



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Jordforureningers påvirkning af overfladevand

Fortyndinger i fjorde og søer,  
delprojekt 5

Miljøprojekt nr. 1725, 2015

**Titel:**

Fortyndinger i fjorde og søer, delprojekt 5

**Redaktion:**

Jørgen Krogsgaard Jensen (DHI)  
Mads N. Madsen (DHI)

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**År:**

2015

**ISBN nr.**

978-87-93352-38-4

**Ansvarsfraskrivelse:**

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Konklusion og sammenfatning .....</b>	<b>6</b>
<b>Conclusion and Summary .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Introduktion .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Fortyndingsforhold i søer og fjorde – generelt .....</b>	<b>11</b>
2.1 Fortynding i fjorde .....	11
2.2 Fortynding i søer .....	11
2.3 Vurdering af fortynding ved brug af strømningssmodeller .....	12
2.4 MIKE 3 modellen .....	13
2.5 Hvordan bruges modelresultater til beregning af fortynding .....	14
<b>3. Valgte vandområder .....</b>	<b>17</b>
<b>4. Datagrundlag .....</b>	<b>18</b>
4.1 Fjorde .....	18
4.2 Søer .....	21
<b>5. Vurdering af fortynding i søer og fjorde .....</b>	<b>24</b>
5.1 Modelopsætning og model koncept for fjorde .....	24
5.2 Modelopsætning og model koncept for søer .....	24
<b>6. Resultater .....</b>	<b>27</b>
6.1 Generelt .....	27
6.2 Fjorde - specielle forhold og skalering af kildestyrke .....	27
6.3 Søer - specielle forhold og skalering af kildestyrke .....	30
6.3.1 Skalering af kildestyrke .....	31
6.3.2 Søer ikke omfattet af modelberegninger .....	31
<b>7. Konklusioner og anbefalinger .....</b>	<b>32</b>
<b>Bilag 1: Datakilder .....</b>	<b>33</b>
<b>Bilag 2: Fortyndingsberegninger .....</b>	<b>34</b>
<b>Bilag 3: Tabeller med fjorde og søer, som indgår .....</b>	<b>36</b>
<b>Bilag 4: Centrale modelkonstanter for modellering af fjorde og søer, i MIKE3 .....</b>	<b>40</b>



# Konklusion og sammenfatning

## Konklusion

Der er opstillet 3-dimensionelle fortyndingsmodeller til beregning af fortyndingsforhold for 78 fjorde og 140 søer. Der er desuden givet et skøn for fortynding i søer, som ikke er dækket af modelberegningerne. Modellerne (Opstillet i MIKE 3 FM) tager i mulig udstrækning hensyn til de vigtigste styrende parametre for strøm- og fortyndingsforhold. Resultatet er GIS baserede kort med fortyndingsfaktorer for vandområdernes bredzoner.

Det er vigtigt at fremhæve, at de beregnede fortyndinger og tilhørende GIS temaer skal indgå i et screeningsværktøj for vurderingen af jordforureningers potentielle trussel mod søer og fjordes vandkvalitet. I Miljøstyrelsens screeningsværktøj er en potentiel trussel givet ved en overskridelsesfaktor større end 1. Det svarer til at vandkvalitetskravet i et vandområde bliver overskredet. Hvis overskridelsesfaktoren ligger inden for intervallet 0,5 til 2 svarende til +/- 100 % af værdien 1, anbefales det at gennemføre mere detaljerede beregninger og vurderinger af den beregnede fortynding. Det skal dog bemærkes, at der kan være andre parametre, der er årsagen til overskridelsen og som man i ligeså høj grad eller i højere grad skal kigge på.

## Sammenfatning

Udsivningen af uønskede stoffer fra en jordforurening til en sø eller en fjord vil typisk ske over en front og vil kunne forekomme i forskellige dybder alt efter de lokale forhold. Den væsentligste fortynding af forureningen sker, når det forurenede vand når selve vandområdet. De aktuelle strøm- og dybdeforhold i vandområderne er helt styrende for graden af opblanding og dermed fortyndingen. Strømforholdene er igen generelt styret af de fysiske forhold såsom:

- Vanddybder (og bundforhold)
- Vindforhold (styrke og retning) ved den fri vandoverflade
- Tilstrømning fra opland (har stor betydning for opholdstiden i søer)
- Vandets temperaturgradienter (primært i søer)
- Salinitetsgradienter (primært i fjorde)
- Tidevandsforhold (ved fjordens munding i fjordsystemer)

Derudover påvirker f.eks. kraftig vegetation i vandområdet også strøm- og fortyndingsforholdene.

Strøm- og fortyndingsforholdene i fjorde er styret af de lokale dybdeforhold i kombination med vandstandsvariationer (tidevand samt stuvning) ved fjordens udløb og vindpåvirkning direkte på fjordens vandoverflade. I søer er de vigtige styrende faktorer gennemstrømning, vindpåvirkning, dybdeforhold og plantevækst.

Da strømforholdene og dermed fortyndingen i fjorde og søer varierer meget både i tid og sted, er det fundet mest hensigtsmæssigt at etablere en 3-dimensionel hydraulisk model (MIKE 3 FM), der på baggrund af historiske data (dybde, vind og vandstand) er i stand til at beskrive strømforholdene, rumligt såvel som tidsmæssigt. En model bør verificeres mod målte eller observerede data. Da dette ikke har været muligt i det gennemførte arbejde, er der blevet anvendt erfaringstal, hvad angår modellens kalibreringsparametre. Strømforholdenes variation over året er i de udvalgte fjorde og søer beregnet, og en fortyndingsfaktor er beregnet i en afstand på 50 m fra et udsivningspunkt. Ved beregning af fortyndingsfaktorer er benyttet 5 % fraktilen af de på årsbasis beregnede fortyndinger.

Dvs. at fortyndingen i 95 % af tiden vil være lig med eller større end den beregnede fortyndingsfaktor. Kun i 5 % af tiden vil fortyndingen være mindre end den beregnede faktor.

Der er udarbejdet et GIS tema med fortyndingsfaktorer langs bredden af de 78 fjorde, som indgår i de danske overvågningsprogram, samt for 140 søer udvalgt blandt de 925 søer, der indgår i NOVANA overvågningsprogrammet. De 140 søer er udvalgt ud fra et nærhedskriterium på 100 meter fra lokaliteter, hvor der ifølge Miljøstyrelsens database forekommer jordforureninger.

De producerede fortyndingskort er baseret på udsivninger med en kildestyrke på 0,1 l/s. Fortyndingskortene kan skaleres til andre kildestyrker. De kan desuden skaleres til forskellige koncentrationer i det udsivende vand (forureningsfluxen).

I visse vandområder med lille gennemstrømning kan der ske ophobning af udsivende stof, som der bør tages hensyn til ved vurdering af de resulterende koncentrationer i områderne. Dette er specielt udtalt for søer med lille gennemstrømning. Skaleres kildestyrken ift. 0,1 l/s skal der for disse gennemføres en særlig beregning. Der er givet anvisning i rapporten på, hvordan skaleringerne kan gennemføres.

# Conclusion and Summary

## Conclusion

3D dilution models have been developed to calculate the dilution ratio for 78 fiords and 140 lakes. In addition, the dilution in lakes which are not covered by the model calculations has been estimated. The models (developed in MIKE3 FM) consider to the maximum extent possible the most important guiding parameters for conditions regarding currents and dilution. The result is GIS-based maps with dilution factors for coast near zones of the water bodies.

It is important to stress that the calculated dilutions and related GIS-themes is meant to be used in screening tool for estimating the potential threat to the quality of lakes and fiords posed by the soil pollution. In the EPA's screening tool there is a potential threat if an exceedance factor is higher than 1, which corresponds to an exceedance of the water quality requirement in a water body. If the exceedance factor lies within the interval between 0.5 to 2, corresponding to +/- 100% of the value 1, it is recommended to carry out more detailed calculations and estimations of the calculated dilution. It should be pointed out, however, that there may be other parameters which cause the exceedance and which should be examined as well and even more closely.

## Summary

Leaking of undesired substances from a soil contamination to a lake or a fiord will typically take place over a front and may happen at different depths according to the local conditions. The most substantial dilution of the pollution takes place when the polluted water reaches the actual water body. The present conditions regarding currents and depths in the water bodies are totally responsible for the degree of mixing and thus the dilution. The conditions regarding the currents are primarily decided by the physical conditions, such as

- Water depths (and seabed conditions)
- Wind conditions (speed and direction) in the free water surface
- Influx from the catchment area (important for the retention time in lakes)
- Temperature gradients of the water (primarily in lakes)
- Salinity gradients (primarily in fiords)
- Tidal conditions (at the fiord's estuary in fiord systems)

In addition, heavy vegetation in the water body also influences the current and dilution conditions.

The current and dilution conditions in fiords are controlled by the local depths in combination with the variations of the water levels (tide and stowage) at the estuary of the fiord and the wind effects directly on the surface of the water in the fiord. In lakes the most important controlling factors are flow, wind, depths and vegetation.

As currents and thus the dilution in fiords and lakes vary a lot both regarding time and place, it is found most appropriate to establish a 3D hydraulic model (MIKE 3 FM) which on the basis of historic data (depth, wind and water level) is able to describe the current conditions, both spatially and temporally.

A model should be verified against measured or observed data. As this has not been possible in the completed work, empirical values have been used for the calibration parameters of the model. The variation of the currents during the year has been calculated in the selected fiords and lakes, and a

dilution factor has been calculated at a distance of 50 m from a leakage point. When calculating the dilution factors the 5% percentile of the annually calculated dilutions has been used. This means that the dilution during 95% of the time will be equal to or larger than the calculated dilution factor. Only during 5% of the time the dilution will be below the calculated factor.

A GIS-theme has been created with dilution factors along the bank of the 78 fiords which are included in the Danish monitoring programme and for the 140 lakes which have been selected among the 925 lakes which are part of the NOVANA monitoring programme. The 140 lakes have been selected based on a proximity criterion of 100 m from locations where soil pollution have been mapped.

The produced dilution maps are based on leakages with a source discharge intensity of 0.1 l/s into the water body. The dilution maps may be scaled to other sources intensities. Furthermore, they may be scaled to different concentrations in the leaking water (the pollution flux).

In certain water bodies with a small flow an accumulation of leaking substance may occur which must be considered when estimating the resulting concentrations in the areas. This is especially pronounced in case of lakes with long retention time. For such lakes special calculation is required if the source intensity has to be scaled relative to 0.1 l/s. The report describes how the scaling can be carried out.



# 1. Introduktion

Denne rapport er udarbejdet af DHI i forbindelse med projekt vedr. jordforureningslovens indsats over for overfladevand - Projekt opgave 5: Beregninger af fortyndinger i søer og fjorde.

Rapporten er én ud af 6 delprojekter, der blev i gangsat af Miljøstyrelsen i forbindelse med identificering af overfladevandstruende jordforureninger. De 5 øvrige delprojekter omhandlede følgende emner: NIRAS, Relation mellem stoffer og brancher; COWI, Stofspecifikke afstandskriterier til overfladevand; Orbicon, Relation mellem stoffer, koncentrationer og fluxe; DTU, Vurdering af fortynding i vandløb ved påvirkning fra forurenede grunde; Orbicon, Systematisering af DK-Jord data og udvælgelse af overfladevandstruende jordforureninger vha. GIS og database. Det endelige resultat af de 6 delprojekter er et "dashboard-lignede" værktøj (analog til fortynding langs danske kyster: <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/jord/screeningsprincip-for-jordforurening/>), som skal udføre en risikoscreening af alle forurenede grunde i Danmark i forhold til nærtliggende vandløb, søer, fjorde og åbne kyster.

Projektets formål er at etablere et grundlag for vurdering af den fortynding, der vil ske, når forurenede vand fra områder med jordforurening siver ud i søer og fjorde. Formålet er således at skabe grundlag for en vurdering af potentielle forureningskoncentrationer af miljøfarlige stoffer langs kysten i danske fjorde og søer.

Projektet omfatter beregning af strømningsforhold i udvalgte søer og fjorde ved tredimensional matematisk modellering med softwaret MIKE 3. Resultatet herfra er benyttet til etablering af et fortyndingskort i GIS for vandområderne og dermed et grundlag for en første vurdering af, hvilke jordforureninger der potentielt udgør en trussel i henhold til overfladevand i de inkluderede søer og fjorde.

Modelopsætninger og beregningsresultater fra MIKE3 opbevares af DHI for Miljøstyrelsen i minimum 5 år efter afslutning af opgaven. De udarbejdede fortyndingskort i GIS er overdraget til Miljøministerier til brug for opbygning af screeningværktøj for identificering af overfladevandstruende jordforureninger.

Målet med denne rapportering er at give brugeren af de samlede screeningsværktøj, som udvikles i regi af Miljøstyrelsen, en viden om og en forståelse for den baggrund fortyndingsberegningerne i fjorde og søer er gennemført på samt af, hvordan de gennemførte beregning kan anvendes, og hvilke forudsætninger der er for de udarbejdede fortyndingskort.

Resultaterne vil blive brugt til en landsdækkende screening af kendte forurenede arealer for at vurdere, hvorvidt de udgør en risiko for den kemiske tilstand i nærliggende søer og fjorde. Digitale delelementer fra denne undersøgelse kan eventuelt også anvendes i arbejdet med søer i forbindelse med modeller til Naturstyrelsens vandplaner.

## 2. Fortyndingsforhold i søer og fjorde – generelt

Når der udledes spildevand (forurenede vand) til et vandområde, vil der ske en naturlig fortynding i takt med, at det forurenede vand blandes op i vandområdet, og koncentrationen af det udledte stof falder jo længere man kommer væk fra udledningspunktet. Da der her er tale om udsivning af forurenede vand fra en jordforurening i nærheden af overfaldevandområdet, er udledningspunktet ofte ikke veldefineret. Selve udsivningen vil typisk ske over en front og kan ske i forskellige dybder og alt efter de lokale forhold. Blandt andet vil disse forhold naturligvis regulere mængden og koncentrationen af udledt stof i et givet punkt. Hovedparten af fortyndingen sker imidlertid primært i selve vandområdet, og de aktuelle strøm- og dybdeforhold i denne er helt styrende for graden af opblanding og dermed fortynding i en given afstand fra kilden. Strømforholdene er igen styret af de fysiske forhold såsom:

- Vanddybder (og bundforhold)
- Vindforhold (styrke og retning) ved den fri vandoverflade
- Tilstrømning fra opland (har stor betydning for opholdstiden i søer)
- Vandets temperaturgradienter (primært i søer)
- Salinitetsgradienter (primært i fjorde)
- Tidevandsforhold (ved fjordens munding i fjordsystemer)

Derudover påvirker f.eks. kraftig vegetation i recipienten også strømforholdene.

Ved en vurdering af fortynding i en recipient, hvad enten der er tale om en sø eller en fjord, er det derfor altafgørende at have kendskab til ovenstående lokale fysiske forhold.

### 2.1 Fortynding i fjorde

Strømforholdene i fjorde og dermed fortyndingen er styret af de lokale dybdeforhold i kombination med vandstandsvariationer (tidevand samt stuvning) ved fjordens udløb og vindpåvirkning direkte på fjordens vandoverflade. Hvad angår udsivning fra jordforureningsarealer til fjorde, er der primært tale om ferskvand, der ledes ud i et marint (dvs. saltholdigt) miljø. Saltholdigheden i fjorden vil ofte variere såvel i fjordens længderetning som over dybden. I perioder med stor ferskvandsafstrømning eller i perioder med indstrømning af tungt saltholdigt bundvand ved fjordens munding vil der typisk forekomme lagdeling i fjorden. Det ferske vand vil indlejre sig i overfladen på grund af opdriftforskellen, hvilket indebærer, at blandingen i vandområdet primært er styret af strømforholdene over en eventuel skilleflade.

### 2.2 Fortynding i søer

I søer vil det ligesom i fjordene være de lokale dybde- og strømningsmæssige forhold i udsivningsområdet, der bestemmer fortyndingen. Følgende potentielle faktorer vurderes at kunne være af størst betydning i søer:

- Søens gennemstrømning
- Vindpåvirkning
- Hvor udsivningen sker (i bredzonen, på større vanddybde, i bugter og vige m.v.)

- Forekomst af plantevækst i randzonen (rørsump m.v.)

Selvom gennemstrømningen i visse tilfælde kan bidrage til strømningsmønstret i en sø, vil det i langt de fleste søer ikke have stor betydning for de lokale strømningsforhold på et udsivningssted. Dette skyldes, at de strømhastigheder, gennemstrømningen generer, normalt er ganske små. Kun lokalt omkring tilløb og i søer med meget stor gennemstrømning forventes det at bidrage væsentligt. Imidlertid har gennemstrømning betydning for, om der kan ophobes en general overkoncentration af stoffer, som bør indgå i vurderingerne af, om der kan forekomme kritiske forhold. Dette er selvfølgelig af stor betydning i søer med en lang opholdstid.

Vinden vil have en ganske betydende effekt for de lokale strømningsbilleder. Derfor vil den fysiske udformning af søen (forløbet af bredlinjen) og placering i forhold til fremherskende vindretninger også være afgørende for fortyndingen et specifikt sted. Ligeledes vil læ-effekter fra f.eks. skov kunne have betydning. Dette er særlig udtalt for mindre søer.

Vandmassen i dybere søer kan temperaturmæssigt blive lagdelt i sommerperioden. Koldere og dermed tungere vand kan blive adskilt fra varmere og dermed lettere overfladvand. Strømningsholdene over og under en sådan lagdeling vil være væsentligt forskellige. Da søer, der indgår i beregningerne, er udvalgt ud fra et nærhedskriterium (på max. 100 m fra en jordforurening), vurderes det, at langt de fleste udsivninger vil ske til vandmassen over en potentiel lagdeling og i øvrigt relativt brednært. Ved udsivning til de øvre vandmasser i dybde-lagdelte søer eller til mere lavvandede søer uden lagdeling vurderes det mest kritisk, hvis indsivning sker ved søbredden. Dette skyldes især, at der her er en lille vanddybde og dermed mindre vandvolumen, som udsivningen opblandes i. Da formålet er at udvikle et screeningsværktøj, er der fokuseret på fortynding i denne zone. Med de i bilag 2 anvendte beregningsforudsætninger taler man typisk om en zone ud til 10 m fra søbredden.

I tilfælde af, at en udsivning sker i et område med massiv vegetation som f.eks. tæt rørskov, vil fortyndingen reduceres og kun være minimal, da plantevækst kan hæmme vandstrømningerne. Udsivende vand vil i sådanne områder kunne akkumuleres i rørskoven, og der vil i perioder kunne være en fortynding på 1, dvs. ingen fortynding. Der har imidlertid ikke været tilgængelige oplysninger herom for søerne generelt. De beregnede fortyndinger gælder således uden for en eventuel rørskov.

For i størst mulig udstrækning at tage højde for de væsentlige faktorer for fortynding i søerne er der opstillet tre-dimensionelle hydrauliske modeller, der beskriver strømningsforholdene alle steder i søerne. Fortyndingsforholdene er herefter beregnet for bredzonen.

### **2.3 Vurdering af fortynding ved brug af strømningsmodeller**

Da strømforholdene og dermed fortyndingen i fjorde og søer varierer meget både i tid og sted, er det mest hensigtsmæssigt at etablere en hydraulisk model, der er på baggrund af historiske data (dybde, vind og vandstand) er i stand til at beskrive strømforholdene, rumligt såvel som tidsmæssigt.

Alternativt skulle man lave en række stationære håndberegninger af strømforhold på baggrund af karakteristiske og statistiske parametre for de fysiske forhold for de enkelte recipienter. Etablering af et sådant statistisk grundlag for de enkelte vandområder vil i sig selv være en stor og krævende opgave. Ved brug af modellen kan man beskrive den tidslige og rumlige variation på baggrund af de vigtigste drivkræfter og fysiske forhold. Herefter er det naturligvis muligt at lave en statistisk analyse på baggrund af de beregnede strømforhold. Modellen kan beregne strømforholdene med en hvilken som helst frekvens. Typisk vil man beregne forholdene på timebasis for en given periode.

En model bør verificeres mod målte eller observerede data. Ofte findes sådanne data ikke, og man må ty til erfaringstal, hvad angår modellens kalibreringsparametre. De beregnede strømforhold kan herefter benyttes til at beregne fortyndingen i en given afstand fra udsivningspunktet.

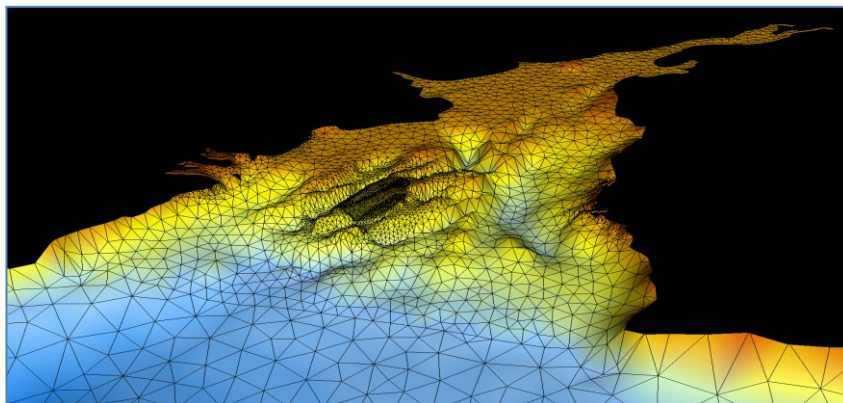
## 2.4 MIKE 3 modellen

Den benyttede hydrauliske strømningsmodel er baseret på MIKE 3 FM (et kommercielt beregningsværktøj udviklet og vedligeholdt af DHI). MIKE 3 er et generelt 3D (tre-dimensionelt) procesbaseret modelsystem for de hydrodynamiske og vandkvalitetsmæssige forhold i overfladevandområder. Disse kan være såvel søer og fjorde som vandløb eller åbne havområder. Alt efter hvilket vandområde, der er tale om, drives den hydrauliske model af:

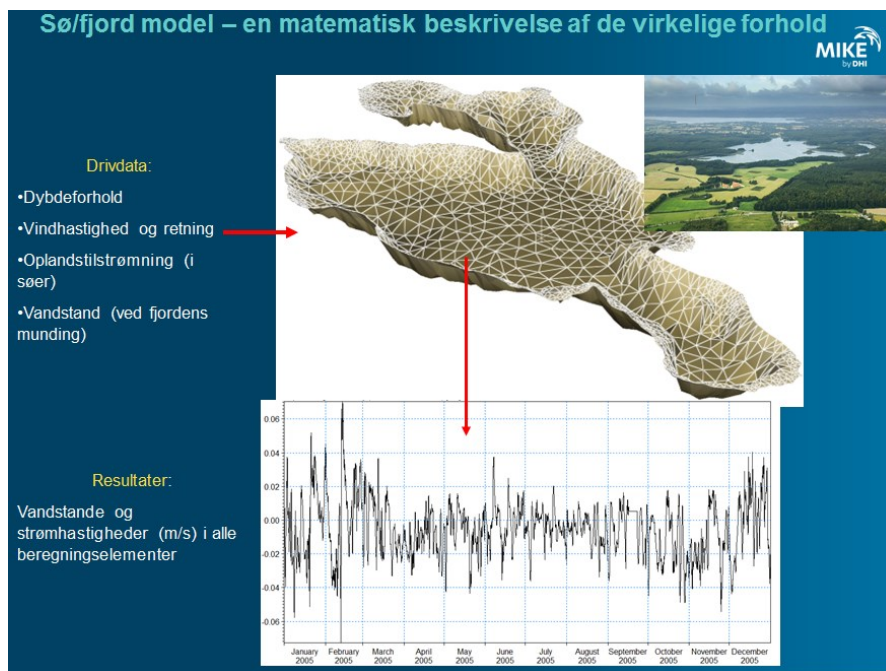
- Vandstandsvariationer ved åbne rande (f.eks. udløbet fra en fjord)
- Vindfelter og lufttryk
- Varmeudveksling med atmosfæren
- Ferskvandsindstrømninger

Modellen er baseret på et såkaldt Flexible Mesh (FM) ved hjælp af trekant-elementer, som illustreret i FIGUR 1. Ved hjælp af FM nettet kan man variere detaljeringsgraden, hvor det er påkrævet og på denne måde optimere forholdet mellem krav til detaljeringsgrad og beregningshastigheden (CPU).

Konceptet for modelopbygning, input data og resultater er illustreret i FIGUR 2.



FIGUR 1 FLEXIBLE MESH I MIKE 3 FM



FIGUR 2 MIKE 3 FM HD MODELKONCEPT

## 2.5 Hvordan bruges modelresultater til beregning af fortynding

På baggrund af de beregnede strømshastigheder og vandstandsforhold er det muligt at beregne fortyndingen i en given afstand fra udledningspunktet. Ved hjælp af MIKE 3's stoftransportmodul kan man ydermere lave en fuldt dynamisk spredningsberegning og vurdere effekten af individuelle kilder distribueret langs bredden af søerne eller fjordstrækningerne. Denne metode bør benyttes, såfremt det er påkrævet med en mere detaljeret undersøgelse af en enkelt udledning. At gennemføre en sådan beregning for samtlige søer og fjorde og for samtlige beregningslementer langs bredderne er ikke praktisk muligt inden for projektets tidsramme. Desuden er formålet med indeværende projekt at levere fortyndingsresultater til brug for en risikoscreening. Der er derfor valgt en enklere løsning, hvor man beregner en analytisk stationær fortyndingsfaktor for hvert element og for hvert tidstrin i MIKE 3 HD resultatfilen (se illustrationen i FIGUR 3).

Den analytiske løsning er baseret på den antagelse, at et udledt stof fortyndes i en fane nedstrøms for udledningspunktet (for detaljer se Bilag 2). I en sø med typisk lang opholdstid er denne antagelse ikke korrekt. Et udledt stof fjernes ikke nedstrøms for udledningspunktet, men vil forblive i søen og over tid give anledning til en ophobet koncentration ud over den overkoncentration, der vil forekomme umiddelbart omkring udsivningen. Det samme kan gøre sig gældende i fjordsystemer med meget lange opholdstider. Det betyder, at der skal etableres et skøn over denne "ophobede koncentration". Et skøn er etableret dels ved hjælp af MIKE 3 spredningsberegninger. Den ophobede koncentration ( $C_{\text{ophobet}}$ ) i et vandområde kan derfor overslagsmæssigt beregnes ud fra:

$$C_{\text{ophobet}} = (q_0 * C_0) / Q,$$

hvor  $q_0$  er udsivende vandmængde,  $C_0$  er koncentration i udsivning, og  $Q$  er vandskiftet i området. For fjordene er  $Q$  typisk mindst 100.000 til 500.000 gange større end  $q_0$ . Den ophobede koncentration bliver derfor i fjordene helt ubetydelig, og der kan ses bort herfra.

For søerne gælder det imidlertid, at det ikke kan udelukkes, at der - specielt for mindre søer med lille gennemstrømning - vil kunne ophobes en koncentration af udsivende stof, som bør inkluderes i beregningen af det endelige koncentrationsniveau. Dog vil ophobningsbidraget for de fleste søer også være ubetydeligt lille.

Udsivningen til vandområdet vil typisk ske over en udsivningsfront med begrænset udstrækning. Udstrækningen af denne front er sjældent kendt, hvorfor det ud fra et forsigtighedsprincip antages, at udsivningen sker i et punkt. Det kan vises (Bilag 2), at såfremt udsivning sker i 3 punkter over en 200 m front, vil fortyndingen kunne forbedres med ca. 50 %.

Det er vigtigt at fremhæve, at selvom fortyndingsberegningerne (beskrevet i Bilag 2) er baseret på udledning i et enkelt punkt, så vil den beregnede fortyndingsfaktor være gældende for en strækning; nemlig den strækning der er styret af modellens opløsning og detaljeringsgrad. Som beskrevet senere i afsnit 5.1 og 5.2 kan denne strækning variere mellem 5 og 500 m alt efter elementstørrelsen i det fleksible net benyttet i MIKE 3 for det pågældende vandområde. Det strømningsbillede, som modellen beskriver i det valgte udledningspunkt, benyttes i hele den 50 meter opblandingszone, der efterfølgende beregnes fortynding for.

Diskussionen omkring punktudledning versus udledning over en udsivningsfront er derfor primært relateret til beregningsmetoden beskrevet i Bilag 2. Kystlængden eller strækningen, for hvilken den beregnede faktor er gældende, er alene styret af modelopløsningen, og denne varierer såvel inden for det enkelte vandområde såvel som mellem forskellige vandområder.

Når fortyndingsfaktorerne beregnes, benyttes den aktuelle dybde, der fremgår af indlæste kort. Dog antages det, at en udsivende jordforurening maksimalt opblandes i en vandsøjle på 2 meter, uanset om dybdekortet giver en større dybde end 2 meter tæt ved bredden. Dette sikrer, at screeningsværktøjet ikke kommer til at overestimere fortyndingen, snarere tværtimod.

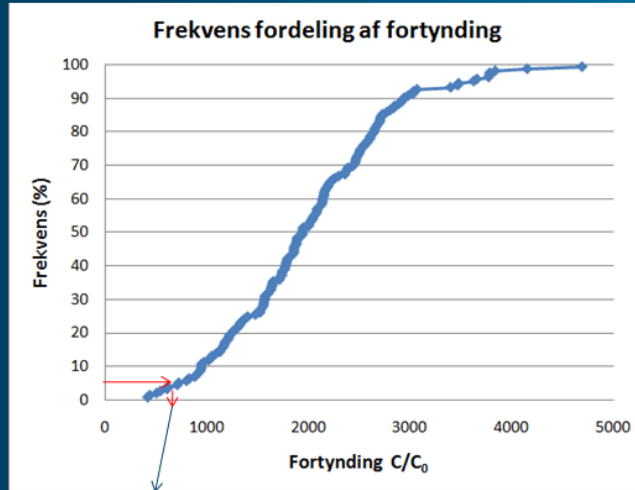
Ved beregning af fortyndingsfaktorerne er der regnet med en enhedsudsivning på 0,1 l/s. De 0,1 l/s repræsenterer en typisk udsivningsmængde baseret på data modtaget fra "Jordforureningens påvirkning af overfladevand, delprojekt 2. Afstandskriterier og fanebredder. Miljøprojekt nr. 1565, 2014." Skønnes udsivning i et konkret tilfælde at være forskellig fra den anvendte enhedsudsivning, bør der ske en skalering af de beregnede fortyndingsfaktorer. Retningslinjer for en sådan skalering er givet i kapitel 6.

På baggrund af de beregnede fortyndinger kan der for hvert enkelt udledningspunkt laves en statistisk analyse, og på baggrund af denne kan man beregne "% fraktiler" for overskridelse af en given fortynding i en given afstand som illustreret i FIGUR 3. 5%-fraktilen betyder, at i 5 % af tiden kan man forvente fortyndingsforhold, der er mindre end en vis værdi. Man kunne også vælge en anden fraktil, men 5 % kriteriet har været benyttet i en række miljøundersøgelser for kommuner, industrier og miljøstyrelsen. Selvom der ikke er lovkrav, hvad angår dette, lader det til, at der er generel konsensus omkring at benytte 5 % fraktilen. Anvendelse af 5 % fraktilen kan til en vis grad betragtes parallelt til anvendelse af en medianminimumsvandføring i vandløb for at opnå beskrivelse af miljøkritiske forhold. Det skal dog pointeres, at 5 % fraktilen og medianminimumsvandføring beregnes på to statistiske set meget forskellige måder. Medianminimum etableres ud fra den laveste døgnmiddelvandføring hvert år over en længere årrække. Medianen (dvs. den midterste værdi, når de er sorteret efter størrelse) af disse mindste døgnmiddelvandføringer er medianminimumsvandføringen og kan siges at have en gentagelses hyppighed på 2 år. Beregning af 5 % fraktilen, der benyttes her, er baseret på ét gennemregnet år (her 2005). Det valgte år er i flere sammenhænge benyttet som metrologisk og hydraulisk repræsentativ. Der er dog ikke lavet en gennemgribende statistisk analyse heraf i forbindelse med indeværende projekt.

# Fortyndingsfrekvens

Middelfortyndingen eller 5 % minimumsfraktilen af fortyndingen ?

Fortynding	Maks/Min	Hyppighed (%)
4698	1	99.38
4158	2	98.77
3843	3	98.15
3787	4	97.53
3786	5	96.91
3779	6	96.30
3662	7	95.68
3630	8	95.06
3482	9	94.44
3474	10	93.83
3403	11	93.21
3072	12	92.59
3038	13	91.98
3036	14	91.36
2986	15	90.74
2948	16	90.12
2932	17	89.51
2920	18	88.89
2892	19	88.27



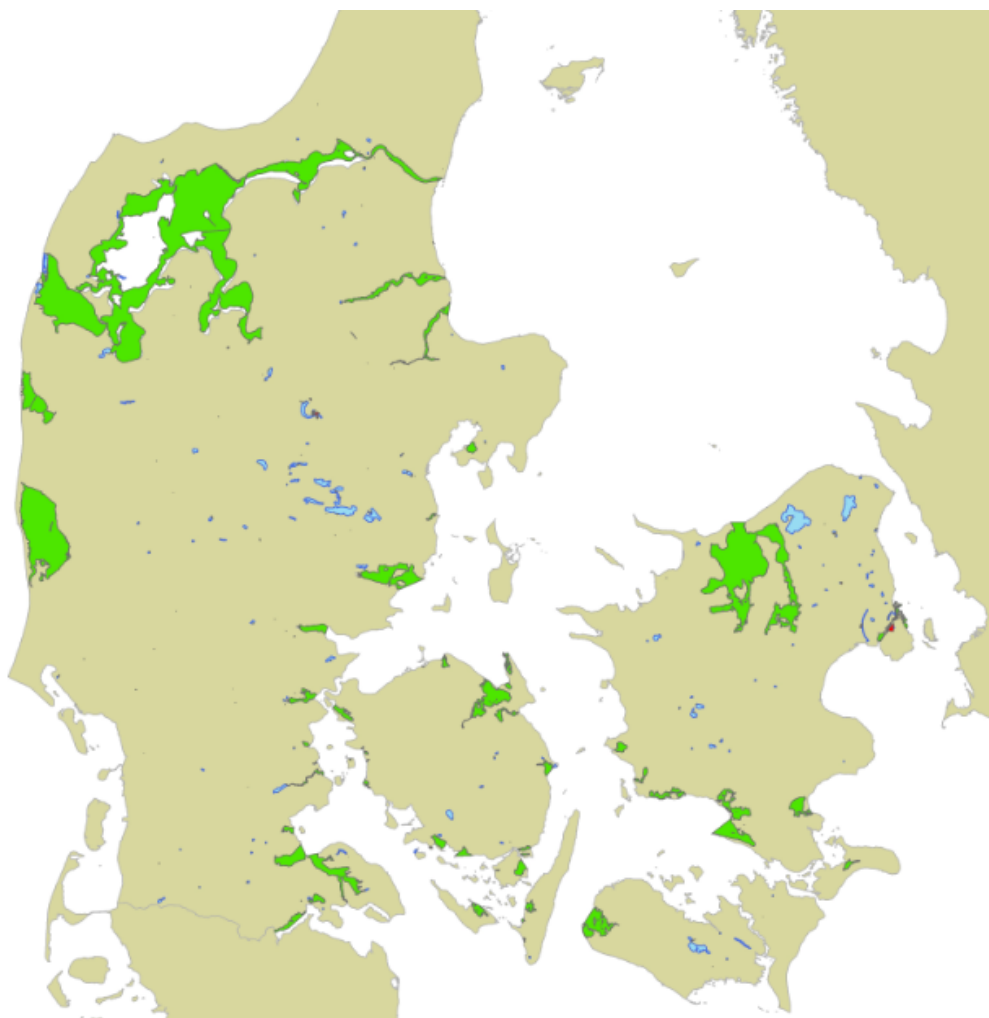
Middelværdi = 2000

"Minimum fortyndings fraktilen"  
( i 5 % af tiden er fortyndingen mindre end eller lig med 800)

FIGUR 3 STATISTISK ANALYSE AF DE BEREGNEDE FORTYNDINGER I ET ENKELT PUNKT

### 3. Valgte vandområder

Det danske overvågningsprogram inkluderer 78 fjorde. DHI modtog fra Miljøstyrelsen ved projektets start GIS data (Shape filer) med angivelse af placering og udtrækning af fjordene. Blandt disse 78 fjorde indgår også større fjordsystemer med flere fjordafsnit og bredninger. I FIGUR 4 er de fjorde markeret, som indgår i beregningerne. En liste med fjordene er også vist i bilag 3.



**FIGUR 4 FJORDE OG SØER, SOM DER ER OPSTILLET MODEL FOR OG FORETAGET FORTYNDINGSBEREGNINGER FOR.**

I det danske overvågningsprogram indgår i alt 925 søer, heraf er 661 målsatte i de første nationale vandplaner. Fokus har været på de målsatte søer. Af ressource-hensyn har det ikke været muligt at inkludere alle disse. Søer, der er foretaget beregninger for, er udvalgt på baggrund af Miljøstyrelsens database over områder med jordforureninger. Søer der er beliggende inden for en afstand på 100 meter fra disse, er blevet valgt. Dette har resulteret i, at 140 søer blev udvalgt, se FIGUR 4 og bilag 3. På baggrund af de gennemregnede søer er givet anbefaling for en første screening for de søer, der ikke er omfattet af beregninger.



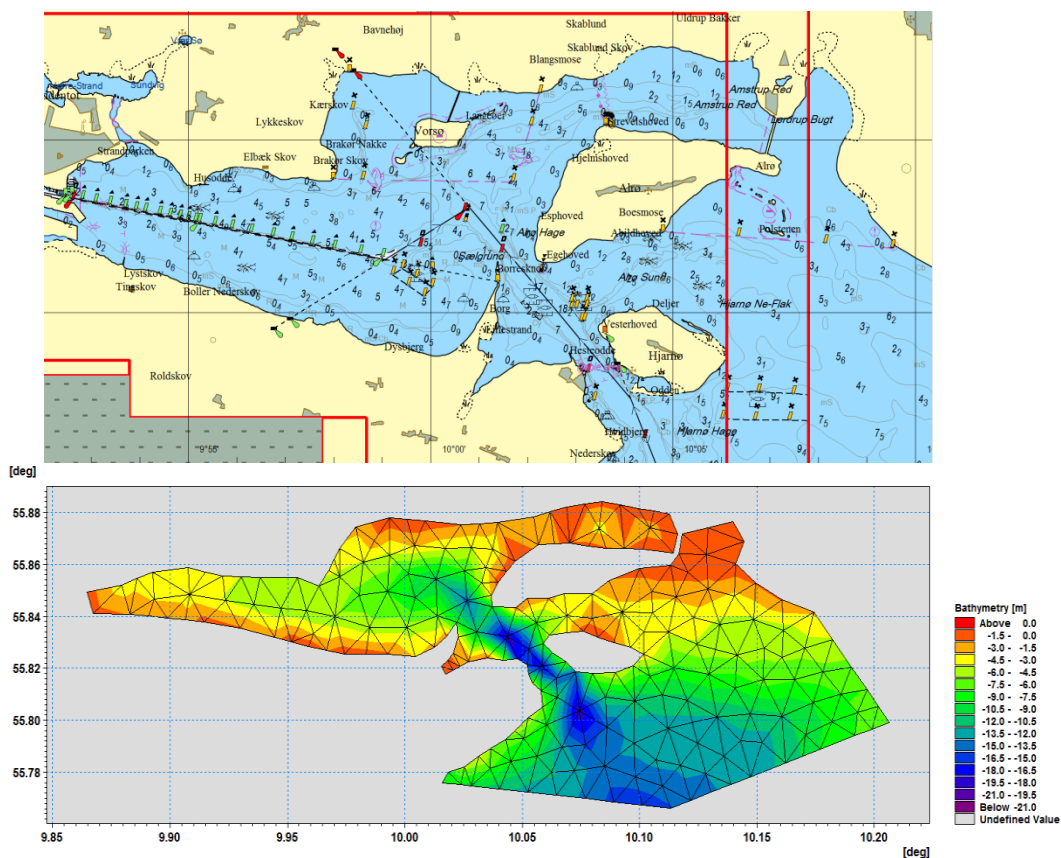
# 4. Datagrundlag

## 4.1 Fjorde

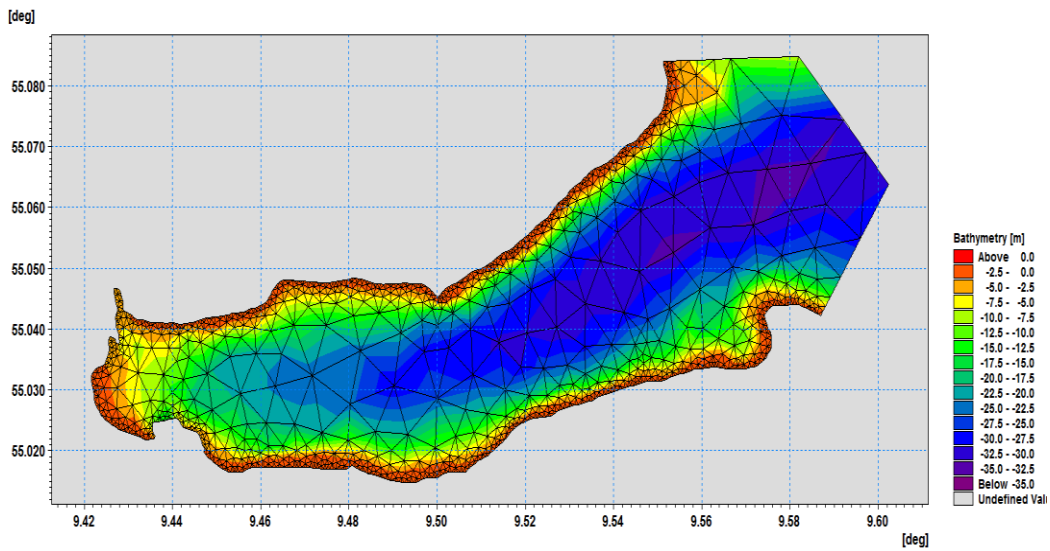
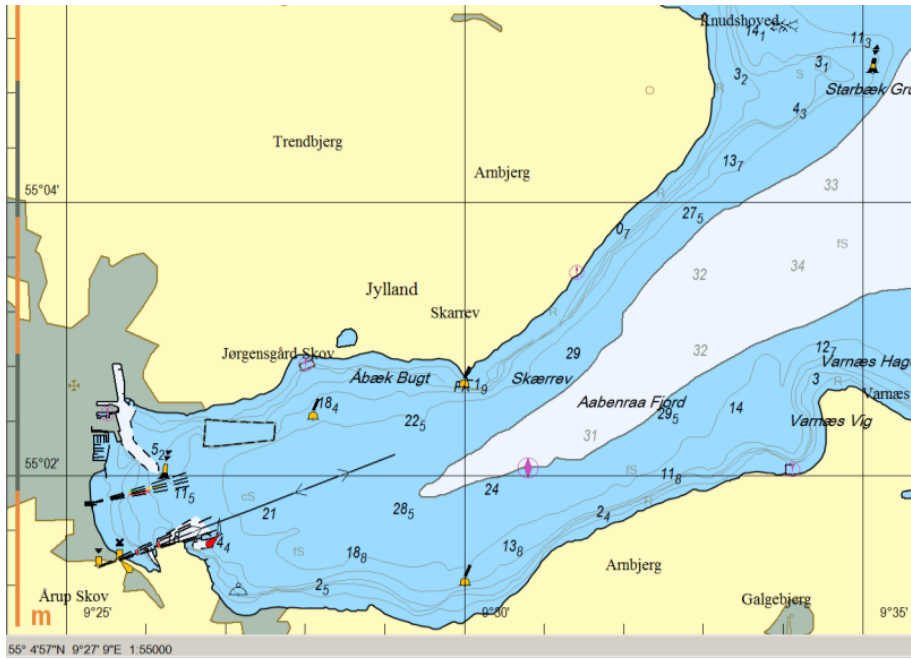
Kortmaterialet, der ligger til grund for opstilling af fjordmodellerne, er indhentet fra Farvandsvæsnet. Såvel kystline som dybdeforhold herfra er benyttet. Som eksempler på det benyttede kortmateriale er i og Figur 7 vist søkort for Horsens Fjords, Åbenrå Fjord og Odense Fjord. Nederst i disse figurer er vist eksempler på hvordan disse søkorts dybdeforhold er fortolket i modelopsætningen. Der vises nederst i figurerne såvel dybde forhold (farvesignatur) benyttet ved modelberegningerne som de anvendte beregningslementer i modellerne. Størrelse af disse beregningslementer variere r afhængigt af lokalitet.

Vinden, der er blevet anvendt, er indhentet fra Femern Metocean for 2005 (DHIs Femern model). Disse vinddata har en 0,15 x 0,15 grads horisontal opløsning samt en tidslig opløsning på 1 time. Dette er data der har været tilgængelige ved udførelse af opgaven, og det er vurderet at disse data er velegnet til det konkrete formål.

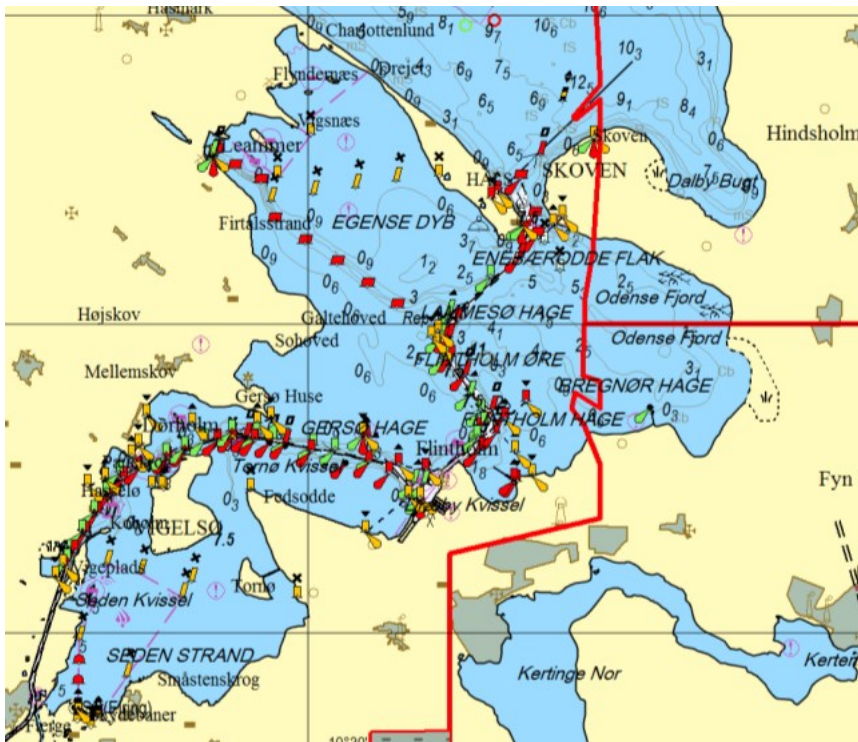
Vandstanden, som er benyttet ved fjordenes ydre rand, er beregnet ud fra DHIs model DKCoast, der dækker alle Danmarks åbne kyststrækninger.



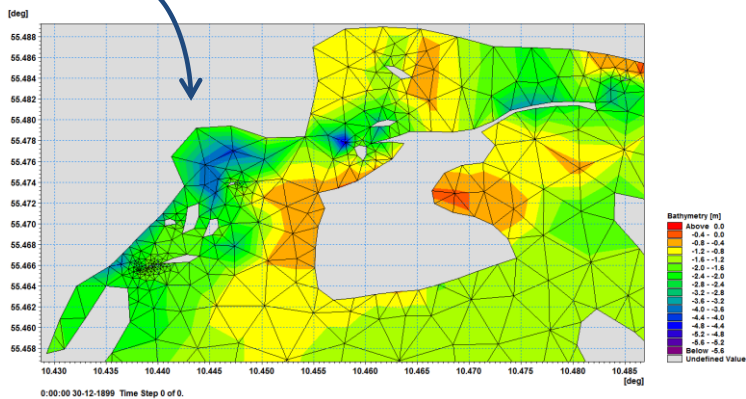
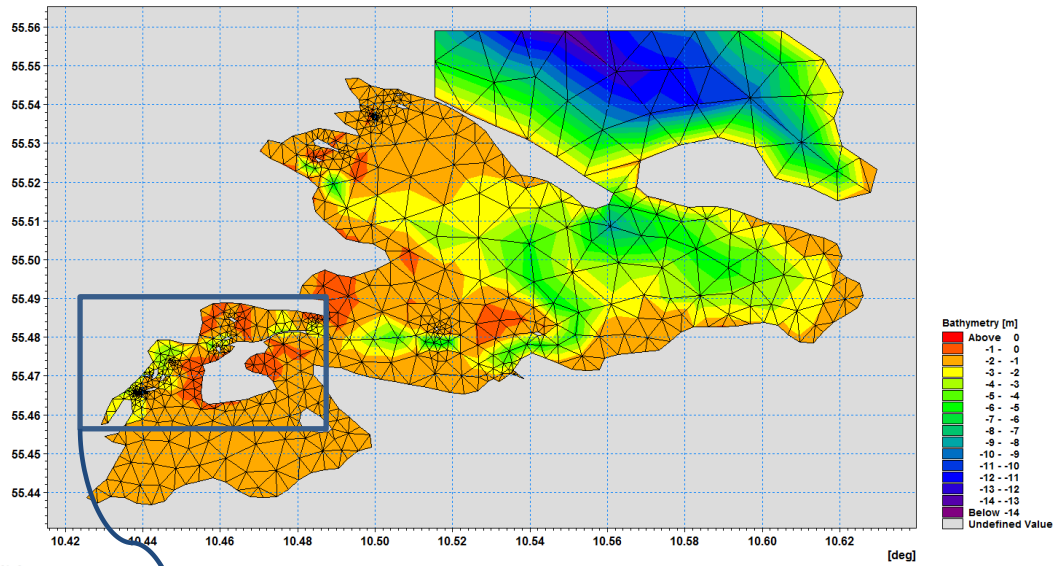
FIGUR 5 HORSENS FJORD - EKSEMPEL PÅ KORTMATERIALE BENYTTET SAMT REPRÆSENTATION I MIKE3.



FIGUR 6 ÅBENRÅ FJORD - EKSEMPEL PÅ KORTMATERIALE BENYTTET SAMT REPRÆSENTATION I MIKE3.



[deg]



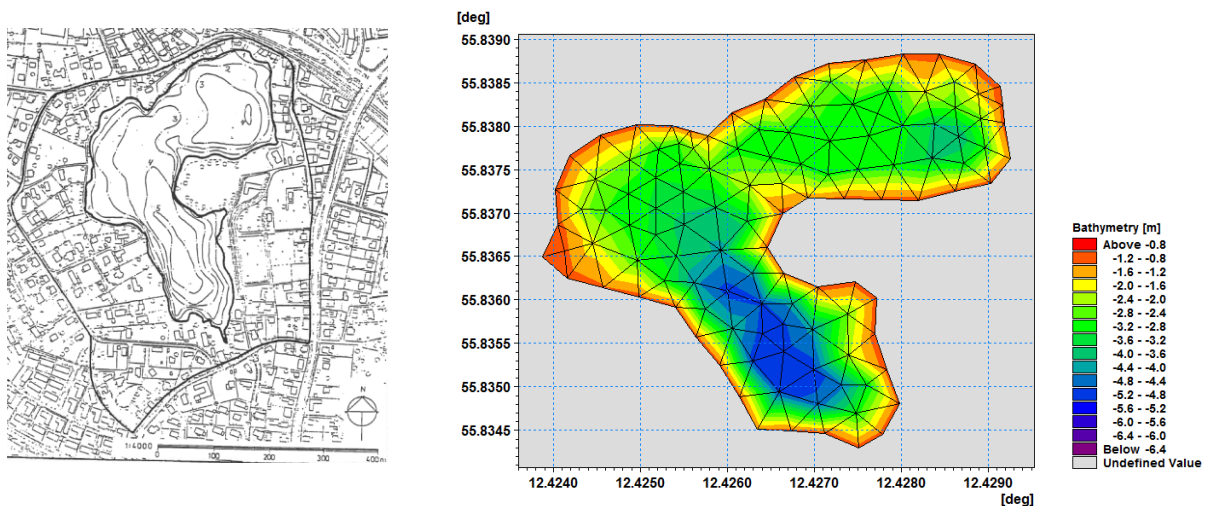
FIGUR 7 ODENSE FJORD. EKSEMPEL PÅ KORTMATERIALE BENYTTET SAMT REPRÆSENTATION I MIKE3.

## 4.2 Søer

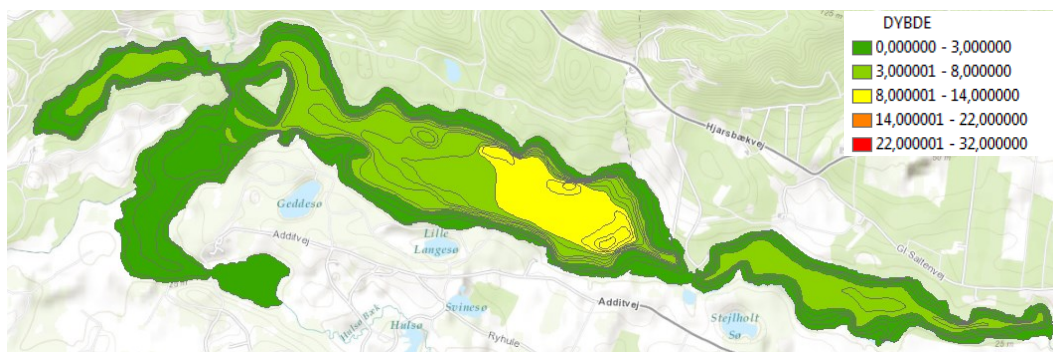
Søernes udformning er beskrevet dels ud fra de data, der er blevet stillet til rådighed af Naturstyrelsen, dels ud fra de oplysninger, DHI har ligget inde med eller kunnet fremskaffet fra andre kilder. Naturstyrelsen har således bidraget med dybdekort for i alt 83 søer i form af ArcView-, MapInfo- eller billedfiler (\*.jpeg). Derudover har DHI fremskaffet kortmateriale og dybdeoplysninger for 16 søer. For illustration af tilgængeligt kortmateriale og fortolkning i MIKE 3 er i Figur 8 og Figur 9 vist Birkerød Sø og Salten Langsø.

For de restende 42 har DHI ud fra oplysninger hentet fra Naturstyrelsens database om gennemsnitsdybde og maksimal dybde genereret hypotetiske dybdekort. I den forbindelse er anvendt en bredzonehældning på 1:4 (dvs. en dybdeforøgelse på 0,25 m per løbende meter). Der findes søen med såvel betydelig større hældning i bredzonen som mindre hældning. Den valgte hældning er en værdi skønnet ud fra de søer der forligger oplysning for. Der er herefter justeret i henhold til eventuelle oplysninger om maksimal dybde og volumen. Som eksempel på anvendte dybde forhold for en sådan sø er i Figur 10 vist modellens repræsentation af Jystrup Sø.

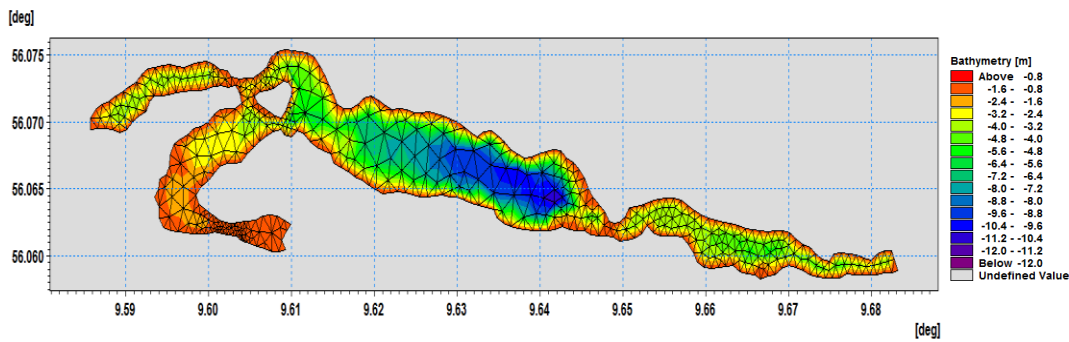
Perimeteren (bredlinjen) er for alle søer i overensstemmelse med GIS laget i FOT-databasen, som er opbygget i et samarbejde mellem Geodatastyrelsen og kommunerne i forbindelse med kortlægning og etablering af et "Fællesoffentligt Geografisk Administrationsgrundlag".



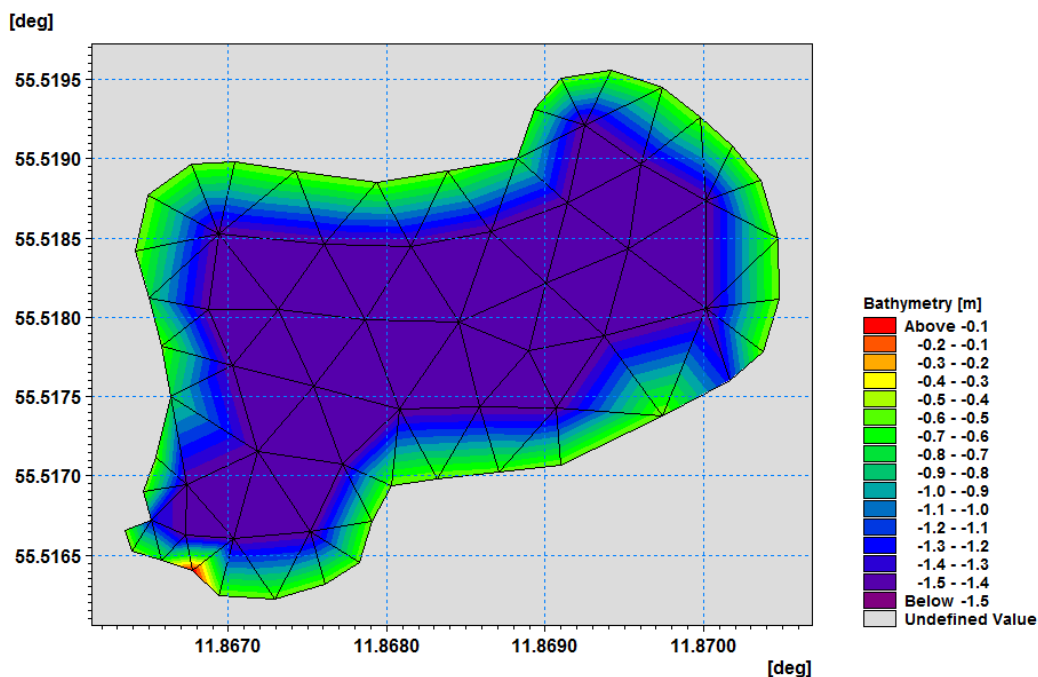
FIGUR 8 BIRKERØD SØ. EKSEMPEL PÅ KORTMATERIALE BENYTTET SAMT REPRÆSENTATION I MIKE<sub>3</sub>.







FIGUR 9 SALTEN LANGSØ. EKSEMPEL PÅ KORTMATERIALE BENYTTET SAMT REPRÆSENTATION I MIKE<sub>3</sub>



FIGUR 10 JYSTRUP SØ. EKSEMPEL PÅ SØ, FOR HVILKET DER IKKE FORELÅ DYBDEKORT

Som gennemstrømning af søerne er benyttet en årlig gennemsnitsværdi ud fra oplysninger i Naturstyrelsens database om søerne.

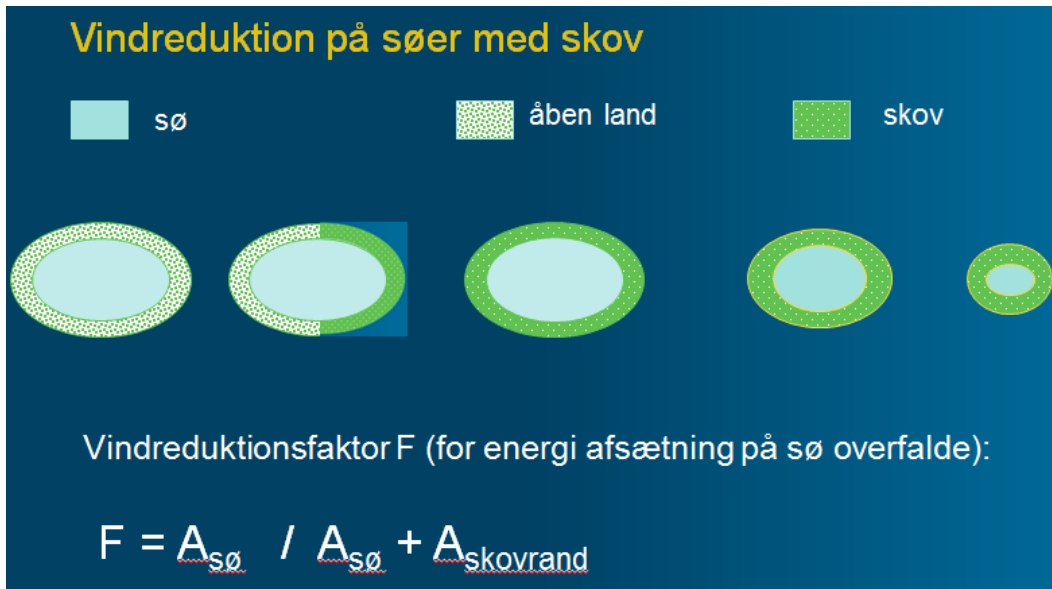
I bilag 3 er givet en tabel med oversigt over de søer, der er modelleret og de grundoplysninger, der har været til rådighed. Der er desuden angivet oplysninger vedrørende kortgrundlag.

Vindforholdene er beskrevet ud fra samme kilde som nævnt for fjordene og giver vindens fordeling over landet i 10 meters højde over terræn for hele 2005. Vindens effekt ved terrænoverfladen er herudfra beregnet i MIKE 3 modellerne.

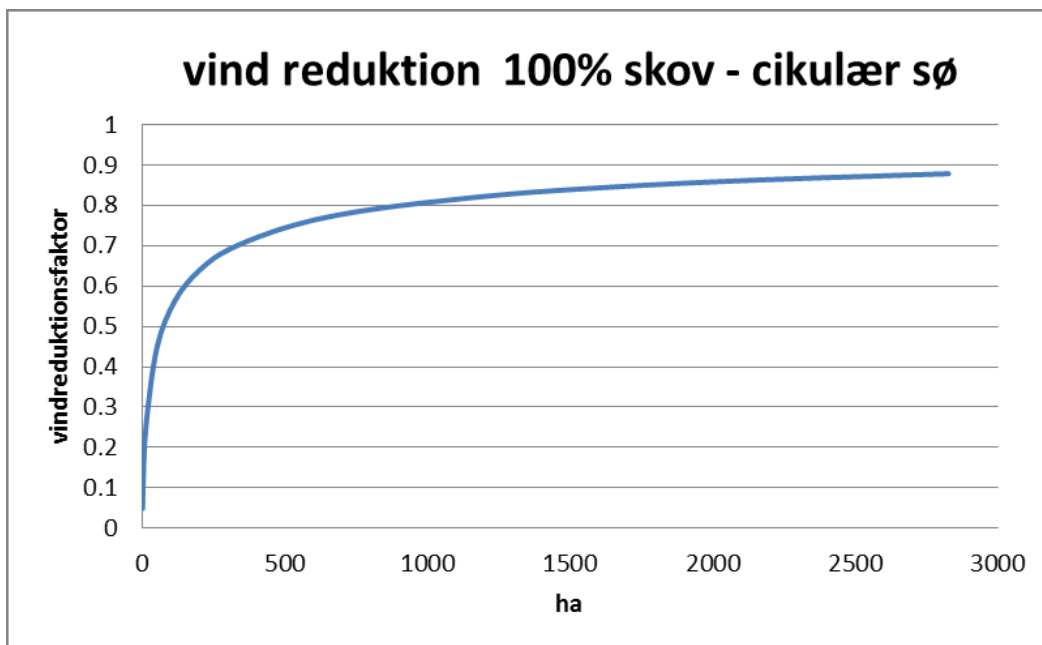
Der er dog også, som nævnt i afsnit 2.2, taget hensyn til, at vindens effekt er reduceret for søer, som er omgivet af skov. Jo mindre søen er, jo større er denne effekt. Oplysninger vedrørende arealanvendelse og dermed skovdækning er indhentet fra Miljøministeriets Areal Informations Systemet (AIS) der er et databasesystem med natur- og miljødata, som kan stedsfæstes geografisk. Vindens

energiabsættning på søens overflade er reduceret med en faktor baseret på forholdet mellem søarealet og søarealet + skovarealet inden for 200 meter fra søbredden. Reduktionsfaktoren beregnes som  $F = A_{sø} / (A_{sø} + A_{skov})$ , hvor A er størrelsen af de respektive arealer. Jo mindre søen er, desto større reduktion dvs. læ-effekt opnås. Dette er grafisk illustreret i FIGUR 11. For yderligere at illustrerer sammenhængen er i FIGUR 12 vist, hvorledes faktoren for en teoretisk cirkelformet sø afhænger af søens størrelse, hvis denne er helt omgivet af skov. Hvis der ikke er skov omkring søen, reduceres vindens effekt ikke.

Af bilag 3 fremgår vindreduktionsfaktoren for hver sø.



FIGUR 11 VINDREDUKTION VED LÆEFFEKT FRA SKOV OMKRING SØER



FIGUR 12 VINDREDUKTIONSFAKTORENS AFHÆNGIGHED AF SØSTØRRELSE FOR EN TEORETISK CIRKELFORMET SØ HELT OMGIVET AF SKOV I ET BÆLTE PÅ 200 M.

# 5. Vurdering af fortynding i søer og fjorde

## 5.1 Modelopsætning og model koncept for fjorde

Der er som nævnte opsat en MIKE 3 model for de 78 fjorde, som er omfattet af overvågningsprogrammet. Modellerne er etableret ud fra tilgængelige data som beskrevet i afsnit 4.1.

Der er i strømningsberegningerne ikke taget hensyn til salinitetsgradienter (hverken i længeretningen eller over vanddybden) og dermed eventuelle lagdelinger i fjorden. Beregningerne er gennemført for hele 2005. Modellerne har en opløsning der varierer fra alt mellem 100 m til 500 m afhængig af de fysiske forhold. I smalle områder vil sidelængden i elementerne være mindre, da der bør være et vist antal elementer på tværs af en fjordstrækning. Model-kalibreringsparametre er fastsat ud fra generel erfaring fra fjordmodellering i Danmark. Dette betyder, at der er valgt typiske modelparametre som er benyttet ved tidligere modelsimuleringer, og at der er ikke foretaget en egentlig kalibrering og verificering af resultater mod målinger i forbindelse med det her gennemførte projekt. Dette ville have været et meget omfattende arbejde, der ikke ville være muligt inden for rammerne af projektet. Yderligere forligger der da også kun data til en egentlig kalibrering og verifikation for et mindre antal af fjord- og kystområderne. For gennemførelse af en screening, som der er formålet med det udviklet værktøj, vurderes det tilstrækkeligt at benytte typiske og mere generelle modelparametre. I bilag 4 er vist nogle af de anvendte centrale nøgleparametre.

## 5.2 Modelopsætning og model koncept for søer

Sømodellerne er opstillet på baggrund af de data, som er nævnt i afsnit 4.2 vedr. udformning, dybdeforhold og gennemstrømning.

Ved opstilling af modeller for søer er fulgt de samme principper som for fjordene, således at der altid er mindst 2-3 beregningspunkter på tværs af en sø, men oftest væsentligt flere. Dette betyder, at søerne beskrives med meget forskellig geografisk opløsning med grid-størrelser fra 5-10 m i de mindste søer eller afsnit af søer og op til omkring 400 meter i de åbne dele af de største søer.

Modellernes kalibreringsparametre er valgt ud fra DHI's erfaring fra sømodellering generelt. Der er således ikke foretaget en egentlig kalibrering eller verificering af modellernes beskrivelser af lokale strømningsforhold. Dels vil dette være en meget ressourcekrævende proces at gennemføre for alle søerne, dels forligger der pt. ikke data fra ret mange søer, der kan gøre en sådan kalibrering og verificering mulig. Da der her er tale om udvikling af et screeningsværktøj for vurdering af risici ved udsivning til søerne, er det valgt at benytte kalibreringsparametre til modellerne, der er på den sikre side med hensyn til vurdering af fortyndingsforholdene. I bilag 4 er vist nogle af de anvendte nøgleparametre.

Vandmassen i dybere søer kan som omtalt i afsnit 2.2 blive temperaturmæssigt lagdelt i sommerperioden. Strømnings- og dermed fortyndingsforholdene vil være væsentligt forskellige over og under en sådan lagdeling. Det er vurderet, at de fleste indsivninger fra jordforureninger vil foregå i den øverste vandmasse. Dette er specielt sandsynligt for de sø-nære arealer, som søerne er

udvalgt ud fra (jf. ovenævnte afstandskriterium på 100 m som nævnt i afsnit 3.1). I tilfælde af, at der sker udsivning af grundvand i de dybere dele af en sø, vil dette grundvand i langt de fleste tilfælde have været meget længere undervejs. Hvis de lokale geologiske forhold taler for, at der sker en sådan dyb indsivning, vil der være behov for specialundersøgelser og vurderinger af såvel, hvor det kommer fra, kildestyrke og udsivningssted.

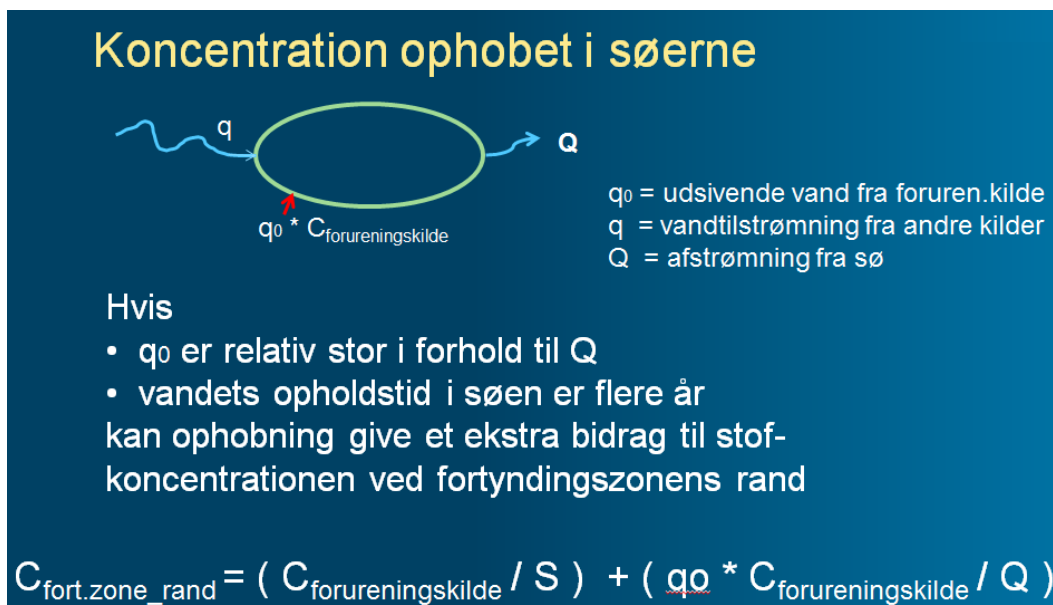
Ved udsivning til de øvre vandmasser i lagdelte søer eller til søer uden lagdeling vurderes det mest kritisk, hvis indsivning sker i den umiddelbare bredzone. Dette skyldes især, at der her er en lille vanddybde og dermed mindre vandvolumen, som udsivningen opblandes i. Da målet med de udførte beregninger er at danne grundlag for en screening, er valgt fortynding langs søbredden, som vurderes mest kritisk og dermed mest konservativt.

Vindpåvirkning har stor betydning for det lokale strømningsbillede, som beregnes i den bredzone, der ligger tættest på det forurenede areal. Der er derfor også anvendt et vindfelt, som varierer over landet, og hvor der tages højde for læ-effekter af skove omkring søerne.

Med de opstillede modeller tages der ved beregning således i videst mulig udstrækning hensyn til lokale dybde- og vindforhold. Dette gøres ved, at den fysiske udformning af søen (forløbet af bredlinjen) og vindforhold indgår i en dynamisk modelbeskrivelse, der inkluderer variationer over et år.

Gennemstrømningen af søerne bidrager kun i mindre udstrækning til det lokale strømbillede. Men i den udstrækning, det har betydning for det lokale strømningsbillede, tages den gennemsnitlige effekt heraf i betragtning, idet modellerne inkluderer den årgennemsnitlige tilstrømning.

Som nævnt i afsnit 2.5, kan det imidlertid ikke udelukkes, at der - specielt for mindre søer med lille gennemstrømning - vil kunne ophobes en koncentration af stoffer, der siver til søen, og som bør inkluderes i beregningen af det endelige koncentrationsniveau (se Figur 13). For de fleste søer vil dette bidrag dog også være ubetydeligt lille.



FIGUR 13 PRINCIP FOR BEREGNING AF KONCENTRATIONER I SØER INKLUSIVE DEN OPHOBEDE KONCENTRATION



I ligningen i Figur 13 er  $C_{\text{forurningskilde}}$  lig med koncentrationen i vandet, der siver ud til søen.

I rapporten "Jordforureningers påvirkning af overfladevand, delprojekt 6, Systematisering af data og udvælgelse af overfladevandstruende jordforureninger Miljøprojekt nr. 1573, 2014" angives en ligning identisk med den, der er angivet i Figur 13, blot med lidt andre navne for de variable, der indgår. I den nævnte rapport er den tilsvarende ligning opskrevet som følger

$$C_{\text{opblandingszone}} = \frac{C_{\text{modelstof}} \times N \times A}{S_0 \times 0,11/s} + \frac{C_{\text{modelstof}} \times N \times A}{Q_{s0}}$$

$$C_{\text{opblandingszone}} = C_{\text{fort.zone\_rand}}$$

$C_{\text{modelstof}}$  er her koncentrationen på den forurenede lokalitet, og ikke den koncentration, der når vandområdet.

Fluxen "J" (dvs. stoftilstrømning til vandområdet per tidsenhed) kan som beskrevet i denne rapport beregnes ved

$$J = N \times A \times C_{\text{modelstof}}$$

hvor N er lig med nettonedbøren og A er arealet af det forurenede område.

Denne flux kan med terminologien fra Figur 13 også skrives som

$$J = q_0 \times C_{\text{forurningskilde}}$$

Stofflux divideret med vandstrømning til vandområdet er lige med koncentrationen (=  $C_{\text{forurningskilde}}$  i ligningen i Figur 13) i det vand der strømmer til vandområdet. Dvs.

$$\frac{C_{\text{modelstof}} \times N \times A}{q_0} = C_{\text{forurningskilde}}$$

For "q<sub>0</sub>" er der i de gennemførte fortyndingsberegningerne benyttet 0,1 l/s. Hvis det vurderes, at denne udsivningshastighed er væsentlig forskalling herfra, kan der, som omtalt i kapitel 6, foretages en skalering.

# 6. Resultater

## 6.1 Generelt

På baggrund af de beregnede fortyndingsfaktorer er der for hver enkelt sø/fjord etableret et GIS tema med 5 % fraktilen (dvs. i 5 % af tiden må fortyndingen forventes at være mindre end denne værdi). Dette er gjort ved at eksportere de beregnede fortyndinger til et GIS linje tema langs bredderne af henholdsvis søer og fjorde (for illustration se Figur 14 - Figur 18**Fejl!**

**Henvisningskilde ikke fundet.**) På denne måde er der etableret et GIS tema for hver enkelt recipient, som forefindes digitalt.

I er vist et eksempel på beregnede fortyndinger for henholdsvis Limfjorden og Agger Tange Sø. Værdierne angiver, hvor stor fortynding der sker, når der udledes en given koncentration i en vandmængde på 0,1 l/s. Hvis der for eksempel udledes med en koncentration på 10 mg/l, og der på kortet angives en fortynding på 500 på udledningsstedet, bliver den resulterende koncentration 0,02 mg/l, som vil skulle relateres til kravværdier for det pågældende stof.

Fortyndingen er udregnet i en afstand af 50 m fra udløbspunktet og med en kildestyrke på 0,1 l/s. Såfremt fortyndingen ønskes i en anden afstand, er det påkrævet at udføre en ny separat fortyndingsberegning for den aktuelle lokalitet. Såfremt der er tale om en anden kildestyrke, kan fortyndingsresultaterne skaleres som beskrevet i de efterfølgende afsnit for henholdsvis fjorde og søer.

## 6.2 Fjorde - specielle forhold og skalering af kildestyrke

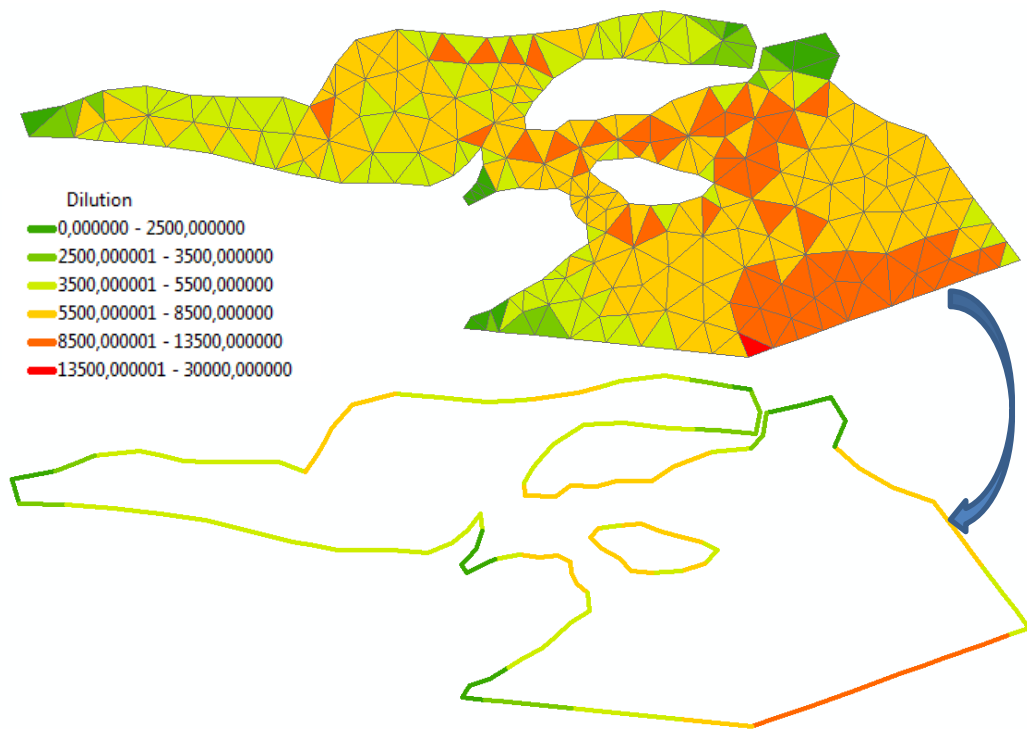
Da vandstanden i fjorde varierer, vil der være lavvandede områder, der til tider er tørret ud. Det indebærer, at 5 % fraktilen for fortyndingsfaktoren i realiteten kan blive 0. Dette er en konsekvens af den valgte empiriske løsning (ligning B2 i Bilag 2). Når vanddybden er 0, bliver fortyndingsfaktoren 0. Dette forhold optræder langs ca. 5 % af de samlede fjordstrækninger. En fortyndingsfaktor under 1 giver dog ingen mening. Hvis der er udtørret, er der ingen fortynding, og det er valgt at sætte 5 % fraktilen til 1 for disse lokaliteter i det tilhørende GIS tema, dvs. at der ingen fortynding sker af de forureningsstoffer der siver ud i vandområdet, hvilket er reelt for områder uden noget vandvolumen. Det betyder naturligvis, at man bør se nærmere på disse områder, såfremt de udgør en potentiel risiko. Eventuelt vil der være behov for mere detaljerede beregninger og vurderinger af, om det er relevant at basere risikovurderingen på en eksponering af ufortyndet udsivning til de periodevis tørre områder.

De viste fortyndinger kan screeningsmæssigt skaleres til andre kildestyrker. Ved andre udledninger kan man beregne en tilnærmet værdi for fortyndingen som

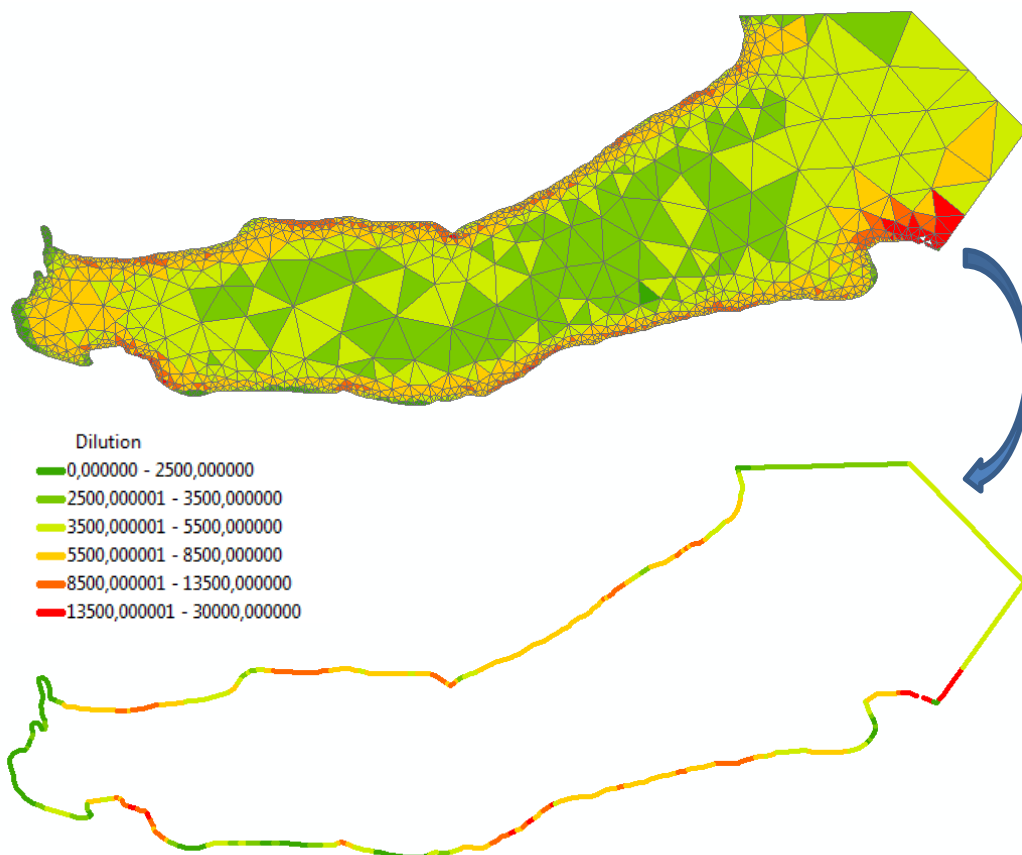
$$S_1 = S_0 \cdot q_0 / q_1$$

hvor indeks 0 er den oprindelige værdi, og indeks 1 den "nye værdi", S er fortyndingsfaktoren og q er vandfluxen (udsivningen) fra jordforureningen.  $q_0$  er 0,1 l/s.

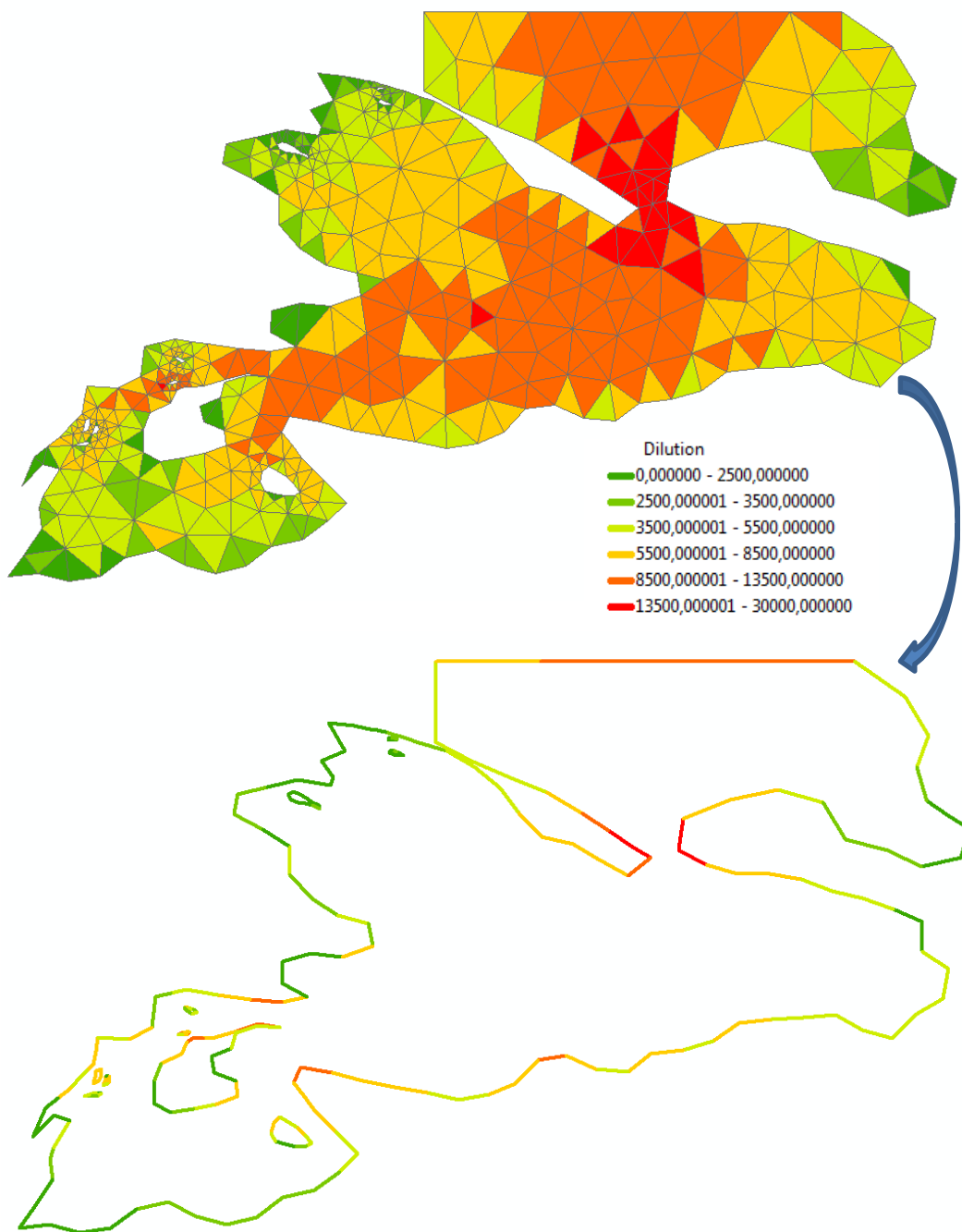
Herved tages der ganske vist ikke højde for ændrede ophobede bidrag i vandområdet generelt. Men til screenings-vurderingerne for fjordene vurderes dette af mindre betydning (jvf. afsnit 2.5), da det ophobede niveau i langt de fleste tilfælde vil være betydeligt mindre end det umiddelbare bidrag fra udledningen.



FIGUR 14 ETABLERING AF GIS LINJETEMA MED 5 % FRAKTIL FOR FORTYNDING FRA MIKE 3 BEREGNINGER – HORSSENS FJORD



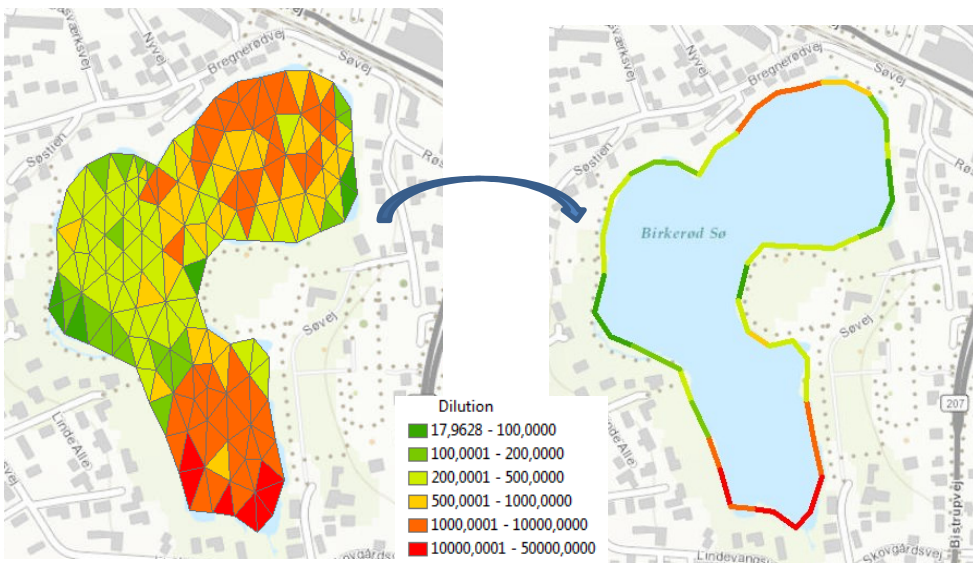
FIGUR 15 ETABLERING AF GIS LINJETEMA MED 5 % FRAKTIL FOR FORTYNDING FRA MIKE 3 BEREGNINGER – ÅBENRÅ FJORD



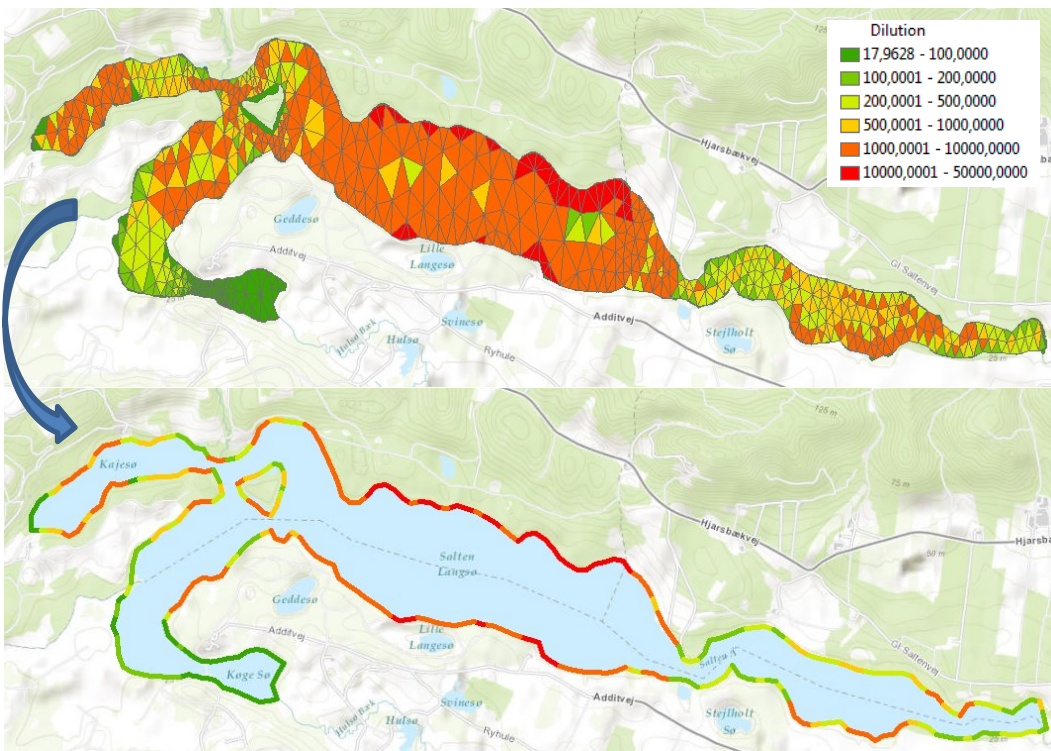
FIGUR 16 ODENSE FJORD - ETABLERING AF GIS LINJETEMA MED 5 % FRAKTIL FOR FORTYNDING FRA MIKE 3 BEREGNINGER.

### 6.3 Søer - specielle forhold og skalering af kildestyrke

Figur 17 og Figur 18 illustrerer dannelse af linjetemaer for fortynding i søers randzone ud fra MIKE3 beregninger. Anvendelse af disse resultater, når der er behov for op- og nedskalering, beskrives nedenfor.



FIGUR 17 BIRKERØD SØ - ETABLERING AF GIS LINJETEMA MED 5 % FRAKTIL FOR FORTYNDING FRA MIKE 3 BEREGNINGER.



FIGUR 18 SALTEN LANGSØ- ETABLERING AF GIS LINJETEMA MED 5 % FRAKTIL FOR FORTYNDING FRA MIKE 3 BEREGNINGER.

### 6.3.1 Skalering af kildestyrke

I søerne forekommer der ikke vandstandsvariationer, der giver anledning til egentlig udtørring af beregningsceller, hvorfor ovenstående forhold nævnt for fjordene ikke gør sig gældende.

Fortyndingsfaktoren lokalt kan for søer skaleres i forhold til udsivende vandmængde på samme måde som angivet for fjorde.

I visse søer, med lille gennemstrømning i forhold til udsivende vandmængde og med lang generel opholdstid, kan det, som diskuteret i tidligere afsnit, være relevant at tage hensyn til en ophobning af den udsivende forurening. I sådanne tilfælde vil der også være behov for skalering af dette bidrag.

Skaleringen af den resulterende koncentration kan ske ud fra ligningen angivet i **Fejl!**

**Henvisningskilde ikke fundet.** En beregning af den samlede effektive fortyndingsfaktor ( $S_E$ ) kan dog beregnes (jvf. bilag 3.3) ved

$$S_E = \frac{1}{\frac{1}{s} + \frac{1}{\frac{q}{q_0} + 1}}$$

I denne ligning er  $S$  den direkte skalerede lokale fortynding (dvs. =  $S_1$  fra skaleringen jvf. ligning i afsnit 6.2),  $q$  er tilstrømningen til søen fra det øvrige opland,  $q_0$  er den aktuelle kildestyrke (vandmængde) fra udsivningen.

### 6.3.2 Søer ikke omfattet af modelberegninger

Modelberegningerne har som nævnt omfattet 140 søer, mens der i vandplanerne er målsat 661 søer. NOVANA overvågningsprogram omfatter ca. 925 søer over 1 ha. Dertil kommer imidlertid endnu flere søer i Danmark.

På baggrund af de gennemregnede 140 søer er det forsøgt at korrelere de beregnede fortyndingsfaktorer til søstørrelse. Størrelsen har været forsøgt relateret til minimums-, maksimums-, middel- og 5 % - og 95 % -værdierne for fortyndingsfaktorerne beregnet for de enkelte søer.

Det er ikke lykket at udtrække nogle klare relationer. Dette skyldes sandsynligvis, at der er en række andre forhold, der gør sig gældende såsom orientering i forhold til fremherskende vindretning, konkrete forløb af søens omkreds, dybdeforhold i bredzonen, læ-effekter af skovområder mv.

Ideen var at undersøge, om der kunne udtrækkes en relation, der relativt simpelt ville kunne anvendes for de øvrige søer. Det må konkluderes, at det ikke kan lade sig gøre på det foreliggende grundlag uden at inddrage en længere række af variable, som der bl.a. netop er taget højde for i de gennemførte modelsimuleringer.

Hvis 5 % -fraktilen af fortyndingsfaktorerne for den enkelte sø betragtes, kan det til gengæld konstateres, at kun for ca. 10 % af søerne ligger denne værdi under en fortyndingsfaktor på 10 gange. Dvs. at for maksimalt 10 % af søerne vil der langs 5 % af søbredden ske en fortynding mindre end 10 gange ved en udsivning på 0,1 l/s.

Det er selvfølgelig afhængigt af, hvilken sikkerhed man ønsker for, at en screening ikke overser en mulig effekt, men på baggrund af de øvrige valg af antagelser skønnes det rimeligt at benytte en generel fortyndingsfaktor på 10 gange (ved udsivning af 0,1 l/s) for de søer, som ikke er dækket af modelberegningerne.

# 7. Konklusioner og anbefalinger

Der er opstillet et beregningsværktøj til screening af fortyndingsforholdene langs kyster og bredzoner af 78 fjorde og 140 søer. Modellerne tager i mulig udstrækning hensyn til de vigtigste styrende parametre for strøm- og fortyndingsforhold. Ud fra tre-dimensionelle matematiske modelberegninger er generet GIS baserede kort med fortyndingsfaktorer i de nævnte områder.

Det er vigtigt at fremhæve, at de beregnede fortyndinger og tilhørende GIS temaer skal indgå i et overordnet screeningsværktøj til vurdering af de potentielle trusler, som jordforureninger udgør for søer og fjorde.

Værktøjet kan benyttes til at vurdere, hvorvidt der er behov for mere detaljerede beregninger og vurderinger, eller om den forventelige fortynding er tilstrækkeligt stor til, at der ikke vil opstå kritiske forhold - henholdsvis er så lille, at der bør skrives ind over for forureningen.

Da det ikke har været muligt at foretage kalibrering og verifikation af de udførte modelberegninger, vil de opnåede resultater være behæftet med en ikke nøjere kendt usikkerhed. Såfremt der ved screeningen for potentielle kritiske forhold i vandområderne opnås resultater, der ligger tæt på kravværdier, anbefales det, at der foretages nøjere undersøgelser og vurderinger af dels kildestyrke og dels strømnings- og fortyndingsforhold.

Hvis der opnås resultater, der ligger inden for et interval på +/-100 % af kravkoncentrationen til vandområdet, anbefales sådanne supplerende vurderinger. Hvis den screenede koncentration ligger under dette interval, vil der ikke være betydende risiko for effekter og yderligere tiltag af hensyn til forholdene i den pågældende fjord / sø.

**Bilag 1:      Datakilder**

<b>Data type</b>	<b>Kilde</b>	<b>Kommentarer</b>
<b>Dybdeforhold for fjorde</b>	Farvandsvæsnet	Søkort/C_MAP
<b>Vinddata</b>	DHI / Fehmarn Metocean	
<b>Afstrømning</b>	Naturstyrelsen	
<b>Vandstandsranddata til fjord-modeller</b>	DHI	DHIs landsdækkende MIKE 3 model DKCoast
<b>Dybdearealforhold for søer</b>	Naturstyrelsen/DHI/Danmarks Søer af Thorkild Høy, Strandbergs Forlag.	
<b>Bevoksning omkring søer</b>	AIS database	GIS-analyse

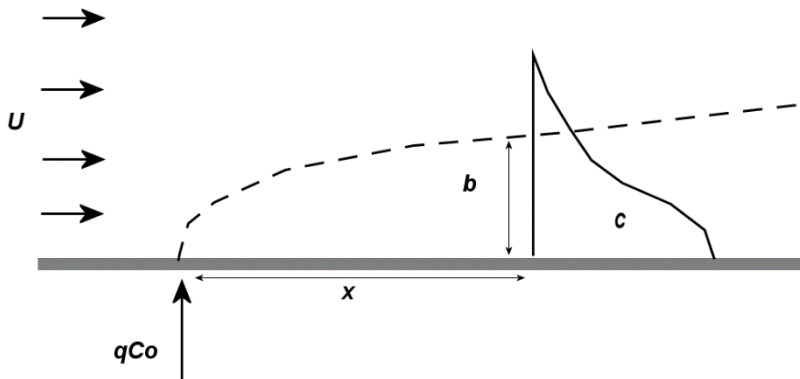


## Bilag 2: Fortyndingsberegninger

Spredningen af et stof efter udsivning langs kysten/søbredden, eller rettere bredden af fanen, kan bestemmes under antagelse af stationære forhold omkring udledningen. Fanen vil spredes som:

$$b = 2\sqrt{\frac{2}{3}hx} \quad (\text{B.1})$$

hvor  $b$  er bredden af stoffanen,  $h$  er dybden, og  $x$  er afstanden fra kilden til det undersøgte tværsnit, jf. FIGUR 19. Her er antaget, at dispersionskoefficienten,  $D$ , kan antages som  $D = 0,75 U h$ .



FIGUR 19 SKITSE AF SPREDNING AF UDSIVNING LANGS KYSTEN.  $U$  ER STRØMHASTIGHED LANGS KYSTEN.  $Q$  ER UDSTRØMNINGEN, DER HAR KONCENTRATIONEN  $C_0$ .

Koncentrationen af stoffet i fanen findes da ved hjælp af kontinuitetsligningen, idet det antages, at den udledte stofmængde er ensartet fordelt over vanddybden,  $h$ , indtil en dybde på 2 m. Dette vil de fleste steder være en konservativ antagelse, og i søer med lagdeling vil denne ofte ligge dybere:

$$qC_0 = QC = bhUC \quad \Rightarrow \quad C = \frac{qC_0}{bhU} \quad (\text{B.2})$$

hvor  $q$  er udledningen i punktkilden,  $C_0$  og  $C$  er henholdsvis koncentrationen ved kilden og i fanen, og  $qC_0$  er kildestyrken. Fortyndingen  $S$  findes således endelig at være:

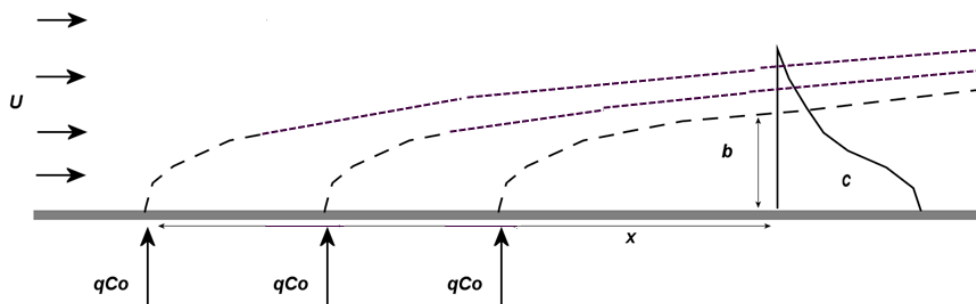
$$S = \frac{C_0}{C} = \frac{bhU}{q} = 2\sqrt{\frac{2}{3}} \frac{hU\sqrt{hx}}{q} \quad (\text{B.3})$$

I studiet beregnes fortyndingen 50 m nedstrøms langs kysten af en punktudledning placeret i vandkanten med en kildestyrke på 0,1 l/s. Ved at benytte disse værdier kan fortyndingen også skrives som følger:

$$S = 2\sqrt{\frac{2}{3}} \frac{\sqrt{h \cdot 50m}}{0.1l/s} \cdot hU \quad (\text{B.4})$$

Hvis udledningen ikke sker i et punkt men over en front, kan samme formel anvendes i en række distribuerede punkter. Under antagelse af, at udledningerne fra hvert af udledningspunkterne kan superponeres, jf. FIGUR 20, kan man beregne den endelige fortynding 50 m nedstrøms sidste punkt i strømretningen. I eksemplet i FIGUR 2 antages det, at der er 100 m mellem punktudledningerne. Er der 3 udledningspunkter, vil fortyndingen 50 m fra nedstrøms udledningspunkt være som beregnet med formel B.4, men da vandmængden er  $1/3$ , er det resulterende koncentrationsbidrag  $1/3$ . Næste punkt er 150 meter fra dette punkt, og fortyndingen er 1,7 gange fortyndingen i 50 meters afstand, og da vandmængden er  $1/3$ , bliver koncentrationsbidraget 0,19. Sidste punkt er således 250 meter fra førnævnte nedstrøms punkt, og fortyndingen er 2,2 gange fortyndingen i 50

meters afstand, og da vandmængden er 1/3, bliver koncentrationsbidraget 0,15. Samlet bliver koncentrationen 67 % af koncentrationen ved udledningen fra et punkt, svarende til i middel 1,48 gange større fortynding.



FIGUR 20 SKITSE AF SPREDNING AF UDSIVNING LANGS KYSTEN. U ER STRØMHASTIGHED LANGS KYSTEN. Q ER UDSTRØMNINGEN, DER HAR KONCENTRATIONEN CO.

I fremstillingen af fortyndingskortet er der for fjordene foretaget en enkelt korrektion for en eventuel ophobet koncentration, opbygget over lang tid. Der er i alle fjordområder lavet en beregning med en stationær udledning af samme størrelse som ovenfor, og ligevægtskoncentrationen er noteret. Den beregnede fortyndingsfaktor for fjordene er herefter korrigeret med den beregnede ligevægtskoncentration. Det vurderes, at ligevægtskoncentrationen i fjordene er lille i forhold til koncentrationen i fanen, hvorfor den beregnede fortyndingsfaktor S for fjordene kan skaleres som:

$$S_1 = S_0 \cdot q_0 / q_1 \quad (\text{B.5})$$

hvor  $S_0$  er fortyndingsfaktoren svarende til  $q_0$ , og  $q_1$  er den nye kildestyrke.

Når det gælder søer, er tilstrømningen  $q$  en vigtig parameter til vurdering af den ophobede koncentration. Den effektive fortyndingsfaktor  $S_E$  for søer bør beregnes ud fra nedenstående:

$$S_E = \frac{1}{\frac{1}{S} + \frac{1}{\frac{q}{q_0} + 1}} \quad (\text{B.6})$$

hvor  $q$  er tilstrømningen fra oplandet,  $q_0$  er kildestyrken i punktudledningen som ovenfor, og  $S$  er ligeledes som ovenfor beregnet ved ligning B.4. Såfremt der skal skaleres til ny kildestyrke, skal  $S$  i ligning B.6 først skaleres på samme måde som i ligning B.6 før udregningen af  $S_E$ .

### Bilag 3: Tabeller med fjorde og søer, som indgår

*Tabel B3-1 Oversigt over fjorde, der er foretaget fortyndingsberegninger for*

Fjord navn	NAVN efter editering i MIKE
Aborg Minde Nor	Aborg Minde Nor
Als Fjord	Als Fjord
Als Sund	Als Fjord
Augustenborg Fjord	Als Fjord
Basnæs Nor	Basnaes Nor og Holsteinborg Nor
Holsteinborg Nor	Basnaes Nor og Holsteinborg Nor
Bøvling/Ydre Fjord	Boevling Fjord Mellem Fjord Felsted
Felsted Kog	Boevling Fjord Mellem Fjord Felsted
Mellem Fjord	Boevling Fjord Mellem Fjord Felsted
Båggø Nor	Baagoe Nor
Dalby bugt	Dalby bugt
Dyreborg Nor	Dyreborg Nor
Bredningen	Emtekaer Nor
Emtekær Nor	Emtekaer Nor
Fællesstrand	Faellesstrand
Flensborg Fjord, indre del	Flensborg Fjord
Faaborg Fjord	Faaborg Fjord
Gamborg Fjord	Gamborg Fjord
Gamborg Nor	Gamborg Fjord
Genner Bugt	Genner Bugt
Haderslev Fjord	Haderslev Fjord
Hejlsminde Nor	Hejlsminde Nor
Hjarbæk Fjord	Hjarbaek Fjord
Horsens inderfjord	Horsens Fjord
Horsens yderfjord	Horsens Fjord
Isefjord	Ise og Roskilde Fjord
Nordlige Roskilde Fjord	Ise og Roskilde Fjord
Sydlig Roskilde Fjord	Ise og Roskilde Fjord
Avnø Fjord	Karrebaek Fjord, Dybsoe Fjord og Avnø Vig
Avnø Vig	Avnoe Vig
Dybsø Fjord	Karrebaek Fjord, Dybsoe Fjord og Avnø Vig
Karrebaek Fjord	Karrebaek Fjord, Dybsoe Fjord og Avnø Vig
Kerteminde Fjord	Kerteminde Fjord
Kertinge Nor	Kerteminde Fjord
Kløven	Kloeven
Knebel Vig	Knebel Vig
Kalveboderne	Koebenhavns Havn
København Havn	Koebenhavns Havn
Kølle Nor	Koelle Nor
Kolding inderfjord	Kolding Fjord
Kolding yderfjord	Kolding Fjord
Korsør Nor	Korsoer Nor
Lillestrand	Lillestrand
Lovns, Skive, Riisgårde, Bjørnholms L	Limfjorden
Nissum, Thisted, Kås, Løgstør, Nibe, L	Limfjorden

**Tabel B3-1 Oversigt over fjorde, der er foretaget fortyndingsberegninger for (fortsat)**

Fjord navn	NAVN efter editering i MIKE
Lindelse Nor	Lindelse Nor
Lunkebugten	Lunkebugten
Mariager Inderfjord	Mariager Fjord
Mariager Yderfjord	Mariager Fjord
Nærå Strand	Næraastrand
Nakkebølle Fjord	Nakkeboelle Fjord
Nakskov Fjord	Nakskov Fjord og Soender Nor
Sønder Nor	Nakskov Fjord og Soender Nor
Norsminde Fjord	Norsminde Fjord
Nybøl Nor	Nyboel Nor
Holckenhavn Fjord	Nyborg Fjord
Nyborg Fjord	Nyborg Fjord
Odense Fjord ydre del	Odense Fjord
Seden Strand	Odense Fjord
Orestrand	Orestrand
Præstø Fjord	Præstoe Fjord
Grund Fjord	Randers Fjord
Randers Fjord, fra Rds til Mellerup	Randers Fjord
Randers Yderfjord	Randers Fjord
Ringkøbing Fjord	Ringkoebing Fjord
Skælskør Fjord og Nor	Skælskoer Fjord
Skårupøre Sund	Skaarupoere Sund
Stege Nor	Stege Nor
Thurø Bund	Thuroe Bund
Torø Nor	Toroe Vig
Torø Vig	Toroe Vig
Salme Nor	Tryggelev og Salme Nor
Tryggelev Nor	Tryggelev og Salme Nor
Vejle inderfjord	Vejle Fjord
Vejlen	Vejlen
Åbenrå Fjord	Aabenraa Fjord

**Tabel B3-2 Oversigt over søer, der er fortaget fortyndingsberegninger for**

navn	vand- distri	hoved- opland ha	Qind (m <sup>3</sup> /år)	volumen (m <sup>3</sup> )	opholdstid (år)	Middel- dybde (m)	Max. dybde (m)	dybde- kort	bemærkning	vind reduktio nsfaktor for skov
Agger Tange Sø	1 1.2	362.8	0	979560	ukendt	0.27	1.3	Nej	max 3.5 - 2 m . Mest 0,2-0,5 m. intet egentlig dybdekort - kun notere vedr. dybder.	
Agri Sø	1 1.7	1.387	114770	9710	0.08	0.7	1.1	Nej	skønnet	0.71
Aller Mølleledam	1 1.11	1.3	25753846	13000	<0,01	1	2	Nej	skønnet	0.15
Arreskov Sø	1 1.13	317.43	5461042	5880000	1.0767175	1.85	0	mapinfo		0.96
Arresø	2 2.2	3987	47529710	1.24E+08	2.6	3.1	5.5	mapinfo		0.31
Avnsø	2 2.1	6.582	882000	363600	0.41	3.6	6.1	mapinfo		0.13
Banegrav v. Thyborøn Fjord	1 1.2	9.401	0	-	<3	<3	mapinfo			
Bavelse Sø	2 2.5	89	1.86E+08	4094000	0.022	4.6	0	mapinfo		0.91
Birkerød Sø	2 2.3	8.494	50640	229338	4.5287915	2.7	5.8	Nej	scannet fra DHI/VKI rapport	0.54
Birksom/Ry Lillesø	1 1.5	75.767	3.53E+08	1363810	0.004	1.8	5.2	Arcview		
Borup Sø	2 2.4	8.604	1876200	94644	0.0504445	1.1	2.1	mapinfo		0.48
Brabrand Sø	1 1.7	153.779	77665820	1537790	0.02	1	2	Nej	skønnet	0.93
Bryrup Langsø	1 1.5	37.414	8070810	172104	0.21	4.6	9	Arcview		0.55
Brådebæk Mose	2 2.3	4.139	185200	169699	0.9163013	2.4	5	mapinfo		0.47
Bøgeholm Sø	2 2.3	32.199	2004230	354189	0.1767207	1.1	1.9	mapinfo		0.46
Bølling Sø	1 1.2	343.81	10875916	3988196	0.35	1.2	3.5	mapinfo		0.82
Christianshøj grusgravsø	2 2.2	1.022	27660	61320	2.22	6	8.7	Nej	inte kort. Oplysninger om stejl bredezone	
Damhussøen	2 2.3	46.261	-	740176	-	1.6	2.4	mapinfo		
Doverkil	1 1.2	20.5	1429480	153750	0.1075566	0.75	1.17	Arcview		0.93
Ejstrup Sø	1 1.8	40.236	163930.2	563360	3.44	1.4	2.1	Nej	skønnet	0.55
Emdrup Sø	2 2.3	5.88	1677220	99960	0.0595986	1.7	3.8	mapinfo		
Engelsholm Sø	1 1.11	43	5541240	1118780	0.2	2.6	6.1	Arcview		0.70
Esrup Sø	2 2.3	1730.41	16555230	2.34E+08	14.11066	13.5	22.3	mapinfo		0.90
Farsø Sø	1 1.2	3.7	0	ukendt	ukendt	ukendt	1	Nej	max. dybde 2 m	0.90
Flintinge Mose, øst	2 2.5	67.12	3493115	270000	0.077	0.4	0	Nej	skønnet	0.34
Frederiksborg Slotssø	2 2.2	23.14	1427620	740480	0.52	3.2	8	mapinfo		0.81
Fæstningskanalen Midt	2 2.4	17.572	?	210864	0	1.2	1.7	Nej	fra MIKE11 model for Kbh Kommune	0.14
Fæstningskanalen Syd	2 2.4	13.959	?	167508	0	1.2	1.7	Nej	fra MIKE11 model for Kbh Kommune	0.13
Gammeldam	1 1.11	4.3	360970	64500	0.18	1.5	3	Nej	skønnet	0.56
Geding Sø	1 1.7	5.023	265320	100460	0.38	2	3.5	Arcview		0.81
Gentofte Sø	2 2.3	26.429	101740	237861	2.33793	0.9	1.8	mapinfo		0.84
Gevnø Sø	2 2.6	1.3	55944.5	9100	0.163	0.7	0	Nej	skønnet	
Gjessø	1 1.5	1.625	274560	53620	0.2	3.3	6.3	Nej	skønnet	0.49
Glumsø Sø	2 2.5	23.2	3155143	301600	0.096	1.3	0	mapinfo		0.86
Gram Slotssø	1 1.1	5.6	1.34E+08	28150	0	0.5	0.6	Nej	skønnet	0.25
Grauballe Mose	1 1.5	10.256	0	0	0	0	0	Nej	skønnet	0.44
Grusgravsø øst for Darup	2 2.2	5.188	40260	321656	7.99	6.2	12	Nej	skønnet	
Grusgravsø 5.16, Hudevad Sø	1 1.14	4.7	197400.7	164500	0.8333302	3.5	0	Nej	skønnet	0.46
Grusgravsø 7.1	1 1.13	12.1	699737.8	431778	0.6170568	3.6	0	mapinfo		0.79
Grønjordssøen	2 2.4	5.22	357320	52200	0.1460875	1	?	mapinfo		0.63
Gråsten Slotssø	1 1.11	16.7	1923769	344631	0.18	1.65	6.6	Arcview		0.56
Gudensø	1 1.5	172.518	3.3E+08	4140430	0.01	2.4	4.8	Arcview		0.52
Gundsømagle Sø	2 2.2	32	8271850	384000	0.05	1.2	1.9	mapinfo		0.71
Haderslev Dam	1 1.11	271.9	54965136	5354923	0.1	2.15	3	Arcview		0.83
Hobro Vesterfjord	1 1.3	12	11325011	84000	0.0074172	0.7	1	Nej	max. 0.9 m. Stor del 0.3 meter. Intet dybdekort , kun verbal beskrivelse	0.86
Holstebro Vandkraftsø	1 1.4	70.268	3.05E+08	1167839	0.0039317	1.7	6.1	mapinfo		0.64
Hornbæk Sø	2 2.3	11.578	1203640	219982	0.1827639	1.9	3.6	mapinfo		0.91
Højby Sø	2 2.1	38.415	612790	691470	1.1283964	1.8	2.7	Nej	skønnet	0.91
Hørsholm Slotssø	2 2.3	7.251	644010	94263	0.1463688	1.3	2.5	mapinfo		0.30
Juelstrup Sø	1 1.2	53.32	0	ukendt	ukendt	ukendt	ukendt	Nej	skønnet	0.82
Julsø	1 1.5	558.833	3.73E+08	43030140	0.12	7.7	17.5	Arcview		0.73
Jystrup Sø	2 2.5	6.1	91630	79300	0.865	1.3	0	Nej	skønnet	0.82
Jægerum Sø	1 1.2	8.2	0	ukendt	ukendt	ukendt	8.8	Arcview		0.93
Kastelsgraven	2 2.3	10.044	-	180792	-	1.8	4	mapinfo		0.94
Kilen	1 1.2	318.676	11701387	9692570	0.83	2.95	6.1	mapinfo		0.90
Knud Sø	1 1.5	194.861	22130380	26111370	1.18	13.4	28	Arcview		0.79
Kolding Slotssø	1 1.11	10.4	-	101449	-	1	1.7	Arcview		0.63
Kollelev Mose	2 2.3	4.703	159680	75248	0.4712425	1.6	3	Nej	skønnet	0.89
Korsgård Sø	2 2.5	7	19845.2	126000	6.349	1.8	0	Nej	skønnet	0.16
Kul Sø, Trolldhede	1 1.8	8.613	14118090	137808	0.01	1.6	4.3	mapinfo		0.31
Ladegårds Sø	1 1.14	2.6	3971036	24000	0.0060438	0.9	0	mapinfo		
Lillehav	1 1.11	15.9	7140185	162699	0.02	1.2	1.6	Arcview		0.88
Lund Sø	4 4.1	1.8	-	55516	-	2.9	5.4	Arcview		0.53
Lunderup Sø (råstofsø NV for Rødekro	4 4.1	5.3	-	-	-	-	-	Jpg		0.62
Lyngby Sø	2 2.3	57.112	13238630	913792	0.0690247	1.6	2.8	mapinfo		0.57
Løgumkloster Mølleledam	1 1.1	1.7	15954275	20160	<0,01	1.2	1.8	Arcview		
Låddenmose	1 1.11	3.7	-	40700	-	1.1	3	Arcview		0.96
Marbæk Sø - øst	1 1.1	3.3	1200068	24000	0.2	0.7	1.5	Arcview		0.14
Maribo Sønderø	2 2.5	861.6	10257368	14647200	1.428	1.7	0	mapinfo		0.77
Marilund Sø	1 1.11	3.2	2134084	84703	0.04	2.6	5.3	Arcview		0.15

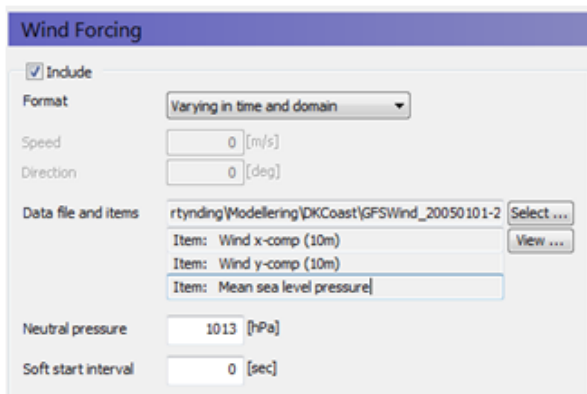
**Tabel B3-2 Oversigt over søer - forsat**

navn	vand- distri	hoved- opland ha	Qind (m3/år)	volumen (m3)	opholdstid (år)	Middel- dybde (m)	Max. dybde (m)	dybde- kort	bemærkning	vind reduktio nsfaktor for skov
Mes Sø	1.1.8	13.576	54707051	285096	0.005	2.1	4.3	mapinfo		0.36
Mossø	1.1.5	1660.12	0	ukendt	ukendt	ukendt	5	Arcview		0.89
Nivå Hesterejesøen	2.2.3	3.589	-	-	-	-	-	Nej	skønnet	0.44
Nivå Søbldadsøen	2.2.3	4.147	-	-	-	-	-	Nej	skønnet	0.50
Nordborg Sø	1.1.11	54.6	3765947	2518090	0.67	5.6	8.5	Arcview		0.85
Nydam	1.1.11	1.1	6735158	9540	<0,01	0.9	1.1	Arcview		0.21
Nørrestrand	1.1.9	120.801	49677510	906010	0.02	0.75	3	Arcview		0.79
Nørresø	4.4.1	63	-	59600	-	1.1	2.2	Nej	Sø etableret 2008-2009 (Snæbelprojekt)	0.97
Nørresø v. Maribo	2.2.5	37.9	10606281	492700	0.046	1.3	0	mapinfo		0.67
Ormstrup Sø	1.1.5	12.415	369000	289270	0.78	2.33	5	mapinfo		0.42
P.Hansens Grusgrav	2.2.5	3.5	154332	33000	0.233	6	0	mapinfo		0.51
Peblinge Sø	2.2.3	10.462	-	230164	-	2.2	2.7	Nej	scannet som jpg	0.29
Ralsøen (råstofsø SV for Rødekro G30)	4.4.1	5.3	-	281506	-	5.8	10.5	Arcview		
Ramten Sø	1.1.6	27.153	868790	325840	0.38	1.2	2	Nej	skønnet	0.81
Rands Fjord	1.1.11	143.4	54393769	1769000	0.03	1.3	2.6	Arcview		0.73
Ravnstrup Sø	2.2.5	1.7	933805.6	11900	0.013	0.7	0	Nej	skønnet	0.19
Ringe Sø	1.1.13	13.67	1211739	102525	0.0846098	0.75	0	Nej	skønnet	0.89
Råstofsø ved Rise-Hjarup (G38)	4.4.1	2.7	-	44564	-	1.4	4.2	Arcview		0.85
Salten Langsø	1.1.5	299.057	76362600	13457570	0.18	4.5	12	Arcview		0.55
Sankt Jørgen Sø Nord	2.2.3	6.129	-	226773	-	3.7	4.7	Nej	dårligt kort scannet fra VKI rapport og raport fra stadsing Kontor : De Indre Søer	
Sankt Jørgen Sø Syd	2.2.3	6.631	-	245347	-	3.7	4.8	Nej	dårligt kort scannet fra VKI rapport og raport fra stadsing Kontor : De Indre Søer	
Silkeborg Langsø midt	1.1.5	83.006	44444070	2241160	0.05	2.7	4.8	Arcview		0.71
Silkeborg Langsø vest	1.1.5	45.067	42680330	1216810	0.03	2.7	3.5	Arcview		0.51
Silkeborg Langsø øst	1.1.5	91.203	4.65E+08	2097670	0.005	2.3	4.9	Arcview		0.67
Skanderborg Lillesø	1.1.5	23.193	1196820	440670	0.37	1.9	3.8	Arcview		0.75
Skanderborg Sø	1.1.5	762.835	31390430	57594040	1.82	7.55	18.5	Arcview		0.83
Skarresø	2.2.1	189.042	5054770	4915092	0.9723671	2.6	4.1	mapinfo		0.60
Skerne Sø	2.2.5	1.9	1074279	9500	0.009	0.5	0	Nej	skønnet	0.39
Smalby Sø, vest	1.1.2	49.5	438410.6	3925350	8.9535933	7.93	19	Nej	skønnet	0.94
Snorrebakkesø	3.3.1	7.022	97300	624958	6.423001	8.9	23	mapinfo		0.49
Solsidens Kridtgrav	1.1.2	4.06	0	276892	ukendt	6.82	7.1	Arcview		0.40
Sorte Sø	1.1.5	5.015	102450	50150	0.49	1	0	Nej	skønnet	0.43
Sortedam Sø Nord	2.2.3	13.824	-	276480	-	2	2.8	Nej	scannet som jpg	
Sortedam Sø Syd	2.2.3	10.806	-	226926	-	2.1	2.7	Nej	scannet som jpg	
Sorø Sø	2.2.5	210	5062151	10500000	2.074	5	0	mapinfo		0.70
St. Sjørup Sø	1.1.6	1.344	64870	13440	0.21	1	1.2	Nej	skønnet	0.64
Store Økssø	1.1.2	32.35	0	ukendt	ukendt	ukendt	7.7	Nej	scannet som jpg	0.19
Strøllille Grav sø	2.2.2	11.673	112380	700380	6.23	6	15	Nej	skønnet	0.58
Suldrup Sø	1.1.2	8	501582.4	52000	0.1036719	0.65	1.4	Arcview		0.86
Sundby Sø	1.1.2	45	6956024	486000	0.0698675	1.08	ukendt	Nej	skønnet	0.99
Sundet, Fåborg	1.1.15	29.17	264555	233360	0.8820851	0.8	0	Nej	skønnet	0.82
Sunds Sø	1.1.4	122.302	11595952	1967760	0.1673589	1.6	3.5	mapinfo		0.91
Svanholm Sø	1.1.8	7.925	1579410	128385	0.081	1.62	4.1	mapinfo		0.26
Sø v. Bromme	2.2.5	7.2	24022.4	59000	2.456	1	0	Nej	skønnet	0.44
Sø v. Kærballægård	1.1.8	5.571	-	78.551	>1	1.41	4.5	mapinfo		0.20
Sø øst for Klastrup	1.1.2	1.5	2085217	24750	0.0118693	1.65	ukendt	Nej	skønnet	0.16
Søbylejet v. 31	1.1.8	34.292	-	1076769	-	3.1	13.1	mapinfo		0.45
Søgård Sø (Fakkebjerg)	1.1.15	5.17	200237.9	31006.2	0.1548468	0.6	0	Nej	skønnet	0.49
Søllerød Sø	2.2.3	13.305	578960	745080	1.2869283	5.6	8.6	mapinfo		0.53
Sønder Mose	1.1.5	6.512	0	0	0	0	0	Nej	skønnet	0.55
Søndervig	1.1.2	54	0	691200	ukendt	1.28	3.25	Nej	gennensit 2.5 m, oplys om enkelt dybde huller. Intet egentlig kort	0.97
Sørup Sø	1.1.15	11.2	358054.6	325000	0.9076827	2.9	0	mapinfo		0.67
Tange Sø	1.1.5	541.293	6.44E+08	15156200	0.02	2.8	6	mapinfo		0.83
Tegligård Sø	2.2.2	5.255	818450	63060	0.08	1.2	1.9	mapinfo		0.33
Thorsø	1.1.5	60.054	6619860	2522270	0.38	4.2	7.9	Arcview		0.43
Thyborøn Fjord	1.1.2	271.38	4185688	814125	0.19	0.3	4.3	mapinfo		0.96
Tranemose	2.2.2	3.341	444620.1	63372	0.14	0.8	1.1	Nej	skønnet	0.53
Tranemosen	2.2.5	3	359281.2	54000	0.15	1.8	0	Nej	skønnet	0.26
Tranevig	1.1.5	3.503	590400	35040	0.06	1	1	Nej	skønnet	0.12
Tuel Sø	2.2.5	189.5	8562915	14591500	1.704	7.7	0	mapinfo		0.79
Uge Sø 3	4.4.1	9.3	-	-	-	-	-	Jpg		
Uggeløse Gravsø	2.2.2	1.513	56030	37825	0.68	2.5	5	Nej	skønnet	0.11
Ulvsmose	2.2.5	5	365216.6	37500	0.103	0.75	0	Nej	skønnet	0.17
Vejlesø	2.2.3	16.027	934670	592999	0.6344475	3.7	7.2	mapinfo		0.38
Vestersjø, Lyø	1.1.12	19.89	178955.3	119349.6	0.6669239	0.6	1	Nej	skønnet	
Viborg Søndersø	1.1.5	145.266	16844170	4939040	0.29	3.4	6.5	mapinfo		0.90
Vintmølle Sø	1.1.5	20.154	3348580	461530	0.14	2.29	4.5	mapinfo		0.74
Østersø	1.1.11	2.9	2116557	-	0.01	-	-	Nej	skønnet	0.25
Østerø Sø	1.1.14	23	100428.3	74750	0.7443123	0.33	1	Nej	Intet dybdekort , kun verbal beskrivelse	0.72
Østerå Sø	1.1.2	7.6	0	704520	ukendt	9.27	22.4	Nej	skønnet	0.56

## Bilag 4: Centrale modelkonstanter for modellering af fjorde og søer, i MIKE3

### Vind:

Af nedenstående "screen dumps" fra modellen fremgår anvendt vindfil, der giver variationer i tid og sted af vindhastighed og retning i 10 meters højde. Desuden fremgår den friktion, der er vandvendt for at beskrive påvirkningen på vandoverfalden. Ud fra de anførte værdier interpoleres friktionen ved aktuel vindhastighed. For søerne er den energi, der afsættes, reduceret i henhold til den faktor, der er angivet i Bilag 3, Tabel B3-2 (sidste kolonne).



**Wind Forcing**

Include

Format: **Varying in time and domain**

Speed:  [m/s]

Direction:  [deg]

Data file and items: rtynding\Modellering\DKCoast\GFSWind\_20050101-2 **Select ...**

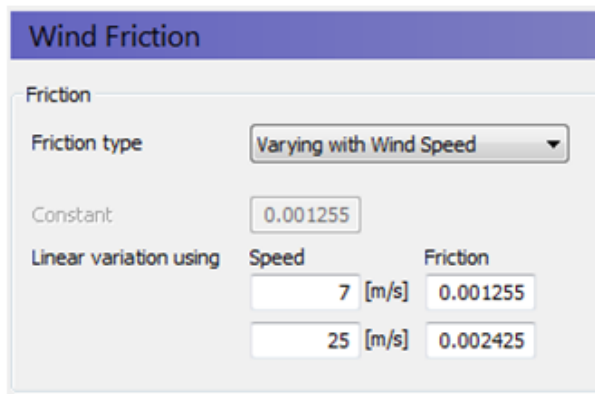
Item: Wind x-comp (10m) **View ...**

Item: Wind y-comp (10m)

Item: Mean sea level pressure

Neutral pressure:  [hPa]

Soft start interval:  [sec]



**Wind Friction**

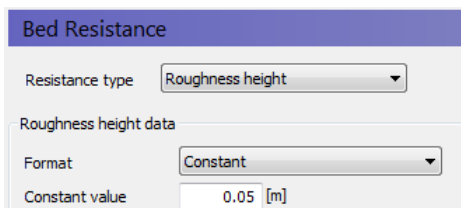
Friction type: **Varying with Wind Speed**

Constant:

Linear variation using

Speed	Friction
<input type="text" value="7"/> [m/s]	<input type="text" value="0.001255"/>
<input type="text" value="25"/> [m/s]	<input type="text" value="0.002425"/>

### Bundmodstand (ruhed):



**Bed Resistance**

Resistance type: **Roughness height**

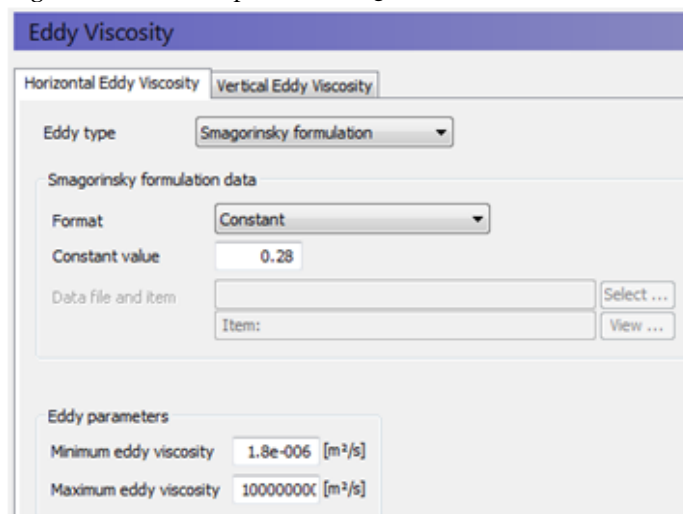
Roughness height data

Format: **Constant**

Constant value:  [m]

### Spredning af stof:

Spredning af udledt stof beskrives ved viskositet og dispersion. Værdier, der er benyttet, fremgår af følgende "screen dumps" fra MIKE3 modellen.



**Eddy Viscosity**

Horizontal Eddy Viscosity | **Vertical Eddy Viscosity**

Eddy type: **Smagorinsky formulation**

Smagorinsky formulation data

Format: **Constant**

Constant value:

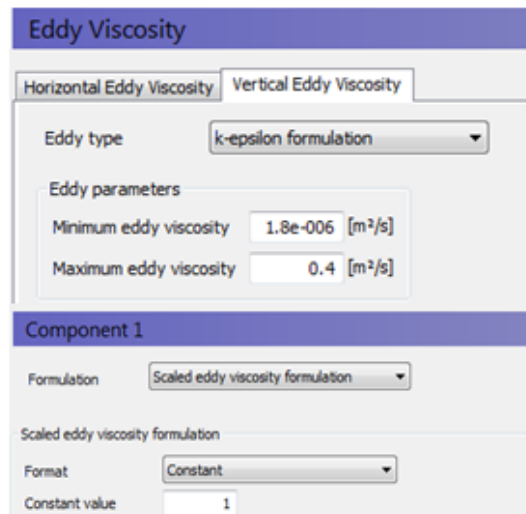
Data file and item:  **Select ...**

Item:  **View ...**

Eddy parameters

Minimum eddy viscosity:  [m<sup>2</sup>/s]

Maximum eddy viscosity:  [m<sup>2</sup>/s]



**Eddy Viscosity**

Horizontal Eddy Viscosity | **Vertical Eddy Viscosity**

Eddy type: **k-epsilon formulation**

Eddy parameters

Minimum eddy viscosity:  [m<sup>2</sup>/s]

Maximum eddy viscosity:  [m<sup>2</sup>/s]

**Component 1**

Formulation: **Scaled eddy viscosity formulation**

Scaled eddy viscosity formulation

Format: **Constant**

Constant value:





### **Jordforureningers påvirkning af overfladevand**

Rapporten er én ud af 6 delprojekter, der blev i gangsat af Miljøstyrelsen i forbindelse med identificering af overfladevandstruende jordforureninger. Delprojekt 6 omfatter beregning af strømningsforhold i udvalgte søer og fjorde ved tredimensional matematisk modellering med softwaret MIKE 3. Resultatet herfra er benyttet til etablering af et fortyndingskort i GIS for vandområderne. Dermed er der skabt et grundlag for en første vurdering af, hvilke jordforureninger der potentiel udgør en trussel i henhold til overfladevand i de inkluderede søer og fjorde.



**Miljøministeriet**  
Miljøstyrelsen

Strandgade 29  
1401 København K  
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

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