

NIVA



RAPPORT LNR 4487-2002

Kvikksølv i fisk fra
innsjøer i Hedmark,
med hovedvekt på
grenseområdene mot
Sverige



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

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

Tittel Kvikksølv i fisk fra innsjøer i Hedmark, med hovedvekt på grenseområdene mot Sverige	Løpenr. (for bestilling) 4487 - 2002	Dato mars 2002
	Prosjektnr. Undernr. O-20164	Sider Pris 46
Forfatter(e) Sigurd Rognerud og Eirik Fjeld	Fagområde miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Hedmark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) INTERREG-prosjektet "Fisketurisme i grenseland" gjennom Hedmark Reiseliv BA, og kommunene Engerdal, Trysil, Eidskog og Nord Odal.	Oppdragsreferanse Eli Skoland (Hedmark Reiseliv), Ole Nashoug for N.Odal kommune
---	---

Sammendrag: Konsentrasjon av kvikksølv i stor gjedde og stor abbor fra innsjøer i sydlige deler av Hedmark var høy (opp mot 4 mg Hg/kg). Dette er blant de høyeste verdier som er funnet i fisk fra norske innsjøer som kun mottar kvikksølv-forurensninger fra atmosfæren. Det var særlig rovfisk som gjedde, lake, stor abbor og stor ørret som hadde konsentrasjoner over de grenser som EU, inkl. EØS-land, har satt for omsetning av fisk til konsum (0,5 mg/kg). Ørret, abbor, røye og sik som lever av bunndyr eller dyreplankton hadde lave verdier. Når fisk i en bestand går et trinn opp i næringskjeden (f.eks. fra bunndyr-spiser til fiskespiser) øker konsentrasjonen av kvikksølv 3,5 ganger. En tilsvarende økning, uten vesentlig endring i dietten, oppnås først etter 10 års alder. Derfor har gammel rovfisk de høyeste konsentrasjonene av kvikksølv. Ei "standard gjedde" (5 år, ca. 1 kg), som ikke endret trofisk posisjon med alderen, hadde 4 ganger høyere konsentrasjoner i sydlige deler av fylket enn de nordlige. Det samme mønsteret hadde 5-årig, 150 g abbor. Dette skyldes antagelig høyere konsentrasjoner av metylkvikksølv i innsjøene i sydlige deler. Fiskespisende storørret oversteg grensa for omsetning i nordlige deler, mens nivået i småvokste bestander av bunndyr-spisende ørret i sydlige deler var lavere. For storørreten var effekten av høyere posisjon i næringskjeden og noe høyere alder, større enn den gunstige effekten av lavere metylkvikksølv konsentrasjoner i vannet. Omsetningsgrensa ble passert i gjedde ved ca. 4 kg i nord og ca. 1 kg i syd. Store individer av gjedde, abbor og lake er ikke egnet som mat i sydlige deler av Hedmark. For de som spiser mye fisk anbefaler vi å følge kostholdsradene gitt av Statens Næringsmiddeltilsyn. Særlig gjelder dette for gjedde, abbor og lake fra innsjøer i sydlige deler der omsetningsgrensa kan overskrides allerede i ung fisk.

Fire norske emneord 1. forurensninger 2. kvikksølv 3. ferskvannsfisk 4. Hedmark	Fire engelske emneord 1. pollutants 2. mercury 3. Freshwater fishes 4. Hedmark
---	--

Sigurd Rognerud
Prosjektleder

Brit Lisa Skjelkvåle
Forskningsleder

Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

Kvikksølv i fisk fra
svensk-norsk grensestrøk.

Forord

Denne rapporten omhandler kvikksølv i fisk fra Hedmarks østlige deler. Prosjektet er finansiert av Hedmark fylkeskommune og Fylkesmannen i Hedmark gjennom INTERREG-prosjektet "Fisketurisme i grenseland", samt kommunene Engerdal, Trysil, og Eidskog. INTERREG-prosjektet har hatt Hedmark Reiseliv BA som kontraktpartner og Eli Skoland som kontaktperson. Nord-Odal kommune har finansiert analysene av fisk fra Storsjøen i Odalen gjennom Ole Nashoug som har vært kontaktperson for kommunen. Tore Qvenild ved Fylkesmannen i Hedmark, miljøvernavdelingen har bistått ved utvalg av lokaliteter og vært delaktig i organiseringen av fisket.

Mange har deltatt ved innsamlingen av fisk. Disse er som følger: Femund; Femund Fiskelag AL, Isteren; Ole Nashoug og Karl Rønning, Fundin; Ole Nashoug og Folldal fjellstyre, Storsjøen i Rendalen; Ole Nashoug og Geir Byggstøyl, Engeren; Ole Nashoug og Tor Åsheim, Sennsjøen; Ole Nashoug og Dag Arne Berget, Røsjøen; Ole Nashoug og Odd Holmseth, Rysjøen; Atle Rustadbakken, Ole Nashoug og Leif Nordnes; Nybusjøen; Ole Nashoug og Ulf Sætre; Røgden; Tore Qvenild og Ole Nashoug, Fjellsjøen; Atle Rustadbakken, Helgesjøen; Svein Fjeld, Storsjøen i Odalen; Ole Nashoug og Hans Dammen. S. Øyungen, S. Bellingen, Vintertjern, Nessjøen, Gaustadsjøen, Ingelsrudsjøen, og Skjervangen ble fisket av Vegar Meland, mens Fallsjøen, Rotbergsjøen, Varalden og Møkeren ble fisket av Ole Nashoug og Tore Qvenild.

Analysene av kvikksølv ble utført ved NIVAs laboratorium i Oslo og analysene av stabile nitrogen- og karbonisotoper ble utført ved Institutt for energiteknikk (IFE) på Kjeller. Gøsta Kjellberg (NIVA) har gjort aldersbestemmelsene for alle artene. Jarl Eivind Løvik (NIVA), Sigurd Rognerud (NIVA) og Eirik Fjeld (NIVA) har bearbeidet fiskematerialet for analyse. Alle takkes for et godt samarbeide.

Ottestad, mars 2002

Sigurd Rognerud

Innhold

Sammendrag	5
1. Innledning	7
2. Metoder	9
3. Resultater	9
4. Diskusjon	22
5. Referanser	26
6. Vedlegg	28

Sammendrag

Konsentrasjonene av kvikksølv i gjedde og stor abbor i Hedmark var opp mot 4 mg/kg. Dette er svært høye verdier og opp mot de høyeste som er registrert i Norge (Rognerud et al. 1996, Fjeld 1999, Fjeld et al. 1999a, Fjeld et al. 1999b). EU har satt en grenseverdi for kvikksølv i fisk beregnet for omsetning på 0,5 mg/kg, med unntak av bl.a gjedde der grensen er 1 mg/kg. Gjeddene har en høyere grenseverdi fordi det antas at befolkningen konsumerer mindre gjedde enn annen ferskvannsfisk. Som følge av EØS avtalen gjelder dette regelverket også for Norge. I gjennomsnitt hadde hver fjerde fisk (gjedde, abbor og ørret) konsentrasjoner over omsetningsgrensa. De aller fleste av disse var fiskespisere som gjedde, lake, stor abbor og stor ørret. Fisk som lever av bunndyr og dyreplankton slik som småvokste bestander av ørret, små abbor, røye og sik hadde lave konsentrasjoner av kvikksølv.

Det er ikke uorganisk kvikksølv, men den meget giftige organiske forbindelsen metylkvikksølv som anrikes i næringskjedene. Fisk står høyt oppe i næringskjeden og dette gjør at nesten alt kvikksølv i fisk utgjøres av metylkvikksølv. I følge FN's ekspertkomite for vurdering av tilsetningsstoffer og forurensninger (Joint Expert Comitee on Food Additives and Contaminants – JECFA) bør et tolerabelt langtids ukentlig inntak av metylkvikksølv for en voksen person ikke overskride 3,3 µg/kg kroppsvekt. Et slikt inntak tilsvarer omlag 0,2 mg kvikksølv om uken for en person på 60 kg. Dette tilsvarer konsum av 400 g fisk med kvikksølvkonsentrasjon på 0,5 mg/kg. Ved høyere konsentrasjoner i fiskemiddagen eller lavere vekt for konsumenten (f.eks. et barn) vil den tolerable mengden bli betydelig mindre. Dette har ledet Statens Næringsmiddeltilsyn (SNT) til å gi et generelt råd om at gjedde, lake og abbor (større enn 25 cm) ikke bør spises mer enn en gang i måneden. Dette kostholdsrådet gjelder ikke gravide kvinner, da de på grunn av fosterets utvikling bør legge seg på et lavere nivå eller helst avstå fra konsum av gjedde, større abbor og lake.

Som følge av at gjedde, lake, stor ørret og stor abbor overskred grenseverdiene som er satt for omsetning av slik fisk vil også kostholdsråd være aktuell for personer som spiser slik fisk regelmessig. Røye, sik og småvokste bestander av ørret hadde generelt konsentrasjoner under omsetningsgrensa og kan spises uten at kostholdsgrensa nås for ukentlig inntak. I sydlige deler av fylket har selv mindre gjedde såvidt høye konsentrasjoner av kvikksølv at et måltid i uka vil være et godt kostholdsråd. Stor gjedde og stor abbor er lite egnet som mat i denne regionen.

Konsentrasjonene av kvikksølv i fisk av samme alder steg med en faktor på 3,5 når trofisk posisjon økte tilsvarende ett trofisk nivå (biomagnifikasjon). I ørret og gjedde, som ikke endret trofisk posisjon med alderen, trengs ca.10 år for å oppnå en tilsvarende økning i kvikksølvnivået (bioakkumulasjon). Kombinasjonen av biomagnifisering og bioakkumulasjon er årsaken til gammel rovfisk hadde spesielt høye konsentrasjoner av kvikksølv. Biomagnifikasjon i næringskjeden (overgang til fiskediett i 3-8 års alder) er avgjørende for at konsentrasjonene i storørret fra områder med lav atmosfæriske kvikksølv avsetninger, slik som Femund, Isteren, Storsjøen i Rendalen og Engeren, oppnår konsentrasjoner over 0,5 mg/kg. For å nå konsentrasjoner nær 1 mg Hg/kg må den i tillegg bli relativt gammel.

Gjedde er fiskespiser hele livet og hadde nær samme trofiske posisjon for alle alderstrinn. Konsentrasjonene i standard gjedde (5 år, 1 kilo) økte med en faktor på 4 (0,2 til 0,8 mg Hg/kg) fra de nordligste innsjøene i Hedmark til de sydligste. Den samme trenden fant vi for standard abbor (5 årig), selv om trofisk posisjon, indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ - verdiene, var noe lavere enn for standard gjedde i enkelte innsjøer (ikke rene fiskespisere). Denne gradienten skyldes høyst sannsynlig at konsentrasjonene av metylkvikksølv i innsjøene var høyest i sydlige deler av fylket. Det var ikke et slikt klart regionalt mønster for 5-årig standard ørret. Dette skyldes i hovedsak at standard ørreten i de nordlige deler hadde innslag av fisk i dietten, mens dette var sjelden i de sydlige deler.

Et høyere $\delta^{15}\text{N}$ -nivå i enkelte innsjøer skyltes ikke lengre næringskjeder, men en kombinasjon av antropogen påvirkning og planktonbaserte næringskjeder som gir høyere $\delta^{15}\text{N}$ - verdiene i bunnen av disse næringskjedene.

Generelt økte trofisk posisjon med alder i abbor og ørret opp til 5-7 år, men endret seg lite siden. Årsaken er at disse artene ofte har en diett basert på hvirvelløse dyr (bunndyr, overflateinsekter og krepsdyrplankton) de første leveårene før de går over til fiskediett. For abbor skjer denne overgangen ofte ved ca. 20 cm, 150 g (Anderson 1942). Mindre abbor har derfor lave konsentrasjoner av kvikksølv, mens større abbor har trofiske posisjoner og kvikksølvkonsentrasjoner på nivå med gjedde av samme alder. Analysene av trofisk posisjon i ørret viste at småvokste bestander av ørret (< 0,5 kg) i hovedsak var insektspisere, mens eldre og større fisk ble fiskespisere i mange av innsjøene.

Småvokste bestander av ørret og røye hadde med få unntak lave konsentrasjoner og lav trofisk posisjon. Dette viser at så lenge disse artene ikke skifter trofisk posisjon vil konsentrasjonene av kvikksølv være lave og oftest under omsetningsgrensa. Sik fra Isteren, Sennsjøen og Storsjøen i Rendalen, røye i Røsjøen og Storsjøen i Rendalen, kreps i Øyungen og mort fra Røgden hadde alle lave konsentrasjoner av kvikksølv. Isotopanalysene indikerte lav trofisk status og karbonkilder fra planktoniske eller strandnære næringsnett. Lake er en fiskespiser som i Røgden hadde konsentrasjoner av kvikksølv på nivå med stor abbor og gjedde i sjøen.

Våre undersøkelser viser at biomagnifikasjon av kvikksølv i næringskjeden kan være like viktig som atmosfæriske avsetninger for kvikksølvnivået i fisk. Derfor vil det være mulig å finne bestander av rovfisk med høye konsentrasjoner i områder med lave avtmofæriske avsetninger (f.eks Femund), mens lave konsentrasjoner finnes i fisk som lever av bunndyr eller plankton i områder med høye avsetninger av kvikksølv (eks. ørret og abbor i Fjellsjøen, røye i Røsjøen, ørret i Vintertjern etc). I tillegg innvirker innsjøspesifikke egenskaper på dannelsen av metylkvikksølv. I klare nøytrale innsjøer er antagelig konsentrasjonene av metylkvikksølv langt lavere enn i nærliggende brune og svakt sure. Det er derfor ikke lett å generalisere når det gjelder kvikksølv i fisk. Næringskjedens struktur og innsjøens evne til å produsere metylkvikksølv vil alltid kunne gi store lokale variasjoner i fiskens kvikksølvnivå. Som generell informasjon er derfor best å lage regionale kart for "standard" fiskespiser (gjedde, lake, stor abbor og stor ørret) og "standard" bunndyr eller planktonpisere som småvokste bestander av ørret, små abbor, sik og røye. Dette forprosjektet har lagt grunnlaget for å lage slike regionale kart på norsk side. Gjennom INTEREG III prosjektet er det planlagt å samordne norske og svenske data og lage oversikter over kvikksølv i fisk i regionen Hedmark, Värmland og Dalarna.

1. Innledning

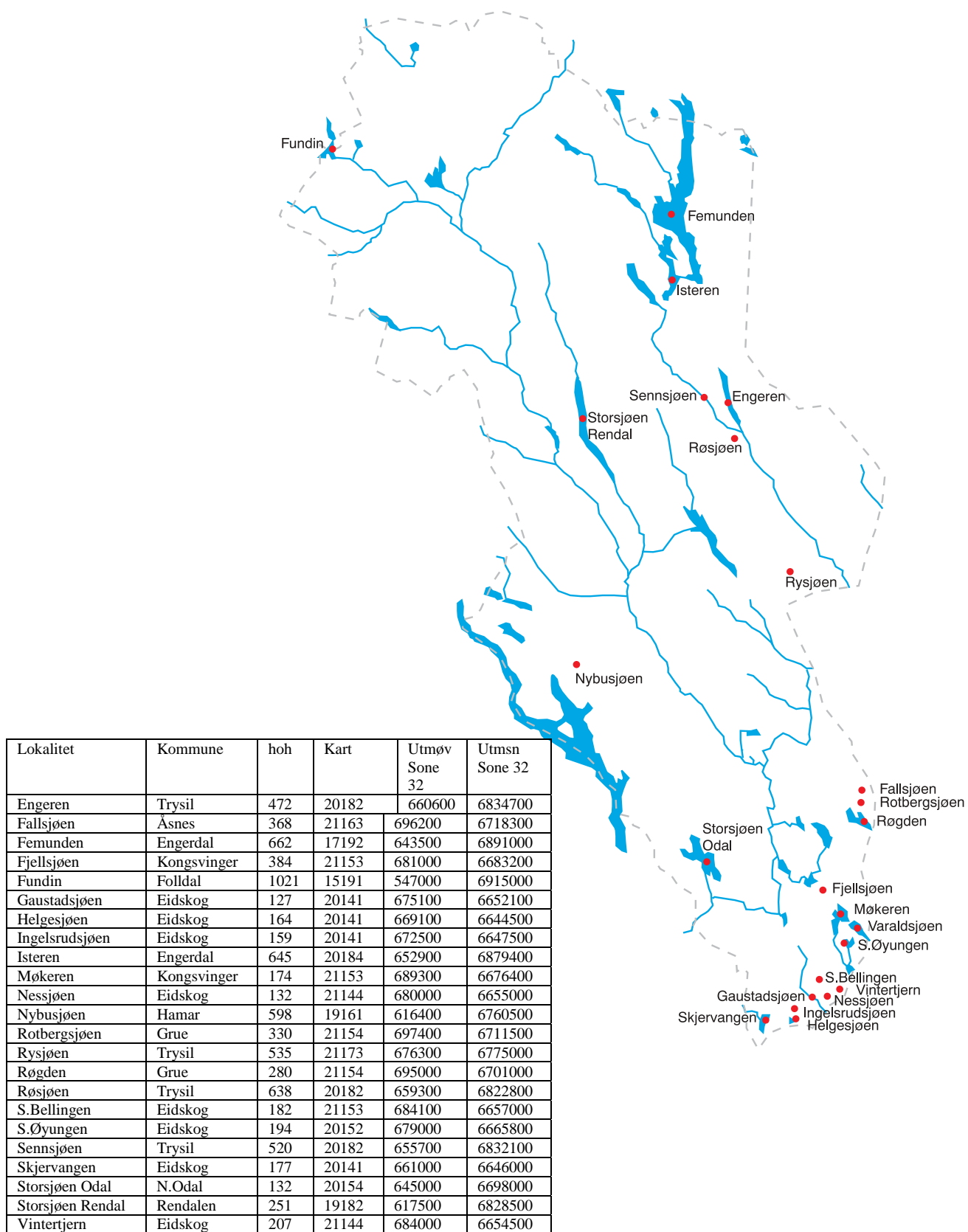
I tidligere tider hadde ferskvannsfiske stor betydning som matressurs for lokalbefolkningen, men i dag er det fritidsfiske som er den dominerende aktiviteten. Fritidsfiske har et internasjonalt marked og det åpner muligheter for næringer som reiseliv og turisme. For å øke kvaliteten på opplevelser knyttet til fritidsfiske og fisketurisme er det aktuelt med tiltak som bedrer tilgjengelighet, vannkvalitet (kalking) og fiskens kvalitet. I denne sammenheng hører det også med en kartlegging av fiskens innhold av miljøgifter. Skandinavia markedsføres ofte som en del av Europa hvor luft og vann er rent, og matvarene har lavt innhold av forurensninger. Svenske og norske undersøkelser har imidlertid vist at fisk fra innsjøer i Sør-Skandinavia kan ha et høyt kvikksølvinnhold. I enkelte innsjøer kan spesielt fiskespisende arter akkumulere så mye kvikksølv i kjøttet at de er uegnet som mat.

De siste 50 årene har skogsområdene i Hedmark, Värmland og Dalarna vært utsatt for betydelige avsetninger av atmosfæriske kvikksølv-forurensninger. I all hovedsak har kildene vært utenfor Skandinavia, men for noen tiår tilbake var også luftutslipp fra svensk kloralkali-industri en viktig kilde. Atmosfærisk avsatt kvikksølv bindes til humussjiktet i skogsmarken og til organisk materiale i våtmarker og innsjøsedimenter. Det er vist at sedimenter avsatt på 1990-tallet hadde 3-7 ganger høyere konsentrasjoner av kvikksølv enn de som ble avsatt på 1400-tallet.

I våtmarker og innsjøsedimenter omdannes atmosfærisk avsatt kvikksølv av bakterier til den meget giftige organiske forbindelsen metylkvikksølv. Denne omdannelsen er effektiv i brune humusrike skogssjøer. Dessuten reduserer brunt vann lysintensiteten som gjør at mindre metylkvikksølv brytes ned. Resultatet av disse prosessene er at brune skogssjøer i grensetraktene har de egenskaper som trengs for å oppnå høye konsentrasjoner av metylkvikksølv i vannet. I motsetning til uorganisk kvikksølv tas metylkvikksølv effektivt opp av organismene og bindes til proteiner. Andelen metylkvikksølv (av totalt kvikksølv) øker derfor oppover i næringskjeden. I fisk foreligger 95-99% av kvikksølvet som metylkvikksølv og det er bundet til proteinene i fiskekjøttet. Effektivt opptak og lav utskillelse er årsakene til at konsentrasjonene øker med økende alder og økte konsentrasjoner i dietten.

De viktigste sportsfiskene i de svensk-norske grensestrøkene i Sør-Skandinavia er gjedde, abbor og ørret. Gjedde, stor abbor og stor ørret i denne regionen blir ofte gamle, står på toppen i næringskjeden og lever i innsjøer anriket på metylkvikksølv. De har derfor potensial til å oppnå høye kvikksølv-konsentrasjoner i kjøttet. De aller fleste fiskere ønsker å spise sin egen fangst. Konsum av fisk med høgt kvikksølvinnhold over tid kan gi motoriske og mentale forstyrrelser som følge av skader på sentralnervesystemet. Særlig utsatt er barn og fostre under svangerskapet. Som en del av et felles EU-reglement er det innført grenser for omsetning av fisk, og det er utarbeidet kostholdsråd for fisk til eget konsum. Det er derfor viktig at tiltak for å øke fritidsfiske også inkluderer en utredning av kvikksølvnivået i fisk. Dette for å sikre at en i etterkant ikke opplever restriksjoner på bruk av fisk til mat fra områder som markedsføres for turister og fritidsfiskere.

Vi har undersøkt fisk fra 20 innsjøer hvorav 18 ligger øst for Glåma (Fig.1). Nybusjøen og Fundin vest for Glåma er også tatt med. Disse er finansiert av et annet prosjekt. Innsjøene i Nord-Hedmark er store og fiske er en betydelig brukerinteresse (også kommersielt), mens innsjøene i sydlige deler er mindre og benyttes mest av sportsfiskere. Hensikten med undersøkelsen er å kartlegge kvikksølv-konsentrasjonene i de viktigste fiskeartene i grensetraktene mot Sverige. Dernest å identifisere de viktigste faktorene for høye kvikksølvnivå i fisk, og lokalisere de områdene der fisken har spesielt stor risiko for at den overskrider omsetningsgrenser eller berøres av generelle kostholdsråd.



Figur 1. Oversikt over de undersøkte innsjøene

2. Metoder

Innsamling

Fisken ble samlet inn ved hjelp av garn, untatt storørret fra Isteren og Storsjøen i Rendalen som ble tatt på sluk. All fisk ble frosset så snart som mulig og fraktet til NIVA. Der ble de oppbevart i dypfryser inn til prøvene ble tatt. På laboratoriet ble det dissekert ut skinn- og beinfrie prøver av muskulaturen (øvre delen bak ryggfinnen) fra hver fisk. Prøven ble delt i to, pakket i ren aluminiumsfolie, og lagt i hver sin tette plastpose. Den ene prøven gikk til isotopanalyser, den andre til kvikksølvanalyse.

Stabile isotoper

Prøvene ble tørket ved 60 °C og homogenisert. For bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ er 1 mg prøve-materiale veid inn og overført til en 5 x 9 mm tinnkapsel. Kapselen lukkes og plasseres i en Carlo Erba NCS 2500 elementanalysator. Prøvene forbrennes med O_2 og Cr_2O_3 ved 1700 grader og NO_x reduseres til N_2 med Cu ved 650 °C. Forbrenningsproduktene separeres i en poraplot Q kolonne og overføres direkte til et Micromass Optima isotop massespektrometer for bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$. Duplikater analyseres rutinemessig for hver tiende prøve. Isotopsammensetningen av karbon og nitrogen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) oppgis som ”deltaverdier”: δ (‰) = $[(R_{\text{prøve}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 1000$, der R representerer forholdet mellom tung og lett isotop. Alle isotopverdiene refereres til primære standarder. For karbon er dette et marint karbonat, Pee Dee Belemitt (Craig 1953), og for nitrogen atmosfærisk luft (Mariotti 1983). Internasjonale standarder analyseres samtidig med prøvene for hver tiende prøve. $\delta^{15}\text{N}$ resultatene kontrolleres med analyser av IAEA-N-1 og IAEA-N-2 standarder. $\delta^{13}\text{C}$ resultatene kontrolleres med analyser av USGS-24 grafitt standard. IFEs verdier kontrolleres også mot en husstandard av ørretfilet.

Kvikksølvanalyser

Kvikksølv ble analysert etter NIVA metode nr. E-3. Denne metoden baserer seg på kalddamp atomabsorpsjonspektrometri. Benyttede instrumenter er en Perkin-Elmer FIMS med P-E AS-90 autosamplere og P-E amalgeringssystem. De biologiske prøvene frysetørres forut for autoklaving med salpetersyre, der det organisk bundne kvikksølvet oksideres til metallisk kvikksølv med SnCl_2 , og en inert bæregass (argon) transporterer kvikksølvet til spektrofotometeret. Kvikksølvet oppkonsentreres i et amalgeringssystem. Nedre grense for faste prøver er 0,005 $\mu\text{g/g}$.

Aldersbestemmelser

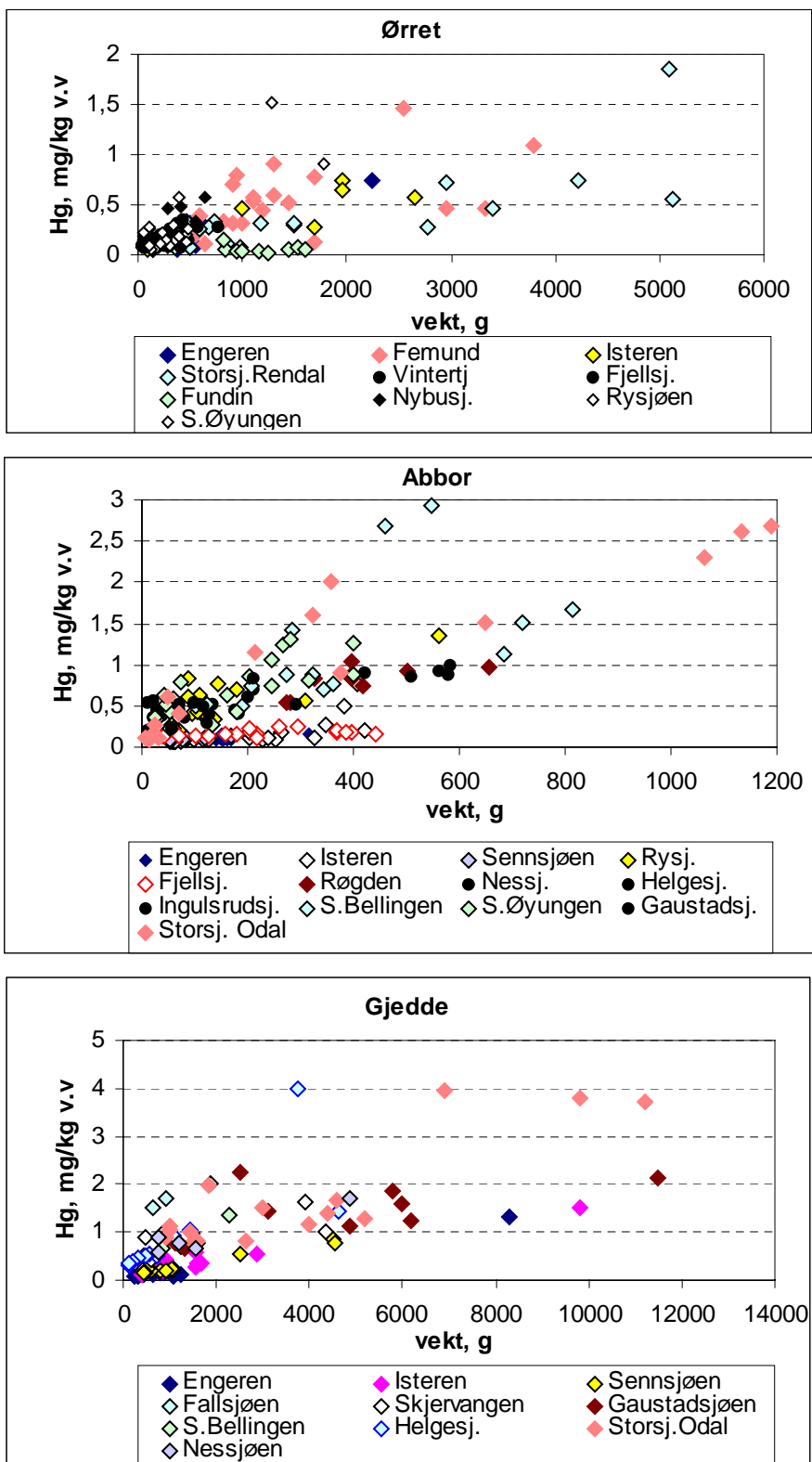
Alder ble bestemt ved hjelp av avlesninger av skjell og øresteiner (otolitter) (ørret, røye), gjellelokk (abbor, hork) og skulderbein (gjedde). Fiskens lengde er målt fra snute til halespiss og vekt er angitt til nærmeste gram for mindre fisk (< 500g) og nærmeste 5 gram for større fisk (> 500g).

3. Resultater

Resultatene i denne rapporten relateres til omsetningsgrenser og kostholdsråd. EU har satt 0,5 mg Hg/kg som grenseverdi for kvikksølv i fisk beregnet på omsetning, men med unntak av bl.a. gjedde. Der er grensa satt til (1 mg Hg/kg) da en regner med at det spises mindre av gjedde. Som følge av EØS avtalen gjelder dette regelverket også for Norge.

Det ble analysert totalt 550 fisk. Røye, mort, siksild, sik, lake, krøkle og hork utgjorde 100 fisk tilsammen, mens resten var ørret, abbor, og gjedde. I vedlegget er sammenhengen mellom kvikksølv-nivå og viktige forklaringsvariable som alder, trofisk posisjon og størrelse vist for hver fisk i den enkelte innsjø. Det henvises til disse diagrammene for de som er spesielt interessert i en innsjø.

Blant ørret var 16 % av verdiene over omsetningsgrensa, mens andelene for abbor og gjedde var henholdsvis 39 % og 26 %. For disse artene samlet hadde nær hver fjerde fisk (29 %) verdier over omsetningsgrensa (fig.2). For ørret var det i hovedsak storørret fra Femunden, Storsjøen i Rendalen og Isteren, samt noen få ørret over 1 kg fra de mindre innsjøene som hadde verdier over grensa. Ørret som var mindre enn 1 kg, og ørret fra fjellsjøen Fundin (opptil 2,5 kg), hadde lave konsentrasjoner av kvikksølv (Fig.2). For abbor var det særlig fisk over 250 g som hadde høye konsentrasjoner, men variasjonen var stor. I Isteren og Fjellsjøen hadde selv halvkilos abbor lave verdier, mens fisk av tilsvarende størrelse i Storsjøen i Odalen og S.Bellingen hadde verdier som var 4 - 6 ganger høyere enn omsetningsgrensa (Fig.2). Generelt hadde gjedde over 1 kg i Sør-Hedmark og over 4 kg i Nord-Hedmark kvikksølv-konsentrasjoner høyere enn omsetningsgrensa (Fig.2).



Figur 2. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjon og vekt i ørret, abbor og gjedde.

Det er godt kjent at fiskens alder og plass i næringskjeden har stor betydning for kvikksølv-konsentrasjonen i kjøttet. Tidligere var mageanalyser den eneste metode en hadde for å identifisere fiskens plass i næringskjeden. Mageanalyser gir imidlertid kun øyeblikksbilder, og de sier lite om hvilke næringsdyr som bidrar mest til oppbyggingen av muskelmassen. Dessuten førte de ofte til generaliseringer der alle individer innen bestanden (eller på et alderstrinn) ble definert som primære eller sekundære konsumenter. Bruk av stabile nitrogen og karbon-isotoper gjør det mulig å få en langt bedre oversikt over fiskens næringsnett. Denne teknikken har vært mye brukt i utlandet ved studier av næringsnett i akvatisk miljø, men den har vært lite benyttet i Norge. Vi redgjør derfor litt om metoden.

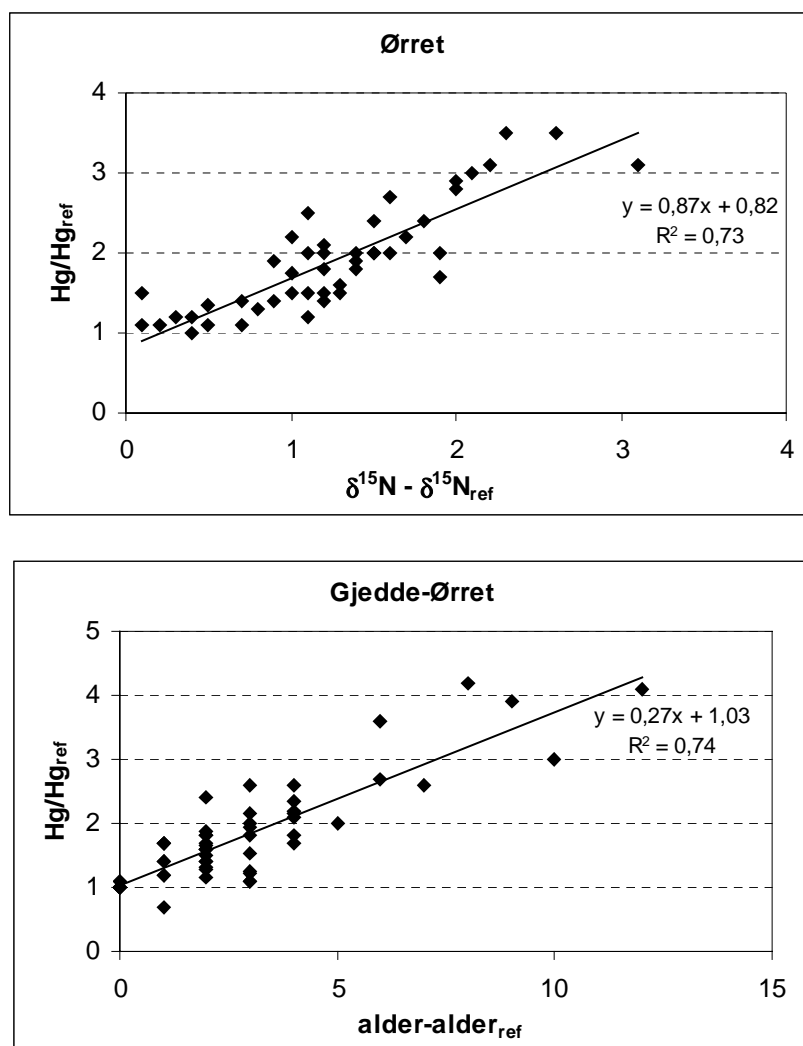
Det er en liten forskjell mellom massene til henholdsvis karbonets isotoper (C) og nitrogenets isotoper (N). Den er imidlertid stor nok til at de i miljøet oppfører seg forskjellig i både fysiske og kjemiske reaksjoner. Generelt danner de lettere isotopene (^{12}C , ^{14}N) svakere bindinger og reagerer raskere enn de tyngre isotopene (^{13}C , ^{15}N). Som en følge av dette vil forholdet mellom isotoper variere i ulike kjemiske forbindelser. Den endringen som forårsakes av kjemiske prosesser kalles kinetisk fraksjonering. Det er generelt sett langt større andeler av de letteste isotopene. Av praktiske hensyn har en derfor valgt å angi forholdene mellom tung og lett isotop i ‰ (x1000). For å kunne sammenlikne isotop-forholdet i ulike prøver må prøvens isotopforhold deles på isotopforholdet i en standard. For nitrogen og karbon benyttes henholdsvis isotopforholdet i luft og i et spesielt marint karbonat. Når det gjelder karbon- og nitrogen-isotopene, som vi benytter, benevnes resultatene av utregningen (gitt i metode-kapitlet) som $\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$. Positive verdier viser at prøven har mer av den tyngre isotopen enn standarden. Dette er oftest tilfelle for $\delta^{15}\text{N}$ i biologisk materiale, mens negative verdier er vanligst for $\delta^{13}\text{C}$.

Det skjer en karbon-fraksjonering ved fotosyntesen. Når CO_2 fra luften omdannes til sukker i plantene skjer dette ved hjelp av et enzym som har mye større affinitet for $^{12}\text{CO}_2$ enn $^{13}\text{CO}_2$ (Gannes et al 1998). I små planktonalger diffunderer ubrukt $\delta^{13}\text{C}$ ut i vannet og siden til atmosfæren. Resultatet er at algene blir anrikt på den lette isotopen og får langt lavere $\delta^{13}\text{C}$ verdier (-36 til -30 ‰) enn $\delta^{13}\text{C}$ i luftens CO_2 (-8 ‰). Terrestriske planter i våre strøk har også en relativt åpent system (dvs CO_2 kan slippe ut igjen). Denne prosessen er imidlertid generelt sett ikke like effektiv som i planktonalger. Dette gjør at $\delta^{13}\text{C}$ verdiene oftest blir noe høyere enn i planktonalger (-29 til -26 ‰). Begroingsalger og moser, som er viktige primærprodusenter i grunne områder av innsjøen, har mer lukkede systemer der gjennbruk av fraksjonert $\delta^{13}\text{C}$ er nødvendig. De får derfor høyere $\delta^{13}\text{C}$ verdier (-22 til -18 ‰) enn de åpne systemene, men likevel lavere enn $\delta^{13}\text{C}$ i luftens CO_2 . Det har vist seg at den videre fraksjonering i konsumentleddene i næringskjeden er relativt liten (0,5 ‰ for hvert trofnivå). $\delta^{13}\text{C}$ verdier (eller signaturer) i fisk blir derfor brukt som indikasjon på karbonkildene dvs type vegetasjon som er viktigst i fiskens næringsnett (France 1997).

Planter fraksjonerer ikke nitrogen ved opptak av næringssaltet nitrat. Dette gjør at isotopsignaturen i tilgjengelig nitrat overføres til plantene. Ulike kilder har imidlertid oftest ulik signatur. F.eks er $\delta^{15}\text{N}$ i nitrat fra jord og menneskede kilder høyere enn i nitrat dannet direkte av luftas nitrogen. Det har vist seg at i konsumenter er nitrogenet i proteinene anrikt på ^{15}N i forhold til i dietten. Dette skyldes oftest en fraksjonering ved prosesser som deaminering og transaminering (aktive enzymer som lettere fjerner aminogrupeer med ^{14}N), men i enkelte tilfelle vil en sulstusituasjon også kunne føre til nedbrytning av proteiner og anrikning av den tyngste isotopen (fører til at forholdet $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ i urinen synker, Gannes et al. 1998). Det har vist seg at i akvatiske næringskjeder øker $\delta^{15}\text{N}$ i gjennomsnitt med 3,4 ‰ for hvert trinn (trofisk nivå) en går opp, f.eks. fra primærprodusent til primær konsument (Vander Zanden 2001). $\delta^{15}\text{N}$ verdiene benyttes derfor som et kontinuerlig mål på organismenes trofiske posisjon i en innsjø. Ved sammenlikning av innsjøer må en være klar over at $\delta^{15}\text{N}$ signalet i bunnen av næringskjeden kan være forskjellig, alt avhengig av nitratkildenes signatur. Det er sjelden at alle fisk i en bestand har samme diett. Svært ofte spiser de litt av hvert, og dietten endrer seg ofte med alder og størrelse. Enkelte blir til og med rene spesialister på en type næringsdyr. Mange fisk får derfor en mellomstilling i næringskjeden. En av fordelene med isotop-teknikken er at $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene

indikerer hver enkelte fisk sin trofisk posisjon i forhold til andre fisk og næringsdyr i innsjøen. Dette er viktig da kunnskap om trofisk posisjon er nødvendig for å gi en god forklaring på kvikksølvnivået i fisk

I denne undersøkelsen har vi flere analyser av like gammel ørret fra samme innsjø. I noen innsjøer som f.eks Nybusjøen, Femund og Storsjøen i Rendalen, hadde like gammel fisk ulike $\delta^{15}\text{N}$ -verdier på grunn av varierende andel fisk i dietten. Dette gir mulighet til å beregne det unike bidraget som trofisk posisjon kan ha for kvikksølvnivået i fisk i våre sjøer. I Nybusjøen var ørekyt byttefisk, mens sik og røye var byttefisk i de andre innsjøene. Konsentrasjoner av kvikksølv i disse artene var relativt lave 0,1-0,3 mg/kg (Fig. 5 og 9 i vedlegget), samt eldre data for Femund (Rognerud et al. 1996). I dette utvalget var det en positiv sammenheng mellom trofisk posisjon og konsentrasjon av kvikksølv (Fig.3). Konsentrasjon av kvikksølv steg med en faktor på ca. 3,5 når $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene økte med 3,4 ‰, tilsvarende et trofisk nivå opp i næringskjeden (Fig.3). Med høyere konsentrasjoner i forfisk ville denne faktoren vært høyere. Byttefisk er imidlertid ofte mindre fisk og en faktor på 3,5 er antagelig representativ for mange fiskespisende bestander av ørret og abbor.



Figur 3. Øverst vises relativ økning i kvikksølvkonsentrasjonen ved økende verdier av $\delta^{15}\text{N}$ i like gammel ørret fra 3 innsjøer. Referansen (ref.) var fisken med den lavest $\delta^{15}\text{N}$ og tilhørende kvikksølvkonsentrasjon i hver sjø. Nederst vises relativ økning i kvikksølvkonsentrasjonen ved økt alder i gjedde og ørret som hadde nær de samme $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene (5 sjøer). Referansen (ref.) var den yngste fisken med tilhørende kvikksølvkonsentrasjon i hver innsjø.

Den unike effekten alder har for konsentrasjon av kvikksølv ble undersøkt i bestander av ørret og gjedde fra innsjøer hvor trofisk posisjon ikke endret seg med alderen. Det var en positiv sammenheng mellom alder og konsentrasjon av kvikksølv (Fig.3). Konsentrasjonene av kvikksølv steg med en faktor på 3,5 ved en aldersøkning på 10 år (Fig.3). Et skifte i diett tilsvarende et trofisk nivå hadde altså samme effekt for kvikksølvnivået som 10 års akkumulasjon på samme trofiske posisjon.

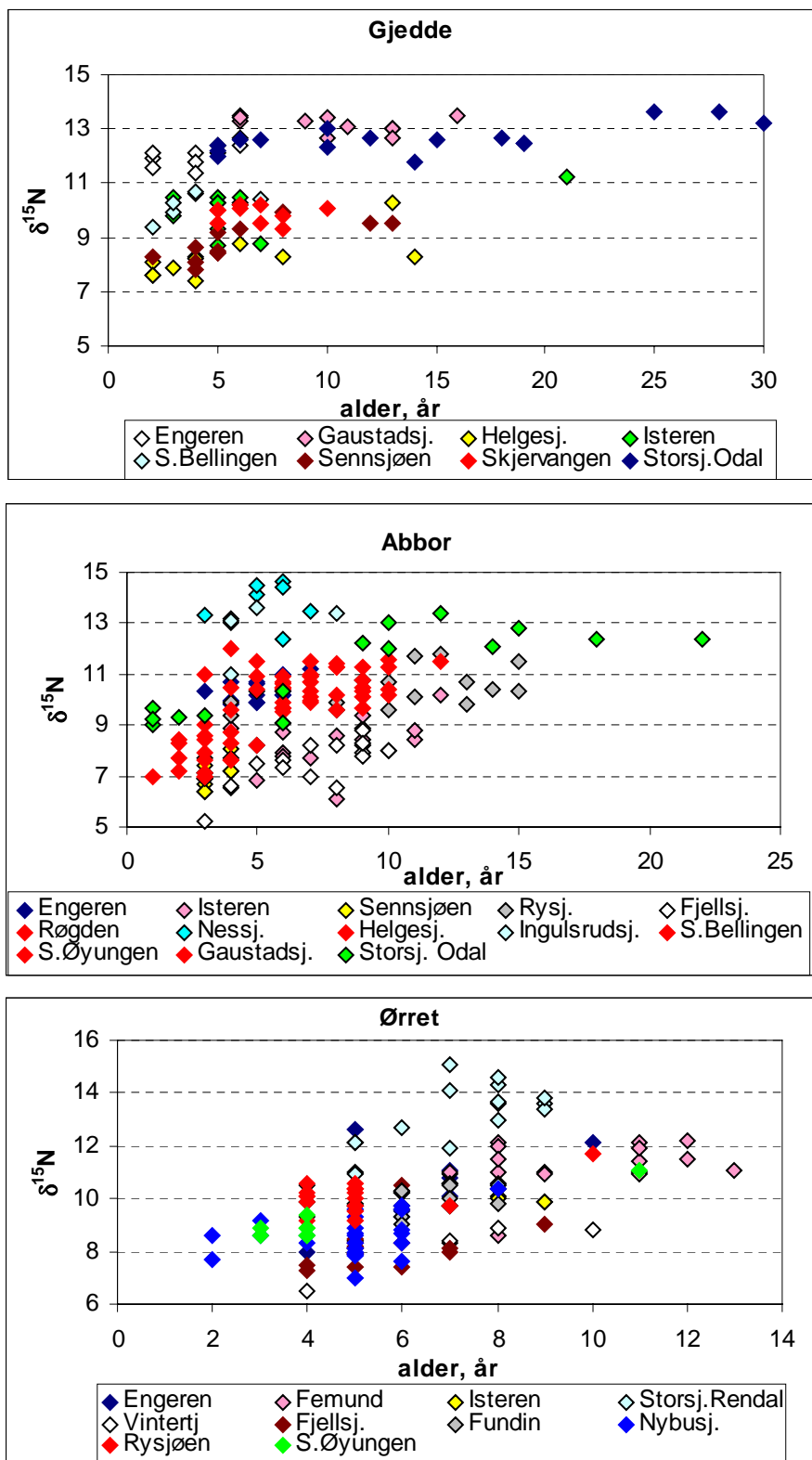
Trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) i de enkelte bestandene endret seg med alderen for ørret og abbor, mens endringene var ubetydelige for gjedde (Fig.4). Trofisk posisjon for abbor økte fra 2 til 5-6 års alder, men endret seg lite for eldre fisk. Trofisk posisjon økte i ørret opp til 7 års alder. Da var høyeste trofiske posisjon nådd i alle fiskespisende bestander av storørret.

Konsentrasjonen av kvikksølv økte med trofisk posisjon for ørret (Fig.5). Trofisk posisjon i storørret var generelt høyere enn i ørret fra småvokste bestander. Konsentrasjonen av kvikksølv økte klart når $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene oversteg 9-10 ‰ både blant storørret og i bestander av småvokst ørret (Fig.5). Det er rimelig å anta at det er ved denne trofiske posisjon at ørreten går over til å bli fiskespiser. Konsentrasjonene av kvikksølv i abbor økte også betydelig når $\delta^{15}\text{N}$ oversteg 9-10 ‰ (Fig.6). Generelt sett endret ikke gjedde trofisk posisjon nevneverdig med alderen i de enkelte innsjøene. I noen innsjøer (Storsjøen i Odalen, Isteren og Engeren) hadde enkelte gjedder høyere $\delta^{15}\text{N}$ -verdier og høyere kvikksølvnivå enn de andre (Fig.6). Det er mulig dette skyldes at enkelte større gjedder spiser større byttefisk som allerede er fiskespisere (f.eks stor abbor).

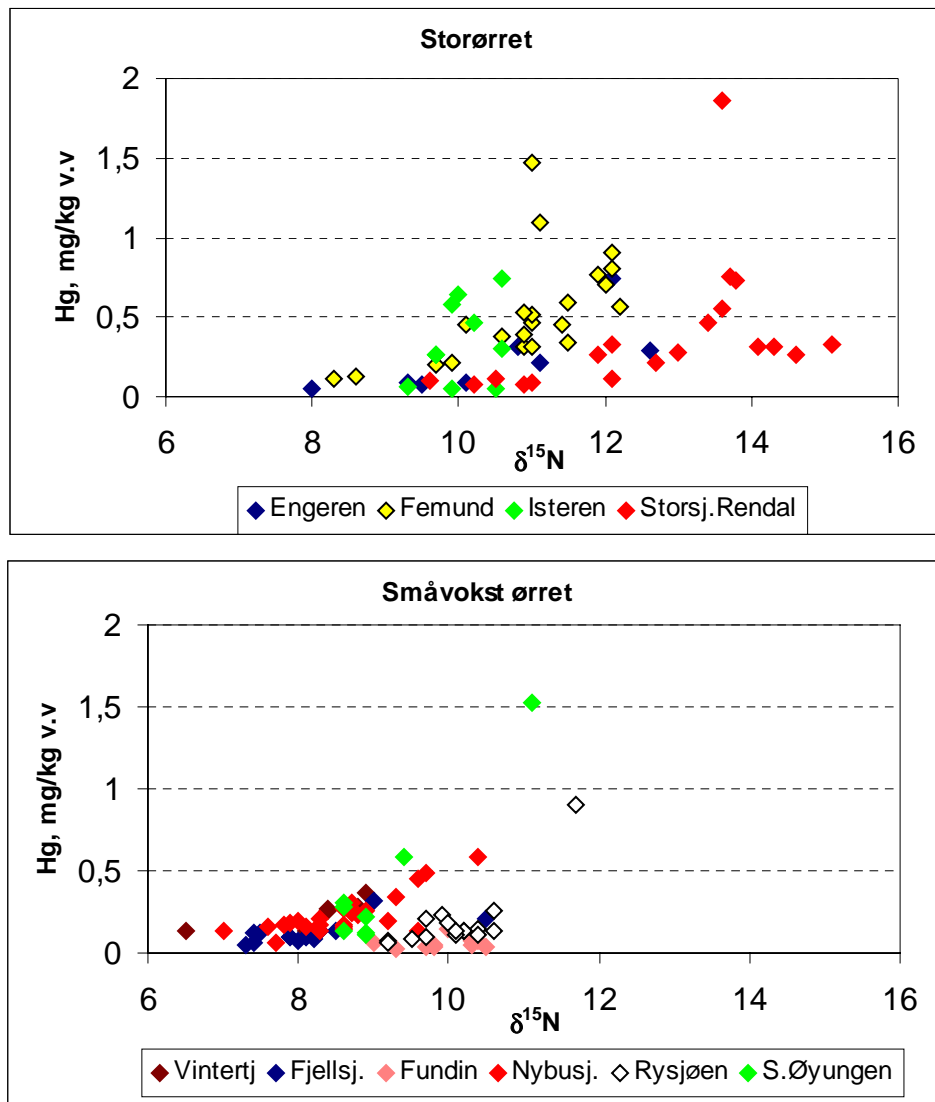
Det var en klar tendens til at økende verdier av $\delta^{15}\text{N}$ ga synkende verdier for $\delta^{13}\text{C}$ i storørret fra Femund, Engeren og Storsjøen i Rendalen (Fig.7). Det var derimot ingen indikasjon på endringer i $\delta^{13}\text{C}$ med økende $\delta^{15}\text{N}$ verdier i storørreten fra Isteren og i småvokste bestander av ørret i de andre innsjøene (Fig 7). For disse lå $\delta^{13}\text{C}$ -verdiene i hovedsak mellom -30 og -26, med unntak av ørreten i Vintertjern og Fundin som hadde svært lave verdier (-34 til -28). Det var generelt sett en svak tendens til synkende $\delta^{13}\text{C}$ verdier ved økende $\delta^{15}\text{N}$ -verdier for gjedde og abbor, men for hver art i den enkelte innsjø var den ingen slik tendens (Fig. 8). Abbor fra Sennsjøen, Fjellsjøen og Røgden hadde de høyeste $\delta^{13}\text{C}$ verdier (-26 til -22), mens småabbor fra S. Øyungen, Nessjøen, Gaustadsjøen og Storsjøen i Odalen hadde de laveste (-28 til -30). De aller fleste data fra småvokste bestander av ørret, abbor og gjedde hadde $\delta^{13}\text{C}$ i området -29 til -26. Dette indikerer ulike karbonkilder og næringsnett i innsjøene. Vi kommer tilbake til dette i diskusjonen.

For å få et inntrykk av de regionale forskjeller i kvikksølvkonsentrasjonene i fisk kan vi standardisere materialet ved å angi nivåene i fisk av samme alder. Aldersanalyser er imidlertid tidkrevende og krever ekspertise. Derfor er det lettere for fiskere å forholde seg til fiskens vekt. I Sverige har man valgt 1 kg gjedde som en referansecisk for regionale variasjoner i kvikksølvkonsentrasjoner. I vårt materiale er gjedda på 1 kg i gjennomsnitt nær 5 år (Fig. 9). Vi har derfor valgt å standardisere alle artene til 5 års alder. Snittet for vektene av standardfiskene i alle sjøene for gjedde, abbor, ørret og røye var

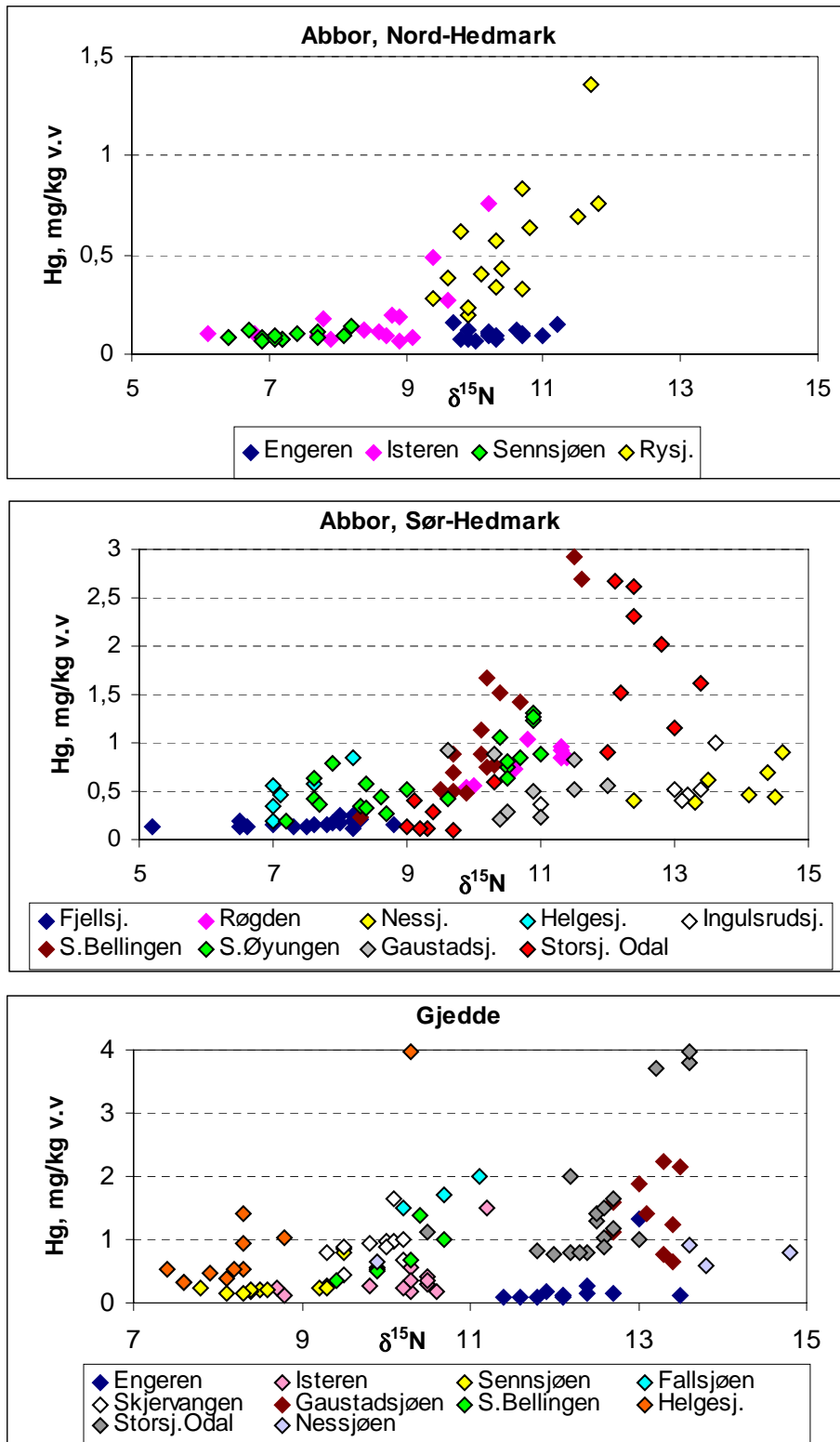
henholdsvis 1030 g, 150 g, 500 g og 450 g (beregnet som snitt av vekter gitt i Tabell 1). Variasjonen mellom alder og vekt var betydelig mindre for gjedde enn for abbor og ørret (Fig. 9, 10 og 11). En standardisering basert på vekt for andre arter enn gjedde er meningsløs. Vekt, trofisk posisjon og kvikksølv-konsentrasjon for standard 5 årig fisk i de enkelte innsjøene ble estimert ut fra sammenhenger som er vist for de enkelte innsjøene i vedlegget. Resultatene er gitt i Tabell 1.



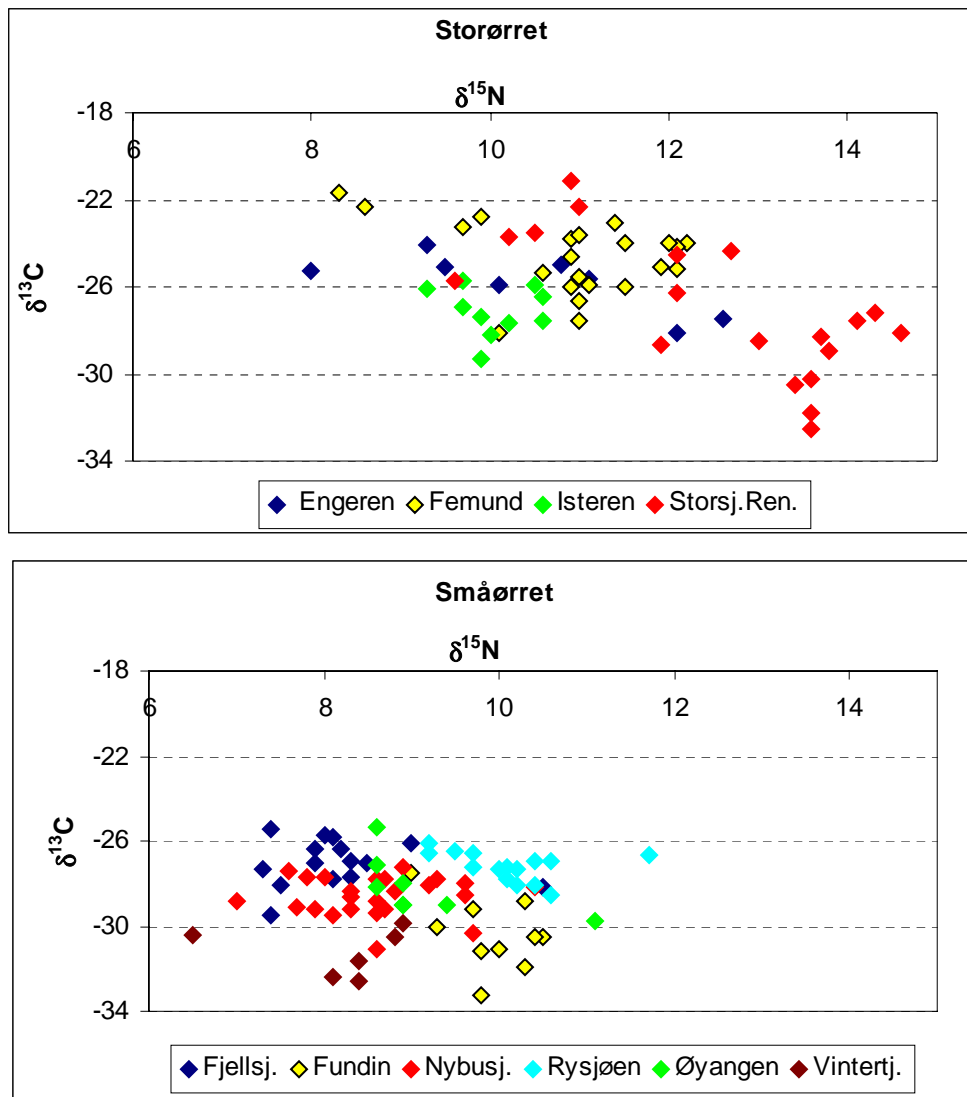
Figur 4. Sammenhengen mellom alder og trofisk posisjon ($\delta^{15}N$) i gjedde, abbor og ørret.



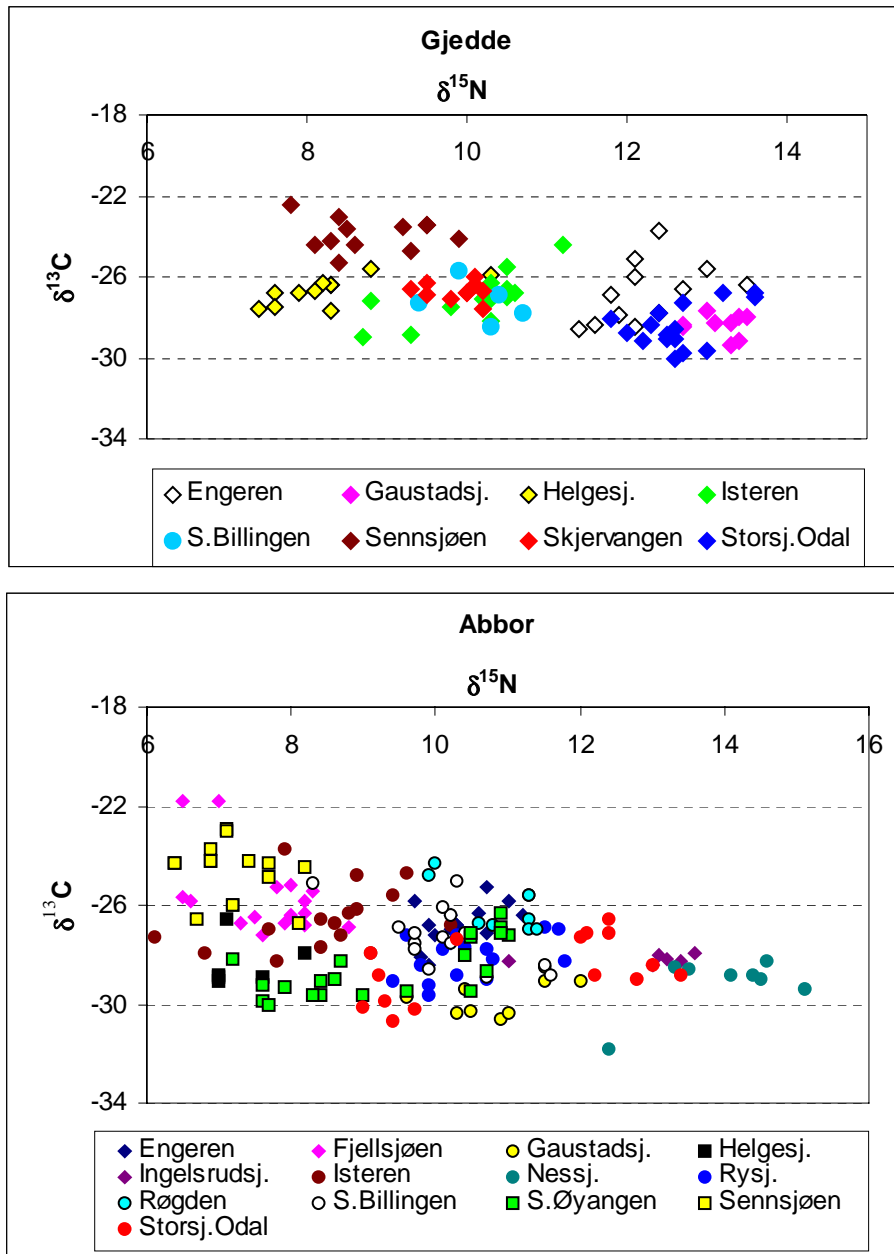
Figur 5. Sammenhengen mellom trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) og kvikksølvkonsentrasjon i storørret og bestander av småvokst ørret.



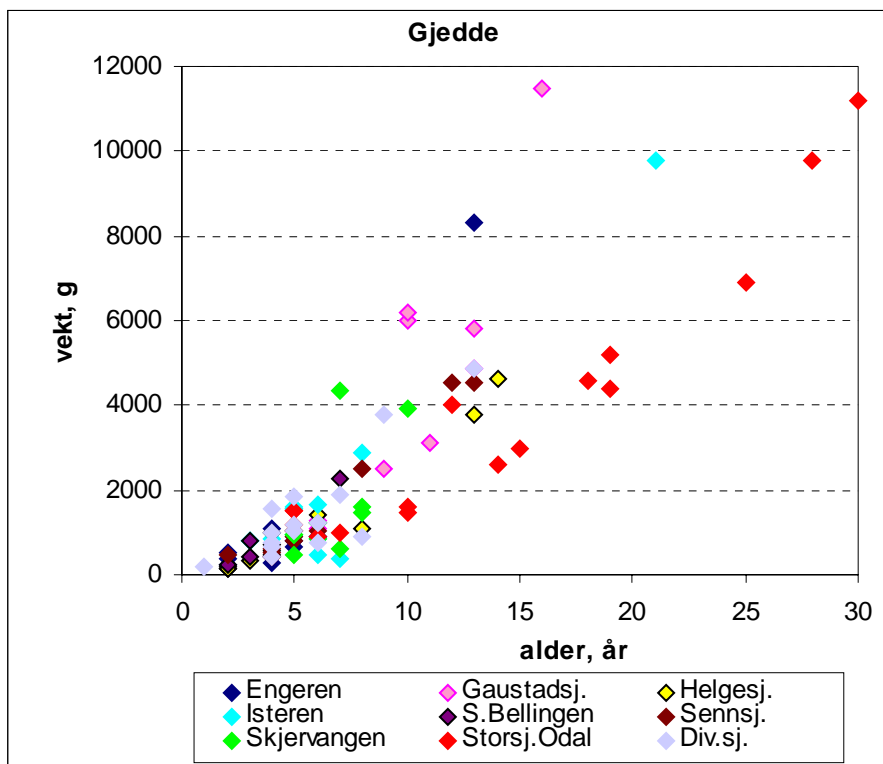
Figur 6. Sammenhengen mellom trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) og konsentrasjon av kvikksølv i abbor og gjedde. For abbor er Nord- og Sør-Hedmark vist hver for seg.



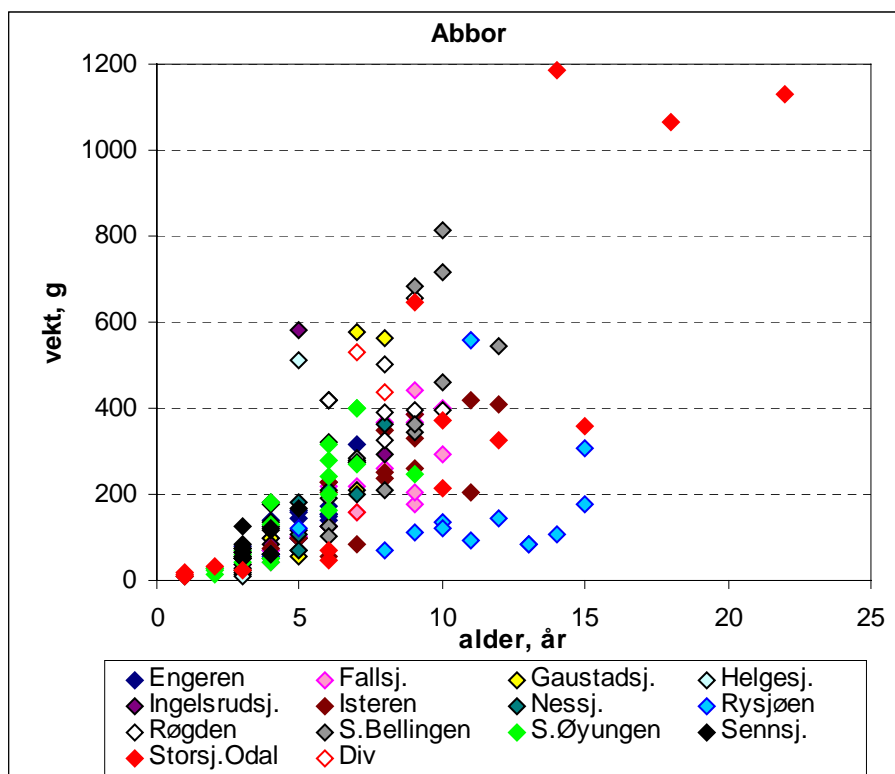
Figur 7. Sammenhengen mellom trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$) og $\delta^{13}\text{C}$ i storørret og bestander av småvokst ørret.



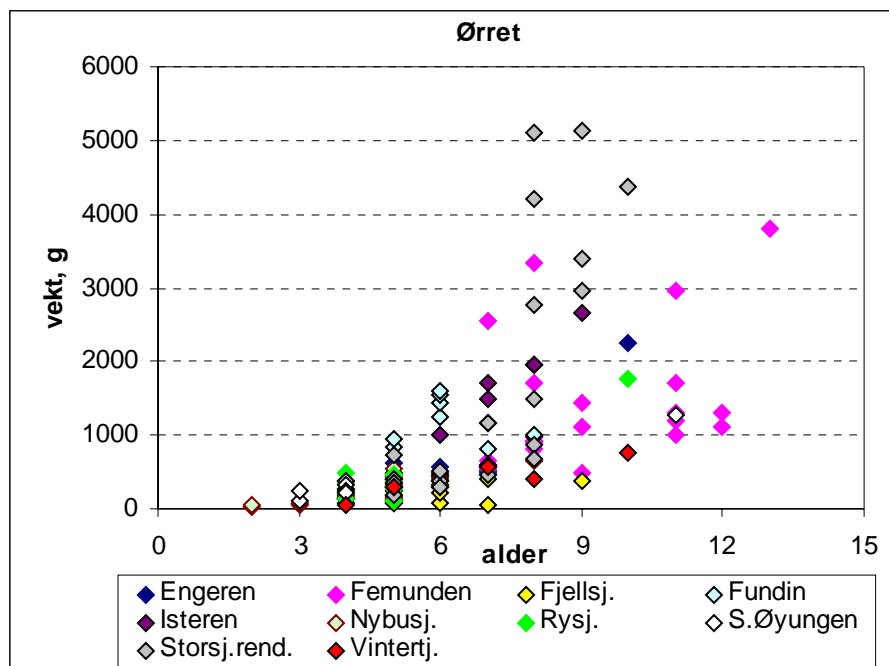
Figur 8. Sammenhengen mellom trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$) og $\delta^{13}\text{C}$ i abbor og gjedde.



Figur 9. Sammenhengen mellom alder og vekt i gjedde.



Figur 10 Sammenhengen mellom alder og vekt for abbor



Figur 11. Sammenhengen mellom alder og vekt i ørret.

Tabell 1. Trofisk posisjon ($\delta^{15}N$), gjennomsnittvekt og konsentrasjoner av kvikksølv i 5 år gammel ørret, abbor og gjedde (kalt standard fisk) fra de ulike innsjøene. Beregningene er foretatt på bakgrunn av sammenhengene mellom alder, $\delta^{15}N$ og kvikksølvkonsentrasjoner for hver art i de ulike innsjøene som er vist i vedlegget. *I Røsjøen er det ikke ørret, men 5 årig røye som er undersøkt.

Innsjø/art	Ørret			Abbor			Gjedde		
	Hg mg/kg	Vekt g	$\delta^{15}N$ ‰	Hg mg/kg	Vekt g	$\delta^{15}N$ ‰	Hg mg/kg	Vekt g	$\delta^{15}N$ ‰
Femunden	0,25	400	9,0						
Isteren	0,2	500	9,4	0,15	100	8,0	0,20	1150	9,8
Engeren	0,25	400	10,0	0,15	130	10,3	0,20	910	12,3
Storsjøen Rendal	0,2	420	11,1						
Sennsjøen				0,15	180	8,0	0,25	950	9,0
Røsjøen*	0,1	450	7,5						
Rysjøen	0,25	250	10,0	0,3	90	10,0			
Fundin	0,05	850	9,4						
Nybusjøen	0,40	350	9,0						
S.Røgden				0,5	180	10,2	0,5	1100	10,4
Fjellsjøen	0,2	500	8,0	0,15	130	7,5			
S.Øyungen	0,6	500	9,6	0,8	230	10,5			
S.Bellingen				0,7	180	9,5	0,8	1000	10,5
Nessjøen				0,7	150	14,0	0,7	1000	14,0
Helgesjøen				0,9	230	8,2	0,8	1200	8,2
Skjervangen				0,6	100	8,0	0,7	950	9,6
Ingulsrudsjøen				0,7	200	13,5	0,7	1050	13,5
Gaustadsjøen				0,6	150	11,1	0,8	1050	13,1
Vintertjern	0,2	350	8,1						
Storsj. Odal				0,6	100	10,1	0,8	1000	12,0

Kvikksølvkonsentrasjonen i standard gjedde, som er fiskespiser fra første leveår, økte fra ca. 0,2 mg Hg/kg i de nordlige deler til ca. 0,8 mg Hg/kg i de sydlige deler (Tab.1). En tilsvarende trend finner vi også for standard abbor, selv om trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) i standard abbor var noe lavere enn for gjedde i enkelte av innsjøene. Dette skyldes at 5-års abbor ikke var ren fiskespiser i alle sjøene. I de innsjøene hvor $\delta^{15}\text{N}$ var lik i standardfisken for begge arter (abboren også fiskespiser) var det ingen forskjell i kvikksølv-konsentrasjon. I de innsjøene hvor trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) i standard gjedde var høyere enn i standard abboren (i snitt 1,7 ‰) var også konsentrasjon av kvikksølv i gjedde høyere (ca. 1,3 ganger) beregnet ut fra Tab.1. Det mangler et slikt regionalt trekk i ørret. Dette må ses i sammenheng med at fiskespisende storørret holdt til i de nordligste sjøene, mens småvokste bestander av ørret dominerte i sydlige deler.

I noen innsjøer har vi også data for andre arter enn ørret, gjedde og abbor. Den storvokste bunnsiken i Isteren hadde meget lave konsentrasjoner av kvikksølv ($< 0,1$ mg/kg) og klart lavere enn den planktoniske siksilda, 0,25 mg/kg (Figur 2 i vedlegget). Siken i Sennsjøen og den relativt storvokste bestanden av røye i Røsjøen hadde lave konsentrasjoner, $< 0,1$ mg/kg (Fig 5 og 6 i vedlegget). Kvikksølvnivået i lake fra Røgden var høyt og på nivå med gjedde av tilsvarende størrelse (Fig.10 i vedlegget). I denne innsjøen var også konsentrasjonene i mort relativt høy til bunndyrspiser å være (0,5 mg/kg), hovedsakelig fordi den var gammel (Figur 10 i vedlegget). Krepsen i S. Øyungen hadde lav trofisk posisjon og lave kvikksølv-konsentrasjoner slik tilfellet også var for hork og krøkle (Fig. 12 i vedlegget). Krøkla i S. Bellingen derimot hadde trofisk posisjon og kvikksølvkonsentrasjoner på nivå med gjedde og fiskespisende abbor (Fig 13 i vedlegget). I Storsjøen i Odalen hadde mort, siksild (en sikform) og laue samme trofiske posisjon og kvikksølvkonsentrasjoner som småabbor. Hork derimot hadde trofisk posisjon på nivå med gjedde selv om dette ikke ga seg utslag i høye kvikksølv-konsentrasjoner (Fig.18 i vedlegget).

4. Diskusjon

I denne undersøkelsen har vi vist at konsentrasjonene av kvikksølv i gjedde og stor abbor i Hedmark var opp mot 4 mg/kg. Dette er svært høye verdier og opp mot de høyeste som er registrert i Norge (Rognerud et al. 1996, Fjeld 1999, Fjeld et al.1999a, Fjeld et al 1999b). I gjennomsnitt hadde hver fjerde fisk (samlet for ørret, abbor og gjedde) konsentrasjoner over omsetningsgrensa. De aller fleste av disse var fiskespisere som gjedde, lake, stor abbor og storørret. Småvokste bestander av ørret, små abbor, røye og sik som lever av bunndyr og dyreplankton hadde lave konsentrasjoner av kvikksølv.

Det er ikke uorganisk kvikksølv, men den meget giftige organiske forbindelsen metylkvikksølv som anrikes i næringskjedene. Fisk står høyt oppe i næringskjeden og dette gjør at nesten alt kvikksølv i fisk utgjøres av metylkvikksølv (Bowles et al 2001). I følge FN's ekspertkomite for vurdering av tilsetningsstoffer og forurensninger (Joint Expert Comitee on Food Additives and Contaminants – JECFA) bør et tolerabelt langtids ukentlig inntak av metylkvikksølv for en voksen person ikke overskride 3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ kroppsvekt. Et slikt inntak tilsvarer omlag 0,2 mg kvikksølv om uken for en person på 60 kg. Dette tilsvarer konsum av 400 g fisk med kvikksølvkonsentrasjon på 0,5 mg/kg. Ved høyere konsentrasjoner i fiskemiddagen eller lavere vekt for konsumenten (f.eks. et barn) vil den tolerable mengden bli betydelig mindre. Dette har ledet Statens Næringsmiddeltilsyn (SNT) til å gi et generelt råd om at gjedde, lake og abbor (større enn 25 cm) ikke bør spises mer enn en gang i måneden. Dette kostholdsrådet gjelder ikke gravide kvinner, da de på grunn av fosterets utvikling bør legge seg på et lavere nivå, men helst bør de avstå fra konsum av gjedde, større abbor og lake.

I vårt materiale overskred ofte gjedde, lake, storørret og stor abbor grenseverdiene som er satt for omsetning av slik fisk til konsum. Dette innebærer også at for personer som spiser fisk regelmessig vil kostholdsråd være aktuell for fisk fra flere innsjøer, spesielt i sydlige deler av Hedmark. Røye, sik og mindre ørret hadde generelt konsentrasjoner under omsetningsgrensa og kan trygt spises uten at en når kostholdsgrensa for ukentlig inntak. I sydlige deler av fylket har selv mindre gjedde såvidt høye konsentrasjoner av kvikksølv at et måltid i uka vil være et godt kostholdsråd. Stor gjedde og stor abbor er lite egnet som mat i denne regionen.

De høye konsentrasjonene av kvikksølv i rovfisk indikerer at næringskjedens lengde er viktig årsak. Forholdet mellom stabile nitrogen isotoper ($\delta^{15}\text{N}$) gir et relativt mål på trofisk posisjon dvs. hvor høyt hver enkelt fisk står i næringskjeden. En sammenstilling av data fra flere undersøkelser av akvatiske næringskjeder har vist at en relativ forskjell i $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene på 3,5 ‰ tilsvarer ett trofisk nivå (Vander Zanden 2001). Hvis en fisk går over fra bunndyrspiser til ren fiskespiser er økningen i trofisk posisjon lik ett trofisk nivå. I vår undersøkelse økte konsentrasjonene av kvikksølv i fisk av samme alder med en faktor på 3,5 når trofisk posisjon økte tilsvarende ett trofisk nivå. Dette indikerer effekten når byttefisk består av ørekyt, små sik og røye med kvikksølvkonsentrasjoner i intervallet 0,1 - 0,3 mg/kg. I Norge har små sik og røye svært ofte konsentrasjoner i dette intervallet (Rognerud et al. 1996), og denne faktoren er derfor antagelig representativ for mange innsjøer. Dette viser at oppkonsentrasjon i næringskjeden (biomagnifikasjon) har stor betydning for kvikksølvnivået i fisk. I ørret og gjedde som ikke endret trofisk posisjon med alderen trengs ca. 10 år for en å oppnå en tilsvarende økning i kvikksølvnivået (bioakkumulasjon) som nevnt for ett trofisk nivå. Kombinasjonen av biomagnifisering og bioakkumulasjon er årsaken til at gammel rovfisk hadde spesielt høye konsentrasjoner av kvikksølv.

Hver fjerde gjedde hadde konsentrasjoner over omsetningsgrensa (1 mg/kg). Gjedda hadde nær lik trofiske posisjon for alle alderstrinn i samme sjø. Dette stemmer godt overens med at gjedde er fiskespiser allerede fra første leveår (Anderson 1942). Forskjellene i $\delta^{15}\text{N}$ -verdiene viser at mindre abbor kan være en vanlig byttefisk. Denne antagelsen støttes av at de analyserte gjeddene hadde dominans av abbor i magene. Dersom næringskjedene er like lange kan kvikksølvnivået i like gammel gjedde gi indikasjoner på relative forskjeller i konsentrasjonene av metylkvikksølv i innsjøene. 5 årig gjedde som i snitt veide ca. 1 kg ble valgt til denne standardiseringen. I Sverige er gjedde på 1 kg valgt som standard gjedde (Johanson et al. 2001). Konsentrasjonene i standard gjedda økte med en faktor på 4 fra de nordligste innsjøene i Hedmark til de sydligste (0,2 til 0,8 mg/kg). Dette er nær de samme verdiene og gradienten som er beregnet for standard gjedde i tilstøtende grenseområder i Värmland og Dalarna (Meili 2001). Den samme trenden fant vi for standard abboren (5 årig). Kan denne regionale trenden skyldes at næringskjedene er lengre i sydlige deler?

Det var ingen systematiske regionale forskjeller i $\delta^{15}\text{N}$ verdiene i fiskespisende arter. I noen jordbrukspåvirkede innsjøer som Storsjøen i Rendalen, Engeren, Storsjøen i Odalen, Nessjøen, Ingulrudsjøen og Gaustadsjøen var $\delta^{15}\text{N}$ verdiene noe høyere. Det er imidlertid godt kjent at økt andel nitrat fra menneskeskapte kilder (allerede utsatt for fraksjonering) gir høyere $\delta^{15}\text{N}$ -verdier i primærproduktene i bunnen av næringskjeden (Gannes et al. 1998). De tre sistnevnte sjøene var fra Kongsvingertraktene hvor vi også har data fra flere skogsjøer. Det var imidlertid ikke forskjeller i kvikksølvverdier i standard gjedde fra sjøene i denne regionen, noe en skulle forvente hvis næringskjedene var lengre. Det er derfor rimelig å anta at ulike $\delta^{15}\text{N}$ verdier i de fiskespisende bestandene skyldes ulike $\delta^{15}\text{N}$ verdier i basis av næringskjeden og ikke næringskjedens lengde. Spørsmålet blir da om nord-syd gradienten kan skyldes ulik konsentrasjon av metylkvikksølv i vannet.

Konsentrasjonene av kvikksølv i terrestriske moser var 2-3 ganger høyere i sydlige deler av Hedmark enn i de nordlige (Steinnes et al. 1997). Dette indikerer at de atmosfæriske avsetninger av kvikksølv har en tilsvarende gradient. Som følge av dette har kvikksølvkonsentrasjoner i innsjøsedimenter 3-4 ganger høyere i de sydlige deler enn i de nordlige (Rognerud et al. 1999). Det er uorganisk kvikksølv

som avsettes fra atmosfæren, mens nesten alt kvikksølv i fisk er metylkvikksølv. Omdanningen til metylkvikksølv skjer ved hjelp av bakterier i innsjøsedimenter og våtmarker (St.Louis et al 1996). Bakterielle prosesser krever tilgang på organisk materiale og de er temperaturbettinget. I de lavereliggende sydlige deler var sedimentene gjennomgående rikere på organisk materiale (Rognerud et al. 1999) og temperaturen i innsjøer og våtmarker er høyere enn i nord. Det er derfor rimelig å anta at produksjonen av metylkvikksølv er mer effektiv i fylkets sydlige deler. Metylkvikksølv i innsjøenes vannmasser brytes imidlertid ned av lys. Brune humusrike innsjøer har betydelig dårligere lysgjennomgang enn klare, og følgelig vil nedbrytningen av metylkvikksølv bli langt mindre effektiv i humussjøer (Sellers et al. 1996). En regional undersøkelse over vannkvalitet i 220 innsjøer i Hedmark har vist at innsjøene i de sydlige deler var betydelig mer humusrike enn i de høyere liggende nordlige deler (Rognerud 1992). Det derfor rimelig å anta at gradienten fra nord til syd i standard gjedde og abbor skyldes at konsentrasjonene av metylkvikksølv var betydelig lavere i innsjøer i nordlige deler.

Generelt økte trofisk posisjon med alder i abbor og ørret opp til 5-7 år, men endret seg lite siden. Årsaken er at disse artene oftest har en diett basert på insekter de første leveårene før de går over til fiskediett. For abbor skjer denne overgangen ofte ved ca. 20 cm og ca. 150 g (Anderson 1942). Mindre abbor hadde derfor lave konsentrasjoner av kvikksølv, mens større abbor hadde trofiske posisjoner og kvikksølvkonsentrasjoner på nivå med gjedde av samme alder. Analysene av trofisk posisjon i ørret viste at mindre ørret (< 0,5 kg) i hovedsak var insektspisere, mens eldre og større fisk ble fiskespisere i mange av innsjøene.

Isotopanalysene av ørret i de store innsjøene Femund, Isteren, Engeren og Storsjøen i Rendalen viste at $\delta^{13}\text{C}$ verdiene sank med økende trofisk posisjon (Fig.7). Denne utviklingen i fraksjoneringen for karbonisotopene indikerer en overgang fra karbonkilder basert på påvekstalter i strandnær områder til karbon basert på terrestrisk tilført materiale eller planktonalger (France 1997). Økende verdier for $\delta^{15}\text{N}$ indikerer overgang til fiskediett.

Femund er en stor sjø der halvparten av arealet er grunnere enn 20 m. Mageanalyser har vist at i storørret var sik (60%) og røye (30%) de aller viktigste er byttefiskene (Næsje et al. 1992). Innsjøen har 3 ulike sik-former (Sandlund og Næsje 1989). Den mer storvokste planktonspisende formen (25 - 35 cm) ble lite utnyttet av ørret som byttefisk. Det meste av fisken som ble spist av ørret var mindre enn 15 cm og oppholdt seg i bunnære områder (Næsje et al 1996). Bunnedyrene (ofte fjærmygglarver) som småsik lever av tar næringen fra organisk materiale på sedimentoverflaten. Slikt materiale har ofte en stor andel som er tilført fra planter i nedbørfeltet. Dette stemmer godt overens med $\delta^{13}\text{C}$ verdiene (-28 til -23) som indikerte at karbonkildene i storørret var nær de $\delta^{13}\text{C}$ verdier som oftest observeres i terrestrisk organisk materiale (France 1997).

Storsjøen i Rendalen er en stor og meget dyp innsjø der gruntområdene utgjør en liten del av innsjøens overflate. $\delta^{13}\text{C}$ verdiene indikerer at de yngste ørretene lever av bunndyr i strandsonen, mens de eldste har karbonkildene fra en planktonbasert næringskjede. Dette stemmer godt overens med mageanalyser som viser at mindre fisk hadde spist insektslarver, mens de største levde av planktonspisende sik og røye (Nashoug pers. medd.).

Trofisk posisjon ($\delta^{15}\text{N}$) samvarierte bedre med kvikksølvkonsentrasjonene enn med alder i ørret fra Femund og Storsjøen i Rendalen. Dette skyldes at omslaget til fisk i dietten er individuelt og kan skje fra 3-8 år, selv om andelen rene fiskespisere øker med alderen (Næsje et al. 1992, Qvenild og Nashoug 1998). Konsentrasjonene av kvikksølv i forfisk (røye, sik) var 0,1 - 0,2 mg Hg/kg i Femund (Rognerud et al. 1996), mens i Storsjøen var tilsvarende verdier 0,05 - 0,1 mg/kg for de samme artene. Generelt var sik noe yngre enn røye ved den aktuelle størrelsen for byttefisk (10 - 15 cm) og hadde de laveste verdiene i ovennevnte intervaller. Dersom vi regner med en effekt på 3,5 for et trofisk nivå og 1,7 for 5 års spredning i alder, vil en for rene fiskespisere forvente konsentrasjoner av kvikksølv i området 0,6 -

1,2 mg Hg/kg i Femund og 0,3 - 0,6 mg Hg/kg i Storsjøen. Dette stemmer meget godt med de verdier vi fant i storørret med maksimal trofisk posisjon i disse innsjøene.

I Engeren har vi for få data på storørret til å gjøre en god analyse. Fiskebestanden i sjøen domineres av sik og det er rimelig å anta at denne er byttefisk for storørret (Qvenild og Nashoug 1998). Konsentrasjonene av kvikksølv i siken var på nivå med sik fra Femund (Rognerud et al. 1996). Det er derfor rimelig å anta at kvikksølvnivået i storørret fra Engeren vil følge samme utvikling som i Femund når den går over til fiskediett. De eldste ørretene (8 år) i Isteren hadde kvikksølv - konsentrasjoner på samme nivå som like gammel ørret i Femund. De hadde samme trofiske posisjon som gjedda i sjøen og var følgelig fiskespisere. Isotopanalysene indikere at siksild kan være byttefisk. Dette er den mest tallrike siktypen i innsjøen. Den finnes både i strandsonen og de frie vannmassene og er hyppigste bytte for ørret, abbor og gjedde (Qvenild og Nashoug 1998). Dette er antagelig årsaken til at like stor gjedde og ørret hadde nær de samme kvikksølvkonsentrasjonene. Konsentrasjonen av kvikksølv i siksilda var på nivå med røye i Storsjøen i Rendalen og Femund.

Biomagnifikasjon i næringskjeden er avgjørende for at konsentrasjonene av kvikksølv i storørret fra de store sjøene i nordlige deler av fylket skal komme opp i konsentrasjoner over 0,5 mg/kg. For å nå konsentrasjoner nær 1 mg/kg må de i tillegg bli relativt gamle. Utviklingstrekkene med hensyn til økning av konsentrasjonene med alder var relativt lik i disse innsjøene.

Småvokste bestander av ørret og røye i de andre mindre innsjøene hadde med få unntak lave konsentrasjoner og lav trofisk posisjon. Dette viser at så lenge disse artene ikke skifter trofisk posisjon vil konsentrasjonene av kvikksølv være lave og oftest under omsetningsgrensa. Dette stemmer godt overens med resultatene fra nasjonale undersøkelser (Rognerud et al. 1996). Sik fra Isteren, Sennsjøen og Storsjøen i Rendalen røye i Røsjøen og Storsjøen, kreps i Øyungen og mort fra Røgden hadde alle lave konsentrasjoner av kvikksølv. Isotopanalysene indikerte lav trofisk status og karbonkilder fra planktoniske eller strandnære næringsnett. Dette overenstemmer med mageanalysene som viste at sik og røye var planktonspisere eller bunndyrspisere, mens kreps i hovedsak konsumerte planterester og bunndyr. Lake i Røgden hadde konsentrasjoner på nivå med stor abbor og gjedde i sjøen. Dette er rimelig da lake betegnes som en "glupsk fisk som i hovedsak lever av fisk" (Andersson 1942).

Vi har vist at variasjoner i næringskjedene er like viktige som variasjoner i de atmosfæriske avsetningene av kvikksølv for kvikksølvnivået i fisk. Derfor vil en kunne finne bestander av rovfisk med høye konsentrasjoner i områder med lave avsetninger (f.eks Femund), mens lave konsentrasjoner finnes i fisk som lever av bunndyr eller plankton i områder med høye avsetninger av kvikksølv (eks. ørret og abbor i Fjellsjøen, røye i Røsjøen, ørret i Vintertjern etc). I tillegg innvirker innsjøspesifikke egenskaper på dannelsen av metylkvikksølv. I klare nøytrale innsjøer er antagelig konsentrasjonene av metylkvikksølv langt lavere enn i nærliggende brune og svakt sure. Det er derfor ikke lett å generalisere når det gjelder kvikksølv i fisk. Næringskjedens struktur og innsjøens evne til å produsere metylkvikksølv vil alltid kunne gi store lokale variasjoner i fiskens kvikksølvnivå. Som en generell informasjon er derfor antagelig greit å lage regionale kart for "standard" fiskespisere (gjedde, lake, stor abbor og stor ørret) og "standard" bunndyr eller planktonspisere som små ørret, små abbor, sik og røye. Dette forprosjektet har lagt grunnlaget for å lage slike regionale kart på Norsk side. Gjennom INTEREG III prosjektet er det planlagt å samordne norske og svenske data for Hedmark, Värmland og Dalarna.

5. Referanser

- Andersson, K.A. 1942. Fiskar och fiske i Norden. Band II, Fiskar och fiske i sjöar och floder, Bokförlaget Natur och kultur, Stocholm.
- Bowles, K.C., Apte, S.C., Maher, W.A., Kawei, M. and Smith, R. 2001. Bioaccumulation and biomagnification of mercury in lake Murray, Papua New Guinea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 888 - 897.
- Craig, H. 1953. The geochemistry of stable carbon isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 3: 53 - 93.
- Fjeld, E., Øksnevad S., Følsvik N., og Brevik E. M. 1999. Miljøgifter i fisk fra Mjøsa, 1999. Kvikksølv og klororganiske forbindelser. NIVA-rapport 4072-99.
- Fjeld, E. 1999. Miljøgifter i fisk fra Randsfjorden, 1998. Kvikksølv og klororganiske forbindelser. NIVA-rapport 4073-99. 29s + vedlegg.
- Fjeld, E., Lien, L., Rognerud, S., og Underdal, B. 1999. Miljøgiftundersøkelser i Drammensvassdraget 1997-1998. Tungmetaller og organiske mikroforurensninger i fisk, moser og muslinger. NIVA-rapport 4060-99. 37s. + vedlegg.
- France, R.L. 1997. Stable carbon and nitrogen isotopic evidence for ecotonal coupling between boreal forests and fishes. *Ecology of Freshwater Fish.* 6 :78-83.
- Gannes, L.Z., Martinez Del Rio, C. and Kock, P. 1998. Natural abundance variations in stable isotopes and their potential uses in animal physiological ecology. *Comp. Biochem. Physiol.* 119A: 725-737.
- Johansson, K., Bergbäck, B., and Tylor, G. 2002. Impact of atmospheric long range transport of lead, mercury and cadmium of the swedish forest environment. *Water, Air, and Soil Pollut.* Accepted MS.
- Mariotti, A. 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance ¹⁵N measurements. *Nature*, 303: 685 - 687.
- Meili, M. 2001. Mapping the atmospheric mercury pollution of boreal ecosystems in Sweden. S.93-99 in *Modelling and mapping of critical thresholds in Europe: Status report 2001*. Editors Posch, M., de Smet, P.A.M., Hettelingh, J-P., and Dowing, R.J. Coordination Center for Effects, National Institute for Public Health and Environment Bilthoven, Netherlands.
- Næsje, T. F., Sandlund, O.T., og Saksgård, R. 1996. Auren i Femund – vekst og ernæring. NINA Oppdragsmelding 153: 1-15.
- Næsje, T. F., Forseth, T., Hårsaker, K., Saksgård, R., og Sandlund, O.T. 1996. Produksjon og forvaltning av storørret i Femund. Årsrapport for 1995. NINA Oppdragsmelding 436: 1-37.
- Qvenild, T., og Nashoug O. 1998. Driftsplan for Femund-/Trysilvassdraget. Del I: Fiskeressursene – status. Fylkesmannen i Hedmark, miljøvernavdelingen, rapport nr. 9/98. 72 s.
- Rognerud, S. 1992. Vannkvalitetsundersøkelse i Hedmark. En regional undersøkelse av 220 innsjøer høsten 1988. Fylkesmannen i Hedmark. Rapport nr. 4/92. 29s + vedlegg.

Rognerud, S., Fjeld E., og Eriksen G.S. 1996. Landsomfattende undersøkelse av kvikksølv i ferskvannsfisk og vurdering av helsemessige effekter ved konsum. Statlig program for forurensningsovervåkning. SFT-rapport TA 1380. 21 s. + vedlegg.

Rognerud, S. Fjeld., og Løvik, J.E. 1999. Landsomfattende undersøkelse av metaller i innsjøsedimenter. Statlig Program for forurensningsovervåkning. Rapport 759/99. 72 s.

Sandlund, O.T., and Næsje, T.F. 1989. Impact of a pelagic gill-net fishery on the polymorphic whitefish (*Coregonus lavaretus* L.s.l.) population in lake Femund, Norway. Fisheries Research, 7:85-97.

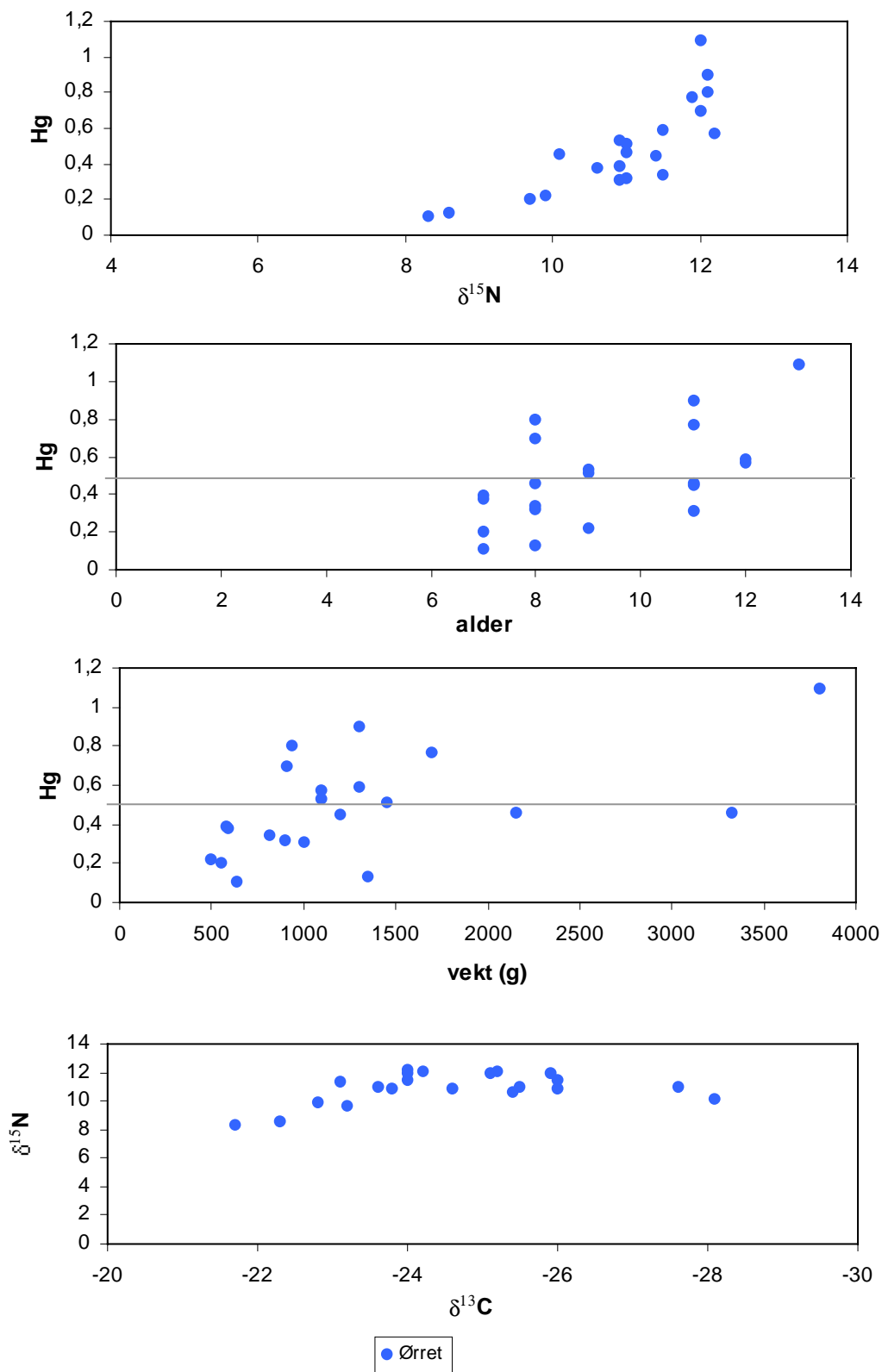
Sellers, P., Kelly, C. A., Rudd, J.W.M., and MacHutchon, A.R. 1996. Photodegradation of methyl mercury in lakes. Nature 380: 694-697.

Steinnes, E., Berg.T, Vadset,M. og Røyset, O. 1997. Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1995. Statlig program for forurensningsovervåkning. Rapport 619/97.

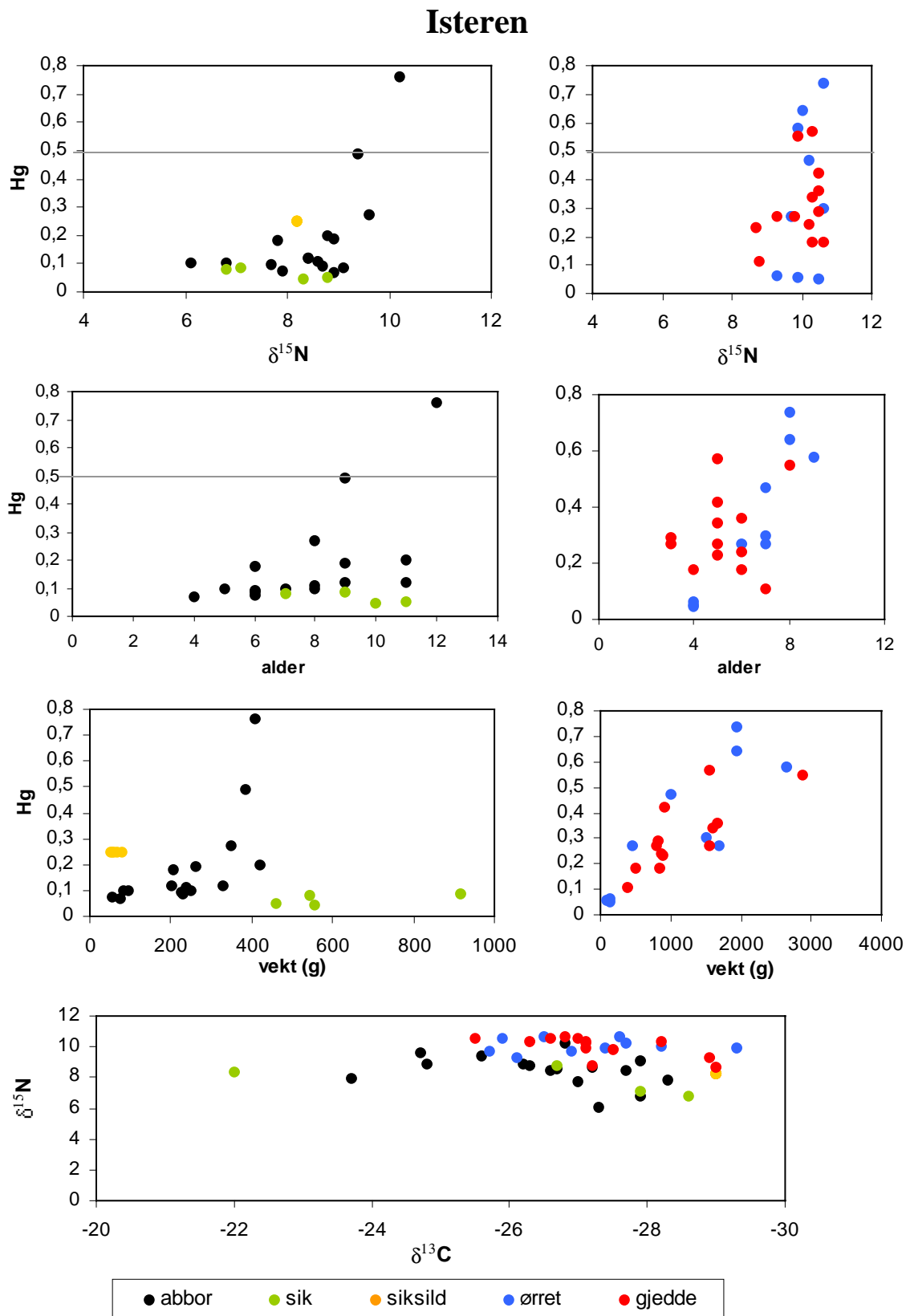
St.Louis, V.L., Rudd, J.W.M., Kelly, C.A., Beaty, K.G., Flett, R.J. and Roule, N. T. 1996. Production and loss of methyl mercury from boreal forest catchments containing different types of wetlands. Environ. Sci. Technol. 30. 2719 - 2729.

Vander Zanden, J., and Rasmussen, J. B. 2001. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. Limnol. Oceanogr. 46: 2061-2066.

6. Vedlegg

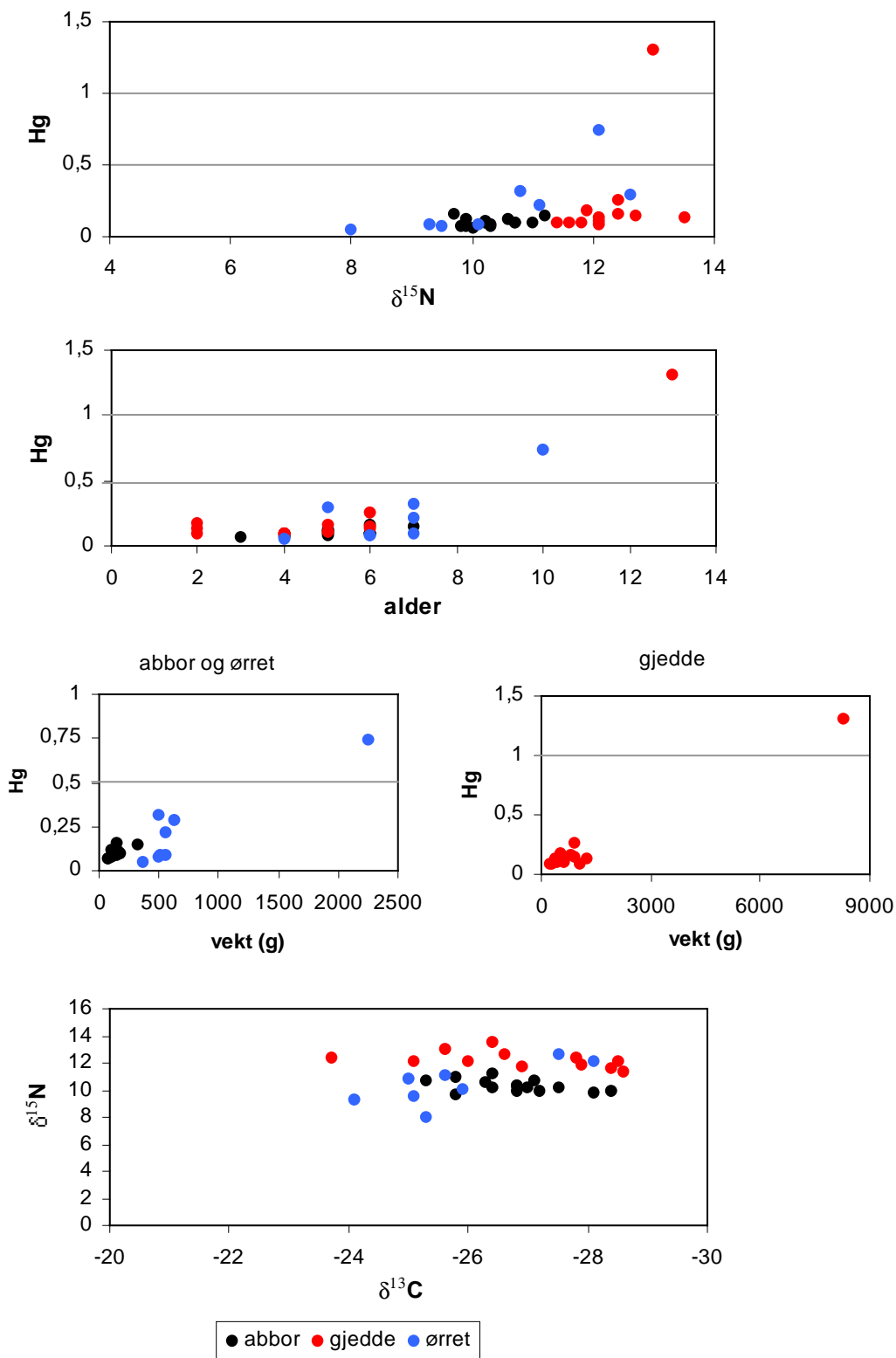
Femund

Figur 1. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰, alder (år) og vekt i Femund. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist



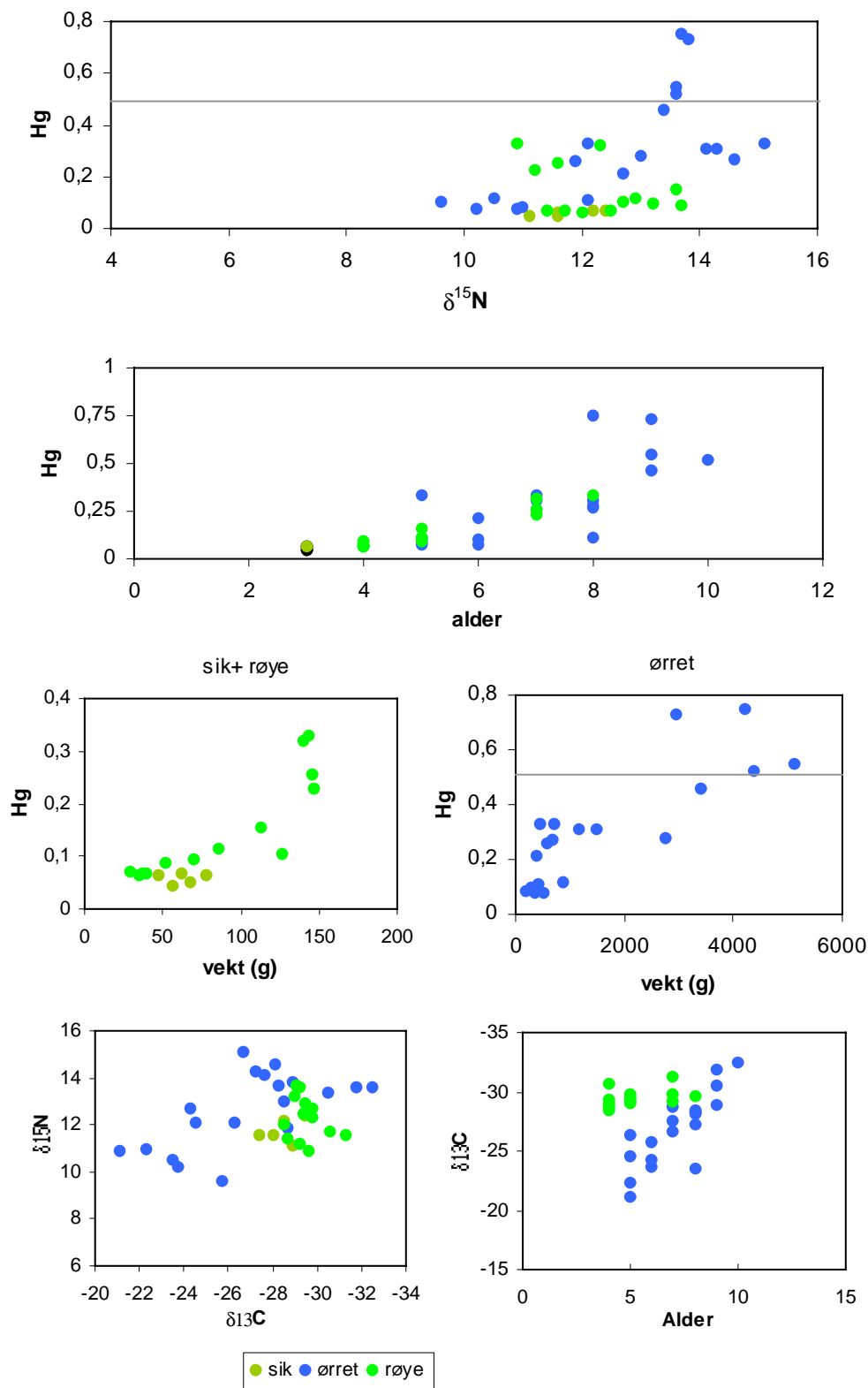
Figur 2. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Isteren. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Engeren



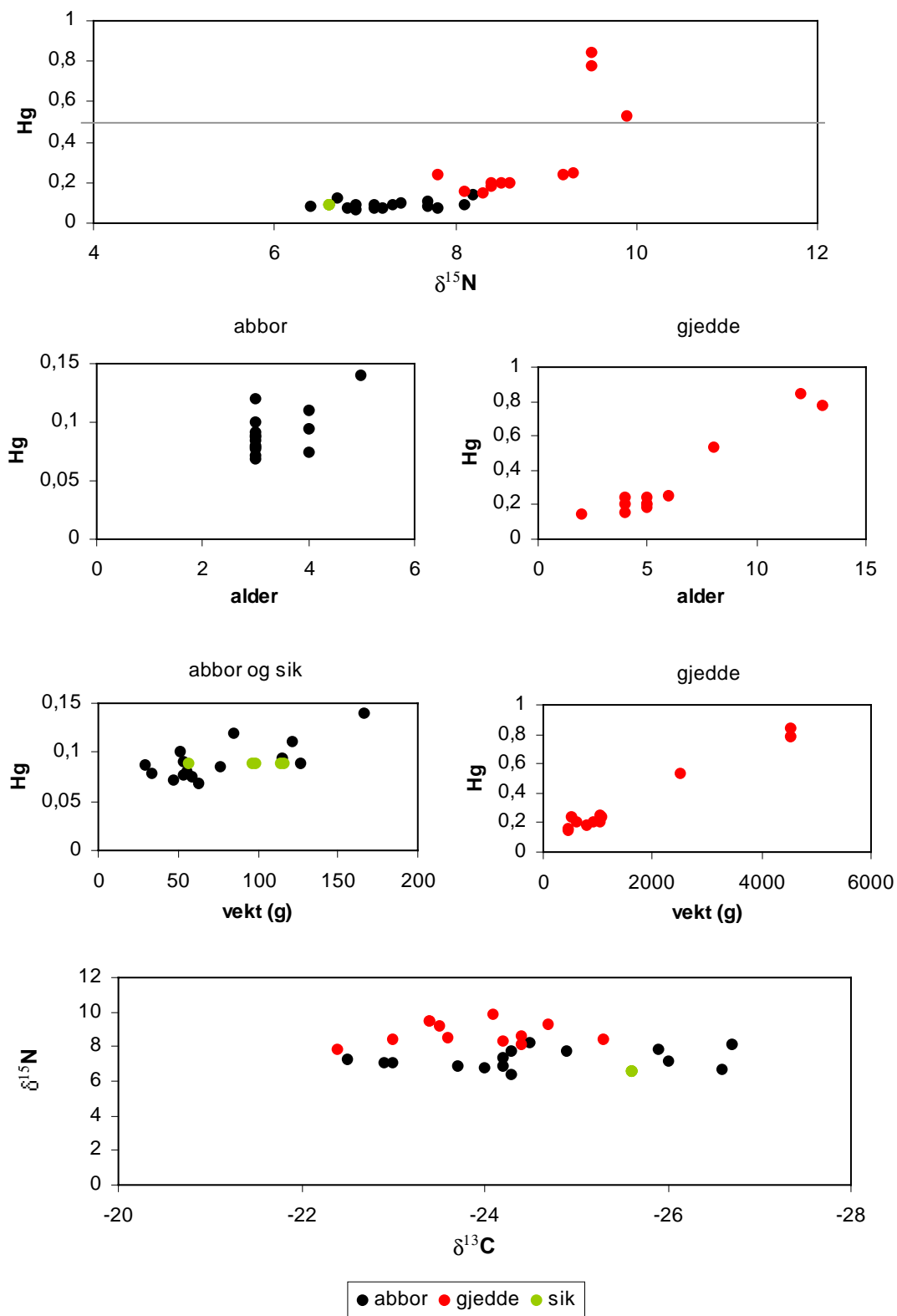
Figur 3. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Engeren. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist

Storsjøen i Rendalen



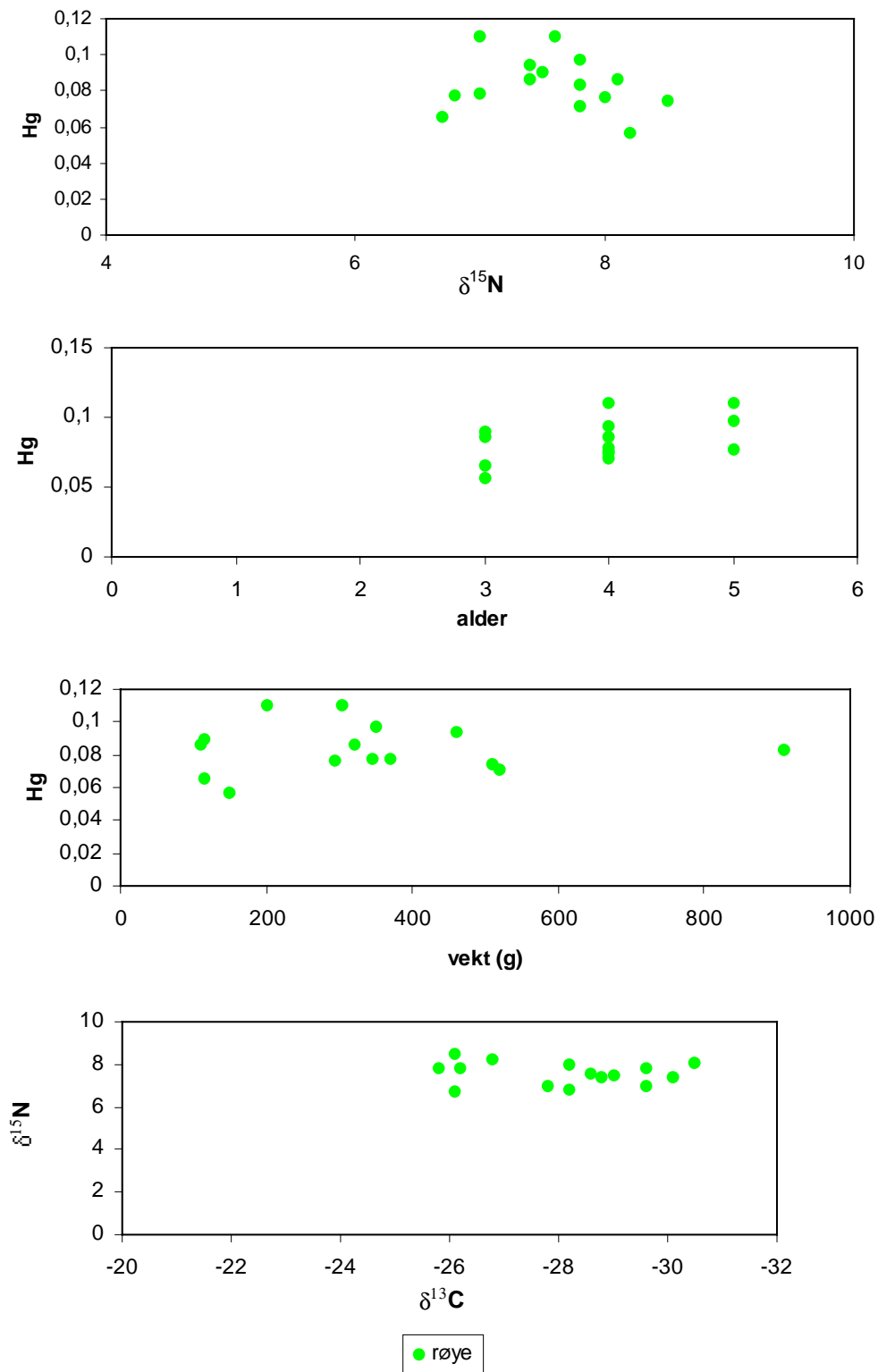
Figur 4. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Storsjøen i Rendalen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist

Sennsjøen



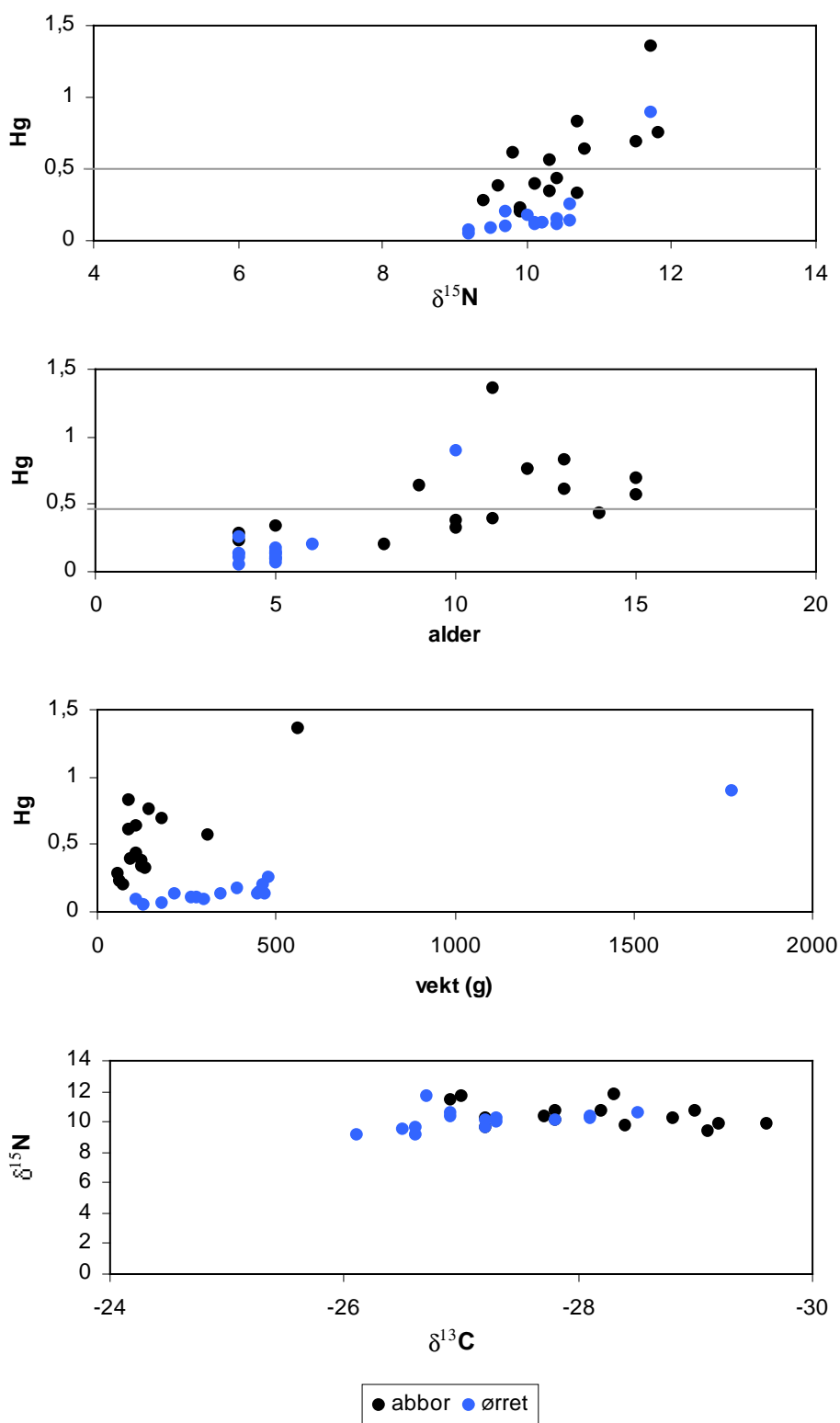
Figur 5. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Sennsjøen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Røsjøen

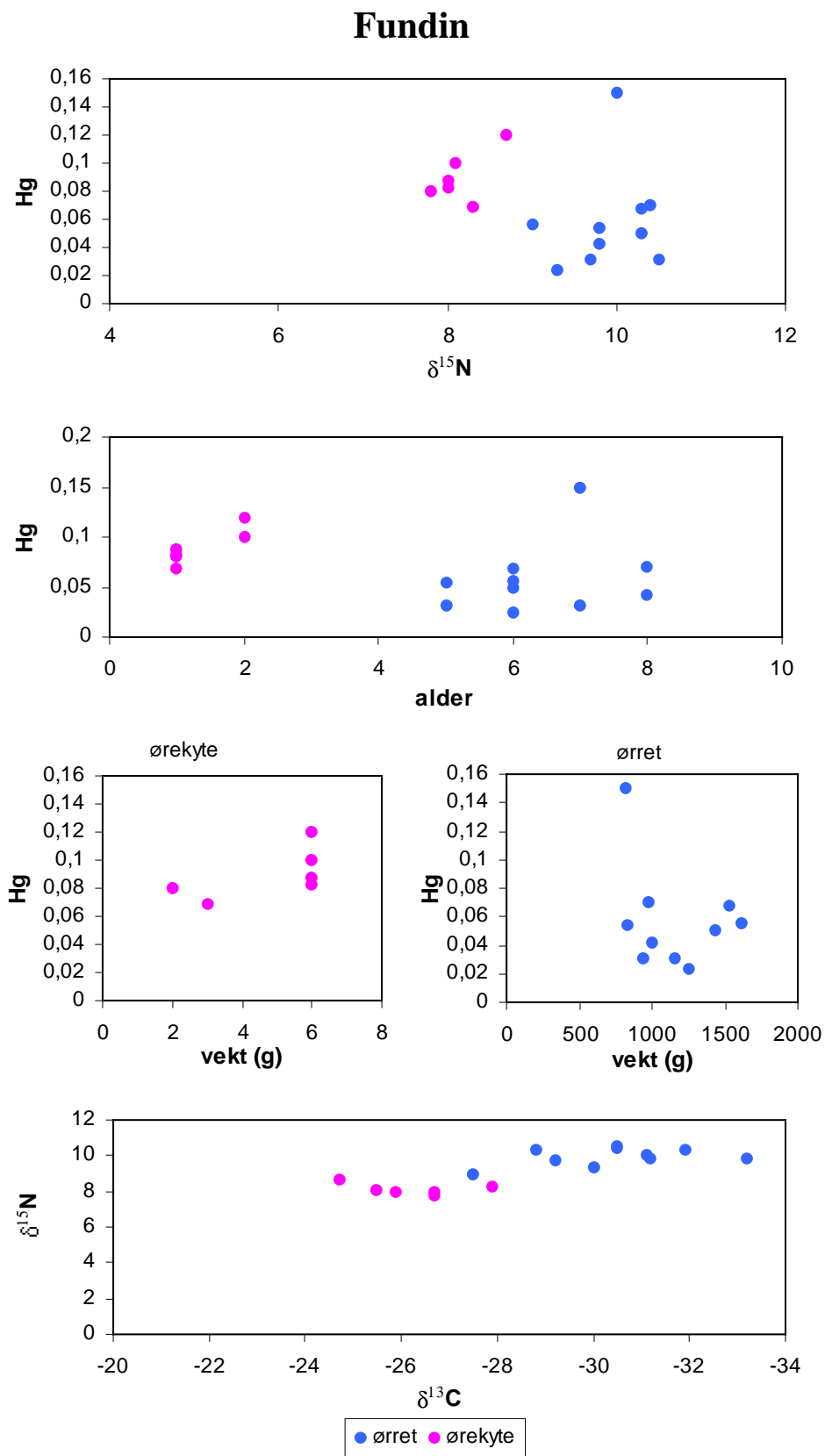


Figur 6. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Røsjøen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Rysjøen

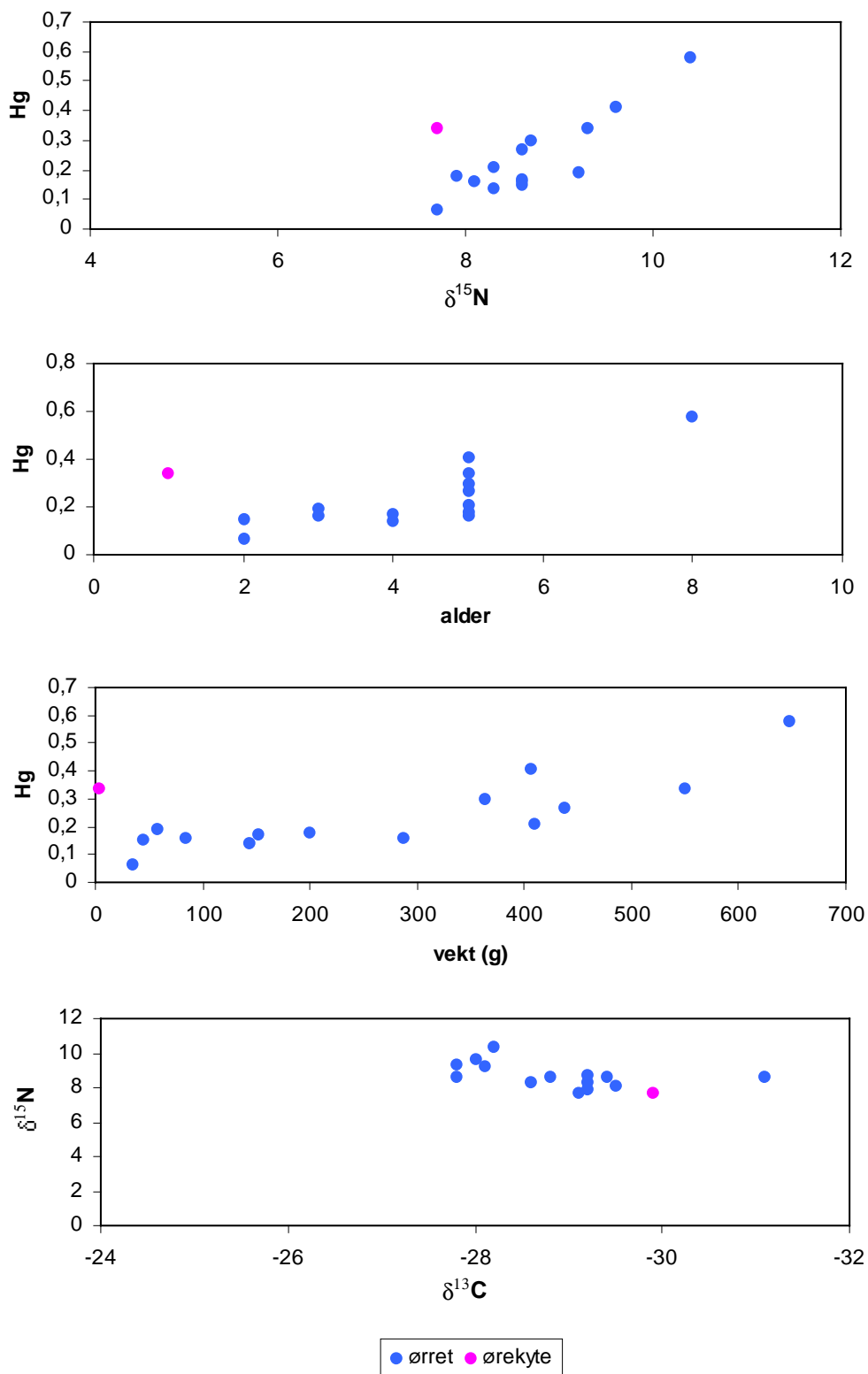


Figur 7. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Rysjøen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.



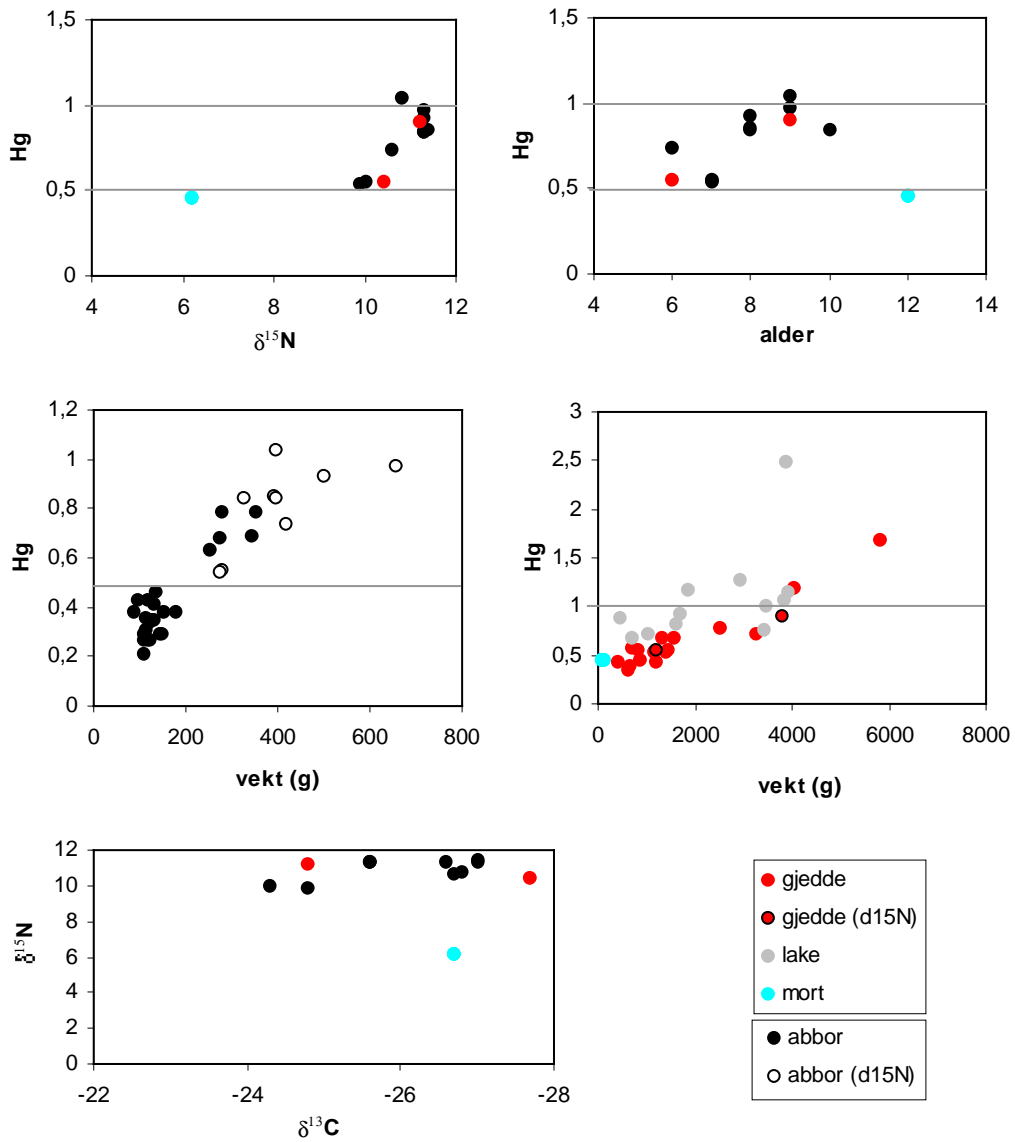
Figur 8. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Fundin. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Nybusjøen

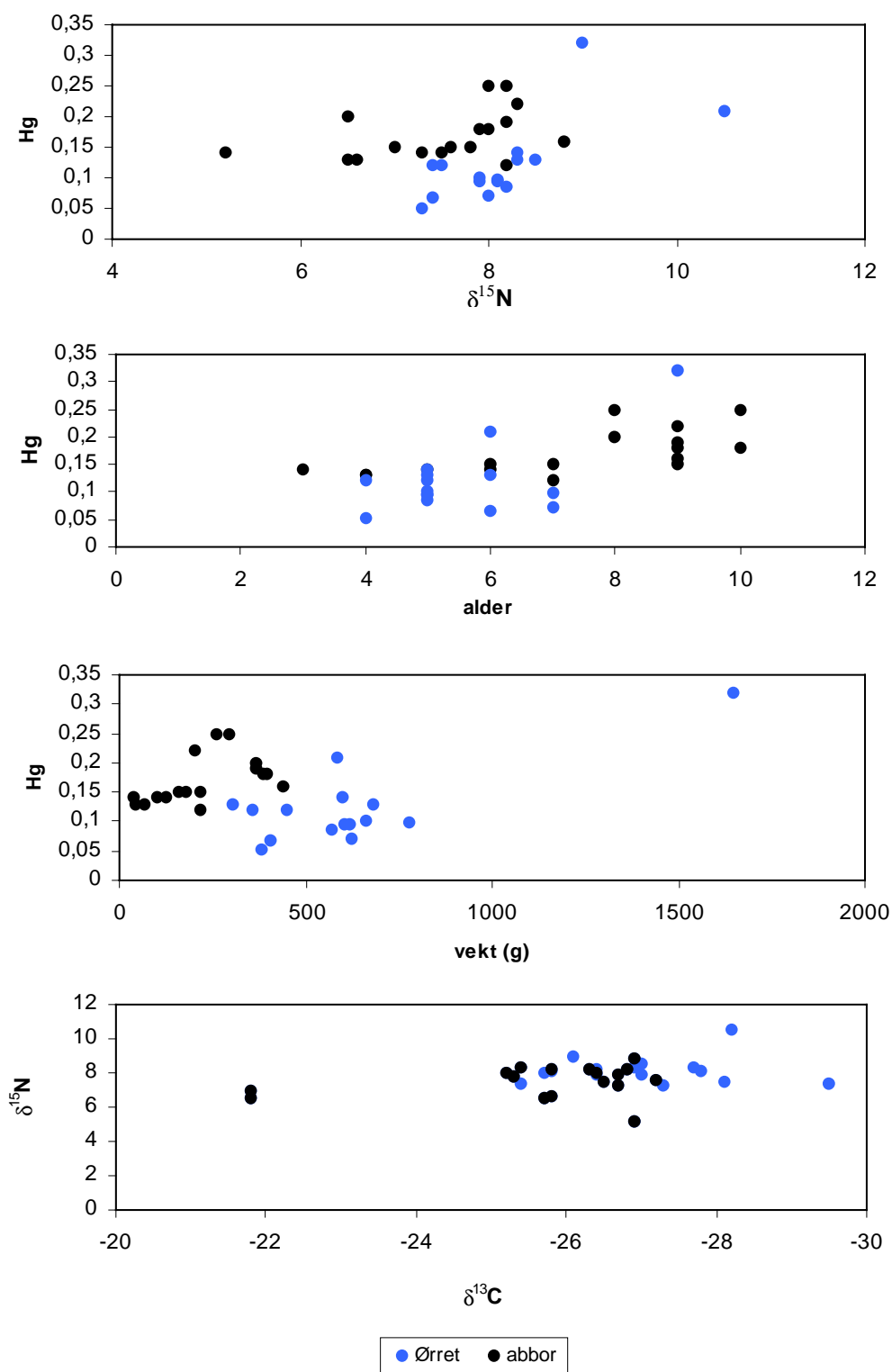


Figur 9. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Nybusjøen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Røgden

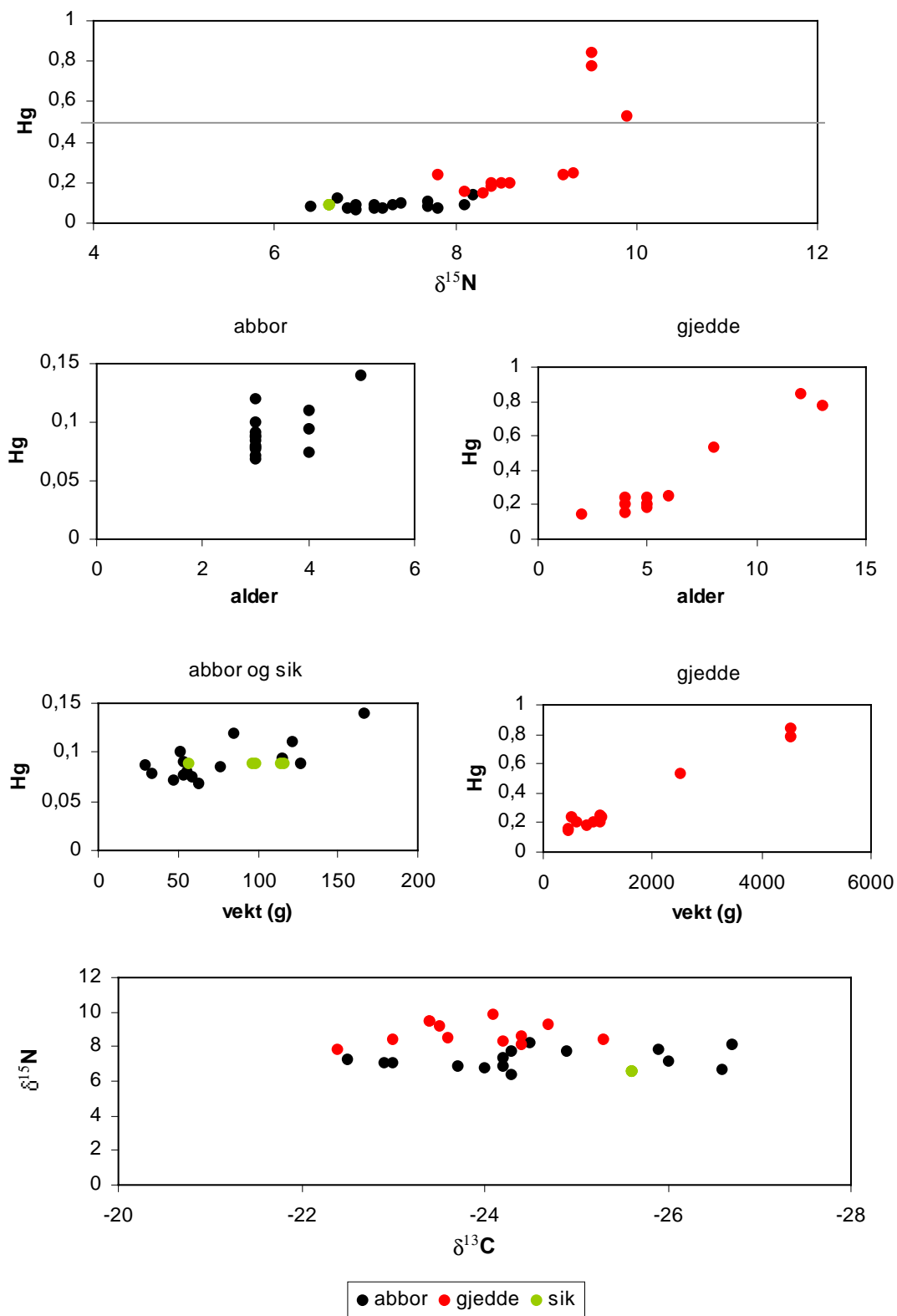


Figur 10. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Røgden. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Fjellsjøen

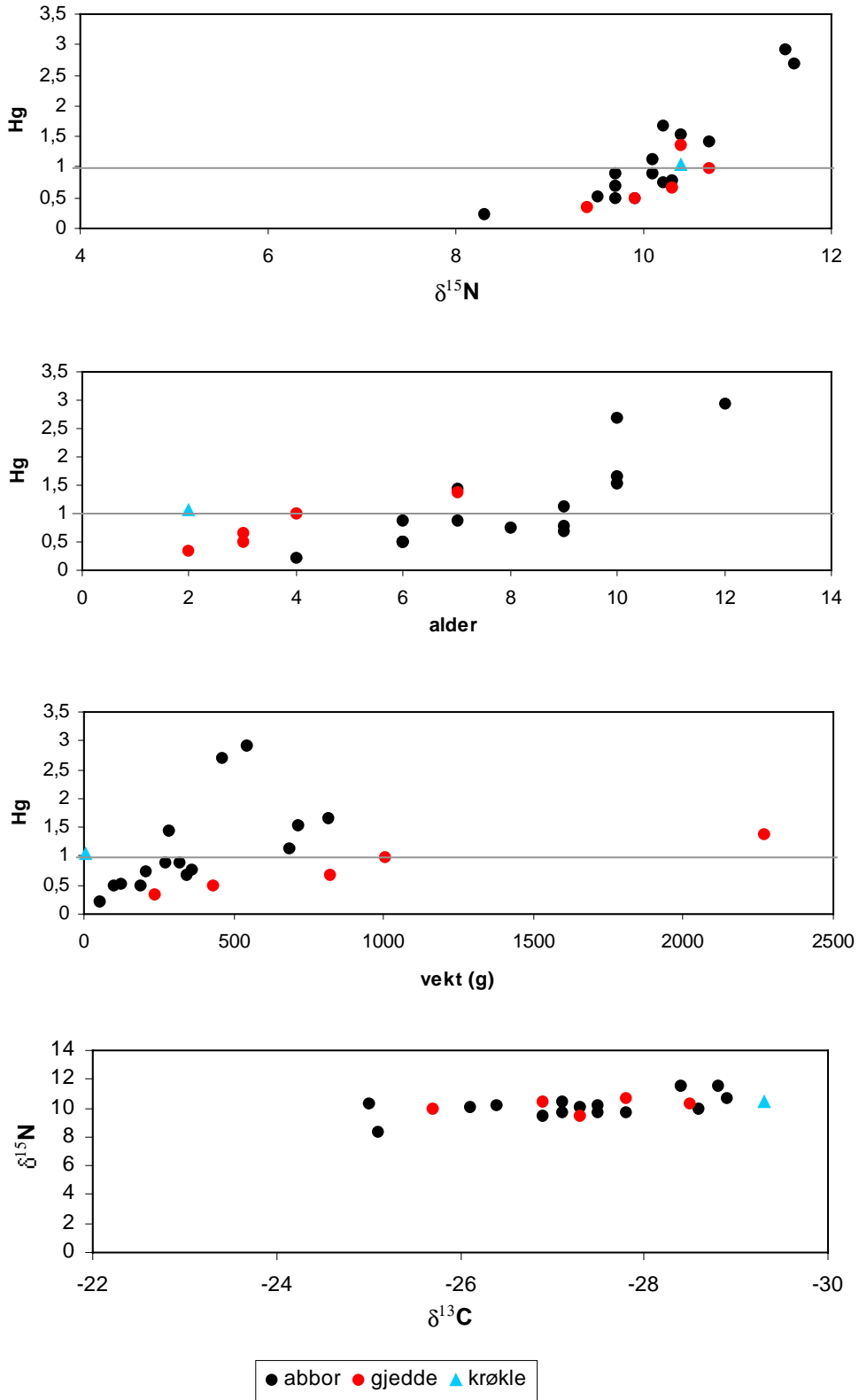
Figur 11. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Fjellsjøen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

S.Øyungen



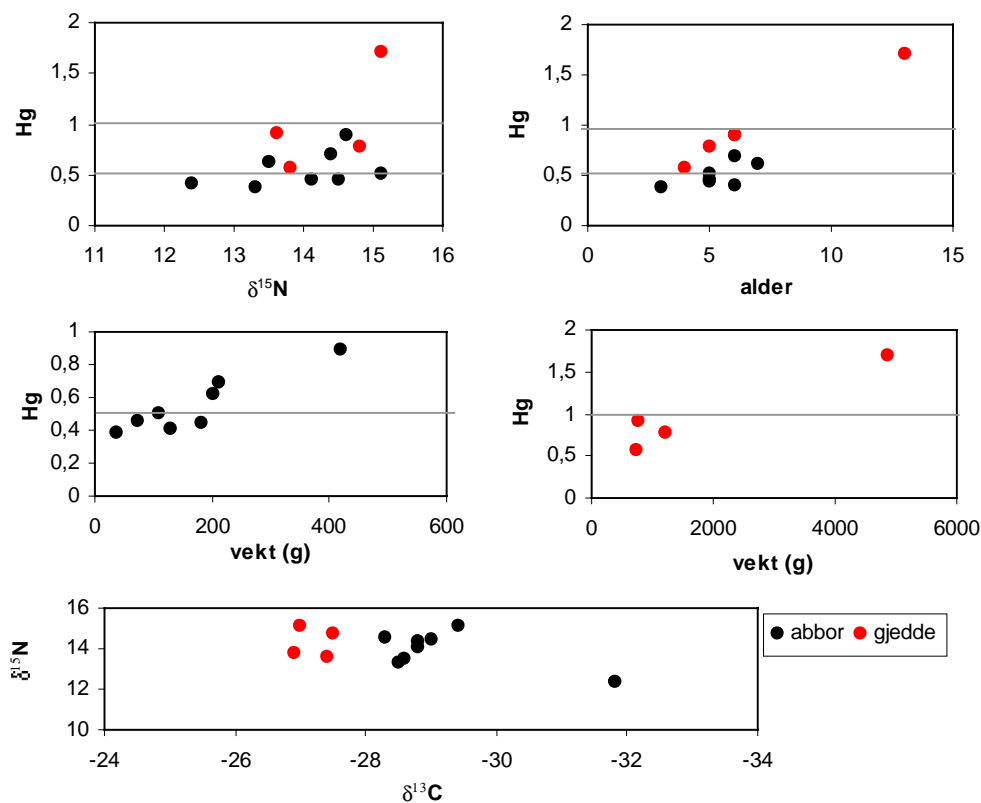
Figur 12. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i S.Øyungen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

S.Bellingen

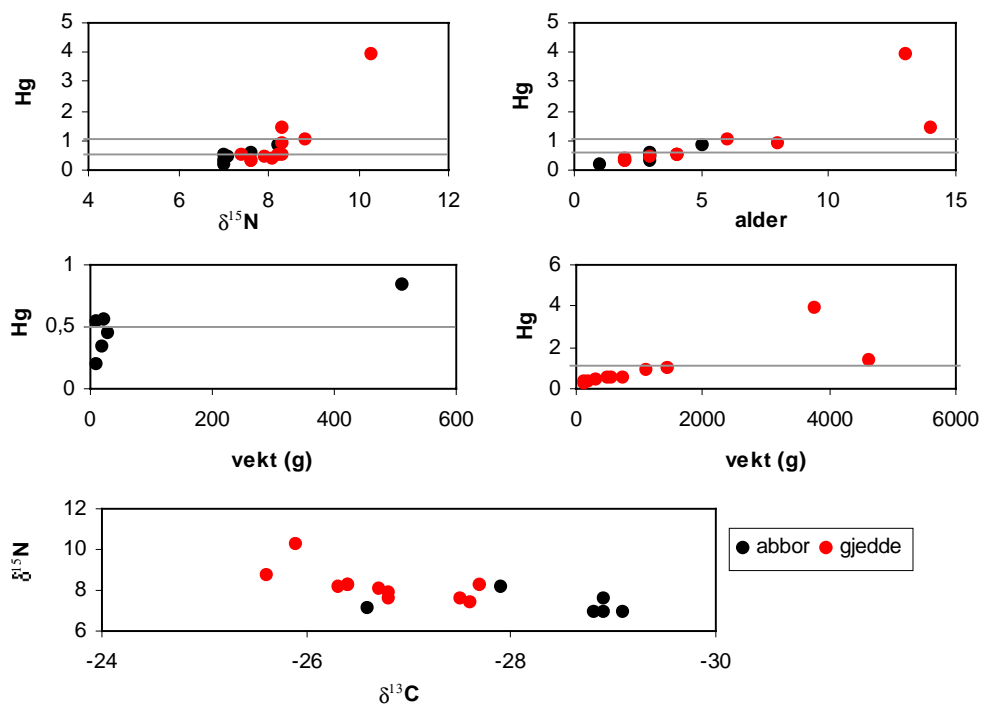


Figur 13. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰, alder (år) og vekt) i S. Bellingen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Nessjøen

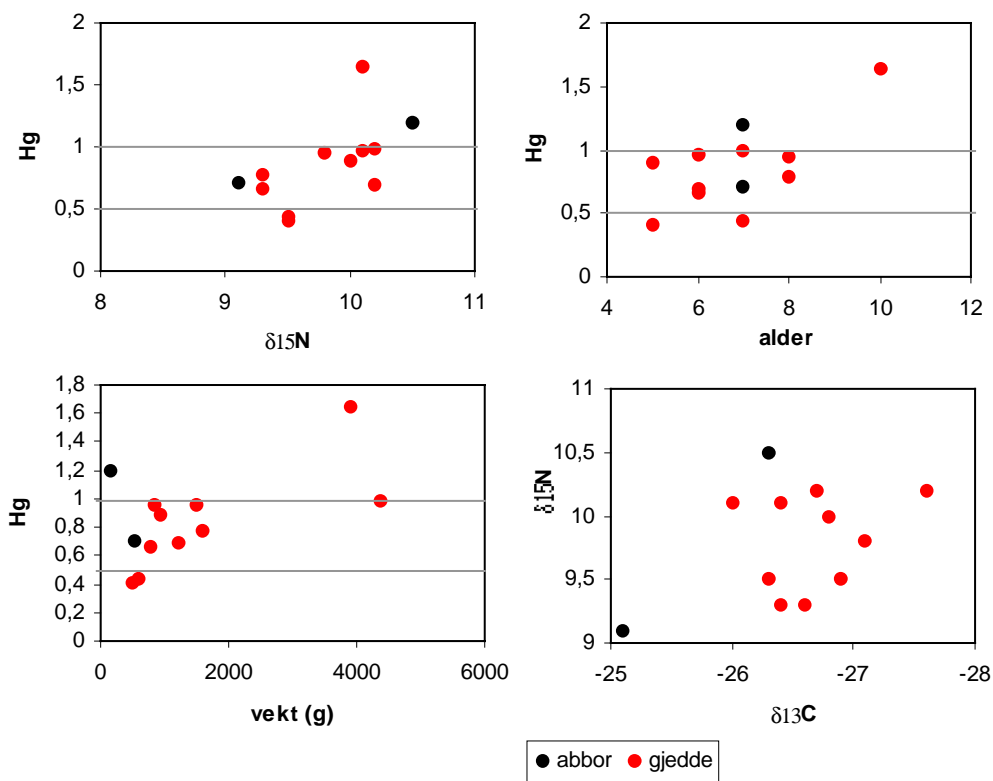


Helgesjøen

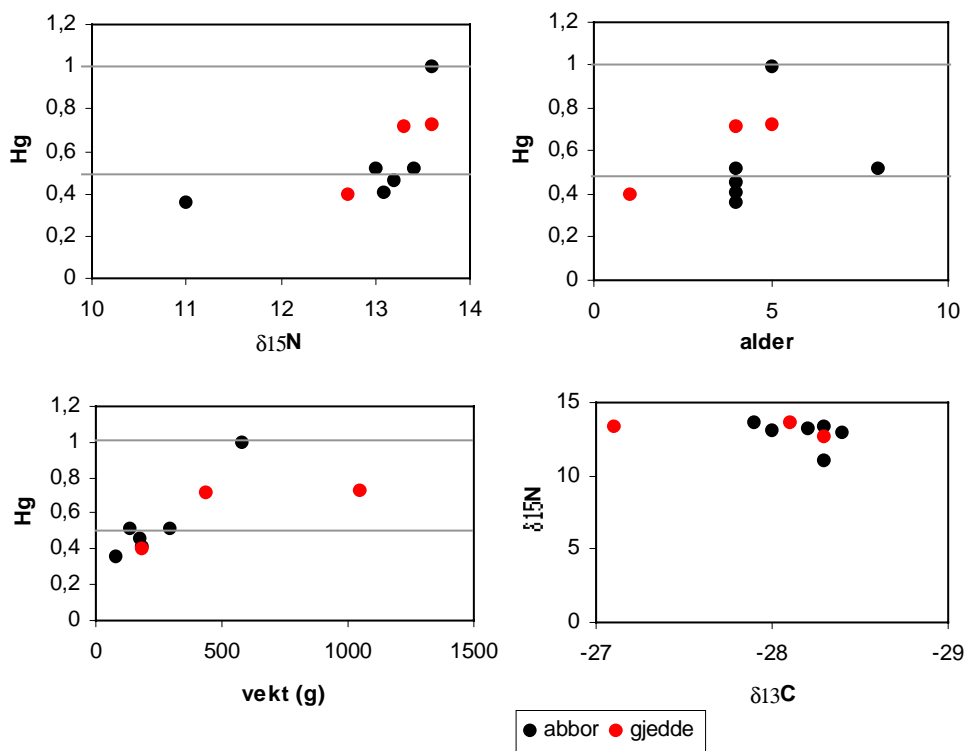


Figur 14. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Nessjøen og Helgesjøen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Skjervangen

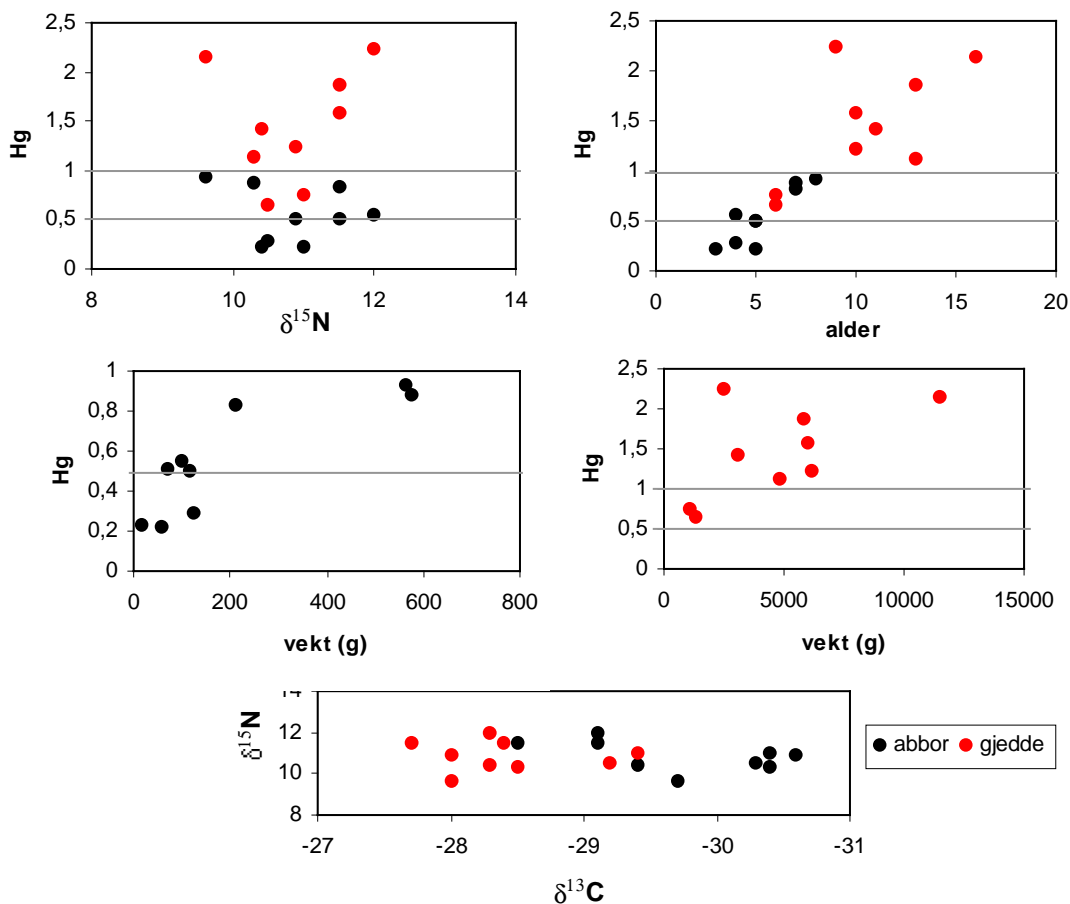


Ingelsrudsjøen

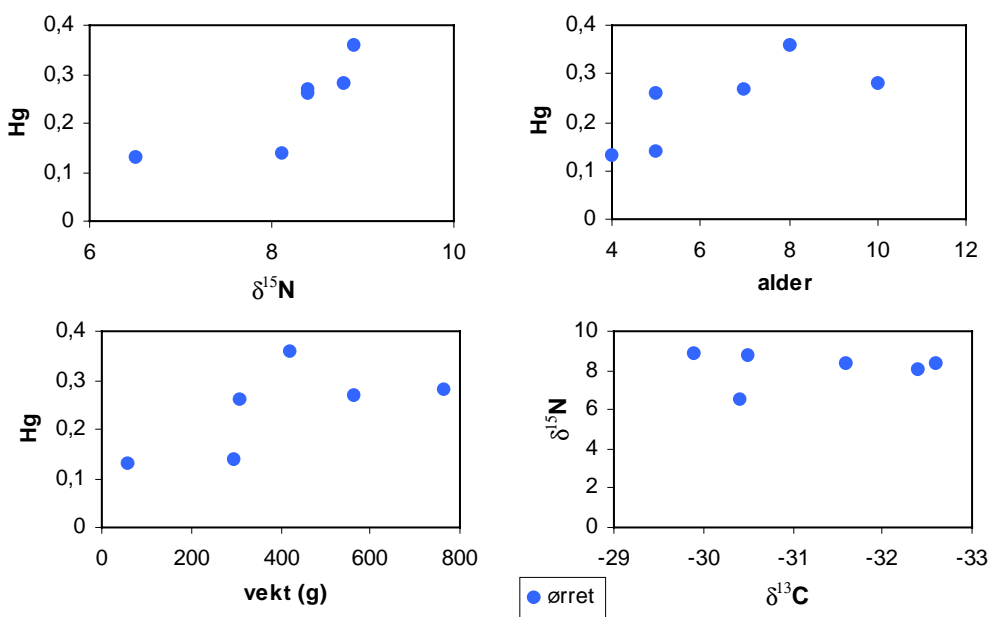


Figur 15. Kvikksølvkonsentrasjonen (mg/kg) mot trofisk posisjon, alder og vekt.

Gaustadsjøen

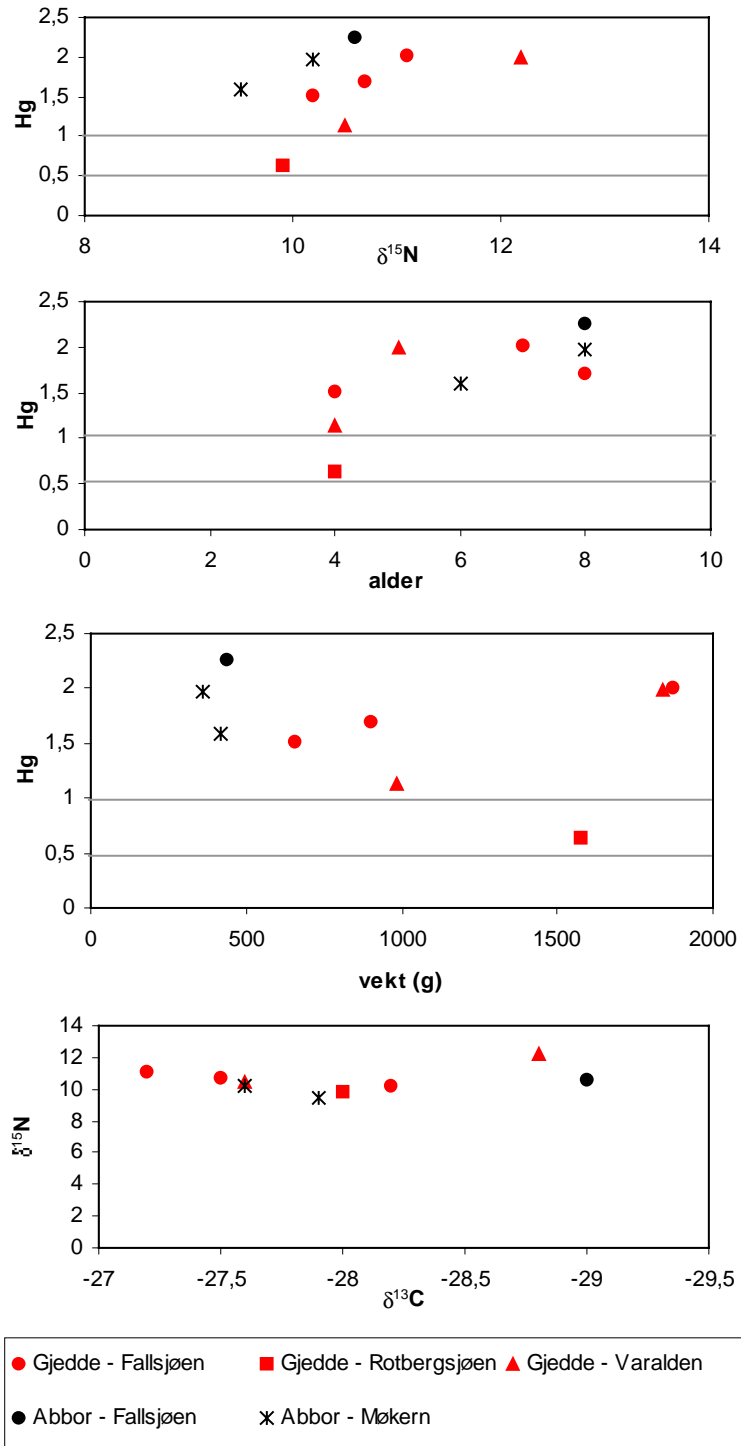


Vintertjern



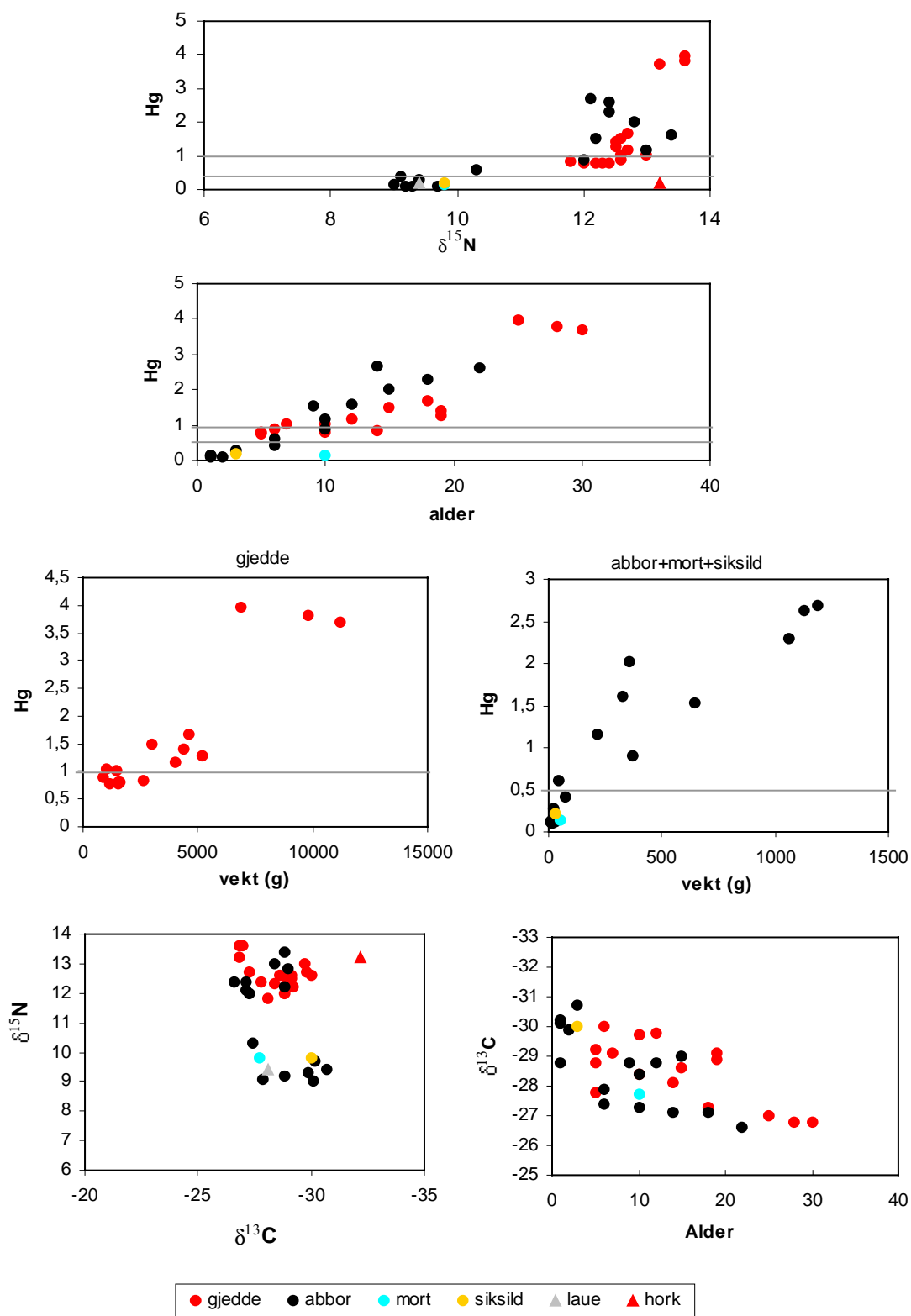
Figur 16. Kvikksølvkonsentrasjonen (mg/kg) mot trofisk posisjon, alder og vekt i Gaustadsjøen og Vintertjern.

Div.sjøer



Figur 17. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Fallsjøen, Rotbergsjøen, Varalden og Møkeren. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.

Storsjøen i Odalen



Figur 18. Sammenhengen mellom kvikksølvkonsentrasjoner (mg Hg/kg) og trofisk posisjon (indikert ved $\delta^{15}\text{N}$ verdier gitt i ‰), alder (år) og vekt i Storsjøen i Odalen. Samvariasjonen mellom de stabile isotopene ($\delta^{15}\text{N}$ og $\delta^{13}\text{C}$ gitt i ‰) er også vist.