

BRUK AV STABILE KARBONISOTOPER TIL Å SPORE TARESKOGENS
INFLUENSOMRÅDE

Eli Gustad

Cand.scient. thesis

2007



Avdeling for Marinbiologi og Limnologi

Biologisk Institutt

Universitetet i Oslo

Forord

Hovedfagsoppgaven er utført ved avdelingen for Marinbiologi og Limnologi ved Biologisk Institutt, Universitetet i Oslo, med professor Stein Fredriksen som veileder.

Arbeide med denne hovedfagsoppgaven har vært en lang prosess som kan deles inn i to perioder. Første fase av oppgaven ble gjort som student ved avdeling for Marinbiologi og Limnologi, og slutfasen ble gjort som ansatt ved Havforskningsinstituttet, avdeling Flødevigen. Mange har bidratt, og det er mange å takke.

Først vil jeg takke alle (tidligere) studenter og ansatte ved avdeling for en trivelig studietid. En spesiell takk til min veileder Stein Fredriksen for spennende oppgave, hjelp under feltarbeid og faglig innspill i skriveperioden. En spesiell takk også til Hartvig Christie for konstruktive innspill, og for oppmuntrende ord i en lang og tidvis tung prosess. Takk også til Trine Bekkby ved NIVA som var behjelpelig med kartene i oppgaven.

I slutfasen av dette arbeidet vil jeg rette en takk til mange gode kollegaer i Flødevigen. En spesiell takk til Einar Dahl og Tore Johannessen. En stor takk også til Lena Omli som tålmodig har hørt på min "klagesang" og vært en pådriver.

Jeg vil også takke min gode venninne May Britt for korrekturlesing.

Til sist vil jeg rette en stor takk til Lars som har vært til uvurderlig hjelp og støtte i den lange prosessen dette har vært.

Og til Thea og Trygve som har satt oppgaven i det rette perspektiv.

Flødevigen, 4. juni 2007-06-04

Eli Gustad

Innhold

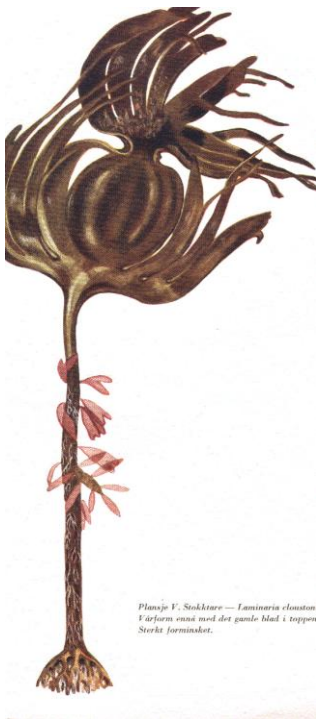
| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Innledning..... | 3 |
| 1.1 | Stortare, Laminaria hyperborea | 3 |
| 1.2 | Bakgrunn..... | 5 |
| 1.3 | Forholdet mellom organisk bundet stabile isotoper..... | 6 |
| 1.4 | Prosjektbeskrivelse og problemstilling | 8 |
| 2 | Materiale og metoder..... | 9 |
| 2.1 | Område- og stasjonsbeskrivelse..... | 9 |
| 2.2 | Undersøkelse med undervannskamera..... | 11 |
| 2.3 | Innsamling og bearbeiding av materiale i felt..... | 12 |
| 2.4 | Opparbeiding av materiale i laboratoriet..... | 13 |
| 2.4.1 | Opparbeiding av sedimentprøver og infauna..... | 13 |
| 2.4.2 | Opparbeiding av epibentos og fisk | 14 |
| 2.5 | Isotopanalyse..... | 15 |
| 2.6 | Isotopsammensetning ($\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$) hos primærprodusenter | 16 |
| 2.7 | Trofisk posisjon (TP)..... | 17 |
| 3 | Resultater..... | 18 |
| 3.1 | Det innsamlede materiale..... | 18 |
| 3.1.1 | Forekomster av taremateriale i dypvannsområdet | 18 |
| 3.1.2 | Generelt om det innsamlede materialet..... | 18 |
| 3.2 | Isotopsammensetning..... | 19 |
| 3.2.1 | $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ signal av overflatesedimentet..... | 19 |
| 3.2.2 | Fauna $\delta^{13}\text{C}$ signal..... | 20 |
| 3.2.3 | Fauna $\delta^{15}\text{N}$ signal..... | 23 |
| 4 | Diskusjon og konklusjon | 24 |
| 4.1 | Diskusjon av materiale og metode..... | 24 |
| 4.1.1 | Innsamling og bearbeiding av materiale | 24 |
| 4.1.2 | Naturlig variasjoner i isotopsammensetningen i primærprodusentene | 26 |
| 4.1.3 | Naturlig variasjoner i $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i konsumentene | 29 |
| 4.2 | Diskusjon av resultatet..... | 32 |
| 4.2.1 | $\delta^{13}\text{C}$ Sediment og sediment assosiert fauna | 32 |
| 4.2.2 | $\delta^{13}\text{C}$ i mobil evertebratfauna og fisk..... | 34 |
| | Referanser | 40 |

Innledning

1 Innledning

1.1 Stortare, *Laminaria hyperborea*

Stortare (*Laminaria hyperborea* (Gunn.) Foslie), har en geografisk utbredelse som er begrenset til den nordøstlige delen av Atlanterhavet; fra Portugal i sør til Murmansk i nord (Lüning 1990). Den vokser på eksponerte lokaliteter fra lavvannsnivå til 30 m dyp (Kain 1971, Sjøtun *et al.* 1995), hvor den kan danne typiske tareskoger. Stortare finnes langs store deler av norskekysten fra Skagerrak til Finnmark, men det er store regionale variasjoner i størrelse, produksjon og biomassetetthet (Sjøtun *et al.* 1995). Eksponerte områder langs kysten av Vestlandet og Midt-Norge er stortarens optimumsområde (Sjøtun *et al.* 1993), med en biomassetetthet på opptil 30-40 kg (våt vekt)/m² (Sjøtun *et al.* 1995). Det foreligger ingen sikre estimater av totalbestanden av stortare langs norskekysten. I følge beregninger gjort av Fredriksen (2003), kan den totale produksjonen være så stor som 50×10⁶ tonn (våt vekt) tarebiomasse pr år, fordelt over et areal på 5 000 km² (Foss 1995).



Stortaren har en flerårig opprettet stipes (stilk), som kan bli opptil 3 meter lang, men er vanligvis under 2 meter (Sjøtun *et al.* 1995). Lamina (bladet) kan bli opptil 1 meter (Sjøtun *et al.* 1995), og danner et tett bladdekke (canopy laget). Lamina skiftes ut årlig, og veksten er kontrollert av en endogen årsrytme (Schaffelke & Lüning 1994). Veksten av nytt lamina starter i januar og fortsetter utover våren, og stopper helt opp om sommeren. Veksten er induisert av daglengden. Etterhvert som det nye lamina vokser utover våren, felles det gamle gradvis av, og frigjøres som store fragmenter eller partikulært organisk materiale.

Illustrasjon: Stortare, *L. hyperborea*. Viser festeorgan (hapter), stipes med påvekst av små rødalger (epifytter). Nytt lamina (basal del) er vokst ut, mens det gamle (distal del) felles gradvis. (Illustrert av Aase Kristofersen, Tang og Tare 1953).

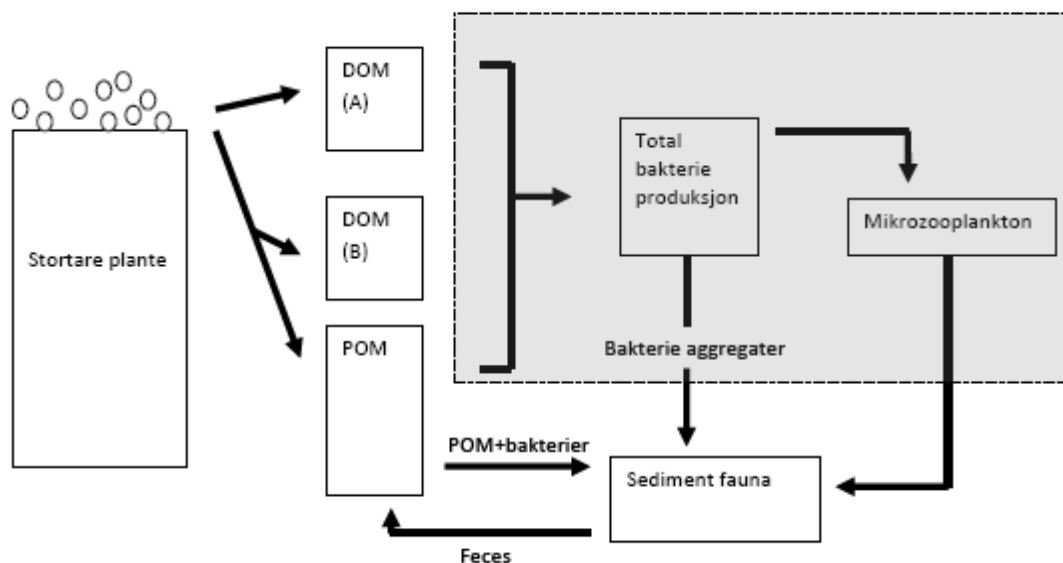
Innledning

Stortare er en nøkkelart i det norske kystøkosystemet (Fosså 1995). På grunn av sin tredimensjonale struktur er tareskogen en viktig habitat- og substratdanner for en stor diversitet av epifyttiske alger (Sørli 1994), invertebratfauna (Rinde *et al.* 1992, Høisæter *et al.* 1994, Christie 1995, Norderhaug *et al.* 2002), og fisk (Høisæter & Fosså 1993). Det er imidlertid liten kunnskap om stortarens betydning som primærprodusent for det norske kystøkosystemet. Globalt står planteplankton for 95% av primærproduksjonene i havet på grunn av de store arealene som er til rådighet (Valiela 1984). I kystområdene vil imidlertid bentiske makroalger utgjøre et betydelig bidrag til primærproduksjonen. Hvor stor betydning stortare har som næringskilde vil være avhengig av hvor høy produksjonen er relativt til fytoplankton, og hvor effektivt energien blir omsatt i næringskjeden.

Produksjonsmålinger fra Mørekyten viser at stortare har en netto produksjon på $3 \text{ kg C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ ved en taretetthet på 16 kg m^{-2} , i tillegg blir $1,3 \text{ kg C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ skilt ut som ekstracellulære forbindelser (Abdullah *et al.* 2004) (figur 1). Til sammenligning er fytoplanktonproduksjonen i høyproduktive områder omlag $100 \text{ g C m}^{-2} \text{ år}^{-1}$ (Dring 1982).

Det er få dyr som beiter direkte på tare, og en relativt liten andel av produksjonene blir derfor direkte konsumert av herbivore. Undersøkelser har vist at partikulært organisk materiale fra tare har lav næringsverdi (Norderhaug 2003), og må gjennom en nedbrytningsprosess før det har en egnet næringskvalitet (Duggins & Eckman 1997, Norderhaug 2003). Resultater av undersøkelser fra Sør-Afrika tyder på at tareproduksjonen hovedsakelig blir kanalisert gjennom den detritusbaserte næringskjeden (Branc & Griffiths 1988), enten ved at konsumentene tar opp partikulært organisk materiale direkte (Stuart *et al.* 1982), eller at materiale blir omdannet til bakteriell biomasse (Newell & Field 1983). Bakteriell nedbrytning av tarefragment spiller mest sannsynlig en viktig rolle i energioverføringen fra stortare til sekunderproduksjonen i kystøkosystemet (Norderhaug *et al.* 2003).

Innledning



Figur 1. Skjematisk fremstilling av karbonomsetningen av stortare. A) DOM (løst organisk materiale) tilførsel fra direkte utskillelse fra lamina og B) DOM utskillelse i forbindelse med fragmenter under nedbrytning. Grå boks indikerer omsetning i vannsøylen. Figuren er modifisert etter Newell & Lucas (1981).

1.2 Bakgrunn

Benthos faunaen i dypvannsystemer er avhengig av tilførsel av næring fra primærproduksjonen i det eufotiske sonen. I kystøkosystemer vil pelagisk planteplankton og benthiske alger være de viktigste primærprodusentene. Den pelagiske primærproduksjonen vil resultere i en periodisk tilførsel av organisk materiale til de benthiske økosystemene. Denne utsynkningen vil være knyttet til store oppblomstringer, slik som våroppblomstringen og høstopplomstringen (Paasche 1997). Rask vekst av zooplankton som respons på fytoplanktonoppblomstringen fører til at det meste av fytoplanktonproduksjonen blir omsatt i den pelagiske næringskjeden, og næringen til benthos samfunnet blir tilført i form av fekalier (ekskremitter av dyreplankton), og detritus (Wassmann 1994). I et slikt habitat som er avhengig av tilførsel av næring, vil sannsynligvis tilførsel av dødt taremateriale være et viktig bidrag. Bakgrunn for denne undersøkelsen bygger på observasjoner gjort i California, USA, som viser at dypvannrenner (canyon) med beliggenhet nær tareskogslokalteter fungerer som naturlige deponier for taredetritus (Harrold & Lisin 1998, Vetter & Dayton 1999), og at dette materialet har stor økologisk betydning både som habitat og næring for faunaen på disse

Innledning

lokalitetene. Undersøkelser av Vetter (1998) viser at makrofyttansamlinger har svært høy sekundærproduksjon. Det ble registrert tetthet på opptil $3,5 \cdot 10^6$ ind. m^{-2} av små krepsdyr, i følge Vetter (1998) hadde den høye sekundærproduksjonen sammenheng med at mattene av makrofyttedritus var velegnet skjulested for små invertebrater, og at habitatet sjelden eller aldri var næringsbegrenset. Undersøkelsen viste også at fisk hadde en signifikant høyere individtetthet i den undersøkte dypvannsrennen relativt til kontrollområde (Vetter & Dayton 1999). Det samme fenomenet er til dels kjent fra den norske kystsonen. Observasjoner rundt Froan og Sandøy på Mørekyten viser at det finnes spesielle dypområder hvor både fisk og kystsel henter næring (Bjørge *et al.* 2002). Det er også kjent at enkelte rekefelt i kystsonen har blitt trålt gjentatte ganger over lang tid uten at fangsten har gått vesentlig ned, og at lokale fiskere rapporterer om fordypninger hvor det ligger store mengder dødt taremateriale (Fredriksen pers. medd.). Det er imidlertid ikke gjort systematiske undersøkelser av slike dypvannsområder i nær beliggenhet til tareskog.

1.3 Forholdet mellom organisk bundet stabile isotoper

Forholdet mellom organisk bundet stabile isotoper har vist seg egnet som metode til å undersøke energiomsetningen i marine økosystemer (Fry & Sherr 1984)

Karbon og nitrogen finnes naturlig i form av de stabile isotopene, ^{12}C og ^{13}C , og ^{15}N og ^{14}N .

Forholdet mellom isotopene uttrykkes i standard δ notasjon:

$$\delta X = [(R_{\text{prøve}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

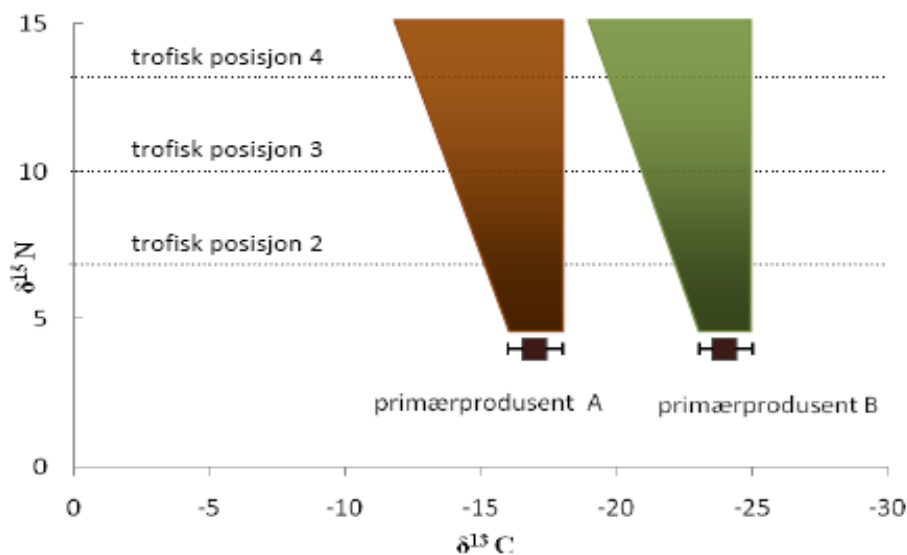
X er ^{13}C eller ^{15}N , og R er forholdet $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}$ (Fry & Sherr 1984).

I sjøvann foreligger løst uorganisk karbon i form av $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ ($\delta^{13}\text{C}$; -9,49 ‰), HCO_3^- ($\delta^{13}\text{C}$; 0,05‰), og CO_3^{2-} ($\delta^{13}\text{C}$; 0,05‰) (Raven *et al.* 1995). Karbonforbindelsene har ulike konsentrasjoner slik at totalt karbondioksyd har $\delta^{13}\text{C} \sim 0$ ‰ (Raven *et al.* 1995). Til tross for at uorganisk karbon i sjøvann har et forholdsvis konstant $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C}$ ratio, vil forholdet i marine atotrofe organismer variere mellom $\delta^{13}\text{C}$ -5 ‰ og -35‰ (Fry & Sherr 1984), som følge av anriking av den lette karbonisotopen ^{12}C i fotosyntesen. Mekanismene bak denne isotopdiskrimineringen er ikke kjent i detalj, og sannsynligvis er det en kombinasjon av flere faktorer (Rau *et al.* 1996).

Innledning

Overføring mellom trofiske nivå endrer karbonisotopratio i liten grad, og vil derfor kunne brukes til å spore karbonkilden gjennom næringskjeden (Hobson & Welch 1992). Tilsvarende vil trofisk anrikning av ^{15}N (høyere signal) føre til en progressiv $\delta^{15}\text{N}$ økning på 3–4 ‰ mellom produsent og konsument (Minagawa *et al.* 1984). Denne forholdsvis konstante økningen i $\delta^{15}\text{N}$ kan benyttes til å gi informasjon om trofisk posisjon i næringsnett (Hobson & Welch 1992).

Forskjell i karbon isotopsammensetningen mellom ulike primærprodusenter blir brukt som markør i økologiske studier til blant annet å spore ulike primærprodusentenes betydning som næringskilde (figur 2), og vil i kombinasjon med $\delta^{15}\text{N}$ gi nyttig informasjon om økosystemets struktur (Dunton & Schell 1987, Hobson & Welch 1992, Kaelher *et al.* 2000, Lesage *et al.* 2001, Fredriksen 2003). Generelt har fytoplankton større ^{12}C anrikning relativt til benthiske makroalger, og France (1995) fant i sin undersøkelse at makroalger (gj.snitt $\delta^{13}\text{C}$ $-17\pm 4,0$ ‰) hadde en ^{13}C anrikning i forhold til fytoplankton (gj.snitt $\delta^{13}\text{C}$ $-22,3\pm 3,0$ ‰) på 5‰. Undersøkelse fra en tareskog lokalitet på Mørekysten viste at stortare (*Laminaria hyperborea*) hadde et gj.snittlig $\delta^{13}\text{C}$ signal på basalt bladsegment på $-16,65$ ‰, og distalt bladsegment på $-18,67$ ‰ (Fredriksen 2003).



Figur 2. Modellen illustrerer et system med to primærprodusentkilder. Skjematisk framstilling av hvordan $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ endres gjennom næringskjeden. $\delta^{13}\text{C}$ signalet kan bli svakt ^{13}C anrikt (mindre negativt) mellom trofiske nivå. Tilsvarende blir $\delta^{15}\text{N}$ anrikt med 3–4 ‰ for hvert trofiske nivå. $\delta^{13}\text{C}$ signal som ligger mellom primærprodusenten kan indikere en miks av begge kildene i dietten

1.4 Prosjektbeskrivelse og problemstilling

Denne undersøkelsen inngår som en del av prosjektet “Tareskogen som økosystem og som grunnlag for sekundærproduksjon i kystnære områder”, som har som hovedmål å forklare tareskogens rolle som ressurs og naturmiljø i vårt kystøkosystem.

Formålet med denne undersøkelsen er å se på stortarens betydning som næringskilde for konsumentene på dypere vann.

Resultater så langt i prosjektet viser at organiske forbindelser av ”tareopprinnelse” er påvist i vannet, og sedimentet i området ved tareskogen (Abdullah upubliserte data). Det er også vist at stortare er en viktig næringskilde for dyr som lever i tareskogen (Fredriksen 2003).

Drivtare og store fragmenter av lamina vil sannsynligvis under gitte strøm- og eksponeringsforhold bli transportert ut av tareskogen, og ha økologisk betydning for det benthiske økosystemet utenfor tareskogen. Formålet med denne oppgaven er å undersøke stortarens betydning som næringskilde for konsumentene tilknyttet dypvannshabitater som grenser til en tareskog lokalitet på Mørekyten.

Metoden med stabile karbonisotoper er ikke blitt brukt i tilsvarende undersøkelser tidligere, vurdering av metoden vil derfor bli en sentral del av denne oppgaven.

Til å studere dette ble det foretatt prøvetakning av ulike faunagrupper, og sedimentet for å spore eventuelle karbonbidrag fra stortare. Innsamling av materiale ble gjort i dypvannsområder (100- 250 m dyp) i nærhet av tareskog.

2 Materiale og metoder

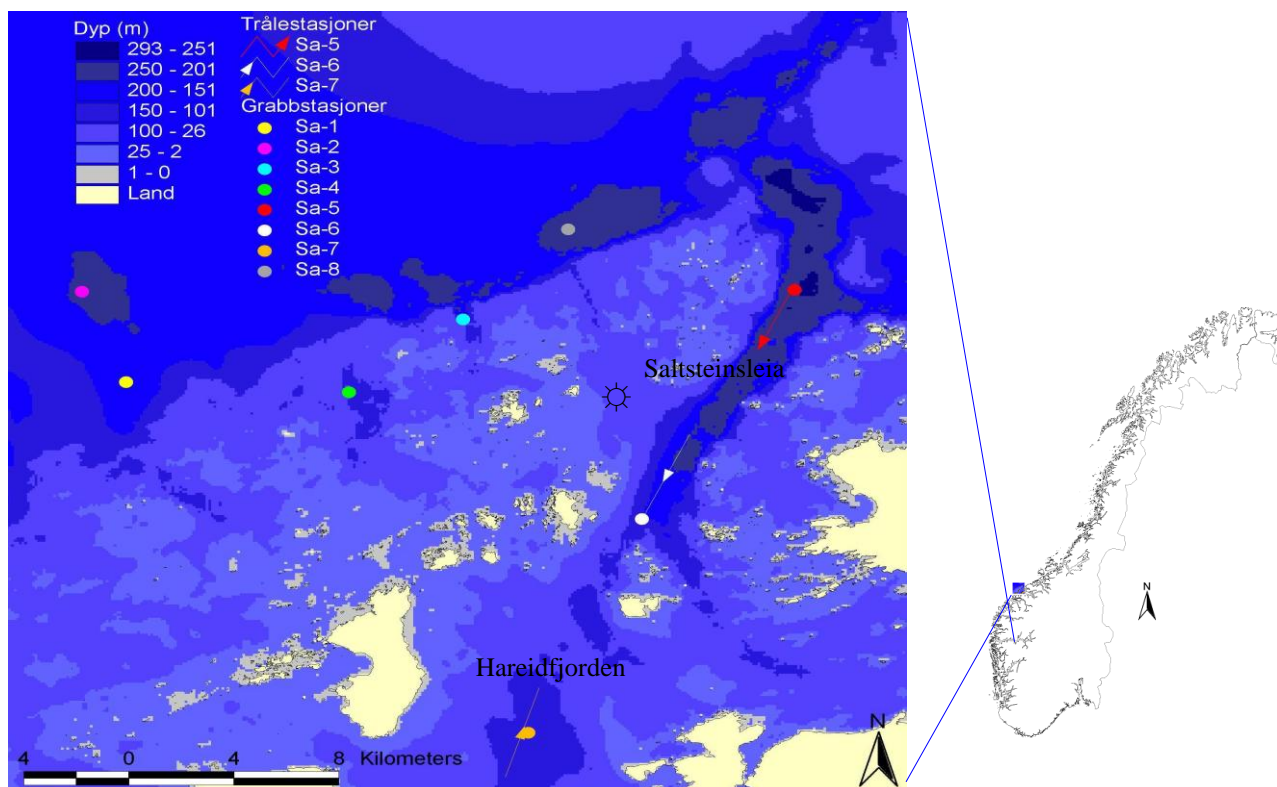
2.1 Område- og stasjonsbeskrivelse

Undersøkelsen ble foretatt i Sandøy kommune (62°N 6°E), på Mørrekysten i perioden september 1998 og juni 1999 (figur 3). Området består av mange små øyer og skjær omgitt av grunne farvann. Den delen av området som ligger ut mot åpent hav er forholdsvis eksponert, og algevegetasjonen er dominert av stortare (*Laminaria hyperborea*) (figur 4), som danner stor områder med tareskog. Innenskjærs er forholdene mer beskyttet og tareskogen ikke like fremtredende. Både ut mot åpent hav og inn mot kysten er tareskogsområdet omgitt av dypere områder. Nord-vest grenser området til et dypvannsplatå på ca 200 m dyp, og i sør-øst danner Saltsteinsleia og Hareidfjorden en dypvannsrenne på 100-250 m dybde mellom tareskogsområdet og land.

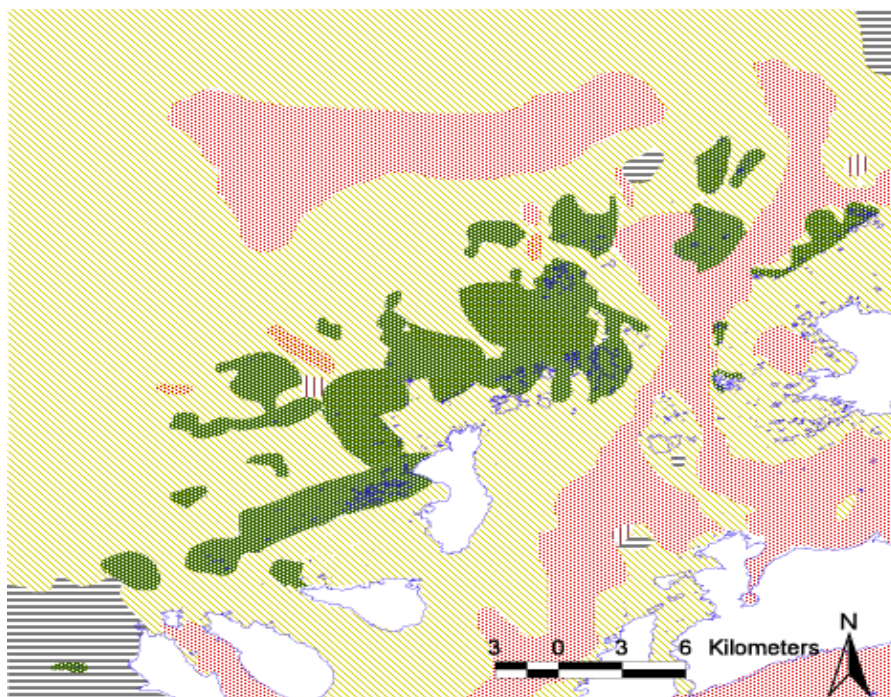
Strømforholdene i området er dominert av den nordgående kyststrømmen (Beyer 1990), samt tidevannstrømmer. Tidevannsforskjellen ved Mørrekysten er på mellom 130 og 140 cm (Nerland 1970), og tidevannsstrømmen vil føre vannmassene vekselvis inn og ut fra kysten.

Innenfor undersøkelsesområdet ved Mørrekysten ble det tatt ut materiale ved åtte stasjoner. Plassering av stasjonen ble valgt ut fra bunntopografi og beliggenhet i forhold til tareskog (figur 3 og 4). For å teste hvorvidt dypvannsområder i nærheten av tareskogen fungerer som taredeponier, ble stasjonene plassert i ulike dyprenner og groper utenfor tareskogen (på dyp mellom 129 og 271 m). For å kunne spore tarens eventuelle influensområde ble stasjonene plassert med ulik avstand til tareskogen. Stasjon Sa-2 ligger ca 6 km vest for tareskogen. Stasjonene Sa-1, Sa-3, Sa-8 og Sa-5 er plassert like utenfor tareskogen i de ytre eksponerte områdene. Stasjon Sa-4 ligger i en grop omgitt av tareskog, mens Sa-6 (Saltsteinsleia) og Sa-7 (Hareidfjorden) er plassert på forholdsvis beskyttede lokaliteter i dypvannsrennen som ligger øst av tareskogen. Oversikt over nøyaktig posisjon og dybde for de ulike stasjonene er gitt i tabell 1 og 2. Tabell 2 viser posisjon for prøvetakning med trål, disse lokalitetene har fått samme stasjons-id som de nærliggende stasjonene for prøvetakning med grabb (Sa-5, Sa-6 og Sa-7) selv om ikke posisjonene faller nøyaktig sammen. Som referanseområde (lokalitet uten tarepåvirkning), ble det foretatt innsamling ved en lokalitet i Nordsjøen (No-11) og en utenfor Finnmarkskysten (Fi-10).

Materiale og metoder



Figur 3: Kart over innsamlingsområdet med stasjonsbetegnelse. Prikker anngir stasjonene, mens heltrukne linjer viser hvor det ble foretatt innsamling med trål (pilen anngir retning på trålen). ☼ Angir området for undersøkelse med undervannskamera. Kartet er utarbeidet av T. Bekkby, NIVA.



Figur 4: Oversikt over habitatene i feltområdet. Sand (gult), fjell (røde, vertikale stiper), singel (grå horisontale striper), og slam (røde tette prikker). Tareskogen (grønt) basert på opplysninger fra taretrålere. Kartet er utarbeidet av T. Bekkby, NIVA.

Materiale og metoder

Tabell 1: Oversikt over stasjonene, posisjon og dybde for prøvetakning med grabb.

| Stasjon id | Posisjon | | Dybde (m) |
|------------|-------------|-----------|-----------|
| Sa-1 | 62°52,090N | 6°16,090E | 173 |
| Sa-2 | 62°53,960N | 6°14,270E | 215 |
| Sa-3 | 62°53,500N | 6°30,800E | 168 |
| Sa-4 | 62°51,500N | 6°25,890E | 129 |
| Sa-5 | 62°54,840N | 6°45,610E | 271 |
| Sa-6 | 62°49,050N | 6°39,750E | 159 |
| Sa-7 | 62°44,270N | 6°33,900E | 128 |
| Sa-8 | 62°56,270N | 6°36,170E | 219 |
| No-11 | Ekkeofisk C | | - |

Tabell 2: Oversikt over trålestasjonenes posisjon, dybde og hastighet på trålen.

| Stasjon | Posisjon | | | | Dybde (m) | | Hastighet (knop) | |
|---------|------------|------------|-----|------------|-----------|-----|------------------|-----|
| | ut | | inn | | ut | inn | | |
| Sa-5 | 62°53,030N | 6°43,270E | - | 62°54,610N | 6°45,020E | 253 | 262 | 1,2 |
| Sa-6 | 62°50,790N | 6°40,770E | - | 62°49,160N | 6°39,700E | 276 | 179 | 1,3 |
| Sa-7 | 62°44,670N | 6°34,010E | - | 62°45,350N | 6°35,550E | 137 | 126 | 1,3 |
| Fi-10• | 70°57,000N | 31°52,000E | | | | | | |

• = Dybde, hastighet og posisjon for innhaling av trålhal ikke oppgitt.

2.2 Undersøkelse med undervannskamera

Under innsamlingsperioden i juni 1999 ble det benyttet et nedsenkbart undervannskamera (med 100 m kabel) tilknyttet en monitor og opptaker ombord i båten. Kamera ble senket ned til 60-70 m dyp på sandbunn øst av Ona. Undervannskamera fulgte bunnen nedover mot dypbassenget i Saltsteinsleia, mens båten drev passivt med strøm og vind (figur 3).

Et utvalg av enkeltbilder ble hentet ut ved hjelp av "frame grabberfunksjon" i redigeringsprogrammet Video Director Studio 2000.

2.3 Innsamling og bearbeiding av materiale i felt

Feltarbeid og innsamling av materiale ved feltområdet på Mørrekysten ble gjort med rekestråleren M/S "Selstein" i perioden 31.08- 03.09.1998, og i juni 1999. Tabell 3 gir en oversikt over hvilke redskaper som ble brukt på de ulike stasjonene.

Innsamling med grabb

Ved hver av de åtte stasjonene ble det tatt tre replikater med grabb til innsamling av dyr som lever i sedimentet (infauna), og på sedimentet (epifauna). Prøver av overflatesediment ble tatt på kun to lokaliteter. Prøver av overflatesedimentet ble skrapet av med skje, før resten av innholdet i grabben ble siktet i en 1 mm sikt.

Alle prøvene ble frosset ned umiddelbart før videre bearbeiding på laboratoriet.

Innsamling av sedimentprøver ved lokaliteten i Nordsjøen ble foretatt i juni 1999, på et av Det Norske Veritas forskningstokt. Det ble tatt tre replikater med grabb. Prøvene ble silt i en sikt med maskevidde 1 mm og materialet ble umiddelbart fryst før videre bearbeiding i laboratoriet.

Innsamling med garn og trålhal

Ved stasjonene Sa-5, Sa-6 og Sa-7 ble det benyttet rekestrål med 40 mm maskevidde til innsamling av mer mobile dyr tilknyttet bunnen (epibenthos) eller svømmende rett over bunnen (fisk). Lengde og hastighet på trålhalet er oppgitt i tabell 2. Ved stasjon Sa-4 ble det satt ut garn som stod ute i ca 24 timer.

Fiskene ble artsbestemt i felt, og en tilstrekkelig (ca 2 cm³) prøve av hvitmuskel ble tatt ut for isotopbestemmelse. Enkelte arter var så små, eks. lysprikkfisk, at hele dyret ble benyttet.

Innevertebratene ble lagret som hele individer eller bare vevsprøve avhengig om det lot seg gjøre å artsbestemme dyret i felt. Alle prøvene ble lagret i dypfryst tilstand (Kaehler & Pakhomov 2001), før videre bearbeiding i laboratoriet.

Prøvetakningen ved lokaliteten utenfor Finnmarkysten ble foretatt med fiskefartøyet Husby Senior under ordinært fiske i februar 1999. Det ble samlet inn tre replikater av torsk, hvor tilstrekkelig vevsprøve fra muskel ble tatt ut. Prøvene ble deretter dypfryst før videre bearbeiding i laboratoriet.

Materiale og metoder

Tabell 3: Oversikt over de forskjellige innsamlingsmetoder som ble benyttet ved de ulike stasjonene.

| Stasjon | Sa-1 | Sa-2 | Sa-3 | Sa-4 | Sa-5 | Sa-6 | Sa-7 | Sa-8 | Fi-10 | No-11 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Grabb | x | x | x | x | x | x | x | x | | x |
| Trål | | | | | x | x | x | | x | |
| Garn | | | | x | | | | | | |

2.4 Opparbeiding av materiale i laboratoriet

2.4.1 Opparbeiding av sedimentprøver og infauna

Prøvene av overflatesedimentet ble tørket i varmeskap i 5 dager ved 50°C, før de ble syredampbehandlet i 4 dager med 37 % HCl. Materialet ble lagret i ependorfrør i eksikator inntil isotopbestemmelse.

Opparbeiding av infauna

Etter opptining av materialet, ble dyrene sortert og bestemt til lavest mulig taxon. Små innevertebrater som for eksempel børstemark var vanskelige å artsbestemme på det opptinte materiale, da dyrene hadde mistet sin opprinnelig form, eller mistet taksonomisk viktige deler. For å oppnå tilstrekkelig materiale for isotopbestemmelse, ble alle individene av små invertebrater innen hver overordnet taxonomisk gruppe slått sammen. For å oppnå mest mulig homogent materiale ble ikke individer over klasse nivå slått sammen. Litteratur brukt under artsbestemmelse var hovedsakelig Hayward & Ryland (1995).

Den videre bearbeidingen varierte i noen grad avhenging av prøvenes størrelse og innhold. Mange av prøvene inneholdt små mengder materiale, antall operasjoner måtte derfor begrenses, slik at minst mulig materialet gikk tapt under prosessen. Før karbonanalysen er det nødvendig å fjerne eventuell uorganisk karbon i dyrene (eks. dermalskjellet, eksoskjellet og innholdet i mage og tarm), slik at det ikke påvirker analysen. Prøvene ble derfor behandlet med 1M HCL i 1-24 t. I de prøvene som hadde tilstrekkelig materiale ble syren fjernet med en pipette, før materialet ble overført til en metallform og tørket ved 50° C i varmeskap. Det tørre materialet ble deretter knust i en morter. De prøvene som inneholdt små mengder materiale ble syrebehandlet i ependorfrør og satt direkte i tørkeskapet slik at syren fordampet sammen med vannet (Riera1998). Prøvene ble deretter knust i ependorfrøret. Ved en

Materiale og metoder

feiltakelse ble ikke sjømus (*Echinocardium*) og nakensnegl (*Scaphander lignarius*) ved stasjon Sa-5 behandlet med syre. Etter syrebehandling og knusing ble alle prøvene lagret i ependorfrør i eksikator inntil isotopbestemmelse.

En prøve av svamp fra stasjon Sa-3 ble fiksert med 4 % formalin ved prøvetakning. Prøven ble vasket med sjøvann tre ganger, den ble deretter syrebehandlet med 1M HCl og tørket ved 50°C i varmeskap.

Behandlingen av materialet med 1M HCl direkte i ependorfrør, samt at materieleet etter tørking også ble knust i ependorfrørene er ikke beskrevet fra andre undersøkelser. Det ble derfor foretatt en test for å se om denne bearbeidingen kunne få innvirkning på resultatet. Det ble tatt prøver av muskel fra tre replikater av kolmule. Hver prøve ble så delt i to, hvor den ene prøven fikk samme behandling som beskrevet over, mens de andre tre replikatene ikke ble behandlet med syre, disse vevsprøvene ble tørket i metallformer og knust i morter. Resultatet er presentert i tabell 4, og viser at denne behandlingen ikke påvirket $\delta^{13}\text{C}$ signalet.

Tabell 4: $\delta^{13}\text{C}$ (‰) signal av behandlet- og kontrollprøver av tre replikater av fisken kolmule.

| $\delta^{13}\text{C}$ | |
|-----------------------|------------|
| behandlet | kontroll |
| -20,0±0,46 | -20,0±0,32 |

2.4.2 Opparbeiding av epibentos og fisk

Ingen av prøvene, med unntak av sjøpølse, ble syrebehandlet. Vev av sjøpølse ble imidlertid syrebehandlet for å fjerne uorganisk karbon i dermalskjelletet. Prøven ble syrebehandlet i 2 timer før den ble tatt over i en metallform og tørket, og deretter pulverisert i en morter.

Hos reker (*Pandalus borealis*) og trollhummer (*Munida sarsi*) ble eksoskjelletet fjernet, og det ble foretatt isotopbestemmelse av vev fra abdomen. Hos krabbe (*Cancer pagurus*) og sjøkreps (*Nephrops norvegicus*) ble vev fra klørne benyttet. Av fiskene ble det tatt ut en tilstrekkelig prøve av muskel. Lysprikkfiskene var imidlertid så små at hele individene ble tørket og knust. Materialet ble tørket ved 50°C i varmeskap i 5 dager, for deretter å bli knust.

2.5 Isotopanalyse

Isotopanalysen ble utført ved Institutt for Energiteknikk (IFE) ved Kjeller i henhold til metoden beskrevet under. Før analyse ble noen av prøvene Soxhlet-ekstrahert med 200 ml CH_2Cl_2 med 7 % CH_3OH i ca. 1.5 timer og lufttørket etterpå, for å fjerne lipider (dette ble foretatt på IFE).

Til bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$ er 5 mg prøvemateriale sammen med 2 gram CuO og litt Ag overført til en 9 mm glassampulle. Ampullen blir evakuert til 5×10^{-3} mbar og smeltet igjen, for så å bli brent ved 550°C i 1 time. CO_2 blir separert fra de andre komponentene kryogent ved -80°C . CO_2 gassen ble overført til Finnigan MAT 251 Isotop Ration Mass Spektrometer for bestemmelse av $\delta^{13}\text{C}$.

Til bestemmelse av $\delta^{15}\text{N}$ er 10-15 mg prøvemateriale sammen med 2 gram CuO , 1 g Cu og litt Ag overført til en 9 mm kvartsampulle. Ampullen er evakuert til 5×10^{-3} mbar og smeltet igjen. Ampullen med prøven er brent ved 900°C i 1.5 timer.

Forbrenningsproduktene N_2 , CO_2 og H_2O er separert kryogent ved -196°C og -80°C . N_2 gassen overføres til et Micromass Optima, Isotop Ration Mass Spectrometer for bestemmelse av $\delta^{15}\text{N}$.

Til $\delta^{13}\text{C}$ analysen er det brukt en intern CO_2 standard som referansegass. Denne er kalibrert til -3.15 ± 0.06 mot PDB (PeeDee kalkstein). Til $\delta^{15}\text{N}$ analysen er det brukt en standard (Isotop N_2) fra Messer Griesheim med en verdi på -15.0 mot luft som referansegass. $\delta^{15}\text{N}$ analysen er kontrollert med analyser av IAEA-N-1 og IAEA-N-2 standarder og $\delta^{13}\text{C}$ analysen er kontrollert med analyser av intern grafitt standard med følgende resultat:

| | | |
|--------------|-----------------------------|--|
| IAEA-N-1: | 0.39 ± 0.22 AIR (n=10) | IAEA-N-1 er oppgitt til 0.538 ± 0.186 |
| IAEA-N-2: | 20.38 ± 0.28 AIR (n=10) | IAEA-N-2 er oppgitt til 20.343 ± 0.473 |
| Grafitt Std: | -31.59 ± 0.01 PDB (n=8) | Denne er bestemt til -31.58 ± 0.09 |

Resultatet av isotopanalysen uttrykkes i standard δ notasjon:

$$\delta X = [(R_{\text{prøve}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

X er ^{13}C eller ^{15}N , og R er forholdet $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N} : ^{14}\text{N}$ (Fry & Sherr 1984).

2.6 Isotopsammensetning ($\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$) hos primærprodusenter

Undersøkelse av primærprodusentenes isotopsammensetning inngikk ikke i denne undersøkelse, og er basert på resultatet fra tidligere undersøkelser i samme område (Fredriksen 2003). $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ verdiene fra Fredriksen (2003) er presentert i tabell 5.

Når $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ blir oppgitt som en gjennomsnitt verdi er basalt og distalt blad slått sammen. Unge individer bidrar lite i denne sammenheng og ble ikke tatt med i beregningen. Dette gir et $\delta^{13}\text{C}$ signal på $-17,67 \pm 1,76$ (SD) ‰ (n=48), og $\delta^{15}\text{N}$ på $4,49 \pm 1,40$ (SD) ‰ (n=48).

Fytoplankton estimatet benyttet i denne undersøkelsen er beregnet gjennomsnitt av fytoplanktonprøvene fra Norskehavet (Fredriksen 2003). Dette gir et $\delta^{13}\text{C}$ signal på $-24,62 \pm 2,01$ (SD) ‰ (n=4), og $\delta^{15}\text{N}$ på $4,47 \pm 2,12$ (SD) ‰ (n=4).

Materiale og metoder

Tabell 5: $\delta^{13}\text{C}$ signal av makroalger fra Mørrekysten (Fredriksen 2003).

| Art | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) \pm \text{SD}$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) \pm \text{SD}$ |
|-----------------------------------|---|---|
| tare | | |
| <i>L. hyperborea</i> , basal del | -16,65±1,58 | 4,79±1,45 |
| <i>L. hyperborea</i> , distal del | -18,67±1,27 | 3,06±0,55 |
| <i>L. hyperborea</i> , unge ind. | -23,86±1,83 | |
| rødalger | | |
| <i>Palmaria palmata</i> | -18,93±2,12 | |
| <i>Polysiphonia elongata</i> | -21,60±1,36 | |
| <i>Rhodomela confervoides</i> | -22,72±0,72 | |
| <i>Callophyllis laciniata</i> | -32,86±2,08 | |
| <i>Lomentaria clavellosa</i> | -33,69±0,95 | |
| <i>Membranoptera alata</i> | -33,64±0,69 | |
| <i>Phycodryis rubens</i> | -34,38±1,47 | |
| <i>Ptilota gunneri</i> | -33,56±0,77 | |

2.7 Trofisk posisjon (TP)

Beregning av trofisk posisjon ble gjort i henhold til følgende modell utarbeidet av Hobson & Welch (1992).

$$\text{TP} = 1 + (\text{Dm} - 4,4)/3,8$$

Hvor TP er konsumentens trofiske posisjon, Dm er konsumentens $\delta^{15}\text{N}$ (‰) verdi, 4,4 er gjennomsnittverdi $\delta^{15}\text{N}$ (‰) av primærprodusentene (fytoplankton og voksne tareplanter), og 3,8 er estimert endring i $\delta^{15}\text{N}$ (‰) for hvert trofiske nivå.

3 Resultater

3.1 Det innsamlede materiale

3.1.1 Forekomster av taremateriale i dypvannsområdet

Undervannskamera ble senket fra overflaten ned til 70 m dyp i et område øst for Ona (figur 3). Undersøkelse av de øvre 0-30 m viser at tareskogen stod tett og fin ned til 20 m dyp, med spredte forekomster av små individer av stortare ned til 30 m. Videre undersøkelse av dypvannsområdet viste store områder med avsatt dødt taremateriale på 60 -70 m dyp. Enkelte steder lå det tareindivider mer spredt utover bunnen, men det generelle inntrykket var at tareplantene ble avsatt i taredeponier (plansje 1 og 2). Det ble ikke observert ansamlinger av dyr i forbindelse med disse ansamlingene.

Ved tråling av bunnen i Saltsteinsleia og Hareidfjorden i forbindelse med innsamling av fauna, ble det bare påvist små mengder dødt taremateriale (ca 5-10 individer totalt).

3.1.2 Generelt om det innsamlede materialet

Prøvene tatt med grabb viste at bunnsedimentet varierte i noen grad fra å ha større innslag av sand og skjellsand ved de ytre, eksponerte lokalitetene (Sa-1, Sa-2 Sa-3 og Sa-4), til å bestå av slam på stasjonene i dypvannsrenna innenfor tareskogsområdet (Sa-5, Sa-6 og Sa-7), samt ved stasjon Sa-8 i den nordlige del av feltområdet.

Denne undersøkelsen var ikke kvantitativ, men det generelle inntrykket var at grabbstasjonene var forholdsvis like med tanke på tettheten av dyr i sedimentprøvene, lokaliteten i Nordsjøen inkludert. Sedimentfaunaen (infauna og epifauna) besto av små invertebrater, dominert av børstemark, slangestjerner, muslinger, sjømus og amfipoder. Etter opptining av sedimentprøvene var mange av dyrene i dårlig tilstand, og det var i enkelte tilfelle vanskelig/umulig og artsbestemme dyrene. I noen av prøvene var det også for få individer, eller for lite materiale av enkelte arter/grupper slik at det ikke var tilstrekkelig organisk materiale til å utføre isotopanalyse. At arter eller overordnede taxonomiske grupper ikke er oppført i tabell 7 betyr derfor nødvendigvis ikke at de ikke ble registrert ved denne

Resultater

lokaliteten. Gruppen børstemark var den eneste taxonomiske gruppen som inneholdt tilstrekkelig materiale for isotopbestemmelse ved alle stasjonene.

Innsamling av bunntilknyttede dyr foretatt med trålhal (stasjon Sa-5, Sa-6 og Sa-7), var dominert av dypvannsreken (*Pandalus borealis*) og ulike arter fisk, både benthiske og pelagiske arter. Det ble totalt registrert 14 fiskearter ialt på de fire (Sa-4 inkludert) stasjonene. Alle stasjonene sett under ett var de pelagiske artene øyepål og kolmule dominerende. Størst diversitet av fisk ble registrert ved stasjon Sa-5, med ti arter, mens stasjon Sa-6 og Sa-7 hadde henholdsvis syv og åtte arter. Ved stasjon Sa-4 og Fi-10 ble det kun registrert en art, henholdsvis småflekkt rødhai og torsk.

Blant invertebrater ble det registrert taskekrabbe (*Cancer pagurus*), sjøkreps (*Nephrops norvegicus*) og trollhummer (*Munida sarsi*), i tillegg til dypvannsreker (*Pandalus borealis*) som var dominerende ved alle tre trålstasjonene. Som følge av at det ble foretatt innsamling med trål bare ved de tre stasjonene innenskjærs (Sa-5 Sa-6 og Sa-7) ble det registrert flere arter ved dette området. I de ytre eksponerte deler av området ble det bare foretatt innsamling med grabb, i tillegg til garn (Sa-4). Denne metodikken gav lite materiale av epibenthiske og pelagiske arter.

3.2 Isotopsammensetning

3.2.1 $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ signal av overflatesedimentet

Det ble kun foretatt isotopanalyse av det organiske materialet i overflatesedimentet ved to av stasjonene, Sa-2 og Sa-6. Disse to stasjonene lå henholdsvis innenfor og utenfor tareskogen, med en innbyrdes avstand på ca. 20 km. Bare en liten differanse mellom gjennomsnittlig $\delta^{13}\text{C}$ signal ble registrert mellom de to lokalitetene (tabell 6). Signalene fra overflatesedimentet lå mellom $\delta^{13}\text{C}$ estimatene for fytoplankton og stortare.

$\delta^{15}\text{N}$ signalet fra det organiske materialet i overflatesedimentet ved stasjon Sa-2 og Sa-6, var høyere, $\sim 0,5 - 2,5 \text{ ‰}$, i forhold til signalet fra stortare og fytoplankton, og indikerer trofisk anrikning av dette materialet i forhold til primærprodusentene.

Resultater

Tabell 6: Gjennomsnittlig (\pm SD) $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (‰) av overflatesediment ved to stasjoner. Resultatet av stortare og fytoplankton $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (‰) signal er hentet fra Fredriksen (2003)

| | Stasjon | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | $\delta^{15}\text{N}$ (‰) |
|---------------------|---------|---------------------------|---------------------------|
| Primærprodusent | | | |
| Stortare basal del | | -16,65 \pm 1,58 | 5,54 \pm 0,82 |
| Stortare distal del | | -18,67 \pm 1,28 | 3,54 \pm 0,77 |
| Fytoplankton | | -24,62 \pm 2,01 | 4,47 \pm 1,11 |
| Overflatesediment | Sa-2 | -21,76 \pm 0,01 (n=3) | 5,98 \pm 0,13 (n=2) |
| Overflatesediment | Sa-6 | -21,25 \pm 0,10 (n=3) | 5,92 \pm 0,16 (n=3) |

3.2.2 Fauna $\delta^{13}\text{C}$ signal

Invertebrater

Tabell 7 gir en oversikt over arter/grupper av invertebrater som ble analysert ved de ulike stasjonene, med tilhørende $\delta^{13}\text{C}$ verdi. Analyse av $\delta^{15}\text{N}$ ble kun foretatt på et lite utvalg av dyrene, og resultatene presenteres i den samme tabellen.

Resultatet viste at det er stor spredning i $\delta^{13}\text{C}$ signalene. Størst variasjon i $\delta^{13}\text{C}$ signalet ble registrert innen denne gruppen. Lavest verdi ble målt i muslinger ved stasjon Sa-4 (-28,13 \pm 0,32 ‰), mens størst ^{13}C anrikning (mindre negativt) ble målt i sjømus (-12,38 \pm 3,45 ‰) ved stasjon Sa-5. Omlag 91 % av invertebratene viste et $\delta^{13}\text{C}$ signal mellom -16 ‰ og -24 ‰, som er innenfor signalene til de to viktigste primærprodusentene i området, stortare og fytoplankton

Resultatet viser lite variasjon i $\delta^{13}\text{C}$ signalet mellom samme art eller overordnet taxonomisk gruppe fra ulike stasjoner, lokaliteten i Nordsjøen inkludert. Minst differanse ble funnet hos dypvannsreke (*Pandalus borealis*), med en differanse på 0,3 ‰ mellom stasjon Sa-5, Sa-7 og Sa-6 (tabell 7). Størst differanse ble registrert mellom sjømus (*Echinocardium* sp.) fra stasjon Sa-5 og No-11, med en differanse på hele 11,62 ‰ mellom stasjonene. Gruppen Amfipoder viste også stor differanse mellom stasjonene.

Børstemark (*polychaeta*) var den eneste taxonomiske gruppen som ble registrert ved alle ni stasjonene. Resultatet viste at alle, med unntak av et individ av *Neris* sp ($\delta^{13}\text{C}$ -16,8 ‰),

Resultater

| Dyregruppe | Lokalitet | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | SD (n) | $\delta^{15}\text{N}$ (‰) | SD (n) | trofisk nivå |
|----------------------------------|-----------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------|--------------|
| fytoplankton | | -24,44 | 2,01 (9) | 4,47 | 4,47 (4) | |
| stortare distel del | | -18,67 | 1,28 (40) | 3,54 | 0,77 (24) | |
| stortare basal del | | -16,65 | 1,58 (40) | 5,54 | 0,82 (24) | |
| SOM | Sa-2 | -21,76 | 0,01 (3) | 5,98 | 0,13 (2) | |
| | Sa-6 | -21,25 | 0,10 (3) | 5,92 | 0,16 (3) | |
| Annelida | | | | | | |
| Polychaeta | Sa-1 | -21,43 | 0,81 (3) ^b | | | |
| | Sa-2 | -21,83 | 0,95 (3) ^b | | | |
| | Sa-3 | -21,37 | 0,50 (3) ^b | | | |
| | Sa-4 | -20,97 | 0,15 (3) ^b | | | |
| | Sa-5 | -20,67 | 0,67 (3) ^b | | | |
| | Sa-6 | -20,63 | 0,32 (3) ^b | | | |
| | Sa-7 | -20,47 | 0,61 (3) ^b | | | |
| | Sa-8 | -20,53 | 0,47 (3) ^b | | | |
| | No-11 | -21,67 | 1,02 (3) ^b | | | |
| <i>Neris</i> sp. | Sa-6 | -16,80 | | 11,4 | | 2,8 |
| Crustacea | | | | | | |
| Amphipoda | Sa-3 | -27,80 ^b | | | | |
| | Sa-4 | -20,80 ^b | | 12,2 ^b | | 3,1 |
| | Sa-6 | -21,35 ^b | | 12,4 ^b | | |
| | No-11 | -23,60 | 0,10 (3) | | | |
| Decapoda | | | | | | |
| <i>Pandalus borealis</i> | Sa-5 | -18,40 | 0,10 (3) | 12,23 | 0,51 (3) | 3,1 |
| | Sa-6 | -18,70 | 0,30 (3) | | | |
| | Sa-7 | -18,40 | 0,00 (3) | | | |
| <i>Munida sarsi</i> | Sa-5 | -19,47 | 0,25 (3) | | | |
| | Sa-6 | -18,80 | | | | |
| <i>Cancer pagurus</i> | Sa-4 | -18,37 | 0,32 (3) | 12,70 | 0,70 (3) | 3,2 |
| <i>Nephrops norvegicus</i> | Sa-5 | -17,93 | 0,15 (3) | 12,70 | 0,10 (3) | 3,2 |
| Echinodermata | | | | | | |
| Holothurioidea | | | | | | |
| <i>Stichopus tremulus</i> | Sa-5 | -19,00 | 0,57 (2) | 12,50 | 0,71 (2) | 3,1 |
| Echinoidea | | | | | | |
| <i>Echinocardium</i> sp. | Sa-3 | -23,40 | | | | |
| | Sa-5 | -12,35 | | | | |
| | No-11 | -24,00 | | | | |
| Ophiroidea | Sa-4 | -21,27 | 0,81 (3) ^b | | | |
| | Sa-6 | -20,70 | 0,28 (2) ^b | | | |
| | Sa-7 | -20,70 | 0,14 (2) ^b | | | |
| Mollusca | | | | | | |
| Gastropoda | | | | | | |
| <i>Scaphander lignarius</i> | Sa-5 | -19,40 | | | | |
| Bivalvia | | | 0,32 (3) | | | |
| bivalva indet. | Sa-4 | -28,13 | | | | |
| Cephalopoda | | | | | | |
| <i>Sepiola</i> sp. | Sa-5 | -20,00 | 0,70 (3) | 12,20 | 0,75 (3) | |
| Porifera | | | | | | |
| <i>Phakellia ventilabrum</i> | Sa-6 | -18,90 | | | | |
| Porifera indet | Sa-3 | -20,00 | | 19,00 | | 4,8 |
| Cnidaria | | | | | | |
| <i>Funiculina quadrangularis</i> | Sa-6 | -19,60 | | | | |

Tabell 7: Viser $\delta^{13}\text{C}$ (‰) og $\delta^{15}\text{N}$ (‰) for SOM (sedimentert organisk materiale) og invertebrater, og beregnet TP (trofisk posisjon). De verdier som er hevet ut med grått er hentet fra Fredriksen (2003). ^b = alle ind. slått sammen til en prøve, (n) ^b = alle ind. i hver n slått sammen til en prøve.

Resultater

hadde et $\delta^{13}\text{C}$ signal som lå mellom $-21,83\text{‰}$ og $-20,47\text{‰}$, materiale fra Nordsjøen inkludert.

Resultatet kan tyde på at krepsdyrene, med unntak av amfipoder, hadde noe høyere $\delta^{13}\text{C}$ (mindre negativt) signal i forhold til resten av invertebrat faunaen, som generelt hadde et $\delta^{13}\text{C}$ signalet som lå nærmere fyttoplankton.

Fisk

Resultatet av $\delta^{13}\text{C}$ signalet hos fisk varierte mellom $-21,07\pm 0,47\text{‰}$ (vassild fra stasjon Sa-6), og $-18,13\pm 0,06\text{‰}$ (gapeflyndre fra stasjon Sa-7) (tabell 8).

Det ble registrert liten variasjon mellom stasjonene ved sammenligning av samme art, stasjon Fi-10 inkludert. Resultatet indikerer at arter som lever og ernærer seg benthisk, som gapeflyndre og smørflyndre, har et mindre negativt $\delta^{13}\text{C}$ signal i forhold til de artene som lever og ernærer seg pelagisk, som lysprikkfisk og øyepål (tabell 8).

Tabell 8: Gjennomsnittlig (\pm SD) $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ av fisk. Antall $n = 3$ vist ikke annet er oppgitt i tabellen. TP= beregnet trofisk posisjon (se materiale og metode).

| Art | δ (‰) | Stasjon | | | | | TP |
|----------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|-----|
| | | Nordmøre | | | | Finmark | |
| | | Sa-4 | Sa-5 | Sa-6 | Sa-7 | Fi-10 | |
| småflekket rødhai torsk | $\delta^{13}\text{C}$ | $-18,83\pm 0,15$ | | | | | 3,7 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | $-18,33\pm 0,12$ | $-19,07\pm 0,23$ | $-18,57\pm 0,40$ | $-19,83\pm 0,32$ | |
| lysprikkfisk kolmule | $\delta^{13}\text{C}$ | | $-20,10\pm 0,57$ (2) | | $-19,83\pm 0,21$ | | 2,9 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | $11,80\pm 0,17$ | $-20,03\pm 0,32$ | | | |
| øyepål | $\delta^{13}\text{C}$ | | $-20,37\pm 0,32$ | $-20,53\pm 0,29$ | $-20,00\pm 0,26$ | | 2,7 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | $11,03\pm 0,12$ | | | | |
| smørflyndre vassild | $\delta^{13}\text{C}$ | | $-18,20\pm 0,56$ | | $-18,33\pm 0,55$ | | 3,1 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | $-19,90\pm 0,44$ | $-21,07\pm 0,47$ | $-19,73\pm 0,76$ | | |
| svarthå | $\delta^{13}\text{C}$ | | $12,53\pm 0,45$ | | | | 2,8 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | $-19,77\pm 0,31$ | $-19,90\pm 0,61$ | | | |
| hvitting | $\delta^{13}\text{C}$ | | | $11,20\pm 0,28$ | | | 3,6 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | | $-19,00\pm 0,44$ | $-19,43\pm 0,06$ | | |
| håggjel hyse | $\delta^{13}\text{C}$ | | $-18,67\pm 0,23$ | $-18,85\pm 0,07$ (2) | | | 3,3 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | | | $-18,47\pm 0,38$ | | |
| gapeflyndre lysing | $\delta^{13}\text{C}$ | | | | $-18,13\pm 0,06$ | | 3,3 |
| | $\delta^{15}\text{N}$ | | $-19,97\pm 0,99$ | | | | |
| breiflabb | $\delta^{13}\text{C}$ | | $13,30\pm 0,26$ | | | | |
| | $\delta^{13}\text{C}$ | | $-19,77\pm 0,47$ | | | | |

3.2.3 Fauna $\delta^{15}\text{N}$ signal

Analyse av $\delta^{15}\text{N}$ plasserer dyrene i trofisk posisjon (TP) fra 1,8 til 3,8. Med unntak av svampen Porifera ind (TP=3,8), var det torsk (TP=2,7) og hvitting (TP=2,6) som plasserte seg høyest i næringsnett (tabell 7 og 8)

Analyse av $\delta^{15}\text{N}$ viser at de pelagiske fiskene (dyreplanktonspisere) som kolmule, øyepål og vassild (basert på mageprøveanalyser, Christie upbl. data), samt *Neris* sp. som er en carnivor børstemark innehar de laveste trofiske posisjonen 2,8. Torsk og hvitting innehar de høyeste trofiske posisjonene med henholdsvis 3,7 og 3,6. Krepsdyren har alle TP verdi på 3,1-3,2 (tabell 7 og 8).

4 Diskusjon og konklusjon

4.1 Diskusjon av materiale og metode

4.1.1 Innsamling og bearbeiding av materiale

Stasjonenes plassering var ikke tilfeldig, men valgt ut på grunnlag av bunntopografi og avstand til tareskog. Med bakgrunn i rapporter fra lokale fiskere, ble også gode fiske- og reke felt tatt med i vurderingen ved valg av stasjonsplassering. Stasjonene ble derfor plassert i områder hvor det var grunn til å anta at det kunne finnes ansamlinger av dødt taremateriale.

For å kunne spore tarens eventuelle influensområde, var det ønskelig med en referanse stasjon i feltområdet på Mørkysten, som med sikkerhet lå utenfor tarens influensområde. Kaehler *et al.* (2006) fant i sin undersøkelse spor av taremateriale i vannmassene hele 25 km ut fra nærmeste tareskog. Stasjon Sa-2 som ble valgt som ytterste stasjon, ligger ca. 1 mil fra nærmeste tareskog (figur 3) må derfor antas å ha påvirkning av taremateriale. Referansestasjonen burde sannsynligvis vært plassert lenger ut fra kysten. Fartøyet som ble brukt til innsamling satte imidlertid begrensninger for hvor langt ut det kunne foretas prøvetaking. Materialet fra Nordsjøen er med sikkerhet ikke influert av taremateriale, men som referansestasjon burde plasseringen vært i kystøkosystemet.

Innsamling av materiale ble gjort med forskjellige innsamlingsmetoder. De tre stasjonene hvor det ble foretatt trålhal, ligger i Saltsteinsleia og Hareidfjorden. Dette førte til at en sentral del av den mobile fauna som for eksempel fisk og reker ikke er i materiale fra de ytre eksponerte områdene, hvor det kun ble foretatt innsamling med grabb (i tillegg til garn ved stasjon Sa-4). Det hadde vært en styrke for materialet med flere innsamlinger fra ytre områder, spesielt med innsamling av arter som reker og fisk fra områder uten tarepåvirkning. Det lot seg ikke gjøre i denne undersøkelsen.

Isotopforholdet i det innsamlede materialet kan påvirkes av måten det blir lagret og behandlet ved opparbeiding. Ved lagring av prøvene er frysing den metoden som har minst innvirkning på $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (Kaehler *et al.* 2001). I denne undersøkelsen ble alt materiale frosset

Diskusjon

umiddelbart etter innsamling, med unntak av en svamp som ble samlet inn ved stasjon Sa-3. Denne ble lagret på formalin. Formalinbehandling kan i følge Kaehler *et al.* (2001) føre til et signifikant mer negativt $\delta^{13}\text{C}$ signal. Formalinbehandling viste seg også å ha effekt på $\delta^{15}\text{N}$. Denne var noe mindre, men en mulig årsak til det svært høye $\delta^{15}\text{N}$ signalet målt i dette individet (tabell 7).

De dyrene hvor det var mulig å ta ut vevsprøver, ble dette foretrukket. Men mange av dyrene var så små at dette var umulig, og mye av materialet ble analysert som hele dyr, eksempel slangestjerner, børstemark og amfipoder. For å unngå at mage- og tarminnholdet skulle ha innvirkning på $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ signalet, burde disse dyrene vært oppbevart levende i en periode for å kvitte seg med mageinnholdet (France 1995, Dunton 2001). Dette ble ikke gjort, og ved opparbeiding av materialet ble det registrert individer hvor mageinnholdet sannsynligvis utgjorde en betydelig del av tørrvekten. Spesielt ble dette registrert ved opparbeiding av gruppen børstemark. Det er grunn til å anta at mye av mageinnholdet bestod av sedimentært organisk materiale (SOM), og at dette fører til en usikkerhet i resultatet i gruppen. Sannsynlig vil dette gi et signal som ligger nærmere SOM (sedimentært organisk materiale).

Valg av hvilke type vev som brukes har også betydning for $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (Peterson & Fry 1987). Ved bearbeiding av store invertebrater som reker, krabber, sjøkreps, trollhummer og sjøpølse, samt fisk (med unntak av lysprikkfisk), ble det tatt ut vevsprøve. Undersøkelser gjort på fisk (Pinnegar & Polunin 1999) viser at vev fra hvit muskel var best egnet til bruk i denne metoden. Ved bearbeiding av lysprikkfisk ble hele individet benyttet til analyse, dette vil sannsynlig ha innvirket på resultatet ved at differansen mellom diett og fisk ble mindre. Undersøkelser viser at differansen mellom diett og konsument var størst ($+1.3 \pm 0,3$ ‰) når muskelveve ble brukt til analyse, til sammenligning var differansen mellom diett og konsument, $+0,3 \pm 0,14$ ‰, når hele individet ble analysert (McCutchan *et al.* 2003).

Behandling av prøvene med 1M HCL for å fjerne eventuelle uorganiske karbonforbindelser, har liten effekt på $\delta^{13}\text{C}$, men har vist seg gi en signifikant økning i $\delta^{15}\text{N}$, ved forsøk på fisk (Pinnegar & Polunin 1999). I denne oppgaven ble hele materialet, med unntak av de dyrene hvor det ble tatt ut vevsprøve (reker, krabbe, sjøhummer, trollkreps og fisk) syrebehandlet. Dette kan derfor være en mulig feilkilde i $\delta^{15}\text{N}$ signalet, men feilkilden ville sannsynligvis vært større uten behandling med HCL.

4.1.2 Naturlig variasjoner i isotopsammensetningen i primærproducentene

Et delspørsmål i denne oppgaven var å se på om metoden med isotopratio var egnet til denne type undersøkelser, og om den eventuelt var sensitiv nok. Metoden er komplisert, og resultatene krever grundig tolkning. Det vil derfor bli lagt vekt på diskusjon av metoden i denne oppgaven.

I denne undersøkelsen ble det ikke foretatt innsamling og isotopbestemmelse av stortare og fytoplankton, som er de to viktigste primærproducentene i området. De verdiene som benyttes i denne undersøkelsen er hentet fra tidligere studier foretatt av Fredriksen (2003). Når variasjonen i disse resultatene likevel blir omhandlet i diskusjonen av metoden, er det fordi det vil ha betydning for tolkning av resultatene funnet i denne undersøkelsen.

Undersøkelser av $\delta^{13}\text{C}$ i fytoplanktonet viser at det kan være stor variasjon i isotopsignalet mellom ulike områder (Fredriksen 2003, Fry & Sherr 1984, Perry *et al.* 1999). I denne undersøkelsen er det benyttet verdier fra åpne havområder (Fredriksen 2003), og ikke fra det aktuelle kystområdet på Møre, hvor de øvrige prøvene ble hentet fra. Dette kan være en svakhet med denne undersøkelsen dersom det er ulikheter mellom områder. Dette diskuterer også Fredriksen (2003) i sitt arbeid. Han påpekte at det i det aktuelle kystområdet var vanskelig å samle inn fytoplanktonprøver uten innslag av partikulært organisk materiale fra stortare (Fredriksen per medd.), noe som ville ha ført til ”forurensing” av fytoplanktonsignalet. Det ble derfor benyttet fytoplanktonprøver fra flere lokaliteter i Norskehavet.

Undersøkelser kan tyde på at $\delta^{13}\text{C}$ signaler fra havområder generelt er noe mer negativt (Perry *et al.* 1999, Fredriksen 2003) enn forhold som er beskrevet fra kystnære områder (Fry & Sherr 1984, Monteiro *et al.* 1991, Davenport *et al.* 2002). Fytoplanktonmaterialet fra Norskehavet ble samlet inn over et større havområde, og $\delta^{13}\text{C}$ signalet varierte fra -22‰ til -28‰ , med et gjennomsnitt på $-24,44 \pm 2,00$. Basert på et stort tallmateriale ($n=181$), beregnet France (1995) en gjennomsnittsverdi for fytoplankton på $-22 \pm 3\text{‰}$ fra kystøkosystemer. En studie av $\delta^{13}\text{C}$ i fytoplankton langs en gradient fra kyst til åpent hav, viste at fytoplanktonsignalet var forskjellig i alle de tre størrelsesfraksjoner som ble undersøkt. I de kystnære områdene ble det i størrelsesfraksjonen $28 - 116\ \mu\text{m}$ registrert et $\delta^{13}\text{C}$ signal på $-19,5\text{‰}$, mens tilsvarende størrelsesfraksjon i åpent hav hadde et signal på $-23,0\text{‰}$ (Perry *et al.* 1999).

Diskusjon

Basert på de overnevnte undersøkelser virker det som en ekstrapolering av fytoplankton $\delta^{13}\text{C}$ fra havområder til kystnære områder kan gi en usikkerhet i metoden.

Selv med prøvetakning av rene fytoplanktonprøver i det aktuelle området på kysten av Møre ville det være vanskelig å få et entydig $\delta^{13}\text{C}$ signal. Studier viser at det kan være store variasjoner også lokalt over tid. For å forstå denne ^{13}C diskrimineringen er det viktig å kjenne til de faktorer som har betydning for den variasjonen som kan oppstå lokalt.

Fytoplanktonet er avhengig av tilgang på $\text{CO}_2(\text{aq})$ som primær karbonkilde i fotosyntesen. Kullsyresystemet gjør at konsentrasjonen av $\text{CO}_2(\text{aq})$ er forholdsvis konstant i havet, men under høy produksjon kan pH stige fra normalverdi på 8,2 til 8,5 i den øvre delen av den eufotiske sone (Paasche 1997). I slike situasjoner kan noen fytoplanktonarter i større grad bruke HCO_3^- som karbonkilde i fotosyntesen. Denne evnen til å ta opp, og benytte HCO_3^- som karbonkilde i perioder hvor konsentrasjonen av $\text{CO}_2(\text{aq})$ er redusert, er blitt brukt til å forklare mye av variasjonen i $\delta^{13}\text{C}$ registrert i fytoplanktonet (Raven 1997, Rau *et al.* 1997). Grunnen til dette er at HCO_3^- ($\delta^{13}\text{C}$; +0,05) er ^{13}C anrikt (dvs. mindre negativ) i forhold til $\text{CO}_2(\text{aq})$ ($\delta^{13}\text{C}$; -9,49) (Raven *et al.* 1995). Dette fører til at fytoplankton som benytter HCO_3^- i større grad vil ha et isotopsignal som er mindre negativt i forhold til fytoplankton som hovedsakelig benyttet $\text{CO}_2(\text{aq})$ som karbonkilde.

Eksperimentelle undersøkelser viser at kulturer av diatomeer som vokser med kontinuerlig tilførsel av CO_2 hadde konstant $\delta^{13}\text{C}$ signal på -23,6 ‰, mens kulturer som vokste uten tilførsel av CO_2 ble betydelig ^{13}C anrikt, og hadde et signal på -17,83 ‰ (Johnston & Raven 1992). Dette skyldes mest sannsynlig at HCO_3^- i større grad ble bruk i fotosyntesen i kulturer uten tilførsel av CO_2 . Tilsvarende endringer i isotopsignalet er vist fra studier av naturlige systemer. Undersøkelser fra Lindåspollene viste en endring i $\delta^{13}\text{C}$ signalet hos diatomeen *Skeletonema costatum* i en periode med eksponensiell vekst gikk fra -23 ‰ til -20 ‰ (Kukert & Ribesell, 1998). Denne endringen var korrelert med at konsentrasjonen av $\text{CO}_2(\text{aq})$ avtok fra 14 til $< 6 \mu\text{mol l}^{-1}$ i samme periode. Samme tendensen ble påvist i undersøkelser i Østersjøen, hvor alle størrelsesfraksjoner i fytoplanktonet viste tilsvarende endringer (Rolf, 2000). Denne studien viste også at $\delta^{13}\text{C}$ signalet varierte med fytoplanktonets naturlige suksesjon, hvor det ble registrert mindre negative verdier i forbindelse med

Diskusjon

våroppblomstringen og høstoppblomstringen. Undersøkelsen viser at størrelsesfraksjonen 20-50 μm ble suksessivt ^{13}C anrikt over en kort periode fra -24‰ til -18‰ (Rolff 2000).

Det kan tyde på at fytoplanktonet har evne til å svinge i $\delta^{13}\text{C}$ signalet over korte perioder, og bli suksessivt ^{13}C anrikt i perioder med høy produksjon, spesielt rasktvoksende diatomeer. Sannsynligvis er de eksponerte kystområdene hvor denne undersøkelsen er foretatt mer stabil med tanke på konsentrasjonen av $\text{CO}_2(\text{aq})$, enn Lindåspollen og Østersjøen. Det kan imidlertid være at høy vekstrate i både stortare og fytoplankton i korte perioder kan føre til ^{13}C anrikning i fytoplanktonet, og dermed et signal som ligger nærmere $\delta^{13}\text{C}$ signalet i stortare. Et moment i denne sammenheng er at de periodene med eventuell ^{13}C anrikning er da tilførselen av biomasse fra fytoplanktonet er størst.

I og med at fytoplanktonet ikke viser et entydig $\delta^{13}\text{C}$ signal, og stor variasjon er registrert, vil dette gi usikkerhet ved økologiske tolkninger av resultatet.

Tare har også naturlige variasjoner i karbonisotopsammensetningen. Både individ- og sesongvariasjon er påvist. I undersøkelsen av *L. hyperborea* ble det fra mars til august samme år registrert en differanse på $\sim 2\text{‰}$ (Fredriksen 2003), med lavest $\delta^{13}\text{C}$ i mars og mest ^{13}C anrikt (minst negativ) i august. Tilsvarende sesongmønster ble også påvist i *Laminaria solidungula* fra en tareskog lokalitet i Alaska (Dunton & Schell 1987). Variasjon gjennom året ble også registrert i *Laminaria longicururis* fra Canada, men i denne undersøkelsen ble det ikke påvist et fast mønster i sesongvariasjonen (Stephenson *et al.* 1984).

I likhet med fytoplankton, er tarens evne til i større grad å bruke HCO_3 som karbonkilde i perioder med CO_2 begrensning brukt til å forklare sesongvariasjon registrert i tare (Simenstad *et al.* 1993). Dette er imidlertid omdiskutert, og i følge Stephenson *et al.* (1984) har kystvannet gode bufferegenskaper, hvor pH varierer i liten grad, så dette kan ikke forklare den forholdsvis store variasjonen som er registrert. Andre undersøkelser hevder imidlertid at endringer i konsentrasjonen av løst CO_2 kan forekomme som en følge av høy produktivitet og dempet turbulens i tett tareskog (Simenstad *et al.* 1993).

En interessant undersøkelse i denne sammenheng ville være å se på eventuelle forskjeller i $\delta^{13}\text{C}$ signalet mellom tareplanter som vokser i tett tareskog, i forhold til individer som vokser i randsonen av tareskogen. Undersøkelser fra tareskog på Mørkekysten viser at de unge

Diskusjon

stortareindividene som vokste under det produktive canopylaget var signifikant mer negativ (-23,59 ‰) i forhold til store individene (Fredriksen 2003).

Det er også registrert forskjell i $\delta^{13}\text{C}$ på ulike deler av thallus fra samme individ.

Undersøkelse av *Laminaria longicruric* fra Canada viste signifikant forskjell mellom ulike deler av thallus (Stephenson *et al.* 1984). I følge Stephenson (1984) er forskjell i sammensetningen av biokjemiske komponenter, med forskjellig $\delta^{13}\text{C}$ verdi, spesielt opplagsnæring som mannitol og laminaran, den mest sannsynlige forklaringen på både individ- og sesongvariasjonen registrert i denne arten. I *Laminaria hyperborea* var basalt bladsegment isotopisk lettere (mer negativt) gjennom hele året i forhold til distalt bladsegment. Sannsynligvis vil ikke denne variasjonen komme til uttrykk i særlig grad i eventuell sekundærproduksjon av tareopprinnelig karbon.

Den store variasjonen i karbonisotopratio registrert i stortare, og sannsynligvis også i fytoplankton gjør metoden usikker, spesielt når avstand i $\delta^{13}\text{C}$ mellom de to primærprodusentkildene ikke er større enn det er mellom fytoplankton- og stortare som inngår i denne oppgaven. Det er derfor grunn til å trekke konklusjoner med forsiktighet.

4.1.3 Naturlig variasjoner i $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i konsumentene

Overføring mellom trofiske nivå endrer karbonisotopratio i liten grad. Undersøkelser fra marine økosystemer viser at dyr under kontrollerte forhold har en svak ^{13}C anrikning (fører til mindre negativt signal) i forhold til dietten på 0,5 til 1,0 ‰ (DeNiro & Epstein 1978).

I naturlige økosystemer med flere trofiske nivåer kan så mye som 9-10 ‰ økning relativt til primærprodusentkilden tilskrives trofisk anrikning av ^{13}C isotopen (Fry & Sherr 1984).

Anrikning av ^{13}C isotopen fører til at $\delta^{13}\text{C}$ signalet blir suksessivt mindre negativt for hvert trofisk nivå (figur 2), og er derfor en mulig feilkilde i denne undersøkelsen, da mindre negativt $\delta^{13}\text{C}$ feilaktig kan tolkes som større innslag av stortare. Det er derfor viktig ved tolkning av resultatet å korrigere for dette. Til tross for at det er etablert en korrigeringsverdi for overføring mellom trofiske nivåer på ~0,8 ‰ (DeNiro & Epstein 1978), viser enkelte undersøkelser at dette tallet kan være høyere.

Diskusjon

En undersøkelse fra Østersjøen viser en differanse i $\delta^{13}\text{C}$ mellom fytoplankton og zooplankton på mellom 0,3 og 4,7 ‰ (mindre negativt i zooplanktonet) (Rolff 2000). Rolff (2000) mente imidlertid at differanse mellom fytoplankton og zooplankton var forholdsvis konstant og i størrelsesorden ~ 1 ‰ i perioder hvor planktonet var i samme fase. I perioder med raske endringer i $\delta^{13}\text{C}$ signalet i fytoplanktonet vil differansen bli større på grunn av tidsdifferansen som oppstår mellom fytoplanktonet og zooplanktonet.

Undersøkelser av reker viste en differanse i $\delta^{13}\text{C}$ signalet mellom mageprøver og dyr på 1 – 4,1 ‰, men at differansen hovedsakelig lå mellom 1-2 ‰ (Fry 1983). Pinnegar & Polunin (1999) fant i sin undersøkelse at differansen mellom diett og konsument i stor grad var avhengig av hvilke type vev som ble analysert. I denne undersøkelsen ble det påvist en differanse på 1,85 ‰ mellom diett og hvit muskel hos fisk, og 2,22 ‰ mellom diett og hele fisk. Videre ble det vist at fjerning av lipider i prøvematerialet førte til enda større differanse mellom diett og hele fisk. I følge DeNiro & Epstein (1978) vil lipider, som følge av diskriminering av ^{13}C isotopen til fordel for den lettere ^{12}C isotopen i lipidsyntesen, ha en mer negativ $\delta^{13}\text{C}$ verdi. Vev som har stort lipidinnhold har derfor en tendens til å være isotopisk lettere (mer negativt) enn andre type vev. I mange undersøkelser er derfor lipidene blitt ekstrahert for å unngå denne type variasjon (Fry & Parker 1979).

I denne oppgaven ble ikke lipidene fjernet, det vil sannsynligvis føre til at dyr/vev med høyt lipidinnhold vil ha en mindre differanse mellom diett og konsument, i forhold til dyr/vev som har lavere lipidinnhold.

Et problem ved korrigerings for trofisk anrikning er naturligvis å vite hvilket trofisk nivå et dyr befinner seg på, spesielt dyr som inngår i det detritusbaserte næringsnett.

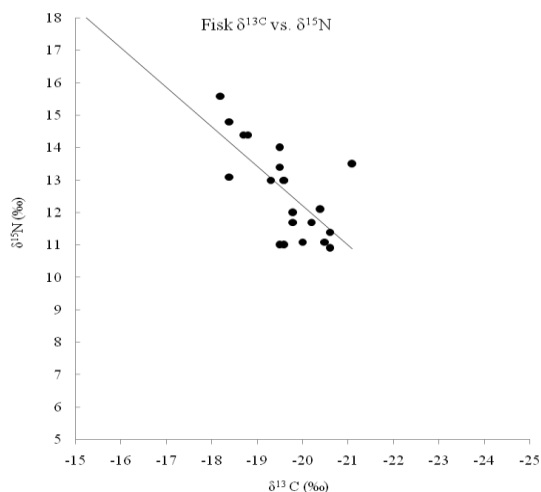
Nitrogenisotopratio ($\delta^{15}\text{N}$) varierer lite mellom ulike primærprodusenter. Endringer mellom trofiske nivåer er imidlertid stor 3-4 ‰ mot høyere verdi (Hobson & Welch 1992). $\delta^{15}\text{N}$ verdien kan derfor gi nyttig informasjon om trofisk posisjon hos dyr. Sannsynligvis er næringsnett i det undersøkte området som inngår i denne oppgaven komplisert, men $\delta^{15}\text{N}$ signalet vil imidlertid kunne gi en indikasjon på trofisk posisjon.

Det ble foretatt analyse av $\delta^{15}\text{N}$ signalet på et lite utvalg av dyrene i denne oppgaven. For å se om det kunne påvises en sammenheng mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$, ble det foretatt en korrelasjonsanalyse. Det er flere innvendinger mot å bruke dette datamaterialet på den måte.

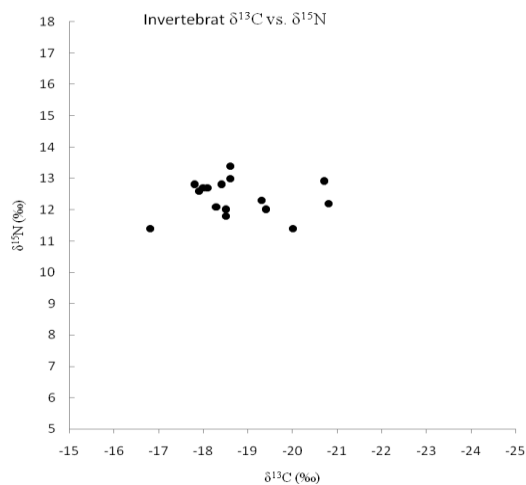
Diskusjon

Det bryter sannsynligvis med forutsetningen at alle individene har samme opprinnelige $\delta^{13}\text{C}$ kilde. Det vil også være innvendinger mot å bruke datasett med flere ulike arter.

Resultatet viser imidlertid en signifikant korrelasjon mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i gruppen fisk (korrelasjonsanalyse, $P=0,99$; to-sidig Student-t test) (figur 5), og trofisk anrikning av ^{13}C isotopen derfor sannsynligvis kan forklar en del av den variasjon i $\delta^{13}\text{C}$ som ble funnet. I gruppen invertebrater var det ingen korrelasjon mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (korrelasjonsanalyse $P<0,01$; to-sidig Student-t test), (figur 6), og trofisk anrikning forklarer lite av variasjonen registrert. Mangel på korrelasjon mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ i denne gruppen kan ha flere årsaker, og er sannsynligvis en kombinasjon av flere faktorer. Små invertebrater er sannsynligvis mer sensitive for endringer i diettens $\delta^{13}\text{C}$ signal, og variasjonen kan være et uttrykk for at det er flere karbonkilder med ulikt $\delta^{13}\text{C}$ signal i næringskjeden. Variasjon i $\delta^{13}\text{C}$ signalet i gruppen fisk vil sannsynligvis ikke komme til uttrykk på samme måte, da dette signalet viser inkorporert karbon over lengre tid. En annen faktor som sannsynligvis vil bidra til variasjon, er at det i denne gruppen er brukt ulike metoder ved lagring og opparbeiding av prøven, og det er ikke brukt en ensartet type vev til prøvetakning.



Figur 5: Viser forholdet mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (‰) i fisk.



Figur 6: Viser forholdet mellom $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ (‰) i invertebrater

Diskusjon

Begrensningen ved å bruke en eksakt $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ verdi for trofisk anrikning av ^{13}C og ^{15}N isotopen er opplagte, og usikkerhetene vil sannsynligvis bli større jo lengre bort fra den opprinnelige karbonkilden en konsument befinner seg. Med bakgrunn i tidligere undersøkelser er det i denne oppgaven brukte en korrigeringsfaktor for anrikning av ^{13}C på 1 ‰ for hvert trofisk nivå, og 3,8 ‰ for ^{15}N anrikning.

4.2 Diskusjon av resultatet

4.2.1 $\delta^{13}\text{C}$ Sediment og sediment assosiert fauna

Generelt kan resultatet tyde på at $\delta^{13}\text{C}$ signal i SOM (sedimentert organiske materiale), og i dyrene som lever i og på sedimentet har et lavere signal i forhold til resten av materialet (mobile invertebrater og fisk), og lå mellom $\delta^{13}\text{C}$ signal til fytoplankton og stortare.

På grunn av de store variasjonene i primærproduktkildene beskrevet over, var det forventet å finne større forskjell mellom stasjonene, spesielt mellom feltområdet på Mørkysten og materialet fra Nordsjøen. Der var ingen tydelig trend at materialet fra Mørkysten hadde større innslag av karbon med tareopprinnelse, i forhold til materialet fra Nordsjøen i denne delen av materialet. Lokaliteten i Nordsjøen er ikke influert av taremateriale, og det relativt høye $\delta^{13}\text{C}$ signalet ($-21,67 \pm 67$ ‰) registrert i prøven av børstemark i forhold til fytoplanktonestimatet ($-24,44 \pm 2,01$ ‰) kan bety at fytoplanktonestimatet er for lavt, eller at metoden ikke er sensitiv nok.

Fra andre undersøkelser er det vist at $\delta^{13}\text{C}$ signalet i SOM (sedimentert organisk materiale) kan ha en ^{13}C anrikning (mindre negativt signal) på 1-4 ‰ relativt til fytoplankton i den eufotiske sonene (Fry & Sherr 1984). Tilsvarende er det vist at ^{13}C anrikning kan utgjøre så mye som 3-4 ‰ mellom fytoplankton og benthiske filtrerere (Fry & Sherr 1984).

Sannsynligvis kan bakteriell produksjon forklare noe av denne anrikning i sedimentet. TP verdien (trofisk posisjon) på $\sim 1,5$ indikerer at det organiske materialet i sedimentet har gjennomgått en prosess som kan ha sammenheng med bakteriell produksjon.

Diskusjon

Resultatene i denne oppgaven viser at det er en differanse mellom fytoplankton og SOM på ~ 3 ‰. Tilsvarende er det registrert en differanse på 3-4 ‰ mellom fytoplankton og dyr som børstemark og slangestjerner som lever og ernærer seg på sediment (tabell 7).

Disse differansene mellom fytoplankton og overflatesedimentet, og fytoplankton og sediment tilknyttede dyr ligger innenfor differansene registrert fra områder med utelukkende fytoplankton som primærprodusentkilde. Dette faktum, sammen med funn gjort i Nordsjøen, kan ikke utelukke at det hovedsakelig er fytoplankton som er primærprodusentkilden i denne delen av materialet.

Selv om det generelle inntrykket er at den delen av faunaen som er tilknyttet sedimentet er forholdsvis ensartet i $\delta^{13}\text{C}$ signalet, er det noen unntak. *Neris* sp. samlet inn ved stasjon Sa-6, har med et unntak det høyeste (-16,80 ‰) signalet målt i undersøkelsen. Dette individet var imidlertid langt større enn de andre individene i denne gruppen, og det høye $\delta^{15}\text{N}$ signalet (11,4 ‰, TP=2.8) relativt til sedimentet (5,92 ‰, TP= 1,5) tyder på at arten er et rovdyr som ernærer seg på et høyere trofisk nivå, og at trofisk ^{13}C anrikningen (~1,0 ‰) kan forklare noe av den høye $\delta^{13}\text{C}$ verdien funnet på dette individet. Tabell 9 viser resultater fra andre undersøkelser gjort på denne slekten. Undersøkelser fra Canada (Lesage *et al.* 2001) viser at *Neris* ved denne lokalitet hadde et $\delta^{13}\text{C}$ signal på -16,2 ‰. Denne undersøkelsen ble foretatt i et område hvor fytoplankton $\delta^{13}\text{C}$ signalet var -22 ‰. Det høye $\delta^{13}\text{C}$ kan tyde på at karbon med tareopprinnelse inngår i dietten til dette individet, men dette underbygges ikke av andre funn gjort på denne lokaliteten.

Tabell 9: $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ verdier av flerbørstemarken *Neris* fra ulike undersøkelser.

| Art | $\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD}$ (‰) | $\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD}$ (‰) | Kommentar |
|------------------|---|---|--|
| <i>Neris</i> sp. | -19,14±0,42 | 9,66 ± 0,32 | Fra hapter på stortare. Samlet fra tareskoglokalitet på Mørekyten, n=5. (Fredriksen 2003). |
| <i>Neris</i> sp. | -23,0±2,2 | | Samlet inn ved en tareskogslokalitet i Alaska (Dunton & Schell 1987) |
| <i>Neris</i> sp. | -16,2 | 10,6 | Et individ fra estuarin lokalitet i Quebec, Canada. (Lesage et al. 2001) |
| <i>Neris</i> sp. | -17,3±2,0 | 12,7 ± 2,7 | Hardbunnslokalitet dominert av makroalger på vestkysten av Frankrike, n=3. (Riera 1998) |
| <i>Neris</i> sp. | -19,7±2,3 | 13,7± 0,3 | Estuarin lokalitet på vestkysten av Frankrike, n=3. (Riera 1998). |

Diskusjon

Muslinger (-28,13 ‰) og amfipoder (-27,80‰) fra henholdsvis stasjon Sa-4 og Sa-3, hadde de laveste signalene målt i undersøkelsen. Av marine primærprodusenter er det hovedsaklig arter innen rødalger som har $\delta^{13}\text{C}$ signaler i dette området. De fleste rødalgene som er vist i materiale og metode (tabell 5) er vanlig epifytter på stortare stilken (Sørli 1994). Det er imidlertid lite sannsynlig at små muslinger (<10 mm) i dypvannsområder har så spesifikk næringspreferanse at de lever av dødt materiale av rødalger. Kharlamenko et al. (2001) fant i sin undersøkelse at muslingen *Pillucina pisidium* (familie Lucinidae) hadde et signal $\delta^{13}\text{C}$ på $-26,2 \pm 0,3$ i et system hvor fytoplankton signalet var på $-20,9$ ‰, dette ble forklart med at denne arten har en endosymbiontisk sulfur-oksiderende bakterie på gjellene, og at kjemoautotrofe bakterier har et negativt karbonisotopisk signal relativt til substratet. Det foreligger ikke undersøkelser som viser at det samme gjelder for amfipoder. Amfipoder er en stor gruppe som inneholder mange forskjellige arter, de er omnivore og næringsvalget er sannsynligvis mest bestemt av habitatet de lever i, og det er uklart hva som gir disse amfipodene så negativt signal.

Ut i fra de resultatene som ble funnet i denne oppgaven, og med bakgrunn i funn fra andre undersøkelser er det få indikasjoner på at karbon med opprinnelse fra stortare inngår som næring for konsumenter tilknyttet sedimentet ved de undersøkte stasjonene. Det virker imidlertid å være en svak tendens til at $\delta^{13}\text{C}$ signalet blir isotopisk lettere med større avstand til tareskogen (figur 7). Ser en på gruppen børstemark, slangestjerner og sjømus viser alle samme trend, med svak ^{13}C anrikning fra Salsteinsleia/ Hareidfjorden og ut til ytre del av feltområdet (som antas eventuelt å ha mindre tarepåvirkning) ved Mørekysten (Sa-2) og Nordsjøen.

4.2.2 $\delta^{13}\text{C}$ i mobil evertebratfauna og fisk

Det ble brukt trålhal til innsamling av deler av materialet, og denne innsamlingen ble gjort i Saltsteinsleia og Hareidfjorden (figur 2). Denne delen av faunaen vil representere et større område (figur 2) i forhold til det materialet som ble samlet inn med grabb. Den mobile fauna har også i større grad mulighet til aktivt å oppsøke eventuelle taredeponier som beskrevet av Vetter (1998).

Det generelle inntrykket er at dette materialet har et noe lavere $\delta^{13}\text{C}$ signal i forhold til det mer stasjonære materiale diskutert over. Dette kan indikere at dette materialet har større

Diskusjon

innslag av karbon med tareopprinnelse i dietten. $\delta^{15}\text{N}$ viser at dyr fra denne gruppen ernærer seg på TP ~3-4, og kan forklare noe av ^{13}C anrikningen registrert. Det er få $\delta^{15}\text{N}$ data fra infaunaen, noe som gjør det vanskelig å si noe om infaunaen i det undersøkte området innehar et lavere trofisk nivå, og således kan forårsake denne lille foreskjellen registrert, men sannsynligvis er innfauna viktig næring for både mobile bunndyr og fisk. I følge Fredriksen (pers. medd.) er slangestjerner viktig føde for sjøkreps (*Nephrops norvegicus*). Differansen mellom sjøkreps fra stasjon Sa-5 (-17,93 ‰) og slangestjerner fra stasjon Sa-6 og Sa-7 (-20,70 ‰) på 2,77 ‰ er imidlertid noe høyere enn forventet trofisk ^{13}C anrikning på ~1 ‰. Reker (*Pandalus borealis*), som var dominerende i alle tre trålhal, viste også et $\delta^{13}\text{C}$ signal som indikerte innslag av karbon med tareopprinnelse. Dette er en art som er av kommersiell interesse i dette området, og er en viktig fødeorganisme for mange ulike arter fisk.

Dypvannsreker lever på dypet over mudderbunn, men kan ha vertikal næringsvandring. Den er en opportunist som spiser det som er tilgjengelig, dvs. bunnorganismer slik som børstemark og krepsdyr, men også zooplankton. TP verdien på 3,1 indikerer at arten beiter høyt oppe i næringskjeden.

Resultater fra andre undersøkelser viser at differansen i $\delta^{13}\text{C}$ signalet mellom fytoplankton i den eufotiske sonen, og benthiske krepsdyr kan være så mye som 5 -7 ‰ (Fry & Sherr 1985). Analyse av mageprøver viser at reker kan ha en $\delta^{13}\text{C}$ differanse på 1-4 ‰ mellom mageprøver og inkorporert karbon, men hovedsakelig mellom 1 og 2 ‰ forskyvning mot mindre negativt signal (Fry 1983). Undersøkelser fra Canada (Lesage et al. 2001) viser at *Pandalus borealis* (-17,8 ‰) viste en ^{13}C anrikning i forhold til fytoplankton (-22,9 ‰) på ~5 ‰. Dette viser hvor vanskelig sikre konklusjoner er ved anvendelse av denne metoden, spesielt når dyrene har en høy trofisk posisjon. Det kan imidlertid tyde på at trofisk anrikning av ^{13}C isotopen ikke alene kan forklare den høye $\delta^{13}\text{C}$ verdien registrert i reker, og at karbon med tareopprinnelse kan inngå i dietten.

Torsk er en annen viktig art i kystøkosystemet, og undersøkelser viser at tare har betydning som næring for torsk som lever i tareskogen (Fredriksen 2003). Tabell 9 viser $\delta^{13}\text{C}$ verdien funnet i torsk fra ulike områder, og viser at torsk fanget i dypvannsområdet i nærhet til tareskog har en $\delta^{13}\text{C}$ verdien som ligger mellom de registrert i tareskogen, og de registrert langt ut fra kysten (Finmarkskysten og Barentshavet). Dette kan indikere at torsk har innslag av karbon med tareopprinnelse i dietten.

Diskusjon

Tabell 9: Viser $\delta^{13}\text{C}$ og $\delta^{15}\text{N}$ av torsk fra ulike områder

| Art | $\delta^{13}\text{C} \pm \text{SD} (\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N} \pm \text{SD} (\text{‰})$ | Kommentar |
|--------|--|--|---|
| torsk | -17,87±0,60 | 12,93± 0,2,06 | Samlet fra tareskoglokalitet på Mørekyten, n=5. (Fredriksen 2003). |
| torsk | -18,30±0,12 | 14,50±1,28 | Fra dypvannsområde i kystøkosystem med tareskog (n=9), resultater fra denne oppgaven. |
| torsk | -19,38±0,32 | | Fra Finmarkysten |
| torsk. | -20,68±0,15 | 13,75± 0,34 | Fra Barentshavet (Hop 1996) |

I materialet i sin helhet kan det tyde på at arter som er typisk pelagiske i sitt fødevalg, som akkar (*Sepiola* sp.) (-20 ‰), kolmule (~ -20 ‰), lysprikkfisk (- 20,10 ‰) og øyepål (~ -20,40 ‰) har et $\delta^{13}\text{C}$ signal som ligger nærmer fytoplankton, i forhold til spesielt den mobile invertebrat fauna (reker, krabbe, sjøkreps og trollhummer) (tabell 7), og fisk tilknyttet bunnen (smørflyndre, gapeflyndre og hågjel) (tabell 8) som generelt hadde et signal som kan tyde på et større innsalg av tareopprinnelig karbon.

Flere undersøkelser har imidlertid registrert samme tendensen med lavere $\delta^{13}\text{C}$ signalet i benthiske dyr, og har argumenter for at dette har sammenheng med at det benthiske næringsnett har flere trofiske nivåer (Fry & Sherr 1984), og på grunn av trofisk anrikning av ^{13}C isotopen vil flere trofiske nivåer gi et høyere $\delta^{13}\text{C}$ signalet i de dyrene som ernærer seg på et høyt trofisk nivå.

Resultater fra denne undersøkelsen viser tydelig at metoden har begrensninger når den blir anvendt på denne måten. Den naturlige variasjonen i $\delta^{13}\text{C}$ signalet registrert både i fytoplankton og stortare, i tillegg til de usikre antagelsene i forbindelse med beregning av trofisk anrikning av ^{13}C isotopen gjør sikker konklusjon vanskelig.

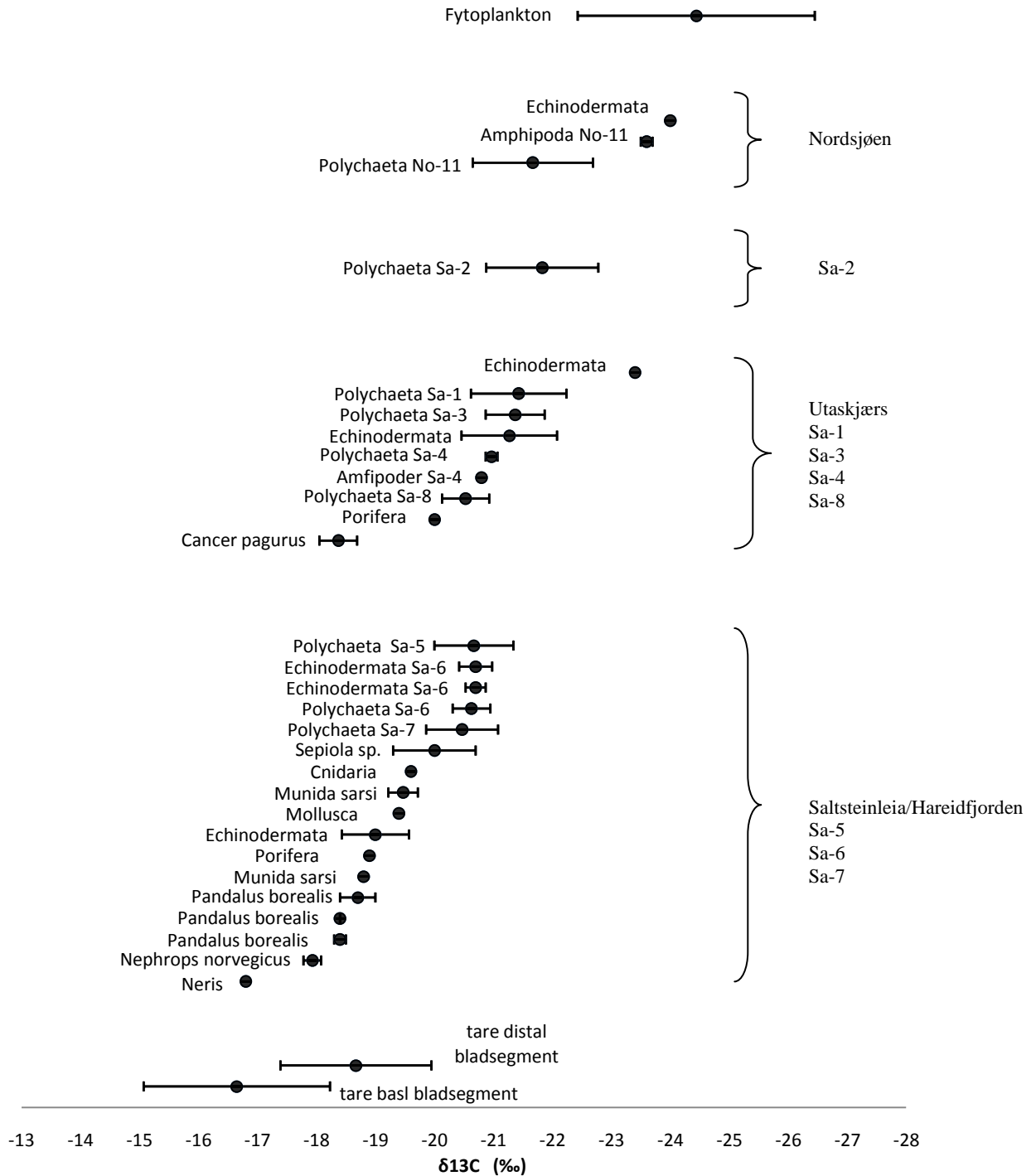
En måte å omgå dette problemet med usikre estimater for primærproducentenes $\delta^{13}\text{C}$ signal, er å foreta et transektstudie. Ved å se på eventuelle endringer langs en gradient kan man unngå å knytte resultatene opp mot primærproduktkilden. Duggins *et al.* (1989) sammenlignet flere indikatorarter mellom en tareskogslokalitet og en lokalitet dominert av kråkeboller, og fant at signifikant ^{13}C anrikning i indikatorartene fra tareskogslokaliteten, noe som indikerer innslag av karbon med tareopprinnelse i dietten. Simenstad *et al.* (1993)

Diskusjon

argumenterer for at de forholdsvis store naturlige variasjonen i tare krever god feltdesign for å kunne gjøre sikre konklusjoner ved anvendelse av $\delta^{13}\text{C}$.

Som tidligere påpekt viser resultatene en svak tendens til at signalet fra Saltsteinsleia og Hareidfjorden var mer ^{13}C anrikt i forhold til ytre strøk og Nordsjøen (figur 7). Dette kan bety at stortare har betydning som primærprodusent for enkelte arter i Saltsteinsleia og Hareidfjorden, men at bidraget er mindre ved den ytterste stasjonen (Sa-2). Den samme tendensen viser også resultatet av torsk (tabell 10), hvor torsk fanget i dypvannområdet i Saltsteinsleia har et signal som ligger mellom det registrert fra tareskogen (Fredriksen 2003), og fra Finnmarkskysten, mens torsk fra Barentshavet hadde det laveste signalet (Hop 1996). Dette er bare svake tendenser, og grundigere undersøkelser må legges til grunn for å trekke sikre konklusjoner.

Diskusjon



Figur 7: $\delta^{13}\text{C}$ signal ($\pm\text{SD}$) for de artene/gruppene som ble analysert i dette studiet. Dataene er samlet i ulike stasjonsgrupper. Resultatene av fisk og sedimentært organisk materiale (SOM)er ikke tatt med. Verdiene for tare og fytoplankton er hentet fra Fredriksen (2003).

4.3 Konklusjon

Resultatet fra denne oppgaven kan tyde på at taremateriale blir ført ut av tareskogen. Undersøkelse med undervannskamera viser at dødt taremateriale ble transportert ut av tareskogen, og store tareansamlinger ble registrert på 60 -70 m dyp. Det ble kun gjort sporadiske funn av dødt taremateriale i det området (100 – 280 m dyp) hvor innsamlingen av dyr ble gjort.

Resultatet tyder på at det organiske materialet i sedimentet i dypvannsområdet i nærheten av tareskogen hadde lite innslag av karbon med tareopprinnelse, og at fytoplankton sannsynligvis var den viktigste primærprodusentkilden ved de to stasjonene som ble undersøkt.

Videre kan funn fra den oppgaven tyde på at faunaen som er tilknyttet sedimentet ved de undersøkte stasjonene sannsynligvis ernærer seg i et system med karbon av fytoplanktonopprinnelse. Variasjonene i $\delta^{13}\text{C}$ signalet er imidlertid stor, og sikre konklusjoner er vanskelig. Den mobile invertebratfaunaen, spesielt reker og fisk viste generelt et mindre negativt $\delta^{13}\text{C}$ signalet noe som kan indikerer at disse dyrene hadde et større innslag av karbon med tareopprinnelse i dietten.

Sikre konklusjoner er imidlertid vanskelig. Store variasjoner i $\delta^{13}\text{C}$ signalet i primærprodusentkildene gjør metoden usikker, spesielt nå differansen i $\delta^{13}\text{C}$ signalet mellom de to viktigste primærprodusentkildene, stortare og fytoplankton, er så liten. Et annet usikkerhetsmoment i metoden er korrigering for trofisk anrikning av ^{13}C isotopen. Trofisk anrikning av ^{13}C isotopen fører til et mindre negativt $\delta^{13}\text{C}$ signal og er et problem da mindre negativt $\delta^{13}\text{C}$ signal feilaktig kan tolkes som større innslag av tare.

Referanser

- Abdullah, M.I., & Fredriksen, S. (2004) Production, respiration and exudation of dissolved organic matter by the kelp *Laminaria hyperborea* along the west coast of Norway. *J Mar Biol Ass UK*, **84**: 887-894.
- Beyer, F. (1990) Akvatisk miljølære, marin del. Blindern, Universitetet i Oslo.
- Bjørge, A., Bekkby, T. & Bryant, E.B. (2002) Summer home range and habitat selection of harbor seal (*Phoca vitulina*) pups. *Marine Mammal Science* **18**, No. 2, pp. 438–454.
- Branch, G.M. & Griffiths, C.L. (1988) the Benguela ecosystem. Part V. The coastal zone. *Oceanogr mar Biol A Rev* **26**:395-486.
- Christie, H. (1995) Description of the kelp forest fauna at Froan, mid Norway; variation in an exposure gradient. *Nina Oppdragsmelding* **368**:1-22.
- Davenport, S.R. & Nicholas, B.J. (2002) A trophic study of a marine ecosystem off southeastern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen. *Can J Aquat Sci* **59**:514-530.
- DeNiro, M.J. & Epstein, S. (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* **42**:495-506.
- Dring, M.J. (1982) The biology of marine plants. Edward Arnold, London; 199 pp.
- Dunton, K.H. & Schell, D.M. (1987) dependence of consumers on macroalgal (*Laminaria hyperborea*) carbon in an arctic kelp community: $\delta^{13}\text{C}$ evidence. *Mar Biol* **93**:615-625.
- Dunton K.H. (2001) $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Measurements of Antarctic peninsula fauna: Trophic relationship and assimilation of benthic seaweeds. *Amer Zool* **41**:99-112.
- Duggins, D.O. Simenstad, C.A. & Ester, J.A. (1989) Magnification of secondary production by kelp detritus in coastal marine ecosystems. *Science* **245**:170-173
- Duggins, D.O. & Eckman, J.K. 1997. Is kelp detritus a good food for suspension feeders? Effects of kelp species, age and secondary metabolites. *Mar Biol* **128**:489-495.
- France, R.L. (1995) Stable isotopic survey of the role of macrophytes in the carbon flow of aquatic foodwebs. *Vegetation* **124**:67-72.
- Fredriksen, S. (2003) Food web studies in a Norwegian kelp forest based on stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analysis. *Mar Ecol Prog Ser* **260**: 71-81.
- Foss, J.H. (1995) Management of kelp. Prioritized research activities. Institute of Marine Research, Bergen, Norway.

Referanser

- Fosså, J.H. (1995) Forvaltning av stortare, prioriterte forskningsoppgaver. *Rapport, Havforskningsinstituttet i Bergen*: 1-102.
- Fry, B. & Parker, P.L. (1979) Animal diet in Texas seagrass meadows: ^{13}C evidence for the importance of benthic plants. *Estuarine and Coastal Marine Science* **8**: 499-509.
- Fry, B. (1983) Fish and shrimp migrations in the northern Gulf of Mexico analyzed using stable C, N and S isotope ratios. *Fish Bull* **81**(4):789-800.
- Fry, B. & Sherr, E.B. (1984) $\delta^{13}\text{C}$ Measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib Mar Sci* **27**:13-47.
- Fry, B. & Wainright, S.C. (1991) Diatom sources of ^{13}C -rich carbon in marine food webs. *Mar Ecol Prog Ser* **76**:149-157.
- Hayward, P.J. & Ryland, J.S. (1995) *Handbook of marine fauna of North-West Europe*. Oxford., Oxford University Press.
- Harrold, C. Light, K. Lisin, S. (1998) Organic enrichment of submarine-canyon and continental-shelf benthic communities by macroalgal drift imported from nearshore kelp forest. *Limnol Oceanogr* **43**(4):669-678.
- Hobson, K.A. & Welch, H.E. (1992) Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Mar Ecol Prog Ser* **84**:9-18.
- Hop, H. & Falk-Pettersen, S. (1996) Ecological processes in the marginal ice-zone of the northern Barents Sea. Norsk Polarinstitutt. Rapportserie 93, Tromsø: 240 sider.
- Høisæter, T. & Fosså, J.H. (1993) Tareskogens betydning for kystnære fiskebestander. *IFM-rapport, Universitetet i Bergen* **8**: 53pp.
- Høisæter, T. & Jacobsen, A. (1994) Fauna assosiert med tarestilker. *Økosystem stortareskog, seminarreferat*. DN-notat 1994-1: 45-46.
- Johnston, A. & Raven, J.A. (1992) Effect of aeration rates on growth rates and natural abundance $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of *Phaeodactylum tricornutum*. *Mar Ecol Prog Ser* **87**: 295-300.
- Kaehler, S., Pakhomov, E.A. & McQuaid, C.D. (2000) Trophic structure of the marine food web at the Prince Edward Islands (Southern Ocean) determined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Mar Ecol Prog Ser* **208**:13-20.
- Kaehler, S. & Pakhomov, E.A. (2001) Effects of storage and preservation on the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ signatures of selected marine organisms. *Mar Ecol Prog Ser* **219**:299-304.
- Kaehler, S., Pakhomov, E.A., Kalin, R.M. & Davis, S. (2006) Trophic importance of kelp derived suspended particulate matter in a through-flow sub-Antarctic system. *Mar Ecol Prog Ser* **316**:17-22.

Referanser

- Kain, J.M. (1971) The biology of *Laminaria hyperborea* VI. Some Norwegian populations. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* **43**: 129-151.
- Kharlamenko, V.I., Kiyashko, S.I., Imbs, A.B. & Vyshkvartzev, D.I. (2001) Identification of food source of invertebrates from the seagrass *Zostera marina* community using carbon and sulfur stable isotope ratio and fatty acid analyses. *Mar Ecol Prog Ser* **220**:103-117.
- Kukert, H. & Riebesell, U. (1998) Phytoplankton carbon isotope fractionation during a diatom spring bloom in a Norwegian fjord. *Mar Ecol Prog Ser* **173**:127-137.
- Lesage, V., Hammill, M.O. & Kovacs, K.M. (2001). Marine mammals and the community structure of the Estuary and Gulf of St Lawrence, Canada: evidence from stable isotope analysis. *Mar Ecol Prog Ser* **210**:203-221.
- Lüning, K (1990) *Seaweeds. The Environment, Biogeography, and Ecophysiology*. New York: John Wiley & Sons Inc. 527 sider.
- McCutchan, J.H., Lewis, W.M., Kendall, C. & McGrath, C.C. (2003) Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Synthesizing Ecol* **102**:378-390.
- Minagawa, M. & Wada, E. (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochim Cosmochim Acta* **48**:1135-1140.
- Monteiro, P.M.S., James, A.G., Sholto-Douglas, A.D. & Field, J.G. (1991) The $\delta^{13}\text{C}$ trophic position isotope spectrum as a tool to define and quantify carbon pathways in marine food webs. *Mar Ecol Prog Ser* **78**:33-40.
- Newell, R.C. & Field, J.G. (1983) The contribution of bacteria and detritus to carbon and nitrogen flow in a benthic community. *Mar Biol Lett* **4**:23-36.
- Norderhaug, K.M., Christie, H. & Rinde, E. (2002) Colonisation of kelp imitations by epiphyte, and holdfast fauna; a study of mobility patterns. *Mar Biol* **141**: 965-973.
- Norderhaug, K.M., Fredriksen, S. & Nygaard, K. (2003). Trophic importance of *Laminaria hyperborea* to kelp forest consumers and the importance of bacterial degradation to food quality. *Mar Ecol Prog Ser* **255**: 135-144.
- Paasche, E. (1997) Forelesninger i marin biologi, botanisk del. Universitetet i Oslo.
- Perry, R.I., Thompson, P.A., Mackas D.L., Harrison, P.J. & Yelland, D.R. (1999) Stable carbon isotopes as food web tracers in adjacent shelf and slope regions off British Columbia, Canada. *Can J Fish Aquat Sci* **56**:2477-2486.
- Peterson, B.J. & Fry, B. (1987) Stable isotope in ecosystem studies. *Annu Rev Ecol Syst* **18**:293-320.

Referanser

- Pinnegard, J.K. & Polunin, N.V.C. (1999) Differential fractionation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ among fish tissues: implications for the study of trophic interaction. *Functional Ecology* **13**:225-231.
- Rau, G.H., Riebesell, U., Wolf-Gladrow, D. (1996) A model of photosynthetic ^{13}C fractionation by marine phytoplankton based on diffusive molecular CO_2 uptake. *Mar Ecol Prog Ser* **133**:275-285.
- Rau, G.H., Riebesell U, Wolf-Gladrow D (1997) $\text{CO}_{2\text{aq}}$ -dependent photosynthetic ^{13}C fractionation in the ocean: A model versus measurements. *Global Biogeochem Cycles* **11**(4):267-278.
- Raven, J. A., Walker, D. I., Johnston, A.M., Handley, L.L. & Kübler (1995) Implications of ^{13}C natural abundance measurements for photosynthetic performance by marine macrophytes in their natural environment. *Mar Ecol Prog Ser* **123**:193-205.
- Raven, J.A (1997) Inorganic Carbon Acquisition by Marine Autotrophs. *Bot Res* **27**:86-144.
- Rinde, E., Christie, H., Fredriksen, S. & Sivertsen, A. (1992) Økologiske konsekvenser av taretråling: Betydning av tareskogens struktur for forekomster av hapterfauna, bunnfauna og epifytter. *NINA Oppdragsmelding* **127**:1-37.
- Rolff, C. (2000) Seasonal variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of size-fractionated plankton at a coastal station in the northern Baltic proper. *Mar Ecol Prog Ser* **203**:47-65.
- Schaffelke, B. & Lünning, K. (1994) A circannual rhythm controls seasonal growth in the kelps *Laminaria hyperborea* and *L. digitata* from Helgoland (North Sea). *Eur J Phycol* **29**:49-56.
- Sholto-Douglas, A.D., Field, J.G., James, A.G., van der Merwe, N.J. (1991) $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ Isotope ratios in the Southern Benguela Ecosystem: indicators of food web Relationships among different size-classes of plankton and pelagic fish; differences Between fish muscle and bone collagen tissues. *Mar Ecol Prog Ser* **78**:23-31.
- Simenstad, C.A., Duggins, D.O., Quay, P.D. (1993) High turnover of inorganic carbon in kelp habitats as a cause of $\delta^{13}\text{C}$ variability in marine food webs. *Mar Biol* **116**:147-160.
- Sjøtun, K., Fredriksen, S., Lein, T.E., Rueness, J. & Sivertsen, K. (1993) Population studies of *Laminaria hyperborea* from its northern range of distribution in Norway. *Hydrobiologia* **260/261**: 215-221.
- Sjøtun, K. Fredriksen, S. Rueness, J. & Lein, T.E. (1995) Ecological studies of the kelp *Laminaria hyperborea* (Gunnerus) Foslie in Norway. Ecology of fjords and coastal waters. Elsevier, Amsterdam, p 525-536.
- Skjoldal, H.R., Hopkins, C., Erikstad, K.E. & Leinaas, H.P. (eds). Ecology of fjords and coastal waters. Elsevier, Amsterdam, p 525-536.

Referanser

- Stephenson, R.L., Tan, F.C., Mann, K.M. (1984) Stable carbon isotope variability in marine macrophytes and its implications for food web studies. *Mar Biol* **81**:223-230.
- Stuart, V. Field, J.G. & Newell, R.C. (1982) Evidence for absorption of kelp detritus by ribbed mussel *Aulacomya ater* using a new ⁵¹Ca-labelled microsphere technique. *Mar Ecol Prog Ser* **9**:263-271.
- Sørli, A. C. (1994) Epifyttiske alger på hapterer og stipes av *Laminaria hyperborea* (Gunn.) Foslie fra Vega i Nordland fylke. Cand. Scient. Oppgave. Universitetet i Oslo 79 sider.
- Valiela, I. (1984) Marine Ecological Processes. Springer-Verlag, New York; 546 pp.
- Vetter, E.W. (1995) Detritus-based patches of high secondary production in the nearshore benthos. *Mar Ecol Prog Ser* **120**:251-262.
- Vetter, E.W. (1998) Population dynamic of dense assemblage of marine detritivores. *J Exp Mar Biol Ecol* **226**:131-161.
- Vetter, E.W. & Dayton, P.K. (1999) Organic enrichment by macrophyte detritus, and abundance pattern of megafaunal populations in submarine canyons. *Mar Ecol Prog Ser* **186**:137-148.
- Wassmann, P., Hansen, L., Andreassen, J.I., Wexels Riser, C. & Urban-Rich, J. (1994) Distribution and sedimentation of faecal pellets on the Nordvestbanken shelf, northern Norway, in 1999. *Sarsia* **84**:239-252.

Personlige meddelelser:

Forsker Hertvig Christie, NIVA
Professor Stein Fredriksen, UiO