, for- og efterfiltrering efterfulgt af en 120 m<sup>3</sup> rentvandstank. Der blev udtaget prøver efter rentvandsbeholderen og i distributionsnettet.

Undersøgelserne havde til hensigt at karakterisere variationer i fluorescensspektret som følge af forhold, der potentielt kan medføre ændringer i vandkvaliteten. De væsentlige variationer blev vurderet at være:

- Skift af indvindingsboringer
- Opholdstid i ledningsnet.

Målingerne blev udført i kampagne, hvor der blev udtaget prøver fra hver af de tre indvindingsboringer. Prøverne blev udtaget over en periode på 12 timer efter 24 timers kontinuert drift med den pågældende boring. Derudover blev der udtaget sammenlignelige prøver ved vandværk og i ledningsnettet.

For at bestemme fluorescensmålingens følsomhed blev en række vandprøver tilsat en kendt mængde ufiltreret spildevand. Den tilsatte mængde svarede til forurening med hhv. 0,10%; 0,25%; 0,50%; 0,75%; 1,00% og 2,00% rå spildevand. Spildevandet blev udtaget fra Lundtofte renselanlæg og havde en sammensætning som vist i Tabel 3.1.

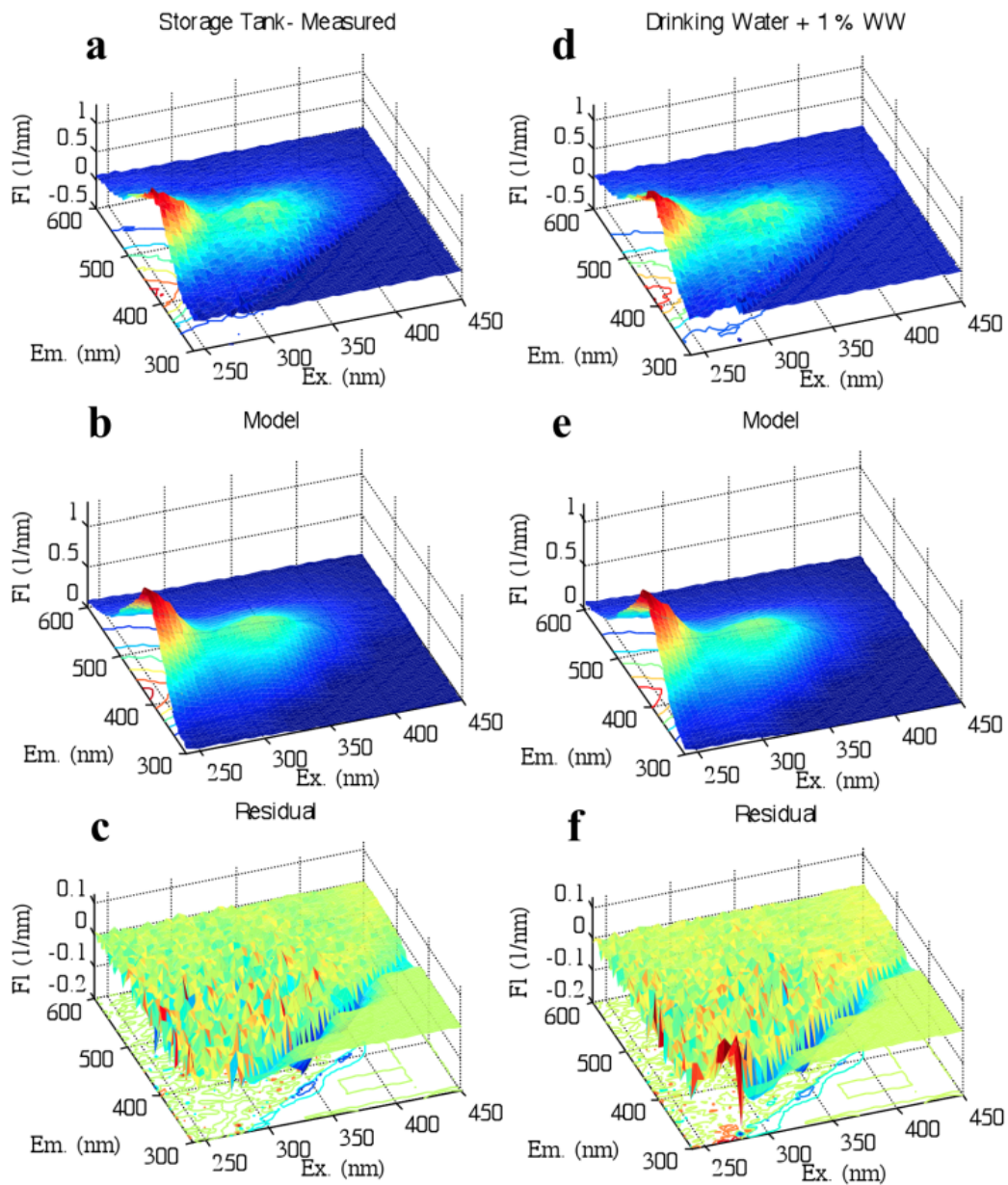
**Tabel 3.1. Sammensætning af rå spildevand fra Lundtofte renselanlæg.**

Parameter	Værdi	Enhed	Metode
BOD	330	mg O <sub>2</sub> /L	DS/EN 1899-1
COD	1200	mg O <sub>2</sub> /L	DS/ISO 15705
NVOC (filtreret)	24	mg C/L	-
Total kvælstof	60	mg N/L	DS/EN ISO 11905-1
Total fosfor	12	mg P/L	DS 292
Coliforme bakterier	1,3×10 <sup>7</sup>	CFU/100 mL	DS 2255
Termotolerante coliforme	1,3×10 <sup>7</sup>	CFU/100 mL	DS 2255
Kimtal, 22°C	1,5×10 <sup>7</sup>	CFU/mL	DS/EN ISO 6222:2000
Kimtal, 37°C	0,5×10 <sup>7</sup>	CFU/mL	DS/EN ISO 6222:2000

### ***3.2 Resultater og diskussion***

Indledningsvist blev alle måledata modelleret med PARAFAC ved hjælp af DOMFluor Toolbox i Matlab /6/. Datasættet bestod af 87 prøver fra vandværk og ledningsnet. Bedste modeltilpasning blev opnået med en 4 komponent. Figur 3.2a, b og c viser et eksempel på hhv. en prøve, de modellerede data og residualet (forskelle mellem måling og model).



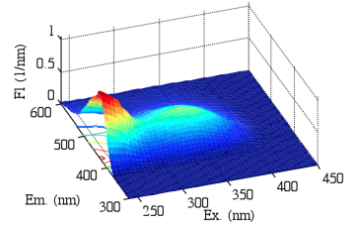
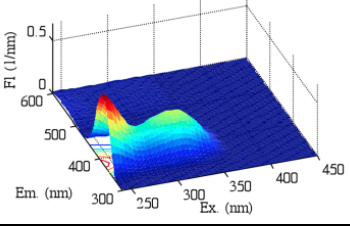
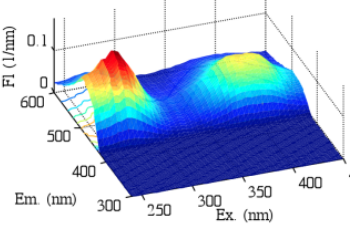
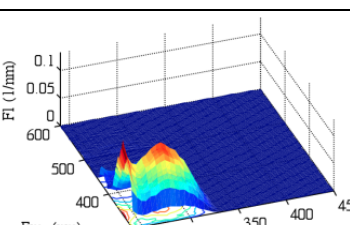


**Figur 3.2. Modellering af fingeraftryk med PARAFAC.**

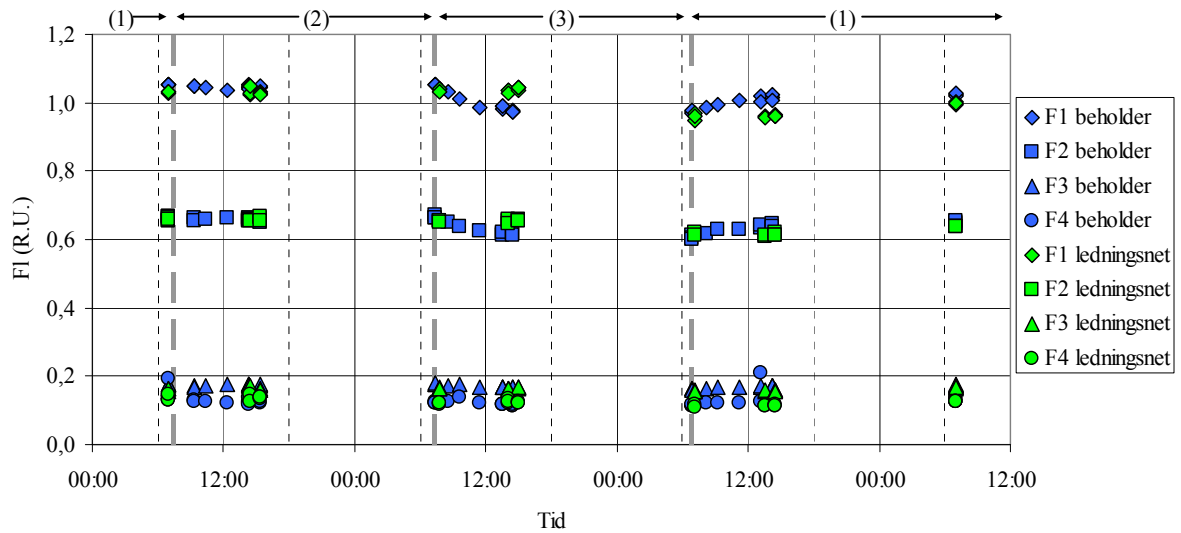
De fire komponenter benævnes F1, F2, F3 og F4 (se Tabel 3.2)

Det ses at lang den overvejende del af prøvernes fluorescens kunne forklares ud fra modellen, mens den overvejende del af residualet skyldtes instrumentstøj og vandets lysspredningseffekt.

**Tabel 3.2. Komponenter i drikkevand identificeret ved PARAFAC.**

Komponent	Emissions maks. (nm)	Excitations maks. (nm)	Spektrum	Kommentar /1/
F1	428	< 240		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer
F2	384	315		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer
F3	270, 400	492		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer
F4	380	< 240, 280		Fluorescens spektrum med lighed til spektrum for aminosyren tryptofan i forskellige proteinstrukturer

Fluorescensbidraget for de 4 identificerede komponenter blev for hver prøve omregnet til en intensitet, der kan opfattes som et mål for komponentens koncentration. Figur 3.3 viser den driftsmæssige variation over 4 dage, hvor vandindvindingen blev skiftet fra hhv. boring 1 til boring 2 til boring 3 og slutteligt tilbage til boring 1. Der blev ved samme lejlighed udtaget prøver ved vandværket efter rentvandsbeholderen og i ledningsnettet.

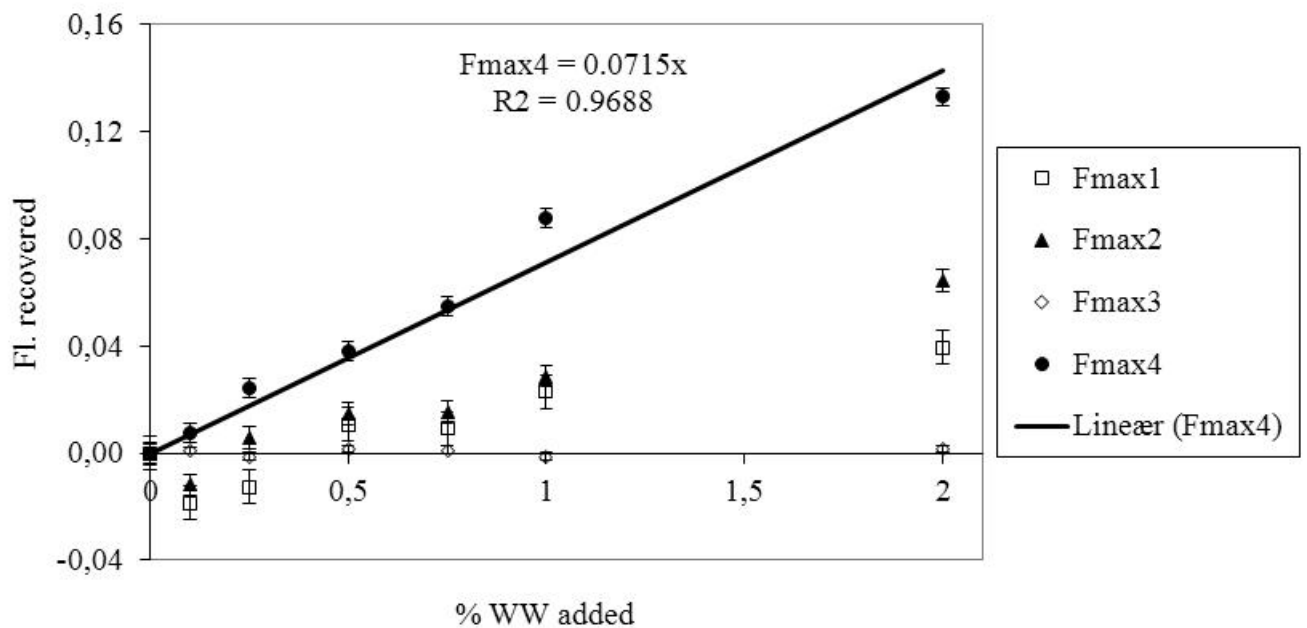


**Figur 3.3. Naturlig variation i fluorescenssignalet.**

Figuren viser, at variationen i fluorescensspektret er lille under normal drift. Boring 1 og 2 synes at have en ensartet fluorescens intensitet, mens intensiteten for boring 3 er lavere, hvilket formentlig skyldes et lavere indhold af organisk stof. Forskellen medførte hovedsagligt variationer i intensiteten af komponent 1 og 2, mens komponent 3 og 4 var meget stabile.

Der kunne ikke konstateres en effekt af at vandet blev transporteret i ledningsnettet.

Ved varierende spildevandstilsætning ses en stærk korrelation mellem spildevandsmængde og intensiteten af komponent F4. Intensiteten af komponent F1 og F2 øges i mindre grad, mens F3 vedbliver med at være konstant.



**Figur 3.4. Sammenhæng mellem intensitet af komponenter og spildevandsmængde i vandprøve.**

Det betyder altså, at komponent F3 hovedsageligt er knyttet til drikkevandets naturligt forekommende organiske stof i, mens komponent F4 er stærkt korreleret til spildevandsmængden. Forholdet, mellem de to komponenter, synes derfor at være en lovende indikator for spildevandsforurening, der må forventes være robust i forhold de naturlige driftsmæssige variationer i vandsammensætningen.

Detektionsgrænsen for spildevand i drikkevand blev bestemt ved at sammenholde måleværdien for en kendt forurening tæt på detektionsgrænsen med baggrundsværdien under hensyntagen til usikkerheden på målingen. Detektionsgrænsen blev i denne undersøgelse bestemt til 0,2 % spildevand (95 % signifikansniveau). For det pågældende spildevand svarer dette til en koncentration af kulstof med spildevandsoprindelse på ca. 40 µg C/L. Det er klart, at sammensætningen og koncentration af spildevand kan variere meget og ”spildevand” derfor ikke kan opfattes som en standardiseret størrelse. Forurening med 0,2 % spildevand må i sagens natur betegnes som en meget kraftig forurening.

I en tidligere undersøgelse blev sygdomsrisikoen ved indtagelse af forurenede drikkevand vurderet ud fra litteraturen /11/. Undersøgelsen viste at organismer af typen *Campylobacter*, *Giardia* samt virus af typen *Norovirus* var de hyppigst rapporterede årsager til sygdomsudbrud

i vandforsyninger i de Nordiske lande /11/. Det typiske indhold af Campylobacter i dansk spildevand vurderes at være  $10^5$  bakterier/L (eller lavere) /12/, mens den infektiøse dosis vurderes at være  $10^3$  bakterier /13/. Hvis én person indtager 2 L spildevandsforurenede drikkevand skal koncentrationen af forureningen således være over 0,5 % for at den infektiøse dosis er overskredet. Tilsvarende vurderes koncentrationen af spildevandsforureningen at skulle være over 0,005 % for Giardia og Norovirus. Fluorescensmetoden i den anvendte form synes altså at være potentielt effektiv som early-warning overfor en problematisk patogen som Campylobacter. For patogenerne Giardia og Norovirus må man forvente, at de kan forårsage sygdom ved koncentrationer, der er lavere end fluorescensmetodens følsomhed.

## **4 Overfladevand**

Den hygiejniske kvalitet af badevand kan reduceres som følge af en række faktorer f.eks. ved overfladeafstrømning eller udledning af urensset spildevand ved overløb fra afløbsnet.

I denne del af projektet drejede undersøgelserne sig om, hvorvidt fluorescenceteknikken kunne anvendes i forbindelse med overvågning af badevands hygiejniske kvalitet. Der blev fokuseret på marint vand, da dette repræsenterer langt den overvejende del af friluftsbadningen i Danmark. For badning i søer gælder at resultaterne fra undersøgelsen af overløbsvand kan overføres.

### ***4.1 Undersøgelsen***

Formålet med undersøgelsen var at fastlægge sammenhængen mellem fluorescenssignalet og fækale forureninger i marint vand.

Undersøgelsen bestod af to dele:

- Bestemmelse af den naturlige variation i fluorescensen
- Detektion af forskellige grader af spildevandsforurening

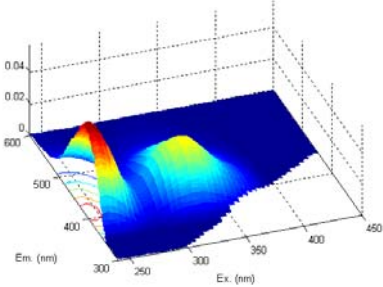
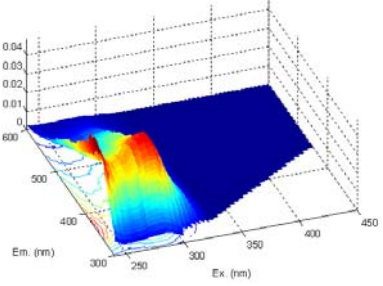
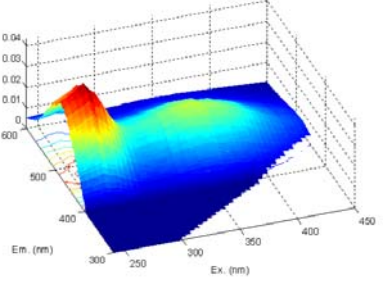
I første del af undersøgelsen blev der udtaget 22 vandprøver fra Islands Brygge og Svanemøllebugten i perioden 2. juli 2009 til 1. september 2009. Prøverne blev analyseret for fluorescens EEM med PARAFAC, ledningsevne, E.coli og Enterococcer.

I anden del af forsøget blev marint vand blandet med filtreret spildevand i forskellige forhold op til 2 % spildevand (19 prøver) med henblik på at bestemme detektionsgrænsen.

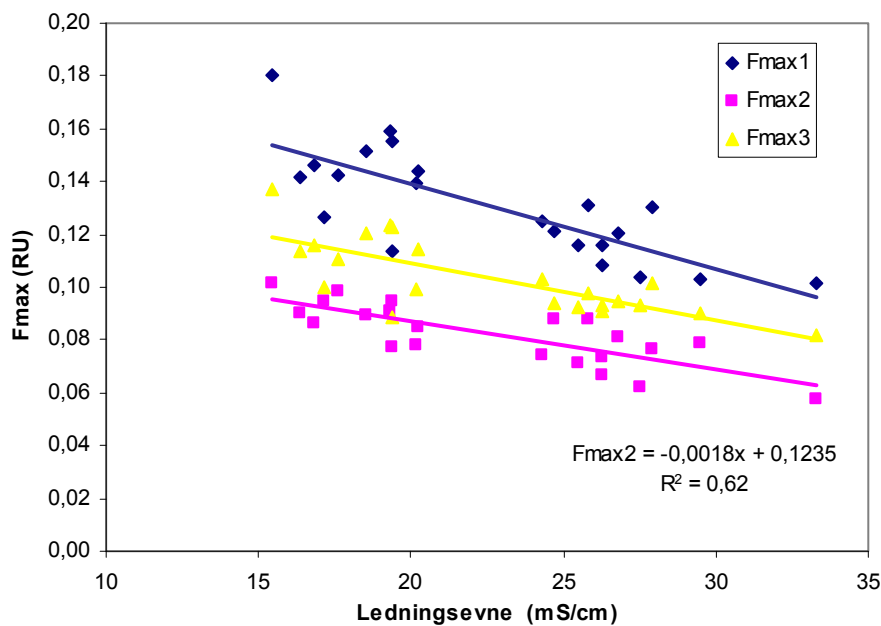
### ***4.2 Resultater og diskussion***

Med udgangspunkt i alle målingerne blev der opstillet en model for fluorescensen med PARAFAC. Bedste model havde 3 komponenter som vist i Tabel 4.1.

**Tabel 4.1. Komponenter i marint badevand identificeret ved PARAFAC.**

Komponent	Emissions maks. (nm)	Excitations maks. (nm)	Spektrum	Kommentar /1/
M1	416	245, 320		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer
M2	368	<240, 285		Fluorescens spektrum karakteristisk for phytoplankton muligvis med et bidrag fra tryptofan og afledte forbindelser
M3	484	260, 355		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer

Ledningsevnen for de indsamlede vandprøver lå i området 15,4 – 33,3 mS/cm. Der var en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem intensiteten af de 3 fluorescens modelkomponenter og ledningsevnen (se Figur 4.1). Korrelationskoefficienten for de tre komponenter lå i området 0,58 – 0,62.



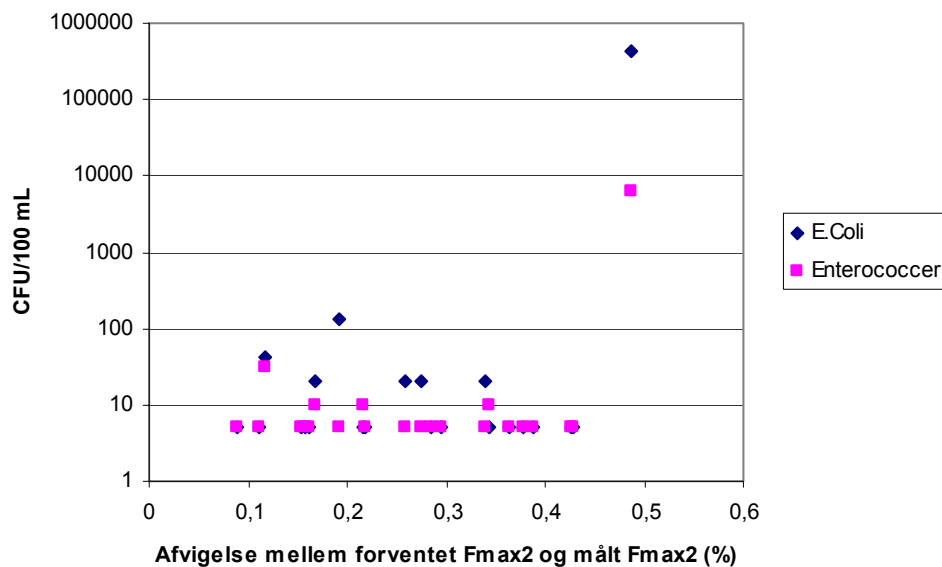
**Figur 4.1. Sammenhæng mellem ledningsevne og fluorescens i marint vand.**

Vandprøverne er taget i grænsen mellem Østersøen og Kattegat, hvor vandet fra Østersøen har den laveste salinitet. Tidligere undersøgelser har vist, at salt ikke påvirker fluorescenssignalet, hvorfor korrelationen sandsynligvis og ikke overraskende skyldes et højere organisk indhold i vandprøverne med den største andel af vand fra Østersøen.

Detektion af fækale forureninger på undersøgelsens to lokaliteter forudsætter altså at måleværdierne korrigeres for effekten af forskellen i det naturlige organiske mellem Østersøen og Kattegat. Korrektionen kan foretages ved prøvens ledningsevne benyttes til at beregnes en forventet fluorescens for prøven. Afvigelsen mellem den målte og den forventede fluorescens forventes derfor at korrelere til prøvens fækale forureningsgrad.

Figur 4.2 viser resultatet af de mikrobielle analyser sammenholdt med afvigelsen mellem forventet og målt fluorescens.

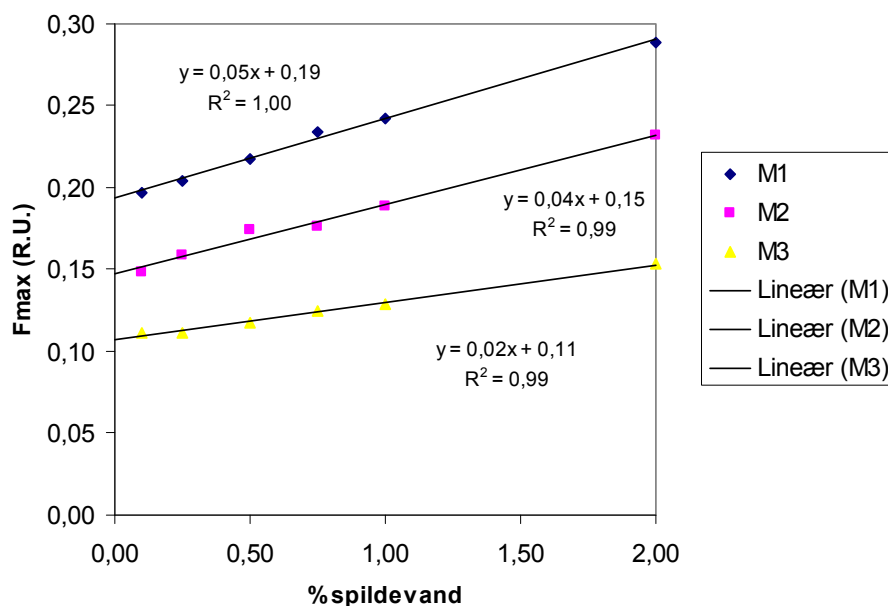




**Figur 4.2. Bakteriologiske målinger som funktion af fluorescensafvigelsen (komponent M2).**

Som det ses af figuren, er der ikke nogen systematisk sammenhæng mellem de bakteriologiske målinger og fluorescensmålingen for de marine prøver. Datagrundlaget er imidlertid meget spinkelt, da bakterieindholdet i prøverne for langt hovedparten af målingerne var under metodens detektionsgrænse. Det bemærkes dog, at den, bakteriologisk set, suverænt mest forurenede prøve havde den største fluorescensafvigelse, hvilket altså indikerer en sammenhæng.

I undersøgelsens anden del blev uforurenet marint vand tilsat varierende spildevandsmængder (0,1 – 2,0 % spildevand).



**Figur 4.3. Intensitet af komponenter som funktion af spildevandskoncentration (% v/v) i marin vandprøve.**

Detektionsgrænsen for spildevand blev bestemt ved at sammenholde måleværdi for en kendt forurening tæt på detektionsgrænsen med baggrundsværdi under hensyntagen til usikkerheden på målingen. Detektionsgrænsen blev til bestemt 0,2 % spildevand (95 % signifikansniveau). Med den givne spildevandssammensætning svarer dette til 45 µg-C/L.

I det marine overfladevand synes fluorescensmetoden at være anvendelig til early warning af sundhedsrisiko som følge af spildevandsforureninger i marint badevand. Det vil for visse lokaliteter være nødvendigt at supplere måling af fluorescens med ledningsevne for at kunne kompensere for effekten af variationen i sammensætningen af recipienten (som det var tilfældet i denne undersøgelse).

Det var ikke mulig at etablere en egentlig sammenhæng mellem de bakteriologiske målinger og fluorescensmålinger, hvilket kan tilskrives det sparsomme datagrundlag.

## 5 Overløbsvand

I forbindelse med store regnskyl kan det i nogen situationer være nødvendig at aflaste kloaksystemet ved at lede vandet urensset til recipient. Det er ønskeligt, at størrelsen og antallet af disse overløb begrænses mest muligt, da overløbsvandet kan indeholde en lang række forureningskomponenter, herunder spildevand.

Forureningsgraden af overløbsvandet er yderst dynamisk og variabel, da det er bestemt af en række faktorer som f.eks. regnintensitet, regnvarighed, tørperiode mellem regnskyl og spildevandets sammensætning. De nuværende metoder til karakterisering af sammensætningen er generelt besværlige, dyre og i nogen tilfælde også upålidelige.

En karakterisering af overløbsvandet kan give nyttig information omkring den stofflige belastning af recipienterne fra de enkelte overløb, hvilket kan anvendes som et led i prioriteringen af de fremtidige investeringer.

### *5.1 Undersøgelsen*

Formålet var at undersøge, hvorvidt fluorescensmetoden kunne bruges til at bestemme andelen af spildevand i overløbsvand. Undersøgelserne blev udført i Harestrup å ved København, hvor en række overløbsbygværker potentielt belaster åen under kraftige regnskyl /7/.



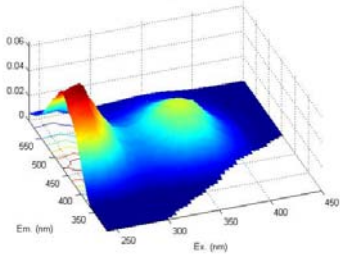
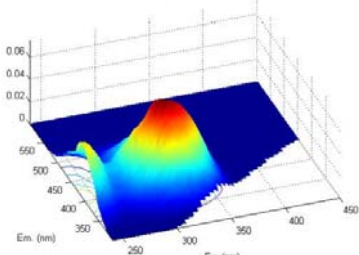
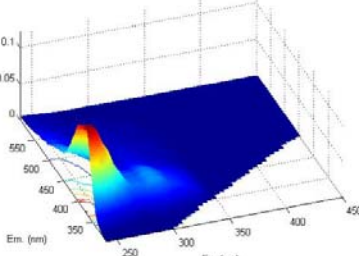
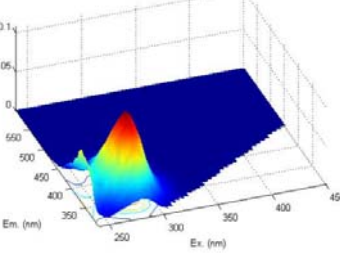
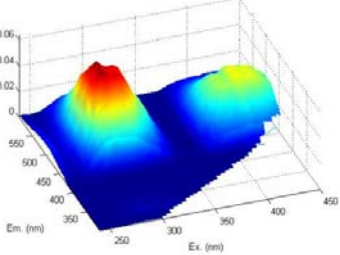
**Figur 5.1. Harrestrup å.**

Der blev indsamlet prøver fra 7 prøvesteder, der afspejler den normale tørvejrssituation uden overløb. I forbindelse med en specifik overløbshændelse d. 02-11-2009 har DHI stillet prøver og prøveresultater til rådighed. Målingerne blev foretaget ved 9 prøvesteder i åen samt 6 prøvesteder ved Kalvebod, hvor åvandet ledes til havet. Herudover blev der udtaget en prøve af det ufortyndede overløbssvand fra selve overløbsbygværket. Alle prøver blev samtidigt analyseret for en række parametre, herunder NVOC, UV<sub>254</sub> absorbans, total ammonium-N (TAN) og total fosfat.

## ***5.2 Resultater og diskussion***

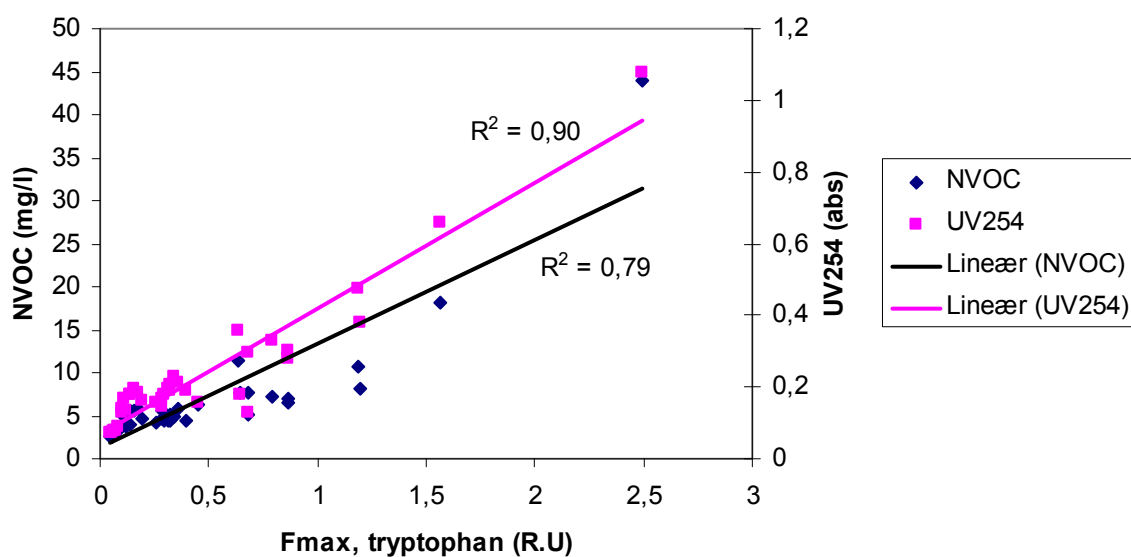
Ud fra PARAFAC modelleringen af alle prøvernes fluorescens blev der identificeret 5 komponenter (se Tabel 5.1).

**Tabel 5.1. Komponenter i overløbsvand identificeret ved PARAFAC.**

Komponent	Emissions maks. (nm)	Excitations maks. (nm)	Spektrum	Kommentar /1/
O1	470	260, 345 – 360		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer
O2	406 – 410	310 – 315, 240		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer af terrastisk oprindelse
O3	374 – 402	240		Fluorescens spektrum almindeligt forekommende i overfladevand
O4	350 – 362	280, <240		Fluorescens spektrum med lighed til spektrum for aminosyren tryptofan i forskellige proteinstrukturer
O5	486 – 506	285 – 305, 415 – 430		Fluorescens spektrum karakteristisk for humus stoffer

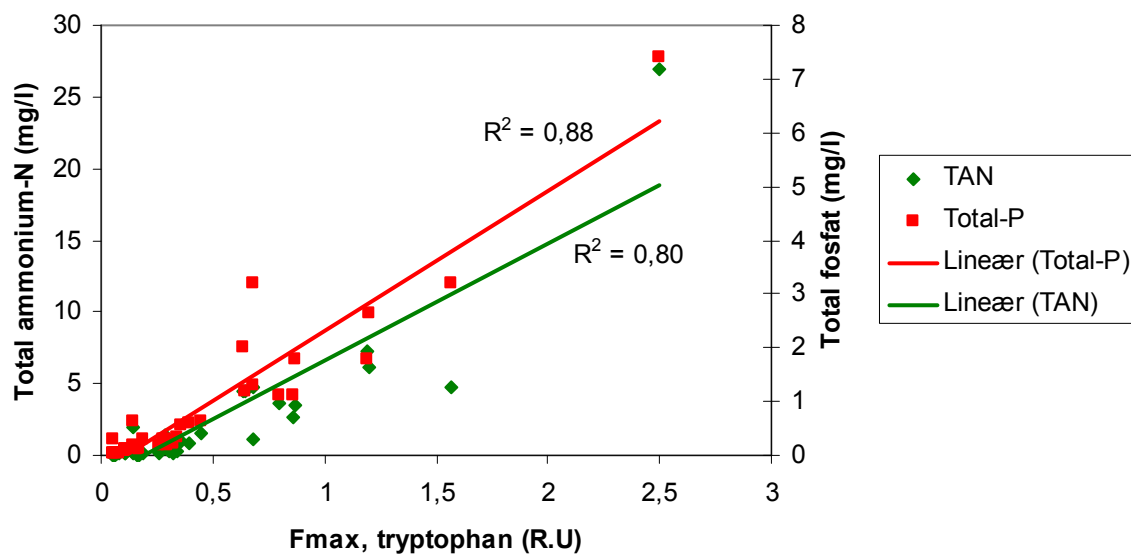
Komponent O4, synes i høj grad at være koblet til spildevand, selvom den også i tørvejrssituationen bidrog til den samlede fluorescens, svarende til et spildevandsindhold omkring 1,5 %.

Sammenlignes målingerne for NVOC og UV<sub>254</sub> med fluorescensmålingen for komponent O4 ses, at der er en god korrelation (se Figur 5.2).



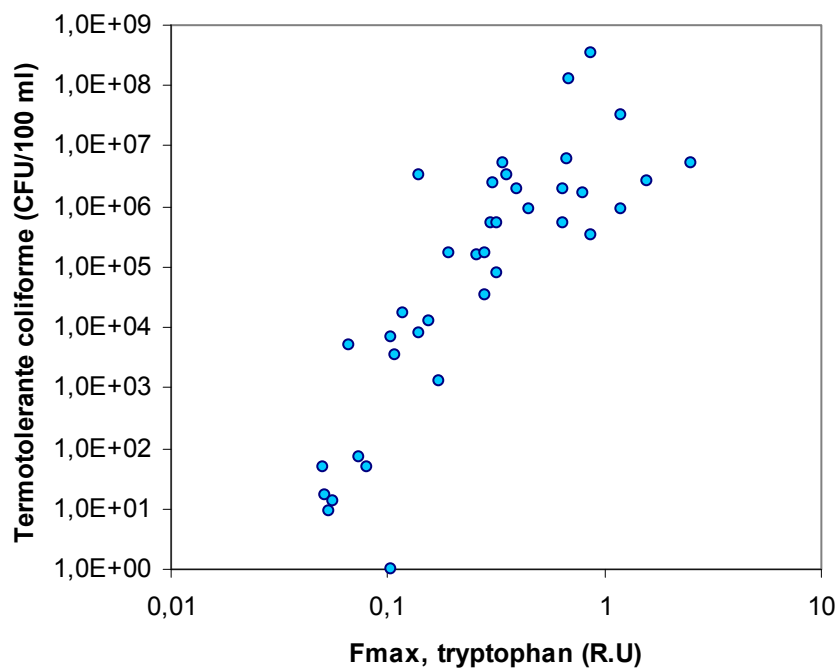
**Figur 5.2. NVOC og UV254 som funktion af fluorescenssignalet for tryptofan og relaterede forbindelser.**

Dette gælder også for korrelationen for total ammonium og total fosfat med fluorescensmålingen (se Figur 5.3).



**Figur 5.3. Total ammonium-N og total fosfat som funktion af fluorescenssignalet for tryptofan og relaterede forbindelser.**

Målingerne af termotolerante coliforme bakterier og fluorescens viser ikke en klar lineær sammenhæng. Den mikrobiologiske måling er imidlertid behæftet med stor usikkerhed, dels som følge af metodens iboende usikkerhed samt muligheden for sammenklumpning af bakterier i prøverne. Målingen af termotolerante coliforme beskrives normalt bedst med en log-normalfordeling. Figur 5.4 viser sammenhængen mellem koncentrationen af termotolerante coliforme og fluorescens i en dobbeltlogaritmisk afbildning. Det ses af figuren, at sandsynligheden for et højt antal termotolerante coliforme er høj, når fluorescensen er høj. Datagrundlaget synes dog at være for spinkelt sammenholdt med den store usikkerhed på målingen.



**Figur 5.4. Termotolerante coliforme som funktion af fluorescenssignalet for tryptofan og relaterede forbindelser.**

Som det ses af figurene (6.2-6.4) viste fluorescensmålingerne en god korrelation til en række af de parametre, der normalt benyttes som måling for spildevandsforureningens intensitet i recipienter. Sammenlignet med NVOC, UV<sub>254</sub>, TAN og total fosfat er fluorescensmetoden i langt højere grad specifik overfor fækal forurening og omvendt mindre følsom overfor andre påvirkninger f.eks. overfladeafstrømning fra landbrugsarealer.



## 6 Svømmebadsvand

Overvågning af vandkvaliteten i offentlige svømmebade er nødvendig for at minimere sundhedsrisikoen. Målingerne fokuserer normalt på bestemmelse af parametre relateret til kloringens effektivitet (klorkoncentration og pH), idet sundhedsrisikoen øges ved faldende kloringseffektivitet. Kloringseffektiviteten vil normalt ændre sig langsomt som en funktion af den stoflige belastning fra de badende og den tilførte klormængde. Da fækale forureninger må forventes at indtræffe hurtigt kan den nuværende overvågning kun i begrænset detektere hændelsen. Der er således brug for hurtige online metoder, der kan anvendes som early warning system. Som tidligere nævnt giver fluorescensmålingen mulighed for løbende at overvåge ændringer i sammensætningen af vandets kulstofpulje.

De driftsmæssige forhold kan have indflydelse på den ”naturlige” variation af koncentration og sammensætning af den organiske kulstofpulje. En effektiv detektion af fækale uheld forudsætter derfor, at den driftsmæssige variation kan adskilles fra de uønskede hændelser.

### 6.1 Undersøgelsen

Undersøgelserne i svømmebade havde to temaer:

- Karakterisering af den driftsmæssige variation i fluorescensmålingerne
- Detektion af forskellige grader af spildevandsforurening

I undersøgelsen af den driftsmæssige variation blev to svømmebassiner i Gladsaxe Sports Center undersøgt /8/. Det ene bassin var et koldtvandsbassin med 6 baner og en længde på 25 m. Det andet bassin var et mindre varmtvandsbassin (ca. 25 m<sup>3</sup>). Tabel 6.1 viser de basale kvalitetsparametre for bassinet.

**Tabel 6.1. Vandkvalitet i Gladsaxe svømmebadsbassiner.**

	Varmtvandsbassin	Koldtvandsbassin
Temperatur (°C)	31 – 33	26 – 27
pH	7,4	7,4
NVOC (mg/l)	2,2 – 3,2	1,8 – 1,9
Salinitet (%)	0,4	0,4
Klorindhold (mg/l)	Ca. 1,2	Ca. 1,2

Hvert bassin havde sit eget vandbehandlingsanlæg, hvor vandet blev recirkuleret (se Figur 6.1). Behandlingsprocessen bestod af et grovfilter, hvor større partikler blev fjernet efterfulgt af et sandfilter til fjernelse af mindre partikler. Endeligt doseredes løbende klor.

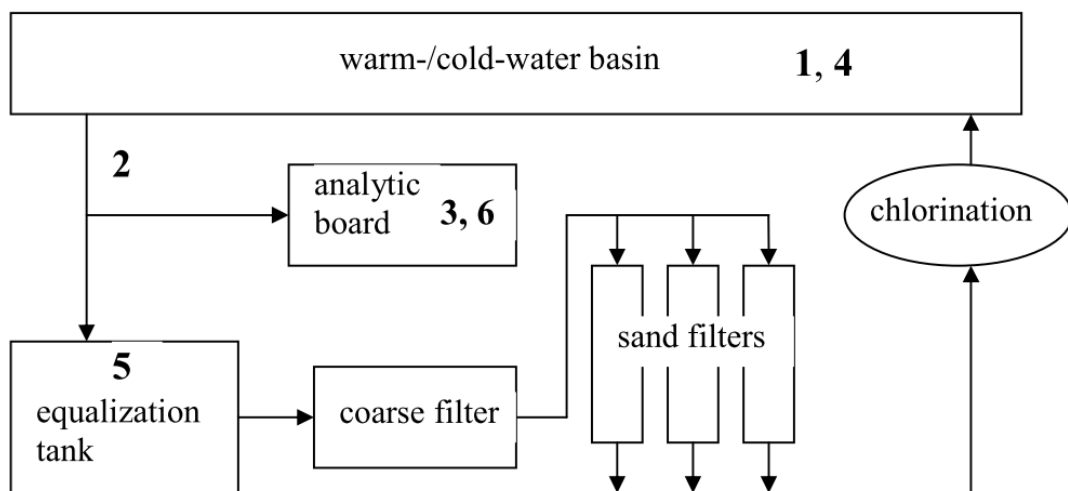
Prøvetagningstederne fremgår af figuren.

I koldvandsanlægget blev prøverne udtaget:

1. Direkte i bassinet
2. Før udjævningsstank
3. Ved prøvested for rutinekontrol

I varmvandbassinet blev prøverne taget:

4. Direkte i bassinet
5. I udjævningsstanken
6. Ved prøvested for rutinekontrol



**Figur 6.1. Skitse af vandbehandlingsanlæg og prøvetagningspunkter i Gladsaxe Sports Center.**

For at bestemme fluorescensmålingens følsomhed overfor fækal forurening blev en række vandprøver tilsat en kendt mængde ufiltreret spildevand i området 0 – 2 % spildevand. Spildevandet blev udtaget fra Lundtofte renseanlæg og havde en sammensætning som vist i Tabel 3.1.

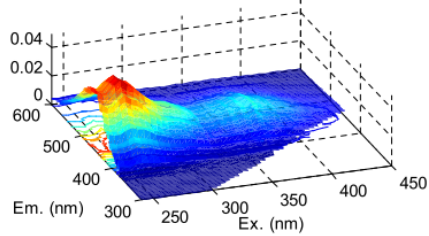
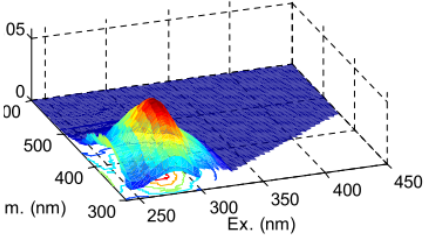
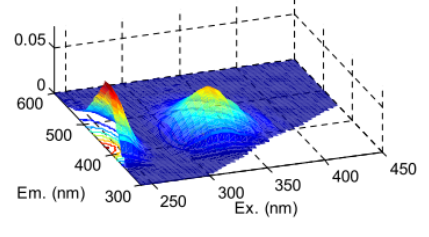
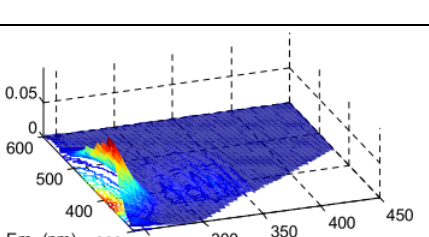
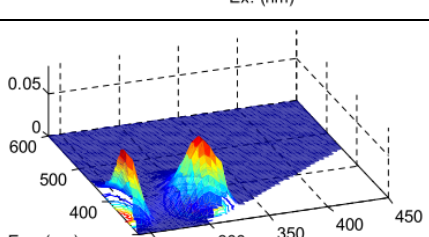
## **6.2 Resultater og diskussion**

Fluorescenssignalet i svømmebade var generelt lavt (se Tabel 6.1), hvilket formentlig skyldes at klor løbende oxiderer det organiske kulstof i vandet. Der er ikke tidligere foretaget målinger af fluorescens spektre i svømmebadsvand, men overordnet set havde fluorescens

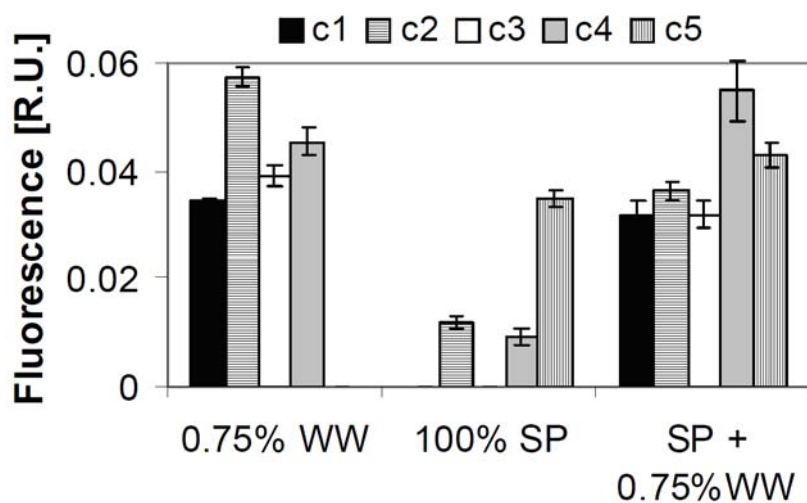
spektret mange lighedspunkter med overfladevand, dog var den generelle intensitet af fluorescensen lavere.

Datasættet bestod af mere end 100 prøver. Puljen af organisk stof blev karakteriseret ved PARAFAC ved fem forskellige komponenter (se Tabel 6.2).

**Tabel 6.2. Komponenter i svømmebadsvand identificeret ved PARAFAC.**

Komponent	Emissions maks. (nm)	Excitations maks. (nm)	Spektrum	Kommentar /1/
C1	520	260, <240, 370		Fluorescens spektrum typisk for terrastisk materiale
C2	330	280		Fluorescens spektrum med lighed til spektrum for aminosyren tryptofan i forskellige proteinstrukturer
C3	420	<240, 330		Fluorescens spektrum almindeligt forekommende i naturlige vandtyper herunder overfaldevand, grundvand og marint vand
C4	370	<240		Fluorescens spektrum almindeligt forekommende i overfladevand
C5	360	<240, 310		Fluorescens spektrum med lighed til spektrum for aminosyren tryptofan (dog længere bølgelængder for excitation og emission)

Overordnet set var komponent S5 specifik for pool vand, komponent S1 og S3 var specifik for spildevand, mens komponent S2 og S4 var til stede i både pool og spildevand. Dog var koncentrationen meget højere i spildevand (se Figur 6.2).

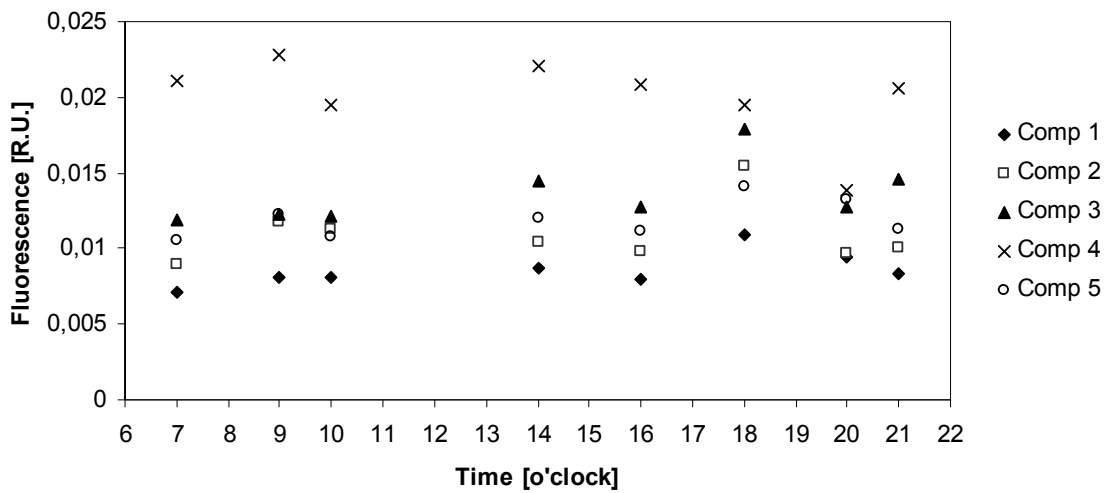


**Figur 6.2. Sammensætning af kulstofpuljen i spildevand (WW), svømmebadsvand (SP) og blanding af svømmebadsvand og 0,75 % spildevand (SP + 0,75 % WW).**

Det er bemærkelsesværdigt, at den modelkomponent (C2), der er tættest knyttet til aminosyren tryptofan ikke er eksklusivt forekommende i spildevand, som det var tilfældet i drikkevandsundersøgelsen. Komponenten forekommer således til en vis grad i det ”uforurende” svømmebadsvand.

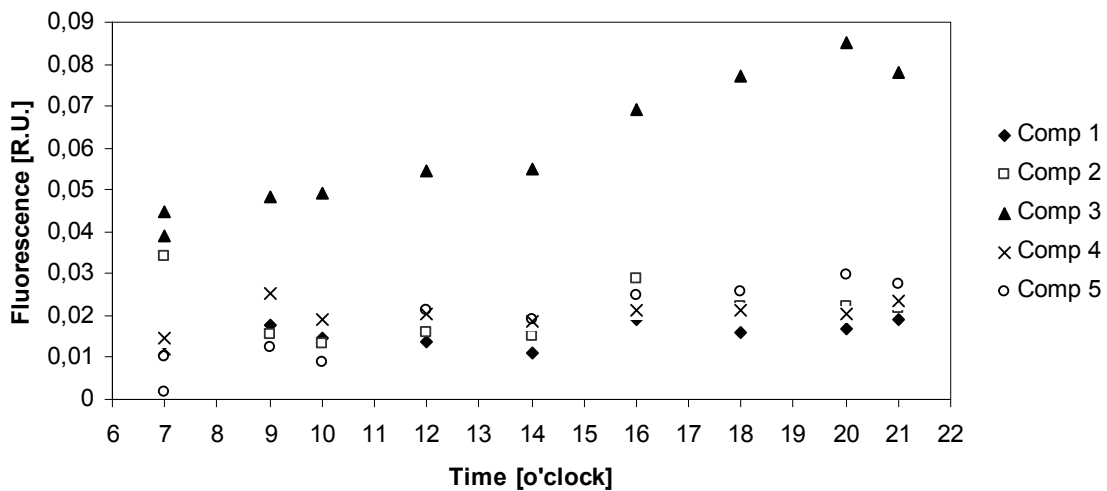
Kinetikstudier viste, at den målte sammensætningen af kulstofpuljen var stabil over 160 min (data ikke vist). Der var altså ikke tegn på det organiske stof i prøve i prøven blev nedbrudt af klore i det givne tidsrum.

I koldvandsbassinet var sammensætningen af kulstofpuljen forholdsvis stabil og lav henover dagen (se Figur 6.3).



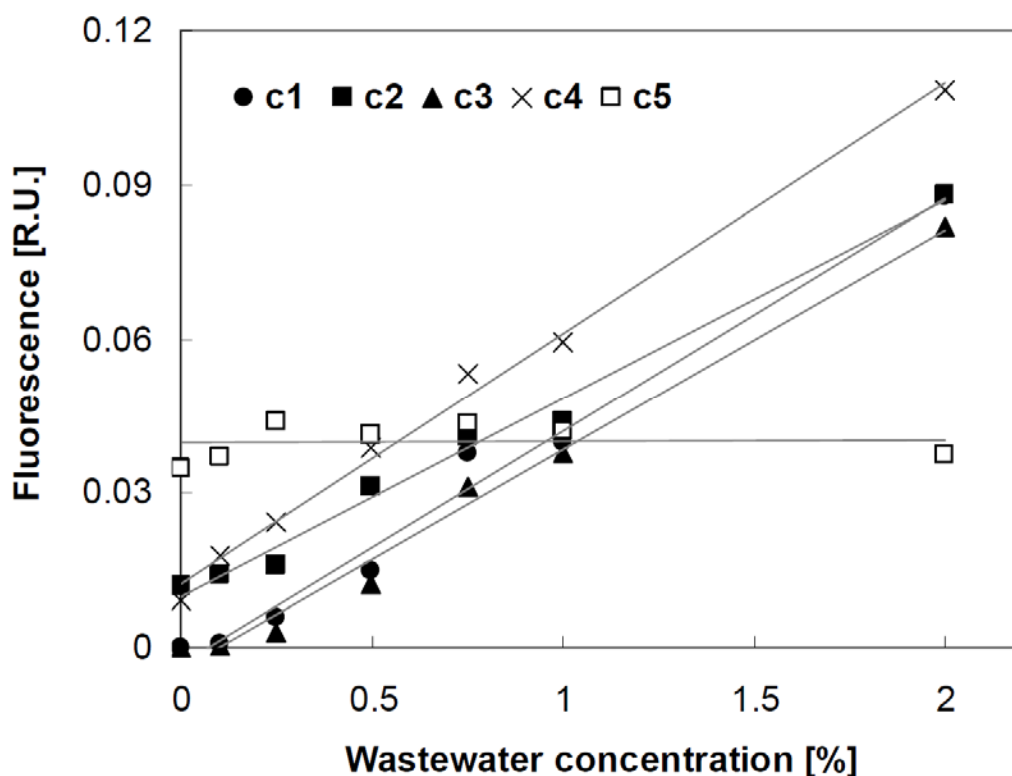
**Figur 6.3. Sammensætning af koldvandsbassinets kulstofpulje som funktion af tiden.**

I varmtvandsbassinet var fluorescensniveauet højere og samtidig synes der at ske en akkumulering af komponent C3 henover dagen.



**Figur 6.4. Sammensætning af varmtvandsbassinets kulstofpulje som funktion af tiden**

Dosering af en kendt spildevandsmængde til svømmebadsvand gav et fluorescensrespons som vist i Figur 6.5.



**Figur 6.5. Kulstofpuljens sammensætning som funktion af spildevandsmængden.**

Komponent C1 – C4 viste alle en god korrelation til den doserede spildevandsmængde (korrelation  $>0,985$ ), mens komponent C5 havde et konstant niveau. Sandsynligvis er komponent C5 et resultat af den kemiske oxidation, der løbende finder sted i svømmebadet.

Komponent C4 havde den laveste detektionsgrænse for spildevand svarende til 0,2 % spildevand (95 % signifikansniveau) eller 0,05 mg NVOC/l. Tilsvarende lå detektionsgrænsen for komponent C2 og C3 omkring 0,13 mg NVOC/l.

Komponent C3 synes at være mest velegnede for early warning af fækale uheld i svømmebade, fordi den tilsyneladende er knyttet badeaktiviteterne i bassinet, samtidig med at komponenten er relativt stabil. Under antagelse at fæces indeholder ca. 20 % organisk stof svarer den opnåede målefølsomhed til detektion af ca. 16 g fæces opblandet i et 25 m<sup>3</sup> bassin. Det må antages at opblandingen i praksis ikke er fuldstændig, hvorfor koncentrationen må forventes at være betydeligt højere.

Det vil imidlertid være hensigtsmæssigt, at gennemføre egentlige forureningsforsøg i laboratoriet med fæces frem for spildevand, da spildevand kan indeholde en række forureningskomponenter, der ikke er relevante for svømmebade.



## 7 Konklusion

Overordnet viser projektets undersøgelser, at fluorescensmålinger er velegnede til at detektere fækale forureninger i en række forskellige tekniske systemer.

### **Drikkevand**

I drikkevandssystemet blev der udført målinger på vandværk og i ledningsnet. Den naturlige variation i sammensætningen af den organiske kulstofpulje synes kun i ringe grad at påvirke muligheden for at detektere fækale forureninger.

Der blev udpeget én egnet bølgelængde for excitation og to emissionsbølgelængder der var særligt velegnede til detektion af fækale forureninger. I forsøget kunne følsomheden opretholdes med den forsimplede måling. Dette danner grundlag for udvikling af en prisbillig sensor til early warning af fækale forureninger.

I undersøgelsen kunne fækale forureninger detekteres ned til en koncentration svarende til 0,2 % spildevand med et signifikansniveau på 95 %. Dette svarer til detektion af 40 µg-C/L med spildevandsoprindelse.

Resultaterne tyder på, at fluorescensmålinger er anvendelige i early warning systemer for fækale forureninger i drikkevandssystemer med den nuværende følsomhed. Målemetoden synes at være et godt supplement til de eksisterende onlinemetoder idet målingen kun i ringe grad er korreleret til eksisterende online måleinstrumenter til brug i vandforsyning.

### **Overfladevand**

Der blev foretaget målinger af marint badevand med henblik på at undersøge sammenhængen mellem de bakteriologiske målinger og fluorescensspektret. Det var ikke muligt på baggrund af de udtagne prøver at etablere en egentlig sammenhæng mellem badevandskvalitet og fluorescens, hvilket tydeligvis skyldes, at niveauet af den fækale forurening i hovedparten af prøverne var under detektionsgrænsen for målemetoden. Det er derfor uklart, hvorvidt metoden kan benyttes som simpel screening for overholdelse af de hygiejniske badevandskvalitetskrav.

Laboratorieforsøg viste at spildevand kunne detekteres ned til en koncentration på 0,2 % svarende til, hvad der blev observeret i drikkevand. Fluorescensmetoden synes at være anvendelig til early warning af sundhedsrisiko som følge af spildevandsforureninger i marint badevand.

## **Overløbsvand**

I Harrestrup å blev fluorescensmålingerne anvendt til at bestemme spildevandspåvirkningen efter en specifik overløbshændelse. Fluorescensmålingerne viste en god korrelation til en række af de parametre (NVOC, UV<sub>254</sub>, TAN og total fosfat), der normalt benyttes som mål for spildevandsforureningens intensitet i recipienter. For termotolerante coliforme bakterier var der kun ringe korrelation, hvilket formentlig skyldes inhomogenitet i prøven og måleusikkerhed ved den bakteriologiske metode.

Fluorescensmetoden vurderes at være særdeles anvendelig til at kvantificere spildevandspåvirkning i forbindelse med overløbshændelser, idet målingen er simplere og mere specifik overfor fækale forureninger end de nuværende metoder.

## **Svømmebadsvand**

I svømmebade kunne der observeres en sammenhæng mellem badeaktiviteterne i bassinet og fluorescensmålingerne. Svømmebassinernes klorindhold havde ingen målbar effekt på målingen og baggrundsniveauet af organisk stof var lavt og stabilt.

Laboratorieforsøg viste at spildevand kunne detekteres ned til en koncentration på 0,2 % svarende til, hvad der blev observeret i drikkevand og marint vand. Fluorescensmetoden synes at være anvendelig i forhold early warning af sundhedsrisiko som følge af fækale uheld i svømmebade.

## **Generelt**

Metoden synes at være robust og specifik, hvilket illustreres ved, at metoden var anvendelig og havde en ensartet følsomhed overfor fækale forureninger i alle de undersøgte miljøer.

Metoden giver mulighed for udvikling af online instrumenter målrettet forskellige anvendelser.

Metoden omkring fluorescens fingeraftryk er ikke begrænset til at kunne detektere fækale forureninger, men kan principielt udvides til andre typer organiske forureninger.

## 8 Referencer

- /1/ Coble, P. G. (1996) Characterisation of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Mar. Chem.* 51, 325–346.
- /2/ Chin Y. P., Aiken G., O’Loughlin, E. (1994) Molecular Weight, Polydispersity, and Spectroscopic Properties of Aquatic Humic Substances, *Environ. Sci. Technol.* 28, 1853–1858 (4)
- /3/ McKnight, D. M.; Boyer, E. W.; Westerhoff, P. K.; Doran, P. T.; Kulbe, T.; Andersen, D.T. (2001) Spectrofluorometric characterisation of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. *Limnol. Oceanogr.* 46, 38–48.
- /4/ Boe-Hansen, R., Albrechtsen, H.-J., Arvin, E., & Spliid, H. (2003) Mikrobielle forureninger - vi ser kun toppen af isbjerget. *Dansk Vand* 71 (2), 86-90.
- /5/ Stedmon, C.A; Seredyńska-Sobecka, B; Boe-Hansen, R; Le Tallec, N. & Arvin, E (2010) A novel approach to monitoring drinking water quality and contamination. To be submitted.
- /6/ Stedmon, C.A & Bro, R (2008) Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel factor analysis: a tutorial. *Limnology and Oceanography: Methods* 6, 572–579.
- /7/ Ziersen, J.F. (2010) Detection of Wastewater in a Contaminated Stream using Fluorescence/UV-Vis Spectroscopy and PARAFAC Modeling. Bachelor’s thesis, DTU Environment. DTU.
- /8/ Seredyńska-Sobecka, B; Stedmon, C.A; Boe-Hansen, R; Waul, C.K. & Arvin, E Monitoring organic loading to swimming pools by fluorescence Excitation-Emission Matrix with parallel factor analysis (PARAFAC). Under udgivelse af *Water Research*.
- /9/ Stedmon, C.A., S. Markager & Bro, R (2003). Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy. *Mar: Chem.* 82: 239-254.
- /10/ Ingeniørens netavis (2010). Ny målemetode kan opdage afføring i drikkevandet på sekunder. <http://ing.dk/artikel/111607-ny-maalemetode-kan-opdage-affoering-i-drikkevandet-paa-sekunder>.
- /11/ By- og Landskabsstyrelsen (2009). Risikovurdering og risikoprofil af forekomst af coliforme bakterier i drikkevand. Miljøministeriet. [http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/417080E2-C1A5-4E5B-9097-4A47D62F471D/0/Risikovurdering\\_og\\_risikoprofil\\_ColiRisk.pdf](http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/417080E2-C1A5-4E5B-9097-4A47D62F471D/0/Risikovurdering_og_risikoprofil_ColiRisk.pdf).
- /12/ Miljøstyrelsen (2002) Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra offentlige renselanlæg, Miljøprojekt nr. 684. <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2002/87-7972-078-1/pdf/87-7972-080-3.pdf>.

/13/ WHO (2006) Guidelines for drinking-water quality.

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/fulltext.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf)



Naturstyrelsen  
Haraldsgade 53  
2100 København Ø  
[www.nst.dk](http://www.nst.dk)