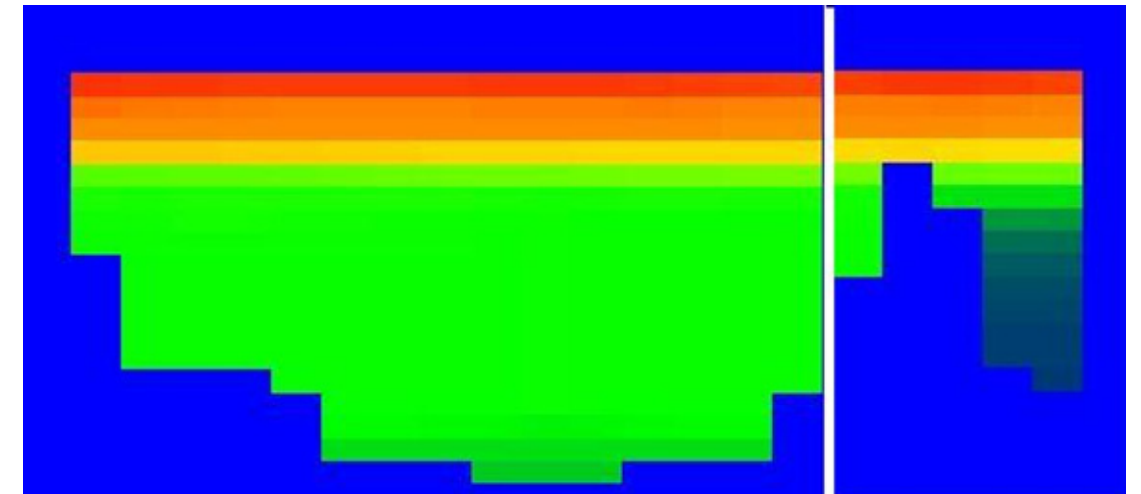




RAPPORT LNR 5147-2006

**Tiltaksvurdering i  
Kolbotnvannet**



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Midt-Norge**

Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86  
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Tiltaksvurdering i Kolbotnvannet	Løpenr. (for bestilling) 5147-2006	Dato 30.01.06
	Prosjektnr. Undernr. 25382	Sider Pris 41
Forfatter(e) Tone Jøran Oredalen Thomas Rohrlack Torulv Tjomsland	Fagområde Rådgivning, Biologisk mangfold ferskvann	Distribusjon
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Oppegård Kommune	Oppdragsreferanse Einar Jystad
--------------------------------------	-----------------------------------

**Sammendrag**

I "Tiltaksplan for VA 2006-2009" har Oppegård kommune planlagt et omfattende arbeid med å redusere tilførslene fra avløpsnett, bl.a. med sikte på en bedring av vannkvaliteten i Kolbotnvannet. Et miljømål for Kolbotnvannet er en konsentrasjon av total-fosfor i overflatevannet på 15 µg/L. For at kommunen skulle få et best mulig grunnlag for å velge optimale løsninger for sine tiltak, ble NIVA spurt om å utføre modellberegninger for ulike typer tiltak og forventet effekt av disse. Modellen som er brukt, CE-QUAL-W2, er en 2-dimensjonal (lengde-dyp) modell som er godt egnet til eutrofieringsstudier. Den er kalibrert for Kolbotnvannet ut fra eksisterende overvåkingsdata, og kalibreringen gav et godt bilde av både tilstand og de dominerende prosessene i innsjøen. Etter kalibreringen produserte vi scenarier for effekten på innsjøen av 4 utvalgte eksterne og interne tiltak. For optimal effekt, både i forhold til fosforkonsentrasjon og økologisk tilstand, viser modelleringen at en kombinasjon av reduksjon i eksterne tilførsler og tilsetning av oksygen til bunnvannet å være den løsningen som samsvarer best med det uttalte miljømålet til Kolbotnvannet. Tiltakene forutsetter en nøye oppfølging, for å optimalisere og justere drift av evt. anlegg ut fra obserberte effekter.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiltaksvurdering</li> <li>2. Intern gjødsling</li> <li>3. Eutrofiering</li> <li>4. Modellering</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abatement evaluation</li> <li>2. Internal fertilization</li> <li>3. Eutrophication</li> <li>4. Modelling</li> </ol>
--	--



Prosjektleder



Ansvarlig



# **Tiltaksvurdering i Kolbotnvannet**



## Forord

Bakgrunnen for å sette igang en tiltaksvurdering for Kolbotnvannet, er et ønske fra kommunen om en forbedring av vannkvaliteten i innsjøen. Gjennom bedret vannkvalitet forventes økt mulighet for bruk av vannet til rekreasjonsformål for kommunens innbyggere.

Kommunen har planlagt et omfattende arbeid med å redusere tilførslene fra avløpsnettets gjennom sin "Tiltaksplan for VA 2006 - 2009". Her arbeides det med å få en best mulig miljøeffekt igjen for investeringene som gjøres. I denne sammenheng ble en egen vurdering av mulighetene for Kolbotnvannet etterlyst. Tiltaksvurderingen for Kolbotnvannet forventes derfor å gi en vurdering av et utvalg av innsjøinterne og -eksterne tiltak, og hvilken effekt en kan forvente av disse på vannkvaliteten over tid.

For å få best mulig grunnlag for å velge optimale løsninger, ble NIVA spurt om å gjøre modellberegninger av ulike scenarier ved et utvalg av mulige tiltak. Modellberegningene er gjort utfra eksisterende overvåkingsdata, samt kjennskap til prosesser i sjøen gjennom lang tids overvåking. Det må samtidig presiseres at modellering av kompliserte biologiske systemer aldri vil kunne gi eksakte svar, men vil være et nyttig og nødvendig hjelpemiddel for å forstå sammensatte prosesser. I kombinasjon med faglige skjønn vil modellberegninger kunne gi en sannsynlig utvikling av vannkvalitet, gitt ulike forutsetninger.

Kalibrering av modellen CE-QUAL-W2, samt kjøring av scenarier på samme modell, er utført på NIVA av forskerne Torulv Tjomsland og Thomas Rohrlack. Rapporten er utformet av forskningsleder Tone Jøran Oredalen i samarbeid med de som utførte modelleringen. Kvalitetssikring av rapporten er utført av seniorforsker Dag Berge.

Oslo, 30.januar 2006

*Tone Jøran Oredalen*

---



# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>7</b>
<b>2. Kalibrering av modell CE-QUAL-W2</b>	<b>8</b>
2.1 Beskrivelse av modellen	8
2.2 Kalibrering av modellen CE-QUAL-W2 for Kolbotnvannet	8
2.2.1 Datagrunnlag:	8
2.3 Resultatet av kalibreringen	9
2.3.1 Fysiske parametre	9
2.3.2 Næringssalter (total fosfor, fosfat, nitrat)	9
2.3.3 Total organisk karbon (TOC)	9
<b>3. Scenarier for Kolbotnvannet ved ulike tiltak</b>	<b>10</b>
3.1 Nåtilstand	10
3.2 Eksterne tiltak	11
3.2.1 Reduksjon av tilførsler (tiltak på ledningsnett) fra Augestad- og Skredderstubekken	11
3.3 Interne tiltak	14
3.3.1 Rensepark ved utløp av Skredderstu- og Augestadbekken	14
3.3.2 Tilsetning av oksygen til hypolimnion (bunnvann)	16
3.3.3 Tildekking av sedimentet	18
<b>4. Vurderinger og konklusjon</b>	<b>21</b>
4.1 Reduksjon av eksterne tilførsler	21
4.2 Rensepark	21
4.3 Tilsetning av oksygen til bunnvannet	21
4.4 Tildekking av sedimentene	22
4.5 Konklusjon	22
<b>Vedlegg A. Kalibreringsresultater (figurer)</b>	<b>23</b>

---





## Sammendrag

I "Tiltaksplan for VA 2006-2009" har Oppegård kommune planlagt et omfattende arbeid med å redusere tilførslene fra avløpsnett, bl.a. med sikte på en bedring av vannkvaliteten i Kolbotnvannet. Oppblomstring av giftproduserende alger i innsjøen gjennom sommersesongen 2005 bidro til ytterligere fokus på problemene, både i media og i nærmiljøet.

Lang tids overvåking dokumenterer at det har vært en gradvis bedring i vannkvaliteten fra 70-tallet og fram til i dag, men tilstanden i Kolbotnvannet er fortsatt så dårlig at vannet klassifiseres som "ikke egnet" til bading.

For at kommunen skulle få et best mulig grunnlag for å velge optimale løsninger for sine tiltak, ble NIVA spurt om å utføre modellberegninger for ulike typer tiltak og forventet effekt av disse.

Modellen som er brukt, CE-QUAL-W2, er blant de mest avanserte og mest benyttede modeller i verden for å beskrive vannkvalitet og hydrodynamikk. Den er 2-dimensjonal (lengde-dyp), og beregner strøm, temperatur, is, oksygen, pH, partikler, vannkjemi, bakterier, organisk stoff, alger, utveksling med sedimenter mm., og er godt egnet til bla. eutrofieringsstudier.

Første fase i dette prosjektet var å kalibrere modellen for Kolbotnvannet ut fra eksisterende overvåkningsdata. Kalibreringen gav generelt et godt bilde både av tilstanden og de dominerende prosessene i Kolbotnvannet. Neste fase var å benytte modellen til å produsere scenarier for effekten på vannkvaliteten i innsjøen ved 4 utvalgte eksterne og interne tiltak: 1) Reduksjon av eksterne tilførsler fra to tilløpsbekker, 2) rensesepark, 3) tilsetning av oksygen til bunnvannet, 4) tildekning av sediment.

For optimal effekt, både i forhold til fosforkonsentrasjon og økologisk tilstand, vurderer vi en kombinasjon av reduksjon i eksterne tilførsler og tilsetning av oksygen til bunnvannet å være den løsningen som samsvarer best med det uttalte miljømålet for Kolbotnvannet: Lufting av bunnvannet - spesielt i en startfase - ser ut til å være det tiltaket som gir en god effekt raskt, og som også vil bidra til økt biologisk aktivitet i sjøen. For å få en varig effekt er det avgjørende at de eksterne tilførslene reduseres kraftig. Uten en slik reduksjon vil tilsetning av luft trolig være et "kunstig åndedrett" som må pågå i sjøen hvert år framover. Tiltakene forutsetter en nøye oppfølging, for å optimalisere og justere drift av evt. anlegg ut fra observerte effekter.

## Summary

Title: Evaluation of abatement measures for Lake Kolbotnvannet

Year: 2006

Author: Tone Jøran Oredalen et al.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4860-9

In their abatement measure plan for 2006-2009, the authorities of Oppegård County planned a significant reduction of leakage from the local wastewater network, i.a. to improve the water quality of Lake Kolbotnvannet. Blooms of toxic algae in the lake throughout the summer season of 2005 further increased the focus on the still poor ecological status of Lake Kolbotnvannet.

Long term monitoring programmes have documented a gradual increase in the water quality during the last 3 decades. However, the status of Lake Kolbotnvannet is still not acceptable and has been classified as “not suitable for bathing”.

To provide a basis for selecting the most appropriate approach for further improving the water quality of Lake Kolbotnvannet, NIVA was asked to simulate the effects of a number of abatement measures by using the model CE-QUAL-W2. This model is among the most advanced and frequently used in the field of water quality assessment and hydrodynamics. It is two-dimensional (length and depth) and considers parameters such as water current, temperature, ice, oxygen, pH, particle distribution, water chemistry, organic matter composition and concentration, dynamics of organisms and sediment. The model is particularly suited for studying eutrophication processes.

The first phase of the project focused on calibrating CE-QUAL-W2 to Lake Kolbotnvannet using existing monitoring data. The calibration process yielded a good description of both, the status of and the most important processes in the lake. The second phase aimed to use the calibrated model to simulate the effect of 4 types of abatement measures on water quality: 1) reduction of external nutrient loading, 2) constructed wetlands, 3) addition of oxygen to the hypolimnion, 4) covering sediment.

According to our findings, an optimal effect in both, a reduction in phosphate availability and ecological status, will only be achieved by reducing the external nutrient loading and, at the same time, adding oxygen to the hypolimnion. Only this combination will allow reaching the wanted status of Lake Kolbotnvannet: the addition of oxygen appears to be a method that gives a positive effect within a short period of time and simultaneously contributes to an increase in biological activity in the lake. However, a permanent effect can only be achieved by also decreasing the external nutrient loading significantly. Otherwise the addition of oxygen will probably remain an “artificial respiration” that has to be repeated annually for a long period of time. The abatement measures suggested here must be accompanied by a monitoring programme to optimize and adjust them in accordance to observed effects.


# 1. Bakgrunn

Tilførselene av avløpsvann til Kolbotnvannet ble betydelig redusert på 1970-tallet, og gjennom de siste 30 årene har det skjedd en gradvis bedring i vannkvaliteten (**Tabell 1**). Utviklingen i vannkvalitet for 3 av innløpsbekkene, samt i selve innsjøen, er dokumentert gjennom jevnlig overvåking i hele perioden.

**Tabell 1.** Målt tilstand i Kolbotnvannet i produksjonssesongene for perioden 1983 til 2005. Fargekode angir tilstandsklasse i SFTs klassifiseringssystem. Tallverdien viser middelverdi for sesongen (0-4 meter) måleparameter

År	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003	2004	2005
TotalP (µg/l)	104,5	82,3	91,4	50,7	69,7	47,9	72,9	54,1	38,1	32,8	25,0	32,0	24,0	22,8	24,6	24	30,4
Klorofyll (µg/l)	33,3	28,4	25,4	32,3	29,9	31,8	45,7	15,8	23,0	18,3	21,6	31,3	19,7	10,6	11,8	10,6	20,1
Sikt (m)	1,5	1,5	2,0	2,1	2,4	2,0	1,4	2,1	2,0	1,7	1,8	1,9	2,3	2,8	2,1	2,5	
TotalN µg/l)	1233	1033	1321	1367	1390	1136	1010	1197	913	1000	817	920	617	660	520	723	506

## Fargeforklaring: Tilstandsklasser (SFT 1997):

	I Meget god
	II God
	III Mindre god
	IV Dårlig
	V Meget dårlig

Målinger viser at det fortsatt tilføres periodevis høye konsentrasjoner av næringssalter og bakterier til Kolbotnvannet fra Skredderstu- Augestad- og Midtoddveibekken. I innsjøen viser målinger at konsentrasjonen av total-fosfor i overflatevannet har vært relativt stabil på 23 - 25 µg P/L fra år 2000 og fram til 2004, men en viss økning igjen i 2005. Til sammenligning er miljømålet for Kolbotnvannet på 15 µg tot-P/L.

Foruten relativt høye næringsverdier i øvre vannlag, ble det gjennom hele sommersesongen 2005 påvist høye konsentrasjoner av cyanobakterien *Planktothrix agardhii* (også omtalt som "blågrønnalge" i en del sammenhenger), som produserte høye konsentrasjoner av algegiften microcystin. Dette førte til at kommunen frarådet bading i innsjøen gjennom store deler av sommeren. Oppmerksomheten dette skapte i media og i nærmiljøet bidro til ytterligere motivasjon for å sette inn tiltak som kan bedre vannkvaliteten i Kolbotnvannet.

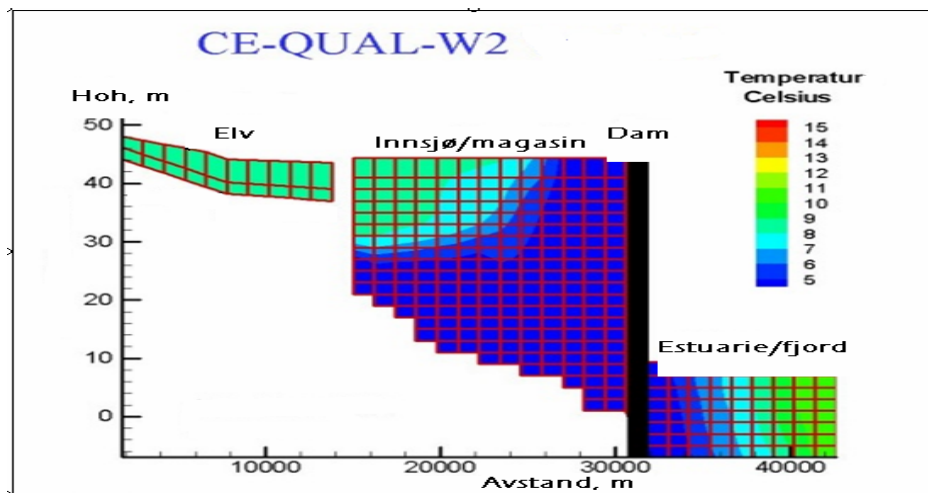
I likhet med tidligere år, var det også i sommeren 2005 oksygenvinn i store deler av hypolimnion (vannlaget under sprangsjiktet; fra ca. 5 meter og ned til bunnen). Oksygenvinnet er et resultat av stor nedbryting av organisk materiale, som er en oksygenforbrukende prosess. Når oksygenet i vannet som står i kontakt med sedimentene er forbrukt, starter kjemiske prosesser som frigir fosfor fra sedimentene til vannfasen. Ved neste fullsirkulasjon (vår og høst) føres næringsstoffene, som ble frigjort fra sedimentene, rundt i vannmassene - og blir derved tilgjengelig som næring for algevekst. Oksygenvinnet i hypolimnion har større omfang under sommerstagnasjonen enn under vinterstagnasjonsperioden. Dette skyldes at produksjonen av organisk materiale (bakterier, alger, dyreplankton) er større om sommeren, og derved fører til en høyere nedbrytning med påfølgende oksygenvinn i bunnvannet i denne perioden. De høye konsentrasjonene av fosfor i hypolimnion har derfor to hovedkilder:

1. Fosfor som frigjøres direkte til vannet fra årets produksjon av plante- og dyremateriale som synker ut, og som brytes ned gjennom hele vannsøylen
2. Fosfor som frigjøres fra sedimentet gjennom kjemiske prosesser når alt oksygenet i vannet over sedimentoverflaten er forbrukt.

## 2. Kalibrering av modell CE-QUAL-W2

### 2.1 Beskrivelse av modellen

Modellen CE-QUAL-W2 er blant de mest avanserte og mest benyttede modeller i verden for å beskrive vannkvalitet og hydrodynamikk. Den er kontinuerlig utviklet av US Army Corps of Engineers og Portland Universitet i en periode på over 30 år (<http://www.ce.pdx.edu/w2>). Modellen beregner strøm, temperatur, is, oksygen, pH, partikler, vannkjemi, bakterier, organisk stoff, alger, utveksling med sedimenter mm., og er godt egnet til bla. eutrofieringsstudier. Modellen er 2-dimensjonal (lengde-dyp) og passer derfor bra for elver og langstrakte innsjøer og fjorder med like forhold på tvers av lengderetningen. Ulike modellerte enheter (del av elv, del av innsjø, del av fjord osv.) kan kobles sammen og simuleres samtidig slik at modellen langt på vei kan sies å være 3-dimensjonal. Modellen tar hensyn til dammer med ulike utløpsanordninger, tunneloverføringer, pumping, tidevann m.m.



NIVA har tidligere erfaring med bruk av modellen fra prosjekter i Follsjøen, Granasjøen, Aurevann og Tyrifjorden/Steinsfjorden. I Steinsfjorden var det bra samsvar mellom simulerte og observerte verdier av blågrønnalgen *Planktothrix*, som anses som en problemalge også i Kolbotnvatn.

### 2.2 Kalibrering av modellen CE-QUAL-W2 for Kolbotnvannet

Modellen har beregnet tilstanden i Kolbotnvannet med tidsoppløsning under en time i perioden 2002 til 2004. Resultatene er presentert for hver meter i dybderetningen og for hver hundre meter i lengderetningen. Modelleringsresultatene er sammenholdt med kjemiske og biologiske måleresultater fra Kolbotnvannet i den samme perioden. Konklusjonen er at modelleringen gir et godt bilde av tilstanden og prosessene i innsjøen som helhet, og samsvarer godt - med enkelte unntak - med profiler av enkeltparametre. Innsjøen inneholder mer totalt organisk karbon (TOC) enn beregningene av tilførselene skulle tilsi. Kilden til dette organiske karbonet har vi ikke noe klart svar på, men skisserer ulike muligheter i teksten under. Ved bruk av modellen til framtidige scenarier, må vi derfor ta et forbehold om denne usikkerheten, dersom ikke kilden blir klarlagt.

#### 2.2.1 Datagrunnlag:

Vi benyttet klimadata (observasjoner fire ganger per døgn) fra Blindern av følgende parametre. Lufttemperatur, duggpunkttemperatur, vindstyrke, vindretning og skydekning.

Observasjoner av vannføring og vannkjemi fra overvåkingsprogrammet i 3 tilløpsbekker (Augestadbekken, Skredderbekken og Midtoddveibekken) samt utløpselva Kantorbekken ble benyttet til tilførselsberegninger. Tilførslene fra det øvrige restfeltet ble bestemt ved interpolasjon og bruk av eldre observasjonsdata.

Data for kontroll og kalibrering av modellresultatene var lokalisert til sentrum av vannet (hovedstasjon i årlig overvåking) over de dypeste områdene på ca. 18 meters dyp.

## **2.3 Resultatet av kalibreringen**

Kalibreringen av modellen CE-QUAL-W2 for Kolbotnvannet (perioden 2002 til 2004) gav generelt et rimelig riktig bilde både av tilstanden og de dominerende prosessene i Kolbotnvannet. Grad av samsvar mellom simulerte og observerte verdier er vist gjennom figurer i vedlegg. Konklusjonen fra disse figurene er som følger:

### **2.3.1 Fysiske parametre**

Fysiske parametre (vannstand, islegging, temperatur og oksygenmetning) samsvarer bra mellom modellert og målt tilstand.

### **2.3.2 Næringssalter (total fosfor, fosfat, nitrat)**

Det var godt samsvar mellom modellerte og observerte verdier av næringssalter, bortsett fra på 18 meters dyp. I dette vannlaget, rett over sedimentoverflaten, var de observerte konsentrasjonene av fosfor høyere enn de simulerte. Dette skyldes trolig at modellen beregner høyere aktivitet/strøm i vannet enn det som faktisk finnes, og at fosforet i bunnvannet i følge modellen blir blandet raskere inn i vannsøylen over enn det som skjer i virkeligheten. Den totale mengden av fosfor gjennom vannsøylen samsvarer ellers godt mellom målte og modellerte verdier. Modellen viste også en konsentrasjonsøkning mot bunnen, som bekrefter en utlekking fra sedimentene.

### **2.3.3 Total organisk karbon (TOC)**

Observerte verdier viser overskudd av TOC i innsjøen (både i epi- og hypolimnion) i forhold til det en skulle forvente ut fra konsentrasjonene i tilløpsbekkene, noe som også ble bekreftet gjennom modellen. I tillegg til tilførselsbekkene kan TOC komme fra skog- og hageområdene rundt vannet (løv, humus etc.), fra sedimentet (oppvirvling etc.) eller fra ukjente kilder (grunnvann, ukjente utslippsrør etc.). Organisk stoff produseres også i sjøen gjennom at oppløste næringsstoffer inngår i oppbyggingen av algebiomasse i de øvre vannlagene. Alt organisk stoff vil etter hvert synke nedover i vannmassen mot sedimentet, og der brytes ned gjennom oksygenkonsumerende prosesser. Høyt organisk innhold vil gi stort oksygenforbruk med påfølgende oksygenvinn i bunnvannet, slik som i Kolbotnvannet.

### 3. Scenarier for Kolbotnvannet ved ulike tiltak

På bakgrunn av resultatet av kalibreringen, skulle modelleringen av scenarier for Kolbotnvannet videreføres gjennom modellering av:

- Nåtilstand (perioden 2002-2003)
- effekt av eksterne tiltak (på bakgrunn av prioriteringene i kommunens handlingsplan)
- effekt av tre ulike typer interne tiltak

Effekten av hvert internt tiltak er vurdert separat. I tillegg vurderes hvert internt tiltak i kombinasjon med en valgt reduksjon i eksterne tilførsler fra Augestad- og Skrederstubbekken. Kommunens handlingsplan for VA inkluderer også en mulig rensesepark for tilførsler fra Augestad- og Skrederstubbekken. Rensesepark ligger i grenselandet mellom eksterne og interne tiltak, fordi renseseparken fysisk sett er plassert i sjøen - men retter seg direkte mot reduksjon av de eksterne tilførsleene.

For å lage scenarier om prosessene og utviklingen i innsjøen, trenges input data på tilførsler, klimadata etc. De mest komplette dataseriene finnes for årene 2002 og 2003, og disse dataene danner derfor grunnlaget for scenariene vi har produsert. Dersom de naturlige bakgrunnsdataene (klima, avrenningsmønster, tilførsler etc) endrer seg, vil dette kunne påvirke utsagnskraften i scenariosimuleringene.

#### 3.1 Nåtilstand

Nåtilstanden er dagens situasjon, uten tiltak. De aktivitetene som tidligere har vært anbefalt i Kolbotnvannet (tilsetning av kalksalpeter over sedimentoverflaten og boblegardin) har ikke vært utført de siste årene pga. tekniske problemer. Når modellen ble kjørt med forutsetning om fravær av tiltak, slik situasjonen er i dag (**Tabell 2**), ble utfallet godt sammenfallende med måledata for Kolbotnvannet (**Tabell 1**).

**Tabell 2.** Modellert tilstand i Kolbotnvannet (0-4 meter) for utvalgte variable ved fravær av tiltak. År 1 står for 2002 og år 2 for 2003. Ved igangsetting av tiltak forventes det normalt en forsinkelse i målbar effekt til år 2.

Ingen tiltak					
Tilstand 0-4 meter					
	Tot-P µg/L	Klf µg/L	Tot-N µg/L	Planktothrix µg/L	TOC µg/L
År 1	19.4	10.0	615	221	4.5
År 2	20.7	9.0	392	274	5.0
Middel av år 1 og 2	20.0	9.5	504	247	4.7

Fra **Tabell 1** ser vi at måleverdiene for 2005 er markert høyere enn tidligere år. Årsaken til dette er ikke avklart, bl.a fordi datamaterialet for hele året ikke er bearbeidet. Stofftransportberegninger for tilløpsbekkene kan først gjøres etter at registreringer for hele året er på plass. Fordi grunnlagsdataene ikke er tilgjengelige ennå, kan ikke tilstanden i innsjøen for 2005 modelleres eller sammenlignes direkte med scenariene.

Mulige årsaker til de høye konsentrasjonene av total-fosfor og klorofyll i 2005, kan være:

- Økte tilførsler
- Klimatiske faktorer/vårsituasjon (eks. sirkulasjon, temperatur, nedbør)

- Naturlig variasjon – selv med et relativt betydelig sprang i konsentrasjoner kan variasjonen være ”naturlig”

Vi vet at tilstanden innenfor en lokalitet kan variere betydelig fra år til år. Det er først med bakgrunn i lange tidsserier at en med en viss sikkerhet kan skille disse naturlige årlige variasjonene fra en langsiktig utvikling. Et års avvik er derfor for lite til å fastslå en endring i miljøtilstanden til Kolbotnvannet.

### 3.2 Eksterne tiltak

De eksterne tilførslene er hovedårsaken til den dårlige vannkvaliteten i Kolbotnvannet. Disse tilførslene gir stadig påfyll av næringssalter som gir grunnlag for høy algeproduksjon med påfølgende stor nedbrytning av organisk materiale. Kolbotnvannet, med et maksimal-dyp på 18 meter, ligger i grenseområdet mellom dype og grunne sjøer. Den er vindbeskyttet, og har et relativt stort hypolimnionvolum<sup>1</sup> i forhold til epilimnionvolum<sup>2</sup>.

Tiltak for å redusere de eksterne tilførslene vil derfor være avgjørende for å få en langsiktig og vedvarende bedring av vannkvaliteten i Kolbotnvannet. Vi har derfor kjørt scenarier for forventet effekt både på de øvre vannmassene og bunnvannet (for utvalgte variable) i innsjøen, ved ulike nivåer på reduksjon av tilførslene fra Augestad- og Skredderstubekken. Det er disse to bekkene som er prioritert i kommunens handlingsplan, og som derfor er tatt med i scenariene. Eksterne tilførsler til Kolbotnvannet omfatter også andre bekker/kilder i nedbørfeltet, men disse omfattes med uendrede verdier i modelleringen.

#### 3.2.1 Reduksjon av tilførsler (tiltak på ledningsnett) fra Augestad- og Skredderstubekken

I kommunens handlingsplan for VA er det delområdet Kolbotnvannet nord (KN) som er prioritert på tiltakssiden i planperioden 2006-2009. Området omfatter i stor grad nedbørfeltet til Augestad- og Skredderstubekken. Vi har derfor kjørt scenarier for effekten på Kolbotnvannet med en reduksjon av tilførsler fra disse to bekkene på hhv. 20, 40, 60, 80 og 100 % utfra dagens situasjon (dvs. årene 2002/2003). Med 0 % menes ingen tiltak eller reduksjoner i forhold til 2002/2003-nivå, med 100 % menes at alle vesentlige menneskeskapt tilførsler er fjernet. Som realistisk bakgrunnsnivå for de to tilførselsbekkene (når de vesentligste forurensningene er fjernet) er det benyttet eldre verdier fra Sagstubekken tilsvarende 10 µgPO<sub>4</sub>-P/L eller ca 20 mg tot-P/L.

Effekten i Kolbotnvannet er beregnet for 0-4 meter (**Tabell 3**) og 15 meters dyp (**Tabell 4**). Tallene i tabellene er middelverdier for perioden 1. april til 31. oktober, og maskerer til dels stor variasjoner gjennom sesongen. Sesongvariasjon for klorofyll, som er en svært viktig måleparameter for vannkvaliteten, er derfor vist i **Figur 1** og **Figur 2**.

Reduksjon i tilførsler vil ha en positiv effekt både på overflatevannet og bunnvannet for total-fosfor, total-nitrogen og klorofyll, men liten effekt på TOC og oppløst oksygen. Effekten på innsjøen øker med økende grad av rensing/reduksjon av tilførsler. Tiltakene reduserer total algemengde. I følge simuleringene reduseres algen *Planktothrix* mer enn andre alger. Dette er gunstig da *Planktothrix* anses som en problemalge pga. mulig giftproduksjon (**Figur 4**). Selv ved fjerning av alle vesentlige tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken, og en klar bedring av vannkvaliteten i innsjøen, vil det

<sup>1</sup> Hypolimnion: dypvannet under sprangsjiktet. I Kolbotnvannet normalt fra ca. 5 meter og ned til bunnen på 18 meter om sommeren

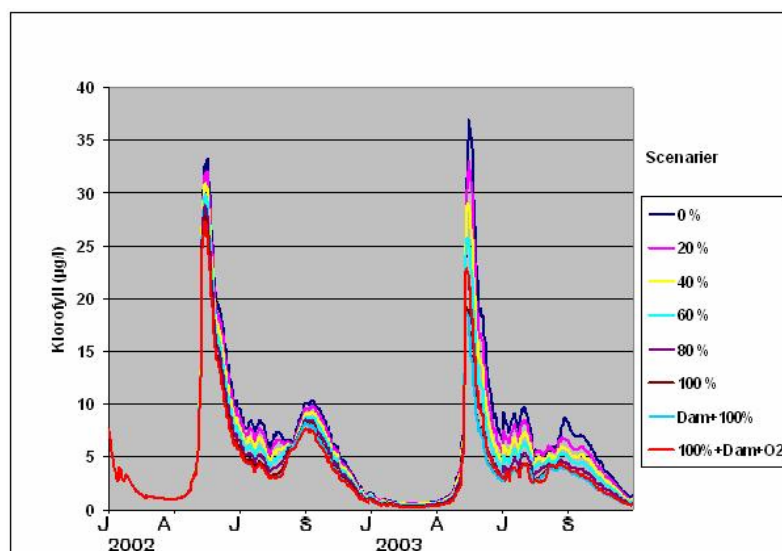
<sup>2</sup> Epilimnion: overflatelaget over sprangsjiktet. I Kolbotnvannet normalt fra ca. 0 til 5 meter



fortsatt være problemer med oksygenvinn i bunnvannet i perioder. Resultatene tyder også på at miljømålet for Kolbotnvannet på 15 µg tot-P/L ikke vil kunne nås uten supplerende tiltak - eller reduksjon av tilførsler også fra andre bekker.

**Tabell 3.** Forventet effekt av reduksjon av eksterne tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken, som konsentrasjoner på 0-4 meters dyp i sjøen

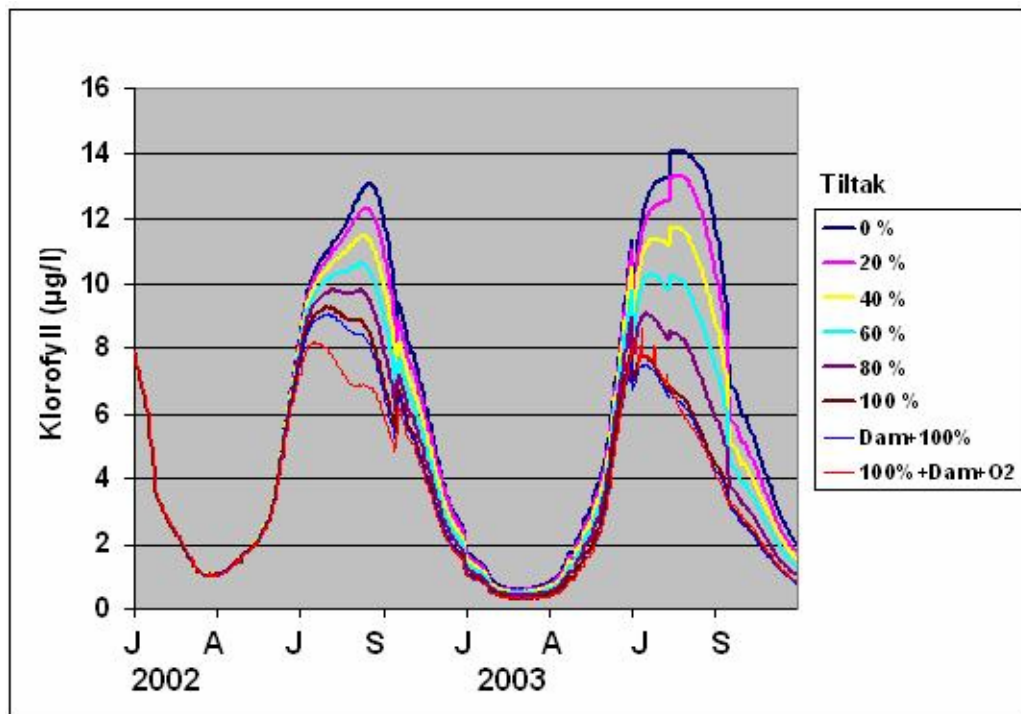
	Reduksjon av eksterne tilførsler i forhold til 2002/2003-nivå					
	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
<b>Total-fosfor (µg/L)</b>						
År 1	19,4	18,8	18,0	17,4	16,8	16,2
År 2	20,7	20,4	19,7	19,2	18,9	18,6
Middel År 1 og År 2	20,0	19,6	18,9	18,3	17,9	17,4
<b>Klorofyll-a (µg/L)</b>						
År 1	10,0	9,5	8,9	8,3	7,8	7,3
År 2	9,0	8,0	6,9	6,1	5,2	4,4
Middel År 1 og År 2	9,5	8,7	7,9	7,2	6,5	5,8
<b>Total-nitrogen (µg/L)</b>						
År 1	615	586	557	534	509	486
År 2	392	363	335	313	291	270
Middel År 1 og År 2	504	474	446	424	400	378
<b>TOC (µg/L)</b>						
År 1	4,5	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1
År 2	5,0	4,9	4,7	4,6	4,5	4,4
Middel År 1 og År 2	4,7	4,7	4,5	4,4	4,4	4,3
<b>% Løst Oksygen</b>						
År 1	68	68	68	68	68	68
År 2	70	70	70	70	69	69
Middel År 1 og År 2	69	69	69	69	69	69

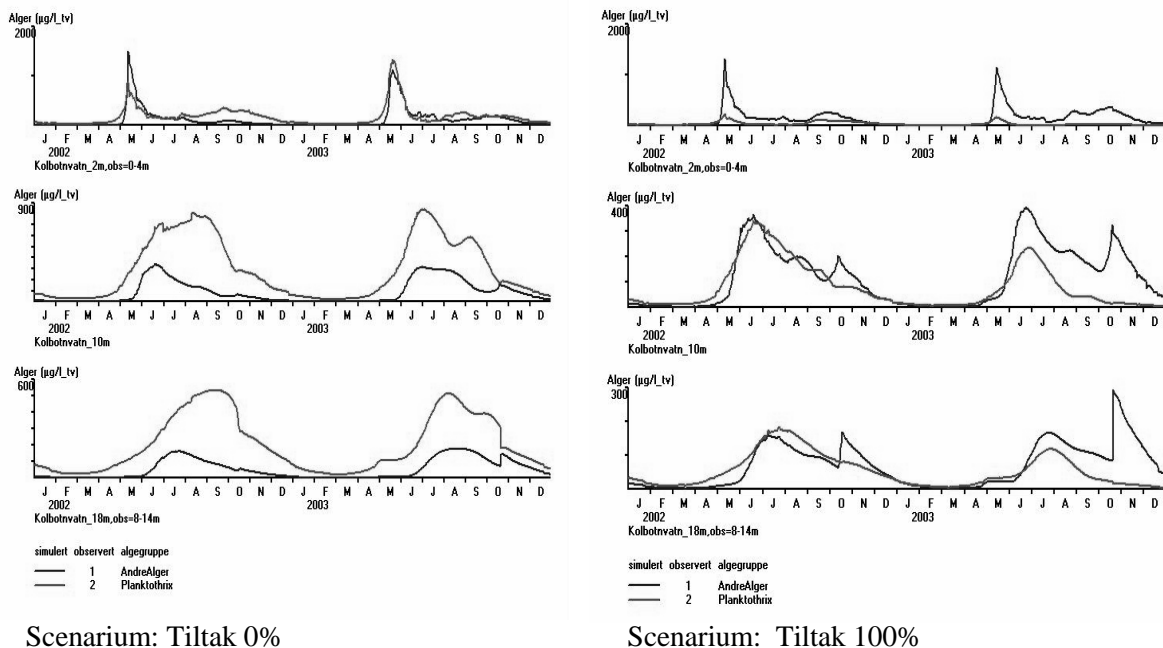


**Figur 2.** Klorofyll 0-4 m. Reduserte tilførsler førte til betydelig reduksjon i klorofyllinnholdet i sommerhalvåret.

**Tabell 4.** Forventet effekt av reduksjon av eksterne tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken, som konsentrasjoner på 15 meters dyp i sjøen

	Reduksjon av eksterne tilførsler i forhold til 2002/2003-nivå					
	0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %
<b>Total-fosfor (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>						
År 1	43.0	42.0	40.8	39.7	38.6	37.4
År 2	44.0	42.1	39.6	37.4	35.3	33.1
Middel År 1 og År 2	43.5	42.1	40.2	38.5	36.9	35.3
<b>Klorofyll-a (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>						
År 1	7.6	7.3	7.0	6.6	6.3	5.9
År 2	8.5	7.9	7.1	6.3	5.5	4.5
Middel År 1 og År 2	8.1	7.6	7.1	6.5	5.9	5.2
<b>Total-nitrogen (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>						
År 1	708	689	667	648	628	607
År 2	572	532	488	451	409	369
Middel År 1 og År 2	640	610	578	549	518	488
<b>TOC (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>						
År 1	3.9	3.8	3.8	3.7	3.6	3.6
År 2	4.5	4.4	4.3	4.2	4.1	3.9
Middel År 1 og År 2	4.2	4.1	4.0	3.9	3.9	3.8
<b>% Løst Oksygen</b>						
År 1	19	19	19	20	20	20
År 2	21	22	22	23	23	23
Middel År 1 og År 2	20	20	21	21	21	21

**Figur 3.** Klorofyllinnholdet på 15 meters dyp var langt lavere enn i overflaten. Reduserte tilførsler førte til betydelig reduksjon i klorofyllinnholdet i sommerhalvåret



**Figur 4.** Tiltakene reduserer total algemengde. I følge simuleringene reduseres algen *Planktothrix* mer enn andre alger. Dette er gunstig da *Planktothrix* anses som en problemalge pga mulig giftproduksjon.

### 3.3 Interne tiltak

Et av tiltakene som er tatt med her – Rensepark - retter seg mot de eksterne tilførselene. Tiltaket er likevel tatt med som et internt tiltak, fordi det fysisk sett er plassert i sjøen og vil påvirke lokale området i denne.

To av de interne tiltakene som er vurdert, har som hovedmålsetning å redusere de interne tilførselene av fosfor fra sedimentene. Årsaken til den negative prosessen med ”intern gjødsling” av fosfor, er oksygensvinn i bunnvannet pga. stor nedbryting av organisk materiale. Disse tiltakene retter seg derfor mot utlekking av næringssalter fra sedimentet – enten ved å motvirke oksygensvinnet i hypolimnion, eller ved å sperre (fysisk eller kjemisk) utlekkingen fra sedimentet direkte.

#### 3.3.1 Rensepark ved utløp av Skredderstu- og Augestadbekken

Mulighetene for rensepark, og forventet effekt og kostnad knyttet til dette, er utredet i kommunens handlingsplan. Forventet renseseffekt er der anslått til ca. 40 % av total-fosfor, og trolig en større effekt på tilbakeholdelse av partikler fra jord og veislitasje. Anslaget på renseseffekt for fosfor er benyttet inn i vår modell.

Modelleringen viser i prinsippet samme effektene på innsjøen, som reduksjon av tilførsler fra bekkene: Positiv effekt både på overflatevannet og bunnvannet for total-fosfor, total-nitrogen, klorofyll og *Planktothrix* men liten effekt på TOC og oppløst oksygen. Rensepark framstår derfor som en god og rimelig metode for å redusere tilførselene fra Augestad- og Skredderstubekken.

**Tabell 5.** Effekt på 0-4 meters dyp av Rensepark (RP) i kombinasjon med %-vis reduksjon av tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken og i forhold til nåtilstand (2002/2003 nivå uten tiltak)

<b>Total-fosfor (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 40%	RP + 100%
År 1	19.4	18.2	17.7	16.0
År 2	20.7	18.7	18.6	18.1
Middel År 1 og År 2	20.0	18.5	18.2	17.1
<b>Klorofyll-a (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 40%	RP + 100%
År 1	10.0	8.8	8.5	7.1
År 2	9.0	8.0	6.8	4.2
Middel År 1 og År 2	9.5	8.4	7.7	5.7
<b>Total-nitrogen (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 40%	RP + 100%
År 1	615	621	561	487
År 2	392	416	335	268
Middel År 1 og År 2	504	519	448	378
<b>TOC (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 40%	RP + 100%
År 1	4.5	4.5	4.3	4.1
År 2	5.0	4.9	4.7	4.4
Middel År 1 og År 2	4.7	4.7	4.5	4.3
<b>% Løst Oksygen</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 40%	RP + 100%
År 1	68	67	68	68
År 2	70	69	70	69
Middel År 1 og År 2	69	68	69	69
<b>Planktothrix (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 40%	RP + 100%
År 1	221	177	163	106
År 2	274	191	175	62
Middel År 1 og År 2	247	184	169	84

**Tabell 6.** Effekt på 15 meters dyp av Rensepark (RP) i kombinasjon med % reduksjon av tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken og i forhold til nåtilstand (2002/2003 nivå uten tiltak)

<b>Total-fosfor (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 100%
År 1	43.0	40.9	37.0
År 2	44.0	40.0	32.5
Middel År 1 og År 2	43.5	40.4	34.8
<b>Klorofyll-a (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 100%
År 1	7.6	7.0	5.7
År 2	8.5	7.4	4.3
Middel År 1 og År 2	8.1	7.2	5.0
<b>Total-nitrogen (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 100%
År 1	708	693	604
År 2	572	553	365
Middel År 1 og År 2	640	623	484
<b>TOC (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 100%
År 1	3.9	3.8	3.6
År 2	4.5	4.5	3.9
Middel År 1 og År 2	4.2	4.1	3.8
<b>% Løst Oksygen</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 100%
År 1	19	19	20
År 2	21	21	23
Middel År 1 og År 2	20	20	22
<b>Planktothrix (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	RP + 0%	RP + 100%
År 1	247	219	159
År 2	348	271	124
Middel År 1 og År 2	298	245	142

### 3.3.2 Tilsetning av oksygen til hypolimnion (bunnvann)

Målet med dette tiltaket vil være å motvirke oksygenvinn, gjennom å tilføre oksygen i form av luft til bunnvannet på ca. 15 meters dyp under sommerstagnasjonen. Tilsetningen bør skje slik at luftboblene blir minst mulig, for at oksygenet skal løse seg best mulig i vannet samt gi minimal oppdrift. Om mulig, bør ikke sprangsjiktet brytes. Ved å opprettholde sprangsjiktet, hindres næringsrikt bunnvann fra å blandes inn i overflatevannet om sommeren. Det er i denne perioden algeproduksjonen er størst, og økt næringstilførsel vil kunne gi økt problemer med algevekst generelt og problemalger spesielt.

Modelleringen av tiltaket ble gjort både med og uten reduksjon av eksterne tilførsler fra tilløpsbekkene.

**Tabell 7.** Effekt på 0-4 meters dyp av tilsetning av oksygen til hypolimnion (3g oksygen/s = ca. 15g luft/s) i kombinasjon med %-vis reduksjon av tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken og i forhold til nåtilstand (2002/2003 nivå uten tiltak)

<b>Total-fosfor (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-3gs+0%	O2-3gs+40%	O2-3gs+100%
År 1	19.4	18.0	17.7	15.8
År 2	20.7	17.3	16.9	14.3
Middel År 1 og År 2	20.0	17.6	17.3	15.1
<b>Klorofyll-a (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-3gs+0%	O2-3gs+40%	O2-3gs+100%
År 1	10.0	8.7	8.7	7.1
År 2	9.0	7.2	7.1	5.2
Middel År 1 og År 2	9.5	8.0	7.9	6.1
<b>Total-nitrogen (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-3gs+0%	O2-3gs+40%	O2-3gs+100%
År 1	615	646	590	513
År 2	392	591	499	389
Middel År 1 og År 2	504	619	544	451
<b>TOC (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-3gs+0%	O2-3gs+40%	O2-3gs+100%
År 1	4.5	4.4	4.3	4.1
År 2	5.0	4.8	4.6	4.3
Middel År 1 og År 2	4.7	4.6	4.5	4.2
<b>% Løst Oksygen</b>	Nåtilstand	O2-3gs+0%	O2-3gs+40%	O2-3gs+100%
År 1	68	70	73	75
År 2	70	73	76	79
Middel År 1 og År 2	69	71	75	77
<b>Planktothrix (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-3gs+0%	O2-3gs+40%	O2-3gs+100%
År 1	221	173	173	109
År 2	274	166	163	63
Middel År 1 og År 2	247	170	168	86

Tilsetning av oksygen til hypolimnion, uten andre reduksjoner i tilførslene, vil gi en positiv effekt på innsjøen for total-fosfor, alger og oksygenforhold (både på overflate- og bunnvann, se **Tabell 7** og **Tabell 8**). Total-nitrogen og nitratkonsentrasjonene vil øke, som et resultat av at denitrifikasjonen opphører når oksygen er til stede i vannet. Fordi store deler av vannmassene blir oksygenert, vil dette gi positiv effekt for fisk og andre dyr, som igjen kan etablere seg i deler av sjøen som tidligere var utilgjengelige pga. oksygenmangel. For å få en positiv effekt må det tilføres 1-3 g oksygen/sek. (tilsvarer ca. 5-15g luft/sek) til hypolimnion (modellen har modellert en tilsetning på 15 meter). Ved lufting i kombinasjon med 100 % reduksjon i tilførslene fra Skredderstu- og Augestadbekken, har vi et håp om at miljømålet for innsjøen på 15 µg tot-P/l kan nås. Tekniske løsninger for denne typen tiltak eksisterer, eksempelvis: Limno- og Wahnbachinstrument (Nichelmann 2002). Ved tilsetningen av 3g oksygen/s vil strømforbruk ligge ved 300-600 kWtimer/dag. Dette anses som en god metode før eksterne tiltak er i gang.

Med mer enn 40 % reduksjon av eksterne tilførsler får man ikke ytterligere positive effekter på algeveksten ved tilsetningen av oksygen. Dette skyldes at tilsetningen av oksygen reduserer konsentrasjonen av fosfat, men samtidig øker konsentrasjonen av nitrogen da denitrifiseringen opphører.

**Tabell 8.** Effekt på 15 meters dyp av tilsetning av oksygen til hypolimnion (3g oksygen/s = ca. 15g luft/s) i kombinasjon med % reduksjon av tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken og i forhold til nåtilstand (2002/2003 nivå uten tiltak)

<b>Total-fosfor (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-2-3gs+0%	O2-2-3gs+100%
År 1	43.0	34.1	30.2
År 2	44.0	31.9	24.4
Middel År 1 og År 2	43.5	33.0	27.3
<b>Klorofyll-a (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-2-3gs+0%	O2-2-3gs+100%
År 1	7.6	6.1	5.1
År 2	8.5	6.3	4.3
Middel År 1 og År 2	8.1	6.2	4.7
<b>Total-nitrogen (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-2-3gs+0%	O2-2-3gs+100%
År 1	708	1005	879
År 2	572	910	634
Middel År 1 og År 2	640	958	757
<b>TOC (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-2-3gs+0%	O2-2-3gs+100%
År 1	3.9	3.4	3.2
År 2	4.5	3.9	3.5
Middel År 1 og År 2	4.2	3.7	3.4
<b>% Løst Oksygen</b>	Nåtilstand	O2-2-3gs+0%	O2-2-3gs+100%
År 1	19	108	221
År 2	21	155	296
Middel År 1 og År 2	20	131	258
<b>Planktothrix (µg/L)</b>	Nåtilstand	O2-2-3gs+0%	O2-2-3gs+100%
År 1	247	190	144
År 2	348	229	116
Middel År 1 og År 2	298	210	130

### 3.3.3 Tildekking av sedimentet

En tildekking av sedimentet kan skje rent fysisk - ved å legge på en membran, tykt leirlag eller lignende. Sedimentet kan også dekkes til kjemisk, ved å tilføre en kjemisk komponent på sedimentoverflaten som motvirker utlekkingsprosessene som skjer i dag. Tilsetningen av kalksalpeter, som har vært benyttet tidligere, er et eksempel på slik kjemisk tildekking.

Ved modelleringen antok vi at 50 % av sedimentene ble fullstendig tildekket. I henhold til modellsimuleringene vil dette tiltaket ha liten betydning (**Tabell 9** og **Tabell 10**) for bedring av vannkvaliteten. Det vil neppe bli signifikante endringer i fosfor, nitrogen, klorofyll, oksygen, TOC eller *Planktothrix* konsentrasjonen.

**Tabell 9.** Effekt på 0-4 meters dyp av tildekking av sediment i kombinasjon med % reduksjon av tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken og i forhold til nåtilstand (2002/2003 nivå uten tiltak)

<b>Total-fosfor (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	19.4	19.2	16.1
År 2	20.7	20.6	18.4
Middel År 1 og År 2	20.0	19.9	17.3
<b>Klorofyll-a (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	10.0	9.9	7.1
År 2	9.0	9.0	4.3
Middel År 1 og År 2	9.5	9.4	5.7
<b>Total-nitrogen (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	615	615	486
År 2	392	394	270
Middel År 1 og År 2	504	504	378
<b>TOC (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	4.5	4.5	4.1
År 2	5.0	5.0	4.4
Middel År 1 og År 2	4.7	4.7	4.3
<b>% Løst Oksygen</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	68	68	69
År 2	70	70	69
Middel År 1 og År 2	69	69	69
<b>Planktothrix (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	221	217	110
År 2	274	270	70
Middel År 1 og År 2	247	244	90



**Tabell 10.** Effekt på 15 meters dyp av tildekking av sediment i kombinasjon med % reduksjon av tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken og i forhold til nåtilstand (2002/2003 nivå uten tiltak)

<b>Total-fosfor (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	43.0	42.7	37.1
År 2	44.0	43.7	32.9
Middel År 1 og År 2	43.5	43.2	35.0
<b>Klorofyll-a (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	7.6	7.6	5.8
År 2	8.5	8.5	4.5
Middel År 1 og År 2	8.1	8.0	5.1
<b>Total-nitrogen (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	708	710	608
År 2	572	573	369
Middel År 1 og År 2	640	641	488
<b>TOC (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	3.9	3.8	3.6
År 2	4.5	4.5	3.9
Middel År 1 og År 2	4.2	4.2	3.7
<b>% Løst Oksygen</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	19	19	20
År 2	21	22	23
Middel År 1 og År 2	20	20	22
<b>Planktothrix (<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>	Nåtilstand	Sed+0%	Sed+100%
År 1	247	247	164
År 2	348	343	134
Middel År 1 og År 2	298	295	149

## 4. Vurderinger og konklusjon

I kommuneplanen er en konsentrasjon på 15 µg tot-P i overflatevannet i Kolbotnvann et uttrykt miljømål. Ved oppnåelse av dette miljømålet, vil en samtidig oppnå reduserte algemengder i innsjøen gjennom sesongen - selv om effekten på algebiomassen varierer noe mellom de ulike tiltakene. I tillegg har tiltakene ulik virkning på oksygenforholdene i sjøen.

Ved framtidige vurderinger vil et pålagt mål for forvaltningen bli at alle vannforekomster skal ha "god økologisk status". Grenseverdiene for ulike parametre og innsjøtyper er ikke endelig definert, men en normativ definisjon er i dag at vannforekomstene skal ha små avvik fra forventet naturtilstand. For at Kolbotnvannet skal oppnå en god økologisk status, vil trolig oksygenforholdene i sjøen måtte bedres betydelig fra dagens tilstand. Tilførslene til sjøen må reduseres, og økt oksygeninnhold i dypvannet vil føre til biologisk aktivitet i et større område/volum av sjøen - og derved et sunnere økosystem som helhet.

### 4.1 Reduksjon av eksterne tilførsler

Reduksjon i eksterne tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken har positiv effekt på fosforkonsentrasjonen og algemengdene i sjøen (både i overflate- og bunnvann). Det vil fortsatt være problemer med oksygenvinn i bunnvannet i perioder. Ved fjerning av alle menneskeskapte tilførslene i dette området, viser våre beregninger at en kan oppnå en konsentrasjon på ca. 16 µg tot-P/L i overflatevannet i Kolbotnvannet.

Konklusjon: Miljømålet mhp. fosfor nås ikke med dette tiltaket alene. Det må enten gjøres tiltak i en større del av nedbørfeltet, eller kombinere reduksjonen av eksterne tilførsler med andre tiltak.

### 4.2 Rensepark

Rensepark, slik den er skissert i kommunens plan, er i prinsippet en reduksjon av de eksterne tilførslene. Tiltaket alene er oppgitt å gi 40 % reduksjon av total-fosfor, og effekten i innsjøen er tilsvarende den vist under avsnitt 4.1.1. Rensepark i kombinasjon med 40 % reduksjon av eksterne tilførsler (før innløp til sjøen), vil gi i størrelsesområde samme effekt som 60 % reduksjon av eksterne tilførsler alene.

Konklusjon: Rensepark alene antas å gi tilsvarende effekt i innsjøen som 40 % reduksjon av eksterne tilførsler (før innløp til sjøen). Miljømålet nås ikke, selv med rensepark i kombinasjon med 100 % fjerning av eksterne tilførsler. Vurderingen av rensepark kontra rensing før tilløp til sjøen, vil trolig være et kostnadsspørsmål.

### 4.3 Tilsetning av oksygen til bunnvannet

Tilsetning av oksygen til bunnvannet vil gi en positiv effekt på fosfor, algemengde og oksygenforhold, både i overflate- og bunnvann. Det forutsettes at oksygen tilføres på en slik måte at temoklinen ikke brytes. Etter 2-3 år forventes dette tiltaket å gi i størrelsesorden samme effekt for hhv. fosfor og klorofyll som 80 og 40 % reduksjon av de eksterne tilførslene innenfor samme tidsramme. Til sammenligning ble Langevannet i Lørenskog luftet i mange år uten at algemengden gikk ned. Men her sirkulerte innsjøen under luftingen. I første av 70 åra ble Kobotne luftet med en maskin som hette Limnox. Her ble hypolimnionvann tatt opp og luftet og ført tilbake til hypolimnion, og således

medførte dette ikke sirkulasjon. Limnoxens kapasitet var alt for liten i forhold til oksygenforbruket i hypolimnion den gang, og tiltaket hadde liten effekt. Begge disse tilfellene finnes det NIVA-rapporter på.

**Konklusjon:** Ved en kombinasjon av tilsetning av oksygen med 100 % reduksjon av eksterne tilførsler fra Augestad- og Skredderstubekken, mener vi miljømålet på 15 µg tot-P/L i overflatevannet kan nås. Den positive effekten på *algebiomassen* ved denne kombinasjonen av tiltak er likevel mindre enn ved en reduksjon av eksterne tiltak alene. Årsaken til dette er at tilsetningen av luft trolig vil gi noe høyere konsentrasjon av nitrat i vannmassene. Dette kan igjen gi økt algevekst i perioder da de ellers ville ha vært nitrogenbegrenset. Lokalt kan det oppstå overmetning av oksygen i bunnvannet ved tilsetning, men dette bør kunne minimeres ved riktig valg av tekniske løsninger.

#### 4.4 Tildekking av sedimentene

Vi valgte en tildekningsgrad på 50 % av sedimentoverflaten, ut fra en vurdering av dette som lå innenfor et noenlunde realistisk omfang for tiltak.

**Konklusjon:** Ved en tildekningsgrad på 50 % av sedimentene, gav dette liten effekt på vannkvaliteten i overflatevannet i Kolbotnvannet. Ved kombinasjon av tildekking av sedimentene med reduksjon i eksterne tilførsler, ble utfallet i hovedsak tilsvarende effekten for reduserte tilførsler alene.

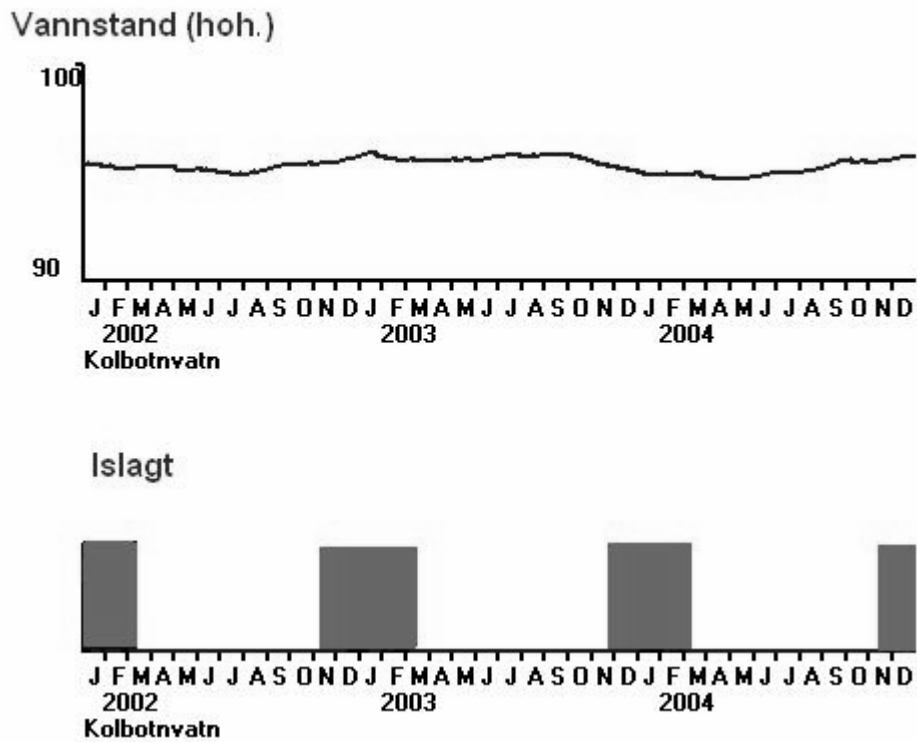
#### 4.5 Konklusjon

For optimal effekt, både i forhold til fosforkonsentrasjon og økologisk tilstand, vurderer vi en kombinasjon av reduksjon i eksterne tilførsler og tilsetning av oksygen til bunnvannet å være den løsningen som samsvarer best med kommunens miljømål for Kolbotnvannet:

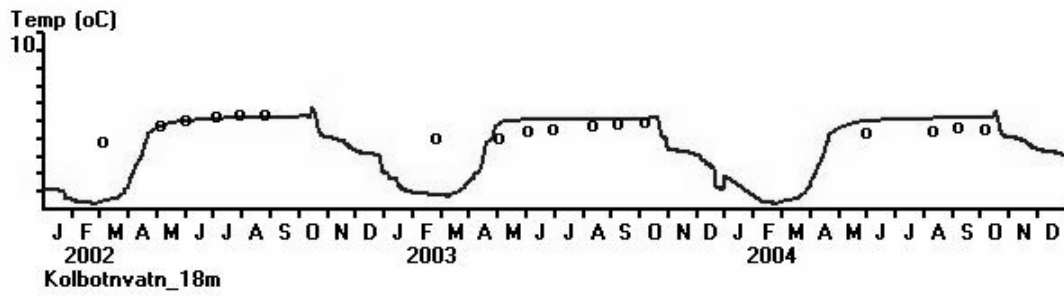
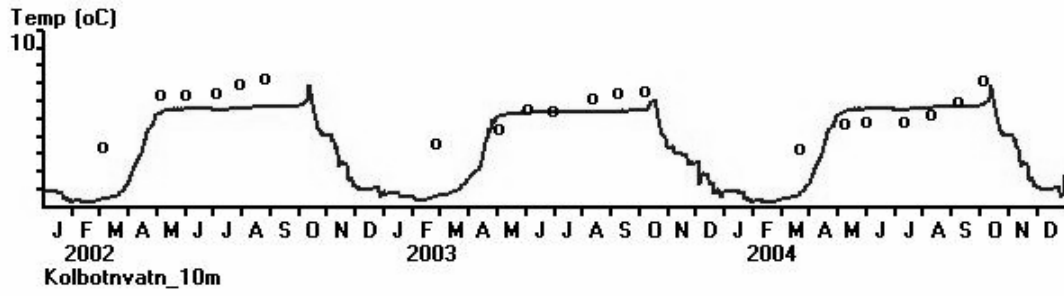
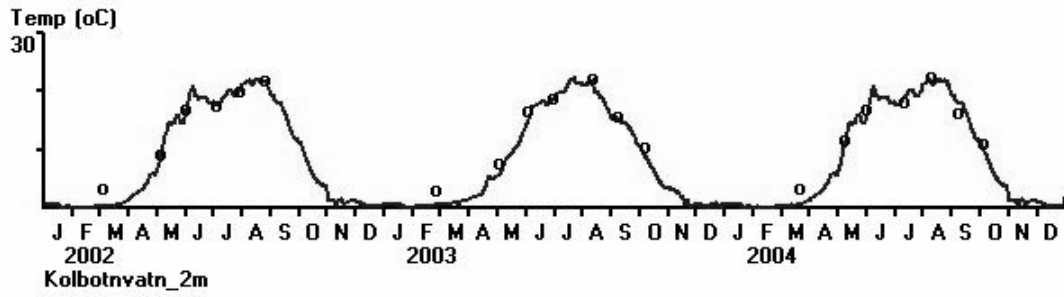
- Lufting av bunnvannet ser ut til å være det tiltaket som gir en god effekt raskt, og som kan startes omgående. Dette tiltaket vil også bidra til økt biologisk aktivitet i sjøen, noe som i seg selv kan bidra til bedret vannkvalitet. Hvor lang tid tiltaket bør pågå, vil bl.a. avhenge av utviklingen i de eksterne tilførslene. Det vil være nødvendig med nøye oppfølging i en startfase, for å finne de optimale tidspunktene for igangsetting/stopp av luftingen.
- For å få en varig effekt er det avgjørende at de eksterne tilførslene reduseres kraftig. Uten en slik reduksjon vil tilsetning av luft trolig være et "kunstig åndedrett" som må pågå i sjøen over mange år.

Ved valg og igangsetting av tiltak, bør disse følges opp med nøye overvåking. Dette for å optimalisere tiltakene og dokumentere effektene av disse. Vi anbefaler også en oppfølging av øvrige tilløpsbekker til Kolbotnvannet, for evt. å kunne vurdere bidraget disse utgjør på vannkvaliteten i innsjøen.

## Vedlegg A. Kalibreringsresultater (figurer)

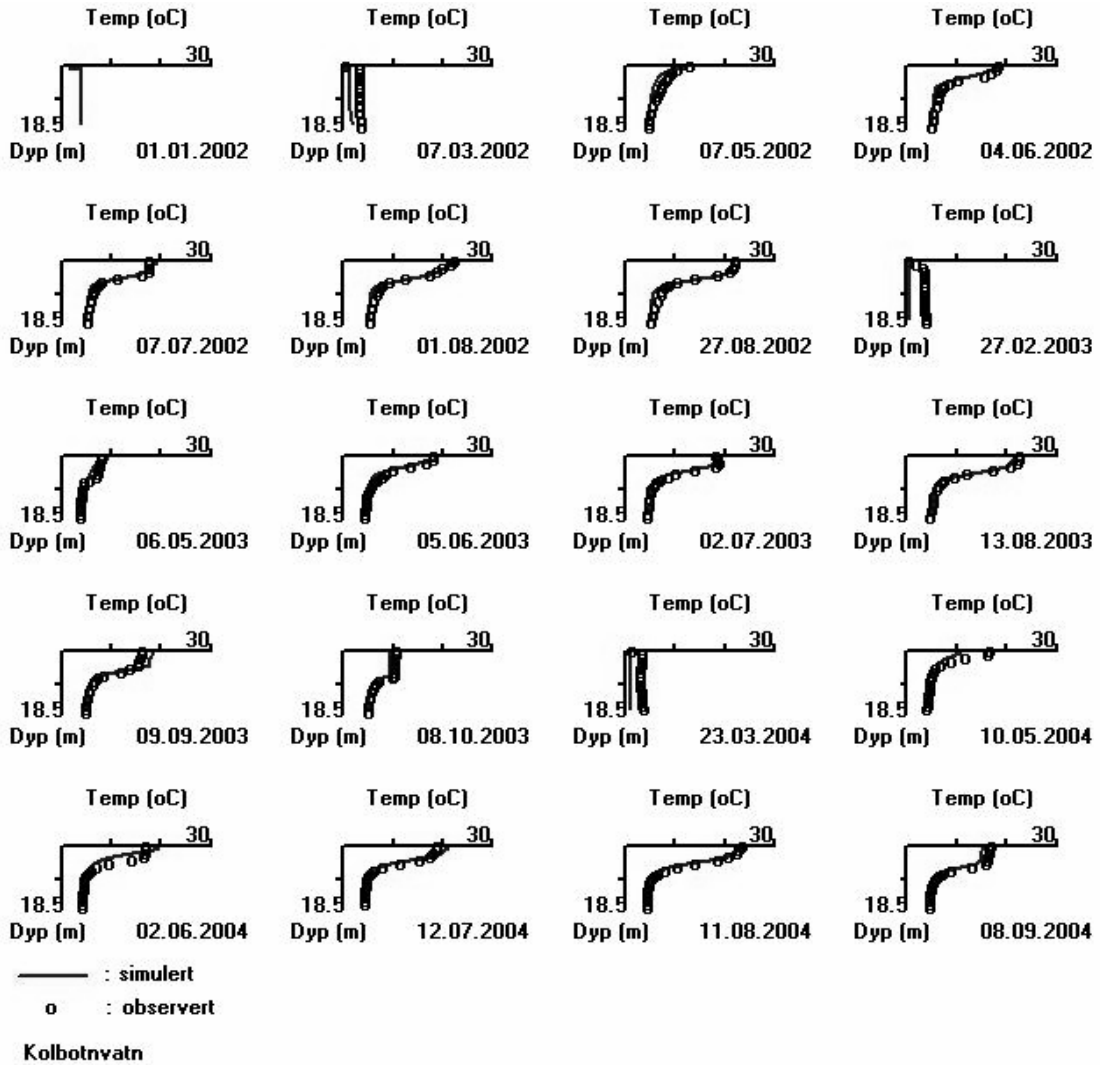


Vannstanden er nær 95 moh. hele året. Innsjøen ble i følge simuleringene islagt i november og isfri i mars.

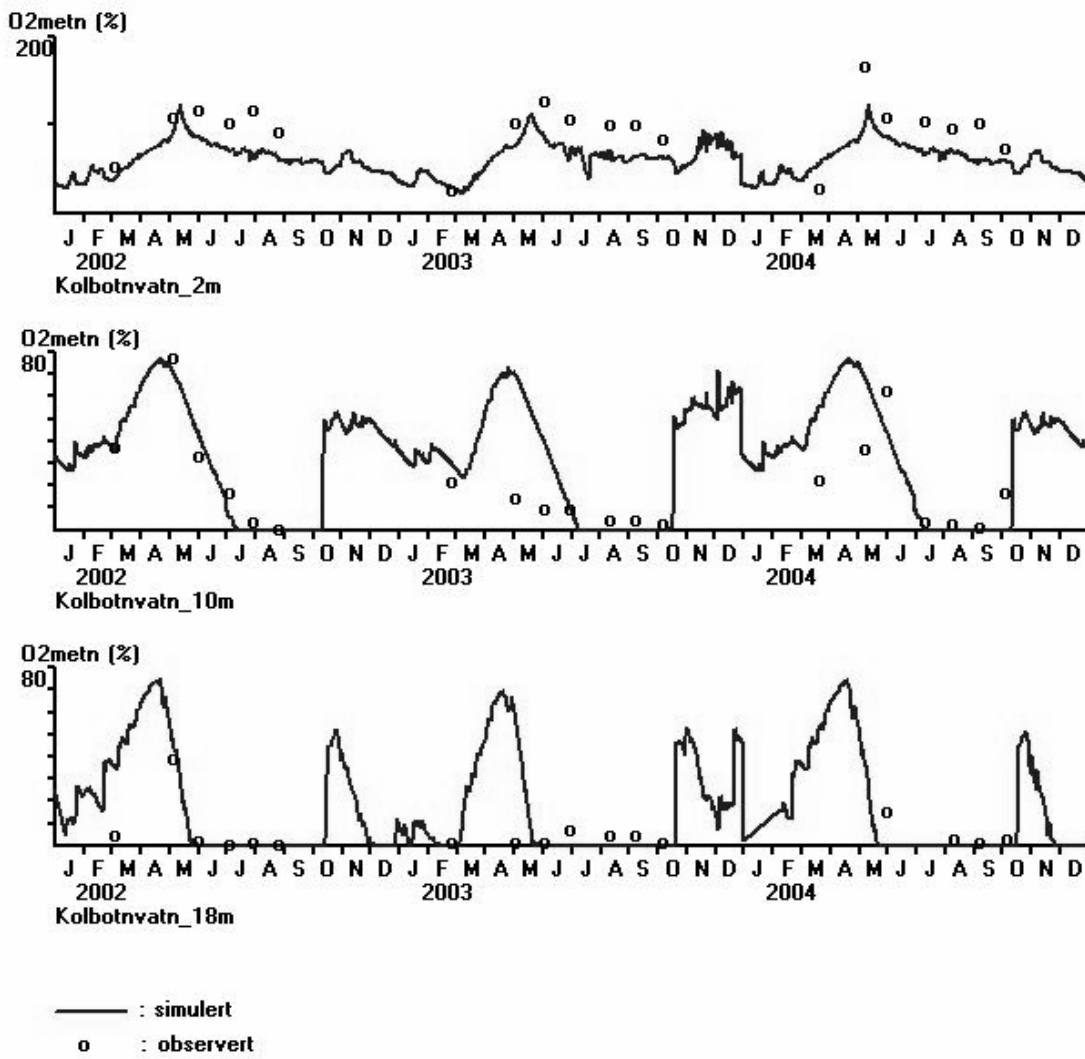


— : simulert  
o : observert

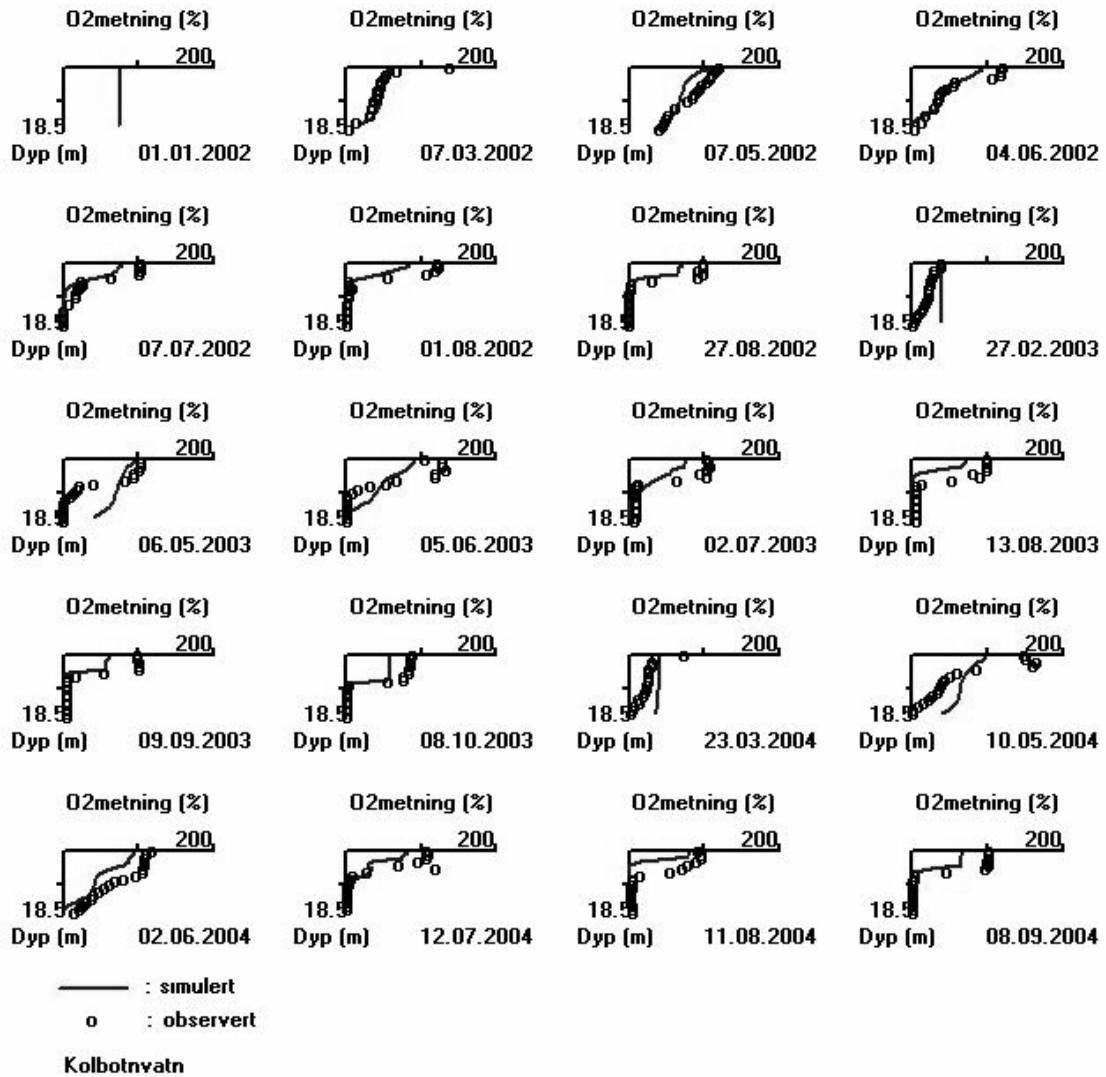
Merk ulik skala 2 meters dyp



Det var meget godt samsvar mellom simulerte- og observerte temperaturer. Det var sjeldent avvik større enn 1 °C. Enkelte observasjoner om vinteren kan tyde på at modellen beregnet for lave verdier på dypt vann om vinteren.

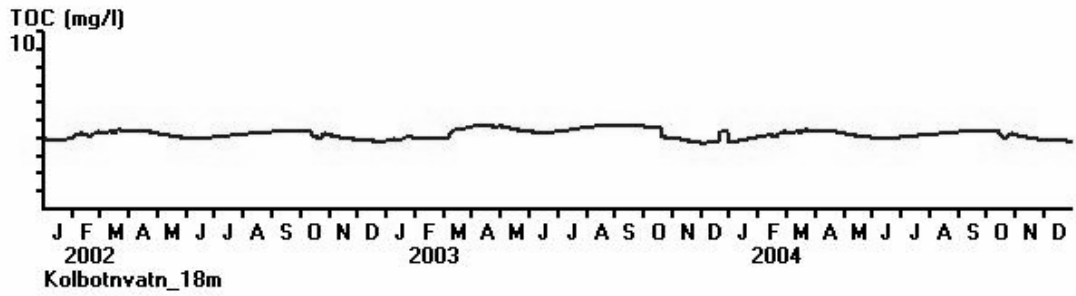
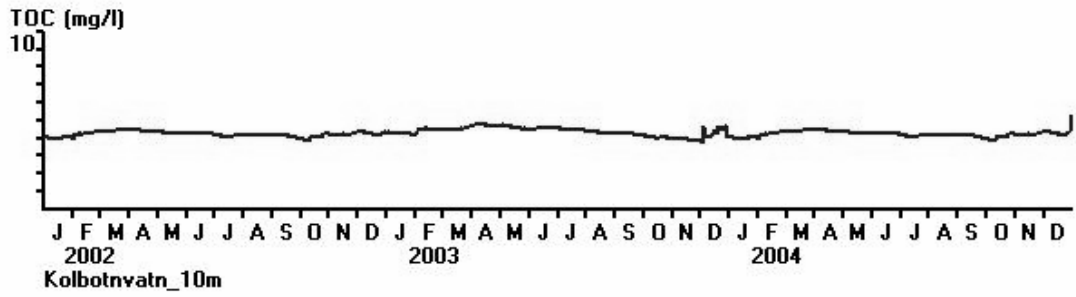
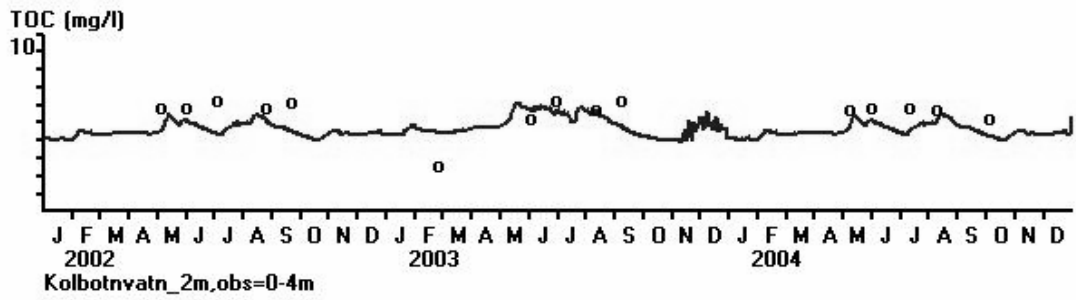


Merk ulik skala 2 meters dyp

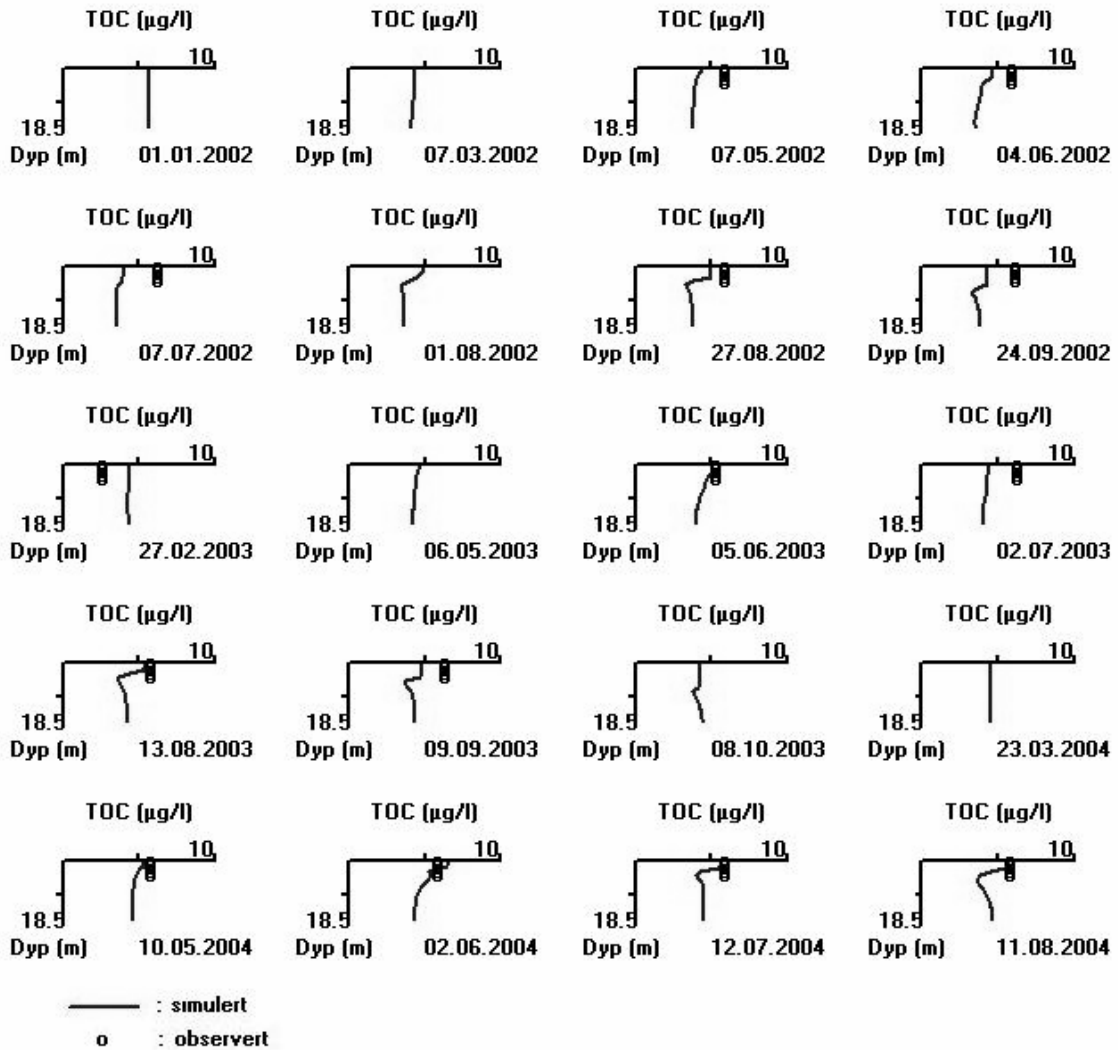


Det var godt samsvar mellom simulerte- og observerte verdier av oksygenmetning. Vi merker oss som positivt at simulert oksygensvinn stemte meget bra med observasjonene. Dette er viktig da slike sedimentene lekker fosfat under slike forhold, hvilket igjen bidrar til økt algevekst. Det var oksygensvinn i de dypeste delene av Kolbotnvatn i størstedelen av året. Også på 10 meters dyp var det vanlig med oksygensvinn om sommeren, dvs. at sedimentene i størstedelen av innsjøen da lekker næringssalter.



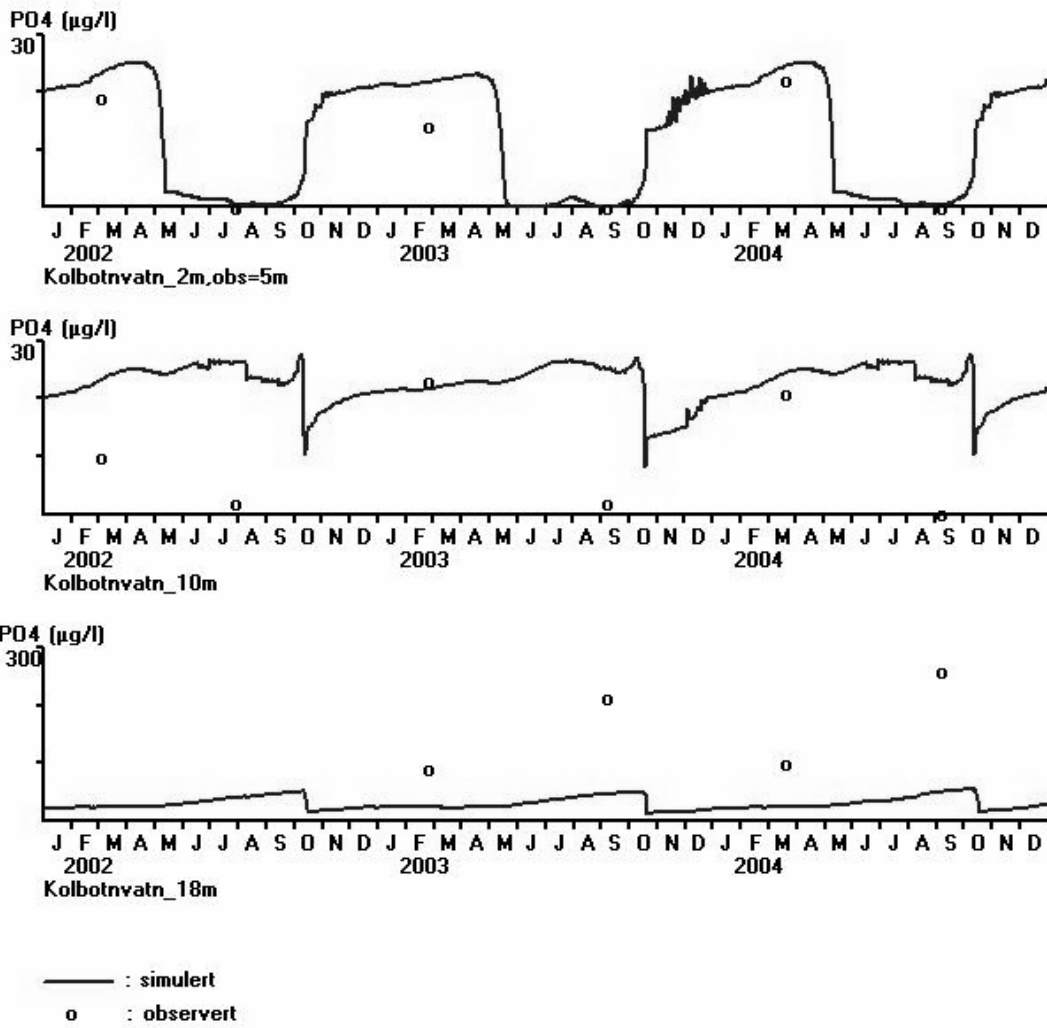


— : simulert  
 o : observert

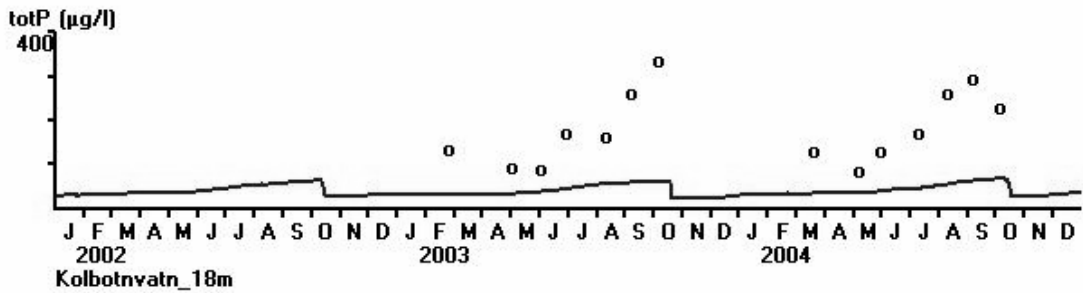
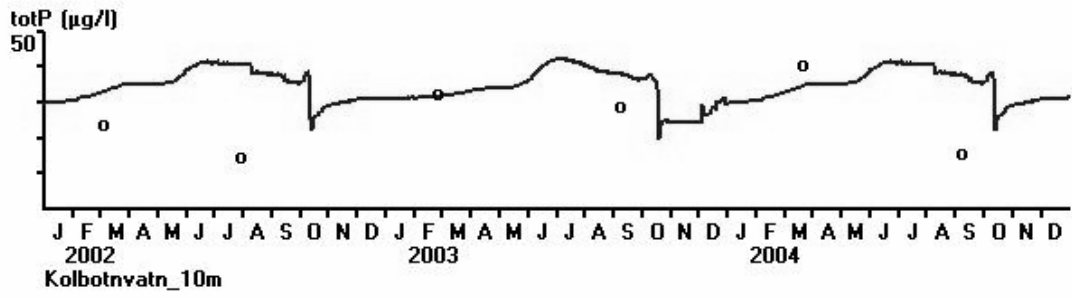
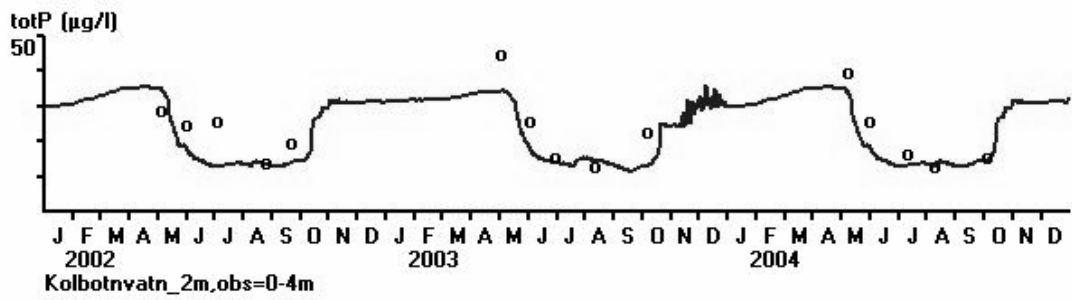


**Kolbotnvatn**

Totalt organisk karbon (TOC) består både av løst og partikulært organisk stoff. Når det organiske stoffet brytes ned, frigir det næringssalter som bidrar til algevekst. Det foreligger ikke målinger av nedbrytningshastigheten til de enkelte organiske komponentenes som tilføres Kolbotnvatn. Dette ble bestemt ved kalibrering av modellen.

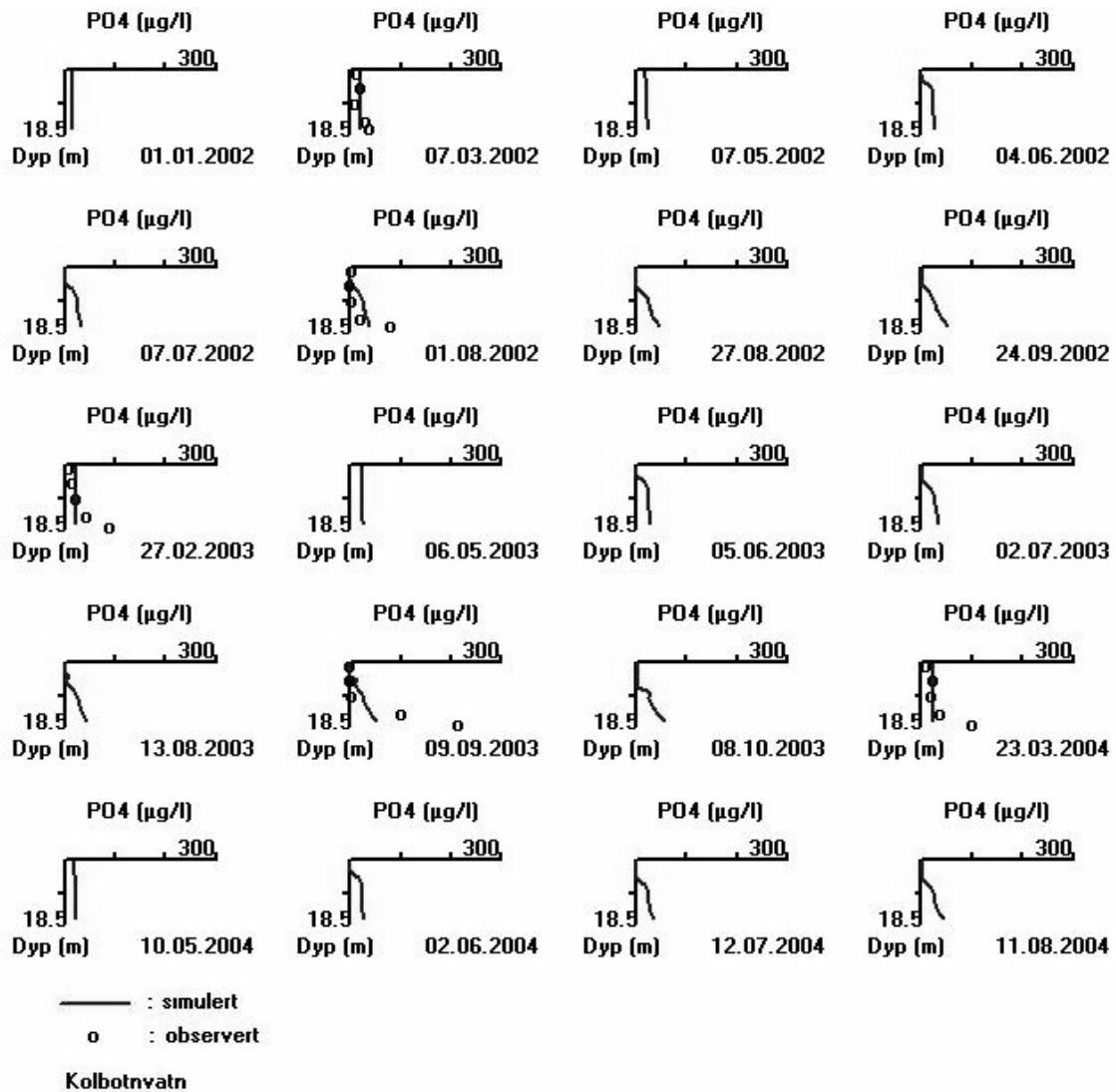


Merk ulik skala på 18 meters dyp



— : simulert  
 o : observert

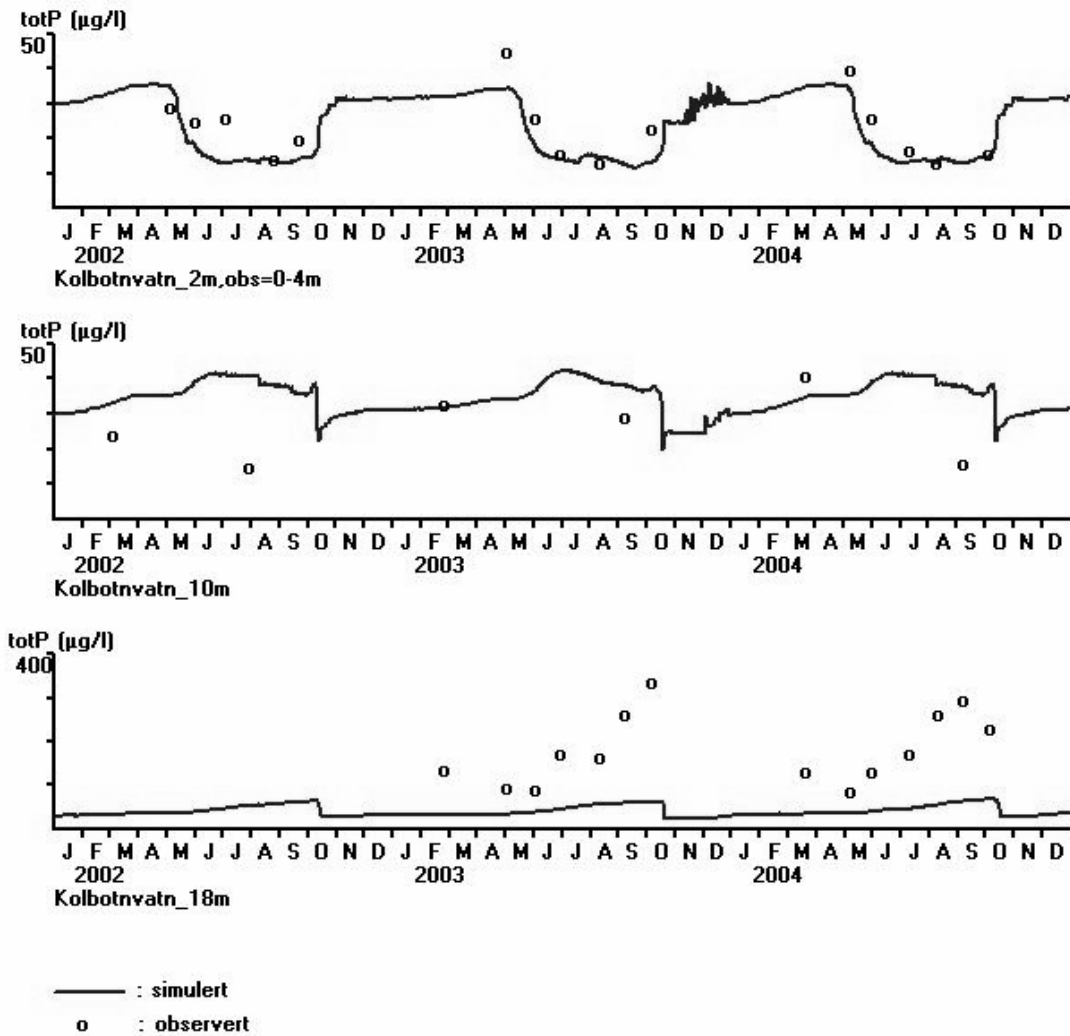
Merk ulik skala på 18 meters dyp



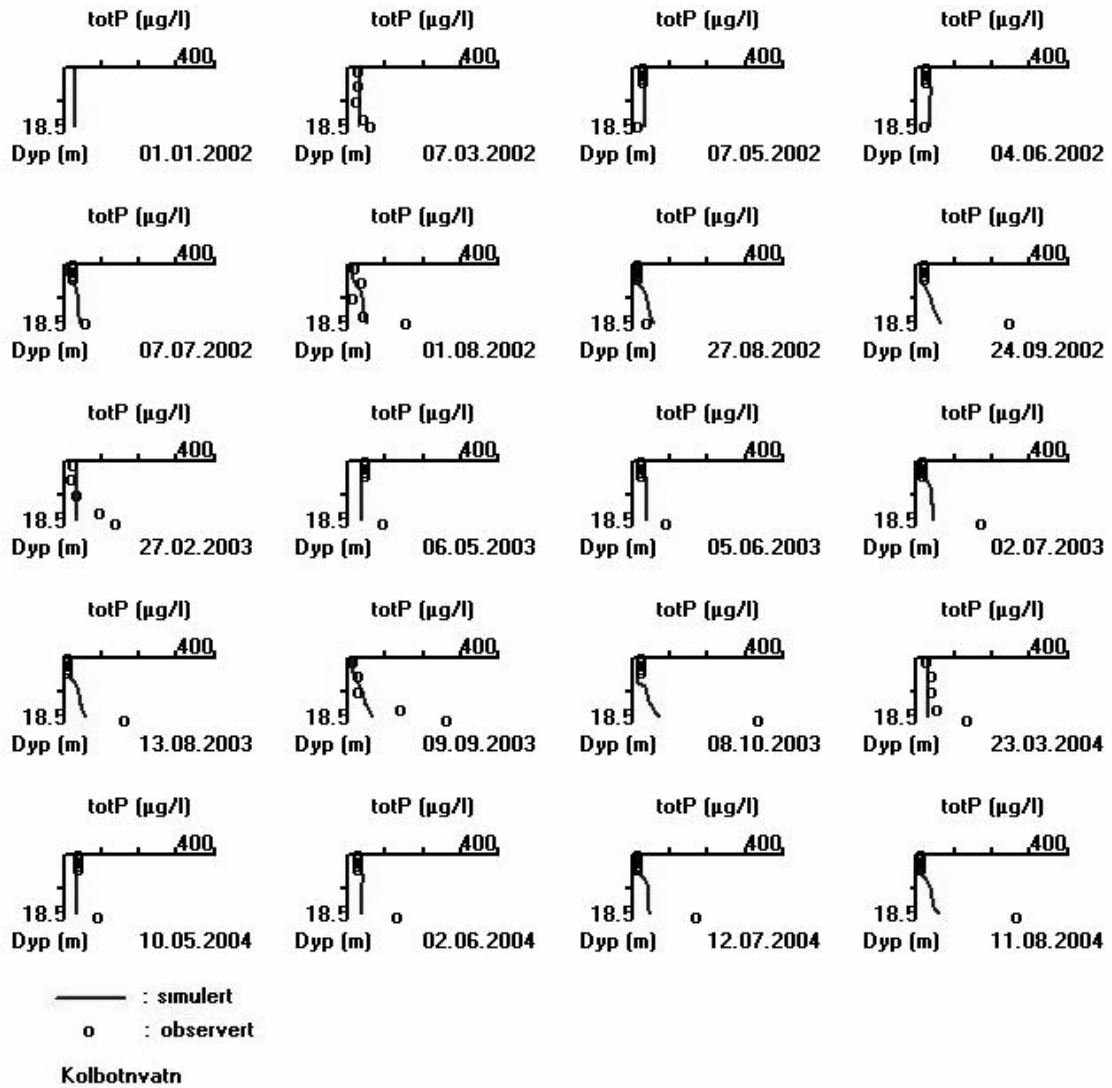
Fosfat fosfor (PO<sub>4</sub>) var i løpet av sommeren nær 0 µg/l i overflatevannet, det vil si at det var begrensende for algevekst. På dypere vann ble lystilgangen begrensende. Høye observerte verdier like over bunnen i den dypeste delen av vatnet vitner om lekkasje fra sedimentene. Høyere fosfat verdier på 18 m enn simulerte verdier kan tyde på at dette bunnvannet var mer stabilt enn det som ble simulert. Imidlertid vil det fosforrike bunnvannet bli blandet når vannmassene sirkulerer vår og høst og dermed bli tilgjengelig for algevekst i de også øvre lagene.

I følge modellen var det utilstrekkelige fosfattilførsler i tilløpene til å oppnå de konsentrasjonene som fantes i Kolbotnvatn. Det var nødvendig med bidrag fra sedimentene og fra nedbrytning av organisk materiale. Dette ble til dels bestemt ved kalibrering. Organisk materiale i tilførselene måtte være

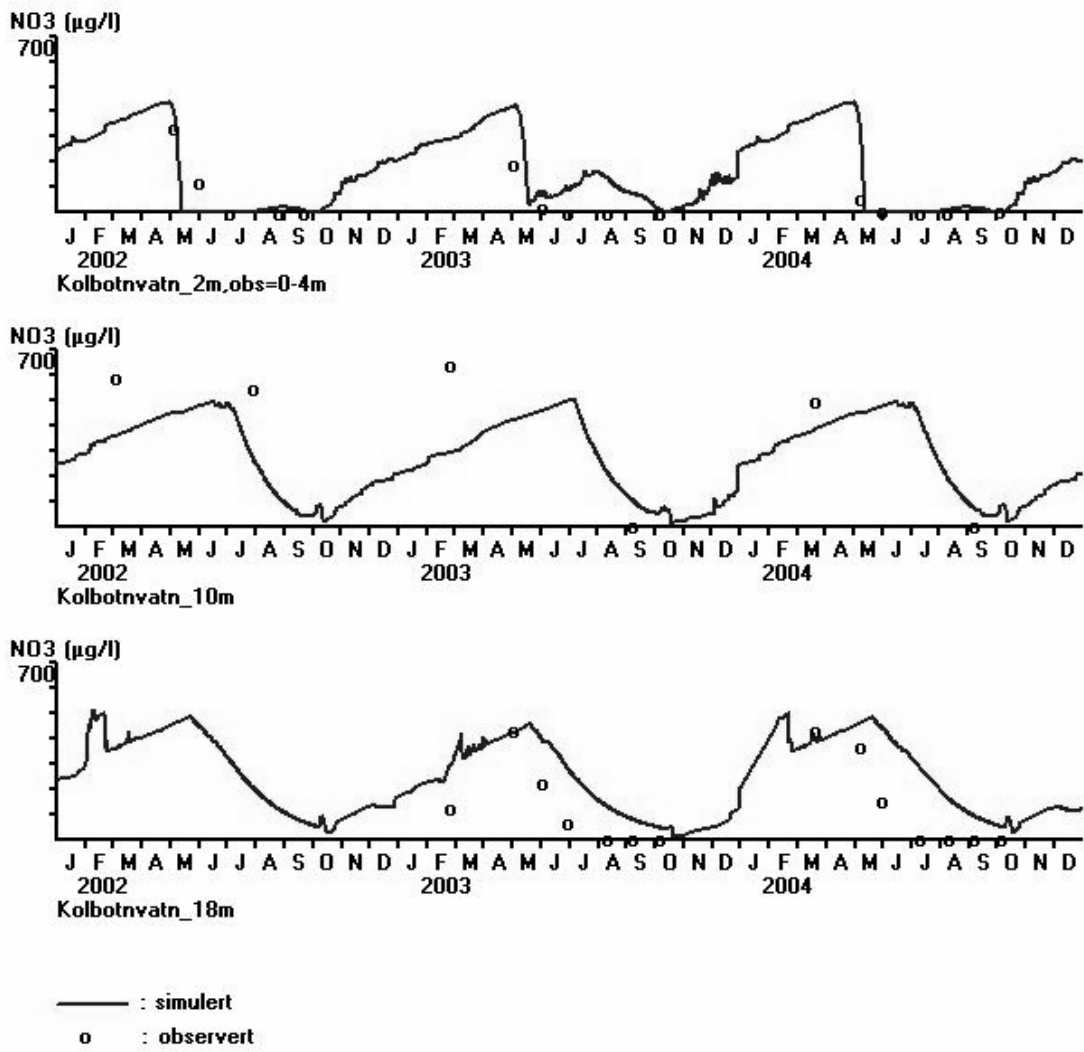
tilstrekkelig til å redusere oksygenverdiene i samsvar med observasjonene. Nedbrytning av disse tilførselene sammen med fosforlekkasje fra sedimentene måtte igjen samsvare med observerte fosforverdier i de ulike dybdenivåene.



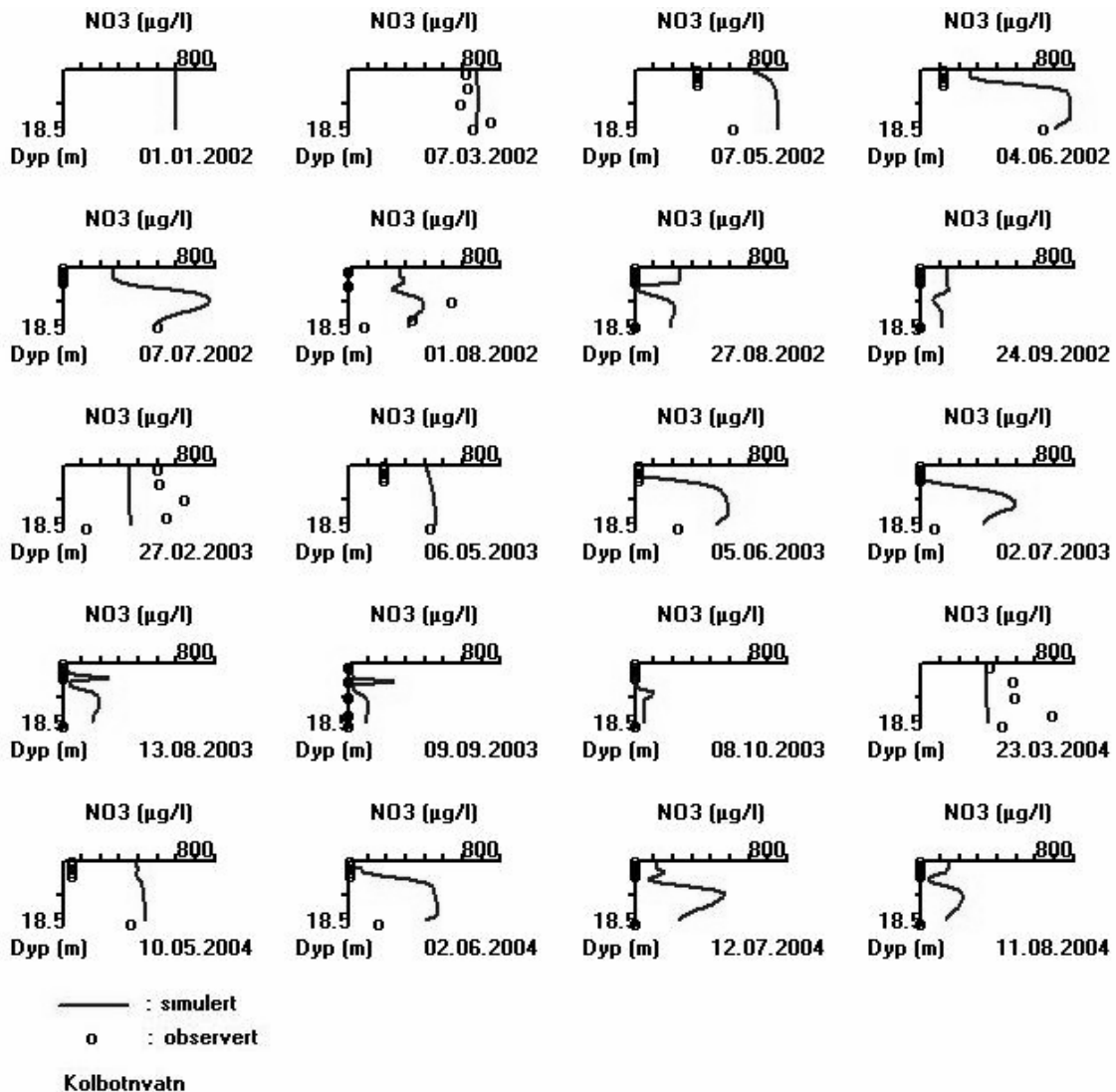
Merk ulik skala på 18 meters dyp



Det var godt samsvar mellom simulert og observert total fosfor. Forskjellene mellom fosfat og total fosfor viser at en betydelig del av total fosforet i Kolbotnvatn er bundet til organisk materiale. Hoveddelen av dette var tungt nedbrytbart og bidro lite til oksygenreduksjon og nærings salt utløsning.

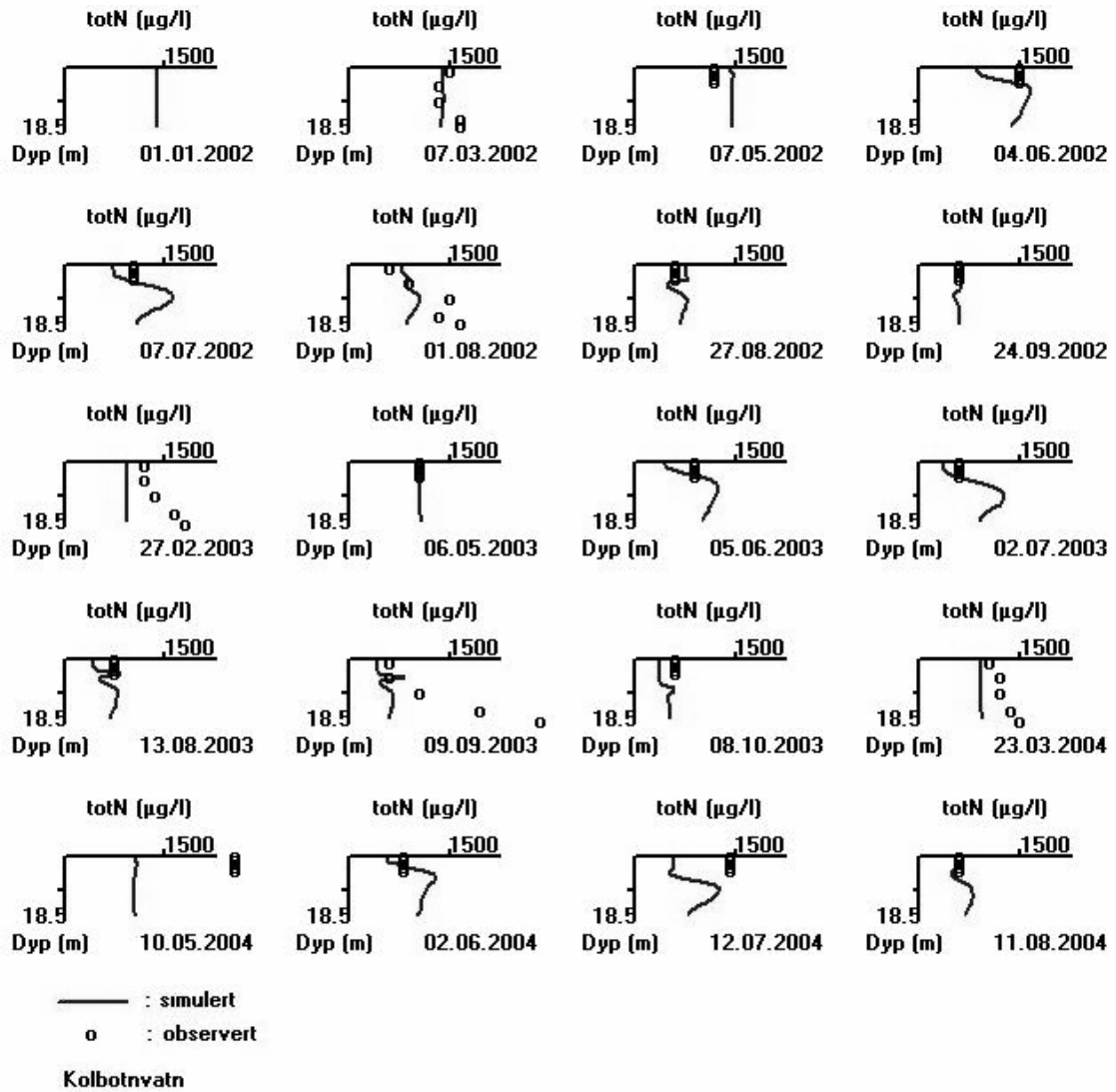




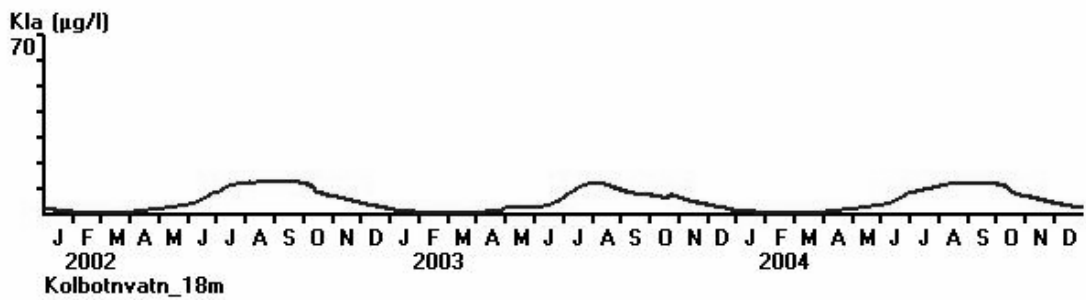
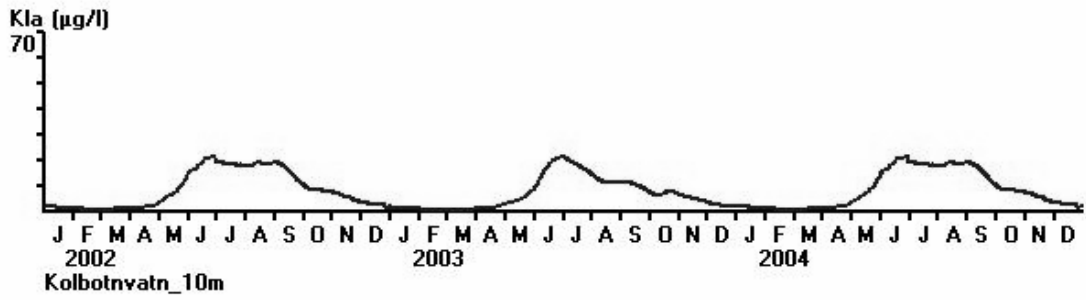
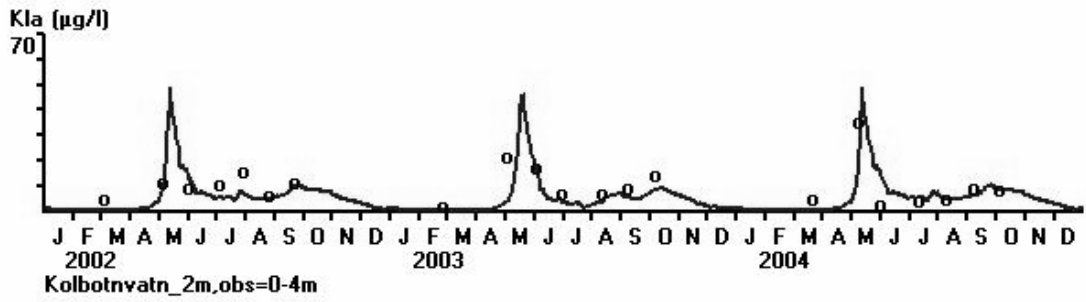


Det var bra samsvar mellom simulerte og observerte verdier av nitrat ( $\text{NO}_3$ ). Nitrat var i løpet av sommeren  $< 1 \mu\text{g/l}$  i overflatevannet, det vil si at det i perioder kan være begrensende for algevekst. Nitrat blandes inn i hele vannmassen under vår- og høstsirkulasjonen. Gjennom sommersesongen forbrukes nitraten i overflatevannet til algevekst. Etter hvert som dødt organisk materiale synker nedover i vannmassen under sommerstagnasjonsperioden, forbrukes oksygenet i bunnvannet i nedbrytingsprosessene. Når det løste oksygenet er oppbrukt, forbrukes også oksygenet i nitraten i disse prosessene. Dette bidrar til rask reduksjon av nitrat i bunnvannet mot slutten av sesongen.

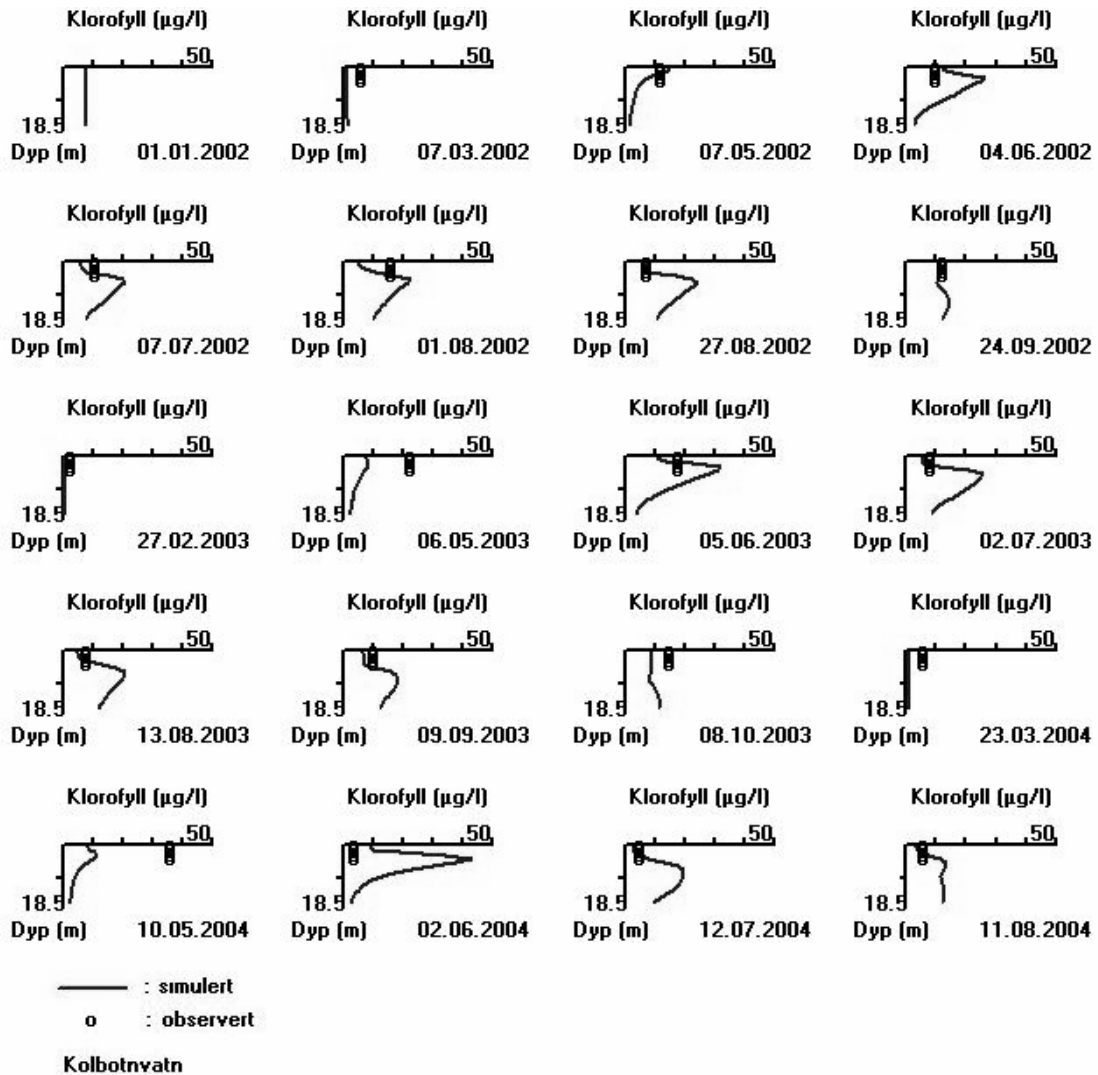
Under vinterstagnasjonen er produksjonen i innsjøen svært liten, og det forbrukes også mindre oksygen i bunnvannet. Nitratverdiene kan da holde seg relativt høye i bunnvannet gjennom vinteren.



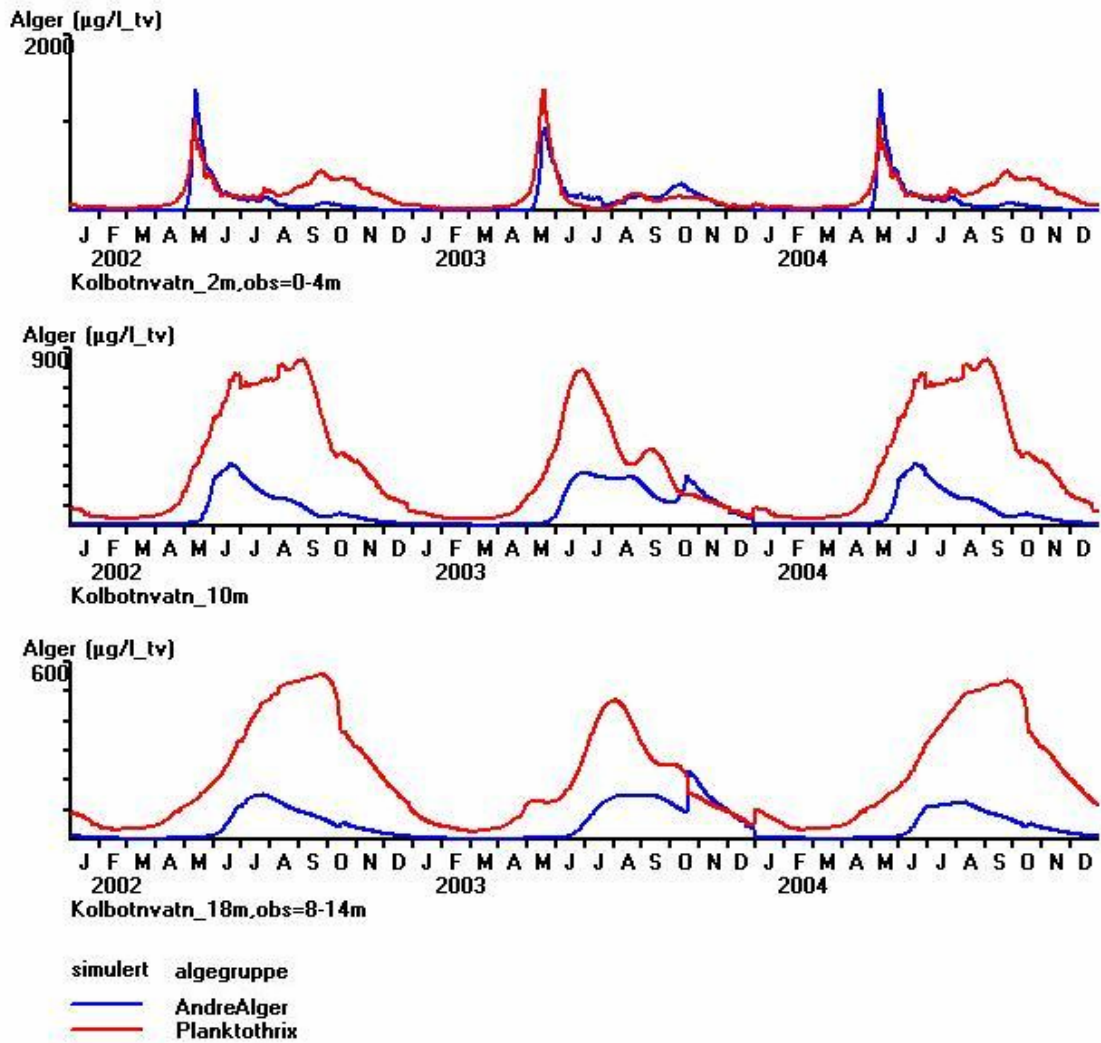
Det var godt samsvar mellom simulert og observert total nitrogen. Forskjellene mellom nitrat og total nitrogen viser at en betydelig del av total nitrogenet i Kolbotnvatn var bundet til organisk materiale. Hoveddelen av dette var tungt nedbrytbart og bidro lite til oksygenreduksjon og nærings salt utløsning.



— : simulert  
 o : observert

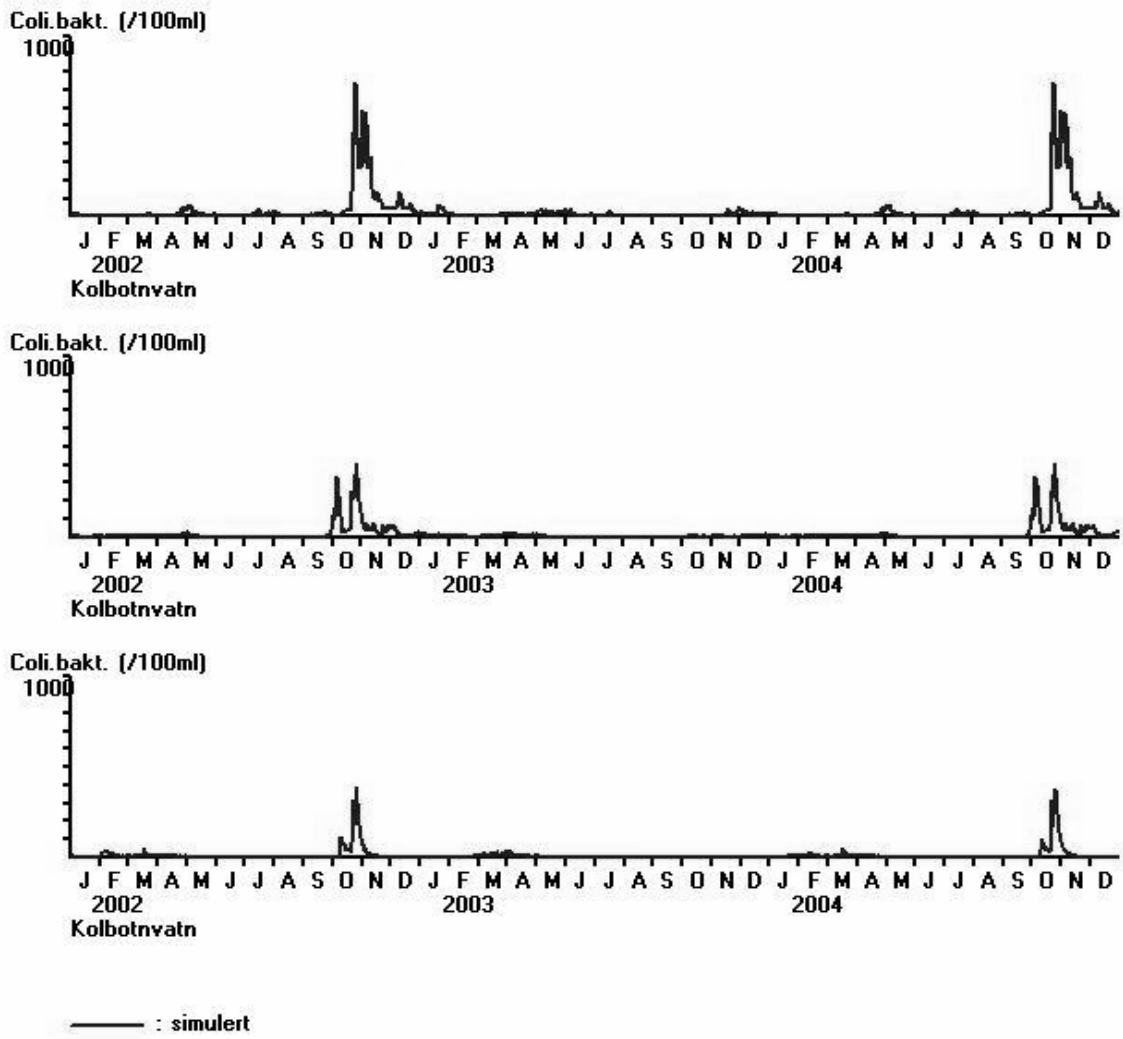


Det var godt samsvar mellom simulerte og observerte verdier av mengde målt ved klorofyll innholdet. Det var typisk med en kraftig topp om våren pga. rikelig tilgang på næringssalter etter vårsirkulasjonen i vannmassene. Deretter lavere verdier utover høsten inntil lystilgangen ble for liten. Det var typisk med lave verdier helt i overflaten pga. for mye lys og lave fosfatverdier. I overflaten var fosfat begrensende for algeveksten mot slutten av sesongen. Maksimumsverdi på omkring 6 meters dyp skyldes høy konsentrasjon av blågrønnalgen *Planktothrix agardhii*. Under dette sjiktet var det for lite lys for algevekst.



Algen Planktothrix var dominerende under ca. seks meters dyp, samt om vinteren også i overflatelagene. Dette på grunn av at den klarer seg bedre enn andre alger ved lite lys. I overflaten om sommeren var andre alger til stede i like stor grad.

Merk ulik skala for ulike dyp



Termostabile koliforme bakterier