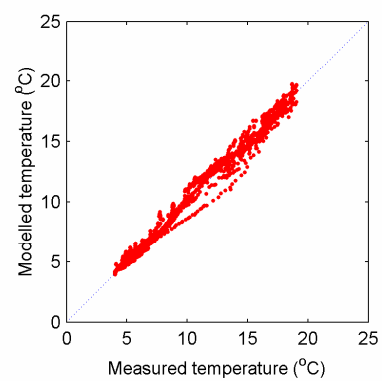
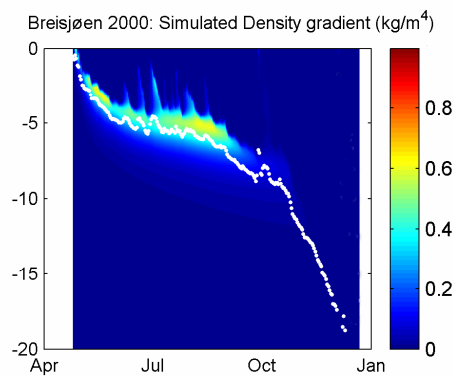
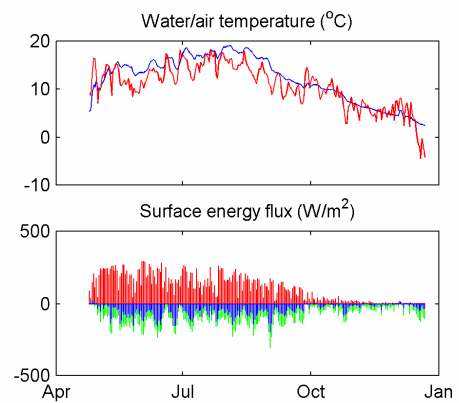
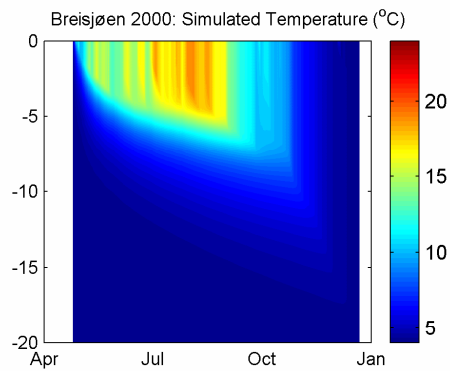




RAPPORT LNR 4720-2003

Thermos-prosjektet

Fagrappport 1998-2002



Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

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
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Thermos-prosjektet - Fagrapport 1998-2002	Løpenr. (for bestilling) 4720-2003	Dato 04.09.2003
	Prosjektnr. Undernr. P-40102	Sider Pris 119
Forfatter(e) Espen Lydersen, Karl Jan Aanes, Sigbjørn Andersen, Tom Andersen, Pål Brettum, Torleif Bekken, Leif Lien, Eli Anne Lindstrøm, Jarl Eivind Løvik, Marit Mjelde, Tone Jøran Oredalen, Anne Lyche Solheim, Randi Romstad, Bjørn Rørslett, Tuomo Saloranta.	Fagområde Limnologi	Distribusjon 50
	Geografisk område Lillomarka, Oslo	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) NIVA (Strategisk institutt program)	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>År til år variasjoner i vind og solinnstråling er svært avgjørende for hvilket dyp sprangsjiktet (termoklinen) i en innsjø vil befinne seg på under sommerstagnasjonen i dimiktiske innsjøer. Siden framtidige klimascenarier spår endringer i både lufttemperatur og vindregime, har Thermos-prosjektet senket termoklinen i en innsjø v.h.a. en sakte-roterende propell, og studert endringer i innsjøfysikk, kjemi og biologi. Våren 2001 ble termoklinen i innsjøen Breisjøen senket fra 5-6 meters dyp ned til ca 20 meter, mens en innsjø i nærheten har fungert som kontroll. Bortsett fra en betydelig økning i innsjøens varmeinnhold og økt siktedyp, har termoklinsenkenningen så langt (2 år) kun resultert i små endringer i vannkjemi og biologi. At innsjøen både er næringsfattig og klar (stort siktedyp), er nok hovedårsaken til de marginale effektene. I næringsfattige innsjøer bestemmer nedbørfeltet i stor grad innsjøenes vannkjemi, og interne biologiske prosesser har liten mulighet til å påvirke dette. I mer næringsrike eller humøse innsjøer vil en måtte forvente langt klarere og raskere responser av en slik termoklinsenkenning. Til tross for relativt små signifikante endringer etter termoklinsenkenningen, er det likevel flere tendenser til biologiske endringer. I første omgang synes dette å gå på endringer mellom grupper og arter av organismer i innsjøen, og i mindre grad på endringer i totale biomasser av fytoplankton, zooplankton osv. Kun videre oppfølging vil kunne gi svar på hvilke biologiske endringer som vil finne sted i et lengre tidsperspektiv og hvilke økologiske konsekvenser dette vil få.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. limnologi 2. klimaendringer 3. innsjømanipulering 4. termoklinstudier 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. limnology 2. climate change 3. lake manipulation 4. thermocline studies
--	--

Espen Lydersen
Prosjektleder

Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder
ISBN 82-577-4390-9

Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

Thermos-prosjektet

Fagrapport 1998-2002

Forord

Det eneste som er konstant i naturen er endringer. Derfor har også klimaendringer alltid funnet sted på jorden. Spørsmålet i dag er om klimaet i senere tid har endret seg som følge av menneskelig påvirkning. Dette har blitt et stadig mere aktuelt tema, fordi nyhetsbildet synes å bringe stadig hyppigere reportasjer om ødeleggende flommer, orkaner og tørke, både her hjemme og ute i den store verden. Om slike naturkatastrofer i dag inntreffer oftere og er mer ekstreme, er derimot mer usikkert. Det som synes klart er at slike naturfenomener i større grad enn tidligere, inntreffer på steder med betydelig bosetting og derfor får et mer dramatisk innhold for oss mennesker.

De to store klimasentra i Europa, Hadley senteret i England og Max Planck-instituttet i Tyskland, har via klimamodeller antydnet temperaturøkninger på jorda fra 2-3 °C for de neste 100 år som følge av menneskelig aktivitet. Til grunn for disse beregningene ligger de menneskeskaptede økningene i drivhusgasser (vanndamp, CO₂, metan, lystgass, ozon som de viktigste) og partikler i atmosfæren. Forskerne er videre enige om at klimaendringene vil slå svært ulikt ut både regionalt og lokalt. Det er derfor viktig for våre politikere og beslutningstakere å forstå hvordan klimaet i våre områder kan komme til å endres. Dersom de globale klima scenariene slår til, hvordan blir da de klimatiske forholdene endret i våre områder? Dette spørsmålet må Norge selv forsøke å svare på, da vi ikke kan forvente at andre land vil ta ansvar for å finne ut hvor Norge vil ligge i framtidens drivhus, og hvilke konsekvenser dette vil ha for vårt land.

RegClim er et forskningsprosjekt for utvikling av scenarier for klimautviklingen i Norden, omkringliggende havområder og deler av Arktis ved en global oppvarming (www.nilu.no/regclim). Deres vurdering av klimaet i Norge de neste 50 år er bl.a. at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge vil øke med 0,2-0,5°C pr. tiår. Økningen vil variere noe med årstidene og om en befinner seg i innlandet eller langs kysten. Årsnedbøren vil øke de fleste steder, spesielt om høsten og på Vestlandet, mens Østlandet vil få mindre nedbør om våren. Midlere vindhastigheter og antall stormer vil øke noe, spesielt i enkelte landsdeler.

Hva betyr dette for innsjøene våre? Endret vind- og temperaturregime vil komme til å endre sjiktningsforholdene i innsjøene, siden de fleste norske innsjøer er sjiktet i et overflatelag og et bunnlag i sommersesongen. Varmeinnstråling (lufttemperatur) og vind er de hovedfaktorer som bestemmer for hvor dypt og hvor stabil denne sjiktningen (termoklinen) vil være i hver enkelt innsjø fra år til år. Dette vil kunne ha stor betydning for innsjøers kjemiske og biologiske forhold generelt, og hvordan innsjøer takler kjemiske forurensninger som næringsstoffer, sur nedbør og miljøgifter spesielt.

Endrete nedbørforhold både kvantitativt og kvalitativt vil også være av stor betydning for innsjøers og nedbørfelts evne til takle forurensninger, siden vannets oppholdstid i økosystemene endres, og dermed også innsjøers og nedbørfelts tålegrenser. Thermos-prosjektets hovedmålsetning har vært å belyse an del av disse problemstillingene og hvilke konsekvenser slike endringer vil kunne ha på innsjøer.

Thermos-prosjektet har vært et internt prosjekt ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA), hvor halve prosjektstøtten er bevilget over statsbudsjettet som et strategisk institutt program, mens resten har vært egenfinansiering fra NIVA.

Mange takk til Øyvind Kaste (NIVA) for kvalitetssikring av rapporten, og til Dick Wright (NIVA) for gjennomlesing og kommentarer til rapportens engelske sammendrag.

En stor takk også til hovedfagsstudentene, Nils Torstein Dahl, Toril Mordal Gjøvik, Thomas C. Jensen, Søren Larsen, Pål Kristian Rødsdalen, Marianne Seland, Elise Thorbjørnsen og Kristin Urkedal, ved Avdeling for Limnologi, Universitetet i Oslo, som har hatt ansvaret for et omfattende feltarbeid.

Mange takk også til Oslo Kommune, Helsevernetaten (Kjell Sandaas), Vann-og Avløps-Verket (Roald Vartiainen og Petter Morstad) og Skogvesenet (Jan M. Fredriksen) for all positiv støtte til prosjektet. En vil også takke Institutt for tekniske fag, NLH (Signe Kroken) som har bidratt med vederlagsfrie klimadata fra deres stasjon på Ås.

Oslo, 1. September 2003

Espen Lydersen

Innhold

Sammendrag	8
Summary	17
1. Innledning	26
1.1. Bakgrunn for prosjektet	26
1.2. Prosjektets hovedhypoteser	27
2. Materiale og metoder	29
2.1. Utvelgelseskriterier for innsjøene	29
2.2. Parametre og analysefrekvens	29
2.3. Meteorologi	32
2.4. Innsjøfysikk	34
2.4.1. Dybdekart - morfologi - hydrologi	34
2.4.2. Vanntemperatur	34
2.5. Vannføring	36
2.6. Innsjøkjemi	36
2.7. Innsjøbiologi	36
2.8. Beregningsfunksjoner	43
3. Omkringinformasjon	45
3.1. Geologi	45
3.2. Vegetasjon	45
3.3. Geografi, innsjømorfometri, hydrologi	45
3.4. Meteorologi	54
4. Fysisk/kjemiske forhold	58
4.1. Vanntemperatur	58
4.2. Varmebudsjett	63
4.3. Termoklinutvikling og stabilitet	65
4.4. Oksygen	68
4.5. Lys	71
4.5.1. Siktedyp og innsjøens farge basert på Secciskive	71
4.6. Vannkjemi	72
4.6.1. Totalt organisk karbon og turbiditet	72
4.6.2. pH og ledningsevne	74
4.6.3. Basekationer og sterkesyreanioner	76
4.6.4. Nitrogen og fosfor	77
4.6.5. CNP-forhold i suspendert materiale i vann og sedimentasjonsfeller	79
4.7. Temperatur-termoklinmodell	81
5. Biologiske forhold	85
5.1. Fytoplankton	85

5.2. Påvekstalger	92
5.3. Dyreplankton (zooplankton)	96
5.4. Bunndyr (benthos)	106
5.5. Fisk	107
5.6. Høyere vegetasjon	115
6. Referanser	117

Sammendrag

Uansett om klimaendringene er menneskeskapt eller ikke, vil slike endringer alltid være en del av jordklodens dynamikk. At klimaendringer i større grad har kommet på agendaen i senere år, skyldes det faktum at flere og flere klimaforskere mener at menneskelig aktivitet for første gang i jordas historie er av en slik størrelsesorden at dette påvirker jordens globale klima. Hvordan dette vil gi seg utslag regionalt og lokalt, varierer betydelig fra sted til sted. RegClim sine modellberegninger for Norge de neste 50 år (www.nilu.no/regclim), viser tydelig dette. Modellberegningene i RegClim viser også at klimaendringene vil slå ulikt ut avhengig av hvor vi befinner oss i Norge. Hovedendringene vil være endrede temperatur-, vind- og nedbørforhold både i tid og rom. Forventede klimaendringer er også bakgrunnen for Thermos-prosjektet (THERMoklin Orientated Studies), fordi endringer i klimaparametere som lufttemperatur og vind sannsynligvis vil komme til å endre sjikttingsforholdene i mange norske innsjøer.

De fleste innsjøer i Skandinavia og i andre tilsvarende klimaregioner, er dimiktiske sjøer. Dette betyr at innsjøene har to sirkulasjonsperioder (vår og høst) og to stratifiseringsperioder (sommer og vinter). Stratifiseringen oppstår som følge av temperatur-betingete tetthetsforskjeller. To dimiktiske innsjøer har inngått i Thermosprosjektet, Breisjøen hvor termoklinen er senket betydelig og Store Gryta som har fungert som kontrollsjø. Termoklinsenknningen i Breisjøen er gjennomført ved bruk av en sakte roterende propell nedsenket på 6 meters dyp.

Bortsett fra en betydelig økning i innsjøens varmeinnhold og økt siktedyp, har termoklinsenknningen så langt (2 år) kun resultert i små endringer i vannkjemi og biologi. At innsjøen både er næringsfattig og klar (stort siktedyp), er nok hovedårsaken til de marginale effektene. I næringsfattige innsjøer bestemmer nedbørfeltet i stor grad innsjøenes vannkjemi, og interne biologiske prosesser har liten mulighet til å påvirke dette. I mer næringsrike eller humøse innsjøer vil en måtte forvente langt klarere og raskere responser av en slik termoklinsenkning. Til tross for relativt små signifikante endringer etter termoklinsenknningen, er det likevel flere tendenser til biologiske endringer. I første omgang synes dette å gå på endringer mellom grupper og arter av organismer i innsjøen, og i mindre grad på endringer i totale biomasser av fytoplankton, zooplankton osv. Kun videre oppfølging vil kunne gi svar på hvilke biologiske endringer som vil finne sted i et lengre tidsperspektiv og hvilke konsekvenser dette vil ha for innsjøens økosystem.

Konklusjonene etter to år med termoklinsenkning i Breisjøen er som følger:

1) Innsjøfysikk

- **Isforhold**

Isleggingsdato har normal inntruffet på samme dag i de to sjøene. Etter manipuleringen i Breisjøen (2001 og 2002) har isleggingsdato blitt forsinket med h.h.v. 14 dager (2001) og 23 dager (2002). Dette skyldes at manipuleringen av Breisjøen har medført tilnærmet en dobling av innsjøens varmeinnhold, slik at innsjøen trenger lengre tid for nedkjøling til frysepunktet.

I de to årene (2001 og 2002) hvor vi har hatt eksakte temperaturmålinger fram til isleggingsdato, har varmeinnholdet i Store Gryta vært svakt positivt når isen legger seg (2 MJ m^{-2} i 2001 og 12 MJ m^{-2} i 2002). Dette betyr en middeltemperatur i innsjøen på $4,08 \text{ }^\circ\text{C}$ og $4,39 \text{ }^\circ\text{C}$ ved isleggingstidspunkt. I Breisjøen som har hatt lengre sirkulasjonstid og islegging senere pga. manipulering, var varmeinnholdet i innsjøen negativt (-20 MJ m^{-2} i 2001 og -34 MJ m^{-2} i 2002) når isen la seg. Dette betyr en middeltemperatur i Breisjøen på $3,53 \text{ }^\circ\text{C}$ og $3,18 \text{ }^\circ\text{C}$ ved isleggingstidspunkt, noe som er $0,5\text{-}1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ lavere enn i Store Gryta. Manipuleringen synes derfor å medvirke til at innsjøen fryser til ved lavere temperatur enn tidligere.

Normalt går isen 1-4 dager senere i Store Gryta. Isgangsdato synes ikke å være påvirket av manipuleringen.

- **Sirkulasjonsforhold i innsjøene**

Normalt inntreffer fullsirkulasjonen i Store Gryta noen dager (1-7 dager) tidligere enn i Breisjøen., og Store Gryta fullsirkulerer normalt ved noe høyere temperatur ($4,81 \pm 0,43$ °C, n=5) enn i Breisjøen ($4,69 \pm 0,19$ °C, n=3). Etter manipulering fullsirkulerer Breisjøen 3-10 dager før Store Gryta, og Breisjøen fullsirkulerer med en betydelig høyere temperatur ($6,86 \pm 0,35$ °C, n=2) enn før termoklinsenknningen.

Antall dager fra innsjøene fullsirkulerer til islegging har variert fra 0-27 dager. Normalt har antall sirkulasjonsdager før islegging i Breisjøen vært 2-7 dager. Breisjøen fullsirkulerer normalt senere enn Store Gryta, men innsjøene fryser normalt til samme dag. Termoklinsenknningen i Breisjøen har medført tidligere tidspunkt for fullsirkulering og senere tidspunkt for islegging. Dette betyr at Breisjøen har hatt 18-25 dager lengre sirkulasjonsperiode enn Store Gryta etter termoklinsenknningen. Lengre sirkulasjonsperiode kan ha stor betydning for mange innsjøer (spesielt humøse og næringsrike innsjøer), siden økt lengde av sirkulasjonsperioden øker mulighetene for fullstendig oksygenmetning av hele innsjøvolumet. At innsjøen starter fullsirkulasjonen ved høyere temperatur enn tidligere vil kunne dempe denne effekten noe siden løseligheten av O₂ avtar med økende temperatur, men samtidig fryser innsjøen til ved et lavere varmeinnhold en normalt, noe som skulle betyde høyere løselighet og høyere O₂-metning en normalt.

- **Termoklin**

I den undersøkte perioden har middel termoklindyp i Store Gryta vært $5,5 \pm 0,5$ m, noe som betyr et at epilimnionvolumet utgjør mellom 49-59% av innsjøens total volum. Termoklinsenknningen i Breisjøen har medført at termoklindypet har økt fra ca $5,3 \pm 0,5$ m til $19,6 \pm 0,5$ m. Dette betyr en økning i epilimnionvolumet fra 31-36% til 86-88% av innsjøens total volum.

Generelt synes det som om de kaldeste årene, som medfører lavest middeltemperatur og varmeinnhold synes å være de årene hvor termoklinen ligger dypest. Dette skyldes sannsynligvis primært to forhold, lavere sjiktningstabilitet og normalt noe mer vind i kalde somrer. Siden klimaprediksjonene på våre breddegrader er kaldere sommer og varmere om vinter, vil en kunne forvente at termoklindypet i innsjøene vil øke, samtidig som at sjiktningstabiliteten avtar.

- **Innsjøenes temperatur og varmeinnhold**

Før termoklinsenknningen lå epilimniontemperaturen i Breisjøen opp til ca 1°C høyere enn i Store Gryta. Forskjellene skyldes primært innsjøenes noe ulike geografiske beliggenhet mht solinnstråling. Store Gryta er noe mere solbeskyttet pga. bratte dalsider på begge sider av vannet. Til tross for en dramatiske volumøkningen i Breisjøens epilimnion etter termoklinsenknningen, er epilimniontemperaturen fortsatt noe høyere enn i Store Gryta.

Termoklinsenknningen i Breisjøen har resultert i en økning av middeltemperaturen i innsjøen med 6.7°C, fra $10,7 \pm 0,4$ °C før manipulering til $17,4 \pm 1,6$ °C etter manipuleringen.

Maksimalt varmeinnhold inntreffer normalt i innsjøene i første halvdel av august. I perioden 1998-2002 inntraff dato for maksimalt varmeinnhold i Store Gryta i perioden 5.august \pm 9 dager. Før termoklinsenknningen i Breisjøen inntraff dato for maksimalt varmeinnhold 4.august \pm 3 dager. I 2001 inntraff maksimalt varmeinnhold i Store Gryta 29. juli, mot 24. august i Breisjøen. I 2002 som hadde en meget varm august, inntraff dato for maksimalt varmeinnhold i Store Gryta 20. august mot 25. august i Breisjøen. Manipulering av Breisjøen synes derfor å medføre en viss forsinkelse i tidspunkt for maksimalt varmeinnhold. Hvor mye vil selvsagt avhenge av klimaet i denne perioden (spesielt i august). Basert på de to årene med termoklinsenknning i Breisjøen synes dato for maksimalt varmeinnhold å være forsinket med 5-20 dager.

Før termoklinsenknningen i Breisjøen var varmeinnholdet i de to innsjøene svært like. Før manipulering var gjennomsnittlig varmeinnhold i Store Gryta 289 ± 7 MJ m⁻² mot 284 ± 18 MJ m⁻² i Breisjøen. År til år variasjoner i varmeinnholdet synes å være noe større i Breisjøen enn i Store Gryta. Årsaken til dette kan være at Breisjøen er noe mer sol og vindeksponert, og derfor mer påvirket av år til år variasjoner i klima. Termoklinsenknningen i Breisjøen medførte en betydelig økning i innsjøens varmeinnhold til 517 MJ m⁻² i 2001

og 613 MJ m⁻² i 2002. Varmeinnholdet i kontrollsjøen Store Gryta var til sammenlikning 284 MJ m⁻² i 2001 og 328 MJ m⁻² i 2002. Fra relativt likt varmeinnhold i innsjøene, har termoklinsenknningen i Breisjøen nesten doblet innsjøens varmeinnhold.

• Innsjøenes O₂-innhold

Begge innsjøene er relativt næringsfattige innsjøer, med lavt innhold av både tilført (allokton) og innsjøproduert (autokton) organisk materiale. At innsjøene også har to sirkulasjonsperioder (dimiktiske), vår og høst, gjør at O₂-forholdene i innsjøene er relativt gode. Begge innsjøene har såkalt positiv heterograd O₂-kurve, d.v.s. med O₂-maksimum i metalimnion. Dette er vanlig i klare sjøer med relativt grunn termoklin. I slike tilfeller vil kompensasjonspunktet for primærproduksjon ligge under metalimnion. Kompensasjonspunktet er primært bestemt av lystilgang, og er det dyp i innsjøene hvor algenes produksjonen = respirasjon. Innsjøer med positivt heterograd O₂-kurve har vanligvis også høy stabilitet og er relativt lite vindeksponerte. Hovedårsaken til heterograd O₂-kurve er høy fotosynteseaktivitet (O₂-produserende prosess) i metalimnion, fordi algepopulasjoner innstiller seg i dette sjiktet hvis både lys og næringstilgang er god.

Termoklinsenknningen i Breisjøen har gjort at innsjøen ikke lengre har noen positiv heterograd O₂-kurve. Den betydelige senkningen av termoklinen har resultert i en betydelig reduksjon i innsjøens termiske stabilitet. Propellen som utgjør manipuleringen i innsjøen kan sees på som en betydelig økning i innsjøens vindeksponering. Økt vindeksponering er en viktig faktor mht å bryte ned en positiv heterograd O₂-profil i innsjøer. Siden den positive heterograd O₂-kurven er biologisk bestemt (primærproduserende alger) må en forvente at en slik O₂-profil blir borte når termoklinen senkes vesentlig. Termoklinen blir da liggende på et dyp med mye lavere mengder fotosyntetiserende lys for primærprodusentene.

Generelt har Breisjøen noe mindre løst molekylært O₂ enn Store Gryta. Dette skyldes primært at Breisjøen er noe mere næringsrik og har noe større tilførsler av organisk stoff. Etter termoklinsenknningen har Breisjøens O₂-innhold blitt noe høyere enn i Store Gryta. Årsakene er at manipuleringen har medført et generelt økt vindstress (fra propellen) med tilleggseffekter som tidligere høstsirkulasjon og senere islegging. Alt dette bidrar økt oksygenering av vannmassene. Økningen er derimot ikke betydelig. I mere næringsrike og humøse sjøer vil en anta at en slik termoklinsenknning vil resultere i langt klarere økning i innsjøens O₂-innhold.

• Siktedyp - Turbiditet

Før termoklinsenknningen var siktedypet i Breisjøen og Store Gryta hhv. 7,9 ± 1,8 m og 11,9 ± 1,7, dvs gjennomsnittlig 4,0 ± 1,8 m mindre i Breisjøen. Etter termoklinsenknningen (2001-2002) var siktedypet i Breisjøen 9,5 ± 0,8 m mot 10,5 ± 1,8 i Store Gryta. Dette betyr at siktedypet i Breisjøen har økt med 2,5 -3,0 m som en følge av termoklinsenknningen. Siktedypsvariasjonene gjennom sesongen har også blitt mindre i Breisjøen etter manipuleringen. Eneste forklaring til økt siktedyp er endringer i vertikalfordelingen av algebiomasse og klorofyll-a. Før manipulering hadde innsjøen en positiv heterograd O₂-kurve pga. høye algekonsentrasjoner i metalimnion, og siktedypet lå dypere enn termoklinen. Siktedypet ble altså påvirket av algeoppkonsentreringen i termoklinen. Etter at termoklinen ble senket betydelig i Breisjøen, ble siktedypet liggende høyere opp i vannmassene enn termoklinen, og algene hadde en jevnere vertikalfordeling i et langt større epilimnionvolum enn tidligere. Den reduserte algemengden i det tidligere termoklinnivå gjør at lyssvekningen i dette området har blitt mindre etter termoklinsenknningen. Dette er den direkte årsaken til siktedypsøkningen i Breisjøen.

2) Innsjøkjemi

• Hovedkjemiske parametre

Begge innsjøene viser en markant nedgang i sulfat gjennom overvåkningsperioden. Dette skyldes den klare nedgangen i nedbørens svovelsyreinnhold gjennom de siste 10-15 årene, noe som bl.a. også er påvist i forsurede innsjøer i Norge. Det er ingen klare endringer i konsentrasjonen av basekationer (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) eller sterkesyreanioner (Cl⁻ and NO₃⁻) som en følge av nedgangen i sulfat eller som et resultat av termoklinsenknningen i Breisjøen. Dette betyr at økning i innsjøenes syrenøytraliseringskapasitet (ANC) ikke viser markant økning, med

unntak av 2002. Dette er interessant, siden dette avviker fra den ANC forbedringen vi ser i klart mer forsuringspåvirkede innsjøer.

I begge innsjøene synes nitrat og følge vekstsesongen for terrestriske og akvatiske planter, dvs avtak i nitrat fra vårsirkulasjonen og fram til siste halvdel av september. Etter dette stiger nitratkonsentrasjonen kraftig igjen, men kommer aldri opp på samme nivå som ved vårsirkulasjon før isen legger seg på innsjøene. Volumveide nitratkonsentrasjoner har vært tilnærmet identiske i de to innsjøene, både før og etter termoklinsenknningen i Breisjøen.

Det en svak tendens til noe mindre organisk nitrogen i Breisjøen etter manipuleringen. Samme tendensen synes og gjøre seg gjeldende for partikulært nitrogen.

Selv om nitratkonsentrasjonen viser tydelige vekstsesongsvingninger, er det fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) som er begrensende for primærproduksjonen i innsjøen. I hele måleperioden, 1998-2002 ($n = 67$) er det registrert $[\text{PO}_4] <$ deteksjonsgrensa ($1 \mu\text{g P L}^{-1}$) i 94% av tilfellene i Store Gryta og 78% av tilfellene i Breisjøen. Dataene kan tyde på at det oftere har vært målt $\text{PO}_4 > 1 \mu\text{g P L}^{-1}$ i Breisjøens dypvann etter manipuleringen, siden 8 av 11 målinger etter termoklinsenknningen har $[\text{PO}_4] > 1 \mu\text{g P L}^{-1}$. Dette skyldes høyst sannsynlig at hypolimnionvolumet er betydelig redusert og at epilimnionvolumet har økt betydelig etter termoklinsenknningen. Bortsett fra dette er det lite som tyder på at manipuleringen av Breisjøen har påvirket fosfor-konsentrasjonen i Breisjøen.

Etter manipuleringen synes det å være en relativt klar økning i mengde stoff som sedimenterer ut fra Breisjøens vannmasser. Dette henger sammen med nedgangen i partikulært organisk C som er registrert i Breisjøens frie vannmasser etter termoklinsenknningen. Økt sedimentasjon har også medført økning av partikulært nitrogen og fosfor i det sedimenterende materialet. Økt sedimentasjon kan skyldes flere faktorer, Viktigst er sannsynligvis den betydelige økningen i epilimnionvolumet og dette volumets høye vanntemperatur, som har gitt innsjøen betydelig høyere varmeinnhold. Økt volum med høy temperatur medfører en relativ nedgang i vertikal motstand (viskositet) mot sedimentasjon. Samtidig har det termiske sprangsjiktet, som retarderer sedimentasjon pga. overgang til kaldere og mer viskøst vann, blitt senket fra 4-5 meter og ned til ca 20 m.

Forholdet mellom C,P,N i det partikulære organiske materiale i de fri vannmassene og i sedimentasjonsfellene synes å ha endret seg lite som følge av termoklinsenknningen. Det er tendenser til at C/P-forholdet har gått noe ned etter manipuleringen, men usikkerheten i tallene er svært store.

3) Innsjøbiologi

• Fytoplankton - kvantitativt

Algebiomassen er svært lav i begge innsjøene, og fordi innsjøene er meget klare finnes det relativt godt med alger i tilnærmet alle innsjødyp, men spesielt i området rundt sprangsjiktet. Dette dokumenteres også gjennom innsjøenes positive hetrograde O_2 -kurver. Begge innsjøene har produksjonstopp i mai (vårmaksima), produksjonsfall i juni, og et eller to klare sommer/tidlig høst maksima. Termoklinsenknningen i Breisjøen har eliminert innsjøens positive hetrograde O_2 -kurve.

Før termoklinsenknningen var totalt volumveid algevolymmiddel i Breisjøen og Store Gryta hhv. $141 \pm 60 \text{ mg m}^{-3}$ og $111 \pm 44 \text{ mg m}^{-3}$. Etter termoklinsenknningen er det foreløpig ingen klar indikasjon på endring i totalt algevolym.

Før termoklinsenknningen var gjennomsnittlig døgnlig primærproduksjon i Breisjøen $73 \pm 24 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$, mot $69 \pm 33 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ etter. Årsproduksjonen i Breisjøen er beregnet til $13,8 \pm 3,7 \text{ g C m}^{-2}\text{år}^{-1}$ før og $12,7 \pm 6,0 \text{ g C m}^{-2}\text{år}^{-1}$ etter termoklinsenknningen. Dette er noe høyere enn i Store Gryta. Sammenliknet med Store Gryta er det en svak tendens til noe lavere primærproduksjon i Breisjøen etter termoklinsenknningen.

Volumveide konsentrasjon av klorofyll-a i Breisjøen synes å være tilnærmet upåvirket av termoklinsenknningen, dvs $1,57 \pm 0,45 \mu\text{g L}^{-1}$ før, mot $1,55 \pm 0,51 \mu\text{g L}^{-1}$ etter. I Store Gryta synes derimot klorofyll-a konsentrasjonen å ha øket fra $1,01 \pm 0,20 \mu\text{g L}^{-1}$ (1998-2000) til $1,28 \pm 0,25 \mu\text{g L}^{-1}$ i perioden 2001-2002. Relativt til Breisjøen indikerer dette en viss nedgang i klorofyllmengde i Breisjøen som en følge av termoklinsenknningen.

Klorofyll-a/algevolum forholdet viser klare sesong- og vertikal-variasjoner i begge innsjøene. I Store Gryta øker dette forholdet suksessivt med dypet helt til bunnen av innsjøen. Gjennomsnittlig er klorofyll-a/algevolum forholdet dobbelt så høyt i hypolimnion (15-20m) sammenliknet med epilimnion (0-6m) av Store Gryta. Dette viser hvordan algene øker klorofyllinnholdet med dypet for å opprettholde en bærekraftig primærproduksjon. I Breisjøen finner en også tilsvarende økning i klorofyll-a/algevolum forhold med dypet ned til et visst dyp. I de dypeste vannlaget som er målt (26-31m) avtok dette forholdet igjen. Det indikerer at algene øker mengde klorofyll i cellene for å kompensere for redusert lystilgang med dypet, men kun ned til et visst lysregime. Under dette dypet er det ingen energimessig gevinst i å øke klorofyllmengden, snarere tvert om. Dette dypet kan tenkes å ligge svært nær kompensasjonsdypet hvor primærproduksjon=respirasjon. Kompensasjonsdypet ligger normalt rundt 2 ganger siktedypet, dvs på ca 20 meters dyp i begge innsjøene. Dette stemmer i så fall svært bra med økning i klorofyll-a/algevolum forholdet fra overflaten til bunnen i Store Gryta, hvor maksimalt dyp er 22m, mens vi registrerte et avtak i dette forholdet i Breisjøen i blandprøvene fra 26-31m. Maksimalt innsjødyp i Breisjøen er 34.5m. At kompensasjonsdypet i Breisjøen ligger på tilnærmet samme nivå som termoklindypet etter manipulering, kan være en viktig årsak til at manipuleringen ikke har ført til store endringer i fytoplanktonbiomasse i innsjøen.

• Fytoplankton - kvalitativt

Basert på volumveide verdier for algevolum, samt primærproduksjonsmålingene, har manipuleringen av termoklinen i Breisjøen så langt ikke medført betydelige kvantitative endringer av planteplankton biomasse eller produksjon. Derimot er det tegn som tyder på kvalitative endringer i sammensetningen av planteplanktonet etter termoklinmanipuleringen. Sammenliknet med kontrollsjøen synes termoklinsenknningen i Breisjøen å ha forårsaket en betydelig økning i mengden fureflaggellater (Dinophyceae), økning i gullalger (Chrysophyceae) og svelgflagellater (Cryptophyceae). For grønnalger (Chlorophyceae) og kiselalger (Bacillariophyceae) er det derimot tendens til nedgang etter termoklinsenknningen. Nedgangen er mest markant og reell for grønnalgene. For kiselalgene er det også en klar nedgang, men nedgangen i mengde kiselalger har funnet sted hvert år i begge innsjøene gjennom hele prosjektperioden, mest markant i Breisjøen. Det er interessant å registrere en nedgang i kiselalger sammenhengende gjennom 5 år i begge innsjøene. Nedgangen i kiselalger synes derfor å kunne være et resultat av en større "naturlig" svinging i kiselalgebiomasse. Kun videre overvåking vil kunne gi informasjon om videre utvikling av kiselalger og eventuelt hvilke miljøfaktorer som er avgjørende for svingninger i kiselalgebiomassen i innsjøene. Slike langsiktige naturlige biologiske svingninger i fytoplanktonbestander i innsjøer er lite dokumentert. For blågrønnalgene har vi fått en klar økning i biomassen i begge innsjøene i 2002. Dette skyldes nok den svært varme ettersommeren. Økningen skyldes primært arten *Merismopedia tenuissima*. Dette er en blågrønnalge som finnes i næringsfattige innsjøer med oppblomstring på høsten, spesielt i forbindelse med høye vanntemperaturer.

Av fureflaggellatene (Dinophyceae) er det registrert en økning av arten *Peridinium umbonatum* i Breisjøen etter termoklinsenknningen. Også to arter av slekten *Gymnodinium* har økt etter termoklinsenknningen, *Gymnodinium uberrimum* og *Gymnodinium lacustre*.

Det er registrert en nedgang i mengde grønnalger (Chlorophyceae) i Breisjøen etter termoklinsenknningen. Innen grønnalgene er *Oocystis submarina* v.variabilis og *Monoraphidium griffithii* de vanligste artene.

Uttrykt i algevolum, er kiselalgen *Cyclotella kützingiana* totalt dominerende i begge innsjøene. Denne arten har hatt en markant nedgang i begge innsjøene hvert eneste år fra prosjektstart i 1998. Termoklinsenknningen kan synes å ha forsterket denne nedgangen i Breisjøen.

For μ -alger som også er en relativt vanlig algegruppe i begge innsjøer, synes ikke termoklinsenknningen foreløpig å ha endret på biomassevolumet.

Fytoplanktondiversiteten synes å være noe større i Breisjøene enn i Store Gryta. Totalt er registrert 164 arter/slekter i Breisjøen mot 122 i Store Gryta, i tillegg til en relativt stor mengde μ -alger, som ikke er bestemt til art. 12 arter/slekter er kun registrert i Store Gryta, 4 arter av grønnalger, 3 arter av gullalger, 2 arter av blågrønnalger og kiselalger, samt en fureflagellat-art. Disse 12 artene utgjør en ubetydelig del av Store Grytas algebiomasse. En kan derfor karakterisere innsjøenes algesammensetning som svært lik.

Før termoklinsenknningen ble det registrert 130 arter/slekter i Breisjøen mot 108 i Store Gryta. Etter termoklinsenknningen har antall arter/slekter økt til 141 i Breisjøen, mens antall arter/slekter i kontrollsjøen (Store Gryta) er redusert til 91 i samme periode. Relativt sett synes det derfor som om termoklinsenknningen har bidratt til økt fytoplanktondiversitet i Breisjøen. Økt biodiversitet som følge av endrete miljøbetingelser pga. termoklinsenknningen kan derfor ha stimulert til biologisk opportuniste. I hvilken grad disse kvalitative endringene vil forsterke seg, kan bare videre undersøkelser besvare.

• Påvekstlger

Etter termoklinsenknningen er det registrert en klar økning i begroingspotensialet for påvekstlger i Breisjøen, både uttrykt som biomasse (mg cm^{-2}) og klorofyll-a ($\mu\text{g cm}^{-2}$). Størst nominell økning har funnet sted i dybdeintervallet 1-5 m. I prosent var økningen størst på 10 meters dyp, men her var biomassen av påvekstlger langt lavere. Dette kan skyldes en kombinasjon av flere forhold:

- 1) Termoklinsenknningen har medført en svak nedgang i fytoplanktonbiomasse i Breisjøen, med ditto muligheter for økt påvekstalgebiomasse.
- 2) Før termoklinsenknningen hadde Breisjøen et klart primærproduksjonsmaksima for fytoplankton på 5-6 meters dyp. Dette ble borte etter termoklinsenknningen, noe som kan ha økt vekstpotensialet for påvekstlger i øvre vannmasser.
- 3) Breisjøens epilimnionvolum har økt betraktelig etter termoklinsenknningen, noe som betyr større tilgang på næringsstoffer så lenge næringsstoffkonsentrasjonene ikke har endret seg.
- 4) Middelttemperaturen eller varmeinnholdet i de dyp hvor begroing er undersøkt (0-10m) har økt etter termoklinsenknningen. Økt temperatur stimulerer primærproduksjon.

Tidligere undersøkelser i Norge viser at det akkumuleres mellom 0,1-1,0 μg klorofyll-a per cm^2 per måned på keramiske pletter i klare, oligotrofe innsjøer. I slike innsjøer finner en sjeldent akkumulering av klorofyll-a per måned $> 2 \mu\text{g cm}^{-2}$. Høyere verdier enn dette skyldes ofte antropogene tilførsler av næringsstoffer. Det er derfor interessant å registrere at det i Breisjøen er registrert en månedsakkumulering på $2 \mu\text{g cm}^{-2}$ på 3 meters dyp etter termoklinmanipuleringen.

Begge innsjøene viser en klar tendens til økning i spesifikk klorofylltetthet med dypet. For Store Gryta gjelder dette for alle dyp som er målt, 1m, 3m, 5m og 10m. Breisjøen viser også tilsvarende økning i klorofylltetthet med dypet ned til 5 meter, mens klorofylltetthet avtar igjen på 10 meters dyp. Dette viser at det er en negativ korrelasjon mellom lysmengde og klorofylltetthet ned til en hvis lysmengde. Denne økningen i klorofylltetthet med dypet (eller med avtakende lysmengde) er den samme mekanisme en også registrerte for fytoplankton. Primærprodusenter lager ikke mer klorofyll enn det er behov for under gitte lysbetingelser, og når lysmengden når et kritisk nivå er det ikke lenger økonomisk lønnsomt å kompensere med å produsere mer klorofyll. Dette er en energiøkonomisk strategi både for fastsittende (påvekstlger) og pelagiske (fytoplankton) primærprodusenter. Mens det for fytoplankton var en økning i klorofyll-a/algevolum-forholdet ned til ca 20 meters dyp, ble det registrert en nedgang i klorofyll-a/tørrvekt-forholdet i påvekstlger på 10 meters dyp i Breisjøen. Forskjellene kan ha sammenheng med at fytoplankton beveger seg i hele epilimnionvolumet og dermed ikke fiksert i et dyp slik som påvekstalgene, men også biologiske/fysiologiske forskjeller kan også tenkes å påvirke. Dette er et felt hvor vi ikke kjenner til at forskning har vært utført.

Klorofylltettheten synes å ha økt i Breisjøen etter termoklinsenknningen uten at en har gode forklaringer på dette. Dette kan skyldes kvalitative endringer i påvekstalgesammensetningen, men dette er ikke undersøkt.

• Zooplankton - kvantitativt

Biomassen av zooplankton (μg tørrvekt (dw) L^{-1}) er lav i begge innsjøene, som en direkte konsekvens av liten fytoplanktonbiomasse og gode bestander av abbor som zooplanktonpredator. I begge innsjøene er den totale zooplanktonbiomassen gjennomgående høyere enn fytoplanktonbiomassen, spesielt i Store Gryta. Fytoplankton- og zooplanktonbiomassen utgjør til sammen kun $\approx 10\%$ av partikulært karbon i innsjøenes frie vannmasser. I næringsfattige skogssjøer som disse er det ikke uvanlig at en også har en betydelig bakteriebiomasse. Det er ikke gjort analyser av bakteriebiomassen i innsjøene, men vi antar at denne kan utgjøre en betydelig del av det partikulære organisk karbonet i innsjøene. At zooplanktonbiomassen er høyere enn fytoplanktonbiomassen i innsjøene tyder på at zooplanktonet også beiter på bakteriebiomassen som finnes i de frie vannmassene.

Før termoklinsenknningen var volumveid zooplanktonbiomasse i Breisjøen $39,0 \pm 23,0 \mu\text{g dw L}^{-1}$ mot $36,3 \pm 18,0 \mu\text{g dw L}^{-1}$ i Store Gryta. Etter termoklinsenknningen har zooplanktonbiomassen i Breisjøen ligget noe lavere enn i Store Gryta. Termoklinsenknningen har så langt ikke medført vesentlige endringer i total zooplanktonbiomasse i Breisjøen, selv om det er tegn til en viss nedgang. Nedgangen skyldes først og fremst tilbakegang av vannloppene (Cladocera) *Bosmina longispina* og gelekrepsen *Holopedium gibberum*. Hoppekreps (Copepoda) viser en svak biomasseøkning etter termoklinsenknningen, og dette skyldes primært økning av *Thermocyclops oithonoides*. *Cyclops scutifer* har gått noe tilbake etter termoklinsenknningen. Det kan derfor synes som om hoppekrepsen *Thermocyclops oithonoides* begunstiges av termoklinsenknningen. *Thermocyclops oithonoides* er en liten nesten fargeløs hoppekreps, noe som gjør den relativt lite utsatt for fiskepredasjon. Lavt predasjonspress gjør at *Thermocyclops oithonoides* kun forekommer planktonisk. At arten synes å øke etter termoklinsenknningen (med ditto betydelig økning i varmeinnholdet i innsjøen) kan skyldes at økt temperatur begunstiger flere reproduksjonssykluser i året. I Norge finnes arten primært under marin grense i Sørøst-Norge. Arten egner seg derfor ikke som nøkkelart for klimaendringer i andre deler av landet. Dens "villing art" derimot, *Mesocyclops leukarti*, er noe mere utbredt i Sør-Norge. Siden begge artene er blandt de vanligste cyclopoide copepoder i hele Europa, vil tidstudier mht endringen i disse artenes biomasse og antall årlige reproduksjonssykluser være meget interessant for biologisk dokumentasjon av klimaendringer.

Biomassen av hjuldyr (Rotifera) viser en klar økning etter termoklinsenknningen, da spesielt for arten *Conochilus unicornis*. I biomasse er denne arten total dominerende blant hjuldyrene.

Døgnlige vertikal vandringer for zooplankton ble undersøkt i september 1998 (rundt høstjvedøgn. Særlig en art, *Bosmina longispina*, viser tydelige vertikale døgnvandring i Breisjøen. Arten hadde biomassemaksimum i metalimnion om dagen, men vandret opp i epilimnion om natten. Dette er noe overraskende, da denne arten ikke anses som spesielt sårbar for fiskepredasjon. I Store Gryta viste den samme arten liten vertikal døgnmigrasjon. *Daphnia longispina*, som ofte har vertikalmigrasjon i andre innsjøer, viste også tegn til vertikalvandring i Breisjøen, da den kun ble påvist i epilimnion om natten i september. Om dagen hadde denne arten høyest biomasse i metalimnion resten av sesongen, men her skal en huske på at disse dataene baserer seg på prøver fra rutineprogrammet hvor prøvene alltid er tatt midt på dagen. Dette samt at forekomstene av *Daphnia longispina* er relativt begrenset, gjør at resultatene fra vertikalvandring for denne arten er meget usikre.

Dersom den påviste vertikalmigrasjonen er induert av fiskepredasjon, tyder resultatene på at predasjonspresset er høyere i Breisjøen enn i Store Gryta. Dette virker sannsynlig da abborbestanden er klart høyere i Breisjøen. Det er ikke utført undersøkelse av vertikalmigrasjon av zooplankton etter termoklinsenknningen i Breisjøen, men dette vil ble gjennomført høsten 2003. Dataene er derfor ikke klare når denne rapporten utgies.

Termoklinsenknningen i Breisjøen fra 5-6m ned til ca 20 meters dyp, har endret vertikalfordelingen av zooplankton vesentlig. Fordi alle prøvene er tatt midt på dagen, vil vertikalendringer som skyldes døgnvandring i liten grad påvirke resultatene. År til år variasjoner skulle derfor være godt sammenliknbare. Etter termoklinsenknningen forekommer en betydelig større mengde zooplankton i dypere lag av innsjøen. Mens biomassen av vannlopper (Cladocera) og hoppekreps (Copepoda) har økt i dybdeintervallet 26-31m (maks dyp 34,5m) etter termoklinsenknningen, er det en betydelig økning av hjuldyr i dybdeintervallene 7-12m og 13-18m. Årsakene til ulik vertikalfordeling i vannmassene mellom grupper/klasser av zooplankton som følge av termoklinsenknningen kan være ulikheter i zooplanktongruppenes fødevalg, predasjonspress, bevegelsesevne og miljøkrav hvor vanntemperatur kan være en viktig faktor.

• Zooplankton - kvalitativt

Artssammensetningen i begge innsjøene er typisk for oligotrofe innsjøer på Østlandet. Breisjøen har noen flere arter zooplankton enn Store Gryta, primært innen klassen hjuldyr. I Breisjøen er det til nå påvist 8 arter vannlopper, 7 arter hoppekreps og 17 ulike arter hjuldyr. Tilsvarende er det registrert 7 arter vannlopper, 8 hoppekrepsarter og 13 arter av hjuldyr i Store Gryta. Zooplanktonsammensetningen i de to innsjøene er relativt like. *Bosmina longispina* og *Holopedium gibberum* er dominerende vannlopper, *Thermocyclops oithonoides* og *Cyclops scutifer* dominerende hoppekreps, og *Conochilus unicornis* dominerer totalt blant hjuldyra. En forskjell mellom sjøene er at Store Gryta har en relativt god bestand av *Daphnia galeata*, en art som ikke er påvist i Breisjøen. Tilsvarende har Breisjøen en relativt god bestand av *Daphnia cristata* som ikke er påvist i Store Gryta. Termoklinsenknningen har til nå ikke påvirket biodiversiteten av zooplankton.

- **Bunndyr**

Bunndyrprøver er tatt en gang hvert år, i slutten av mars, mens det enda lå is på innsjøene.

Bunndyrssamfunnet i begge innsjøene synes å være dominert av fjærmygglarver (Chironomidae larvae), men også muslingkrep (Ostracoda), fåbørstemark (Oligochaeta), cyklopoide hoppekrep (Copepoda) og muslinger (Lamellibranchiata) er godt representert i begge innsjøene.

Basert på de prøver som er tatt og bunndyrstasjoner som er valgt i de to innsjøene, har Store Gryta relativt høyere individtetthet av bunndyr sammenliknet med Breisjøen. Dette kan ha sammenheng med ulikheter i bl.a. substrattypen og predatorpress. Termoklinsenknningen i Breisjøen synes ikke å ha påvirket den totale individtettheten i Breisjøen. Derimot har termoklinsenknningen medført en endring i dybdefordelingen av bunndyrene. Før manipuleringen var høyest individtetthet registrert på 10 meters dyp, mens høyeste individtetthet ble observert i de dypeste sedimentene i Breisjøen (34 m) etter termoklinsenknningen. Dette henger sannsynligvis sammen med den oppkonsentreringen av både fyttoplankton og zooplankton som også er registrert dypere ned i innsjøen etter termoklinsenknningen. I Store Gryta har de høyeste individtettheten av bunndyr alltid vært påvist i området 4-10 meters dyp.

Etter termoklinsenknningen i Breisjøen, har tettheten av fjærmygglarver og fåbørstemark blitt mindre, mens tettheten av cyklopoide hoppekrep og muslingkrep har økt. I Store Gryta har det tilsvarende vært en svak nedgang i tettheten av fjærmygglarver, noe sterkere nedgang av fåbørstemark, mens nedgangen av muslingkrep har vært betydelig. For cyclopoide copepoder er det en svak økning. Det er derfor en klare tendens til at termoklinsenknningen i Breisjøen har redusert individtettheten av fåbørstemark, mens cyclopoide hoppekrep og spesielt muslingkrep har hatt en markant tetthetsøkning. Det er ikke utført artsbestemmelser av bunndyrssamfunnet, men den klare økning av den cyclopoide hoppekrepsen *Thermocyclops oithonoides* i zooplanktonet, kan ha resultert i en betydelig økning i tettheten av nauplier i sedimentet av denne arten. Dette er ikke undersøkt.

- **Høyere vegetasjon**

Breisjøen og Store Gryta har svært ulik vannvegetasjon, både med hensyn på sammensetning og utbredelse. I Breisjøen dominerer krypsiv (*Juncus supinus*), med stedvis store forekomster av evjesoleie (*Ranunculus reptans*) på helt grunt vann og flytegro (*Luronium natans*) i begrensede områder. Flytegro er en av de mest sjeldne vannplanter i Europa, og er derfor selvsagt en rødlistart. I Breisjøen og enkelte innsjøer i dens nærområde er planten relativt vanlig, slik at dette området må betegnes som et nøkkelområdet for denne sjeldne planten. Så langt er det ingen tegn til at termoklinsenknningen har påvirket artens utbredelse. Store Gryta har dominans av flytebladsplanter (nymphaeider), først og fremst vanlig tjønnaks (*Potamogeton natans*) og gul (*Nuphar lutea*) og hvit nøkkerose (*Nymphaea alba* coll.). Kortsukksplanter (isoetider) ble ikke registrert i Store Gryta, mens det i Breisjøen fantes 5 arter. Ved siden av innsjøenes trofistatus og lysforhold, er vannstandsvariasjoner og substratforhold viktige regulerende faktorer for høyere vegetasjon i innsjøer. Disse faktorene er til dels svært forskjellige i de to innsjøene. Breisjøen har vært brukt som drikkevannskilde opp til starten av Thermos-prosjektet i 1998. Dette betyr at innsjøen har hatt en forhistorie med store vannstandsvariasjoner. Etter 1998 har ikke innsjøen blitt brukt som drikkevannskilde, slik at under hele Thermos-perioden har det kun vært naturlige eller normale vannstandsvariasjoner. Denne endringen har hatt stor effekt på høyere vannvegetasjon. Spesielt er den betydelige tilbakegangen av krypsiv. Denne arten er kjent for å kunne favoriseres av store vannstandsvariasjoner og uttørring av innsjøsediment om sommeren. Reduksjonen i krypsivbestanden har til nå vært klart mest markant i de dypeste områdene av sin utbredelse, dvs fra 3-4 m. På grunn av de store vannstandsvariasjonene forut for oppstart av Thermos-prosjektet, er det vanskelig å dokumentere endringer i høyere vegetasjon som følge av termoklinsenknningen i seg selv.

- **Fisk**

I begge innsjøene finnes gode bestander av brunørret (*Salmo trutta*) og abbor (*Perca fluviatilis*). I Breisjøen er abborbestanden klart større enn i Store Gryta, mens bestanden av brunørret er størst i Store Gryta. Begge innsjøene har også mindre bestander av ørekyt (*Phoxinus phoxinus*) og røye (*Salvelinus alpinus*).

Termoklinsenkeningen i Breisjøen synes foreløpig ikke å ha påvirket abborens eller brunørretens størrelse eller kondisjonsfaktor. For både abbor og ørret er det en svak tendens til redusert størrelse og kondisjon i begge innsjøene de to seneste årene sammenliknet med de 3 foregående år. To år med termoklinsenkeningen i Breisjøen har derfor ikke påvirket abborens eller brunørretens størrelse eller kondisjonsfaktor. Om de to siste årene med relativt varme somrer (spesielt sommeren 2002) har påvirket begge artenes vekst og kondisjonsfaktor kan ikke utelukkes, men termoklinsenkeningen i seg selv synes ikke å ha påvirket slike forhold.

- **Modellering**

En selvutviklet innsjømodell (MyLake, versjon 1.0; Andersen & Saloranta, 2003, unpubl. ms.) er utviklet for å simulere temperaturutvikling og andre fysiske faktorer i de to innsjøene. Modellen viser seg å simulere termoklindypet meget bra, sammenliknet med hva som er målt. Største avvik mellom simulering og observasjon finner sted noen meter under overflaten der modellen generelt angir noe høyere temperatur enn observert. Dette kan skyldes bl.a. underestimert blandingsrate mellom epi- og hypolimnion eller ignorering av variasjonen i total lysekstinksjonskoeffisient med dybden. Sannsynligvis vil modellen enda bedre beskrive de faktiske forhold ved at lys, is og blandingsparametre kalibreres ytterligere.

Is- og snøtykkelsen er ikke blitt observert på Store Gryta og Breisjøen, men vi har dato for islegging og isgang. En sammenligning mellom modell og observerte datoer viser en gjennomsnittlig avvik på 2 dager for isleggingsdato og 7 dager for isgangsdato. Modellen ser ut til å kunne simulere datoen for islegging meget nøyaktig, noe dårligere mht dato for isgang. Ytterligere forbedringer vil kunne oppnås ved modellkalibrering av snø- og is-albedo.

Det ser ut som om termofysikken i innsjøer, som Store Gryta og Breisjøen, kan simuleres nokså realistisk med MyLake modellen. Siden modellen er designet for kjøring over flere år/dekader, er dette verktøyet velegnet for ulike modelleksperimenter der man manipulerer forskjellige (klima)faktorer og parametre og studerer deres fysiske langtidseffekter på innsjøer.

Summary

Title: THERMOS project: Ecosystem effects of thermal manipulation of a whole lake

Year: 2003

Author: Espen Lydersen et al.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3938-3

Variations in climate have been and always will be a fundamental dynamic factor on our planet. There is increasing evidence that for the first time in the history of the earth human activities directly impact the climate. Long-term future global change will affect the regional and local climate differently at different places on earth. Such local and regional variability in the future climate of Norway is apparent from the model estimates conducted by the RegClim Project (www.nilu.no/regclim). Generally all regions will face changes in precipitation, air-temperature and wind, both in time and space.

Future global change will have many effects on terrestrial and aquatic ecosystems. For lakes one of the major effects will be change in the thermal regime, which in turn can affect ecosystem function and structure at all trophic levels. Whole-lake manipulation of the thermal regime can provide direct experimental information on the magnitude and duration of these effects. The THERMOS project (**THERM**ocline **O**rientated **S**tudies) is such a whole-lake experiment, in which the thermal regime to Lake Breisjøen, southern Norway, is artificially manipulated by deepening the thermocline during the ice-free season by means of a large submerged propeller. An adjacent lake, Store Gryta, serves as untreated reference. Lake thermal regime, water chemistry and all major ecosystem components were studied for a pre-treatment period of three years (1998-2000) and treatment period of two years (2001-2002). The experiment simulates a future climate scenario of increased wind speed and higher temperature.

Most lakes in Scandinavia and other temperate regions of the world are dimictic. Dimictic lakes have two circulation periods (spring and autumn) and two stratification periods (summer and winter). Stratification occurs because of temperature-derived density differences. Changes in wind- and temperature regimes affect stratification of dimictic lakes. In the THERMOS project, the slowly-rotating propeller lowered the thermocline at Lake Breisjøen from a depth of 5-6 meter down to about 20 meter.

The thermocline deepening has caused a significant increase in the heat content of Lake Breisjøen. Water transparency has increased. But so far (2 years of manipulation) only resulted in only minor changes in lake chemistry and biology. The fact that the lake is oligotrophic and clearwater is likely the main reason for the absence of larger effects. In oligotrophic lakes inputs from the lake catchment almost totally determine lake water chemistry. Internal lake biogeochemical processes are too weak to have major impacts. In more eutrophic and dystrophic lakes, on the other hand, internal processes are stronger, and thus more dramatic changes of severe thermocline deepening should be expected in such lakes.

Despite relatively minor changes so far in lake Breisjøen, there are many indications of the beginnings of possible long-term changes in lake biology. There have been shifts in the relative abundances of various organisms groups and species, which so far have not resulted in significant changes in the total biomass of phytoplankton, periphyton, zooplankton, zoobenthos or fish. Additional years of manipulation and monitoring are required to reveal possible long-term effects and the subsequent consequences for the lake ecosystem

More details on the effects of the thermocline deepening are summarized here:

1) Lake physics

- **Ice conditions**

Ice-on normally occurs at the same date in the two lakes. After the thermocline deepening in Lake Breisjøen (2001-2002) the ice-on date was delayed by 14 days (2001) and 23 days (2002) compared with the control lake Stora Gryta. The reason is that the thermocline deepening doubled the heat content of the lake, and thus the lake needs more days to cool to freezing temperature.

The vertical water temperature profiles in the two lakes were measured continuously. The heat content of Lake Store Gryta (the control lake) was weakly positive (2 and 21 MJ m⁻² relative to circulation at maximum density, in 2001 and 2002, respectively). Mean temperature at ice-on was between 4,08-4,39 °C. At Lake Breisjøen, on the other hand, the heat content of the lake at ice-on was negative (-20-34 MJ m⁻²), and mean temperature at ice-on was 3,53-3,18°C. Thus, the thermocline deepening has resulted in a lower water temperature and heat content at ice on, which entailed a longer autumn turnover period and delayed ice-on.

Date of ice-off in the spring was not changed after the manipulation.

- **Turnover periods**

In Lake Store Gryta autumn turnover normally occurs 1-7 days earlier than in Lake Breisjøen. The turnover in Lake Store Gryta also occurs at somewhat higher water temperature ($4,81 \pm 0,43^{\circ}\text{C}$, n=5) compared with Lake Breisjøen ($4,69 \pm 0,19^{\circ}\text{C}$, n=3). After the manipulation, turnover in Lake Breisjøen occurred 3-10 days before Lake Store Gryta, and turnover occurred at a significantly higher water temperature ($6,86 \pm 0,35^{\circ}\text{C}$) than before the manipulation.

Before the manipulation, Lake Breisjøen had somewhat shorter autumn turnover periods before ice-on than Lake Store Gryta, since autumn circulation occurred later in Lake Breisjøen while ice-on occurred almost simultaneously in the two lakes. After the manipulation, autumn turnover occurred much earlier in Lake Breisjøen and ice-on was significantly delayed. After the manipulation the lake the turnover period was 18-25 days longer than at Lake Store Gryta. A longer turnover period might be of significance for many lakes, especially warm and eutrophic lakes, since increased circulation increases the possibility of oxygen saturation in the entire lake water profile. On the other hand, the fact that the autumn turnover occurred at a significantly higher water temperature after manipulation may reduce this effect since the solubility of gases are lower at higher temperature. Overall, however, improved O₂-saturation should be expected, since ice-on also occurred at a lower mean temperature after manipulation.

- **The thermocline**

During the 5 years of investigation, the average thermocline depth in Lake Store Gryta, at maximum heat content, was $5,5 \pm 0,5$ m. Thus, the epilimnion volume constituted 49-59% of the total lake volume. In Lake Breisjøen the thermocline depth was $5,3 \pm 0,5$ m before the manipulation, and increased to $19,6 \pm 0,5$ m after manipulation. Thus the epilimnion volume has increased from 31-36% of the total lake volume before manipulation to 86-88% after manipulation.

Before manipulation, both lakes had lowest heat content and deepest thermocline during the colder years. This is probably because of lower temperature stratification stability and more wind during these years. If future climate change in this region entails colder summers and warmer winters, the expected results are increased thermocline depth and reduced stratification stability of dimictic lakes.

- **Lake temperature and heat content**

Before manipulation, the mean epilimnion temperature of Lake Breisjøen was about 1 °C higher than that of Lake Store Gryta. Lake Store Gryta is surrounded by much higher and steeper surroundings, which means lower sunlight exposure. This is probably the main reason for lower epilimnion temperature in Lake Store Gryta.

Despite the dramatic increase in the epilimnion volume of Lake Breisjøen after the manipulation, the lake still has higher epilimnion temperature than Lake Store Gryta.

The manipulation in Lake Breisjøen has increased the mean temperature in the lake by 9,6 °C at time of maximum heat content, from $10,7 \pm 0,4$ °C before manipulation to $17,4 \pm 1,6$ °C after.

Maximum heat content normally occurs in the lakes early August. From 1998-2002 the time of maximum heat content occurred in Lake Store Gryta on 5 August \pm 9 days. Before manipulation in Lake Breisjøen, the corresponding day was 4 August \pm 3 days. In 2001, the first year of manipulation, the date for maximum heat content in Lake Breisjøen was 24 August while in Lake Store Gryta it was on 29 July. In 2002, a summer with an extremely warm August, maximum heat content occurred 20 August in Lake Store Gryta and 25 August in Lake Breisjøen. The manipulation has delayed the time of maximum heat content, but length of delay is dependant on the August weather conditions.

Before manipulation, the maximum heat content was very similar in the two lakes, 289 ± 7 MJ m⁻² in Lake Breisjøen and 284 ± 18 MJ m⁻² in Lake Store Gryta. Year-to-year variations in heat content seem to be somewhat larger in Lake Breisjøen, perhaps because Lake Breisjøen is more exposed to sunlight and wind, and thereby more sensitive to natural year-to-year variations. After manipulation in Lake Breisjøen the heat content increased significantly, to 517 MJ m⁻² in 2001 and to 613 MJ m⁻² in 2002. In contrast the heat content in Lake Store Gryta was 284 MJ m⁻² in 2001 and 328 MJ m⁻² in 2002. Thus the manipulation has almost doubled the heat content in Lake Breisjøen.

- **Dissolved O₂ in the lakes**

Both lakes are oligotrophic, clearwater lakes with low amounts of allochthonous and autochthonous organic matter. Since both lakes also are dimictic (turnover both during spring and autumn), the conditions for dissolved molecular O₂ are generally good. Both lakes have a positive heterograde O₂-curve (O₂ maximum in metalimnion), a common condition in clearwater lakes with relatively shallow thermoclines. Under such conditions the compensation depth for primary producers is located below the metalimnion. The compensation depth is primarily dependent on light conditions, and is defined as the depth at which primary production equals respiration. At the compensation depth the assimilation of carbon by primary producers is equal to metabolism of carbon. Lakes with positive heterograde O₂-profile normally have high stratification stability and are not very wind exposed. The main reasons for heterograde O₂-curve are high photosynthesis activity in metalimnion, a preferred depth for many algae because of the combination of good light and nutrient conditions.

After manipulation Lake Breisjøen no longer had a positive heterograde O₂-curve. The significant deepening of the thermocline also significantly reduced the stratification stability. The propeller simulated an extreme increase in the wind exposure on the lake, and increased wind exposure is important for elimination of heterograde O₂-profiles. An elimination of the positive heterograde O₂-curve was also expected as it is normally a consequence of photosynthesis activity near the thermocline, and a significantly deeper thermocline entails significant reduction in light and thereby primary production and subsequent increase in O₂ from photosynthesis activity.

In general Lake Breisjøen has somewhat lower concentrations of dissolved O₂ than Lake Store Gryta. This is likely because Lake Breisjøen is somewhat more nutrient rich and receives somewhat more allochthonous compounds. After manipulation the O₂ concentration in Lake Breisjøen increased and was somewhat higher than in Lake Store Gryta. The main reasons are increased inputs of kinetic energy (caused by the propeller) and much longer autumn turnover period, i.e. earlier turnover and later ice-on. However, the increase in dissolved O₂ was marginal. In more nutrient- or humic-rich lakes, however, a significant larger increase in dissolved molecular O₂ should be expected after a similar thermocline deepening.

- **Transparency and turbidity**

During the three years before manipulation the Secchi-disk transparency of Lake Breisjøen and Lake Store Gryta were $7,9 \pm 1,8$ m and $11,9 \pm 1,7$ m, respectively. After manipulation transparency in Lake Breisjøen increased to $9,5 \pm 0,8$ m, while it decreased slightly Lake Store Gryta to $10,5 \pm 1,8$ m. The manipulation caused an increase by 2,5-3,0m. Manipulation also resulted in less pronounced seasonal variations in transparency. The only reasonable explanation for the increased transparency is the change in vertical distribution of algal biomass. Thus before the

manipulation the transparency was affected by the algal maximum located in the thermocline area. After the manipulation, however, the Secchi depth was located above the thermocline, and the distribution of algae in the water profile was more uniform.

Compared with Lake Store Gryta, the volume-weighted turbidity in Lake Breisjøen decreased after manipulation. This is probably primarily related to increased precipitation of particulates as a direct effect of a significant increase in water temperature down to about 20m.

2) Lake Chemistry

Both lakes showed a significant decline in sulphate concentrations during the 5-year period. This is a direct consequence of the large decline (40-60%) in atmospheric deposition of anthropogenic-derived sulphur during the last two decades. A similar reduction is also well documented in acidified lakes in Norway. Despite the significant decrease in sulphate in the lakes, there were no corresponding clear changes in other strong acid anions (Cl^- and NO_3^-) or base cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). So far, only small improvement in the acid neutralising capacity (ANC) of water has been recorded, and only 2002 showed a clear increase in ANC.

The nitrate concentrations were almost identical in the two lakes. Nitrate showed a clear seasonal pattern, with lowest concentrations during the growing season for terrestrial and aquatic primary producers, i.e. a gradual decrease in nitrate from ice-off to September. Thereafter the nitrate increased again during the autumn and winter. The manipulation did not change the volume-weighted concentrations or the seasonal pattern of nitrate. There was a weak decline in volume-weighted concentration of organic nitrogen (both dissolved and particulate) in Lake Breisjøen after manipulation.

Even though nitrate showed a clear seasonal pattern, it is phosphate, which limits primary production in the lakes. During the whole monitoring period (1998-2002) ($n = 67$), phosphate concentrations ($[\text{PO}_4\text{-P}]$) were lower than the detection limit ($1 \mu\text{g P L}^{-1}$) for 94% of the observations in Lake Store Gryta and 78% in Lake Breisjøen. The data indicate an increase in the number of samples with $[\text{PO}_4\text{-P}] > 1 \mu\text{g P L}^{-1}$ in the deepwater of Lake Breisjøen after manipulation. This is likely a direct consequence of a significant change in the relation between epilimnion and hypolimnion volume after the manipulation. Otherwise there have been no other indications of changes in P-concentration of the lake as a consequence of the manipulation.

The thermocline deepening (by the propeller) seems to increase the sedimentation in the lake, as a decrease in particulate organic C occurred in Lake Breisjøen after manipulation. Increased sedimentation also increased the content of N and P in the precipitating/sedimenting material. Higher N and P content may indicate a higher sedimentation rate. Increased sedimentation might be due to several causes. Most important is the large increase in epilimnion volume with high water temperature leading to reduced viscosity of water. This reduces the frictional sinking resistance across a much larger depth interval than earlier. Also a certain reduction in the primary production also causes reduction in particular carbon.

The C,P,N ratios in the particular organic matter in the lake and in the sediment traps showed minor changes as a result of the manipulation. There was a slight decrease in the C/P ratio in Lake Breisjøen after the manipulation, but the uncertainty is large.

3) Lake Biology

• Phytoplankton - quantitative

The total algae volume was low in both lakes. Because they are clearwater lakes and not extremely deep, live alga cells were present at all depths. Highest alga volumes were found in the metalimnion of both lakes, causing positive heterograde O_2 -profiles as described earlier.

Before the manipulation the total lake volume-weighted algae volume (or biomass) was $141 \pm 60 \text{ mg m}^{-3}$ in Lake Breisjøen and $111 \pm 44 \text{ mg m}^{-3}$ in Lake Store Gryta. No significant change in the total algae volume has been recorded so far in Lake Breisjøen.

Both lakes had a primary production peak in May (spring maximum), a decline in June, and one or two summer/early autumn maxima. Before the manipulation the daily average primary production was $73 \pm 24 \text{ mg C m}^{-2}\text{day}^{-1}$ in Lake Breisjøen and $69 \pm 33 \text{ mg C m}^{-2}\text{day}^{-1}$ in Lake Store Gryta. The annual primary production in Lake Breisjøen was $13,8 \pm 3,7 \text{ g C m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ before and $12,7 \pm 6,0 \text{ g C m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ after the manipulation. Thus, compared with Store Gryta, there seems to be a tendency to lower primary production in Lake Breisjøen after the manipulation, although the difference is surprisingly small and non-significant.

So far, no effect on the lake volume weighted concentrations of chlorophyll-a have been observed in Lake Breisjøen after the manipulation, i.e. $1,57 \pm 0,45 \mu\text{g L}^{-1}$ before, compared with $1,55 \pm 0,51 \mu\text{g L}^{-1}$ after. In Lake Store Gryta, however, the chlorophyll-a concentration increased from $1,01 \pm 0,20 \mu\text{g L}^{-1}$ before to $1,28 \pm 0,25 \mu\text{g L}^{-1}$ after. Relative to Lake Store Gryta, this indicates a slight decrease in chlorophyll-a in Lake Breisjøen as a result of the manipulation.

The chlorophyll-a per unit alga volume showed clear seasonal and vertical variations in both lakes. In Lake Store Gryta it increased successively by depth from the lake surface to the lake bottom. As an average the chlorophyll content was about twice as high in the hypolimnion (15-20m) compared with the epilimnion (0-6m). The same tendency of increasing chlorophyll-a/algae volume ratio by depth was also observed in Lake Breisjøen, but at the largest depths (26-31m) the ratio decreased again. The increase in chlorophyll-a content down to certain depths clearly demonstrates the algal strategy of keeping a sustainable primary production down to depths where it is no longer energetically favourable to increase the chlorophyll content in algae cells. The increase in chlorophyll is a compensation for the light attenuation by depth, but at a certain depth this strategy is not any longer energetically profitable. This depth is probably close to the compensation depth, which is normally around twice the Secchi-disc depth, which means about 20m in both lakes. This fits well with the changes in chlorophyll-a/algae ratio by depth in the both lakes. Lake Store Gryta had an increase in this ratio down to the bottom of the lake at 22 m, while a reduction in the ratio was observed in Lake Breisjøen at the depth interval 26-31m. Maximum depth in Lake Breisjøen is 34,5 m. The fact that the thermocline depth in Lake Breisjøen after the manipulation was about equal to the compensation depth ($\approx 20\text{m}$), might be an important reason why only minor changes in algal biomass were observed after the manipulation.

- **Phytoplankton - qualitative**

Based on algae volume and primary production, the manipulation of Lake Breisjøen caused only minor changes in phytoplankton production and productivity. However, there are several indications of qualitative changes after the manipulation. Compared with the control lake (Lake Store Gryta), the manipulation caused a substantial increase in the biomass of Dinophyceae and also increases of Chrysophyceae and Cryptophyceae. For Chlorophyceae and Bacillariophyceae, however, there was a tendency of decreasing biomass after the manipulation. The decrease was most significant for the Chlorophyceae. The decreasing tendency of Bacillariophyceae was also clear, but for this group a continuous decline occurred in both lakes since the monitoring started. The largest decline, however, was observed in the manipulated Lake Breisjøen. The permanent decrease in Bacillariophyceae over a period of 5 years in both lakes is a very interesting observation, since it might indicate a natural long-term oscillation. Additional years of manipulation and measurements are necessary to reveal the reasons for such oscillations. A large increase in the biomass of Cyanophyceae was recorded in both lakes in 2002, with a significant peak late August. This peak was probably a direct effect of the extremely warm August and September. The increase was primarily due to the species *Merismopedia tenuissima*, a common species in oligotrophic lakes with biomass maximum in autumn, often linked to high temperatures.

Among the Dinophyceae, an increase in *Peridinium umbonatum* (old name: *P. inconspicuum*) was observed after the manipulation in Lake Breisjøen. Also two other species increased after the manipulation, i.e. *Gymnodinium uberrimum* and *Gymnodinium lacustre*.

A decrease in the algae biomass of Chlorophyceae was recorded after the manipulation, with *Oocystis submarina* v. *variabilis* and *Monoraphidium griffithii* as the most common species.

Expressed in alga volume, the diatom *Cyclotella kützingiana* was the predominant specimen in both lakes, but in both lakes a continuous decrease was observed from 1998 to 2002. The manipulation in Lake Breisjøen, however, escalated this decline.

Small indetermined species of diameter 2-4µm, were also a significant group in both lakes, but so far no effects of the manipulation have been observed. For this group, however, only the total biomass can be determined.

Lake Breisjøen had somewhat higher phytoplankton biodiversity than Lake Store Gryta. In Lake Breisjøen 164 species/genera were recorded, compared with 122 in Lake Store Gryta. In addition both lakes had a relatively large amount of undefined µ-algae species. 12 species/genera were found in Lake Store Gryta, (4 Chlorophyceae, 3 Chrysophyceae, 2 Cyanophyceae, 2 Bacillariophyceae, and 1 Dinophyceae). These 12 species/genra constituted an unimportant part of the total algae biomass in Lake Store Gryta. Thus the phytoplankton communities in the two lakes were very similar.

Before the manipulation in Lake Breisjøen (1998-2000), 130 species/genres were recorded compared with 108 in Lake Store Gryta. After the manipulation (2001-2002), the total number increased to 141 in Lake Breisjøen, while decreased to 91 in Lake Store Gryta. Thus, there was an increase in number of phytoplankton species/genera after the thermocline deepening. This increase in species richness might indicate better conditions for biological opportunism as a result of change in important environmental factors caused by the manipulation. To which extent these biological changes will be manifest or accentuated over time can only be answered by continuation of the manipulation and measurements.

• Periphyton

After the manipulation the growth potential of periphyton increased, both expressed as dry weight (mg cm^{-2}) and chlorophyll-a ($\mu\text{g cm}^{-2}$). The largest nominal increase was observed in the depth interval 1-5m. The largest percentage increase, however, was found at 10m depth, but here the biomass was much lower. These changes may have several causes:

- 1) The manipulation caused a small reduction in total phytoplankton biomass. This might increase the potential for increased periphyton biomass.
- 2) Before the manipulation, Lake Breisjøen had a significant primary production maximum at the depth interval 5-6m. After the manipulation this maximum was eliminated. This elimination may have favoured periphyton growth in the uppermost lake depths as the phytoplankton biomass has decreased at these depths.
- 3) The epilimnion volume of Lake Breisjøen increased substantially after the manipulation, which subsequently means larger access to nutrients as long as the concentrations of nutrients are unchanged in the epilimnion.
- 4) Increased circulation (water movements) after the manipulation reduces the diffusion gradient, causing increased access to nutrients.
- 5) Mean temperature and heat content increased significantly in depth interval 1-10m, after the manipulation. Increased temperature stimulates primary production in the temperatures measured at these depths.

Investigations from Norway show that about 0,1-1,0 $\mu\text{g chlorophyll-a cm}^{-2}$ monthly accumulates on ceramic pots in oligotrophic clear water lakes. In such lakes monthly accumulation of chlorophyll-a seldom exceeds 2 $\mu\text{g cm}^{-2}$. Higher values are normally caused by anthropogenic supply of nutrients. Accordingly, it is interesting that monthly accumulation $> 2 \mu\text{g cm}^{-2}$ was measured in Lake Breisjøen at 3m depth, after the manipulation.

Both lakes showed a clear tendency of increasing chlorophyll-a content in periphyton by depth. This was the case for all depths (1, 3, 5 and 10m) in Lake Store Gryta. A similar increase by depth was also observed in Lake Breisjøen at 1, 3 and 5 m, but at 10m the chlorophyll-a density decreased again. This shows a negative correlation between chlorophyll-a content and the amount of photosynthesis active radiation (PAR-light). This is the same strategy as documented for phytoplankton. The primary producers do not produce more chlorophyll than needed, and at greater depths, it is no longer energetically profitable to continue with such a strategy. While the increase in chlorophyll-a in phytoplankton by depth was observed down to about 20m, the chlorophyll-a in periphyton declined already at 10m in Lake Breisjøen. This difference between phytoplankton and periphyton might have several explanations. While phytoplankton is distributed in the total epilimnion volume, periphyton is organisms attached to a defined surface located at fixed depths. However, also other biological/physiological differences may explain these differences.

A small increase in the chlorophyll-a density was documented in Lake Breisjøen after the thermocline deepening, but reasons for this is difficult to find. It might be an effect of qualitative changes in the periphyton community, but this was not investigated.

- **Zooplankton - quantitative**

The total biomass of zooplankton (μg dry weight (dw) L^{-1}) was low in both lakes, as a direct consequence of low phytoplankton biomass and primary production. In addition both lakes hosted healthy population of perch (*Perca fluviatilis*), an important zooplankton predator. Zooplankton biomass was generally higher than phytoplankton biomass in both lakes. Phytoplankton and zooplankton together, constituted only about 10% of the particular carbon pool in the free (pelagic) water body of the two lakes. In oligotrophic forest lakes similar to the two lakes investigated, a significant biomass of bacteria is also present. We did not investigate bacteria in the THERMOS project, but we assume that the bacteria biomass to be significant in both lakes. This is essential in order to understand the carbon budget in the lakes. The fact that the zooplankton biomass is larger than the phytoplankton biomass indicates that the zooplankton must also feed on bacteria and detritus particles.

Before the manipulation the volume-weighted zooplankton biomass was $39,0 \pm 23,0 \mu\text{g dw L}^{-1}$ in Lake Breisjøen and $36,3 \pm 18,0 \mu\text{g dw L}^{-1}$ in lake Store Gryta. After the thermocline deepening, the total zooplankton biomass in Lake Breisjøen decreased to a level slightly below the biomass in Lake Store Gryta. The decrease was, however, relatively small ($< 10\%$). The decrease was primarily caused by reduction of two species of Cladocera, *Bosmina longispina* and *Holopedium gibberum*. Copepods, on the other hand, showed a weak increase in biomass after the manipulation. This increase was primarily due to an increase of *Thermocyclops oithonoides*, while *Cyclops scutifer* declined after the manipulation.

There are good indications of *Thermocyclops oithonoides* being favoured by the thermocline deepening. This species is a small, almost colourless copepod, and thus effectively protected against predators. The low predator pressure permits this species to be present in the pelagic zone. The reason why *T. oithonoides* seems to increase after manipulation might be because the higher temperature favours an increased number of reproduction cycles per year. At higher altitudes and in large cold lakes, *T. oithonoides* has normally only 1-2 generations per year. This species is primarily present below the postglacial marine limit in southeast Norway. However, this species and its "twin species" *Mesocyclops leukarti* are among the most common European species of cyclopoid copepods, and *M. leukarti* is distributed more widely also in southern Norway. Thus, changes in biomass and number of reproductive cycles per year for these two copepods might be a useful indicator of climate-induced effects in many lakes.

After the manipulation, a clear increase in the biomass of rotifers (Rotifera) occurred in Lake Breisjøen, especially for the species *Conochilus unicornis*, which is the predominant rotifer in both lakes.

Vertical diel migration of zooplankton was investigated late September 1998, at autumnal equinox. A significant vertical diel migration was documented for the cladoceran *Bosmina longispina* in Lake Breisjøen, while the vertical migration was much smaller for this species in Lake Store Gryta. In Lake Breisjøen *B. longispina* showed a distinct day maximum in metalimnion and migrated up into the epilimnion during the night. Another cladoceran *Daphnia longispina*, known for vertical diel migrations in many other lakes, also showed migration behaviour in Lake Breisjøen, since it only was found in epilimnion of the lake during the night in September, but stayed in the metalimnion the rest of the year. However these samples are from the routine program, where samples always are taken in the middle of the day. This and the fact that the biomass of this species was low, imply that the migration data for this specimen are relatively uncertain.

If the vertical migration is a strategy to avoid predators, the results indicate a higher predator pressure in the pelagic zone of Lake Breisjøen compared with Lake Store Gryta. This is reasonable, since the population of perch (*Perca fluviatilis*) is significantly larger in Lake Breisjøen. Studies of vertical migration after the manipulation in Lake Breisjøen were initiated in September 2003, but these data are not yet available.

The deepening of the thermocline in Lake Breisjøen from 5-6m down to about 20m changed the vertical distribution significantly. As all samples were collected during the day, vertical day/night migrations did not influence the routine samples. The routine samples can thus be used to infer year-to-year variations. After the manipulation, a much larger amount of zooplankton was located deeper in the lake. While cladocerans and copepods showed a clear increase in biomass in the depth interval 26-31m (maximum lake depth is 34,5m) after the manipulation in Lake Breisjøen, the rotifers showed an increase in the depth intervals 7-12m and 13-18m. The different location maxima by depth for different taxonomic groups of zooplankton might be due to different selection of food, different predator pressure, variation in migration properties and variation in other environmental factors influenced by water temperature.

- **Zooplankton - qualitative**

The species composition of zooplankton in the two lakes was characteristic for oligotrophic lakes in southeast Norway. Lake Breisjøen hosted a few more species than Lake Store Gryta. In Lake Breisjøen 8 cladoceran species, 7 copepod species and 17 species of rotifers were recorded. Correspondingly, in Lake Store Gryta, 7 cladoceran species, 8 copepod species and 13 species of rotifers were recorded. The composition of zooplankton was very similar in the two lakes. *Bosmina longispina* and *Holopedium gibberum* were the predominating cladoceran, while *Thermocyclops oithonoides* and *Cyclops scutifer* were the predominating copepods. Among the rotifers, *Conochilus unicornis* was totally dominant. One difference between the lakes was the relatively large population of *Daphnia galeata* in Lake Store Gryta, a species still not found in Lake Breisjøen. Correspondingly, Lake Breisjøen hosted a good population of *Daphnia cristata*, a species still not found in Lake Store Gryta. This difference is probably caused by a stronger predation pressure from planktivorous fish in Lake Breisjøen relative to Lake Store Gryta. The manipulation in Lake Breisjøen has so far not affected the zooplankton biodiversity in the lake.

- **Zoobenthos**

Zoobenthos was sampled once a year at the end of March, while still ice was on the lakes.

The zoobenthos fauna in both lakes was dominated by chironomids (Chironomidae larvae), but also ostracods, oligochaetes, cyclopoid copepods and lamellibranchiata were well represented.

Based on the samples collected, Lake Store Gryta had a larger individual density of zoobenthos than Lake Breisjøen. This might be due to difference in types of substrate and predator pressure. The manipulation did not affect the individual density, but appeared to have changed the vertical distribution of zoobenthos. Before the manipulation the highest densities were recorded at stations located at a depth of 10 m, while the highest densities were recorded at the largest lake depth (34 m) after the manipulation. This change in zoobenthos biomass distribution is probably linked to the increase in concentration of phytoplankton and zooplankton at larger depths after the manipulation. In Lake Store Gryta highest density of benthos was always recorded in the depth interval 4-10 m.

After the manipulation, the densities of chironomids and oligochaetes decreased in Lake Breisjøen, while the density of cyclopoid copepods and ostracods increased. During the same time period a small decrease in chironomids was recorded in Lake Store Gryta, while there was a somewhat stronger decrease of oligochaetes. The strongest decrease was, however, observed for ostracods. For cyclopoid copepods a minor increase was recorded during the same period. Compared with the Store Gryta, there was a clear reduction in density of oligochaetes and increased densities of both cyclopoid copepods and ostracods after the manipulation. The increase of cyclopoid copepods might be linked to the increase in the zooplankton *Thermocyclops oithonoides* after the manipulation. This might have resulted in larger densities of nauplius larvae of this species in the sediments, and thereby recorded as an increase of copepods in zoobenthos. This was not investigated.

- **Macrophytes**

The composition and coverage of aquatic macrophytes in the two lakes were very different. Lake Breisjøen was highly dominated by *Juncus bulbosus* (= *J. supinius*), which had a depth distribution down to approximately 4m. The lower limit at 4m is unusual and is probably due to the water level fluctuations and better light conditions in Breisjøen compared to other *Juncus* lakes. *Luronium natans* was fairly common in Breisjøen with a patchy distribution at 0.5-3.5m depth. It appeared both flowering with floating leaves and with submerged rosette leaves. The species is one of the most endangered aquatic plant species in Norway (DN 1999), as well as in rest of Europe. The species is only known from 5 lakes nearby Oslo So far there is no indication of changes in the population of *Luronium natans* after the manipulation. The aquatic macrophytes in Lake Store Gryta is dominated by scattered stands of nymphaeides, primarily *Potamogeton natans*, *Nuphar lutea* and *Nymphaea alba* coll. Isoetids were not observed in Lake Store Gryta, while 5 species of isoetids were found in Lake Breisjøen.

In addition to trophic state and light conditions, substrate types and water level variations are important factors for distribution of aquatic macrophytes in lakes. These factors differ highly in the two lakes. Lake Breisjøen was used as drinking water reservoir until a few years before the start of the THERMOS-project in 1998. The water level fluctuations have affected the depth distribution and coverage of the aquatic macrophytes. After 1998, only natural water level fluctuations have occurred in Lake Breisjøen. A slightly decrease in the cover of *Juncus bulbosus* appeared in 1999, followed by a distinct decrease, especially at the deeper levels, in 2001. This decrease of *Juncus* cover is probably caused partly by reduced water level fluctuations (lower light at the lower limit). The coverage and depth distribution seem to have stabilised in 2002. Because of this large physical change in recent years, it is difficult to evaluate how the manipulation affects aquatic macrophytes in Lake Breisjøen.

- **Fish**

Both lakes host healthy populations of brown trout (*Salmo trutta*) and perch (*Perca fluviatilis*). In Lake Breisjøen the perch population is significantly larger than in Lake Store Gryta, while the larger brown trout population is present in Lake Store Gryta. Both lakes have minor populations of arctic char (*Salvelinus alpinus*) and minnow (*Phoxinus phoxinus*). The manipulation has so far had no significant effect on the size or condition factor of perch and brown trout. In both lakes there is a weak tendency of reduced growth and condition factor the two latest years compared with the 3 forgoing years. The two very warm summers (especially 2002) might be an explanation for this decrease. The manipulation *per se* cannot explain this.

4) Modelling

A lake model (MyLake, version 1.0 by Andersen and Saloranta, 2003 unpublished) was developed in order to simulate water temperature variations, and other physical factors in the two lakes. The model simulated the thermocline depth very well compared with real data. The largest deviation between simulated and observed temperatures occurred some meters below the lake surface, where the model predicted somewhat higher values than measured. This might be due to underestimation of mixing rates between epilimnion and hypolimnion, or to the assumption of a constant depth-dependence of the total light extinction coefficient. The model will likely better describe the real conditions after further calibration of light, ice and mixing parameters.

Ice and snow depth on the lakes were not measured, but ice-on and ice-off date has been recorded every year. Comparison between simulated and measured dates for ice-on and ice-off gave average deviation of 2 and 7 days for ice-on and ice-off, respectively. Thus the model simulated ice-off and ice-on very well. Further improvement will likely be obtained by model calibration of ice and snow albedo.

The thermophysics in lakes as Lake Store Gryta and Lake Breisjøen might be simulated relatively well with the MyLake model. Since the model is designed for years to decade simulation, the model is suitable for different experiments/scenarios where physical long-term effects of manipulation of several climatic factors can be modelled.

1. Innledning

1.1. Bakgrunn for prosjektet

Innsjøer og elver i enkelte nordiske fjellområder, har en bemerkelsesverdig høy produksjon av fisk, spesielt ørret. Dette er en av årsakene til at Hardangervidda er blitt et kjent turistmål over hele Europa. Lavereliggende skogssjøer i de samme områdene har mye lavere ørretproduksjon til tross for høyere næringssaltkonsentrasjoner og gunstigere temperatur. Hvorfor disse fjellsjøene er så produktive, til tross for bare 2-3 måneders isfri periode, og lave næringssaltkonsentrasjoner, har vært viet liten oppmerksomhet.

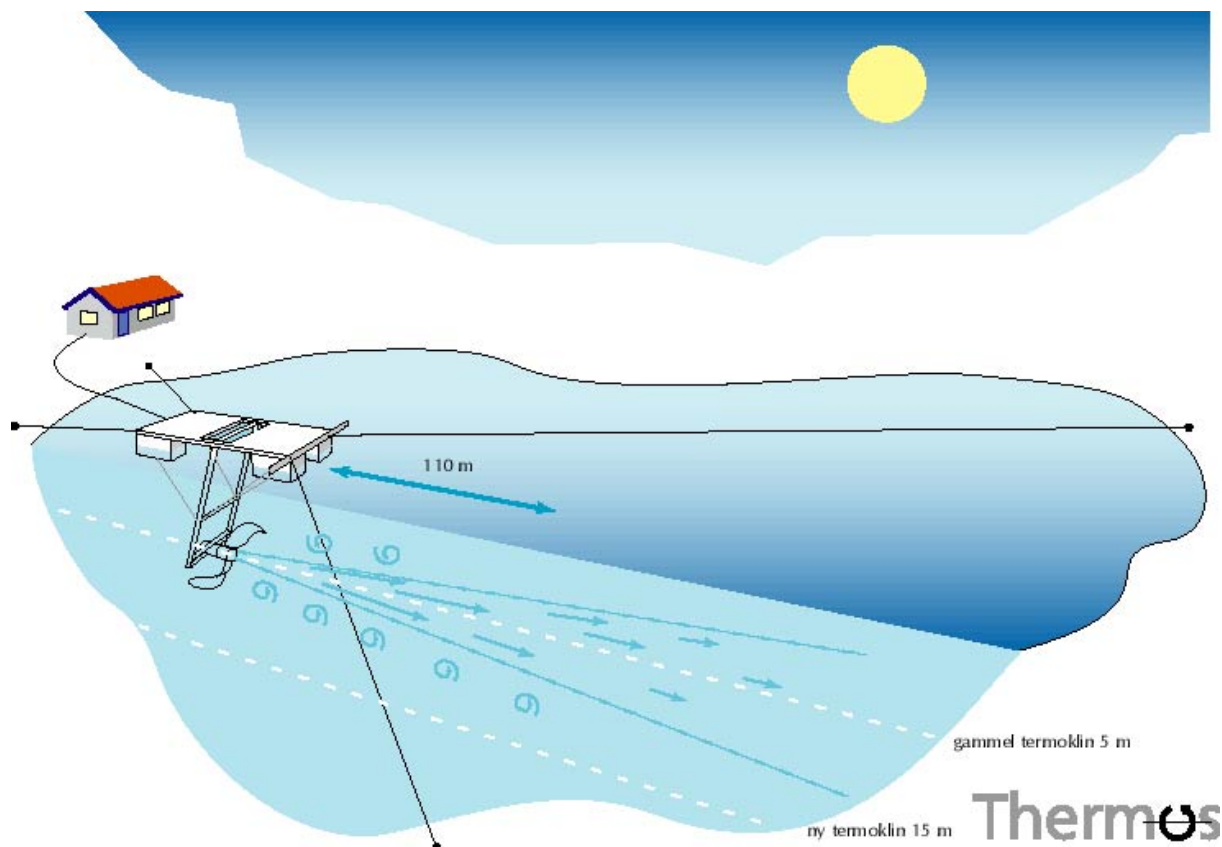
En viktig årsak er at de temperaturmessig ligger i grenselandet for termisk sjiktning/ikke-sjiktning i sommerhalvåret. En termoklin er produksjonsmessig sett en barriere. Næring som sedimenterer gjennom termoklinen er tapt i stor grad, mens næring som sedimenterer i en usjiktet innsjø blir remineralisert på sedimentoverflaten og ført tilbake til produksjonssonen. I en usjiktet innsjø vil sannsynligvis også den bentiske (bunndyr) biomassen øke i forhold til en sjiktet innsjø, og bunndyr er alltid mer effektiv næring for ørret enn plankton, fordi det krever mindre energi å få tak i dem. Elvestrekningene nedstrøms sjiktede innsjøer blir ofte næringsfattige fordi mye av vannets næring er berøvet av innsjøens planteplankton. Er innsjøene dårlig sjiktet, får elvestrekningene også tilgang på dypvann som inneholder "ubrukte" næringsalter, og elva nedstrøms blir tilsvarende mer næringsrik.

En eventuell temperaturøkning p.g.a. klimaendringer kan teoretisk medføre sterkere sjiktning og redusert produktivitet i mange innsjøer og elver, men et predikert scenario med varmere vinter og kaldere sommer kan også medføre mindre sjiktningstabilitet med motsatte konsekvenser. Effekter av klimatiske endringer på hydrologien i en innsjø og påfølgende effekter på vannkjemi og akvatisk flora og fauna er vanskelig å konkretisere fordi klimaendringene vil kunne slå ut forskjellig avhengig av geografisk beliggenhet, og fordi det er vanskelig og forutsi hvordan klimaendringene vil slå ut på ulike geografiske steder på kloden.

For å øke vår kunnskap på dette feltet har NIVA valgt å gjennomføre et storskala eksperiment i en egnet dimiktisk innsjø (sjiktet sommer og vinter) på Østlandet, hvor vi fysisk bryter muligheten til termoklinetablering om sommeren. I Breisjøen Lillomarka, Oslo kommune, har prosjekter senket termoklinen betydelig ved hjelp av en sakte roterende propell. Store Gryta som ligger et par kilometer nordøst for Breisjøen har fungert som kontrollsjø.

For å få muligheter til å vurdere effekter av termoklinnedbrytning har NIVA skaffet omfattende bakgrunnsinformasjon for de to innsjøene i 1998-2000 (Se bl.a Lydersen et al., 2000). Dette gjelder klima, hydrologi, innsjømorfometri, samt fysiske, kjemiske og biologiske forhold i innsjøene. Prøvetaking hver 14. dag, fra isgang til høstsirkulasjon, er basisgrunlaget for beskrivelsen av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold i de to innsjøene.

Rapporten omhandler de viktige resultatene fra 3 år med bakgrunnsundersøkelser (1998-2000) sammenliknet med 2 år med termoklinenknning i Breisjøen (2001-2002).



Figur 1.1 Prissippskisse for termoklinensenkningen i Breisjøen ved bruk av sakte roterende propell.

1.2. Prosjektets hovedhypoteser

Ved å bryte mulighetene for termoklinetablering i en innsjø om sommeren vil innsjøen fullsirkulere fram til "naturlig" høstsirkulasjon. Det å bryte en termisk sjiktning i en innsjø vil kunne medføre store økologiske endringer i innsjøen og utløpselva/bekken. Prosjektet har hatt følgende hypoteser:

- ❖ Maksimal vanntemperatur vil gå ned, mens innsjøens totale varmeinnhold vil øke.
- ❖ Økt varmeinnhold i innsjøen vil medføre senere islegging og lenger biologisk produksjonsperiode i innsjøen.
- ❖ Vannet får lengre hydrologisk oppholdstid i innsjøen under produksjonssesongen, slik at plante og dyrelivet i innsjøen får større mulighet til å påvirke vannkjemien i hele innsjøen.
- ❖ Innsjøvannet vil i større grad bli påvirket av prosesser i sedimentet/sedimentoverflaten slik at konsentrasjoner av mange essensielle kjemiske komponenter (som fosfor) vil forventes å øke. Det samme vil en kunne forvente vil skje med flukser av kjemiske komponenter ut av innsjøen.
- ❖ Ved eventuelle tilførsler av forurensende stoffer vil disse bli av mindre betydning i produksjonsperioden p.g.a. større fortykning (større blandingsvolum)
- ❖ Større vannvolum i sirkulasjon vil bety at mer næringsstoffer vil være tilgjengelig for primærproducentene i innsjøen under veksts sesongen.

- ❖ Økt sirkulasjonsdyp vil medføre at fytoplankton vil kunne komme under kompensasjonsdypet, d.v.s. at produksjon < respirasjon. Hvis dette skjer vil fytoplanktonbiomassen ble sterkt redusert, med den følge at andre primærprodusenter som fastsittende alger og høyere akvatisk vegetasjon sannsynligvis vil bli begunstiget.
- ❖ Nedgang i fytoplanktonbiomasse vil føre til nedgang i zooplanktonbiomasse, hvis fytoplanktonbeitende zooplankton er en viktig del av næringskjeden.
- ❖ Økt mengde av fastsittende vegetasjon (begringsalger, moser og høyere vegetasjon) vil medføre økt biomasse av bunndyr som krepsdyr og insekter.
- ❖ Økt mengde bunndyr vil føre til større produksjonsmulighet for bunndyrspisende fisk som brunørret.
- ❖ Endringene i innsjø-økosystemet vil kunne føre til mer næringsrikt vann ut av innsjøen, med den følge at produksjonen i utløpselva/bekken vil øke.

2. Materiale og metoder

2.1. Utvelgelseskriterier for innsjøene

Under prosjektplanleggingen ble det satt følgende krav til valg av lokaliteter:

- Innsjøene må ha en relevant, praktisk og økonomisk størrelse.
- Innsjøenes oppholdstid må ikke være for kort (minst noen måneder).
- Innsjøene må være relativt dype, og termoklin-nedbrytningen må føre til at et betydelig større vannvolum sirkuleres sammenliknet med epilimnionvolumet når innsjøen er sjiktet.
- Innsjøene må ikke være sterkt påvirket av forurensninger som næringsstoffer, sur nedbør eller andre miljøgifter
- Innsjøene må ikke være for humøse ($< 2-4 \text{ mg C L}^{-1}$)
- Innsjøene må være morfometrisk enkle, ha relativt enkel strandlinje, og helst ha kun ett dominerende tilløp og utløp.
- Innsjøene må ha selvrekrutterende fiskebestander og relativ like fiskesamfunn.
- Innsjøene må geografisk ligge nær hverandre, og være relativt like m.h.p. fysisk, kjemisk og biologiske forhold.
- Innsjøene må ligge i nærhet til vei og innsjøene som skal manipuleres bør ligge nær en kilde for elektrisitetsforsyning.

2.2. Parametre og analysefrekvens

Innsjøene har vært prøvetatt hver 14. dag i 1998 og 1999, fra isgang til høstsirkulasjon. Svært mange parametre har derfor blitt målt hver 14. Dag. Mindre sentrale parametre er analysert månedlig. I tillegg er meteorologiske parametre, vanntemperatur og vannføring/vannstand registrert mer eller mindre kontinuerlig. Alle aktiviteter/målinger, målefrekvens, prøvetakingsdyp samt en kort beskrivelse av felt/prøvetakingsteknikker er beskrevet i Tabell 2.2.1. Alle vannkjemiske parametre som er analysert ved NIVAs laboratorium er kort beskrevet i Tabell 2.2.2.

I tillegg er innsjøene loddet opp med bruk av båt og ekkolodd. Dette datamaterialet er deretter sent til NVE for digitalisering av dypdekart.

Norske innsjøer er normalt termisk sjiktet i et overflatelag (epilimnion) og et dyplag (hypolimnion) under sommerstagnasjonsperioden. De fleste analyser baserer seg derfor på blandprøver fra ulike dyp i innsjøene. Dette betyr at det hver 14. dag blir tatt en dybdeintegrert prøve som betegnes epilimnion og en som betegnes hypolimnion. I tillegg er det tatt en prøve fra metalimnion som er grensesjiktet mellom epilimnion og hypolimnion. Dette er en integrert prøve fra det dybdeområdet i innsjøene hvor den termiske dybdegradienten er størst på sensommeren. Blandprøvene fra Breisjøene baserer seg derfor på følgende dyp a) **epilimnion:** 1-6 m; b) **metalimnion:** 6-12 m; c) **hypolimnion:** 26-31 m. For Store Gryta taes prøvene fra epilimnion og metalimnion fra samme dybdeintervaller som Breisjøen, men siden Store Gryta er en grunnere innsjø er hypolimnion prøven i denne innsjøen en integrert vannprøve fra 15-20 m dyp. Om ikke annet er nevnt refereres det til disse dyp når en vurderer forhold i epilimnion, metalimnion og hypolimnion av innsjøene.

Fra og med våren 1999 er også sedimentasjonsfeller satt ut ved hovedstasjonene i innsjøene på h.h.v. 10 meters dyp og 2 meter over bunnen. Hver felle består av to pleksiglassrør (60x500mm) plassert parallelt ved siden av hverandre og med en 500 mL flaske i bunnen av hvert rør. Disse flaskene skiftes ut hver 14. dag og analyseres for total mengde partikler (STS) samt dette materialets innhold av C, N og P (Se Tabell 2.2.2).

Tabell 2.2.1 Oversikt over analyseparametre, prøvetakingsdyp, prøvetakingsfrekvens og kort prøvetakingsbeskrivelse for Thermos sjøene.

Parameter	Dyp	Frekvens	Kommentar
Fysikk			
Siktedyp, Farge, Turbiditet	Kontinuerlig	14.dag	felt, (secchiskive, snor, dykkermaske, snorkel)
O ₂ , temperatur	Kontinuerlig (samme dyp som termistorene settes ut)	14.dag	felt, O ₂ -meter. I tillegg måles vanntemperatur kontinuerlig med termistorer
Lysmålinger	Kontinuerlig	14.dag	lysrigg, også ukentlig kontinuerlig logging i hver av sjøen en gang hver sommer
Kjemi			
Ca, Mg, Na, K SO ₄ , Cl,	Blandprøve: 0-6m Blandprøve: 6-12 m Blandprøve: -1--7 m fra bunnen	Månedlig	2 m Ramberghenter. Helles i et blandekar, og filtreres gjennom en trakt med skrukork med 90 µm nett i bunn. Dest. vann til vask av filternettet mellom hver blandprøvetaking.
Kond., pH, Alk, NO ₃ , NH ₄ , Tot-N, Part-N TOC, Part-C, Tot-P, PO ₄ , Part-P., UV ₂₅₄ , UV ₄₁₀	Blandprøve: 0-6m Blandprøve: 6-12 m Blandprøve: -1--7 m fra bunnen	14.dag	Som over
Biologi			
Klorofyll	Blandprøve: 0-6m Blandprøve: 6-12 m Blandprøve: -1--7 m fra bunnen	14.dag	Som over + 2-3L fra hver blandprøve taes på egen flaske og filtreres i felt eller lab. Filtrene analyseres.
Primærproduksjon	på 12 dyp	14.dag	Limnos-henter. Kun 1 blank flaske pr dyp, og totalt 2 mørke flasker. Vannprøver til hvert dyp taes på aktuelt dyp. Minimum 4 t eksponering, og filtrering i felt. (¹⁴ C-metoden)
Plantep plankton <i>Kvantitativt</i> <i>Kvalitativt</i>	Blandprøve: 0-6m Blandprøve: 6-12 m Blandprøve: -1--7 m fra bunnen	14.dag	250 mL filtreres gjennom 90 µm nettet fra hver bl. prøve ned i 250 mL brune medisinflasker og lugoltilsetning.
Påvekstalger <i>Kvantitativt</i> <i>Kvalitativt</i>	1, 3, 5, 10, 15 m	Månedlig	begroing på pottar (målt som klorofyll-a pr mg) under veksts sesongen.
Høyere akvatisk vegetasjon <i>Kvalitativt</i> <i>Kvantitativt</i>	Hele innsjøen	Årlig	1 gang i veksts sesongen
Dyreplankton <i>Kvantitativt</i> <i>Kvalitativt</i>	Blandprøve: 2, 4, 5, 6 m Blandprøve: 7, 8, 9, 10, 11, 12m Blandprøve: 1,-,-2,-,-3,-,-4,-,-5,-,-6 m fra bunnen	14.dag	Limnos-henter Hver blandprøve filtreres gjennom 90 µm nettet. Det som ligger på nettet spyles over i dramsglass (90 mL) og tilsettes lugol
<i>Migrasjon</i>		årlig	Slutten av August
Bunndyr <i>Kvalitativt</i> <i>Kvantitativt</i>		vår og høst	før isgang + senhøstes
Fisk <i>Kvalitativt</i> <i>Kvantitativt</i>		vår og høst	Abborfiske i mai (ruser) Garnfiske sept/okt. (alle fisk)

Tabell 2.2.2 Kort beskrivelse av fysisk/kjemisk parametre og prøvetakingsfrekvens for Thermos-sjøene.

Variabel	Kortnavn	NIVA Met. nr.	Enhet	Referanse
pH	pH	A 1	-log[H ⁺]	NS 4720, 1979, 2. utg.
Elektrol. ledningsevne	KOND	A 2	mS M ⁻¹	NS-ISO 7888, 1993, 1. utg.
Turbiditet	TURB	A 4	FTU	Stand. Met. Examin. Water Waste Water, 18. utg., 1992, Metode 2130 B
Farge	FARG	A 5	mg Pt L ⁻¹	Ref. blad nr. 1, 1983, og nr. 2, 1984
UV-absorbans *	UVABS	A 6		Intern metode, OD ved 253.7 nm
Alkalitet	ALK	C 1	mmol L ⁻¹	NS EN-ISO 9963-1, Del 1., 1. Utgave 1996
Klorid	Cl	C 4-2	mg L ⁻¹	EN-ISO 10304-1. Part 1. Method for water with low contamination. 1995-05
Sulfat	SO4	C 4-2	mg SO4 L ⁻¹	EN-ISO 10304-1. Part 1. Method for water with low contamination. 1995-05
Nitrat	NO3-N	D 3	µg N L ⁻¹	NS 4745, 2. utg, 1991
Total nitrogen	Tot-N/L	D 6-1	µg N L ⁻¹	NS 4743
Ammonium	NH4-N	D 5-1	µg N L ⁻¹	NS 4746, 1. utg. , 1975
Total partikulært N	TN/GFF	G 6	µg N L ⁻¹	Instruction manual., applic. lab. reports, Carlo Erba, 1987
Fosfat	PO4-P	D 1-1	µg P L ⁻¹	NS 4724, 2. utg., 1984
Total løst P	Tot-P/L	D 2-1	µg P L ⁻¹	NS 4725, 3. utg., 1984
Total partikulært P	Tot-P/P	D 2-1	µg P L ⁻¹	NS 4725, 3. utg., 1984
Total organisk karbon	TOC	G 4-2	mg C L ⁻¹	EPA, 415.1, Stand Met. 5310C, ASTM D 4779 og D 4839
Total partikulært C	TC/GFF	G-6	µg C L ⁻¹	Instruction manual., applic. lab. reports, Carlo Erba, 1987
Kalsium	Ca	E 9-1	mg L ⁻¹	ISO/DIS 11885. Water qual. – The determ. 33 elements by ICP-AES
Magnesium	Mg	E 9-1	mg L ⁻¹	ISO/DIS 11885. Water qual. – The determ. 33 elements by ICP-AES
Natrium	Na	E 9-1	mg L ⁻¹	ISO/DIS 11885. Water qual. – The determ. 33 elements by ICP-AES
Kalium	K	E 1	mg L ⁻¹	NS 4770, 2. utg., 1994
Total suspendert stoff	STS	B 2	mg L ⁻¹	NS-EN 872, 1 utg., 1996
Klorofyll a	KLA/S	H 1-1	µg L ⁻¹	NS 4767
Klorofyll a *	KLA/Sm	H 1-1	µg mg ⁻¹	Basert på NS 4767

* : ikke akkrediterte metoder

2.3. Meteorologi

I 1998 og 1999 har klimadata blitt hentet inn fra en automatisk Aanderaa værstasjon (AWS 2700) på Grefsenkollen, 1-3 km syd-sydvest for de to innsjøene. Sommeren 1999 ble en tilsvarende stasjon plassert ute på prøvetakingstasjonen på Breisjøen. På grunn av ulike problemer har begge disse stasjonene vært ut av drift i kortere eller lenger perioder i 1998 og 1999. Vi har derfor innhentet data fra DNMI sin stasjon på Blindern, som ligger ca 7-8 km sydvest for innsjøene, og fra klimastasjonen ved Norges Landbrukshøgskole (NLH) på Ås, 35 km syd for innsjøene. Begge disse klimastasjonene ligger ca 90 m o.h., mens innsjøene ligger ca 250 m o.h. (Tabell 2.3.1).

Kun Ås har kontinuerlig data for alle aktuelle klimaparametere gjennom hele perioden (1998 og 1999). Derfor har prosjektet valgt å bruke dataene fra denne stasjonen i rapporten. Det er gjort sammenlikninger mellom de ulike værstasjonene der det har vært mulig. På bakgrunn av disse sammenlikningene (Se kapittel 3.4) finner vi det fullt ut akseptabelt å benytte værdata fra Ås i Thermos-prosjektet også i framtiden.

Klimastasjonene på Ås foretar en avlesning av alle overvåkningsvariable hvert minutt. Middelerdien for hvert 10. minutt lagres i databasen. Lufttemperatur og luftfuktighet er målt i standard meteorologisk hytte 2 m over bakken. Vindhastigheten og vindretning er målt i 10m over bakken. Maksimal vindhastighet er maksimal verdi i løpet av døgnet. Global stråling, diffus stråling og strålingsbalanse (nettostråling), samt globalstrålingens spektral fordeling er rapportert som døgnsommer. Global stråling, diffus stråling og strålingsbalanse er angitt i MJ m⁻² dag⁻¹. Globalstrålingens spektral fordeling er angitt i %, og inndelt i ultrafiolett, blått, grønt, rødt og infrarødt. Bølgelengdeintervaller er angitt i Tabell 2.3.2. PAR stråling (Photosynthetic Active Radiation) er angitt i E m⁻² (Einstein m⁻² = 6,02x10²³ fotoner m⁻²) summert over døgnet.

For vindretning har vi benyttet data fra DNMI, Blindern, da de er angitt i grader. Middell vindretning for et døgn er beregnet ved at vi har tatt gjennomsnittet av alle enkelt målinger av vindstyrke*vindretning over et døgn og dividert med gjennomsnittlig vindstyrke for døgnet. Vindstyrkeinndeling er angitt i tabell 2.3.3 og vindretninger (°) og himmelretning er angitt i tabell 2.3.4.

Det er angitt 3 vindstyrkeparametre på døgnbasis: middel vind, midlere vindhastighet i kast, og maksimal vindhastighet i kast. Vindstyrke måles kontinuerlig men registreres som integrerte verdier for 10 minutters intervaller, d.v.s vindstyrke målt kl. 12:00 er kontinuerlige vindmålinger fra 11:50 til 12:00. Døgnlige vindhastighetsmiddel er gjennomsnittet for alle middelerdier for hvert 10 minutters intervall gjennom døgnet. Døgnlige vindhastighetsmiddel i kast er gjennomsnittet for alle vindkast med varighet 10 sekunder gjennom døgnet, mens maksimal vindhastighet i høyeste målte vindhastighet i aktuelt døgn.

Tabell 2.3.1 Geografisk lokalisering av Thermos-sjøene og de meteorologiske stasjonene på Ås og Blindern.

Lokalitet	Høyde over havet m	UTM øst-vest	UTM nord-syd
Blindern	94	32 596251	6647121
Ås	93	32 604221	6615896
Breisjøen	248	32 603890	6650620
Store Gryta	247	32 602006	6651581

Tabell 2.3.2 Oversikt over klimaparametre som måles ved meteorologisk stasjon ved Norges Landbruks-høgskole (NLH) på Ås og Blindern (DNMI) som er aktuelle i Thermosprosjektet. Høyeste brukte oppløselighet av data er primært døgnerverdier. Fra hvilken stasjon data er hentet fra i Thermosprosjektet er angitt i egen kolonne.

Parameter	Enhet	Stasjon hvor data er hentet fra
Luft temperatur, middel	°C	Blindern
Luft temperatur, maksimum	°C	Blindern
Luft temperatur, minimum	°C	Blindern
Nedbør	mm	Blindern
Relativ luftfuktighet	%	Blindern
Luftrykk (stasjonsnivå)	hPa	Blindern
Vindhastighet, middel	m s ⁻¹	Blindern
Vindhastighet, maks	m s ⁻¹	Blindern
Vindretning	°	Blindern
Skydekke ¹	Skala: 0-9	
Global stråling ((λ: 295-2800nm)	MJ m ⁻²	Ås-NLH
UV (λ: 295-385nm)	MJ m ⁻²	Ås-NLH
PAR (λ: 385-695nm)	MJ m ⁻²	Ås-NLH
IR (λ: 695-2800nm)	MJ m ⁻²	Ås-NLH
PAR (Fotosyntese aktiv stråling)	E m ⁻²	Ås-NLH
Albedo	MJ m ⁻²	Ås-NLH

¹ Skydekke måles i åttendedeler av himmelen: 0 = ingen skyer, 1 = 1/8 eller mindre men ikke helt klart, 2 = 2/8, 3 = 3/8, 4 = 4/8, 5 = 5/8, 6 = 6/8, 7 = 7/8 eller mer men ikke helt overskyet, 8 = helt overskyet, 9 = mengden av skyer er umulig å bedømme p.g.a. tåke, snøfokk eller liknende.

Tabell 2.3.3 Vindstyrketabell som viser sammenhengen mellom ulike vindstyrkeangivelser.

Beaufort skala	Navn på vindstyrke	Vindhastighet knop	Vindhastighet m s ⁻¹
0	stille	< 1	0-0,2
1	flau vind	1-3	0,3-1,5
2	svak vind	4-6	1,6-3,3
3	lett bris	7-10	3,4-5,4
4	læber bris	11-16	5,5-7,9
5	frisk bris	17-21	8,0-10,7
6	liten kuling	22-27	10,8-13,8
7	stiv kuling	28-33	13,9-17,1
8	sterk kuling	34-40	17,2-20,7
9	liten storm	41-47	20,8-24,4
10	full storm	48-55	24,5-28,4
11	sterk storm	56-63	28,5-32,6
12	orkan	> 63	>32,6

Tabell 2.3.4 Sammenhengen mellom vindretning i grader (°C) og himmelretning.

Grader	Himmelr.	Grader	Himmelr.	Grader	Himmelr.	Grader	Himmelr.
350-010	NN	080-100	ØØ	170-190	SS	260-280	VV
020-030	NNØ	110-120	ØSØ	200-210	SSV	290-300	VNV
040-050	NØ	130-140	SØ	220-230	SV	310-320	NV
060-070	ØNØ	150-160	SSØ	240-250	VSV	330-340	NNV

2.4. Innsjøfysikk

2.4.1. Dybdekart - morfologi - hydrologi

Dybdekartene baserer seg på opplodding ved bruk av båt (m/påhengsmotor) og ekkolodd. Det er kjørt transekter over innsjøene med kontinuerlig signaloverføring fra ekkolodd til skriver. Dybdekartene bygger på 20 transekter i Breisjøen og 25 transekter i Store Gryta. Alle dybder < 2m er registrert som samme dyp og angitt 0-2 m. Dataene er sent til Norsk Vassdrag og Energidirektorat (NVE), som har laget de digitaliserte dybdekartene. NVE har også beregnet nedbørfeltareal og spesifikk avrenning. Dette materialet danner også grunnlaget for areal-dyp, volum-dyp relasjoner i innsjøene, som igjen danner grunnlag for middeldypberegninger, varmeinnhold mm.

2.4.2. Vanntemperatur

Termistorer har kontinuerlig (hver time) logget vanntemperaturen på 15 ulike dyp i Store Gryta og 20 ulike dyp i Breisjøen. I Store Gryta har det vært plassert ut termistorer på 0,5m og på hver meter ned t.o.m. 12 m, samt på 15 m og 21m. I Breisjøen har termistorer vært plassert på 0,5 m og hver meter ned t.o.m. 15 meter, samt på 20m, 25m, 30m og 33 meters dyp.

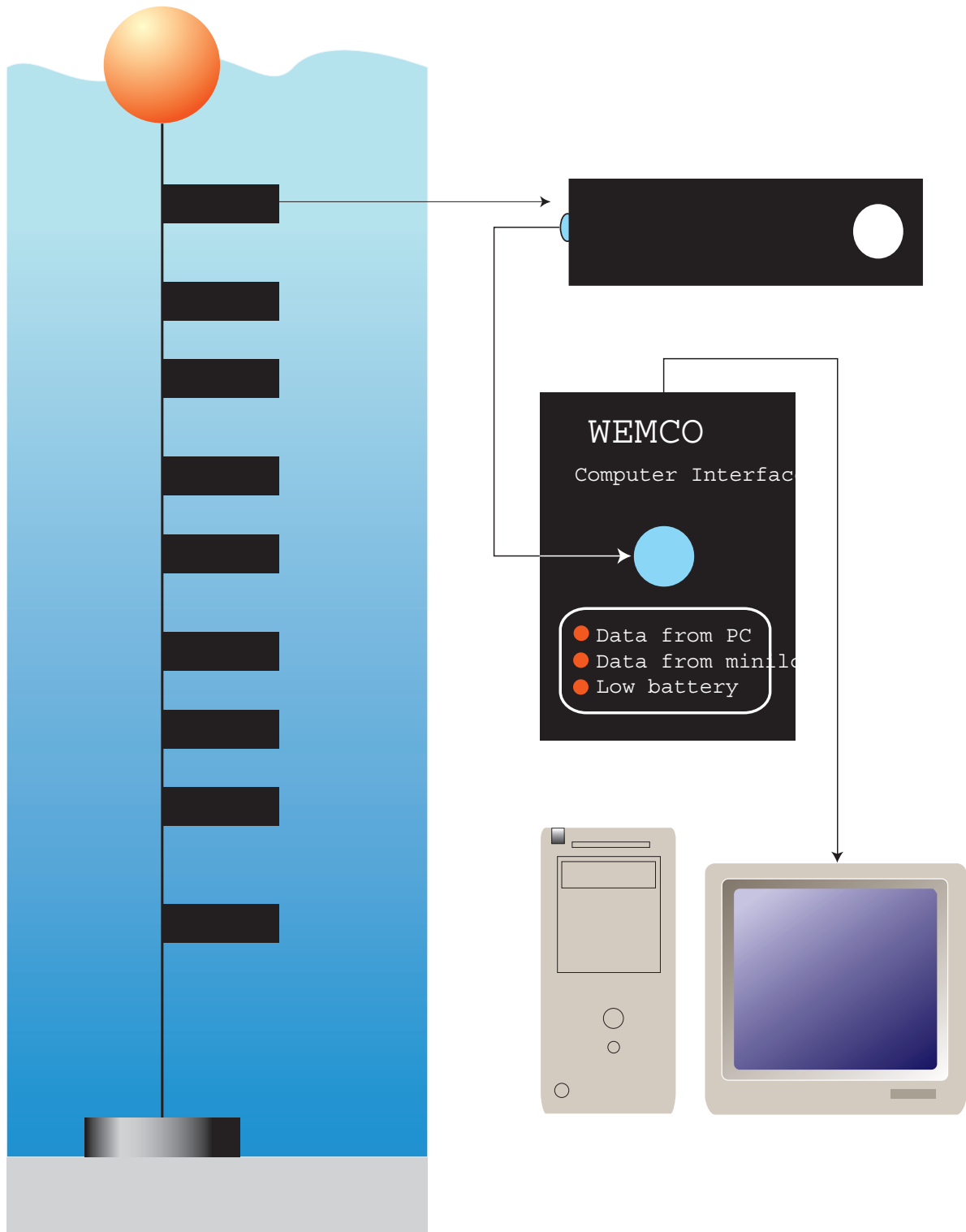
Vanntemperaturen er målt med Minilog 12-TR temperatur loggere. Dette er PVC-sylindre (22mm i diameter og 95 mm lange) hvor en temperatur-transduser er plassert i en polykarbonat kappe i den ene enden av cylinderen. Disse er garantert ned til 1000 meters dyp. Hver logger kan lagre mer enn 8 000 temperatur avlesninger. Loggeren er utstyrt med et 1/4" hull som vi har benyttet til å feste loggerene til en kjetting som løper fra en bøye i overflaten til et lodd på bunnen (Figur 2.4.1). Termistorene blir utplassert rett etter isgang og taes opp når innsjøene fullsirkulerer om høsten.

Måleområdet: -5 - 40°C

Oppløsning: 0,015°C

Presisjon: ± 0,1°C

Alle termistorene er kalibrert mot manuelt termometer i vannbad ved temperaturer mellom 4-5 °C og 20-21 °C, i mars 1998 og i januar 2000.



Figur 2.4.1 Skjematisk oversikt over temperatur målesystemet for Thermos-sjøene.

2.5. Vannføring

Vannføring er kontinuerlig logget i bekken noen hundre meter nedstrøms utløp Store Gryta. Ved målestasjonen er også en sidebakk kommet inn, slik at denne stasjonen måler vannføring for et større nedbørfelt (Q_G) enn for Store Gryta. Total areal for det nedbørfeltet som stasjonen måler vannføring (A_G) fra er 7,63 km². Siden nedbørfeltet til Store Gryta (A_g) kun utgjør 1,76 km² av dette har vi kalkulert vannføringen ut av Store Gryta (Q_g) til å være:

$$Q_g = Q_G * \left(\frac{A_g}{A_G} \right)$$

I Breisjøen er det kun målt vannstand ved et fast punkt i innsjøen, i gjennomsnitt fra 2-4 observasjoner pr. måned. Disse vannstandsvariasjoner er vanskelig å relatere til vannføring ut at innsjøen. Siden innsjøene ligger svært nær hverandre og mottar tilnærmet samme mengde nedbør, har vi derfor valgt å estimere vannføring ut av Breisjøen som for Store Gryta:

$$Q_B = Q_G * \left(\frac{A_B}{A_G} \right)$$

hvor

Q_B : Vannføring i Breisjøen

A_B : Breisjøens nedbørfeltareal (3,66 km²)

Vannføringskurvene er presentert i Figur 3.3.7.

Breisjøen har vært benyttet som drikkevannskilde for Oslo, ved at vann har blitt overført via tunnel til Alunnsjøen (Figur 3.3.1). Denne tappingen er gradvis redusert i senere år, og i 1998 og 1999 synes det ikke som om tapping har forekommet. Vann og Avløps-Verket i Oslo (R. Wartianen, VAV, pers. med.) opplyser at det ikke har vært drevet sommertapping (Se figur 3.3.6) i senere år p.g.a. for høyt bakterieinnhold i innsjøen. Breisjøen er i ferd med å gå ut av drikkevannforsyningen til Oslo i løpet av et par år. Vi antar derfor at det heller ikke vil foregå noen tapping framover, i alle fall ikke sommerstid.

2.6. Innsjøkjemi

Fysisk/kjemisk analyse av vannprøver baserer seg primært på de 3 dypdeintegrerte vannprøvene, som taes hver 14. dag, fra isgang til høstsirkulasjon. Til prøvetaking har vi benyttet en 2 meter lang Ramberghenter. Vannet er samlet opp i en 25 L plastdunk før det er filtrert gjennom en 90 µm duk og ned på prøveflasker. Vannprøver for kjemisk analyse er tatt på 1 L rene polyetylen flasker, etter at flaskene også har blitt vasket minst to ganger med prøvevann. Alle parametre er analysert hver 14.dag, med unntak av basekationer, klorid og sulfat, som kun er analysert månedlig. Informasjonsdokument om måleusikkerheter for metodene finnes i NIVA-dokument nr Y-3, 1998.

2.7. Innsjøbiologi

Planteplankton

Primærproduksjon er målt med ¹⁴C metoden. Flasker er eksponert i 12 ulike dyp i innsjøene. I 3 dyp er det også eksponert mørke flaske som kontroll. Målingene er utført hver 14. dag fra isgang til høstsirkulasjon. Klorofyll-a er analysert på blandprøver, tilsvarende de vannkjemiske analysene, d.v.s. i epilimnion (1-6 m), metalimnion (6-12 m) og hypolimnion (15-20 m i Store Gryta, og 26-31 m i Breisjøen).

Kvantitative prøver for analyse av fytoplankton biomasse og sammensetning er tatt fra de samme blandprøvene som angitt for klorofyll. Prøvene ble samlet inn hver 14. dag i den isfrie perioden mai til november, og dekker derfor det meste av vekstsesongen. Alle prøvene ble konserverte med Lugols løsning tilsatt iseddik. Prøvene

skulle derfor representere forholdene og planteplanktoninnholdet i henholdsvis epilimnion, metalimnion og hypolimnion i de to innsjøene.

Analysene av planteplankton er utført etter en "Sedimenteringsmetoden" utarbeidet av Utermöhl (1958), med etterfølgende volumberegninger beskrevet av Rott (1981). Volumberegningene er utført ved at et antall individer av hver art måles, et spesifikt volum for hver art beregnes ved å sammenligne med kjente geometriske figurer og et samlet volum av hver art pr.volumenhet vann beregnes. En samlet metodebeskrivelse er gitt av Brettum (1984) og Olrik m. fl. (1998). Metoden omfatter undersøkelser ved hjelp av et omvendt mikroskop og gir det kvantitative innholdet av hver enkelt art eller takson, prosentvis andel av hver gruppe som for eksempel blågrønnalger, kiselalger, grønnalger o.s.v., samt totalt planteplanktoninnhold pr. volumenhet vann.

Det innsamlete materialet er meget omfattende og skulle gi et svært godt bilde av de naturlige variasjonene i planteplanktonet i Store Gryta og Breisjøen gjennom vekstsesongen. Variasjonene i totalvolum og prosentvis andel av de viktigste gruppene er fremstilt i Figur 5.1.1 og 5.1.2. Verdiene for totalvolum er gitt i mm^3/m^3 som er tilnærmet lik mg/m^3 friskvekt. Oversikt over variasjonene i mengde for de enkelte arter/taksa er gitt i tabellene i Vedlegg C (Tabell C-1 til C-12).

Høyere vegetasjon og påvekstalger

Makrovegetasjon kan deles inn i grupper etter livsform: helofytter (semi-akvatiske arter med hoveddelen av fotosyntetiserende organer over vannflata det meste av tiden, og et velutviklet rotsystem), isoetider (kortskuddsplanter), elodeider (langskuddsplanter), nymphaeider (flytebladsplanter) og lemnider (flytere). De siste fire gruppene, samt kransalgene omtales ofte som vannvegetasjon. Navnsettingen følger Lid og Lid (1994).

Artsregistrering

Artsregistrering og vurdering av mengdeforhold av vannvegetasjonen ble foretatt 18. august 1998. Det er benyttet båt, vannkikkert og kasterive. Registreringen følger standard metodikk og er foretatt rundt hele innsjøen. Artene er kvantifisert etter en semi-kvantitativ skala, hvor 1=sjelden, 2=spredt, 3=vanlig, 4=lokalt dominerende og 5=dominerende.

Undervannsfotografering

Undervannsfotografering er den eneste metoden som gir fullgod registrering av eventuelle kvantitative endringer i dypere områder (>1,5-2m). Metoden er derfor egnet til å etablere tidsserier med tanke på vegetasjonsendringer.

Det er etablert 2 lokaliteter i Breisjøen og 1 lokalitet i Store Gryta (Figur 2.7.1). På hver lokalitet (lok.) ble det foretatt undervannsfotografering med standard fotograferingsutstyr påmontert dybdemåler. Det er fotografert $0,12 \text{ m}^2$ (40x30 cm) prøveflater fra ca. 0,5 m dyp og ut til nedenfor nedre vegetasjonsgrense. Fotograferingen er foretatt tilfeldig spredt i dybdegradienten (random sampling) og det ble benyttet 2-3 filmer pr. lokalitet i Breisjøen. I Store Gryta ble det bare tatt en film (36 bilder). Fotograferingen ble foretatt 19. oktober 1998 (Breisjøen og Store Gryta) og 14. oktober 1999 (Breisjøen). Totalt er det fotografert 310 ruter i Breisjøen og 36 ruter i Store Gryta. Spredningen av fotoruter langs dybdegradienten i Breisjøen er vist i Figur 2.7.2. For lok.1 ble det foretatt noe ulik vektlegging av dybdene i 1998 og 1999, mens fotograferingen ved lok. 2 var mer sammenfallende i de to årene. Dette er viktig å være oppmerksom på ved tolkning av vegetasjonsdataene.

Undervannsbildene er analysert i stereolupe og prosentvis dekningsgrad for de ulike planteartene og substrattypen er bestemt. Alle dybdemålingene er justert til vertikalnivå (dybdenivå) i forhold til medianvannstand for perioden 1988-99. Medianvannstand er beregnet på grunnlag av døgnmidler ved Vann- og Avløps-Verket i Oslo (VAV) sin vannstandsmåler og ble beregnet til 6,5m. Dette er 6,5 m over LRV som er på kote 241,90 m. Middelvannstand er derfor på kote 248,40 m, som tilsvarer HRV-nivået i innsjøen. I fortsettelsen er det justerte dybdenivået for enkelthets skyld bare betegnet "dybde" eller "justert dybde". Denne justerte dybden er grunnlaget for beregninger av alle dybdegrensene og middeldyp for vannvegetasjonen.

Elementanalyser

Elementinnholdet i vannvegetasjon kan gi viktig informasjon om næringsbegrensning og konkurranseforholdet mellom vannvegetasjonen og andre primærprodusenter. Det er foretatt innledende elementanalyser (C, N og P) av krypsiv (*Juncus supinus*) i Breisjøen, lok. 1. De øverste 10cm av rosettbladene er benyttet. Det ble tatt 3 paralleller.

Kunstig substrat for kvantitative påvekststudier

Leirpottene satt ut i en dybdegradient i de frie vannmassene (pelagialen) er benyttet som vekstsubstrat for å estimere den kvantitative produksjonen av påvekstsalger. Metoden er standardisert av Lindstrøm (1994). Pottene er eksponert i 5 fortløpende en måneders perioder (juni-oktober) under vekstsesongen, i 5 ulike dyp (1, 3, 5, 7.5 og 10 m) i begge innsjøene. Dette betyr at påvekstsalgenes primærproduksjon er målt både over og under naturlig termoklindyp. Det ble samlet 3 parallelle prøver til kvantitative målinger og 1 til kvalitative.

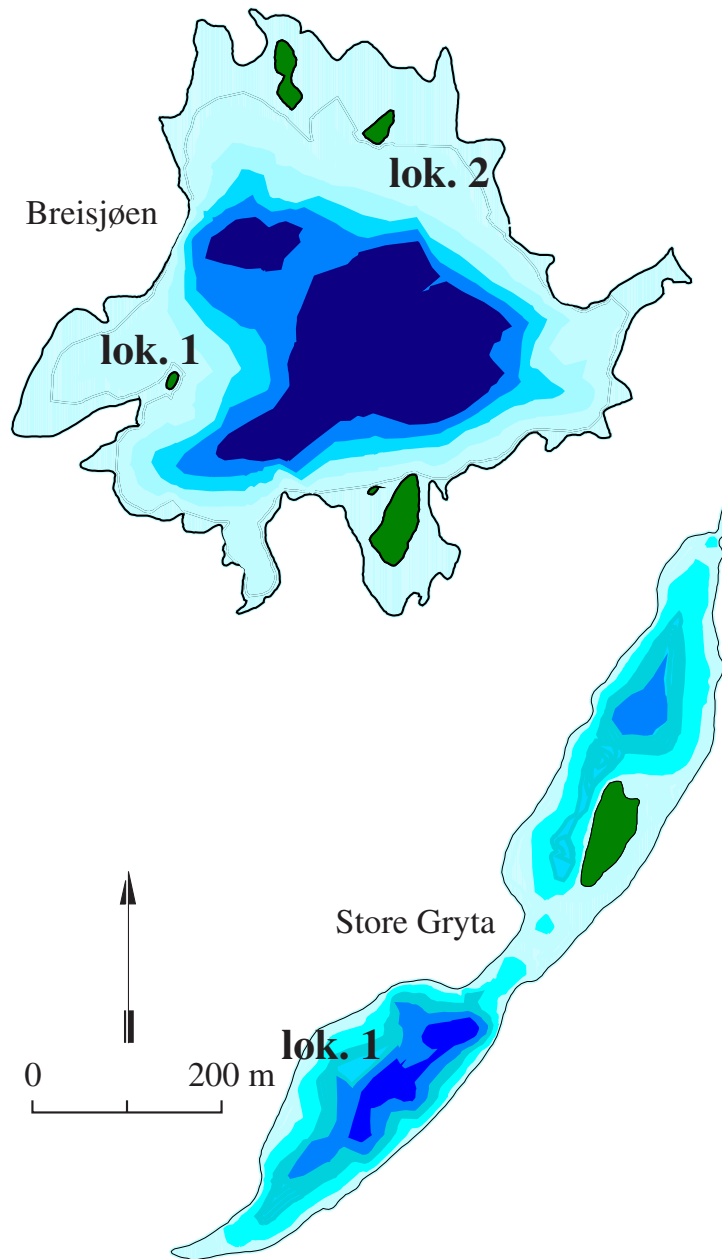
Både tørrvekt og klorofyll-a innhold er bestemt. Biomassen kan måles på minst tre måter:

1. Tørrvekt per arealenhet
2. Klorofyll-a per vektenhet eller spesifikk klorofylltetthet
3. Produktet av 1 og 2, d.v.s klorofyll-a per arealenhet

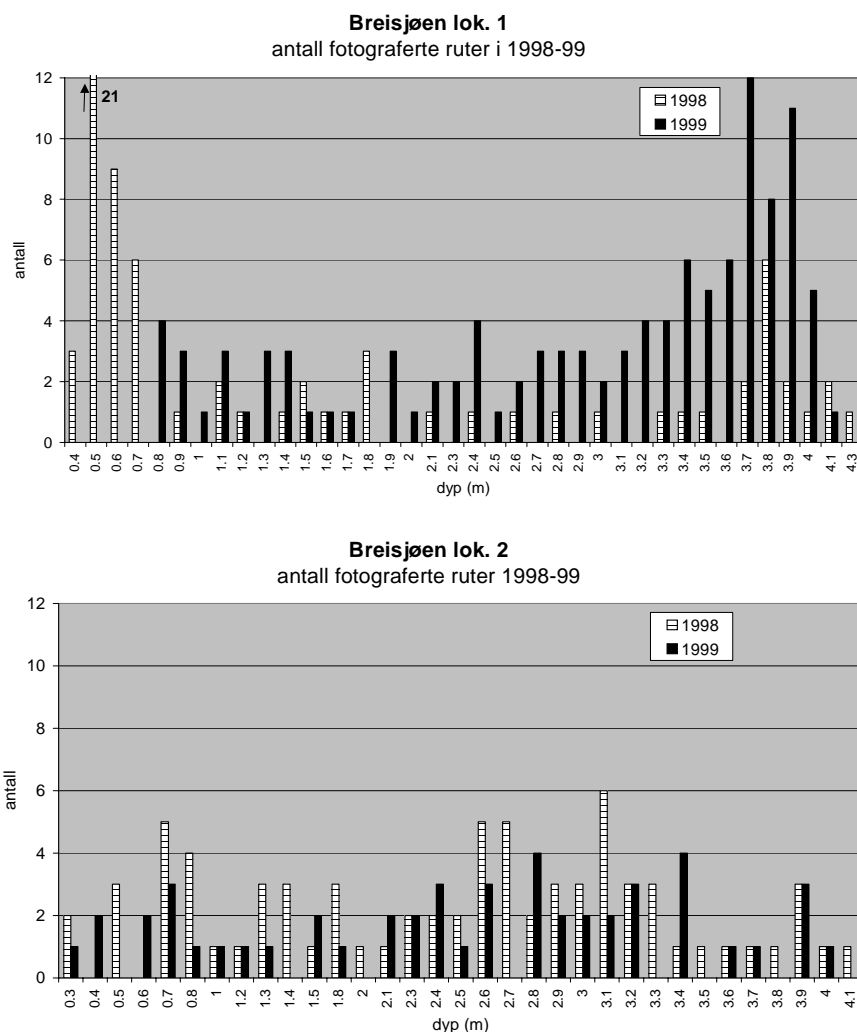
1. Tørrvekt per arealenhet er et konservativt mål på mengde organisk materiale som akkumuleres gjennom et gitt tidsrom, i disse forsøk på kjeramikpottene med overflate på 125 cm².
2. Spesifikk klorofylltetthet er et dynamisk, variabelt uttrykk for mengde klorofyll-a. Parameteren endres raskt om følge av en rekke faktorer som næringstilgang, lysforhold, begroingens alder, typer/arter begroingsalger, typer og mengde av nedbrytere/konsumenter i forhold til primærprodusenter. Normalt vil klorofylltettheten øke med avtakende lys. Det at algene ikke lager mer klorofyll enn det er behov for under de gitte betingelser, er en energiøkonomisk strategi algecellene har utviklet.
3. Klorofyll-a per arealenhet er Tørrvekt*Spesifikk-klorofylltetthet. Dette er et kombinert konservativt/dynamisk uttrykk for biomassen, og er en mye brukt parameter.

Innhold av karbon, nitrogen and fosfor

Innhold av karbon, nitrogen og fosfor i påvekstsalger og makrofyter gir viktig informasjon om næringsbegrensende faktorer og konkurranseforhold. Analysene er utført før og etter at innsjøen sjiktes om sommeren. Analyser er gjort på hele påvekstsalgesamfunnet samlet, og på en dominerende makrofytt. Påvekstsalger og makrofyter er prøvetatt på samme dyp og samme tid. Fra hver innsjø er det tatt prøver fra to dyp (epilimnion og hypolimnion), og tre paralleller er tatt fra hvert dyp. Sesongvariasjoner i påvekstsalger er bestemt på bakgrunn av prøver tatt før, under og etter sommerstagnasjonen.



Figur 2.7.1 Breisjøen og Store Gryta. Fotograferte områder.



Figur 2.7.2 Antall fotograferte ruter i Breisjøen ved lok. 1 (øverst) og lok. 2 (nederst) i 1998-99. Alle dyp er korrigert til medianvannstand.

Dyreplankton

Biomasse, artsammensetning, eggproduksjon (antall egg/hunn), individuell art-spesifikk tørrvekt, og sestonets C, N og P innhold er bestemt. Det siste bestemmes på 0.2 μm membranfiltrerte prøver, hvor materialet på filteret analyseres.

Det er tatt prøver hver 14. dag. Dette er blandprøver fra samme dyp som beskrevet tidligere, d.v.s. fra epilimnion, metalimnion og hypolimnion. I tillegg er det tatt ytterligere en prøve fra 13-18 m dyp i Breisjøen for å få noe bedre dekningsgrad for hele Breisjøens vertikalprofil. Dette er gjort fordi denne innsjøen er ca 10 m dypere enn Store Gryta. Prøvetaking av dyreplankton er utført med en 5 L Limnos-henter hvor vannet filtreres gjennom en 45 μm filterduk.

I september 1998 ble det tatt hyppige prøver gjennom et døgn for å studere zooplanktonets vertikale døgnvandring.

Bunndyr

Bentiske makrovertebrater (bunndyr) er samlet inn fra to ulike habitat typer, i strandsonen, og på ulike innsjødyb (Tabell 2.7.1). Videre er strandsonen delt i to under-habitater, bølgeeksponert steinstrand og mer vindbeskyttet strand med semiakvatisk- og/ eller akvatisk vegetasjon. Bunnområdene ble prøvetatt like over og under sprangsjiktet (termoklinen). I tillegg ble det tatt prøver fra det dypeste området i innsjøene.

Det ble anvendt ulike prøvetakingsmetoder i de to habitatene. I strandsonen ble det brukt en standardisert sparkeprøvemethode. Mens en sakte beveger seg langs stranden, brukes den ene foten til å sparke opp bunnsstratet. Et håndnett bevegges gjennom vannet for å fange opp oppvirkede organismer. Prosedyren foregår i ett minutt og gjentas 3 ganger (3*1 minutters sparkeprøve). Etter hvert minutt tømmes håvposen for å hindre tetting av maskene i posen. Det ble anvendt en standard håv med maskeåpning på 250 µm. Prøvene konserveres i 70% etanol. Bunndyrene telles og artsbestemmes ved hjelp av binokulær lupe og mikroskop.

Sparkemetoden er kvalitativ eller "semikvantitativ". Dette er en meget god metode til å samle inn artene i habitatene og en god metode til å måle den relative tettheten mellom arter og lokaliteter. Sparkemetoden kan ikke anvendes til å beregne tettheter.

Prøvetaking av bunndyr i sedimentene i Breisjøen og Store Gryta ble utført på isen den 24 - 26 mars, 1999. Prøvene ble tatt på største dyp samt over og under sommer-termoklindypet (Tabell 2.7.1). I begge innsjøene lå sommer-termoklinen i 1998 og 1999 på 5-6 m. Prøvetaking over og under termoklinen foregikk derfor på 3-4 m og 10 m dyp i begge sjøene.

En rørhenter ble brukt for å hente inn 10 prøver fra hvert sted. Røret hadde et tverrsnitt på 28 cm². Ved maksimum dyp og ved 10 m dyp var sedimentkolonnene i gjennomsnitt 25cm høye. Ved 3-4 m dyp var gjennomsnittshøyden av sedimentet i prøvetakeren omkring 10 cm i Breisjøen, og 20 cm i Store Gryta. Hver sedimentprøve ble vasket i en håv med maskevidde 250 µm. Den gjenværende delen av prøven ble konservert i 70% etanol. Bunndyrene ble tellet og artsbestemt ved hjelp av binokulær lupe og mikroskop. Det ble gjort beregninger av sammensetningen av arter eller høyere taksa, gjennomsnittlig tetthet og variasjon mellom prøvene.

Tabell 2.7.1 Prøvetakingsdyp for bentiske evertebrater

Breisjøen	34 m	10 m (9,5-11)	3,5 m (3-4)
Store Gryta	21 m (19.5-22)	10 m (9-11)	4,0 m

Fisk

Prøvefiske med garn.

Fra 1998 til 2002 har det vært fisket med 2 prøvegarnserier på høsten i begge innsjøene, en Jensen-serie og en SNSF-serie. Maskeviddene i prøvegarnseriene er som følger:

Jensen-serien: 21, 21, 26, 29, 35, 40, 45 og 52 mm
 SNSF-serien: 10, 12.5, 16, 22, 25, 30, 38 og 45 mm.

Fisket ble foretatt samtidig i begge innsjøene. Garnseriene ble satt ut fra strandsonen og på grunnområder rundt hele innsjøene. Totale fangster er vist i Tabell 2.7.2.

Tabell 2.7.2 Samlede garnfangster av abbor, ørret, røye og ørekyt på én "Jensen-serie" og én "SNSF-serie" i Gryta og Breisjøen i 1998 og 1999. (bør flyttes)

Innsjø / År	Antall			
	Abbor	Ørret	Røye	Ørekyt
Gryta				
1998	90	66	2	5
1999	60	41	3	7
2000	41	94	1	0
2001	58	80	0	0
2002	117	40	3	0
Breisjøen				
1998	310	16	0	0
1999	302	11	0	0
2000	263	22	1	0
2001	114	17	0	0
2002	181	17	0	0

Merking av abbor

I gytetiden for abbor (på våren) ble det satt ut ruser i begge innsjøene i 1998 og 1999. Rusefanget abbor ble lengdemålt, veid og finneklippet før de ble satt ut igjen. I 1998 ble venstre bukfinne klippet, i 1999 høyre bukfinne. I Breisjøen ble 518 abbor finneklippet i perioden 12.05 – 27.05 i 1998, og 608 abbor i tiden 13.05 – 29.05 i 1999. I Store Gryta lyktes det ikke å lokalisere gyteområdene i 1998, mens det i 1999 ble det finneklippet 42 abbor i perioden 19.05 – 07.06.

2.8. Beregningsfunksjoner

Redusert dyp

Den tykkelsen et vilkårlig valgt sjikt vil få hvis det flyttes til overflaten og volumet fordeles over areal A_0 (overflatearealet)

$$(r) = Vz/A_0$$

V_z : volum av skikt Z

A_0 : overflateareal av innsjøen

Middeldyp

Summen av alle reduserte dyp (Σr)

$$\Sigma r = R = \sum_0^{Z_{\max}} \frac{V_z}{A_0} = Z_{\text{middel}}$$

Volumberegningfunksjon for innsjøer

$$V_z = V_0 \left(1 - \frac{z}{Z_{\max}}\right)^b$$

V_0 : innsjøens total volum

b = konstant basert på kurvetilpasning (se figur 3.3.2), $b=2,43$ for Breisjøen og $b=2,74$ for Store Gryta.

Innsjøers varmeinnhold

Temperaturens maksimale tetthet er satt til 4 °C, og varmeinnholdet (Q) settes til 0 ved 4 °C. Varmeinnholdet i en innsjø uttrykkes alltid som varmeinnhold (kalori eller joule) pr. arealenhet.

1 cal = 4,186 J.

$$\delta Q = A_z(t_z - 4)\delta z$$

$$Q = \frac{1}{A_0} \int_0^{Z_{\max}} A_z(t_z - 4)\delta z = \frac{A_z \delta z}{A_0} \int_0^{Z_{\max}} (t_z - 4) = \int_0^R (t_z - 4)\delta r$$

A_0 = overflatearealet av innsjøen

A_z = areal av dyp (z)

t_z = temperaturen i dyp (z)

d_z = tykkelsen på hvert dypdeintervall, her 1 m.

R = middeldypet

Z_{\max} = innsjøens maksimaldyp (m)

Innsjøers oksygenforbruk (OD)

$$OD = \int_0^R (O_{2(t_1)} - O_{2(t_2)}) \partial r$$

$t_1 = O_2$ ved vårsirkulasjon

$t_2 = O_2$ ved aktuelt tidspunkt

Termoklinutvikling (E = entrainment) i $m^3 d^{-1}$

$$E = a \left(V_0 \frac{b}{Z_{max}} \right) \left(1 - \frac{z}{Z_{max}} \right)^{b-1}$$

$a =$ økning i termoklindyp pr. dag ($m \text{ dag}^{-1}$) i perioden 1. juni til 31 august, basert på lineær regresjon

$b =$ eksponenten i beregnet volum dyp funksjonen for de to innsjøene (Se volumberegningfunksjon for innsjøer over). Breisjøen: $V_z = 2,12(1-(z/Z_{max}))^{2,43}$; Store Gryta, $V_z = 0,64(1-(z/Z_{max}))^{2,74}$. Dette betyr at $b = 2,43$ for Breisjøen og $2,74$ for Store Gryta.

$Z_{max} =$ innsjøenes maksimale dyp (m)

$z =$ aktuelt termoklin dyp.

Stabilitet (kJ)

Schmidt's stabilitet (W_s) for innsjøer er et mål på den energi som må til for å ha isotermi til enhver tid

$$W_s = \int_0^{Z_{max}} g(\rho_0 - \rho_z)(z - Z_g) A_z \partial z$$

$\rho_z =$ tetthet ($kg \text{ m}^{-3}$)

$\rho_0 =$ maksimal tetthet ($1000,000 \text{ kg m}^{-3}$ ved $4 \text{ }^\circ\text{C}$; 1 atm og salinitet = 0)

$A_z =$ areal (m^2)

$g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$

$Z_g =$ tyngdepunktet for innsjøen (m)

Tyngdepunkt (m)

Tyngdepunktet ved isotermi danner grunnlag for beregning av stabilitet

$$Z_g = \frac{\int_0^{Z_{max}} z A_z \partial z}{\int_0^{Z_{max}} A_z \partial z} = V^{-1} \int_0^{Z_{max}} z A_z \partial z$$

Birge stabilitet, vindens arbeid (kJ)

Det arbeid som må til for å drive vannmassene til det dyp sjiktningen ligger på. Vinden er hovedfaktor.

$$W_B = \int_0^{Z_{max}} g(\rho_0 - \rho_z) z A_z \partial z$$

3. Omkringinginformasjon

3.1. Geologi

I nedbørfeltet til Store Gryta er det primært finkornet granitt og Grefsen syenitt (svært kvartsfattig) som dominerer. Det er ikke påvist kalkstein i Store Grytas nedbørfelt (Dons m. fl. 1996). Mesteparten av nedbørfeltet til Breisjøen består av Grefsen syenitt. I sydenden av selve Breisjøen kommer det inn noe basalt- og rombeporfyrlava i veksling (Dons m fl. 1996), men siden dette kun finnes i området ved utløpet av Breisjøen, er innsjøens vannkjemiske påvirkning ikke påvirket av dette.

3.2. Vegetasjon

Det foreligger vegetasjonskart (1:10 000) for begge innsjøenes nedbørfelt. (Slattum, Kartblad CP 047, 1999; Gorud, Kartblad CP 046, 1984 og Maridalen, Kartblad CO 047, 1986).

Nedbørfeltet til Breisjøen er dominert av blåbærgranskog (B-2) og bærlyng-barblandingskog (A-3) hvor de vanligste treslag er furu, gran og ikke typisk varmekjære løvtrær som bjørk, selje og rogn, samt osp og gråor/svartor. Ellers er det en del bærlyng furumyrskog (G-2) i nedbørfeltet, samt noe røsslyng furumyrskog (G-1), torvmose gransumpskog (G-3), skogørkvein -viersumpskog (G-4), fattigmyr (H-2), rismyr (H-1), høgstaude granskog (C-4) og lav og lyngrik furuskog (A-2). I området nær opp til Breisjøen er det også en del lågurtgranskog (C-2) med både gran, furu og løvskog som dominerende treslag i dag, samt noe småbregnegranskog (B-3).

Også nedbørfeltet til Store Gryta er dominert av blåbærgranskog (B-2) og bærlyng-barblandingskog (A-3), hvor de vanligste treslag er furu, gran, og ikke typisk varmekjære løvtrær som bjørk, selje og rogn, samt osp og gråor/svartor. Langs Grytebekken oppstrøms Store Gryta dominerer høgstaudegranskog (C-4) med fattigmyr (H-2) lengst nord. I dalsidene dominerer blåbærgranskog (B-2), småbregnegranskog (B-3) og lågurtgranskog (C-2). Ellers finnes mindre områder med lav og lyngrik furuskog (A-2), høgstaude granskog (C-4), røsslyng furumyrskog (G-1), bærlyng furumyrskog (G-2), torvmose gransumpskog (G-3) flekkvis fordelt i nedbørfeltet. Rundt selve Store Gryta dominerer blåbærgranskog nederst mot vannet (B-2), med lyngrik furuskog (A-2) høyere oppe. Noe høgstaude granskog (C-4) og lågurtgranskog (C-2) finnes på de frodigste partiene på vestsiden av innsjøen, mens det på østsiden er en del ur uten nevneverdig høyere vegetasjon.

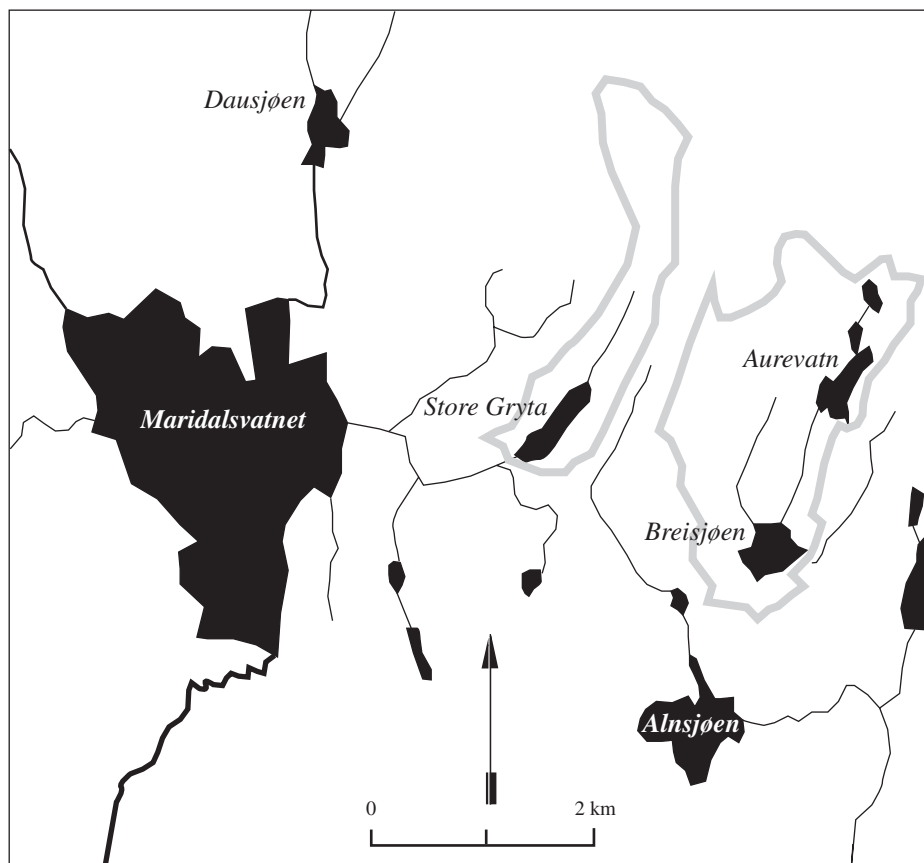
Vegetasjonsmessig er det to nedbørfeltene svært like.

3.3. Geografi, innsjø morfometri, hydrologi

Breisjøen og Store Gryta ligger begge i Lillomarka i Oslo kommune, h.h.v. 248 og 247 m o.h. Som det framgår av Figur 3.3.1 og Tabell 3.3.1 er innsjøene morfometrisk, hydrografisk og hydrologisk noe forskjellige.

Breisjøen er relativt rund (Figur 3.3.3), med overflateareal på 0,21 km², og omkrets på 3,82 km. Innsjøvolumet er 2,116 mill. m³, med middeldyp, tyngdepunkt og maksimaldyp på h.h.v. 10,1m, 9,8m og 34,5m. Nedbørfeltet er på 3,66 km², og forholdet nedbørfeltareal/innsjøareal er ≈ 17 . Gjennomsnittlig årlig avløp fra Breisjøen i perioden 1998-2002 er $2,64 \pm 0,45$ mill. m³, noe som betyr at vannets teoretiske oppholdstid i innsjøen var $0,82 \pm 0,13$ år.

Store Gryta er en avlang innsjø (Figur 3.3.4), med overflateareal på 0,088 km² (42% av Breisjøen). Omkretsen av innsjøen er 2,49 km (65% av Breisjøen). Innsjøvolumet er 0,639 mill. m³ (30% av Breisjøen), med middeldyp, tyngdepunkt og maksimaldyp på h.h.v. 7,3 m (72% av Breisjøen), 5,8m (60% av Breisjøen) og 22m (64% av Breisjøen). Nedbørfeltet er på 1,76 km² (48% av Breisjøen) og forholdet nedbørfeltareal/innsjøareal er ≈ 20 . Gjennomsnittlig årlig avløp fra Store Gryta i perioden 1998-2002 er $1,34 \pm 0,23$ mill. m³, noe som betyr at vannets teoretiske oppholdstid i innsjøen er $0,49 \pm 0,07$ år (60% av Breisjøen).

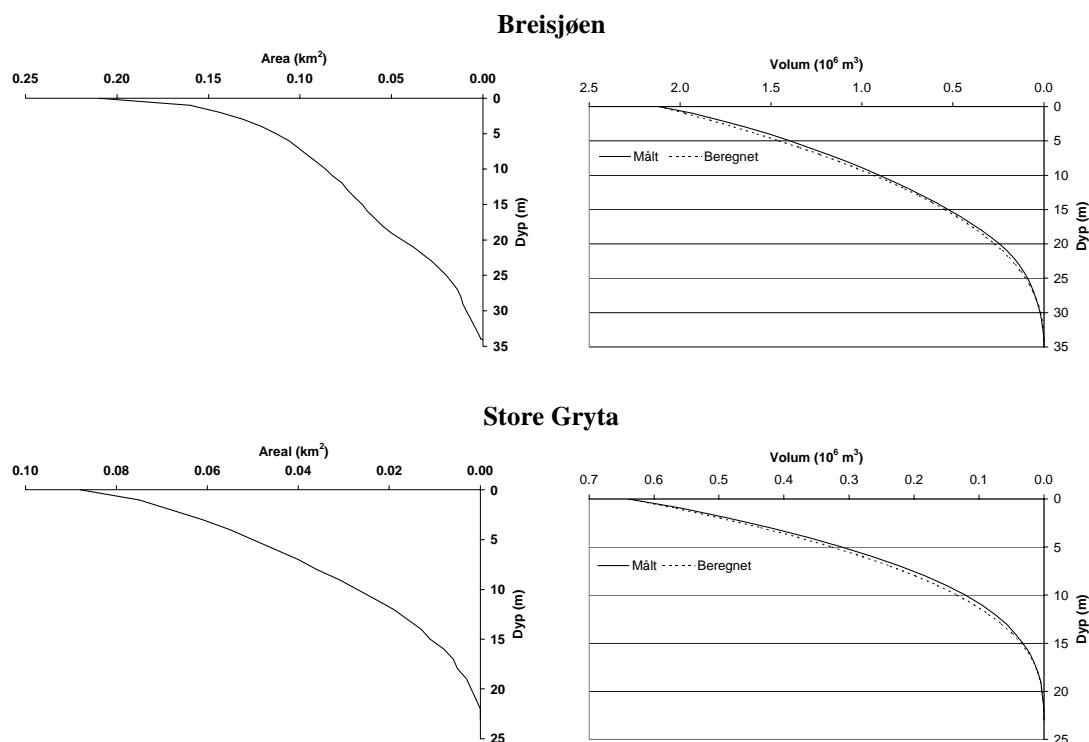


Figur 3.3.1 Oversiktskart over Breisjøen og Store Gryta i Lillomarka, Oslo kommune. Grå linje antyder nedbørsfeltet til de to innsjøene.

Tabell 3.3.1 Geografisk, hydrografisk og hydrologisk informasjon om Thermos-innsjøene, Breisjøen og Store Gryta.

Parameter	enhet	BREISJØEN	STORE GRYTA
Område		Lillomarka	Lillomarka
Kommune		0301 Oslo, Oslo	0301 Oslo, Oslo
UTM sone øst-nord		32 603890 6650620	32 602006 6651581
Regine-enhet		006.2CB	006.B1
Nedbørselt til havet		006.2Z, Alna	006.Z, Nordmarkavassdraget
Høyde over havet	m	248	247
Innsjøareal	km²	0,21	0,088
Omkrets	km	3,82	2,49
Innsjøvolum (V)	10⁶ m³	2,116	0,639
Største målte dyp	m	34,5	22,0
Middeldyp	m	10,1	7,3
Tyngdepunkt	m	9,8	5,8
Nedbørselt til utløp	km²	3,66	1,76
Spes. avrenning (30 årsnormal, NVE)	mm m⁻² år⁻¹	534	505
Middel årlig avløp (Q) for 1998-2002 ¹	10⁶ m³ år⁻¹	2,64 ± 0,45	1,34 ± 0,23
Teoretisk oppholdstid	V/Q (år)	0,82 ± 0,13	0,49 ± 0,07

¹Basert på vannår som for sjøene er 1.november til 31. oktober



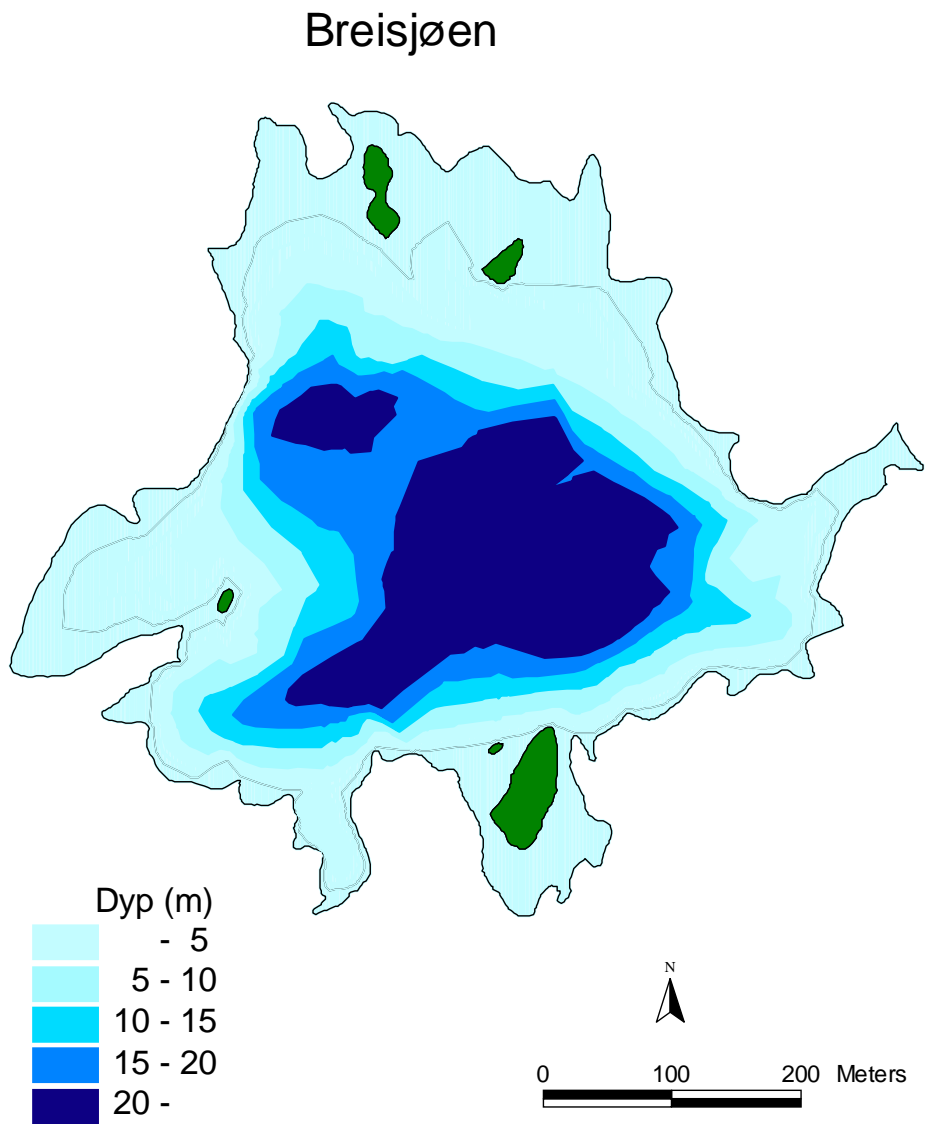
Figur 3.3.2 Volum-dyp og areal-dyp i Breisjøen og Store Gryta. Beregnet volum-dyp-funksjonene for innsjøene er: Breisjøen, $V_z = 2,12(1-(z/Z_{\max}))^{2,43}$; Store Gryta, $V_z = 0,64(1-(z/Z_{\max}))^{2,74}$. Z_{\max} er innsjøenes maksimale dyp; z : aktuelt dyp.

I Thermosprosjektet har rutineprøvetakingen vært basert på 3 blandprøver som vi har antatt er representative for innsjøenes epilimnion, metalimnion og hypolimnion. I Breisjøen utgjør epilimnion (0-6 m), metalimnion (6-12) og hypolimnion (>12 m) henholdsvis 39%, 26% og 35% av innsjøens volum (Figur 3.3.5). I Store Gryta utgjør epilimnion, metalimnion og hypolimnion h.h.v. 58%, 30% og 12% av innsjøens volum. Vår antakelse om at metalimnion starter på ca 6 meters dyp, passer godt med de målte termoklindyp i innsjøene. Gjennomsnittlig termoklindyp i Store Gryta for perioden 1998-2002 (5 år) er $5,7 \pm 0,6$ m, og for Breisjøen før manipulering (3 år) $5,3 \pm 0,5$ m.

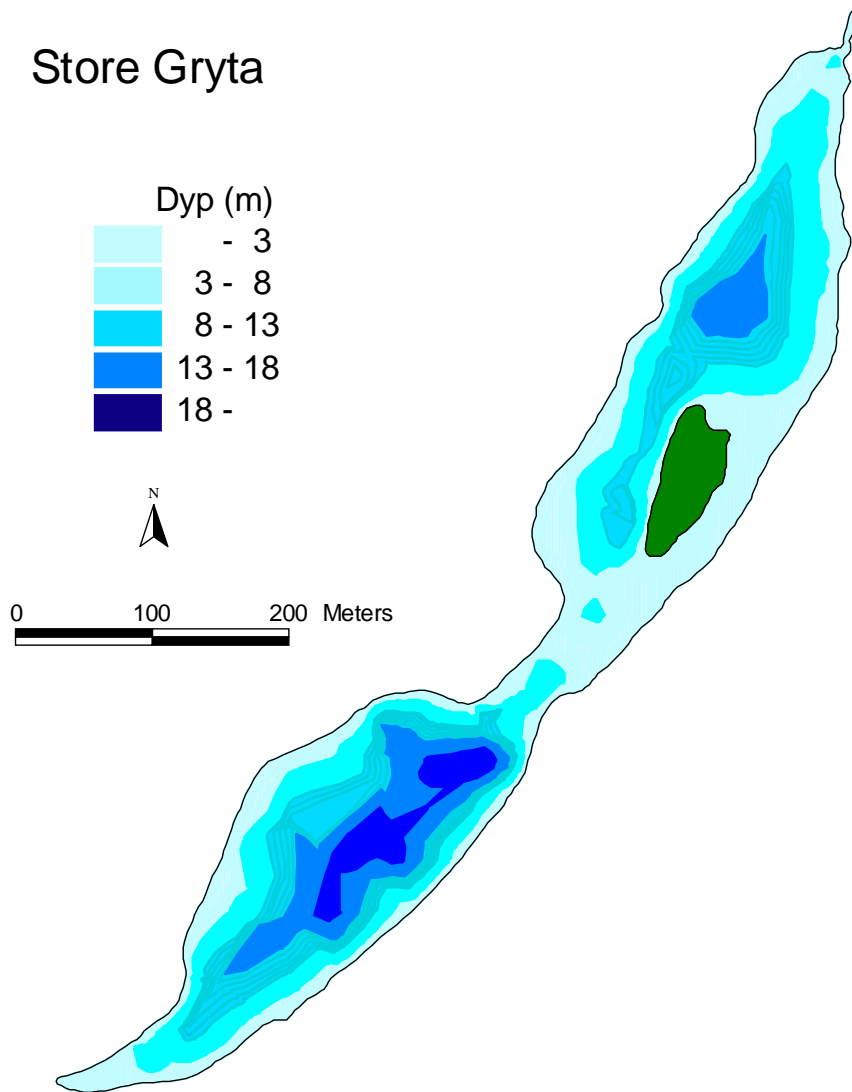
I areal utgjør området 0-5 meter 46% og 43% av totale innsjøareal i Breisjøen og Store Gryta (Figur 3.3.5). Mens arealene avtar relativt lineært med dypet i Store Gryta, er Breisjøens arealfordeling relativt lik for 5-meters dybdeintervaller fra 5 -25 meter (9-13%), mens områdene 25-30m og 30-34m utgjør hver ca 5% av innsjøens totalareal.

Det finnes kun vannføringsmålinger i Grytebekken, hvor bekken ut av Store Gryta utgjør $1,76 \text{ km}^2$ av Grytebekkens total nedbørfelt på $7,63 \text{ km}^2$. Vannføring ut av Store Gryta er derfor kun arealjustert i forhold til dette. Det samme er gjort med Breisjøen, men her har vi også korrigert for NVE sin spesifikke avrenning fra de to sjøene. Spesifikk avrenning, basert på NVE sin 30 årsnormal (1960-1990) for Store Gryta og Breisjøen er h.h.v. $534 \text{ mm m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ og $505 \text{ mm m}^{-2} \text{ år}^{-1}$. Basert på nedførsfeltenes areal gir dette en spesifikk årlig avrenning på h.h.v. $1,85 \text{ mill m}^3$ og $0,94 \text{ mill m}^3$. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig vannføring på $58,7 \text{ L s}^{-1}$ ut av Breisjøen og $29,8 \text{ L s}^{-1}$ ut av Store Gryta.

For Breisjøen finnes kun vannstandsmålinger. Det som bør bemerkes her, er at denne innsjøen fram til 1997 har vært tappet en del ned som følge av at innsjøen har inngått i Oslo kommune sitt drikkevannsnnett. Nedtapping til slik formål har ikke foregått etter dette (Se figur 3.3.6)

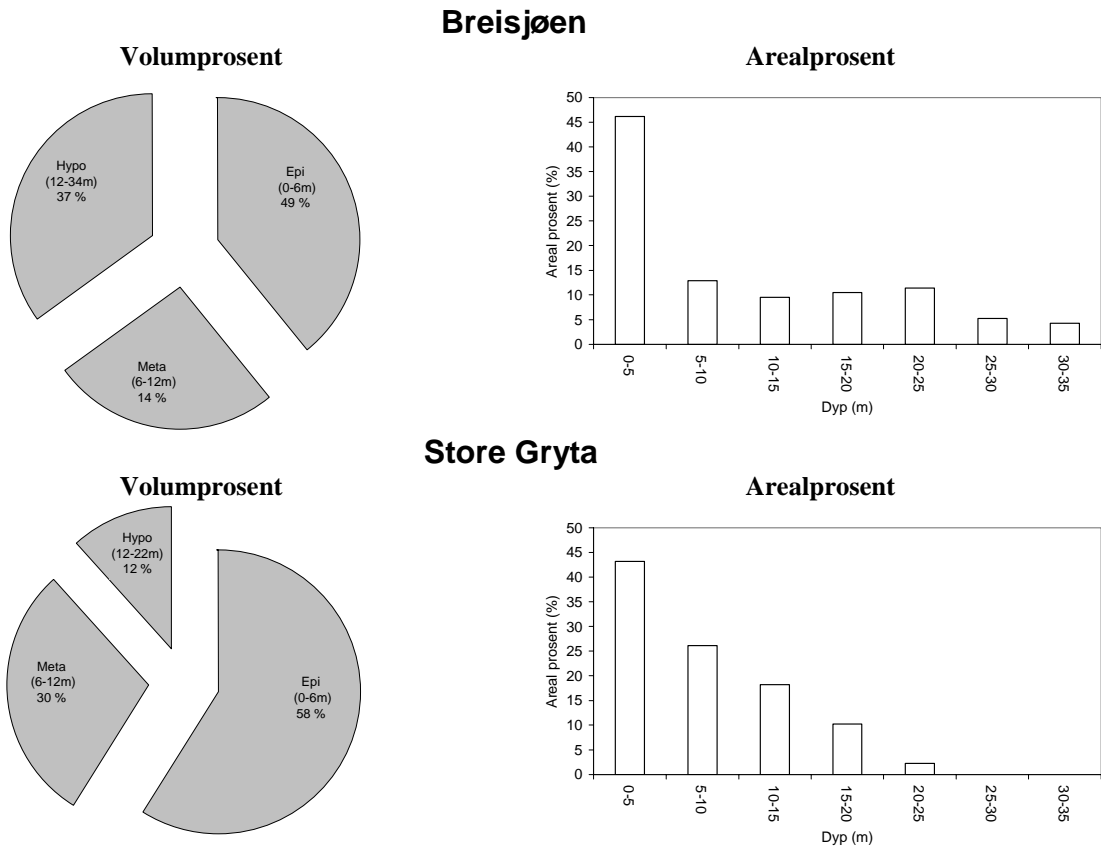


Figur 3.3.3 Dybdekart for Breisjøen (NIVA, NVE, 1999).

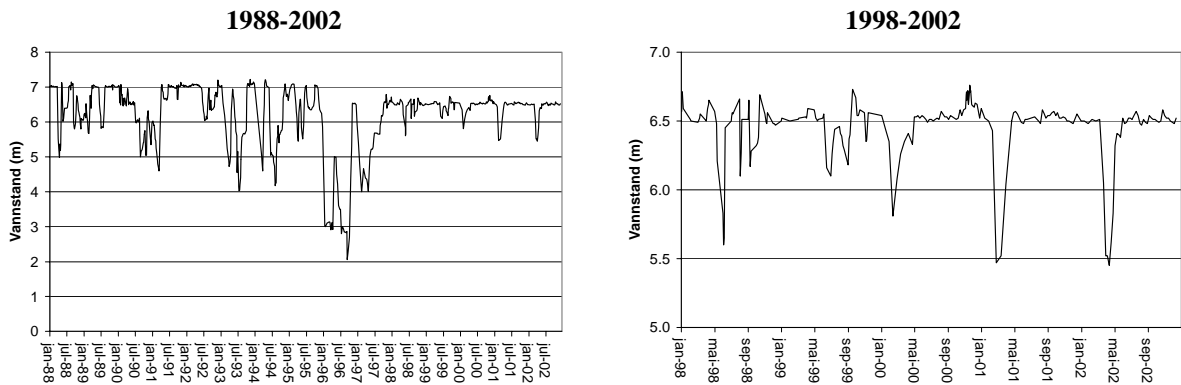


Figur 3.3.4 Dybdekart for Store Gryta (NIVA, NVE, 1999).

Basert på beregnet vannføring fra NVE stasjonen i Grytadalen og NVE sine angitte spesifikke avrenningstall, er gjennomsnittlig avrenning fra Store Gryta på $1,34 \pm 0,23$ mill m^3 i perioden 1998-2002, noe som tilsvarer 763 ± 129 mm m^{-2} år $^{-1}$. Dette gir en gjennomsnittlig vannføring for perioden på 43 ± 7 L s $^{-1}$. For Breisjøen i samme periode er årlig avrenning på $2,64 \pm 0,45$ mill m^3 eller 722 ± 122 mm m^{-2} år $^{-1}$, noe som gir en gjennomsnittlig vannføring for perioden på 84 ± 14 L s $^{-1}$. Dette er 43% høyere avrenning enn hva 30 årsnormalen angir for sjøene. Høyeste vannføring inntreffer normalt på høsten (i oktober) eller under snøsmeltingen (i april). I 1998 (se figur 3.3.7) ble maksimal vannføring målt 24. april (334 L s $^{-1}$ i Store Gryta og 657 L s $^{-1}$ i Breisjøen), i 1999 den 10. april (323 L s $^{-1}$, 636 L s $^{-1}$), i 2000 den 10. oktober (650 L s $^{-1}$, 1279 L s $^{-1}$), i 2001 den 26. april (346 L s $^{-1}$, 680 L s $^{-1}$), og i 2002 den 26.oktober (434 L s $^{-1}$, 853 L s $^{-1}$).



Figur 3.3.5 Volumprosent av de dybdeintervaller som er definert som epilimnion, metalimnion og hypolimnion i Breisjøen og Store Gryta og som danner grunnlaget for prøvetakingen, samt arealprosent av 5 meters dybdeintervaller i innsjøene (Jfr. dybdekart, Figur 3.3.3 og 3.3.4)



Figur 3.3.6 Vannstandsendringer i Breisjøen i perioden 1988-2002 og under Thermosprosjektet 1998-2002 (Data fra Oslo Vann og Avløp OVA).

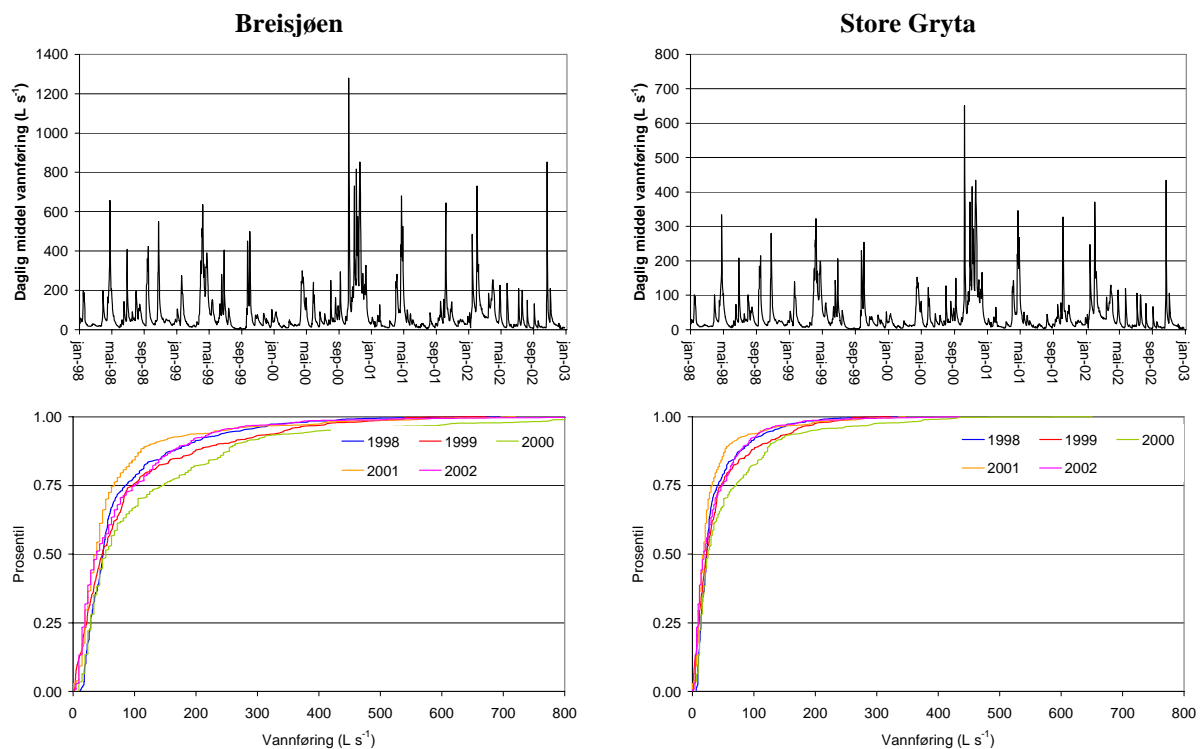
På våre breddegrader har årlige variasjoner i lufttemperatur stor betydning for hydrologien. Betydningen er åpenbar vinterstid da betydelig mengder nedbør holdes tilbake i nedbørfeltet i form av snø. Andre hydrologiske særtrekk for disse områdene er ofte tørkeperioder under sommeren, tidlig høst, og betydelige nedbørmengder om høsten og forvinteren. De viktigste faktorene for avrenning på våre breddegrader er:

- Mengde nedbør
- Mengde nedbør akkumulert som snø
- Lagringskapasiteten av vann i jorda, og derigjennom også nedbørfeltets vannmetningsgrad til en hver tid.
- Evapotranspirasjon om sommeren

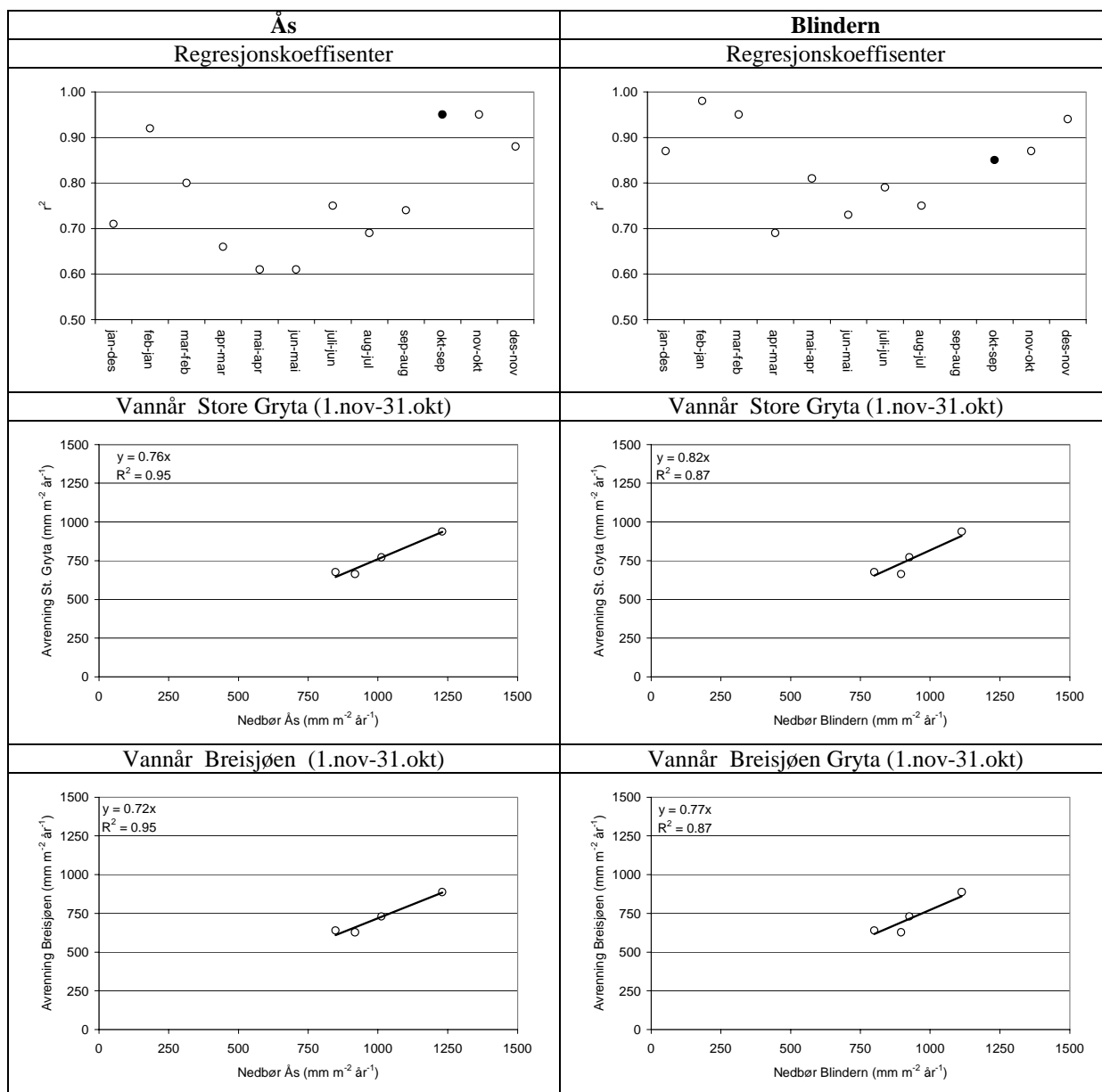
Det sier seg derfor selv at kalenderåret sjelden er det beste vannåret. Å finne fram til et optimalt vannår er viktig for å kunne få gode og sammenliknbare data fra år til år m.h.t. bl.a. evapotranspirasjon og transport/fluks av fysisk/kjemiske komponenter i vann. Det ideelle vannåret er den suksessive 12-måneders perioden som mest konsistent år etter år gir den beste korrelasjonen mellom nedbør og avrenning.

Basert på nedbørtasjonen på Ås-NLH og Blindern synes det som beste vannåret for sjøene er fra 1. februar til 31. januar (Figur 3.3.8), mens nest beste vannår er fra 1.november til 31.oktober. Det beste vannåret avspeiler de noe spesielle vinterne som vi har hatt i senere år. Basert på generelle hydrologiske vurderinger har vi derfor valgt å bruke vannåret fra 1.november til 31.oktober for innsjøene. Dette vannåret er derfor benyttet til alle hydrologiske beregninger.

Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde i området ligger på ca 900-1000 mm m⁻² (tabell 3.3.2), og årlig avrenning fra Breisjøen og Store Gryta ligger på 700-800 mm m². Dette gir en fordampning på mellom 20-25%.



Figur 3.3.7 Vannføringsvariasjoner og vannførings prosentiler ved utløp Store Gryta og Breisjøen 1998-2002. Data er beregnet (Se Kap. 2.5) ut i fra Norges vassdrags og energidirektorat (NVE) sin stasjon i Grytebekken.



Figur 3.3.8 Regresjonskoeffisienter for relasjonene mellom nedbør og avrenning ($\text{mm m}^{-2} \text{ år}^{-1}$) for ulike år basert på alle ulike 12 måneders perioder. Den 12 måneders perioden som suksessivt år etter år gir den beste korrelasjonen (høyest r^2 -verdi) mellom nedbør og avrenning betegnes som lokalitetens vannår. Dette gir også det beste år til år estimat for fordampning. Beste vannår er beregnet til perioden 1.november til 31.oktober.

Dato for isgang og islegging har variert relativt mye i perioden 1998-2002 (Tabell 3.3.3). Normalt går isen 1-4 dager tidligere i Breisjøen enn i Store Gryta, mens isleggingsdato før manipuleringen i Breisjøen var tilnærmet lik i begge sjøene. Isgangsdato har variert fra 17.april til 9. mai i Breisjøen, og fra 21. april til 10. mai i Store Gryta. Manipuleringen i Breisjøen synes ikke å påvirke isgangsdato. Isleggingsdato i Store Gryta har variert fra 29.oktober til 23. desember, og fra 9. november til 23. desember i Breisjøen. Manipuleringen i Breisjøen (2001 og 2002) har medført at isleggingsdato har blitt forsinket med h.h.v. 14 dager (2001) og 23 dager (2002). Dette skyldes selvsagt det faktum at manipuleringen av innsjøen har medført tilnærmet en dobling av innsjøens varmeinnhold, slik at innsjøene trenger lengre tid for nedkjøling til frysepunktet.

Tabell 3.3.2 Årlig nedbør (P), avrenning (Q) og beregnet evapotranspirasjon (ET=P-Q) for Thermossjøene for perioden 1998-2002, basert på vannår, definert som perioden 1.november til 31.oktober. Nedbørsdata er fra både Ås og Blindern, avrenningsdata fra NVE sin stasjon i Grytebekken hvor avrenning fra Store Gryta inngår.

	P (mm)		Q (mm)	ET = P-Q (mm)		ET (%)	
	Ås	Blindern		Ås	Blindern	Ås	Blindern
Breisjøen							
1998/1999	1013	926	729	283	196	28	21
1999/2000	918	896	627	291	269	32	30
2000/2001	1231	1114	887	344	227	28	20
2001/2002	848	800	640	208	160	25	20
Gj.snitt ± std.avik	1002 ± 167	934 ± 131	721 ± 120	282 ± 56	213 ± 46	28 ± 3	23 ± 5
Store Gryta							
1998/1999	1013	926	771	241	154	24	17
1999/2000	918	896	663	255	233	28	26
2000/2001	1231	1114	938	293	176	24	16
2001/2002	848	800	676	172	123	20	15
Gj.snitt ± std.avik	1002 ± 167	934 ± 131	762 ± 127	240 ± 51	172 ± 46	24 ± 3	18 ± 5

Tabell 3.3.3 Oversikt over dato for isgang, islegging og lengden av isfri og islagt periode (dager) for Breisjøen og St. Gryta i perioden 1998-2002.

År	Is	Dato		Islagt periode Antall dager		Isfri periode Antall dager	
		Breisjøen	St. Gryta	Breisj.	St.Gryta	Breisj.	St.Gryta
1998	Isgang	5. mai	7. mai			188	186
1999		3.mai	6. mai			214	211
2000		25.apr	26.apr			242	241
2001		9.mai	10.mai			202	187
2002		17.apr	21.apr			218	191
1998	Islegging	9. nov	9. nov				
1999		3. des	3. des	175	178		
2000		23.des	23.des	144	145		
2001		27.nov	13.nov	137	138		
2002		21.nov	29.okt	141	159		

3.4. Meteorologi

Fordi værstasjonene på Grefsenkollen og Breisjøen har vært ute av drift i svært lange perioder, har vi valgt og utelukke disse i prosjektet. De meteorologiske stasjonene på Blindern (DNMI) og Ås (NLH) har derimot meget god regularitet og ligger geografisk relativt nærme Thermos-sjøene (Tabell 2.3.1). Fordi Ås har langt bedre data på stråling (globalstråling mm), har vi valgt strålingsdata fra denne stasjonen, mens resten av meteorologiske data er fra Blindern (DNMI). Sammenlikninger mellom de to stasjonene er vist i Figur 3.4.1 og Tabell 3.4.1. En del av avvikene i døgnverdier (Figur 3.4.1) mellom de to stasjonene skyldes ulike registreringsintervaller. Blinderns døgnmidler baserer seg bl.a. på 4 registreringer i døgnet (01⁰⁰, 07⁰⁰, 14⁰⁰, 21⁰⁰), mens Ås sine døgnmidler baserer seg på registreringer hvert 10 minutt hele døgnet. Disse 10 minutters registreringene bygger igjen på middelveidier for hvert minutt i disse perioden. Disse forskjellene i registreringsfrekvens gjør at sammenlikningene av månedsmidler blir langt bedre. Som det framgår av sammenlikningene mellom de stasjonene har Blindern gjennomgående noe høyere middeltemperatur og noe høyere middel vindstyrke enn på Ås, mens Blindern har gjennomgående noe mindre årlig nedbør og noe lavere luftfuktighet. Luftrykket er identisk. Basert på disse data vil en vurdere de klimatiske forhold på Ås og Blindern som relativt like.

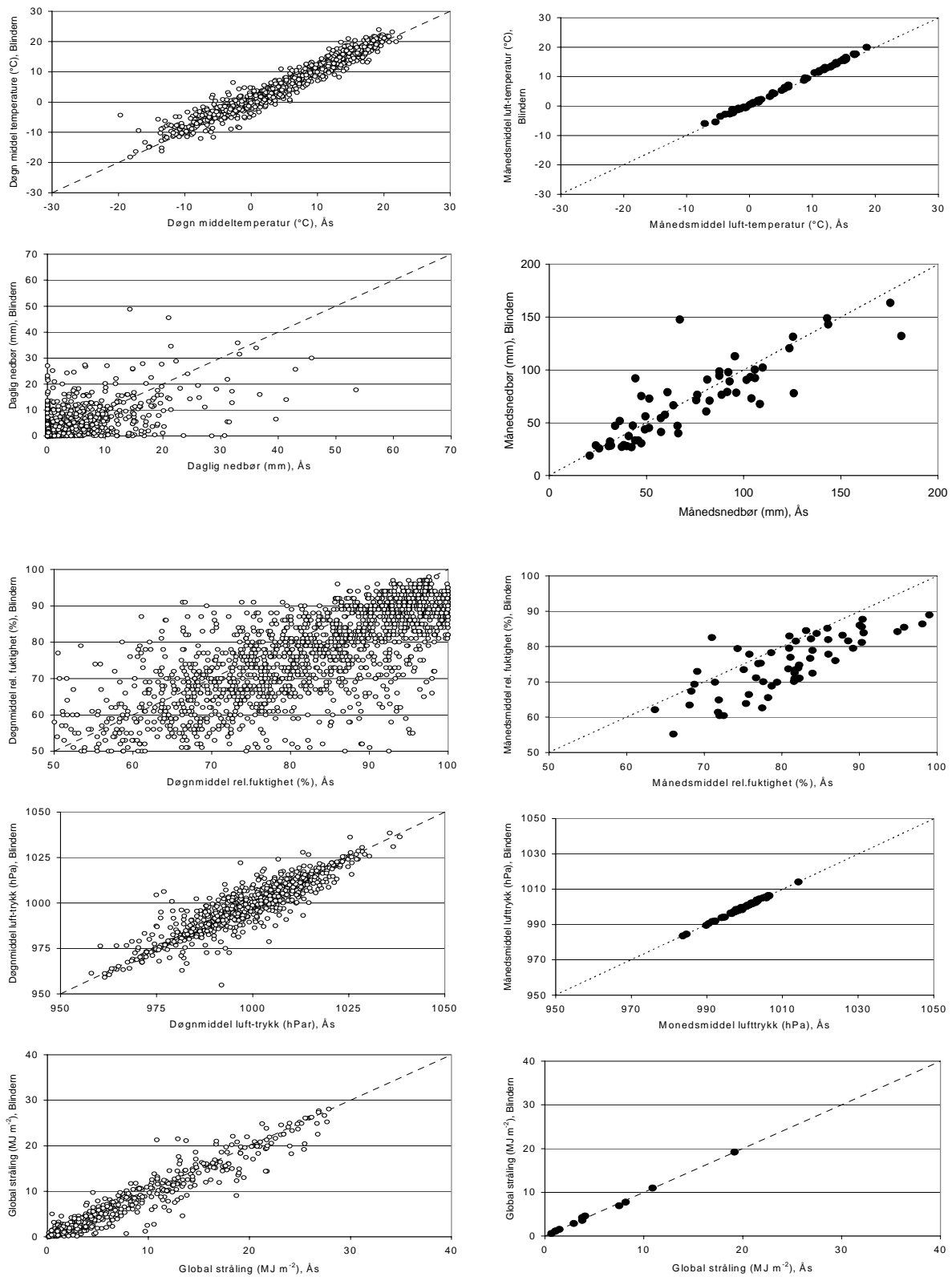
Variasjoner i klimaparametre som lufttemperatur, relativ fuktighet, vind, global innstråling (spesielt langbølget IR-stråling), samt skydekke er essensielt for innsjøers vanntemperatur, varmeinnhold, dybde og stabilitet av termoklinen, samt tidspunkt for islegging og isgang. Disse meteorologiske dataene er derfor primært presentert og for hovedtidsperioden for undersøkelsene, perioden 15.mai til 31.oktober. I denne perioden synes 1998 å være det kaldeste året i den 5 årsperioden som Thermosprosjektet har pågått, mens 2002 har vært det klart varmeste. Typisk for kalde år, i tillegg til lav middeltemperatur (ofte også maksimumstemperatur), er høy luftfuktighet, lavt luftrykk, noe mer nedbør og vind, lav global innstråling og høy skydekningsgrad. Varme år som i 2002 viser den motsatt tendens (tabell 3.4.2 og figur 3.4.2 og 3.4.3). I varme år synes det også som om solgangsbriseeffekten kommer bedre fram, med fralandsvind om natten og pålandsvind på dagen. På Blindern betyr dette fralandsvind fra nordøst og pålandsvind fra sørvest (Figur 3.4.3).

Tabell 3.4.1 Årlige middelveidier for meteorologiske parametre på Ås-NLH (Å) og DNMI-Blindern (B) fra 1998 til 2002.

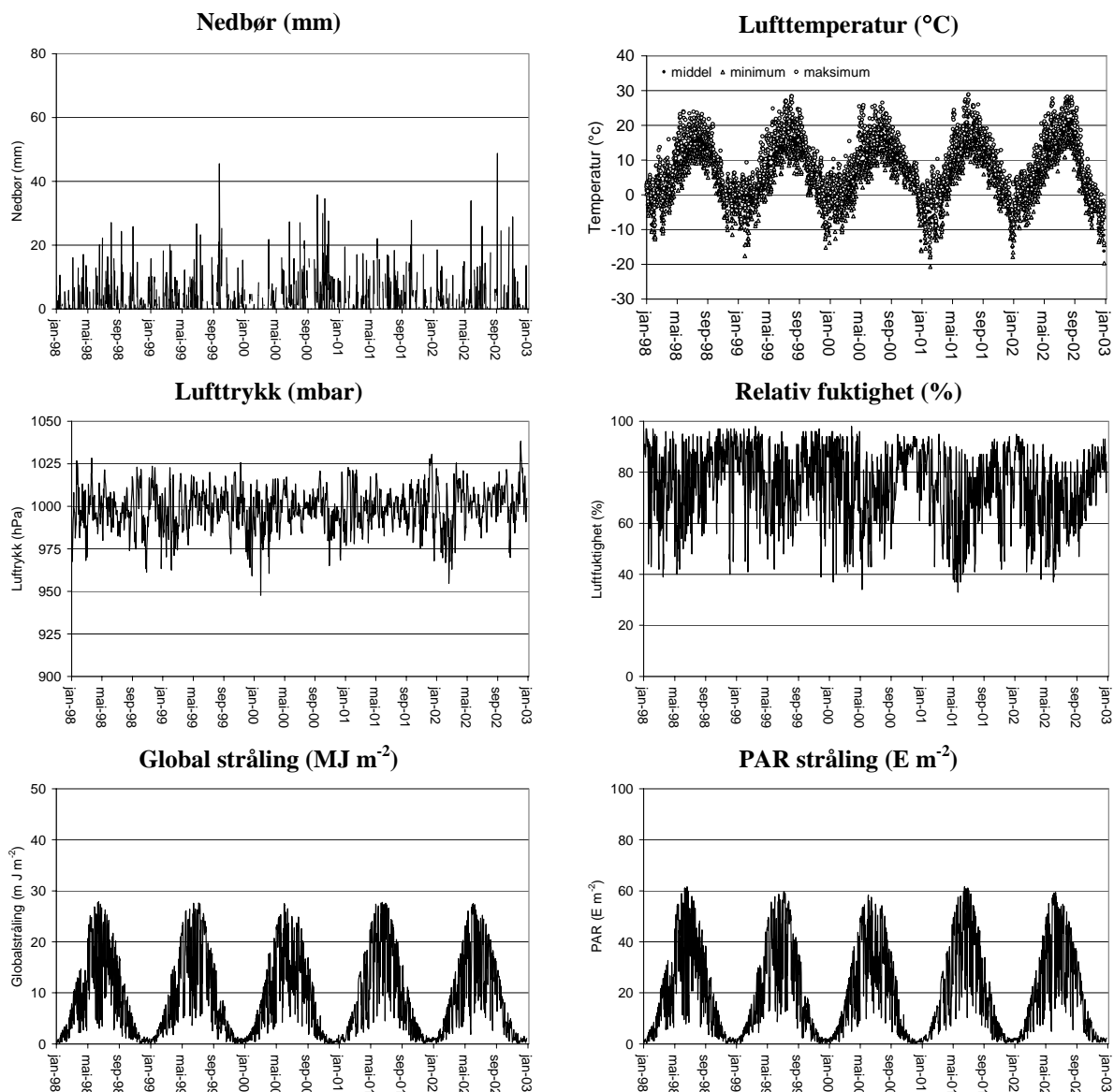
Parameter	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		Å	B	Å	B	Å	B	Å	B	Å	B
Temperatur	°C	6,0	6,3	6,3	6,8	7,2	7,7	5,5	6,2	6,3	7,0
Nedbør	mm	786	797	1059	945	1192	1173	890	818	909	837
Rel. luftfukt.	%	79	77	78	79	84	75	82	72	81	72
Vind	m s ⁻¹	2,6	2,7	2,7	2,8	2,7	2,9	2,5	2,7	2,4	2,7
Luftrykk	hPa	998	998	998	998	998	998	1000	1000	1001	1000

Tabell 3.4.2 Middelveidier for meteorologiske data fra Blindern (DNMI) for perioden 15.mai til 31.oktober fra 1998-2002. For nedbør er nedbørsum for samme periode angitt. Global stråling er fra Ås-NLH. Forklaring til ulike parametre, se Tabell 2.3.2.

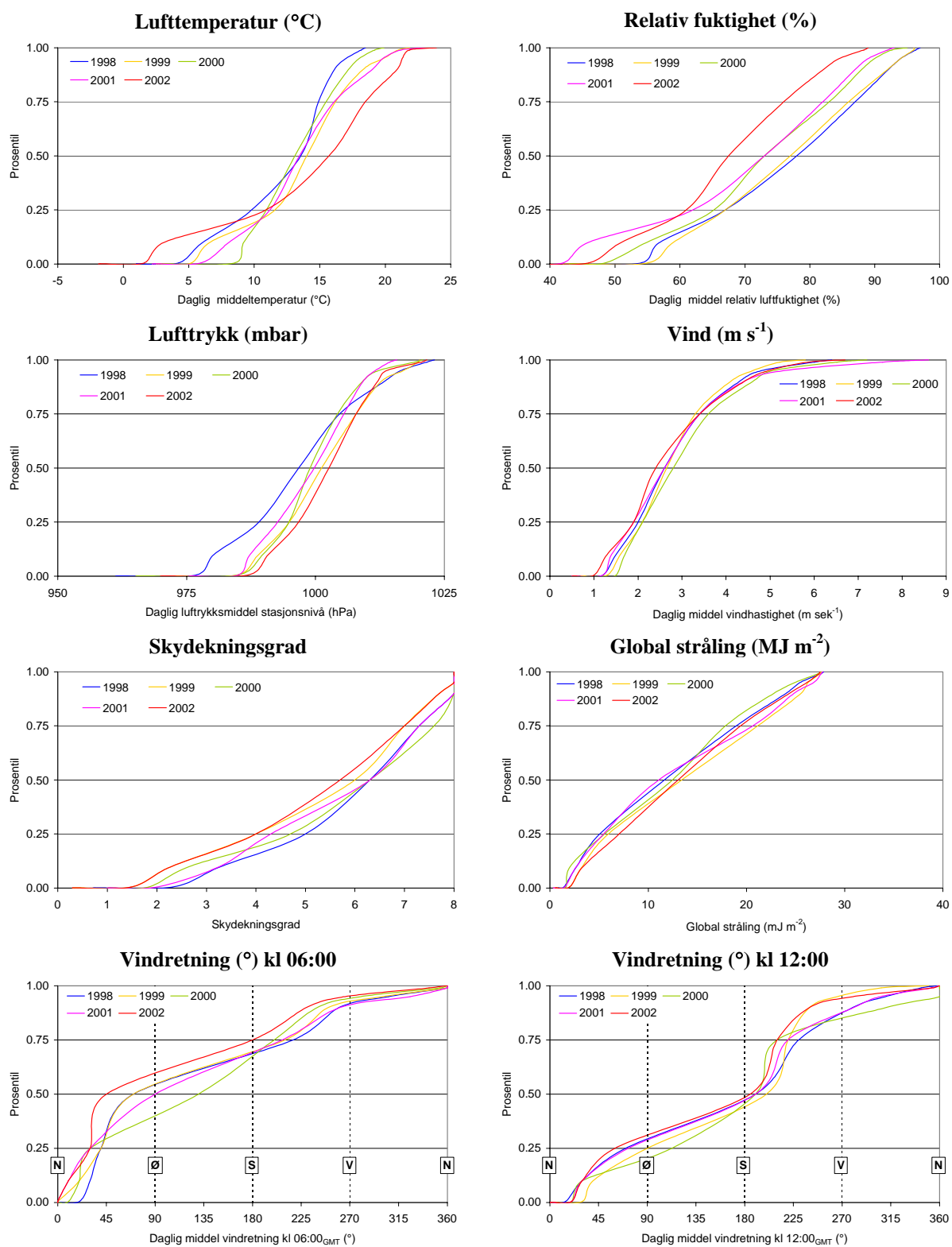
1998	Nedbør	Lufttemperatur			Luft trykk	Rel. fuktighet	Vind		Global stråling	Skydeknings grad
	mm	mid	min	maks	hPa	%	mid	maks	MJ m ⁻²	skala: 0-9
			°C				m s ⁻¹			
1998	498	12,1	-1,6	24,0	996	76	2,8	7,6	12,4	6,0
1999	516	13,4	0,0	28,4	1001	76	2,8	7,6	13,6	5,5
2000	621	13,1	2,2	26,5	999	73	3,0	8,2	12,5	5,9
2001	520	13,4	-0,5	28,9	999	70	2,8	7,8	13,0	5,8
2002	493	14,1	-5,2	28,2	1002	67	2,7	7,5	13,5	5,4



Figur 3.4.1 Sammenlikning mellom klimaparametre ved meteorologisk stasjon på Ås (NLH) og Blindern (DNMI) på døgnbasis og månedsbasis i perioden 1998-2002. Alle verdier er middelverdier, med unntak av nedbør som er dagsummer og månedsummer. Sammenlikning av globalstråling kun for 1998 og 1999.



Figur 3.4.2 Døgnmidler for klimaparametere fra meteorologisk stasjon på Blindern for perioden 1998-2002. Strålingsdata er fra meteorologisk stasjon på Ås-NLH.



Figur 3.4.3 Prosentiler av døgnmidler for klimaparametere fra meteorologisk stasjon på Blindern for perioden 15.mai til 31. oktober for årene 1998-2002. Globalstråling er fra meteorologisk stasjon Ås-NLH. Angående vindretning er vindretningsfordelingen kl. 18:00 (ikke vist her) svært like vindretningsfordelingen kl. 12:00 i figuren.

4. Fysisk/kjemiske forhold

4.1. Vanntemperatur

Begge innsjøene har normalt en vårsirkulasjon rett etter at isen går. Basert på data fra Thermossjøene går isen i perioden ultimo april primo mai. P.g.a. av betydelig innstråling på denne tiden vil en temperatursjiktning raskt kunne etableres slik at mulighetene for en god fullsirkulasjon hindres. Normalt er derfor vårsirkulasjonsperioden relativt kort (< 1 uke) i begge innsjøene. Ved unormalt sen isgang vil vårsirkulasjonsmulighetene normalt reduseres ytterligere siden innstrålingen da er enda høyere. En kan derfor ikke utelukke at det i år med svært sen isgang, ikke finner sted noen fullstendig vårsirkulasjon i innsjøene. Høstsirkulasjonen forgår normalt over en lengre periode (Tabell 4.1.1), noe som gjør at innsjøen har $\approx 100\%$ oksygenmetning i dypvannet når isen legger seg. Tidspunkt for islegging har variert fra sent i oktober (Store Gryta i 2002) til sent i desember (begge innsjøene i 2000).

I de tre første årene ble termistorene tatt opp før islegging. Vi har derfor ikke full oversikt over tidspunkt for fullsirkulasjon om høsten disse årene. Siden vannsøylen var tilnærmet isoterm har vi brukt temperaturutviklingen i siste målte uke til å beregne data for fullsirkulasjon disse årene. Beregningene viser at fullsirkulasjon inntraff fra 1-5 dager etter at termistorene ble tatt opp. For de to siste årene har termistorene vært tatt opp etter islegging. Hvis en forutsetter at innsjøene har fullsirkulert når vanntemperaturen er lik i hele vannsøylen (homeotermi), fullsirkulerer innsjøene i perioden ultimo oktober primo desember (Tabell 4.1.1 og Figur 4.1.1). Normalt inntreffer fullsirkulasjonen i Store Gryta noen dager (1-7dager) tidligere enn i Breisjøen. Store Gryta fullsirkulerer normalt også ved noe høyere middel temperatur ($4,81 \pm 0,43^\circ\text{C}$, $n=5$) enn i Breisjøen ($4,69 \pm 0,19^\circ\text{C}$, $n=3$). Etter manipulering fullsirkulerer Breisjøen 3-10 dager før Store Gryta, og Breisjøen fullsirkulerer med en betydelig høyere middeltemperatur ($6,86 \pm 0,35^\circ\text{C}$, $n=2$). Antall dager fra innsjøene fullsirkulerer til islegging varierer fra 0-27 dager. Normalt er antall sirkulasjonsdager før islegging færre i Breisjøen (2-7 dager), fordi Breisjøen fullsirkulerer senere og fryser normalt til samme dag som Store Gryta. Siden manipuleringen av Breisjøen har medført tidligere tidspunkt for fullsirkulering og senere tidspunkt for islegging, har innsjøen hatt 18-25 dager lenger sirkulasjonsperiode enn Store Gryta i 2001 og 2002. Lengre sirkulasjonsperiode kan ha stor betydning for mange innsjøer, siden dette øker mulighetene for fullstendig oksygenmetning i dypvannet. At innsjøen starter fullsirkulasjonen ved høyere temperatur enn tidligere vil kunne dempe denne effekten noe siden løseligheten av O_2 avtar med økende temperatur. I 2001 og 2002 la isen seg i Store Gryta før fullstendig fullsirkulasjon hadde funnet sted. Dette henger sammen med tidlig og rask avkjøling i forbindelse med en kuldeperiode, som medførte tidlig isleggingsdato. Det klart høyere varmeinnholdet i Breisjøen på samme tidspunkt hindret denne innsjøen fra å fryse til like tidlig. Breisjøen fikk derfor en mye lengre sirkulasjonsperiode før islegging.

Den markerte økningen i vanntemperaturen i dypvannet av Breisjøen i perioden rundt fullsirkulasjon indikerer innblanding av varmere vann fra ovenfor liggende vannmasser (Figur 4.5.1). Denne temperaturøkningen blir svært tydelig også i de dypeste områdene av Breisjøen etter manipulering siden volumet av varmt epilimnion vann øker betydelig etter manipuleringen.

Fra tidspunkt for maksimalt varmeinnhold, finner det sted en viss økning i vanntemperaturen i alle dyp under termoklin-nivå når innsjøene begynner og avkjøles og termoklin gradvis eroderer dypere. Det er en klar tidsforsinkelse i denne temperaturøkningen med dypet, dvs de dyp som ligger nærmest termoklinen ved maksimalt varmeinnhold, får en temperaturøkning tidligere enn dypere sjikt. I de dypeste sjikt inntreffer temperaturøkningen nær tidspunkt for fullsirkulering (Figur 4.1.4) Etter manipuleringen i Breisjøen blir denne temperaturøkningen også svært tydelig i de dypeste områdene siden volumet av varmt epilimnion vann øker betydelig etter manipuleringen. Det blir derfor langt mindre kaldt dypvann til "å fortygne" det varmere epilimnion vannet enn tidligere.

Middeltemperatur

Fra 1998-2002 har middeltemperaturen (Tabell 4.1.2, Figur 4.1.2) ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold i Store Gryta variert fra 13,2 °C (1998) til 14,7 °C (2002), med gjennomsnittlig middeltemperatur på $13,7 \pm 0,6$ °C (n=5). Før manipulering i Breisjøen (1998-2002) varierte middeltemperaturen fra 10,4 °C til 11,2 °C ($10,7 \pm 0,4$ °C, n=3). Dette er tilnærmet 3 °C lavere middeltemperatur enn i Store Gryta. Hovedgrunnen til dette er at Breisjøens epilimnionvolum i forhold til innsjøens totalvolum er 10% mindre enn i Store Gryta. Breisjøen har altså relativt sett et større volum med kald dyppann, som gjør at middeltemperaturen i denne innsjøen blir lavere enn i Store Gryta. Etter manipuleringen i Breisjøen har middeltemperaturen i innsjøen økt med gjennomsnittlig 6,7°C, fra $10,7 \pm 0,4$ °C før manipulering, til $17,4 \pm 1,6$ °C etter manipulering.

Epilimniontemperatur

I den undersøkte perioden har termoklindypet i Store Gryta ligget mellom 4,8-6,1 meter (Tabell 4.1.3), noe som betyr at epilimnionvolumet utgjør mellom 49-59% av innsjøenes total volum. Før manipulering av Breisjøen (1988-2000) lå termoklindypet i denne innsjøen på 4,9-5,8 meter, tilsvarende en epilimnion volumprosent på 31-36%. Etter manipuleringen i Breisjøen har termoklindypet blitt senket til 19,2-19,9 meter, noe som betyr at epilimnion volumet nå utgjør 86-88% av innsjøens total volum.

Fra 1998-2002 har epilimnion temperaturen ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold i Store Gryta vært $18,5 \pm 1,2$ °C (n=5), fra minimum 16,9 °C i 1998 til 19,6 °C i 1999 (Figur 4.1.2, Tabell 4.1.2). Før manipulering i Breisjøen (1998-2000, n=3) var middeltemperaturen i epilimnion $19,1 \pm 1,7$ °C, 17,8 °C i 1998 og 21,0°C i 1999. Dette betyr at epilimniontemperaturen i Breisjøen ligger $1,1 \pm 0,3$ °C høyere enn i Store Gryta. Forskjellene skyldes primært innsjøenes noe ulike geografiske beliggenhet mht solinnstråling. Manipuleringen i Breisjøen har medført at termoklindypet har økt fra ca $5,3 \pm 0,5$ m til $19,6 \pm 0,5$ m. Dette betyr en økning i epilimnionvolumet fra $0,70 \pm 0,05 \cdot 10^6$ m³ til $1,84 \pm 0,02 \cdot 10^6$ m³, en volumøkning økning på ca 141%. Til tross for denne betydelige volumøkningen av epilimnion lå epilimniontemperaturen i Breisjøen på 17,6°C i 2001 og 20,8°C i 2002, mot 18,9°C i 2001 og 19,5°C i 2002 i Store Gryta. Den betydelige økningen i Breisjøens epilimnionvolum har altså ikke påvirket innsjøens epilimnion temperatur. At Store Gryta hadde høyere epilimniontemperatur i 2001 enn Breisjøen skyldes en kort varmeperiode i slutten av juli som medførte at Store Gryta i 2001 oppnådde maksimalt varmeinnhold og høyest epilimniontemperatur allerede 29. juli. Også Breisjøen oppnådde maksimal epilimniontemperatur den 29.juli men maksimalt varmeinnhold i innsjøen inntraff ikke før 24. august. Kortvarige varmeperioder som den i slutten av juli 2001, vil derfor kun medføre at Store Gryta i perioder kan oppnå høyere epilimniontemperatur enn Breisjøen etter manipulering, fordi varmetilførselen til Store Gryta da skal fordeles i et relativt mindre epilimnionvolum sammenliknet med Breisjøen hvis manipuleringen av termoklinen har medført betydelig økning i denne innsjøens epilimnionvolum.

Tabell 4.1.1 Dato og middeltemperatur ved fullsirkulasjon om høsten, isleggingsdato og antall dager fra fullsirkulasjon til isleggingsdato i de to innsjøene i perioden 1998-2002. St.G= Store Gryta; B.Sj=Breisjøen

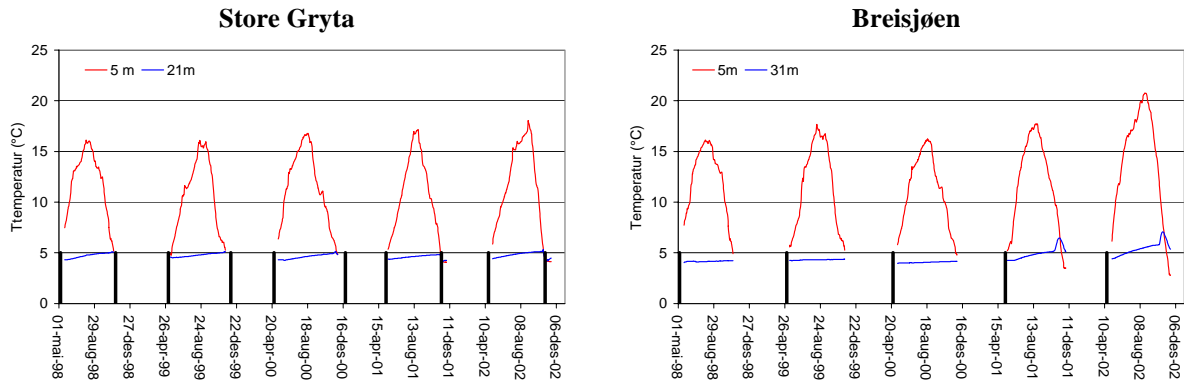
Parameter	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
Sirkulasjon (høst)	dato	2.nov	3.nov	14.nov	16.nov	26.nov	3.des	11.nov	9.nov	30.okt	27.okt
Sirkulasjonstemp	°C	5,16	4,73	5,24	4,86	4,88	4,48	4,52	6,61	4,23	7,11
Isleggingsdato	dato	9.nov	9.nov	3.des	3.des	23.des	23.des	13.nov	27.nov	29.okt	21.nov
Sirkulasjonsdager	n	7	6	19	17	27	20	0	18	0	25

Tabell 4.1.2 Middeltemperaturer for hele innsjøene ($\bar{T}_{innsjø}$), middeltemperaturer for innsjøenes epilimnion (\bar{T}_{epi}) ved dato for maksimalt varmeinnhold i innsjøene (Q_{maks}) samt maksimumstemperatur målt i innsjøene i perioden 15.mai til 31.oktober. St.G= Store Gryta; B.Sj=Breisjøen

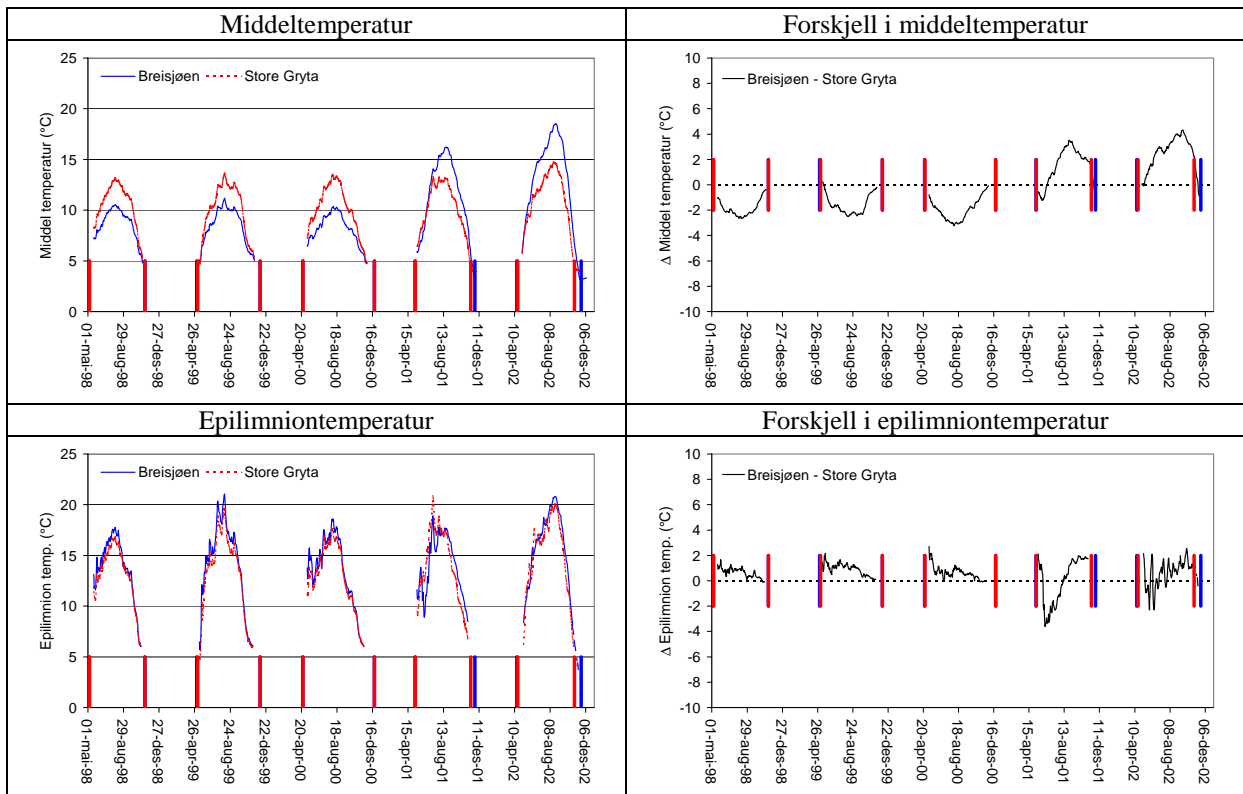
Parameter	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
Q_{maks}	dato	1.aug	1.aug	5.aug	5.aug	3.aug	6.aug	29.jul	24.aug	20.aug	25.aug
$\bar{T}_{innsjø}$	°C	13,2	10,6	13,6	11,2	13,5	10,4	13,3	16,2	14,7	18,5
\bar{T}_{epi}	°C	16,9	17,8	19,6	21,0	17,6	18,6	18,9	17,6	19,5	20,8
T_{maks}	°C	17,6	18,7	20,7	22,2	18,6	19,8	19,7	22,0	21,2	21,5

Tabell 4.1.3 Termoklindyp, epilimnionvolum, og volumprosent av epilimnion ved dato for maksimalt varmeinnhold innsjøene i perioden 15.mai til 31.oktober. St.G= Store Gryta; B.Sj=Breisjøen

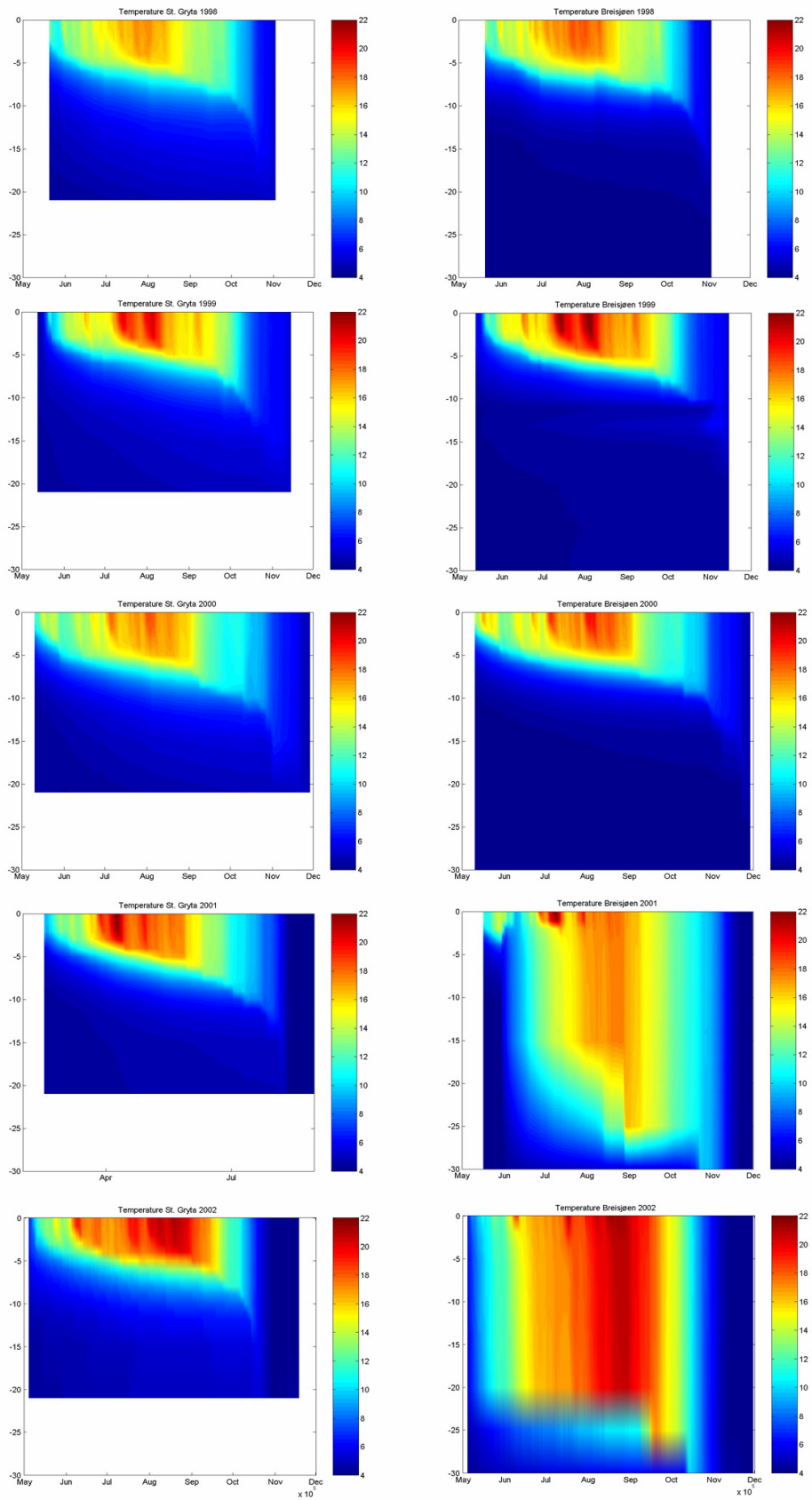
Parameter	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
Termoklindyp	m	6,1	5,8	4,8	4,9	5,9	5,2	5,1	19,2	5,5	19,9
Volum	10 ⁶ m ³	0,377	0,763	0,313	0,657	0,367	0,693	0,329	1,822	0,348	1,854
Volumprosent	%	59	36	49	31	58	33	52	86	55	88



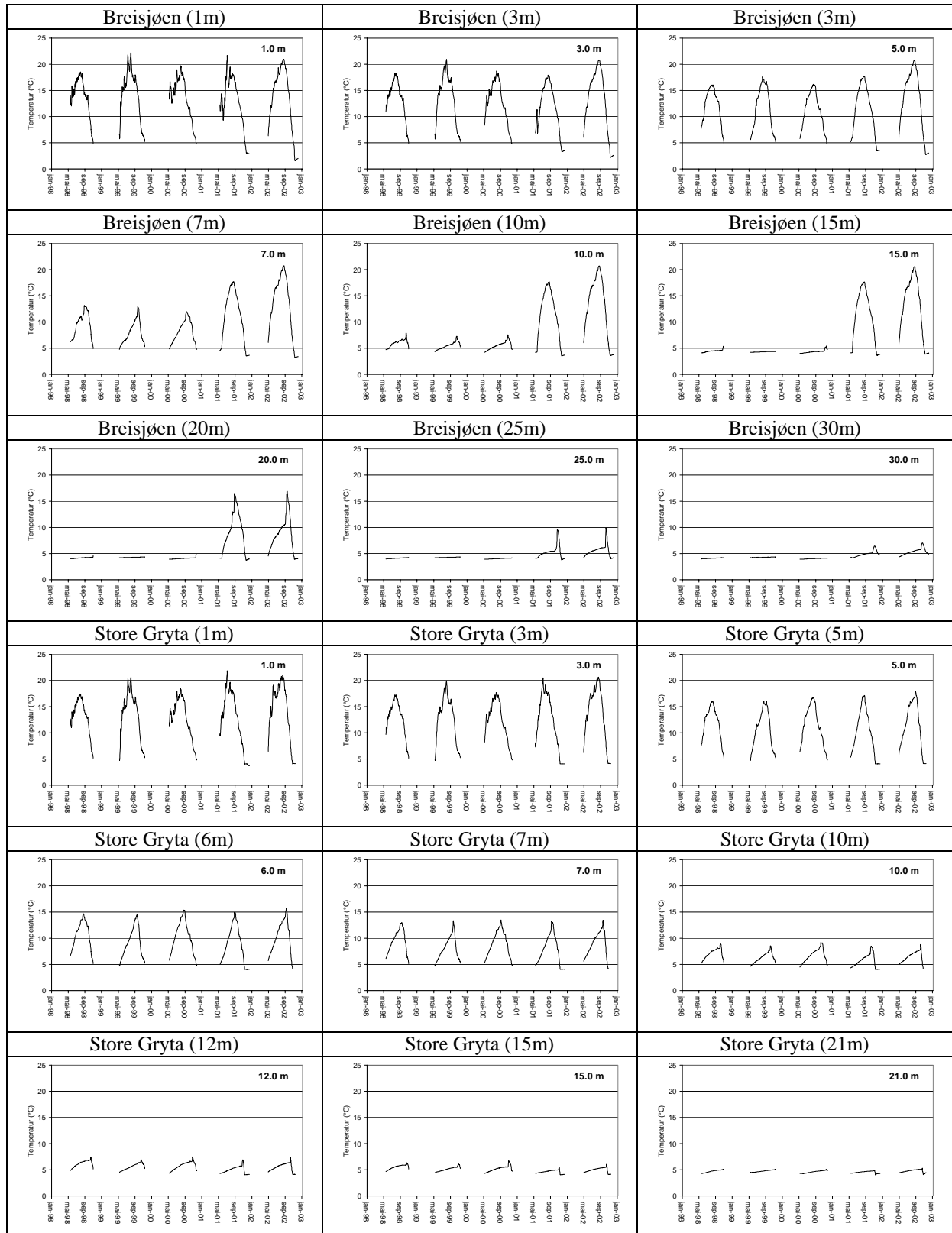
Figur 4.1.1 Vanntemperatur på 5 meters dyp og bunnvannet i Store Gryta (21m) og Breisjøen (31m). Når begge temperatuere er like er innsjøen homeoterm og fullsirkulerer. Sorte stolper angir tidspunkt for isgang og islegging. Der termistoren er tatt opp før fullsirkulasjon er sirkulasjonsdato beregnet (se løpeteksten)



Figur 4.1.2 Middeltemperatur og epilimniontemperatur i Breisjøen og Store Gryta fra isgang til islegging i perioden 1998-2002. Isgang og isleggingstidspunkt er angitt med røde søyler for Store Gryta og blå søyler for Breisjøen. Manipuleringen startet våren 2001.



Figur 4.1.3 Daglig temperaturfordeling i Breisjøen og Store Gryta gjennom isfri periode fra 1998-2002.



Figur 4.1.4 Daglig vanntemperatur i ulike dyp i Breisjøen og Store Gryta i undersøkelsesperioden (isgang til islegging) i perioden 1998-2002.

4.2. Varmebudsjett

Hovedfaktorer for varmeinnhold i innsjøene er solinnstråling, forholdet mellom lufttemperatur og vanntemperatur, samt vind. Faktorer som fordamping og luftfuktighet spiller også inn, men er av mindre betydning.

Normalt synes det som om Breisjøen og Store Gryta oppnår maksimalt varmeinnhold i første halvdel av august (Tabell 4.2.1). I perioden 1998-2002 inntraff dato for maksimalt varmeinnhold i Store Gryta i perioden 5.august \pm 9 dager. Før manipulering av Breisjøen (1998-2000) ble dato for maksimalt varmeinnhold registrert 4.august \pm 3 dager. I de 3 årene før manipulering inntraff dato for maksimalt varmeinnhold i perioden 1.august - 6. august i begge innsjøene. I 2001 inntraff maksimalt varmeinnhold i Store Gryta den 29. juli, mot 24. august i Breisjøen. I 2002 hvor august var ekstremt varm inntraff dato for maksimalt varmeinnhold i Store Gryta 20. august, mot 25. august i Breisjøen. Termoklinsenknningen i Breisjøen synes å ha medført en forsinkelse i tidspunkt for maksimalt varmeinnhold. Hvor mye vil selvsagt avhenge av klimatiske år til år variasjoner, men dataene så langt antyder en forsinkelse på 5-20 dager mht dato for maksimalt varmeinnhold.

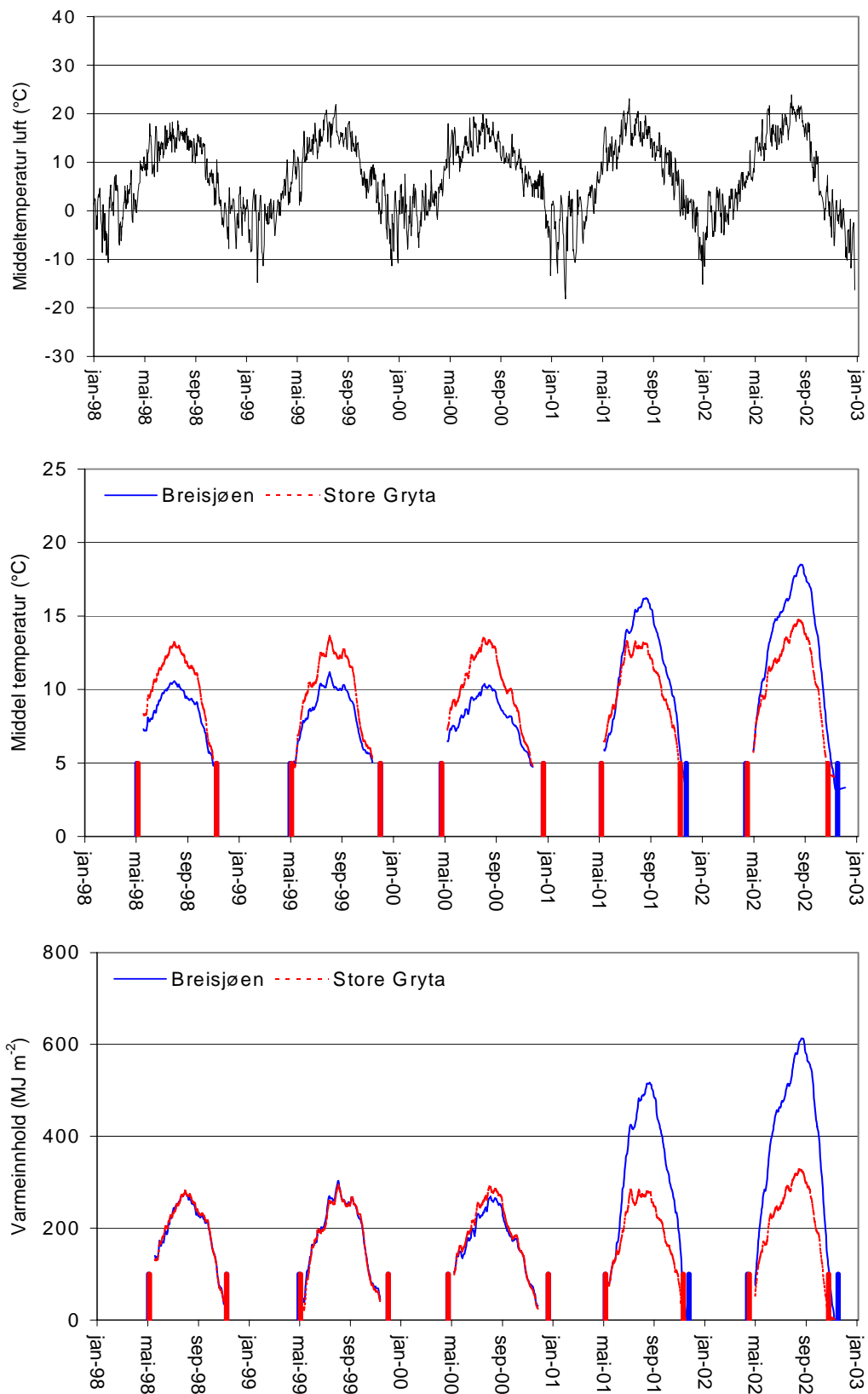
Varmeinnholdet (MJ m^{-2}) i de to innsjøene er svært like (Tabell 4.2.1, Figur 4.2.1). Før manipulering (1998-2000) var gjennomsnittlig varmeinnhold i Store Gryta $289 \pm 7 \text{ MJ m}^{-2}$, mens gjennomsnittlig varmeinnhold i Breisjøen i samme periode var $284 \pm 18 \text{ MJ m}^{-2}$. Varmeinnholdet i Breisjøen varierer noe mer enn i Store Gryta. Dette kan skyldes at Breisjøen er noe mer sol og vindeksponert. Etter termoklinsenknningen økte varmeinnholdet i Breisjøen til 517 MJ m^{-2} i 2001 og 613 MJ m^{-2} i 2002. Varmeinnholdet i kontrollsjøen Store Gryta var til sammenlikning 284 MJ m^{-2} (2001) og 328 MJ m^{-2} (2002). Mens innsjøene hadde tilnærmet samme varmeinnhold før manipulering, har varmeinnholdet i Breisjøen økt med en faktor 1,82-1,87 etter manipulering.

I perioden 15. mai til 31.oktober for årene 1998-2002, var 2002 det klart beste året mht gode betingelser for høyt varmeinnhold i innsjøene. Høyt varmeinnhold inntreffer som følge av en kombinasjon av høy lufttemperatur, lufttrykk og globalstråling, samt lite nedbør og lav skydekningsgrad. I tillegg var ikke vindforholdene i 2002 svært ulikt de andre årene (Tabell 3.4.2). Dette medførte at det klart høyeste varmeinnholdet ble registrert i 2002, 328 MJ m^{-2} i Store Gryta og 613 MJ m^{-2} i Breisjøen. For de andre årene er det vanskelig å rangere varmeinnhold i forhold til de ovenfor nevnte klimaparametre siden klimaparameterne for disse år ikke trekker unisonet i samme retning som i 2002.

I de to årene (2001 og 2002) hvor vi har hatt eksakte temperaturmålinger fram til isleggingsdato, har varmeinnholdet i Store Gryta vært svakt positivt når isen har lagt seg (2 MJ m^{-2} i 2001 og 12 MJ m^{-2} i 2002). Dette betyr en middeltemperatur i innsjøen på $4,08 \text{ }^\circ\text{C}$ og $4,39 \text{ }^\circ\text{C}$ ved isleggingstidspunkt. I Breisjøen som har hatt lengre sirkulasjonstid og islegging senere pga. manipulering var varmeinnholdet i innsjøen negativt (-20 MJ m^{-2} i 2001 og -34 MJ m^{-2} i 2002). Dette betyr en middeltemperatur i Breisjøen på $3,53 \text{ }^\circ\text{C}$ og $3,18 \text{ }^\circ\text{C}$ ved isleggingstidspunkt, noe som er $0,5\text{-}1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ lavere enn i Store Gryta.

Tabell 4.2.1 Maksimalt varmeinnhold (Q_{maks}) i innsjøene og dato dette inntraff på i Store Gryta og Breisjøen for årene 1998-2002. St.G= Store Gryta; B.Sj=Breisjøen

Parameter	Enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
Q_{maks}	Dato	1.aug	1.aug	5.aug	5.aug	3.aug	6.aug	29.juli	24.aug	20.aug	25.aug
Q_{maks}	MJ m^{-2}	281	278	295	304	290	270	284	517	328	613



Figur 4.2.1 Daglig middeltemperatur i luft, i innsjøene, samt totalt varmeinnhold i begge innsjøene for perioden 1998-2002. Isgang og isleggingstidspunkt er angitt med røde søyler for Store Gryta og blå søyler for Breisjøen. Manipuleringen startet våren 2001.

4.3. Termoklinutvikling og stabilitet

Daglig termoklindyp i innsjøene er basert på daglige middeltemperaturer fra ulike dyp. Siden begge innsjøene er svært ionfattige, vil tetthetsforskjeller i innsjøene kun oppstå som følge av temperaturgradienter. Daglige temperaturprofiler er derfor omregnet til tetthetsprofiler. Termoklindyp er bestemt som den deriverte av de daglige tetthetsprofiler, d.v.s. der tetthetsgradienten er størst (Figur 6.1 og 6.2). Denne beregningsmåten har medført at termoklindypet vil kunne variere en del, spesielt etter manipuleringen i Breisjøen, fordi det i perioder danner seg sekundære termokliner høyere opp i vannmassene hvor tetthetsforskjellene er større enn det en finner i nærheten av hovedtermoklinen (primære termoklinen). Grunnen til dette kan være flere, men i enkelte tilfeller skyldes det strømstans som følge av tordenvær, slik at propellen har stoppet opp. Vi har hatt strømbrudd i forbindelse med tordenvær fra 1.-11. juli 2001, fra 10.-17. juli, 2002, og fra 12.-15. august 2002. I disse periodene vil en måtte gå inn å vurdere de aktuelle daglige tetthetsprofilene for å følge primærtermoklinens utvikling. Se også kapittel 6.0 *Temperatur-Termoklinmodell*.

Innsjøenes termoklindyp er her definert å være termoklindypet i innsjøen den dagen det høyeste varmeinnholdet registreres i innsjøene (se Kap. 4.2). Dette er normalt i første halvdel av august (Tabell 4.3.1). Gjennomsnittlig termoklindyp i Store Gryta (1998-2002) var $5,5 \pm 0,5$ m (maks: 6.1 m, min: 4.8m). Før manipulering i Breisjøen (1998-2000) var gjennomsnittlig termoklindyp $5,3 \pm 0,5$ m (maks: 5,8 m, min: 4,9m). En tendens til noe grunnere termoklin i Breisjøen skyldes bla at denne innsjøen har noe høyere epilimniontemperatur og dermed noe sterkere sjiktningss stabilitet. At Breisjøen trolig er noe mere vindeksponert synes ikke å være nok til å kompensere for en mer stabil termisk sjiktning pga. høyere epilimniontemperatur. Etter manipulering i Breisjøen har termoklindypet økt til $19,6 \pm 0,5$ m (19,2 m i 2001, 19,9 m i 2002).

Generelt synes det som om de kaldeste årene, med lav middeltemperatur og lavt varmeinnhold, er de årene hvor termoklinen ligger dypest. Dette skyldes primært to forhold, lavere sjiktningss stabilitet og mer vind i kalde og våte somrer. Hvis predikerte klimaendringer på våre breddegrader betyr kaldere sommer og varmere vinter, vil en kunne forvente at termoklindypet i innsjøene vil øke, samtidig med at sjiktningss stabiliteten i innsjøene avtar.

Tabell 4.3.1 Datoer og verdier for maksimalt varmeinnhold (Q_{maks}) i innsjøene i perioden 1998-2002. Samme dato som Q_{maks} er også termoklindyp, middeltemperaturer for hele innsjøene ($\bar{T}_{innsjø}$) samt middeltemperaturer for innsjøenes epilimnion (\bar{T}_{epi}) angitt. Termoklinen i Breisjøen er manipulert f.o.m. våren 2001. St.G = Store Gryta; B.sj = Breisjøen

Parameter	Enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
Q_{maks}	Dato	1.aug	1.aug	5.aug	5.aug	3.aug	6.aug	29.juli	24.aug	20.aug	25.aug
Q_{maks}	MJ m ⁻²	281	278	295	304	290	270	284	517	328	613
Termoklindyp	M	6,1	5,8	4,8	4,9	5,9	5,2	5,1	19,2	5,5	19,9
$\bar{T}_{innsjø}$	°C	13,2	10,6	13,6	11,2	13,5	10,4	13,3	16,2	14,7	18,5
\bar{T}_{epi}	°C	16,9	17,8	19,6	21,0	17,6	18,6	18,9	17,6	19,5	20,8

Gorham Boyce stabilitet

Gorham og Boyce (1989) benyttet geometriske innsjødata fra 150 innsjøer i USA, Polen, England og Japan for å vurdere sannsynligheten for at en innsjø sjiktes eller ikke under sommeren.

I denne vurderingen benyttet de forholdet:

$$\alpha = \frac{L}{H}$$

hvor L er kvadratroten av innsjøens areal ($L = \sqrt{A_0}$, i meter), og H er innsjøens maksimale dyp (meter).

Både Breisjøen og Store Gryta ligger klart på den siden av funksjonen som beskriver grensen for om en innsjø alltid stratifiseres eller ikke. Dette betyr en innsjø må ha et vist dyp i forhold til overflateareal for å oppnå en konsistent sjiktning, d.v.s. at økning i innsjøers overflateareal betyr økning i minimumsdypet en innsjø må ha for å få en varig/stabil sjiktning om sommeren.

Gorham og Boyce (1989) beregnet også forholdet (α) mellom termoklindyp (h) og maksimalt innsjødyp (H):

$$\alpha = \frac{h}{H}$$

I 90% av tilfellene var dette forholdet $< 0,5$, d.v.s. at termoklindypet $< 50\%$ av maksimumsdypet til innsjøene. De fant også at ingen innsjøer med $\alpha > 0,7$ var sjiktet. I Store Gryta var $\alpha = 0,31 \pm 0,14$, mens α var $0,15 \pm 0,2$ i Breisjøen før manipulering (Se Tabell 4.3.2). Etter manipulering var α i Breisjøen $0,57 \pm 0,1$, noe som betyr at innsjøen fortsatt ligger innenfor den grensen som er beregnet for at innsjøen fortsatt vil være sjiktet. De empiriske observasjonene i Breisjøen bekrefter også dette. Innsjøen er fortsatt godt sjiktet selv etter at termoklinen er senket til nærmere 20 meter. Basert på beregningene til Gorham og Boyce (1989), vil en kunne risikere at sjiktningen i Breisjøen faller bort viss termoklinen senkes dypere enn 24 meter.

Gorham og Boyce (1998) beregnet også minimum dyp en innsjø må ha for at permanent sjiktning vil kunne etableres om sommeren. Følgende empiriske formel ble funnet for innsjøer med $L < 5000$ m

$$H \geq \frac{(A + BL)}{(\alpha_{\max} - C)}$$

hvor

α_{\max} ble funnet å være: 0,55; A: 3,7m; B: $2,4 \times 10^{-3}$; C: $2,5 \times 10^{-3}$.

$L_{\text{Breisjøen}}$ er 458 m og $L_{\text{Store Gryta}}$ er 297m. Dette betyr at Breisjøen og Store Gryta minst måtte ha et dyp på 8,8 m og 8,1 m for at innsjøene skulle kunne ha permanent sjiktning. Siden Breisjøen er 34,5 m dyp og Store Gryta er 22 m dyp, er begge innsjøene betydelig dypere enn kritisk dyp for sjiktning.

Tabell 4.3.2 Gorham og Boyce stabilitet i Store Gryta og Breisjøen i 1998-2002. H: innsjøens maksimaldyp, h: termoklindypet.

Parameter	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
H	m	6,1	5,8	4,8	4,9	5,9	5,2	5,1	19,2	5,5	19,9
H	m	22	34,5	22	34,5	22	34,5	22	34,5	22	34,5
α (h/H)		0,28	0,17	0,22	0,14	0,27	0,15	0,23	0,56	0,25	0,58

Schmidts stabilitet

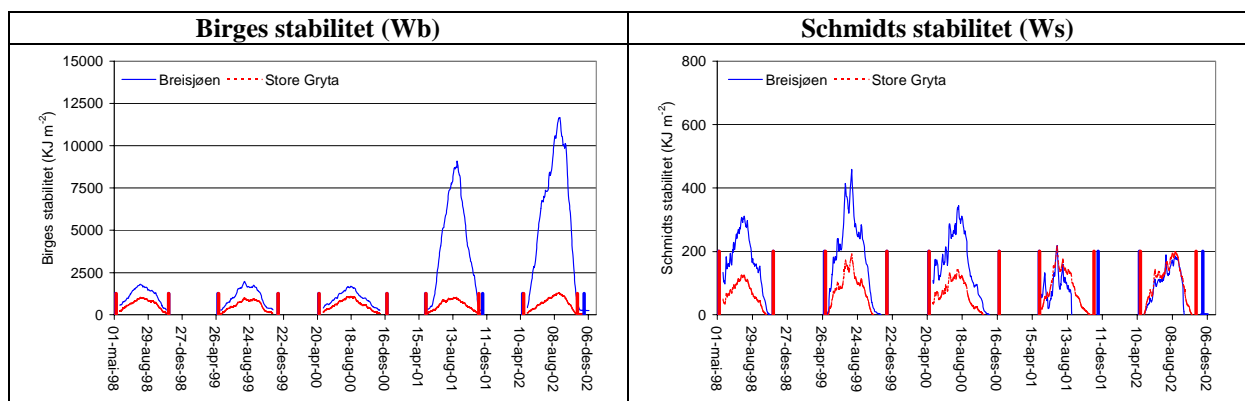
Schmidt's stabilitet (W_s , se kapittel 2.8) for innsjøer er et mål på den energi som må til for å ha isotermeri til enhver tid. Dette betyr at vanntemperaturforskjellene i alle dyp i forhold til temperatur for maks tetthet (4°C), innsjøens tyngdepunkt og volum/arealforhold er avgjørende for W_s uttrykt per flateenhet (KJ m^{-2}). Disse faktorene forklarer hvorfor Breisjøen i perioden 1998-2000 hadde høyere W_s ($372 \pm 77 \text{ kJ m}^{-2}$) enn Store Gryta ($152 \pm 35 \text{ kJ m}^{-2}$) før termoklinsenknningen fant sted i Breisjøen (Tabell 4.3.3) Etter termoklinsenknningen i Breisjøen (2001-2002) hvor innsjøene ble homeoterm ned til ca 20 m, var W_s i Breisjøen ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold $126 \pm 68 \text{ kJ m}^{-2}$ mot $186 \pm 14 \text{ kJ m}^{-2}$ i Store Gryta. Nedgangen i W_s i Breisjøen etter manipulering kommer også svært godt fram når en vurderer tidspunktet når $W_s=0$ i begge innsjøene på høsten. I perioden 1998-2002 inntraff $W_s=0$ i Store Gryta 21.oktober ± 8 dager, mot 13-25 dager senere (9.november ± 9 dager) i Breisjøen før manipulering. Etter manipulering inntraff $W_s=0$ hvv 64 dager (2001) og 26 dager tidligere i Breisjøen enn Store Gryta. Schmidts stabilitet i Breisjøen har altså blitt dramatisk redusert etter termoklinsenknningen (Figur 4.3.3)

Tabell 4.3.3 Schmidts stabilitet (W_s) og Birges stabilitet (W_b) i Store Gryta og Breisjøen ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold, og dato når $W_s=0$ for perioden 1998-2002.

Parameter	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
Q_{maks}	dato	1.aug	1.aug	5.aug	5.aug	3.aug	6.aug	29.juli	24.aug	20.aug	25.aug
W_s	kJ m^{-2}	124	312	191	459	142	345	176	77.8	196	174
$W_s = 0$	dato	16.okt	29.okt	18.okt	12.nov	29.okt	19.nov	1.nov	29.aug	14.okt	18.sep
W_b	kJ m^{-2}	1018	1805	987	1979	1064	1667	962	8751	1266	11626

Birges stabilitet

Birges stabilitet (W_b) er det arbeidet som må til for å drive vannmassene til det dyp sjiktningen ligger. Vinden er hovedfaktor. Dette betyr at vanntemperaturforskjellene i alle dyp i forhold til temperatur for maks tetthet (4°C), termoklindyp samt volum/arealforhold er avgjørende for W_b uttrykt per flateenhet (KJ m^{-2}). Disse faktorene gjør at Breisjøen i perioden før manipulering (1998-2000) hadde høyere W_b ($1817 \pm 156 \text{ kJ m}^{-2}$) enn Store Gryta ($1023 \pm 39 \text{ kJ m}^{-2}$). Etter manipulering (2001-2002) hvor Breisjøen termoklin har blitt senket til ca 20 m, har W_b i Breisjøen ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold økt dramatisk til $10189 \pm 2033 \text{ kJ m}^{-2}$ mot $1114 \pm 215 \text{ kJ m}^{-2}$ i Store Gryta. Dette betyr at det nå trengs 5-6 ganger mere energi for å transportere vannmassene i Breisjøen ned til det dyp termoklinen ligger på ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold. Birges stabilitet i Breisjøen har altså økt dramatisk etter manipulering (Figur 4.3.3), noe som primært skyldes en betydelig senkning av termoklindypet.



Figur 4.3.3 Endringer i Schmidts stabilitet (W_s) og Birges stabilitet (W_b) i Store Gryta og Breisjøen i perioden 1998-2002. Røde og blå stolper angir tidspunkt for isgang i Store Gryta og Breisjøen.

4.4. Oksygen

Løst molekylært O₂ er målt med et O₂-meter i felt på samme dyp hvor termistoren kontinuerlig logger vanntemperaturen. Dette instrumentet er sannsynligvis noe mindre nøyaktig en kjemisk analyse av O₂ med Winkler metoden. Like fullt vil en anta at de relative forskjellene mellom sjøene de dagene O₂-målinger er foretatt, gir en god indikasjon på ulikheter i O₂-forholdene i innsjøene.

Oksygenforholdene nær bunnen av begge innsjøene er gjennomgående lave og varierer usystematisk over tid. Dette skyldes at begge innsjøene har svært løst bunnsediment, slik at overgangen fra vann til sediment blir svært diskret. Dette skaper problemer mht å registrere når O₂-elektroden befinner seg i sedimentet. Enkelte målinger av oksygen på dypeste punkt er derfor sannsynligvis tatt nede i sedimentet, slik at O₂ målingene på største dyp i begge innsjøene ikke bør tillegges særlig vekt.

Begge innsjøene er relativt næringsfattige innsjøer, med lavt innhold både av tilført (allokton) og innsjøprodusert (autokton) organisk materiale. At innsjøene også har to sirkulasjonsperioder (dimiktiske), vår og høst, gjør at O₂-forholdene i innsjøene er relativt gode. Begge innsjøene har såkalt positiv heterograd O₂-kurve, d.v.s. et O₂-maksimum i metalimnion (Figur 4.4.1). Dette er vanlig i klare sjøer med relativt grunn termoklin. I slike tilfeller vil kompensasjonspunktet for primærproduksjon ligge under metalimnion. Kompensasjonspunktet er primært bestemt av lystilgang, og er det dyp i innsjøene hvor algenes produksjonen = respirasjon. Innsjøer med positivt heterograd O₂-kurve har vanligvis også høy stabilitet og er relativt lite vindeksponerte. Dette stemmer svært godt med Thermos-sjøene. Hovedårsaken til heterograd O₂-kurve er høy fotosynteseaktivitet (O₂-produserende prosess) i metalimnion, fordi algepopulasjoner innstiller seg i dette sjiktet hvis både lys og næringstilgang er god. Økningen i O₂ i metalimnion begynner noe høyere oppe i vannmassene i Breisjøen enn i Store Gryta, og den positive heterograde kurven er også mer distinkt i Breisjøen (Figur 4.4.1). Dette henger sammen med at termoklinen før manipulering i Breisjøen gjennomgående ligger noe grunnere (Tabell 4.3.1) og er mer stabil, dvs større tetthet eller temperatur gradient i metalimnion (Figur 4.1.3, Figur 4.3.1).

Etter at Breisjøen ble manipulert, forsvant innsjøens positive heterograde O₂-kurve. Dette skyldes bla at en betydelig senkning av termoklinen som igjen reduserte innsjøens stabilitet betydelig. Propellen som brukt til termoklinsenknningen kan sees på som en betydelig økning i innsjøens vindeksponering. Dette er også en viktig faktor mht å bryte ned en positiv heterograd O₂-profil i innsjøer.

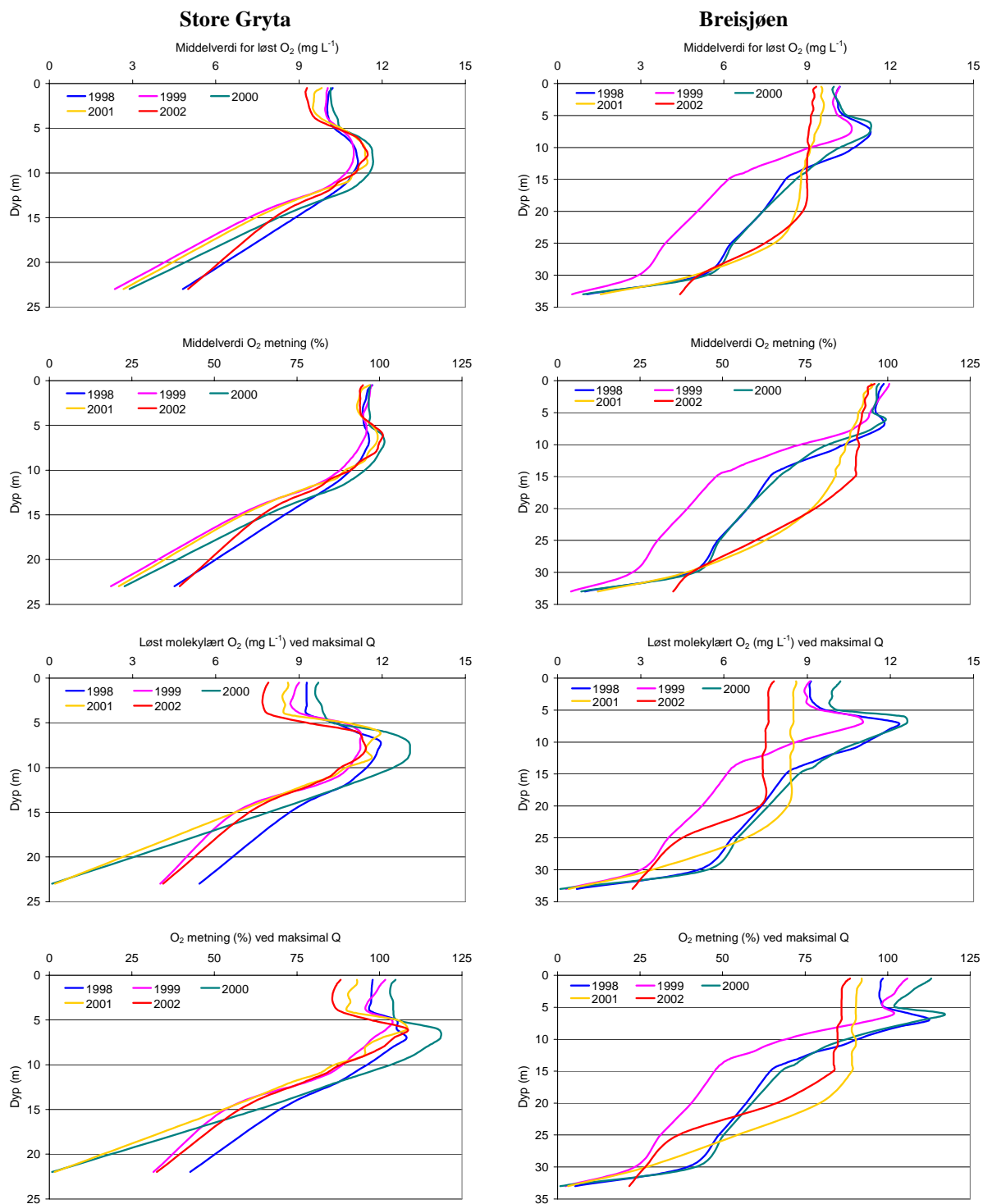
Vårsirkulasjonsperioden er normalt relativt kortvarig i begge innsjøene, noe som begrenser mulighetene for fullstendig oksygenering av hele innsjøen før sommerstagnasjonen etableres. Før termoklinsenknningen i Breisjøen (1998-2002) hadde innsjøen en volumveid O₂-metning rundt tidspunkt for vårsirkulasjon på $76 \pm 12\%$ (Tabell 4.4.1), mot $84 \pm 5\%$ i Store Gryta. Etter manipuleringen av Breisjøen (2001-2002) var volumveid O₂-metningen rundt tidspunkt for vårsirkulasjon $85 \pm 14\%$ mot $90 \pm 8\%$ i Store Gryta.

Oksygenforholdene ved tidspunkt for maksimalt varmeinnhold i innsjøene (Tabell 4.4.1) viser at Breisjøen hadde en gjennomsnittlig volumveid metningsprosent på $83 \pm 6\%$ før manipulering (1998-2000) og $82 \pm 3\%$ etter manipulering (2001-2002). Tilsvarende for Store Gryta var $96 \pm 4\%$ (1998-2000) og $88 \pm 0,4\%$ (2001-2002).

Høstsirkulasjonen i innsjøene er normalt av lengre varighet, slik at sannsynligheten for fullstendig oksygenering av hele innsjøvolumet blir langt større. Av praktiske årsaker har vi ikke O₂-målinger svært nær opp til islegging, noe som gjør at metningsprosenten sannsynligvis er høyere ved isleggingstidspunkt enn de måleresultatene som foreligger. Ved siste måling før islegging hadde Breisjøen en volumveid O₂ metning på $78 \pm 2\%$ i perioden før manipulering (1998-2000) og $84 \pm 1\%$ etter manipulering (2001-2002). Tilsvarende for Store Gryta var $86 \pm 5\%$ (1998-2000) og $87 \pm 6\%$ (2001-2002)

Generelt har Breisjøen noe mindre løst molekylært O₂ enn Store Gryta, noe som primært henger sammen med at innsjøen er noe mer næringsrik og har noe høyere konsentrasjoner av totalt organisk karbon. Etter manipuleringen av Breisjøen hvor propellen har medført et kunstig vindstress på innsjøen, har innsjøens O₂-innhold blitt noe høyere i forhold til kontrollsjøen (Figur 4.4.2). Årsakene er først og fremst at manipuleringen har medført økning i kinetisk energi som igjen har medført tidligere høstsirkulasjon og senere islegging. Dette bidrar til økte muligheter for oksygenering av vannmassene. Økningen i O₂-innhold er like fullt ikke svært stor. I

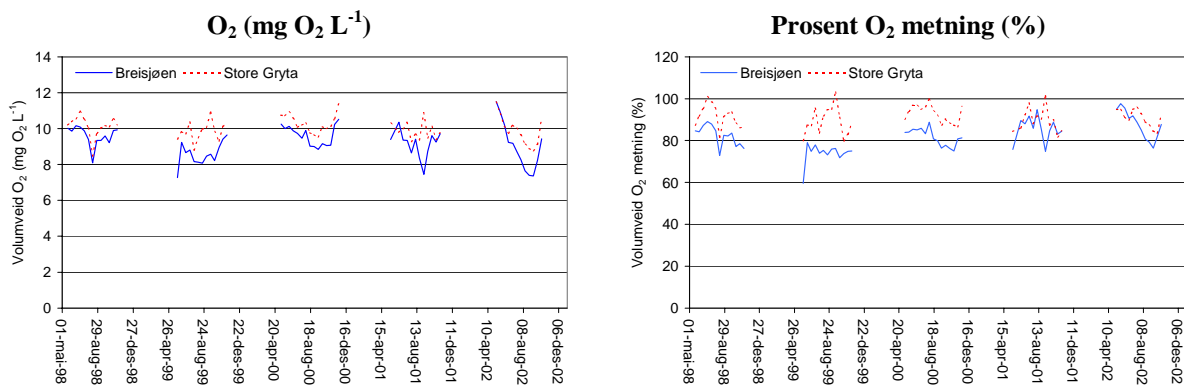
mere næringsrike og humøse sjøer vil en slik manipulering ganske sikkert medføre mer markant økning i innsjøens O₂-innhold, sammenliknet med oligotrofe innsjøer med lavt internt biologisk og kjemisk O₂-forbruk.



Figur 4.4.1 Dybdeprofiler for volumveid middelkonsentrasjon og prosent metning av løst molekylært O₂ (mg O₂ L⁻¹) og konsentrasjoner og metningsprosent av løst molekylært O₂ nær tidspunkt for maksimalt varmeinnhold i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998- 2002. Profilene baserer seg på målinger hver 14. dag i perioden mai-november.

Tabell 4.4.1 Volumveide konsentrasjoner av løst molekylært O₂ (mg O₂ L⁻¹) og volumveid metningsprosent av O₂ ved dato for første prøvetaking om våren (O_{2v}), ved prøvedato nærmest dato for maksimalt varmeinnhold i sjøene (O_{2s}) og for siste prøvetidspunkt om høsten (O_{2h}) i Store Gryta og Breisjøen i perioden 1998-2002. Datane baserer seg på målinger hver 14. dag gjennom isfri periode.

	enhet	1998		1999		2000		2001		2002	
		St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj
O _{2v}	dato	20.mai	20.mai	26.mai	26.mai	10.mai	10.mai	16.mai	16.mai	8.mai	8.mai
O _{2s}	dato	29.jul	29.jul	4.aug	4.aug	2.aug	2.aug	25.jul	22.aug	28.aug	28.aug
O _{2h}	dato	4.nov	4.nov	10.nov	10.nov	22.nov	22.nov	31.okt	31.okt	9.okt	9.okt
O _{2v}	mg O ₂ L ⁻¹	10,20	10,02	9,42	7,27	10,75	10,25	10,30	9,39	11,48	11,50
O _{2s}	mg O ₂ L ⁻¹	10,04	9,39	9,49	8,13	10,31	9,90	9,28	8,37	8,90	7,40
O _{2h}	mg O ₂ L ⁻¹	10,22	9,93	10,33	9,64	11,43	10,41	9,76	9,72	10,57	9,44
O _{2v}	%	87,4	84,7	79,9	59,6	90,1	83,8	84,3	75,8	94,9	95,0
O _{2s}	%	95,6	84,7	91,8	75,3	99,8	88,8	88,1	85,4	87,4	79,2
O _{2h}	%	86,4	76,2	88,5	75,0	96,3	81,3	84,5	84,5	92,7	82,7



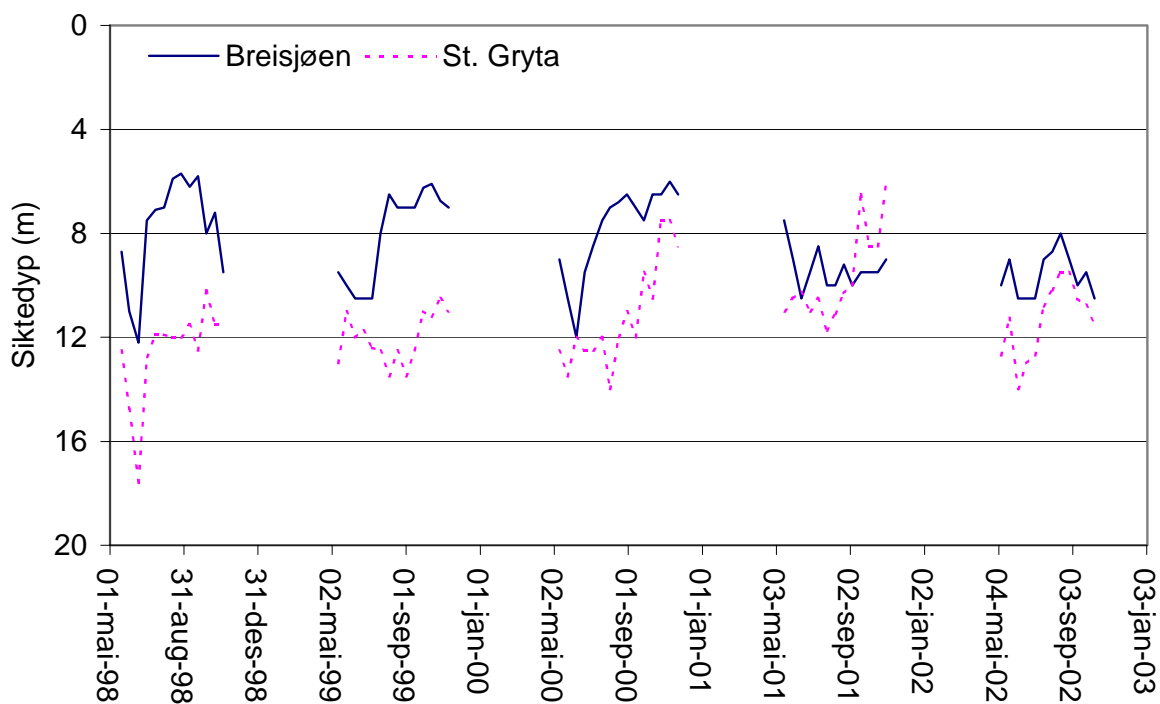
Figur 4.4.2 Tidsutvikling i volumveide konsentrasjoner av løst molekylært O₂ (mg O₂ L⁻¹) og volumveid prosent metning av O₂ i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Dataene baserer seg på målinger hver 14. dag i perioden mai-november.

4.5. Lys

4.5.1. Siktedyp og innsjøens farge basert på Secciskive

Innsjøens innhold av partikler, kolloider og løste fargekomplekser er helt avgjørende for siktedypet i innsjøer. Siden innholdet av alle disse komponenter er lave i begge innsjøene, er det relativt store siktedyp i begge innsjøene. Minst innhold av slike komponenter (lavest farge og turbiditet) er det i Store Gryta.

Gjennomsnittlig siktedyp i Breisjøen og Store Gryta før manipulering (1998-2000) var $7,9 \pm 1,8$ m og $11,9 \pm 1,7$ (Tabell 4.5.1, Figur 4.5.1) Siktedypet er gjennomsnittlig $4,0 \pm 1,8$ m mindre i Breisjøen enn i Store Gryta før termoklinsenknningen i Breisjøen. Etter termoklinsenknningen (2001-2002) var siktedypet i Breisjøen $9,5 \pm 0,8$ m mot $10,5 \pm 1,8$ m i Store Gryta. Forskjellen i siktedyp var nå $1,0 \pm 1,7$ m. Termoklinsenknningen i Breisjøen har altså resultert i en økning i siktedyp på 2,5 -3,0 m, samtidig som siktedypsvariasjonene gjennom sesongen har blitt mindre. Det finnes ingen klare kjemiske forklaringer til dette. Eneste forklaring er de vertikale endringer i algebiomasse og klorofyll-a. Før termoklinsenknningen hadde Breisjøen en positiv heterograd O_2 -kurve pga. høye algekonentrasjoner i metalimnion (området rundt termoklinen). Siktedypet lå da dypere enn termoklinnivået. Dette medførte at siktedypet ble påvirket av oppkonsentrering av alger i metalimnion. Etter at termoklinen ble senket betydelig i Breisjøen ble siktedypet liggende høyere opp i vannmassene en termoklinen. I tillegg ble algene jevnere fordelt i et langt større epilimnionvolum, selv om vi etter manipuleringen fikk en viss økning i algevolum nær den nye termoklinen på ca 20 m. Siden totalt algevolum ikke endret seg vesentlig etter termoklinsenknningen, betyr dette en reduksjon av alger i det tidligere termoklinnivået. Dette medførte mindre lyssvekningen i øvre vannlag, med den konsekvens at siktedypet økte i Breisjøen.



Figur 4.5.1 Siktedyp i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002.

Tabell 4.5.1 Statistiske data for siktedyp (m) i Breisjøen og Store Gryta for 1998-2002.

Siktedyp	1998		1999		2000		2001		2002	
	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G	B.sj	St.G
Gj.snitt	7,8	12,5	8,0	12,0	7,8	11,2	9,4	9,7	9,6	11,4
St.avvik	2,0	1,8	1,7	1,0	1,7	2,0	0,8	1,8	0,9	1,4
Median	7,1	12,0	7,0	12,2	7,0	12,0	9,5	10,3	9,8	11,0
Maks	12,2	17,6	10,5	13,5	12,0	14,0	10,5	11,8	10,5	14,0
Min	5,7	10,2	6,1	10,5	6,0	7,5	7,5	6,0	8,0	9,5

Vannets farge kan måles mot hvit secciskive på et dyp tilsvarende halve siktedypet. Vi har valgt å lage en fargeskala som også kan uttrykkes numerisk for å kunne se på statistiske endringer over tid. (Tabell 4.5.2). Denne fargen viser ingen signifikante endringer etter termoklinsenknningen i Breisjøen. Gjennomsnittlig farge i Store Gryta ligger mellom 3,8 og 3,9, som betyr at vannet har en gulig grønn til grønn farge. I Breisjøen er fargen gjennomsnittlig 3,3-3,4, dvs vannet har en grønnlig gul til grønnlig gul farge. Noe gulere farge i Breisjøen henger sammen med at denne innsjøen er noe mer påvirket av alloktont (tilført) organisk materiale fra nedbørfeltet (humus), selv om konsentrasjonene i Breisjøen må betegnes som lave (TOC: $\approx 2,8 \text{ mg C L}^{-1}$).

Tabell 4.5.2 Valgte numeriske verdier for farge målt med secciskive på halve siktedypet.

Rødlig brun	Brun	Gulig brun	Gulbrun	Brunlig gul	Gul	Grønnlig gul
1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
Grønnlig gul	Gulig grønn	Grønn	Blålig grønn	Blågrønn	Grønnlig blå	Blå
3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00

4.6. Vannkjemi

4.6.1. Totalt organisk karbon og turbiditet

Vannets farge (mg Pt L^{-1}), UV-absorbans ved 254_{nm} ($\text{OD}_{254\text{nm}}$) og konsentrasjonen av totalt organisk karbon (TOC i mg C L^{-1}) er parametre som uttrykker konsentrasjon av organisk materiale i vann. Siden de to første parameterene måles på filtrert prøve, er disse parametre et uttrykk for løst organisk materiale, mens TOC gir informasjon også om partikulært C i prøven. Normalt er det en meget god sammenheng mellom farge, UV-absorbans og TOC. Turbiditet er primært en parameter som uttrykker vannets grumsethet og vil først og fremst være et mål på partikler i vann.

Begge innsjøene inneholder svært lite organisk og uorganisk materiale (Tabell 4.6.1). Innsjøene må derfor karakteriseres som svært klare, ionfattige, oligotrofe innsjøer, hvor Store Gryta er den klareste og mest næringsfattige.

I Breisjøen ligger gjennomsnittlig volumveid TOC-konsentrasjon på $2,7 \pm 0,4 \text{ mg C L}^{-1}$ før termoklinsenknningen, mot $2,8 \pm 0,3 \text{ mg C L}^{-1}$ etter. Tilsvarende i Store Gryta er $1,9 \pm 0,3 \text{ mg C L}^{-1}$ (før) og $2,0 \pm 0,2 \text{ mg C L}^{-1}$ (etter). TOC-nivået i Breisjøen kan derfor ikke sies å ha endret seg pga. av termoklinsenknningen. En klar økning i TOC-konsentrasjonen i Breisjøens dypere vannlag etter termoklinsenknningen henger sammen med at epilimnion, som normalt har høyere TOC-verdier, nå går mye dypere ned i innsjøprofilen og dermed påvirker dypeste prøveintervall (26-31m). Det samme gjør seg gjeldene for flere parametre, bl.a. ledningsevne (sammenlign Figur 4.6.1 og 4.6.3).

Turbiditetsverdiene er også lave i begge innsjøene, lavest i Store Gryta. Før termoklinsenknningen var de gjennomsnittlige volumveide turbiditetsverdiene i Breisjøen og Store Gryta hhv $0,52 \pm 0,18 \text{ FTU}$ og $0,36 \pm 0,17 \text{ FTU}$. Etter manipulering var volumveid turbiditetsmiddel i Breisjøen $0,49 \pm 0,08 \text{ FTU}$ mot $0,45 \pm 0,08 \text{ FTU}$ i Store Gryta. Relativt sett synes det derfor som om Breisjøen har blitt noe klarere etter manipuleringen. Dette kan

skyldes en viss nedgang i algebiomasse, i kombinasjon med økt fortykning av algebiomassen i et mye større epilimnion etter termoklinsenknningen.

Tabell 4.6.1 Totale innsjøvolumveide middelkonsentrasjoner av ulike fysisk-kjemiske parametre i Store Gryta og Breisjøen før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen, samt relative endringer (B-S = Breisjøen - St. Gryta) i de samme periodene. Dataene baserer seg på prøver tatt hver 14. dag under isfri periode, med unntak av klorid, sulfat og basekationer som er prøvetatt en gang i måneden. Nederst i tabellen vises middelkonsentrasjoner av mengde partikler i sedimentasjonsfeller på hhv 10 meters dyp og 2 meter over bunnen (Bunn) i de to innsjøenes, samt dette sedimenterende materialets innhold av C,N og P.

Parameter	Enhet	1998-2000			2001-2002		
		Breisjøen	St.Gryta	B-S	Breisjøen	St.Gryta	B-S
Siktedyp	m	7,9 ± 1,8	11,9 ± 1,7	-4,0 ± 1,8	9,5 ± 0,8	10,5 ± 1,8	-1,0 ± 1,7
Turbiditet	FTU	0,52 ± 0,18	0,36 ± 0,17	0,16 ± 0,12	0,49 ± 0,08	0,45 ± 0,08	0,03 ± 0,10
Ledningsevne	mS m ⁻¹	3,11 ± 0,13	3,23 ± 0,15	-0,12 ± 0,05	2,75 ± 0,05	2,83 ± 0,10	-0,08 ± 0,10
pH	-log [H ⁺]	6,65	6,73	-0,8	6,70	6,70	0
[H ⁺]	µek L ⁻¹	0,22 ± 0,05	0,19 ± 0,04	0,04 ± 0,03	0,20 ± 0,08	0,20 ± 0,06	0,00 ± 0,04
Alkalinitet	µek L ⁻¹	77 ± 7	89 ± 9	-12 ± 6	76 ± 9	83 ± 13	-7 ± 6
TOC	mg C L ⁻¹	2,7 ± 0,4	1,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	2,8 ± 0,3	2,0 ± 0,2	0,8 ± 0,2
Farge	mg Pt L ⁻¹	9,5 ± 3,5	6,2 ± 2,6	3,4 ± 1,3	11,2 ± 2,7	7,1 ± 1,8	4,2 ± 1,5
UV	OD _{254nm}	0,077 ± 0,016	0,054 ± 0,013	0,023 ± 0,007	0,084 ± 0,014	0,057 ± 0,010	0,028 ± 0,006
Farge ¹	secciskive	3,38 ± 0,41	3,83 ± 0,25	-0,45 ± 0,31	3,25 ± 0,33	3,90 ± 0,18	-0,65 ± 0,35
Klorid	mg L ⁻¹	1,96 ± 0,20	1,94 ± 0,23	0,02 ± 0,07	1,64 ± 0,06	1,58 ± 0,12	0,06 ± 0,09
Sulfat	mg SO ₄ L ⁻¹	5,29 ± 0,47	5,49 ± 0,42	-0,20 ± 0,12	4,26 ± 0,15	4,56 ± 0,13	-0,30 ± 0,08
Nitrat	µg N L ⁻¹	73 ± 26	69 ± 22	4 ± 6	102 ± 22	95 ± 23	6 ± 6
Ammonium	µg N L ⁻¹	10,3 ± 5,3	8,5 ± 3,1	1,7 ± 3,6	12,5 ± 5,1	8,2 ± 2,9	4,4 ± 3,4
Total N	µg N L ⁻¹	234 ± 27	186 ± 23	49 ± 12	261 ± 28	217 ± 21	44 ± 13
Organisk N	µg N L ⁻¹	138 ± 41	99 ± 30	39 ± 14	143 ± 11	112 ± 11	31 ± 10
Partikulært N	µg N L ⁻¹	33,2 ± 11,2	22,5 ± 7,0	10,8 ± 8,8	27,2 ± 10,4	23,8 ± 8,2	3,3 ± 6,5
Total P	µg P L ⁻¹	3,06 ± 0,49	2,16 ± 0,42	0,90 ± 0,46	2,99 ± 0,43	2,06 ± 0,18	0,93 ± 0,46
Partikulært P	µg P L ⁻¹	2,46 ± 0,44	1,74 ± 0,32	0,71 ± 0,39	2,37 ± 0,31	1,69 ± 0,23	0,68 ± 0,34
PO ₄ ³⁻ (²)	µg P L ⁻¹	0,61 ± 0,39	0,42 ± 0,43	0,19 ± 0,51	0,62 ± 0,53	0,37 ± 0,31	0,25 ± 0,56
Partikulært C	µg C L ⁻¹	329 ± 74	242 ± 40	88 ± 59	274 ± 47	246 ± 40	29 ± 43
Kalsium	mg L ⁻¹	2,69 ± 0,15	2,62 ± 0,18	0,07 ± 0,08	2,53 ± 0,31	2,42 ± 0,34	0,11 ± 0,06
Magnesium	mg L ⁻¹	0,64 ± 0,04	0,73 ± 0,05	-0,09 ± 0,02	0,58 ± 0,06	0,66 ± 0,09	-0,08 ± 0,03
Natrium	mg L ⁻¹	1,76 ± 0,10	1,90 ± 0,11	-0,14 ± 0,04	1,63 ± 0,04	1,74 ± 0,08	-0,12 ± 0,06
Kalium	mg L ⁻¹	0,28 ± 0,03	0,31 ± 0,02	-0,03 ± 0,02	0,28 ± 0,01	0,31 ± 0,01	-0,03 ± 0,01
ANC ³	µek L ⁻¹	100 ± 8	107 ± 10	-8 ± 7	109 ± 22	112 ± 25	-3 ± 4
Sed. feller							
STS (10 m)	mg L ⁻¹	8,8 ± 11,6	5,2 ± 4,2	3,6 ± 12,6	23,9 ± 18,8	6,7 ± 4,4	17,2 ± 17,7
STS (bunnen)	mg L ⁻¹	8,8 ± 5,3	5,9 ± 4,2	3,0 ± 7,8	24,2 ± 18,7	5,3 ± 2,1	18,9 ± 18,0
C (10m)	mg C L ⁻¹	2,8 ± 5,2	1,5 ± 0,5	1,3 ± 5,2	4,7 ± 3,3	1,8 ± 0,8	2,9 ± 3,0
C (bunnen)	mg C L ⁻¹	2,0 ± 0,9	1,6 ± 0,6	0,4 ± 1,8	4,5 ± 2,9	1,7 ± 0,7	2,8 ± 2,5
N (10m)	µg N L ⁻¹	247 ± 315	165 ± 106	82 ± 315	449 ± 373	152 ± 63	298 ± 361
N (bunnen)	µg N L ⁻¹	172 ± 111	130 ± 82	42 ± 142	379 ± 239	140 ± 57	239 ± 236
P (10m)	µg P L ⁻¹	24 ± 31	10 ± 4,4	15 ± 31	49 ± 34	12 ± 3,2	37 ± 33
P (bunnen)	µg P L ⁻¹	21 ± 11	11 ± 6,8	10 ± 15	63 ± 79	12 ± 5,5	50 ± 78

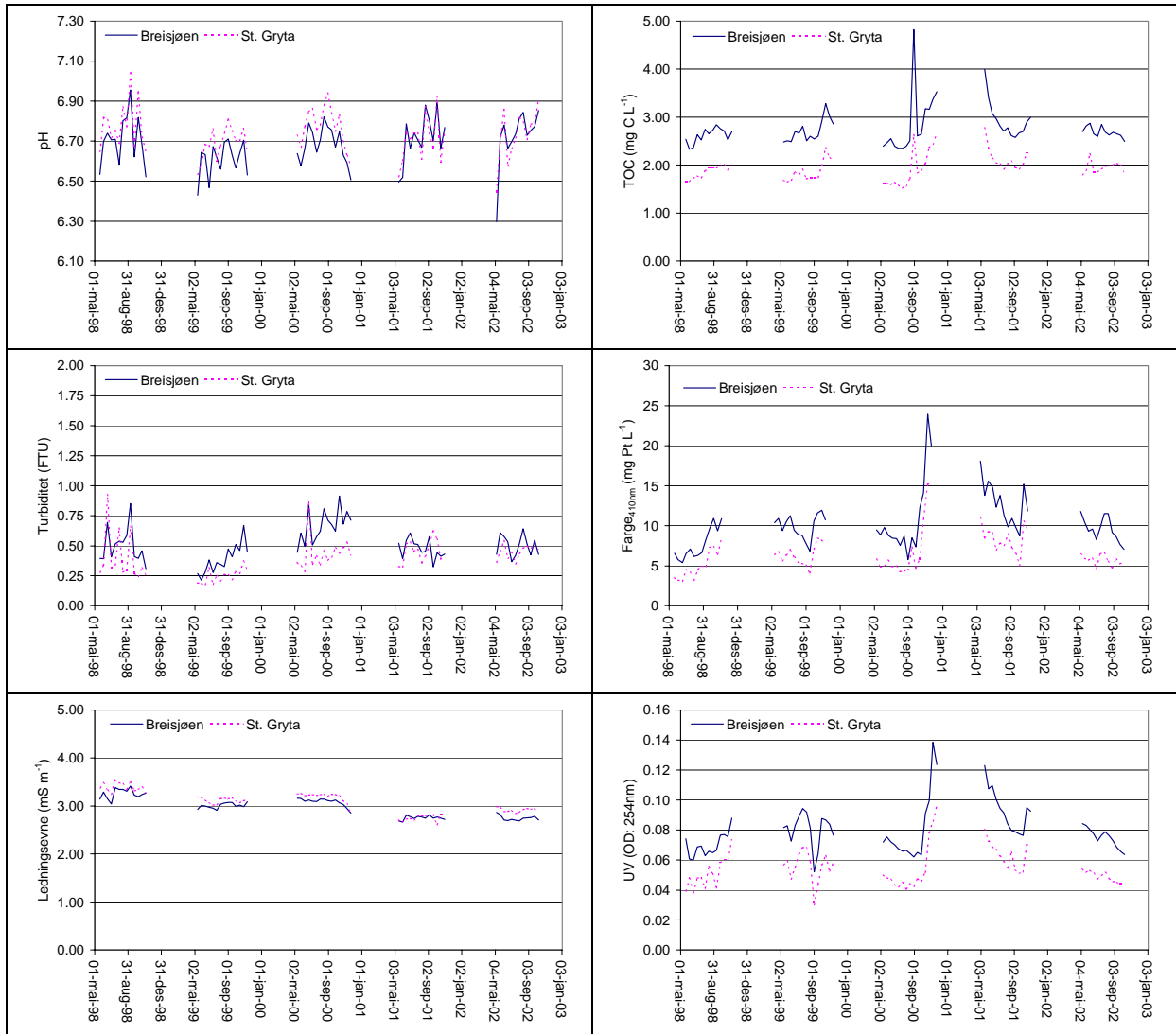
¹ Se tabell 4.5.2

² Beregnet som Total P- Partikulært P

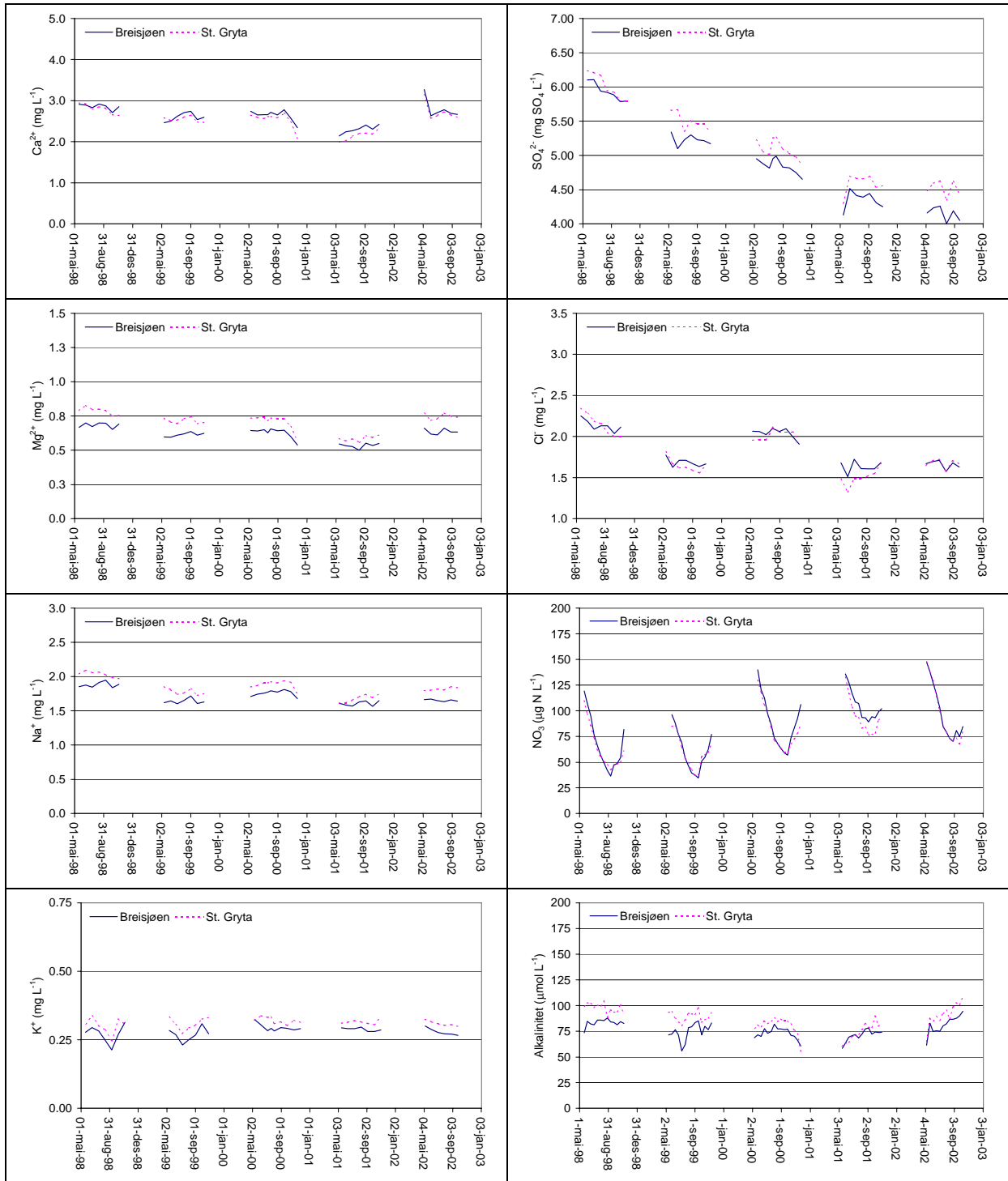
³ Syrenøytraliseringskapasitet (ANC = Σbasekationer - Σsterksyreanioner)

4.6.2. pH og ledningsevne

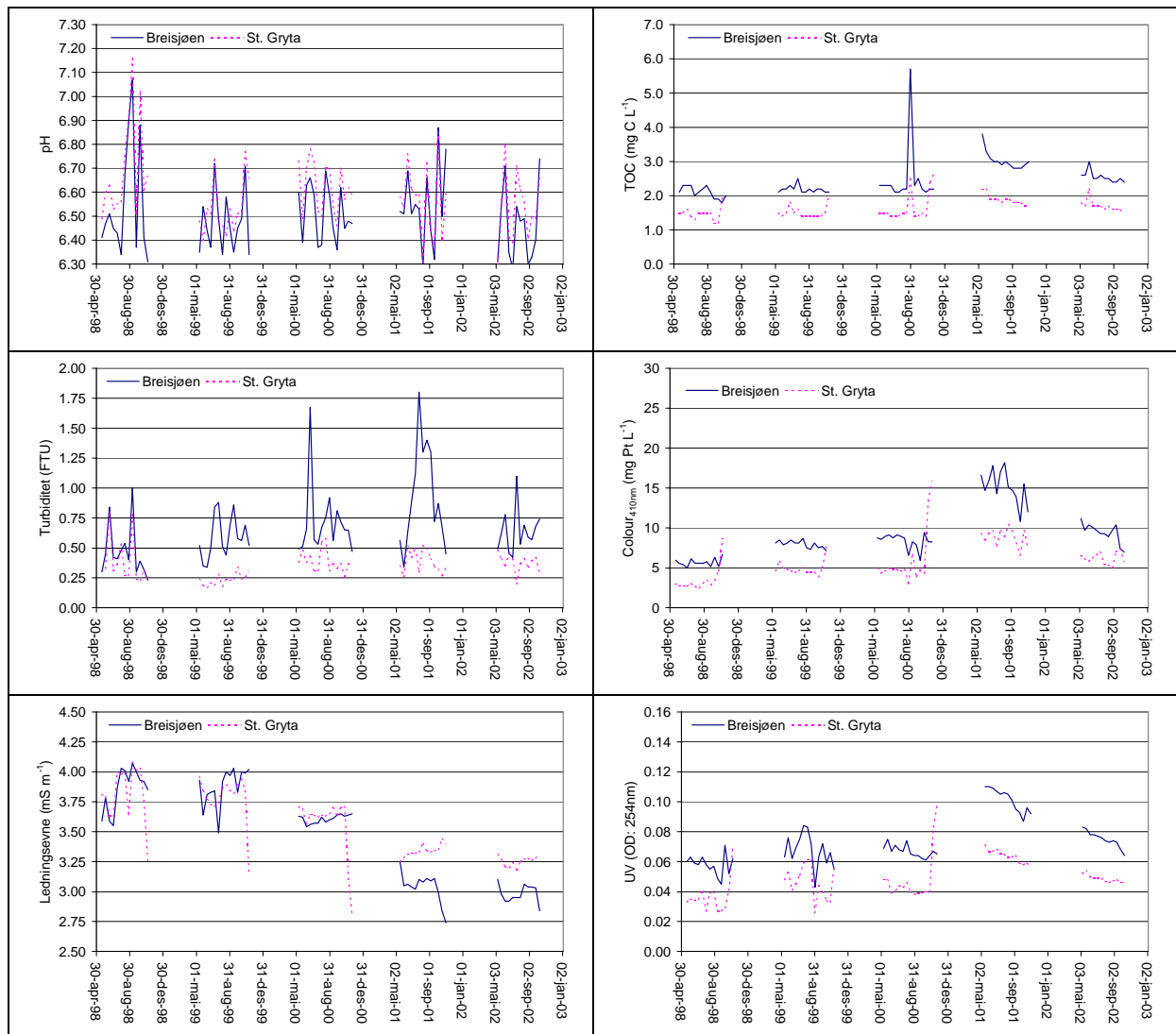
Begge innsjøene har høy relativt høy pH og god bufferkapasitet mot forsurening (ANC), selv om ionstyrken eller ledningsevnen er relativt lav. I norsk sammenheng må innsjøenes ionestyrke og pH betegnes som god, og kalsiumkonsentrasjoner på rundt $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ er langt over gjennomsnittet for norske vassdrag. I perioden synes ledningsevnen å avta i begge innsjøene (Figur 4.6.1), men dette henger først og fremst sammen med reduserte mengder svovelsyre i nedbøren som manifesterer seg som nedgang i konsentrasjonen av sulfat i innsjøene (Figur 4.6.2). Siden innsjøene er relativt godt bufret mot forsurening har denne nedgangen i svovelsyre i liten grad påvirket innsjøenes pH. Det er en svak tendens til at pH i Breisjøen etter termoklinsenknigen, har økt noe i forhold til referansesjøen.



Figur 4.6.1 Volumveide variasjoner i pH, turbiditet (FTU) ledningsevne (mS m^{-1}), farge (mg Pt L^{-1}), TOC (mg C L^{-1}) og UV ($\text{OD}_{254\text{nm}}$), i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinsenknigen i Breisjøen startet i 2001.



Figur 4.6.2 Volumveide variasjoner i Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- og alkalinitet ($\mu\text{mol L}^{-1}$) i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinsenknningen i Breisjøen startet i 2001.



Figur 4.6.3 Variasjoner i pH, turbiditet (FTU) ledningsevne (mS m^{-1}), farge (mg Pt L^{-1}), TOC (mg C L^{-1}) og UV ($\text{OD}_{254\text{nm}}$), i hypolimnion av Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Breisjøens hypolimnionprøve er fra 26-31 m, Store Gryta fra 15-20 m. Termoklinsenknningen i Breisjøen startet i 2001.

4.6.3. Basekationer og sterksyreanioner

Det er gjennomgående noe høyere volumveide Ca^{2+} -konsentrasjoner i Breisjøen enn i Store Gryta, mens Store Gryta har noe høyere konsentrasjoner av de andre basekationene (Mg^{2+} , Na^+ og K^+) enn Breisjøen (Tabell 4.6.1, Figur 4.6.2). Konsentrasjonene av sulfat (SO_4^{2-}) er gjennomgående klart lavere i Breisjøen. Begge innsjøene viser en markant nedgang i sulfat gjennom overvåkningsperioden, noe som skyldes den klare nedgangen i nedbørens svovelsyreinnhold gjennom de siste 10-15 årene. For klorid og nitrat er konsentrasjonen svært like i begge innsjøene, mens Store Gryta synes å ha noe høyere alkalinitet (noe bedre pH-bufferegenskaper) enn Breisjøen. Det er ingen klare endringer i konsentrasjonen av basekationer eller sterksyreanioner etter termoklinsenknningen i Breisjøen.

4.6.4. Nitrogen og fosfor

Nitrogen i innsjøene finnes primært på uorganisk form som nitrat, men noe uorganisk nitrogen finnes også som ammonium. I tillegg finnes nitrogen i organisk materiale i vann, både som løst og partikulært organisk nitrogen.

Konsentrasjonen av nitrat er svært lik i begge innsjøene, med middelveier rundt 70-100 $\mu\text{g N L}^{-1}$ (Tabell 4.6.1). I begge innsjøene synes nitrat og følge vekstsesongen for planteplankton, dvs avtak i nitrat fra vårsirkulasjonen og fram til siste halvdel av september (Figur 4.6.2). Etter dette stiger nitratkonsentrasjonen kraftig, men kommer aldri opp på samme nivå som ved vårsirkulasjonen, før isen legger seg på innsjøene. Tydeligst kommer disse svingningene fram i innsjøenes øvre vannmasser (0-6m) hvor primærproduksjonen i hovedsak skjer. Disse svingningene er så markante at de har stor påvirkning på hele innsjøen variasjoner i volumveide nitrat-konsentrasjoner Før termoklinsenknningen i Breisjøen var nitratkonsentrasjonene normalt lavere i Breisjøens epilimnion (1-6 m) enn i Store Gryta, mens det var omvendt i metalimnion (6-12m) og i hypolimnion. Etter termoklinsenknningen i Breisjøen har nitratkonsentrasjonene i både epilimnion og metalimnion blitt tilnærmet identiske i de to sjøene. Volumveide nitratkonsentrasjoner har vært svært like i de to innsjøene, også etter manipuleringen av Breisjøen. Sannsynligheten for at alt nitrat vil brukes opp av primærprodusentene i Breisjøen om sommeren synes å være langt mindre etter termoklinsenknningen i innsjøen (Figur 4.6.5).

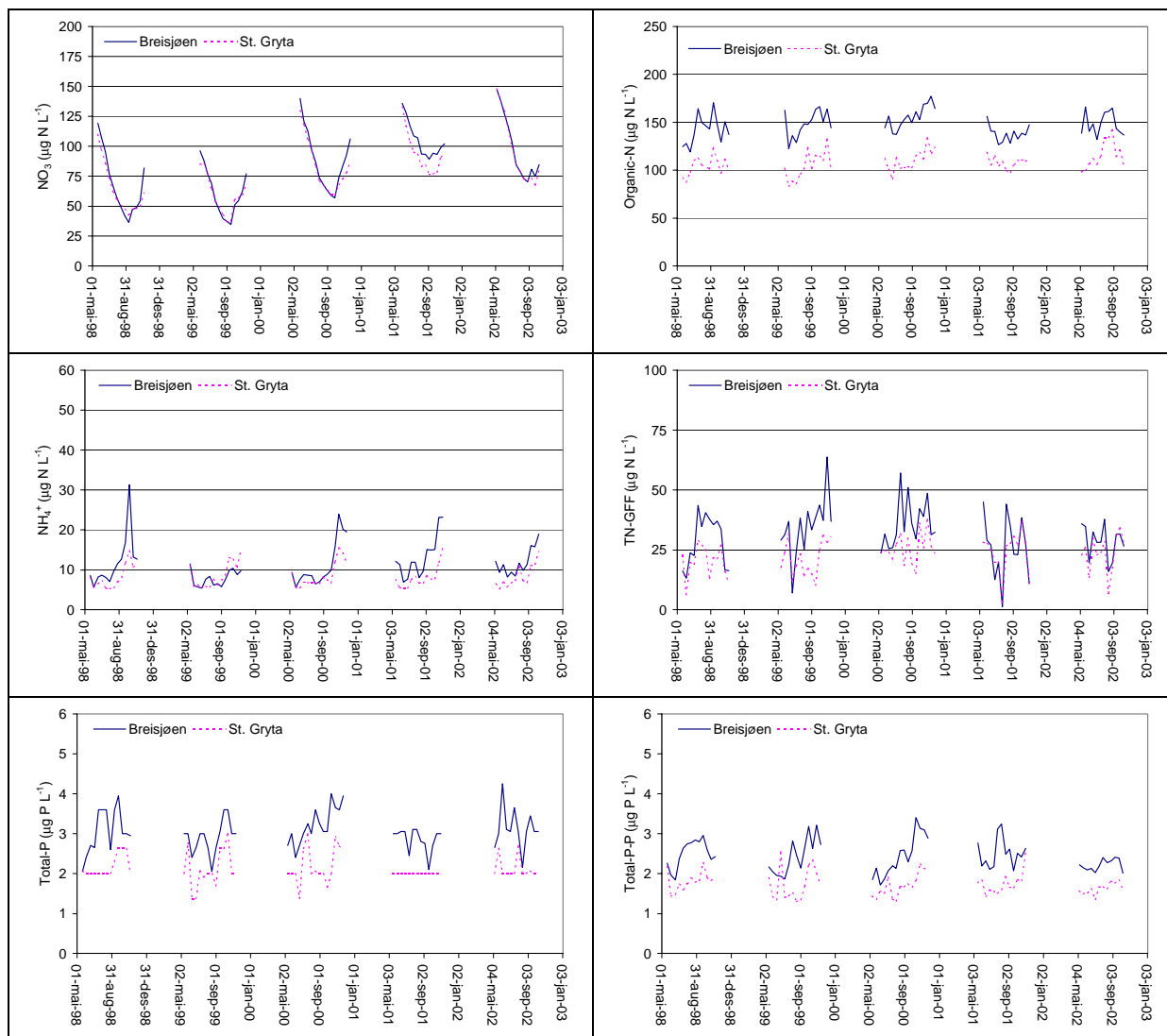
Konsentrasjonen av ammonium (NH_4^+) er lav i begge innsjøene, 8-12 $\mu\text{g N L}^{-1}$ (Tabell 4.6.1), normalt noe lavere i Store Gryta enn i Breisjøen. Mens nitrat primært oppviser de høyeste konsentrasjonene om våren, synes det motsatte og være tilfelle for ammonium. Dette henger sammen med at tilgjengelig ammonium ved vårsirkulasjon raskt vil taes opp av primærprodusenter. I dypvannet (hypolimnion) under sommerstagnasjonene vil ammonium dannes som følge av nedbrytning av organisk materiale. Dette vil ikke komme opp de øvre primærproduserende vannlag (epilimnion-metalimnion) før under høstsirkulasjonen. Høstsirkulasjonen inntreffer normalt så sent på året at primærproduksjonen da er svært lav. Dette forklarer at de høyeste ammoniumkonsentrasjonene normalt inntreffer på senhøsten normalt rundt tidspunkt for høstsirkulasjon (Figur 4.6.4, Figur 4.6.5).

Konsentrasjonen av organisk N (Tabell 4.6.1) er normalt høyere i Breisjøen (140 $\mu\text{g N L}^{-1}$) enn i Store Gryta (100-110 $\mu\text{g N L}^{-1}$). Etter termoklinsenknningen synes organisk N og ha økt noe i Breisjøens dypvann, men totalt sett for hele innsjøen er det en svak tendens til noe mindre organisk N i Breisjøen etter manipuleringen. Samme tendensen synes og gjøre seg gjeldende for partikulært N.

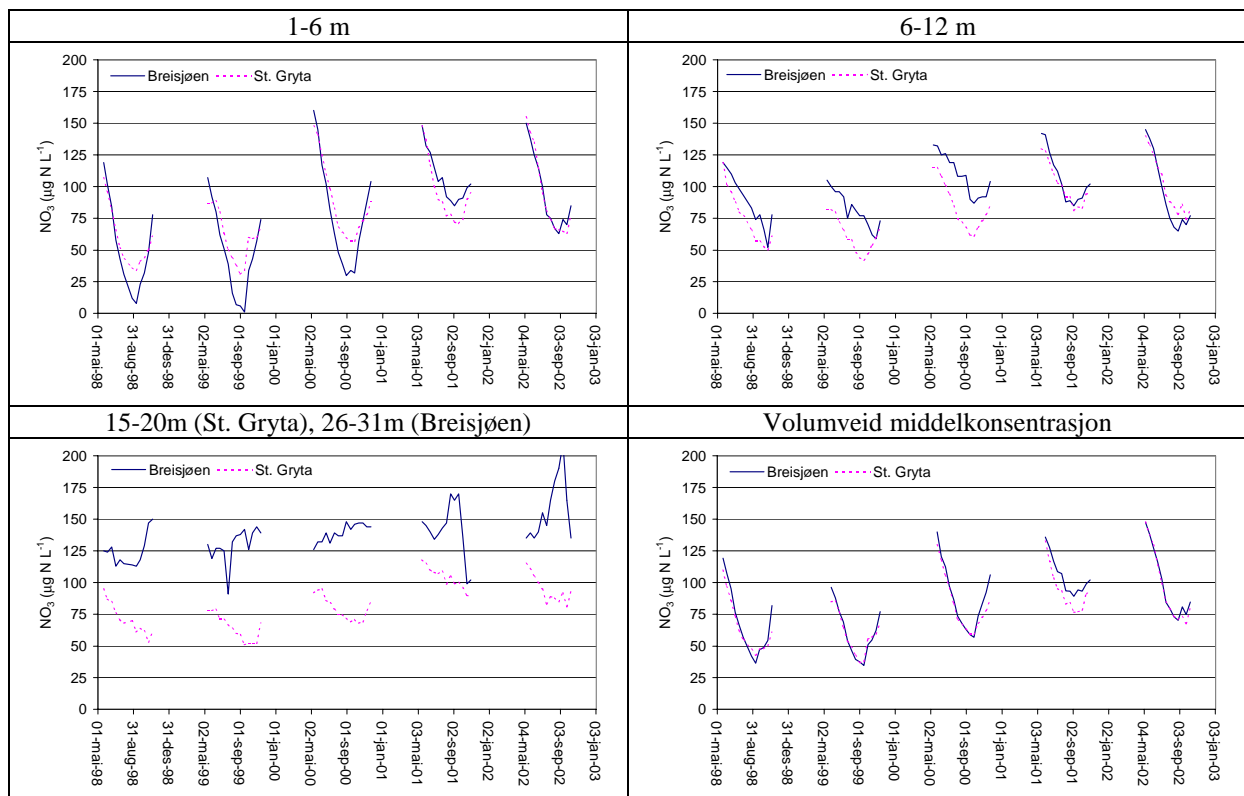
Fosfor i innsjøer finnes primært som løst fosfat (PO_4^{3-}) og partikkelbundet fosfor inkorporert i uorganisk og organisk materiale. I næringsfattige (oligotrofe) innsjøer er fosfatkonsentrasjonen ofte under deteksjonsgrensen i produksjonssesongen. Årsakene til dette er at fritt fosfat normalt er vekstbegrensende for primærprodusentene (alger) i innsjøer. Fosfat blir derfor assimilert av algene så fort det er tilgjengelig i de frie vannmassen. Fosfat-konsentrasjonen i Breisjøen og Store Gryta er, med et par unntak, under deteksjonsgrensen på 1 $\mu\text{g P L}^{-1}$. Selv om nitratkonsentrasjonen viser tydelig svingninger relatert til primærproduksjon i innsjøen, er det liten tvil om at P er begrensende for primærproduksjonen i innsjøen. For perioden 1998-2002 (n = 67) har det blitt målt $\text{PO}_4 <$ deteksjonsgrensa i 94% av tilfellene i Store Gryta og 78% av tilfellene i Breisjøen. Dataene kan tyde på at det oftere har vært målt $\text{PO}_4 >$ deteksjonsgrensa i Breisjøens dypvann etter termoklinsenknningen, siden 8 av 11 målinger $>$ deteksjonsgrensa i dypvannet i denne innsjøen er registrert i 2001 og 2002.

Volumveid konsentrasjon av total fosfor (Tabell 4.6.1) ligger gjennomgående ca 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ høyere i Breisjøen (ca 3 $\mu\text{g P L}^{-1}$ mot ca 2 $\mu\text{g P L}^{-1}$ i Store Gryta). Basert på analyser av partikulært P (Total P-Part), synes tilnærmet 80% av total P å være partikkelbundet både i Breisjøen og Store Gryta. Termoklinsenknningen av Breisjøen synes så langt ikke å ha påvirket totalkonsentrasjonen av fosfor i Breisjøen nevneverdig

De lave fosforkonsentrasjonene er hovedårsak til den lave produksjonen av organisk materiale i begge innsjøene, noe som gjør at Store Gryta karakteriseres som svært næringsfattig (hyper-oligotrof) og Breisjøen som næringsfattig (oligotrof) på bakgrunn av primærproduksjon og algevolum. (Se Kap. 5.1).



Figur 4.6.4 Volumveide variasjoner i NO_3^- , NH_4^+ , organisk N, partikulært N, Total P og partikulært P (alle i $\mu\text{g L}^{-1}$) i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002.



Figur 4.6.5 Variasjoner i NO_3^- i epilimnion (1-6m), i metalimnion (6-12m), i hypolimnion (15-20m i Store Gryta, 26-31m i Breisjøen) og volumveid midler i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Fra 2001 har Breisjøens termoklin blitt manipulert, fra å ligge på 4-6m før manipulering til ca 20 m etter manipulering.

4.6.5. CNP-forhold i suspendert materiale i vann og sedimentasjonsfeller

Konsentrasjonen av partikulært materiale (organisk og uorganisk) er gjennomgående meget lavt i begge innsjøene. Dette er karakteristisk for klare, næringsfattige sjøer. Siden Breisjøen er noe mere næringsrik og har høyere konsentrasjoner av partikulært organisk og uorganisk materiale enn Store Gryta, er også konsentrasjonen av C,N,P i partikulært materiale høyere i Breisjøen.

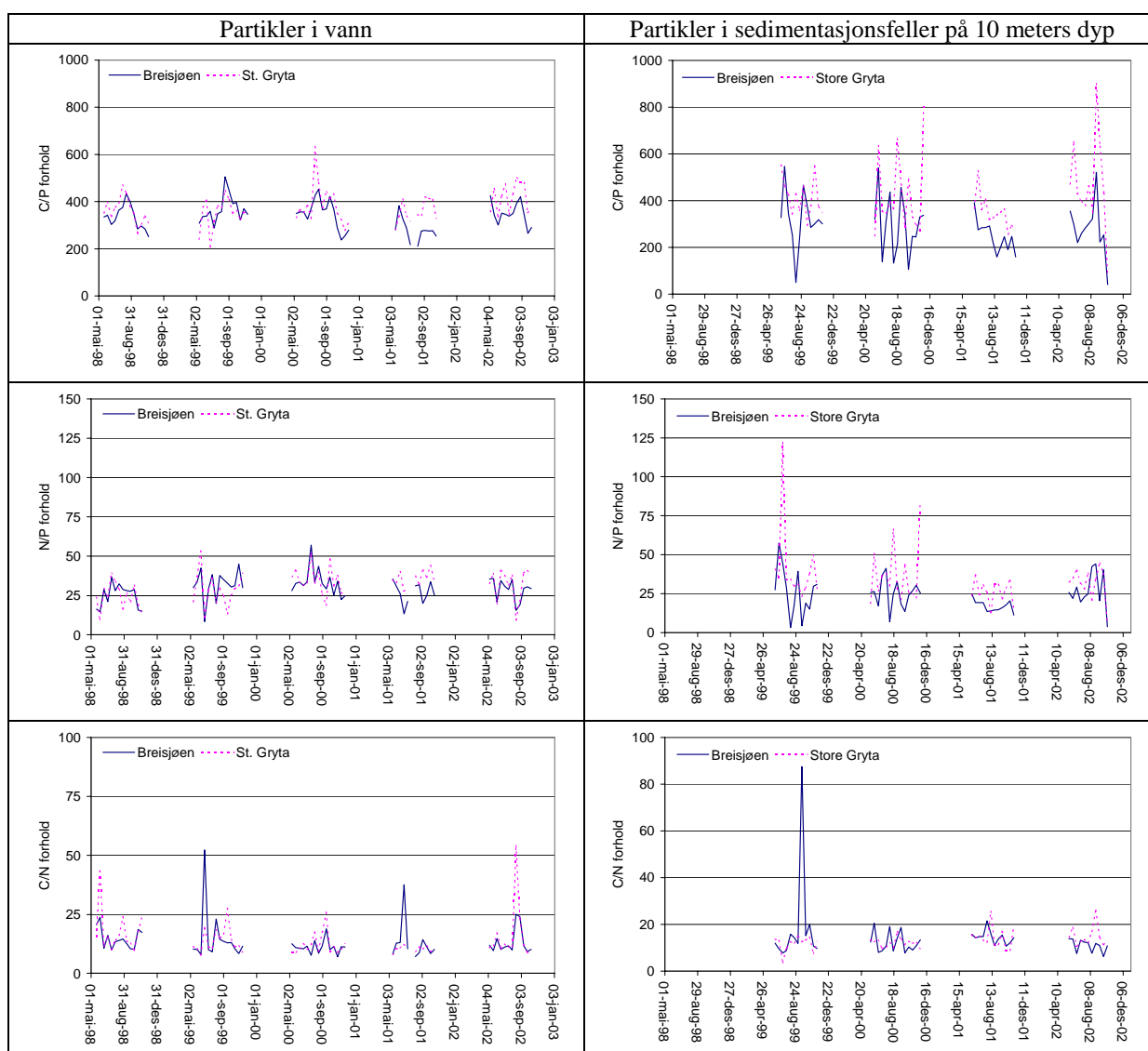
Mens konsentrasjonen av total organisk karbon (TOC) synes å være relativt uendret i begge innsjøene i hele undersøkelsesperioden, synes det derimot å være en nedgang i mengde partikulært organisk karbon (Partikulært C) i vannmassene etter termoklinsenknningen i Breisjøen (Tabell 4.6.1). Prosentvis utgjør partikulært organisk C i de to innsjøenes vannmasser ca 10% av TOC.

Etter termoklinsenknningen synes det å være en relativt klar økning i mengde stoff som sedimenterer ut fra Breisjøens vannmasser (se STS-verdiene i Tabell 4.6.1). Dette henger sammen med nedgangen i partikulært organisk C som er registrert i de frie vannmassene i Breisjøen etter termoklinsenknningen. Også mengden partikulært nitrogen og fosfor i det sedimenterende materiale har økt etter termoklinsenknningen. Økt sedimentasjon kan skyldes flere faktorer. Viktigst er sannsynligvis den betydelige økningen i vanntemperatur i store deler av innsjøvolum som har redusert vannets viskositet og dermed bidratt til økt sedimentasjon. Samtidig har det termiske sprangsjiktet (som retarderer sedimentasjon) blitt senket fra 4-5 meter og ned til ca 20 m i Breisjøen.

Forholdet mellom C,P,N i det partikulære organiske materiale i de frie vannmassene og i sedimentasjonsfellene synes å ha endret seg lite som følge av termoklinsenknningen (Tabell 4.6.2, Figur 4.6.6). Det er tendenser til at C/P-forholdet har gått noe ned etter termoklinsenknningen, men usikkerheten i tallene er svært store.

Tabell 4.6.2 Molare C/P-, N/P- og C/N-forhold i partikulært materiale i de fri vannmasser (Vann) og i sedimentasjonsfeller fra 10 meters dyp (10 m) og 2 meter over bunnen (Bunnen) i Thermossjøene før (1998-2000) og etter termoklinsenkningen i Breisjøen (2001-2002), samt relative forskjeller mellom sjøene i samme tidsperioder. Prøvene fra vannfasen er volumveide prøver. For sedimentasjonsfellene mangler data fra 1998.

Parameter	Type	1998-2000			2001-2002		
		Breisjøen	St.Gryta	B-S	Breisjøen	St.Gryta	B-S
C/P	Vann	350 ± 57	367 ± 71	-18 ± 56	315 ± 58	389 ± 62	-74 ± 58
C/P	10 m	306 ± 123	420 ± 133	-114 ± 165	262 ± 92	408 ± 161	-146 ± 113
C/P	Bunnen	265 ± 98	383 ± 189	-118 ± 203	263 ± 120	399 ± 135	-105 ± 108
N/P	Vann	30,1 ± 8,9	29,3 ± 10,1	0,8 ± 6,9	27,8 ± 6,7	33,9 ± 8,2	-6,1 ± 6,4
N/P	10 m	25,6 ± 12,4	38,8 ± 22,2	-13,2 ± 22,2	21,7 ± 9,8	28,9 ± 9,2	-7,2 ± 9,9
N/P	Bunnen	18,6 ± 7,8	28,8 ± 10,0	-10,2 ± 11,0	19,0 ± 8,1	26,3 ± 8,9	-7,3 ± 8,2
C/N	Vann	13,5 ± 7,3	14,5 ± 6,6	-1,0 ± 7,0	13,1 ± 6,9	13,3 ± 9,4	-0,3 ± 8,4
C/N	10 m	15,2 ± 15,3	11,9 ± 2,6	3,3 ± 15,1	12,8 ± 3,2	14,6 ± 4,4	-1,8 ± 4,8
C/N	Bunnen	15,8 ± 6,1	13,7 ± 4,9	2,1 ± 6,4	13,9 ± 3,0	14,4 ± 4,7	-0,5 ± 3,1



Figur 4.6.6 Variasjoner i molare C/N-forhold, C/P-forhold N/P-forhold i partikulært materiale i vann og sedimentasjonsfeller på 10 meters dyp fra Store Gryta og Breisjøen før (1998-2000) og etter (2001-2002) manipulering i Breisjøen. For sedimentasjonsprøver mangler data fra 1998.

4.7. Temperatur-termoklinmodell

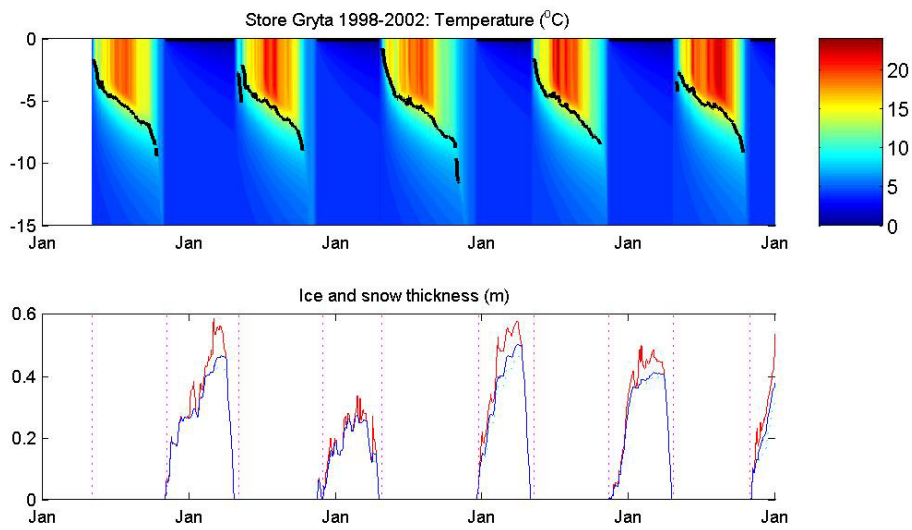
Den 1-dimensjonale innsjømodellen MyLake (versjon 1.0; Andersen & Saloranta, 2003, unpubl. ms.) ble satt opp for å simulere temperaturutviklingen og andre fysiske faktorer i Store Gryta og i Breisjøen. MyLake modell er en relativ enkel og oversiktlig modell for simulering av bl.a. vannfysikken og is- og snøforhold i forskjellige innsjøer. Modellen er konstruert for å være generell, og den krever minimalt med omkringinformasjon og parameterverdier fra den enkelte innsjøen. Siden også vintersesongen blir simulert kan MyLake kjøres over flere år eller dekadere. Daglig værdata benyttes som pådriv for MyLake applikasjoner, og simulerte prosesser inkluderer: blanding pga. vertikal konveksjon og vindpådrag, temperaturdiffusjonen og soloppvarmingen i vannkolonnen, og veksten og smeltingen av is- snøis- og snødekke på innsjøen. Modellens tidsoppløsning er fastsatt til 1 døgn.

Startpunkt for simuleringene i begge innsjøer var isgangen i begynnelsen av mai 1998. En uniform temperaturprofil på 4 °C ble brukt som initialverdier for modellen, som deretter ble kjørt over ca. 5 år (til slutten av 2002) for Store Gryta og ca. 3 år (til slutten av 2000) for Breisjøen. Værdata fra Ås (NLH) ble brukt som modellpådriv, bortsett fra skydekke der verdier fra Blindern (met.no) ble benyttet. Total lysekstinksjonskoeffisient μ var den eneste parameteren som ble brukt til å (grovt) kalibrere modellen mot observasjoner, mens standard MyLake parameterverdier ble benyttet for alle andre modellparametrene. Simuleringsresultater kan derfor ansees for å være produsert med en nærmest ukalibrert modell. Modellens vertikal oppløsning var satt til 0,2 m.

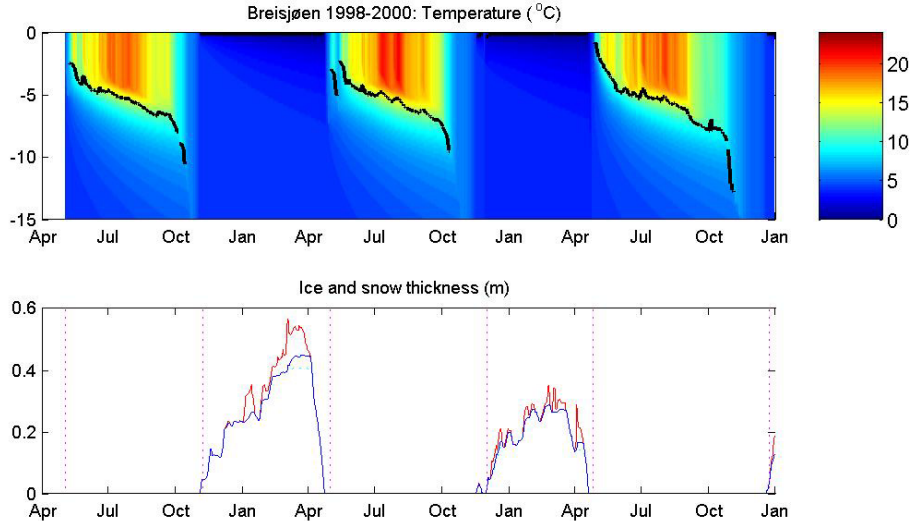
Figurer 4.7.1 og 4.7.2 viser simulerte temperaturprofiler, termoklindybder og is-/snøtykkelser. Simulerte gjennomsnittlige termoklindybder i perioden 1. juni-31. august var i Breisjøen 5,1-5,2 m i årene 1998-2000, og i Store Gryte 5,2-5,4 m i årene 1998-2002. Dette er i god samsvar med de observerte gjennomsnittlige termoklindybder i 1998-1999 på 5-6 m (Se Kap.4.3). Også temperaturutviklingen på ulike dybder (Figur 4.7.3 og 4.7.4) var tilfredsstillende reprodusert (spesielt med tanke på den nesten ukalibrerte modellen). Største avvik mellom simuleringer og observasjoner finner sted noen meter under overflaten der modellen generelt angir noe høyere temperatur enn observert. Dette kan skyldes bl.a. underestimert blandingsrate mellom epi- og hypolimnion eller ignorering av variasjonen av μ med dybden i modellen. Bedre samsvar mellom observasjoner og modellresultater ville sannsynligvis bli nådd etter en modellkalibrering ved justering av lys, is og blandingsparametre.

Is- og snøtykkelsen er ikke blitt observert på Store Gryta og Breisjøen, men man har data på islegging- og isgangdatoer. En sammenligning viser en gjennomsnittlig avvik på 2 (7) dager mellom simulert og observert islegging (isgang). Modellen ser ut til å kunne simulere datoen for islegging temmelig nøyaktig; noe dårligere samsvar med isgang kunne forbedres f.eks. ved modellkalibrering mhp. snø- og is-albedo.

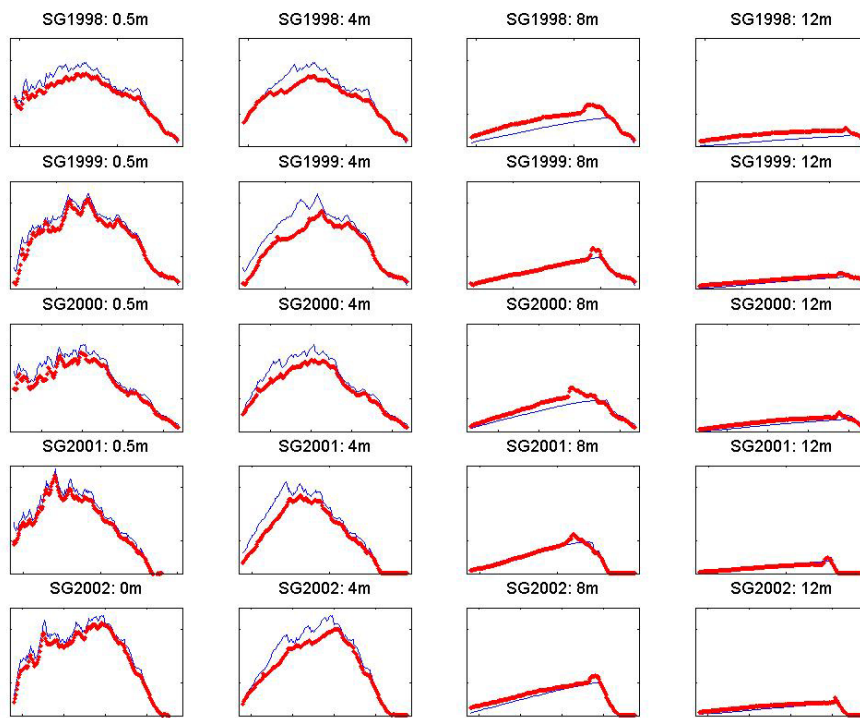
Det ser ut som om termofysikken av innsjøer, som Store Gryta og Breisjøen, kan simuleres nokså realistisk med MyLake modell. Siden MyLake er designet for kjøring over flere år/dekader, er dette verktøyet velegnet for ulike modelleksperimenter der man manipulerer forskjellige (klima)faktorer og parametre og studerer deres langtidseffekter på innsjøfysikken *in silico*.



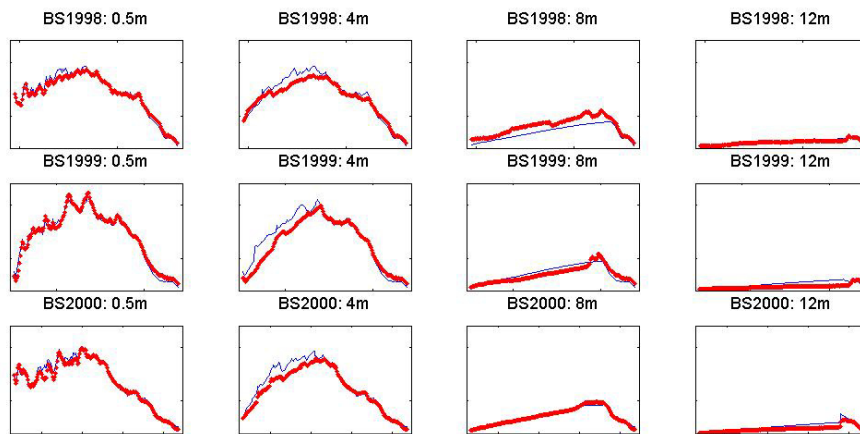
Figur 4.7.1 Øvre panel: Simulert utvikling av vanntemperatur og termoklindybde (svarte linjer) i Store Gryta i 1998-2002. Nedre panel: Simulert istykkelse (blå) og snødybde (rød); vertikale stiplede linjer viser observerte dager for islegging og isgang.



Figur 4.7.2. Øvre panel: Simulert utvikling av vanntemperatur og termoklindybde (svarte linjer) i Breisjøen i 1998-2000. Nedre panel: Simulert istykkelse (blå) og snødybde (rød); vertikale stiplede linjer viser observerte dager for islegging og isgang.



Figur 4.7.3 Simulert (blåe linjer) og observert (røde linjer) utvikling av vanntemperatur på fire forskjellige dybder i Store Gryta i 1998-2002. Skala på y-aksen går fra 4-24 °C.



Figur 4.7.4 Simulert (blåe linjer) og observert (røde linjer) utvikling av vanntemperatur på fire forskjellige dybder i Breisjøen i 1998-2000. Skala på y-aksen går fra 4-24 °C.

5. Biologiske forhold

5.1. Fytoplankton

Algebiomassen i begge innsjøene er svært lav. Fordi innsjøene er meget klare og moderat dype, finnes det relativt godt med alger i tilnærmet alle dyp, men spesielt i området rundt sprangsjiktet. Dette dokumenteres også via innsjøenes positive heterograde O₂-kurver (Figur 4.4.1). Begge innsjøene har en primærproduksjonstopp i mai (vårmaksimum), produksjonsfall i juni, før ett eller to klare produksjonsmaksimum sommer/tidlig høst. (Figur 5.1.1). Med termoklinsenknningen i Breisjøen forsvant innsjøens positive heterograde O₂-kurve, som en direkte følge av at algebiomassetoppen i innsjøens metalimnion forsvant.

Totalt volumveid algevolumsmiddel i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2000 var hhv $141 \pm 60 \text{ mg m}^{-3}$ og $111 \pm 44 \text{ mg m}^{-3}$ (Tabell 5.1.1). Det ingen klar indikasjon på endringer i totalt algevolum som en følge av termoklinsenknningen i Breisjøen (2001-2002).

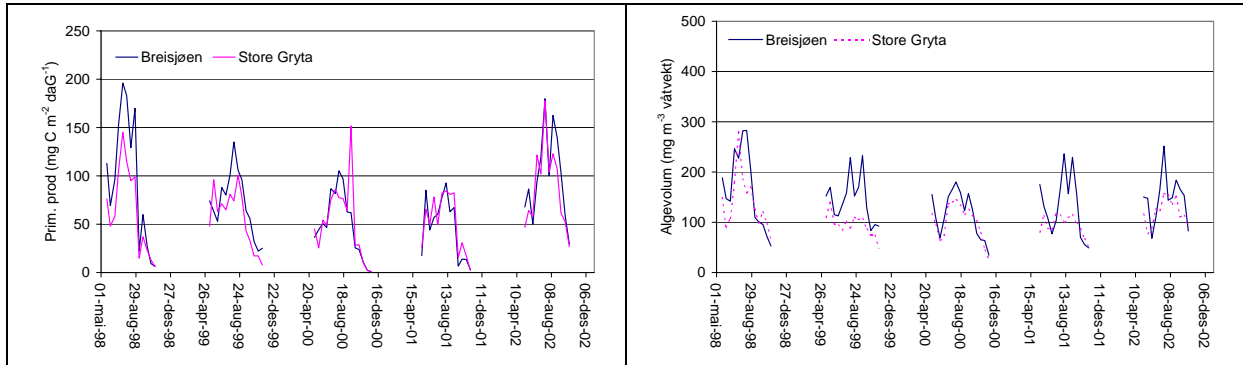
Gjennomsnittlig døgnlig primærproduksjon i Breisjøen var $73 \pm 24 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ før termoklinsenknningen mot $69 \pm 33 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ etter. Årsproduksjonen i Breisjøen er beregnet til $13,8 \pm 3,7 \text{ g C m}^{-2}\text{år}^{-1}$ før termoklinsenknningen mot $12,7 \pm 6,0 \text{ g C m}^{-2}\text{år}^{-1}$ etter manipulering. Sammenlikner en med Store Gryta er det en svak tendens til noe lavere primærproduksjon i Breisjøen etter manipulering (Tabell 5.1.1).

Total innsjøvolumveid konsentrasjon av klorofyll-a i Breisjøen er tilnærmet uendret etter termoklinsenknningen, dvs $1,57 \pm 0,45 \mu\text{g L}^{-1}$ før mot $1,55 \pm 0,51 \mu\text{g L}^{-1}$ etter. I Store Gryta synes derimot klorofyll-a konsentrasjonen å ha øket fra $1,01 \pm 0,20 \mu\text{g L}^{-1}$ (1998-2000) til $1,28 \pm 0,25 \mu\text{g L}^{-1}$ (2001-2002). Dette indikerer en reduksjon i klorofyllmengden i Breisjøen som en følge av termoklinsenknningen.

Forholdet mellom klorofyll-a/algevolum (Kl-a/A) varierer mye over året (Figur 5.1.2) i begge innsjøene. I Store Gryta øker Kl-a/A -forholdet suksessivt med dypet gjennom hele dybdeprofilen. Dette må en anta siden dypeste analyserte prøver er 15-20m dyp og innsjøens maksimale dyp er 22 m (Se Tabell 3.3.1). Gjennomsnittlig er det mer enn dobbelt så mye klorofyll-a i forhold til algevolum i Store Grytas hypolimnion (15-20m) sammenliknet med epilimnion (0-6m). Dette viser hvordan algene øker klorofyllinnholdet med dypet for å kompensere for avtakende lysmengde (Tabell 5.1.2). Også i Breisjøen finner en tilsvarende økning i klorofyll-a i algeceller med dypet, men i de dypeste vannlagene avtar dette forholdet igjen. Det kan derfor synes som om algene øker mengden klorofyll i cellene for å kompensere for redusert lystilgang med dypet ned til et visst lysregime. Under dette dypet er det ikke lenger energioekonomisk lønnsomt å øke klorofyllmengden. Dette dypet ligger sannsynligvis svært nær kompensasjonsdypet som er definert som det dyp hvor primærproduksjon=respirasjon. Kompensasjonsdypet ligger normalt rundt 2 ganger siktedypet, dvs på ca 20 meters dyp i begge innsjøene. Dette stemmer i så fall svært bra med økning i klorofyll-a i algeceller fra overflaten til bunnen i Store Gryta, hvor maksimalt dyp er 22m, og det registrerte avtaket i klorofyllinnhold i Breisjøen i dypdeintervallet 26-31 m, dypere en kompensasjonsdypet. At kompensasjonsdypet i Breisjøen ligger på tilnærmet samme nivå som termoklindypet etter manipulering, kan være en viktig årsak til at manipuleringen ikke har ført til store endringer i fytoplanktonbiomasse i innsjøen.

Basert på volumveide verdier for algevolum, samt primærproduksjonsmålingene, har manipuleringen av termoklinen i Breisjøen så langt ikke medført betydelige kvantitative endringer av planteplankton biomasse eller produksjon. (Tabell 5.1.1). Derimot er det tegn som tyder på kvalitative endringer i sammensetningen av planteplanktonet etter termoklinmanipuleringen (Tabell 5.1.1, Figur 5.1.3, 5.1.4 og 5.1.5). I forhold til kontrollsjøen Store Gryta, synes termoklinsenknningen i Breisjøen å ha forårsaket en betydelig økning i mengden fureflagellater (Dinophyceae), samt økning i gullalger (Chrysophyceae) og svelgflagellater (Cryptophyceae). For grønnalger (Chlorophyceae) og kiselalger (Bacillariophyceae) er det derimot tendens til nedgang etter termoklinsenknningen. Nedgangen synes mest markant og reell for grønnalgene. For kiselalgene er det også en tydelig nedgang, men den årlige nedgangen i mengde kiselalger har funnet sted i begge innsjøene gjennom hele prosjektperioden (Figur 5.1.3). Mest markant nedgang er registrert i Breisjøen. Det er derfor interessant å registrere at nedgangen i kiselalger gjennom de 5 årene prosjektet har pågått, i liten grad kan skyldes termoklinendringen i Breisjøen. Nedgangen må derfor være et resultat av en større "naturlig" svinging i kiselalgebiomasse. Kun videre overvåking vil kunne gi informasjon om videre utvikling av kiselalger og

eventuelt hvilke miljøfaktorer som er avgjørende for svingninger i kiselalgebiomassen i innsjøene. Slike langsiktige naturlige biologiske svingninger i fyto og planktonbestander i innsjøer er lite dokumentert. For blågrønnalgene har vi fått en klar økning i biomassen i begge innsjøene i 2002. Dette skyldes etter all sannsynlighet den svært varme ettersommeren, hvor. arten *Merismopedia tenuissima* økte sterkt. Dette er en blågrønnalge som finnes i næringsfattige innsjøer med oppblomstring på høsten, spesielt i forbindelse med høye vanntemperaturer.



Figur 5.1.1 Variasjoner i primærproduksjon ($\text{mg m}^{-2} \text{dag}^{-1}$) og volumveide alge volummidler i Breisjøen og Store Gryta fra 1998-2002. Termoklinsenknigen i Breisjøen startet i 2001.

Tabell 5.1.1 Volumveide middelkonsentrasjoner av klorofyll-a, totalt algevolum, forholdet mellom klorofyll-a og algevolum, daglig og årlig primærproduksjon, samt volumveide algevolum av ulike klasser/grupper av primærprodusenter i Store Gryta og Breisjøen før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknigen i Breisjøen. Dataene basere seg på prøver tatt hver 14. dag fra isgang til islegging.

Parameter	Enhet	1998-2000			2001-2002		
		Breisjøen	St.Gryta	B-S	Breisjøen	St.Gryta	B-S
Klorofyll-a	$\mu\text{g L}^{-1}$	$1,57 \pm 0,45$	$1,01 \pm 0,20$	$0,56 \pm 0,39$	$1,55 \pm 0,51$	$1,28 \pm 0,25$	$0,28 \pm 0,44$
Tot.algevolum	mg m^{-3}	141 ± 60	111 ± 44	30 ± 40	139 ± 55	107 ± 27	32 ± 45
Klorofyll-a / tot.algevolum	$\mu\text{g mg}^{-1}$	$11,2 \pm 3,9$	$10,3 \pm 3,3$	$0,94 \pm 2,7$	$12,1 \pm 5,2$	$13,1 \pm 3,0$	$-1,1 \pm 4,6$
Primærprod.	$\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$	73 ± 24	58 ± 8	15 ± 17	69 ± 33	60 ± 24	9 ± 9
Primærprod.	$\text{g C m}^{-2} \text{år}^{-1}$	$13,8 \pm 3,7$	$11,2 \pm 0,6$	$2,7 \pm 3,1$	$12,7 \pm 6,0$	$11,7 \pm 3,4$	$1,0 \pm 2,6$
Gullalger	mg m^{-3}	$35,2 \pm 22,3$	$28,1 \pm 13,2$	$7,1 \pm 14,2$	$40,6 \pm 22,7$	$26,8 \pm 8,7$	$13,8 \pm 16,5$
<i>Chrysophyceae</i>	mg m^{-3}	$26,7 \pm 11,7$	$16,3 \pm 5,7$	$10,4 \pm 13,0$	$27,9 \pm 17,4$	$12,5 \pm 3,3$	$15,4 \pm 16,9$
Svelgflagellater	mg m^{-3}	$25,2 \pm 20,7$	$11,6 \pm 9,7$	$13,6 \pm 19,1$	$43,6 \pm 26,7$	$12,0 \pm 7,6$	$31,6 \pm 26,9$
<i>Cryptophyceae</i>	mg m^{-3}	$24,8 \pm 35,9$	$17,5 \pm 24,2$	$7,3 \pm 23,2$	$3,3 \pm 4,9$	$3,9 \pm 5,0$	$-0,60 \pm 6,3$
Fureflagellater	mg m^{-3}	$20,3 \pm 13,8$	$26,6 \pm 16,3$	$-6,3 \pm 15,2$	$16,9 \pm 12,6$	$32,0 \pm 15,9$	$-15,1 \pm 12,7$
<i>Dinophyceae</i>	mg m^{-3}	$10,9 \pm 2,9$	$10,7 \pm 4,2$	$0,22 \pm 3,8$	$13,1 \pm 3,5$	$14,6 \pm 3,6$	$-1,5 \pm 3,9$
Kiselalger	mg m^{-3}	$0,26 \pm 0,60$	$0,08 \pm 0,18$	$0,18 \pm 0,47$	$0,18 \pm 0,32$	$0,07 \pm 0,15$	$0,12 \pm 0,26$
<i>Bacillariophyceae</i>	mg m^{-3}	$0,44 \pm 0,77$	$0,02 \pm 0,12$	$0,42 \pm 0,79$	$3,19 \pm 5,92$	$5,11 \pm 10,6$	$-1,92 \pm 5,97$
Grønnalger	mg m^{-3}						
<i>Chlorophyceae</i>							
My-alger							
μ -alger							
Gulgrønnalger							
<i>Xanthophyceae</i>							
Blågrønnalger							
<i>Cyanophyceae</i>							

Termoklinsenknningen har også til en viss grad påvirket enkeltarter av fytoplankton. Av fureflaggelatene har det primært funnet sted en økning av arten *Peridinium umbonatum* i Breisjøen etter termoklinsenknningen. En viss økning er også registrert for to *Gymnodinium* arter, da sannsynligvis *Gymnodinium uberrimum* og *Gymnodinium lacustre*.

Det er også registrert nedgang i mengde grønnalger i Breisjøen etter termoklinsenknningen, hvor bl.a. *Oocystis submarina* v.variabilis og *Monoraphidium griffithii* er de mest fremtredende artene.

I algevolum er *Cyclotella kützingiana* den totalt dominerende kiselalgen i begge innsjøene. Fra overvåkingen startet i 1998, er det registrert en markant nedgang av denne kiselalgen hvert eneste år i begge innsjøene. Termoklinsenknningen synes å ha forsterket denne nedgangen i *Cyclotella kützingiana* i Breisjøen.

My-alger er også en relativt vanlig algegruppe i begge innsjøer. Termoklinsenknningen synes foreløpig ikke å ha påvirket biomassen av my-alger i Breisjøen.

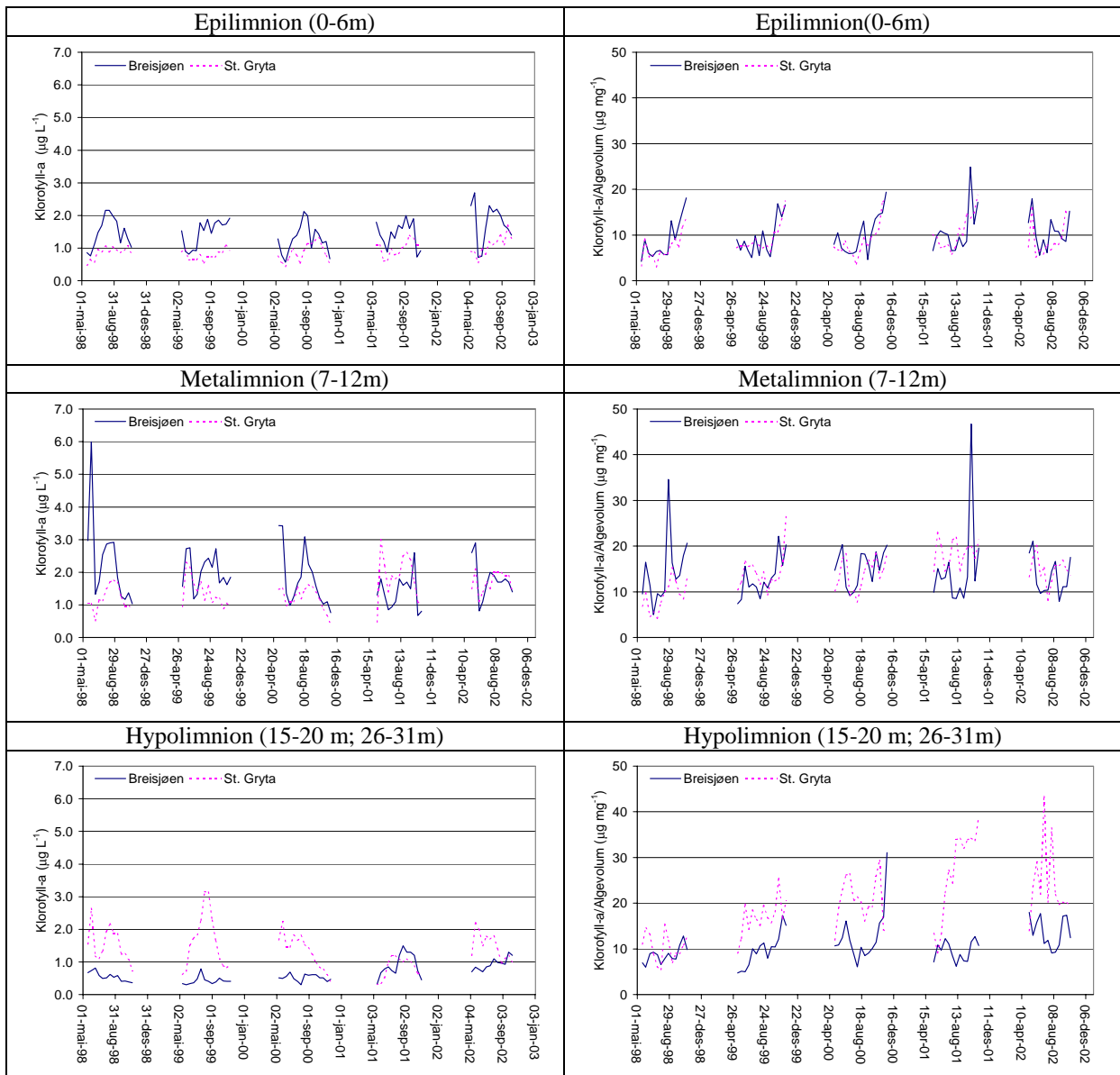
Tabell 5.1.2 Middelkonsentrasjoner av algevolum (A: mg m⁻³), klorofyll-a (K-a: µg L⁻¹) og forholdet mellom klorofyll-a og algevolum i (K-a/A) i epilimnion (0-6m), metalimnion (6-12m) og hypolimnion (15-20 m i Store Gryta og 26-31m i Breisjøen) i Store Gryta og Breisjøen før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen.

Periode	Parameter	Epi		Meta		Hyp	
		B	S	B	S	B	S
98-00	A	172 ± 83	111 ± 46	160 ± 89	112 ± 49	54 ± 22	107 ± 67
01-02	A	165 ± 75	112 ± 31	123 ± 50	110 ± 37	88 ± 46	48 ± 21
98-00	K-a	1,40 ± 0,44	0,84 ± 0,21	2,03 ± 0,96	1,26 ± 0,39	0,50 ± 0,13	1,49 ± 0,64
01-02	K-a	1,60 ± 0,53	1,05 ± 0,27	1,57 ± 0,57	1,78 ± 0,55	0,92 ± 0,29	1,15 ± 0,48
98-00	K-a/A	9,5 ± 4,1	8,5 ± 3,5	14,3 ± 5,3	12,6 ± 4,4	10,5 ± 4,5	16,2 ± 5,8
01-02	K-a/A	10,8 ± 4,4	10,0 ± 3,8	14,3 ± 7,7	16,8 ± 3,6	11,5 ± 3,5	25,6 ± 9,0

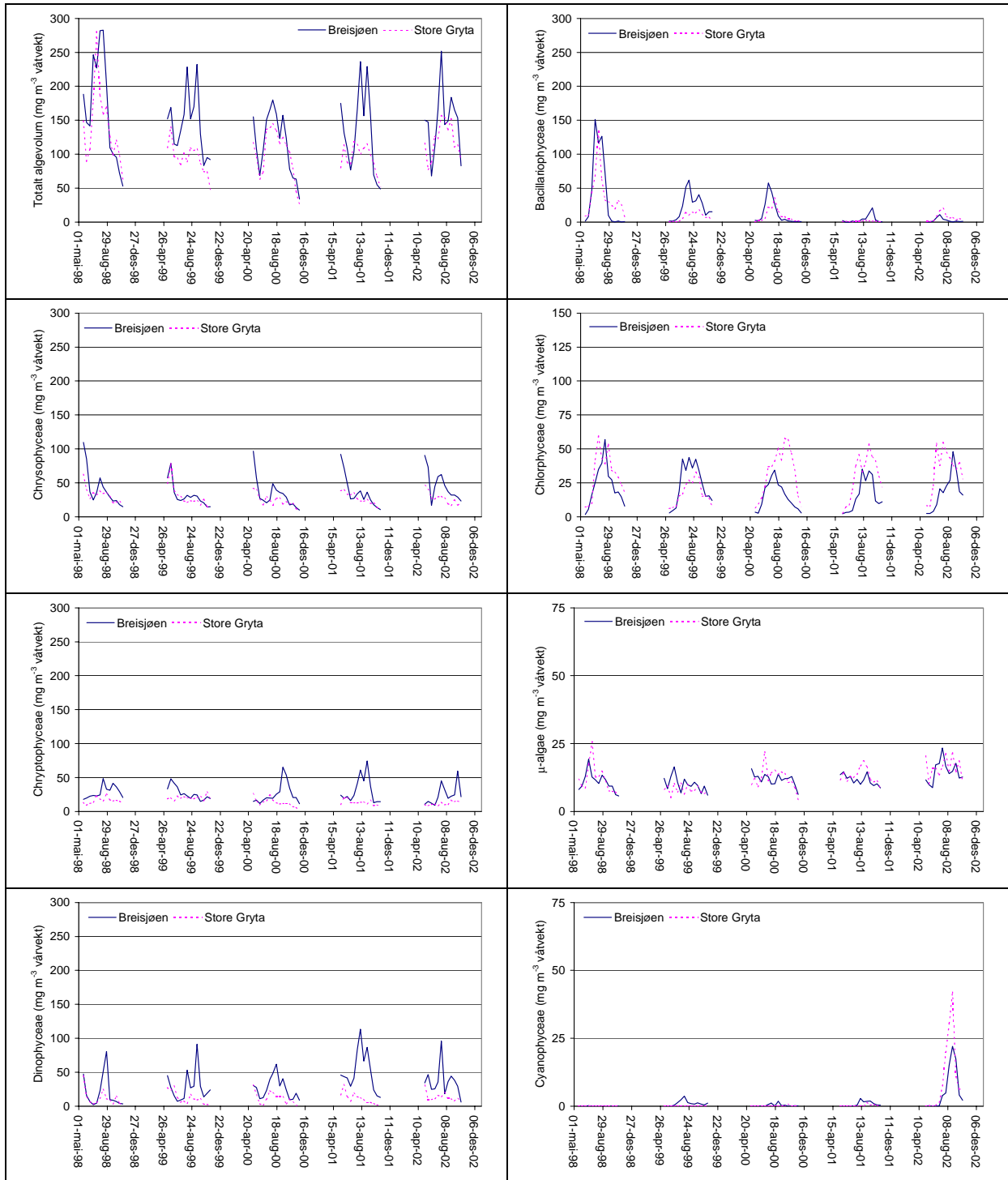
Tabell 5.1.3 Antall arter i Breisjøen og Store Gryta innen ulike klasser av fytoplankton før og etter termoklinsenknningen i Breisjøen. "+" og "-" angir arter som har kommet til (+) eller ikke registrert (-) etter termoklinsenknningen (2001-2002). I tillegg er µ-algene en betydelige gruppa, men de er ikke bestemt til art.

Klasse	Breisjøen				Store Gryta			
	98-00 Før	01-02 +	01-02 -	01-02 Etter	98-00 Før	01-02 +	01-02 -	01-02 Etter
Blågrønnalger <i>Cyanophyceae</i>	6	3	0	9	1	2	1	2
Fureflagellater <i>Dinophyceae</i>	15	1	5	11	13	1	4	10
Grønnalger <i>Chlorophyceae</i>	44	23	8	59	29	10	7	32
Gulgrønnalger <i>Xanthophyceae</i>	2	0	0	2	2	0	0	2
Gullalger <i>Chrysophyceae</i>	38	4	7	35	38	0	12	26
Kiselalger <i>Bacillariophyceae</i>	12	3	1	14	13	1	6	8
Svelgflagellater <i>Cryptophyceae</i>	12	0	2	10	11	0	1	10
Øyealger <i>Euglenaphyceae</i>	1	0	0	1	1	0	0	1
Totalt	130	34	23	141	108	14	31	91

Når det gjelder artsmangfoldet i fytoplanktonsamfunnet har Breisjøen gjennomgående noe høyere biodiversitet (flere arter). Gjennom hele undersøkellesperioden er det totalt registrert 164 arter/slekter i Breisjøen mot 122 i Store Gryta (Tabell 5.1.3). I tillegg er der en betydelig mengde μ -alger i begge innsjøene men disse er kun registrert som en felles gruppe. Kun 12 arter/slekter er bare registrert i Store Gryta. Dette er 4 arter av grønnalger, 3 arter av gullalger, 2 arter av blågrønnalger og kiselalger, samt en fureflagellat. Disse 12 artene utgjør en ubetydelig del av Store Gryta algebiomasse. I det store og hele kan en derfor karakterisere innsjøenes algesammensetning som svært lik og sammenlignbar. Før termoklinsenknningen (1998-2000) ble det registrert 130 arter/slekter av fytoplankton i Breisjøen mot 108 i kontrollsjøen, Store Gryta. Etter termoklinsenknningen i Breisjøen (2001-2002) har antall arter/slekter økt til 141, mens antall arter/slekter i kontrollsjøen (Store Gryta) er redusert til 91 i samme periode. Relativt sett synes det derfor som om termoklinsenknningen i Breisjøen har bidratt til en økning i antall arter/slekter. Dette kan skyldes miljøforandringer i forbindelse med termoklinsenknningen, noe som vil kunne stimulere til biologisk opportuniste. I hvilken grad de kvalitative endringene i fytoplanktonet som følge av termoklinsenknningen, vil forsterke seg kan bare videre undersøkelser gi svar på.

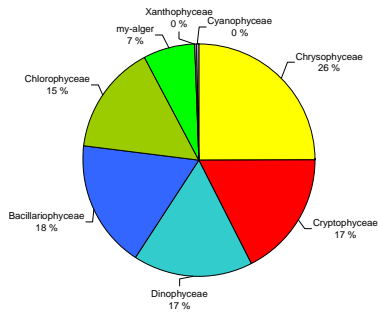


Figur 5.1.2 Variasjoner i klorofyll-a og forholdet klorofyll-a/algevolume i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen er manipulert fra 2001. Hypolimnion prøven fra Store Gryta er en dybdeintegret prøve fra 15-20 m, mot 26-31 m i Breisjøen.

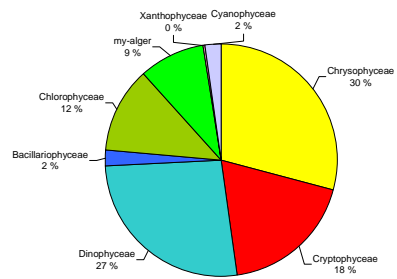


Figur 5.1.3 Variasjoner i volumveide middelkonsentrasjoner av ulike algegrupper (mg m^{-3} våtvekt) i Breisjøen og Store Gryta før (1998-2000) og etter termoklinmanipuleringen i Breisjøen (2001-2002).

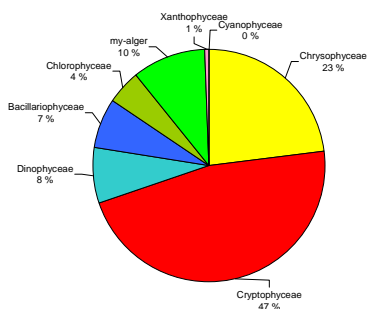
Epi + metalimnion (0-12 m) 1998-2000



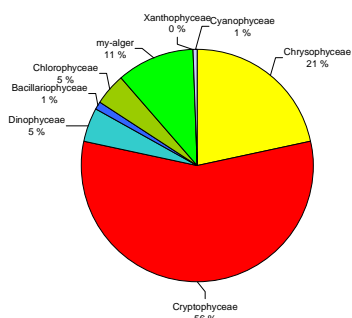
Epi + metalimnion (0-12 m) 2001-2002



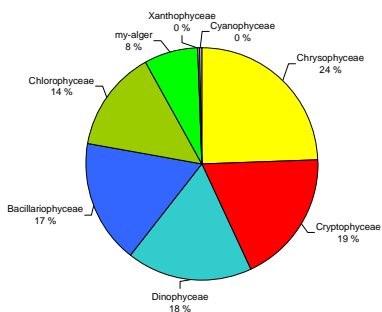
Hypolimnion (26-31m) 1998-2000



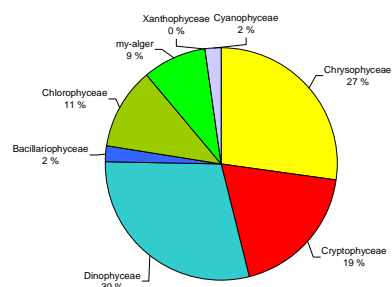
Hypolimnion (26-31m) 2001-2002



Volumveid 1998-2000

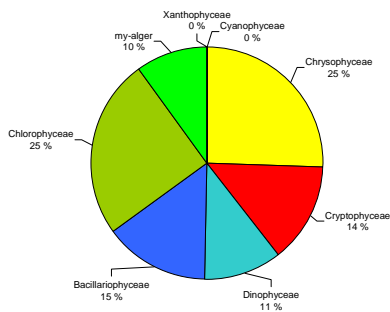


Volumveid 2001-2002

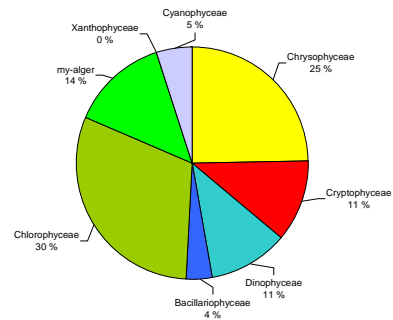


Figur 5.1.4 Prosentfordeling av ulike algeklasser i Breisjøen før (1998-2000) og etter manipulerings i h.h.v. epi- og metalimnion, hypolimnion og volumveid innsjømiddel.

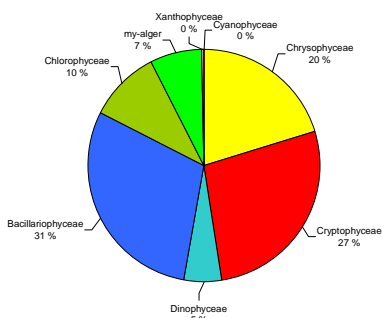
Epi + metalimnion (0-12 m) 1998-2000



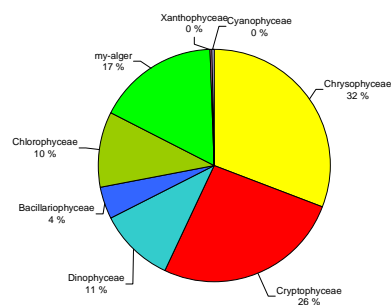
Epi + metalimnion (0-12 m) 2001-2002



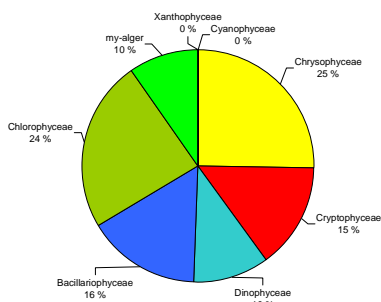
Hypolimnion (15-20 m) 1998-2000



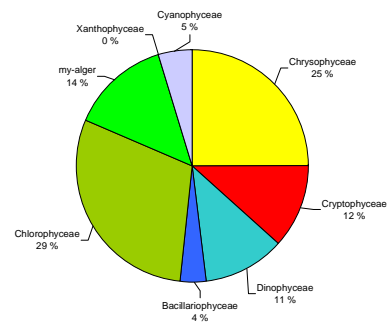
Hypolimnion (15-20 m) 2001-2002



Volumveid 1998-2000



Volumveid 2001-2002



Figur 5.1.5 Prosentfordeling av ulike algeklasser i Store Gryta før (1998-2000) og etter manipulerings i Breisjøen, i hhv Store Grytas epi/metalimnion, hypolimnion og volumveid innsjømiddel.

5.2. Påvekstalger

Begroing av påvekstalger (epifytter) er studert ved at små kjeramikpotter er satt ut på ulike dyp i begge innsjøene i perioden juni til oktober. Hver måned er potter tatt opp og nye satt ut. Alle analysene baserer seg derfor på månedseksponeeringer i innsjøene. Siden pottene er plassert hengende ute i innsjøens frie vannmasser, gir undersøkelsen kun indikasjoner på biomassepotensialet for påvekstalger i innsjøene. Eggansamlinger og betydelig innslag av bla midd kan periodevis bidra til unormalt høye tørrvektsverdier. De høye verdiene i Store Gryta i juli 1998 og 1999 er eksempler på dette (Fig 5.2.1). Dette gjør det vanskeligere å vurdere endringene i begroingsbiomasse før og etter termoklinmanipuleringen i Breisjøen. Til tross for dette synes det å være en klar tendens til økt begroingspotensiale av påvekstalger i Breisjøen etter termoklinsenknningen (Tabell 5.2.1), siden både mengde tørrstoff (Figur 5.2.1) og klorofyll-a per arealenhet (Figur 5.2.2) har økt i Breisjøen etter termoklinsenknningen, sammenliknet med Store Gryta. Dette kan skyldes en kombinasjon av flere forhold:

- 5) Termoklinsenknningen har medført en svak nedgang i fytoplanktonbiomasse i Breisjøen.
- 6) Breisjøens epilimnionvolum har økt betraktelig etter termoklinsenknningen
- 7) Før termoklinsenknningen hadde Breisjøen et klart primærproduksjonsmaksima for fytoplankton på 5-6 meters dyp. Dette ble borte etter termoklinsenknningen
- 8) Temperaturgjennomsnittet for alle dyp hvor begroing er undersøkt har økt etter manipuleringen.

Etter termoklinsenknningen er det registrert en klar økning i klorofyll-a per cm^2 i Breisjøen, størst i dybdeintervallet 1-5 m. Prosentvis har økningen vært størst på 10 meters dyp, men her er nivåene langt lavere sammenliknet med dybdeintervallet 1-5m. Tidligere undersøkelser i Norge viser at det akkumuleres mellom 0.1-1.0 μg klorofyll-a per cm^2 per måned på keramiske potter i oligotrofe innsjøer (Tabell 5.2.2). Dataene viser at næringsfattige sure innsjøer med en hvis humuspåvirkning kan overstige disse nivåene. I Lundetjenn som er en sur, mesodystrof innsjø (TOC:5-6 mg C L^{-1}), samt Skjervatjern som er en sur dystrof innsjø (TOC: 6-8 mg C L^{-1}), er det registrert maksimalverdier på hhv 1,7 og 2,4 μg klorofyll-a per cm^2 . For klassiske oligotrofe klare sjøer viser det seg at en sjeldent finner akkumulering av klorofyll-a per måned $> 2 \mu\text{g cm}^{-2}$. Høyere verdier enn dette skyldes ofte antropogene tilførsler av næringsstoffer. Det er derfor interessant å registrere at det i Breisjøen er registrert en månedsakkumulering på $2 \mu\text{g cm}^{-2}$ på 3 meters dyp etter termoklinsenknningen.

I Breisjøen synes det å ha funnet sted en klar økning i spesifikk klorofylltetthet (μg klorofyll-a per mg tørrstoff) etter termoklinsenknningen (Tabell 5.2.1), spesielt i dybdeintervallet 0-5 meter (Figur. 5.2.2). På 10 meters dyp er endringene mindre.

Begge innsjøene viser en klar tendens til økning i spesifikk klorofylltetthet med dypet. For Store Gryta gjelder dette for alle dyp som er målt, 1m,3m,5m og 10m. Breisjøen viser også tilsvarende økning i klorofylltetthet med dypet, men på 10 meters dyp er det tendens til nedgang igjen. Dette betyr at det ned til en hvis lysmengde er en negativ korrelasjon mellom lysmengde og klorofylltetthet. At klorofylltettheten øker med avtakende lys er normalt, fordi algene ikke lager mer klorofyll enn det er behov for under de gitte lysbetingelser. Samtidig når lystilgangen når et kritisk nivå er det ikke lenger økonomisk lønnsomt å produsere mere klorofyll. Dette er en energiøkonomisk strategi algeceller har utviklet og gjelder både for fastsittende primærprodusenter (påvekstalger) og pelagiske primærprodusenter (fytoplankton). Dette er godt dokumentert i begge innsjøene. Det som er interessant er at for fytoplankton var det en økning i klorofyll-a/algevolum-forholdet med dypet ned til ca 20 meter, mens det for påvekstalgene ble registrert en nedgang i klorofyll-a/tørrvekt-forholdet allerede på 10 meters dyp. Forklaringer på dette er så langt vanskelig å finne, men det er andre arter primærprodusenter som dominerer i påvekstalgesamfunnet sammenliknet med fytoplanktonsamfunnet. Like full er dette en interessant observasjon som bør følges opp.

I begge innsjøene synes det også som vi får en økning i spesifikk klorofylltetthet (μg klorofyll-a per mg tørrstoff) ut over sensommeren/høsten (Fig. 5.2.2) fram til vanntemperaturen og solhøyden reduseres så mye at primærproduksjonen retarderes kraftig. Det er tre hovedfaktorer som påvirker lysmengden og derved også spesifikk klorofylltetthet i innsjøene:

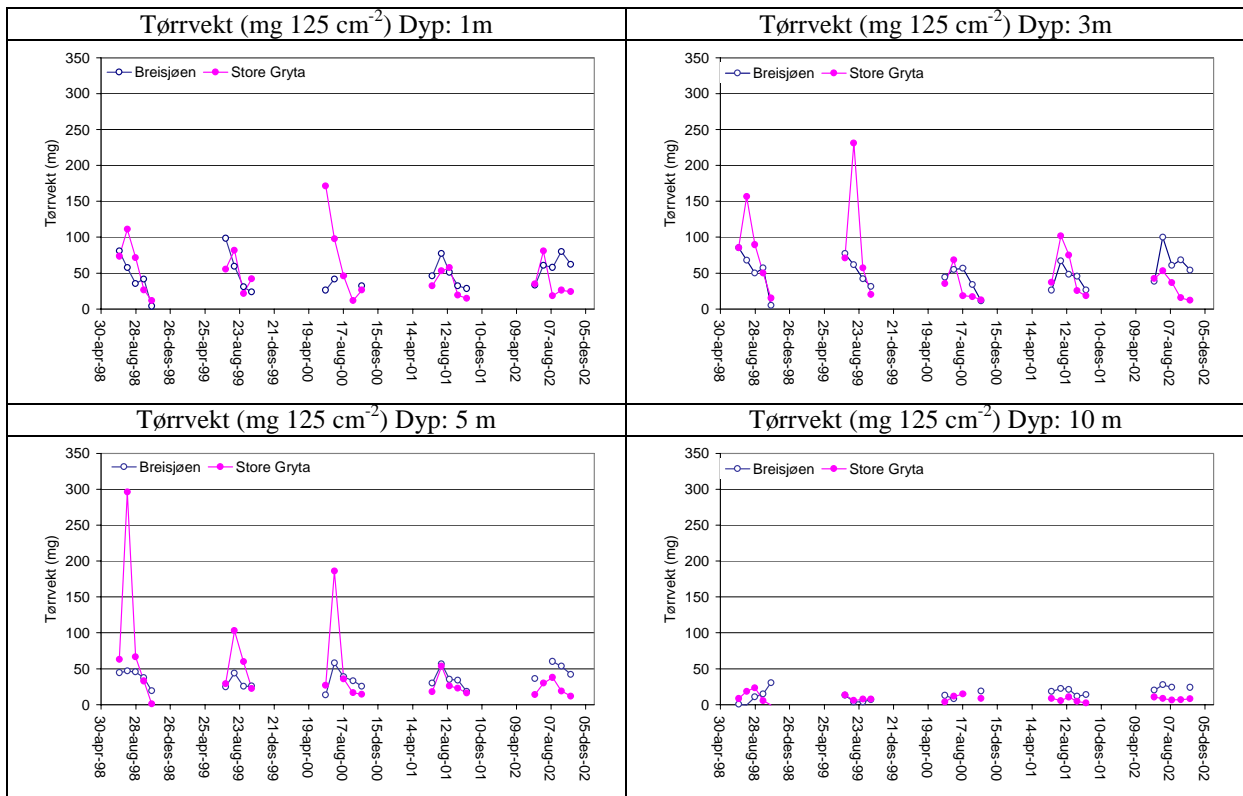
- 1) Lysmengden avtar med dypet
- 2) Lysmengden blir mindre med overskyet vær, lite sol.
- 3) Lysmengde avtar med solhøyden, høyest solinnstråling ved sommersolverv.

Tabell 5.2.1 Gjennomsnittsverdier (± 1 st.avvik) for påvekstalger, uttrykt som biomasse (mg tørrvekt 125 cm^{-2}), klorofyll per arealenhet ($\mu\text{g cm}^{-2}$), samt spesifikk klorofylltetthet ($\mu\text{g mg tørrvekt}$) på 1-3 meter og 5-10 meters dyp i Store Gryta og Breisjøen før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen. Analysene baserer seg på månedseksposering av keramiske pottes i perioden juni-oktober.

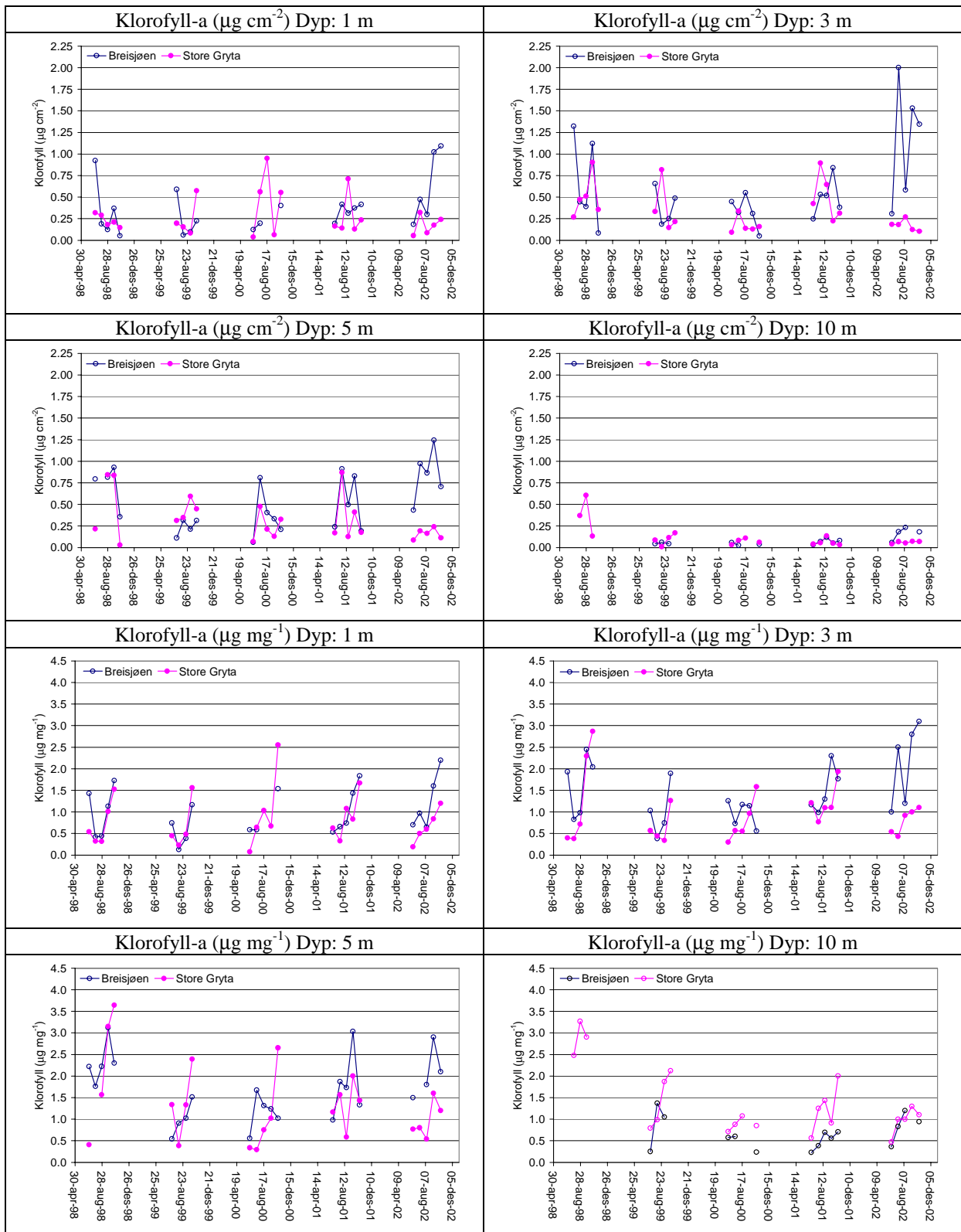
Parameter	enhet	1998-2000			2001-2002		
		Breisjøen	St.Gryta	B-S	Breisjøen	St.Gryta	B-S
Tørrvekt (1-3m)	mg 125cm^{-2}	46,4 \pm 22,8	63,4 \pm 44,9	-17,0 \pm 38,6	50,1 \pm 16,8	35,8 \pm 21,9	14,4 \pm 23,2
Tørrvekt (5-10m)	mg 125cm^{-2}	24,2 \pm 7,4	39,2 \pm 41,8	-15,0 \pm 41,3	31,5 \pm 10,9	16,0 \pm 6,3	15,5 \pm 10,3
Klorofyll (1-3)	$\mu\text{g cm}^{-2}$	0,39 \pm 0,28	0,33 \pm 0,16	0,06 \pm 0,30	0,65 \pm 0,42	0,28 \pm 0,18	0,37 \pm 0,51
Klorofyll (5-10)	$\mu\text{g cm}^{-2}$	0,37 \pm 0,30	0,24 \pm 0,20	0,13 \pm 0,26	0,46 \pm 0,32	0,16 \pm 0,12	0,30 \pm 0,32
Klorofyll (1-3)	$\mu\text{g mg}^{-1}$	1,06 \pm 0,50	0,88 \pm 0,67	0,18 \pm 0,50	1,47 \pm 0,66	0,90 \pm 0,41	0,57 \pm 0,61
Klorofyll (5-10)	$\mu\text{g mg}^{-1}$	1,47 \pm 0,77	1,33 \pm 0,84	0,14 \pm 0,79	1,34 \pm 0,65	1,13 \pm 0,36	0,21 \pm 0,60

Tabell 5.2.2 Maksimum og minimums-verdier av akkumulert klorofyll-a per arealenhet (mg cm^{-2}) gjennom vekstsesongen i noen utvalgte ikke manipulererte og manipulererte oligotrofe og dystrofe innsjøer i Norge. Data er fra Eli-Anne Lindstrøm. NIVA.

Innsjø	År	Innsjøtype	Manipulasjon	0.5m/1m	2m/3m	Dyp maks produksjon
Ø. Lundetjenn	1999	Meso-dystrof	Ingen	0,5-1,7	0,1-0,2	1m
N. Lundetjenn	1999	Meso-dystrof	PO ₄	0,8-3,8	0,1-0,5	1m
Skjervatjern	1994	Dystrof	Ingen	0,15-2,4	0,07-0,33	0,5-1m
Skjervatjern	1994	Dystrof	NH ₄ NO ₃	0,2-12,5	0,05-2,5	0,5-1m
Storvatn	1997	Oligotrof	Ingen	0,05-0,3	0,1-0,8	5m
Skittenfjordvatn	1997	Oligotrof	PO ₄ /NH ₄ NO ₃	1,0-6,0	1,5-4,5	2m
Breisjøen	1998-2000	Oligotrof	Ingen	0,05-0,93	0,05-1,32	3-4 m
Breisjøen	2001-2002	Oligotrof	Termoklin-senkning	0,19-1,10	0,25-2,0	3-4 m
Store Gryta	1998-2000	Oligotrof	Ingen	0,04-0,95	0,03-0,84	4-5 m
Store Gryta	2001-2002	Oligotrof	Ingen	0,05-0,71	0,10-0,90	4-5 m



Figur 5.2.1 Biomasse av påvekstalter uttrykt som tørrvekt (mg 125 cm⁻²) i Store Gryta og Breisjøen i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen ble manipulert f.o.m. 2000. Analysene baserer seg på månedseksponering av keramikk potter i perioden juni-oktober.



Figur 5.2.2 Klorofyll-a per arealenhett (mg cm^{-2}) og spesifikk klorofyll-a tetthet ($\mu\text{g klorofyll-a mg}^{-1}$ tørrstoff) i Store Gryta og Breisjøen i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen ble senket i 2000. Analysene baserer seg på månedseksposering av keramiske pottar i perioden juni-oktober.

5.3. Dyreplankton (zooplankton)

Biomassen av zooplankton (μg tørrvekt (dw) L^{-1}) i er lav i begge innsjøene (Tabell 5.3.1) som et resultat av lav fytoplanktonbiomasse og gode bestander av abbor (og noe røye) som er zooplanktonpredatorer i begge innsjøene. Total biomasse (målt som organisk karbon) av zooplankton er gjennomgående noe høyere enn fytoplanktonbiomassen i begge innsjøer, spesielt i Store Gryta (Fig 5.3.1). Fytoplankton- og zooplanktonbiomassen utgjør til sammen kun ca 10% av det partikulære karbonet i innsjøenes frie vannmasser (Tabell 5.3.2). I næringsfattige skogssjøer er det ikke uvanlig at en også har en betydelig bakteriebiomasse (Hessen, 1998). Vi har ikke analysert på bakteriebiomassen i innsjøene, men vi vil derfor anta denne kan utgjøre en betydelig del av partikulært organisk karbon i de to innsjøene. At zooplanktonbiomassen normalt ofte er høyere enn fytoplanktonbiomassen i innsjøene tyder på at zooplanktonet også må beite på bakteriebiomassen som finnes i de fri vannmassene.

Før manipuleringen var volumveid zooplanktonbiomasse i Breisjøen $39, \pm 23, \mu\text{g dw L}^{-1}$ mot $36, \pm 18, \mu\text{g dw L}^{-1}$ i Store Gryta (Tabell 5.3.1). Etter termoklinsenknningen ligger zooplanktonbiomassen i Breisjøen lavere enn i Store Gryta (Figur 5.3.2). Termoklinsenknningen synes så langt ikke å hatt vesentlig påvirkningen av total biomasse av zooplankton i Breisjøen, men det er tegn til nedgang i zooplanktonbiomassen etter termoklinsenknningen (Tabell 5.3.1). Denne nedgangen skyldes først og fremst tilbakegang av vannloppene (Cladocera) *Bosmina longispina* og gelekrepsen *Holopedium gibberum* (Tabell 5.3.1, Figur 5.3.5). Hoppekreps (Copepoda) viser totalt sett en svak biomasseøkning etter termoklinsenknningen. Dette skyldes primært økning av *Thermocyclops oithonoides*, mens *Cyclops scutifer* har gått noe tilbake etter manipuleringen (Tabell 5.3.1, Figur 5.3.7). Dette tyder på at *Thermocyclops oithonoides* begünstiges av økt varmeinnhold i innsjøen som følge av termoklinsenknningen. *Thermocyclops oithonoides* er en liten, nesten fargeløs cyclopoide copepode, og dette gjør at den normalt ikke er utsatt for vesentlig fiskepredasjon. *Thermocyclops oithonoides* forekommer kun planktonisk, bortsett fra vinterdiapause i sedimentet (Nilssen og Wærvågen, 2000). At arten synes å øke etter termoklinsenknningen (med ditto betydelig økning i varmeinnholdet i innsjøen) kan skyldes at økt temperatur begünstiger flere reproduksjonssykluser i året (Nilssen og Wærvågen, 2000). *Thermocyclops oithonoides* har en begrenset utbredelse i Norge, og finnes i Sørøst Norge, ofte under den tidligere marin grense (Nilssen og Wærvågen, 2000). Arten egner seg derfor ikke som nøkkelart for klimaendringer i andre deler av landet. Biomassen av hjuldyra (Rotifera) viser en klar økning etter manipuleringen (Tabell 5.3.1, Figur 5.3.4 og da spesielt for arten *Conochilus unicornis* (Figur 5.3.6). I biomasse er denne arten total dominerende blant hjuldyrene.

Før manipulering av Breisjøen ble døgnlige vertikalmigrasjoner undersøkt (september 1998). Til orientering var termoklinen i ferd med å eroderes mot fullsirkulasjon. Termoklindypet var 7,4 m (Breisjøen) og 8,4 m (Store Gryta) den 23. september da undersøkelsene ble gjennomført. Middelttemperaturen og epilimniontemperatur i Breisjøen var da $9,1^{\circ}\text{C}$ og $13,4^{\circ}\text{C}$, mot $11,1^{\circ}\text{C}$ og $12,6^{\circ}\text{C}$ i Store Gryta. Resultatene viser tydelig vertikalmigrasjon i Breisjøen, mens migrasjonen var langt mindre i Store Gryta (Figur 5.3.8). Særlig en art, *Bosmina longispina*, viser tydelige vertikale vandringer i Breisjøen (Figur 5.3.9). Denne arten hadde biomassemaksimum i metalimnion om dagen, men vandret opp i epilimnion om natten. Dette er noe overraskende, da denne arten ikke anses som spesielt sårbar for fiskepredasjon. I Store Gryta viste arten liten vertikalmigrasjon gjennom døgnet. *Daphnia longispina*, som ofte har vertikalmigrasjon i andre innsjøer, viser også tegn til vertikalvandring i Breisjøen, da den kun ble påvist i epilimnion om natten i september. Om dagen hadde denne arten høyest biomasse i metalimnion resten av sesongen, men forekomstene var små. Resultatene for denne arten er derfor mere usikre.

Dersom den påviste vertikalmigrasjonen er induisert av fiskepredasjon, tyder resultatene på at predasjonspresset fra fisk på zooplankton er høyere i Breisjøen enn i Store Gryta. Dette henger sammen med at abborbestanden i Breisjøen er klart større enn i Store Gryta, og abbor er som kjent en effektiv zooplanktonbeiter. Det er ikke utført undersøkelse av vertikalmigrasjon av zooplankton etter termoklinsenknningen i Breisjøen, men dette vil gjennomføres høsten 2003.

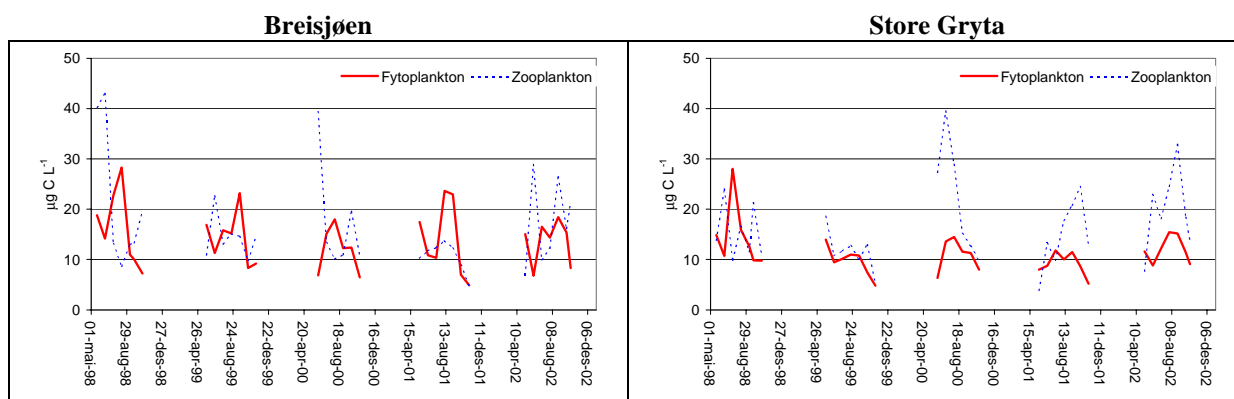
Termoklinsenknningen i Breisjøen fra 5-6 m ned til ca 20 meters dyp, resulterte i en vesentlig endret vertikalfordeling av zooplankton. Fordi alle prøvene er tatt midt på dagen, vil vertikale endringer som skyldes døgnvandringer i liten grad påvirke resultatene. Mellom år variasjoner er derfor godt sammenliknbare. Etter manipuleringen forekommer en betydelig større mengde zooplankton i dypere lag av innsjøen (Figur 5.3.3). Mens vannlopper (cladocera) og hoppekreps (copepoda) viser økt biomasse i dybdeintervallet 26-31m (maks dyp 34,5m) etter termoklinsenknningen, viser hjuldyra en betydelig økning i dybdeintervallene 7-12 m og 13-18 m.

Årsakene til ulike vertikalfordeling i vannmassene mellom grupper/klasser av zooplankton som følge av termoklinsenknningen er vanskelig å forklare, men kan skyldes ulikheter i zooplanktongruppens fødevalg, predasjonspress, bevegelsesevne og vanntemperatur.

Breisjøen har noen flere arter zooplankton enn Store Gryta, spesielt innen klassen hjuldyr. I Breisjøen er det til nå påvist 8 arter av vannlopper, 7 arter av hoppekreps og 17 ulike arter hjuldyr (Tabell 5.3.4). Tilsvarende i Store Gryta er 7 arter vannlopper, 8 hoppekrepsarter og 13 arter av hjuldyr. Zooplankton sammensetningen i de to innsjøene er relativt like. *Bosmina longispina* og *Holopedium gibberum* er dominerende vannlopper, *Thermocyclops oithonoides* og *Cyclops scutifer* dominerende hoppekreps, og *Conochilus unicornis* som totalt biomassedominerende blant hjuldyra. En forskjell i zooplanktonsamfunnet i innsjøene er at Store Gryta har en relativt god bestand av *Daphnia galeata*, en art som ikke til nå er påvist i Breisjøen. Tilsvarende har Breisjøen en relativt god bestand av *Daphnia cristata* som ikke til nå er påvist i Store Gryta. Artssammensetningen i begge innsjøene er typisk for oligotrofe innsjøer på Østlandet. Termoklinsenknningen har til nå ikke påvirket den kvalitative sammensetningen av zooplanktonet nevneverdig.

Tabell 5.3.1 Volumveide middelkonsentrasjoner av total zooplanktonbiomasse ($\mu\text{g dw L}^{-1}$), samt klasser og arter av zooplankton i Store Gryta og Breisjøen før og etter termoklinsenknningen i Breisjøen. Data baserer seg på prøver tatt hver 14. dag fra isgang til islegging.

Parameter	1998-2000			2001-2002		
	Breisjøen	St.Gryta	B-S	Breisjøen	St.Gryta	B-S
Total biomasse	39,0 ± 23,0	36,3 ± 18,0	2,7 ± 26,6	31,1 ± 15,6	38,3 ± 17,1	-7,2 ± 15,8
Vannlopper						
Cladocera	26,1 ± 18,3	25,3 ± 16,3	0,8 ± 24,6	11,1 ± 12,4	26,0 ± 15,3	-14,9 ± 19,6
<i>Bosmina longispina</i>	12,1 ± 8,5	8,6 ± 4,9	3,6 ± 9,6	6,9 ± 8,4	14,4 ± 11,5	-7,5 ± 13,7
<i>Holopedium gibberum</i>	11,8 ± 15,0	12,2 ± 11,4	-0,4 ± 17,3	2,8 ± 2,9	8,0 ± 5,2	-5,3 ± 5,6
Hoppekreps						
Copepoda	8,7 ± 4,1	9,3 ± 3,8	-0,6 ± 2,5	10,9 ± 5,6	8,1 ± 3,2	2,8 ± 7,1
<i>Cyclops scutifer</i>	4,8 ± 4,5	3,8 ± 5,1	1,0 ± 2,3	2,7 ± 5,1	3,4 ± 4,5	-0,7 ± 5,1
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	1,3 ± 1,1	1,3 ± 1,0	0,0 ± 0,6	5,1 ± 5,8	1,8 ± 1,1	3,3 ± 5,2
Hjuldyr						
Rotatoria	4,2 ± 4,1	1,7 ± 1,2	2,5 ± 3,3	9,1 ± 11,0	4,2 ± 5,3	4,9 ± 10,4
<i>Conochilus unicornis</i>	3,3 ± 4,0	0,8 ± 1,1	2,5 ± 3,2	8,4 ± 10,7	3,8 ± 5,1	4,6 ± 10,3



Figur 5.3.1 Sesongvariasjoner i fyto- og zooplankton ($\mu\text{g C L}^{-1}$) i perioden før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen. Omregningsfaktorene fra våtvekt (fytoplankton) og tørrvekt (zooplankton) er angitt i Tabell 5.3.2.

Tabell 5.3.2 Konsentrasjoner ($\mu\text{g C L}^{-1}$) av og prosentfordeling (%) av ulike fraksjonert av total partikulært organisk karbon (TPOC) i Breisjøen og Store Gryta før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen. Dataene baserer seg på volumveide middelerdier. USOC: uspesifisert organisk karbon (USOC=TPOC-PHOC-ZOOC); PHOC: fytoplanktonisk organisk karbon (PHOC: totalt algevolum våtvekt* 0.1); ZOOC: zooplanktonisk organisk karbon (ZOOC: totalt zoooplankton biomasse tørrvekt*0.45). 0.1 og 0.45 er empiriske verdier.

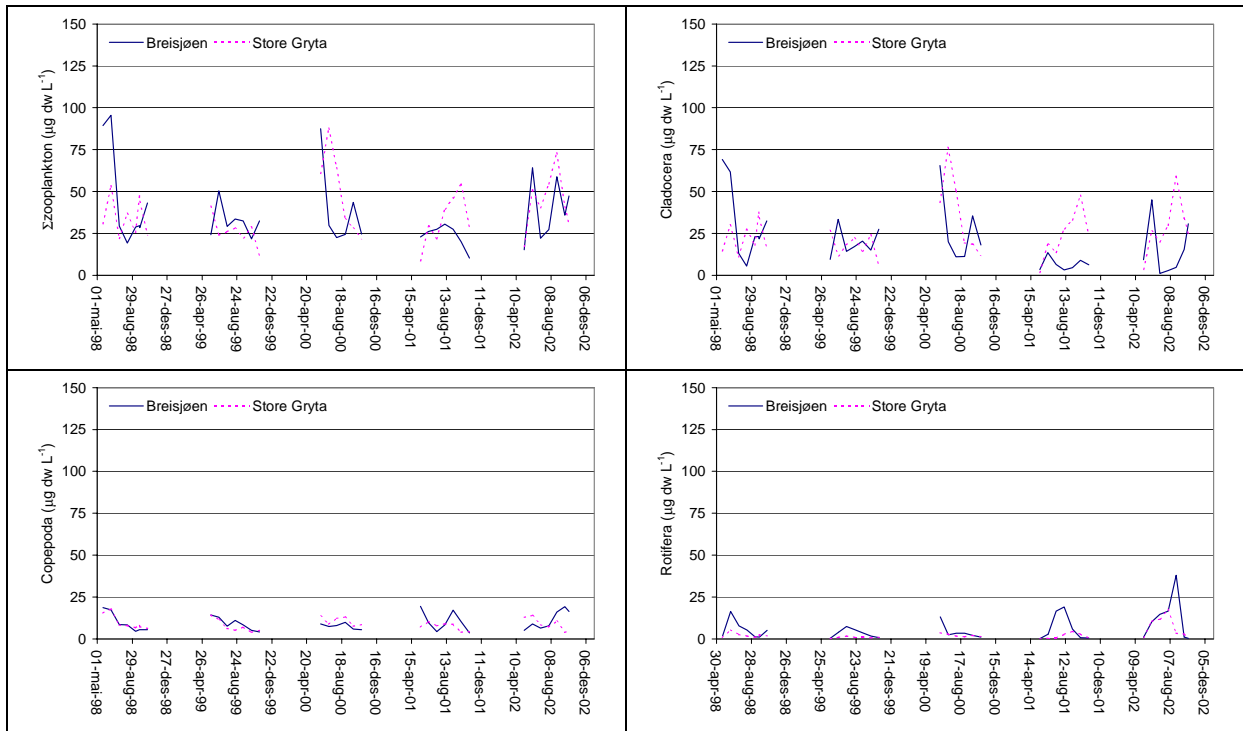
	USOC $\mu\text{g C L}^{-1}$		PHOC $\mu\text{g C L}^{-1}$		ZOOC $\mu\text{g C L}^{-1}$	
	1998-2000	2001-2002	1998-2000	2001-2002	1998-2000	2001-2002
Breisjøen	299 ± 74	248 ± 52	14,2 ± 5,9	13,7 ± 5,9	17,8 ± 10,6	14,0 ± 7,0
Store Gryta	217 ± 37	212 ± 35	11,7 ± 4,8	10,6 ± 2,8	16,2 ± 8,3	17,2 ± 7,7
B-S	82 ± 68	37 ± 47	2,4 ± 4,3	3,1 ± 5,1	1,6 ± 12,1	-3,2 ± 7,1
	USOC/TPOC %		PHOC/TPOC %		ZOOC/TPOC %	
Breisjøen	89,6 ± 5,6	89,7 ± 3,5	4,3 ± 1,6	5,0 ± 2,1	6,1 ± 5,0	5,3 ± 2,9
Store Gryta	88,4 ± 4,5	88,6 ± 2,7	4,8 ± 2,0	4,4 ± 1,0	6,8 ± 3,8	7,0 ± 2,5
B-S	1,3 ± 5,6	1,2 ± 3,0	-0,5 ± 1,5	0,5 ± 1,8	-0,7 ± 5,0	-1,7 ± 2,6

Tabell 5.3.3 Antall arter/grupper i Breisjøen og Store Gryta innen ulike klasser av zooplankton før og etter termoklinsenknningen i Breisjøen. "+" og "-" angir arter som har kommet til (+) eller ikke registrert (-) etter termoklinsenknningen (2001-2002).

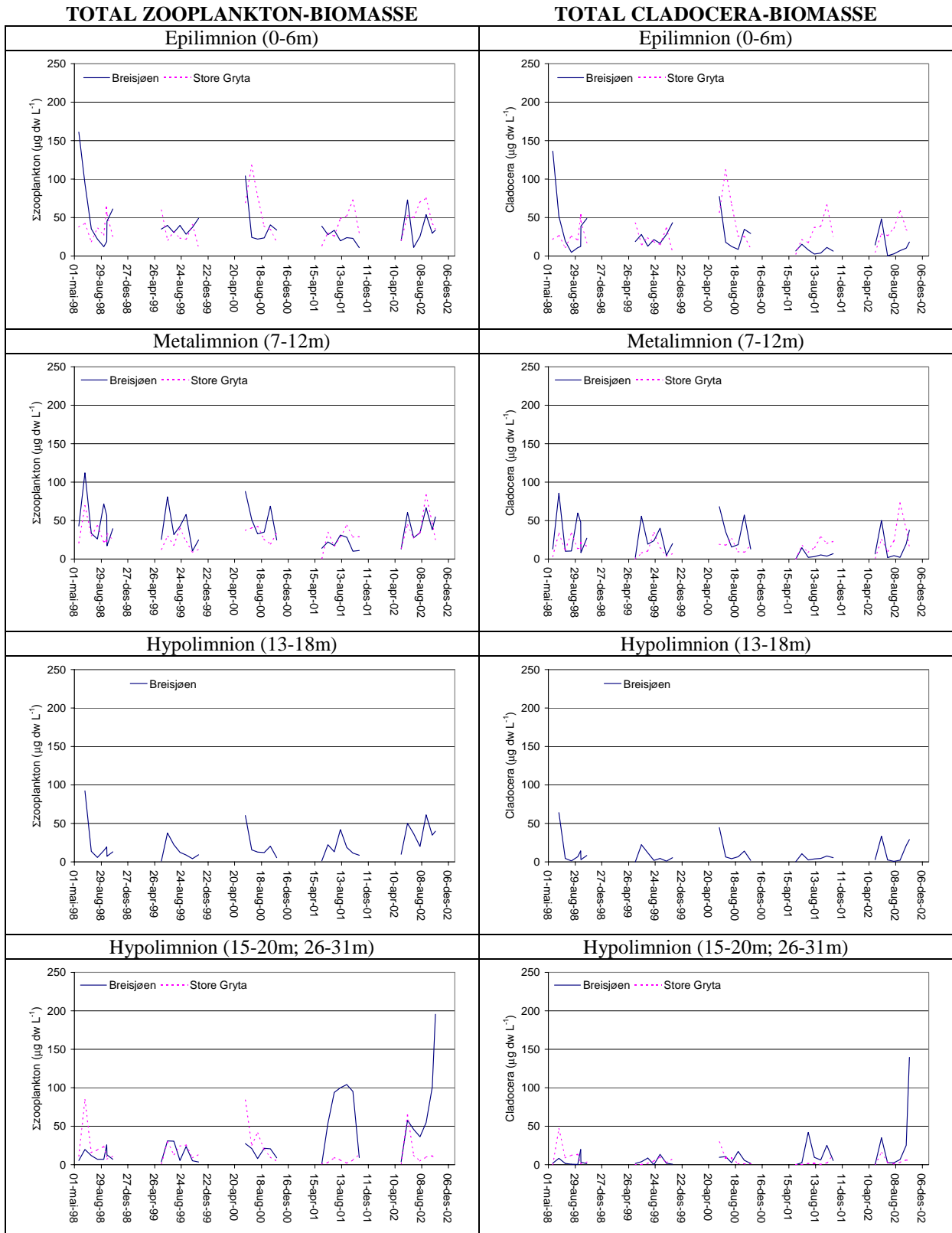
Klasse	Breisjøen				Store Gryta			
	98-00 Før	01-02 +	01-02 -	01-02 Etter	98-00 Før	01-02 +	01-02 -	01-02 Etter
Vannlopper <i>Cladocera</i>	5	3	0	8	6	1	0	7
Hoppekreps <i>Copepoda</i>	7	0	0	7	7	1	1	7
Hjuldyr <i>Rotifera</i>	15	2	5	12	11	2	5	8
Totalt	27	5	5	27	24	4	6	22

Tabell 5.3.4 Påviste zooplanktonarter i Breisjøen (B) og Store Gryta (S) i perioden 1998-2002. De to viktigste artene innen cladocera, copepoda og rotifera er angitt med uthevet skrift.

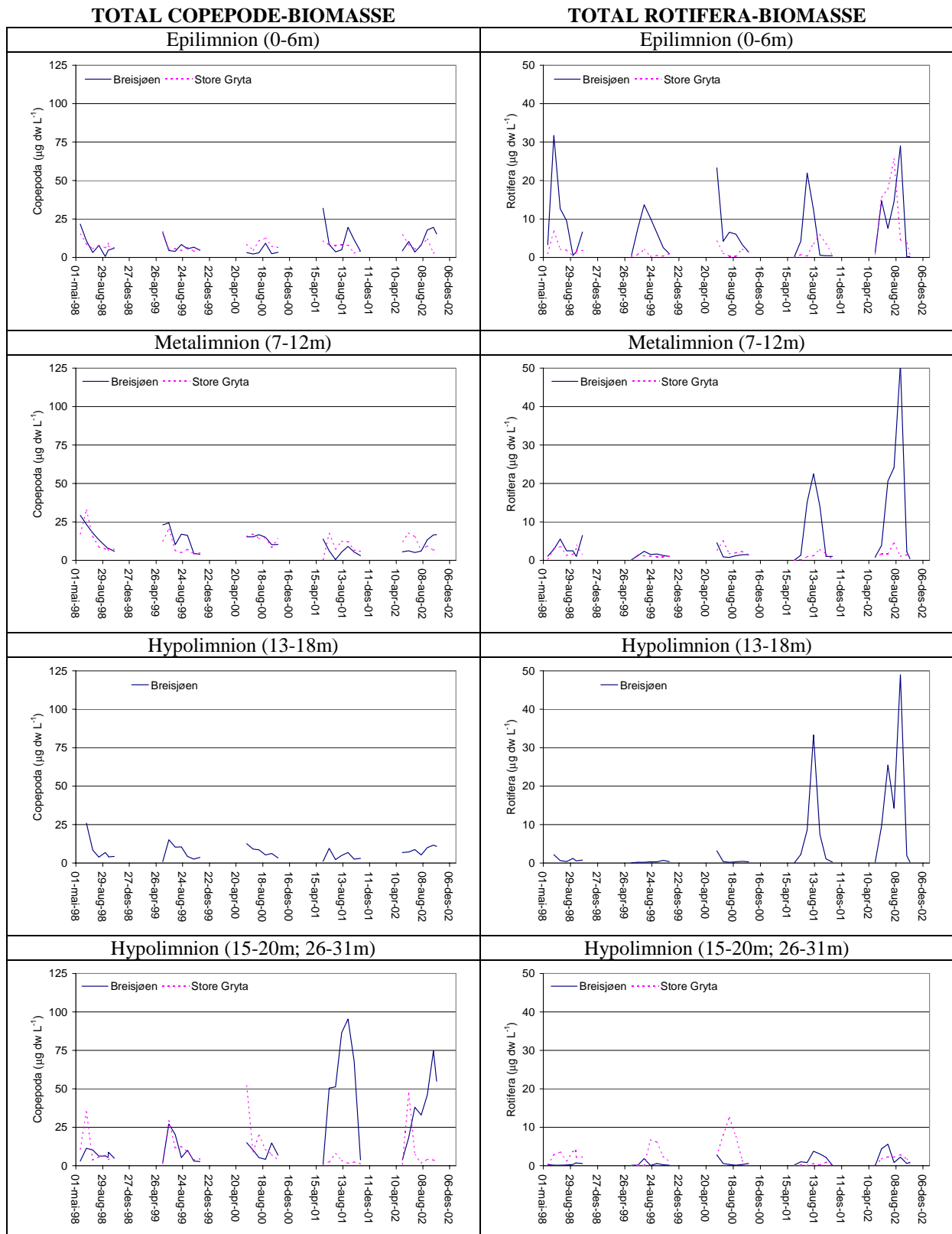
Cladocera	B	S	Copepoda	B	S	Rotifera	B	S
<i>Bosmina longispina</i>	x	x	<i>Cyclops scutifer</i>	x	x	<i>Ascomorhpa ecaudis</i>	x	x
<i>Daphnia longispina</i>	x	x	<i>Heterocope appendiculata</i>	x	x	<i>Brachionus</i> spp.	x	x
<i>Holopedium gibberum</i>	x	x	<i>Thermocyclops oithonoides</i>	x	x	<i>Collotheca</i> spp.	x	x
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	x	x	Calanoide nauplier	x	x	<i>Conochilus unicornis</i>	x	x
<i>Bosmina longirostris</i>	x	x	Cyclopoide nauplier	x	x	<i>Kellicottia longispina</i>	x	x
<i>Chydoridae</i> spp	x	x	<i>Bythotrephes longimanus</i>	x		<i>Keratella cochlearis</i>	x	x
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	x		<i>Sida crystallina</i>	x		<i>Keratella hiemalis</i>	x	x
<i>Daphnia cristata</i>	x		<i>Eudiaptomus gracilis</i>		x	<i>Keratella serrulata</i>	x	x
<i>Daphnia galeata</i>		x	<i>Cyclopoida</i> spp		x	<i>Ploesoma hudsoni</i>	x	x
			<i>Acanthodiptomus denticornis</i>		x	<i>Polyarthra</i> spp.	x	x
						<i>Rotifera ubest.</i>	x	x
						<i>Synchaeta</i> spp.	x	x
						<i>Asplanchna priodonta</i>	x	
						<i>Asplanchna</i> spp.	x	
						<i>Lecane</i> spp.	x	
						<i>Polyarthra dolichoptera</i>	x	
						<i>Polyarthra remata</i>	x	
						Rotatorie-art (60 μm)		x
Totalt	8	7		7	8		17	13



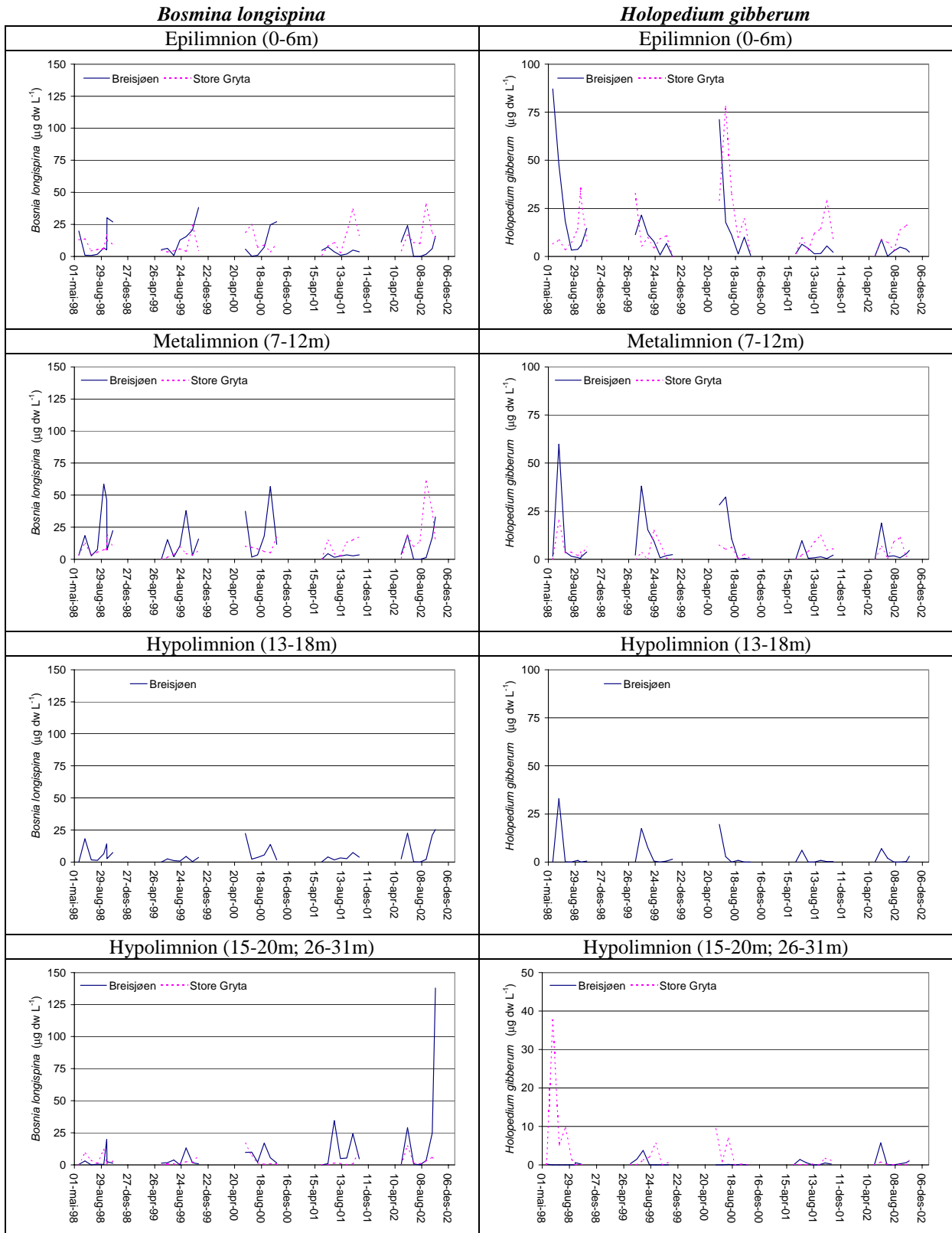
Figur 5.3.2 Variasjoner i volumveide middelkonsentrasjoner av total zooplanktonbiomasse ($\mu\text{g tørrvekt L}^{-1}$), total biomasse av vannlopper (Cladocera), hoppekreps (Copepoda) og hjuldyr (Rotifera) i Breisjøen og Store Gryta før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen.



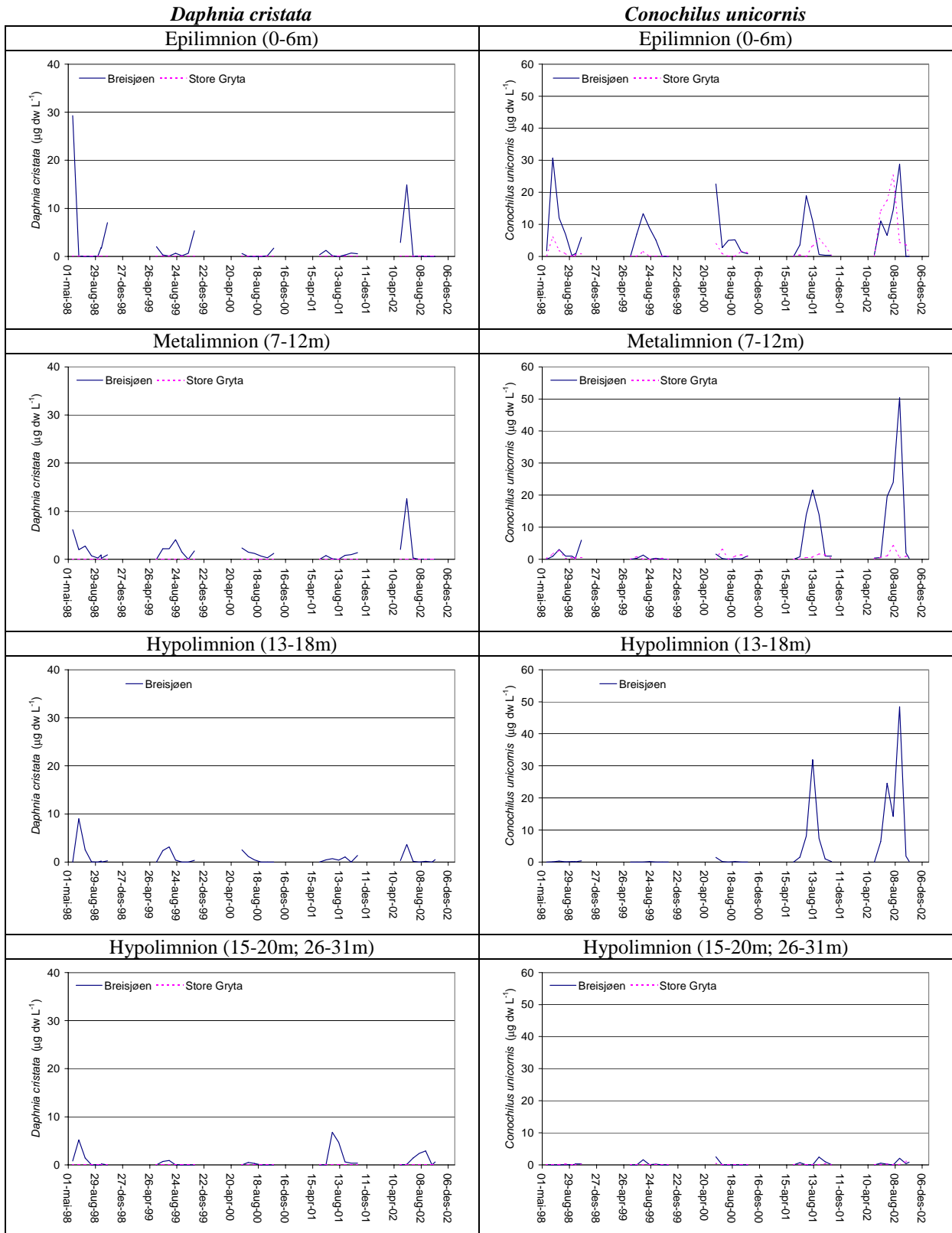
Figur 5.3.3 Variasjoner av total biomasse ($\mu\text{g t\ddot{o}rrvekt L}^{-1}$) av zooplankton og vannlopper (Cladocera) i ulike dyp i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998–2002. Termoklinen i Breisjøen ble senket fra 2001. Hypolimnion prøven fra Store Gryta er en dybdeintegret prøve fra 15–20 m, og både 13–18m og 26–31 m i Breisjøen.



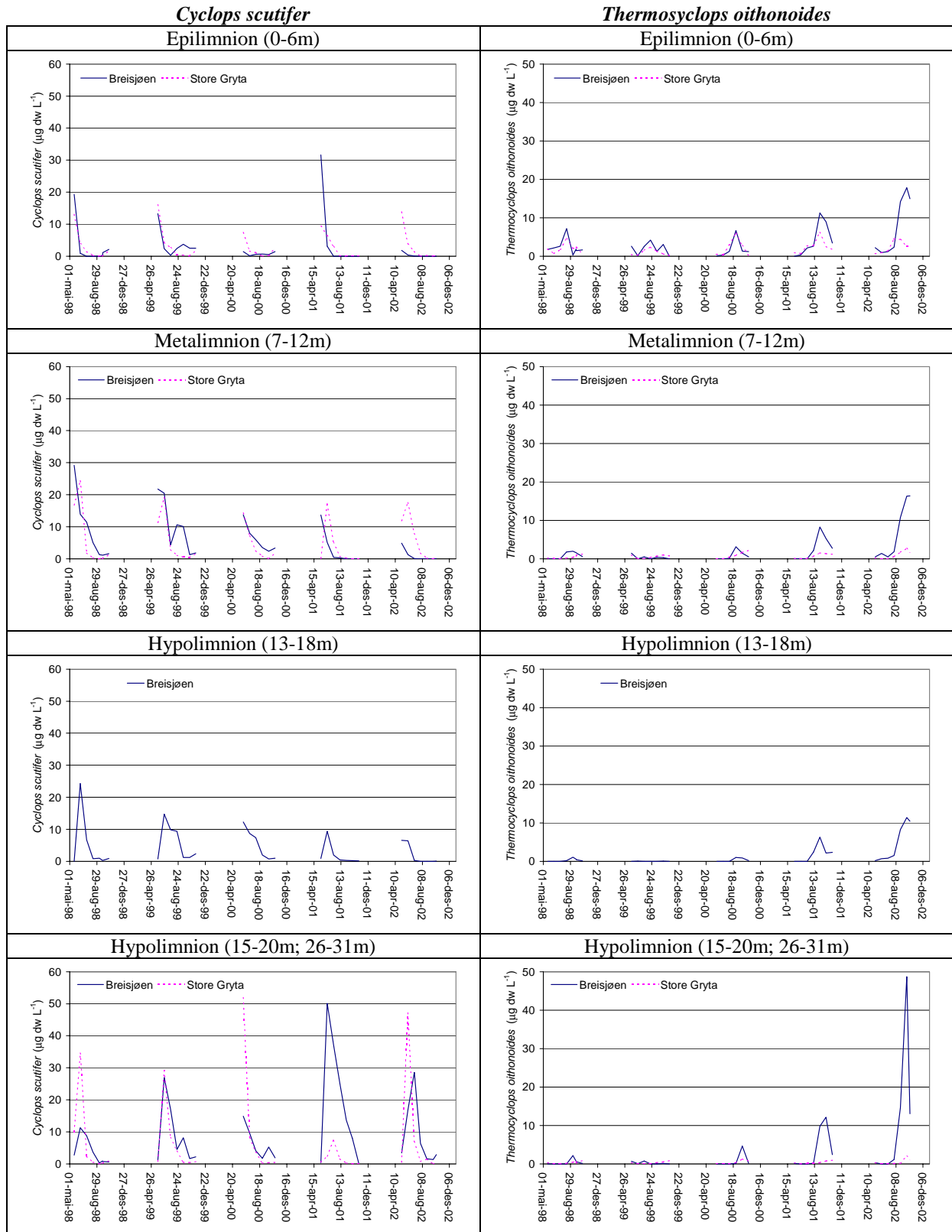
Figur 5.3.4 Variasjoner i total biomasse ($\mu\text{g tørrvekt L}^{-1}$) av hoppekreps (Copepoda) og hjuldyr (Rotatoria) i ulike dyp i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen ble senket fra 2001. Hypolimnion prøven fra Store Gryta er en dybdeintegret prøve fra 15-20 m, og både 13-18m og 26-31 m i Breisjøen.



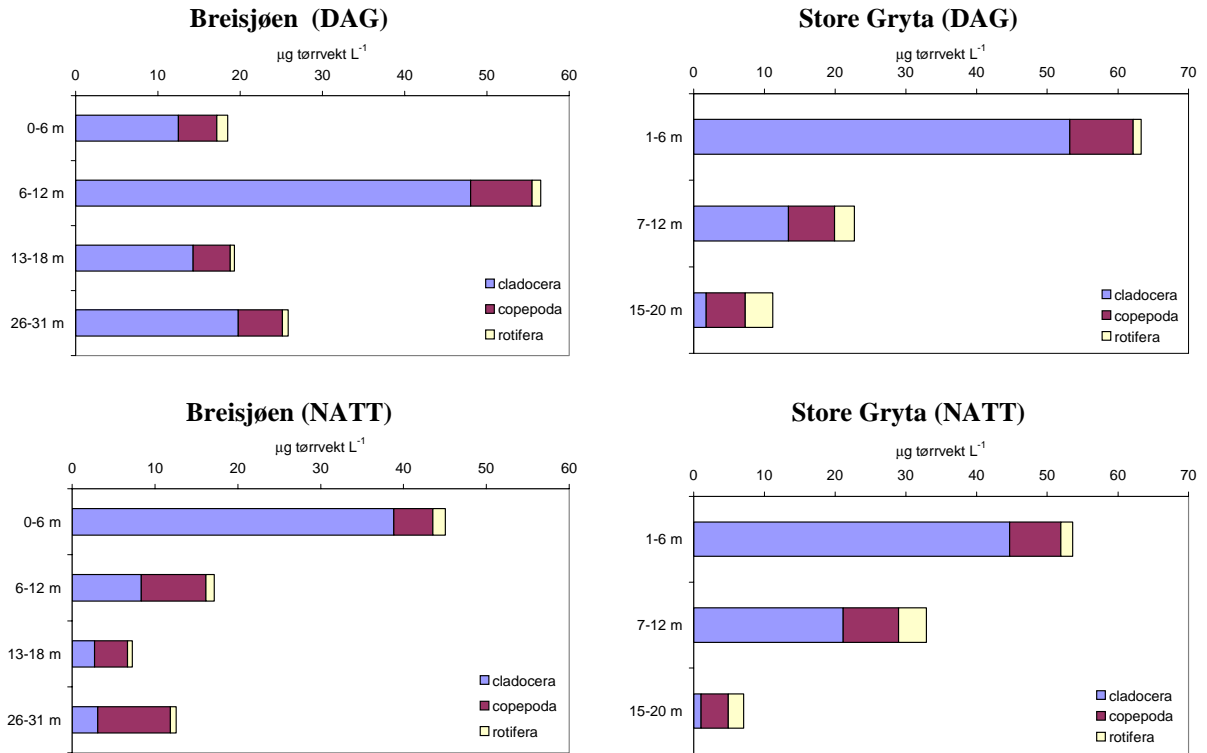
Figur 5.3.5 Variasjoner i biomasse ($\mu\text{g tørrvekt L}^{-1}$) av vannloppene *Bosmina longispina* og *Holopedium gibberum* i ulike dyp i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen ble senket fra 2001. Hypolimnion prøven fra Store Gryta er en dybdeintegrert prøve fra 15-20 m, og både 13-18 m og 26-31 m i Breisjøen.



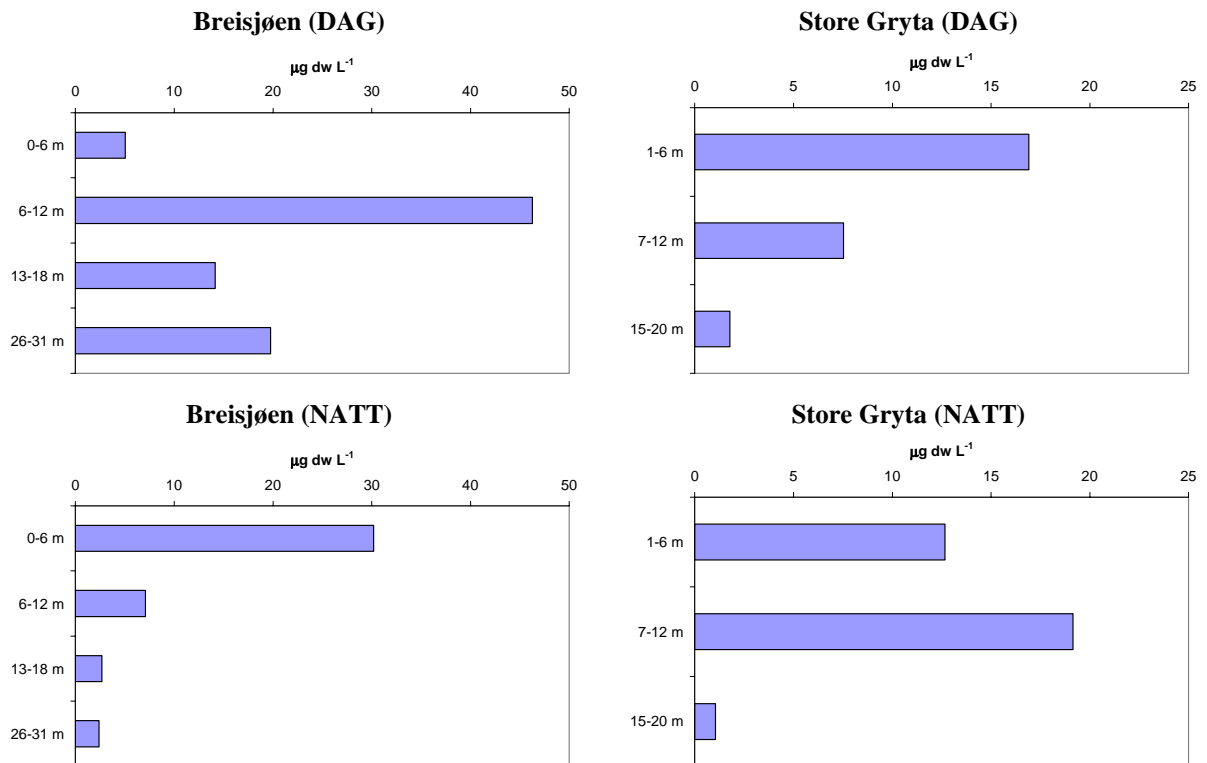
Figur 5.3.6 Variasjoner i biomasse ($\mu\text{g tørrvekt L}^{-1}$) av vannloppen *Daphnia cristata* og hjuldryet *Conochilus unicornis* i ulike dyp i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen ble senket fra 2001. Hypolimnion prøven fra Store Gryta er en dybdeintegrert prøve fra 15-20 m, og både 13-18 m og 26-31 m i Breisjøen. *Daphnia cristata* kun funnet i Breisjøen.



Figur 5.3.7 Variasjoner i biomasse (μg tørrvekt L^{-1}) av hoppekrepsene *Cyclops scutifer* og *Thermocyclops oithonoides* i ulike dyp i Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002. Termoklinen i Breisjøen ble senket fra 2001. Hypolimnion prøven fra Store Gryta er en dybdeintegret prøve fra 15-20 m, og både 13-18 m og 26-31 m i Breisjøen.



Figur 5.3.8 Vertikalmigrasjon av grupper av zooplankton gjennom døgnet i Breisjøen og Store Gryta basert på målinger 23. september 1998.



Figur 5.3.9 Vertikalmigrasjon av *Bosmina longispina* gjennom døgnet i Breisjøen og Store Gryta basert på målinger 23. september 1998.

5.4. Bunndyr (benthos)

Bunndyrprøver er tatt i en gang hvert år, i slutten av mars, mens det enda lå is på innsjøene.

Bunndyrssamfunnet i begge innsjøene synes å være dominert av fjærmygglarver (Chironomidae larvae), men også muslingkreps (Ostracoda), fåbørstemark (Oligochaeta), cyclopoide hoppekreps (Copepoda) og muslinger (Lamellibranchiata) er godt representert i begge innsjøene (Tabell 5.4.1 og 5.4.2).

Basert på de prøver som er tatt og bunndyrstasjoner som er valgt i de to innsjøene, syns det som om Store Gryta har relativt høyere individtetthet av bunndyr sammenliknet med Breisjøen (Tabell 5.4.1 og 5.4.2). Dette kan ha sammenheng med ulikheter i bl.a. substrattypen og predatorpress. Termoklinsenknningen i Breisjøen synes ikke å ha påvirket den totale individtettheten i innsjøen. Derimot har termoklinendringen medført en endring i dybdefordelingen av bunndyrene. Før manipuleringen var høyest individtetthet registrert på 10 meters dyp i Breisjøen, mens høyeste individtetthet ble observert i de dypeste sedimentene i innsjøen (34 m) etter manipuleringen. Dette henger sannsynligvis sammen med den oppkonsentrering av både fyttoplankton og zooplankton som synes å ha funnet sted etter termoklinsenknningen. I Store Gryta har en hele tiden (1998-2002) observert høyeste individtetthet av bunndyr i 4-10 meters dyp.

Etter termoklinsenknningen i Breisjøen, har tettheten av fjærmygglarver og fåbørstemark blitt mindre, mens tettheten av cyclopoide hoppekreps og muslingkreps har økt. Om en gjør samme sammenlikning i Store Gryta, før og etter termoklinsenknningen i Breisjøen, er det en svak nedgang i tetthet av fjærmygglarver og noe sterkere nedgang i tetthet av fåbørstemark, mens det er en relativt betydelig nedgang i muslingkreps. For cyclopoide copepoder er det en svak økning. Det er derfor en klar tendens til at termoklinsenknningen i Breisjøen har redusert individtettheten av fåbørstemark, mens cyclopoide hoppekreps og spesielt muslingkreps har hatt en markant tetthetsøkning. Det er ikke utført artsbestemmelser av bunndyrssamfunnet, men siden vi observert en klar økning av den cyclopoide hoppekrepsen *Thermocyclops oithonoides*, er det god grunn til å anta at dette er ulike naupliumstadier av denne arten som har bidratt med økt individtetthet av cyclopoide hoppekreps etter termoklinsenknningen i Breisjøen.

Tabell 5.4.1 Gjennomsnittlig totalt antall bunndyr og antall individer innen ulike hovedgrupper av bunndyr (N m⁻²) på ulike dyp i Breisjøen, før (98-00) og etter (01-02) termoklinsenknningen i Breisjøen.

Grupper	98-00	01-02	98-00	01-02	98-00	01-02	98-00	01-02
	Alle dyp	Alle dyp	4 m	4 m	10 m	10 m	34 m	34 m
Nematoda	12	18	0	0	12	0	0	18
Oligochaeta	416	265	201	18	106	71	109	177
Gastropoda	0	0	0	0	0	0	0	0
Lamellibranchiata	495	230	47	88	448	53	0	88
Hydracarina	59	53	24	18	35	18	0	18
Chydoridae	12	0	0	0	12	0	0	0
Copepoda, cycl.	882	1752	0	88	248	88	634	1575
Ostracoda	1112	1734	0	18	826	159	286	1557
Sialidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	0	35	0	35	0	0	0	0
Trichoptera	0	18	0	18	0	0	0	0
Chironomidae	4364	3503	1203	1716	3126	1610	35	177
Ceratopogonidae	24	35	24	35	0	0	0	0
Tipulidae	12	0	12	0	0	0	0	0
Totalt	7387	7643	1510	2035	4812	1999	1065	3609

Tabell 5.4.2 Gjennomsnittlig totalt antall bunndyr og antall individer innen ulike hovedgrupper av bunndyr (N m⁻²) på ulike dyp i Store Gryta, før (98-00) og etter (01-02) termoklinsenknningen i Breisjøen.

Grupper	98-00	01-02	98-00	01-02	98-00	01-02	98-00	01-02
	Alle dyp	Alle dyp	4 m	4 m	10 m	10 m	34 m	34 m
Nematoda	708	513	201	283	436	124	71	106
Oligochaeta	1305	796	814	584	374	18	118	195
Gastropoda	64	88	64	88	0	0	0	0
Lamellibranchiata	206	318	26	0	38	0	142	318
Hydracarina	115	71	13	0	90	71	12	0
Chydoridae	52	53	0	18	52	35	0	0
Copepoda,cycl.	288	354	75	18	119	230	94	106
Ostracoda	1852	778	12	0	543	389	1297	389
Sialidae	24	53	12	53	12	0	0	0
Ephemeroptera	24	212	24	212	0	0	0	0
Trichoptera	26	18	26	18	0	0	0	0
Chironomidae	7389	7042	4055	2512	2756	3822	578	708
Ceratopogonidae	97	478	84	425	13	53	0	0
Tipulidae	0	0	0	0	0	0	0	0
Totalt	12150	10775	5405	4211	4434	4742	2312	1822

5.5. Fisk

Garnfiske er utført i slutten av september, og fisket har pågått i 3 netter med standardiserte garnserier. I begge innsjøene dominerer brunørret (*Salmo trutta*) og abbor (*Perca fluviatilis*). I Breisjøen er det klart mere abbor enn ørret (Tabell 5.5.1 og 5.5.2). På basis av teinefangster og merking av abbor i 1998 og 1999, ble abborbestanden i Breisjøen beregnet til å være på ca 11.000 individer, noe som tilsvarer ca 50 abbor per dekar (1000 m²). Basert på garnfangster av brunørret og abbor synes brunørretbestanden i Breisjøen, basert på individantall, å være ca 7% av abborbestanden, noe som tilsvarer ca 3,5 antall ørret per dekar.

I Store Gryta synes bestanden av abbor og ørret å være tilnærmet like store. Fordi teinefangster av abbor gav betydelige mindre fangster i Store Gryta, ble bestandsestimatene her langt dårligere. Hvis en ser på forholdet mellom antall abbor fanget i Store Gryta sammenliknet med Breisjøen i perioden 1998-2002 (Tabell 5.5.1 og 5.5.2) kan en anta at abborbestanden i Store Gryta er på ca 3.400 individer, noe som tilsvarer ca 40 abbor per dekar i Store Gryta. Forholdet mellom fangster av abbor og ørret i Store Gryta tilsier da en tetthet av brunørret på ca 35 individer per dekar.

Kjønnfordelingen innen abbor og brunørretbestandene er svært like i de innsjøene. For brunørret har begge innsjøene overvekt av hanner (ca 60%), mens det for abbor er tilsvarende overvekt av hunner (ca 60%) i begge innsjøene (Tabell 5.5.1 og 5.5.2)

Begge innsjøene har også mindre bestander av ørekyt (*Phoxinus phoxinus*) og røye (*Salvelinus alpinus*). Garnfangster har til nå gitt ni røyer i Store Gryta (vekt: 264 ± 50 g) og 3 røyer i Breisjøen (vekt: 350 ± 13 g).

Lengdefordeling vekt og kondisjon.

Det er ikke gjort aldersbestemmelse av fisken, men skjellprøver og otolitter er samlet inn og lagret.

Kondisjonen til en fisk, uttrykt som et forhold mellom lengde og vekt, vil gjenspeile tilgangen på mat og generelle vekstforhold for fisken. Det er vanlig å uttrykke kondisjonen med en faktor (K_f) beregnet etter formelen:

$$K_f = \frac{100 \times \text{Vekt}}{\text{Lengde}^3}$$

Median lengde på abbor i Breisjøen ligger på 11,3-11,8 cm (hvh. før og etter termoklinsenknigen), median vekt på 30-43 g, og median kondisjonsfaktor på 0,92-0,93 (Tabell 5.5.3). Tilsvarende er median lengde på abbor i Store Gryta 16,5-18,5 cm, vekt: 47-72 og kondisjonsfaktor: 1,07-1,14. Antall abbor er altså færre i Store Gryta, men størrelsen og kondisjonsfaktoren er høyere enn i Breisjøen. Større median vekt i Store Gryta henger også sammen med at abborpopulasjonen i denne innsjøen primært består av to lengdeklasser, 9-14 cm og 15-20 cm, mens Breisjøen kun har en dominerende lengdegruppe fra 9-14 cm (Figur 5.5.1). Maskevidden i garna som er benyttet tyder på at abbor i lengdeklasse < 8.0 cm i liten grad er fiskbar. Største abbor som er tatt i Breisjøen var 500g (hunn) og største som er tatt i Store Gryta er 223 g (også hunn). Sammenlikner en lengde, vekt og kondisjon før og etter termoklinsenknigen i Breisjøen synes det å være en svak nedgang i størrelse og kondisjon av abbor i Breisjøen (Tabell 5.5.3). Siden samme tendens til nedgang også dokumenteres i kontrollsjøen, Store Gryta, er det lite som tyder på at termoklinsenknigen i seg selv, så langt har hatt betydning for abbores størrelse eller kvalitet. Sammenlikner en lengdeklassen 9-14 cm, som det finnes et stort antall av i begge innsjøene finner en derimot en klar økning i denne gruppens lengde og vekt (Tabell 5.5.4, Figur 5.5.2), og til en viss grad også kondisjon. Siden samme tendens observeres i begge innsjøene, kan en ikke se at termoklinsenknigen per se, så langt heller ikke har hatt noen innvirkning på denne lengdegruppens størrelse og kvalitet. I Store Gryta har vi også en relativt stor gruppe innen lengdeintervallet 15-20 cm. Disse har vist en tendens til redusert gjennomsnittslengde, vekt og kondisjon de to siste årene, sammenliknet med de 3 foregående årene. Endringer i størrelse og kvalitet av abbor over tid skyldes derfor sannsynligvis interne populasjonssvingninger, hvor tidsseriene er for korte til å kunne finne forklaringer på. Om varme somrer kan påvirke abbores vekst er det for tidlig å si noe om. Termoklinsenknigen i Breisjøen synes ikke å ha hatt noen effekt på abbores størrelse eller kondisjonsfaktor etter to år med manipulering.

Median lengde på brunørreten i Breisjøen ligger på 26-27cm, median vekt på 165-205 g, og median kondisjonsfaktor på 0,89-1,00 (Tabell 5.5.4). Tilsvarende er median lengde på brunørret i Store Gryta 22-24cm, vekt: 92-129 og kondisjonsfaktor: 0,90-0,96. Populasjonene av ørret i Breisjøen er mindre enn i Store Gryta, mens ørreten gjennomgående er større i Breisjøen. Basert på maskestørrelsen i fiskegarnene synes det som om brunørret < 12 cm i liten grad er fangbar. Her spiller selvsagt også det faktum at yngel primært finnes i gytebekkene fram til en hvis alder/størrelse, Mens de minste ørretene som ble tatt i Store Gryta lå på ca 12 cm, lå de minste ørretene i Breisjøen på 19 cm (Tabell 5.5.4). At en ikke har fått brunørret i Breisjøen < 19 cm til tross for at fiskegarnas fangbarhet i alle fall går ned til fisk på ca 12 cm, kan tyde på at småørret i stor grad prederes av stor abbor i Breisjøen. Hvis en sammenlikner årene 1998-2000 mot 2001-2002 synes det å være en klar nedgang i brunørretens lengde, vekst og kondisjon de siste to årene (Tabell 5.5.4). Fordi nedgangen synes å være relativ lik i begge innsjøene er det derimot ingen ting som tyder på at termoklinsenknigen i Breisjøen har hatt noen effekt på fiskens størrelse og/eller kondisjon.

Tabell 5.5.1 Garnfangster av brunørret (*Salmo trutta*) i Breisjøen og Store Gryta i perioden før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknigen i Breisjøen.

	1998	1999	2000	2001	2002	Totalt
	Antall	Antall	Antall	Antall	Antall	Antall/%
Breisjøen						
Antall	16	11	22	17	17	83
Hanner %	50	91	64	59	35	60
Hunner %	50	9	36	41	65	40
Store Gryta						
Antall	66	41	94	80	40	321
Hanner %	52	63	47	59	68	58
Hunner %	48	37	53	41	33	42

Tabell 5.5.2 Garnfangster av abbor (*Perca fluviatilis*) i Breisjøen og Store Gryta i perioden før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknigen i Breisjøen.

	1998	1999	2000	2001	2002	Totalt
--	------	------	------	------	------	--------

	Antall	Antall	Antall	Antall	Antall	Antall/%
Breissjøen						
Antall	310	302	263	114	181	1170
Hanner %	53	30	44	33	48	41
Hunner %	47	70	56	68	52	59
Store Gryta						
Antall	90	60	41	58	117	366
Hanner %	36	55	34	38	44	41
Hunner %	64	45	66	63	56	59

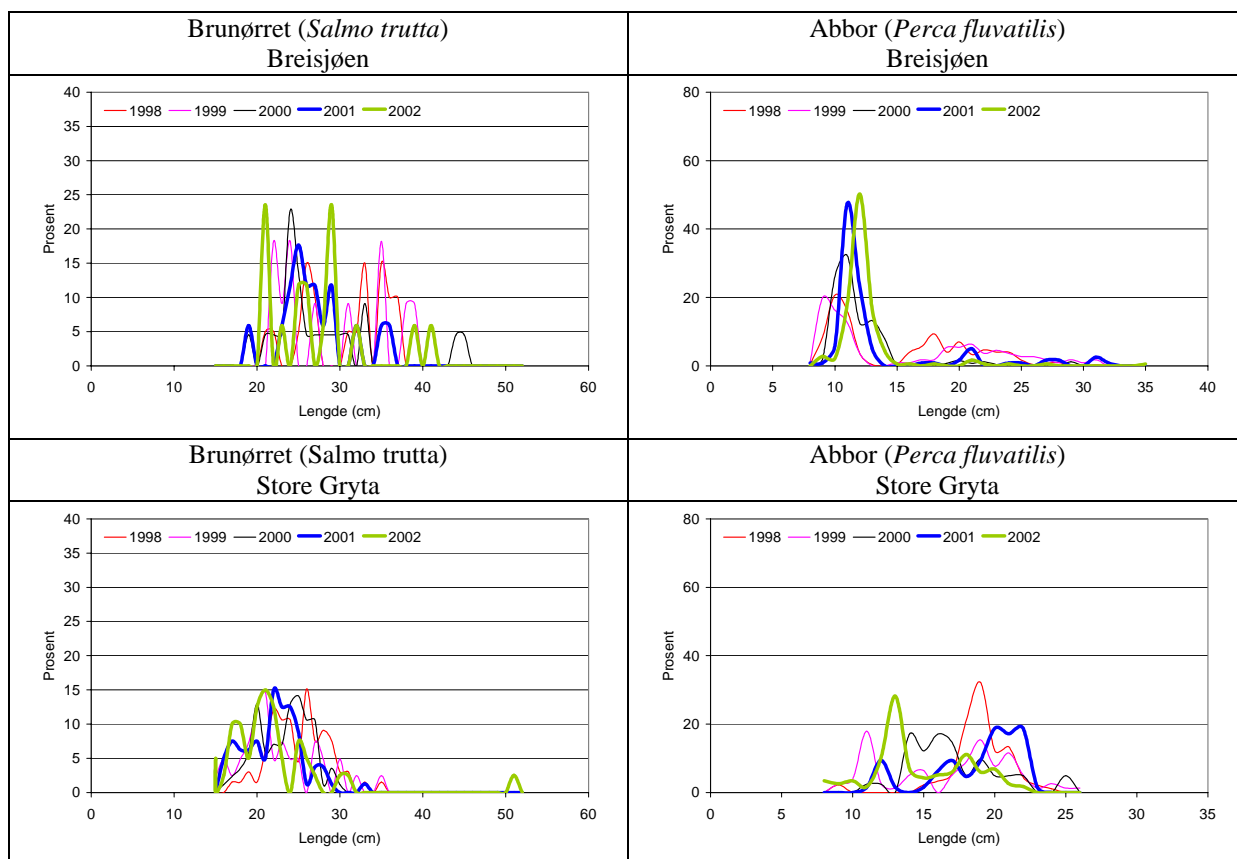
Tabell 5.5.3 Lengde, vekt og kondisjonsfaktor for abbor (*Perca fluviatilis*) i Breissjøen og Store Gryta i perioden før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknigen i Breissjøen.

Lengde (cm)	Kategori	Parameter	Breissjøen		Store Gryta	
			1998-2000	2001-2002	1998-2000	2001-2002
Lengde (cm)	Alle	Gj.snitt ± std	14,0 ± 5,3	12,9 ± 3,9	17,7 ± 3,5	16,1 ± 3,9
		Median	11,3	11,8	18,5	16,5
		Maksimum	33,6	34,0	26,2	23,0
		Minimum	8,3	8,4	8,9	7,8
	Hunner	Gj.snitt ± std	14,6 ± 5,9	13,3 ± 4,5	18,3 ± 3,4	16,8 ± 3,7
		Median	11,5	11,9	18,9	17,4
		Maksimum	33,6	34,0	26,2	23,0
		Minimum	8,5	8,4	8,9	9,0
	Hanner	Gj.snitt ± std	13,3 ± 4,3	12,3 ± 2,8	16,9 ± 3,6	15,2 ± 3,9
		Median	11,0	11,7	18,0	14,6
		Maksimum	25,1	26,7	24,9	22,0
		Minimum	8,3	9,2	9,1	7,8
Vekt (g)	Alle	Gj.snitt ± std	43 ± 61	30 ± 60	72 ± 39	54 ± 35
		Median	13	15	72	47
		Maksimum	500	490	223	142
		Minimum	5	6	6	5
	Hunner	Gj.snitt ± std	52 ± 75	36 ± 73	78 ± 40	59 ± 35
		Median	14	15	78	55
		Maksimum	500	490	223	142
		Minimum	5	6	6	7
	Hanner	Gj.snitt ± std	33 ± 36	22 ± 35	63 ± 35	47 ± 34
		Median	12	15	70	34
		Maksimum	184	260	164	120
		Minimum	5	7	7	5
K-faktor	Alle	Gj.snitt ± std	0,96 ± 0,11	0,94 ± 0,09	1,13 ± 0,10	1,08 ± 0,07
		Median	0,93	0,92	1,14	1,07
		Maksimum	1,53	1,37	1,39	1,28
		Minimum	0,70	0,77	0,84	0,89
	Hunner	Gj.snitt ± std	0,96 ± 0,12	0,93 ± 0,10	1,13 ± 0,10	1,07 ± 0,07
		Median	0,93	0,91	1,13	1,06
		Maksimum	1,53	1,31	1,39	1,28
		Minimum	0,70	0,77	0,84	0,89
	Hanner	Gj.snitt ± std	0,96 ± 0,10	0,94 ± 0,09	1,12 ± 0,11	1,08 ± 0,07
		Median	0,95	0,93	1,14	1,09
		Maksimum	1,25	1,37	1,31	1,25
		Minimum	0,75	0,79	0,89	0,94

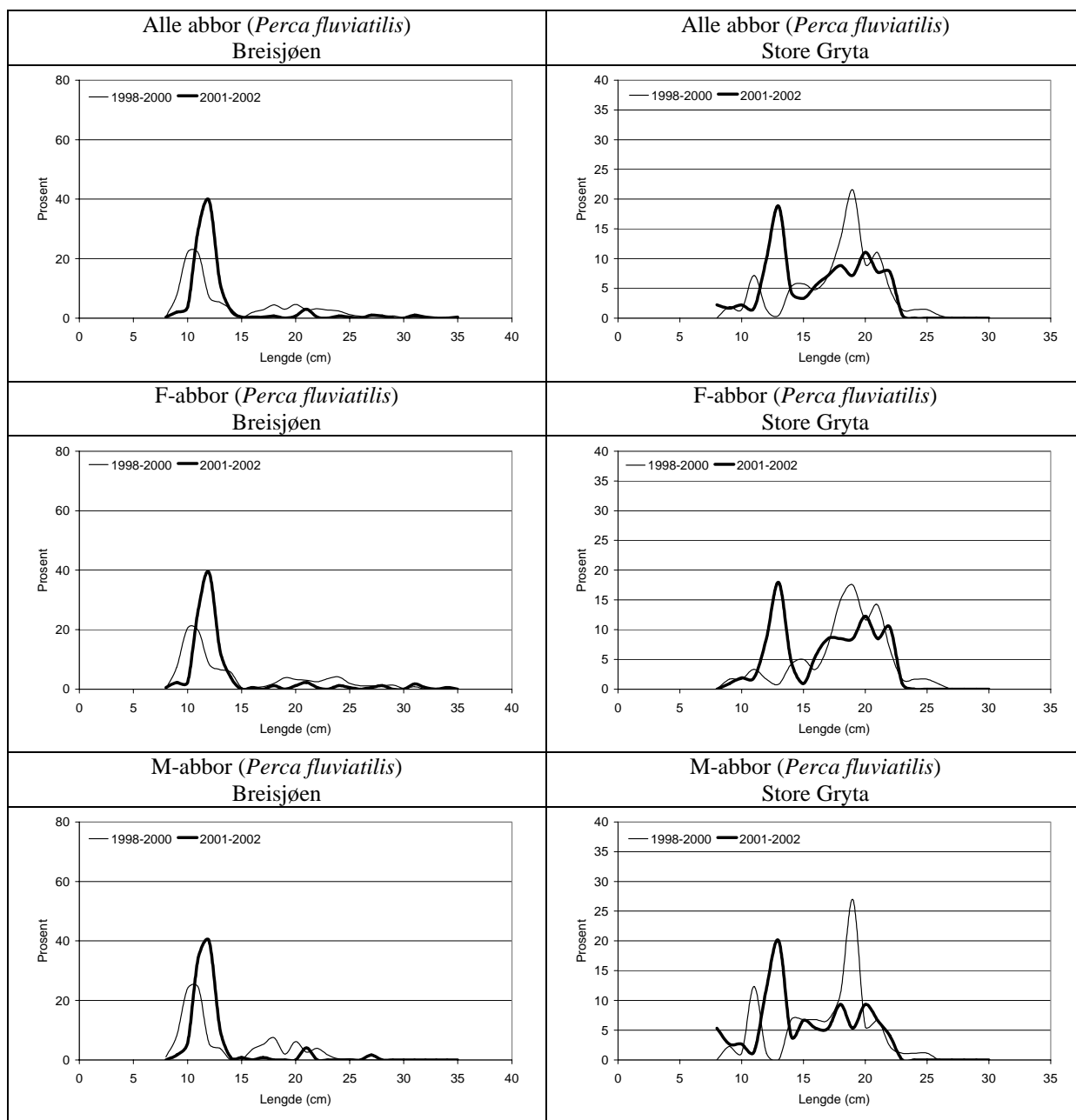
Tabell 5.5.4 Lengde, vekt og kondisjonsfaktor for brunørret (*Salmo trutta*) i Breissjøen og Store Gryta i perioden før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknigen i Breissjøen

	Breissjøen	Store Gryta
--	------------	-------------

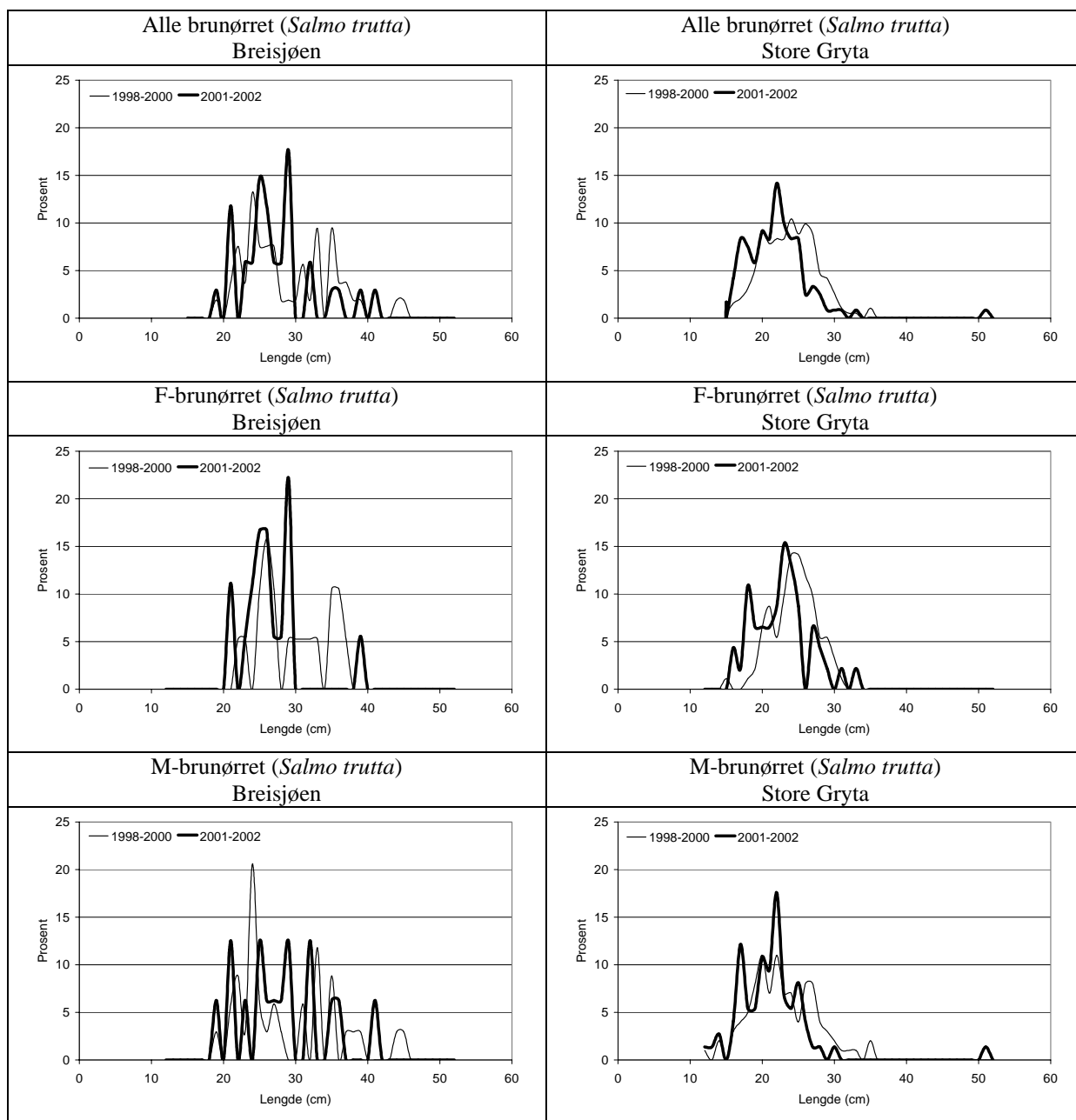
	Kategori	Parameter	1998-2000	2001-2002	1998-2000	2001-2002
Lengde (cm)	Alle	Gj.snitt ± std	29,0 ± 6,1	27,0 ± 5,0	23,6 ± 3,9	21,6 ± 4,7
		Median	27,0	26,0	23,9	21,6
		Maksimum	44,5	41,0	35,0	51,0
		Minimum	19,1	19,0	12,2	11,5
	Hunner	Gj.snitt ± std	29,6 ± 4,8	26,3 ± 4,0	24,4 ± 3,1	22,5 ± 3,8
		Median	29,2	25,8	24,6	22,8
		Maksimum	37,2	39,0	30,6	32,5
		Minimum	22,1	20,5	15,0	16,0
	Hanner	Gj.snitt ± std	28,7 ± 6,8	27,8 ± 6,1	22,8 ± 4,5	21,0 ± 5,1
		Median	26,5	27,3	22,4	21,0
		Maksimum	44,5	41,0	35,0	51,0
		Minimum	19,1	19,0	12,2	11,5
Vekt (g)	Alle	Gj.snitt ± std	279 ± 180	197 ± 131	134 ± 66	103 ± 118
		Median	205	165	129	92
		Maksimum	830	740	536	1300
		Minimum	72	68	19	16
	Hunner	Gj.snitt ± std	290 ± 155	175 ± 86	139 ± 47	104 ± 46
		Median	220	165	139	103
		Maksimum	562	480	273	250
		Minimum	102	78	31	36
	Hanner	Gj.snitt ± std	273 ± 194	223 ± 167	130 ± 79	102 ± 146
		Median	182	170	116	86
		Maksimum	830	740	536	1300
		Minimum	72	68	19	16
K-faktor	Alle	Gj.snitt ± std	1,01 ± 0,10	0,91 ± 0,08	0,96 ± 0,09	0,90 ± 0,09
		Median	1,00	0,89	0,96	0,90
		Maksimum	1,21	1,07	1,41	1,14
		Minimum	0,84	0,80	0,71	0,66
	Hunner	Gj.snitt ± std	1,01 ± 0,09	0,91 ± 0,07	0,92 ± 0,08	0,87 ± 0,09
		Median	1,00	0,92	0,93	0,88
		Maksimum	1,18	1,07	1,12	1,03
		Minimum	0,84	0,81	0,71	0,66
	Hanner	Gj.snitt ± std	1,02 ± 0,10	0,91 ± 0,09	0,99 ± 0,09	0,92 ± 0,08
		Median	1,01	0,89	0,99	0,91
		Maksimum	1,21	1,07	1,41	1,14
		Minimum	0,86	0,80	0,78	0,75



Figur 5.5.1 Lengdefordeling (cm) av alle brunørret (*Salmo trutta*) og abbor (*Perca fluviatilis*) i garnfangstene fra Breisjøen og Store Gryta i perioden 1998-2002.



Figur 5.5.2 Gjennomsnittlig lengdefordeling (cm) av alle abbor (*Perca fluviatilis*) samt gjennomsnittlig lengdefordeling for hunner (F-abbor) og hanner (M-abbor) i Breisjøen og Store Gryta før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenkingen i Breisjøen.



Figur 5.5.3 Gjennomsnittlig lengdefordeling (cm) av alle brunørret (*Salmo trutta*) samt gjennomsnittlig lengdefordeling for hunner (F-abbor) og hanner (M-abbor) i Breisjøen og Store Gryta før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenkningen i Breisjøen.

Tabell 5.5.5 Lengde, vekt og kondisjonsfaktor for abbor (*Perca fluviatilis*) i lengdeintervallet 9.0-14.0 cm i Breisjøen og Store Gryta i perioden før (1998-2000) og etter (2001-2002) termoklinsenknningen i Breisjøen. For St.Gryta er også abbor i lengdeintervallet 15-20 cm tatt med da denne gruppen er relativt tallrik i denne innsjøen (Se Figur 5.5.2).

Lengde (cm)	Kategori	Parameter	Breisjøen		Store Gryta	
			1998-2000	2001-2002	1998-2000	2001-2002
	Alle	Gj.snitt ± std	10.8 ± 1.1	11.7 ± 0.8	11.4 ± 1.4	12.4 ± 1.1
		Median	10.6	11.7	11.2	12.7
	Hunner	Gj.snitt ± std	11.0 ± 1.3	11.8 ± 0.9	11.6 ± 1.2	12.4 ± 1.1
		Median	10.7	11.7	11.4	12.7
	Hanner	Gj.snitt ± std	10.6 ± 0.9	11.6 ± 0.8	11.3 ± 1.5	12.3 ± 1.1
		Median	10.5	11.7	10.9	12.7
Vekt (g)	Alle	Gj.snitt ± std	12 ± 4	15 ± 3	15 ± 6	20 ± 5
		Median	11	15	13	21
	Hunner	Gj.snitt ± std	13 ± 5	15 ± 3	16 ± 6	20 ± 5
		Median	11	15	13	21
	Hanner	Gj.snitt ± std	11 ± 3	15 ± 3	15 ± 7	20 ± 5
		Median	11	15	12	21
K-faktor	Alle	Gj.snitt ± std	0.90 ± 0.07	0.92 ± 0.06	0.98 ± 0.07	1.04 ± 0.06
		Median	0.90	0.91	0.98	1.05
	Hunner	Gj.snitt ± std	0.89 ± 0.07	0.91 ± 0.06	0.98 ± 0.09	1.03 ± 0.05
		Median	0.90	0.90	1.00	1.05
	Hanner	Gj.snitt ± std	0.91 ± 0.07	0.93 ± 0.06	0.99 ± 0.07	1.05 ± 0.07
		Median	0.90	0.93	0.98	1.05
Lengde (cm)	Alle	Gj.snitt ± std			18.0 ± 1.3	17.8 ± 1.3
		Median			18.2	17.8
	Hunner	Gj.snitt ± std			18.1 ± 1.3	17.9 ± 1.3
		Median			18.2	17.8
	Hanner	Gj.snitt ± std			17.9 ± 1.4	17.5 ± 1.2
		Median			18.4	17.8
Vekt (g)	Alle	Gj.snitt ± std			69 ± 16	63 ± 14
		Median			70	63
	Hunner	Gj.snitt ± std			69 ± 16	64 ± 15
		Median			68	62
	Hanner	Gj.snitt ± std			68 ± 17	61 ± 14
		Median			71	65
K-faktor	Alle	Gj.snitt ± std			1.15 ± 0.08	1.10 ± 0.06
		Median			1.14	1.11
	Hunner	Gj.snitt ± std			1.14 ± 0.07	1.10 ± 0.06
		Median			1.13	1.10
	Hanner	Gj.snitt ± std			1.16 ± 0.08	1.11 ± 0.06
		Median			1.17	1.12

5.6. Høyere vegetasjon

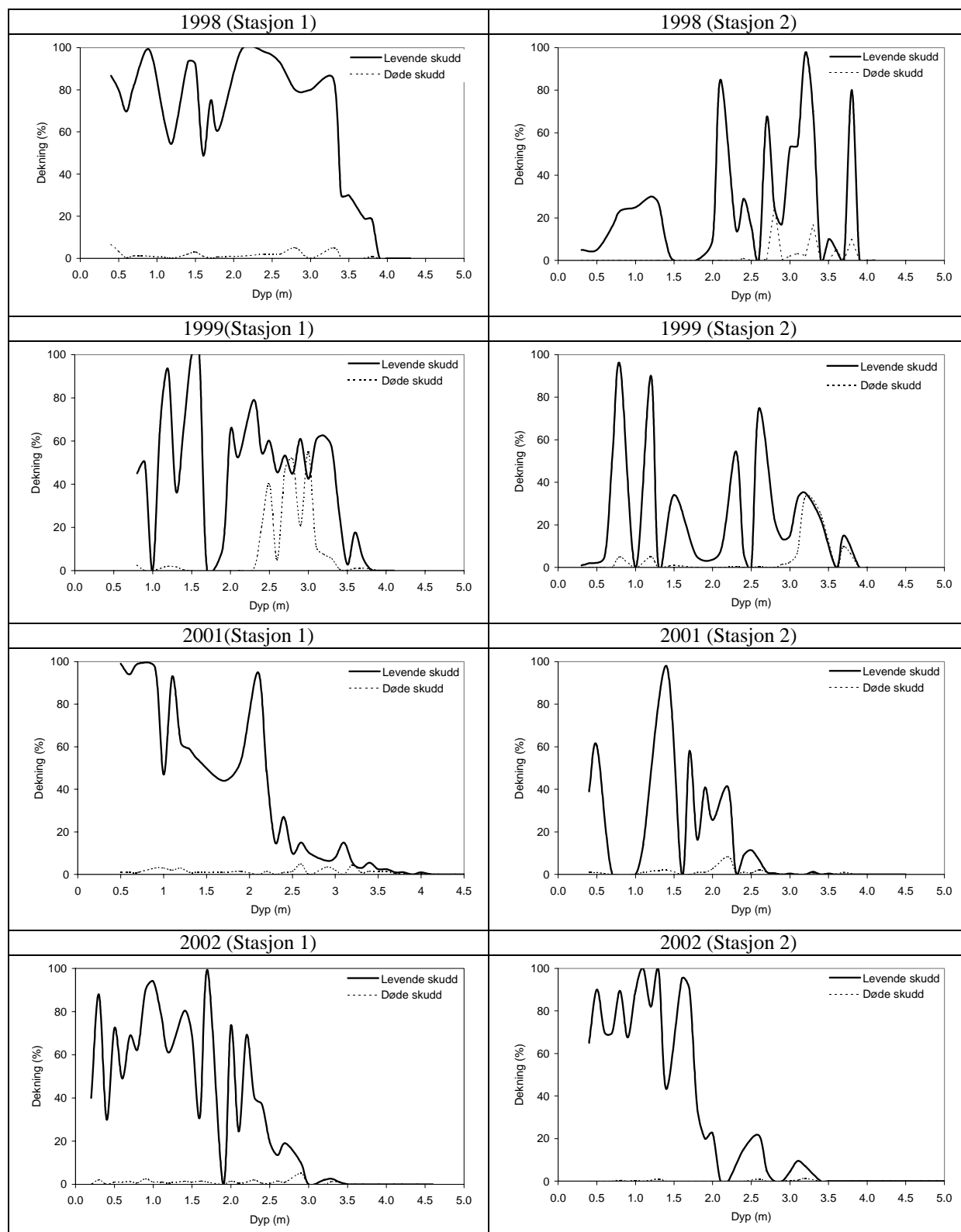
Breisjøen og Store Gryta har svært ulik vannvegetasjon, både med hensyn på sammensetning og utbredelse. I Breisjøen dominerer krypsiv (*Juncus supinus*), med stedvis store forekomster av evjesoleie (*Ranunculus reptans*) på helt grunt vann og flytegro (*Luronium natans*) i begrensede områder. Store Gryta har dominans av flytebladsplanter (nymphaeider), først og fremst vanlig tjønnaks (*Potamogeton natans*) og gul (*Nuphar lutea*) og hvit nøkkerose (*Nymphaea alba* coll.). Kortsukksplanter (isoetider) ble ikke registrert i Store Gryta, mens det i Breisjøen fantes 5 arter. Viktige regulerende faktorer for høyere vegetasjon i innsjøer er vannstandsvariasjoner, lysklima og substratforhold. Disse faktorene er til dels svært forskjellige i de to innsjøene.

Breisjøen har vært brukt som drikkevannskilde og har derfor hatt tillatelse til reguleringsendringer i vannstand opp til 6,5 m. I perioden etter at Thermos-prosjektet startet i 1998, har ikke innsjøen vært brukt som drikkevannskilde og derfor ikke hatt vannstandsvariasjoner ut over det som er normalt. Endringen i hydrologi i Breisjøen i senere år, gjør at endringene i høyere vegetasjon i større grad skyldes disse endringene. Vannstandsreguleringer er kjent å være årsak til dominans av krypsiv, som er lite frosttolerant som muligens også favoriseres av tørrlegging sommerstid (Brandrud og Johansen 1992). I 1998-1999 var det en klar dominans av krypsiv i området fra 0-4 meters dyp. Under 4 meter var sedimentene tilnærmet vegetasjonsløse. Tettete bestander ble funnet på stasjon 1, hvor finere substrattyper er mer dominerende enn på stasjon 2 som er mer vindeksponert og derfor har mer steinete substrat. I 2001 og 2002 viser krypsiv en markant tilbakegang, først og fremst i de dypeste utbredelsesområdene. I disse årene er det svært lite krypsiv lokalisert > 3 meters dyp. Vi kan si at dette skyldes termoklinmanipuleringen i Breisjøen, siden vannstandsreguleringene opphørte rett før Thermos-prosjektet startet. Dette betyr at lysregimet i Breisjøen både har endret seg som følge av dette, og som følge av termoklinsenknningen (se Kap 4.5 om siktedyp og lys). Siden både termoklinendringen og endret vannstandsregimet begge påvirker lysregimet i innsjøen, kan disse to faktorer ikke skilles fra hverandre.

Flytegro (*Luronium natans*) var forholdsvis vanlig på 1-1,5m dyp i Breisjøen. Den finnes både blomstrende med flyteblad og som undervannsform med smale, langspisse blad i rosett. Flytegro er en av de mest truede vannplanter i hele Europa og i den norske rødlista er den betegnet som direkte truet (E) (DN 1999). Arten, som har en svært begrenset utbredelse i Norge, har lenge vært kjent fra Alnsjøen (første gang registrert i ca. 1930), Breisjøen og Svartkulp i Lillomarka. På 90-tallet er den også funnet i Dausjøen og Maridalsvatn i Nordmarka (Rørslett, pers.med.). I Dausjøen, som er en gjennomstrømningsinnsjø med forholdsvis store og raske vannstandsvariasjoner, oversvømmes ofte flytegro-bestandene helt. Til tross for dette er forekomsten stor og kraftig (Rørslett, pers.med.). Bestanden av flytegro synes ikke å være påvirket av termoklinsenknningen i Breisjøen.

Tabell 5.6.1 Vannvegetasjonen i Breisjøen og Store Gryta. Mengdeangivelse: 1=sjelden, 2=spredt, 3=vanlig, 4=lokalt dominerende og 5=dominerende.

Livsformgrupper/arter	Breisjøen	Store Gryta
ISOETIDER – kortsukksplanter		
<i>Isoetes lacustris</i> - stivt brasmegras	2	
<i>Isoetes setacea</i> - mjukt brasemegras	2	
<i>Lobelia dortmanna</i> – botnegras	1	
<i>Ranunculus reptans</i> – evjesoleie	4	
<i>Subularia aquatica</i> – sylblad	1	
ELODEIDER – langskukksplanter		
<i>Juncus supinus</i> – krypsiv	5	2-3
<i>Hippuris vulgaris</i> – hesterumpe	2	
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> – tusenblad		2-3
<i>Utricularia minor</i> - småblærerot	3	1
<i>Utricularia ochroleuca</i> – mellomblærerot	2-3	2
NYMPHAEIDER – flytebladsplanter		
<i>Luronium natans</i> – flytegro	3-4	
<i>Nuphar lutea</i> - gul nøkkerose		3
<i>Nymphaea alba</i> coll. - hvit nøkkerose		3
<i>Potamogeton natans</i> – vanlig tjønnaks		3-4
<i>Sparganium angustifolium</i> – flotgras	2	2
antall arter	11	8



Figur 5.6.1 Dybdefordeling og dekningsgrad av krypsiv (*Juncus bulbosus*) ved to lokaliteter i Breisjøen i perioden 1998-2002.

6. Referanser

- Brandrud, T.E., Johansen, S.W. (1992) Flotgras og krypsiv i terskelbasseng i Otra. Pilotforsøk med testing av frosttoleranse. Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport LNR-2773-92.
- Brettum, P. (1989) Alger som indikator på vannkvalitet i norske innsjøer. Planteplankton. NIVA-rapport: 2344. O-86116. 111 s.
- Dahl-Hansen, Berge, D., Brettum, P., Lindstrøm, E.-A., Lyche Solheim, A., Mjelde, M., Nygaard, K., Primicerio, R., Aanes, K.J. (1998) Limnocult-97. Fase II: Effekter etter ett år med nærings-saltanrikning av et næringsfattig røyevassdrag. Akvaplan-niva rapport nr. 534 1401.
- Dahl-Hansen, Berge, D., Brettum, P., Christensen, G.N., Lindstrøm, E.-A., Lyche Solheim, A., Mjelde, M., Nygaard, K., R., Aanes, K.J. (1999) Limnocult-98. Fase II: Effekter etter to år med nærings-saltanrikning av et næringsfattig røyevassdrag. Akvaplan-niva rapport nr. 534 1401 (II).
- Direktoratet for naturforvaltning, DN (1999). Nasjonal rødliste for truede arter i Norge 1998. Norwegian Red List 1998. DN-rapport 3, 1-161.
- Dons, J. A., Bockelie, J.F., Bryhn, I., Henningsmoen, G., Naterstad, J., Nilsen, O. (1996) Oslo-traktenes geologi med 25 turbeskrivelser. Vett & Viten AS, 208 s.
- Gerloff, G.C., Krombholz, P.H. (1966) Tissue analysis as a measure of nutrient availability for the growth of angiosperm aquatic plants. *Limnol. Oceanogr.*, 11, 529-537.
- Hessen, D.O. (1998) Food webs and carbon cycling in humic lakes. In: D.O. Hessen and L.J. Tranvik, eds) *Aquatic humic substances - ecology and biogeochemistry*. Ecological Studies 133, Springer, 285-315.
- Johansen, S.W. (1987). *Elodea canadensis* i Steinsfjorden. En undersøkelse av plantens vekst og livssyklus i relasjon til de fysiske og kjemiske forhold i littoralsonen. Cand. sci.-oppg. i limnologi, Universitetet i Oslo.
- Kiefer, F. (1981) Beitrag zur Kenntnis von Morphologie, Taxonomie und geographischer Verbreitung von *Mesocyclops leuckartii* auctorum. *Arch. Hydrobiol., Suppl.*, 62, 148-190.
- Kairesalo, T., Jönsson, G. St., Gunnarsson, K., Lindegaard, C., Jönasson, P.M. (1992) Metabolism and community dynamics within *Nitella opaca* (Charophyceae) beds in Thingvallavatn. *OIKOS* 64, 241-256.
- Lid, J., Lid, D.T. (1994) Norsk flora. 6. utg. Det norske Samlaget, Oslo.
- Lindstrøm, E.-A. (1994) Periphyton investigations in HUMEX Lake Skjervatjern in 1992. *Environment Intern.*, 20, 321-328.
- Lindstrøm, E.-A. (1996) The Humic Lake Acidification Experiment (Humex): Impacts of acid treatment on periphyton growth and nutrient availability in Lake Skjervatjern, Norway. *Environment International*. 22, 4: 629-642.
- Lydersen, E., Andersen, T., Brettum, P., Bekken, T., Lien, L., Linstrøm, E.-A., Mjelde, M., Oredalen, T.J. Solheim, A. L., Rørslett, B. (2000) Limnologiske undersøkesler i Breisjøen og Store Gryta 1998/1999. Bakgrunnsrapport Thermosprosjektet. LNR 4307 2000.
- Mjelde, M. (1997) Virkninger av forurensning på biologisk mangfold: Vann og vassdrag i by- og tettstedsnære områder. Vannvegetasjon i innsjøer - effekter av eutrofiering. En kunnskapsstatus. NIVA-rapport LNR-3755-97.

- Nilssen, J.P. og Wærvågen, S.B. (2000). Superficial ecosystem similarities vs autecological stripping: the "twin species" *Mesocyclops leuckartii* (Claus) and *Thermocyclops oithonoides* (Sars)- seasonal habitat utilization and life history traits.
- Olrik, K., Blomqvist, P., Brettum, P., Cronberg, G. og Eloranta, P. (1998) Methods for Quantitative Assessment of Phytoplankton in Freshwaters, part I. Naturvårdsverkets rapport nr.4860. 86 s.
- Ricker, W.E. (1968) Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters. IBP Handbook No. 3. Blackwell Scientific Publications. Oxford and Edinburgh.
- Rørslett, B. (1991). Principal determinants of aquatic macrophyte richness in northern European lakes. Aquatic Botany 39, 173-193.
- Rørslett, B., Brettum, P. (1989) The genus *Isoëtes* in Scandinavia: An ecological review and perspectives. Aquatic Botany 35: 223-261.
- Rørslett, B. Brandrud, T.E., Johansen, S.W. (1990) Tilgroing i terskelbasseng i Otra ved Valle. Problemanalyse og forslag om tiltak Norsk institutt for vannforskning. NIVA-rapport LNR: 2442-90.
- Rørslett, B., Hawes, I. and Schwarz, A.-M. (1997) Features of the underwater light field just below the surface in some New Zealand inland waters. Freshwater Biol., 37, 441-454.
- Rott, E. (1981) Some results from phytoplankton counting intercalibrations. Schweiz. Z. Hydrol. 43. 34-62.
- SFT (1999a) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport- Effekter 1998. Rapport 781/99, 240 sider.
- SFT (1999b)) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfæriske tilførsler, 1999. Rapport 768/99, 146 sider.
- Utermöhl, H. (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mitt. int. Verein. Limnol. 9. 1-38.
- Vegetasjonskart over Oslo, Kartblad CP 046, Grorud (1:10 000, 1984). Oslo Helseråd (kontor for natur og miljøvernaker).
- Vegetasjonskart over Oslo, Kartblad CO 047, Maridalen (1:10 000, 1986). Oslo Helseråd (kontor for natur og miljøvernaker).
- Vegetasjonskart Oslo/Nittedal, Kartblad CP 047, Slattum (1:10 000, 1991). Oslo kommune (etat for miljørettet helsevern, avdeling for natur og miljø) og Nittedal kommune.
- Wetzel, R.G. (1975) Limnology, Chapter 17. W.B. Saunders Company, Philadelphia.