



www.iris.no

Åge Molversmyr

Undersøkelser i
Bjårvatnet 2009

Rapport IRIS – 2010/133

Prosjektnummer: 7941877
Prosjektets tittel: Bjårvatnet 2009

Oppdragsgiver(e): Rogaland fylkeskommune
Forskningsprogram:
ISBN: 978-82-490-0702-8
Gradering: Åpen

Stavanger, 27.09.2010

 27/9-2010


Åge Molversmyr
Prosjektleder

Sign.dato

 27.09.2010

Asbjørn Bergheim
Kvalitetssikrer

Sign.dato

 27/9-2010

Arild Johannessen
Forskningsjef

Sign.dato

FORORD

Rogaland fylkeskommune, Aksjon Jærvassdrag, fikk støtte fra SFT (nå Klif) til å kartlegge og vurdere betydningen av interngjødsling i Bjårvatnet, samt å gjennomføre en innsjøovervåking med fokus på vannsøylen. Sedimentundersøkelsen er basert på analyser av sedimentets sammensetning, samt på forsøk som er gjennomført for å kartlegge potensialet for fosforutlekking under ulike betingelser. I vurderingene av innsjøens tilstand er det også tatt med resultater fra prøvetaking i innløpsbekker til Bjårvatnet, som er gjennomført i kommunal regi men som først ble startet opp i mai 2010. Resultatene fra sedimentundersøkelsen er sammenholdt med sammenlignbare data fra undersøkelser i Hålandsvatnet i Stavanger/Randaberg og i Frøylandsvatnet i Orrevassdraget.

Prøvetaking og registreringer i innsjøen er utført av Kjell Birger Øysæd og Åge Molversmyr ved IRIS, mens sedimentprøver (sedimentkjerner) ble samlet inn av sistnevnte. Forsøk knyttet til karakterisering av sedimentet og interngjødsling som følge av resuspensjon, ble gjennomført ved IRIS sine fasiliteter på Ullandhaug i Stavanger. Ansvarlig for disse forsøkene var seniorforsker Åge Molversmyr.

Analyser av vannprøver og prøver fra resuspensjonsforsøk ble utført av Eurofins i Stavanger, mens analyser av sedimentets sammensetning (sedimentprøver og prøver fra fraksjoneringsforsøk) ble utført av NIVA, Seksjon for analyse, Oslo. Begge laboratoriene er akkreditert for de aktuelle analysene. Analyse av planteplankton er utført av dr. philos Øyvind Løvsstad (Limno-Consult), mens analyse av dyreplankton er utført av dr. philos Anders Hobæk (NIVA).

Databearbeiding og rapportering er utført av seniorforsker Åge Molversmyr, mens kvalitetssikrer har vært seniorforsker Asbjørn Bergheim.

Stavanger, 27. september 2010

Åge Molversmyr, prosjektleder

Nøkkelord: Aksjon Jærvassdrag; Bjårvatnet; interngjødsling; sediment; fosfortilførsler.

INNHold

SAMMENDRAG.....	1
1 INNLEDNING	2
2 MATERIALE OG METODER	3
2.1 Lokalitetsbeskrivelse.....	3
2.2 Prøveinnsamling i felt.....	4
2.3 Karakterisering av sedimentet.....	5
2.4 Laboratorieforsøk.....	6
3 RESULTATER OG DISKUSJON	7
3.1 Vannsøylen.....	7
3.2 Eksterne fosfortilførsler	8
3.3 Sedimentet.....	9
3.4 Konklusjoner.....	16
4 REFERANSER	17
DATAVEDLEGG.....	19

SAMMENDRAG

Bjårvatnet i Hå kommune er relativt næringsrikt med potensial for algeoppblomstringer, men det er forekomst av smal vasspest (*Elodea nuttallii*) som skaper mest bekymring siden denne antas å være en alvorlig trussel mot andre arter i innsjøen. I Fuglestadåna, som er hovedtilførselen til Bjårvatnet, er næringsinnholdet lavt, noe som tyder på at det er andre næringstilførsler (eksterne eller interne) som har større betydning enn hovedvassdraget.

Bjårvatnet er meget grunt og vindutsatt, og det er ventet at sedimentene kan ha betydning for tilstanden i innsjøen. Sedimentene i Bjårvatnet er derfor undersøkt nærmere. Sedimentkjerner ble samlet inn fra 10 lokaliteter, med tanke på å karakterisere overflatesedimentet i ulike deler av innsjøen. Ved en av lokalitetene ble det også tatt en kerne for å karakterisere sammensetningen nedover i sedimenttypet. Det ble dessuten det tatt prøver av overflatesedimentet ved tre av lokalitetene for å belyse potensiell fosforutlekking forårsaket av resuspensjon ved forsøk i laboratoriet. I tillegg er det gjennomført en enkel overvåking av vannsøylen gjennom sommeren og høsten 2009, og det er det gjort enkle beregninger og vurderinger av eksterne fosfortilførsler til Bjårvatnet, fra utløpet av Fuglestadåna og fra lokale tilførsler i nærområdet til innsjøen.

Resultatene viser at vannmassene Bjårvatnet hadde høyt innhold av planteplankton og klorofyll i starten av juli, men utover sommeren og høsten avtok dette til relativt lave nivåer. Målingene indikerer at tilstanden var moderat (sensu Vannforskriften) gjennom undersøkelsesperioden, men dataene kan tyde på dårligere tilstanden tidligere i vekstsesongen. Tilsvarende utviklingsmønster ble funnet også i 2008, men data fra våren og forsommeren mangler.

Beregninger av eksterne fosfortilførsler viser at om lag 550 kg P tilføres Bjårvatnet årlig via Fuglestadåna, og at omtrent like mye kommer fra nærområdet mot nord. Totalt tilføres om lag 1100 kg P/år fra eksterne kilder.

Resultater fra sedimentundersøkelsene viser at overflatesedimentet i Bjårvatnet har høyt innhold av fosfor, men ikke så høyt som i Frøylandsvatnet i Klepp og Time kommuner og Hålandsvatnet i Stavanger og Randaberg. En vesentlig andel av fosforet foreligger på en form som potensielt kan løses ut i vannmassene (pH-labilt P), men til forskjell fra Frøylandsvatnet og Hålandsvatnet var innholdet av redoks-labilt P svært lavt. Organisk innhold i sedimentet (og organisk bundet P) var høyere enn i de to andre nevnte innsjøene. Fosforinnholdet avtar nedover i sedimenttypet, og det var et tydelig skille i sedimentsammensetningen mellom 15 og 20 cm dyp.

Vinddrevet resuspensjon av sediment ventes å være fremtredende i det eksponerte Bjårvatnet, men forsøk tyder på at sedimentpartikler vil frigjøre svært lite fosfor under slike forhold. Resuspensjon vil derfor neppe gi vesentlige bidrag til interngjødslingen i Bjårvatnet, noe som er klart forskjellig fra det en har funnet ved tilsvarende forsøk i Frøylandsvatnet og Hålandsvatnet.

Data kan tyde på at tilbakeholdelsen (retensjonen) av fosfor i Bjårvatnet er svært lav eller negativ tidlig om sommeren, og at algeveksten (i tillegg til vannplantene/vasspesten) da henter en vesentlig del av næringen fra sedimentene. Sedimentkarakteriseringen tyder på at fosforfrigjøring i første rekke kan følge av høy pH i vannet, men massiv oppvekst av vannplanter (vasspest) ventes også å medføre fosforfrigjøring fra sedimentet til vann. Det siste kan tenkes å medvirke til det lave innholdet av redoks-labilt P i sedimentet i Bjårvatnet.

Planlagt fjerning (høsting) av vasspest vil kunne bidra til redusert fosforinnhold i sedimentene, siden fosfor som plantene har hentet derfra vil være knyttet til plantebiomassen. Dette vil i så fall kunne fremskynde en forbedring av tilstanden i innsjøen. Men selv om sedimentfosforet muligens kan reduseres på denne måten, vil det uansett være en forutsetning for varig forbedret tilstand i innsjøen at tilstrekkelig reduksjon av de eksterne tilførslene blir oppnådd.

Referanse:

Molversmyr, Å., 2010. Undersøkelser i Bjårvatnet 2009. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2010/133.*

*Kapittel 1***INNLEDNING**

Bjårvatnet i Hå kommune er relativt næringsrikt, med potensial for betydelige algeoppblomstringer. Men det er forekomsten av smal vasspest (*Elodea nuttallii*) som skaper mest bekymring, siden denne antas å være en alvorlig trussel mot andre arter i innsjøen. Mjelde (2009) har undersøkt forekomsten i Bjårvatnet, og fremholder at det er meget vanskelig å bekjempe vasspest men at reduksjon av næringstilførsler til innsjøen sannsynligvis vil kunne begrense utvikling av store bestander. Det finnes svært få data om tilstand og utvikling i Bjårvatnet, men basert på undersøkelser av vannplanter beskrives tilstanden i utgangspunktet som "god" men redusert til "moderat" som følge av masseforekomst av en fremmed art (Mjelde, op. cit.).

I Fuglestadåna, som er hovedtilførselen til Bjårvatnet, er næringsinnholdet lavt, noe som tyder på at det er andre næringstilførsler (eksterne eller interne) som har større betydning enn hovedvassdraget. Hå kommune startet i mai 2010 prøvetaking i de viktigste tilførselsbekkene i nærområdet til Bjårvatnet, og resultatene herfra vil gi viktig informasjon om lokale tilførsler.

I sedimentene i innsjøer akkumuleres materiale som tilføres utenfra (både uorganisk og organisk materiale), og materiale som har opphav i innsjøene selv (i hovedsak rester av planter og dyr). Innholdet av de fleste forbindelser er langt høyere i sedimentet enn i vannmassene ovenfor, og et sedimentsjikt av noen millimeters tykkelse kan f. eks. inneholde mer fosfor enn hele innsjøens vannmasser. Frigjøring av en liten del av sedimentets fosforinnhold kan derfor føre til store økninger i algeveksten. Fosforet i sedimentet foreligger imidlertid på en rekke ulike former, som ikke alle er like mobiliserbare.

Bjårvatnet er meget grunt og vindutsatt, og det er ventet at sedimentene kan ha betydning for tilstanden i innsjøen og dynamikken i algeoppblomstringer osv. (særlig ved vinddrevet resuspensjon). Det er derfor gjort undersøkelser for å kartlegge sammensetningen av sedimentene i Bjårvatnet, og for å belyse potensialet for fosforutlekking forårsaket av resuspensjon.

Sedimentet i innsjøen var hovedobjektet for undersøkelsene, men det er også gjennomført en enkel overvåking av vannsøylen gjennom sommeren og høsten 2009 (næringsstoffer og relevante biologiske parametere, men med litt mer omfattende analysespekter enn vanlig med bakgrunn i Bjårvatnets kystnære beliggenhet (sjøsalter) og grunnhet (resuspensjon)). I tillegg er det i denne rapporten gjort enkle beregninger og vurderinger av eksterne fosfortilførsler til Bjårvatnet, fra utløpet av Fuglestadåna og fra lokale tilførsler i nærområdet til innsjøen.

Sedimentundersøkelsene er så langt det har vært hensiktsmessig harmonisert med tilsvarende undersøkelser som er foretatt i Frøylandsvatnet i Orrevassdraget (Molversmyr & Andersen 2006) og i Hålandsvatnet i Stavanger og Randaberg (Molversmyr 2010a). Det må presiseres at resultater fra forsøk hvor sediment tas ut av sitt naturlige innsjømiljø og underkastes laboratoriebetingelser alltid vil være forbundet med betydelig usikkerhet. En har f.eks. i laboratoriet et helt annet forhold mellom vannvolum og sediment enn i en innsjø, og forbindelser som løses ut i vannet vil anrikes ulikt det som skjer i naturlige systemer. En vil dessuten ikke kunne direkte ekstrapolere fra forsøk med tidsskala timer/dager til et naturlig innsjøsystem med tidsskala uker/måneder. Likevel kan slike forsøk gi nyttig informasjon om prosesser og forhold som kontrollerer stoffutveksling mellom vann og sediment. Resultatene som presenteres i denne rapporten må derfor vurderes med dette for øye, og ikke oppfattes som absolutte sannheter.

Kapittel 2

MATERIALE OG METODER

2.1 Lokalitetsbeskrivelse

Bjårvatnet har et nedbørfeltet på 43,5 km², og av dette utgjør innsjøen 0,85 km² (ca. 2 %). Teoretisk oppholdstid er svært kort (tabell 1). Bjårvatnet er svært grunt, og svært eksponert mot dominerende vindretning fra havet. Bjårvatnet vil normalt ikke ha temperatursjiktning om sommeren, og vannmassene vil sirkulere mer eller mindre kontinuerlig. Tette bestander av vannplanter (vasspest) kan imidlertid hindre vannbevegelser i utstrakt grad og motvirke resuspensjon av sedimenter. Morfometriske data er vist i tabell 1 (innsjøvolum beregnet med utgangspunkt i dybdekart).

Tabell 1. Morfometriske data for Bjårvatnet.

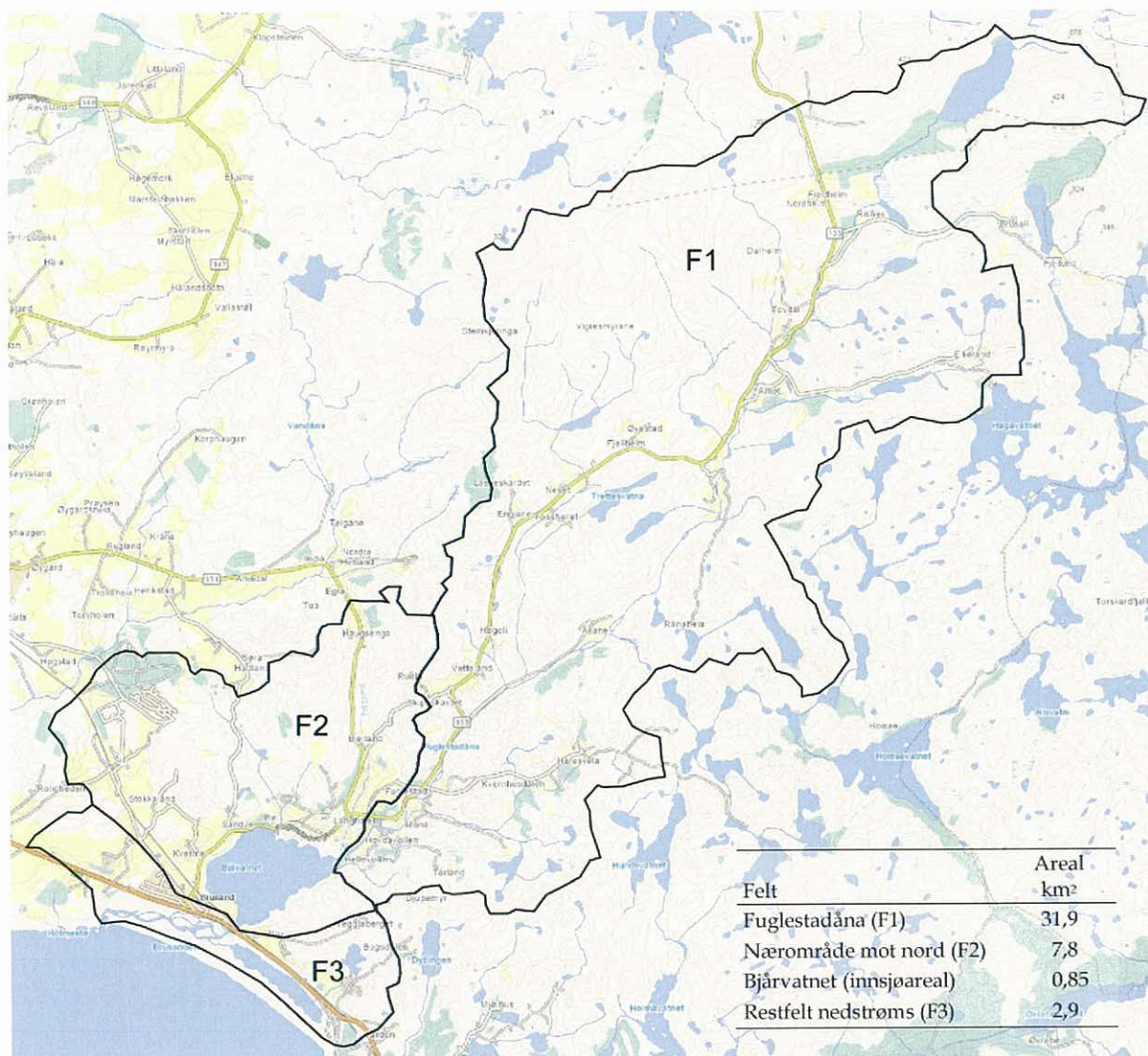
Parameter	Størrelse
Innsjøareal (km ²)	0,85
Innsjøvolum (10 ⁶ m ³)	1,31
Maksimalt dyp (m)	3,0
Middeldyp (m)	1,5
Teoretisk oppholdstid (år)	0,02



Figur 1. Dybdekart for Bjårvatnet (Mjelde 2009).

Teoretisk oppholdstid for vannet i Bjårvatnet er svært kort (om lag en uke), og vannutskiftingen skjer raskt. Men mye av vannstrømmen etter hovedinnløpet fra Fuglestadåna i nordøst kan ventes å gå langs østre kant av innsjøen til utløpet i sør. Vannet i den nordlige og vestlige delen av innsjøen kan dermed tenkes å ha vesentlig lengre oppholdstid.

Ca. 24 % av nedbørfeltet er dyrka areal, og de største arealene med dyrka mark ligger i nedre deler av nedbørfeltet, i nærområdet til Bjårvatnet mot nord (felt F2; se figur 2).



Figur 2. Nedbørfeltet til Bjårvatnet og Fuglestadåna

2.2 Prøveinnsamling i felt

Fra vannsøylen ble det tatt 5 prøver i perioden fra juli til oktober 2009, som betyr at første del av feltsesongen ikke var gjenstand for prøvetaking. Prøvene ble tatt ved stasjon "Bjår" (se figur 3) som blandprøver av vannsøylen 0-1 meter ved hjelp av en rørprøvetaker. I felt ble det også målt temperatur og oksygeninnhold i vannet. Siktedyp lot seg bare måle ved den første prøvetakingen i juli, siden en de andre gangene kunne se helt til bunnen (eller til bunnær vannvegetasjon). Vannprøver ble analysert etter standardiserte metoder, i henhold til parameteromfanget vist i datavedlegget.

Sedimentprøver fra Bjårvatnet ble samlet inn den 9.9.2009. Fra samtlige prøvestasjoner (figur 3) ble det tatt sedimentkjerne hvor overflatesediment (0-1 cm) ble tatt av for å karakterisere sedimentet i ulike deler av innsjøen. Fra prøvestasjonen "Bjår" ble det også tatt en kerne med tanke på karakterisering av sammensetning i ulike sedimentdyp. I tillegg ble det fra stasjonene "Bjår", "Bj-2" og "Bj-9" tatt kjerne der overflatesediment (0-1 cm) ble analysert for ulike fosforfraksjoner (se avsnitt 2.3), samt benyttet til resuspensjonsforsøk i laboratoriet (se avsnitt 2.4).

Sedimentkjernene ble tatt med en Uwitec Corer (www.uwitec.at) rørprøvetaker med prøverør av klar PVC (lengde: 60 cm, indre diameter: 59,5 mm). Kjerner ble transportert til land i intakt form, og kort tid etter prøvetaking splittet i 1 cm tykke sjikt for videre karakterisering og bruk i forsøk.



Figur 3. Prøvestasjoner i Bjårvatnet.

2.3 Karakterisering av sedimentet

En sedimentkjerne tatt ved stasjon "Bjår" ble splittet i 1 cm tynne sjikt i hele kjernenes lengde, og utvalgte sjikt ble analysert for innhold av total fosfor og jern, samt vanninnhold og organisk stoff (glødetap). Torrstoff og gløderest ble bestemt i henhold til Norsk standard NS 4764, etter tørking ved 105 °C og gløding ved 550 °C. Innholdet av total fosfor og jern ble bestemt i henhold til NS-EN ISO 11885 (ICP-AES) etter opplutning iht. NS 4770. Også for de resterende lokalitetene ble overflatesedimentet (0-1 cm) tatt av, og underkastet de samme analysene.

Overflatesediment tatt ved lokalitetene "Bjår", "Bj-2" og "Bj-9" ble i tillegg nøyere karakterisert ved at ulike fosforfraksjoner i sedimentet ble bestemt etter en sekvensiell ekstraksjonsmetode beskrevet av Psenner *et al.* (1984), og modifisert av Hupfer *et al.* (1995) og Rydin (2000). Innholdet av total fosfor og løst fosfat i ekstraktene ble bestemt i henhold til Norsk standard NS 4724 og NS 4725. Fosforinnholdet i sedimentrestene etter ekstraksjonene ble analysert etter opplutning med $K_2S_2O_8$ ved 120 °C i 1 time. Tabell 2 viser en oversikt over sekvensielle ekstraksjonsprosedyrer, og hvilke fosforfraksjoner en forventer å finne. Summen av redoks-labil P og løst uorganisk del av pH-labil P regnes som ikke-apatitt-bundet uorganisk fosfor (Non Apatite Inorganic P; NAIP) som antas å representere den delen av fosforet som kan frigjøres ved høy pH eller oksygenvinn. Refraktiv P estimeres som differansen mellom totalt P og summen av redoks-labil, pH-labil og organisk P (siden innholdet av løst og adsorbent P oftest er neglisjerbart). Dette omfatter alle former av fosfor som ikke vil frigjøres ved vanlige kjemiske og biologiske prosesser i innsjøen.

Tabell 2. Oversikt over sekvensiell prosedyre for ekstraksjon av fosfor, samt forventede fosforfraksjoner (etter Psenner et al. (1984) og Hupfer et al. (1995)).

Ekstraksjonsmåte (tid)	Forventet P-fraksjon
1. 1 M NH ₄ Cl (0,5 t)	Løst og adsorbert (svakt bundet) P.
2. 0,11 M Na ₂ S ₂ O ₄ (1 t) (bikarbonat/ dithionit)	Redoks-labil P. P bundet til jernhydroksid og manganforbindelser.
3. 1 M NaOH (16 t)	pH-labil P. P bundet til metalloksider (særlig Fe og Al); inorganiske P-forbindelser som er løsbare i lut (base), samt organisk P. Organisk P kan regnes som differansen mellom total fosfor og løst fosfat i ekstraktet.
4. 0,5 M HCl (16 t)	I hovedsak P bundet til kalsiummineraler, ofte som tungt løselig apatitt.
5. K ₂ S ₂ O ₈ , 120°C (1t)	Tungtløselig P (residual-P).

2.4 Laboratorieforsøk

Overflatesediment (0-1 cm sjikt) fra stasjonene "Bjår", "Bj-2" og "Bj-9" ble benyttet i enkle laboratorieforsøk knyttet til binding og frigivelse av fosfor fra sedimentpartikler (adsorbsjons-desorbsjons-prosesser), for å belyse potensialet for fosforutlekking forårsaket av resuspensjon. Forsøkene ble utført etter følgende metode:

Slurry av vått sediment tilsvarende ca. 2 g tørrvekt ble resuspendert i 1 liter filtrert innsjøvann. 4 ml slurry ble så fortynnet med 40 ml filtrert innsjøvann i 50 ml sentrifugerør, og 9 rør ble tilsatt kjente mengder fosfat (tilsvarende 0, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200 µg P/l) og satt på ristebord ved romtemperatur i 24 timer. Fosfat ble målt i sentrifugerte prøver, og adsorbert P (µg P/mg tørrvekt) ble beregnet som differansen mellom tilsatt + startkonsentrasjon, og sluttkonsentrasjon. Startkonsentrasjonen er i praksis lik konsentrasjonen av fosfat i slurryen (etter sentrifugering) fortynnet 1:11, siden konsentrasjonen i fortynningsvannet var praktisk talt null.

Kapittel 3**RESULTATER OG DISKUSJON**

3.1 Vannsøylen

Undersøkelsene av vannsøylen har hatt fokus på effekter av næringsstoffbelastning, og relevante resultater er fremtitt og omtalt i dette avsnittet. Men analyseomfanget har også omfattet flere parametere som er relevante i andre sammenhenger (resultatene vist i datavedlegget), som primært har hatt som mål å gi grunnlag for å fastsette vanntype og vurdere generell tilstand.

For fastsettelse av vanntype benyttes i tillegg til innsjøens størrelse og lokalisering i første rekke data om vannets kalkinnhold og humusinnhold (målt som kalsium og farge). De fåtallige måleresultatene fra Bjårvatnet viste ganske store variasjoner i både kalsium og farge (datavedlegg), og samsvarer med målinger utført av Mjelde (2009) i 2008. Særlig for kalsium indikerer de høyeste verdiene påvirkning fra nærområdene, mens lavere verdier tyder på større tilsig fra den mer kalkfattige Fuglestadåna. Basert på gjennomsnittsverdier var både kalsiuminnhold og farge nær grenser mellom ulike vann typer, slik disse er gitt i klassifiseringssystemet for miljøtilstand i vann (Direktoratsgruppa for vanddirektivet 2009). Ved første og siste måling tilsier resultatene kalkrikt og klart vann (vann type 8, L-N1), mens de resterende målingene indikerer kalkfattig, humøst vann (vann type 2, L-N3). Legges flertallet av målingene til grunn, kan Bjårvatnet altså antas å tilhøre vann type 2 (L-N3) slik det er beskrevet av Direktoratsgruppa for vanddirektivet (2009), og dette er lagt til grunn for videre beskrivelser i denne rapporten.

Ved første prøvetaking i starten av juli var det høyt innhold av planteplankton og klorofyll, relativt mye total fosfor, men lite total nitrogen (figur 4). Det siste gjenspeiler at nitratinnholdet var knapt detekterbart på dette tidspunktet, og resultatene indikerer at det hadde vært høy biologisk aktivitet og nitratopptak i perioden før prøvetakingen. Dessverre mangler en data fra våren og forsommeren, som kunne vise hvordan forholdene var tidligere i vekstsesongen. Utover sommeren og høsten avtok algebiomassen og fosforinnholdet, mens nitrogeninnholdet økte (figur 4; en usannsynlig høy klorofyllverdi den 9. september antas å være resultat av analysefeil, og er utelatt fra figuren). Økende totalnitrogen var et resultat av økende nitratinnhold (se datavedlegg), og mengden av partikulært nitrogen (og evt. organisk bundet løst nitrogen) var relativt konstant i denne perioden (målt som forskjellen mellom totalt nitrogen og løst nitrat).

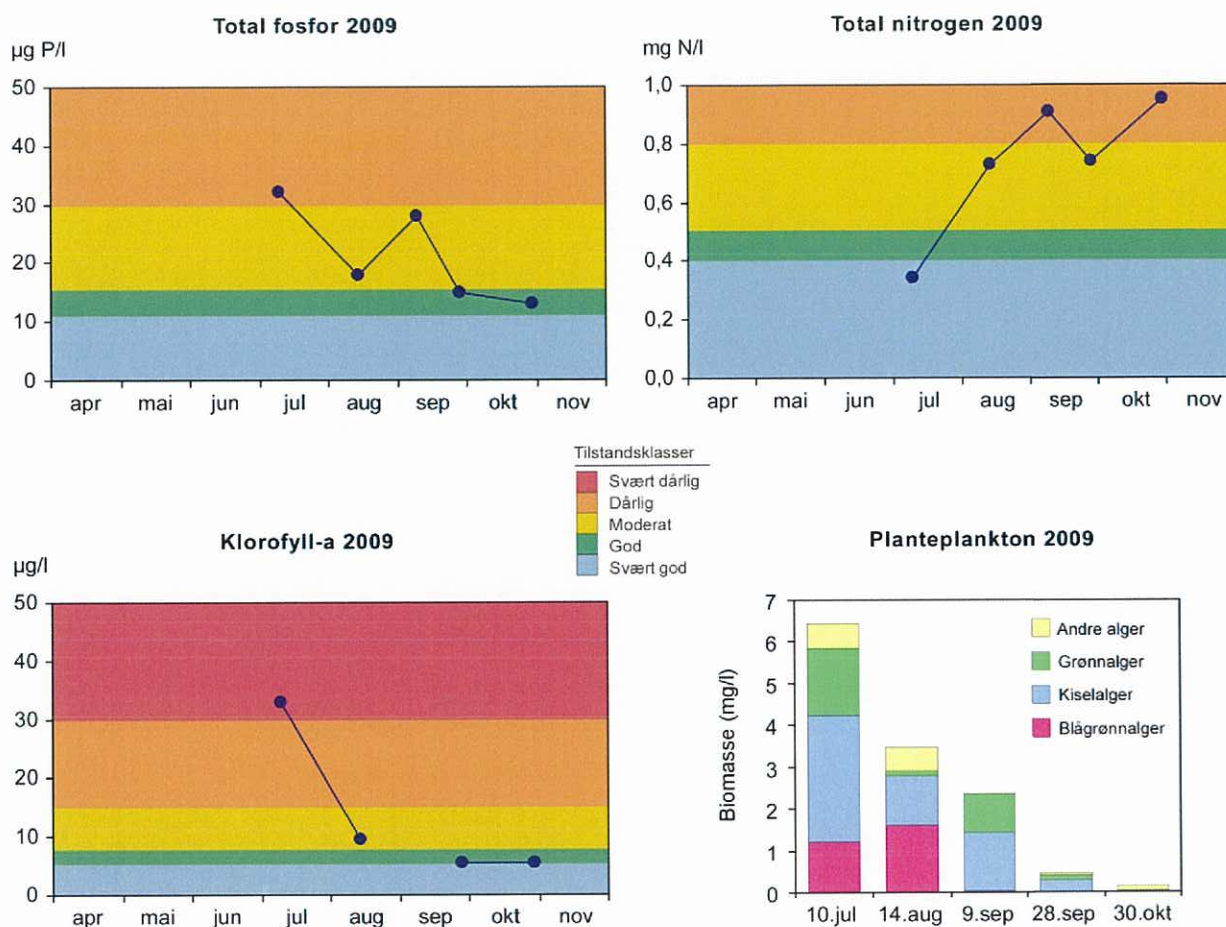
Kun i juli og august var det et vesentlig innslag av blågrønnalger i planteplanktonet (figur 4), da arten *Aphanothece clathrata* oppnådde en viss biomasse. Ellers var det mye kiselalger og til en viss grad grønnalger i pantep planktonet.

Dyreplanktonet var fåtallig, men med relativt høyt artsantall hvor mange typisk forbindes med littoral sone eller vegetasjonssoner (se datavedlegg).

Siktedypet var lite (0,9 meter) ved første prøvetaking i starten av juli, som et resultat av høyt innhold av alger i vannet. Utover sommeren og høsten var sikt i vannet betydelig bedre, og en kunne se til bunnen (siktedyp lot seg ikke bestemme). pH i vannet var rundt 7, og verken høy pH eller oksygenmetningen ble målt i undersøkelsesperioden som tegn på høy fotosynteseaktivitet.

Totalt sett indikerer målingene av klorofyll og fosforinnhold at innsjøtilstanden var moderat gjennom undersøkelsesperioden, men resultatene fra starten av juli tyder på dårligere tilstanden tidligere i vekstsesongen.

Målingene viser også at Bjårvatnet er tydelig påvirket av sjøsalter, med relativt høyt innhold av klorid og natrium.



Figur 4. Fosfor, nitrogen og planteplankton i Bjårvatnet 2009.
(Tilstandsklasser angitt iht. nytt klassifiseringssystem for antatt vanntype.)

3.2 Eksterne fosfortilførsler

Fosforbelastning og tilførsler fra nedbørfeltet til Fuglestadåna er tidligere beregnet av Molvermyr *et al.* (2008). I den foreliggende rapporten har en tatt utgangspunkt i datamaterialet fra den gang, men vurdert nøyere hvor mye av tilførslene til Bjårvatnet som kommer fra Fuglestadåna, og hvor mye som tilføres fra lokalfeltet i nærområdet til Bjårvatnet (mot nord). En stor andel av det dyrka arealet i nedbørfeltet ligger i dette nærområdet. Som grunnlag for vurderingene er også benyttet analyseresultater fra prøver som Hå kommune siden mai 2010 har tatt fra tilførselsbekker til Bjårvatnet i dette området, i tillegg til nyere prøveresultater fra Fuglestadåna som samles inn i regi av Aksjon Jærvassdrag.

Beregningene antyder at ca. 550 kg P tilføres Bjårvatnet årlig (i et normalår mht. avrenning) via Fuglestadåna, og at omtrent like mye kommer fra nærområdet mot nord (tabell 3). Tilførselsanslagene er i godt samsvar med hva som måles av fosforinnhold i Fuglestadåna (Molvermyr 2010b), og kan også i rimelig grad harmonisere med måleresultatene fra tilførselsbekkene i nærområdet mot nord (se datavedlegg), selv om en her foreløpig har svært få måleresultater. Dette betyr at Bjårvatnet totalt tilføres årlig om lag 1100 kg P fra eksterne kilder.

Tabell 3. Fosfortilførsler til Bjårvatnet og Fuglestadåna.

Felt	Tilførsler kg P/år	Andel fra kilder (%)		
		Land- bruk	Befolk- ning	Bak- grunn
Fuglestadåna (F1)	550	55	12	33
Nærområde nord (F2)	550	75	19	6
Restfelt nedstrøms (F3)	120	66	25	9
Totalt nedbørfelt	1220	65	16	19

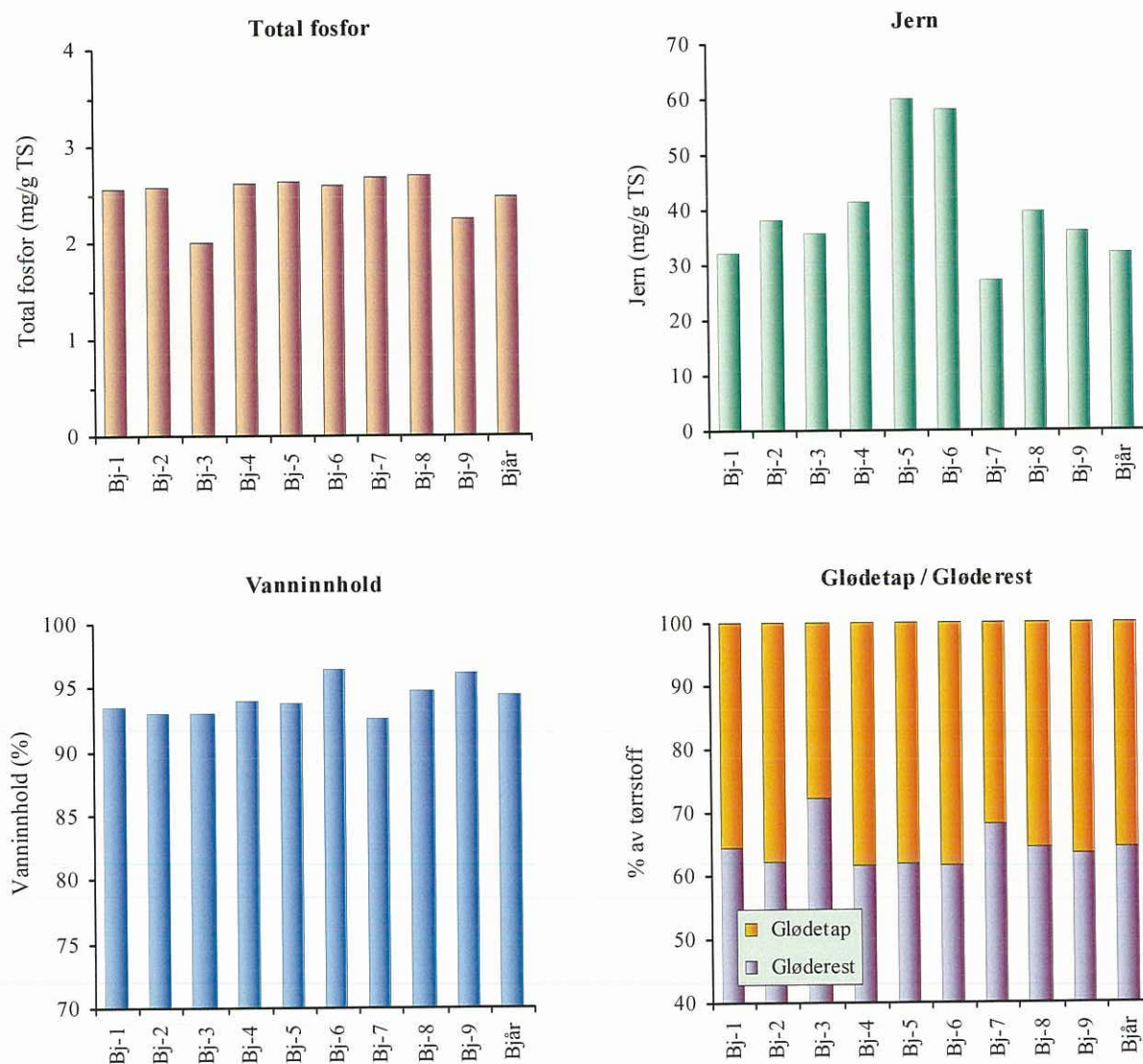
3.3 Sedimentet

3.3.1 Sedimentets sammensetning

Målingene viser at fosforinnholdet i overflatesedimentet i Bjårvatnet var høyt, men ikke så høyt som i Frøylandsvatnet (Molversmyr & Andersen 2006) eller i Hålandsvatnet (Molversmyr 2010a). I gjennomsnitt var fosforinnholdet i sedimentet om lag 2,5 mg P pr. gram tørrstoff, og organisk innhold (målt som glødetap) var ca. 35 %.

Fosforinnholdet i sedimentet varierte lite mellom ulike steder i innsjøen (figur 5). Jerninnholdet varierte derimot betydelig, med høyest innhold i sentrale og sørlige deler av innsjøen. Til en viss grad kan det også se ut til at dette gjelder for vanninnhold og organisk innhold. Disse forskjellene har antakelig sammenheng med forskjeller i innsjødyppet der de ulike sedimentprøvene ble tatt (jamfør figur 1).

Høyt fosforinnholdet i sedimentet indikerer ikke uten videre at fosforutlekkningen fra sedimentet er høy. Studier har vist at fosforinnholdet i vannet i innsjøer i liten grad er korrelert med fosforinnholdet i sedimentet. I stedet synes det å være en god korrelasjon mellom fosforinnholdet i vann, og forholdet mellom jern og fosfor (Fe/P) i sedimentet (Jensen *et al.* 1992; van der Molen & Boers 1994). Dette skyldes antakelig at jern er den viktigste faktoren for binding og immobilisering av fosfor i det øverste aerobe sedimentlaget i de fleste innsjøer (Scheffer 1998).

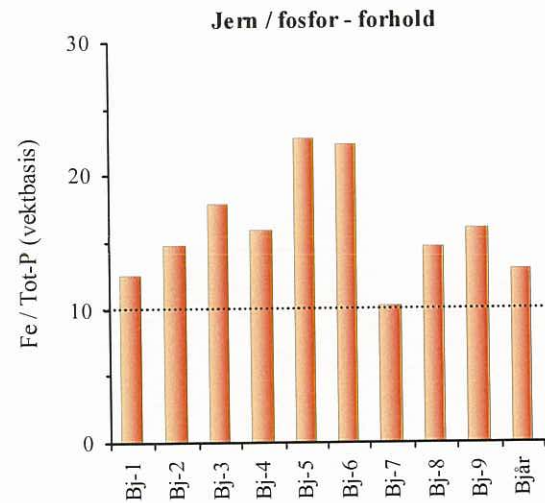


Figur 5. Fosfor, jern, vanninnhold og glødetap i overflatesediment (0-1 cm) i Bjårvatnet. (Prøvestasjoner som vist i figur 3.)

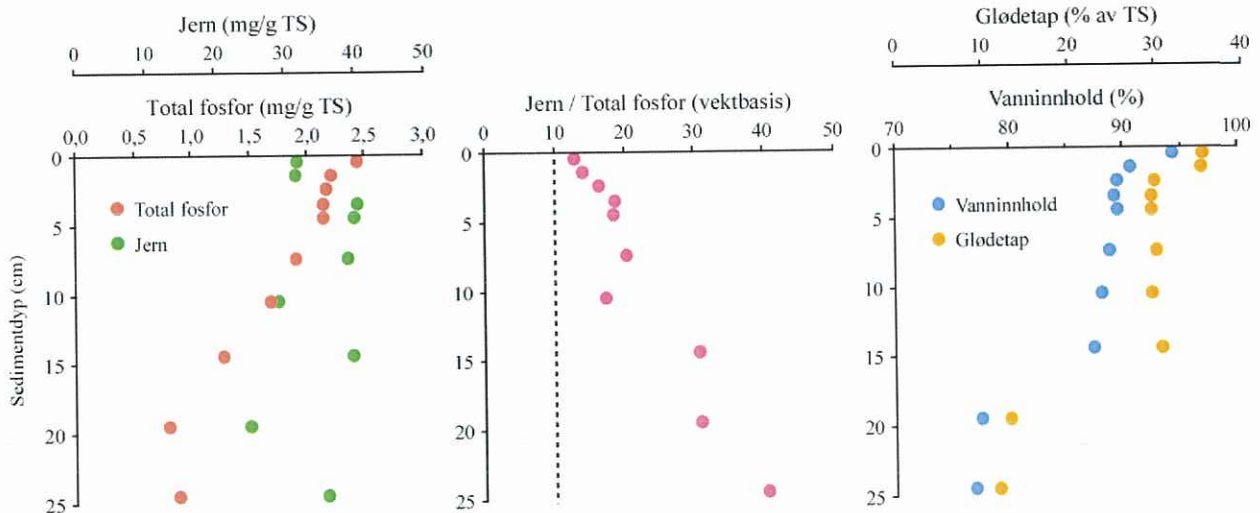
Det synes også å være slik at jernet i sedimentet kan binde mer eller mindre permanent en mengde fosfor som tilsvarer om lag 10 % av sin egen vekt, og at det i stor grad er overskuddsfosfor som kan løses ut i vannet (Scheffer 1998). Ser en på forholdet mellom jern og fosfor i sedimentet i Bjårvatnet (figur 6) er forholdstallet til dels betydelig høyere enn 10 ved de fleste prøvestasjonene, bortsett fra ved prøvestasjon Bj-7 i den nordligste delen av bassenget. Resultatene indikerer at det er tilstrekkelig jern til stede som kan hindre utlekking av fosfor ved normale forhold (så lenge overflatelaget av sedimentet er aerobt).

Fra stasjon "Bjår" ble det også tatt en sedimentkjerne som ble splittet i ulike sjikt og undersøkt mht. de samme parametrene. Resultatene viser at innholdet av fosfor avtok nedover i sedimenttypet, og fra 20 cm og dypere var det mindre enn 1 mg P pr. gram tørrstoff (figur 7). En slik trend ble ikke funnet for jern, og forholdet Fe/Tot-P økte dermed betydelig nedover i sedimenttypet.

Vanninnholdet avtok noe i de øverste centimeterne, men størst reduksjon ble funnet mellom 15 cm og 20 cm sedimentdyp (figur 7). Innholdet av organisk stoff (målt som glødetap) var høyt, og nedover i sedimentet var det samme trend som for vanninnholdet; det ble noe redusert i de øverste centimeterne og så redusert med om lag 2/3 mellom 15 cm og 20 cm sedimentdyp. Resultatene viser et tydelig skille i sedimentsammensetningen i dette dybdenivået.



Figur 6. Forhold mellom jern og fosfor i sediment (0-1 cm overflatesjikt) i Bjårvatnet.



Figur 7. Fosfor, jern, vanninnhold, glødetap og jern/fosforforhold i sedimentet i Bjårvatnet (stasjon "Bjår")

Fra stasjonene Bjår, Bj-2 og Bj-9 (se figur 3) ble det også gjort analyser for å kartlegge på hvilken form sedimentfosforet foreligger. Dette ble gjort ved en sekvensiell ekstraksjonsprosedyre (se avsnitt 2.3 om metoder) med overflatesediment, og resultatene er vist i figur 8.

Som forventet var innholdet av løst og adsorbert P (fraksjonen som løses ut ved ekstraksjon med NH_4Cl ; se tabell 3) svært lavt (< 0,1 % av total P), og blir neglisjerbar i grafiske fremstillinger. Andelen av fosforet som var bundet i redoks-labil P var lav (ca. 5 % av total P), mens innholdet av pH-labil P var betydelig (ca. 55 % av total P). Det er disse to fraksjonene som regnes som potensielt lett mobiliserbare. Organisk bundet P utgjorde ca. 35 % av totalfosforet ved stasjonene Bjår og Bj-2.

Ved stasjon Bj-9 (separat sedimentkjerne fra den vist i figurene 4 og 5) var resultatene avvikende, og her var også vanninnhold og organisk innhold i prøven lavere. Denne prøven antas derfor ikke å være representativ for sedimentet i innsjøen.

Det lave innholdet av redoks-labil P i sedimentet i Bjårvatnet er ulikt det en fant i Hålandsvatnet (Molversmyr 2010a) og i Frøylandsvatnet (Molversmyr & Andersen 2006), der denne fraksjonen utgjorde i størrelsesorden 20-40 % av totalfosforet. Dette har dels sammenheng med at jerninnholdet i Bjårvatnets sediment var lavere enn hva en fant i Hålandsvatnet og Frøylandsvatnet, men det lavere jerninnholdet forklarer ikke alene den lave andelen av redoks-labil P. Resultatene indikerer at det først og fremst er i situasjoner med høy pH i innsjøvannet at vesentlige mengder fosfor kan tenkes å lekke ut fra sedimentene i Bjårvatnet. Slike pH-verdier ble ikke observert i 2009 men det er sannsynlig at det kan forekomme under perioder med høy fotosynteseaktivitet i forbindelse med oppvekst av alger eller vannplanter (se nedenfor).

Innholdet av organisk stoff i sedimentet i Bjårvatnet (ca. 35 % av tørrstoffet, målt som glødetap) var høyere enn hva en fant i Hålandsvatnet (20-25 % i grunt sediment) og Frøylandsvatnet (15-20 % i grunt sediment). Og organisk bundet fosfor (ca. 35 % av tot-P; figur 8) var høyere i Bjårvatnet enn i Hålandsvatnet og Frøylandsvatnet, der denne fraksjonen utgjorde 15-20 % av totalfosforet.

Totalt utgjorde de potensielt lett mobiliserbare fraksjonene i Bjårvatnets sediment ca. 1,5 mg P pr. gram tørrstoff (i hovedsak pH-labil P), mens dette var ca. 1,5-2 mg P/g TS i Hålandsvatnet og i overkant av 3 mg P/g TS i Frøylandsvatnet.

3.3.2 Potensiell fosforutlekking ved resuspensjon og andre frigjøringsmekanismer

Bjårvatnet er sterkt vindpåvirket, og i perioder med kraftig vind vil sediment i innsjøen kunne bli resuspendert. Sedimentpartiklene som derved blir ført ut i vannmassene vil (når sedimentet er fosforanrikt) kunne frigjøre fosfat, og den interne belastningen kan øke betydelig i forhold til situasjonen med et uforstyrret sediment (Søndergaard *et al.* 1992).

Laboratorieforsøke med sediment fra Bjårvatnet viste imidlertid at det ikke er vesentlig potensial for fosforfrigjøring fra resuspendert sediment. I forsøket, hvor fosfat ble tilsatt i suspensjoner av resuspendert sediment (avsnitt 2.4), antas lineær sammenheng mellom adsorbert P og likevektskonsentrasjonen i suspensjonene (figur 9). Denne sammenhengen kan beskrives som

$$y = \frac{y_0}{x_0} (x - x_0)$$

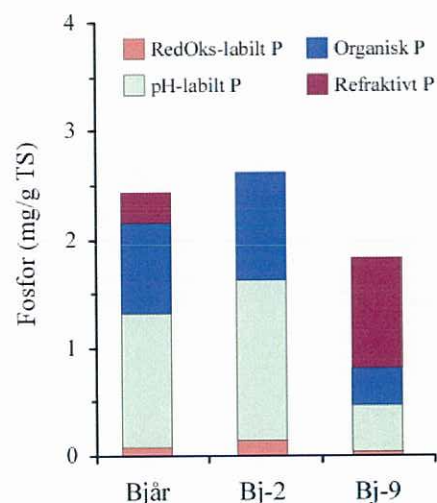
der:

y = adsorbert P ($\mu\text{g P/mg}$ tørrstoff),

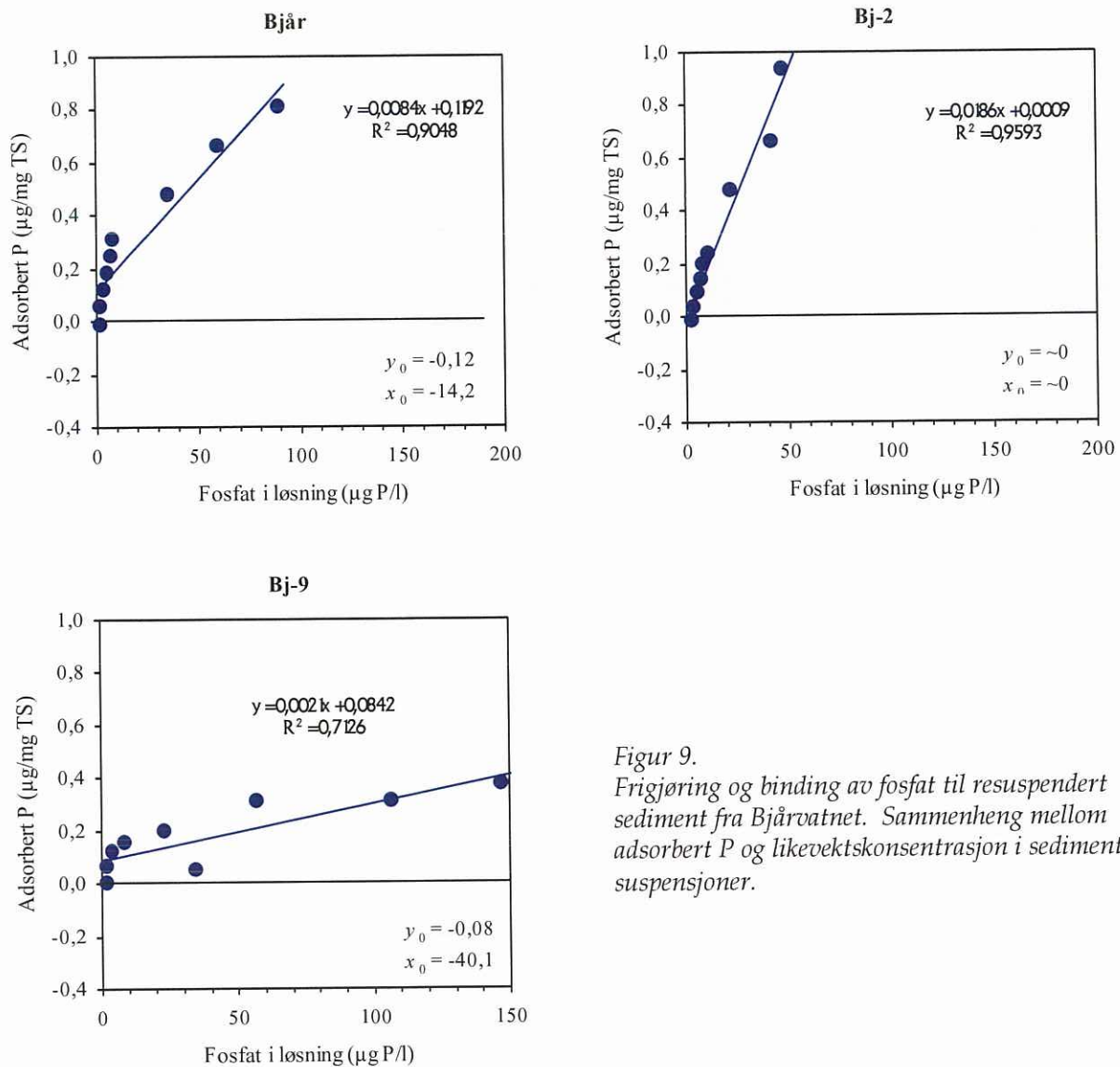
x = likevektskonsentrasjonen ($\mu\text{g P/l}$),

x_0 = likevektskonsentrasjonen hvor kurven skjærer x-aksen, dvs. den konsentrasjonen hvor partiklene verken adsorberer eller desorberer P,

y_0 = skjæringspunkt med y-aksen, dvs. partiklenes opprinnelige innhold av adsorbert P.



Figur 8. Fosforfraksjoner i overflatesediment (0-1 cm) fra tre stasjoner i Bjårvatnet.



Figur 9.
Frigjøring og binding av fosfat til resuspendert sediment fra Bjårvatnet. Sammenheng mellom adsorbent P og likevektsskonsentrasjon i sediment-suspensjoner.

En slik sammenhengen vil indikere at sedimentpartiklene avgir P når fosfatkonsentrasjonene er mindre enn x_0 , mens de vil ta opp P hvis konsentrasjonen er større enn x_0 . Tilsvarende vil y_0 være den maksimale mengden P som kan desorberes hvis fosfatkonsentrasjonen drives mot null (f.eks. av biologisk opptak).

Resultatene fra Bjårvatnet indikerer imidlertid at sedimentpartiklene her ikke vil frigjøre, men heller ta opp fosfat om de blir resuspendert. Selv om resultatene varierer noe (for stasjon Bj-9 var resultatene avvikende, men denne prøven antas ikke å være representativ for innsjøen; se over), og det ikke nødvendigvis er lineær sammenhengen mellom adsorbent P og likevektsskonsentrasjon i suspensjonene (figur 9), gir resultatene entydig signal om at interngjødsling forårsaket av resuspendert sediment neppe vil være av vesentlig betydning i Bjårvatnet.

Disse resultatene står i kontrast til tilsvarende resultater fra Hålandsvatnet og Frøylandsvatnet, der en fant at resuspendert sediment vil kunne avgi betydelige mengder fosfor til vannmassene (Molversmyr 2010a; Molversmyr & Andersen 2006). I Bjårvatnet synes det meste av potensielt mobiliserbart fosfor i sedimentet å foreligge som pH-labil P (se ovenfor), og det er rimelig å anta at høy pH i overliggende vannmasser (pH > 9) vil utløse fosfor fra sedimentene slik en har påvist med i andre innsjøer (f.eks. Frøylandsvatnet; Molversmyr & Andersen 2006). Særlig stor kan slik utlekking være dersom høy pH sammenfaller med episoder med vinddrevet resuspensjon. Potensiell betydning av slik utlekking omtales nærmere nedenfor.

En rekke ulike forhold har betydning for utvekslingen av fosfor mellom sediment og vann, og de rådende forholdene i innsjøen vil avgjøre hvor mye fosfor som eventuelt frigjøres. Mekanismene som styrer utveksling av fosfor er svært komplekse, og omfatter biologiske (f.eks. bakteriell aktivitet, mineralisering, bioturbasjon), kjemiske (f.eks. redoks, pH, jern:fosfor-forhold, nitrat-tilgjengelighet) og fysiske (f.eks. resuspensjon) faktorer (Søndergaard *et al.* 2001). De viktigste forholdene omtales kort her:

Diffusjon av fosfor fra sediment til overliggende vann vil skje nærmest kontinuerlig, og forårsakes av en konsentrasjonsgradient nedover i sedimentet. Porevannet er viktig for denne transporten, og representerer kontakten mellom overliggende vann og fosforet i sedimentet. Oppvirvling av sedimentoverflaten (f.eks. ved vinddrevet resuspensjon) kan øke denne utlekkingen betydelig (Golterman 2004).

Det øverste oksygenholdige sedimentsjiktet danner en effektiv barriere mot utlekking av fosfor fra underliggende lag, men høyt bakterielt oksygenopptak i sedimentoverflaten medvirker til at det oksiderte toppsjiktet blir tynnere. Hvor langt ned i sedimentet oksygen (og nitrat) strekker seg vil avhenge av intensiteten av de mikrobielle prosessene, og høy temperatur vil øke mineraliseringshastigheten og redusere tykkelsen av det oksiderte sjiktet. Slike temperatureffekter kan vesentlig øke fosforutlekking fra aerobe sedimenter i grunne innsjøer (Jensen & Andersen 1992). I Bjårvatnets sediment var imidlertid innholdet av redoks-labil P lavt, og mye mindre enn hva en fant i Frøylandsvatnet og Hålandsvatnet. Fosforfrigjøringen under reduserende forhold kan følgelig ventes å være mindre her. Lavere P-innhold i porevannet, som dette også kan tenkes å medføre, kan dessuten gjøre at fosforfrigjøringen gjennom diffusjonsprosessene omtalt i avsnittet ovenfor er mindre i Bjårvatnet enn i de to omtalte innsjøene.

Turbulens i innsjøvannet er en nøkkelfaktor for utveksling av fosfat mellom sedimentet og vann, ikke bare ved at det medvirker til transport av løst fosfor ut fra sedimentet, men også ved at det tilfører oksygen til sedimentoverflaten og medvirker til å opprettholde det aerobe sjiktet i sedimentoverflaten. I det grunne og vindpåvirkede Bjårvatnet må en i utgangspunktet vente at sedimentet har oksygenrikt overliggende vann. Men fravær av omrøring i vindstille perioder (eller forårsaket av tette bestander av plantevekst; se nedenfor), kombinert med høy temperatur om sommeren, kan tenkes å medvirke til pulsvis frigivelse av fosfor fra sedimentet, særlig om natten når respirasjonsprosesser dominerer.

Fisk kan påvirke omsetningen av fosfor i en innsjø på flere måter, og relatert til sedimentene er bentivor fisk viktigst ved at de spiser bunndyr og organisk materiale i sedimentene. Betydelige mengder sedimentpartikler kan virvles opp når fisken roter i sedimentet etter mat (bioturbasjon). I Bjårvatnet har en lite kunnskap om fiskesamfunnene, men uansett ventes slik oppvirvling av sedimentpartikler ikke å gi vesentlig frigivelse av fosfor (se ovenfor om resuspensjon).

Makrovegetasjon (vannplanter) kan påvirke omsetningen av næringsstoffer i innsjøen på ulike måter, og særlig viktig vil vannplanter være i Bjårvatnet når tette bestander av vasspest vokser opp utover sommeren. I slike situasjoner vil vannplanter antakelig gi det dominerende bidraget til primærproduksjonen, og stå for størstedelen av stoffomsetningen i vannet. Dermed vil en ha den klassiske klarvannssituasjonen dominert av vannplanter, i motsetning til en turbid fase der primærproduksjonen domineres av planteplankton, slik en finner i mange andre næringsrike innsjøer på Jæren og antakelig også i Bjårvatnet om forsommeren. Målingene i vannsøylen i Bjårvatnet i 2010 indikerer en slik overgang fra turbid fase til klarvannsfase om sommeren.

Vannplanter kan hente deler av sine næringsstoffer fra sedimentene (Barko & Smart 1980), og spesifikt henter vasspest hoveddelen av næringsstoffene herfra (Wetzel 1975). Når bestander råtner og mineraliseres om høsten vil fosfor frigjøres til vannmassene, og dette kan representere en potensiell netto transport av næringsstoffer fra sediment til vann (Carpenter 1981; Landers 1982). Også levende planter kan frigjøre fosfor til vannet, og Rørslett *et al.* (1985) fant f.eks. i Steinsfjorden at vasspest (*Elodea canadensis*) på denne måten bidro med fosfortilførsler tilsvarende 45 % av årlige eksterne tilførsler. En slik mulig transport av fosfor fra sediment til vann kan tenkes å medvirke til det lave innholdet av redoks-labil P i sedimentet i Bjårvatnet. På den annen

side kan en stor del av fosforet i detritus fra vannplanter bli tilbakeført til sedimentet (Van Donk *et al.* 1993), og plantevekst kan dermed også medvirke til å fjerne fosfor fra vannet.

Plantevekst vil også frigjøre oksygen under fotosyntesen, og særlig bunnær vegetasjon vil på den måten bidra til å opprettholde det aerobe sjiktet i sedimentoverflaten og øke den redoks-sensitive bindingen av fosfor i sedimentet (Christensen *et al.* 1997). Samtidig vil tette bestander av makrovegetasjon, slik vasspesten danner i Bjårvatnet, hindre resuspensjon av sedimenter (Granéli & Solander 1988), men også redusere den turbulente omrøringen av vannsøylen og dermed hindre tilstrekkelig tilførsel av oksygen til sedimentoverflaten. Et annet forhold er at mens slike bestander vil tilføre oksygen til vannet om dagen, kan oksygennivåene falle dramatisk om natten som følge av plantenes respirasjon. Dette kan medføre at sedimentoverflaten blir anaerob, med utlekking av fosfor som resultat (Stephen *et al.* 1997; Scheffer 1998). Men som nevnt ovenfor indikerer sammensetningen av sedimentet i Bjårvatnet at slik fosforfrigjøring kan være av mindre betydning her enn i andre innsjøer på Jæren. Derimot kan høy fotosynteseaktivitet om dagen kan øke pH i vannet tilstrekkelig mye til at fosforutlekking fra sedimentet finner sted (James *et al.* 1996), og dette er antakelig en viktigere faktor i Bjårvatnet.

Effekter av makrovegetasjon kan derfor i teorien virke begge veier, og i litteraturen finnes eksempler på at makrovegetasjon i innsjøer både kan øke og redusere konsentrasjonen av total fosfor i vannet (Scheffer 1998). Stephen *et al.* (1997) konkluderte imidlertid med at når rotfast makrovegetasjon signifikant påvirket fosforfrigjøringen, var det ved å øke denne.

3.3.3 Betydningen av interngjødsling i Bjårvatnet

Hvor mye fosfor som løses ut fra sedimentet i Bjårvatnet er som nevnt avhengig av en rekke faktorer, og det har ikke vært mulig å gjøre spesifikke estimater av interne tilførsler innenfor rammen av denne undersøkelsen. I Frøylandsvatnet (Molversmyr & Andersen 2006) og Hålandsvatnet (Molversmyr & Sanni 1990) er det beregnet at relativt store mengder fosfor frigjøres fra sedimentene sammenlignet med eksterne tilførsler, men at dette ikke er forårsaket av særskilte forhold men heller må regnes som bakgrunnsbelastning i slike næringsrike innsjøer. Tilsvarende må antas å gjelde for Bjårvatnet, selv om resultatene fra sedimentundersøkelsen indikerer at enkelte frigjøringsprosesser ikke er like viktige her.

Det er ekstraordinære interne tilførsler som vil være av størst betydning for Bjårvatnet, og her tyder sedimentkarakteriseringen på at slike tilførsler i første rekke må antas å kunne følge av høy pH i overflatevannet. Dessuten kan de spesielle forholdene med massiv oppvekst av vannplanter (vasspest) medføre fosforfrigjøring fra sedimentet til vann. Sedimentforsøk tyder derimot på at vinddrevet resuspensjon neppe vil være en viktig bidragsyter til interngjødsling.

Ekstraordinære interne tilførsler vil normalt gjenspeiles i økt innhold av totalfosfor i vannet, men i Bjårvatnet har en få data som kan gi indikasjon om dette. Målingene i 2009 viste relativt høyt fosforinnhold og algebiomasse ved første prøvetaking i midten av juli, som så avtok utover sensommeren og høsten (figur 4). Mjelde (2009) fant lignende verdier og sesongutvikling i 2008, der første prøvetaking ble gjennomført i midten av juni. En mangler dermed data fra våren og forsommer i Bjårvatnet, som kan vise hvilke nivå en har for næringsinnhold (og algebiomasse) i vannet i denne perioden. Næringsinnholdet om ettersommeren og høsten tyder imidlertid ikke på at interngjødsling generelt er en dominerende prosess i denne perioden, men oppveksten av store bestander av vasspest om sommeren vil primært ha sedimentet som sin næringskilde.

Normalt vil en del av fosforet som tilføres fra eksterne kilder holdes tilbake i en innsjø (retensjon), og Bjårvatnets utforming og vanngjennomstrømming tilsier at ca. 15 % av årlig tilført fosfor blir holdt tilbake her (Larsen & Mercier 1976). I lys av beregnede årlige eksterne tilførsler (se avsnitt 3.2) og antatt vanngjennomstrømming vil dette indikere en gjennomsnittlig konsentrasjon av total fosfor i innsjøvannet på om lag 15 µg P/l, som tilsvarer nivået en fant om ettersommeren og høsten både i 2008 (Mjelde 2009) og i 2009. Målingene indikerer at det er høyere fosforinnhold tidligere om sommeren, men det er ukjent hvor høyt og hvor lenge dette eventuelt varer. En vet heller ikke om målingene fra 2008 og 2009 er representative for den generelle tilstanden i Bjårvatnet. En har dessuten ikke spesifikke data om hvordan eksterne tilførsler fordeler seg

gjennom året, men vet at fosforavrenningen kan være vesentlig høyere i flomperioder (f.eks. indikert ved høyere fosforkonsentrasjoner i tilførselsbekkene i slutten av august 2010; se datavedlegg). Våren og forsommeren er imidlertid normalt en relativt tørr periode, og det er lite som tyder på at nedbør og avrenning skulle ha medført ekstraordinære fosfortilførsler til Bjårvatnet i denne perioden verken i 2008 eller i 2009. De fåtallige målingene kan dermed indikere at netto fosforretensjon i Bjårvatnet er svært lav eller endog negativ tidlig om sommeren, og at algeveksten (i tillegg til vannplantene/vasspesten) da henter en vesentlig del av næringen fra sedimentene.

Sedimentet er en integrert del av et innsjøsystemet, og fungerer som en buffer mot endringer i tilførsler utenfra (Scheffer 1998). Reduseres eksterne fosfortilførsler vil sedimentet kompensere ved at fosfor frigis, og interne tilførsler blir viktigere. Dette forsinker effektene av tiltak i nedbørfeltet, siden fosforinnholdet i sedimentet trenger tid for å komme i balanse med det nye belastningsnivået. Forsinket respons er et velkjent fenomen, og Jeppesen *et al.* (2005) fant ved gjennomgang av en rekke tilfeller (grunne innsjøer) at det relativt uavhengig av vannets oppholdstid typisk tok 10-15 år før en ny fosforlikevekt innstilte seg.

Forekomsten av vasspest i Bjårvatnet setter denne innsjøen i en noe spesielle situasjon. Ved å hente næring fra sedimentene (Wetzel 1975) vil mye fosfor være knyttet til de tette bestandene som vokser opp om sommeren, og en planlagt fjerning (høsting) av slike bestander fra innsjøen kan fremskynde en forbedring ved at fosfor fjernes fra innsjøsystemet (sedimentene). Nå kan slik høsting¹ tenkes å forårsake pulsutlekking av fosfor fra skadet plantevev, men Carpenter & Gasith (1978) fant at dette ikke var tilfellet. Og redusert fosforinnhold i sedimentene (og i vannsøylen) vil på sikt medføre mindre potensial for oppvekst av vasspesten. Men selv om sedimentfosforet muligens kan reduseres på denne måten, vil det uansett være en forutsetning for varig forbedret vannkvalitet i innsjøen at tilstrekkelig reduksjon av de eksterne tilførslene blir oppnådd.

1 Et problem med eventuell høsting av vasspest (inkludert transport og avhending) vil være å gjøre dette på en måte som ikke medfører fare for spredning til andre vassdrag, men dette omtales ikke nærmere her.

3.4 Konklusjoner

- I starten av juli hadde vannmassene i Bjårvatnet høyt innhold av planteplankton og klorofyll, men utover sommeren og høsten avtok dette til relativt lave nivåer. Målingene indikerer at innsjøtilstanden var moderat gjennom undersøkelsesperioden, men resultatene fra starten av juli tyder på dårligere tilstand tidligere i vekstsesongen. Dessverre mangler en data fra våren og forsommeren, som kunne vise hvordan forholdene var tidligere i vekstsesongen.
- Beregninger av eksterne fosfortilførsler viser at om lag 550 kg P tilføres Bjårvatnet årlig via Fuglestadåna, og at omtrent like mye kommer fra nærområdet mot nord. Totalt tilføres om lag 1100 kg P/år fra eksterne kilder.
- Overflatesedimentet i Bjårvatnet har høyt innhold av fosfor (ca. 2,5 mg P pr. gram tørrstoff), men ikke så høyt som i Frøylandsvatnet og Hålandsvatnet. En vesentlig andel av fosforet foreligger på en form som potensielt kan løses ut i vannmassene (pH-labilt P), men til forskjell fra Frøylandsvatnet og Hålandsvatnet var innholdet av redoks-labilt P svært lavt. Organisk innhold i sedimentet (og organisk bundet P) var høyere enn i de to andre nevnte innsjøene.
- Fosforinnholdet avtar nedover i sedimenttypet, og dypere enn 20 cm er det mindre enn 1 mg P pr. gram tørrstoff. Det var et tydelig skille i sedimentsammensetningen mellom 15 og 20 cm dyp, med betydelig redusert organisk innhold i dypere lag.
- Vinddrevet resuspensjon av sediment ventes å være fremtredende i det vindeksponerte Bjårvatnet. Men forsøk tyder på at sedimentpartikler vil frigjøre svært lite fosfor under slike forhold, og resuspensjon vil neppe gi vesentlige bidrag til intern gjødslingen. Dette er klart forskjellig fra Frøylandsvatnet og Hålandsvatnet.
- Data kan tyde på at tilbakeholdelsen (retensjonen) av fosfor i Bjårvatnet er svært lav eller negativ tidlig om sommeren, og at algeveksten (i tillegg til vannplantene/vasspesten) da henter en vesentlig del av næringen fra sedimentene. Sedimentkarakteriseringen tyder på at fosforfrigjøring i første rekke kan følge av høy pH i overflatevannet, men massiv oppvekst av vannplanter (vasspest) ventes også å medføre fosforfrigjøring fra sedimentet til vann.
- Planlagt fjerning (høsting) av vasspest ventes å bidra til redusert fosforinnhold i sedimentene, og vil kunne fremskynde en forbedring av tilstanden i innsjøen. Men det vil uansett være en forutsetning for varig forbedret tilstand at en oppnår tilstrekkelig reduksjon av de eksterne tilførselene.

Kapittel 4**REFERANSER**

- Barko, J.W. & R.M. Smart, 1980. Mobilization of sediment phosphorus by submersed freshwater macrophytes. *Freshwater Biol.* 10: 229-238.
- Carpenter, S.R., 1981. Submersed vegetation an internal factor in lake ecosystem succession. *Am. Nat.* 118: 372-383.
- Carpenter, S.R. & A. Gasith, 1978. Mechanical cutting of submerged macrophytes: immediate effects on littoral water chemistry and metabolism. *Water Research* 12: 55-57.
- Christensen, K.K., F.Ø. Andersen & H.S. Jensen, 1997. Comparison of iron, manganese and phosphorus retention in freshwater littoral sediment with growth of *Littorella uniflora* and benthic microalge. *Biogeochemistry* 38: 149-171.
- Direktoratsgruppa for vanndirektivet, 2009. Klassifisering av miljøtilstand i vann. *Veileder* 01:2009.
- Golterman, H.L., 2004. The chemistry of phosphate and nitrogen compounds in sediments. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251s.*
- Granéli, W. & D. Solander, 1988. Influence of aquatic macrophytes on phosphorus cycling in lakes. *Hydrobiologia* 170: 245-266.
- Hupfer, M., R. Gächter & R. Giovanoli, 1995. Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis. *Aquat. Sci.* 57: 305-324.
- James, W.F., J.W. Barko & S.J. Field, 1996. Phosphorus mobilization from littoral sediments of an inlet region in Lake Delavan, Wisconsin. *Arch. Hydrobiol.* 138: 245-257.
- Jensen, H.S & F.E. Andersen, 1992. Importance of temperature, nitrate and pH for phosphate release from aerobic sediments of four shallow, eutrophic lakes. *Limnol. Oceanogr.* 37: 577-589.
- Jensen, J.P., P. Kristensen, E. Jeppesen & A. Skytthe, 1992. Iron phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235/236: 731-743.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, J.P. Jensen, m.fl., 2005. Lake responses to reduced nutrient loading - an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biol.* 50: 1747-1771.
- Landers, D.H., 1982. Effects of naturally senescing aquatic macrophytes on nutrient chemistry and chlorophyll *a* of surrounding waters. *Limnol. Oceanogr.* 27: 428-439.
- Larsen, D.P. & H.T. Mercier, 1976. Phosphorus retention capacity of lakes. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 1742-1750.
- Mjelde, M., 2009. Smal vasspest (*Elodea nuttallii*) i Bjårvatn. Forekomst og dybdeutbredelse av vannvegetasjon 2008. *NIVA, rapport 5731-2009.*
- Molversmyr, Å., 2010a. Undersøkelser av sedimentene i Hålandsvatnet. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2010/114.*
- Molversmyr, Å., 2010b. Overvåking av Jærvassdrag 2009 - Datarapport. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2010/050.*
- Molversmyr, Å. & S. Sanni, 1990. Hålandsvatnet. Resipientundersøkelse. *Rogalandsforskning, rapport RF-28/90.*
- Molversmyr, Å. & T. Andersen, 2006. Kartlegging og vurdering av interngjødsling i Frøylandsvatnet. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2006/017.*

- Molversmyr, Å., M. Bechmann, H.O. Eggstad, A. Pengerud, S. Turtumøygard & E. Rosvoll, 2008. Tiltaksanalyse for Jærvassdragene. *International Research Institute of Stavanger, rapport IRIS - 2008/028*.
- Psenner, R., R. Pucsko & M. Sager, 1984. Die Fraktionierung organischer und anorganischer Phosphorverbindungen von Sedimenten – Versuch einer Definition ökologisch wichtiger Fraktionen. *Arch. Hydrobiol./Suppl. 70: 111-155*.
- Rydin, E., 2000. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment. *Water Res. 34: 2037-2042*.
- Rørslett, B., D. Berge & S.W. Johansen, 1985. Mass invasion of *Elodea canadensis* in a mesotrophic, South Norwegian lake - impact on water quality. *Verh. Internat. Verein. Limnol. 22: 2920-2926*.
- Scheffer, M., 1998. Ecology of shallow lakes. *Population and Community Biology Series 22, Chapman & Hall, London: 357s*.
- Stephen, D., B. Moss & G. Phillips, 1997. Do rooted macrophytes increase sediment phosphorus release? *Hydrobiologia 342: 27-34*.
- Søndergaard, M., P. Kristensen & E. Jeppesen, 1992. Phosphorus release from resuspended sediment in the shallow and wind-exposed Lake Arresø, Denmark. *Hydrobiologia 228: 91-99*.
- Søndergaard, M., J. P. Jensen & E. Jeppesen, 2001. Retention and internal loading of phosphorus in shallow, eutrophic lakes. *TheScientificWorld 1: 427-442*.
- van der Molen, D.T. & P.C.M. Boers, 1994. Influence of internal loading on phosphorus concentration in shallow lakes before and after reduction of the external loading. *Hydrobiologia 275/276: 379-389*.
- Van Donk, E., R.D. Gulati, A. Iedema & J.T. Meulemans, 1993. Macrophyte-related shifts in the nitrogen and phosphorus contents of different trophic levels in a biomanipulated shallow lake. *Hydrobiologia 251: 19-26*.
- Wetzel, R.G., 1975. Limnology. *W.B. Saunders Company, Philadelphia, 743 pp*.

DATAVEDLEGG

Analyseresultater og feltmålinger i Bjårvatnet 2009

Parameter	Enhet	Dato for prøvetaking				
		10.jul	14.aug	09.sep	28.sep	30.okt
pH	-	7,8	7,1	7,0	6,8	7,2
Konduktivitet	mS/m	8,5	6,4	6,5	6,3	8,7
Turbiditet	FTU	5,7	1,4	2,1	1,0	1,7
Farge	-	15	34	34	31	16
Alkalitet	mmol/l	0,28	0,13	0,11	0,11	0,20
Suspendert tørrsoff	mg/l	10	2,6	6,6	< 2	3,6
Suspendert gløderest	mg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Kalsium (Ca)	mg/l	5,0	3,3	3,3	3,0	5,1
Magnesium (Mg)	mg/l	1,9	1,3	1,1	1,2	1,6
Natrium (Na)	mg/l	8,0	6,6	6,2	6,3	7,3
Kalium (K)	mg/l	0,82	0,93	1,1	1,2	1,5
Sulfat (SO ₄)	mg/l	3,24	3,47	3,15	2,99	5
Klorid (Cl)	mg/l	13,4	10,7	10,2	11	13,3
Total fosfor	µg/l	32	18	28	15	13
Fosfat (filtrert)	µg/l	2	< 2	< 2	2	-
Total nitrogen	mg/l	0,34	0,73	0,91	0,74	0,95
Nitrat + nitritt (filtrert)	mg/l	0,011	0,47	-	0,5	0,69
Reaktivt silikat (SiO ₂)	mg/l	0,132	0,264	0,004	0,198	0,085
Klorofyll-a	µg/l	33	9,5	(95)	5,5	5,3
Algebiomasse	mg våtv./l	6,43	3,46	2,38	0,45	0,13
Siktedyp *	m	0,9	> 1,6	>> 1	> 2	> 1,5
Temperatur (1 m)	°C	20,6	16,3	14,8	12,9	5,7
Oksygenmetning (1 m)	%	90	98	78	90	98

* Siktedyp ofte ikke mulig å måle pga. bastander av vasspest.

Kjemiske målinger i bekker i 2010 (Hå kommune)

Prøvedato	Total fosfor (µg/l)				Total nitrogen (µg/l)			
	27.mai	25.jun	17.jul	25.aug	27.mai	25.jun	17.jul	25.aug
Kvermebekken	15	25	15	62	2,8	2,8	2,8	10,0
Sandvebekken v/ Hadland	120	120	120	68	4,5	5,3	4,5	4,4
Bøbekken	8	11	8	42	1,9	2,6	1,9	3,8
Bekk grense Bø/Fuglestad	17	34	17	89	2,0	4,1	2,0	3,5
Bekk fra Herredselva	14	15	14	29	1,2	1,6	1,2	1,3

Kvantitativt planteplankton, Bjårvatnet 2009

Fytoplankton (mg våtvekt/l) Dato:	Blandprøve 0-1 m				
	10.jul	14.aug	9.sep	28.sep	30.okt
BLÅGRØNNALGER:					
<i>Aphanothece clathrata</i>	1,20	1,60			
<i>Limnothrix (småe tråder)</i>			0,03	0,01	
Små kuler					
BLÅGRØNNALGER TOTALT	1,20	1,60	0,03	0,01	0,00
% Blågrønnalger:	18,7	46,2	1,3	2,2	0,0
KISELALGER:					
<i>Asterionella formosa</i>	3,04	1,20	0,02		
<i>Synedra spp.</i>			0,20	0,02	
<i>Tabellaria fenestrata/flocculosa</i>			1,20	0,24	0,03
KISELALGER TOTALT	3,04	1,20	1,42	0,26	0,03
% Kiselalger:	47,3	34,7	59,7	57,8	23,1
FUREFLAGELLATER:					
<i>Ceratium hirundinella</i>					
FUREFLAGELLATER TOTALT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
% Fureflagellater:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GRØNNALGER:					
<i>Chlorococcales</i>		0,10	0,32	0,10	
<i>Desmidiales (Staurastrum sp.)</i>			0,56	0,02	
<i>Desmidiales (liten Cosmarium)</i>	1,60				
GRØNNALGER TOTALT	1,60	0,10	0,88	0,12	0,00
% Grønnalger:	24,9	2,9	37,0	26,7	0,0
GULLALGER:					
<i>Dinobryon sp.</i>					
GULLGER TOTALT	0	0	0	0	0
% Gullalger:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CRYPTOMONADER					
<i>Cryptomonas m.fl.</i>	0,40	0,40			
Div. store flagellater					
CRYPTOMONADER TOTALT	0,40	0,40	0,00	0,00	0,00
% Cryptomonader:	6,2	11,6	0,0	0,0	0,0
ANDRE ALGER:					
Uspes. µ-alger	0,19	0,16	0,05	0,06	0,10
ANDRE TOTALT	0,19	0,16	0,05	0,06	0,10
% Andre alger:	3,0	4,6	2,1	13,3	76,9
TOTAL BIOMASSE (mg våtv./l)	6,43	3,46	2,38	0,45	0,13

Kvantitativt dyreeplankton, Bjårvatnet 2009

Zooplankton (ind. pr prøve)	Blandprøve 0-1 m				
	Dato:	10.jul	14.aug	9.sep	28.sep
Duk (µm):	90	90	90	90	90
Filtrert volum (L):	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	13	0	0	0	0
herav: Nauplier	2				
Copepoditter	8				
Adulte	3				
<i>Eucyclops macruroides</i>	0	4	19	1	1
herav:Copepoditter		3	16	1	
Adulte		1	3		1
<i>Megacyclops sp.</i>	0	8	7	2	0
herav:Copepoditter		8	7	2	
Adulte					
Cyclopoide nauplier	30	11	3	5	
Sum COPEODER	43	23	29	8	1
<i>Daphnia cf galeata</i>	0	1	0	0	0
Hanner					
Hunner		1			
herav m/egg		0			
<i>Graptoleberis testudinaria</i>		1	1	3	
<i>Alona guttata</i>			1	1	
<i>Alonella excisa</i>		2			
<i>Alonella nana</i>				1	2
<i>Chydorus cf. sphaericus</i>			2	3	10
<i>Eurycercus lamellatus</i>	r				
<i>Alona affinis</i>	r	r			
<i>Alonopsis elongata</i>		r			
<i>Bosmina longispina-gr.</i>		r	r		r
Sum CLADOCERA	0	4	4	8	12
<i>Keratella cochlearis</i>		r			
<i>Keratella quadrata</i>		r			
<i>Trichocerca sp.</i>		1			
<i>Mytilina ventralis</i>				1	
<i>Lecane sp.</i>	1	5			
<i>Synchaeta spp.</i>		1			
<i>Conochilus unicornis/hippocrepis</i>	3		36		
Ubestemte arter			2		1
Sum ROTATORIA	4	7	38	1	1

r: art/slekt ble registrert

**Sedimenter Bjårvatnet 9.9.2009:
Diverse stasjoner (0-1 cm sjikt)**

Stasjon	Vanninnhold (%)	Glødetap % av TS	Tot-P mg/g TS	Fe mg/g TS
Bj-1	94	36	2,6	32,0
Bj-2	93	38	2,6	38,3
Bj-3	93	28	2,0	35,6
Bj-4	94	38	2,6	41,5
Bj-5	94	38	2,6	60,0
Bj-6	97	39	2,6	58,3
Bj-7	93	32	2,7	27,3
Bj-8	95	36	2,7	39,5
Bj-9	96	37	2,2	36,0
Bjår	95	36	2,5	32,0

**Sedimenter Bjårvatnet 9.9.2009:
Sedimentprofil (stasjon "Bjår")**

Dybde-sjikt (cm)	Vanninnhold (%)	Glødetap % av TS	Tot-P mg/g TS	Fe mg/g TS
0-1	95	36	2,5	32,0
1-2	91	36	2,2	31,8
2-3	90	30	2,2	36,2
3-4	89	30	2,2	40,6
4-5	90	30	2,2	40,3
7-8	89	30	1,9	39,3
10-11	88	30	1,7	29,4
14-15	88	31	1,3	39,9
19-20	78	13	0,8	25,1
24-25	77	12	0,9	36,3

Sedimenter Bjårvatnet 9.9.2009 (0-1 cm sjikt)

Stasjon	Vanninnhold (%)	Glødetap % av TS	Tot-P mg/g TS	Fe mg/g TS	Fosforfraksjoner					
					NH4Cl-P (mg/g TS)	BD-P (mg/g TS)	NaOH-P (mg/g TS)		HCl-P (mg/g TS)	Residual-P (mg/g TS)
					PO4-P	PO4-P	Tot-P	PO4-P	PO4-P	-
Bjår	94	37	2,4	30,5	0,001	0,083	2,063	1,232	0,004	0,279
Bj-2	94	39	2,6	33,1	0,001	0,149	2,460	1,482	0,047	0,000
Bj-9	90	23	1,8	31,7	0,001	0,034	0,781	0,423	0,028	0,987

Resuspensjonsforsøk 10.-119.2009.

Sedimenter Bjårvatnet 9.9.2009 (0-1 cm sjikt)

Stasjon	Slurry P (µg P/l)	Slurry tørrstoff (g tørrvekt/l)	Organisk fraksjon	P tilsatt (µg P/l)	P målt (µg P/l)	Adsorbent P (µg P/mg TV)
Bjår	3	1,50	0,37	0	2	-0,013
Bjår	3	1,50	0,37	10	2	0,061
Bjår	3	1,50	0,37	20	4	0,119
Bjår	3	1,50	0,37	30	5	0,185
Bjår	3	1,50	0,37	40	7	0,244
Bjår	3	1,50	0,37	50	8	0,310
Bjår	3	1,50	0,37	100	35	0,479
Bjår	3	1,50	0,37	150	60	0,662
Bjår	3	1,50	0,37	200	90	0,809
Bj-2	4	1,80	0,33	0	3	-0,016
Bj-2	4	1,80	0,33	10	4	0,039
Bj-2	4	1,80	0,33	20	5	0,094
Bj-2	4	1,80	0,33	30	7	0,143
Bj-2	4	1,80	0,33	40	8	0,198
Bj-2	4	1,80	0,33	50	11	0,241
Bj-2	4	1,80	0,33	100	22	0,479
Bj-2	4	1,80	0,33	150	42	0,662
Bj-2	4	1,80	0,33	200	47	0,937
Bj-9	20	1,60	0,31	0	2	-0,001
Bj-9	20	1,60	0,31	10	2	0,068
Bj-9	20	1,60	0,31	20	4	0,123
Bj-9	20	1,60	0,31	30	9	0,157
Bj-9	20	1,60	0,31	40	35	0,047
Bj-9	20	1,60	0,31	50	23	0,198
Bj-9	20	1,60	0,31	100	57	0,308
Bj-9	20	1,60	0,31	150	107	0,308
Bj-9	20	1,60	0,31	200	147	0,377