

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

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Vurdering av naturtilstand og forslag til realistiske miljømål for Kolbotnvannet og Gjersjøen	Løpenr. (for bestilling) 4719-2003	Dato 25.08.2003
	Prosjektnr. Undernr. 23331	Sider Pris 45
Forfatter(e) Tone Jøran Oredalen Anne Lyche Solheim	Fagområde Eutrofiering og Biologisk mangfold, Ferskvann	Distribusjon
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Oppegård kommune	Oppdragsreferanse
--------------------------------------	-------------------

Sammendrag
Målet med denne rapporten har vært å anslå naturtilstand, beregne kritisk fosfor-belastning og fosforkonsentrasjon, og foreslå realistiske miljømål for Kolbotnvannet og Gjersjøen. Oppgaven var også å beregne eksterne tilførsler kontra internt bidrag til fosfor-tilførsel i Kolbotnvannet, og foreslå alternative tiltakskategorier for innsjøen. Beregninger av denne typen vil alltid innebære usikkerheter. Forslagene til antatt naturtilstand, akseptable belastninger og nødvendige fosfor-reduksjoner er derfor foreslått ut fra en helhetsvurdering av måledata, modeller og faglig skjønn.

Gjersjøen: Antatt naturtilstand for Gjersjøen tilsvarer tilstandsklasse II "God", med en årlig middelkonsentrasjon i epilimnion på 6-7 µg tot-P/L. Øvre grense for akseptabel belastning i Gjersjøen vil variere mellom 650 og 900 kg tilført P/år, avhengig av klimatiske og hydrologiske forhold. Akseptabel belastning tilsvarer en innsjøkonsentrasjon på 8 µg fosfor pr. liter. Realistiske miljømål for Gjersjøen foreslås til 8 µg P/L (tilstandsklasse II "God"), og avlastningsbehovet for Gjersjøen settes til ca 400-500 kg fosfor i året. Reduksjonen utgjør ca. 36 % av gjennomsnittlige tilførsler gjennom 1990-tallet. Miljømålet innebærer en maksimal årlig tilførsel av fosfor til Gjersjøen på 700 kg.

Kolbotnvannet: Antatt naturtilstand i Kolbotnvannet er tilstandsklasse III "Mindre god, i området 11-12 µg tot-P/L. Akseptabel fosforkonsentrasjon og realistisk miljømål for Kolbotnvannet foreslås å settes til 15 µg/L (tilstandsklasse III "Mindre god"). For å nå denne innsjøkonsentrasjonen, må tilførslene reduseres til ca. 100 kg/år (summen av eksterne og intern tilførsel), hvorav 62 kg er beregnet fra eksterne kilder. De totale tilførslene til Kolbotnvannet i 2002 var beregnet til minimum 184 kg fosfor pr. år. Av disse kom 142 kg fra eksterne kilder og 42 kg fra "intern gjødsling" i innsjøen. For å nå miljømålet på 15 µg P/L for Kolbotnvannet er avlastningsbehovet beregnet til minimum ca 80 kg, dvs. 56 % av dagens eksterne belastning.

Vi anbefaler å prioritere tiltak som reduserer de eksterne fosfortilførslene til Kolbotnvannet. Fokus bør legges på en forbedring av det kommunale avløps- og overvannsnettet, samt en grundig vurdering av en mulig anleggelse av fangdam ved utløpet av Skredderstu- og Augestadbekken. De innsjøinterne tiltakene som pågår i dag (lufting og nitrat-tilsetning) bør opprettholdes.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Naturtilstand	1. Natural state
2. Fosforbelastning	2. Phosphorus loading
3. Tiltakskategorier	3. Abatement categories
4. Miljømål	4. Environmental targets

Tone Jøran Oredalen
Prosjektleder

Anne Lyche Solheim
Forskningsleder

MC Paa Selth
Forskningsdirektør

Vurdering av naturtilstand og forslag til realistiske miljømål for Kolbotnvannet og Gjersjøen

Forord

I møte mellom Oppedgård kommune, Sweco og NIVA den 2. april 2003, ble NIVA forespurt om å framlegge et forslag for utredning av følgende punkter:

- Anslå naturtilstand for Kolbotnvannet og Gjersjøen, i første omgang med modellberegning ut fra eksisterende datagrunnlag.
- Beregne kritisk fosfor-belastning og fosforkonsentrasjon for Kolbotnvannet og Gjersjøen.
- Beregning av eksternt kontra internt bidrag til fosfor-tilførsel i Kolbotnvannet.
- Foreslå realistiske miljømål for Gjersjøen og Kolbotnvannet, utfra anslått naturtilstand og kritisk fosforkonsentrasjon.
- Foreslå alternative tiltakskategorier for Kolbotnvannet, på bakgrunn av hvilken kilde for fosfor-tilførsel som er den/de viktigste.

Underveis har vi fått nyttige innspill fra andre NIVA-medarbeidere som har arbeidet med innsjømodeller og Kolbotnvannet tidligere; Dag Berge, Bjørn Faafeng og Espen Lydersen. Vi har også fått tilbakemelding på rapportutkast underveis av Lars Enander; Sweco. Forsker Stig A. Borgvang har vært kvalitetssikrer for rapporten.

Oslo, 25.08.2003

Tone Jøran Oredalen

Innhold

Sammendrag	6
Summary	8
1. Naturtilstand	9
1.1 SFTs klassifikasjonssystem	9
1.2 EUs Rammedirektiv for Vann - Modellberegning (MEI)	10
1.3 Antatt naturtilstand i Gjersjøen og Kolbotnvannet	11
2. Kritisk fosforbelastning	13
2.1 Fosforbelastning i Gjersjøen	13
2.1.1 SFT-modellen	13
2.1.2 Vollenweider-modellen	14
2.1.3 Test av dypsjømodellene for Gjersjøen	16
2.2 Fosforbelastning i Kolbotnvannet	17
2.2.1 Modellberegning for Kolbotnvannet	17
3. Eksterne og interne fosfortilførsler til Kolbotnvannet	18
3.1 Eksterne tilførsler	18
3.2 Interne tilførsler	18
3.3 Har tilførslene endret seg over tid?	22
3.3.1 Eksterne tilførsler	22
3.3.2 Interne tilførsler	22
3.4 Hvilken betydning har fordeling av tilførslene gjennom sesongen?	25
4. Miljømål	27
4.1 Dagens vannkvalitet	27
4.2 Dagens egnethet	28
4.3 Foreløpige miljømål	28
4.4 Nødvendige reduksjoner for å nå miljømålene	30
5. Tiltakskategorier i Kolbotnvannet	33
5.1 Eksterne tilførsler	33
5.2 Interne tilførsler	33

6. Referanser	35
Vedlegg A. Egnethetsklasser mhp. fosfor for ulike brukerinteresser (SFT 97:04)	38
Vedlegg B. Total-fosforkonsentrasjoner i Kolbotnvannet i perioden 1983-2002, for dypene: 0-4 meter, 15 meter og 18 meter	39
Vedlegg C. Innsjødata for Gjersjøen og Kolbotnvannet	43
Vedlegg D. Fosfortilførsler til Kolbotnvannet i 2002	44
Vedlegg E. Målt jerninnhold i Kolbotnvannet	45

Sammendrag

Målet med denne rapporten har vært følgende:

- Anslå naturtilstand for Kolbotnvannet og Gjersjøen, i første omgang med modellberegning ut fra eksisterende datagrunnlag.
- Beregne kritisk fosfor-belastning og fosforkonsentrasjon for Kolbotnvannet og Gjersjøen.
- Foreslå realistiske miljømål for Gjersjøen og Kolbotnvannet, utfra forventet naturtilstand og kritisk fosforkonsentrasjon.
- Beregning av eksternt kontra internt bidrag til fosfor-tilførsel i Kolbotnvannet.
- Foreslå alternative tiltakskategorier for Kolbotnvannet, på bakgrunn av hvilken kilde for fosfor-tilførsel som er den/de viktigste.

Alle beregninger inneholder et innslag av usikkerhet som er vanskelig å kvantifisere. Ved en gjennomgang av ulike modeller, ser vi at avvikene mellom ulike beregninger kan være store og at modellene ikke alltid samsvarer med virkeligheten. Resultatene vi har kommet fram til, er derfor en samveining mellom ulike analyser og skjønnsmessige vurderinger utfra et omfattende datamateriale.

Naturtilstand

For beregning av naturtilstand har vi benyttet SFTs kriterier, modellberegning (MorphoEdaphic Index) og observerte langtidsserier. Antatt naturtilstand for Gjersjøen er anslått til tilstandsklasse II "God", med en fosforkonsentrasjon i epilimnion på 6-7 $\mu\text{g tot-P/L}$. I Kolbotnvannet er anturtilstanden anslått til tilstandsklasse III "Mindre god, med en fosforkonsentrasjon i epilimnion på 11-12 $\mu\text{g tot-P/L}$.

Kritisk fosforbelastning

For å kunne foreslå akseptabel og kritisk fosfor-belastning for Gjersjøen har vi brukt en dyp-sjø modell (Rognerud med medarbeidere (1979)) "SFT-modellen" og Vollenweider (1976). Fordi Vollenweider-modellen gir beregninger som ligger nærmere de målte dataene enn "SFT-modellen", har vi valgt å sette grenseverdier for innsjøen ut fra denne modellen. Akseptabel P-konsentrasjon i Kolbotnvannet er foreslått ut fra grunn-sjø modellen FOSRESGRU (Berge 1987), samt ut fra beregningen av naturtilstand.

Øvre grense for akseptabel belastning i Gjersjøen vil variere mellom 650 og 900 kg tilført P/år, avhengig av klimatiske og hydrologiske forhold. Denne belastningen tilsvarer en konsentrasjon på 8 $\mu\text{g tot-P/L}$. Kritisk belastning innenfor samme variasjon av oppholdstid ligger mellom 1,2 og 1,7 tonn P/år. Kritisk belastning vil gi en innsjøkonsentrasjon på 15 $\mu\text{g tot-P/L}$. Endring i akseptabel og kritisk belastning med endringer i klimatiske forhold viser at innsjøen tåler en noe større belastning i våte år enn i tørre år.

Akseptabel fosforkonsentrasjon for Kolbotnvannet foreslås å settes til 15 $\mu\text{g/L}$. Kritisk tilførsel (summen av eksternt og intern tilførsel) blir da ca. 86-121 kg/år, hvorav ca. 62 kg fra eksterne kilder.

Eksternt kontra internt bidrag av fosfor til Kolbotnvannet

Eksternt bidrag til Kolbotnvannet ble beregnet til 142 kg fosfor i 2002, hvorav 134 kg fra de tre største tilløpsbekkene og 8 kg fra restfeltet. De interne tilførslene er anslått til 42 kg fosfor pr. år basert på målinger av fosforkonsentrasjon i dyplagene i stagnasjonsperiodene.

Miljømål

På bakgrunn av de ulike beregningene i denne rapporten foreslås følgende som realistiske miljømål: Gjersjøen: 8 µg P/L (tilstandsklasse II "God") og Kolbotnvannet: 15 µg P/L (tilstandsklasse III "Mindre god").

Avlastningsbehov for fosfortilførsler

Utfra gjennomsnittsbetragningen målt gjennom 1990-tallet og forslag til realistiske miljømål, settes reduksjonsbehovet for Gjersjøen til ca 400-500 kg fosfor i året. Reduksjonen utgjør ca. 36 % av gjennomsnittlige fosfortilførsler i løpet av 1990-tallet. Miljømålet innebærer en maksimal årlig tilførsel av fosfor til Gjersjøen på ca. 700 kg.

For Kolbotnvannet er avlastningsbehovet beregnet til ca. 80 kg, dvs. 56 % av dagens eksterne belastning. Miljømålet innebærer en maksimal årlig ekstern tilførsel av fosfor til Kolbotnvannet på ca. 62 kg, hvorav ca. 54 kg fra de tre største tilførselsbekkene.

Ulike tiltakskategorier

Eksterne tiltak

Tiltak for å redusere de eksterne tilførslene bør prioriteres. De viktigste tiltakskategoriene er *forbedring av kloakk- og overvannsnett* som både vil redusere tilførselsnivået generelt, og redusere sjansen for episoder med svært høyt bidrag av bakterier og næringsstoffer. Oppbygging av en *vegetasjonssone/reusepark* i området rundt utløpet av Skredderstu- og Augestadbekken foreslås nærmere utredet. Dette vil kunne fungere som et "sikkerhetsnett" i området der den eksterne belastningen er stor i dag.

Innsjøinterne tiltak

Av innsjøinterne tiltak foreslår vi en fortsettelse av tiltakene som allerede er i gang: lufting av vannmassene (forlengelse av sirkulasjonsperiodene) og tilsetning av nitrat til bunnvannet for å hindre økt utlekking av fosfor. En undersøkelse av fiskebestanden vil kunne avklare om manipulering av fiskesamfunnet kan være et nyttig tiltak for å bedre vannkvaliteten i Kolbotnvannet.

Summary

Title: Estimation of reference conditions and attainable environmental objectives for Lake Gjersjøen and Lake Kolbotnvann.

Year: 2003

Author: Tone Jøran Oredalen and Anne Lyche Solheim

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4389-5

The objectives in this project are to:

- Estimate the reference conditions for Lake Gjersjøen and Lake Kolbotnvann, using models and existing data
- Estimate critical phosphorus-loading and phosphorus concentration for the two lakes
- Propose attainable environmental objectives for the lakes based upon the above estimates
- Estimate external versus internal contributions to the total phosphorus loading in Lake Kolbotnvann
- Propose alternative abatement measures for Lake Kolbotnvann according to the relative contribution of different P-sources.

The reference conditions in terms of natural phosphorus-concentration was estimated using the national guidelines for reference conditions in combination with the morpho-edaphic index-model. The results were evaluated from time-series observations from the lakes. According to this evaluation the natural total phosphorus-concentration was estimated to 6-7 µg/L for Lake Gjersjøen and to 11-12 µg/L for Lake Kolbotnvann.

The acceptable phosphorus-loading was estimated from the Vollenweider model and related models to 650-900 kg P/year for Lake Gjersjøen, corresponding to an acceptable phosphorus-concentration of 8 µg/L. For Lake Kolbotnvann the acceptable phosphorus-concentration was estimated to 15 µg/L with a model developed for shallow lakes. This concentration corresponds roughly to a phosphorus-load of 100 kg P/year, including the internal P-loading.

The attainable environmental objectives with regard to the phosphorus-concentration is thus proposed to 8 µg/L for Lake Gjersjøen and 15 µg/L for Lake Kolbotnvann.

For Lake Gjersjøen the current phosphorus-loading is approximately 1100 kg P/year. To obtain the environmental objective of 8 µgP/L, corresponding to a P-loading of roughly 700 kgP/year, the necessary P-reduction will be roughly 400 kg P/year, corresponding to 36% of current P-loading.

Current external loading to Lake Kolbotnvann was estimated to 142 kg P/year of which 134 kgP/year comes from the three main tributaries and 8 kg P/year from the remaining catchment. The internal loading of phosphorus was estimated to 42 kg P/year, based upon measurements of the increase of P in the hypolimnion during the stagnation periods.

To obtain the environmental objective of 15 µgP/L for Lake Kolbotnvann, the maximum total P-loading has been estimated to 86-121 kg P/year, of which external loading is 62 (44-79) kg P/year. The need for phosphorus reduction then is 142 kg P/year - 62 = 80 kg P/year, corresponding to 56% of current external loading.

To obtain the necessary P-reductions in Lake Kolbotnvann, the most important abatement measures are improvements of the sewage system supplemented by the establishment of a reed belt for nutrient removal at the inlet of the two most polluted tributaries. Existing internal measures, such as aeration and nitrate-addition to the bottom waters should continue in order to further reduce the internal P-loading.

1. Naturtilstand

1.1 SFTs klassifikasjonssystem

Begrepet *forventet naturtilstand* defineres som den miljøkvalitet en vannforekomst ville hatt med kun de tilførsler som naturen selv bidrar med. Naturtilstanden vil avhenge av flere faktorer som: geologi/jordtype, topografi/innsjømorfologi, bredde- og lengdegrad, og høyde over havet. På bakgrunn av blant annet disse faktorene har SFT utviklet et eget vurderingsgrunnlag for forventet naturtilstand i ulike økosystemtyper (SFT 95:04).

Selv om Norge har relativt mye tilnærmet uberørt natur, er likevel mange av våre vannforekomster påvirket av menneskelige aktiviteter. Derfor kan vi sjelden måle naturtilstanden direkte i en lokalitet, men må anslå en forventet naturtilstand ved hjelp av ulike metoder.

Ved vurdering av naturtilstand deles innsjøene inn i dype og grunne sjøer. Dype sjøer defineres som sjøer med middeldyp større enn 15 meter med klar termisk sjiktning sommer og vinter. Grunne sjøer har et middeldyp under 15 meter med svak eller manglende sjiktning i sommer- og vinterperiodene. Ut fra middeldypet defineres Gjersjøen som en dyp innsjø og Kolbotnvannet som en grunn innsjø. Samtidig ligger Kolbotnvannet relativt vindbeskyttet og har en markert sjiktning både sommer og vinter, noe som gjør den til en noe mindre typisk grunn innsjø ut fra definisjonen. Begge innsjøene ligger under marin grense, noe som tilsier naturlig næringsrike forhold.

I hht. SFT-veileder 95:04 er naturtilstanden for dype innsjøer satt til klasse I i SFTs klassifikasjonssystem. Dette innebærer at naturtilstanden for Gjersjøen mht. totalfosfor vil være $< 7 \mu\text{g/L}$ (totalfosfor) (**Tabell 1**). For Kolbotnvann, som er en grunn innsjøer under marine grense, vil naturtilstanden mht. totalfosfor være $< 11 \mu\text{g/L}$ (**Tabell 2**).

Tabell 1. Variasjon i forventet naturtilstand for dype innsjøer (SFT 95:04). Grå felter viser mulige naturlige tilstandsklasser. Kolonnebetegnelse er justert slik at de samsvarer med klassifiseringssystemet for ferskvann (SFT 97:04).

Virknings av:	Tilstandsklasser				
	I "Meget god"	II "God"	III "Mindre god"	IV "Dårlig"	V "Meget dårlig"
Næringsalter					
Organiske stoffer					
Forsurende stoffer					
Miljøgifter					
Partikler					
Tarmbakterier					

Tabell 2. Variasjon i forventet naturtilstand for grunne innsjøer (SFT 1995:04). Grå felter viser mulige naturlige tilstandsklasser. De lysegrå feltene henspiller på innsjøer med nedbørfelt under marin grense. Kolonnebetegnelse er justert slik at de samsvarer med klassifiseringssystemet for ferskvann (SFT 97:04).

Virkninger av:	Tilstandsklasser				
	I "Meget god"	II "God"	III "Mindre god"	IV "Dårlig"	V "Meget dårlig"
Næringsalter					
Organiske stoffer					
Forsurende stoffer					
Miljøgifter					
Partikler					
Tarmbakterier					

1.2 EUs Rammedirektiv for Vann - Modellberegning (MEI)

I EUs Rammedirektiv for Vann (EU 2000) defineres naturtilstand som tilnærmet upåvirkede forhold, med ingen eller svært små menneskelige endringer av de vanntypespesifikke verdier for biologiske, fysisk-kjemiske og hydromorfologiske parametre. Verdiene for de biologiske elementene (fytoplankton, vannvegetasjon, bunnfauna og fisk) skal reflektere de verdier som normalt finnes under upåvirkede forhold, og vise ingen eller svært små avvik. I hht. dette direktivet med tilhørende veiledninger (REFCOND-guidance 2003) kan 5 ulike metoder benyttes til å anslå forventet naturtilstand i innsjøer:

- Eksisterende data fra tilnærmet upåvirkete lokaliteter av samme vanntype
- Modellberegninger (eks: "MEI", MorphoEdaphic Index)
- Paleøkologi (vurdering av biologiske rester i sedimentkjerner)
- Historiske data
- Ekspertvurdering

En aktuell modell som foreslås for estimering av naturlig totalfosforkonsentrasjon er den såkalte Morpho-Edaphic Index (MEI)-modellen. Modellen bygger på en undersøkelse av 53 innsjøer (> 0,2 km²) i Europa og Nord-Amerika (Vighi & Chiaudani 1985).

Metoden vurderer sammenhengen mellom middelkonsentrasjonene av total-fosfor og MEI, definert som forholdet mellom middeldypet og alkaliniteten i en innsjø. Det ble funnet en god korrelasjon i innsjømaterialet der graden av menneskeskapt fosfor-tilførsel var liten (ligning (1) under). Ligningene gjør det mulig å beregne hvilken fosforkonsentrasjon en innsjø ville hatt utfra en naturlig bakgrunnsbelastning, gitt at alkaliteten ikke er påvirket av menneskelig aktivitet.

$$(1) \text{Log [P]} = 1,48 + 0,29 (+0,15) \text{Log MEI alk, } r = 0,77$$

der:

$$\text{MEI alk} = \text{alk (meq/L)} / \text{middel dyp (m)}$$

Alkaliniteten er regnet for å være lite påvirket/modifisert av menneskeskapt påvirkninger (Vighi & Chiaudani 1985), med unntak av forsurede og kalkede innsjøer. For Gjersjøen og Kolbotnvann som hverken er forsurede eller kalkede skulle denne modellen være velegnet.

Ved testing av modellen mot antatt upåvirkede innsjøer i NIVAs nasjonale eutrofieringsdatabase (EUREGI) ble de estimerte naturlige fosforkonsentrasjonene høyere enn den målte

fosforkonsentrasjonen for mange av innsjøene. Dette kan tyde på at MEI-modellen overestimerer den naturlige P-konsentrasjonen for norske innsjøer.

1.3 Antatt naturtilstand i Gjersjøen og Kolbotnvannet

Det er flere usikkerheter ved metodene som benyttes for å finne naturtilstanden i en innsjø. Vi forsøker derfor å vurdere naturtilstanden ved en samveing av SFT-systemet, fra beregninger med MEI-modellen, og ut fra observerte langtidsserier i innsjøene. Da MEI-modellen ser ut til å overestimere den naturlige fosforkonsentrasjonen velger vi å benytte minimumsverdiene for den modellen, istedenfor middelveidene som grunnlag for vurderingene av naturtilstanden. Minimumsverdiene fra MEI-modellen er i godt samsvar med anslaget for forventet naturtilstand for begge innsjøene i flg SFT systemet (**Tabell 1, Tabell 2, Tabell 4**).

Tabell 3. Grunnlagsdata for beregning av naturlig bakgrunnsnivå av fosfor. Alkalinitet- og konduktivitetsverdiene representerer gjennomsnittsverdier over flere år.

Kolbotnvannet		Gjersjøen	
Alk (meq/L):	1,1	Alk (meq/L):	0,6
Middel-dyp (m):	10,3	Middel-dyp (m):	23
MEI alk:	0,1067961	MEI alk:	0,026087

Tabell 4. Naturlige fosfor-konsentrasjon i Kolbotnvannet og Gjersjøen og tilhørende tilstandsklasser i SFT-systemet, estimert utfra MEI-modellen basert på alkalitet.

Kolbotnvannet	middel	max	min	Gjersjøen	middel	max	min
(1) P (µg/L)=	15,8	22,1	11,3	(1) P (µg/L)=	10,5	18,1	6,1

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

Gjersjøen

Ut fra SFT-systemet ville forventet naturtilstand i Gjersjøen falle inn i klasse 1 ("Meget god"). Ved bruk av MEI-modellen blir minimumsverdien for naturtilstanden i Gjersjøen beregnet til 6,1 µg tot-P/L. Fosforverdiene i Gjersjøen er gradvis redusert gjennom en årrekke. De hittil laveste registreringene ble gjort i 1995, da middelveidien gjennom sesongen var på 9,9 µg tot-P/L og medianverdien var 9,0 µg tot-P/L. De målte verdiene vil ikke kunne være lavere enn naturtilstanden. Fordi det fortsatt er til dels betydelige menneskeskapte tilførsler av næringssalter til Gjersjøen, må vi derfor anta at naturtilstanden ligger i området 6,1-7,0, dvs. i grenseområdet mellom SFTs tilstandsklasse I og II (**Tabell 5**).

Kolbotnvannet

Ut fra SFT-systemet ville forventet naturtilstand for totalfosfor i Kolbotnvannet være < 11µg/L. Ved bruk av MEI-modellen ble minimumsverdien for naturtilstanden i Kolbotnvannet beregnet til 11,3. I likhet med Gjersjøen, er fosforverdiene i Kolbotnvannet også redusert fra 1983 og fram til i dag. I 2002 var middelveidien for total-fosfor gjennom sesongen 22,8 µg/L, og medianverdien var 25 µg tot-P/L (Oredalen med medarbeidere 2003). Denne middelveidien er den laveste som er registrert i Kolbotnvannet gjennom den perioden måleprogrammet har pågått. Middelveidien nærmer seg nå grensen for tilstandsklasse III ("Mindre god"), som ligger på 20 µg tot-P/L. Til tross for at det har

skjedd en tydelig forbedring i vannkvaliteten i Kolbotnvannet de siste 20 årene, er det fortsatt betydelige menneskeskapte tilførsler til sjøen. I tillegg er det også intern tilførsel av fosfor fra sedimentene til bunnvannet ved slutten av stagnasjonsperiodene vinter og sommer. Vi mener derfor at naturtilstanden vil ligge betydelig lavere enn de målte verdiene i dag. Antatt naturtilstand anslås ut fra en totalvurdering å ligge i nedre område av tilstandsklasse III, i området 11-12 $\mu\text{g tot-P/L}$ (**Tabell 5**).

Tabell 5. Antatt naturtilstand i Gjersjøen og Kolbotnvannet ut fra en vurdering av SFTs system, beregning med MorphoEdaphic Index (MEI) og historiske data.

	I "Meget"	II "God"	III "Mindre"
Tot-P ($\mu\text{g/L}$)	<7	7-11	11-20
Antatt naturtilstand:			
Gjersjøen	6-7		11-12
Kolbotnvann			

2. Kritisk fosforbelastning

2.1 Fosforbelastning i Gjersjøen

Vannkvalitetsverdier for hhv. akseptabel, betenkelig og kritisk tilstand for variablene siktedyp, klorofyll og fosfor for dype sjøer i Norge er gitt i SFT veileder 95:01. Akseptabel næringstilstand for en innsjø er den tilstanden der det normalt ikke oppstår økologiske problemer, som for eksempel giftalgeoppblomstringer.

For innsjøer med et middeldyp større enn 15 meter, er grenseverdien i SFTs veileder mellom akseptabel og betenkelig tilstand satt til $7 \mu\text{g totP/L}$ (gjennomsnitt for produksjonssesongen). Grensen mellom betenkelig og kritisk tilstand er satt til $10,5 \mu\text{g tot-P/L}$. For Gjersjøen har vi anslått naturtilstanden til $6-7 \mu\text{g tot-P/L}$ (kap. 1.3). Da grenseverdien for den akseptable tilstanden alltid må antas å være noe høyere enn naturtilstanden, kan det se ut til at naturlig P-konsentrasjon er overestimert, og /eller at den akseptable P-konsentrasjonen underestimeres ved bruk av disse grenseverdiene. Dersom modellen underestimerer den akseptable konsentrasjonen vil den også underestimere den akseptable belastningen. Dette betyr i så fall at innsjøen vil kunne tåle en noe større belastning enn den vi får ved bruk av modellen.

For å estimere den akseptable fosforbelastningen for innsjøen har vi derfor også benyttet den opprinnelige Vollenweider-modellen (Vollenweider 1976, Berge 1987), i tillegg til modellen i SFTs veileder - heretter kalt "SFT-modellen" (Rognerud med medarbeidere 1979).

2.1.1 SFT-modellen

SFT-modellen gjelder for dype innsjøer med mer enn 15 m i middeldyp, som er sjiktet og har en oppholdstid på mellom 0,1 og 11 år. Dette vil gjelde for de aller fleste dype innsjøer i Norge. Modellen er satt opp på grunnlag av data fra 20 store sjiktede innsjøer på Østlandet, som er samlet inn i perioden mai 1978 til mai 1979. En forutsetning for å kunne bruke modellen er at en eventuell frigivelse av fosfor fra sedimentene er ubetydelig, og at det er en retensjon, dvs. nettotransport av fosfor til sedimentene over året (Rognerud med medarbeidere 1979). Forutsetningene vil også gjelde for Vollenweider-modellen, men forholdet mellom oppholdstiden for fosfor og oppholdstiden for vann avviker noe i de to modellene. Ved å sette grenseverdien på $7 \mu\text{g tot-P/L}$ inn som P-konsentrasjon i sjøen, kan vi ved hjelp av fosforbelastningsmodellen for dype sjøer (Rognerud med medarbeidere 1979) beregne akseptabel fosforkonsentrasjon i tilløpene, samt akseptabel fosfortilførsel til innsjøen:

$$(1) [\text{Tot-P}]_{\text{inn}} = 1,59 * [\text{Tot P}]_{\text{innsjø}} * e^{0,067 * T_w}$$

$$(2) \text{Tot-P}_{\text{inn}} = [\text{Tot P}]_{\text{inn}} * Q$$

Der:

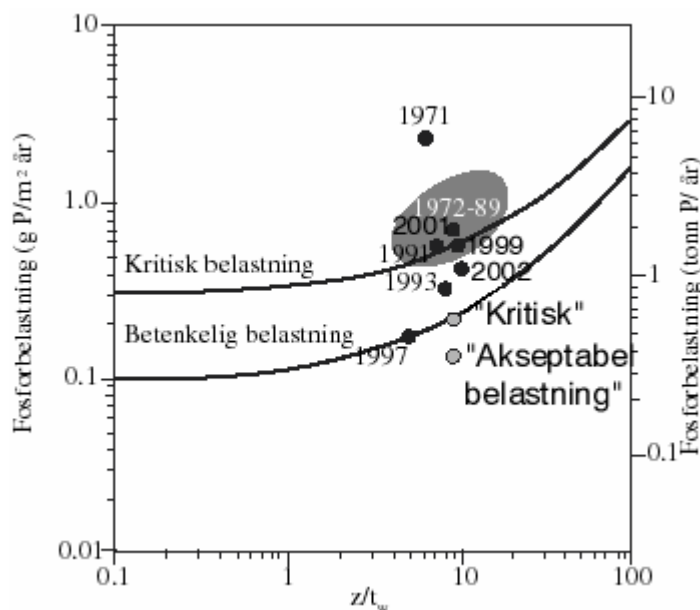
$[\text{Tot-P}]_{\text{inn}}$ =	Gjennomsnittlig P- konsentrasjon i tilløp ($\mu\text{g tot-P/L}$)
$[\text{Tot-P}]_{\text{innsjø}}$ =	Gjennomsnittlig P-konsentrasjon i innsjø ($\mu\text{g tot-P/L}$)
T_w =	Teoretisk oppholdstid, dvs. den tiden det i gjennomsnitt vil ta å fylle opp innsjøbassenget dersom dette hadde vært tomt (år)
$\text{Tot-P}_{\text{inn}}$	Årlig tilførsel av fosfor (kg tot-P/år)
Q =	Årlig avløp ($\text{mill m}^3/\text{år}$)

Ved bruk av vannføringsdata for 2002 til å beregne årlig avløp (Q) og teoretisk oppholdstid (Tw) gir denne modellen en akseptabel P-belastning på 395 kg Tot-P /år og en kritisk belastning på 592 kg Tot-P/år (**Tabell 6**).

Tabell 6. Modellberegning av fosfortilførsler og tilførselskonsentrasjoner til Gjersjøen. Akseptabel fosfor-konsentrasjon i innløpsvannet og akseptabel fosfor-tilførsel er beregnet ved hjelp av ligningene (1) og (2). Gjennomsnittsverdien for total-fosfor i Gjersjøen er satt ut fra hhv "akseptabel" og "kritisk" verdi gitt av Rognerud med medarbeidere (1979) i SFT-veileder 95:01.

Variabel	Enhet	Akseptabel P-konsentrasjon og P-belastning (SFT 95:01)	Kritisk belastning (SFT 95:01)
[Tot-P] innsjø	µg Tot-P/L	7	10,5
[Tot-P] tilløp	µg Tot-P/L	13,6	20,4
Tilførsler	kg Tot-P/år	395	592

Dersom vi legger inn akseptabel og kritisk belastning fra **Tabell 6** i diagrammet som er basert på Vollenweider-modellen, ser vi at SFT-modellen gir lavere estimater enn de grenseverdiene man får med den opprinnelige Vollenweider-modellen (**Figur 1**).



Figur 1. Modell for vurdering av innsjøens fosforbelastning (etter Vollenweider 1976), benyttet i vurdering av belastning av Gjersjøen gjennom en årrekke. "Akseptabel" og "kritisk" belastning, regnet ut fra SFTs grenseverdier (SFT 95:04), er lagt inn.

Dersom oppholdstiden i sjøen går opp (tørre år), vil punktene flyttes til venstre i kurven. Kritisk belastning i SFT-modellen er altså det samme som akseptabel/betenkelig belastning i Vollenweider-modellen.

2.1.2 Vollenweider-modellen

Vollenweider-modellen er fortsatt en av de mest brukte fosforbelastningsmodellene internasjonalt. Modellen tar hensyn til fosfortilførsel, innsjøens størrelse, dyp og grad av vannfornyelse. Sammenheng mellom konsentrasjon i tilløpene, konsentrasjon i innsjøen og vannets oppholdstid er gitt i ligning (3) (Berge 1987):

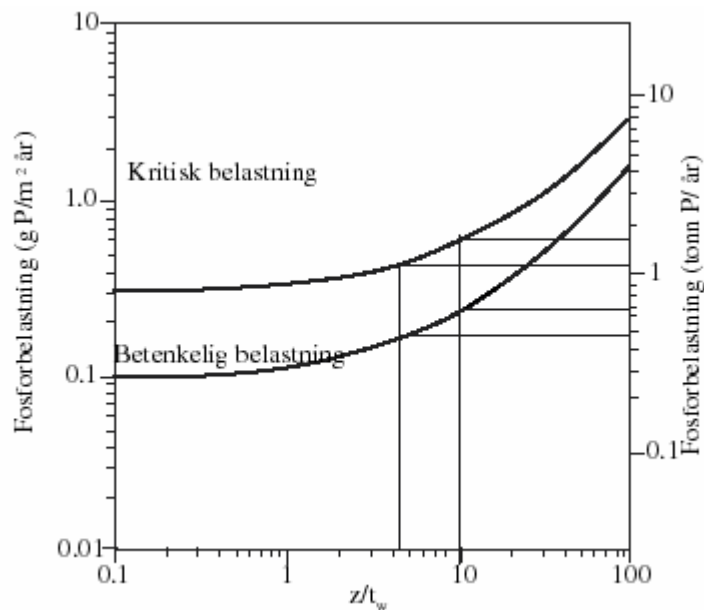
$$(3) [\text{Tot-P}]_{\text{inn}} = [\text{Tot P}]_{\text{innsjø}} (1 + \sqrt{Tw})$$

$[\text{Tot-P}]_{\text{inn}} =$	Gjennomsnittlig P- konsentrasjon i tilløp ($\mu\text{g tot-P/L}$)
$[\text{Tot-P}]_{\text{innsjø}} =$	Gjennomsnittlig P-konsentrasjon i innsjø ($\mu\text{g tot-P/L}$)
$Tw =$	Teoretisk oppholdstid, dvs. den tiden det i gjennomsnitt vil ta å fylle opp innsjøbassenget dersom dette hadde vært tomt (år)

For å beregne akseptabel fosfortilførsel benytter Vollenweider og Rognerud samme formel (ligning nr. (2))

I Gjersjøen har oppholdstiden (Tw) variert noe fra 1989 og fram til i dag, avhengig av klimatiske forhold. Grensen mellom akseptabel og betenkelig belastning vil dermed variere mellom 450 og 650 kg tilført P/år avhengig av de klimatiske/hydrologiske forholdene (**Figur 2**). Kritisk belastning innenfor samme variasjon av oppholdstid ligger mellom 1,2 og 1,7 tonn P/år. Dette viser at innsjøen tåler en noe større belastning i våte år enn i tørre år.

Vi ser at ved en sammenligning av de to modellene (**Tabell 7**) er verdiene for akseptabel og kritisk fosfor-belastning høyere ved beregning med Vollenweider-modellen enn med SFT-modellen.



Figur 2. Fosforbelastningsmodell etter Vollenweider 1976. Rette linjer angir Gjersjøens variasjonsområde i hht. klimatiske variasjoner

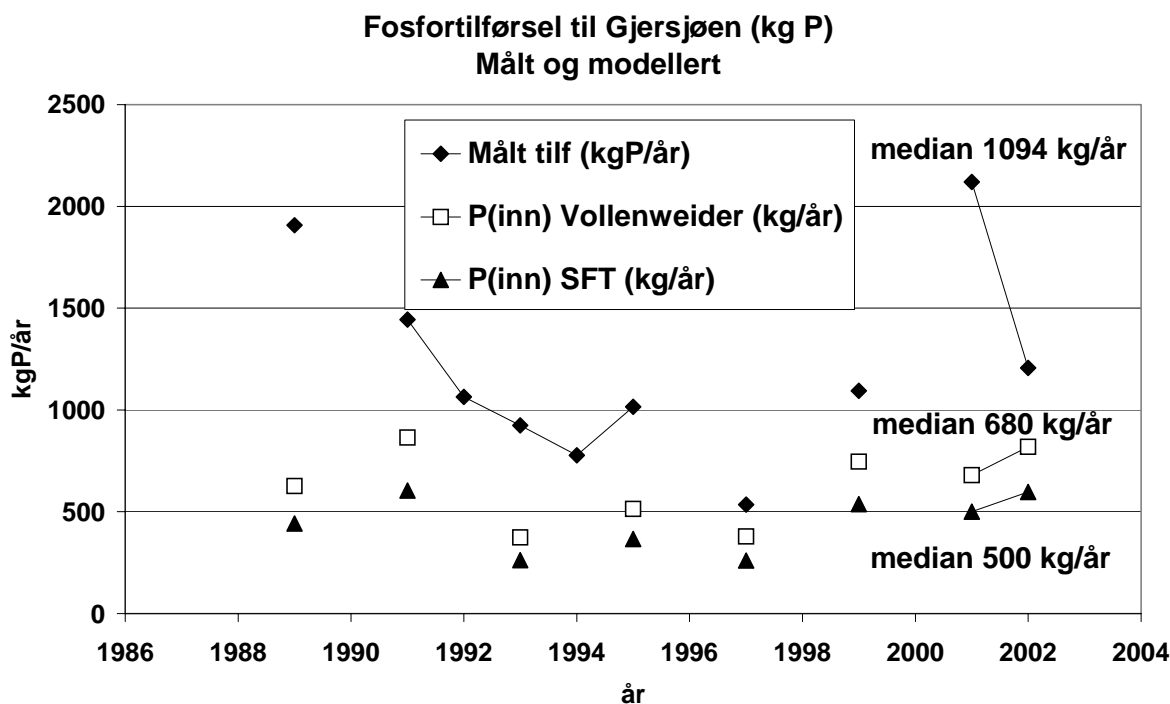
Tabell 7. Akseptabel og kritisk belastning beregnet ut fra SFTs grenseverdier for innsjøkonsentrasjon, og ut fra Vollenweider-modellen. Det er brukt samme teoretisk oppholdstid for Gjersjøen og vannføring (utløp) i begge modellene. Tallene i parentes viser beregnet belastning der det er tatt hensyn til avvik mellom modellberegningene og målte verdier gjennom en lengre tidsperiode (forklaring i avsnitt 2.1.3).

Metode	Akseptabel P-belastning (kg/år)	Akseptabel innsjøkonsentrasjon ($\mu\text{g/L}$)	Kritisk P-belastning (kg/år)	Kritisk innsjøkonsentrasjon ($\mu\text{g/L}$)
SFT-modell	395 (608)	7	592 (912)	10,5
Vollenweider-modell	450-650 (621-897)	6-8	1200-1700 (1656-2346)	15-21

2.1.3 Test av dypsjømodellene for Gjersjøen

For å teste modellberegningen kan vi sette inn dagens innsjøkonsentrasjon i modellen istedenfor den akseptable fosforkonsentrasjonen, og beregne dagens tilførsler. Disse kan sammenlignes med de tilførsler som er beregnet ut fra målte tilførselsdata. Vi har derfor benyttet målte gjennomsnittsverdier for fosfor i overflatevannet i Gjersjøen for perioden 1987-2002 i ligningene 1 og 3 til å finne hvilken tilførsel modellene estimerer (**Figur 3**). Figuren viser at begge modellene gir en underestimert i forhold til målte verdier. Medianverdien for målt årlig fosfor-tilførsel i perioden 1987-2002 var 1094 kg total-fosfor. Tilsvarende var medianverdiene for Vollenweider- og SFT-modellen på hhv. 680 og 500 kg pr. år. Gjennom måleperioden utgjør altså beregnede tilførsler ved hjelp av Vollenweider-modellen og SFT-modellen hhv. kun 62 og 50 % av de målte tilførslene.

Det kan være flere mulige årsaker til disse avvikene: Dersom en større andel av tilførslene består av partikulært materiale, vil også retensjonen - tilbakeholdelsen - i sjøen øke. Innsjøkonsentrasjonen vil da være lavere enn en vil forvente ut fra tilførslene, mao. vil tilførslene bli underestimert ved bruk av modellene. Beregnet stofftransport ut fra målte verdier inneholder også i seg selv en usikkerhet. Beregningene baserer seg på månedlige prøvetagninger, som ikke nødvendigvis fanger tilstrekkelig opp variasjoner i nedbør, vannføring og stoffkonsentrasjoner. En tilleggsmulighet er at deler av det tilførte fosforet kan felles ut som jern-komplekser, da jernkonsentrasjonen er forholdsvis høy i Gjersjøen (100-400 mg/L). Fosforkonsentrasjoner og vannføring blir også målt i tilløpsbekkene i varierende avstand fra innløp til sjøen. En viss retensjon vil skje på den gjenværende strekningen før vannet når innsjøen. Denne retensjonen vil kunne føre til en lavere innsjøkonsentrasjon som utgangspunkt for modellberegningene.



Figur 3. Målte og modellerte fosfortilførsler til Gjersjøen for perioden 1987-2002. Modellerte tilførsler er beregnet ut fra målt innsjøkonsentrasjon.

2.2 Fosforbelastning i Kolbotnvannet

2.2.1 Modellberegning for Kolbotnvannet

Med et middeldyp på 10,3 meter faller Kolbotnvannet i utgangspunktet inn under definisjonen på en grunn innsjø. For grunne innsjøer er det utviklet en annen modell (FOSRESGRU, Berge 1987), som kan brukes til å estimere den akseptable P-konsentrasjonen ut fra innsjøens middeldyp.

Modellen for beregning av akseptabel fosforkonsentrasjon for grunne sjøer (FOSRESGRU) (Berge 1987):

$$(4) [\text{Tot-P}]_{\text{innsjø}} = - 8,68 \cdot \ln(\text{middeldyp}) + 30,13$$

Der:

$[\text{Tot-P}]_{\text{innsjø}} =$ Gjennomsnittlig P-konsentrasjon i innsjø ($\mu\text{g tot-P/L}$)

Ut i fra denne modellen vil akseptabel fosfor-konsentrasjon i Kolbotnvannet være $10 \mu\text{gP/L}$. Akseptabel innsjøkonsentrasjon ligger lavere enn estimert naturtilstand. Dette betyr at den akseptable innsjøkonsentrasjonen er underestimert, eller at naturtilstanden kan være overestimert. Dette drøftes nærmere i kap. 3.

En forutsetning for også å kunne beregne eksterne tilførsler med denne fosforbelastningsmodellen er at frigivelse av fosfor fra sedimentene er ubetydelig. Da sedimentene i Kolbotnvann frigir betydelige mengder fosfor, kan denne modellen derfor ikke brukes til å estimere eksterne tilførsler for Kolbotnvannet.

3. Eksterne og interne fosfortilførsler til Kolbotnvannet

3.1 Eksterne tilførsler

For beregning av massetransport til innsjøer, er det nødvendig med konsentrasjonsdata og vannføringsberegninger for tilløpsbekkene. Vi har målte konsentrasjoner av fosfor- og nitrogen for Augestadbekken og Skredderstubekken fra 1978, men vannføringsmålinger bare for år 2002. For Midtoddveibekken har vi konsentrasjonsdata for 5 år (1978-79, 1986, 2000 og 2002), samt vannføringsdata for 2002.

Beregningene ut fra vannføring og næringssaltkonsentrasjoner, viser at de eksterne tilførslene til Kolbotnvannet fra 3 av tilløpsbekkene var ca. 134 kg fosfor i 2002. De tre bekkene som inngår i beregningene omfatter ca. 55 % (1,64 km²) av nedbørfeltarealet til Kolbotnvannet (oppgitt fra Opegård kommune). Delområdet er sterkt preget av bebyggelse og trafikk/asfalterte flater. Restfeltet, som tilsvarer 45 % (1,32 km²) av det totale nedbørfeltet til innsjøen, inneholder en blanding av tettbygd strøk og skog/naturområde. For å få et minimumsestimert på tilførslene fra restfeltet, har vi benyttet samme faktor for bakgrunnsavrenning som i "tiltaksanalyse for Gjersjøen", på 6 kg P/km² (Bratli med medarbeidere 1999). Dette gir en total ekstern fosfor-tilførsel til Kolbotnvannet på 142 kg i året.

SFT- og Vollenweidermodellen kan ikke brukes til å finne akseptabel og kritisk belastning for Kolbotnvannet, da disse modellene kun kan benyttes for innsjøer uten intern gjødsling.

3.2 Interne tilførsler

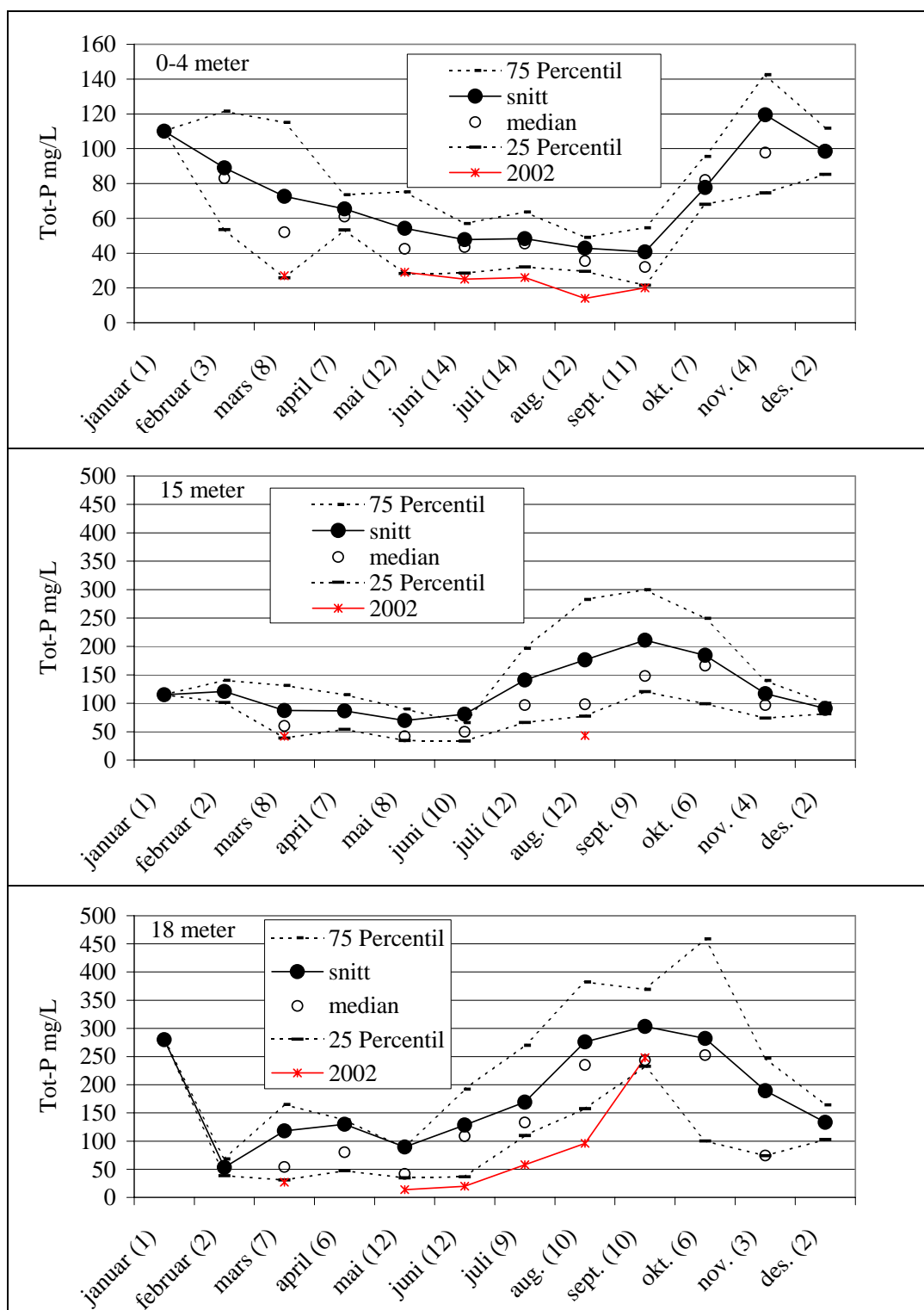
De interne tilførslene av fosfor i Kolbotnvannet skjer ved utlekking fra sedimentet under oksygenfrie forhold i stagnasjonsperiodene vinter og sommer. Sedimenter fra innsjøens dypeste punkt ble undersøkt i 1973 (Brettum og medarbeidere 1975), og var den gangen svært preget av lang tids overbelastning av kloakk. Sedimentoverflaten hadde store gassdannelser, og var svært påvirket av utfellinger med jernsulfid pga. nedbrytingsprosesser. En ny undersøkelse av sedimentene ble foretatt i 1996 (Faafeng med medarbeidere 1997). Det hadde da vært tilsatt nitrat som oksidasjonsmiddel til bunnvannet siden 1983, for å redusere frigivelsen av fosfor fra sedimentet til bunnvannet (ikke tilsatt i 1996). Høsten 1996 var det et tynt, lysebrunt "rust"-sjikt på sedimentoverflaten, som tydet på oksygenerte forhold. I 1975 var fosforinnholdet i øvre lag av sedimentet på 2,8 mg P/g tørrstoff (TS), i 1996 var innholdet i øvre sedimentlag redusert til 1,6 mg P/g TS. Under arbeidet i 1996 ble det også gjennomført et utvekslingsforsøk på sedimentkjerner fra Kolbotnvannet. Økningen i fosforkonsentrasjon i vannfasen var på 234 µgP/L i løpet av forsøksperioden på 14 dager, ved 15°C. Dette tilsvarer en utlekking på 3,4 mgP/m²/dag (Faafeng med medarbeidere 1997). Den høye temperaturen som ble brukt i forsøkene førte til at hastigheten i prosessene gikk raskere enn under naturlige forhold i innsjøen, og at utlekkingen dermed ble overestimert i disse forsøkene.

For å få et mål på bidraget av fosfortilførslen fra sedimentene til innsjøvannet, har vi sett på endringen i fosforkonsentrasjon gjennom sesongen i tre ulike dyp av innsjøen: 0-4 meter, 15 meter og 18 meter gjennom en 20-års periode (1983-2002) (**Figur 4** og **Figur 5**). Figurene viser at det skjer en svak reduksjon i totalfosfor-konsentrasjon, i størrelsesorden 3 µg tot-P/L per måned, gjennom produksjonssesongen (mai-september) i 0-4 meters dyp i Kolbotnvannet. Denne reduksjonen skyldes i

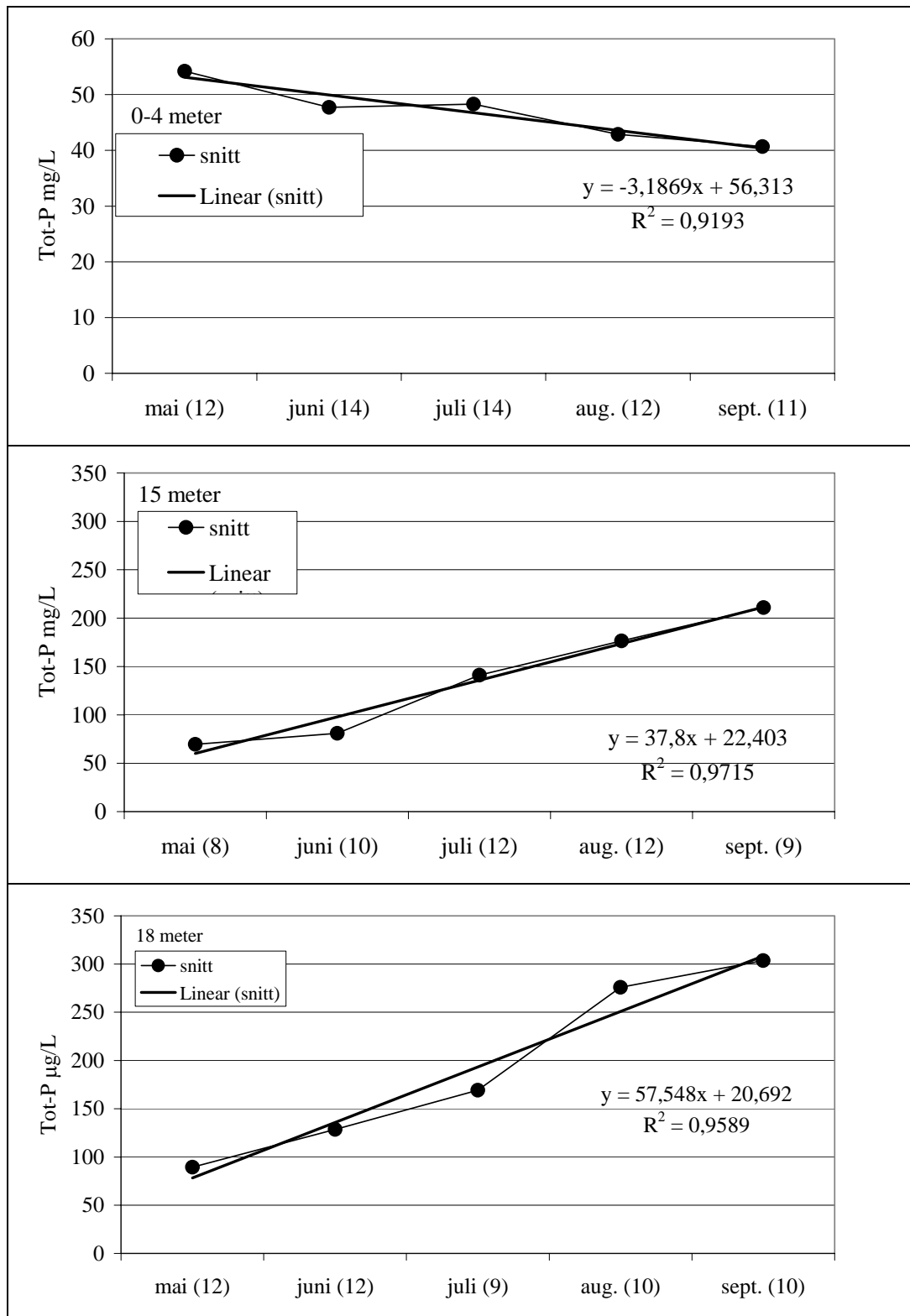
hovedsak at løst fosfor som blir tatt opp i algebiomassen gjennom primærproduksjonen, synker ned etterhvert som algene dør. En tilleggseffekt kan være utfelling av fosfor i jernkomplekser. Målinger i perioden 1983 til 1988 viser et periodevis høyt innhold av jern i både topp- og bunnlag av sjøen (vedlegg E). Tallene tyder også på en reduksjon av jern-konsentrasjonen i øvre vannlag utover i produksjonsperioden, mens 15 og 18 meters dyp har en konsentrasjonsøkning i samme periode, noe som styrker hypotesen om jernfosfat-utfellinger. Den kraftige økningen i fosfor-konsentrasjon i øvre vannlag på høsten, skyldes høstsirkulasjonen med innblanding av bunnvann med svært høye fosfor-konsentrasjoner. Konsentrasjonen av fosfor holder seg relativt høyt under isen gjennom vinteren, men avtar noe på ettervinteren. Dette skyldes også trolig utfelling av fosfor i jernkomplekser.

Figur 5 viser at fosforkonsentrasjonen i dypvannet på 15 og 18 meter øker utover i stagnasjonsperioden (mai-september), med hhv. 38 og 58 μg tot-P/L pr. måned fra mai til september. I tillegg ser vi en tilsvarende økning i fosforkonsentrasjon for 18 meters dyp i perioden februar til april/mai (vårsirkulasjon) (**Figur 4**). Økningen skyldes trolig en kombinasjon av frigjøring av fosfor gjennom nedbryting av dødt organisk materiale som synker til bunnen, og utlekking av fosfor fra sedimentet under oksygenfrie forhold. Hvor stort fosfor-bidraget er fra hver av disse to komponentene, kan vi ikke fastslå sikkert uten å evt. gjøre nye eksperimenter for å måle utvekslingen under realistiske temperatur-forhold.

Når vi tar hensyn til perioder med utlekking, samt vannvolumet fra 15 meter og ned til bunnen på 18,5 meter, tilsvarer konsentrasjonsøkningen i nedre vannlag en årlig fosformengde på ca. 42 kg (framkommet ved beregning ut fra vannvolumet i de aktuelle dybdesjiktene og den månedlige konsentrasjonsøkningen). Dette fosforet tilføres resten av vannsøylen gjennom høstsirkulasjonen, som i Kolbotnvannet normalt skjer omkring september/oktober. En tilførsel av 42 kg fosfor fordelt på hele vannvolumet tilsvarer en konsentrasjonsøkning på ca. 14 μg P/L for hele vannsøylen. Dersom denne økningen legges til gjennomsnittsverdien for sommerstagnasjonen i 0-4 meters sjiktet (47 μg), får vi en teoretisk fosfor-konsentrasjon i overflatevannet for oktober (etter innblanding) på 61 μg P/L. Gjennomsnitt av målte verdier for oktober i perioden 1983-2002 var 78 μg P/L. Her er det et avvik mellom gjennomsnittsverdien av målte data og den teoretiske verdien. Dette avviket kan forklares utfra flere faktorer; 1) Begge verdier er beregnet, og er i seg selv beheftet med en viss usikkerhet, 2) Det er ofte relativt mye nedbør på høsten, noe som gjerne medfører økte eksterne tilførsler. Dette vil slå ut på de målte verdiene, men ikke på den beregnede interne tilførselen. Dersom så er tilfelle, vil avviket til en viss grad kunne forklares ut fra P-tilførsel fra nedbørfeltet.



Figur 4. Månedsvise variasjon i totalfosforkonsentrasjon i Kolbotnvannet for perioden 1983-2002, hhv 0-4 meter (øverst), 15 meter (midten) og 18 meter (nederst) dyp. Fylte sirkler angir middelvei per måned, åpne sirkler viser tilsvarende medianverdi. Stiplede linjer viser 25 (nedre)- og 75-percentilene (øvre), dvs. 50 % av verdiene rundt middelveien av datamaterialet ligger innenfor dette området. Målte fosfor-verdier for sesongen 2002 er vist i rødt, til sammenligning. Tallene i parentes etter månedsnavnene angir antall år som er med i beregningen. Merk: ulik skala for Y-aksen 0-4 meters dyp.



Figur 5. Endringer i gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i ulike dybdelag (hhv.0-4, 15 og 18 meter) i Kolbotnvannet gjennom sommerstagnasjonsperioden (mai-september). Datagrunnlaget er fra målinger foretatt i perioden 1983-2002. Tallene i parentes etter månedsnavnene angir antall år som er med i beregningene. Merk: ulik skala for Y-aksen 0-4 meters dyp.

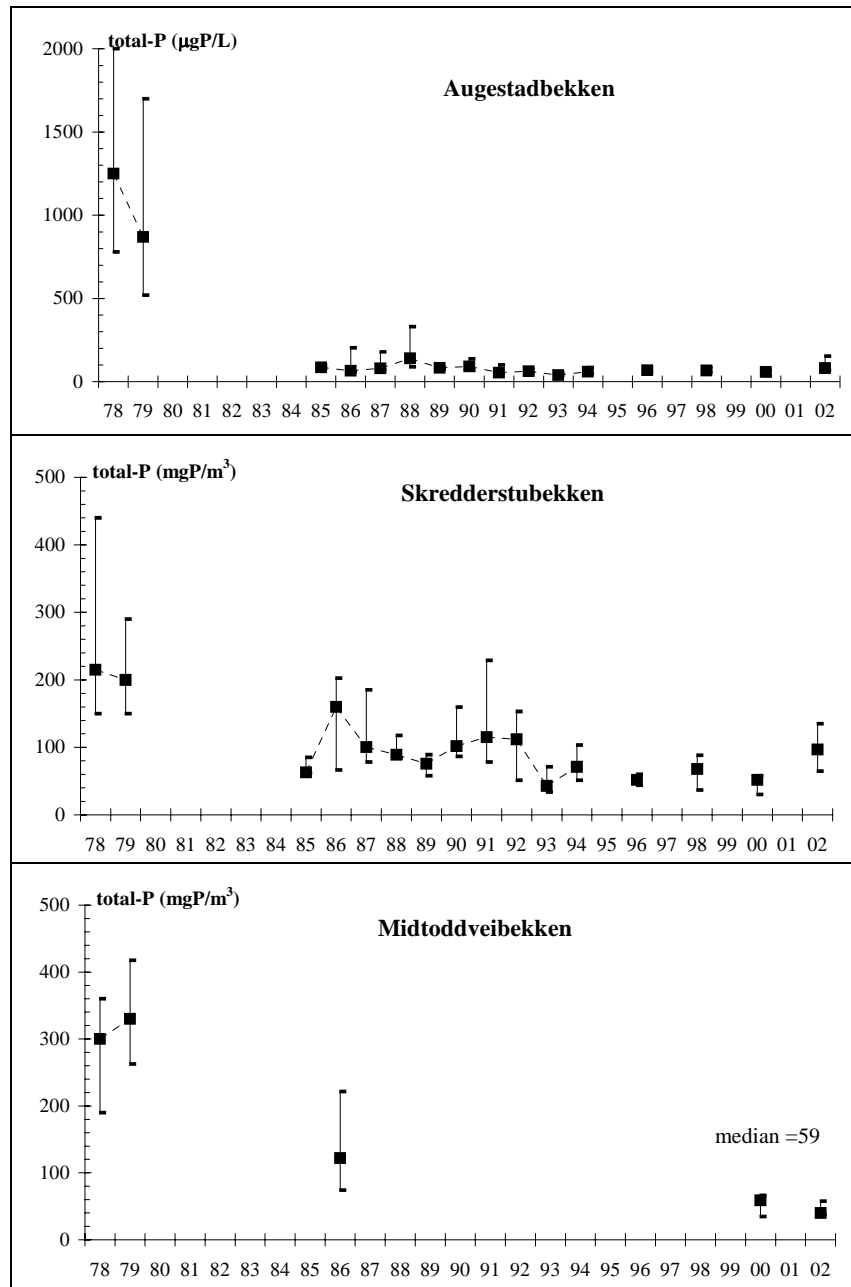
3.3 Har tilførslene endret seg over tid?

3.3.1 Eksterne tilførsler

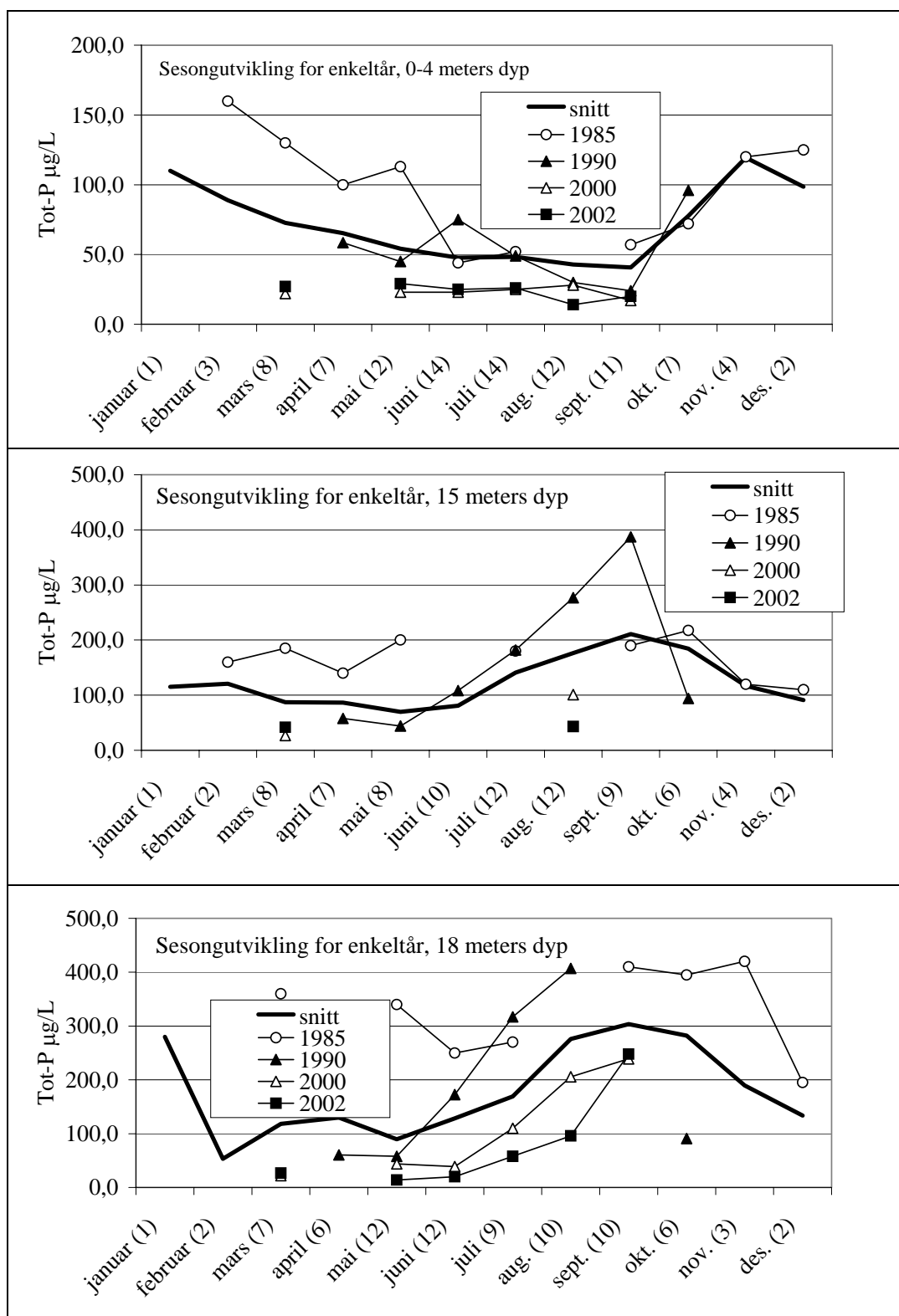
For årene før 2002 vet vi lite om vannføringen i tilløpsbekkene til Kolbotnvannet - om den har vært på samme nivå som i dag, eller om den har endret seg. I følge opplysninger fra kommunen, kan det tyde på at iallefall vannføringen i Skredderstubekken har økt de siste årene. Tidligere har denne bekken (via kum) blitt brukt til å dosere kalksalpeter til bunnvannet i Kolbotnvann, men dette har vært vanskelig å gjennomføre de siste årene pga. økt vannføring i kummen om våren. Ut fra målinger av nitrogen- og fosforkonsentrasjoner gjennom 23 år, ser vi at de største reduksjonene for alle tre bekkene skjedde fra slutten av 1970-tallet til midten av 80-tallet (**Figur 6**). Gjennom 90-tallet og fram til i dag har endringene i næringssaltkonsentrasjoner for Augestadbekken og Skredderstu-bekken vært små.

3.3.2 Interne tilførsler

Ved å sammenligne tilfeldig utvalgte år, ser det ut til at utviklingen i de ulike vannlagene i hovedtrekk følger det samme mønsteret gjennom hver sesong: Det ser ut til å skje en svak reduksjon av totalfosforkonsentrasjon i 0-4 meters sjiktet, og en anriking av fosfor i 15 og 18 meters dyp gjennom sommerstagnasjonsperioden (**Figur 7**). Videre ser det ut til at konsentrasjonsøkningen i bunnlagene for perioden mai-september fortsatt er i samme størrelsesorden, til tross for at konsentrasjonsnivået er lavere i 2000 og 2002 enn i 1985 og 1990. I praksis betyr dette at tilførslene av fosfor fra bunnvannet til hele vannsøylen (gjennom høstsirkulasjonen) er de samme nå som før.



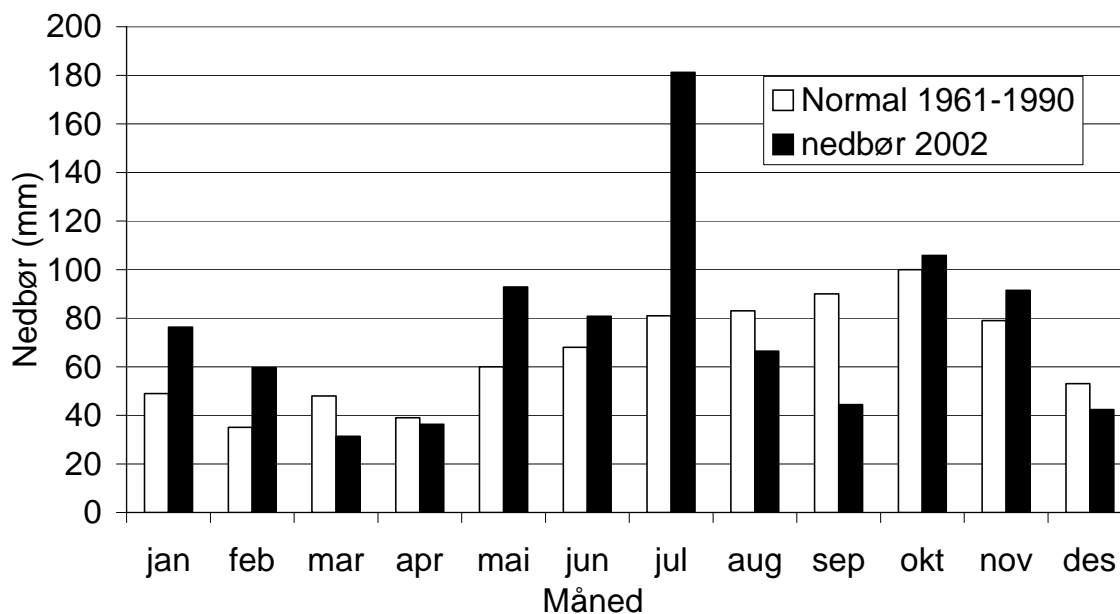
Figur 6. Tidsutvikling av fosforverdier i 3 tilførselsbekker (Augestad-, Skredderstu- og Midtoddveibekken) til Kolbotnvannet i perioden 1978-2002. Den lille firkanten angir den midterste (median) av alle sorterte verdier for ett år. Halvparten av alle målte verdier for hvert år ligger innenfor den vertikale linjen, slik at 25% av alle verdiene for ett år er mindre enn nederste punkt den vertikale linjen (nedre kvartil), mens 25% av verdiene er større enn den øverste punkt på den vertikale linjen (øvre kvartil). *Merk: Ulik skala på Y-aksen for Augestadbekken*



Figur 7. Tidsutvikling for månedlige endringer i fosforkonsentrasjon i tre dybdelag (0-4 meter, 15 meter og 18 meter) i Kolbotnvannet. Snittverdien er for perioden 1983-2002, også vist i **Figur 4**. Årlig utvikling vist for årene 1985, 1990, 2000 og 2002. *Merk: ulik Y-skala for figur 0-4 meter.*

3.4 Hvilken betydning har fordeling av tilførslene gjennom sesongen?

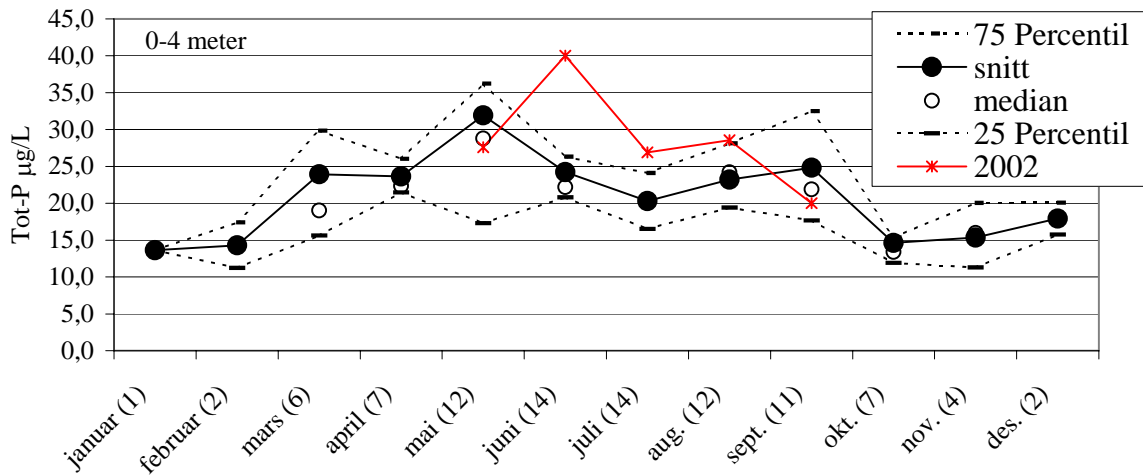
De eksterne tilførslene blir tilført sjøen hele året, gjennom tilløpsbekker, evt. punktutslipp direkte til sjøen, og nedbør - direkte og via nedbørfeltet som diffus avrenning. Normalt vil vannføring og avrenning fra nedbørfeltet være størst på høsten, da nedbørmengdene vanligvis er høyest (**Figur 8**). Avrenningen kan også ha en topp om våren, under snøsmeltingen i mars/april.



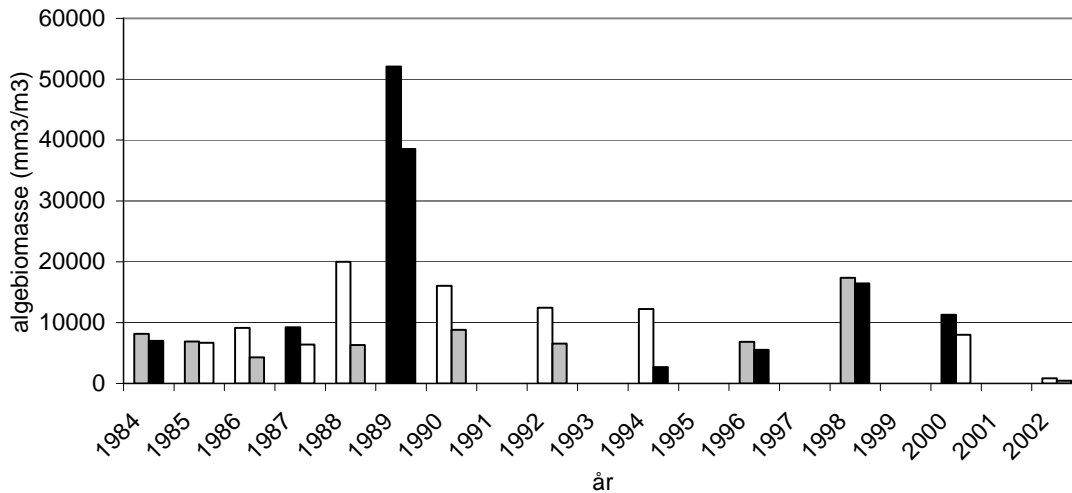
Figur 8. Nedbørmålinger fra værstasjon på Ås, NLH 2002.

De interne tilførslene av fosfor fra bunnvannet blir tilgjengelige i overflatevannet først etter høstsirkulasjonen. På den tiden er algenes primærproduksjon i hovedsak over. Disse næringssaltressursene blir derfor ikke benyttet i særlig grad før neste vekstsesong. Sannsynligheten for at disse ressursene da blir utnyttet av potensielt giftproduserende blågrønnbakterier kontra andre mer harmløse algearter er større under lave forholdstall mellom nitrogen og fosfor i vannfasen: Blågrønnbakterier dominerer sjelden ved (N/P-forhold (vekt) > 100 (Faafeng 1998). I perioden 1983-2002 var N/P-forholdet i Kolbotnvannet lavt med gjennomsnitt på ca. 20 på sensommeren (**Figur 9**). Sammenlignet med verdiene for 2002, ser vi en svak tendens til at dette forholdstallet er i ferd med å øke. Gitt at dagens nitrogenverdi holdes konstant, og fosforkonsentrasjonen i Kolbotnvannet reduseres til "akseptabel verdi" på 10 µg/L, (jfr. grunnsjømodellen s.16) vil N/P-forholdet ligge omkring 66. Tilsvarende vil forholdstallet ved en innsjøkonsentrasjon på 15 µgP/L gi et N/P-forhold på 44. Selv om dette forholdstallet fortsatt er langt under 100, vil trolig hyppigheten av oppblomstringer gå ned, og biomassetoppene bli mindre. Ved oppblomstring av blågrønnbakterier i Kolbotnvannet, er det i hovedsak artene *Anabaena flos-aqua*, *A. solitaria* f. *planctonica* og *Planktothrix agardhii* som har dominert. Alle disse artene er potensielt toksiske.

Det ser ikke ut til at den relativt kraftige tilførselen av fosfor gjennom høstsirkulasjonen fører til en systematisk kraftigere våroppblomstring av planteplankton (**Figur 10**), noe en kanskje kunne forvente. En årsak til det kan være en delvis utfelling af fosfor under isen.



Figur 9. Variasjon i N/P-forhold (vektbasis) i 0-4 meters dyp i Kolbotnvannet gjennom perioden 1983-2002.



Figur 10. Årlige maksimale algebiomasser målt i Kolbotnvannet på 0-4 meters dyp, i perioden 1984-2002. De to høyeste verdiene pr. år er tatt med. Hvit søyle er vår-verdier (mars-mai), grå søyler er sommer-verdier (juni-juli) og svarte søyler er høst-verdier (august-september).

4. Miljømål

Foreløpig miljømål for vannkvalitet settes vanligvis ut fra nåværende miljøkvalitet og en prioritering for bruk og vern av en vannforekomst - gjerne uttrykt som *egnet* for et bestemt formål. Det kan være egnet i forhold til bading og rekreasjon, samt som råvann til drikkevann, jordbruksvanning eller fritidsfiske. Kriteriene for de ulike egnethetsklassene er beskrevet i SFT-veileder 97:04. Endelige miljømål fastsettes i en politisk prosess knyttet opp mot de foreløpige miljømålene, alternative tiltakspakker, samt nytte- og kostnadsvurderinger.

EUs Vanddirektiv (EU 2000) krever god økologisk status som minimumskrav til miljømål. Naturtilstanden representerer høy status i hht. Direktivet. Høy status er en tilstand der systemet kun har minimal påvirkning av menneskelig aktivitet. God økologisk status defineres som mindre avvik fra naturtilstanden for den enkelte lokalitet, men dette er foreløpig ikke nærmere utdypet. Kriteriene for klassifikasjonssystemet i Vanddirektivet er under utvikling, og et nytt klassifikasjonssystem for fastsettelse av økologisk status er planlagt ferdig ved utgangen av 2006.

Både for dagens og framtidens klassifikasjonssystem er *naturtilstanden* grunnlaget for vurderingen av hvor et realistisk miljømål kan settes. Naturtilstanden vil representere en tilnærmet upåvirket lokalitet. Miljømålet mhp. fosforkonsentrasjon må derfor alltid være høyere enn naturtilstanden for alle nedbørfelt med menneskelig aktivitet.

4.1 Dagens vannkvalitet

Vannkvaliteten i Gjersjøen og Kolbotnvannet, både mhp. kjemi og biologi, har hatt en positiv utvikling gjennom de siste 20 årene (**Tabell 8**).

Tabell 8. Tidsutvikling i vannkvaliteten i Gjersjøen og Kolbotnvannet uttrykt gjennom SFTs Tilstandsklasser (Oredalen og medarbeidere 2003). Årlig sesongmiddelverdi for hver variabel er gitt som tallverdi.






Gjersjøen

År	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2002
TotalP (µg/l)	24	21	20	18	19,1	16,4	16,4	15	12	9,9	10,6	12,2	13,0	11
Klorofyll (µg/l)	15	12	15	15	14	8,8	11,8	7,4	6,8	3,9	4,6	3,9	4,8	3
Sikt (m)	2	2	2	2	2	2,1	2,7	2,6	3,4	3,6	3,9	3,9	3,3	3,7
TotalN µg/l)	1671	1400	1500	1438	1630	1350	1630	1563	1771	1800	1529	1560	1300	1280

Kolbotnvann

År	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
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
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
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
TotalN µg/l)	1233	1033	1321	1367	1390	1136	1010	1197	913	1000	817	920	617	660

Fargeforklaring: Tilstandsklasser (SFT 1997):

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

4.2 Dagens egnethet

Egnethet til ulike bruksformål (mhp. totalfosfor) ut fra dagens vannkvalitet i Gjersjøen og Kolbotnvannet er vist i **Tabell 9** under. Tilsvarende kriterier er utarbeidet også for andre variabler, som f.eks. klorofyllkonsentrasjon, termotolerante koliforme bakterier og siktedyp.

Tabell 9. Klassifisering av egnethet for ulike brukerinteresser, ut fra dagens vannkvalitet i Gjersjøen og Kolbotnvannet (SFT 97:04)

Brukerinteresse	Dagens egnethet (Tot-P)	
	Gjersjøen	Kolbotnvannet
Råvann drikkevann	(3) Mindre egnet*	(4) Ikke egnet
Bading og rekreasjon	(3) Mindre egnet	(4) Ikke egnet
Jordbruksvanning	(2) Egnet**	(3) Mindre egnet
Fritidsfiske	(2) Egnet**	(3) Mindre egnet

* Med de renseanordninger som brukes ved Oppegård vannverk, ligger råvannskvaliteten innenfor veiledende grenseverdier

** Sjøen ligger helt på grensen til egnethetsklasse (1) "Godt egnet" for jordbruksvanning og fritidsfiske

Dagens egnethet for ulike bruksinteresser mhp. bakterier kan ikke presenteres pga. manglende data for Kolbotnvannet. Målinger fra tilløpsbekkene viser derimot periodevis svært høye bakterietall, noe som tilsier at Kolbotnvannet er "Ikke egnet" til f.eks. bading i nordre del. Bakteriemålinger i Gjersjøen viser at innsjøen er "Godt egnet" til bading mhp. denne variabelen.

4.3 Foreløpige miljømål

De fleste eutrofieringsmodellene for ferskvann fokuserer på fosfor, fordi dette i de fleste innsjøer er det begrensende stoffet for algevekst. I en innsjø der algemengden styres av tilgang på fosfor (og ikke av andre faktorer, som for eksempel nitrogen, lysbegrensning eller algebeiting fra dyreplanktonet) vil en reduksjon i fosfor-konsentrasjon som hovedregel føre til redusert algevekst og klorofyllkonsentrasjon, samt økt siktedyp. Arbeidet med foreløpige miljømål fokuserer derfor i stor grad på fosfor som grunnlag for beregninger av forventet naturtilstand, akseptabel og kritisk fosforbelastning, samt dagens vannkvalitet.

Det eksisterende miljømålet for Gjersjøen er satt til 8 µgP/L (Bratli med medarbeidere 1999). Naturtilstanden for fosfor i Gjersjøen ble estimert til 6-7 µg/L. Den laveste sesongmiddelverdien for fosfor som er målt i Gjersjøen var på 9,9 µg P/L (1995). Ut i fra konsentrasjonene og stofftransport i tilførselselvene til Gjersjøen vet vi at det fortsatt er potensiale for betydelige reduksjoner. Vi foreslår derfor et fortsatt miljømål på 8 µg Tot-P/L som miljømål for Gjersjøen mht. fosfor.

Eksisterende miljømål for Kolbotnvannet er en innsjøkonsentrasjon på 20 µgP/L (Bratli med medarbeidere 1999). Dette miljømålet innebærer en vannkvalitet som i liten grad vil kunne oppfylle brukerinteressene mht. bading og rekreasjon. Med en fosforkonsentrasjon på 20 µgP/L vil fortsatt faren for oppblomstring av potensielt giftige alger være relativt stor. Naturtilstanden ble estimert til 11-12 µg/L. Beregningene i 3.2 viser at de interne tilførselene i Kolbotnvannet alene bidrar med ca. 42 kg fosfor i året. FOSRESGRU-modellens estimat for akseptabel tilførsel kan ikke brukes til å estimere akseptabel P-belastning for Kolbotnvannet pga. de interne tilførselene. Det er heller ikke utviklet andre modeller som kan gi et endelig svar på hvor målet bør ligge. Vi forsøker derfor å anslå et miljømål utfra det vi vet om dagens tilstand og tilførsler, samt ut fra generell kunnskap om forholdet mellom fosforkonsentrasjon og faren for oppblomstring av potensielt giftige alger. Målet bør også være

motiverende og "noe å strekke seg etter", samtidig som det bør være realistisk. Et miljømål på 15 µg/L vil kunne være oppnåelig, og samtidig gi mer egnet vannkvalitet for bading og rekreasjon enn dagens miljømål på 20 µg/L. Mht. bakterieinnhold bør miljømålet være mindre enn 100 TKB/100ml, som er grensen mellom egnet og mindre egnet for bading og rekreasjon.

Forslagene til foreløpig miljømål for de to innsjøene er oppsummert i **Tabell 10**:

Tabell 10. Forslag til foreløpige miljømål for Gjersjøen og Kolbotnvannet. Tabellen angir tilstandsklassene gitt i SFTs klassifiseringssystem (SFT 97:04). Tallverdiene i fet skrift er konsentrasjonen av total-fosfor vi anser som et realistisk miljømål for hver av innsjøene. Tallene i parentes viser nedre og øvre nedre grense for tilstandsklassen (µg tot-P/L).

	I "Meget"	II "God"	III "Mindre"
Gjersjøen		9 (7-11)	
Kolbotnvanne			15 (11-20)

Dersom miljømålene nås, vil dette også medføre endret klassifisering av egnethet for de to sjøene i forhold til dagens tilstand (**Tabell 11**). Gjersjøen vil bli godt egnet til jordbruksvanning og fritidsfiske, og egnet til bading og rekreasjon. Kolbotnvannet vil bli egnet til jordbruksvanning og fritidsfiske, men fremdeles mindre egnet til bading og rekreasjon - tilsvarende klassifiseringen for Gjersjøen i dag. Faren for giftalger vil likevel være mindre ved 15 enn ved 20 µgP/L, slik at egnetheten for bading vil være bedre ved 15 enn ved 20 µgP/L. For å benytte Kolbotnvannet til bading vil det, i tillegg til redusert fosfor-konsentrasjon og økt siktedyp, være viktig å få kontroll med utslipp av termotolerante koliforme bakterier (T.coli) til sjøen. Dagens bakterietall i tilløpsbekkene er i perioder svært høye, med en 90-percentil i Augestad- og Skredderstubekken for 2002 på hhv. 28000 og 15900 T.coli/100 mL. Dette tilsier at vannet er "Ikke egnet" til bading og rekreasjon mhp. bakterieinnhold.

Bakterienivåene i Kolbotnvannet er helt sentrale i forhold til om det vil la seg gjøre å oppnå en tilstrekkelig stabil badevannskvalitet. De dominerende tilførselsbekkene renner ut på omtrent samme sted, i Storebukta. I dette området vil det nok bli vanskelig å klare å oppnå en stabil badevannskvalitet ut fra dagens forhold og arealbruk. Det er også andre naturlige forhold som taler imot bading i Storebukta. Hvis en ser til de naturlige forutsetningene for bading i Kolbotnvannet, finnes de primært i vannets søndre del. Her er påvirkningen fra tettbebyggelsen betraktelig mindre. Et minstekrav bør derfor være å oppnå miljømålet for bakterier (< 100 TKB/100ml) i hver fall i denne delen av innsjøen.

Tabell 11. Klassifisering av egnethet (SFT 97:04) for ulike brukerinteresser, dersom de foreløpige miljømålene oppnås for Gjersjøen og Kolbotnvannet.

Brukerinteresse	Egnethet (Tot-P) ved oppnåelse av miljømål	
	Gjersjøen	Kolbotnvannet
Råvann drikkevann	(2) Egned*	(3) Mindre egnet
Bading og rekreasjon	(2) Egned	(3) Mindre egnet
Jordbruksvanning	(1) Godt egnet	(2) Egned
Fritidsfiske	(1) Godt egnet	(2) Egned

* Med de rensenanordninger som brukes ved Oppegård vannverk, ligger råvannskvaliteten innenfor veiledende grenseverdier

4.4 Nødvendige reduksjoner for å nå miljømålene

Framtidig avlastningsbehov vil være differansen mellom dagens belastning og akseptabel belastning ut fra det valgte miljømålet.

Gjersjøen

Settes miljømålet til 8 µgP/L for overflatevannet i Gjersjøen, er de akseptable tilførslene tilsvarende beregnet til 451 (SFT) og 650 kg (Vollenweider) fosfor pr. år. Som vist i **Figur 3** gir beregningene av dagens tilførsler gjennom SFT- og Vollenweider-modellen hhv. kun 46% og 62% av de faktisk målte tilførslene. Dersom modellene justeres for dette avviket, ville den årlige akseptabel belastningen til Gjersjøen være på ca. 900 kg. Reelle tilførsler, ut fra et miljømål på 8 µg P/L i Gjersjøen, bør derfor reduseres til et nivå på mellom 650 og 900 kg (Vollenweider). Gjennomsnittlige årlige tilførsler på 1990-tallet var 1107 kg. Fordi årsakene til avviket mellom modellberegningene og målte tilførselsverdier ikke er helt klarlagte, mener vi det er riktig å legge inn en sikkerhetsmargin i vurderingen. Ved et miljømål for Gjersjøen på 8 µg tot-P/L, anbefaler vi derfor at fosfortilførselen ikke bør overstige 700 kg/år, noe som medfører en reduksjon på ca. 400 kg fosfor i året (ut fra snittverdi). En slik reduksjon betyr at ca. 36 % må fjernes, dersom miljømålet på 8 µg tot-P/L skal nås beregnet ut fra gjennomsnittsbetlastningen på 1990-tallet.

Kolbotnvannet

For å beregne avlastningsbehovet for fosfortilførsler til Kolbotnvannet har vi tatt utgangspunkt i målte eksterne og interne tilførsler til Kolbotnvannet, samt utløpskonsentrasjon, retensjon og målt innsjøverdi (alle 2002-verdier). Vi har deretter benyttet samme verdier for vannmengder og retensjon for å finne området for framtidig akseptabel P-tilførsel - utfra en målsetning om en innsjøkonsentrasjon på 15 µg tot-P/L. I beregningene har vi forutsatt at det interne bidraget på 42 kg, samt bidraget fra restfeltet på 8 kg, er uendrede.

Beregninger med 2002-vannføring i de tre tilførselsbekkene til Kolbotnvannet viser at en innsjøkonsentrasjon på ca. 15 µg tot-P/L kan oppnås ved en ekstern tilførsel fra tilløpsbekkene på 36-71 kg P/år (**tabell 12**). Beregningene viser at de totale tilførslene etter avlastningen ikke bør overstige 86-121 kg i året, hvorav de interne tilførslene vil utgjøre 42 kg. De ekstern tilførslene bør derfor reduseres fra 142 kg P/år til 44-79 kg P/år. Avlastningsbehovet for de årlige eksterne tilførslene til Kolbotnvannet blir ut fra dette ca. 63-98 kg, dvs. 44-69 % av dagens eksterne belastning. Den enkle modellen vi har brukt til beregning av ekstern tilførsel gir et relativt grovt estimat for avlastningsbehovet, bl.a fordi den i stor grad bygger på vannføringsmålinger fra kun ett år. Sammenhengen mellom tilførsel og innsjøkonsentrasjon er også svært forenklet i forhold til dynamikken som finnes i innsjøsystemer som dette. I tillegg er trolig ikke alle tilførsler i nedbørfeltet fanget opp og regnet med. På grunn av disse usikkerhetene anbefaler vi at den nedre delen av det beregnede intervallet benyttes. *Dette medfører en anbefalt reduksjon av ekstern P-belastning til Kolbotnvannet på minimum 80 kg. En slik reduksjon vil tilsvare ca. 56 % av dagens eksterne belastning, eller 60% av tilførslene fra de tre tilførselsbekkene.*

Tabell 12. Forslag til akseptabel fosfor-tilførsel til Kolbotnvannet, for å nå et miljømål på 15 µg P i overflatevannet. Kolonne 1: De eksterne tilførslene til Kolbotnvannet er beregnet til 142 kg fosfor i året, hvorav 134 kg kommer fra tilløpsbekkene (1) og 8 kg fra restfeltet (2). Tilførslene fra bekkene er beregnet ut fra målt vannføring (3) multiplisert med målte fosforkonsentrasjoner (4). Den interne fosfortilførselen er beregnet til 42 kg årlig (5). Til sammen gir dette en total tilførsel til Kolbotnvannet på 184 kg (7). Ikke alle disse tilførslene blir værende i innsjøen: 84 kg fosfor ble i 2002 transportert ut av Kolbotnvannet via Kantorbekken. Dette tilsier at 100 kg ble værende i innsjøen, noe som tilsvarer en retensjon på 54% (6). Dersom dette fosforet ble fordelt jevnt gjennom hele vannvolumet ($3,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), ville dette gitt en innsjøkonsentrasjon på 29,7 µg/L (9). Dette er en teoretisk verdi, fordi kjemiske, biologiske og fysiske prosesser vil føre til variasjoner i konsentrasjon gjennom sesongen og i ulike deler av innsjøen. Gjennomsnittet av de målte konsentrasjonene i overflatevannet gjennom sesongen 2002 var på 22,8 µg/L (10). Dette utgjør 71% (11) av den teoretiske beregnede innsjøkonsentrasjonen (9). I Kolonne 2 og 3 har vi gjort tilbakeregninger til hvilke fosfortilførsler sjøen kan motta, for å oppnå en innsjøkonsentrasjon på 15 µg P/L. I kolonne 2 er det observerte avviket mellom teoretisk og målt innsjøverdi i 2002 tatt hensyn til før tilbakeregning, mens i kolonne 3 er den teoretiske innsjøverdien satt lik miljømålet på 15 µg P/L.

	Variabel	1	2	3	Kommentar
(1)	Kg P innløpsbekker	134*	71	36	*Beregnet på grunnlag av vannføring og P-konsentrasjoner i 2002
(2)	Kg P restfelt	8	8	8	Ut fra et areal på restfeltet (1,32 km ²) oppgitt av Oppegård kommune, og en arealfaktor på 6 kg P/km ² (Bratli med medarbeidere 1999)
(3)	Vf innløp (m ³)	1162000	1162000	1162000	Målinger fra 3 innløpsbekker 2002
(4)	P-kons. innløp (mg/m ³ = µg/L)	115,3	61,1	31,1	(1) (mg) / (3)
(5)	Intern gjødsling (kg)	42	42	42	
(6)	Retensjon (%)	54	54	54	(7) - utløp Kantorbekken 2002 (84 kg) *100 % / (7).
(7)	P til innsjø (kg)	184	121	86	Sum [(1)+(2)+(5)]kg
(8)	Retensjon innsjø (kg)	100	65,4	46,5	(7) * (6) / 100
(9)	Retensjon fordelt hele volum (µg/L)	32,1	21,1	15	(8) (mg) / innsjøvolum (m ³). Innsjøvolum: 3100000 m ³
(10)	Målt*/estimert** innsjøkonsentrasjon (0-4 meter):	22,8*	15**	10,7**	** (9)*(11)
(11)	Avvik mellom (9) og (10) i 2002	0,71			Gjennomsnittlig innsjøkons.(µg/L) i 2002 utgjorde 71% av (9)

Dersom vannkvaliteten i Kolbotnvannet mhp. termotolerante koliforme bakterier skal kunne plasseres i tilstandsklasse III "Mindre god" (50-200 bakt/100 mL), må det *betydelige* reduksjoner til i de tre tilløpsbekkene. I dag har Augestad-, Skredderstu- og Midtoddveibekken bakterietall (90-percentiler) på hhv. 27540, 15000 og 2580 termotolerante bakterier/100 mL. Vi anbefaler også en overvåking av bakterieinnholdet i selve Kolbotnvannet, med vekt på den sydlige delen, der mesteparten av badingen foregår i dag.

5. Tiltakskategorier i Kolbotnvannet

5.1 Eksterne tilførsler

Da de eksterne tilførslene gjennom tilløpsbekkene utgjør minst 73 % av de totale tilførslene til Kolbotnvannet (eksterne + interne, se **Tabell 12** side 30) er det av avgjørende betydning for utviklingen av vannkvaliteten i Kolbotnvannet at tilførslene via tilløpsbekkene reduseres. Tiltakene bør utføres slik at de samlet avlaster minst 80 kg P pr. år fra eksterne tilførsler, dersom man skal nå miljømålet på 15 µg Tot-P/L.

Avløpstiltak

Tiltak mot spredt avløp

Kolbotnvannet ligger i hjertet av bebyggelsen i kommunen med et godt utbygget offentlig avløpsnett. Tiltak mot avløp i spredt bebyggelse er således mindre relevant her.

Tiltak for forbedring av det kommunale kloaknettet

Hoveddelen av reduksjonen av de eksterne tilførslene må oppnås ved forbedringstiltak på det offentlige avløpssystemet, herunder tiltak både på spillvannnettet (rehabilitering, økt driftssikkerhet på pumpestasjoner i nedslagsfeltet, etc) samt på overvannnettet (lokalisering av feilkoblinger, rensing av forurenset overvann, etc).

Landbrukstiltak

Tiltak innen landbruket synes mindre aktuelt, da det er svært lite jordbruksareal i nedbørfeltet til Kolbotnvann (Bratli med medarbeidere 1998).

Fangdammer ved utløpet av Augestad- og Skredderstubekken

For å redusere en større andel av utslippene av fosfor, nitrogen og bakterier som kommer med de to viktigste tilløpsbekkene kan det være aktuelt å etablere en rensepark/fangdam ved utløpet av disse to bekkene. Et nylig avsluttet prosjekt med fangdammer (konstruerte våtmarker) rundt Akersvannet i Vestfold fylke, viste at de 11 anleggene holdt tilbake 314 kg fosfor årlig fra dyrka mark (Bach med medarbeidere 2003). Det var stor variasjon i renseeffekten i de ulike anleggene, og ett anlegg stod for hele 59 % av fosforfjerningen. Foruten å være et supplement til tiltak på avløpsnettet, kan et biologisk filter av denne typen virke som et "sikkerhetsnett" i forhold til episoder med overløp og større lekkasjer på nettet.

5.2 Interne tilførsler

Det finnes en rekke tiltak som kan brukes for å redusere de interne fosfortilførslene: De mest aktuelle for Kolbotnvann er presentert kort nedenfor. Disse tiltakene vil ikke kunne erstatte tiltak mot eksterne tilførsler, men vil kunne bidra til at miljømålet nås raskere.

Fortsatt lufting

Dette er et rimelig tiltak som kan gi god effekt mot intern lekkasje av fosfor fra sedimentene. Vi anbefaler at dette tiltaket videreføres.

Fortsatt nitrat-dosering

Dersom de hydrologiske problemene med doseringen kan løses uten for store kostnader, anbefales en gjenopptaking av nitratdoseringen i innsjøen, da dette er et viktig tiltak for å holde sedimentoverflaten oksydert, og hindre anaerob utlekking av fosfor.

Fjerning/tildekking av sediment

Det vil selvsagt være en mer permanent løsning av de interne gjødslingsproblemene, men vil trolig være svært kostnadskrevende. Da de interne tilførslene kun utgjør < 25% av de totale tilførslene (42 kg : (42 kg +134 kg) anbefales ikke slike tiltak i første omgang..

Manipulering av fiskebestanden

Reduksjon av bestanden av dyreplanktonspisende mort kan være et effektivt tiltak for å dempe de interne tilførslene av fosfor fra sedimentene, samt for å bedre innsjøens selvrensingsevne, slik at man får mindre blågrønnalger ved en gitt fosforkonsentrasjon. Eksempler på slike tiltak kan være utfisking, eller utsetting av gjørs, slik det ble gjort i Gjersjøen i 1982 (Brabrand & Faafeng 1993, Borgstrøm med medarbeidere 1995). En forutsetning for et slikt tiltak, vil være en grundig fiskeundersøkelse i forkant. Vi anbefaler at dette tiltaket utredes nærmere mht. kostnadseffektivitet.

6. Referanser

- Bach R., Braskerud B.C., Eggestad H.O. 2003. Tilbakeholdelse av fosfor og jordpartikler i fangdammene rundt Akersvannet. Jordforsk rapport nr. 30/03. ISBN 82-7467-456-1, 36 sider.
- Berge D. 1987. Fosforbelastning og respons i grunne og middels grunne innsjøer. Hvordan man bestemmer akseptabelt trofinivå og akseptabel fosforbelastning i sjøer med middeldyp 1,5-15 meter. NIVA-rapport - Inr. 2001, 44 sider.
- Borgstrøm, R., Jonsson, B., L'abée-Lund, J.H., 1995. Ferskvannsfisk. Økologi, kultivering og utnytting. Sluttrapport fra forskningsprosjektet "Fiskeforsterkningstilyak i norske vassdrag" (FFT), Norges Forskningsråd. ISBN 82-12-00489-9, 268 sider.
- Brabrand, Å., and Faafeng, B. 1993. Habitat shift in roach (*Rutilus rutilus*) induced by pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) introduction: predation risk versus pelagic behavior. *Oecologia* 95: sidene 38-46.
- Bratli J.L., Våje P.I. (Jordforsk), Skiple A. 1999. Tiltaksanalyse for Gjersjøen. NIVA-Inr. 3957, 52 sider.
- Brettum P., Rognerud S., Skogheim O., Laake M., 1975. Små eutrofe innsjøer i tettbygde strøk. NIVA
- EU 2000. Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy.
http://www.vanndirektivet.no/Vanndirektivet_engelsk.pdf
- European Commission, 2003. Water Framework Directive. Common Implementation Strategy. Working Group 2.3: REFCOND. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters.
- Faafeng B., Brettum P., Fjeld E., Oredalen T.J. 1997. Evaluering av Kolbotnvannet. Overvåking av vannkvalitet og tilførsler til Gjersjøen via tilløpsbekker i 1996, samt undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter. NIVA Inr. 3707-97, 67 sider.
- Faafeng B., 1998. Landsomfattende trofiundersøkelse av norske innsjøer. Biologisk klassifisering av trofinivå i ferskvann. Kan "andel blågrønnalger" brukes? NIVA-Inr. 3876-98, 42 sider.
- Oredalen T.J., Brettum P., Løvik J.E., Mortensen T. 2003. Overvåking av Gjersjøen og Kolbotnvannet med tilløpsbekker 1972-2002 og resultater fra sesongen 2002. NIVA-Inr. 4682-2003, 108 sider.
- Rognerud S., Berge D. og Johannessen M. 1979. Telemarksvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. NIVA-Inr. 1147, 82 sider.
- SFT 95:01, Bratli J.L. 1995. Veiledning. Miljømål for vannforekomstene. Sammenheng mellom utslipp og virkning, 50 sider
- SFT 95:04, Bratli J.L. 1995. Veiledning. Miljømål for vannforekomstene. Forventet naturtilstand, 41 sider.

- SFT 97:02, Hauan E. (SFT) og Størset, Lars (DN) 1997. Retningslinjer. Miljømål for vannforekomstene. Retningslinjer og anbefalte miljøkvalitetsnormer, 19 sider.
- SFT 97:04, Andersen J.R., Bratli J.L., Fjeld E., Faafeng B., Grande M., Hem L., Holtan H., Krogh T., Lund V., Rosland D., Rosseland B.O., Aanes K.J. 1997. Veiledning. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann, 31 sider.
- Vighi, M and Chiaudani G., 1985. A simple method to estimate lake phosphorous concentrations resulting from natural background loadings. Water Res. Vol. 19, No. 8, pp. 987-991.
- Vollenweider R.A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem, Ist. Ital. Idrobiol., 33: pp. 53-83.

Vedlegg:

- A Egnethetsklasser mhp. fosfor for ulike brukerinteresser (SFT 97:04)**
- B Total-fosforkonsentrasjoner i Kolbotnvannet i perioden 1983-2002, for dypene: 0-4 meter, 15 meter og 18 meter**
- C Innsjødata for Gjersjøen og Kolbotnvannet**
- D Fosfortilførsler til Kolbotnvannet i 2002**
- E Målt jerninnhold i Kolbotnvannet**

Vedlegg A. Egnethetsklasser mhp. fosfor for ulike brukerinteresser (SFT 97:04)

Brukerinteresse	Egnethetsklasser (mhp. total-fosfor ($\mu\text{g Tot-P/L}$))			
	(1) Godt egnet	(2) Eget	(3) Mindre egnet	(4) Ikke egnet
Råvann drikkevann	<7	7-11	11-20	>20
Bading og rekreasjon	<7	7-11	11-20	>20
Jordbruksvanning	<11	11-20	20-50	>50
Fritidsfiske	<11	11-20	20-50	>50

Vedlegg B. Total-fosforkonsentrasjoner i Kolbotnvannet i perioden 1983-2002, for dypene: 0-4 meter, 15 meter og 18 meter

Tot-P ($\mu\text{g/L}$) Kolbotnvatn 0-4 meter

	januar	februar	mars	april	mai	juni	juli	august	september	oktober	november	desember	
1983							99	76	73,5		95	210	
1984				170		70	72	72	46		64		
1985		160		130	100	113	44	52		57	72	120	125
1986	110			110	62	106,5	43	41,5	38	34		75,5	72
1987		83			85	91	58	42	58	75		72	
1988				64	61	20,25	53,75	50	35	52		82	
1989					48	49,5	46	67,5	95,0	95,5		115	
1990					58,5	45	75	49	30	24		96	
1991													
1992				18	43	40	41	76	35	32		20	
1993													
1994				40		37	25	29					
1995													
1996							24,5	29	26	23			
1997													
1998		24				26	39	41	36	18			
1999													
2000				22		23	23	25	28	17			
2001													
2002				27		29	25	26	14	20			
	januar (1)	februar (3)	mars (8)	april (7)	mai (12)	juni (14)	juli (14)	aug. (12)	sept. (11)	okt. (7)	nov. (4)	des. (2)	
25 Percent snitt	110,0	53,5	25,8	53,3	28,3	28,5	32,0	29,5	21,5	68,0	74,6	85,3	
75 Percent median	110,0	89,0	72,6	65,4	54,2	47,7	48,3	42,9	40,7	77,7	119,4	98,5	
antall (n)	1	3	8	7	12	14	14	12	11	7	4	2	
stdev		68,2	57,2	20,3	33,0	22,3	18,4	22,6	26,1	30,5	64,2	37,5	

Tot-P ($\mu\text{g/L}$) Kolbotnvatn 15 meter

	januar	februar	mars	april	mai	juni	juli	august	september	oktober	november	desember	
1983							360	410	500		200		
1984			180					250	300	330			
1985		160	185	140	200			180		190	218	120	110
1986	115		115	120	92	51	112	185	300			74	72
1987		82		110	89	49	75	62	76			74	
1988			73	88	31	67	240	315	450		90		
1989				50	40	62	68	95,0	98		115		
1990				58	44	109	182	277	387		94		
1991													
1992			29	41	36	30	61	90	148		260		
1993													
1994			47		26	22	17						
1995													
1996						16	16	70	129				
1997													
1998						44	82	80	121				
1999													
2000			27					101					
2001													
2002			42					43					
	januar (1)	februar (2)	mars (8)	april (7)	mai (8)	juni (10)	juli (12)	aug. (12)	sept. (9)	okt. (6)	nov. (4)	des. (2)	
25 Percent snitt	115,0	101,5	38,8	54,0	34,6	33,5	66,3	77,5	120,5	99,3	73,9	81,5	
75 Percent median	115,0	140,5	131,3	115,0	89,8	65,8	196,5	282,8	300,0	249,4	140,0	100,5	
antall (n)	1	2	8	7	8	10	12	12	9	6	4	2	
stdev		55,2	65,3	38,2	58,5	101,5	116,3	141,6	135,3	99,9	59,6	26,9	

Tot-P ($\mu\text{g/L}$) Kolbotnvatn 18 meter

	januar	februar	mars	april	mai	juni	juli	august	september	oktober	november	desember
1983								400		480		
1984					270		320					
1985				360	340		250		410	395	420	195
1986	280			215	95		110	270	265	340	75	72
1987		83		150	86		118	308	330	76	74	
1988				115	40		255	110	615	780	97	
1989					43		92	162	95,0	96	110	
1990					61		58	173	317	407	91	
1991												
1992				35	41		37	108	133	204	379	520
1993												
1994				54	25		27					
1995												
1996							31	55	142	238		
1997												
1998		24			28					231		
1999												
2000				22	44		39	110	206	239		
2001												
2002				27	14		20	58	96	248		
	januar (1)	februar (2)	mars (7)	april (6)	mai (12)	juni (12)	juli (9)	aug. (10)	sept. (10)	okt. (6)	nov. (3)	des. (2)
25 Percentil	280,0	38,8	31,0	47,4	34,8	36,9	110,0	157,5	232,6	100,3	74,3	102,8
snitt	280,0	53,5	118,3	129,9	89,6	128,5	169,2	276,0	303,6	282,2	189,5	133,5
75 Percentil	280,0	68,3	165,0	137,5	88,2	191,9	270,0	382,5	369,3	458,8	247,3	164,3
median	280,0	53,5	54,0	80,3	42,0	108,8	133,0	235,3	243,5	252,5	74,5	133,5
antall (n)	1	2	7	6	12	12	9	10	10	6	3	2
stdev		41,7	126,8	131,6	104,4	100,6	103,1	164,6	199,3	204,4	199,6	87,0

Vedlegg C. Innsjødata for Gjersjøen og Kolbotnvannet

Kolbotntrapp 1992:

Areal Kolbotnvatn	0,303 km ²	
max djup	18,5 m	
Middeldjup	10,3 m	
Volum	3100000 m ³	
Nedbørfelt	2,96 km ²	Oppgitt tiltaksanalyse 1998, s.21
Midlere avløp	15 l/sek*km ²):	1400000 m ³ /år
Teoretisk oppholdstid,	2 år	
Nedbør 2002:	909,1 mm	
Nedbør på Kolbotnvan	275457,3 m ³	

Gjersjøen

Areal Gjersjøen	2,7 km ²	
max djup	58 m	
Middeldjup	23 m	
Volum	62100000 m ³	
Nedbørfelt	87,2 km ²	Oppgitt tiltaksanalyse 1998, s.21
Midlere avløp	15 l/sek*km ²	21000000 m ³ /år
Teoretisk oppholdstid,	3 år	
Nedbør 2002:	909,1 mm	
Nedbør på Gjersjøen:	2454570	

Vedlegg D. Fosfortilførsler til Kolbotnvannet i 2002

Tilførsler til Kobotnvannet 2002

	Bekker Tot-P kg	sediment 17-18,5 meter	sediment 15-17meter	restfelt
jan	5			
feb	10	2,1		
mar	15	2,1		
apr	3	2,1		
mai	7			
jun	6	2,1	6,8	
jul	9	2,1	6,8	
aug	12	2,1	6,8	
sep	16	2,1	6,8	
okt	29			
nov	12			
des	10			
sum År	134	14,7	27,2	8
Restfelt				
Totalt inn:			183,9	kg
Ut Kantorbekken:			84	kg
Retensjon			99,9	kg

Vedlegg E. Målt jerninnhold i Kolbotnvannet

FE µg/L

0-4 meter

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1983						105	60	35		20	30	
1984			10									
1985									120	74		
1986				135	38	33	96	30	32		36	
1987									38			
1988				91	89							

10 meter

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1983							40					
1984			20				50					
1985									80	59		
1986				64	52	27	45	64	33		37	
1987												
1988												

15 meter

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1983						40	40	50		30		
1984			40				40	70		120		
1985	43						68		61	51		
1986				110	56	30	38	34	150		35	
1987									46			
1988				73	91							

18 meter

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des
1983								70		80		
1984												
1985							97		130	122	200	
1986	81			270	62	50	127	123	250		40	
1987									53			
1988				107	96							