



Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

# Anvendelse af modelværktøjer til vurdering af målbelastning for søer i vandområdeplaner 2015-2021

## Metodenotat

Godkendt på mødet den 30. juni 2014 i  
Styregruppen for projekt Implementering af  
modelværktøjer til brug for vandplanlægningen.



## **Anvendelsen af sø modelværktøjer til vurderinger af målbelastning for søer i Vandplan II.**

### **Metodenotat**

Formålet med sømodelprojektet har været at forbedre grundlaget for at vurdere søernes miljøtilstand og beregne målbelastning og indsatsbehov til brug for Vandplan 2. Dette notat beskriver – på baggrund af værktøjs- og valideringsnotaterne, hvordan modellerne kan anvendes i Vandplan 2.

Sømodelprojektet indeholder følgende delelementer:

- 1) Sikkerhed på tilstandsvurderingen, år- til år- variationer
- 2) Sammenhæng mellem biologiske kvalitetselementer og indhold af P og N
- 3) Sammenhæng mellem P og N tilførsel og koncentration i søen
- 4) Indsvingningstid for intern belastning
- 5) Anvendelse af dynamiske modeller

På baggrund af disse 5 notater beskrives her, hvordan de udviklede empiriske modeller kan bruges til at vurdere eller beregne følgende:

- 1) Betydning af naturlige år- til år- variationer for vurdering af miljøtilstanden, jf. delelement 1
- 2) Beregning af indsatsbehov, jf. delelementerne 2, 3 og 5
- 3) Vurdering af behov for sørestaurering ud fra indsvingningstiden for intern belastning

### **1) Betydning af naturlige år- til år- variationer for vurdering af miljøtilstanden**

Hvis klorofyl er eneste målte kvalitetsparameter, er tilstandsvurderingen usikker, selv ved flere års målinger.

Hvis der foreligger målinger af de egentlige biologiske kvalitetselementer planteplankton og makrofyter vil målopfyldelse opnås ved en EQR på 0,6 idet dette er grænsen mellem god og moderat tilstand. Målopfyldelse vil med stor sikkerhed (80%) være opnået ved en EQR på > 0,69 og 0,66 ud fra blot 1 års måling i lavvandede søer. For dybe søer er det hhv. > 0,70 og 0,67. Omvendt vil en sikkerhed på 80% for manglende målopfyldelse kunne opnås ved en EQR < hhv. 0,51 og 0,54 i lavvandede søer og < hhv. 0,50 og 0,53 i dybe søer.

Hvis eqr i lavvandede søer ligger i intervallet 0,51-0,60 (fytoplankton) og 0,54-0,60 (makrofyter) og i dybe søer i intervallet 0,50-0,60 (fytoplankton) og 0,53-0,60 (makrofyter) er målopfyldelse usikker.

## 2) Beregning af indsatsbehov

Indsatsbehovet beregnes ved en kombination af tre typer empiriske modeller:

*Modeltype 1: sammenhæng mellem kvalitetselementer (klorofyl, fytoplankton og vegetation) og sommermiddel fosforindhold*

På baggrund af sammenhængen mellem data for fosfor og kvælstof og de biologiske kvalitetselementer fytoplankton (herunder klorofyl) og makrofyter er det vurderet, hvilket næringsstofniveau i søen, der vil medføre målopfyldelse for de biologiske kvalitetselementer.

*Modeltype 2: Sammenhæng mellem sommermiddel fosforindhold og årsmiddel fosforindhold*

En analyse af sammenhængen mellem sommer- og årsmiddel fosforindhold gør det muligt at omregne mellem disse.

*Modeltype 3: Sammenhæng mellem indløbskoncentration og årsmiddel fosforindhold i søen*

På baggrund af data fra 23 danske søer og i alt 165 søår, er der opstillet nye modeller for sammenhængen mellem tilførslen af hhv. fosfor og kvælstof og koncentrationen i søen.

*Modeltype 1: Sammenhæng mellem kvalitetselementer (fytoplankton (herunder klorofyl), og vegetation) og sommermiddel fosforindhold*

Fosfor

Der er foretaget analyser for flere forskellige søtyper, men de mest almindelige typer er de dybe og lavvandede kalkrige søer.

I nedenstående tabel 1 er præsenteret regressioner for hhv. dybe og lavvandede søer samlet samt for søtype 9 og 10, som er de søtyper, hvor der på nuværende tidspunkt er udviklet EU interkalibrerede kvalitetsindices for. Ved hjælp af regressionerne kan man regne tilbage fra kvalitetsindekset til et fosforindhold ved målopfyldelse. Da der er tale om regressioner med en vis spredning vil det som gennemsnit kun være halvdelen af søerne, der når målopfyldelse ved den angivne fosforkoncentration. Hvis større sikkerhed ønskes, skal der opnås lavere fosfor- og evt. kvælstofindhold, eller suppleres med f.eks. sørestauration. Når kvalitetsindices udbredes til øvrige søtyper, vil der blive opstillet tilsvarende regressioner for disse i det omfang, der er data til dette. I forbindelse hermed vil der også ske en opdatering af de typespecifikke regressioner i tabel 1 hvilket kan føre til mindre ændringer i disse.

Søtype	Fosforindhold svarende til målopfyldelse ifølge regressionslinje			Anvendt i VP1
	Klorofyl	Fytoplankton	Makrofytter	(På basis af klorofyl)
	Dybe, type 10 µg/l Lavvandede, type 9: 25 µg/l	Eqr = 0,6	Eqr = 0,6	
Dybe samlet, P-indhold, mg/l	<b>0,028</b> (log chl a = 2,51+0,92*logTP, R <sup>2</sup> =0,62)	<b>0,028/0,029</b> (DSFI= -0,13-0,47*logTP, R <sup>2</sup> =0,55)	<b>0,047</b> (DSMI= 0,07-0,40*logTP, R <sup>2</sup> =0,38)	0,015-0,025
Lavvandede samlet, P-indhold, mg/l	<b>0,069</b> (log chl a = 2,49+0,94*logTP, R <sup>2</sup> =0,48)	<b>0,052/0,053</b> (DSFI= 0,10-0,39*logTP, R <sup>2</sup> =0,56)	<b>0,076</b> (DSMI= 0,13-0,42*logTP, R <sup>2</sup> =0,34)	0,059-0,070
9: P-indhold, mg/l	<b>0,062/0,069</b> (log chl a = 2,45+0,87*logTP, R <sup>2</sup> =0,43)	<b>0,018/0,018</b> (DSFI= 0,20-0,23*logTP, R <sup>2</sup> =0,21)	<b>0,052/0,055</b> (DSMI= 0,10-0,39*logTP, R <sup>2</sup> =0,26)	0,059-0,070
10: P-indhold, mg/l	<b>0,028/0,030</b> (log chl a = 2,51+0,92*logTP, R <sup>2</sup> =0,62)	<b>0,029/0,029</b> (DSFI= -0,14-0,48*logTP, R <sup>2</sup> =0,57)	<b>0,047/0,049</b> (DSMI= 0,07-0,40*logTP, R <sup>2</sup> =0,39)	0,015-0,025

Tabel 1. Det fosforindhold, som ifølge regressionslinjerne vil føre til målopfyldelse (med 50 % sandsynlighed) i hhv. dybe søer (type 10) og lavvandede søer (type 9). I regressionerne for dybe søer samlet og lavvandede søer samlet er der inddraget alle dybe, hhv. lavvandede søer. Når der tilbageregnes til indeksværdi til fosforværdi i de logaritmetransformerede sammenhænge, skal den beregnede fosforværdi korrigeres med en statistisk faktor, den såkaldte Ferguson faktor. Den korrigerede værdi er anført efter skråstregen.

For de dybe type 10 søer giver den typespecifikke regression den største forklaringsværdi. Regressionen viser et niveau for målopfyldelse på 0,029 mgP/l, hvilket ligger tæt på det niveau på 0,025 mgP/l, der blev anvendt i Vandplan 1. Spredningen på data gør dog, at der ved dette fosforindhold vil kunne forekomme søer i både høj, god og moderat tilstand.

For de lavvandede søer giver regressionen for type 9 søerne alene en lav forklaringsværdi, specielt for fytoplankton (R<sup>2</sup>=0,21). Her giver regressionen for lavvandede søer samlet en højere forklaringsværdi for alle kvalitetselementer. For de lavvandede søer viser regressionen et P niveau på 0,053 mgP/l for at opnå målopfyldelse for planteplankton. Ved dette fosforindhold vil ca. halvdelen af søerne være i god eller høj tilstand, men der forekommer også søer i moderat og ringe tilstand. Ved et højere fosforindhold på f.eks. 0,070 mgP/l som anvendt i VP1, vil der være risiko for, at en større del af søerne ikke kommer i god tilstand i forhold til planteplankton, idet der også forekommer en stor andel af søer i moderat og ringe tilstand ved dette P-indhold.

Årsagen til dette er, at ved fosforindhold over ca. 0,050 mgP/l vil lavvandede søers tilstand naturligt kunne svinge mellem en klarvandet tilstand (med målopfyldelse) og en uklar tilstand (uden målopfyldelse). Dette blev anført af DMU allerede i en faglig rapport i 2003 (Vandrammedirektivet og danske søer, Del 1: Søtyper, referencetilstand og økologiske kvalitetsklasser, Faglig rapport fra DMU, nr. 475) hvor de anbefalede, at grænsen god/moderat skulle sættes ved 0,050 mgP/l. Ved et fosforindhold på 0,053 µg/l er sikkerheden for opnåelse af god tilstand altså betydeligt større end ved 0,07 mg/l, selvom der stadig kan forekomme søer, som har moderat eller ringere tilstand. Sigtes mod et højere fosforindhold (f.eks. 0,060 mgP/l) bliver sandsynligheden for at opnå

måløpfyldelse mindre. Ifølge tidligere beregninger fra DCE vil sandsynligheden for at opnå måløpfyldelse mindskes med ca. 5 % -point hvis fosforniveauet øges fra 0,05 til 0,06 mgP/l.

#### Kvælstof

For de fleste søtyper er forklaringsværdien af kvælstof beskeden. Kun for brakvandssøer (søtype 11) er relationen i forhold til klorofyl lidt stærkere til kvælstof end til fosfor. Dette kunne tyde på, at kvælstof i denne søtype (som en overgangstype til de mere marine områder) spiller en vigtigere rolle end i de andre søtyper. Sammenhængen er dog stadig svag, og anses ikke som tilstrækkeligt til generelt at anvende begrænsning af kvælstoftilførslen som en metode til at opnå måløpfyldelse i brakvandssøerne. Ifølge regressionen mellem kvælstof og klorofyl skal kvælstofindholdet være meget lavt (i området 0,5-0,9 mg N/l), for at nå måløpfyldelse.

Kvælstof som begrænsende faktor er desuden behandlet som fokuspunkt i NOVANA-rapporten Søer 2013. Her konkluderes det, at både fosfor og kvælstof spiller en rolle for søers økologiske tilstand, og at kvælstoftilførslen ikke bør overstige et niveau svarende til en middelsommerkoncentration i søvandet på 1,2-2 mg/l i lavvandede søer. Ud fra de foreliggende vandplandata er der 220 søer, som har et kvælstofindhold over 1,2 mg/l og 78 søer med et kvælstofindhold over 2 mg/l.

#### *Modeltype 2: Sammenhæng mellem sommermiddel fosforindhold og årsmiddel fosforindhold*

Den modificerede OECD model og Vollenweider modellen beskriver sammenhængen mellem fosforbelastning og årsmiddel fosforindhold i søen. Da fosforkravet stilles i forhold til sommermiddel fosforkoncentration, skal der kunne foretages en omregning mellem sommer- og årsmiddel. Resultaterne viser en ret stor sikkerhed på denne omregning, der er foretaget med en afgrænsning mellem dybe og lavvandede søtyper.

For lavvandede søer, dvs. søtype 1, 3, 5, 7, 9, 11 og 13 anvendes formlen:  $TP_{\text{år}} = 0,560 * (TP_{\text{sommer}})^{0,814}$ . En sommermiddelværdi på 0,053 mgP/l svarer til en årsmiddel på 0,051 mg/l. Dette er noget lavere end anvendt i VP1 (0,059 mg/l), hvor udgangspunktet var en sommermiddelværdi på 0,07 mgP/l.

For dybe søer, dvs. søtype 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 og 16 anvendes formlen:  $TP_{\text{år}} = 0,712 * (TP_{\text{sommer}})^{0,778}$ . En sommermiddelværdi på 0,029 mgP/l svarer til en årsmiddel på 0,045 mg/l. Dette er noget højere end anvendt i VP1 (0,027 mg/l), hvor udgangspunktet var en sommermiddelværdi på 0,025 mg/l.

#### *Modeltype 3: Sammenhæng mellem den årlige tilførsel af fosfor og årsmiddelkoncentrationen af fosfor*

DCE anbefaler at anvende den nyudviklede modificerede OECD model (modOECD), som er opstillet på danske søer, især fordi den giver en MSE (Mean Squared Error), som er næsten halvt så stor som Vollenweider modellens. Hvis man ønsker at fokusere på søerne med lave fosforindhold, kan man anvende det modeludtryk, der kun anvender data med fosforkoncentrationer under 0,2 mgP/l (modOECD(<0,2mg/l)). Det forventes således at være denne model, der er bedst tilpasset søer omkring måløpfyldelse. Modellen ser således ud:  $TP_{\text{sø}} = 1,095 * ((TP_{\text{indløb}})^{1,043}) / ((1 + TW^{0,5})^{0,229})$ . I forhold til den i Vandplan 1 anvendte Vollenweidermodel, beregner den typisk en højere koncentration i søen ved en given fosfortilførsel.

Når de generelle modeller anvendes på enkelt søniveau kan der være stor forskel på, hvordan modellerne "rammer" de observerede værdier, og hvilket fosforniveau de estimerer. Dette er illustreret i Bilag 1, figur 1, hvor den målte årsmiddelkoncentration af fosfor er plottet sammen med den modelberegnete for den modificerede OECD model, den modificerede OECD < 0,2 mg/l og Vollenweider. I nogle tilfælde er der god overensstemmelse mellem modellerne indbyrdes og også med de observerede værdier. I andre tilfælde adskiller de modelberegnete værdier sig tydeligt fra de observerede, hvilket kan indikere, at den pågældende model passer dårligt på den konkrete sø.

Hvis de observerede værdier er væsentligt større end de modelberegnete, kan det dog også skyldes intern belastning, som følge af, at søen (endnu) ikke er i ligevægt med de eksterne tilførsler.

Når der er tilstrækkeligt datagrundlag, er der således mulighed for at vælge den model, der vurderes at passe bedst på den enkelte sø.

Hvis der for en sø foreligger en specifik model for søen, kan en sådan anvendes i stedet for den generelle model.

#### *Fosforretention*

På datagrundlaget for de 23 søer anvendt til at opstille modellen for sammenhæng mellem fosfortilførsel og koncentrationen i søen, har DCE opstillet en model for fosforretentionen i søerne. Modellen har en forklaringsværdi, som er lidt bedre end forklaringsværdien for den hidtil anvendte Vollenweider-model. DCE anbefaler at anvende den nye model, som passer lidt bedre på de danske søer. Modellen er opdelt på dybe og lavvandede søer, adskilt ved en middeldybde på 3 m.

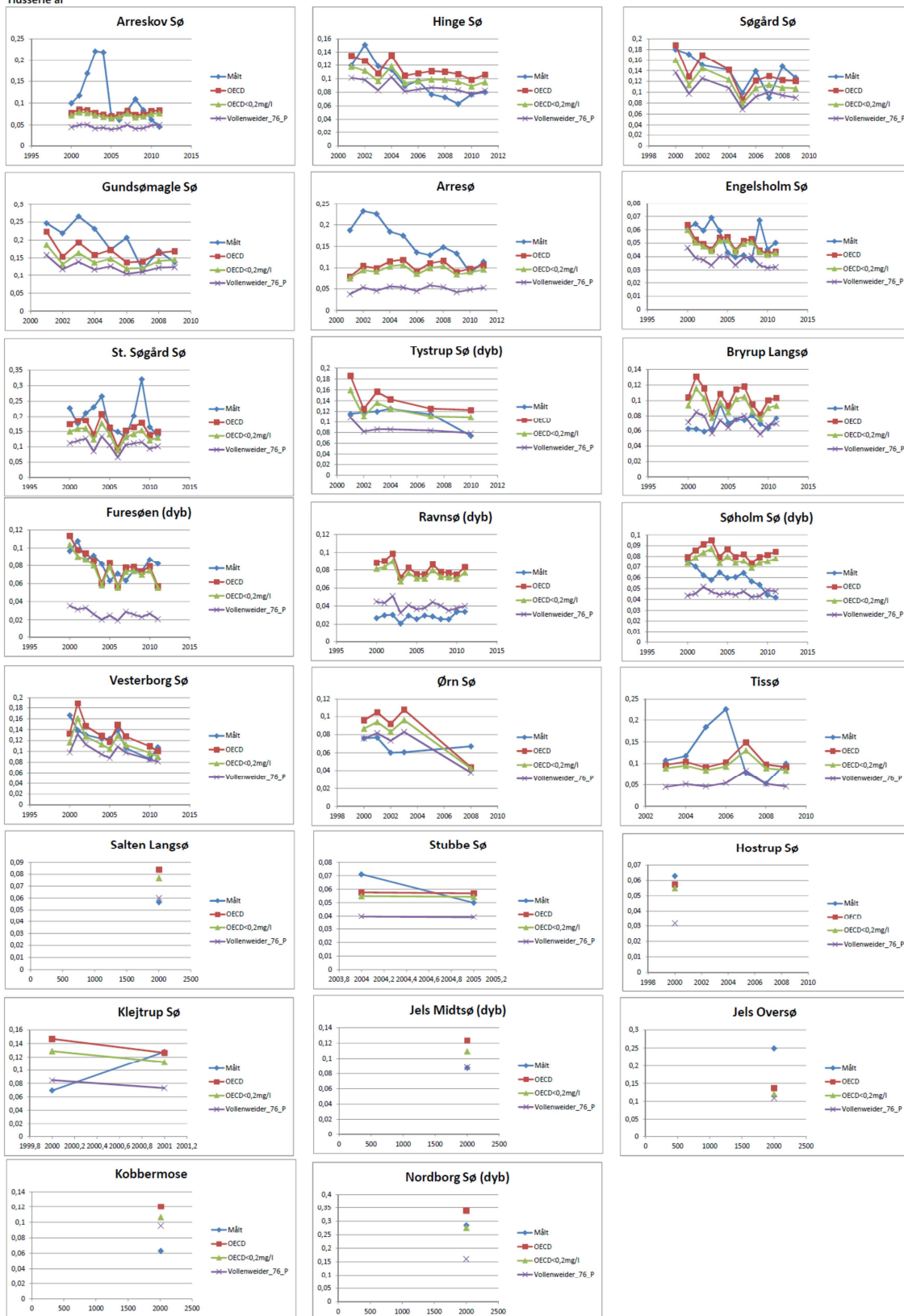
### **3) Vurdering af behov for sørestaurering ud fra indsvingningstiden for intern belastning**

Der er udviklet en model som kan anvendes til at vurdere, hvor mange år den interne fosforpulje i sedimentet kan fastholde en sø i dårlig tilstand, efter at målbelastningen er nået. På baggrund af skemaoplysningerne er det muligt at opnå en indikation på om en specifik sø med en given dybde, opholdstid og sediment karakteristik (fosfor og jern) over tid vil opnå målopfyldelse, eller om der skal yderligere virkemidler i spil, som f.eks. sørestaurering.

Modellens resultater bruges som støtteværktøj i forbindelse med vurdering af behovet for at gennemføre sørestaurering for at opnå målopfyldelse efter at den eksterne belastning er nedbragt tilstrækkeligt til at opnå målopfyldelse. Hvis indsvingningstiden vurderes at være mere end 1-2 planperioder (6-12 år) kan det være relevant at iværksætte sørestaurering med henblik på at opnå målopfyldelse hurtigere.

Bilag 1. Figur 1 Plot af målte og modelberegnete årsmidler af fosfor i søer, der indgår i modelgrundlaget

Tidsserie år









Miljøministeriet  
Naturstyrelsen

Haraldsgade 53  
2100 København Ø  
Tlf.: 72 54 30 00

[www.naturstyrelsen.dk](http://www.naturstyrelsen.dk)