

FAGUTREDNING MINERALRESSURSER I NORSKEHAVET

LANDSKAPSTREKK, NATURTYPER OG BENTISKE ØKOSYSTEMER

*SENTER FOR DYPHAVSFORSKNING
UNIVERSITETET I BERGEN*

Rolf B. Pedersen¹, Bernt Rydland Olsen⁵,
Thibaut Barreyre¹, Anders Bjerga¹, Alden
Denny¹, Mari Heggernes Eilertsen², Ilker
Fer³, Haflidi Haflidason¹, Jon Thomassen
Hestetun⁶, Steffen Jørgensen¹, Pedro A.
Ribeiro², Ida Helene Steen², Håvard
Stubseid¹, Anne Helene S. Tandberg⁴,
Ingunn Thorseth¹

- 1) Senter for dyphavsforskning,
Institutt for geovitenskap, UiB
- 2) Senter for dyphavsforskning,
Institutt for biovitenskap, UiB
- 3) Geofysisk Institutt, UiB
- 4) Universitetsmuseet i Bergen
- 5) Høgskulen på Vestlandet
- 6) NORCE

INNHOOLD

Forord

Sammendrag

Del I:

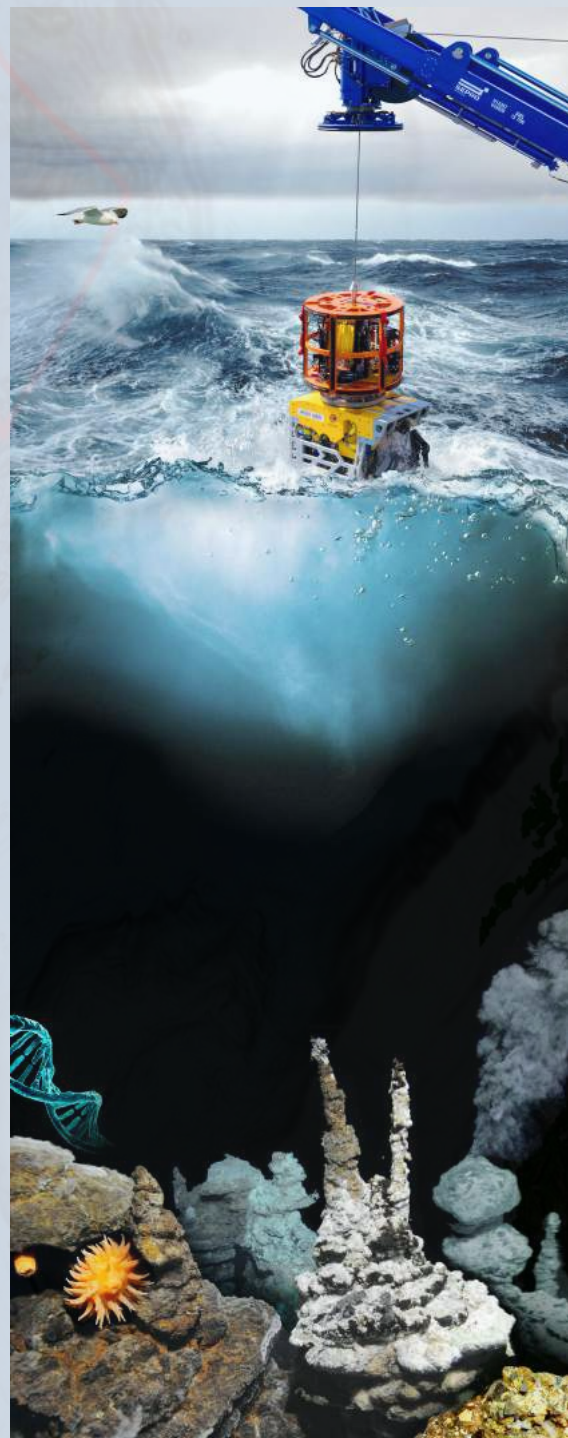
*Landskapstrekk og
naturtyper*

Del II:

Bentiske økosystemer

Appendiks I:

Bunnskart og gradientkart



Forord

Dyphav dekker store deler av jordoverflaten, og disse enorme områdene har i stor grad vært utilgjengelig for menneskeheten. Ny teknologi har åpnet dyphavene for utforskning og ressursleting, og nye ressursbehov har aktualisert dyphavene som en mulig kilde for mineralressurser. Norge har store dyphavsområder som potensielt kan inneholde slike ressurser.

Universitetet i Bergen (UiB) har vært en hovedleverandør av kunnskap om dyphavsområdene i Norskehavet. I regi av UiB har områdene i hovedsak blitt studert med ny grunnleggende kunnskap som siktemål, og i de siste 20 årene har innsatsen særlig vært rettet mot samspillet mellom geosfæren, hydrosfæren og biosfæren - og mot oseanografien i området. Denne forskningen har ført til funn av aktive hydrotermiske felt, og til påvisning av ulike typer marine mineralavsetninger. Ressursundersøkelser er nå påbegynt i regi av Olje- og energidepartementet, og planer for åpning av områdene for mineralleting har aktualisert behovet for systematisk miljøkartlegging av disse havområdene. Denne rapporten oppsummerer kunnskapen som er blitt innhentet i disse havområdene med grunnforskning som siktemål.

Det meste av kunnskapen som er relevant for mineral- og miljøspørsmål er fra de to siste tiårene. De første undersøkelsene av vulkanske områder ved hjelp av fjernstyrte undervannsfarkoster ble gjennomført i 1999, og de første funn av fossile mineralavsetninger ble gjort det samme året. De første aktive hydrotermiske feltene ble lokalisert i 2005. Forskere ved Senter for geobiologi (2007-2017) og ved Senter for dyphavsforskning har vært ledende på kartlegging og forskning rettet mot geologi og organismesamfunn i dette området. Forskningen har i stor grad vært basert på bruk av avansert infrastruktur og utvikling av ny metodikk. Gjennom en langsiktig satsing på dyphavsforskning har UiB støttet disse initiativene, og den dypmarine forskningskapasiteten er gradvis blitt bygget opp i samarbeid med Havforskningsinstituttet, Forsvarets Forskningsinstitutt, CMR (nå NORCE), og norsk subsea-næring.

Forskningen har i hovedsak vært finansiert av UiB, Norges forskningsråd, Stiftelsen Kristian Gerhard Jebsen og Trond Mohn stiftelsen. Oljedirektoratet har bidratt med støtte til gjennomføring av tokt og forskning med relevans for ressurs- og miljøundersøkelser.

Forskerne som har bidratt til dette faktagrunnlaget har med få unntak vært tilknyttet Senter for geobiologi og Senter for dyphavsforskning. Faktagrunnlaget sammenfatter kunnskap som for det meste er fremkommet ved forskning i området fra årtusenskiftet frem til i dag. Kunnskapsbasen inkluderer vitenskapelige publikasjoner, masteroppgaver, grålitteratur (f.eks. årsrapporter, toktrapporter, upubliserte rådata) og personlig kunnskap fra området.

Denne fagutredningen sammenfatter informasjon om landskapstrekk, naturtyper og bentiske økosystemer i utredningsområdet. Da dyphavene inntil nylig primært har vært en arena for grunnforskning, er kunnskapen mest omfattende innen fagfelt og områder som denne forskningen har prioritert. Områder med nydannet vulkansk havbunn og aktive varme kilder har vært "hot-spots" også rent faglig. Områder som har fått mindre søkelys har vært områder som i rapporten gjerne er omtalt som «bløtbunn». Mindre søkelys er utelukkende knyttet til mindre tilgjengelig forskning, og skal ikke tillegges lavere økologisk verdi. Disse områdene bør behandles med særskilt forsiktighet inntil kunnskapsgrunnlaget er forbedret.

Rapporten er delt i to delrapporter der den første delen omhandler landskapstrekk, naturtyper og oseanografi, og der den siste delen primært omhandler bentiske økosystemer i utredningsområdet.

Sammendrag

Norge har store dyphavsområder med et variert landskap og ulike naturtyper, som understøtter biologiske samfunn. Områdene inneholder også mineralforekomster, som kan representere en fremtidig kilde til viktige metaller. Miljøbelastninger knyttet til lete- og prøveutvinning, og en eventuell fremtidig mineralutvinning vil påvirke dyphavsmiljøene i ukjent grad. Denne rapporten sammenfatter dagens kunnskap, og legger derfor et grunnlag for videre miljø- og konsekvensutredninger. Rapporten er delt i to deler, der den første delen omhandler landskapet og dets naturtyper, mens den andre delen i hovedsak tar for seg de biologiske samfunnene og organismene som er knyttet til havbunnsmiljøene.

Norge er en av få nasjoner som har deler av den 65.000 km lange globale midthavsryggen innenfor den marine yttergrensen. I Norskehavet strekker dette ryggsystemet seg 1300 km fra områdene vest for Jan Mayen til inngangen av Framstredet.

Ved dette ryggsystemet dannes havbunnen ved havbunns-spredning, som drives av et samspill av vulkanske og tektoniske prosesser. I Norskehavet beveger skorpeplatene seg vekk fra hverandre med en hastighet på omkring 15 mm i året, og hele havbassenget som skiller Norge fra Grønland er blitt dannet ved slike prosesser over en tidsperiode på 50 millioner år. En kjede av unge vulkaner definerer spredningsaksen der havbunnen dannes i dag. Langs spredningsaksen vokser det også frem et fjellandskap ved forkastningsbevegelser og jordskjelvaktivitet. Havmassene i Norskehavet skjuler derfor Norges mest dynamiske geologiske provins.

Denne dynamiske geologien fører også til dannelse av mineralressurser, og til en rekke særegne habitater. Den vulkanske aktiviteten avgir geotermisk varme, som er drivkraft for hydrotermisk aktivitet. Siden 2005 er det oppdaget syv slike varme havkilder langs spredningsaksen i Norskehavet. Disse hydrotermiske områdene opptrer fra Kolbeinseyryggen i sør, til Knipovichryggen i nord, og ved havdyp som varierer fra 100 til 3000 m. Slike hydrotermiske felt representerer et av dyphavets mest særegne naturfenomen. Den første delrapporten gir en kort oversikt over de hydrotermiske feltene som hittil er kjent i Norskehavet, og en oversikt over de ulike naturtypene som er knyttet til disse områdene. Det gir også en oversikt over hvordan den hydrotermiske utstrømningen påvirker de dype vannmassene. De varme havkildene fører til dannelse av metallholdige mineralavsetninger. Der den hydrotermiske aktiviteten opphører, ligger mineralutfellingene tilbake som fossile metallholdige avsetninger. Det er knyttet stor usikkerhet til omfang og gehalter av slike fossile mineralforekomster, men det er knyttet forventninger til at de kan representere en fremtidig kilde til kobber and andre metaller.

Fjellandskapet som blir dannet ved vulkansk og tektonisk aktivitet har bratte fjellskrenter der sedimenter ikke akkumuleres. Her felles det ut jern- og manganrike mineraler fra sjøvann som er i kontakt med fjellssidene. Over millioner av år bygges det opp desimeter tykke manganskorper. I tillegg til jern og mangan trekkes det også ut kobolt, nikkel og sjeldne jordarter fra sjøvannet. Denne type mineralavsetninger inneholder en rekke elementer som brukes til elektrifisering av samfunnet, og stabile fjellsider med tykke manganskorper representerer en potensiell ressurs og kilde til slike elementer. Fjellssidene er også et av flere hardbunns-habitater i dyphavsområdene.

Ved aksedalen er mineralavsetninger som dannes ved varme kilder eksponert på havbunnen, men de blir begravet av tykke sedimentlag (og blir derved utilgjengelig for utvinning med dagens teknologi) etterhvert som havbunnskorpen blir eldre og beveger seg vekk fra spredningssenteret ved aksedalen. For manganskorper er det omvendt, de eldste fjellområdene

som ligger ved flankene av midthavsryggen har de tykkeste manganskorpene. Utredningsområdet utstrekning reflekterer denne kunnskapen.

I dyphavet styres naturtypene knyttet til havbunnen i stor grad av havbunnens dybde, havbunnens alder og havbunnens helning. Den første delen av rapporten gir en oversikt over hvordan disse fordeles i utredningsområdet og styrer habitatsfordelingen.

Det aller meste av utredningsområdet har dybder mellom 1000 og 4000 m, og havbunnen ligger innenfor det afotiske/batypelagiske dybdeområdet. Med unntak av primærproduksjon som er knyttet til et fåtall hydrotermiske felt, er næringstilgangen i den afotiske sonen begrenset til partikler (marin snø) som synker ned i dypet fra de produktive grunnere vannlagene. Deler av det sørligste utredningsområdet ligger innenfor den disfotiske/mesopelagiske sonen (skumringsonen), som strekker seg fra 200 til 1000 m dyp. Sør for Jan Mayen bruddsonen dekker disse relativt grunne områdene et areal på 5900 km². Like nord for Jan Mayen-bruddsonen er det også områder som er grunnere enn tusen meter og som også har relativ god næringstilgang fra den fotiske sonen. Nordvestover langs Mohnsryggen strekker en del av sjøfjellene seg også inn i skumringssonen. De største sjøfjellene representerer nøkkellokaliteter for videre studier av bentiske økosystemer i Norskehavet.

Miljøfaktorer som har betydning for bentiske habitater er til dels styrt av havbunnens alder. I aksedalen foregår det en episodisk nydanning av vulkansk havbunn, etterfulgt av en kontinuerlig omforming av habitater fra vulkansk hardbunn til sedimentær bløtbunn. Ved Mohnsryggen kan det nå dokumenteres at 30 % av havbunnen i aksedalen består av relativt nydannet vulkansk hardbunn, som ennå ikke er blitt tildekket av sediment. Vi kan også vise at der den vulkanske havbunnen er eldre enn omkring hundre tusen år, er den blitt dekket av sediment og omformet til bløtbunn. Vi har også omfattende kunnskap omkring hvordan den vulkanske havbunnen forvitres og koloniseres av mikroorganismer.

Terrengets helning er en viktig økoklin som styrer miljøfaktorer og artssammensetning. Havbunnens helning styrer i stor grad hvor sediment kan akkumulere. Kartleggingen viser at de hemipelagiske sedimentlagene tynner ut i områder med gradienter mellom 17 og 20°, og at sediment ikke akkumuleres i vesentlig grad i brattere terreng. Dette styrer derfor fordelingen av hardbunnshabitater. Gradientanalyser av store deler av utredningsområdet viser at 4 % av et areal på 151.066 km² har gradienter over 20°, og disse områdene er derfor trolig dominert av hardbunn. Rapporten gir også en oversikt over gradientfordelingen i ulike delområder av utredningsområdet.

Den første delrapporten gir til slutt en kort oversikt over de generelle oseanografiske forholdene i Norskehavet. Den oppsummerer ny kunnskap om den arktiske frontsonen som følger Mohnsryggen, og som består av to frontgrensesnitt med varmt og salt norsk atlantisk vann i øst, og kaldt arktisk vann fra Grønlandshavet i vest. Dette frontsystemet er antatt å bidra med omtrent halvparten av den totale transporten av atlantehavsvann nordover. Dette skaper et unikt miljø i vannsøylen over Mohnsryggen, som fører til utveksling av vannmasser mellom Norske- og Grønlandshavet på tvers av ryggen, samt vertikale bevegelser og transport av næringsrikt bunnvann med hydrotermiske komponenter mot overflaten. Vi oppsummerer også nye data fra deler av Mohnsryggen som viser at strømhastigheten nær bunnen kan være uvanlig kraftig (opp til 3 cm/s). Disse nye dataene har betydning for videre vurderinger av partikkelspredningen i disse områdene.

Biologiske undersøkelser i norske havområder går langt tilbake i tid, og inkluderer både tidlige tokt som den norske nordhavsekspedisjonen av 1876-78 og den danske Ingolf-ekspedisjonen, til prosjekter som BIOFAR og BIOICE og pågående programmer som

Mareano. Midthavsryggene i Norskehavet har vært gjenstand for biologiske undersøkelser hovedsakelig fra dyphavsmiljøet ved Universitetet i Bergen, i sin nåværende form Senter for Dyphavsforskning, men også med enkeltundersøkelser fra NTNU og Havforskningsinstituttet.

Faunaen fra de grunnere varme kildene på den sørlige delen av Mohnryggen og Kolbeinseyryggen (Jan Mayen feltene og Syv Søstre) ser ut til å stort sett bestå av arter som er kjent fra hard- og bløtbunnsområder i området, mens de dypere varme kildene lengre nord på Mohnryggen har en større andel unike arter. I tillegg til spesialiserte arter vil den høye primærproduksjonen tiltrekke seg organismer fra andre økosystem i dyphavet, men hvordan og i hvilken grad primærproduksjon ved varme kilder transporteres til andre økosystem i norske dyphavsområder er dårlig kjent. Studier fra andre havområder viser at den varme utstrømningen kan føre til økt produksjon i vannmassene nær hydrotermiske kilder. I Norskehavet er det tydelige tegn på det samme, hvor det blant annet foreligger akustiske data (ekkolodd) som viser aggregering av biomasse rundt Jan Mayen feltene. Dette er imidlertid ennå ikke supplert med kvantitative undersøkelser.

På verdensbasis er faunaen fra varme kilder i ulike geografiske områder i stor grad unik. Det samme ser ut til å gjelde tilsvarende fauna på midthavsryggen i Norskehavet, som er svært ulik fauna fra varme kilder i Atlanterhavet eller i Stillehavet, i alle fall på artsnivå. Siden faunaen ved de varme kildene i utredningsområdet er unik, og har et svært begrenset utbredelsesområde, kan man anta at den er sårbar for forstyrrelser av habitatet. Seks arter som kun er kjent fra Lokeslottet er vurdert som sårbare (VU) i den foreløpige vurderingen til Rødlista for arter 2021.

Studier av mikrobielle samfunn ved de varme kildene i utredningsområdet indikerer at sammensetningen er sterkt påvirket av den unike kjemien ved de ulike feltene. Funksjonelle grupper som svoveloksiderende, hydrogenoksiderende, jernoksiderende, metanoksiderende (anaerobe, aerobe) og sulfatreduserende mikroorganismer dominerer. Spesifikke taksa, samt deres relative tilstedeværelse, varierer imidlertid innad og mellom feltene. Genetiske data fra disse mikrobielle samfunnene har potensiale for produksjon av enzymer av bioteknologisk interesse.

Til forskjell fra dyphavsslettene, som arealmessig utgjør størstedelen av dyphavet, finnes det betydelig sammenhengende og spredt hardbunn på langs av ryggsystemet som er knyttet til topografiske trekk slik som vulkanrygger, forkastningskråninger, sjøfjell og spredte steiner. Sjøfjellet Schulzbanken, i nærheten av Lokeslottet, har vært gjenstand for flere undersøkelser, hovedsakelig med ROV. Toppen og andre deler av sjøfjellet er dekket av dyphavs svampegrunn med ulik artssammensetning på ulik dybde, en habitattype som danner et rikt grunnlag for assosiert fauna. Selv om enkelte taksonomiske arbeider er publisert fra Schulzbanken, er faunaen hovedsakelig kun undersøkt med videotransekt.

Svampegrunnen på Schulzbanken har også vært gjenstand for funksjonelle studier som har påvist hvordan sjøfjellets topografi og beliggenhet i vannmassene gir grobunn for næringsopptak, og som har undersøkt svampegrunnens funksjon i nærings- og karbonsyklusen. Dannelse av svampegrunner avhenger av både biotiske og abiotiske faktorer, og de er sårbare overfor økt sedimentering og andre forstyrrelser. Undervannshøyder og sjøfjell kan under visse omstendigheter ha manganskorper. Videotransekt fra en høyde i Lofotenbassenget viser en kompleks topografi med både eksponerte manganskorper, basalt og sedimenter. Den megabentiske faunaen fra disse transektene tilsvarer fauna på tilsvarende dyp i Arktis, slik som Mohnsskatten og Hausgarten-observatoriet i Framstredet.

Inaktive sulfidforekomster er områder med tidligere varm oppstrømning og kan fremstå som enten hardbunn eller dekket av sedimenter, avhengig av alder. På verdensbasis er denne habitattypen lite undersøkt, og det er uklart om inaktive sulfidforekomster inneholder en

stedegen fauna, delvis fordi ulike forekomster fremstår som forskjellige med hensyn til f.eks. grad av sedimentering og avstand til pågående hydrotermisk aktivitet. I utredningsområdet er svært lite informasjon tilgjengelig om inaktive sulfidforekomster. Videotransekter fra Mohnskatten er publisert som en del av MarMine-prosjektet. I tillegg foreligger upubliserte videotransekter fra Senter for dyphavsforskning. Hovedkonklusjonen i MarMine-undersøkelsen var at de påviste bentiske organismene på Mohnskatten representerte typisk arktisk dyphavsfauna, men med høy biomasse og høyt artsmangfold, noe som kan tyde på at organismesamfunnene her påvirkes av økt næringstilgang fra nærliggende hydrotermisk aktivitet.

Kunnskap om bløtbunnsfauna stammer til dels fra undersøkelser av den generelle dyphavsfaunaen i norske områder; et arbeid som inkluderer toktaktivitet tilbake til slutten av 1800-tallet. Nyere data fra Mareano viser at dyphavsslettene er et mindre homogent habitat enn tidligere kjent, med mikrostrukturer og topografisk variasjon. GIF-ryggen (Grønland, Island, Færøyene) skiller De nordiske hav fra resten av det nordlige Atlanterhavet. Bunnfaunaen i området kan derfor forventes å variere i henhold til geografiske utbredelsesmønstre i ulik skala. Mange arter er kjent kun fra én eller noen få registreringer, og nye vitenskapelige gjennomganger viser et stort innslag av tidligere ukjente arter. Kunnskap om bløtbunnsfauna fra nyere undersøkelser ved ryggsystemet i Norskehavet er, med unntak av fauna ved hydrotermiske kilder, i stor grad basert på videotransekter.

Biologiske organismesamfunn er mangfoldige, og kan deles inn i ulike komponenter etter behov basert på levesett, størrelse eller habitat. Derfor utføres biologisk prøvetaking med en rekke ulike redskaper utfra hvilke deler av disse samfunnene som er gjenstand for undersøkelsene. For bunnorganismer kan dette inkludere ulike former for sleder og bunntråler, grabber, dregger og kjerneprøver. I nyere undersøkelser av utredningsområdet er imidlertid det meste av bunnprøvetakingen basert på ROV. Dette er en relativ skånsom metode som tillater en rekke fastmonterte verktøy, presis prøvetaking og videodata. Videotransekter med ROV kan dekke større områder for å gi et bilde av samfunnene på havbunnen, imidlertid gir slike undersøkelser lite detaljert informasjon om nøyaktig artssammensetning og forekomst av mindre dyr.

En grundigere kartlegging av organismesamfunn krever ikke bare en større mengde innsamlet prøvemateriale, men også et omfattende arbeid med identifikasjon og beskrivelse av innsamlede arter, både med morfologiske og DNA-baserte metoder. Siden en stor andel av organismene i utredningsområdet er dårlig kjent, kreves det et betydelig forskningsmessig grunnarbeid før mer rutinepreget kartlegging er mulig. Slike taksonomiske studier må suppleres med studier av populasjonsstruktur, konnektivitet, næringsnett, interaksjoner og økosystemtjenester for å skape en forståelse av hvordan slike samfunn fungerer og eventuelt vil bli påvirket av endringer i miljø- og leveforhold.

Området inneholder flere sårbare biotoper i henhold til OSPAR-konvensjonen, slik som sjøfjell og dyphavs svampegrunn, og OSPAR har klare anbefalinger om vern av disse områdene og om å redusere eventuelt skadeomfang i nærheten av hydrotermiske kilder. Ut fra kriteriene i Convention on Biological Diversity (CBD), er det fremlagt et forslag om et nytt SVO (særlig verdifullt og sårbart område) som dekker selve midthavsryggen, inkludert Jan Mayen-utstikkeren, og et SVO som dekker dype deler av Norskehavet. I tillegg til generelle dyphavsforekomster, som er lite undersøkt, er det spesifikt foreslått å inkludere sju arter knyttet til hydrotermiske kilder i 2021-revisjonen av Norsk rødliste, inkludert tre tanglopper og fire børstemark.

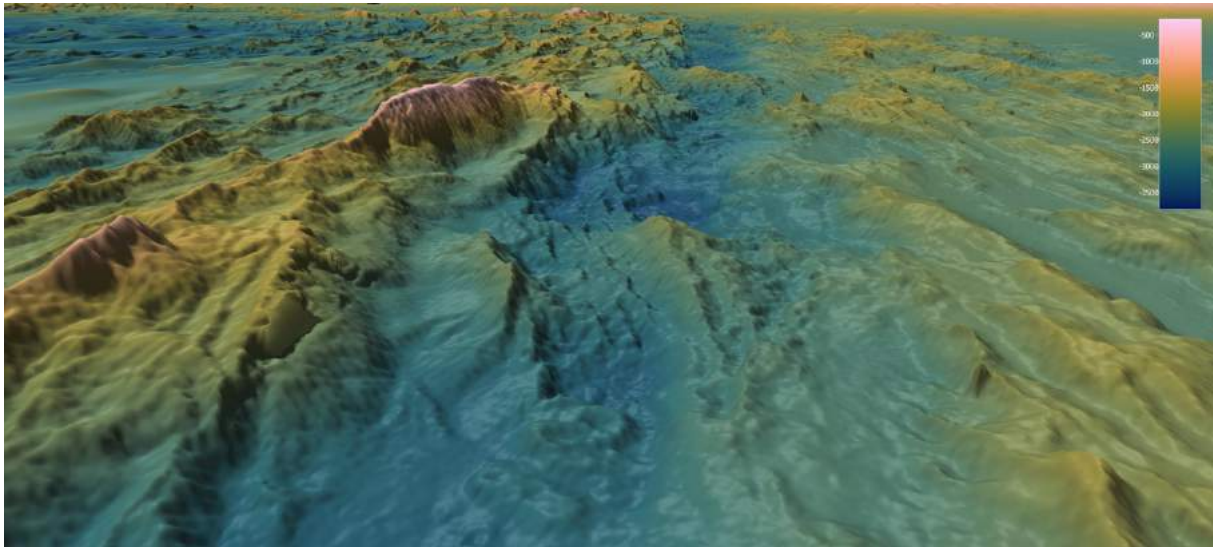
Som et resultat av områdets store utstrekning, vekslende habitater og at dyphavsforskning er svært ressurskrevende, er kunnskapen om bunnfauna og biologisk mangfold i området

fragmentert, med store kunnskapshull. Enkelte deler av faunaen, inkludert infauna og mindre dyr, er betydelig underrapportert sammenlignet med grupper som kan oppdages på videotransekter. Beskrivelsene som er lagt frem i denne rapporten må derfor ses på som et ufullstendig bilde.

Bedre kunnskap om miljørisiko fra menneskelig aktivitet, inkludert undersjøisk gruvedrift, og effekter av klimaforandringer fordrer et omfattende grunnarbeid hvor både kartlegging av kjente arter inngår, og å beskrive hittil ukjente arter. Videre er baselinjeundersøkelser for å undersøke utstrekning og utbredelsesmønstre knyttet til bunnfauna nødvendig for å kunne si noe om eventuelle endringer i fremtiden. Men for å nærme seg kunnskapsnivå som muliggjør rutinemessige undersøkelser, tilsvarende kunnskapsnivået på kontinentalsokkelen og langs norskekysten gjenstår det mye og ressurskrevende arbeid.

Fagutredning mineralressurser i Norskehavet

Del 1: Landskapstrekk og naturtyper



Bidragstere: Rolf Birger Pedersen, Alden Denny, Håvard Stubseid, Anders Bjerga, Thibaut Barreyre, Ilker Fer, Haflidi Haflidason, Ingunn Thorseth

Innhold

1. Innledning og avgrensning	3
2. Midthavsrygger	5
2.1 Aksedaler og spredningssentre	6
2.1.1 <i>Vulkanske landskapsformer</i>	6
2.1.2 <i>Tektoniske landskapsformer</i>	6
2.1.3 <i>Landskapstrekk ved ulike segmenter av aksedalen</i>	7
Nordlige Kolbeinseyryggen	
Mohnsryggen nær Jan Mayen	
Mohnsryggen	
Knipovichryggen	
Molloyryggen	
2.2 Fjellandskap ved midthavsryggene	17
3. Bruddsoner	20
3.1 Molloy- og Spitsbergen bruddsone	20
3.2 Jan Mayen-bruddsone	20
4. Slettelandskap og sedimentvifter	23
5. Landskapstrekk og naturtyper	25
5.1 Havbunnens dybde	25
5.2 Havbunnens alder og sammensetning	27
5.3 Havbunnens helning	29
6. Hydrotermiske felt	30
6.1 Hydrotermiske naturtyper	32
6.1.1 <i>Habitater under bunnen</i>	32
6.1.2 <i>Habitater ved hydrotermiske felt</i>	32
6.1.3 <i>Hydrotermiske skyer</i>	33
6.2 Hydrotermiske felt	37
Lokeslottet	
Fåvne	
Ægirs kilde	
Soria Moria, Trollveggen, Perle & Bruse	
Syv Søstre	
7. Oseanografi	42
8. Data og metodebeskrivelse	44
9. Referanser	42

1. Innledning og avgrensning

Norge har store dyphavsområder med et variert landskap og mange naturtyper (Figur 1). Arealet er kun delvis blitt kartlagt med tilfredsstillende detaljrikdom. Områdene er til nå i hovedsak blitt studert med sikte på forståelse av grunnleggende geologiske prosesser og ny kunnskap omkring samspillet mellom geosfæren, hydrosfæren og biosfæren. Denne forskningen har ført til funn av geotermiske områder med aktive hydrotermiske felt, og til påvisning av ulike typer marine mineralavsetninger (Pedersen et al. 2010a, 2010b). Ressursundersøkelser er nå påbegynt i regi av Olje- og energidepartementet, og planer for åpning av områdene for mineralletting har aktualisert behovet for systematisk miljøkartlegging av disse havområdene. Det følgende oppsummerer kunnskapen som denne fasen av forskning og utredning av norske dyphavsområder kan bygge på.

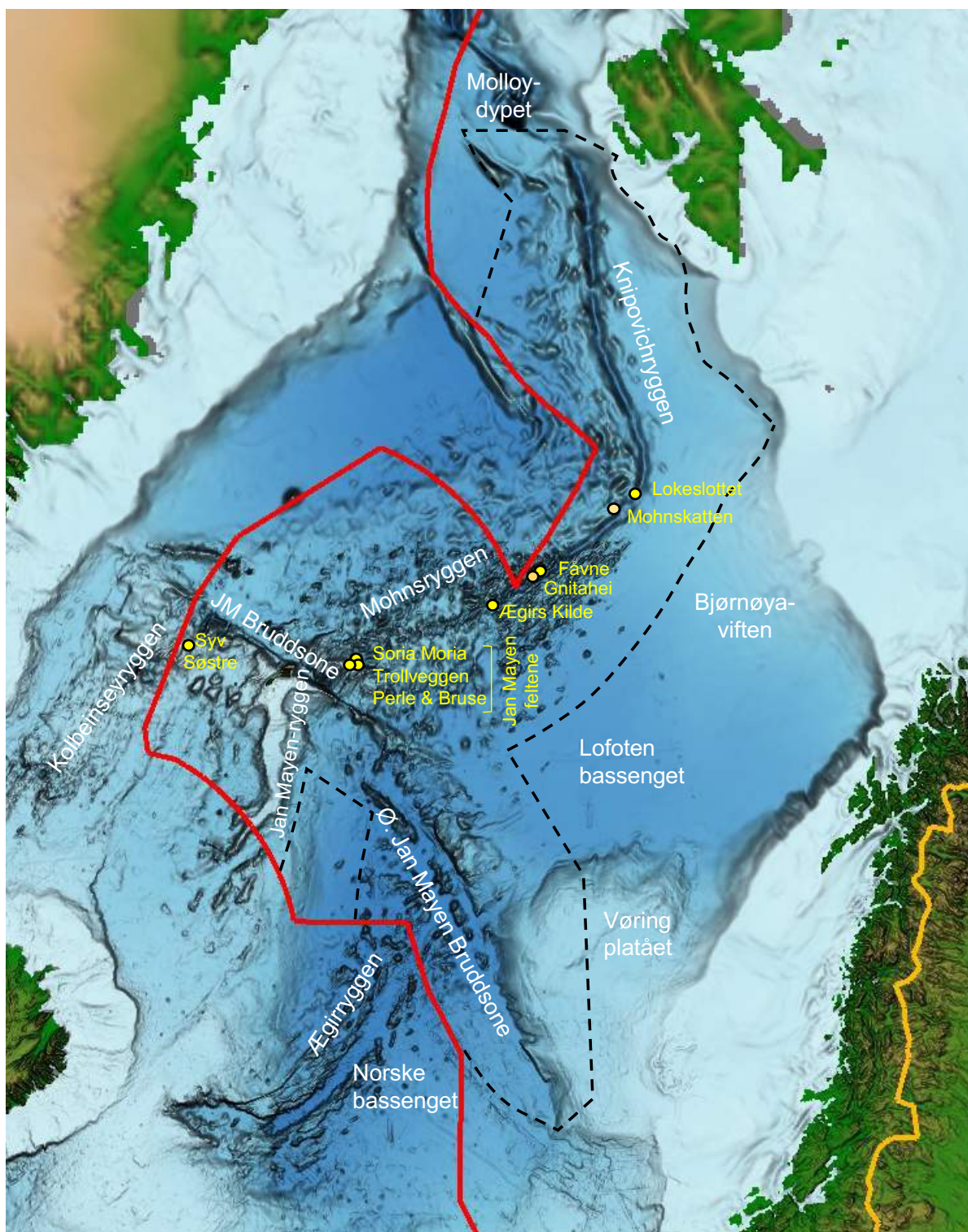
I Naturtyper i Norge (NIN) er marine landskap inndelt i slettelandskap, fjellandskap og dallandskap. Den maringeologiske forskningen som har ledet frem til dagens kunnskap har i stor grad hatt prosessforståelse som mål, og de landskapsbeskrivende termene inkluderer derfor ofte prosessbeskrivelse, f.eks. spredningsrygg, forkastningsvegg, aksedal, kjernekompleks osv. Vi bygger her videre på NIN-inndeling ved å inndele og beskrive landskapstypene, samtidig som vi viderefører den prosessorienterte terminologien for å understreke at deler av de dypmarine landskapene er svært dynamiske systemer som endres og påvirker habitatene og økosystemene.

Hvor starter dyphavet? Biologer, oseanografer, geologer gir ulike svar på dette spørsmålet. Biologer avgrensner dyphavet til vannmassene og områdene som er dypere enn 200 meter. Denne dybden representerer overgangen til den sonen der lite lys trenger ned, og der primærproduksjon knyttet til fotosyntese opphører. I oseanografien starter dyphavet der temperaturen ikke lenger avtar med økende dyp. I norske havområder opptrer denne termoklinen vanligvis omkring 1800 meter dyp. For geovitere starter dyphavet der kontinentalskråningen går over i dyphavssletter, og der geologien i undergrunnen endrer seg fra kontinentalskorpe til oseanskorpe. I norske havområder opptrer denne overgangen på 2000-3000 meters dyp.

Dyphavsområdene som beskrives og systematiseres i denne gjennomgangen avgrenses til områdene som ligger utenfor, i hovedsak vest for, kontinent-osean overgangen. Kontinentalskråningen langs norske fastlandsområder og ved Svalbard behandles således ikke. Dette er i tråd med at Mareano-programmet allerede har kartlagt og karakterisert deler av kontinentalskråningen.

Havbunnsområdene vest for kontinent-osean-overgangen har i hovedsak oseansk karakter - i geologisk betydning. Et unntak er områdene langs Jan Mayen-ryggen. Denne ryggen strekker seg omkring 350 km sørvestover fra Jan Mayen og inn i Islandsk sektor. Geofysiske data viser at berggrunnen er av kontinental type (e.g. Kodaira et al. 1998). Ryggen representerer et fragment av kontinentalskorpe som ble revet løs fra Grønland da Kolbeinseyryggen ble dannet for ca. 25 millioner år siden.

Bunntopografien i resten av Norske-Grønlandshavet styres av tre hovedelementer: 1) et system av spredningsrygger (midthavsrygger) som strekker seg gjennom hele havområdet fra Island til Framstredet; 2) bruddsoner som danner dallandskap og som går på tvers av spredningsryggene; 3) dyphavsletter og sedimentære vifter med utspring ved kanten av kontinentalsokkelen (Figur 1).



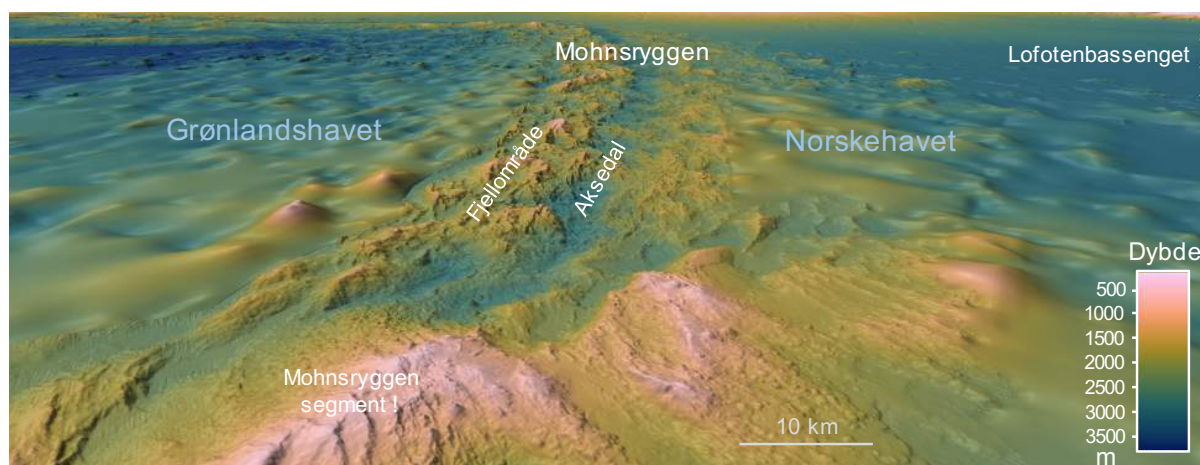
Figur 1. Kart over Norskehavet der yttergrensen for norske bunnområder er markert med rød linje. Sammen med yttergrensen, viser den svarte stiplede linjen utredningsområdet. Kartet viser beliggenheten til ryggstrukturer av ulik opprinnelse: Kolbeinsey-, Mohns- og Knipovichryggen er aktive spredningsrygger. Ægirryggen er en fossil spredningsrygg, mens Jan Mayen-ryggen er et mikrokontinent. Kartet viser også store dalfører som er dannet av sideveis forkastninger: Jan Mayen bruddsone er en aktiv transformforkastning, mens Øst Jan Mayen bruddsone er et fossilt forkastningssystem. Molloydypet, som representerer det største havdypet i disse områdene (5500 m), er knyttet til forkastning og spredningsaktivitet. Aktive geotermiske felt og en fossil sulfid avsetning er (Gnitahel) er vist på kartet (gul skrift).

2. Midthavsrygger

Landskapstrekkene i Norske-Grønlandshavet er i stor grad preget av midthavsrygger. Norge er en av få nasjoner som har deler av den 65.000 km lange globale midthavsryggen innenfor sin marine yttergrense. I Norske-Grønlandshavet strekker den norske delen av ryggsystemet seg 1300 km fra Eggvinbanken, som ligger 180 km vest for Jan Mayen ved 71°N, til inngangen av Framstredet ved 80° nord. Sammen med norske ryggsegmenter ved Bouvetøya (ca. 950 km) utgjør dette 3,5 % av den globale midthavsryggen. I Norske-Grønlandshavet er ryggsystemet fra sør til nord delt inn i tre hovedsegmenter: Kolbeinseyryggen, Mohnsryggen, og Knipovichryggen (de to sistnevnte er oppkalt etter meteorologen Henrik Mohn, og den russiske zoologen og oseanografen Nikolai Knipovich). Mot nord fortsetter så spredningssonen gjennom Framstredet og til Gakkelryggen, som strekker seg gjennom Nansen/Amundsen bassenget. Dette ryggsystemet definerer forlengelsen av Den midtatlantiske ryggen inn i Polhavet (Nordishavet). Vi har i en årrekke brukt de arktiske midthavsryggene som et fellesnavn for dette ryggsystemet (Arctic Mid-Ocean Ridges, AMOR).

Midthavsryggene er Jordens lengste topografiske trekk og det mest dynamiske geologiske miljøet. Over 80 % av vulkanismen på jorden foregår ved disse ryggene. Den vulkanske aktiviteten er knyttet til havbunnsbredning og dannelse av oseanskorpe ved magmatiske og tektoniske prosesser. Denne havbunnsbredningen medfører at litosfæren (øvre deler av mantelen og jordskorpen) er varm og utvidet langs plategrensen, og at området derfor danner en rygg som er flere hundre kilometer bred.

Havbunnsbredningen foregår ved hastigheter som varierer fra under en centimeter til over ti centimeter i året. Ved de arktiske spredningsryggene er spredningshastigheten under to centimeter i året, og ryggsystemet hører dermed til den ultra-sakte klassen av spredningsrygger. Markerte fjellandskap og store havdyp er typiske landskapstrekk for slike rygger. Ved Mohnsryggen, der fjellandskapet er best utviklet, rager dette omkring 2000 meter over sletteområdene (Figur 2).



Figur 2. Perspektivkart som viser Mohnsryggen sett nordøstover fra området ved Jan Mayen. I forgrunnen sees de grunnere områdene av ryggen nær Jan Mayen. Mohnsryggen er 600 km lang og ca. 250 km bred. Fjellområdene langs den sentrale delen av ryggen ligger 1-2 km over omkringliggende slettelandskap. Aksedalen danner et markert dalføre, som deler fjellområdene i en nordvestlig og en sørøstlig del. Kun de sentrale delene av ryggen er blitt kartlagt med flerstråle ekkolodd. Terrengmodellen for resten av området er i hovedsak basert på satellittmålinger.

Orienteringen av ryggen i forhold til spredningsretningen er et annet forhold som påvirker landskapstrekkene. Mens Kolbeinseyryggen og Gakkelryggen er orientert vinkelrett (ortogonalt) til spredningsretningen, har Mohnsryggen og Knipovichryggen en skjev orientering i forhold til spredningsretningen. Landskapstrekkene i Norske-Grønlandshavet styres også av en varmeanomali i mantelen under Island. Dette preger den sørlige delen av ryggsystemet der havområdene er grunnere og fjellandskapet ved ryggen er mindre utviklet.

Store deler av de arktiske midthavsryggene ligger nært kontinentskråninger. Her er det stor transport av sedimenter fra land- og sokkelområder til dyphavet. Landskapstrekk som utvikles langs midthavsryggen dekkes derfor også raskt av sedimenter. I disse polare områdene forsterkes dette av økt erosjon og stor sediment-transport i forbindelse med glasiasjoner. Store sedimentvifter som ble avsatt i forbindelse med nedising er et særegent polart landskapstrekk som preger områdene nær kontinentmarginen.

2.1 Aksedaler og spredningsentre

Midthavsryggene er delt i to av en langstrakt dal som følger sentralaksen av ryggen. Langs Mohns- og Knipovichryggen strekker aksedalen seg sammenhengende over 1150 km fra Jan Mayen til Framstredet. I sør er dalen avgrenset av Jan Mayen-bruddsonen, og i nord av Molloy bruddsonen. Dalbunnen er omkring 10-15 km bred og avgrenses av fjellsider som heller inn mot dalføret. Langs Mohns- og Knipovichryggen er høydeforskjellen mellom dalbunn og fjellområder i gjennomsnitt omkring 1000 meter. Lokalt kan høydeforskjellen være opp mot 3000 meter, der dalbunnen ligger dypt i den subfotiske sonen, mens de høyeste fjelltoppene rager opp i den mesofotiske sonen. Dette skaper store lokale gradienter i livsbetingelser.

Aksedalen definerer grensen mellom jordskorpeplatene. Langs de arktiske spredningsryggene definerer aksedalen grensen mellom Den eurasiske kontinentalplaten og Den nordamerikanske kontinentalplaten. Ved Mohnsryggen beveger disse platene seg fra hverandre med en gjennomsnittshastighet på omkring 16 mm i året (Eldholm et al. 1990). Dette fører til oppvelling og til delvis oppsmelting av mantelen under ryggen. Magmaet, som dannes 50-100 km under ryggen, stiger mot overflaten der det krystalliserer til en 4-10 km tykk havbunnskorpe som består av gabbro og basalt. Disse skorpedannende prosessene resulterer i hyppige vulkanutbrudd, og langs store deler av aksedalen er havbunnen dominert av unge vulkanske landskapsformer.

2.1.1 Vulkanske landskapsformer

Vulkanske landskapsformer varierer i størrelse og form. Følgende typer er vanlige: 1) aksiale vulkanrygger, 2) flattoppedede vulkaner, 3) lavasjøer, 4) vulkansk hauglandskap, 5) lavastrømlandskap, 6) vulkankjegler med og uten krater, og 7) sentralvulkaner med og uten krater. De vulkanske landskapstrekkene er bygget opp både ved gjentatte utbrudd og ved enkeltstående utbrudd. Landskapsformene er for det meste dannet av ulike typer lavastrømmer som gir opphav til vulkanlandskap med forskjellig rugositet (ugjevnheter). Vi skiller mellom putestrømmer, lobestrømmer og flakstrømmer. Putestrømmer har størst rugositet og gir opphav til vulkansk hauglandskap, mens lobestrømmer og flakstrømmer har lavest rugositet og skaper lavastrømlandskap. Vulkansk ur, glass-sand, og aske er vanlige vulkanske produkter. Dannelsen av de vulkanske produktene og landskapsformene styres av et samspill mellom faktorer som havdyp, erupsjonshastighet, magmaets sammensetning, og formen til utstrømningskanalen.

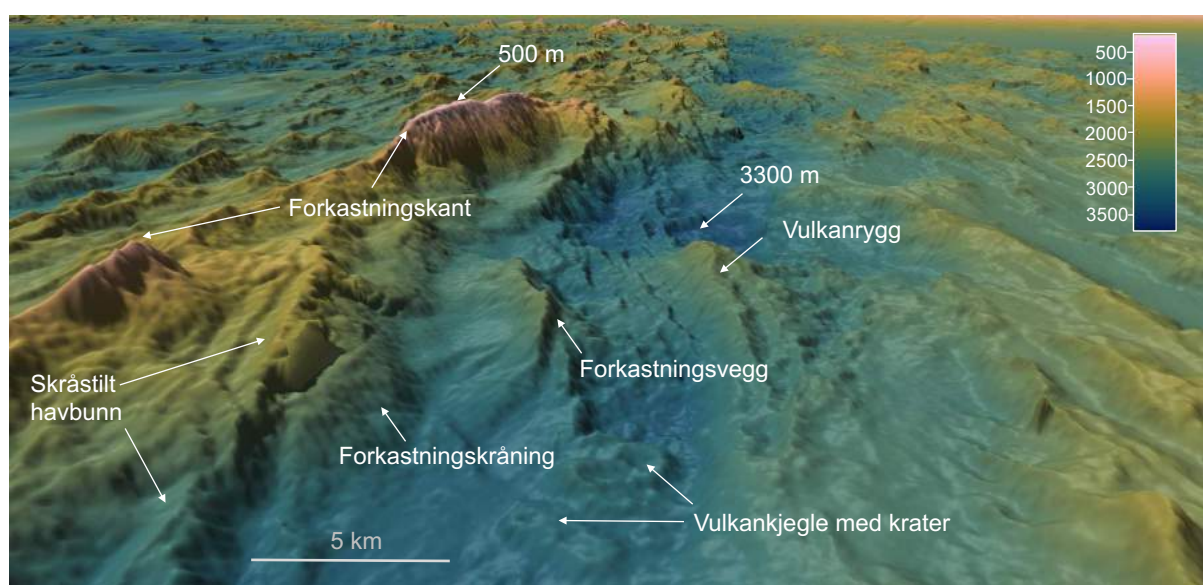
2.1.2 Tektoniske landskapsformer

Tektoniske landskapsformer oppstår også langs aksedalen som et resultat av havbunns-spredningen. Fjellsidene som avgrenser aksedalen dannes ved forkastningsbevegelser. Disse

tektoniske prosessene fører til at den vulkanske havbunnen løftes opp og transporteres vekk fra spredningsaksen. Aksedelen defineres av normalforkastinger som danner bratte forkastningsvegger, og av lavvinklede forkastninger som danner forkastningsskråninger. Spranget på forkastningene varierer fra noen meter til flere kilometer. Fjellandskapet som omgir Mohnsryggen er blitt løftet opp omkring tusen meter ved forkastingssonene som definerer aksedalen (Figur 3).

Ved Mohns- og Knipovichryggen - der spredningen er skråstilt i forhold til spredningsaksen - dannes det også mindre sidelengsforkastninger. Disse deler ryggen opp i kortere ryggsegmenter, og skaper mer komplekse landskapsformer enn det som utvikles ved rygger hvor spredningen er ortogonal.

De vanligste tektoniske landskapstrekkene som opptrer ved aksedalen omfatter: revner, forkastningsvegger, forkastningsskråninger, forkastningskanter, og skråstilt havbunn (Figur 3).

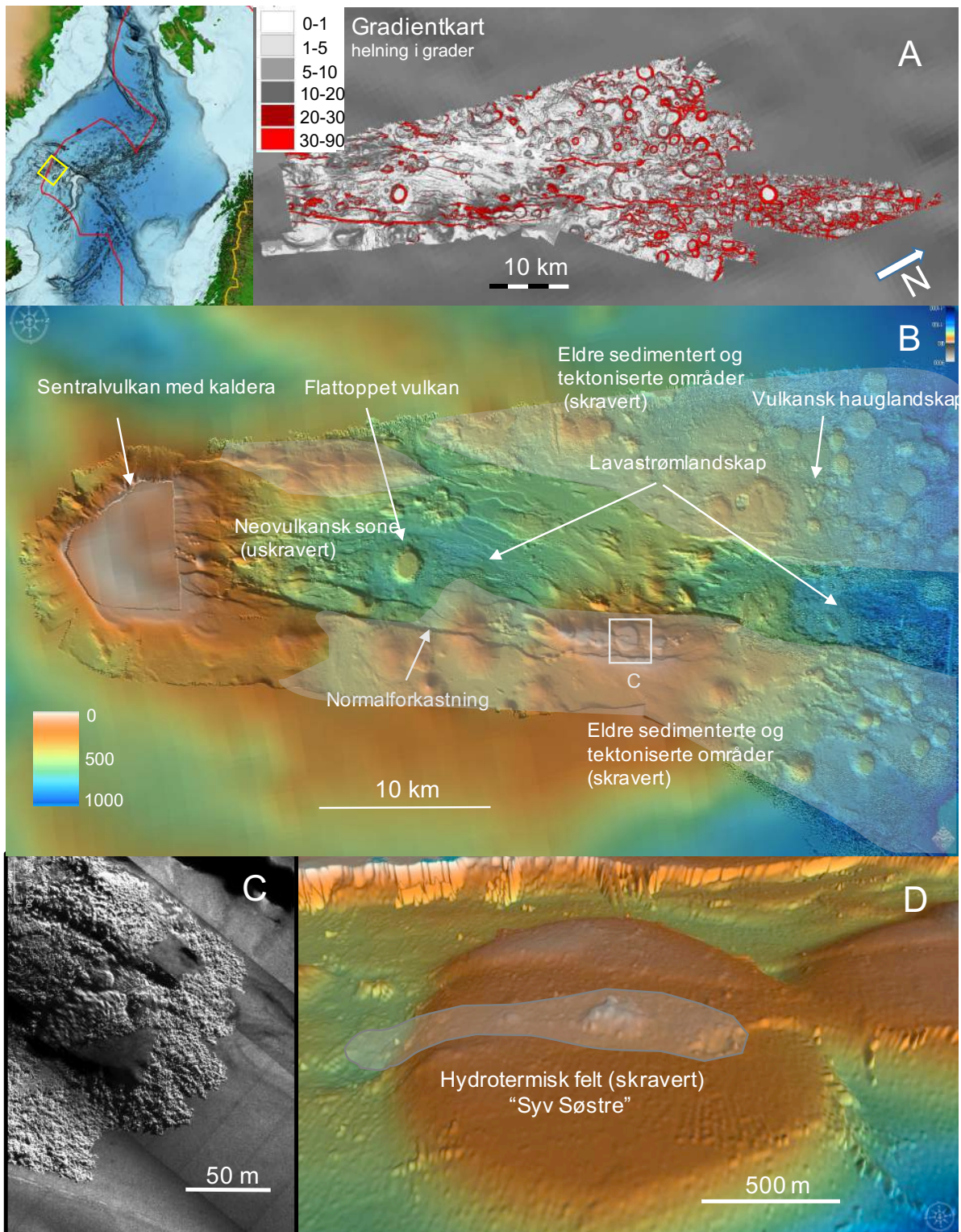


Figur 3. Perspektivkart over sentrale deler av Mohnsryggen der noen av de vulkanske og tektoniske landskapsformene er markert. Kartet illustrerer de store dybdeforskjellene mellom fjellområdene og aksedalen. Vertikalskalaen i terrengmodellen er to ganger forstørret i forhold til horisontalskalaen.

2.1.3 Landskapstrekk ved ulike segmenter av aksedalen

Landskapstrekkene ved de arktiske spredningsryggene varierer i stor grad mellom ulike ryggsegmenter. Noen av disse regionale variasjonene er forårsaket av mantelanomalier ved Island og Jan Mayen (Breivik et al. 2008; Elkins et al. 2016) som resulterer i høyere magmatisk aktivitet og tykkere oseanskorpe i disse områdene. Andre variasjoner er knyttet til endringer i orienteringen av ryggene i forhold til spredningsretningen. I de følgende avsnittene beskrives landskapstrekk ved ryggsegmentene som ligger innenfor norske områder.

Nordlige Kolbeinseyryggen: Fra Island strekker Kolbeinseyryggen seg nordover til den avsluttes ved Jan Mayen bruddsonen. De siste 100 km av denne 700 km lange ryggen er innenfor Norges marine yttergrense (Figur 4). I nord starter spredningssonen på omkring 3000 m dyp og den blir gradvis grunnere inntil den går inn i Islandsk sektor ved Eggvinbanken. Der er dypet mindre enn 200 m, og det grunneste området består av en stor sentralvulkan med en ringformet kaldera som er omkring to kilometer i diameter. Deler av kalderakanten ligger like under havoverflaten. Havbunnskorpen er her uvanlig tykk (omkring 13 km, Tan et al. 2017).



Figur 4. Gradientkart (A) og bunnkart (B) over området der Kolbeinseyryggen krysser Eggvinbanken vest for Jan Mayen. Gradientkartet fremhever runde og ovale strukturer og viser utbredelsen av sirkulære vulkaner i dette området. Områder med lavt relieff og liten rugositet er dominert av lavastrømlandskap. C) Sonarbilde av kontakten mellom en ung lavastrøm og et eldre vulkansk landskap som er dekket av sedimenter. D) Perspektivkart av en flattoppet vulkan som er omkring 100 m høy og 1,5 km i diameter. I bakgrunnen sees normalforkastningen som avgrenser spredningsaksen mot øst. Mindre forkastninger kutter også gjennom vulkanen. Langs disse er det hydrotermisk aktivitet. Haugstrukturer, som sees i midten av vulkanen, består av hydrotermiske mineralavsetninger knyttet til Syv Søstre feltet.

Spredningen er ortogonal og aksedalen er svakt utviklet og avgrenset av normalforkastninger med sprang på opp til 100 m. Den neovulkanske sonen (de yngste vulkanske områdene) er dominert av lavafelt av store avrundete lavastrømmer som har lav rugositet (Figur 4B). Mange steder strømmer disse lavaene ut over eldre lavaformasjoner som er helt eller delvis dekket av sedimenter (Figur 4C). Dette illustrerer vekslingen mellom vulkanske hardbunnshabitater og sedimentær bløtbunn ved den neovulkanske sonen. Vulkaner med flat topp opptrer i hele området og trer tydelig frem på gradientkart over området (Figur 4A). I gjennomsnitt har disse en diameter på 1 km, og gjennomsnittshøyden er 100 m. Diameter/høyde forholdet er omkring 10, som er vanlig for slike vulkaner. Ved en av disse flattoppedede vulkanene har vi påvist et hydrotermisk felt (Syv Søstre). Dette feltet og store omkringliggende områder av ryggen er innenfor den fotiske sonen, og representerer derfor et særegent rygg habitat.

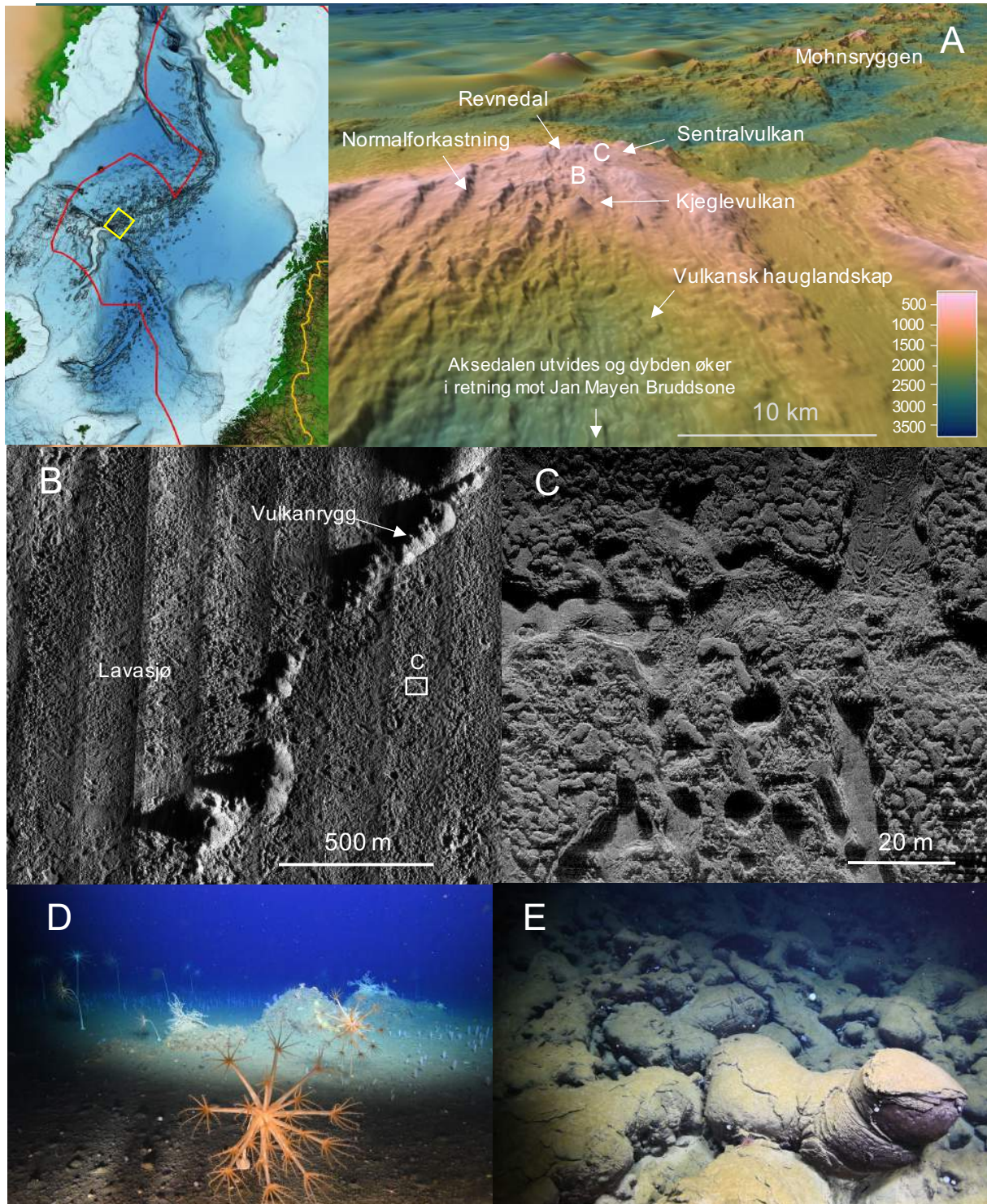
Mohnsryggen nær Jan Mayen: Ved det sørvestligste segmentet av Mohnsryggen varierer dybden langs spredningsaksen fra 600 til 4000 m (Figur 5A). Det største dypet er utviklet i området der spredningsaksen møter Jan Mayen bruddsone (se Bruddsoner og Figur 12). Den sentrale delen av dette 70 km lange segmentet definerer det grunneste området. I likhet med Kolbeinseyryggen er havbunnskorpen her unormal tykk (Kandilarov et al., 20012).

En stor vulkansk struktur som har karakter av en sentralvulkan, opptrer der ryggen er på det grunneste (Figur 5A). De vulkanske avsetningene består her av pyroklastiske breksjer og askeavsetninger. Dette viser at landskapstrekkene i disse grunne områdene er formet av store eksplosive vulkanutbrudd. En liten revnedal definerer spredningsaksen, og denne deler sentralvulkanen i to halvdelar (Figur 5A). Revnedalen er avgrenset av normalforkastninger som danner opp til 100 m høye klipper. Disse forkastningsveggene er et av flere hardbunnshabitater i området. Forkastningssonene har høy permeabilitet og hydrotermiske fluider blir kanalisert opp langs disse sonene og gir opphav til hydrotermiske felt i dette området.

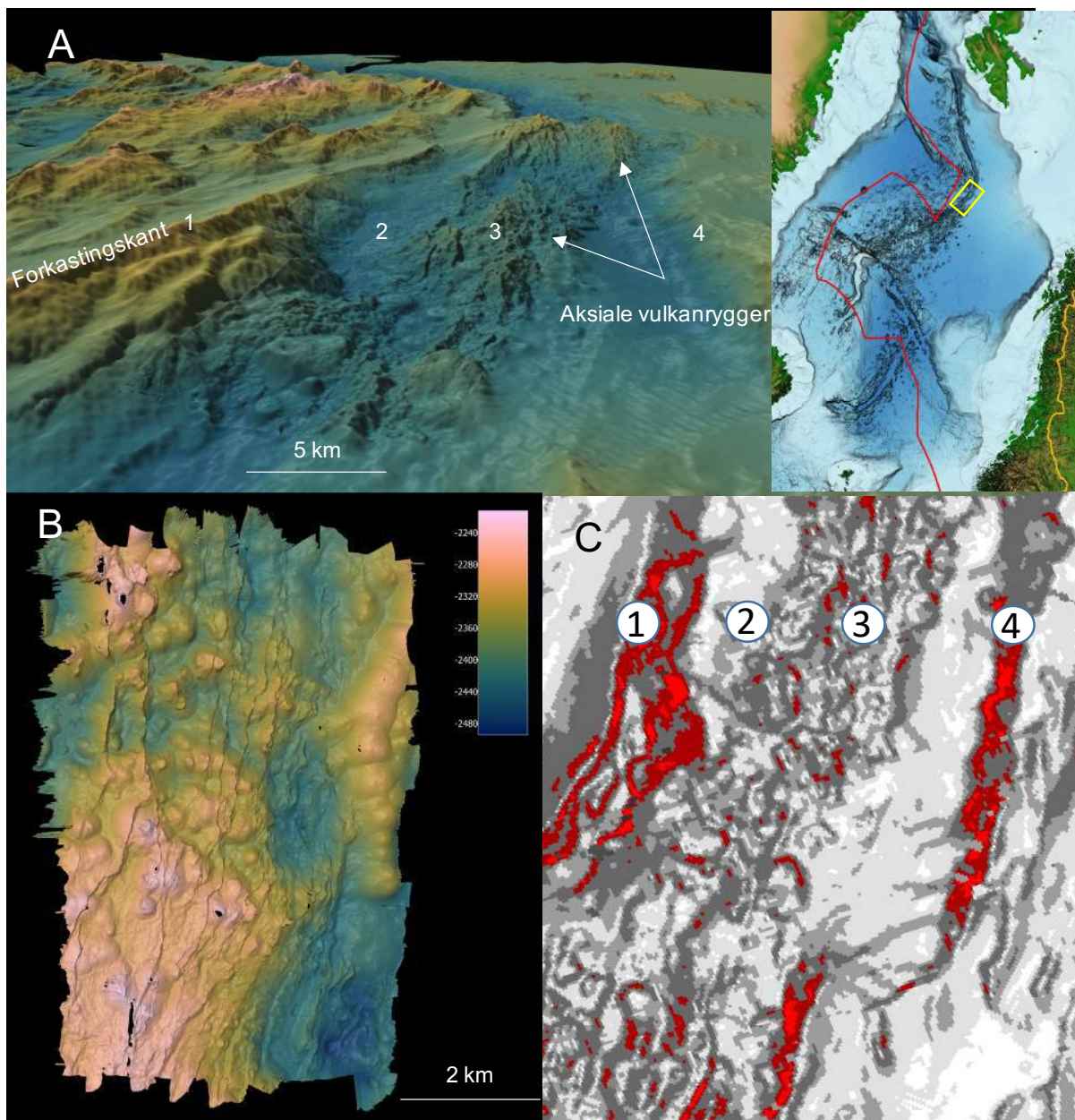
Deler av aksedalen og spredningssonen mot sørvest består av unge vulkanske formasjoner som dekker et område på omkring 10 km². Langstrakte vulkanske rygger av fragmentert lava (vulkansk ur) er et av flere topografiske elementer i dette nydannede vulkanske landskapet. Disse ryggene er blitt dannet i forbindelse med kilometerlange sprekkeerupsjoner (Figur 5B). Her er det også store flate vulkanske områder ("lavasjøer") som består av store lobestrømmer og flakstrømmer (Figur 5B & C). Deler av dette området består av vulkansk hauglandskap som er bygget opp av putelava. Askekjegler finnes også i området. Mot sør, der spredningsaksen møter Jan Mayen-bruddsonen, blir aksedalen dypere og mer markert og når til slutt et dyp på omkring 4000 m.

Mohnsryggen: Aksedalen ved Mohnsryggen preges av store langstrakte vulkanrygger (Figur 6A). Disse ryggene har en lengde som varierer fra 15-30 km, og en høyde i forhold til omkringliggende havbunn som varierer fra 500 til 1000 m. Avstanden mellom disse ryggene er i gjennomsnitt omkring 40 km. Tolv slike ryggstrukturer er blitt identifisert, og flere av disse er blitt kartlagt i høy oppløsning ved hjelp av autonome undervannsfarkoster (AUV). De er også blitt studert og karakterisert ved bruk av fjernstyrte undervannsfarkoster (ROV).

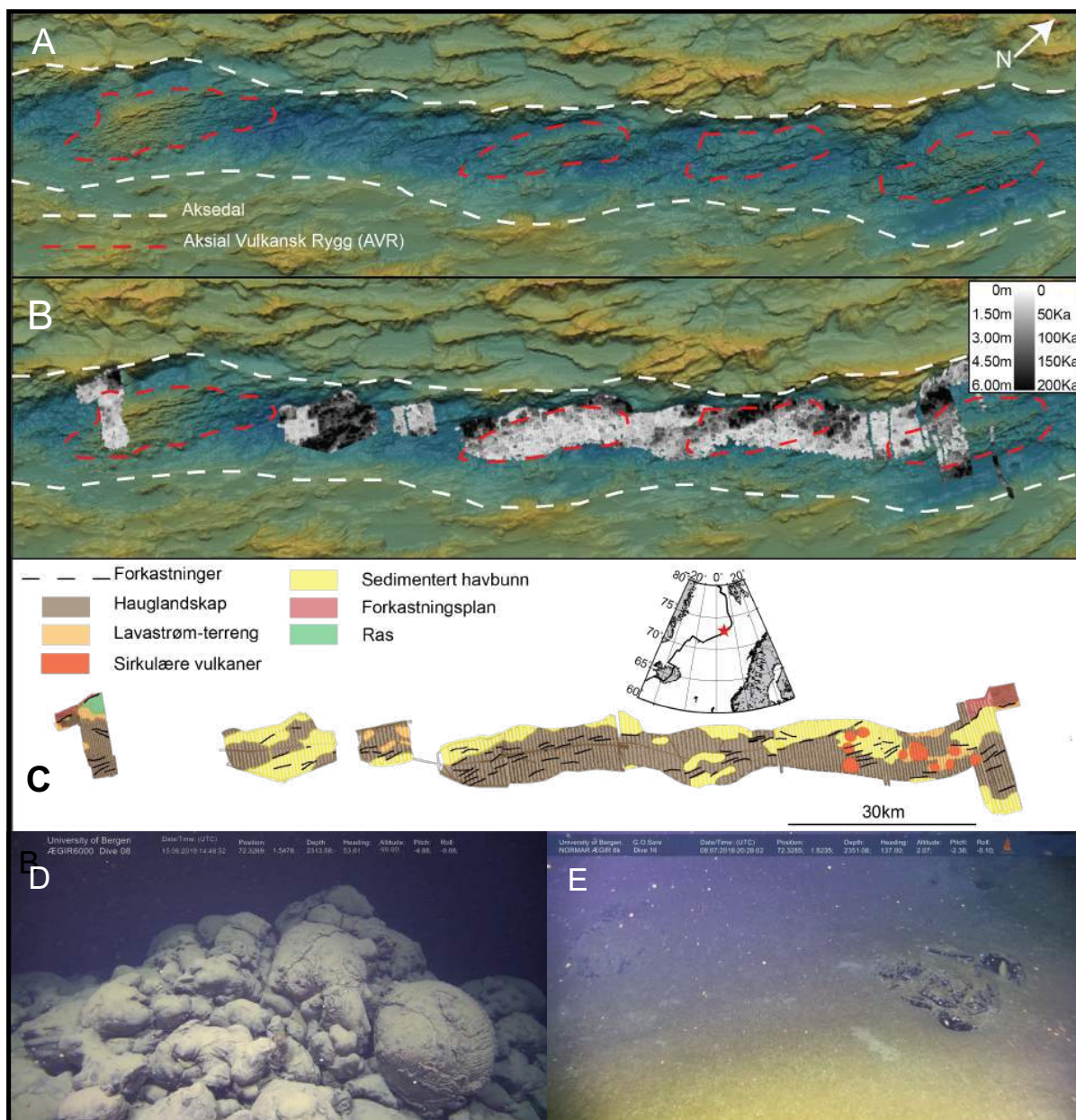
Detalj kartlegging viser at disse vulkanske strukturene er dannet av hundredevis av mindre utbrudd, og at et gjennomsnittlig utbrudd dekker et relativt lite areal (17.000 m²) (Stubseid et al. 2021). Ryggene består i hovedsak av hauglandskap bestående av putelava. Flattoppedede vulkaner og vulkankjegler er vanlige, og oppdemmede lavasjøer er også blitt påvist (Figur 6B).



Figur 5. **A)** Perspektivkart over det sørvestlige segmentet av Mohnsryggen der spredningsaksen passerer et grunnere område. Perspektivkartet viser området sett mot nordøst. Den grunneste delen består av eldre pyroklastiske avsetninger og et ungt vulkansk område som strekker seg 10 km sørover fra riftsonen. Dette området består av lavasjøer, vulkanrygger, vulkanske hauglandskap og kjeglevulkaner. **B)** SAS-bilde av en "lavasjø" som omgir en eldre vulkanrygg. **C)** SAS-bilde av lavasjøen som viser hvordan den er byget opp av lobe- og flakstrømmer. **D)** Bilde av en gruppe sjøffær som har funnet et habitat i de sedimenterte områdene ved sentralvulkanen. I bakgrunnen sees små hauger av fossile mineralavsetninger. **E)** Putelava med et tynt "støvlag" av sedimenter danner det vulkanske hauglandskapet i området.



Figur 6. *A) Perspektivkart over den nordøstlige delen av Mohnsryggen som viser to aksiale vulkanrygger, som hver har en lengde på omkring 30 km. B) Detaljkart av et område i den sentrale delen av en vulkanrygg. Kartet viser hvordan disse store vulkanske strukturene er sammensatt av tallrike mindre vulkanske strukturer. Området består i hovedsak av vulkansk hauglandskap, men også av vulkanske kjebler, flattoppede vulkaner, og en lavasjø. Dateringer viser at området er blitt bygget av gjentatte erupsjoner i løpet av 30.000 år. C) Gradientkart over deler av området som er vist i perspektivkartet (A). 1,2,3,4 viser posisjonene av fire områder på de to kartene. Gradienter over 20° er i hovedsak utviklet langs forkastningene som avgrensner aksedalen mot nordvest og sørøst. Sirkulære vulkaner og mindre forkastninger i aksedalen har også gradienter over 20° . I tillegg til unge vulkanske områder representerer disse steile strukturene også hardbunnshabitater.*



Figur 7. **A)** Kart over den nordøstre delen av Mohnsryggen. **B)** Samme kart som i A, men her med skravur som viser sedimenttykkelser over deler av aksedalen. De mørkeste feltene viser områder der sedimenttykkelsen er over 5 meter, og der bunnen derfor stort sett består av bløtbunn. De to lyseste skravurene viser områder der sedimenttykkelsen er under 1,5 meter, og der havbunnen enten består av nydannet lava, eller eldre lave som i varierende grad er blitt dekket av sedimenter. **C)** Kart der havbunnen er inndelt i områder med ulike vulkanske landskapstyper som danner hardbunnshabitater (brun og oransje skravur), og som viser områder med bløtbunn (gul skravur). Underst er bilder av vulkansk hardbunn bestående av putelava med et tynt lag av sedimenter (**D**), og av bløtbunn med fremspring av vulkansk hardbunn (**E**).

Detaljkartlegging og undersøkelser av områdenes aldersutvikling viser at omkring 50 % av havbunnen er blitt fornyet ved vulkansk aktivitet i løpet av de siste 30-50 tusen årene, og at det årlig, i gjennomsnitt, dannes omkring 0,15 km² med vulkansk havbunn (Stubseid et al. 2021). Langs aksedalen er derfor kolonisering av ny vulkansk havbunn en kontinuerlig prosess. Ved de aksiale ryggene ser en tydelig hvordan unge vulkanstrømmer er mindre kolonisert enn eldre strømmer.

Et samspill mellom plutselige vulkanutbrudd og en jevn sedimentasjon av hemipelagiske sedimenter gir opphav til et habitat bestående av et lappeteppe av vulkansk hardbunn og sedimentær bløtbunn. Ved Mohnsryggen er sedimentasjonshastigheten omkring 3 cm/tusen år (Flesland et al. 2021, Stubseid et al. 2021). For en midthavsrygg er dette en uvanlig rask sedimentasjonsrate. Det vulkanske landskapet begraves derfor relativt hurtig av sedimenter. Til sammenligning er sedimentasjonshastigheten ved den ekvatoriale delen av Den midt-atlantiske ryggen 30 ganger lavere (Agius et al. 2018).

Detalj kartlegging av omkring 20 % av arealet i aksedalen viser at omkring 55 % er vulkansk hardbunn med varierende sedimentdekke. Resten er bløtbunn bestående av flere meter tykke lag av hemipelagiske sedimenter som er avsatt på eldre vulkanske formasjoner (Figur 7).

Vulkanske landskapsformer med lav rugositet blir raskere dekket av sedimenter enn landskap med høy rugositet. Områder bestående av flakstrømmer og lobestrømmer tildekkes derfor raskere enn vulkanske hauglandskap. Flattoppede vulkaner med steile sider står opp som "øyer" av hardbunn i store bløtbunnsområder. I aksedalen er det tallrike forkastningssoner som danner bratte fjellvegger der sedimenter ikke akkumuleres. Også disse forblir hardbunnhabitater i vulkanske områder som over tid omdannes til bløtbunn.

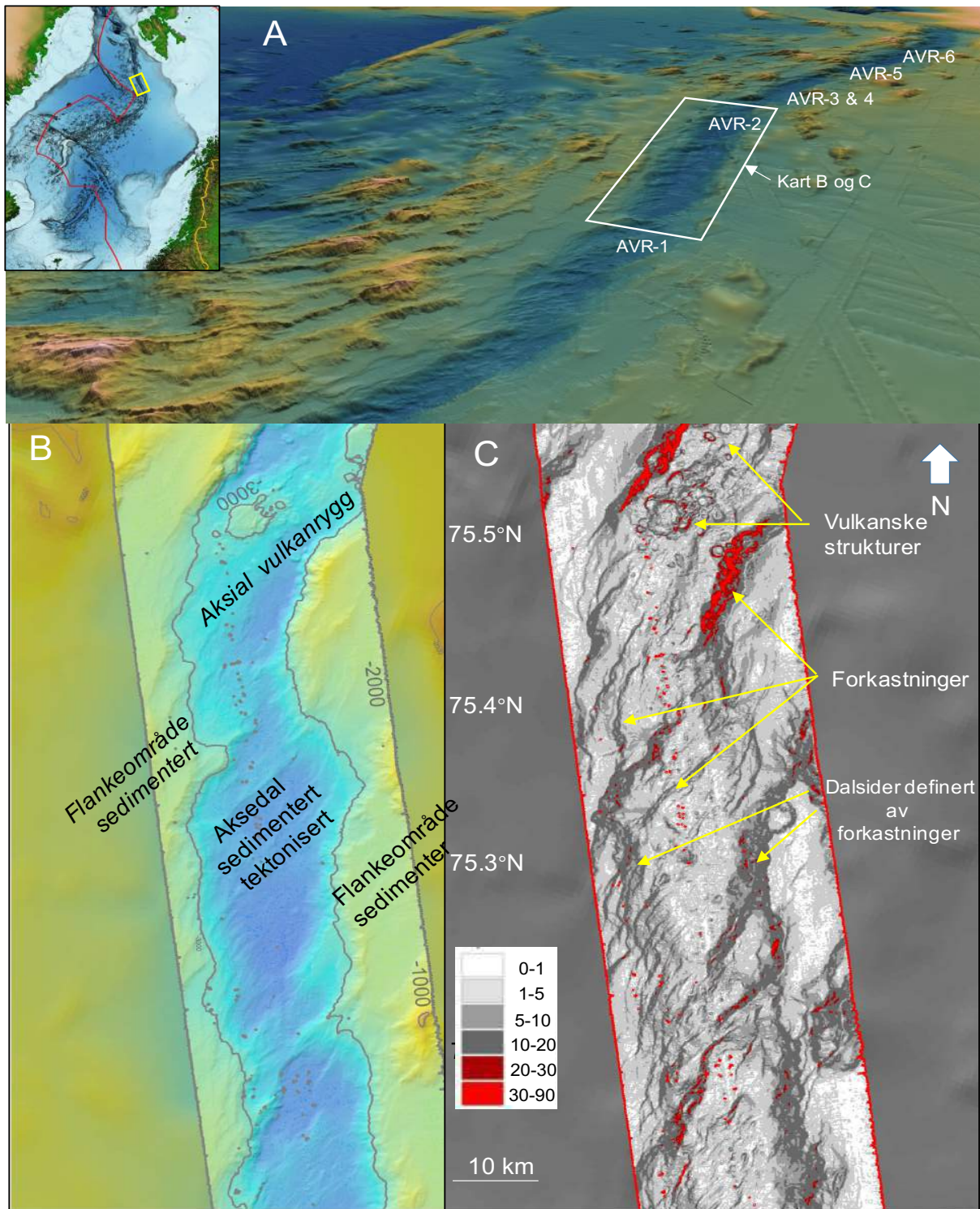
Knipovichryggen: Forholdet mellom vulkanisme og sedimentasjon styrer i stor grad habitatsfordelingen i aksedalen. Denne balansen varierer lokalt og regionalt mellom ulike ryggsegmenter. Ved den sentrale delen av Knipovichryggen er sedimentasjonshastigheten målt til 7 cm/tusen år ved en aksial vulkanrygg (Stubseid et al. 2021). Dette er over to ganger hastigheten ved tilsvarende vulkaner langs Mohnsryggen (Stubseid et al. 2021). Den raske sedimentasjonen skyldes trolig at aksedalen ligger nær inntil kontinentalskråningen.

Ved Knipovichryggen er det generelt mindre vulkansk aktivitet enn ved Mohnsryggen. Dette er mest trolig forårsaket av at spredningen ved Knipovichryggen er svært skråstilt, og at den effektive spredningshastigheten derfor er betydelige lavere enn ved Mohnsryggen (e.g. Hellevang og Pedersen, 2005). Den uvanlig lave vulkanske aktiviteten er særlig fremtredende langs den sørlige halvdel av ryggen (fra 74.5°N til 75.5°N) (Figur 8). Her finnes det et 100 km langt segment og flere kortere partier uten synlige vulkanske strukturer. Bunnen syntes her i hovedsak å være dekket av sedimenter. Forkastninger krysser dalbunnen på skrå og danner relieff og skråninger der det trolig er hardbunnhabitater. Seismiske data viser at aksedalen mange steder er fylt med flere hundre meter tykke sedimentpakker (Bruvoll et al. 2009; Kandilarov et al. 2010).

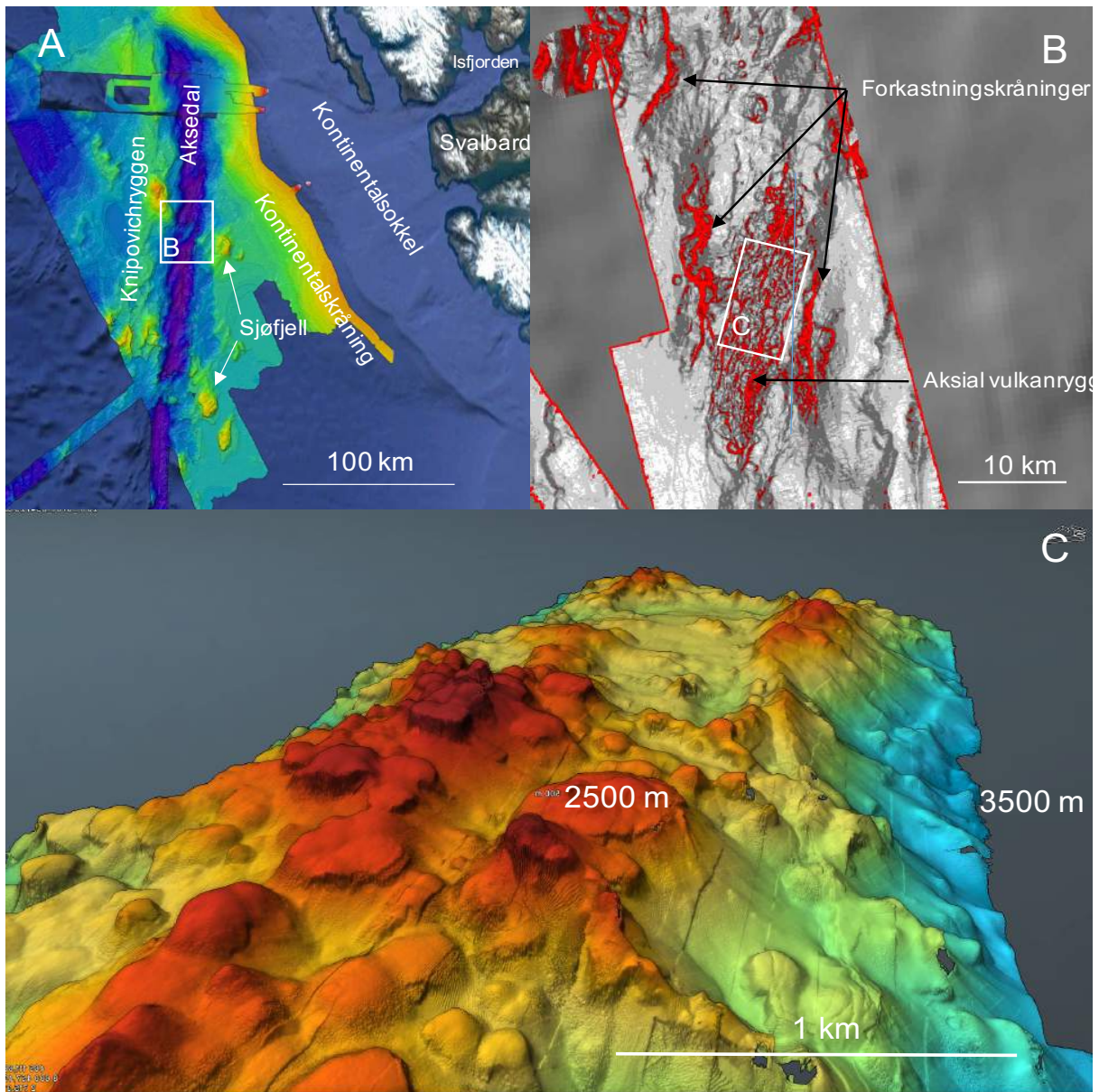
Ved det sørlige delen av ryggen er det tegn til vulkansk ryggdannelse i to områder (Figur 8). Nord for 75.5°N viser bunntopografien fire vulkanske områder med ryggdannelse. Ved to av disse er ryggene fullt utviklet (Figur 9). En av disse ryggene (AVR-5) er blitt kartlagt i detalj med AUV (Fig. 9C) og undersøkt med ROV. Denne ryggen har både hard- og bløtbunnhabitater.

Aksiale rygger ved 74.4 °N og ved 76.5 °N er også blitt undersøkt med ROV. Ryggen ved 76.5°N ble besøkt allerede i 1998 i forbindelse med et Norsk-Russisk-Amerikansk ekspedisjon, der de bemannede MIR-ubåtene ble benyttet. Dette vulkanske området består delvis av nydannede vulkanske områder der kolonisering er i en tidlig fase (Thorseth et al. 2001).

Langs den nordlige segmentet av Knipovichryggen er det stedvis vulkanske hauglandskap samt sirkulære vulkanske strukturer i områdene mellom de aksiale vulkanske ryggene (Hellevang og Pedersen, 2005).

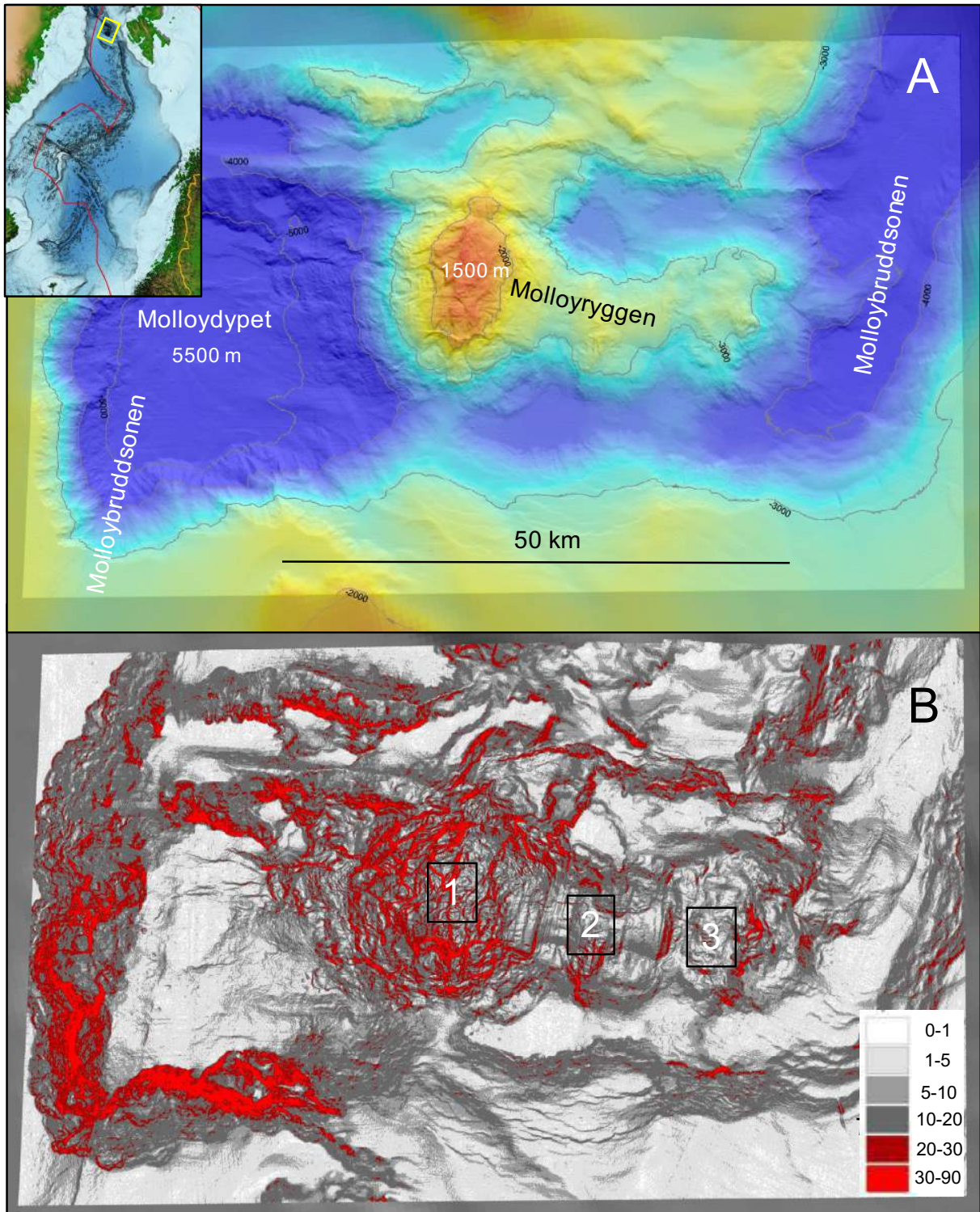


Figur 8. **A)** Perspektivkart som illustrerer hvordan fjellandskapet svekkes ved Knipovichryggen. Områder med aksiale vulkanske rygger er merket med AVR-1 til -6. **B)** og **C)** viser bunnkart og gradientkart av det sørligste segmentet av Knipovichryggen. Aksedalen har for det meste dybder mellom 3000-3500 meter, og flankeområdene er i gjennomsnitt omkring tusen meter grunnere. Dalen er avgrenset mot vest og øst av forkastningssystemer som følger orienteringen til aksedalen, og som er koplet til forkastninger som krysser aksedalen. Gradientene langs aksedalen er for det meste under 20° og de består trolig av en veksling av bløtbunn og hardbunnshabitater. Det meste av aksedalen syntes å være sedimentert og deformert av forkastningssystemer (tektonisert). Vulkanske strukturer og vulkansk ryggdannelse er tydelig i to områder, der det nordligste sees på dette kartutsnittet. I områder med vulkansk ryggdannelse er forkastningssystemene mer markert og danner bratte skråninger.



Figur 9. **A)** Oversiktskart over de geologiske og topografiske trekkene ved det nordlige segmentet av Knipovichryggen. Kartet viser hvordan spredningsryggen her ligger helt inn mot kontinentalskråningen. I likhet med det sørlige segmentet (Fig. 8) er flankeområdene dekket av sedimenter og aksedalen er til dels også sedimentert. To rekker av sjøfjell er orientert parallelt med spredningsretningen. Disse er knyttet til to markerte aksiale vulkanske rygger. **B)** viser gradienter ved den nordligste aksiale ryggen, og **C)** viser perspektivkart for sentrale deler av denne vulkanryggen. Gradient- og perspektivkartet illustrer det sammensatte vulkanske landskapet ved de aksiale vulkanryggene. Lokale hardbunns habitater er knyttet til bratte skråninger og nydannede vulkanske strukturer.

Molloyryggen: Ved inngangen til Framstredet forflytter spredningsaksen seg 130 km nordvestover fra Knipovichryggen til Molloyryggen (Figur 10). Mot øst avgrenses dette området av kontinentalskråningen ved Svalbard. Et stykke vest for området ligger den grønlandske kontinentalskråningen. Molloyryggen definerer et kort ryggsegment som består av et sammenhengende fjellmassiv med en lengde på omkring 50 km. Toppen av fjellryggen rager 4000 m over Molloydypet som avgrenser ryggen mot sørvest (Figur 10A). Det er ingen tydelige vulkanske landskapstrekk langs denne ryggen - ei heller i de omkringliggende



Figur 10. Bunnkart (A) og gradientkart (B) over Molloy-området. Bunnkartet viser relasjoner mellom Molloybruddsonen, Molloyryggen og Spitsbergen bruddsone. Et punktdyp på 5500 meter (Molloydypet) er utviklet der bruddsonen møter Molloyryggen. Gradientkartet viser at ryggen har tre strukturelt forskjellige domener (merket 1,2,3). Stripemønsteret i det sentrale delen (2) er karakteristisk for strukturer som dannes på forkastingsflater dannet ved store lavvinklede forkastninger (kjernekomplekser). Gradientkartet synliggjør også de høye og bratte fjellskråningene som omgir Molloydypet.

områdene. Landskapstrekkene tyder derimot på at havbunnsspredningen foregår ved tektoniske prosesser.

Gradientmålinger over ryggen fremhever strukturelle landskapstrekk som reflekterer ryggens dannelse (Figur 10B). Tre områder kan skilles ut basert på slike trekk: 1) Den sørvestlige delen av ryggen er dominert av avrundete og til dels sirkulære fjellformasjoner; 2) sentraldelen har lineære topografiske trekk; og 3) det nordvestlig område viser mer tabulære landskapsformer. Stripemønsteret i sentraldelen har samme orienteringen som spredningsretningen og tyder på at fjellmassivet er blitt dannet ved storskala forkastningsbevegelser, og at ryggen representerer et kjernekompleks, der dypere deler av skorpen og mantelen er blitt eksponert. Kjernekomplekser dannes i ekstensjonssoner både på land og ved spredningsrygger (e.g. Smith et al. 2006). Landskapstrekkene i området tyder på at Molloyområdet er i en overgangsfase mellom kontinentoppsprekking og havbunnsspredning, og landskapstrekkene reflekterer derfor en blanding av kontinental og oseansk geologi.

Kunnskapen om berggrunnen i området er begrenset. Vår foreløpige tolkning er at den sørlige og midtre delen av ryggen representerer mantel og dypere skorpebergarter, og at den nordlige delen er en overliggende tektonisk blokk av sedimentære bergarter. Molloyryggen kan inneholde unike habitater knyttet til hydrotermisk aktivitet som involverer serpentinisering av mantelbergarter og hydrogendannelse.

2.2 Fjellandskap ved midthavsryggene

Fjellandskap utvikles i varierende grad langs midthavsryggene. Spredningshastighet og magmatisk aktivitet påvirker de mekaniske egenskapene til litosfæren som igjen kontrollerer den tektoniske utviklingen og landskapsdannelsen. Flankeområdene ved hurtigspredende midthavsrygger har et undulerende ås-landskap. Det gjennomsnittlige havdypet øker vekk fra spredningsaksen fordi litosfæren gradvis blir eldre, blir mer avkjølt og får høyere tetthet. Som et resultat av disse forholdene danner den hurtigspredende Stillehavsryggen en flere hundre kilometer bred og flere tusen meter høye ryggstruktur. Den midt-atlantiske ryggen har en lignende dybdeprofil, men ved denne, og ved andre saktespredende rygger, er landskapet i tillegg revet opp av store forkastninger som skaper et fjellandskap.

Langs det saktespredende arktiske ryggsystemet har **Kolbeinseyryggen** en topografi som har likhetstrekk med mer hurtigspredende rygger. Her er landskapet dominert av langstrakte rygger med lavt relieff. Dette er topografiske trekk som trolig reflekterer at skorpen er uvanlig tykk langs dette ryggsegmentet.

Dette endrer seg ved **Mohnsryggen**. Nord for det sørvestligste ortogonale spredingssegmentet trer aksedalen tydelig frem og flankeområdene får et markert fjellpreg. Dette fjellandskapet dannes ved forkastninger langsmed aksedalen. Et stykke vekk fra aksedalen blir forkastingene inaktive og den tektoniske landskapsutviklingen stopper opp. På grunn av havbunnsspredningen langs aksedalen forflyttes fjellmassivene sakte vekk fra spredningsaksen, samtidig som terrenget synker ned og havdybden øker. I Norske-Grønlandshavet er sedimentasjonshastigheten høy. Fjellandskapet som dannes ved vulkanske og tektoniske prosesser ved aksedalen dekkes gradvis til og begravnes til slutt av sedimentære avsetninger. Et variert dyphavslandskap med ulike habitater dannes på denne måten ved et samspill mellom vulkanske, tektoniske og sedimentære prosesser.

Fjellområdene ved Mohnsryggen som ligger nordvest for aksedalen dekker et areal på 160.000 km². De høyeste fjelltoppene rager her 3000 m over sletteområdene som omgir ryggen. Flere av fjelltoppene er grunnere enn 1000 meter og bunnhabitatene er her innenfor den mesofotiske sonen. Den gjennomsnittlige dybden av fjellandskapet er omkring 2000 m i

områdene nær aksedalen. Mot nordvest øker den gjennomsnittlige dybden og når 3400 m der fjellandskapet går over i et slettelandskap.

Landskapstrekkene i fjellområdene er i stor grad definert av fossile forkastninger som var aktive da områdene ble dannet langs aksedalen. Fig. 11 illustrerer hvordan landskapet er bygget opp av fire hovedelementer: 1) langstrakte forkastningsrygger; 2) forkastningsbassenger som utvikles mellom ryggene; 3) kjernekomplekser som er blitt utviklet ved langvarig forkastingsaktivitet og som danner større fjellpartier; 4) fjellmassiv som er blitt dannet ved et mer komplekst samspill av tektoniske og magmatiske prosesser.

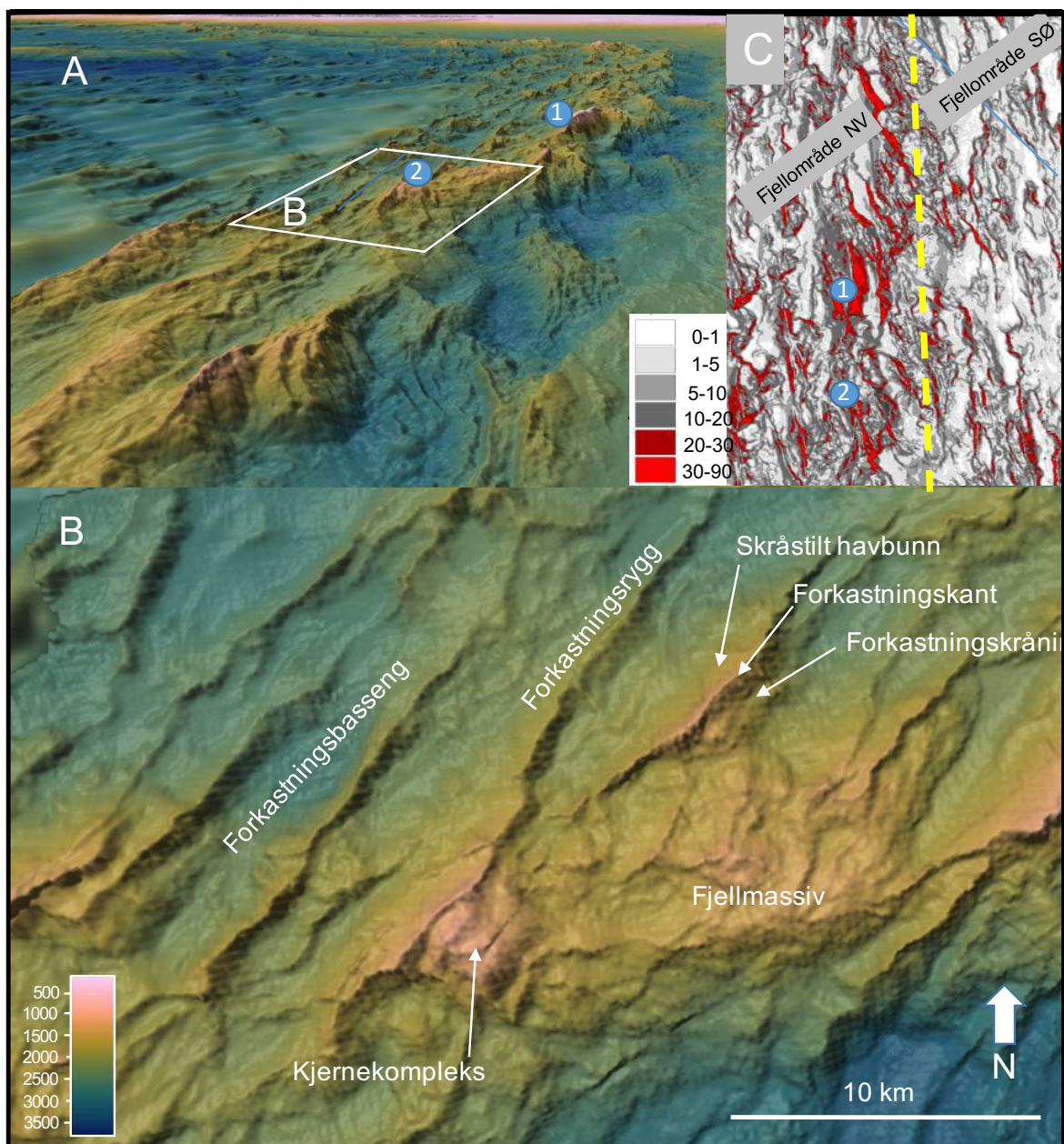
Forkastningsryggene, som er det dominerende landskapstrekket, består av tre elementer: 1) forkastningsskråninger som representerer forkastingsplan der dypere deler av skorpen og mantelen er/kan være eksponert; 2) forkastingskanter, som definerer bruddkanten til forkastingene; 3) skråstilt havbunn som består av vulkansk havbunn som ble dannet i aksedalen og som siden er blitt løftet opp og skråstilt som følge av forkastningsaktivitet.

Områder med skråstilt havbunn har gradienter som vanligvis er mindre enn 10°. Forkastningsskråningene har derimot mange steder gradienter over 20° (Figur 11C). Forkastningsryggene har derfor en asymmetrisk sedimentfordeling med hardbunnshabitater ved forkastningsskråningene, mens bløtbunn dominerer på de slakere skråningene som vender vekk fra aksedalen.

I det kartlagte området har 11 % av fjellområdet gradienter over 20°, og 2 % har gradienter over 30°. Ved gradienter over 20° har fjellskråningene liten eller ingen sedimentoverdekning. Ved skråninger over 30° består skråningene av rasavsetninger med til dels store steinblokker, klipper og fjellvegger som danner ulike hardbunnshabitater. 28 % av områdene har gradienter mellom 5-10°, og 26 % har gradienter mellom 1-5°. Avhengig av havbunnens alder vil slike skrånende områder i større eller mindre grad være dekket av sedimenter. 5 % av området har gradienter under 1°. Disse flate områdene er vanligvis knyttet til isolerte bassenger som er omgitt av fjellområder.

Topografien ved Mohnsryggen er asymmetrisk på tvers av ryggen. Fjellområdene på nordvestsiden av aksedalen er høyere enn fjellområdene sørøst for aksedalen. Vi har ennå ikke en full forståelse av hvilke faktorer som forårsaker denne asymmetrien. Sørøst for aksedalen dekker fjellområdene et areal på omkring 50.000 km². Mot sørøst øker dybden gradvis til ca. 3000 m der fjellandskapet går over i slettelandskap. I fjellandskapet har 0,7 % av det kartlagte området gradienter over 30°, 4 % av det kartlagte området gradienter over 20°, og 18 % av området har gradienter under 1°. Dette viser at andelen av arealet som har gradienter under 1° er derfor vesentlig større sørøst for aksedalen sammenliknet med fjellområdene nordvest for dalen. Dette reflekterer at områdene i sørøst i større grad er blitt begravet av sedimenter - blant annet fra Bjørnøyaviften.

Fjellandskapet ved Knipovichryggen er mindre markert enn ved Mohnsryggen. Langs hele ryggsegmentet har flankeområdene dybder mellom 2000 og 2500 m (Figur 8A). I to områder (76,4 og 77,3°N) er det utviklet fjellområder på begge sider av aksedalen. På vestsiden står disse 500 til 1500 m over landskapet rundt. Her er det skrenter og klipper med hardbunnshabitater. Disse sjøfjellene danner lineamenter som står skrått på aksedalen, men som er parallell med spredningsretningen. I begge disse områdene er det i dag relativ høy vulkansk og tektonisk aktivitet i aksedalen. Her opptrer unge vulkanske ryggstrukturer som er flankert av normalforkastninger og lokale fjellformasjoner. Fjell-lineamentene indikerer at dagens vulkanske og tektoniske mønster har vedvart over mange millioner år (Hellevang og Pedersen, 2005).



Figur 11. **A)** Perspektivkart over deler av fjellandskapet ved Mohnsryggen. Fjellområdene dannes ved forkastningsaktivitet ved flankene av aksedalen, og fossile forkastninger definerer landskapstrekkene i fjellområdene. **B)** Havbunnskart over et mindre areal av fjellområdet. Kartet illustrerer hvordan fjellandskapet i stor grad formes av forkastningsrygger og hvordan disse består av skråstilt havbunn, en forkastningskant, og forkastningskråning. Kartet viser også landskapstrekkene til det som kan være et lite kjernekompleks og et fjellmassiv. **C)** Gradientkart over deler av Mohnsryggen som viser gradientfordeling i fjellområdene nordvest og sørøst for aksedalen. De største gradientene (røde områder) er knyttet til forkastningskråninger.

Ved Knipovichryggen er aksedalen svært skråstilt i forhold til spredningsretningen. Dette har i stor grad påvirket den magmatiske og tektoniske aktiviteten. Bortfall av et markert fjellandskap er trolig forårsaket av dette skråstilte spredningsmønsteret og av en svært lav effektiv spredningshastighet.

Nærheten til Svalbardmarginen preger også landskapet. Øst for aksedalen er rygglandskapet begravet av sedimenter (Kandilarov et al., 2010). I disse områdene er transporten av sedimenter til dyphavet kanalisert langs flere store sedimentære viftesystemer (Figur 15) (Vorren et al., 1998).

3. Bruddsoner

Spredningsryggene deles opp av bruddsoner som danner markerte landskapstrekk på tvers av ryggene. Bruddsonene består av seismisk aktive deler der litosfæreplatene beveger seg sidelengs i forhold til hverandre og definerer transformforkastninger, og seismisk inaktive deler der platene på begge sider av bruddsonen beveger seg i samme retning. Transformforkastninger binder sammen ulike segmenter av spredningsryggen, og har samme orientering som spredningsretningen.

Der en spredningsrygg møter en transformforkastning avkjøles astenosfæren som strømmer opp under spredningsryggen av den kalde litosfæreplaten på motsatt side av forkastningen. Dette resulterer vanligvis i avtagende magmatisk aktivitet og i en gradvis tynning av havbunnskorpen inn mot transformforkastninger. Økende havdyp inn mot slike områder og lokale punktdyp er topografiske avspeilinger av disse underliggende geologiske forholdene.

Tynning av havbunnskorpen inn mot transformforkastninger medvirker også til dannelsen av langstrakte dalfører langs transformforkastninger og bruddsoner (se Figur 11).

3.1 Molloy- og Spitsbergen bruddsonene

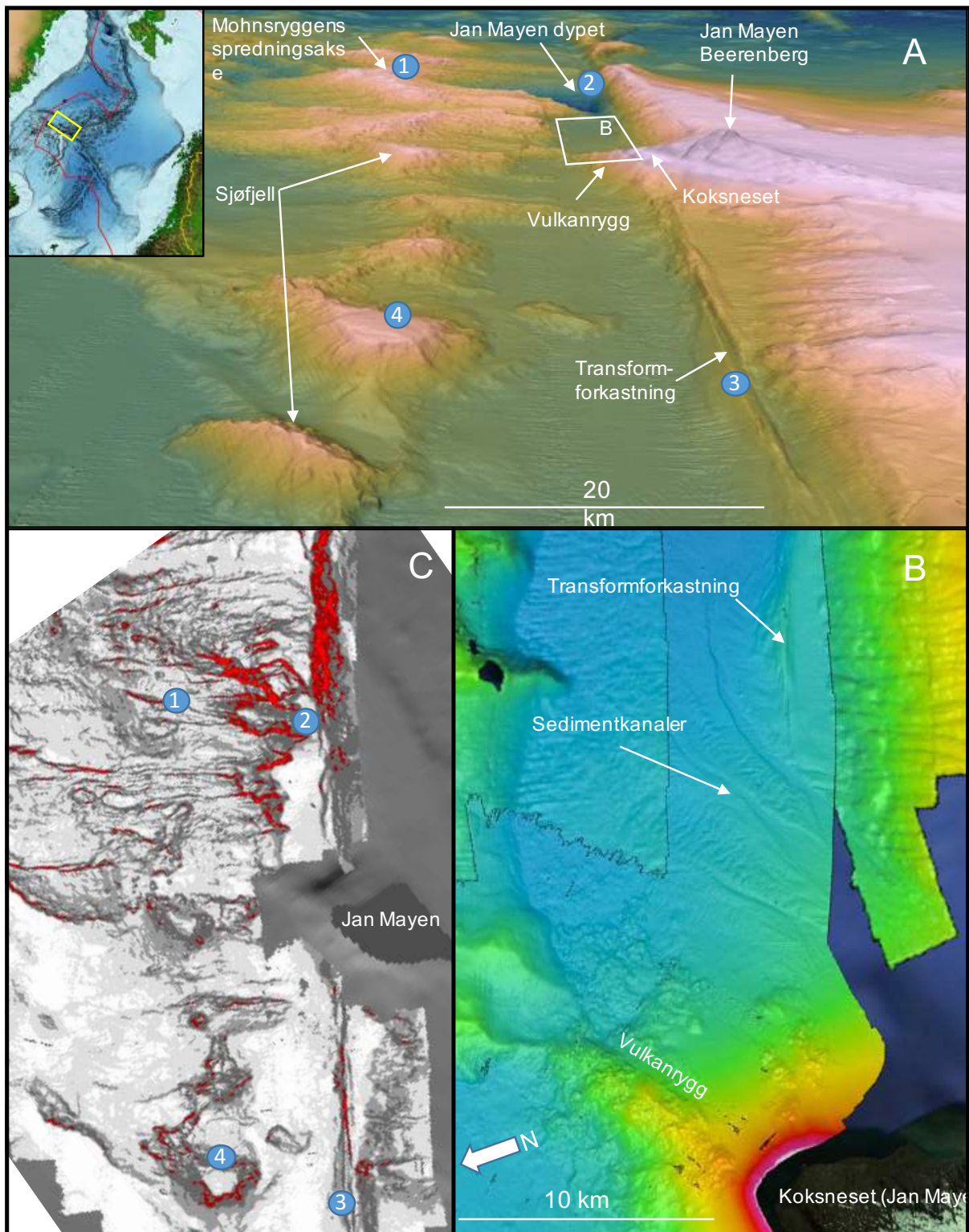
Molloy- og Spitsbergen bruddsone er adskilt av Molloyryggen. Dette systemet av bruddsoner og ryggsegment tar spredningssonen videre nordover fra Knipovichryggen til Lenatrauet, der ryggssystemet forlater norske havområder.

Molloy bruddsone danner en ca. 120 km lang dal som utvider seg mot nordvest. Der transformforkastningen møter spredningsaksen, øker dybden fra 2200 til 5500 m. Dette punktdypet (nodaldyp) definerer det største dypet i havområdene nord for Azorene. Den dypeste delen av "Molloydypet" utgjør et areal på omkring 250 km², og sedimentær bløtbunn er påvist i deler av området. Dalen er avgrenset i nord av kontinentalskråningen ved Svalbard og i sørvest av et marint sletteområde med dybder fra 2200 til 2600 m. Deler av bassenget er avgrenset av flere tusen meter høye skråninger med bratte gradienter og hardbunns habitater (Figur 10B). Gradientkartet illustrerer hvordan landskapet stiger bratt i alle retninger unntatt mot nordøst der spredningsaksen og dalstrukturen fortsetter mot Spitsbergen bruddsone.

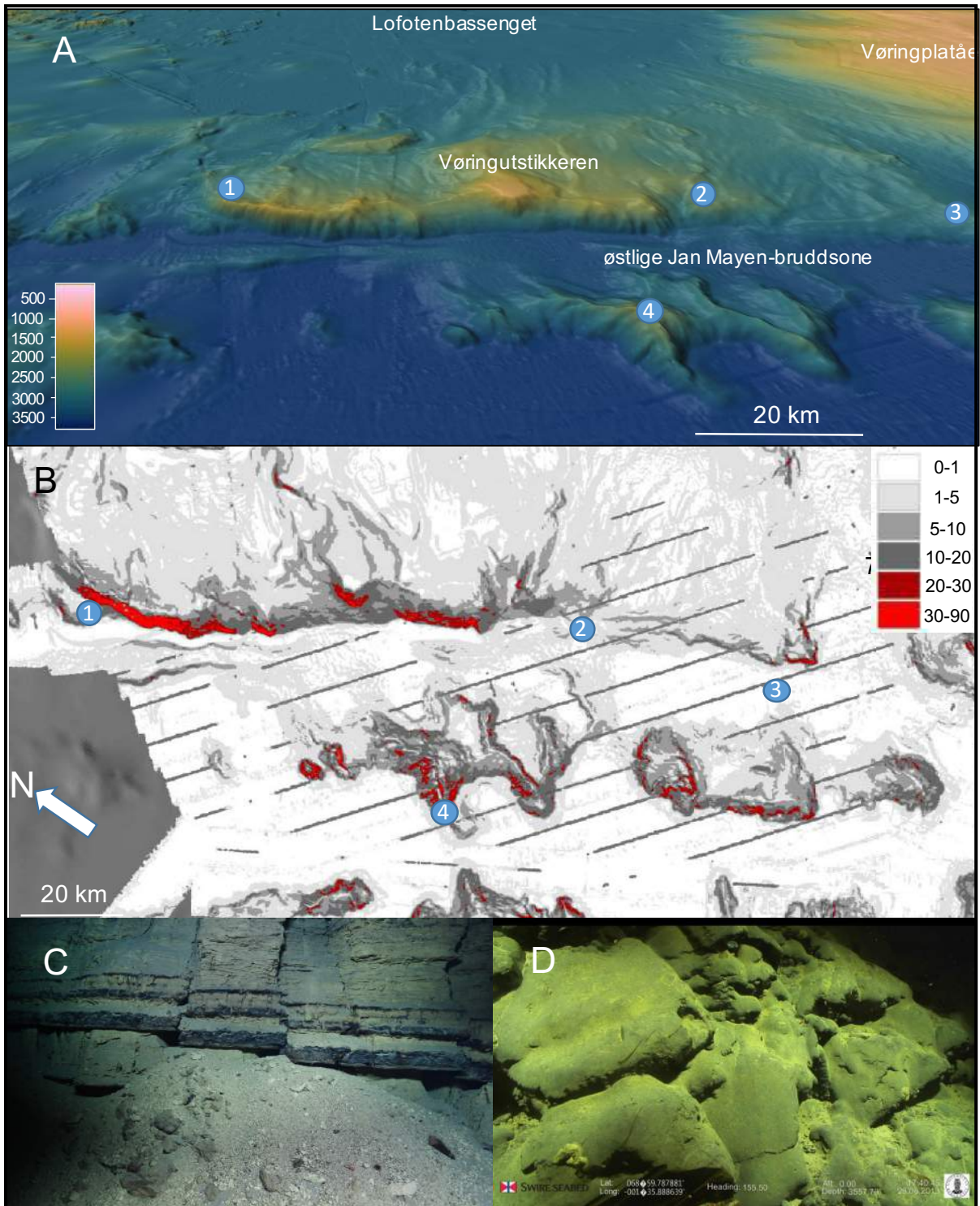
Spitsbergen bruddsone tar dalføret videre i nordvestlig retning. Dalføret er også her avgrenset i nordøst av kontinentalskråningen ved Svalbard. Havbunnskartlegging som ble gjennomført i regi av Mareano-programmet i 2019 viser at det forekommer gassutslipp fra havbunnen i to avgrensede områder (Terje Thorsnes, pers. com. 2021). Gassutslipp fra hydrotermiske felt er ikke blitt påvist på slike havdyp tidligere. Derimot er det påvist utslipp av termogen gass på tilsvarende dyp blant annet i Mexicogolfen (Römer et al. 2019). Ved Spitsbergen bruddsone er det rapportert om høye termiske gradienter (Crane et al. 1982). Det er trolig også kildebergarter for petroleum i dette området. Uansett opprinnelse, så vil disse lekkasjeområdene representere særegne kjemosyntetiske dyphavshabitater.

3.2 Jan Mayen-bruddsone

Jan Mayen-bruddsone danner også en langstrakt dal der bunnen er dekket med sedimenter (Figur 12). Dybden langs den vestlige delen av dette dalføret varierer fra 2100 til 2300 m, og store deler av dalbunnen har lave gradienter.



Figur 12. A) Perspektivkart over Jan Mayen bruddsone. Området er sett østover mot Jan Mayen og mot det sørligste grunne segmentet av Mohnsryggen. Den aktive transformforkastningen sees langs den sørvestlige marginen av dalføret som definerer bruddsonen. Forkastningen krysser Jan Mayen ved Koksneset, og danner også topografiske trekk øst for Jan Mayen (B). En rekke sjøfjell avgrensner bruddsonen mot nordøst. Der Mohnsryggen møter transformforkastningen er det dannet et punktdyp med dybder på omkring 4000 meter. Øst for dette området er det et område med flere tusen meter høye skråninger med bratte gradienter (C). Tallmarkeringer på perspektiv- og gradientkartet (1,2,3,4) viser posisjonen av de samme strukturene på de to ulike karttypene.



Figur 13. Perspektivkart (A) og gradientkart (B) over området der den østlige Jan Mayen-bruddsonen (fossil transformforkastning) møter Ægir-ryggen (fossil spredningsrygg). Landskapet i området er dominert av dalfører med slettelandskap og bløtbunn, samt av sjøfjell og platåer som til dels har fjellsider og skråninger med bratte gradienter. Områder med manganskorpe er blitt påvist flere steder. C) Bilde av sedimentære lag ved et av sjøfjellene i området. Et tynt lag med manganskorpe er her blitt avsatt på de mest konsoliderte lagene. D) Bilde av manganskorpe ved Vøringutstikkeren. Skorpene er opp til 20 cm tykke, og de er her blitt avsatt på en forkastningskråning bestående av sedimentære og vulkanske bergarter.

En 200 km lang sidelengs-forkastning binder spredningsaksen ved Mohnsryggen sammen med spredningsaksen ved Kolbeinseyryggen. Vest for Jan Mayen danner denne transform-forkastningen en langstrakt rygg som viser tydelige tegn på forkastningsaktivitet (Figur 11A) (Sørensen et al. 2007).

I sørvest er dalbunnen avgrenset av Jan Mayen og et omkringliggende relativt grunt område med dybder mellom 300-500 meter. Mellom Jan Mayen og Kolbeinseyryggen er der tydelige vulkanske landskapstrekk. Her er det store eldre vulkanske strukturer, men også yngre nydannede vulkanske sentre er nylig blitt påvist her. Dalbunnen avgrenses mot nordøst av en rekke sjøfjell som har topper som rager 1600 meter over dalbunnen (Figur 12A). Disse sjøfjellene ser ut til å representere gamle sentralvulkaner som trolig ble dannet nær spredningsaksen. Et av fjellene har landskapstrekk som kan tyde på at det en gang var en vulkanøy som ble erodert før området sank ned i dypet. Der Jan Mayen bruddsonen møter Mohnsryggen, er det et traue som er nesten 4000 meter dyp. I likhet med Molloydyppet representerer dette et punktdyp. "Jan Mayen dypet" er en del av spredningsaksen, og det er vulkanske strukturer i dalbunnen. I sørvest er dypet avgrenset av en 3000 m høy fjellvegg med en gjennomsnittlig gradient på 40-50°. Denne veggen representerer et stort hardbunnshabitat. Bergartene består til dels av gamle vulkanske og sedimentære avsetninger som viser Jan Mayen områdets tidlige historie, og det representerer et område der manganskorper kan være utviklet.

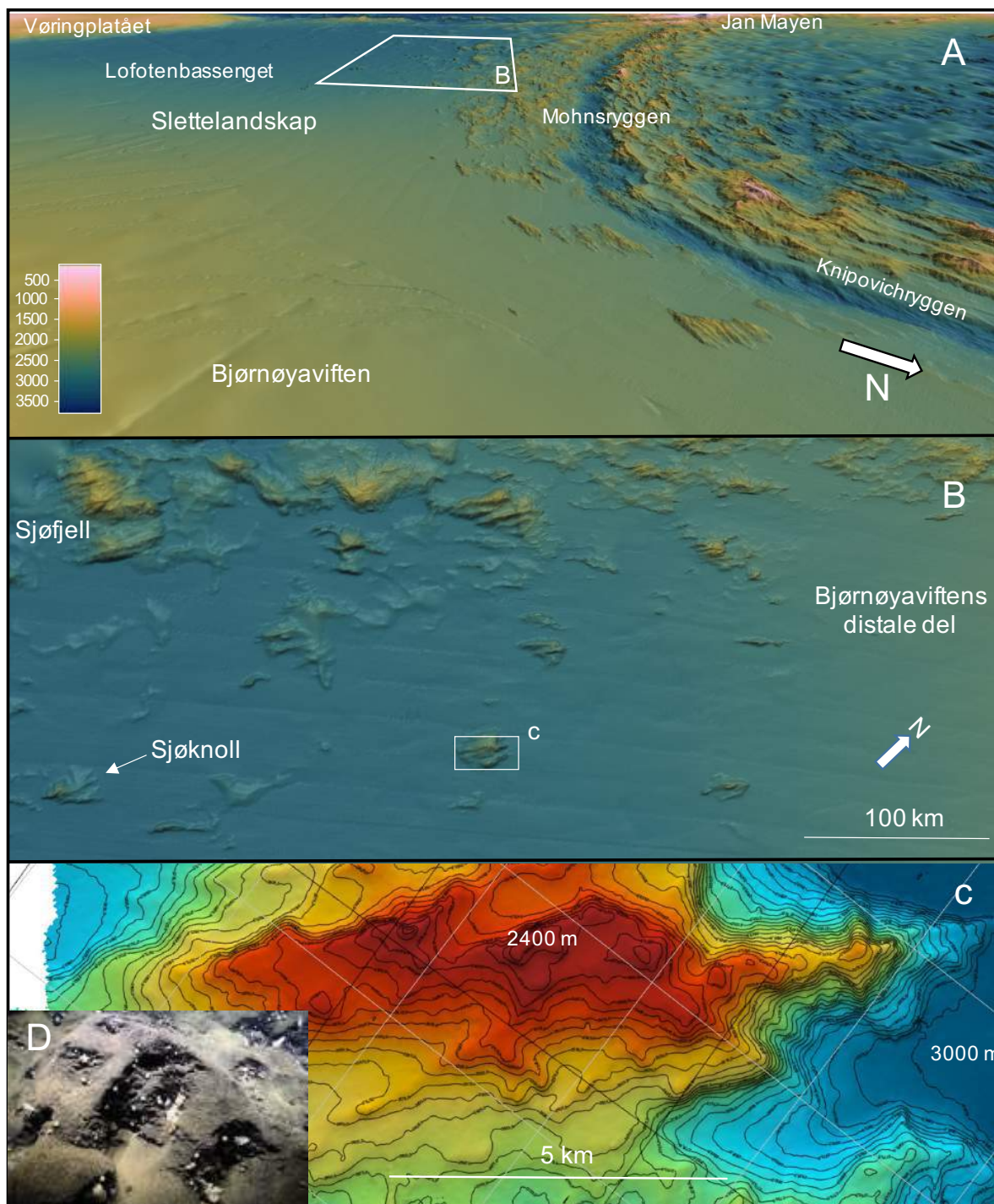
Østlige Jan Mayen-bruddsone er en inaktiv eldre del av bruddsonesystemet som strekker seg på tvers av Norske-Grønlandshavet. Bruddsonen er her definert av to parallelle daler som strekker seg 700 km fra Jan Mayen-ryggen til Møremarginen (Figur 13). Dalbunnen danner et slettelandskap med dybde på 3500-3700 m og med et areal på 15.000 km².

De to dalene, som representerer fossile transformforkastninger, er adskilt av en kjede av sjøfjell med fjelltopper som står 800-1400 m over slettelandskapet. Mot nordøst er slettelandskapet avgrenset av Vøringplataet, og videre vestover av Vøringutstikkeren og av fjellområder som skiller den østlige Jan Mayen bruddsonen fra den aktive bruddsonen i vest. Avgrensingen mot Vøringplataet (kalt Vøring transform margin) består av en 260 km lang fjellskråning, der det dype slettelandskapet går brått over i bratte skrenter og klipper som leder opp til Vøringplataet. Langs den over 1000 m høye fjellskråningen varierer bunnhabitatene fra stabile klipper og fjellutspring med bentiske økosystemer, til ustabile områder med bratte rasskråninger og talus. Fjellutspringene består her av utgående sedimentære lag av Kritt og Paleocene alder (Polteau et al. 2020), og spektakulære magmatiske sill-intrusjoner (Styve, 2015; Bjerga et al. 2021). I deler av fjellsidene er det dannet tykke manganskorper som viser at fjellskråningene lokalt har vært stabile over mange millioner år (Gilje 2016; Gilje et al. 2021).

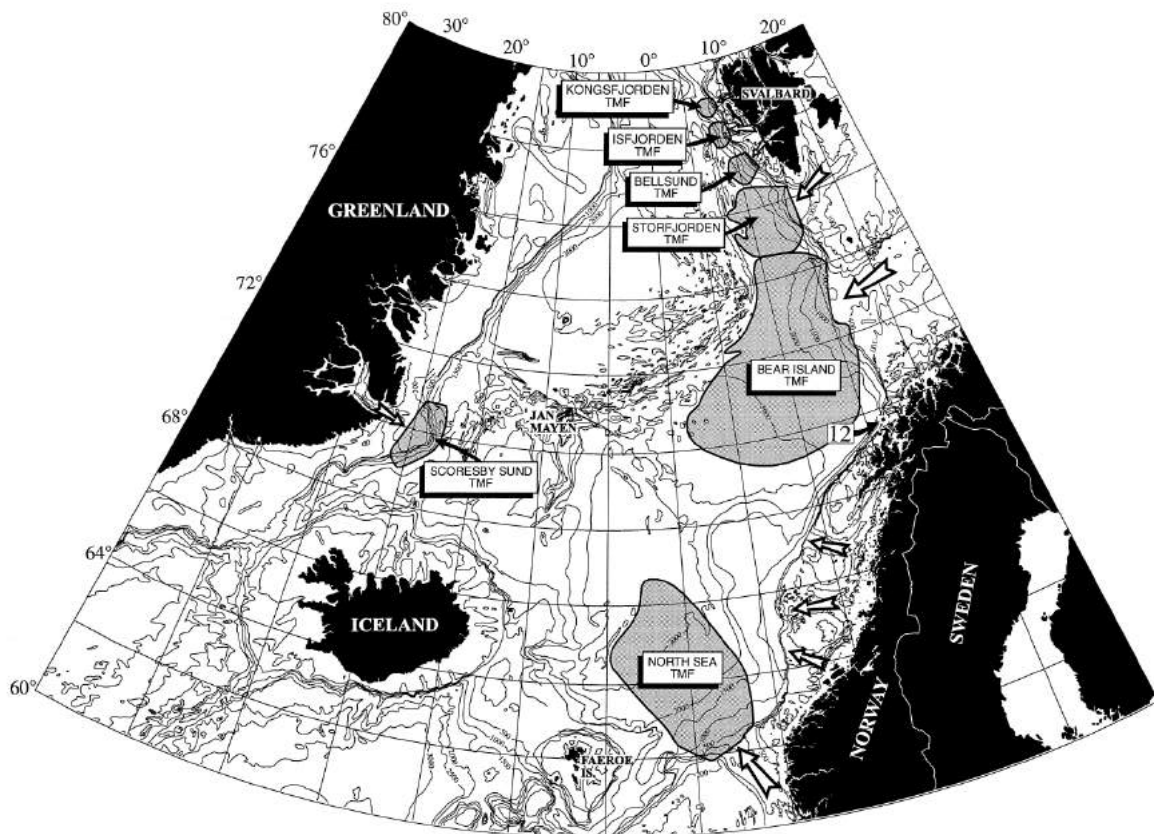
Ved Vøringutstikkeren avgrenses det dype slettelandskapet mot nordøst av en 120 km lang sammenhengende fjellside, der toppene rager 1000-1500 m over dalbunnen. Her er det også utgående lag av sedimenter og vulkanske bergarter, og her er det hardbunnshabitater knyttet til bratte klipper og fjellutspring. Også her er det lokalt blitt avsatt manganskorper.

4. Slettelandskap og sedimentvifter

Lofotenbassenget danner det største sammenhengende slettelandskapet i norske dyphavsområder. De sentrale delene av dette området har gradienter under 0,1°. Dette flate partiet er bare delvis blitt kartlagt med tilstrekkelig oppløsning for en gradientanalyse, men basert på gradientmønsteret i de kartlagte områdene anslår vi at sletteområdet har et areal på omkring 130.000 km². Området avgrenses av Vøringplataet i sør, kontinentalskråningen utenfor Nordland i sørøst, Bjørnøyaviften i nordøst, og av fjellandskapet ved Mohnsryggen i



Figur 14. *A) Perspektivkart over Norskehavet. Området sees sørvestover fra Bjørnøya mot slettelandskapet i Lofotenbassenget. Bjørnøyaviften er i forgrunnen og Mohnsryggen avgrenser slettelandskapet mot nordvest. Vøringplatået og områdene ved Jan Mayen sees i bakgrunnen. B) Bunnkart av de vestlige delene av sletteområdene der disse strekker seg inn mellom høydedrag og sjøknoller for så å møte fjellandskapet ved Mohnsryggen. C) Detaljkart over en sjøknoll som står opp av slettelandskapet. Fossile forkastninger danner fremdeles bratte skrenter der manganskorper (D) er blitt avsatt gjennom millioner av år. Klipper og bratte skråningene ved disse sjøknollene danner "øyer" av hardbunnhabitater i et sletteområde av bløtbunn.*



Figur 15. Oversikt over sedimentære vifteavsetninger i Norske-Grønlandshavet (fra Vorren et al. 1998).

nordvest (Fig. 14). I retning Mohnsryggen strekker sletteområdet seg inn mellom høydedrag, sjøknoller og sjøfjell. Mot nordøst stiger gradienten sakte mot **Bjørnøyaviften**. Først til $0,2^\circ$ i de distale delene av viften, og så til $0,8^\circ$ i de øvre delene av viften i nordøst (Vorren et al. 1998). Bjørnøyaviften dekker et areal på 250.000 km^2 , og begraver de østlige områdene av Mohns- og Knipovichryggen der de to ryggsegmentene møtes (Figur 14 og 15). Mot nord langs Svalbarmarginen er det flere liknende, men mindre vifter. Disse springer ut fra Storfjorden, Bellsund og Isfjorden og strekker seg videre ned i dyphavet og inn over den østlige flanken av Knipovichryggen (Figur 15). Ved viftene er det spor etter ras, massestrømmer og kanaler.

I **Norskebasenget** danner rasgropen og avsetningene etter Storeggaskredet markerte landskapstrekk der den østlige Jan Mayen bruddsonen går inn mot Møremarginen (Haflidason et al. 2004). Skredet dekket også det dype slettelandskapet som er utviklet langs bruddsonen med distale turbidittavsetninger. Der bruddsonen terminerer mot Jan Mayen ryggen i vest er det også spor av mindre utrasinger, som trolig også sendte turbidittstrømmer langs de dype dalførene i dette området.

5. Landskapstrekk og naturtyper

Utredningsområdet har et svært variert havlandskap. Landskapet er i stor grad preget av midthavsryggen som strekker seg gjennom disse havområdene. Langs spredningsaksen varierer dypet fra noen få titalls meter i sør til omkring 5500 m i nord. Variasjonen i havyd er en av faktorene som skaper et stort spenn i naturtyper i dette området.

Tektoniske og vulkanske prosesser pågår i dag langs spredningsaksen og danner fjellandskap i områdene rundt. Disse vulkanske og tektoniske landskapstrekkene begravnes av sedimenter som akkumulerer sakte på havbunnen. Fjellandskapet som ble dannet ved spredningsaksen for omkring 30 millioner år siden er i dag helt begravet av sedimenter og omformet til slettelandskap. Dette spennet i topografiske gradienter er en annen viktig faktor som bestemmer naturtypene i området.

Endringen fra fjellandskap til slettelandskap illustrerer også betydningen av tidsfaktoren. I samspill med ulike geologiske prosesser endres naturtypene over lange tidsintervaller. Men endringer skjer også over kort tid. Ved spredningsaksen endres havbunnen fra bløtbunn til nydannet lavalandskap i løpet av timer og dager under vulkanutbrudd. Tidsfaktoren og havbunnens alder har også betydning for havbunnens kjemiske sammensetning. Det vulkanske havbunnen endrer sammensetning gjennom forvitring. I bratte områder, der sedimenter ikke kan akkumuleres, dannes det manganskorpe og havbunnen endrer sin kjemiske sammensetning. I det følgende oppsummerer vi kunnskapen omkring disse faktorene.

5.1. Havbunnens dybde

Havdypet i utredningsområdet styres i stor grad av forhold knyttet til spredningsryggen. Denne blir gradvis grunnere mot sør (Figur 16A), og dette er trolig knyttet til mantelanomalier ved Island og Jan Mayen (e.g. Breivik et al. 2008, Elkins et al. 2016). På tvers av spredningsaksen er det også store dybdeforskjeller. Fjellområder preger de unge sentrale områdene, og dybdene øker ut mot sletteområdene som ligger på eldre havbunn. I tillegg danner Jan Mayen-ryggen i vest og Vøringplataet i øst grunnere områder som ble til i forbindelse med åpningen av Norskehavet (Talwani et al. 1981).

Ved den nordligste delen av Jan Mayen-ryggen har langvarig vulkansk aktivitet ført til dannelse av Jan Mayen. Kystnære gruntvannsområder ligger innenfor territorialfarvannet rundt Jan Mayen, som er unntatt utredningsområdet. Vest for Jan Mayen er det også svært grunne områder ved det nordligste segmentet av Kolbeinseyryggen. Her ligger kraterranden av den grunneste vulkanen kun noen titalls meter under havoverflaten (Yeo et al. 2016). Også en del av de omkringliggende områdene (omkring 9 km²) ligger her innenfor den fotiske/epipelagiske sonen (de øvre 200 m tykke vannlaget med fotosyntetisk primærproduksjon). Bortsett fra disse mindre områdene ligger havbunnen i utredningsområdet dypere enn 200 meter og under den fotiske sonen.

I de sørligste delene av utredningsområdet ligger deler av området innenfor den disfotiske/mesopelagiske sonen (skumringssonen), som strekker seg fra 200 til 1000 m dyp (se Figur 16A og Appendiks I). I tillegg til områdene ved Jan Mayen og områdene mellom Jan Mayen og Kolbeinseyryggen, har også det meste av Jan Mayen-ryggen dybder som er grunnere enn 1000 m. Til sammen dekker disse relativt grunne områdene sør for Jan Mayen bruddsonen et areal på 5900 km².

Like nord for Jan Mayen bruddsonen, er det også områder som har dybder grunnere enn 1000 m. Disse grunne områdene utgjør et areal på 716 km². Området omfatter en rekke med sjøfjell langssetter bruddsonen, samt det sørligste (ortogonale) segmentet av Mohnsryggen der spredningsaksen og de nære flankeområdene stiger opp til 500-600 m.

Nordøstover langs Mohnsryggen strekker også noen av sjøfjellene seg til dybder som er grunnere enn 1000 m. Områdene som ligger i skumringssonen har her et areal på til sammen 98 km². Louise A. Boyd-banken (72.40 °N, 2.50 °Ø), og Schulz-banken (73.50 °N, 7.34 °Ø), som når dybder på henholdsvis 500 og 560 m, definerer de høyeste fjellene. Disse sjøfjellene reiser seg inn i skumringssonen fra 3500 og 2500 m dyp, og de representerer nøkkellokaliteter

for ny kunnskap omkring havdyp og bentiske økosystemer i Norskehavet (Figur 16A, se også Figur 3 som viser Louise A. Boyd-banken).

Med unntak av disse grunne områdene har utredningsområdet dybder mellom 1000 og 4000 m (det afotiske/batypelasiske dybdeområdet). Med unntak av primærproduksjonen som er knyttet til et fåtall hydrotermiske felt, er næringstilgangen i den afotiske sonen begrenset til partikler (marin snø) som synker ned i dypet fra de produktive grunnere lagene. Innenfor norske havområder er det kun et mindre område i Molloydypet (omkring 1000 km²) som har dybder større enn 4000 m, og som derved når abyssopelagiske dybder. Disse områdene er unntatt fra utredningsområdet.

5.2. Havbunnens alder og sammensetning

Miljøfaktorer som har betydning for bentiske habitater er til dels styrt av havbunnens alder. Med unntak av Jan Mayen-ryggen har havbunnen i utredningsområdet en vulkansk opprinnelse, og det meste av området er blitt til ved havbunnsspredning. Langs spredningsaksen dannes vulkansk hardbunn kontinuerlig, og den vulkanske bunnen blir så gradvis dekket av sedimenter og omformet til bløtbunn. Ved Mohnsryggen har vi dokumentert at 50 % av havbunnen i aksedalen består av nydannet vulkansk hardbunn som ennå ikke er blitt dekket av sedimenter. Vi kan også vise at der den vulkanske havbunnen er eldre enn omkring hundre tusen år, er den blitt begravet av et heldekkende sedimentlag og omformet til bløtbunn (Stubseid et al. 2021). Disse prosessene representerer en storstilt og kontinuerlig omforming av habitater fra vulkansk hardbunn til sedimentær bløtbunn, og denne habitatsendringen har foregått langs aksedalen gjennom Norskehavets 50 millioner år lange dannelseshistorie. Bratte skråninger der sedimentene av ulike årsaker ikke akkumulerer, er de eneste områdene som forblir udekket av tykke sedimentlag. Fordelingen av hardbunns- og bløtbunns habitater er derfor styrt av havbunnens alder og av havbunnens helning (se seksjon 4.2).

Den vulkanske havbunnen forvitrer i kontakt med sjøvann. Svart vulkansk glass som danner det ytre laget av lavastrømmer er særlig ustabil. Dette gjennomgår oppløsnings- og utfellingsreaksjoner som fører til at glasset omdannes til en gulbrun geleaktig substans, som så krystalliserer til leirminerale (e.g. Kruber et al. 2007, 2008). Dette materialet - som kalles palagonitt - danner en porøst ytre forvittringshud på de vulkanske overflatene. Dannelsen av denne forvittringshuden endrer ikke bare overflatens fysiske egenskaper, men også overflatens kjemiske sammensetning. Omdanningen fører til nær fullstendig tap av silisium og alkalielementer til sjøvannet og til dannelse av jern og aluminium oksihydroksider. Prosessen fører også til retensjon og opptak av elementer som vanadium, kopper, yttrium, bly, thorium, uran og sjeldne jordarter fra sjøvann (Kruber et al. 2008). Omdanningen fører videre til tilførsel av nær en prosent med organisk karbon til forvittringssonen. Akkumulering av organisk karbon er til dels forårsaket av mikrobiell aktivitet knyttet til forvittringsprosessen (Thorseth et al. 2001; Lysnes et al. 2004; Einen et al. 2008; McLoughlin et al. 2011). Det er uklart hvilken betydning forvitringen og den mikrobielle koloniseringen har for den videre meso- og megafauna koloniseringen av de vulkanske dyphavshabitatene.

Mens forvittringshuden, som et resultat av omdanning av substratet, vokser innover, felles det samtidig ut manganrike oksihydroksider på overflaten. Disse utfellingene opptrer først som mikro- og millimeter tynne lag. Dersom overflaten ikke begravnes av sedimenter, men forblir i direkte kontakt med sjøvann gjennom millioner år, kan utfellingene vokse til skorper som er flere titalls centimeter tykke. Manganskorper av denne typen dannes direkte fra sjøvann ved utfelling av Fe-Mn oksihydroksider. Materialets høye spesifikke overflateareal og dipolare ladning, gjør at det også tar opp en rekke sporstoffer fra sjøvannet (Hein et al. 2000). Ved Jan Mayen bruddsonen og ved Ægir-ryggen inneholder slike skorper i gjennomsnitt 28% Fe, 18 % Mn, 0,23% Co, 0,11% Ni, og 0,25% REE.

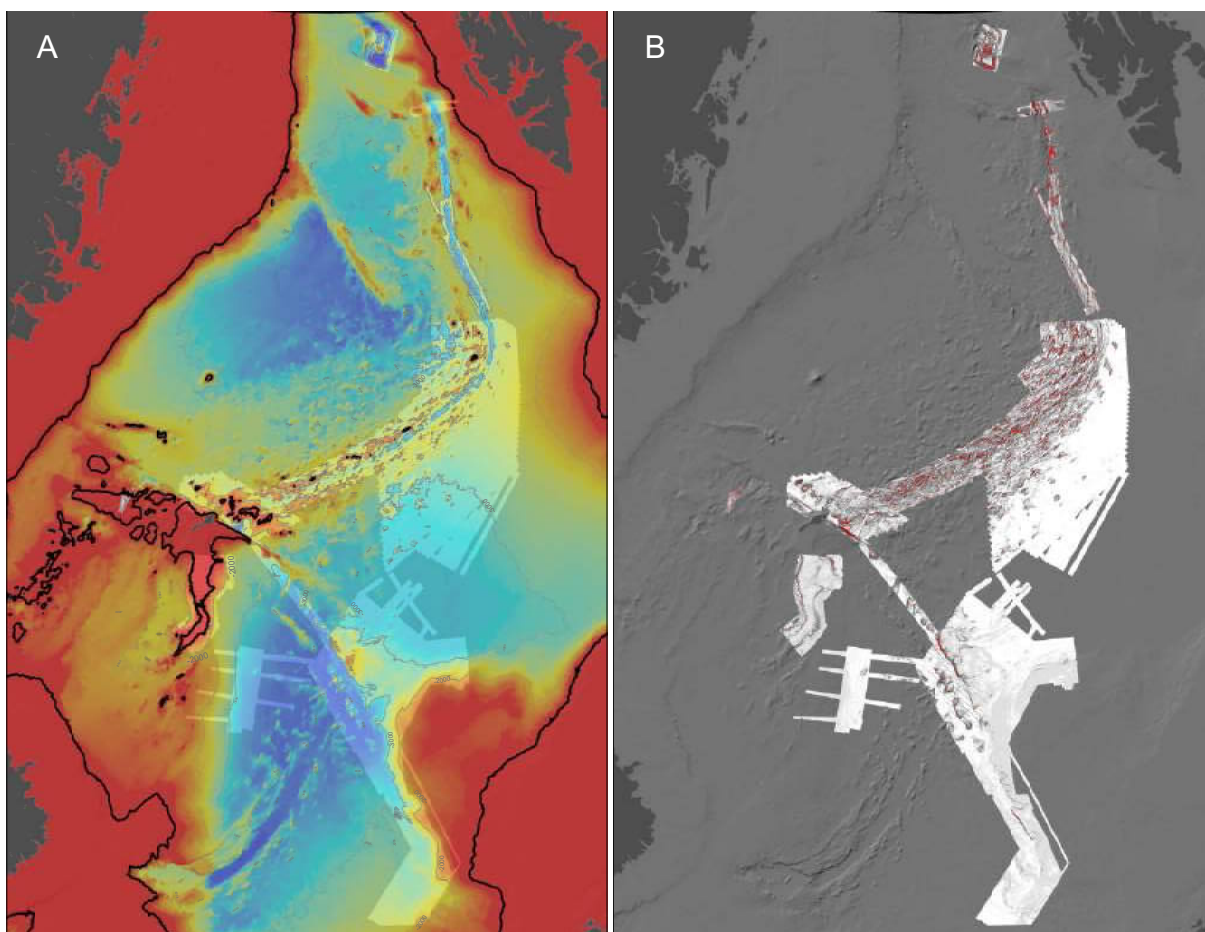


Fig. 16. A) Kart over Norske-Grønlandshavet der 1000 m isobathen er markert med en svart linje for å fremheve områder med havbunn grunnere enn 1000 m (farget rødt). I tillegg til kontinentalsokkelen ved Norge, Grønland og Island, er der store grunne områder i områdene sør og vest for Jan Mayen. Det er også mindre områder ved Mohnsryggen like nord for Jan Mayen-bruddsonen, og noen av sjøfjellene nordøstover langs Mohnsryggen strekker seg også inn i havets skumringsone (se Appendiks I for detaljkart over ulike områder). **B)** Oversikt over områder der vi har utført gradientanalyser. Røde felt markerer områder med gradienter over 20° , mens hvite felt markerer områder med gradienter under 3° . Se Appediks I for detaljkart over ulike delområder.

Manganskorper dannes ved vekstrater på noen få millimeter pr. million år. Geokronologiske undersøkelser av skorper fra et sjøfjell nær Kanariøyene viser at den gjennomsnittlige vekstraten i disse områdene har vært 4 mm/million år (Josso et al. 2019). Skorper fra ulike områder av Norskehavet (Figur 16) er i ferd med å bli datert ved radiometriske metoder. Basert på det vi i dag vet om opptreden av 20 cm tykke skorper i områder der havbunnen er 25-30 millioner år, kan vi slå fast at den gjennomsnittlige vekstraten i Norskehavet er minst 7 mm/million år. Vi kan videre anslå at langs aksedalen, der de eldste vulkanske områdene er estimert til å være 0,5 millioner år (Stubseid et al. 2021), vil skorpene kunne bli 3-4 mm tykke. I fjellområder ved Mohnsryggen som ligger 30 km fra spredningsaksen, og som er omkring 5 millioner år, vil skorpene ha en tykkelse på omkring 3-4 cm. Der Mohnsryggen går over i slettelandskapene i Lofoten- og Grønlandsbassenget, og alderen på havbunnskorpen er mellom 30-40 millioner år (e.g. Gaina et al. 2017), kan manganskorpene oppnå en tykkelse på mellom 20 og 30 cm. Disse anslagene er i overensstemmelse med observasjoner gjort i de ulike områdene.

Manganskorper dannes i områder der sedimentasjonshastigheten er lav. I Norskehavet er skorpeforekomster av tykke skorper kun blitt påvist i bratte skråninger der hemipelagiske

sedimenter akkumulerer i svært liten grad. Både i Lofotenbassenget, langs Jan Mayen bruddsonen, ved Ægir-ryggen og i Grønlandsbassenget har vi påvist skorper som er opp mot og noen steder over 20 cm tykke. Der slike skorper er blitt dannet, må også fjellskråningene ha vært stabile over titalls millioner år. Områder med tykke manganskorper må derfor representere svært stabile hardbunnshabitater.

Ved slike skorpeområder opptrer stabile skorpebelagte områder i veksling med raspåvirkede områder. Der utrasinger har skjedd, er underlaget blitt eksponert, og det dannes der gradienter mellom bergflater bestående av silikatmineraler og områder med manganskorper med høy konsentrasjon av mange tungmetaller. I slike områder er det og gradienter mellom hardbunn som har vært stabil gjennom millioner av år, og områder som stadig forstyrres av utrasinger og massebevegelser. I områder med manganskorper er det derfor gradienter i havbunnens stabilitet, overflateegenskaper og sammensetning som potensielt kan påvirke de bentiske økosystemene. Det finnes lite utdypende kunnskap om disse forholdene.

5.3. Havbunnens helning

Terrengets helning er en viktig økoklin som styrer miljøfaktorer og artssammensetning. Tabell 1 gir en oversikt over gradientene i ulike deler av utredningsområdet. Gradientberegningene krever havbunndata med en viss romlig oppløsning, og oversikten er derfor avgrenset til områder der slike data finnes (se Figur 16B, Appendiks I, og metodebeskrivelse i seksjon 8). Med unntak av de distale nordvestlige flankeområdene av Mohnsryggen, flankeområdene ved Knipovichryggen og den nordlige delen av aksedalen ved dette ryggsegmentet, er det meste av utredningsområdet dekket. Området som er analysert er blitt delt inn i følgende delområder: aksedalen ved Kolbeinsey-, Mohns- og den sørlige Knipovichryggen; fjellområdene ved Mohnsryggen (nordvest og nordøst for aksedalen); områdene langs den østlige og vestlige Jan Mayen bruddsonen; og områder ved Jan Mayen-ryggen. Arealer er beregnet for følgende gradientintervaller: 0-1°, 1-5°, 5-10°, 10-20°, 20-30°, og 30-90°.

Gradientberegningene bidrar til en regional oversikt over habitatsfordelingen i området. Resultatene gir særlig nyttig informasjon om fordelingen av bløtbunnshabitater knyttet til relativt flate områder og hardbunnshabitater knyttet til bratte skråninger og fjellsider. Omkring 20° helning av terrenget er brukt for å skille mellom områder dominert av bløtbunn og skråninger/fjellsider med hardbunnshabitater. Denne grenseverdien bygger på kartlegging av sedimenttykkelser med bunnpenetrerende ekkolodd over store områder i aksedalen (Stubseid et al. 2021). Kartleggingen viser at de hemipelagiske sedimentlagene tynner ut i områder med gradienter mellom 17 og 20°, og at hemipelagiske sedimenter ikke akkumuleres i vesentlig grad i brattere terreng. Dette samsvarer med ROV-baserte video-analyser. ROV transekter viser at slike skrånende områder består av fastfjell i form av bergnabber i veksling med talusavsetninger og mindre lommer av hemipelagiske sedimenter. Ved gradienter over 30° grader er områdene dominert av bergnabber, fjellklipper og ur. Økende helning av terrenget fører til ras og massetransport ned skåningene, som også i stor grad påvirker den bentiske faunaen. I vår gradientbaserte klassifisering av bunntyper legger vi derfor til grunn at hardbunnshabitater opptrer i alle områder med gradienter som overstiger 20°.

Samlet for området viser gradientanalysen at 4 % av et totalareal på 151.066 km² har gradienter over 20° og derfor er forventet å være dominert av hardbunnshabitater (Tabell 1 og 2). Tabell 1 viser at gradientfordelingen varierer i stor grad mellom ulike subområder. Langs aksedalen og i fjellområdene nordvest for Mohnsryggen har 11% av havbunnen gradienter over 20°, mens 0,4% av arealet i Lofotenbassenget har slike bratte partier. Mens 91 % av arealet i Lofotenbassenget har gradienter under 5°, har bare 34 % av landskapet langs aksedalen og fjellområdene nordvest for Mohnsryggen slike flate partier.

Tabell 1. Overflateareal (km²) for seks ulike helningsintervaller innenfor ti delområder i Norskehavet.

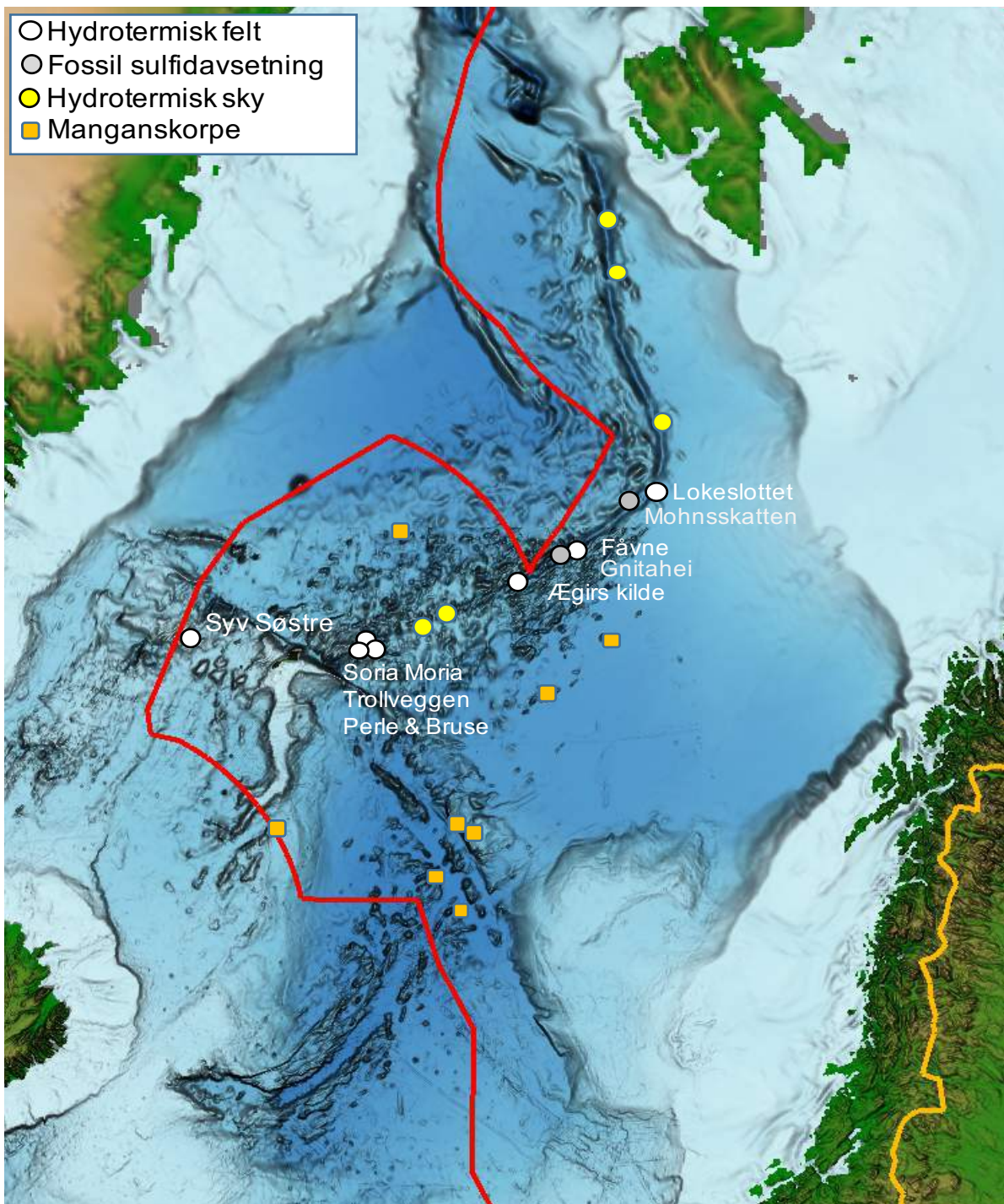
Helning i grader	0-1°	1-5°	5-10°	10-20°	20-30°	30-90°	Total
Kolbeinsey,nord, spredningsakse	26	199	186	169	70	41	691
Mohn, aksedal	158	1793	2189	2178	534	90	6944
Knipovich, sør, aksedal	497	2592	1538	1365	251	515	6759
Molloy-området	156	1208	915	1332	398	120	4128
Mohn, fjellområder NV	1007	5103	5376	5684	1761	373	19305
Mohn, fjellområder SØ	3615	7160	4833	2998	651	126	19383
Lofotenbassenget	33028	4739	1752	1752	166	14	41453
V. Jan Mayen bruddsone	954	2503	1536	1305	376	79	6754
Ø. Jan Mayen bruddsone	11684	16334	2368	1254	244	69	31952
Jan Mayen-ryggen	1820	8425	2393	907	129	22	13697
Hele området	52945	50056	23086	18944	4580	1449	151066

Tabell 2. Overflateareal (% av totalareal) for seks ulike helningsintervaller innenfor ti delområder i Norskehavet (se Tabell 1).

Helning i grader	0-1°	1-5°	5-10°	10-20°	20-30°	30-90°
Kolbeinsey,nord, spredningsakse	3,76	28,80	26,92	24,46 %	10,13	5,93
Mohn, aksedal	2,28	25,82	31,52	31,37	7,69	1,30
Knipovich, sør, aksedal	7,35	38,35	22,75	20,20	3,71	7,62
Molloy-området	3,78	29,26	22,17	32,27	9,64	2,91
Mohn, fjellområder NV	5,22	26,43	27,85	29,44	9,12	1,93
Mohn, fjellområder SØ	18,65	36,94	24,93	15,47	3,36	0,65
Lofotenbassenget	79,68	11,43	4,23	4,23	0,40	0,03
V. Jan Mayen bruddsone	14,12	37,06	22,74	19,32	5,57	1,17
Ø. Jan Mayen bruddsone	36,57	51,12	7,41	3,92	0,76	0,22
Jan Mayen-ryggen	13,29	61,51	17,47	6,62	0,94	0,16
Hele området	35,05	33,14	15,28	12,54	3,03	0,96

6. Hydrotermiske felt

Hydrotermiske felt står i en særstilling som naturtype. De er en del av komplekse vannsirkulasjonssystemer som kobler geosfæren, hydrosfæren og biosfæren sammen, og som gir opphav til særegne økosystemer: Den vulkanske aktiviteten frakter geotermisk energi fra jordens mantel mot havbunnen. Denne varmeenergien fører til omfattende hydrotermisk sirkulasjon av sjøvann i havbunneskorpen. Dette resulterer i oppløsning og utfelling av mineraler og til dannelselse av marine mineralforekomster. Slike vann-mineral reaksjoner fører også til dannelselse av kjemiske energibærere som hydrogen (H₂), metan (CH₄), sulfid (S²⁻) og ferrojern (Fe²⁺) som nyttiggjøres i mikrobiell metabolisme. Slike kjemiske energibærere gir opphav til kjemosyntetiske økosystemer både under havbunnen (dyp biosfære), på havbunnen og i vannmassene over de hydrotermiske feltene. På denne måten er geologi og biologi knyttet



Figur 17. Kart over Norskehavet som gir en oversikt over aktive hydrotermiske felt, fossile sulfidavsetninger og hydrotermiske skyer som er blitt påvist i vannsøylen. Kartet viser også områder der manganskorper med tykkelse omkring 20 cm til nå er blitt påvist.

sammen. Forståelse av disse geobiologiske interaksjonene har vært et sentralt tema for den grunnleggende forskningen som denne sammenstillingen bygger på.

Som landskapstrekk er hydrotermiske felt relativt beskjedne. På havbunnen er det hydrotermiske området ofte mindre enn noen hundre meter i diameter, og de fleste feltene kan knapt sees på kart samlet inn med overflatefartøy. Feltene opptrer vanligvis med avstander på

flere titalls kilometer, og ved ultra-sakte spredningsrygger er den gjennomsnittlige avstanden estimert til å være omkring 100 km (Baker og German, 2004). Dette samsvarer med den hydrotermiske aktiviteten langs de dypere delene av Mohnsryggen, der fire aktive områder til nå er blitt påvist over en rygg lengde på 450 km (Stensland et al. 2019b).

Innenfor norske områder er syv hydrotermiske felt blitt lokalisert på havbunnen (Figur 17) (Pedersen et al. 2010a, 2010b; Baumberger et al. 2016a, 2016b, 2021; Stensland et al. 2019a, 2019b; Marques et al. 2020; Denny et al. 2021). Ytterlige tre områder med hydrotermisk aktivitet er blitt påvist basert på anomalier i vannsøylen (Stensland et al. 2019b, Conelly et al. 2007). Ved disse kjente feltene er det store variasjoner i en rekke miljøparametere. De opptrer på havdyp som varierer fra 100 til 3000 m, de er knyttet til ulike geologiske miljø, og de viser store forskjeller i vanntemperatur og i vannkjemi. Dagens kunnskap gir et bilde av omfang og diversitet av den hydrotermiske aktiviteten langs norske ryggsegmenter, og hvilke type hydrotermiske habitater og økosystemer som kan forventes å opptre i disse havområdene.

6.1 Hydrotermiske naturtyper

Hydrotermisk aktivitet er vannsirkulasjon som drives av geotermisk varme. Vannet som sirkulerer i jordskorpen er sjøvann som gjennom vann-mineral reaksjoner endrer sammensetning og blir til hydrotermiske fluider (inkluderer vandige løsninger, gasser og superkritiske faser). Magma som stiger opp fra den underliggende mantelen er hovedkilden til den geotermiske energien som driver denne vannsirkulasjonen. Høytemperatur hydrotermisk aktivitet er derfor størst innenfor den neovulkanske sonen hvor den magmatiske aktiviteten og det meste av den geotermiske energien er lokalisert. Her er det også stor forkastningsaktivitet som fører til lokale soner med høyere permeabilitet. Disse kanalisere den hydrotermiske sirkulasjonen, og hydrotermiske felt er derfor ofte knyttet til forkastningssoner som ligger på eller nær unge vulkanske områder.

Et hydrotermisk system består av tre hoveddeler: 1) vannsirkulasjonssystemet i fjellgrunnen; 2) området der de hydrotermiske fluidene strømmer ut fra havbunnen og danner et hydrotermisk felt; 3) vannmassene over feltet som de hydrotermiske fluidene blander seg med (benevnes på engelsk som "hydrothermal plume", fornorsket her til hydrotermisk sky).

6.1.1 Habitater under bunnen

Det hydrotermiske sirkulasjonssystemet under havbunnen deles inn i nedstrømsone, reaksjonssone, og oppstrømsone. Sirkulasjonssystemet strekker seg vanligvis 2-4 km under havbunnen. I reaksjonssonen foregår vann-mineralreaksjonene ved temperaturer som gjerne overstiger 400°C. I nedstrømsonen, og i andre perifere deler av systemet der temperaturen er lavere enn 120°C, understøtter den hydrotermiske aktiviteten mikrobielle økosystemer (Kelley et al. 2002; Lysnes et al. 2004; Einen et al. 2008).

6.1.2 Habitater ved hydrotermiske felt

Området der vannet strømmer ut av havbunnen representerer naturtyper som er karakterisert av store gradienter i temperatur og kjemisk sammensetning. Utfelling av mineraler fra fluidene skaper karakteristiske mineralformasjoner, landskapstrekk og habitater. Utstrømming av fluidene kan være fokusert gjennom kanaler, eller foregå diffust over et større eller mindre område ved porøs strømming gjennom sedimenter og andre permeable avsetninger.

Kombinasjonene av kanalisert utstrømming og rask utfelling av mineraler fører til dannelse og vekst av **hydrotermiske skorsteiner** som i hovedsak består av metallsulfider, sulfatmineraler og silika (Figur 18). Disse kan nå en høyde på flere titalls meter. Skorsteinene er et habitat for mikrobielle samfunn og for høyerestående organismer. Det er et habitat med skarpe temperatur og kjemiske gradienter som oppstår ved at hydrotermiske fluidere, som strømmer

gjennom kanaler i skorsteinen, blander seg med sjøvann på utsiden av i de porøse skorsteinsveggene.

Skorsteiner vokser både i høyde og omkrets og når til slutt en størrelse der de raser sammen under sin egen vekt - gjerne i forbindelse med jordskjelv. Nye skorsteiner vokser da opp rundt utstrømningskanalen. Denne syklusen fører til at det gradvis samler seg mineralavsetninger rundt utstrømninger, og at **hydrotermiske hauger** bygges opp. Disse haugene kan bli flere hundre meter i diameter, og de danner landskapstrekk som sees på detaljerte bunnkart (Figur 19 og 20). De hydrotermiske haugene blir remineralisert av fluider som strømmer gjennom avsetningene, og slike remineraliserte indre deler kan ble eksponert og stå frem som mer massive **knauser, vegger og rygger** (Figur 20). Hydrotermiske felt består derfor av en rekke ulike habitater. De har partier med hard bunn, og områder med rasavsetninger og med mer finkornete avsetninger.

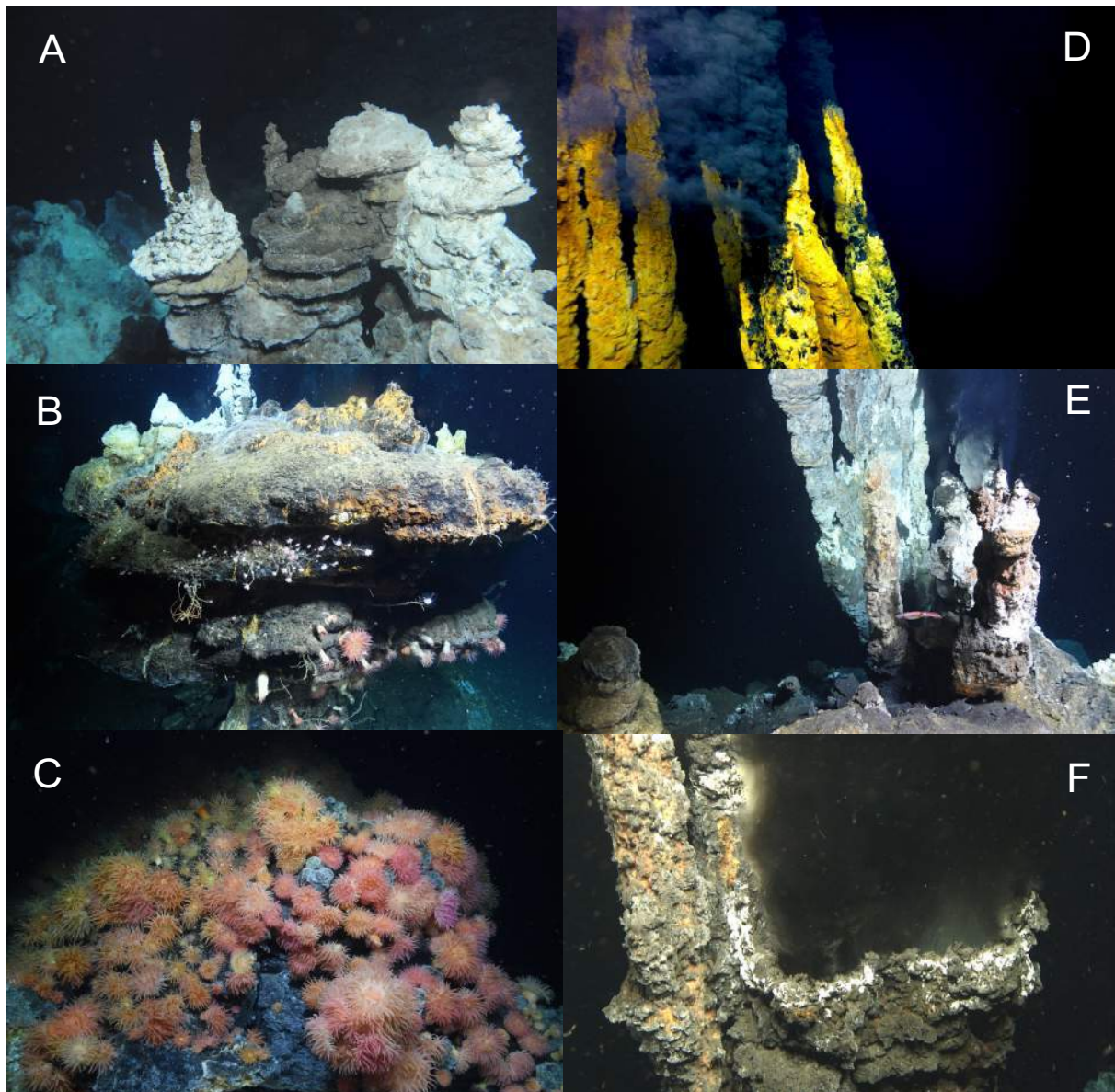
Hydrotermiske fluider strømmer stedvis diffust ut gjennom mineralavsetningene. I slike områder er det også bratte temperatur- og sammensetningsgradienter. Mens overflaten er i kontakt med sjøvann med temperatur omkring null grader, kan temperaturen noen få centimeter under overflaten være over hundre grader. I områder med diffus lavtemperaturutstrømning er det alltid mikrobiell vekst (Figur 18A), som gir grunnlag for kjemosyntetiske økosystemer.

Der hydrotermiske fluider har temperaturer som er lavere enn grensen for liv (ca. 120 °C) kan mikroorganismer bidra til mineralutfellingsprosessen (biomineralisering). Jernhydroksidutfellinger er vanlige ved flere av de hydrotermiske feltene i norske farvann (Trollveggen, Soria Moria, Fåvne). Det er godt dokumentert at slike avsetninger dannes ved et samspill mellom biotiske og abiotiske prosesser (e.g. Moeller et al. 2014; Haukelisæter 2017; Johannessen et al. 2017, 2020; Lyngveit 2017). Barytt- og silika-utfellinger kan også bli dannet ved et samspill mellom uorganiske og biologiske prosesser (Eickmann et al. 2014, 2020; Landro 2016; Steen 2016; Johannessen et al. 2020). Denne type mineraliseringer finnes blant annet ved Lokeslottet (Figur 20). Slik lavtemperatur hydrotermisk aktivitet gir opphav til særegne habitater.

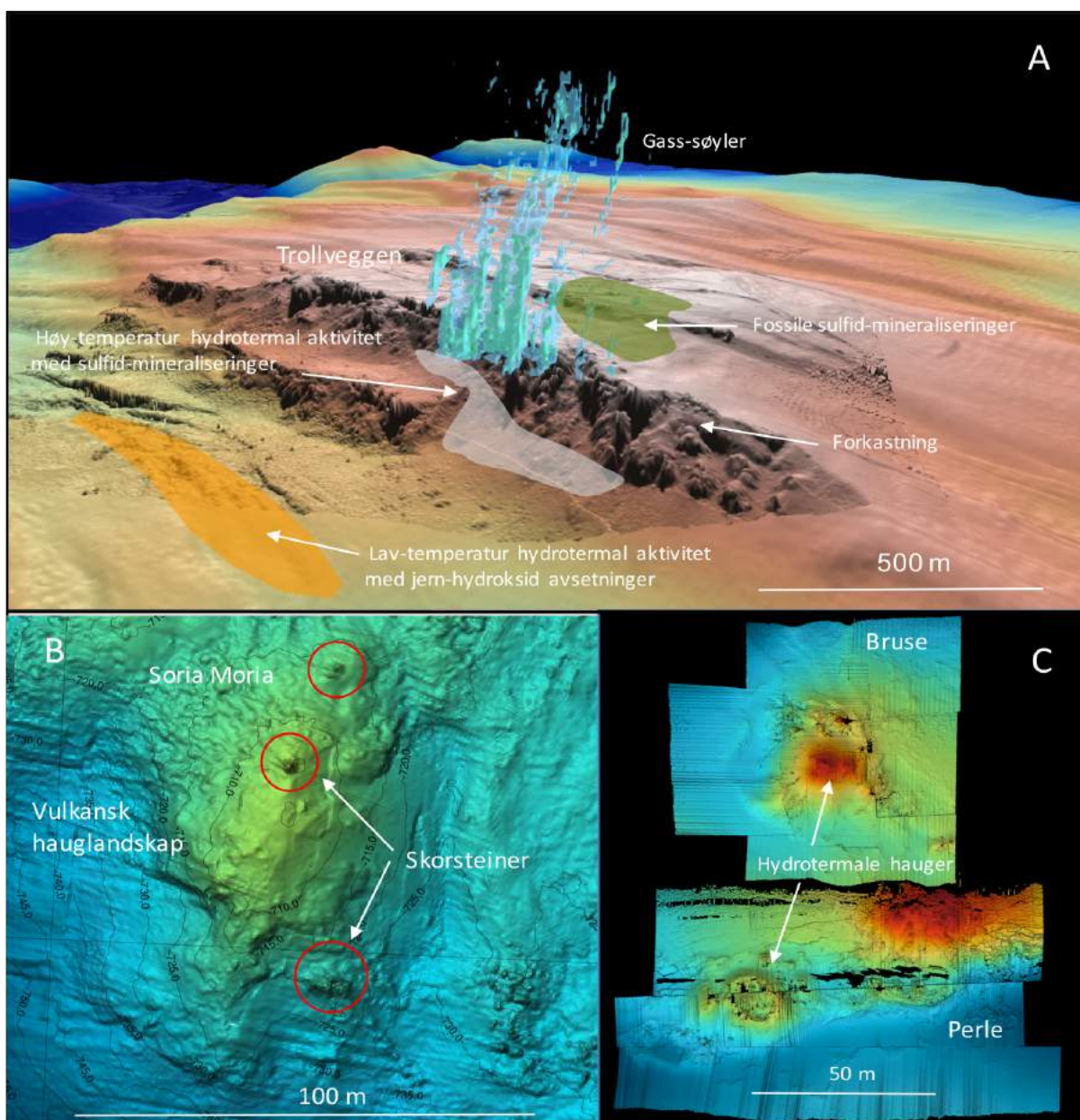
6.1.3 Hydrotermiske skyer

Hydrotermisk vann med høy temperatur har betydelig lavere tetthet enn sjøvann og stiger derfor opp som en hydrotermisk vannsøyle (boyant plume) som blander seg gradvis med vannmassene. Turbulent blanding fører til at oppdriften forsvinner og at vannet så brer seg sidelengs ut i vannmassene som en hydrotermisk sky (nonboyant plume). Oppstigningshøyden avhenger av temperatur/tetthet til det hydrotermiske vannet og tetthetsgradienten til vannmassene. En stigningshøyde over utspringet på 200-300 m er vanlig i norske havområder (Figur 21) (Stensland et al. 2019b).

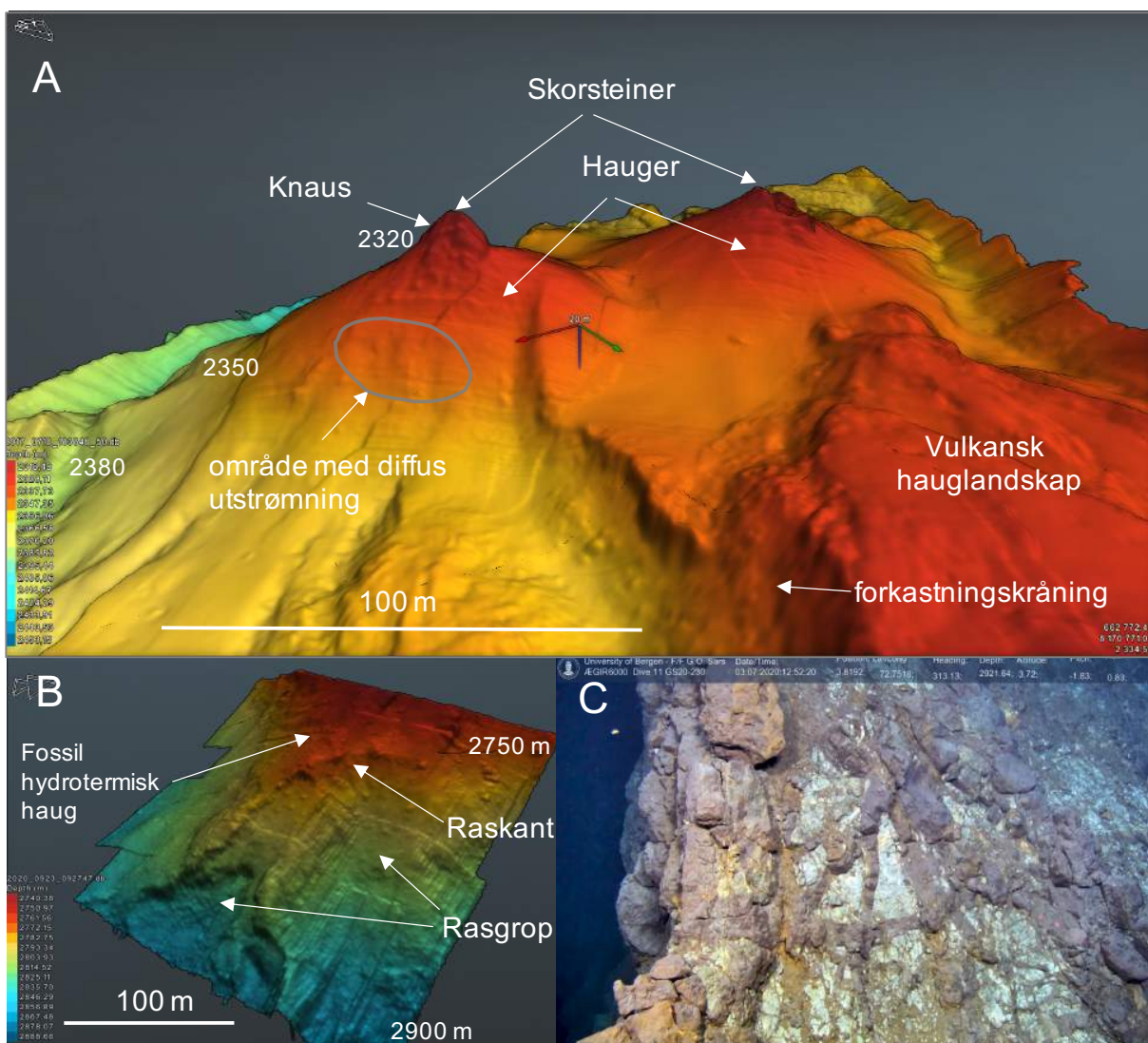
Det hydrotermiske vannet bringer med seg mineralpartikler, oppløste ioner og gasser. Disse påvirker habitatene i vannmassen og på bunnen rundt de hydrotermiske feltene. Like ved utspringet sees mineralpartiklene som en svart, grå eller hvit partikkelsky (derav black/white smoker). De største og tyngste partiklene faller ut av skyen nær kilden og disse akkumuleres derfor på havbunnen rundt feltet. Dette bidrar til oppbyggingen av mineralhaugene, og til naturlig spredning av tungmetallholdige mineraler til områdene rundt feltet (Olsen, 2016).



Figur 18. Eksempler på skorsteinstrukturer som danner ulike habitater. **A)** Bilde av sammensatte skorsteinstrukturer med flens-liknende utspring. Hydrotermale fluider strømmer ut under utspringene der mineraler felles ut og skaper et utover-rettet vekstmønster. Hvite bakteriematter vokser fortrinnsvis i områder med porøs utstrømning gjennom skorsteinsveggen (fra Soria Moria feltet). **B)** Skorstein med flensstrukturer som danner habitat for ulike typer organismer. Områder med hvite bakteriematter viser den aktive delen av skorsteinsstrukturen (fra Soria Moria feltet). **C)** Porøs utstrømning av fluider gjennom en hydrotermal knaus som danner et fast substrat for sjøanemoner (fra "Syv Søstre"). **D)** Skorsteiner med kanalisert utstrømning av metallrike fluider ("black smoker"). Skorsteinsveggene er dekket av brungule bakteriematter som i stor grad består av jern-oksyderende mikroorganismer (se mikrobiologiavsnitt i delrapport II) (fra Fåvne feltet). **E)** Skorsteiner med kanalisert utstrømning av metallfattige fluider ("white smoker"). Skorsteinsveggene er til dels dekket av hvite bakteriematter som i stor grad består av svoveloksiderende mikroorganismer (se mikrobiologi avsnitt i delrapport II) (fra Soria Moria feltet). **F)** Skorsteinsåpning med utstrømning av 320°C metallrike fluider. Fluidene, som har mindre tetthet enn sjøvannet, stiger 200-300 m opp i vannkolonnen mens de blander seg med sjøvann. Der oppdriften opphører brer de seg lateralt ut i vannmassene og danner en hydrotermal sky.



Figur 19. Eksempler på hydrotermale landskapstrekk ved de grunne sørlige delene av ryggsystemet. **A)** Trollveggen feltet ligger i et område med pyroklastiske vulkanske avsetninger og aktiv forkastningsaktivitet. Feltet dekker relativt store områder og består av: 1) fossile mineralavsetninger; 2) et aktivt område med høy-temperatur utstrømning (270 °C) og pågående skorstein- og haugdannelse langs en forkastningssone; 3) et lav-temperatur område med diffus utstrømning av lavtemperatur fluider (10-20 °C), og oppbygging av jernhydroksid avsetninger ved biomineralisering. **B)** Soria Moria feltet ligger i et vulkansk hauglandskap og er karakterisert ved høy- og lav-temperatur utstrømning langs en mindre forkastningssone. Her er det også pågående oppbygging av skorsteinstrukturer og avsetninger dannet ved biomineralisering. Haugutvikling er i et tidlig stadium, og skorsteiner bygges direkte på lavastrømmer. **C)** Ved Perle og Bruse feltet er haugutviklingen kommet noe lenger, og de aktive skorsteinene er her knyttet til mindre hauger.



Figur 20. **A)** Perspektivkart over Lokeslottet som viser to relativt store hydrotermiske hauger som delvis har vokst sammen. Haugene består av skorsteinsfragmenter som er blandet med nedfall fra den hydrotermiske vannsøylen og med hemipelagiske sedimenter. I den øvre delen av haugene er det knauser og vegger der massive mineraliseringer er eksponert. På toppen av disse områdene er det skorsteiner som er opp mot 15 meter høye. Ved den østlige haugen er det et område med pågående diffus utstrømning av lavtemperatur fluider og vekst av små baryttskorsteiner (baryttfeltet). Dette området representerer et viktig habitat. **B)** Perspektivkart over Gnitaei som representerer en fossil sulfidavsetning. Avsetning er knyttet til en hovedforkastning som avgrensers aksedalen. Overflaten på den hydrotermale haugen er delvis intakt og her finnes det harde silifiserte avsetninger (jaspis). Den sørøstlige delen av avsetningen har rast ut og flere rasgroper kan sees på kartet. Ved Mohnsskatten, som ligger lenger øst på Mohnsryggen, har også deler av avsetningen rast ut. Den høye egenvekten til slike avsetningene er trolig en medvirkende årsak til disse utrasingene. Rasgroper kan derfor være et karakteristisk landskapstrekk for mineralavsetninger som dannes i sterkt skrånende terreng. **C)** Bilde fra Gnitaei som viser den indre delen av den hydrotermiske haugen som er blottlagt i et bratt parti av rasgroppen. Blotningen eksponerer et nettverk av årer bestående av massive sulfider som krysser gjennom en tidlige fase av mineraliseringen.

Mindre partikler holdes lengre i suspensjon og spres over større områder og bidrar til at den hydrotermiske skyen kan detekteres og kartlegges med partikkeltellere. Jern og andre overgangsmetaller som er oppløst i det hydrotermiske vannet som reduserte ioner (i.e. Fe^{2+} Mn), blir gradvis oksydert og felles ut fra skyen som hydroksid-mineraler og bidrar da til

dannelse av metallrike sedimenter som kan utvikles i store områder ved spredningsryggene (f.eks. ved Stillehavstryggen). Slike områder kan representere en metallressurs og de representerer også et spesielt bunnhabitat. I norske områder finnes det metallrike sedimenter kun i nærheten av de hydrotermiske feltene. I Norske-Grønlandshavet ligger forholdene ikke til rette for dannelse av store områder av metallrike sedimenter, da den hydrotermiske fluksen er svært lav (Stensland et al. 2019b), og fordi sedimentasjonshastigheten er høy slik at de relativt små hydrotermiske metallutfellingene fortynnes av andre sedimenter (Flesland et al. 2021; Stubseid et al. 2021). Hydrotermiske skyer transporterer også oppløste gasser (hydrogen, metan, helium) inn i vannmasene. Disse fortynnes gradvis, og med unntak av helium og andre edelgasser forbrukes gassene i biotiske og abiotiske reaksjoner. Hydrogen og metan representerer potensielle energikilder for mikrobiell primærproduksjon i skyen. Ved Lokeslottet er fluksen av hydrotermisk vann estimert til 40 millioner tonn/år, og fluksen av metan er derved ca. 10.000 tonn/år (Stensland et al. 2019b) (se også Rikter-Svendsen et al. 2021).

6.2 Hydrotermiske felt

Lokeslottet er lokalisert ved nordøstligste delen av Mohnsryggen (73°34'N, 8°9'Ø). Feltet ligger på 2400 m dyp i den sentrale delen av en 30 km lang og 800 m høy aksial vulkansk rygg. Hydrotermiske mineralavsetninger danner her to haug-strukturer som hver er omkring 100 m i diameter, og som er 20-40 m høy (Figur 12A). De hydrotermiske haugene er avsatt direkte på et vulkansk hauglandskap som i hovedsak består av putelava.

Ved de hydrotermiske haugene er det knauser av massive sulfider i de høyeste områdene, og på toppen av de to haugene er det skorsteiner som er opp mot 13 meter høye. I de 12 årene vi har studert dette feltet har det vært fem aktive skorsteinsstrukturer (utstrømningskanaler). Disse har endret størrelse og fasong i løpet av disse årene. Noen har rast sammen for så å bli bygget opp igjen. I 2017 forårsaket et stort jordskjelv betydelige ødeleggelser av skorsteinene og flere av strukturene raste helt eller delvis sammen. Skjelvet påvirket i liten grad de dypereliggende delene av det hydrotermiske sirkulasjonssystemet og utstrømningen har fortsatt ved de samme fem utstrømningskanalene. I brattskrentene under toppen av haugene ligger det fragmenter av nedraste skorsteiner og i de slakere distale områdene mer finkornet hydrotermisk rasmateriale. Her er rasavsetninger blandet med finkornet nedfall fra den hydrotermale skyen, og med hemipelagiske sedimenter.

De hydrotermiske fluidene som strømmer ut av disse skorsteinene har temperaturer opp til 220 °C. Fluidene har høye metan-konsentrasjoner, men de har relativt lave sulfid- og metall-konsentrasjoner (Pedersen et al. 2010a, Baumberger et al. 2016a, Baumberger et al. 2016b). Prøver fra skorsteiner og fra overflaten av mineralavsetningene viser også moderate kopper-konsentrasjoner (Cruz, 2015, Snook et al. 2018, Strmic Palinkas et al., 2021).

Diffus utstrømning av fluider gjennom rasavsetningene forekommer langs skråningen av den østlige haugen (Figur. 12A). Utfelling av barytt (BaSO_4) fra disse fluidene har ført til dannelse av små skorsteinsstrukturer (Eickmann et al. 2014, Eickmann et al. 2020). Fluidene som strømmer ut ved "baryttområdet" har temperaturer opp mot 20 °C, og de reduserte kjemiske komponentene i fluidene gir opphav til et særegent økosystem som er basert på mikrobiell primærproduksjon (Eickmann et al. 2014, Steen et al. 2016).

De haugdannede hydrotermiske avsetningene ved Lokeslottet dekker et område på 43.000 m². Høytemperatur-utstrømningen foregår innenfor et område på 1000 m², og lavtemperatur utstrømningen knyttet til baryttområdet dekker et areal på 1200 m² (Rikter-Svendsen et al., 2021). Omkring dette området er det påvist betydelig nedfall av hydrotermiske partikler innenfor en avstand på 500 meter fra feltet. Dette området strekker seg trolig mye lenger, men er ennå ikke blitt avgrenset.

Fåvne ligger på 3000 m dyp i den sentrale delen av Mohnsryggen (72°45'N, 3°50'Ø). Feltet, som ble oppdaget i 2018 av Oljedirektoratet (Stenløkk et al., 2019), ligger tett inntil foten av en 500 m høy forkastningsskråning som avgrensner aksedalen mot fjellområdene i nordvest. Sørøst for feltet er det en stor aksial vulkansk rygg. Feltet ligger på et flatt område som består av lava som er overlatt av et sedimentlag på omkring en halv meter.

Feltet består av ni hydrotermale haugstrukturer som har stor variasjon i hydrotermisk aktivitet. Ved to av haugene er det kraftig utstrømning av svart, mineralrikt hydrotermalt vann fra rekker av høye slanke skorsteiner. Høytemperatur hydrotermal aktivitet er også påvist ved tre andre hauger. I resten av området er det nå kun lavtemperatur hydrotermal aktivitet (Pedersen et al. 2021). Denne har ført til dannelse av store haugstrukturer og skorsteinskomplekser der de ytre delene består av jern-hydroksidutfellinger som danner et særegent habitat. De hydrotermale fluidene har en temperatur på opptil 280°C, og fluidene er rik på oppløste metaller og hydrogen (Boonnawa, 2021). Deler av mineralavsetningene er anriket i kopper og kobolt og andre deler i sink (Pedersen et al., 2021, Sahlstrøm et al., 2021).

Fåvne feltet dekker et areal på 40.000 m², og høytemperatur-utstrømningen er konsentrert innenfor et område på 1000 m². Sedimentene i og omkring Fåvne har relativt høye konsentrasjoner av tungmetaller. Til nå er det påvist slike anrikninger i en avstand av 1,5 km fra feltet.

Ægirs kilde ligger på 2300 m dyp i den sentrale delen av Mohnsryggen (72°20'N, 1°31'Ø), omkring 90 km sørvest for Fåvne. I likhet med Lokeslottet ligger feltet på en aksial vulkansk rygg, og i tilknytning til en mindre normalforkastning. Feltet ligger i et vulkansk hauglandskap som er blitt dannet i løpet av de siste 30.000 årene.

Feltet består av fem til seks klynger med skorsteiner som delvis er blitt bygget opp på rasavsetninger ved foten a forkastningen. Med unntak av en 10 meter høy struktur, er skorsteinene små, og mineralavsetningene ved feltet er også ubetydelige. Mineralavsetningene i området inneholder lite kopper, med de er anriket i sink (Hornenes, 2017). Fluidene har temperaturer opp til 270 °C, og de er lite farget av mineralpartikler og er derfor metallfattige. Dette samsvarer med sammensetningen av mineralavsetningene. Som ved de andre feltene skaper diffus utstrømning av fluider på skorsteinsveggene og på havbunnen omkring grobunn for kjemosyntetiske økosystemer. Feltet dekker et areal på omkring 5000 m².

Soria Moria, Trollveggen og Perle & Bruse er tre hydrotermiske felt som ligger på det sørvestligste segmentet av Mohnsryggen omkring 80 km øst for Jan Mayen. Disse feltene omtales gjerne som "Jan Mayen feltene". Dette ryggsegmentet er sterkt påvirket av mantelanomalien ved Jan Mayen, og havbunnskorpen er derfor uvanlig tykk. Ved den sentrale delen av ryggsegmentet er derfor vanddypet grunt og når dybder på omkring 500 m. Området har derfor oseanografiske forhold som er svært forskjellig fra de dypereliggende feltene lenger nord langs Mohnsryggen.

Soria Moria ligger i et vulkansk hauglandskap på 750 m dyp (71°16'N, 5°49'V). Feltet består av flere små mineralavsetninger som er bygget direkte på putelava (Fig. 19B). Mineralavsetningene varierer fra slanke skorsteiner til komplekse strukturer med flenser og overflater som representerer mikromiljøer for kjemosyntetiske økosystemer. Ved feltet finnes det også områder med jernhydroksid utfellinger som dannes med diffus utstrømning av lavtemperatur fluider. Som ved de andre feltene representerer slike lavtemperatur-avsetninger særegne habitater som til dels dannes ved biomineralisering.

Perle & Bruse ligger 3,5 km øst for spredningsaksen der den vulkanske havbunnen er dekket av sedimenter (71°17'N, 5°40'V). Feltet består av to adskilte hydrotermale områder som ligger 360 m fra hverandre (Fig. 19C). Begge feltene består av en hydrotermisk haug der fargeløse,

mineralfattige fluider strømmer opp fra relativ små skorsteiner. De hydrotermale haugene er 30-50 m i diameter og opp til fem meter høy. Havbunnen mellom de to feltene er til dels sterkt oppsprukket og langs sprekkesonene opptrer det bakteriematter som synligjør den pågående diffuse utstrømning av fluider fra disse områdene. Også her er det store partier med jernhydroksid-avsetninger (Denny et al., 2021).

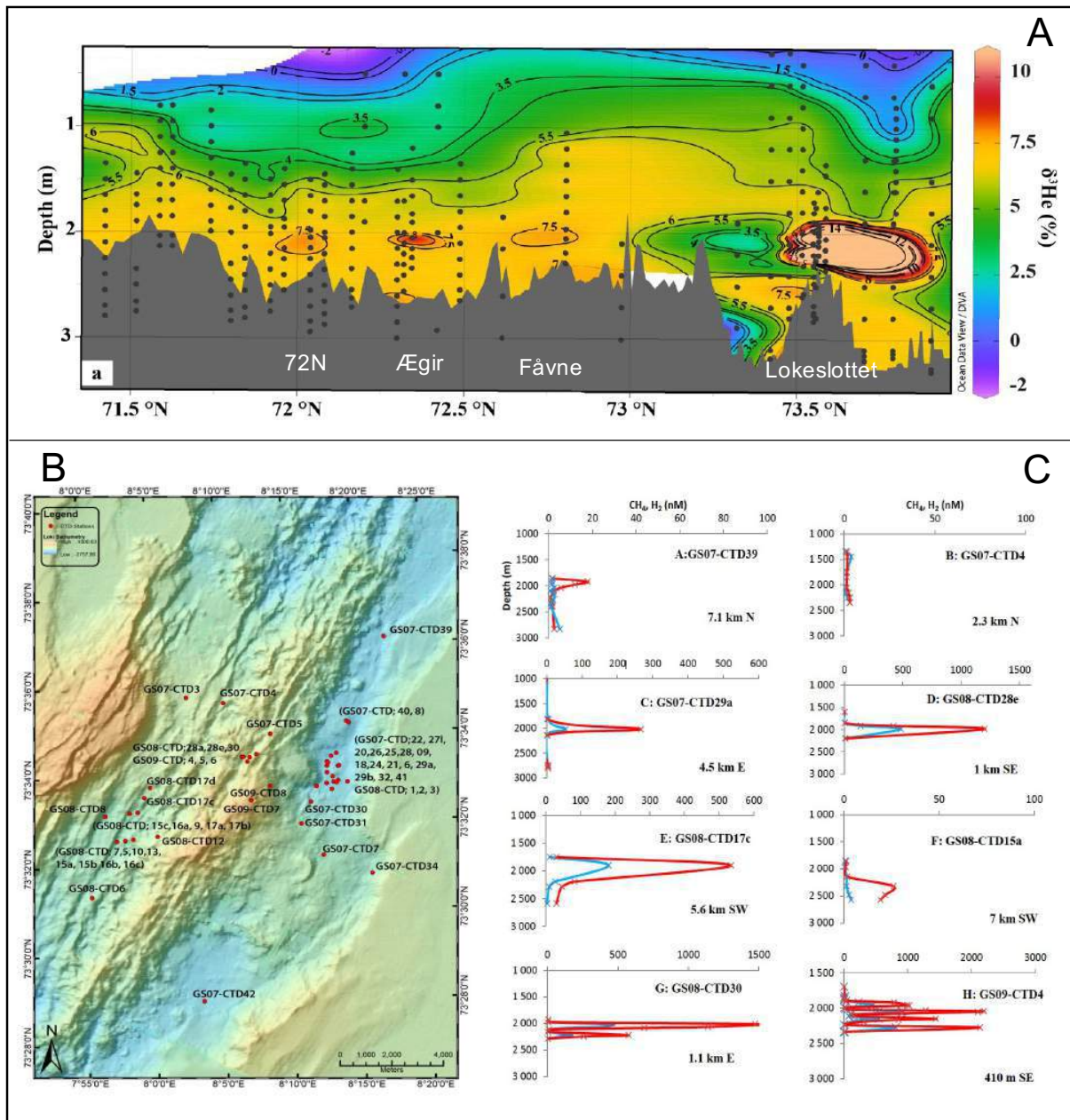
Trollveggen ligger på 550 m dyp der spredningsaksen passerer det grunneste området av Mohnsryggen (71°18'N, 5°46'V). Den hydrotermiske aktiviteten er også her knyttet til en normalforkasting med bratte skrenter og steile fjellvegger (Fig. 19A). Det hydrotermiske feltet strekker seg omkring 1 km langs forkastningen, og et titalls langstrakte haugstrukturer med rekker av skorsteiner er utviklet langs forkastings-skråningen. De hydrotermiske mineralavsetningene er bygget opp på rasavsetninger, og diffus utstrømning av fluider gjennom rasavsetningene skaper bunnhabitater for kjemosyntetiske økosystemer. Høytemperatur hydrotermisk aktivitet opptrer innenfor et areal på ca. 50.000 km³. Ved dette feltet er det større områder der jern-hydroksid avsetninger blir dannet ved biomineralisering knyttet til lav-temperatur hydrotermal aktivitet (Johannessen et al., 2017). Sonarbilder fra områdene ved Trollveggen og Perle & Bruse viser at det er klare tegn til hydrotermal påvirkning av havbunnen over et samlet areal av 0,5 km² (Denny et al. 2021).

Sulfidavsetningene ved Jan Mayen feltene har lave konsentrasjoner av kopper, men har til dels et høyet sink-innhold (Cruz, 2015, Hornenes, 2017). Ved alle feltene har fluidene temperaturer opp mot 270 °C som er kokepunktet for hydrotermal fluider ved disse dybdene. Fluidene er også svært rik på CO₂ (Stensland et al.2019a, Baumberger et al. 2021). Ved alle feltene, og særlig ved Perle & Bruse, dannes det gassbobler som består av CO₂ og mindre mengder metan (CH₄). Disse gass-søylene stiger helt til overflaten og påvirker pH verdiene i vannet omkring feltene (Fig. 22) (Stensland et al. 2019a).

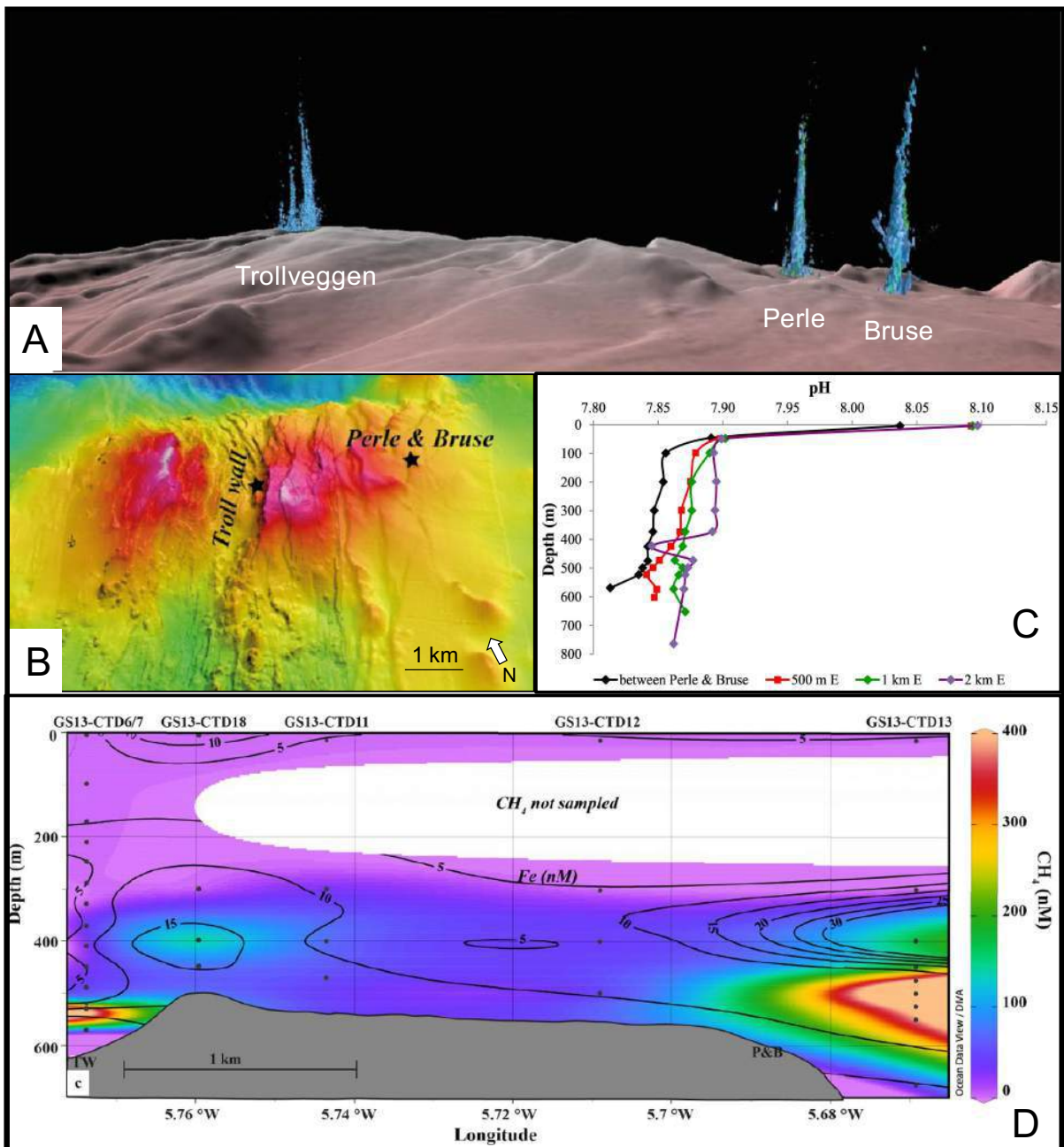
Syv Søstre er lokalisert 170 km nordvest for Jan Mayen ved den grunneste delen av det nordligste segmentet av Kolbeinseyryggen (71°5'N,12°50'V). Feltet er knyttet til en kjede av syv vulkaner i dette uvanlig grunne området av spredningsryggen. Den hydrotermiske aktiviteten foregår hovedsakelig på toppen av disse vulkanene (Figur 4B & D). Det hydrotermiske området dekker et område på 160.000 m². Feltet ligger på omkring 120 m dyp, og er det eneste av de norske varme kildene som ligger i den fotiske sonen. Radiometrisk datering viser at feltet har vært aktivt i minst 4600 år (Marques et al., 2020).

De hydrotermiske mineralutfellingene danner irregulære og knudrete spir, knauser og større hauger. Fluid-utstrømningen skjer diffust gjennom mineraliseringene, men er stedvis også kanalisert gjennom mindre åpninger. Områder med hydrotermal utstrømning gir grobunn for bakteriematter og kjemosyntetiske økosystemer. Mineraliseringene danner også et fast substrat for bentiske organismer som på dette dypet har rik tilgang til næring fra den fotosyntetiske primærproduksjonen. Syv Søstre utgjør derfor et unikt habitat der organismene er omgitt av både kjemosyntetisk og fotosyntetisk primærproduksjon.

Barytt er et hovedmineral i disse utfellingene. Mineraliseringene inneholder også sulfider og sulfosalter med sink (Zn), kopper (Cu), bly (Pb) og sølv (Ag). Avsetningene inneholder flere andre miljøfarlige elementer som thallium (Tl), arsen (As), antimon (Sb) og kvikksølv (Hg) (Marques et al., 2020). Fluidene som strømmer ut fra feltet har temperaturer på opptil 200 °C, som er kokepunktet ved dette dypet. Også her skiller det ut gass som inneholder 80% CO₂ og 4% CH₄ (metan), og som danner søyler av gassbobler som går til overflaten (Marques et al., 2020).



Figur 21. A) Konturdiagram som viser $\delta^3\text{He}$ verdier i vannmassene over Mohnsryggen (langs aksedalen). Høye $\delta^3\text{He}$ verdier viser områder med hydrotermal aktivitet (Lokeslottet, Fåvne, Ægir, og et hydrotermalt felt ved 72°N som ikke er blitt lokalisert på havbunnen). De forhøyede ^3He verdiene i de dypere vannmassene skyldes tilførsel av helium fra hydrotermal aktivitet, og variasjonene illustrerer hvordan helium og andre konservative elementer og forbindelser transporteres og blandes med vannmassene i Norske-Grønlandshavet (fra Stensland et al. 2019b). **B)** Bunnkart over områdene ved Lokeslottet der stasjoner for vannkolonnemålinger er avmerket. **C)** Diagram som viser metankonsentrasjoner plottet mot vanddyb ved utvalgte stasjoner. Distinkte toppe i metanverdiene viser utbredelsen og dybden ned til den hydrotermale skyen. (fra Stensland, 2013).



Figur 22. A) Perspektivkart som viser gassutslipp fra tre hydrotermale felt ved det sørlige grunne segmentet av Mohnsryggen (Trollveggen, Perle og Bruse). Gassen består i hovedsak av CO₂ med mindre mengder metan (CH₄). B) Bunnkart over området som viser beliggenheten av de tre feltene. C) Diagram over pH verdier i vannprøver fra ulike dyp ved fire stasjoner med ulik avstand fra feltene. Området like ved Perle og Bruse feltene har de laveste pH-verdiene, og verdiene øker så gradvis vekk fra feltet. Dataene tyder på at de hydrotermale CO₂ utslippene forsure vannmassene nesten helt til overflaten. D) Konturdiagram som viser metan- (CH₄) og jern-konsentrasjoner (Fe) i sjøvannsprøver innsamlet langs et profil som krysser de hydrotermale feltene (Trollveggen (TW) og Perle & Bruse (PB)). Diagrammet viser anrikninger i metan og jern ved feltene, og det illustrerer hvordan hydrotermal aktivitet tilfører energibærere og næringsstoffer til vannmassene. (illustrasjoner hentet fra Stensland et al. 2019a).

7. Oseanografi

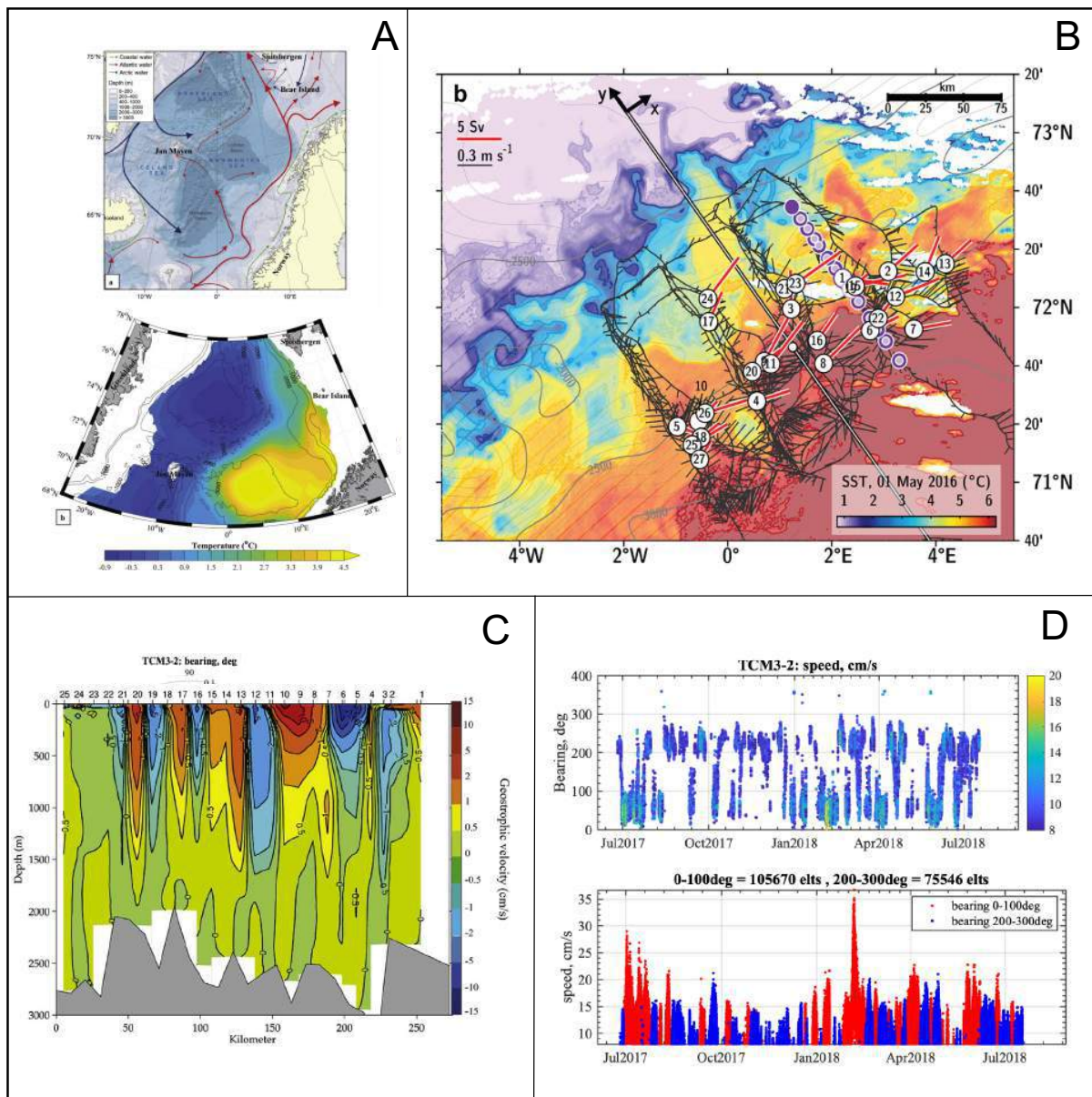
De dype bassengene i Norske-Grønlandshavet er isolert fra Atlanterhavet av Grønland-Island-Færøyene ryggen, som har sitt dypeste punkt på rundt 850 m (Figur 23A). I tillegg utgjør Island en landbarriere på midthavsryggen ved 65°N. I nord er det dyphavsforbindelse til Polhavet gjennom Framstredet, der Grønland-Spitsbergen terskelen har en dybde på rundt 2500 m. Videre er Polhavet forbundet med det nordlige Stillehavet gjennom Beringstredet, der den største dybden er på rundt 50 m. På østsiden av Svalbard ligger Barentshavet som et relativt grunt område mellom Norskehavet og Polhavet (gjennomsnittlig dybde er 230 m, og det dypeste området er på 600 m ved Bjørnøyrenna).

Vannsøylen er delt inn i distinkte lag med karakteristisk temperatur og salinitet, som er styrt av det lokale klimaet i overflatelaget der vannmassene dannes. Forskjellen i salinitet og temperatur mellom de ulike vannmassene danner grunnlaget for termohalin sirkulasjonen i verdenshavene. Strømmene i de Nordiske havene er i hovedtrekk dominert av en grunnere havstrøm som går nordover på den østlige siden, og en dypere havstrøm som går sørover på den vestlige siden, og for så å flomme over ryggen mellom Island og Grønland (Hansen & Østerhus, 2000).

Bunntopografien styrer i stor grad strømmene og utvekslingen av vannmasser mellom bassengene. Havstrømmene som fører varmt atlantisk vann nordover er delt i to grener (Orvik & Niiler, 2002) (Figur 23A). Kystrømmen følger den norske sokkelkanten nordover og fortsetter så til Barentshavet og til Framstredet. En vestlig gren følger 2000 m dybdekoten langs Vøring-plataet og videre langs Mohns- og Knipovichryggen (Orvik & Niiler, 2002). Denne strømmen bidrar til dannelsen av en Arktisk frontzone som følger Mohnsryggen og som består av to semipermanente frontgrensesnitt med varmt og salt norsk atlantisk vann i øst, og kaldt arktisk vann fra Grønlandshavet i vest. De to frontgrensesnittene definerer et område med sykloniske kaldvirvler og antisykloniske varme virvler med horisontale skalaer i størrelsesorden 40–50 km (Van Aken, 1995; Stensland et al. 2019b). Dette frontsystemet er antatt å bidra med omtrent halvparten av den totale transporten av atlantehavsvann nordover (Orvik et al., 2001; Gascard et al., 2004; Walczowski et al., 2005; Høydalsvik et al., 2013; Bosse og Fer, 2019). Dette skaper et unikt miljø i vannsøylen over Mohnsryggen som fører til utveksling av vannmasser mellom Norske- og Grønlandshavet på tvers av ryggen (van Aken et al., 1995, Segtnan et al., 2011), samt vertikale bevegelser og transport av næringsrikt bunnvann med hydrotermiske komponenter mot overflaten (Stensland et al. 2019b).

I Norske-Grønlandshavet utvikles et uvanlig tykt vinterblandingslag som kan få en tykkelse på over 500 meter (Nilsen & Falck, 2006; Latarius & Quadfasel, 2016; Bosse et al., 2018). Vinterblandingslaget er det øverste vannlaget som blir omrørt som følge av sterk overflateavkjøling og vind/bølgeaktivitet om vinteren. Denne omrøringen er avgjørende for transport av næringsstoffer opp til overflaten og oksygen til dypere lag etter at disse reservoarene er blitt tappet under sommerhalvåret. Dette kombinert med en vertikal utveksling langs ryggsystemet på grunn av virveldannelse gjør at havområdene langs ryggen har uvanlig høy vertikaltransport av næringsrikt bunnvann til overflaten og oksygenrikt vann ned i dypet. Vi har lite kunnskap om i hvilken grad dette påvirker livsbetingelsene i disse områdene.

Vi har også lite kunnskap om strømforhold nær bunnen. Strømmålinger som ble gjennomført ved Lokeslottet i 2018 og 2019 viser strømhastigheter med middelverdier på 17 cm/sekund og en maksimum verdi på 35 cm/sekund (Figur 23D). Strømmen har en hovedretning på omkring ~50°, som er tilsvarende det en forventer for den norsk-atlantiske frontstrømmen. Dataene viser at retningen jevnlig reverseres med 180 grader til ~230 grader. Strømmen i nordøstlig retning (50°) dominerer i sommer og vintermånedene, mens den motsatte strømretningen forekommer hyppigst om våren og høsten.



Figur 23. **A)** Oversikt over strømsystemer i Norske-Grønlandshavet. Kartet viser strømmen av atlantiske vannmasser nordover, og hvordan den deler seg i en kyststrøm som følger den norske sokkelkanten, og i en vestlig gren som følger kanten av Vøringplatået og ryggsystemet videre nordover. Det nederste kartet viser hvordan frontsystemet som skiller atlantiske og arktiske vannmasser følger Mohns-Knipovichryggen (illustrasjon fra Stensland et al. 2019). **B)** Kart over temperaturvariasjoner i havet over Mohnsryggen som viser frontsystemet i større detalj. Figuren viser også variasjoner i strømretning og strømhastighet i de øverste vannlagene (Bosse and Fer, 2019). **C)** Profil langs Mohnsryggen som viser vekslende strømretning som følge av store virvelsystemer langsmed ryggen. Virvelsystemene frakter dype vannmasser som er blitt tilført næringsstoffer fra geotermisk aktivitet mot overflaten (illustrasjon fra Stensland et al. 2019). **D)** Diagram som viser retning og hastigheter på bunnstrømmen i aksedalen (ved Lokeslottet). Målingene viser at bunnstrømmen følger retningen til ryggsystemet og at den regelmessig snur 180 grader. Målingene viser at bunnstrømmer kan ha hastigheter opp til 35 cm/sekund (data: Senter for dyphavsforskning).

8. Data og metodebeskrivelse

8.1. Bunndata

Det er blitt samlet inn skipsbaserte batymetridata i de aktuelle dyphavsområdene fra 2001 til 2020. Gitt mangfoldet av plattformer og metodikk beskriver vi her de generelle innsamlings-, prosesserings- og visualiseringsmetodene som er blitt brukt. Mer spesifikk informasjon omkring om metodikk er inkludert der dette er kjent.

Innsamlingsmetodikk: Den skipsbaserte batymetrien er samlet inn med skrogmonterte flerstråle-ekkolodd. Systemene som ble benyttet opererte i frekvensområdet fra 12 til 32 kHz. De to vanligste systemene (Kongsberg EM10- og EM30-serien) opererte henholdsvis med 12 og 30 kHz senterfrekvens. Alle bunndata ble samlet inn sammen med posisjonsdata og de ble korrigert for lydshastighet ved innhenting av vertikale lydshastighetsprofiler.

Databehandling: Dataene er prosessert ved hjelp av kommersielle hydrografiske programpakker, og da i henhold til anerkjente prosedyrer for datarensing og gridding. Databehandlingsmetoden varierer fra prosjekt til prosjekt, men faller generelt inn i to kategorier for prosessering av usikkerheter. Behandling av vinkelusikkerhet forutsetter at dataene rett under skipet (ved nadir) har høyere kvalitet enn data i økende vinkel fra nadir, og vektlegger fortrinnsvis nadirdataene når man behandler overlappende linjer. Den statistiske usikkerhetsmetoden, referert til som "Combined Uncertainty og Bathymetric Estimator" (CUBE), skaper en usikkerhetsflate bestående av den totale propagerede usikkerheten (både horisontalt og vertikalt) for hver lydimpuls, og søker deretter å lage den statistisk mest korrekte overflaten fra dataene. Metoden som benytter vinkelusikkerhet er vanligvis bedre egnet for ulendt terreng, men krever mer manuell inntasting og fjerning av gjenstander som er nær nadir. CUBE-databehandlingen er raskere, men kan resultere i kunstig glatting av bratt terreng. Der behandlingsmetodikken er kjent er den angitt for hvert enkelt datasett.

8.2. Batymetriske data

Mohnsryggen: Data som ble samlet inn fra 2001 til 2002 av Oljedirektoratet i samarbeid med Universitetet i Bergen. De har en oppløsning på 150 m. Dataene ble samlet inn både med Kongsberg EM300 og EM120 ekkoloddsystemer, og ble behandlet ved bruk av vinkelusikkerhet og ved manuell datarensing.

Kolbeinseyryggen: Data som ble samlet inn i 2013 av Universitetet i Bergen. Datasettet har 20 m gridoppløsning. Det ble samlet inn med et Kongsberg EM302 ekkoloddsystem og behandlet ved bruk av CUBE usikkerhet og manuell redigering i områder med bratt terreng.

Knipovichryggen: Data som samlet inn i 2020 av Oljedirektoratet i samarbeid med Universitetet i Tromsø og Universitetet i Bergen. Dataene har en oppløsning på 90 m. De ble samlet inn ved bruk av Kongsberg EM302 ekkoloddsystem, og ble behandlet ved bruk av en CUBE usikkerhetsmodell.

Molloyryggen: Data samlet inn i regi av Mareano programmet (lastet ned fra nettportalen for Dybdata). Dataene ble samlet inn i 2019 ved bruk av Kongsberg EM304 ekkoloddsystem med en oppløsning på 50 meter. Behandlingsmetodikken er ukjent.

Jan Mayen Ridge: Data samlet inn i regi av Oljedirektoratet i 2010. Dataene ble samlet inn med et Kongsberg EM300 ekkolodd, og datasettet har en oppløsning på 30 meter. Behandlingsmetodikk er ukjent.

Jan Mayen Fracture Zone: Dybdataene ble samlet inn i 2001 til 2002 av Oljedirektoratet i samarbeid med Universitetet i Bergen. Dataene ble levert med en oppløsning på 150 m. Kongsberg EM300 og EM120 ekkolodd ble brukt til datainnsamling, og datasettet ble prosessert ved bruk av vinkelusikkerhet og manuell datarensing.

8.3. Kartframstillinger

Fjellskygge: Alle batymetriske datasett er blitt visualisert med en fjellskygge ved hjelp av ArcGIS 10.7.1 Hillshade-funksjonen i 3D Analyst Toolkit. Fjellskygger genereres ved å sette en hypotetisk lyskilde og beregne belyningsverdien til hvert datapunkt i forhold til alle nærliggende datapunkt. I dette prosjektet har fjellskyggene en azimut på 315 grader og en høyde på 45 grader. For visualisering legges batymetrialagene på toppen av fjellskyggen med en 30% opasitet på batymetrien.

Skråninger: Skråningskart ble bygget ved hjelp av verktøyet Benthic Terrain Modeler (BTM fra Wright et al., 2012). BTM beregner helning ut fra gridnettet ved hjelp av et 3x3 skannevindu. Midtcellen til vinduet og dets åtte naboer brukes til å finne gjennomsnittlig gradient i horisontal (dz / dx) og vertikal (dz / dy) retning på hvert sted i overflaterasteret. En enkelt stigningsverdi blir deretter bestemt for hvert punkt i rasteren ved å beregne den omvendte tangensen til hypotenusen til de horisontale og vertikale gradientene.

Konturer: Konturer ble generert ved hjelp av ArcGIS 10.7.1 Contour Tool i 3D Analyst Toolkit. Denne konturgeneratoren bruker en bilineær interpolasjon for å beregne en felles verdi for hver gruppe på fire tilstøtende celler. Neste lineære tolkning av hvert cellekryss brukes så til å posisjonere hver kontur gitt det angitte intervallet og startkonturverdien.

9. Referanser

- Agius, M. R., Harmon, N., Rychert, C. A., Tharimena, S., & Kendall, J. M. (2018). Sediment characterization at the equatorial Mid-Atlantic Ridge from P-to-S teleseismic phase conversions recorded on the PI-LAB experiment. *Geophysical Research Letters*, 45(22), 12,244-12,252 (doi.org/10.1029/2018GL080565).
- Baker, E. T., & German, C. R. (2004). On the global distribution of hydrothermal vent fields. *Mid-Ocean Ridges: Hydrothermal Interactions Between the Lithosphere and Oceans*, *Geophys. Monogr. Ser.*, 148, 245-266 (doi.org/10.1029/148GM10).
- Baumberger, Stensland A, T., Lilley, M. D., Thorseth, I.H., Pedersen, R.B. (2021). Geochemistry of CO₂- and CH₄-rich hydrothermal fluids and bubbles venting at the Jan Mayen vent fields, Arctic Mid-Ocean Ridge (71° N). (In prep.).
- Baumberger, T., Früh-Green, G. L., Dini, A., Boschi, C., van Zuilen, K., Thorseth, I. H., & Pedersen, R. B. (2016). Constraints on the sedimentary input into the Loki's Castle hydrothermal system (AMOR) from B isotope data. *Chemical Geology*, 443, 111-120.
- Baumberger, T., Früh-Green, G. L., Thorseth, I. H., Lilley, M. D., Hamelin, C., Bernasconi, S. M., & Pedersen, R. B. (2016a). Fluid composition of the sediment-influenced Loki's Castle vent field at the ultra-slow spreading Arctic Mid-Ocean Ridge. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 187, 156-178 (doi.org/10.1016/j.gca.2016.05.017).
- Bjerga, A, Stubseid, H.H. Pedersen, L.E.R., and Pedersen, R.B. (2021) Inherited continental zircons in oceanic rocks – true or false (in review).
- Boonawa, C. (2021) Geochemistry of novel vent fluids from the newly discovered 72.7°N (Fåvne) hydrothermal system on the Arctic Mid Ocean Ridge. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Bosse, A., & Fer, I. (2019). Mean structure and seasonality of the Norwegian Atlantic Front Current along the Mohn Ridge from repeated glider transects. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13170-13179.
- Bosse, A., Fer, I., Søiland, H., & Rossby, T. (2018). Atlantic water transformation along its poleward pathway across the Nordic Seas. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(9), 6428-6448.

- Breivik, A. J., Faleide, J. I., & Mjelde, R. (2008). Neogene magmatism northeast of the Aegir and Kolbeinsey ridges, NE Atlantic: Spreading ridge–mantle plume interaction? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(2) (doi: 10.1029/2007GC001750).
- Bruvoll, V., Breivik, A. J., Mjelde, R., & Pedersen, R. B. (2009). Burial of the Mohn-Knipovich seafloor spreading ridge by the Bear Island Fan: Time constraints on tectonic evolution from seismic stratigraphy. *Tectonics*, 28(4).
- Callow, H. J., Hagen, P. E., Hansen, R. E., Sæbø, T. O., & Pedersen, R. B. (2012). A new approach to high-resolution seafloor mapping. *Journal of Ocean Technology, Mapping the Ocean*, Vol. 7, No. 2, 2012
- Crane, K., Eldholm, O., Myhre, A. M., & Sundvor, E. (1982). Thermal implications for the evolution of the Spitsbergen transform fault. *Tectonophysics*, 89(1-3), 1-32.
- Connelly, D. P., German, C. R., Asada, M., Okino, K., Egorov, A., Naganuma, T., ... & Tamaki, K. (2007). Hydrothermal activity on the ultra-slow spreading southern Knipovich Ridge. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8(8).
- Cruz, I. (2015). Mineralogy and Geochemistry of contrasting hydrothermal systems on the Arctic Mid Ocean Ridge (AMOR): The Jan Mayen and Loki's Castle vent fields. PhD thesis, University of Lisbon, Portugal.
- Denny, A., Onstad, S., Lorentzen, O., Bloomer, S., Pedersen, R. B. (2021). Geophysical observations of widespread hydrothermal activity at the Jan Mayen vent-field area, SW Mohns Ridge (in prep).
- Denny, A. R., Sæbø, T. O., Hansen, R. E., Pedersen, R.B. (2015). The use of synthetic aperture sonar to survey seafloor massive sulfide deposits. *The Journal of Ocean Technology*, 10(1), s. 48-65.
- Eickmann, B., Baumberger, T., Thorseth, I. H., Strauss, H., Früh-Green, G. L., Pedersen, R. B., & Jaeschke, A. (2020). Sub-seafloor sulfur cycling in a low-temperature barite field: A multi-proxy study from the Arctic Loki's Castle vent field. *Chemical Geology*, 539, 119495.
- Eickmann, B., Thorseth, I. H., Peters, M., Strauss, H., Bröcker, M., & Pedersen, R. B. (2014). Barite in hydrothermal environments as a recorder of subseafloor processes: a multiple-isotope study from the Loki's Castle vent field. *Geobiology*, 12(4), 308-321.
- Einen, J., Thorseth, I. H., & Øvreås, L. (2008). Enumeration of Archaea and Bacteria in seafloor basalt using real-time quantitative PCR and fluorescence microscopy. *FEMS microbiology letters*, 282(2), 182-187.
- Eldholm, O., Skogseid, J., Sundvor, E., & Myhre, A. M. (1990). The Norwegian-Greenland Sea. In: A. Grantz, L. Johnson, & J. F. Sweeny (eds), *The Geology of North America*, vol. L, *The Arctic Ocean Region*, pp. 351–364. Geol. Soc. of Am., Boulder, Colo.
- Elkins, L. J., Hamelin, C., Blichert-Toft, J., Scott, S. R., Sims, K. W. W., Yeo, I. A., Devey, C. W., & Pedersen, R. B. (2016). North Atlantic hotspot-ridge interaction near Jan Mayen Island. *Geochemical Perspectives Letters*, 2(1), 55-67 (doi: 10.7185/geochemlet.1606).
- Flesland, K., Haflidason, H., Thorseth, I.H. and Pedersen, R.B. (2021) Manganese-enriched sediment layers at the Mohns Ridge, Norwegian-Greenland Sea (in prep)
- Flesland, K. (2008). Hydrotermal og vulkansk historie ved 71 °N hydrotermalfelt : ei undersøkning av sedimentkjerner (p. 152). Master oppgave, Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen.
- Gaina, C., Nasuti, A., Kimbell, G. S., & Blischke, A. (2017). Break-up and seafloor spreading domains in the NE Atlantic. *Geological Society, London, Special Publications*, 447(1), 393-417.
- Gascard, J. C., Raisbeck, G., Sequeira, S., Yiou, F., & Mork, K. A. (2004). The Norwegian Atlantic Current in the Lofoten basin inferred from hydrological and tracer data (129I) and its interaction with the Norwegian Coastal Current. *Geophysical Research Letters*, 31(1).
- Gilje, S., Thorseth I.H., Pedersen R.B. (2021) Composition and characteristics of the ferromanganese crusts from the Norwegian-Greenland Sea (in prep)
- Gilje, S.R. (2016). Hydrogenetic ferromanganese crusts in the Norwegian Greenland Sea: A textural and geochemical study. Master thesis, University of Bergen, Department of Earth Science.

- Hafliðason, H., Sejrup, H. P., Nygård, A., Mienert, J., Bryn, P., Lien, R., Forsberg, C. F., Berg, K. and Masson, D., 2004. The Storegga Slide: architecture, geometry and slide-development. *Marine Geology*, 213, 201-234.
- Hansen, B., & Østerhus, S. (2000). North atlantic–nordic seas exchanges. *Progress in oceanography*, 45(2), 109-208.
- Haukelidsæter, S. (2017) Textural and geochemical characteristics of iron deposits at the Jan Mayen vent fields: implications for formation mechanisms. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Bau, M., Manheim, F.T., Kang, J.-K., Roberts, L., 2000. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific. In: Cronan, D.S. (Ed.), *Handbook of Marine Minerals Deposit*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 239–279.
- Hellevang, B., & Pedersen, R. B. (2005). Magmatic segmentation of the northern Knipovich Ridge: Evidence for high-pressure fractionation at an ultraslow spreading ridge. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6(9).
- Hornenes, O. (2017). Unraveling distinctive sulphide mineralization and hydrothermal alteration on shallow seafloor hydrothermal systems. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Høydalsvik, F., Mauritzen, C., Orvik, K. A., LaCasce, J. H., Lee, C. M., & Gobat, J. (2013). Transport estimates of the Western Branch of the Norwegian Atlantic Current from glider surveys. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 79, 86-95.
- Johannessen, K. C., McLoughlin, N., Vullum, P. E., & Thorseth, I. H. (2020). On the biogenicity of Fe-oxyhydroxide filaments in silicified low-temperature hydrothermal deposits: Implications for the identification of Fe-oxidizing bacteria in the rock record. *Geobiology*, 18(1), 31-53.
- Johannessen, K., Vender Roost, J., Dahle, H., Dundas, S. H., Pedersen, R. B., & Thorseth, I. H. (2017). Environmental controls on biomineralization and Fe-mound formation in a low-temperature hydrothermal system at the Jan Mayen vent fields. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 202, 101-123 (doi.org/10.1016/j.gca.2016.12.016).
- Josso, P., Parkinson, I., Horstwood, M., Lusty, P., Chenery, S., & Murton, B. (2019). Improving confidence in ferromanganese crust age models: A composite geochemical approach. *Chemical Geology*, 513, 108-119.
- Kandilarov, A., Mjelde, R., Pedersen, R. B., Hellevang, B., Papenberg, C., Petersen, C. J., Planert, L., & Flueh, E. (2012). The northern boundary of the Jan Mayen microcontinent, North Atlantic determined from ocean bottom seismic, multichannel seismic, and gravity data. *Marine Geophysical Research*, 33(1), 55-76 (doi 10.1007/s11001-012-9146-4).
- Kandilarov, A., Landa, H., Mjelde, R., Pedersen, R. B., Okino, K., & Murai, Y. (2010). Crustal structure of the ultra-slow spreading Knipovich Ridge, North Atlantic, along a presumed ridge segment center. *Marine Geophysical Researches*, 31(3), 173-195.
- Kelley, D.S., Baross, J. A., Delaney, J. R. (2002) Volcanoes, Fluids, and Life at Mid-Ocean Ridge Spreading Centers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 30, 385–491.
- Kodaira, S., Mjelde, R., Gunnarsson, K., Shiobara, H., & Shimamura, H. (1998). Structure of the Jan Mayen microcontinent and implications for its evolution. *Geophysical Journal International*, 132(2), 383-400.
- Kruber, C., Thorseth, I. H., & Pedersen, R. B. (2008). Seafloor alteration of basaltic glass: textures, geochemistry, and endolithic microorganisms. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(12).
- Kruber, C. (2007). Hydrothermal deposits and weathered basaltic glasses at the Mohns Ridge: Textures, geochemistry and microbial effects. PhD thesis, University of Bergen, Department of Earth Science.
- Landro, J-K. (2016). Characterizing the distribution of microbial sulfate reduction in Loki's Castle hydrothermal system of the Arctic Mid-Ocean Ridge (AMOR). Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.

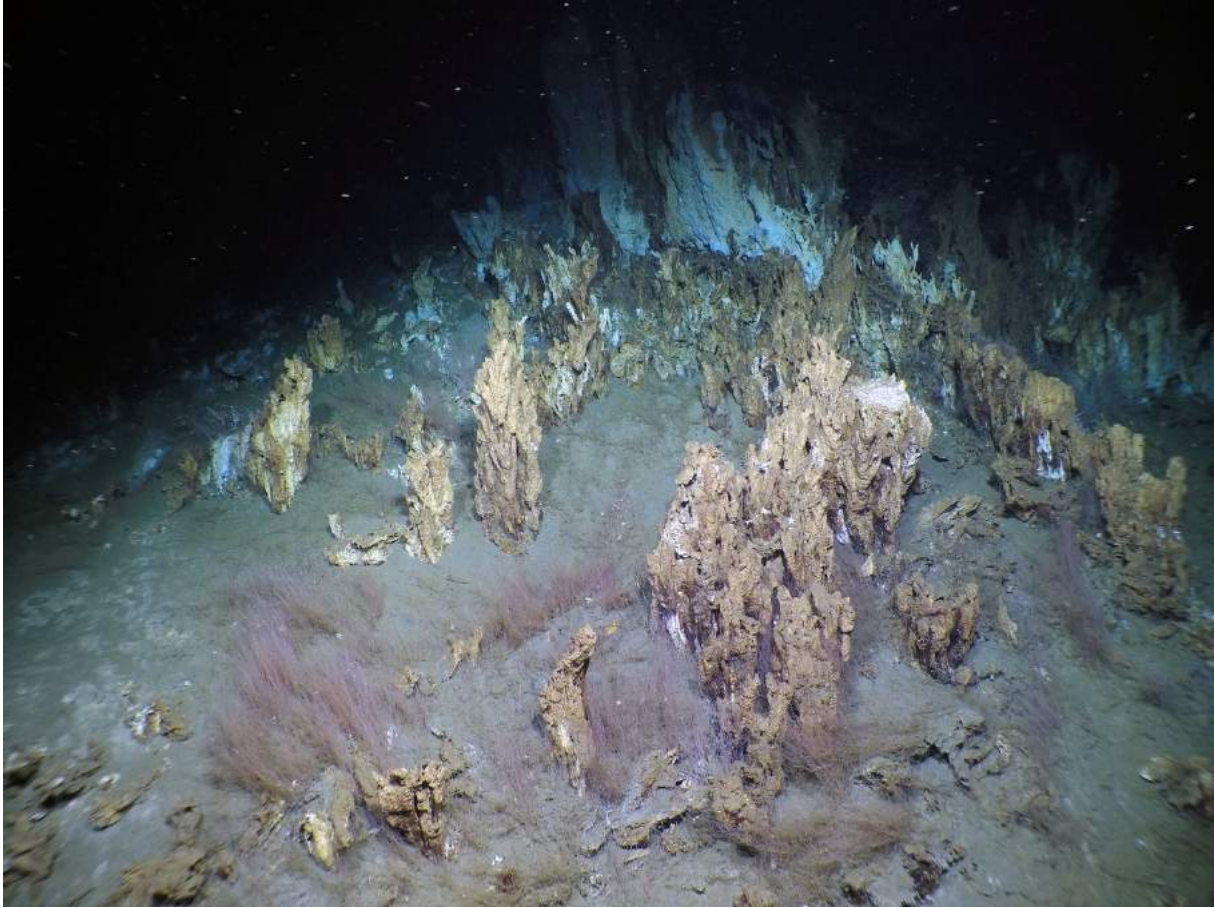
- Latarius, K., & Quadfasel, D. (2016). Water mass transformation in the deep basins of the Nordic Seas: Analyses of heat and freshwater budgets. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 114, 23-42
- Lyngtveit, T. J. (2017). Geochemical and microtextural characteristics reflect the formation mechanics of laminated iron deposits at the Perle & Bruse and Troll Wall vent fields. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Lysnes, K., Thorseth, I. H., Steinsbu, B. O., Øvreås, L., Torsvik, T., & Pedersen, R. B. (2004). Microbial community diversity in seafloor basalt from the Arctic spreading ridges. *FEMS Microbiology Ecology*, 50(3), 213-230.
- Marques, A. F. A., Roerdink, D. L., Baumberger, T., de Ronde, C. E., Ditchburn, R. G., Denny, A., Thorseth, I. H., Okland, I., Lilley, M. D., Whitehouse, M. J., & Pedersen, R. B. (2020). The Seven Sisters Hydrothermal System: First Record of Shallow Hybrid Mineralization Hosted in Mafic Volcaniclasts on the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Minerals*, 10(5), 439, doi:10.3390/min10050439.
- McLoughlin, N., Wacey, D., Kruber, C., Kilburn, M. R., Thorseth, I. H., & Pedersen, R. B. (2011). A combined TEM and NanoSIMS study of endolithic microfossils in altered seafloor basalt. *Chemical Geology*, 289(1-2), 154-162.
- Moeller, K., Schoenberg, R., Grenne, T., Thorseth, I. H., Drost, K., & Pedersen, R. B. (2014). Comparison of iron isotope variations in modern and Ordovician siliceous Fe oxyhydroxide deposits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 126, 422-440.
- Nilsen, J. E. Ø., & Falck, E. (2006). Variations of mixed layer properties in the Norwegian Sea for the period 1948–1999. *Progress in Oceanography*, 70(1), 58-90.
- Nygård, T. E. (2004). Hydrotermale skorsteiner, og sulfidmineralisert breksje fra Kolbeinsey og Mohnsryggen. Master oppgave, Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen.
- Olsen, L. M. B. (2016). Weathering of deep-sea hydrothermal sulfide deposits: Stability of heavy metals and implications for future mining activities. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Orvik, K. A., & Niiler, P. (2002). Major pathways of Atlantic water in the northern North Atlantic and Nordic Seas toward Arctic. *Geophysical Research Letters*, 29(19), 2-1.
- Orvik, K. A., Skagseth, Ø., & Mork, M. (2001). Atlantic inflow to the Nordic Seas: current structure and volume fluxes from moored current meters, VM-ADCP and SeaSoar-CTD observations, 1995–1999. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(4), 937-957.
- Pedersen, R. B., & Bjerkgård, T. (2016). Seafloor massive sulphides in Arctic waters. *Mineral Resources In The Arctic*, 1, 209-216.
- Pedersen, R. B., Rapp, H. T., Thorseth, I. H., Lilley, M. D., Barriga, F. J., Baumberger, T., Flesland, K., Fonseca, R., Früh-Green, G. L., & Jorgensen, S. L. (2010a). Discovery of a black smoker vent field and vent fauna at the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Nature communications*, 1(1), 1-6.
- Pedersen, R. B., Thorseth, I. H., Nygård, T. E., Lilley, M. D., & Kelley, D. S. (2010b). Hydrothermal activity at the Arctic mid-ocean ridges. In: A. Rona, et al., (Eds). *Diversity of hydrothermal systems on slow spreading Ocean Ridges*, Geophysical Monograph Series, Vol. 188, pp. 67-89.
- Pedersen, R. B., Thorseth, I. H., Olson, E., Hellevang, H., Okland, I., Baumberger, T., Lilley, M., Bruvoll, V., Mjelde, R., & Haflidason, H. (2007). Hydrothermal activity and core complex formation at the Arctic Mid-Ocean Ridge: An overview of preliminary results of the H2DEEP expedition to the southern Knipovich Ridge at 73N. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2007, pp. OS41C-05).
- Pedersen, R. B., Thorseth, I. H., Hellevang, B., Schultz, A., Taylor, P., Knudsen, H. P., & Steinsbu, B. O. (2005). Two vent fields discovered at the ultraslow spreading Arctic ridge system. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2005, pp. OS21C-01).
- Polteau, S., Planke, S., Zastozhnov, D., Abdelmalak, M. M., Lebedeva-Ivanova, N., Planke, E. E., Svendsen, H. H., Mazzini, A., Gernigon, L., Myklebust, R., Kjøllhamar, B. E., Pedersen, R. B., Sandstå, N. R., & Bünz, S. (2020). Upper cretaceous-paleogene stratigraphy and development of

- the Mimir High, Vøring transform margin, Norwegian Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 122, 104717 (doi: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104717).
- Rikter-Svenden R. (2021). Distribution of thermochemical output and associated ecosystems at the Loki's Castle hydrothermal field. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Rikter-Svendsen, R., Barreyre, T., 1; Reeves, E., Gracias, N., Garcia, R., Campos, R., Fornari, D., Vulcano, F., Stokke, R., 1, Jørgensen, S.L., Pedersen, R.B. (2021) Distribution of the thermochemical output and associated ecosystems at the Loki's Castle hydrothermal field. *Frontiers in marine science* (in press).
- Römer, M., Hsu, C. W., Loher, M., MacDonald, I. R., dos Santos Ferreira, C., Pape, T., Mau, S., Bohrmann, G., & Sahling, H. (2019). Amount and fate of gas and oil discharged at 3400 m water depth from a natural seep site in the Southern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*, 6, 700.
- Sahlström, F.; Pedersen, R.B; Strmic Palinkas, S.; McClenaghan, S.H; Hjorth Dundas, S.:(2021) Hydrothermal transport of cobalt in submarine hydrothermal systems: An insight from the Fåvne and Loki's Castle Hydrothermal Vent Fields, the Arctic Mid-Ocean Ridges. *Scientific Reports* (in prep.)
- Segtnan, O. H., Furevik, T., & Jenkins, A. D. (2011). Heat and freshwater budgets of the Nordic seas computed from atmospheric reanalysis and ocean observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C11).
- Smith, D. K., Cann, J. R., & Escartín, J. (2006). Widespread active detachment faulting and core complex formation near 13 N on the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 442(7101), 440-443.
- Snook, B., Drivenes, K., Rollinson, G. K., & Aasly, K. (2018). Characterisation of Mineralised Material from the Loki's Castle Hydrothermal Vent on the Mohn's Ridge. *Minerals*, 8(12), 576.
- Steen, I. H., Dahle, H., Roalkvam, I., Daae, F. L., Rapp, H. T., Pedersen R. B. & Thorseth, I. H. (2016). Novel barite chimneys at the Loki's castle vent field shed light on key factors shaping microbial communities and functions in hydrothermal systems. *Frontiers in Microbiology*, 6 (doi: 10.3389/fmicb.2015.01510).
- Stenløkk, J., Bering, D., Sandstå, N.R., Brekke, H., Bjørnstad, A. (2019). The Norwegian Petroleum Directorate's seabed mapping of Fe-Mn crusts and massive sulphide deposits. Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway, 33rd geological winter meeting, Bergen.
- Stensland, A., Baumberger, T., Lilley, M. D., Okland, I. E., Dundas, S. H., Roerdink, D. L., Thorseth, I. H., & Pedersen, R. B. (2019a). Transport of carbon dioxide and heavy metals from hydrothermal vents to shallow water by hydrate-coated gas bubbles. *Chemical Geology*, 513, 120-132.
- Stensland, A., Baumberger, T., Mork, K. A., Lilley, M. D., Thorseth, I. H., & Pedersen, R. B. (2019b). ³He along the ultraslow spreading AMOR in the Norwegian-Greenland Seas. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 147, 1-11.
- Stensland, A. (2013). Dissolved gases in hydrothermal plumes from Arctic vent fields. The University of Bergen. <https://hdl.handle.net/1956/7683>. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Strmic Palinkas, S., Pedersen, R.B, Sahlström, F., McClenaghan, S.H, Faber, C. (2021) Evolution of ore-bearing fluids at the Loki's Castel Hydrothermal Vent Field, the Arctic Mid-Ocean Ridges. *Ore Geology Reviews* (in prep.)
- Stubseid, H., Bjerga, A., Halfidason, H., Pedersen, R.B. 2021 Widely distributed young volcanism along the slow-spreading Mohns Ridge. (in prep)
- Styve, E. (2015). Petrogenesis of igneous samples from the Gjallar Ridge and the Vøring Spur. Master thesis, Department of Earth Science, University of Bergen.
- Svellingen, W. (2004). Submarin vulkanisme i Jan Mayen området (p. 86). Master oppgave, Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen.
- Svendsen. T.E. (2009). Structural analysis of the northeastern Mohns Ridge. Master thesis, Universitetet i Bergen, Department of Earth Science. <https://hdl.handle.net/1956/15837>.

- Sætre, L. J. S. (2013). Seismisk stratigrafi og tektoniske prosesser langs Knipovichryggen (p. 3 bl., 129). Master oppgave, Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen.
- Sørensen, M. B., Ottemöller, L., Havskov, J., Atakan, K., Hellevang, B., & Pedersen, R. B. (2007). Tectonic processes in the Jan Mayen Fracture Zone based on earthquake occurrence and bathymetry. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(3), 772-779.
- Tan, P., Breivik, A. J., Trønnes, R. G., Mjelde, R., Azuma, R., & Eide, S. (2017). Crustal structure and origin of the Eggvin Bank west of Jan Mayen, NE Atlantic. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(1), 43-62.
- Talwani, M., Mutter, J., & Eldholm, O. (1981). The initiation of opening of the Norwegian Sea. *Oceanologica Acta, Special issue*.
- Thorseth, I. H., Torsvik, T., Torsvik, V., Daae, F. L., & Pedersen, R. B. (2001). Diversity of life in ocean floor basalt. *Earth and Planetary Science Letters*, 194(1-2), 31-37.
- Van Aken, H. M., & De Boer, C. J. (1995). On the synoptic hydrography of intermediate and deep water masses in the Iceland Basin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 42(2), 165-189.
- Vorren, T. O., Laberg, J. S., Blaume, F., Dowdeswell, J. A., Kenyon, N. H., Mienert, J., Rumohr, J., & Werner, F. (1998). The Norwegian–Greenland Sea continental margins: morphology and late Quaternary sedimentary processes and environment. *Quaternary Science Reviews*, 17(1-3), 273-302.
- Walczowski, W., Piechura, J., Osinski, R., & Wieczorek, P. (2005). The West Spitsbergen Current volume and heat transport from synoptic observations in summer. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 52(8), 1374-1391.
- Wright, D. J., Pendleton, M., Boulware, J., Walbridge, S., Gerlt, B., Eslinger, D., Sampson, D., Huntley, E. (2012). ArcGIS benthic terrain modeler (BTM), v. 3.0, Environmental Systems Research Institute, NOAA Coastal Services Center, Massachusetts Office of Coastal Zone Management. <http://esriurl.com/5754>.
- Yeo, I. A., CW, D., LeBas, T. P., Augustin, N., & Steinführer, A. (2016). Segment-scale volcanic episodicity: evidence from the North Kolbeinsey Ridge, Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, 439, 81-87.

Fagutredning mineralressurser i Norskehavet

Del 2: Bentiske økosystemer



Bidragstere: Bernt Rydland Olsen, Mari Heggernes Eilertsen, Jon Thomassen Hestetun,
Anne Helene S. Tandberg, Ida Helene Steen, Steffen Leth Jørgensen, Pedro A. Ribeiro

Innhold

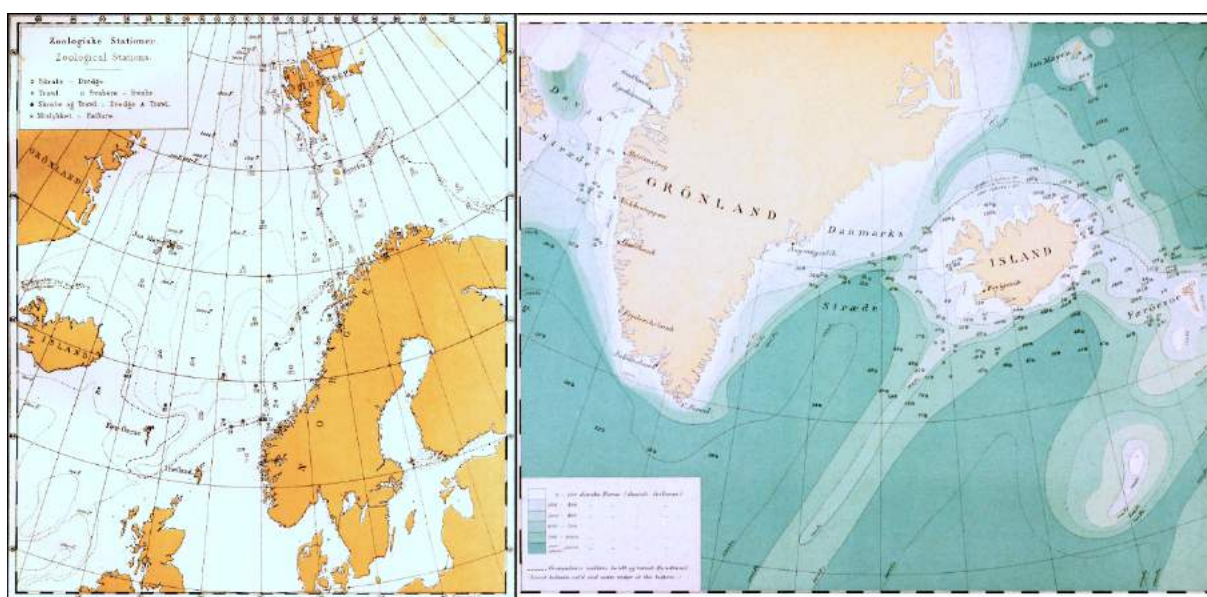
INNHold	2
1. BIOLOGISKE UNDERSØKELSER I OMRÅDET	3
2. METODIKK	6
2.1 PRØVETAKING I DYPHAVET	6
2.2 KARTLEGGING AV BIOLOGISKE SAMFUNN	9
2.2.1 <i>Opparbeiding av innsamlet biologisk materiale</i>	10
2.2.2 <i>Identifikasjon av fauna</i>	10
Morfologisk identifikasjon	
DNA-strekkoding	
Artsavgrensning	
Beskrivelse av nye arter og høyere taksa	
2.2.3 <i>Populasjonsstruktur og konnektivitet</i>	12
2.2.4 <i>Analyser av trofisk forhold</i>	13
2.2.5 <i>Miljø-DNA</i>	13
2.2.6 <i>Beskrivelse av mikrobiologiske samfunn</i>	14
2.2.7 <i>Bilde- og videoanalyse av epibentiske megafauna-samfunn</i>	14
3. BIOLOGI I ULIKE HABITATER	15
3.1 VARM HAVKILDEBUNN	15
3.1.1 <i>Fauna på og nær havbunnen ved varmekilder på AMOR</i>	16
Syv Søstre	
Jan Mayen feltene	
Ægirs Kilde	
Fåvne	
Mohnskatten	
Lokeslottet	
3.1.2 <i>Pelagisk fauna assosiert med varm utstrømming</i>	24
3.1.3 <i>Mikrobielle samfunn</i>	26
3.1.4 <i>Biodiversitet</i>	26
3.1.5 <i>Grad av habitat-endemisme</i>	27
3.1.6 <i>Trofiske forhold</i>	28
3.1.7 <i>Biogeografi og konnektivitet</i>	30
3.1.8 <i>Økosystemtjenester</i>	31
Marin bioprospektering og bioteknologi	
Næringsutveksling med andre økosystem	

3.1.9	<i>Sårbarhet</i>	32
3.2	HARDBUNN	32
3.2.1	<i>Mohnskatten</i>	33
3.2.2	<i>Schulzbanken</i>	34
	Funksjonelle studier av svampegrunn	
3.2.3	<i>Inaktive sulfidforekomster</i>	38
	Undersøkelser av inaktive sulfidøkosystemer på AMOR	
3.2.4	<i>Manganskorper</i>	41
3.3	BLØTBUNN	42
3.3.1	<i>Bløtbunnsfauna i de Nordiske dyphavs bassengene</i>	42
3.3.2	<i>Bløtbunnsfauna i utredningsområdet</i>	44
3.3.3	<i>Mikrobielle samfunn i sedimenter langs AMOR</i>	45
4	VERDIFULLE ARTER OG HABITATER I UTREDNINGSOMRÅDET	46
5	KUNNSKAPSMANGLER	47
6	REFERANSER	50
	DEFINISJONER AV FAGORD OG UTRYKK	65

1. Biologiske undersøkelser i området

De første biologiske undersøkelser i havområdene vi i dag kaller «Norskehavet» og «Grønlandshavet» startet i det spede med den bredt faglig anlagte franske ekspedisjonen med korvetten *La Recherche* (1838-1840), som besøkte både Færøyene, Island og Svalbard. De biologiske undersøkelserne fokuserte på kystnære farvann, og spesielt ved Svalbard. Ingen midthavs- eller dyphavsstasjoner ble tatt. Publikasjonen som ble ferdigstilt av forskjellige spesialister, med flere førstebeskrivelser av kaldtvannsarter, ble aldri formelt gitt ut da pengene for publiseringene ble brukt opp før zoologiboken kom ut. Originalforfatterne av disse artene refererte siden ofte til at de var publisert, selv om de ikke offisielt var det (Tandberg & Vader, 2009).

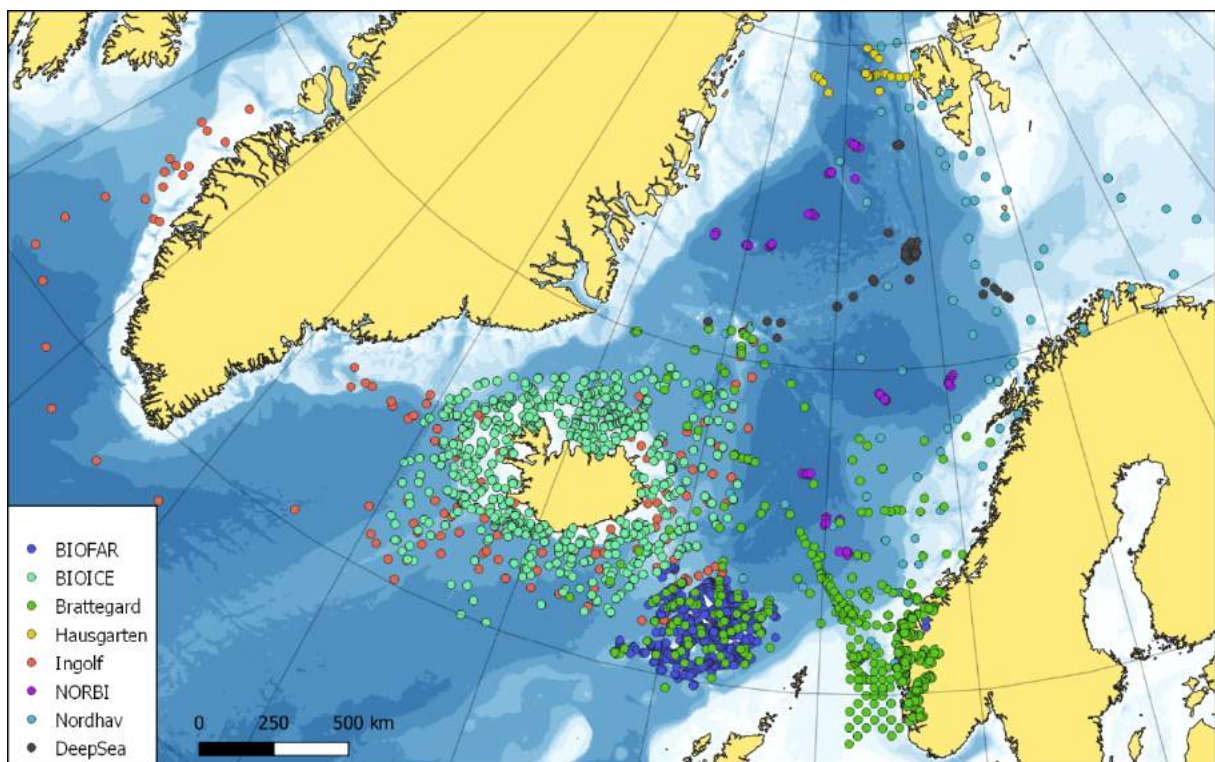
Den første reelle vitenskapelige (inkludert biologiske) undersøkelsen av havområdet var derfor Den Norske Nordhavsekspedisjonen (1876-78) som ble ledet av Bergens Museum med G.O. Sars og H. Mohn som vitenskapelig ledelse, oppsummert i Wille et al., (1887). Som et populærvitenskapelig resultat av denne ekspedisjonen, bestemte stortinget seg for å kalle «Havet mellom Norge, Færøerne, Island, Jan Mayen og Spidsbergen» for «Norskehavet» (Ellingsen, 2015). Til denne ekspedisjonen ble mye nytt måle- og innsamlingsutstyr utviklet, blant annet vannprøvetagere, vannstrømningsmålere, bunnskraper og vinsjer for dyp prøvetagning. Oseanografiske undersøkelser ble utført av Mohn, (1887), disse ble siden videre analysert av Nansen og Helland-Hansen i en serie tokt mellom 1900 og 1904 (Cunha & Wilson, 2006), og de danner grunnlaget for forståelsen av havstrømmene i området. De zoologiske analysene ble ledet av G. O. Sars, og foretatt av det som var av norske spesialister på den tiden, blant andre Danielssen, Friele og Koren (bløtdyr), Armauer Hansen (mangebørstemark, svamper), Collett (fisker), Sars (krepser), Bonnevie (hydroider), og Grieg (pigghuder). Mye av materialet, inkludert mye typemateriale, fra den Norske Nordhavsekspedisjonen finnes i samlingene til Universitetsmuseet i Bergen, og Naturhistorisk Museum i Oslo. Vøringens rute i løpet av ekspedisjonens tre sommerturer krysset flere ganger den midtatlantiske ryggen, og kartene viser at ryggen ble registrert i bunnloddingene.



Figur 1. Oversikt over zoologiske stasjoner under Den Norske Nordhavsekspedisjonen (Hansen et al. 1887) og stasjoner fra den danske Ingolf-ekspedisjonen (1895-96).

Norskehavet ble videre undersøkt biologisk av den danske Ingolf-ekspedisjonen (1895-96) (Wandel, 1899) der de vestlige delene av området ble undersøkt: Davisstredet, samt farvannene mellom Grønland, Island og Jan Mayen. Zoologiske undersøkelser ble her utført av datidens store danske forskere, blant annet Lütken (fisker), Bergh (bløtdyr), Stephensen og Hansen (krepser), og materialet fra ekspedisjonen, spesielt typematerialet, er inkludert i samlingene til Zoologisk Museum i København (se Figur 1).

Etter dette gikk det nesten 100 år før de neste organiserte innsamlingene av biologisk informasjon (bunndyrsrelatert) ble satt i gang. Dette var en serie tokt organisert av Torleiv Brattegard (UiB) og Jon-Arne Snelli (NTNU) gjennom hele 1980-tallet der bløtbunnsfauna i Norskehavet var det overordnede målet (Oug et al., 2017). Dette arbeidet ble videreført i de formelle samarbeidsprogrammene BIOFAR (1987-90) (UiB, NTNU med danske og færøyske forskere) som undersøkte bentisk fauna rundt Færøyene (Nørrevang et al., 1994) og så i BIOICE (1992-2004) (BIOFAR-gruppen med tilslutning fra Háskóli Íslands) som undersøkte farvannene rundt Island (Steingrímsson et al., 2020). BIOICE-programmet er videre fulgt opp av det tysklede IceAGE-programmet (Brix et al., 2014) som i stor grad fokuserer på å inkludere molekylære beskrivelser til de tidligere morfologiske og økologiske studiene i de samme områdene som Ingolf-ekspedisjonen og BIOICE-programmet. IceAGE har de siste årene (2018 og etter) hatt et delfokus på delene av den midtatlantiske ryggen sør for Island, og flere nye varme kilder er her under bekrivelse.



Figur 2. Stasjonsoversikt for større prosjekter i Norskehavet og omkringliggende områder. I tillegg til denne virksomheten har Mareano også utført et betydelig kartleggingsarbeid i området.

I 1999 ble stasjonsnettet Hausgarten etablert av det tyske polarforskningsinstituttet, Alfred Wegener Institut (AWI). Det er et LTER-observatorium (Long-Term Ecological Research) som består av 21 faste stasjoner mellom 78.5°N-80°N og 05°V-11°Ø på vandyp mellom 250

og 5500 m. I tillegg til årlige innsamlinger er det en del kontinuerlige innsamlingsstasjoner med både sensorer og eksperimenter (Soltwedel et al., 2016).

Biologiske undersøkelser i norske områder på de arktiske midthavsryggene av nyere dato er i hovedsak knyttet til forskningstokt ledet av Universitetet i Bergen i området rundt Jan Mayen og langs Mohnsryggen nordover til Knipovichryggen. De første hydrotermiske kildene på norsk sokkel ble påvist av forskere ved UiB i 2005 (Pedersen et al., 2005, 2010b; Schander et al., 2010), og dette dannet grunnlag for etableringen av Senter for geobiologi, et senter for fremragende forskning i perioden 2007-2017. Senteret var et samarbeid mellom Institutt for biovitenskap og Institutt for geovitenskap, med fokus på tverrfaglig forskning på interaksjonen mellom geologi, mikrobiologi og biologi i dyphavet, med spesielt fokus på varme kilder. Dette forskningsmiljøet ble videreført som Senter for Dyphavsforskning, og i hele denne perioden frem til i dag har det vært årlige, tverrfaglige, vitenskapelige tokt til de arktiske midthavsryggene. I tillegg til studier av de varme kildene på ryggen ble det også utført flere grundige undersøkelser av arktiske svampegrunner og svampefauna i området; et arbeid som ble videreført av det UiB-ledede EU-prosjektet SponGES (2016-2020). Med unntak av aktiviteten ledet av UiB beskrevet over, er det få biologiske undersøkelser som har blitt utført i utredningsområdet. I 2016 ble det imidlertid gjennomført et tokt til AMOR i forbindelse med MarMine-prosjektet, ledet av NTNU, der det ble utført biologiske undersøkelser på Mohnskatten (Ludvigsen et al., 2016a; Ramirez-Llodra et al., 2020). Det var i tillegg et tokt utført av Havforskningsinstituttet i 2011 på kontinentalsokkelen til Jan Mayen, øst i utredningsområdet, som et ledd i en konsekvensutredning med fokus på fremtidig petroleumsvirksomhet (Fossum et al., 2012). Figur 2 viser en oversikt over stasjonene fra alle historiske og moderne ekspedisjoner.

2. Metodikk

I dette kapitlet beskriver vi hvilke metoder som har blitt brukt i biologiske undersøkelser i utredningsområdet, og hvilke fordeler og ulemper disse metodene har. Dette er sentralt for å identifisere hvilke begrensninger den tilgjengelige kunnskapen har, og hvilke kunnskapshull som gjenstår.

2.1 Prøvetaking i dyphavet

I nyere tid har de fleste biologiske undersøkelser i utredningsområdet blitt utført som del av tverrfaglige forskningstokt til området, hovedsakelig årlige tokt fra 2005 utført av Senter for geobiologi og Senter for dyphavsforskning ved UiB, ett tokt i 2011 i regi av Olje- og energidepartementet ledet av Havforskningsinstituttet, ett tokt i 2016 i regi av MarMine-prosjektet ledet av NTNU, og to tokt (2017-2018) i regi av EU-prosjektet SponGES. Spredte undersøkelser av dyphavsbunnen utenfor den arktiske midthavsryggen har tidligere blitt utført av BIOICE- og BIOFAR-programmene, NORBI-prosjektet og siden 2014 av IceAGE-programmet.

Marine organismesamfunn er mangfoldige og kan deles inn på ulike måter etter behov, slik som habitat, inkludert pelagiske organismer i de åpne vannmassene, demersale (bunnlevende) fisk, eller epifauna og infauna på eller i sjøbunnen. Bunnlevende organismer kan være mobile eller fastsittende, og deles også inn etter størrelse. De største organismene, ofte definert som organismer over 5 cm, betegnes megafauna. Makrofauna defineres ofte som organismer større enn 0,5-1 mm, meiofauna som dyr mindre enn 0,5-1 mm, og mikroorganismer som encellede organismer, både dyr og andre mikrobielle grupper (Gage & Tyler, 1991; Watling, 2019).

Ingen prøvetakingsredskaper gir et perfekt representativt utvalg av alle deler av organismesamfunnet. Hvert redskap vil være best egnet for spesifikke artsgrupper, bunntyper eller dyp, og de må brukes i kombinasjon for at alle deler av organismesamfunnet skal være representert. Ved pelagisk prøvetaking i åpne vannmasser er maskevidde viktig. For bunnlevende organismer, som utgjør hoveddelen av denne rapporten, er bunntypen svært ofte avgjørende for dyresamfunnets sammensetning: Organismesamfunn på hardbunn er forskjellig fra bløtbunn, som igjen er forskjellig fra såkalt biogent habitat (her svampegrunn). Ulike bunntyper krever dermed ulike prøvetakingsutstyr. Et gjennomgående verktøy i undersøkelsene på midthavsryggen er ROV (Remotely Operated Vehicle), som kan utrustes med ulikt tilleggsutstyr slik som for eksempel prøvekommer, manipulatorarm og sugepumpe. Mengde prøvemateriale er forholdsvis beskjedent, men bruk av ROV tillater prøvetaking av f.eks. steiner som kan undersøkes for fastsittende organismer, eller nøyaktig innsamling av kjerneprøver av sedimenter fra prøvelokaliteter. Innsamling med ROV er som regel mer skånsomt enn med andre innsamlingsmetoder, tillater en mer nøyaktig lokalisering av hvor prøven kommer fra, og kan supplere innsamlet materiale med videobilder (Figur 3). Samtidig kan de fysisk innsamlede prøvene fra en ROV (med unntak av sedimentkjerner som er tatt med ROV) som regel ikke brukes i kvantitative studier. ROV kan imidlertid benyttes for kvantitativ videoanalyse. Dette krever at dykkene følger et nøye oppsatt transekt for å kunne sammenlignes med andre dykk (for eksempel en angitt transektlengde som gjentas). I tillegg må ROVen være utstyrt med avstandsmålere (laserpunkter med en gitt avstand) slik at det synlige arealet er mulig å tallfeste.



Figur 3. Skuffe til skånsom oppbevaring av prøver tatt med robotarm til ROV. Skuffen beholder vannet slik at organismene ikke blir ødelagt og kan transporteres til laboratoriet om bord for videre undersøkelser.

Video- og bildebasert kartlegging ved hjelp av ROV-, AUV- og kameratransekter har vært en viktig komponent i undersøkelsene på AMOR. En Hugin® AUV (Autonomous Underwater Vehicle) (Kongsberg Maritim) har vært benyttet for mer systematisk kartlegging av deler av Schulzbanken (Meyer et al., 2019). Videobaserte metoder kan dekke store områder og er uavhengig av bunntype, men er begrenset til fauna av en viss størrelse (makro- og megafauna), og gir ikke mulighet til detaljert undersøkelse av påviste organismer. Det er også kjent at mobil fauna kan aktivt unngå eller tiltrekkes av ROVen, som kan føre til en feilkilde i videoundersøkelser.

Andre typiske marinbiologiske prøveredskaper som tråler og sleder som trekkes etter båten, har i mindre grad vært benyttet i undersøkelsene i utredningsområdet, men har blitt brukt i noen grad i områdene på utenfor midthavsryggen. Disse redskapene har flere fordeler, som at det kan samles inn ganske store volum av materiale, men de kan være utfordrende å bruke i den komplekse bunntopografien som finnes på midthavsryggen. En annen ulempe er presisjonsnivået på plasseringen av instrumentene på havbunnen, da disse redskapene må senkes «blindt» ned fra båten. Det finnes løsninger med kamera montert på trål eller sleder, og denne typen utstyr har blitt brukt i nyere undersøkelser på områdene på utsiden av ryggen. Montering av en transponder (akustisk sender) på tråler og sleder vil gjøre posisjon og bunntid mer nøyaktig. For svampegrunnene på Schulzbanken er det utført enkelte trekk med Agassiz-trål. Materialet fra disse trekkene er benyttet i taksonomiske arbeider som har beskrevet artssammensetningen av svampene på Schulzbanken. Det har også blitt benyttet tråler og sleder i områdene rundt de varme kildene, men ikke i de aktive områdene. Steinskrape brukes ofte av geologer for å samle inn steinprøver, og på tverrfaglige tokt med biologer om bord har biologisk materiale fra disse prøvene blitt separert ut om bord og samlet inn. Både sleder og tråler brukes jevnlig på bløtbunn utenfor midthavsryggen.

Kjerneprøvetakere, som tar prøver av sediment og assosiert fauna, har også blitt benyttet i utredningsområdet. Disse kan deles inn i gravitasjons-prøvetakere som slippes «blindt» fra skipet ned på havbunnen (boxcorer, multicorer, gravitycorer), og ROV-styrte prøvetagere (pushcorer, bladecorer). Gravitycorer tar veldig dype kjerneprøver med lite areal, og benyttes for å utføre geologiske og mikrobiologiske studier. Imidlertid blir de i liten grad brukt for å studere levende biologiske samfunn, men heller spor av biologiske samfunn tilbake i tid, som for eksempel foraminifer-skall eller spikler. En fordel med kjerneprøvetakere er at prøvene kan gi kvantitative data og dybdeprofiler, men de kan utelukkende brukes på lokaliteter med sediment. For prøver av infauna i bløte sedimenter er det vanlig å benytte grabber av forskjellige størrelser (for eksempel van Veen grabb). Dette har i liten grad vært brukt på midthavsryggen, men har blitt brukt en del på dyphavsslettene. Grabbprøver kan analyseres kvantitativt, men vil ikke gi informasjon om dypere sedimentlag, ettersom de er laget for å ta prøver av de øvre lagene der majoriteten av dyr i sedimenter befinner seg. Boxcorere av forskjellig volum er også ofte benyttet – disse gir relativt store definerte bokser med sediment som vanligvis kan deles mellom biologiske og geologiske analyser.

Mobile åtseletere blant mesozooplankton har blitt samlet inn ved hjelp av feller med åte. Grupper med åtseletere kan være både generalister med stor utbredelse, med noe spesialisering med hensyn til dyp og vanntemperatur, eller spesialister knyttet til områder med spesifikke kjemiske signaturer. Ulike typer åte har blitt brukt for å samle inn denne faunaen, for eksempel feit fisk som tiltrekker seg en rekke mobile åtseletere. Større biter av tungt nedbrytbare materialer som synkeved og hvalbein, tiltrekker seg en egen, spesialisert fauna, og bakteriell nedbrytning av disse danner anoksiske, sulfidrike soner som kan gi grunnlag for kjemosyntese (kapittel 3.1). Det har blitt utført eksperimenter langs midthavsryggen med alle

disse typene åte de siste årene, men dette arbeidet er fortsatt på et tidlig stadium, og det er lite publiserte data (mer om dette i kapittel 3.1).

Prøver av varm utstrømming og åpne vannmasser har blitt samlet inn ved hjelp av flere ulike redskaper. Ved Lokeslottet har MOCNESS-trål (Multiple Opening/Closing Net and Environmental Sensing System) blitt benyttet: et plankton multinett som tar prøver i horisontal retning. Ved Jan Mayen har det blitt brukt en Multinet Plankton Sampler, som tar prøver i vertikal retning. I tillegg har det blitt brukt Niskin vannprøvetaker koblet til CTD (Conductivity, Temperature, and Depth).

Prøver for mikrobiologiske studier har blitt samlet inn fra sediment (gravitasjonskjerner, bladecorer), fra steiner, fra vann innsamlet med presis sugepumpe (bio-syringe) og Niskin flasker, og fra inkubatorer med ulike substrat satt ned i havbunnen for ett år av gangen.

Tabell 1. Oversikt over hovedredskaper brukt for innsamling.

Hovedmetode	Redskap	Målgruppe/organismer	Type prøve/volum	År brukt
Gravende / "drop"/kjerneprove	Gravitycorer	Bunnlevende dyr, epi og infauna, fossile rester	Sediment, 12cm diameter, 6m dybde	
	Multicorer	Bunnlevende dyr, epi og infauna		
	(vanVeen) grab	Bunnlevende dyr, epi og infauna	0.1m ³ sediment	
	Boxcorer	Bunnlevende dyr, epi og infauna		
Halte/"drag"	Agassiz-trål		Mega og makrobenthos, bløtbunn	
	Bomtrål	Bunnlevende dyr, mega og makrobenthos	Mega og makrobenthos, bløtbunn	
	Epibentisk slede		hyperbenthos bløtbunn	
Halte vannsøylelevende dyr	MOCNESS trål	Vannsøylelevende dyr		2009
	Multinet		Plankton	2011
Mikrobielle prøver	Bio-syringe		Bakteriematter, vannprøver	
	Niskinflaske	Mikrobielle samfunn	Vannprøve, diverse volum	
	Inkubator			
ROV	Skuffe			
	Manipulatorarm	Bunnlevende dyr	"håndplukk" av prøver	
	Suction sampler			
	Bladecorer	Makro- og meiofauna, mikrobiologi, geokjem	Sediment, 7.5L volum, 32cm dybde	
Visuelle data	ROV			
	Kamerarigg	Bilde/video	HD-video og stillbildekamera	

2.2 Kartlegging av biologiske samfunn

Kartlegging av biologiske samfunn kan gjøres på mange forskjellige nivå, som vil gi ulik kunnskap og til en viss grad også ulike resultater eller tolkninger. En oversikt over hvilke arter som finnes i et samfunn kan høres tilforlatelig ut, men et oppløsningsnivå der man har et navn på alle arter kan ta veldig lang tid. Allikevel ligger artslisten til grunn for alle andre nivåer av beskrivelser av biologiske samfunn, enten det er snakk om systemer/biotoper, geografiske mønster, økologiske samspill eller forståelse av hvordan de forskjellige biologiske nivåene har utviklet seg.

Identifikasjon av arter er ikke en triviell oppgave. I avsnittene under beskriver vi prosessen med opparbeiding av prøver fra dyphavet og identifikasjon av arter, inkludert både morfologiske og DNA-baserte metoder, og beskrivelse av nye arter for vitenskapen. Men selve definisjonen av hva en art er, er sentralt for å forstå kompleksiteten i dette arbeidet. Det er viktig å skille mellom kriteriene man bruker for å identifisere en art (for eksempel utseende/morfologi, DNA, økologisk nisje), og definisjonen av hva en art er. Fordi det er så store variasjoner i hvordan ulike organismer lever og reproducerer seg, er det vanskelig å gi en artsdefinisjon som passer for alle grupper av organismer, men en samlende artsdefinisjon er at en art er en metapopulasjon som utvikler seg uavhengig av andre metapopulasjoner (De Queiroz, 2007). Det at en art utvikler seg uavhengig av andre arter gjør at den akkumulerer

unike egenskaper (både morfologiske karakterer og mutasjoner i DNA) som igjen gjør av vi kan identifisere arten. Dette skjer veldig gradvis, og nært beslektede arter kan være veldig vanskelig å identifisere fordi de kun har utviklet seg uavhengig av hverandre i et kort tidsrom f.eks. Luo et al., 2018). Et sentralt vitenskapelig prinsipp for artsbegrepet er at en art må sees på som en hypotese, som testes og revurderes (og noen ganger forkastes) etter hvert som ny informasjon blir tilgjengelig. Og selv om arter er den mest brukte enheten når det kommer til forvaltningsspørsmål, så er det også viktig å kjenne til populasjonsstrukturen og konnektiviteten (utveksling av individer) mellom populasjoner innenfor en art. Dette er beskrevet mer utfyllende i kapittel 2.2.6.

2.2.1 Opparbeiding av innsamlet biologisk materiale

Sammenlignet med den norske kysten og den kystnære sokkelen er faunaen i dyphavet i utredningsområdet lite kjent, med en høy andel ubeskrevne arter og uten sammenfattende publikasjoner. Identifisering av innsamlet fauna til navngitte taksa er derfor et krevende og møysommelig arbeid. Taksonomiske eksperter er nødvendig for å enten selv, eller via veiledning, identifisere innsamlet materiale. Ofte kreves det også genetiske studier for å avgjøre om artene er kjente eller nye for vitenskapen. Det er derfor vanlig praksis å først grovsortere innsamlede prøver, før ulike deler av materialet sendes til nasjonale eller internasjonale samarbeidspartnere med ekspertise på spesifikke organismegrupper. Både nasjonalt og internasjonalt er den største andelen av taksonomisk ekspertise knyttet til vitenskapelige museer. I Norge har spesielt Universitetsmuseet i Bergen og Vitenskapsmuseet ved NTNU forskningsgrupper som jobber med marine dyr. Arbeid som krever spesialisert taksonomisk kunnskap blir i hovedsak utført av forskere fra institusjoner med grunnfinansiering, med supplerende finansiering fra for eksempel Artsdatabanken, som finansierer prosjekter med mål å skaffe ny kunnskap om dårlig kjente organismegrupper i Norge.

Siden en stor andel av organismene i utredningsområdet er lite kjent, kreves det et betydelig forskningsmessig grunnarbeid før mer rutinepreget kartlegging er mulig. Det er oppgitt at det i snitt kan gå så mye som 21 år fra innsamling av materiale til formell beskrivelse av en ny art (Fontaine et al., 2012). Imidlertid kan målrettet innsats, f.eks. tilsvarende arbeidet som utføres i Clarion Clipperton-sonen i Stillehavet (Glover et al., 2018; Wiklund et al., 2019), fremskynde slik grunnkartlegging betydelig. Det er viktig at artsobservasjoner linkes til innsamlede individer deponert i museumssamlinger for at dataene skal være testbare. Et godt kuratert biologisk materiale identifisert av eksperter, har en mye høyere verdi for videre forskningsformål som for eksempel biogeografi, konnektivitet, fylogeni og økologi. Det danner også et nødvendig grunnlag for regional sammenstilling av faunaen i området som kan benyttes ved fremtidige kartleggings- og overvåkningsundersøkelser slik som Mareano, retningslinjene for miljøovervåking av petroleumsvirksomheten til havs (M-300) (Miljødirektoratet, 2020) eller Vannrammedirektivets veileder (02:2018) som brukes ved rutinemessig miljøovervåking i kystnære områder der organismsammensetningen er bedre kjent.

2.2.2 Identifikasjon av fauna

Morfologisk identifikasjon. Både i historiske og moderne publikasjoner er det mest vanlig å identifisere arter basert på morfologi – hvordan de ser ut. Alle biologiske arter av flercellede dyr har en formell beskrivelse som minimum inkluderer en beskrivelse av relevante morfologiske trekk – der relevante trekk gjerne er de som gjør det mulig å skille arter fra

hverandre. Basert på disse beskrivelsene, og kunnskap om nærstående arter og geografisk utbredelse, er det mulig å komme fram til artsidentifikasjoner av innsamlete individer. Dette er arbeid som for de fleste dyrene krever studier av organismen i lupe og/eller mikroskop, og for de fleste dyregrupper må en kombinasjon av flere morfologiske karakterer studeres for sikker artsbestemmelse av et gitt individ.

Denne metoden for identifisering av arter krever spesialisert kompetanse fra de fagpersonene som utfører den. Organisert opplæring innen identifisering av marine bunnlevende dyr er ofte svært begrenset, og de fleste ekspertene er i aldersgrupper der de ikke lenger er i aktivt arbeid (Norges forskningsråd, 2005). De fleste som jobber aktivt med identifisering av marine bunndyr i Norge lærer seg en dyregruppe eller to enten som en del av studiene (veldig få) eller som internopplæring i konsulentfirma/institusjoner som jobber med marine overvåkningsstudier (majoriteten) – og da gjerne knyttet til oppdretts- og petroleumsindustrien, noe som gjør at de er spesialisert på fauna knyttet til kysten og kontinentalsokkelen.

DNA-strekkoding. De siste 20 årene har hatt en eksplosiv utvikling innen molekylære metoder – studier av arvematerialet (DNA). Det pågår flere prosjekter som søker å kartlegge DNA-strekkoder for arter. En DNA-strekkode er en liten del av genomet som ved generelle studier av store grupper har vist seg å ha lav variasjon innenfor en art, men som viser tydelige forskjeller mellom arter. For dyr brukes som regel en del av det mitokondrielle genomet kalt COI (cytokrom-oksidasase I) (Folmer et al., 1994). Studiene som var grunnlaget for valget av COI ble gjort overveiende på landlevende insekter, og vi ser for flere dyregrupper i havet at COI ikke er en optimal løsning, men studier bruker nå gjerne flere markører (16S, 28S og 18S er mye brukt). Det har også vist seg å være vanskeligere å sekvensere COI fra flere marine grupper enn det har vært for insektene – dette er nok delvis fordi forskningen ikke har pågått like lenge, men også fordi de marine dyregruppene ofte er evolusjonært eldre og mer diverse enn dyregruppene som lever på land.

Ideen med en DNA-strekkode er at det skal være mulig å sammenligne gensekvensen fra COI (eller en annen del av DNAet) fra en ukjent organisme med et bibliotek over COI-sekvenser for å finne ut hvilken art sekvensen fra den ukjente organismen sammenfaller med (Hebert et al., 2003). Alt avhenger derfor av at vi har gode og fullstendige bibliotek. Det er flere både nasjonale (NorBOL: www.norbol.org) og internasjonale (BOLD: www.boldsystems.org) prosjekter som søker å gjøre nettopp dette, og bibliotekene blir stadig bedre. En utfordring for produksjon av gode bibliotek er at individet som DNA er hentet fra må være korrekt identifisert, og dette må fremdeles skje med morfologiske metoder, og da av eksperter på de spesifikke gruppene.

Artsavgrensning. En oversikt over hvilke (navngitte) arter som finnes i et habitat eller en prøve er avhengig av hvordan arten er diagnostisert, også kalt artsavgrensningen. Artsavgrensningen vil igjen avhenge av hvilke karakterer man har tilgjengelig for å identifisere arten. For at vi kan bruke en artsbeskrivelse må den være publisert i et fagfelleurdert tidsskrift. Det finnes flere databaser over aksepterte artsnavn og synonymer (tidligere brukte artsnavn som har blitt erstattet) til de aksepterte artsnavnene, der den klart mest brukte for marine makro- og meioorganismer er World Register of Marine Species (WoRMS – www.marinespecies.org).

Det vil allikevel være variasjoner i morfologi innenfor en art, og hvor grensen går for hva som regnes som intraspesifikk og interspesifikk variasjon, og hvilke karaktertrekk som regnes som viktige for å definere arter, varierer mellom fagmiljø. Med inntoget av molekylære metoder i

de siste årene har DNA-data blitt et viktig bidrag til å vurdere hvor grensen for en art går. I noen tilfeller kan DNA-data vise at arter som man har trodd var én art basert på morfologi, vise seg å være flere arter, også kalt kryptiske arter. Flere nyere studier fra Norskehavet viser at arter som vi har kjent lenge og vært trygge på definisjonen av, er kryptiske (Capa et al., 2019; Nygren et al., 2018; Ratcliff et al., 2016; Schwentner & Lörz, 2020). Tilsvarende er det også arter som man har trodd var ulike, viser seg å være samme art (f.eks. Rees et al., 2020). Det finnes mange ulike metoder for å avgrense arter basert på DNA-data, men akkurat som med morfologiske metoder kan det også være vanskelig å vurdere hvor grensen mellom arter går basert på genetiske data. Spesielt er det utfordrende å skille mellom arter og populasjoner som er delvis genetisk isolerte (Sukumaran & Knowles, 2017), men isolerte populasjoner er uansett en relevant enhet i forvaltningssammenheng (diskuteres i kapittel «Populasjonsstruktur og konnektivitet»). De beste resultatene oppnås når man kombinerer data fra morfologi, genetikk og økologi for å avgrense og beskrive arter (såkalt integrativ taksonomi; Di Camillo et al., 2018).

Beskrivelse av nye arter og høyere taksa. Det er mange faktorer som må med for å formelt beskrive en ny art. Det som kanskje tar lengst tid er å avgjøre om det er en ny art. Dette skjer som oftest enten ved at taksonomen ser strukturer som er morfologisk forskjellig fra kjent fauna, at det som kan virke som en kjent art finnes i et habitat der den er helt ukjent (for eksempel en art man bare tror finnes grunt oppdages på dypt vann), eller at DNA-strekkodene ikke stemmer med det vi vet fra før om det taksonet vi tror en prøve representerer. Disse tidlige tegnene utvides videre til nøyaktige beskrivelser – både morfologisk, molekylært og så mye økologisk som vi kan få til – som så sammenlignes med alle kjente arter som er i nærheten av det ubeskrevne taksonet. Dette betyr ikke bare sammenligning med litteratur, men også med typemateriale for de nærmeste artene. Typemateriale er alltid en del av en vitenskapelig museumssamling, og avhengig av eiermuseet kan det lånes eller besøkes. En re-beskrivelse av de nærliggende typene med samme metoder som blir benyttet på det nye taksonet er ofte nødvendig.

Publisering av nye arter må skje i fagfelleverderte tidsskrift, og må inneholde minimum en tilstrekkelig beskrivelse til at den nye arten skal kunne skilles fra nærliggende arter. Det er forskjellige tradisjoner innen forskjellige organismegrupper, men en kombinasjon av morfologisk beskrivelse (supplert med mikroskoptegninger, SEM/TEM-fotografi, foto av levende objekt/ preservert objekt) og en molekylær beskrivelse (gjerne av flere gener, men minimum strekkodings-området for den aktuelle organismegruppen) er et moderne minimum. Informasjon må inkludere typelokalitet og hvor materialet (både selve individene og DNA-ekstrakter) er deponert – dette må være i etablerte samlinger som for eksempel ved vitenskapelige museer.

2.2.3 Populasjonsstruktur og konnektivitet

Selv om arter er den mest brukte enheten for bevaring og forvaltning, er det viktig med en god forståelse av populasjonsstruktur, dynamikk og konnektivitet innenfor en art for å kunne evaluere konsekvensene av et inngrep som berører arten. Konnektivitet er et mål på grad av utveksling av individer mellom områder/habitater, og med unntak av større, mobile dyr som fisk, så foregår størstedelen av migrasjonen til marine dyr i larvestadier. Hvor stor spredningsevne en art har varierer, og henger ofte sammen med faktorer ved larvebiologien som om den spiser aktivt i larvestadiet eller lever på eggeplommereserver (Baco et al., 2016). Å måle bevegelsene til marine larver direkte er veldig vanskelig, så derfor brukes ofte genetisk variasjon som et mål for konnektivitet. Dersom individer fra ulike lokaliteter er

genetisk veldig like, tyder det på en høy konnektivitet. For å evaluere konnektivitet ved hjelp av populasjonsgenetiske metoder, er det viktig å inkludere mange individer fra hver lokalitet, for å få et godt mål på variasjonen innenfor en populasjon, som så kan sammenlignes med variasjonen mellom populasjoner. Det er også ønskelig å bruke mange genetiske markører fra ulike steder i genomet for å unngå ensidige signal fra områder i genomet som ikke er representative.

Konnektivitet kan også analyseres ved hjelp av biofysiske modeller, der man bruker data om strømmer og vannforhold, og biologisk informasjon om larvenes størrelse og oppførsel, til å modellere hvordan de vil bevege seg i vannmassene. For at disse modellene skal gi pålitelig informasjon er det sentralt å ha gode data å putte inn, men dessverre er dette ofte ikke tilgjengelig for dyphavet. Ved å bruke en rekke ulike verdier for variablene i modellen kan man allikevel finne ut noe om hva som påvirker spredningen til ulike arter, og ved å sammenligne disse dataene med genetisk informasjon kan man forstå konnektiviteten bedre.

Konnektiviteten mellom populasjoner er sentral for hvordan arten vil respondere på lokal utryddelse eller populasjonsreduksjon. Hvis det er høy konnektivitet mellom populasjonene i et område så vil en lokalitet kunne rekoloniseres etter en viss tid, gitt at levetilstandene ikke er ødelagt. Hvis populasjonene har lav konnektivitet, og viser genetisk struktur (populasjonene er tydelig genetisk ulike), så vil utryddelse av en populasjon kunne føre til tap av genetisk mangfold, og det vil sannsynligvis ta lengre tid før lokaliteten eventuelt rekoloniseres. I tillegg kan lokal utryddelse forårsake sekundære effekter på andre populasjoner, avhengig av populasjonsstrukturen og dynamikken for arten. I en metapopulasjon (flere populasjoner spredd utover et gitt område) vil ofte ikke alle populasjonene bidra like mye med larvetilførsel til de andre populasjonene. De populasjonene som bidrar mye med larvetilførsel til andre populasjoner kalles da kildepopulasjoner (source populations), og de som først og fremst mottar larver kalles mottagerpopulasjoner (sink populations) (Furrer & Pasinelli, 2016). I en metapopulasjon med kilde/mottager-dynamikk vil utradering av en kildepopulasjon kunne føre til at mottagerpopulasjonene også blir rammet.

2.2.4 Analyser av trofiske forhold

Stabile isotoper er en mye brukt metode for å analysere trofiske forhold i marine økosystem, og kan belyse hvordan næringsstoffer beveger seg gjennom næringskjeden. Ved hjelp av stabile isotoper kan man for eksempel slå fast om dyr som lever ved varme kilder har spist organisk materiale med opphav fra kjemosyntese eller fotosyntese. Både dyr som spiser kjemosyntetiske bakterier, og som får næring fra kjemosyntetiske symbionter vil ha et tydelig signal av dette i analyser av stabile isotoper.

Bruk av stabile isotoper har sine begrensinger ved at analysene vil inkludere hva byttene har spist, og dyr som spiser variert vil gi et tvetydig svar. Alternativt kan man benytte DNA fra mageinnhold. Den metoden har imidlertid sine egne begrensinger da det er utfordrende å vite om man finner DNA fra byttets egen mage, parasitter eller det faktiske byttet. I tillegg er det teknisk svært krevende å skille ut DNA fra mager fra små dyr (Olsen et al., 2012; Olsen et al., 2014) (se 2.2.5 for mer om miljø-DNA). Fettsyrer er en annen måte å undersøke byttedyr og rovdyrforhold, men det er ikke utprøvd ved varme kilder ved AMOR så langt vi kjenner til. En mer tradisjonell metode er visuell undersøkelse ved hjelp av disseksjon, men det er i liten grad utført på fauna fra AMOR, mye på grunn av at et stort flertall av dyrene er relativt små. Trofiske interaksjoner i områder utenfor ryggen har i størst grad vært knyttet til fiskeri og de åpne vannmassene i høyere lag, og ikke for bunnlevende organismer i dyphavet. Det er derfor lav kunnskap om dette utover AMOR.

2.2.5 Miljø-DNA

Miljø-DNA (mDNA/eDNA) er en samlebetegnelse på molekylære metoder som f.eks. metabarcoding, shotgun sequencing og targeted enrichment (Cordier et al., 2020). Disse metodene benytter det samlede DNAet i en miljøprøve (en vannprøve, sedimentprøve eller en mageprøve) eller i en «samleprøve» (en usortert mengde av dyr, for eksempel en planktonprøve) til å produsere en oversikt over organismer som er eller har vært til stede på lokaliteten. Alternativt kan metoder som qPCR eller ddPCR benyttes til å avdekke spesifikke enkeltarter (f.eks. invasive eller truede arter) (Kutti et al., 2020).

Avhengig av valgt metode er det mulig å undersøke ulike deler av organismsamfunnene fra miljøprøven, inkludert både mikroorganismer og flercellede dyr. Slike metoder er dermed potensielt svært kraftfulle i kartlegging og overvåkning av organismsamfunn, selv om de også har en del svakheter sammenlignet med eksisterende metoder. Bruk av mDNA-baserte metoder er lite standardisert, både med hensyn til metodikk og tolkning. Det er imidlertid høy forskningsaktivitet på dette feltet. Biodiversitetsstudier med mDNA fra dyphavet har allerede blitt publisert (f.eks. Brandt et al., 2020; Guardiola et al., 2016; Laroche et al., 2020; Sinniger et al., 2016), og det er ventet at mDNA vil bli en vanlig komponent i fremtidige kartleggings- og biodiversitetsstudier.

2.2.6 Beskrivelse av mikrobiologiske samfunn

Metodikken som til nå i størst grad har vært benyttet til å studere sammensetninger av de mikrobielle samfunnene på AMOR er basert på bruken av genet som koder for 16S RNA. Årsakene til at man har benyttet dette genet er at det inneholder variable og konserverte områder som muliggjør taksonomisk identifisering samt identifisering av slektskap mellom mikroorganismer. Genet er også universelt til stede i mikroorganismer. For å kunne koble strukturen til de mikrobielle samfunnet til den unike geokjemien innad eller mellom de ulike hydrotermiske systemene, samles det parallelt inn metadata for det enkelte prøvetakingsstedet.

Hvordan mikroorganismene i de mikrobielle næringsnettene samhandler, er også studert ved bruk av mer avansert metodikk hvor man har benyttet informasjon om tilstedeværende gen (metagenomikk) og gen-uttrykk (metatranskriptomikk, metaproteomikk), til å predikere hvilke metabolske prosesser som blir utført av hvilke typer av mikroorganismer. På denne måten får man en dypere innsikt i hvordan de mikrobielle samfunnene interagerer seg imellom, med det geokjemiske miljøet og tilsvarende hvordan de påvirker geokjemien.

Ved bruk av metagenomikk avdekkes hundretusener av gen fra de mikrobielle samfunnene gjennom DNA-sekvensering av en enkelt prøve. Disse genene danner utgangspunkt for produksjon av enzym som kan være av bioteknologisk interesse. Det genetiske materialet som har vært benyttet i dette arbeidet er framdyrket *in situ* ved bruk av inkubatorer hvor man stimulerer de mikrobielle samfunnene til å bryte ned biomasse av industriell relevans (Stokke et al., 2020).

2.2.7 Bilde- og videoanalyse av epibentiske megafauna-samfunn

Visuelle undersøkelser av havbunnen ved hjelp av ROV, AUV og kamerarigger har blitt flittig brukt i dyphavsforskning, men også for kartlegging av naturtyper i fjorder og kystnære strøk. Fordelen med disse metodene er at man raskt kan kartlegge store arealer av havbunnen, og gitt at man følger standardiserte metoder kan man registrere kvantitative data om

epibentisk megafauna og samfunnsstruktur. For noen mobile organismer – særlig fisk og krepsdyr – kan lyd og lys fra ROVen utløse aktiv unngåelse eller tiltrekningsatferd som kan introdusere feilkilder i ROV-videoundersøkelser. Et annet alternativ er å samle inn tidsserier bestående av bilder/filmer fra samme sted over en tid: dette gjør at man kan overvåke havbunnssamfunn over tid og kartlegge og kvantifisere forstyrrelser og gjenoppbygging av samfunn. Høykvalitets stillbilder og videotransekter kan samles inn ved å bevege seg med konstant sakte hastighet og lav høyde over bunnen, gjerne med nøyaktig posisjonering. HD kamera og godt lys er nødvendig for kartlegging av både havbunnstopografi og fauna.

De store mengdene med bilde- og videodata som vanligvis samles inn i en undersøkelse må analyseres av erfarne forskere og med bilde/videoanalyse-programvare. Hver observasjon markeres, klassifiseres og georefereres. På grunn av den stadige økningen av video- og bildebruk i forskning har det vært flere forsøk på å lage automatiserte bildeanalyseverktøy (Langenkämper et al., 2020). Den taksonomiske nøyaktigheten vil variere basert på flere faktorer, som for eksempel bildekvalitet, kunnskap og erfaring til den som analyserer og generell kunnskap om lokal fauna. Det er ønskelig at taksonomiske eksperter blir konsultert for å øke nøyaktigheten på analysene, men det er vanlig at man ikke kan komme helt til artsnivå. For mange arter er det heller ikke mulig å identifisere til art basert på bilder alene, uansett hvor høy kvalitet bildene har. I områder med lav kunnskap om biomangfoldet kan det leve arter som er ukjent for vitenskapen. Som et resultat av usikkerheten er det vanlig å identifisere til «morfotaksa» eller «Operational Taxonomic Units (OTU)» fram til fysisk materiale kan samles inn, undersøkes og identifiseres av eksperter på taksonomi (Horton et al., 2021). Siden det er komplisert å samle inn fysiske prøver fra dyphavet er det alternative bildemetoder under utvikling som bruker høyspektrum oppløsning som in situ taksonomisk verktøy, der arter blir identifisert basert på sitt optiske fingeravtrykk (Dumke et al., 2018).

3. Biologi i ulike habitater

For å gi en oversikt over tilgjengelig kunnskap har vi gjort en grov inndeling av habitater i utredningsområdet. Hovedinndelingen er mellom hardbunn og bløtbunn, der hardbunn inkluderer underkapittel om spesielle habitat som sjøfjell, inaktive sulfidforekomster og manganskorper. Varm havkildébunn og organismer assosiert med utstrømmingen fra varme kilder beskrives i et eget kapittel. Disse habitatinndelingene er en kraftig forenkling, men samlet gir dette en helhetlig oversikt over kunnskapsstatus per nå. Stasjoner og områder som er mye omtalt videre i rapporten kan sees i Figur 4.

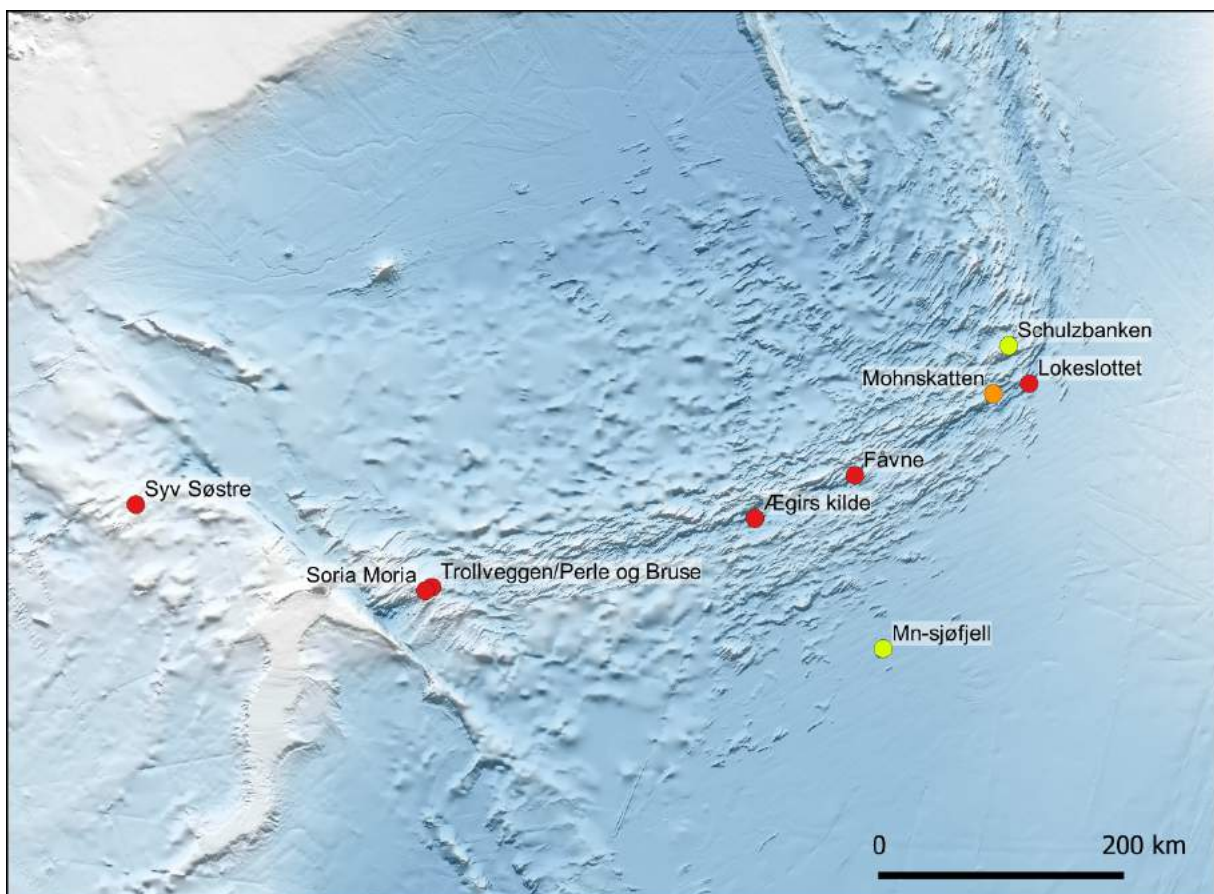
3.1 Varm havkildébunn

I dette kapitlet beskrives faunaen ved hydrotermiske kilder i dyphavet, som tilsvarer kategorien M12 Varm havkilde i Natur i Norge-systemet (NiN 2019). Fauna på og nær havbunnen ved varme kilder på AMOR beskrives i 3.1.1, mens fauna i de åpne vannmassene over varme kilder beskrives i 3.1.2. Lokalitetene som beskrives varierer mellom underkategori M12-3 «Observerbart og litt jordvarmeinfluert kilde i dyphavet» og underkategori M12-6 «Temmelig og sterkt jordvarmeinfluert kilde i dyphavet» (NiN 2019).

Ved varme kilder er de fysiske og kjemiske miljøforholdene krevende. Temperaturen på væsken som strømmer ut kan være opp mot 400 °C, og når denne væsken blandes med det omkringliggende sjøvannet skapes bratte temperaturgradienter. I tillegg er pH-verdien lav, og væsken inneholder giftige stoffer som hydrogensulfid og tungmetaller. Samtidig er denne væsken også en kilde til energi for mikroorganismer med tilpasset, såkalt kjemosyntetisk

metabolisme. Fordelen for organismer som tåler slike forhold er at kjemosyntetiske mikroorganismene danner grunnlag for bedre næringstilgang sammenlignet med det ellers næringsfattige dyphavet. Flere dyr har utviklet symbioser med kjemosyntetiske mikroorganismer, der disse lever inni eller utenpå vertens kropp. Verten sørger for gunstige forhold slik at mikroorganismene kan utføre kjemosyntese, og mottar til gjengjeld næring fra symbionten. Den rike næringstilgangen ved varme kilder gjør at tettheten av organismer og biomassen per areal er høy sammenlignet med omkringliggende områder uten varm utstrømning.

Kombinasjonen av krevende miljøforhold og spesielle næringstilpasninger, som for eksempel symbiose og kjemosyntese, gjør at mange organismer ved varme kilder er spesialtilpasset til denne typen habitat, og ikke kan overleve andre steder. Andre habitater med gunstige miljøforhold for kjemosyntese er kalde gassoppkommer (NiN M11) og organiske nedfall. Kalde gassoppkommer er steder der sjøvann beriket med hydrokarboner (for eksempel metan) lekker ut av havbunnen, og disse finnes som regel langs kontinentalsokkelen. Organiske nedfall dannes når store «pakker» med organisk materiale, som for eksempel en død hval eller en trestokk, synker ned på havbunnen. Bakteriell nedbrytning av det organiske materialet danner hydrogen sulfid, som igjen gir grobunn for kjemosyntetiske bakterier. Noen organismer kjent fra varme kilder kan også leve ved kalde gassoppkommer og organiske nedfall, men det er stor usikkerhet tilknyttet hvor stort overlapp det er mellom disse habitatene.



Figur 4. Sentrale lokaliteter i utredningsområdet. Rød sirkel indikerer aktive kildefelt, oransje sirkel indikerer kildefelt med lavt aktivitetsnivå og gul sirkel indikerer sjøfjell.

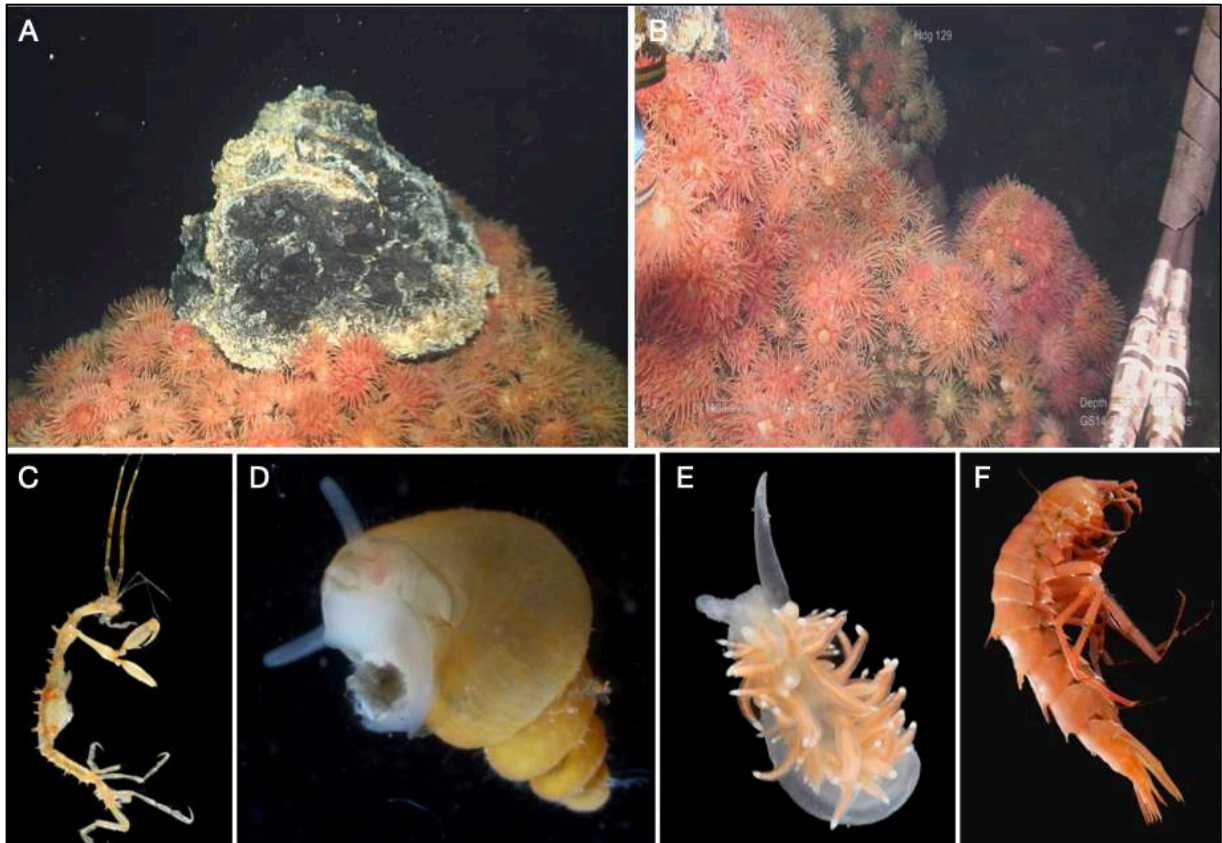
3.1.1 Fauna på og nær havbunnen ved varmekilder på AMOR

Per i dag er det åtte kjente kildefelt langs den norske delen av den arktiske midthavsryggen (Figur 4). Lengst sør, nær Jan Mayen, ligger fire grunnere kildefelt; Syv Søstre på rundt 130 meters dyp, og de tre feltene Soria Moria (700 m), Trollveggen (500 m) og Perle & Bruse (580 m), som ligger med få kilometers mellomrom og samlet kalles Jan Mayen feltene. Lengre nord langs Mohnryggen ligger fire dypere felt: Ægirs Kilde (2500 m), Fåvne (3000 m), Mohnsskatten (2600 m) og Lokeslottet (2400 m). Alle kildefeltene som beskrives her er aktive kildefelt, men flere av de inneholder også inaktive skorsteiner (se Tabell 2). Dette kapittelet fokuserer på faunaen som er assosiert med aktiv utstrømming, mens faunaen på inaktive skorsteiner diskuteres under kapittel 3.2.4.

Tabell 2. Kjente varme kilder i det norske området av den arktiske midthavsryggen. Soria Moria, Trollveggen og Perle og Bruse ligger nært hverandre og hører til det som samlet kalles Jan Mayen feltene (JMF). For geografisk plassering se Figur 4.

Lokalitet	Dybde (m)	Oppdaget (år)	Type kildefelt	Maks temp. (°C)
Syv Søstre	130	2013	Blank utstrømming og CO ₂ bobler	200
Soria Moria (JMF)	700	2005	Skorsteiner med hvit utstrømming	270
Trollveggen (JMF)	550	2005	Skorsteiner med hvit utstrømming, og område med diffus utstrømming	280
Perle & Bruse (JMF)	580	2013	Skorsteiner med hvit utstrømming	233
Ægirs Kilde	2500	2016	Skorsteiner med hvit eller blank utstrømming, og område med diffus utstrømming	-
Fåvne	3000	2018	Skorsteiner med svart utstrømming, og inaktive skorsteiner	-
Mohnsskatten	2600	2002	Diffus utstrømming (begrenset område), og inaktive skorsteiner	-
Lokeslottet	2400	2008	Skorsteiner med svart utstrømming, og diffus utstrømming i Baryttfeltet og Oasis	320

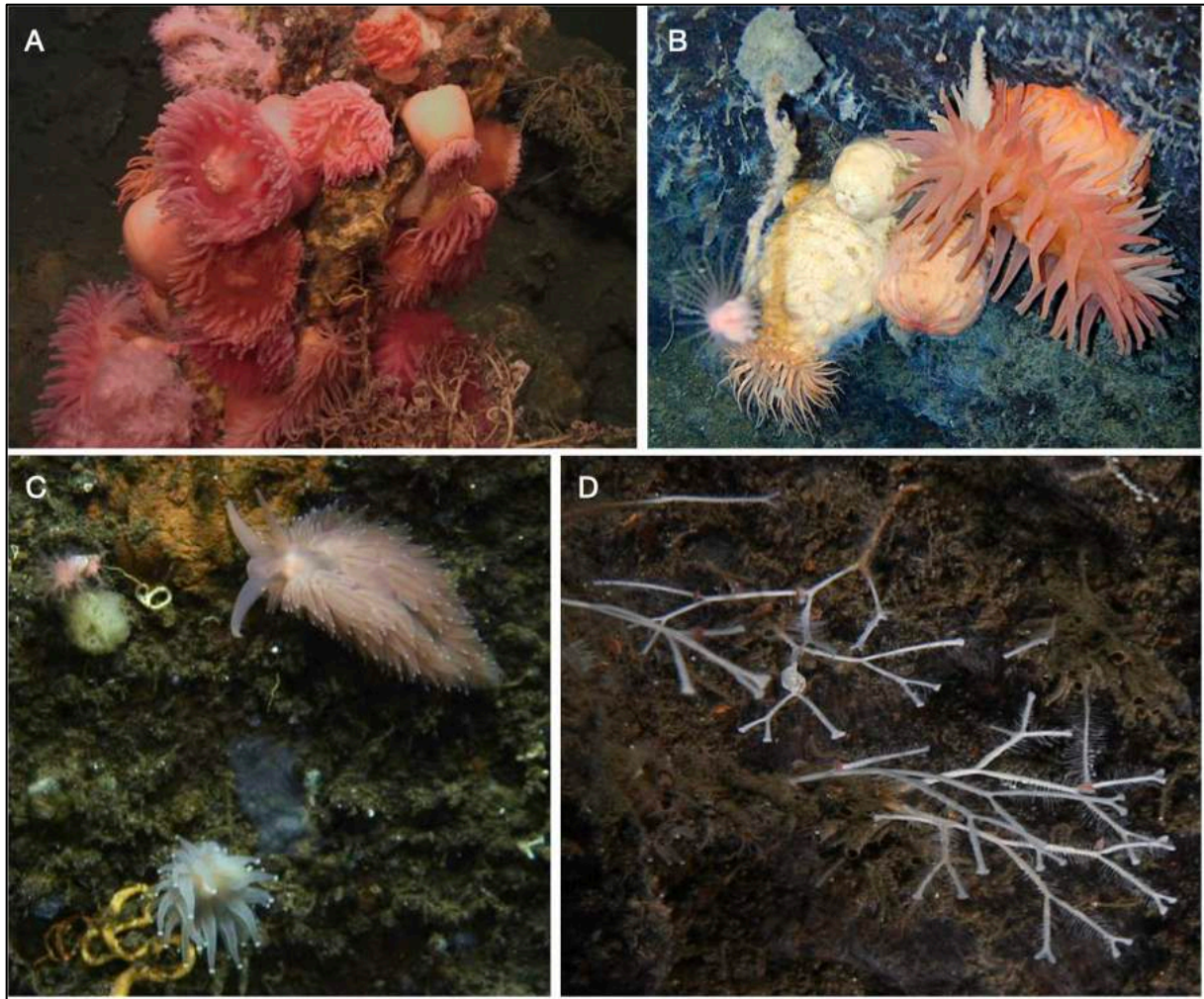
Syv Søstre ligger på rundt 130 m dyp på Kolbeinseyryggen, og er den grunneste varme kilden i norske farvann på den arktiske midthavsryggen (Marques et al., 2020). Det er tatt biologiske prøver fra dette feltet i 2014 og 2021 av Senter for dyphavsforskning, men det finnes ikke en utfyllende artsliste per i dag. Habitatet på Syv Søstre er variert med en blanding av harde substrat og sediment, og foreløpige data tyder på at faunaen er dominert av arter som er kjent fra omkringliggende hardbunns- og bløtbunns habitat. De mest dominerende organismene av stor størrelse (megafauna) er anemoner (*Urticina eques* og *Hormatia* sp.) og mosdyr. Anemoner i slektene *Urticina* og *Hormatia* er utbredt også nær de varme kildene på JMF, og *Urticina felina* er tidligere identifisert fra de grunne varme kildene på Kolbeinseyfeltet lengre sør på Kolbeinseyryggen nær Island (Figur 5) (Fricke et al., 1989; Schander et al., 2010).



Figur 5. Fauna ved Syv Søstre. A og B – tett kolonisering av anemoner i slektene *Urticina* og *Hormatia* nær utstrømmingen, C – amfipode i familien Caprellidae, D – snegle i familien Rissoidae, E – nakensnegle, F – *Cleippides quadricuspis* (Amphipoda). Bilder: Senter for dyphavsforskning (2014).

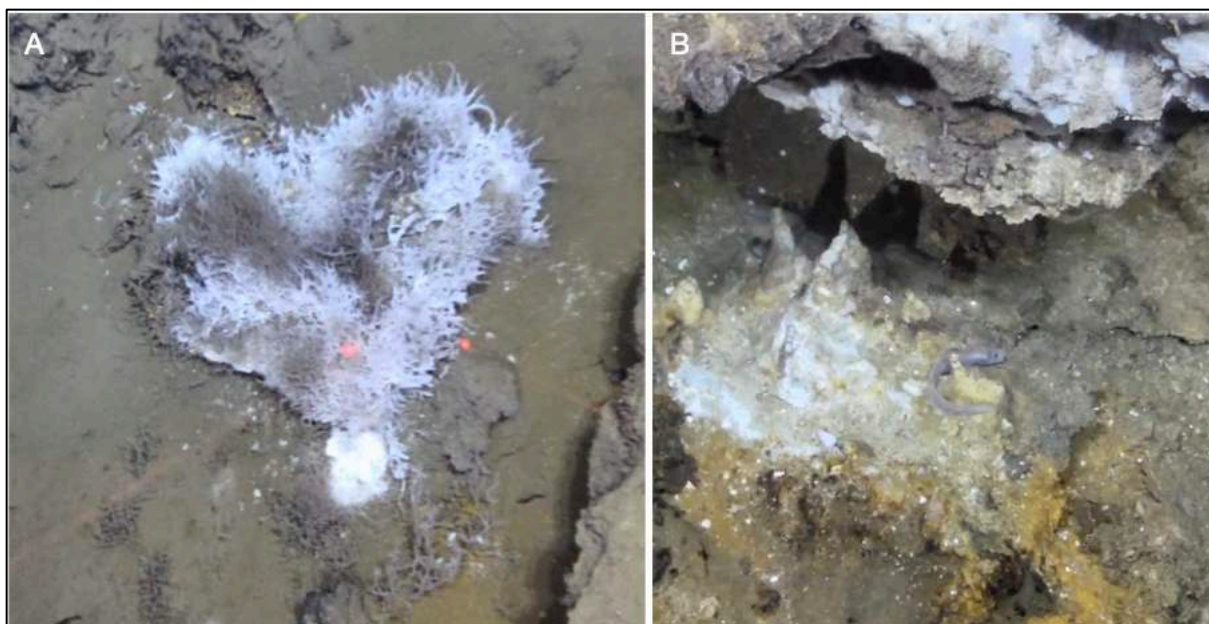
Jan Mayen feltene omfatter tre separate felt med varme kilder (Trollveggen, Soria Moria og Perle & Bruse) som ligger med få kilometers mellomrom øst for Jan Mayen (Figur 4). Nær Trollveggen ligger et område med diffus lav-temperatur utstrømning (<7 °C) med tallrike jern-avsetninger kolonisert av jernoksidende bakterier (Johannessen et al. 2017; Vander Roost et al. 2018). Soria Moria og Trollveggen var de første varme kildene oppdaget i norske farvann i 2005, og faunaen fra disse feltene ble beskrevet av Schander et al. (2010). Perle & Bruse ble oppdaget i 2013, og faunaen her ble prøvetatt av UiB i 2016 og 2021, men en komplett artsliste er ikke utarbeidet.

Totalt er det identifisert 180 taksa fra Soria Moria og Trollveggen inkludert området med diffus utstrømning (Schander et al., 2010). Det er kun en håndfull av artene registrert ved Jan Mayen feltene som er potensielle spesialister – noen få arter krepsdyr, én kalksvamp som trolig er ny for vitenskapen og den bakteriespisende sneglen *Pseudosetia* cf. *griegi* som også er kjent fra varme kilder lengre nord på midthavsryggen og fra kalde gassoppkommer (Pedersen et al., 2010b; Schander et al., 2010). Bortsett fra disse artene består faunaen på Soria Moria, og Trollveggen av arter som er kjent fra hardbunns- og bløtbunns habitat i området rundt Jan Mayen (Schander et al. 2010, Bakken et al. 2010, Fossum et al. 2012). Noen av disse artene, som anemoner (*Hormathia* sp. med flere), medusahode (*Gorgonocephalus eucnemis*), sjøliljer (*Heliometra glacialis*), kjøttetende svamp (*Cladorhizidae*, flere arter) og kalksvamp (*Calcarea*, flere arter), forekommer i høy tetthet nær de varme kildene, og benytter seg sannsynligvis av økt næringstilgang i form av byttedyr eller organisk materiale (Figur 6).



Figur 6. Fauna på Jan Mayen feltene. A – Anemoner, bløtkoraller og medusahoder, B – anemoner, hydrozoer, cladorhiziden *Lycopodina cupressiformis*, C – nakensnegl og anemone, D – cladorhiziden *Asbestopluma furcata* som spiser på amfipoder. Bilder: Senter for dyphavsforskning (UiB).

Ægirs Kilde er en varm kilde på 2500 meters dyp som har flere skorsteiner med hvit eller blank utstrømming. Faunaen ved Ægirs Kilde er ikke undersøkt i detalj enda, men videoobservasjoner viser at skorsteinene er kolonisert av små snegler og amfipoder som ligner på de vi finner ved andre varme kilder på AMOR. På Senter for dyphavsforskning sitt tokt i 2020 ble det også funnet et sedimentert område med diffus utstrømming der det var en busk av børstemark, dominert av *Sclerolinum contortum* og *Nicomache lokii*. En foreløpig gjennomgang av prøver fra denne prøven viste mange av de samme dyregruppene som er kjent fra lignende busker i Baryttfeltet på Lokeslottet: amfipoder, snegler og flere familier av børstemark. En annen interessant observasjon ved Ægirs Kilde er et høyt antall av flatsnuteålebrosme (*Lycenchelys platyrhina*) som oppholder seg nær skorsteinene og i området med diffus utstrømming (Figur 7) (Olsen et al., 2016), som for øvrig også er vanlige ved Lokeslottet.

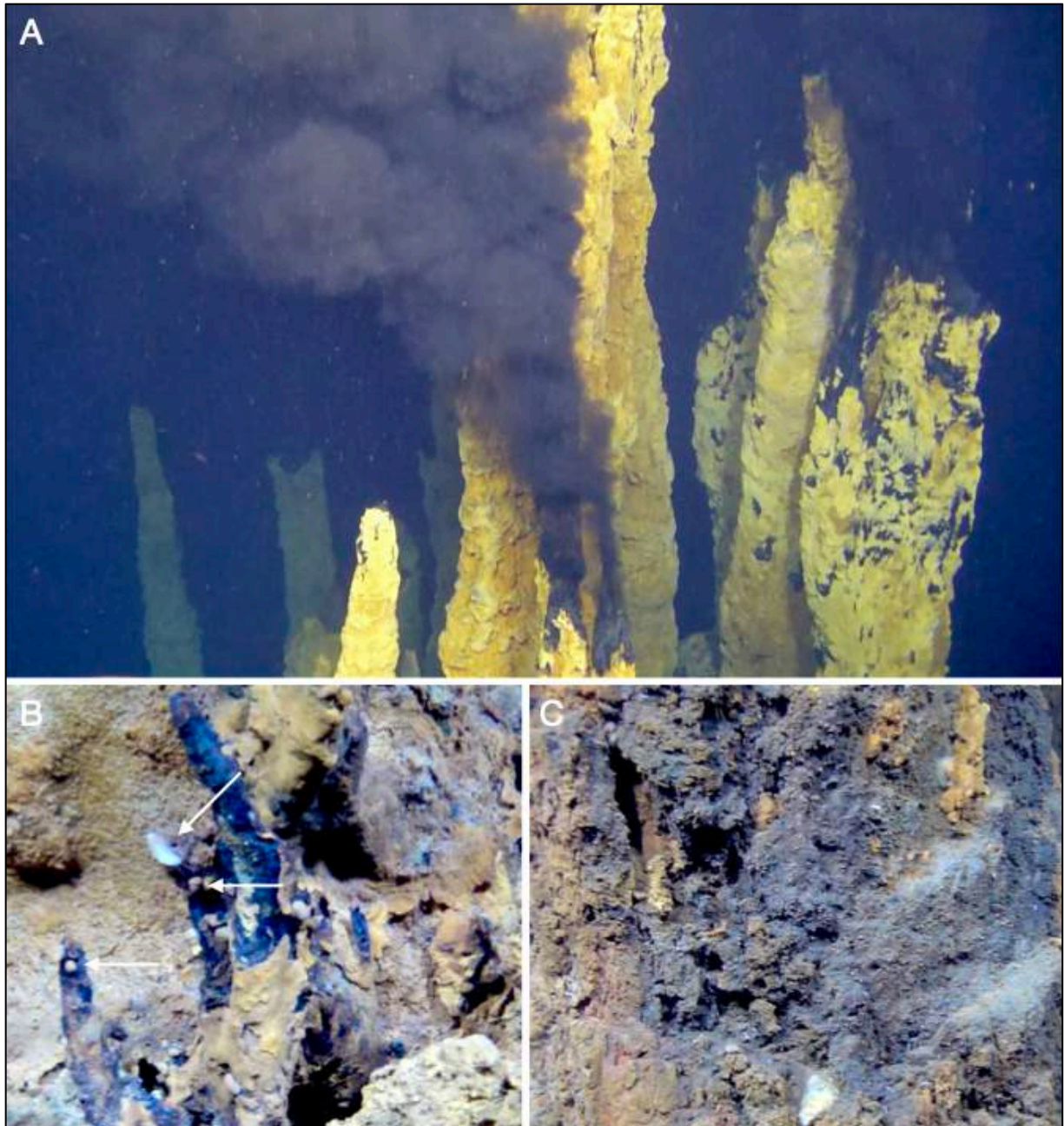


Figur 7. Fauna fra Ægirs Kilde. A – Tett ansamling av børstemark (*Sclerolinum contortum*) ved diffus utstrømming, B – Flatsnuteålebrosme (*Lycenchelys platyrhina*) ved foten av en skorstein med blank utstrømming. Bilder: Senter for dyphavsforskning (2020).

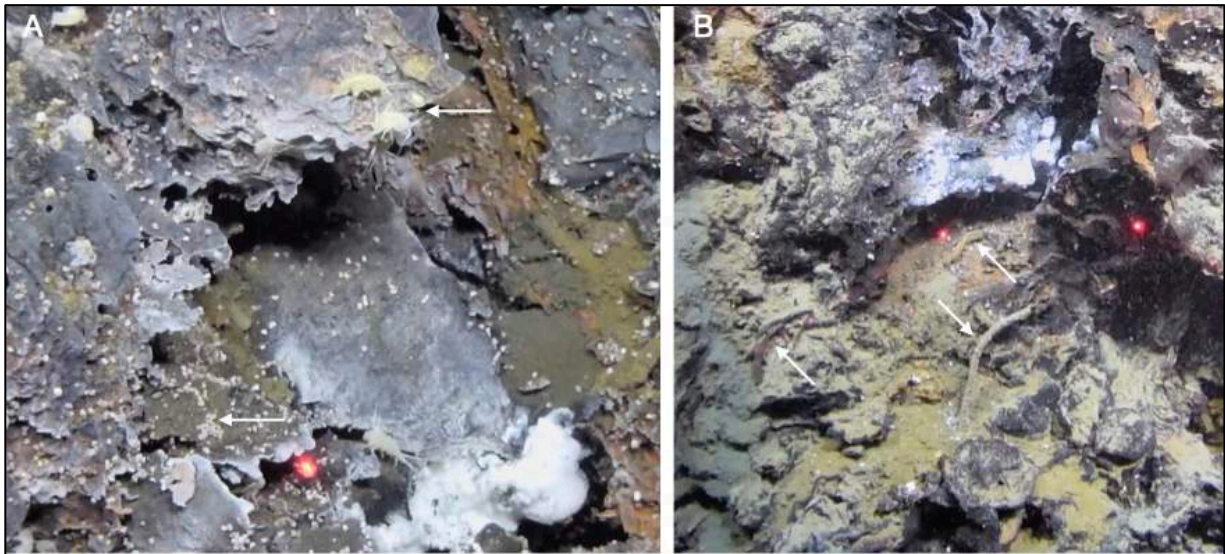
Fåvne ble oppdaget i 2018 på et tokt i regi av Oljedirektoratet, og faunaprøver ble samlet inn i 2019 av Senter for dyphavsforskning (UiB). Dette materialet er fortsatt under opparbeiding, og artsliste for lokaliteten er ikke tilgjengelig enda. På Fåvne er det både skorsteiner med kraftig, svart utstrømming og inaktive skorsteiner som ofte er tett kolonisert av fauna. Faunaen fra inaktive skorsteiner er beskrevet i 3.2 Hardbunn. På aktive skorsteiner er det en høy tetthet av amfipoder og små snegler (Figur 8).

Mohnsskatten er et kildefelt på 2600 m dyp, omtrent 30 km sørvest for Lokeslottet. Kildefeltet ble oppdaget i 2002 av SUBMAR-prosjektet (UiB), da en steinskrape kom opp med sulfidavsetninger fra skorsteiner. De første ROV undersøkelsen ble gjort i 2007 av Sentr for geobiologi (UiB). Siden det ikke var påvist noe tegn på utstrømming i vannsøylen, ble det antatt at dette var et utdødd kildefelt. De første detaljerte biologiske undersøkelsene i området med videotransekter og prøvetaking ble utført av MarMine-prosjektet i 2015, men uten å påvise aktiv oppstrømming (Ramirez-Llodra et al., 2020). Oljedirektoratet gjennomførte detaljkartlegging av området i 2019 og påviste flere mineraliseringer.

I 2020 besøkte UiB Mohnsskatten for å gjøre flere undersøkelser, og det ble oppdaget et område med diffus utstrømming av blank, skimrende væske. Rundt utstrømmingen var overflaten dekket av en hvit bakteriefilm kolonisert av små snegler (sannsynligvis i familien Rissoidae) og amfipoder. Det ble også observert tuber som sannsynligvis inneholder børstemark. Disse første videoobservasjonene av denne faunaen indikerer at den kan være nært beslektet med arter kjent fra Lokeslottet, men det innsamlede materialet må undersøkes av spesialister for å fastslå hvilke arter det er (Figur 9). På toktet til Mohnsskatten i 2020 ble det også observert utdødde skorsteiner, tett kolonisert med svamper og annen fauna. Den generelle bløt- og hardbunnsfaunaen fra Mohnsskatten (inkludert de inaktive skorsteinene) er også beskrevet under de relevante kapitlene under.



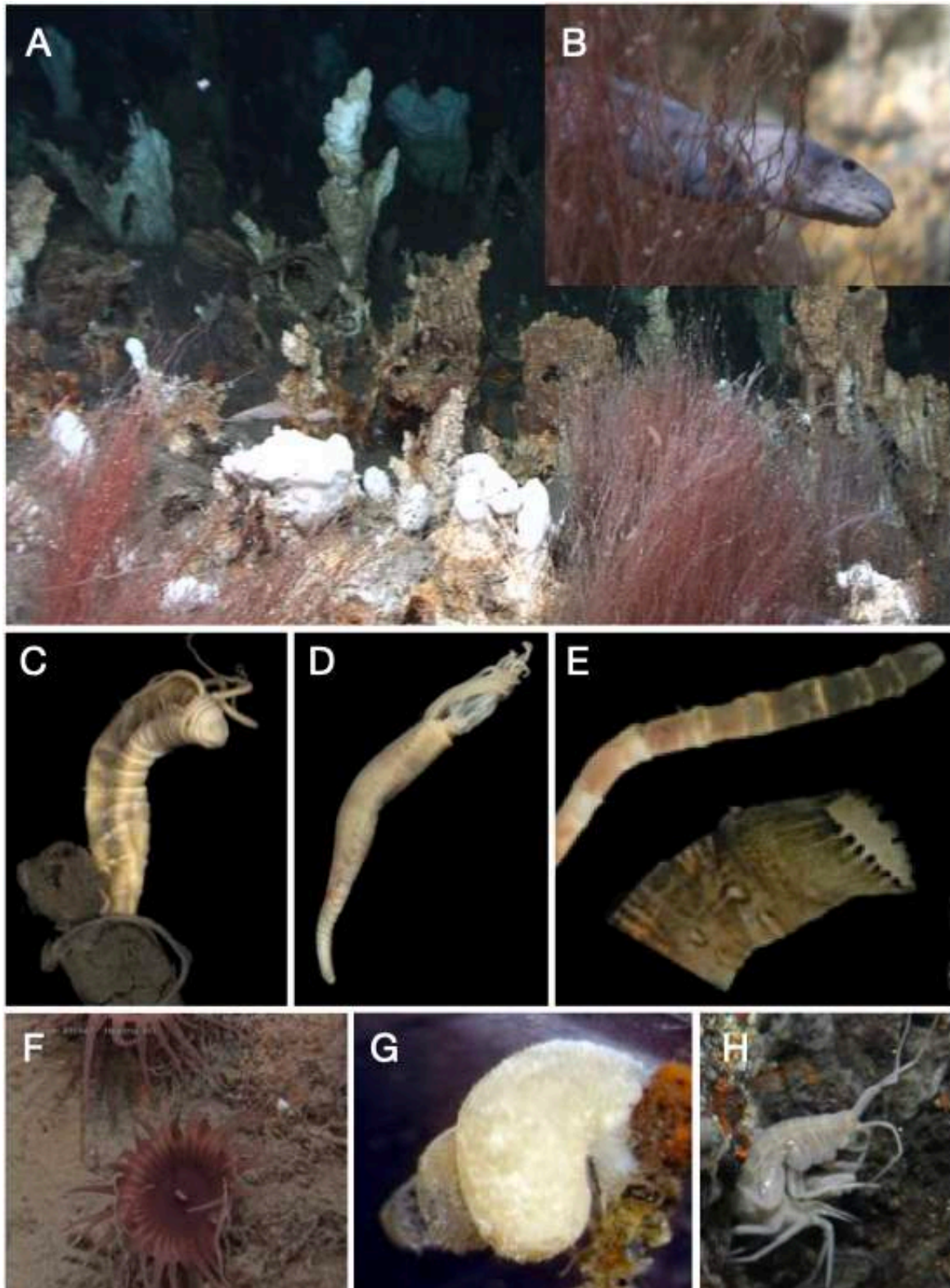
Figur 8. Fauna fra Fåvne. A – Skorsteiner med svart utstrømming, B – amfipoder og snegler på skorstein, noen individer er fremhevet med piler, C – skorstein tett kolonisert av små snegler. Bilder: Senter for dyphavsforskning (2019).



Figur 9. Fauna i området med diffus utstrømming på Mohnsskatten. A – Amfipoder og små snegler, noen individer fremhevet med piler, B – tuber som inneholder børstemark. Bilder: Senter for dyphavsforskning (2020).

Lokeslottet ble oppdaget i 2008, og var den første varme kilden med svart utstrømming og en tydelig endemisk fauna som ble oppdaget på den arktiske midthavsryggen (Pedersen et al., 2010b). Siden oppdagelsen av Lokeslottet, er det beskrevet fem nye arter for vitenskapen fra denne lokaliteten (Kongsrud et al., 2017; Kongsrud & Rapp, 2012; Tandberg et al., 2013), men det gjenstår fortsatt mellom 10-20 nye arter som ikke er beskrevet enda (Eilertsen, egne data). I tillegg til skorsteiner med svart utstrømming opp til 320 °C, er det et stort område (ca 400 m²) nord-øst i feltet med diffus blank utstrømming ved ca. 20 °C og unike baryttkskorsteiner som har gitt området kallenavnet Baryttfeltet (Steen et al., 2016). Diffus utstrømming er også kjent fra et mindre område (ca 250 m²) litt lengre unna skorsteinene som kalles Oasis.

Faunaen på Lokeslottet er dominert av amfipoder, snegler og børstemakr. På skorsteinene, nærmest den varme utstrømmingen, finner vi amfipoder, hovedsakelig *Exitomelita sigynae*, og de små sneglene *Skenea* sp. og *Pseudosetia* cf. *griegi*. I Baryttfeltet er det tette busker av *Sclerolinum contortum* og *Nicomache lokii* som danner strukturer som er bebodd av mange andre arter, inkludert snegler, krepsdyr, og en rekke andre arter av børstemark (Figur 10) (Kongsrud et al., 2017; Kongsrud & Rapp, 2012).



Figur 10. Fauna fra Lokesslottet. A – Baryttfeltet med baryttkorsteiner og hvite bakteriematter i bakgrunnen og busker av *Sclerolinum contortum* i forgrunnen, B – flatsnuteålebrosme (*Lycenchelys platyrhina*), C – *Paveilius smileyi* (Annelida, Ampharetidae), D – *Paramytha schanderi* (Annelida, Ampharetidae), E – *Nicomache lokii* (Annelida, Maldanidae), F – anemone (Actiniaria), G – *Pseudosetia* cf. *griegi* (Rissoidae), H – *Exitomelita sigynae* (Amphipoda, Melitidae). Bilder: A, B, F-H: Senter for geobiologi, C, D: Kongsrud et al., 2017; E: Kongsrud & Rapp, 2012.

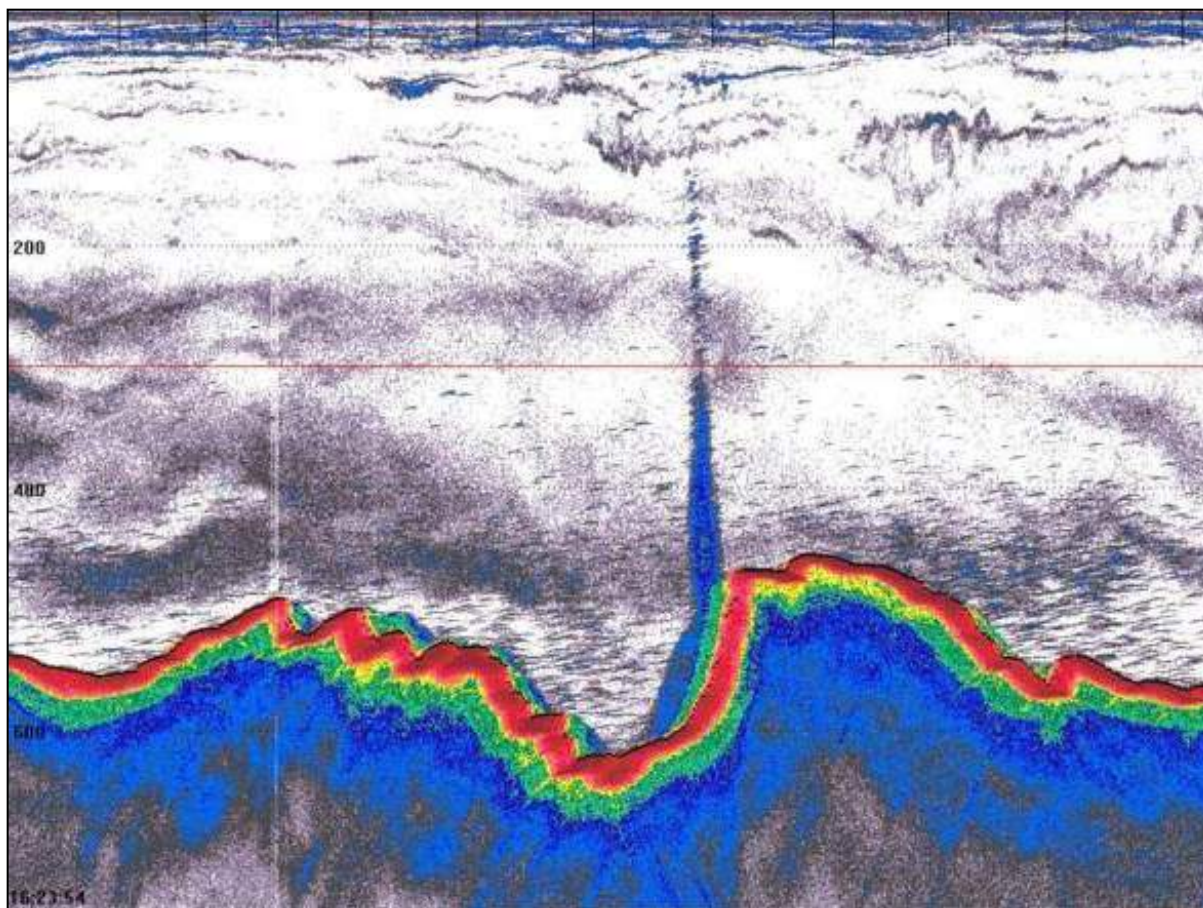
3.1.2 Pelagisk fauna assosiert med varm utstrømming

Varm havkildebunn (NiN-M12) kjennetegnes av at sjøvann føres ned i jordskorpen opp til flere kilometer under havbunnen der det oppnår høye temperaturer og reagerer med lithosfæren før det strømmer ut igjen på havbunnen (se del 1). Vannet er omtalt som varm utstrømming i Natur i Norge (NiN), men utgjør ingen egen naturtype. Vannet blander seg imidlertid med Havvannmasser H1 som er kategorien for vannmassene i utredningsområdet, og jordvarmen knyttet til varm havkildebunn er en underordnet miljøvariabel (uLKM) for H1.

Varm utstrømming har positiv oppdrift helt til vannet oppnår hydrologiske egenskaper tilsvarende omgivelsene og nøytral oppdrift. Når den varme utstrømmingen ikke lenger stiger blir den i stedet ført horisontalt med gjeldende strømretning, og deretter vil de kjemiske egenskapene fra den varme kilden være ulik omgivelsene en ukjent strekning før vannet blir blandet med bakgrunnen (Stensland, 2013). Vannet i denne tilstanden er omtalt som «nonbouyant plume» (NBP). Nøyaktig hvor lenge og hvor store områder en slik vannmasse består er uvisst og vil variere. Alle varme kilder vil ha varm utstrømming (NBP) som varierer i størrelse, høyde over bunn og form.

Man ble tidlig oppmerksom på at varm utstrømming har en stedegen bakterieflora som er i stand til å utnytte energien i de kjemiske forbindelsene ved at det i Stillehavet ble funnet høyere antall bakterier i varm utstrømming enn i bakgrunns vann (Winn et al., 1986). Berg & Van Dover (1987) fant tilsvarende forskjell i mesozooplankton ved Guaymas Basin, og Burd & Thomson (1995) støtter førstnevnte fra undersøkelser av varm utstrømming ved Endeavour-feltet. Skebo et al., (2006) kom imidlertid ikke fram til en tydelig forskjell mellom varm utstrømming og bakgrunn gjennom undersøkelser av mesozooplankton ved Endeavour-kildene. Tilstedeværelse av unik stedegen planktonisk fauna er det generelt lite informasjon om, men ved East Pacific Rise er det registrert mesozooplankton fra gruppen Amphipoda (*Halice hesmonectes*), som regnes som stedegen (endemisk) for varm utstrømming i Stillehavet (Shearer et al., 2000). For Atlanterhavet har det også vært varierende resultater, og Bennett et al. (2013) viste tydelig at det var høyere produktivitet ved Mid-Cayman Rise (Von Damm kilden), mens ved andre områder som Snake Pit, TAG, Lost City, Rainbow og Lucky Strike var resultatene mer usikre (Vinogradov et al., 2003).

Det første tegnet på at varm utstrømming kan ha en betydning i de Nordiske havene stammer fra en ekkoloddundersøkelse kort tid etter oppdagelsen av Trollveggen med relativt tydelige tegn på økt aktivitet i den varme utstrømmingen over kilden (Figur 11) (Aarbakke, 2007; Pedersen, et al., 2010b). Tilsvarende undersøkelse har ikke blitt gjort andre steder langs AMOR, og ellers er det kun Olsen et al., (2014, 2015), Ray et al. (2012) og Bauer et al., (2018) som har studert det biologiske samfunnet i og ved varm utstrømming i Norskehavet. Planktonundersøkelser i forbindelse med Havforskningsinstituttets arbeid på Jan Mayens sokkel overlapper ikke med områder som skulle tilsi at det er tatt prøver av varm utstrømming tidligere (Fossum et al., 2012). Olsen et al. (2014) studerte mageinnhold ved hjelp av mDNA hos amfipoden *Themisto abyssorum*, og fant at dietten til dyr fra Lokeslottet var mer variert enn f.eks. individer fra varme kilder fra Jan Mayen feltene. Gjennom undersøkelser av mDNA og mikroplankton var det en svak forskjell mellom varm utstrømming og det generelle dyphavet ved Lokeslottet (Olsen et al., 2014). Samme tendens ble funnet av Ray et al., (2012) ved undersøkelse av virus ved Lokeslottet, mens Bauer et al., (2018) ikke registrerte forskjell i det mikrobielle samfunnet mellom varm utstrømming og bakgrunns-vannmassene. Hittil er det også kun registrert arter av mesozooplankton kjent fra norske farvann hvor blant annet kopepodene *Heterorhabdus norvegicus* og *Aetideopsis rostrata* var de to vanligste (COPCLAD 53-14, Artsdatabanken).



Figur 11. Ekkolodd-bilde av varm utstrømming fra Trollveggen. Utstrømmingen som er synlig på ekkoloddet er bobler. De stiger mot overflaten, og det er ikke mulig å se hvor en NBP eventuelt kan være. De mørke feltene over bunnen er sannsynligvis ansamlinger av plankton, men det er uklart om det er på grunn av varm utstrømming eller andre årsaker.

Kunnskapen om utstrømming fra varme kilder i de Nordiske havene er begrenset siden det er utført få undersøkelser med lave prøvetall. Manglende kunnskap om strømmene og vannets bevegelser ved og over bunnen er også en stor begrensning.

Til tross for tvetydige resultater rundt betydningen av den varme utstrømmingen, er det en generell oppfatning om at varm utstrømming trolig har et rikere biologisk artsmangfold sammenlignet med omgivelsene, og at det er koblinger til flere nivået i næringsnett (Bennett et al., 2013; Phillips, 2017). I Norskehavet er det observert svermer av plankton ved hjelp av video (pers obs. Olsen), og T. abyssorum, som har inngått i studien av næringsnett, lever i hele vannsøylen, inkludert tett på bunnen (Figur 12). Dette betyr at organismer kan transportere kjemosyntetisk produksjon til pelagialen over. Utfordringen er at kunnskapsgrunnlaget er totalt sett er svakt, og i stor grad blir forbigått i forvaltningsøyemed i forbindelse med mineralutvinning (Phillips, 2017). Det bekymrer forskere at kunnskapen om varm utstrømming er så fragmentert, da dette habitatet/økosystemet har en viktig rolle i å knytte varme kilder til resten av det marine økosystemet. Dette kan skje både gjennom organismer som lever i utstrømmingen og transporterer næring fra kjemosyntetisk primærproduksjon til andre økosystemer, men også ved at utstrømmingen i seg selv kan transportere mineraler opp til høyere vannlag. Ved Jan Mayen feltene er det vist at utstrømmingen transporterer jern og kobber opp til høyere vannlag, der disse stoffene kan

gjødsle den fotiske sonen og føre til økt fotosyntetisk primærproduksjon (Stensland et al. 2019).

3.1.3 Mikrobielle samfunn

Mikrobielle samfunn ved varme kilder har systematisk blitt studert ved hjelp av 16S rDNA på Lokeslottet, Jan Mayen feltene (Dahle et al., 2018; Dahle et al., 2015; Roalkvam et al., 2011; Steen et al., 2016), i jernavsetninger ved Trollveggen (Johannessen et al., 2017; Vander Roost et al., 2017, 2018) og i omkringliggende vannmasser (Bauer et al., 2018) og sedimenter (Jørgensen et al., 2012; Jørgensen et al., 2013; Zhao et al., 2020). I tillegg har metagenomiske studier vært benyttet ved utvikling av geomikrobiologiske modeller av Lokeslottet (Dahle et al., 2013; Hahn et al., 2020; Steen et al., 2016; Stokke et al., 2015) samt av mikrobielle samfunn i hydrotermiske sediment fra Jan Mayen-feltene (Urich et al., 2014). I pågående forskning benyttes hovedsakelig metagenomikk for å utvikle geomikrobiologiske modeller av samtlige av de til nå oppdagede feltene langs AMOR.

Overordnede funn indikerer at sammensetningen av de mikrobielle samfunnene er sterkt påvirket av den unike kjemien ved de ulike feltene. Funksjonelle grupper som svoveloksidierende, hydrogenoksidierende, jernoksidierende, metanoksidierende (anaerobe, aerobe) og sulfatreduserende mikroorganismer dominerer. Hvilke taksa, samt deres relative tilstedeværelse, varierer imidlertid innad og mellom feltene. De overordnede identifiserte taksonomiske gruppene er også påvist ved andre hydrotermiske felt verden over. Dette danner grunnlag for en dypere forståelse av metabolske funksjoner til utvalgte taksonomiske grupper hvor slik informasjon ikke forelå tidligere. Utover et lite knippe enkeltstudier på svamp fra Jan Mayen feltene og Schulzbanken (Busch et al., 2020; Hestetun et al., 2016; Kluijver et al., 2021), foreligger det lite kunnskap knyttet til hvordan de mikrobielle samfunnene interagerer med fauna, men noe informasjon om symbiontbærende fauna ved varme kilder er oppsummert under 3.1.6 Trofiske forhold.

Metagenom-baserte studier har også ført til oppdagelsen av Lokiarchaeota (Spang et al., 2015), et funn som har gitt ny og viktig kunnskap om hvordan det for flere milliarder år siden oppstod komplekse celler som i dag er byggesteiner i all kjente planter og dyr. Fra AMOR har det også blitt isolert flere nye sukkerspisende og proteinspisende arter av mikroorganismer (Bauer et al., 2016; Steinsbu et al., 2011; Roalkvam et al., 2015; Schouw et al., 2018; Steinsbu et al., 2016; Wissuwa et al., 2016). Hypertermofile (varmeelskende) mikroorganismer i de varme kildene langs AMOR representerer et unikt reservoar av genetisk materiale hvorfra man kan gjøre marin bioprospektering og finne interessante enzym til bruk i bioteknologi. Gjennom forskning finansiert av nasjonale forskningsprosjekt (f.eks. NorZymeD og BioGOLDMINE) er det identifisert og karakterisert termostabile enzymer fra AMOR med egenskaper med industriell relevans (Artnzen et al., 2021; Fredriksen et al., 2019; Stepnov et al., 2019; Vuoristo et al., 2019; Wissuwa et al., 2016). Flere arbeid er planlagt for publisering de neste fire årene gjennom pågående doktorgradsarbeid.

3.1.4 Biodiversitet

Det har ikke blitt gjort egne undersøkelser med formål å sammenligne biodiversiteten ved varme kilder på AMOR med biodiversiteten i omkringliggende habitater. For at slike undersøkelser skal gi pålitelige svar, må prøvetakingen skje på samme måte i ulike habitat, og den må utføres med kvantitative metoder for å kunne estimere hvor stor del av den reelle biodiversiteten som er prøvetatt. Det er likevel noen generelle mønstre i biodiversiteten ved

varme kilder på AMOR som er tydelige ut ifra de best undersøkte lokalitetene. På skorsteinene med kraftig utstrømming og høy temperatur er det bare noen få arter som trives. De vanligste artene på skorsteinene er små snegler i slektene *Skenea* og *Pseudosetia* og amfipoder, for eksempel *Exitomelita sigynae* og *Monoculodes bousfieldi* som er kjent fra Lokeslottet (Pedersen et al., 2010b; Schander et al., 2010; Tandberg et al., 2012; 2018). På de grunnere varme kildene ved JMF og Syv Søstre er det tette forekomster av anemoner på de aktive skorsteinene, men disse sitter hovedsakelig ved basen av skorsteinene, og ikke helt inntil utstrømmingen (Schander et al., 2010; Olsen et al., 2016).

Den største biodiversiteten ved de varme kildene på AMOR finnes i områdene med diffus utstrømming. På JMF er det registrert 180 taksa, og av disse er 138 funnet i det diffuse utstrømningsområdet i Trollveggen feltet (Schander et al., 2010). Det bør nevnes at prøvetakingen var grundigere i dette området, med tre boxcorere analysert, men selv med dette tatt i betraktning er det et betydelig høyere antall taksa enn fra områdene med fokusert utstrømming - der det til sammenligning ble funnet 55 taksa fra Soria Moria og 31 taksa fra Trollveggen. Ved Lokeslottet er mønsteret det samme: Det er kun en håndfull arter som finnes på skorsteinene nær den fokuserte utstrømmingen, mens den største biodiversiteten finnes i det diffuse utstrømningsområdet kalt Baryttfeltet.

Det er flere faktorer som kan forklare den høye biodiversiteten i diffuse utstrømningsområder. Den første er at dette kan regnes som en økoton – en overgangssone mellom to habitater (Levin et al., 2016). I disse områdene finnes både fauna som er spesialisert til varme kilder, og bakgrunnsfauna – arter som også lever utenfor kildefeltet. Siden de fysiske og kjemiske miljøforholdene ikke er like ugjestmilde i disse områdene, kan bakgrunnsfauna også trives her, og det kan også tenkes at den økte næringstilgangen kan gi høyere tetthet av arter fra bakgrunnsfaunaen sammenlignet med omkringliggende områder uten kildepåvirkning. En annen faktor som kan gi forhøyet biodiversitet er strukturdannende organismer, som buskene av flerbørstemark som er spesielt kjent fra Baryttfeltet ved Lokeslottet (Kongsrud & Rapp, 2012), men som også nylig ble funnet ved Ægirs Kilde (se avsnitt om Ægirs Kilde). Buskene er bygd opp av de rørbyggende børstemarkene *Sclerolinum contortum* og *Nicomache lokii*, men inne i disse buskene er det mange arter av krepsdyr, snegler og andre smådyr som trives. Det er mange grunner til at strukturdannende organismer tiltrekker seg andre organismer - strukturene kan for eksempel tilby skjul fra predatorer, en struktur å holde seg fast i utenfor sedimentene, eller det kan være økt tilgang på mat (Buhl-Mortensen et al., 2010).

3.1.5 Grad av habitat-endemisme

De grunnere varme kildene på den sørlige delen av Mohnsryggen og Kolbeinseyryggen (JMF og Syv Søstre) ser ut til å ha en fauna som stort sett består av arter som er kjent fra hard- og bløtbunnsområder i området, mens de dypere varme kildene lengre nord på Mohnryggen, som for eksempel Lokeslottet, har en større andel spesialiserte arter. Det at varme kilder i grunne farvann har en mindre grad av spesialisert og endemisk fauna er et kjent fenomen. En hypotese som kan forklare denne forskjellen er at det evolusjonære trykket til å tilpasse seg de ugjestmilde forholdene ved varme kilder er mindre i grunnere farvann, der tilgangen på mat er større (Tarasov et al., 2005). Det er verdt å merke seg at grensen mellom grunne og dype varme kilder vanligvis går ved 200 m dybde, og de varme kildene ved JMF er betydelig dypere enn dette. På den midtatlantiske ryggen nær Azorene er et lignende mønster observert, med en mindre andel spesialisert fauna ved de grunnere varme kildene (Desbruyères et al., 2001). Allikevel finner man på Menez Gwen (850 m), som ligger på en grovt sett sammenlignbar dybde som JMF, en betydelig biomasse av spesialiserte arter (Desbruyères et

al., 2001). Det er derfor ikke åpenbart at dybde alene kan forklare det beskjedne antallet spesialiserte arter ved JMF.

Det er viktig å påpeke at identifikasjonen av arter ved JMF ble gjort utelukkende basert på morfologiske karakteristikk, og faunaen her har i liten grad blitt undersøkt med DNA-metoder som strekkoding. Dermed kan det være uoppdaget kryptisk diversitet, det vil si arter som ser like ut, men som ved nærmere undersøkelser (ofte basert på DNA data) viser seg å være ulike arter. Dette kan medføre at graden av spesialiserte arter er underestimert.

Av de dypere varme kildene lengre nord på Mohnryggen er det Lokesslottet som er mest inngående studert. Forskningen på faunaen fra Lokesslottet har i stor grad fokusert på beskrivelse av nye arter (Kongsrud et al., 2017; Kongsrud & Rapp, 2012; Tandberg et al., 2012; 2018) og evolusjon og konnektivitet hos ulike arter flerbørstemark (Eilertsen et al., 2017, 2018; Georgieva et al., 2015), og det foreligger ingen utfyllende artsliste. Artene som er beskrevet fra Lokesslottet er enten utelukkende kjent fra varme kilder (*Exitomelita sigynae*, *Monoculodes bousfieldi*, *Pavelius smileyi* og *Paramytha schanderi*), eller også kjent fra andre kjemosyntese-baserte økosystemer (KBØer) som kalde gassoppkommer eller organiske nedfall (*Sclerolinum contortum*, *Nicomache lokii* og *Pseudosetia cf. griegi*). Flere av artene som er identifisert som nye arter, men ikke er beskrevet enda, antas å være spesialister fordi de ikke er kjent fra områder utenfor kildefeltet, og de tilhører familier eller slekter som er kjent som spesialister fra varme kilder i andre havområder. Samlet sett kan man derfor si at Lokesslottet har en betydelig andel vent-endemisk eller KBØ-endemisk fauna.

3.1.6 Trofiske forhold

Fravær av lys og fotosyntetisk primærproduksjon gjør organismer i dyphavet avhengig av næring fra vannlag nærmere overflaten som synker ned gjennom vannsøylen. Noe av det synkende materialet vil være døde planktoniske organismer, men det kan også være organisk materiale med opphav fra land, fiskeskall og ekskrementer fra fisk, fugl eller pattedyr. Dyphavet generelt er regnet som næringsfattig, noe som igjen gjør at både tettheten av organismer og den gjennomsnittlige kroppsstørrelsen blir mindre med økende dyp (Ramirez-Llodra et al., 2020). Varme kilder utgjør en sterk kontrast til dette: Her legger kjemosyntetisk primærproduksjon til rette for en høyere tetthet av organismer sammenlignet med omliggende områder (Desbruyères et al., 2006). I bunnen av næringsnett, dvs. primærprodusentene, finner man en mangfoldig bakterieflora tilpasset de gjeldende kjemiske forholdene. Bakterier kan være frittlevende over varme kilder i vannet fra varm utstrømming, leve på overflaten i forbindelse med varme kilder eller diffus utstrømming, eller leve i symbiose med andre organismer. Bakterier på overflaten kan vokse svært tett og være synlig som tynne slør eller matter på overflaten (Pedersen et al. 2010a).

Ved varme kilder langs AMOR er næringsnett kun studert ved JMF og Lokesslottet (Olsen et al., 2014; Sweetman et al., 2013) og ellers er informasjon kun tilgjengelig for enkeltarter (f. eks Kongsrud et al., 2017; Kongsrud & Rapp, 2012; Tandberg et al., 2012; Tandberg et al., 2018). Et fåtall arter fra varme kilder på AMOR har påviste kjemosyntetiske symbionter. Den mest åpenbare av disse er *Sclerolinum contortum* som tilhører familien Siboglinidae, der alle medlemmene har tilbakedannet mage og tarmsystem, og livnærer seg utelukkende av næring fra symbiose (Losekann et al., 2008). *Exitomelita sigynae* fra Lokesslottet får sannsynligvis næring fra ektosymbionter som sitter utenpå gjellene, og dette støttes av et tydelig signal fra stabile isotoper (Tandberg et al., 2012). Det er heller ikke usannsynlig at de i tillegg beiter på kjemosyntetiske bakterier. Dyr som spiser/beiter på bakterier er analogt med

sekundærproduksjon og plantespisere fra terrestriske næringsnett. Dyr som lever i symbiose med bakterier kan også regnes som sekundærprodusenter, men er ikke i et rent «spis og bli spist forhold» da de ikke spiser selve organismen, men det de produserer gjennom kjemosyntese.

Ved varme kilder på AMOR er det flere bakteriespisende arter, sannsynliggjort både ved signal fra stabile isotoper og basert på utforming av munnleder og kjennskap til biologien til nært beslektede arter i andre havområder. Eksempler er sneglen *Pseudosetia cf. griegi* (Pedersen et al., 2010b), børstemarkene *Nicomache lokii* (Kongsrud & Rapp, 2012), *Pavelius smileyi* og *Paramytha schanderi* (Eilertsen et al., 2017) og amfipoden *Exitomelita sigynae* (Tandberg et al., 2012), men det er sannsynlig at det er mange flere. Det er også naturlig at noen organismer har en blandet diett av både dødt organisk materiale, bakteriematter og for eksempel larver eller gameter fra andre dyr i økosystemet. I slike tilfeller vil det være vanskelig å tolke signalene fra stabile isotoper, da blandet signal kan bety både blandet diett, men også at de spiser andre dyr i symbiose eller med utelukkende bakteriediett (Sweetman et al., 2013). I mange tilfeller kan også dødt materiale ha opprinnelse fra overflaten, og dette vil påvirke tolkningen av resultater fra stabile isotoper.

Primærproduksjon i et ellers næringsfattig område vil naturligvis tiltrekke seg organismer fra andre økosystem i dyphavet. Noen organismer vet vi hører naturlig til i omkringliggende økosystem (Schander et al., 2010), mens andre er det knyttet stor usikkerhet rundt. Fauna i vannmassene er også til stede og er en del av næringsnett ved varme kilder (Olsen et al., 2014, 2015), og dette er nærmere beskrevet i 3.1.2 Fauna assosiert med varm utstrømming. Koblinger mellom pelagiske og bentiske økosystemer er særlig interessant da næring som er produsert ved varme kilder finner veien inn i næringsnett i høyere vannlag. Næring fra varme kilder kan også transporteres til andre bentiske økosystem ved hjelp av for eksempel mobile predatorer som finner mat ved varme kilder for så å bevege seg til andre områder (Figur 12). Den mulige rollen til økosystemer ved varme kilder som en «næringspumpe» i dyphavet diskuteres mer i kapittel 8.1.2.



Figur 12. Bildet viser *Themsito abyssorum* som spiser eller hviler på bunnen rett ved varme kilder på Jan Mayen feltet. Dette er ikke et uvanlig syn, og viser at koblingen mellom vannmassene og hydrotermisk aktivitet er både mulig og reell.

3.1.7 Biogeografi og konnektivitet

Faunaen ved varme kilder har globalt sett en høy grad av geografisk endemisitet, og det er rundt 95 % av alle arter ved varme kilder som er endemiske for ett havområde (Moalic et al., 2012). Dette mønsteret er også tydelig ved de varme kildene på AMOR: Faunaen her er veldig ulik den som er kjent fra varme kilder på den midtatlantiske spredningsryggen eller i Stillehavet, i alle fall på artsnivå.

Da faunaen på Lokeslottet først ble oppdaget, ble det antydnet at den hadde større likhetstrekk med fauna fra varme kilder i Stillehavet enn i Atlanterhavet (Pedersen et al., 2010a), men nyere forskning på faunaen ved denne lokaliteten har vist at dette bildet er mye mer komplekst (Eilertsen et al., 2017, 2018; Kongsrud et al., 2017). Grunnet det store pågående taksonomiske arbeidet med å beskrive nye arter fra Lokeslottet, har det ikke blitt publisert en komplett artsliste fra denne lokaliteten, som er best prøvetatt av de dypere varme kildene på AMOR. Dette gjør at AMOR i liten grad har blitt inkludert i biogeografiske analyser av den globale faunaen fra varme kilder. Den eneste analysen som har inkludert AMOR er Kiel (2016), men denne er basert utelukkende på bløtdyr, og AMOR er kun representert av faunaen fra JMF i Schander et al. (2010), som i stor grad består av bakgrunnsfauna. AMOR viste i denne analysen en veldig svak kobling til de andre områdene, men dette er sannsynligvis farget av det mangelfulle datagrunnlaget. En bedre forståelse av den biogeografiske plasseringen til de varme kildene på AMOR, og testing av hypotesen om at AMOR utgjør en ny biogeografisk provins for fauna fra varme kilder, vil kreve en biogeografisk analyse som inkluderer data fra de dypere varme kildene, som for eksempel Lokeslottet.

Mangelen på komplette artslistene fra de fleste varme kildene langs AMOR gjør det vanskelig å si noe om variasjonen i kildefaunaen regionalt. Observasjonene så langt tyder allikevel på at det er ganske ulike samfunn som finnes ved de grunnere varme kildene lengst sør på AMOR, der faunaen domineres av bakgrunnsfauna, sammenlignet med de dypere varme kildene lengre nord som har en tydelig endemisk fauna (diskutert i kapittel 3.1.7 Grad av habitat-endemisme). Når man sammenligner de dypere varme kildene (Lokeslottet, Mohnsskatten, Ægirs Kilde og Fåvne) er det noen dyregrupper som går igjen, som snegler og amfipoder, men det er uklart om det er de samme artene som er til stede ved de ulike lokalitetene. Fra andre havområder er det kjent at det kan være store ulikheter i artssammensetning mellom varme kilder over korte geografiske avstander, og at lokale fysiske og geokjemiske faktorer kan ha stor påvirkning på hvilke arter som finnes på hver lokalitet (Goffredi et al., 2017).

Det er noen arter ved de varme kildene på AMOR som er kjent fra andre kjemosyntesebaserte økosystemer (KBØer). Det er allikevel kun et fåtall av disse som er studert med DNA-strekkoding eller andre molekylære metoder på tvers av ulike habitat, og det er uklart hvor mange arter som er delt mellom disse habitatene i de Nordiske havene. To av artene som har blitt studert er børstemarkene *Sclerolinum contortum* (Siboglinidae) og *Nicomache lokii* (Maldanidae), som begge er funnet både ved Lokeslottet og ved muddervulkanen Håkon Mosby, som er klassifisert som et kaldt gassoppkomme (NiN M11). Begge disse artene har vist seg å ha et uvanlig stort utbredelsesområde, og er kjent fra varme kilder og kalde gassoppkomme (*Sclerolinum contortum* er også kjent fra synkeved) både i de Nordiske havene, Atlanterhavet og i Antarktis (Eilertsen et al., 2018; Georgieva et al., 2015). Det er allikevel en tydelig geografisk struktur i de genetiske markørene som er undersøkt, som tyder

på at populasjonene til en viss grad er isolerte fra hverandre. Studier med genom-skala markører er nødvendig for å forstå hvordan, og i hvilken grad, genflyten mellom disse populasjonene opprettholdes.

I tillegg til å kartlegge utbredelsen til de enkelte artene, er det kritisk å forstå genflyten mellom populasjoner av samme art for å kunne si noe om hvordan de vil respondere på forstyrrelser. For arter som er endemiske til varme kilder, eller KBØ-endemiske, så er det tilgjengelige habitatet distribuert flekkvis, separert av områder med uegnet habitat. Arter har ulik spredningsevne, og dette kan påvirke graden av isolasjon mellom lokalitetene (Vrijenhoek, 2010). Dersom utveksling av larver hovedsakelig skjer mellom de lokalitetene som ligger nærmest hverandre, så kan utrydding av dyrene på en lokalitet føre til at andre populasjoner blir isolert fra hverandre, noe som gir en risiko for sekundær utryddelse av disse populasjonene (se kapittel 2.2.6 Populasjonsstruktur og konnektivitet). Det er heller ikke sannsynlig at alle populasjonene i et område bidrar i like stor grad til larveutveksling (kilde/mottaker- dynamikk), og i så fall vil forstyrrelse av en kildepopulasjon kunne gi negative effekter på mottakerpopulasjoner som vanligvis får larvetilførsel fra kildepopulasjonen (Hunter et al., 2017). Det finnes per i dag ikke data på konnektivitet mellom varme kilder langs AMOR, eller mellom varme kilder og andre habitater i de Nordiske havene.

3.1.8 Økosystemtjenester

Marin bioprospektering og bioteknologi. Ved bruk av metagenomikk kan hundretusenvís av gen fra de mikrobielle samfunnene avdekkes gjennom DNA-sekvensering av en enkelt prøve. Disse genene danner utgangspunkt for produksjon av enzymer som kan være av bioteknologisk interesse. Vi står overfor globale utfordringer i forhold til å skaffe nok mat, energi og fornybare materialer for å imøtekomme en stadig større befolkning på jordkloden. Bioteknologi og bruk av enzymer er uatskillelig, og er beskrevet som en teknologi som kan gi nye muligheter. Termofile mikroorganismer har unike enzymer som kan være aktive ved høye temperaturer, over 100 °C; en attraktiv egenskap fra et industrielt perspektiv. Dette er av stor interesse i såkalte bioraffineri. Til nå har hovedfokuset vært på enzymer som kan bryte ned komplekse sukkerforbindelser (Fredriksen et al., 2019; Stepnov et al., 2019; Vuoristo et al., 2019), og slike enzymer har blant annet funnet anvendelse i Senter For Innovasjon (SFI) «Foods of Norway». Dette arbeidet utvides nå ved Senter for Dyphavsforskning. Det genetiske materialet som har vært benyttet i dette arbeidet er framdyrket in situ i dyphavet ved varme kilder på AMOR, ved bruk av inkubatorer hvor man stimulerer de mikrobielle samfunnene til å bryte ned biomasse av industriell relevans (Stokke et al., 2020).

Næringsutveksling med andre økosystem. Varme kilder er en oase av primærproduksjon og høy biomasse i et ellers næringsfattig dyphav (med unntak av noen andre biomasserike økosystem som svampegrunner og dyphavs-korallrev). Det er mange mekanismer som kan bidra til at primærproduksjonen og næringsstoffene fra varme kilder eksporteres til andre deler av havet, men denne prosessen er dårlig forstått (Levin et al., 2016). Det er estimert at minst 3% av den totale fluksen av organisk karbon til havbunnen i dyphavet kommer fra kjemosyntetisk primærproduksjon ved varme kilder (Van Dover, 2000). Denne «gjødslingen» av dyphavet kan komme kommersielle arter til gode. Ved JMF er det en rekke fiskearter som er observert nær de varme kildene, for eksempel isskate (*Amblyraja hyperborea*), vanlig uer (*Sebastes norvegicus*) og steinbit (*Anarhichas* sp.) (Schander et al. 2010).

Siden det er noen arter som lever både ved varme kilder og på kalde gassoppkommer eller organiske nedfall, er disse habitatene tett knyttet til hverandre. Kjemosyntetisk primærproduksjon ved varme kilder og kalde gassoppkommer sørger for fiksering av metan, en potent drivhusgass som ellers kunne sluppet ut i atmosfæren og bidratt til økt drivhuseffekt (Thurber et al., 2014). Siden det er noen arter som lever på organiske nedfall som også finnes på varme kilder, kan det tenkes at varme kilder er arnested for organismer som er svært viktig i havets karbonsyklus gjennom nedbryting av store organiske «pakker».

3.1.9 Sårbarhet

Aktive varme kilder er et sjeldent habitat i dyphavet, med svært begrenset geografisk utbredelse. Globalt sett er det estimert at områder med varm havkildébunn okkuperer mindre enn 50 km² (Van Dover et al., 2018). Siden mange av organismene som lever i disse økosystemene er endemiske, har de dermed et begrenset tilgjengelig område med egnet habitat. Varme kilder har fra naturens side en begrenset levetid - noen kilder vil dø ut og andre oppstå langs et aktivt område som en midthavsrygg. På midthavsrygger med høy spredningshastighet, som i det østlige Stillehavet, har en enkel varm kilde kortere levetid, og det er dokumentert at nyoppståtte varme kilder blir relativt raskt kolonisert fra omkringliggende kilder i disse områdene (Feldman et al., 1998; Marcus et al., 2009). Dette har blitt brukt som et argument for at faunaen på varme kilder er tilpasset et ustabil miljø og må ha god spredningsevne for å overleve, og at de dermed er lite sårbare for forstyrrelser

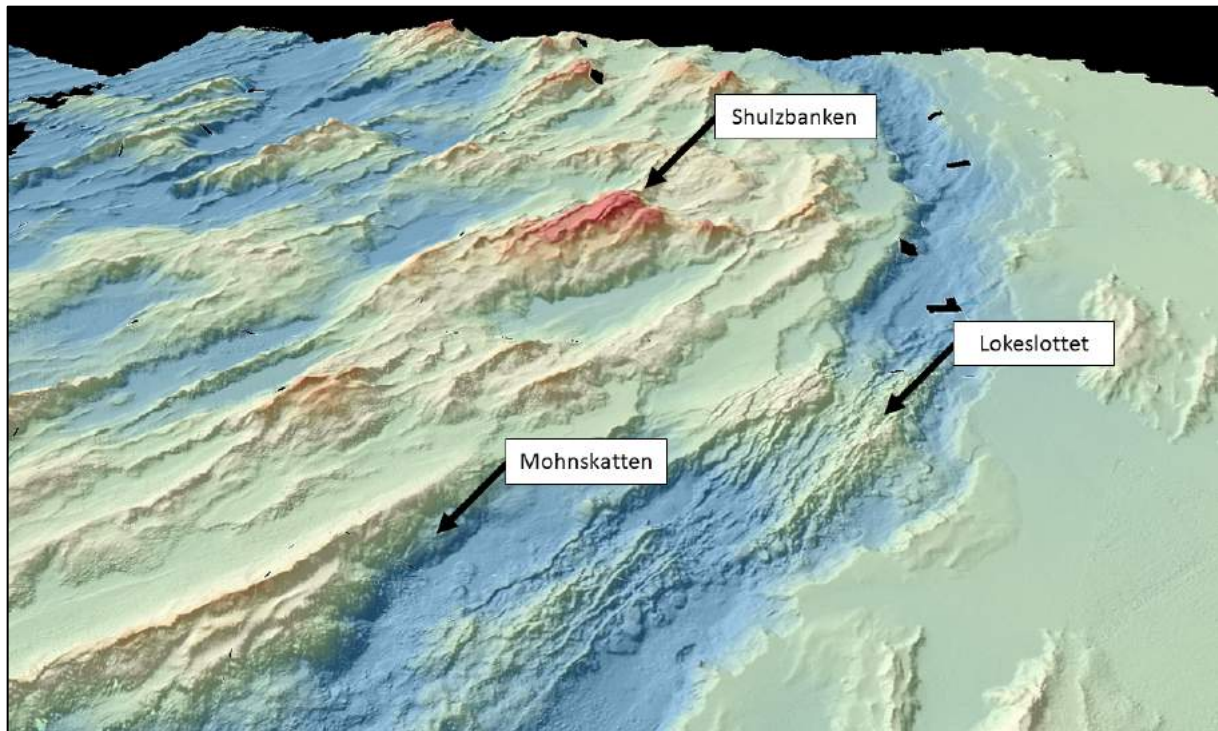
(Gollner et al., 2017). De arktiske spredningsryggene har derimot ultrasakte spredningshastighet (ca. 17 mm pr år), og de varme kildene her kan ha en mye lengre levetid og høyere stabilitet grunnet mindre hyppige forstyrrelser som jordskjelv og vulkanutbrudd. På Lokeslottet tyder datering av avsetninger på at det har vært varm utstrømming i rundt 10 000 år, tilsvarende tiden Norge har vært isfritt. Dette betyr at artene som lever på varme kilder langs AMOR kanskje ikke har hatt det samme behovet for høy spredningsevne.

Siden faunaen ved varme kilder på AMOR er så unik, og har et veldig begrenset utbredelsesområde, kan man anta at den er sårbar for forstyrrelser av habitatet. Det er imidlertid mange kunnskapshull som må fylles før vi kan si noe sikkert om sårbarheten til faunaen ved varme kilder på AMOR. Det mest grunnleggende er å få en bedre forståelse av variabiliteten i artssammensetning mellom de ulike varme kildene langs AMOR, og mellom AMOR og andre havområder. Deretter må konnektiviteten mellom populasjoner av samme art kartlegges for å kunne vurdere rekoloniseringspotensialet og -hastigheten og mulige effekter på omkringliggende populasjoner (se kapittel 3.1.7). En bedre forståelse av artenes krav til miljøet vil også være viktig for å forstå om en lokalitet vil kunne rekoloniseres, eller om forringelse av habitatet medfører varig endring. Basert på det begrensede forekomstarealet til arter ved varme kilder, og at forekomsten kan bli truet ved eventuell fremtidig aktivitet i forbindelse med mineralutvinning, er seks arter som kun er kjent fra Lokeslottet vurdert som sårbare (VU) i den foreløpige vurderingen til Rødlista for arter 2021 (Rødlista for arter 2021 vil bli publisert 24 nov 2021).

3.2 Hardbunn

Den dominerende bunntypen i dyphavet, inkludert kontinentalskråningene og de abyssale slettene, består av bløt leire og finere sediment. Selv om store deler av midthavsryggene også er dekket av sediment, finner man her områder med sammenhengende og spredt hardbunn. Dette er en kombinasjon av yngre hardbunn langt fra tilførselskilder av sediment, slik som landmasser, og en mer kompleks batymetri inkludert rygger, klipper og sjøfjell. Slik bunntype er klassifisert som M2, afotisk fast saltvannsbunn, i NiN 2.0-systemet.

Biologiske undersøkelser av hardbunn i utredningsområdet er i hovedsak knyttet til to lokaliteter nær de varme kildene på Lokeslottet: Mohnsskatten og Schulzbanken (Figur 13). I tillegg er det noe data fra et sjøfjell i Lofotenbassenget (se kapittel 3.2.4 Manganskorper). Hardbunn bestående av inaktive sulfidforekomster behandles separat i kapittel 3.2.3 Inaktive sulfidforekomster.



Figur 13. Terrengmodell som viser relativ plassering av Lokeslottet, Mohnskatten og Schulzbanken, i overgangen mellom Mohn- og Knipovichryggen. Fargekoding etter høyde, 2X vertikal skala.

3.2.1 Mohnskatten

Havbunnen på Mohnskatten er en blanding av hard- og bløtbunn, og faunaen fra denne lokaliteten er derfor også beskrevet i kapittel 3.3 Bløtbunn. Dette området ble undersøkt med videotransekter som en del av det NTNU-ledede MarMine-toktet, og resultatene av videoanalysen er publisert i Ramirez-Llodra et al., (2020). Området består hovedsakelig av bløtbunn med spredte fremspring av hardbunn. Av 46 påviste arter/morfotyper ble litt over halvparten knyttet til disse fremspringene. Disse artene var i hovedsak filterspisere, dominert av svamp (25 arter) og enkelte sjølliljer, samt assosiert fauna slik som krepsdyr. De vanligste artene inkluderte kiselsvamper som *Lissodendoryx complicata*, *Hymedesmia* sp. og flere ukjente morfotyper, men også kalksvamp som *Brattegardia* sp., glassvamp og anemonen *Amphianthus* sp. (Paulsen, 2017).

Hovedkonklusjonen i denne undersøkelsen var at de påviste bentiske organismene på Mohnskatten samlet sett representerte typisk arktisk dyphavsfauna (Ramirez-Llodra et al., 2020). Samtidig viser undersøkelsen også både relativt høy biomasse og arts mangfold (Lim et al., 2019), noe som kan tyde på at organismesamfunnene her påvirkes av den økte næringstilgangen fra nærliggende varme kilder. Videre hadde hardbunnssubstratet høyere arts mangfold av megafauna synlig med videotransekt enn bløtbunnen. Artssammensetningen er ulik de grunnere områdene rundt Jan Mayen, og er dermed en del av en egen dyphavsfauna i området, med innslag av typiske dyphavsgrupper som glassvamp og kjøttetende svamp.

Påfølgende videoundersøkelser av Mohnskatten utført av UiB i 2020 førte til oppdagelsen av et område med inaktive hydrotermiske skorsteiner, som er nærmere beskrevet i kapittel 3.2.4 Inaktive sulfidforekomster, og et begrenset område med hydrotermisk aktivitet med diffus varm utstrømming (se kapittel 3.1.1).

3.2.2 Schulzbanken

Sjøfjell regnes som en habitattype med høyt artsmangfold. Stor variasjon i dybde, havstrøm og batymetriske strukturer, inkludert hardbunnssubstrat, danner grunnlag for mange ulike typer av organismesamfunn, med stort innslag av filterspisere sammenlignet med rene bløtbunnsområder. Ulike deler av et sjøfjell kan ha unike organismesamfunn assosiert med spesifikke geomorfologiske strukturer. Strømforholdene som oppstår rundt strukturer slik som sjøfjell, danner ofte grunnlaget for habitater basert på ansamlinger av habitatformende filterspisende organismer slik som korallrev og svampegrunn (Rogers, 2018; Kutti et al., 2019).

Schulzbanken, noen ganger kalt Schulzmassivet, er et sjøfjell på den østlige delen av spredningsryggen fra Lokeslottet. Det består av flere terrasser, vekselvis dekket av sediment og hardbunn, med en smal, todelt topp på 560-600 m dyp (Figur 13). Den øverste delen av Schulzbanken kan regnes som svampespikelbunn, som når en dybde opptil 20 cm på de øverste 100 m av sjøfjellet (Roberts et al., 2018). Selv om deler av substratet på Schulzbanken består av bløtbunn og spikelmatter, er beskrivelsen av dette området gjengitt i sin helhet her.

Biologiske undersøkelser på Schulzbanken har blitt jevnlig utført som en del av UiB-ledede tokt siden 2006, og arbeidet med å beskrive faunaen i området har vært en del av flere publikasjoner (Cárdenas et al., 2013; Meyer et al., 2019; Plotkin et al., 2017; Roberts et al., 2018.; Torkildsen, 2013). Schulzbanken har en høy diversitet og biomasse av habitatformende svamper, og deler av området regnes som dyphavs-svampegrunn, en habitattype på OSPARs liste over truede habitater (Kutti et al., 2019; OSPAR, 2008). På grunn av sin størrelse, påvirkes Schulzbanken av flere av de dominerende vannmassene i området: toppen ligger noe dypere enn det varmere, atlantiske overflatevannet, i overgangen mellom et mellomliggende sjikt av arktisk vann, og øvre del av dypvannssjiktet i Norskehavet, som dekker de dypere delene av sjøfjellet (Hanz et al., 2021; Roberts et al., 2018).

Svampegrunnen på Schulzbanken endrer karakter og artssammensetning med dybde. Svampegrunnen på toppen av sjøfjellet har høyest biomasse og artsmangfold og er preget av spikelmatter med kiselsvamper som *Geodia parva*, *G. hentscheli*, *Stelletta raphidiophora*, og *Lissodendoryx complicata* samt tette ansamlinger av glassvamp som *Schaudinnia rosea*, *Trichasterina borealis*, *Scyphidium septentrionale* og *Asconema foliata* (Cárdenas et al., 2013; Roberts et al., 2018) (Figur 14). Andre fastsittende arter som er registrert i stort antall er sekkedyr (*Ascidacea* spp.), anemoner (*Actinaria* spp.) og bløtkorallen *Gersemia rubiformis* (Meyer et al., 2019). Påviste svampearter er typiske for arktisk type ostur eller annen svampegrunn (Klitgaard & Tendal, 2004; OSPAR, 2010). Den høye biomassen og artsmangfoldet på toppen av Schulzbanken har sammenheng med at toppen ligger i overgangen mellom to vannmasser, noe som fører til økt tidevanns-, bølge- og strømkraft som øker tilgangen på næring og andre ressurser (Hanz et al., 2021).

Sidene av sjøfjellet, der det er mer bart fjell og mindre sedimenterte spikler, domineres av *G. hentscheli*, skorpeformende svamp og polymastid svamp som *Spinularia njordi* (Plotkin et al., 2018; Roberts et al., 2018). På delene av Schulzbanken under 2000 m er det et større innslag av typiske dyphavssvamper, inkludert *Tentorium semisuberites*, *Thenea abyssorum* og *Spinularia sarsi* på bløtbunnspartier, og uidentifiserte axinellider og glassvampene *Caulophacus arcticus* og *Asconema megaatrialia* på hardbunn (Roberts et al., 2018; Torkildsen, 2013). *Asconema* sp., *C. arcticus*, *T. abyssorum* og uidentifiserte axinellider overlapper med rapportert fauna fra tilsvarende dyp på Mohnsskatten (Paulsen, 2017).

I likhet med kaldtvannskoraller danner svampegrunn gode habitater for en rekke andre organismer. Svampegrunnens strukturer danner komplekse mikrohabitater som kan utnyttes av små organismer for beskyttelse mot rovdyr og havstrømmer. De kan også brukes som gyteområder og habitat for tidlige livsstadier for fisk og virvelløse dyr, og regnes i økende grad som viktige ressurser for lokal fauna (Kutti et al., 2013; Meyer et al., 2019). Kun megafauna har blitt systematisk undersøkt basert på videotransekter i Meyer et al. (2019) som identifiserte 20 morfotyper fra video inkludert svampefauna. Resultatene her påviste gjentagende observasjoner av isgalt (*Macrourus berglax*), blåkveite (*Reinhardtius hippoglossoides*) og isskate (*Amblyraja hyperborea*). Fra sistnevnte ble det registrert eggkapsler og juvenile individer, noe som tyder på at Schulzbanken fungerer som et gyteområde for denne arten. Blåkveiten har også tidligere blitt rapportert fra svampegrunn i andre områder. Mobile virvelløse dyr inkluderte pigghuder som sjø- og slangestjerner og kråkeboller, i tillegg til dypvannsreker i slekten *Bythocaris*.

Kunnskapen om artssammensetningen på svampegrunnene på Schulzbanken er fremdeles mangelfull: Noen få trekk med Agassiz-slede har blitt utført i området, men kun enkelte svampegupper har blitt opparbeidet og identifisert som en del av taksonomiske publikasjoner (Cárdenas et al., 2013.; Hestetun et al., 2017; Plotkin et al., 2018). Assosiert fauna, med unntak av megafauna beskrevet av Meyer et al. (2019) over, er derfor lite kjent. Det meste av faunaen er ikke synlig på video, og blir dermed ikke registrert i analyserte videotransekter. En tidligere studie av sjøfjellet Vesterisbanken nord for Jan Mayen, som har en tilsvarende spikelmatte på toppen, rapporterte for eksempel noe overlapp i svampefauna med Schulzbanken, men også stor artsdiversitet av mosdyr (Bryozoa) (Henrich et al., 1992), en gruppe som ikke er dokumentert fra Schulzbanken.

Det er verd å legge merke til at dyresamfunnene som finnes på sjøfjell kan være svært ulik i forskjellige skalaer, både topografiske, oseanografiske og biotiske parametre påvirker disse sterkt (se blant annet Clark et al., 2010; Rogers, 2018). Med så stor variasjon i faunaen understreker dette behovet for større prøvemengde (flere replikater) i grunnlagsundersøkelser, og viktigheten av å kartlegge flere sjøfjell (og andre undersjøiske forhøyninger) før man med faglig trygghet kan veilede forvaltningen (Schlacher et al., 2014).

Funksjonelle studier av svampegrunn. Svamper er filtrerende dyr med en rik og ofte symbiotisk indre mikrobiell fauna. Svampebunner har en sentral funksjonell rolle i biogeokjemiske sykluser i dyphavet, og er viktige for bento-pelagisk kobling av uorganiske næringsstoffer og organisk materiale (Maldonado et al., 2016). Schulzbanken har i de senere årene gjennom det UiB-ledede EU-prosjektet SponGES, blitt et naturlig laboratorium for å studere økologien og funksjonene til svampebunner, og de abiotiske faktorene som påvirker dem. Karakterisering av svampenes mikrobiomer, laboratorie- og in situ-eksperimenter samt langtidsmålinger av lokale oseanografiske forhold, har belyst fysiologien til svampebunnformende svamper og deres funksjonelle integrering i dyphavsøkosystemene på AMOR. Denne forskningen har også bidratt til verdifull innsikt i arktiske svampebunners evne til å motstå ytre stress og påvirkninger (resiliens), og potensialet for gjenopprettelse.

Utvekslingen av næringsstoffer mellom svampebunner og det omkringliggende miljøet er antatt å ha viktige implikasjoner for strukturen og stabiliteten til dyphavsøkosystem. Næringsutveksling hos glassvampen *Schaulinnia rosea*, en dominerende art i svampebunner på de grunnere delene av Schulzbanken, har blitt studert av Maldonado et al., (2021). Netto fluks av nitrogen og fosfor ble kvantifisert in situ ved hjelp av bentiske inkubasjonskammer. Denne studien viste at *S. rosea* er en konsistent netto kilde til ammonium og fosfat. I den samme studien ble det funnet at den beslektede arten *Vazella pourtalesii*, som finnes på

kontinentalsokkelen til Nova Scotia, er en forbruker av ammonium, noe som ifølge forfatterne kan føre til en næringsmessig utkonkurrering av andre svampearter. Motsetningene i fluksmønster kan dermed forklare hvorfor *S. rosea* er en del av artsrike svampesamfunn, mens *V. pourtalesii* danner ensartede samfunn.

Mekanismene bak hvordan artsrike svampebunner kan blomstre i det næringsfattige miljøet på Schulzbanken har blitt undersøkt med sedimentfeller. Tilstrømmingen av organisk materiale fra overflaten skjer hovedsakelig i sommermånedene, men er ikke tilstrekkelig for å fylle energibehovet til svampebunnene (Hanz et al., 2021). En hypotese er at det resterende karbonbehovet delvis fylles av oppløst organisk materiale, pelagiske bakterier og næringsstoffer som blir transportert av tidevannsdrevne turbulente strømmer fra grunne og dypere vannlag, eller at de blir holdt på plass rundt toppen av Schulzbanken av et strømmønster kalt Taylor caps, som er typisk for sjøfjell (Roberts et al., 2018; Hanz et al., 2021). Denne hypotesen støttes av laboratorieforsøk som viser at flere arter svamp som er dominante på boreo-arktiske svampebunner kan livnære seg på hovedsakelig oppløst organisk karbon (Bart et al., 2021), og understreker hvordan topografi er avgjørende for å opprettholde svampesamfunnene.

Undersøkelser av respirasjonsratene til svampebunner med bentiske forsøkskamre på toppen av Schulzbanken (577 til 583 m dyp) (Hanz et al. 2021) viste at respirasjonskamre med høy svampebiomasse hadde mer enn dobbelt så høyt gjennomsnittlig oksygenopptak som kamre med lav svampebiomasse, sammenlignbart med kaldtvannskorallrevene Trænarevet (Kutti et al., 2013) og Rockallbanken (de Froe et al., 2019) (Figur 14). Dette viser at svampebunnsamfunnene på Schulzbanken er sentrale for karbon-syklusen, på lik linje med kaldtvannskorallrev (Van Oevelen et al., 2009).

Svampeassosiert mikrobiell biodiversitet fra vannsøylen og nær bunnen på Schulzbanken ble studert av Busch et al., (2020) med 16S rRNA amplikonsekvensering. En rekke biogeokjemiske og miljø-parametre ble også kvantifisert på hver lokalitet, og det mikrobielle samfunnet assosiert med de tre dominerende svampearter – *Geodia hentscheli*, *Lissodendoryx complicata* og *Schaudinnia rosea* – ble karakterisert langs dybdegradienten til sjøfjellet. Dette arbeidet viste at Schulzbanken også har en effekt på mikrobiomet både i sjøvannet og i svampene. Småskala sirkulasjonsmønster og variasjon i bento-pelagiske koblinger relatert til svampebunnens utbredelse og tetthet kan også forklare de observerte forskjellene i mikrobielle samfunn nær havbunnen.

Samlet tyder disse studiene på at dannelsen av svampebunner på spesifikke lokaliteter i Arktis avhenger av en kombinasjon av biotiske og abiotiske faktorer. Disse økosystemene er dermed mest sannsynlig sårbare for miljøendringer indusert av globale stressorer og menneskelig aktivitet (Roberts et al., 2018). Det er et stort behov for forskning på sårbarhet og respons på forstyrrelser hos arktiske svampebunner, da de fleste svampearter har lav veksthastighet og lang levetid, som er assosiert med lav motstandsdyktighet i møte med forstyrrelser. I tillegg er svamper veldig aktive filterspisere som til en viss grad kan tolerere sedimenterte miljø (Bell et al., 2016), men som sannsynligvis vil bli påvirket av høye konsentrasjoner av suspenderte sedimenter, som kan lede til kvelning og tetting av vannkanalsystemet (Grant et al., 2019). Svampenes evne til å tolerere suspenderte sedimenter synker betraktelig ved lang tids eksponering (Wurz et al., 2021). I forbindelse med utvinning av havbunnsmineraler mangler derfor studier for å kvantifisere potensielle fysiske og toksiske effekter av sedimentpartikler og oppløste metaller som kan transporteres av gruveskyen til svampebunner eller andre dyphavshabitat.



Figur 14. Eksempler på svampedominerte samfunn som finnes på Schulzbanken. A-B – Topp-området (600-700 m) som er dominert av *Schaudinnia rosea* og *Asconema foliata* som lever på en tett spikelmatte med levende tetractinellide svamper, C – tette ansamlinger av anemoner (640 m), D – isgalt (*Macrourus berglax*), E – glassvamper (mest sannsynlig *Schaudinnia rosea*) og bløtkorallen *Gersemia rubiformis*, sammen med andre mindre dyr, for eksempel kråkeballer, anemone og kiselsvamper, F – område på siden av sjøfjellet (2000 m) dominert av kålrabisvamper (*Geodia* spp.) og sjøliljen *Poliometra proluxa*, G – uidentifiserte axinellide svamper fra de dypere delene av sjøfjellet (2012 m), H – NIOZ sitt design av *in-situ* inkubasjonskammer satt ut i svampegrunnen på toppen av Schulzbanken. Kamrene brukes til å undersøke påvirkningen dyphavs-svampegrunner har på karbon og næringssyklusene ved å måle endringer i oksygenkonsentrasjon, bakterieplankton, oppløst organisk karbon og ikke organiske næringssalter. Bilder: SponGES/UiB.

Informasjon om gjenoppretting av samfunn etter forstyrrelser er også viktig for å forstå konsekvensene av menneskelig aktivitet i dyphavet. Den eneste studien vi kjenner til som har

dokumentert gjenopprettingen av en arktisk dyphavssvampebunn etter en forstyrrelse ble gjennomført på Schulzbanken. Morrison et al., (2020) analyserte video fra fire år etter eksperimentell bunntåling på toppen av sjøfjellet (568-670 m dyp) og på den sørvestre siden (1464 m) for å sammenligne biodiversitet og tetthet av svamper og assosiert megafauna på den forstyrrede lokaliteten med nærliggende kontroll-lokaliteter. Studien viste signifikant lavere tetthet av epibentisk megafauna på den forstyrrede lokaliteten, og viste tydelig at samfunnet i trålsprettet ikke hadde blitt gjenopprettet til tilstanden før forstyrrelsen. I lys av disse resultatene, og med tanke på den lave veksthastigheten til arktisk dyphavsfauna (inkludert svamper), argumenterer Morrison et al., (2020) for at gjenoppretting av forstyrrede svampebunner på Schulzbanken sannsynligvis vil ta flere tiår, kanskje flere hundre år. Selv om fjerning av fauna og spikelmatter med trål ikke er direkte sammenlignbart med potensielle indirekte effekter fra utvinning av mineraler på havbunnen på svampekosystem, så gir studien viktig informasjon om tiden som kreves for gjenoppretting av disse habitatene.

3.2.3 Inaktive sulfidforekomster

Varme kilder med skorsteiner kan forbli aktive over vidt varierende tidsskalaer, fra dager til tiår, eller til og med flere tusen år, slik som ved Lokeslottet. Varm utstrømming over lengre tidsperioder er nødvendig for å danne store sulfidforekomster av potensiell kommersiell verdi (Petersen et al., 2016). Når hydrotermisk aktivitet svekkes og til slutt opphører, blir sulfidavleiringene inaktive, og til slutt utdødd, på grunn av havbunnsspredning, som fører sulfidforekomstene bort fra varmekilden som er ansvarlig for dannelsen. Skillet mellom aktive og inaktive SMS-forekomster er imidlertid ikke alltid klart, fordi inaktive forekomster lokalisert i et hydrotermisk aktivt felt kan reaktiveres gjennom tektonisk aktivitet. Det er også verdt å merke seg at gruvedrift på en inaktiv sulfidforekomst kan endre underjordiske væskeveier, noe som potensielt kan føre til reaktivering av hydrotermisk aktivitet i utvinningsområdet og endringer i intensitet og karakteristikk for den varme utstrømmingen på nærliggende aktive lokaliteter (Jamieson & Gartman, 2020). Et slikt scenario vil utgjøre en klar risiko for alvorlig skade på økosystemer ved varme kilder (Van Dover et al., 2020).

Denne rapporten følger terminologien i Van Dover (2019) og definerer inaktive sulfider som områder med akkumulerte sulfidmineraler uten pågående hydrotermisk aktivitet. Terminologien gjør ingen antagelser om hvorvidt hydrotermisk aktivitet kan gjenopptas, og omfatter en rekke forhold og geologiske omgivelser, fra inaktive skorsteiner innenfor aktive områder med oppstrømming til avsetninger som ikke lenger er i nærheten av aktive systemer og som kan være begravet under flere meter med sediment.

Når hydrotermisk aktivitet avsluttes, gjennomgår sulfidhabitat og tilhørende økosystem betydelige endringer. Aktive SMS-forekomster preges av spesialisert fauna som er avhengig av bakteriell kjemoautotrof primærproduksjon, og kan således bare leve nær utstrømmingen fra en varm kilde (Van Dover et al., 2020; se også kapittel 3.1 Varm havkildebunn). Den kilde-endemiske mikro- og makrofaunaen reduseres når hydrotermisk aktivitet avtar og er fraværende på inaktive SMS-forekomster, der den erstattes med et samfunn av bakgrunnsarter som ikke er avhengige av kjemoautotrofi for å overleve, og som også lever på andre harde substrater i regionen (gjennomgått av Boschen et al., 2013; Van Dover, 2019). Kilde-endemiske symbiotrofer er rapportert fra inaktive sulfider, men dette kan forklares med nylig avsluttet hydrotermisk aktivitet eller vedvarende restaktivitet på disse stedene (Van Dover, 2019).

Bare et fåtall studier har hittil blitt publisert som beskriver og kvantifiserer biologiske samfunn assosiert med inaktive sulfider (Boschen et al., 2015, 2016). De aller fleste er fokusert på bentisk megafauna, mens svært lite informasjon er tilgjengelig for makro- og meiofauna (se gjennomgang av Van Dover, 2019 og referanser der). Typisk bakgrunnsfauna registrert fra inaktive sulfider er hovedsakelig filterspisere som svamper, hydroider, bambuskoraller, anemoner, sjøstjerner i orden *Brisingida*, slangestjerner og sjøliljer, men også kjøttetende svamper i familien *Cladorhizidae*, sjøpølser og trollhummer (Boschen et al., 2015; 2016; Galkin, 1997; Collins & Kennedy, 2012). Disse organismene kan forekomme ved høyere tetthet på inaktive sulfider plassert nærliggende aktive varme kilder sammenlignet med andre habitater, muligens fordi de kan drar nytte av ekstra næringstilgang bestående av partikler og/eller organismer transportert fra aktive skorsteiner (Erickson et al., 2009).

Minst to arter av albuesnegler og to arter flerbørstemark har blitt beskrevet utelukkende fra inaktive sulfider (Van Dover, 2019). Nylige kvantitative studier av samfunnsstrukturen på inaktive SMS-forekomster støtter eksistensen av unike bentiske megafauna-ansamlinger knyttet til disse habitatene: Videoundersøkelser av potensielle SMS-gruveområder på tre sjøfjell langs vulkanbuen Kermadec i New Zealands eksklusive økonomiske sone påviste tre bunnsamfunn som kun forekommer i regioner med inaktive SMS-forekomster (Boschen et al., 2015). En detaljert videoundersøkelse av et foreslått gruveområde (*Proteus 1*) og referanseområde (ingen gruvedrift) ved Rumble II West Seamount identifiserte fauna-ansamlinger dominert av et uvanlig stort antall av kråkebollen *Dermechinus horridus*, eller en kombinasjon av *D. horridus* og steinkoraller som kun ble funnet assosiert med inaktive sulfidskorsteiner i *Proteus 1*, ofte i nærheten av hydrotermisk aktive lokaliteter (Boschen et al., 2016). Selv om de unike megafauna-ansamlingene i begge studiene ikke omfattet arter tilpasset inaktive sulfider, hevdes det at den relative mengden av dominerende taksa og forskjeller i taksonomisk sammensetning av ansamlinger knyttet til dette habitatet, bør brukes som kriterier for å definere områder som krever beskyttelsestiltak. Det er derfor fortsatt uklart om det eksisterer biologiske samfunn bestående av arter spesielt tilpasset de geologiske og mikrobielle forholdene i forvitret sulfidsubstrat. Dette krever videre studier i de aktuelle områdene.

Undersøkelser av økosystemer på inaktive sulfidforekomster. Undersøkelser av økosystemer på inaktive sulfider på AMOR er svært knappe. Fram til i dag, er undersøkelser begrenset til tre lokaliteter: Mohnsskatten, det nylig oppdagede feltet Fåvne som har både inaktive og aktive skorsteiner (se kapittel 3.1.1) og Gnitahi, en inaktiv sulfidforekomst mindre enn 1 km fra sørvest for Fåvne.

Bentiske megafauna-samfunn ved Mohnsskatten ble kvantitativt kartlagt med videotransekter i 2016 som en del av MarMine-prosjektet. Denne kartleggingen avdekket ingen områder med eksponerte sulfider, og følgelig ble det kun rapportert om kvantitative faunabeskrivelser for bløtbunn og utstikkende basalt (Ramirez-Llodra et al., 2020) (se også kapittel 3.2.2).

Videoundersøkelser av Mohnsskatten utført av UiB i 2020 førte til oppdagelsen av et inaktivt skorsteinfelt i området, og et begrenset område i nærheten med diffus varm utstrømming (se kapittel 3.1). Foreløpig analyse av videoopptaket viser at skorsteinstrukturene er tett kolonisert av flere svampearter, inkludert kjøttetende svamper (muligens *Cladorhiza gelida*), ulike horn- og kiselsvamper, glassvamper (*Asconema* sp.) samt sjøliljen *Poliometra proluxa*.

Undersøkelser av bentiske samfunn ved Fåvne ble utført under UiB tokt til AMOR i 2019 og 2020. Videoobservasjoner og faunainnsamling ble utført med ROV på inaktive skorsteinsområder i området nær de varme kildene, samt på et nærliggende forkastningsvegg-

område kalt Gnitahai. Den begrensede mengden opptak som hittil er samlet inn er imidlertid ikke tilstrekkelig for en omfattende karakterisering av faunasamfunnene ved disse inaktive sulfidforekomstene. En inaktiv skorstein innenfor det aktive området som ble observert i detalj var dekket av et tett og mangfoldig dyresamfunn bestående av svamper (cladorhizider, andre horn- og kiselsvamper og glassvamper), anemoner, hydroider, amfipoder, børstemakk og sjøstjerner (Figur 15).



Figur 15. Mangfoldig fauna på inaktive skorsteiner nær de aktive skorsteinene på Fåvne. Bilder: UiB/Senter for dyphavsforskning.

I løpet av videoundersøkelsen, utført på 2730-3040 m dyp langs Gnitahai, ble det observert minst 18 arter / morfotyper av megafauna, inkludert fisk, svamper (cladorhizider, andre horn- og kiselsvamper og glassvamper), anemoner, sjøstjerner og hydrozoer. Store glassvamper, sannsynligvis *Asconema* sp. og *Caulophacus arcticus*, samt minst én uidentifisert svamp i

familien Axinellidae, var blant de mest utbredte organismene. En foreløpig sammenligning antyder ingen tydelige forskjeller mellom ansamlinger på sulfid- og basaltområder på forkastningsveggen. Tettheten av organismer på forkastningsveggen var imidlertid lavere enn på de inaktive sulfidene i nærheten av de varme kildene, noe som tyder på at organismer som koloniserer inaktive skorsteiner på Fåvne kan dra nytte av organisk materiale produsert ved de varme kildene.

Selv om bakgrunnsfauna sannsynligvis ikke er så sårbar for tap av habitat som endemiske arter, er de langlivede, langsomt voksende organismer og kan derfor bruke lengre tid å komme seg etter forstyrrelser, kanskje flere tiår (Boschen et al., 2013). Det bør også framheves at hvis det finnes unike ansamlinger assosiert med inaktive sulfider på AMOR, vil disse være de mest sårbare for forstyrrelser fra gruvedrift og de som vanskeligst lar seg gjenopprette når mineralekstraksjonen opphører (Van Dover, 2019).

Sammenlignet med aktive varme kilder har mye mindre forskning hittil fokusert på økosystemer assosiert med inaktive sulfider, og det er derfor lite kunnskap om deres struktur, økologi og funksjon. Det er heller ikke kjent hvordan disse økosystemene kan variere mellom sulfider i ulike settinger (Van Dover 2019). Mangelen på robuste vitenskapelige data gjør forvaltning av økosystemene på massive sulfidforekomster (SMS) til en utfordrende oppgave (Van Dover et al., 2020). Videre forskning på inaktive sulfidøkosystemer i AMOR er planlagt av Senter for Dyphavsforskning ved UiB i de kommende årene og tar sikte på å fylle nåværende kunnskapshull.

3.2.4 Manganskorper

Undervannshøyder og sjøfjell kan under visse omstendigheter ha manganskorper. Områder med potensiale for slike skorper er identifisert ved hjelp av batymetriske data, og har blant annet vært undersøkt av Senter for dyphavsforskning, UiB. En forhøyning i terrenget som reiser seg 700 meter over dyphavssletten (3000 meters dyp) i Lofotenbassenget (71.46°N, 4.94°E) ble undersøkt av UiB-toktet i 2020. Megabentiske dyresamfunn ble undersøkt ved hjelp av to videotransekter med ROV. Transektene dekket totalt ca. 1600 m fra 2460-2290 m dyp. Transektet dekket flere ulike bunntyper som vertikale vegger nesten utelukkende dekket av manganskorper, områder med eksponert basalt og lommer med bløtbunn. Toppen av forhøyningen var flat og dekket av sedimenter. Prøver for videre vitenskapelig undersøkelse av den mest vanlige faunaen ble også samlet inn ved denne lokaliteten, og disse skal identifiseres ved hjelp av morfologiske og molekylære metoder (DNA strekkoding).

Selv om det ikke er utført noen statistiske analyser av artsrikdom og tetthet, kan vi si at den megabentiske faunaen fra denne lokaliteten i stor grad er den samme som andre bentiske samfunn på tilsvarende dyp i Arktis som for eksempel Schulzbanken (Meyer et al., 2019), Mohnsskatten (Ramirez-Llodra et al, 2020) og Hausgarten-observatoriet i Framstredet (Meyer et al., 2013; Taylor et al., 2016). Dyresamfunnene på manganskorpene var dominert av hornsvampene *Lissodendoryx complicata*, *Hymedesmia* sp., *Thenaea* sp. og minst to uidentifiserte morfologiske arter i tillegg til glassvampen *Amphidiscella monai*. Andre vanlige dyr inkluderte sjøliljen *Poliometra proluxa* og en uidentifisert art av sjøanemone. Den mobile faunaen var dominert av rekeslekten *Bythocaris*, noen få observasjoner av kongsnegler, arktisk ålebrosme *Lycodes glacialis* og kongeringbuk *Rhodichthys regina*. Megabentiske samfunn på andre bunntyper var tilsvarende de på manganskorpene, bortsett fra høye antall av to arter anemoner og en sjelden svamp innen Polymastiidae (cf. *Weberella* sp.). Sammenlignet med hardbunnslokalitetene var det mindre synlig fastsittende megafauna på

bløtbunnsområdene, som i stedet var dominert av bevegelig fauna som reker (*Bythocaris* spp.), kongsnegler, isopoder (Munnopsidae) og sjøstjerner.

3.3 Bløtbunn

Bløtbunn utgjør hoveddelen av bunnarealet også i AMOR-området, og tilsvarer M5, afotisk marin sedimentbunn, i NiN V2-systemet (NiN 2019). Bløtbunnsfauna kan deles inn både etter størrelse, og ut ifra om dyrene lever på havbunnens overflate (epibentisk) eller nede i sedimentene (infauna). Hvordan de ulike størrelsesgruppene av fauna defineres varierer, men inndelingen er basert på praktiske feltmetoder. Megafauna er ofte definert som dyr som er synlig på bilder eller video av havbunnen, eller som er større enn 1 cm (f. eks Grassle et al., 1975). Makrofauna er ofte definert som organismer som er synlig med det blotte øye, og som fanges opp av en sikt med maskevidde på 0,5 mm, noen ganger 0,3 mm (Watling, 2019). Meiofauna er definert som dyr som passerer gjennom en sikt med maskevidde 0,5 mm, men fanges opp av en sikt med maskevidde 40 µm (noen ganger brukes maskevidde 31 eller 20 µm i dyphavet) (Zeppilli et al., 2018). Som hovedregel blir organismene gradvis mindre i størrelse med økende dybde, og i dyphavet er det makro- og meiofauna som utgjør den største delen av biomassen (Wei et al., 2010).

3.3.1 Bløtbunnsfauna i de Nordiske dyphavsbassengene

Tidligere prøvetaking av bløtbunnsfauna i norske dyphavsområder (utenfor kontinentalsokkelen) er i grove trekk oppsummert i kapittel 1 og kan deles inn i historiske tokt (før 1900, ofte med forskjellige skraper), en liten andel miljøovervåkning i forbindelse med oljeutvinning (som oftest da prøvetaking med van Veen-grabb), en serie med tokt og påfølgende programmer for sørlige Norskehav, inkludert områdene rundt Færøyene og Island (mye sledeinnsamlinger), og etter 2000 av Mareano og fra Hausgarten-stasjonene i Framstredet (2800-2300 m dyp) (Meyer et al., 2013; Soltwedel et al., 2009; Taylor et al., 2016). Mareano programmet har hovedsakelig fokusert langs kanten av kontinentalsokkelen, men dybdekartlegging av seks transekter på tvers av Norskehavet ble utført sommeren 2019, med planer om påfølgende bio/geo innsamling i 2022 (Buhl-Mortensen et al., 2015, Mareano styringsgruppe pers comm). Toktene på 80-tallet og de påfølgende programmene BIOFAR og BIOICE har resultert i flere studier av krepsdyr (Svavarsson, 1997; Svavarsson et al., 1993), snegler (Høisæter, 2010) og børstemark (Oug et al., 2017). Hovedandelen av det studerte materialet er fra kontinentalsokkelen, men en del av prøvene er tatt lengre ute, blant annet prøver fra et dybde-transekt på kontinentalskråningen rundt 62-64°N (>3000 m), og noen prøver rundt Vøringutstikkeren, Ægirryggen og mellom Jan Mayen, Island og Færøyene (Oug et al. 2017, se også Figur 2). Disse områdene prøvetas nå på nytt av IceAGE-programmet (Brix et al., 2021), og prøvetaking forberedes også av Mareano-programmet.

Undersøkelser av bløtbunn i de Nordiske havene har altså først og fremst vært fokusert på det som vanligvis kalles dyphavsslettene – de relativt flate områdene på hver side av midthavsryggen. Dette er områder som i stor grad er preget av finkornede sedimenter og med fauna som er tilpasset dette. De batymetriske transektene som Mareano utførte i 2020 viser imidlertid at de formodentlig flate slettene ikke er så homogene og flate som man har antatt – det er mange områder med hardere bunn og stor variasjon i topografi. Terrengformer som dype groper, knatter, sjøfjell (sea knoll) og bratte fjellsider er observert (Mareano v/ Thorsnes et al, presentasjon 2021). Dyphavsslettene må derfor beskrives som en samling varierte habitater. Dette er også vist lengre sør i Atlanterhavet tydelige indikasjoner på at «flate» sedimenterte områder verken er flate eller jevnt sedimenterte og bløte (Riehl et al., 2020).

Studier av bløtbunnsfauna fra dype havområder i Weddelhavet i Antarktis demonstrerer hvor vanskelig det er å samle inn og kartlegge det totale biomangfoldet. Brandt et al., (2012) viste flere studier av separate taksongrupper der så mye som 90 % av de innsamlete artene var nye for vitenskapen, og mer enn halvparten av artene som ble innsamlet var sjeldne (i motsetning til vanlige eller tallrike arter). Det er spesielt imponerende med slike funn i nye studier av et område som har vært gjenstand for tallrike vitenskapelige ekspedisjoner og prøveinnsamling de siste 20 årene, og det kan være en illustrasjon av hvor flekkvis de fleste arter er fordelt på havbunnen, og ikke minst hvor få representanter hver art egentlig har, enten populasjonen er spredt vidt utover eller i en liten tett ansamling. Det er ingenting som tilsier at dette er spesielt for Antarktis, både flekkvis fordeling og sjeldenhet av arter er generelle kvaliteter ved bløtbunnsfauna i dyphavet.

Det er derfor heller ikke å forvente at faunaen i og ved bløtbunnen i Norskehavet skal være ensartet i hele området. Normal geografisk fordeling av bentiske dyr er flekkvis – altså at flere individer finnes klumpet sammen i et lite område, med stor avstand til neste ansamling. Flere grupper bentiske dyr har i tillegg en spredningsbiologi som er svært begrenset, dette inkluderer store grupper dyr som heller ikke har frittlevende larvestadier og slik heller ikke har stor spredningsevne i reproduksjonen. For de artsgruppene som har frittlevende larvestadier, vil spredningsevnen begrenses av lengde på larvestadiet, bunnstrømmer som kan spre larvene og passende bunnsbunnsstrukturer for larvenes bunnslevning. Med bakgrunn i en slik flekkvis fordeling av individer, de store områdene og den relativt lave mengden innsamlete prøver, er det ikke å forvente at vi vet på langt nær tilstrekkelig om faunaen i området.

Siden det foreligger så få studier gitt områdets størrelse (hvis vi regner nord for Grønland-Island-Færøy-Skottland-ryggen), er det logisk at det ikke finnes noen overrekke økologiske beskrivelser av områdene utover artsregistreringer på prøvestasjoner. Flere arter som er vitenskapelig beskrevet på grunnlag av materiale fra dette området har kun blitt registrert i den ene prøven de opprinnelig ble funnet i, flere av disse artene ble beskrevet fra materialet fra de tidlige (før 1900) ekspedisjonene. Dette er nok en kombinasjon av at mange arter generelt er fåtallige med hensyn til individer og flekkvis fordelt, i tillegg til at vi altså ikke har mange bunnprøver å lete i.

Epifaunaen i de undersøkte delene av de Nordiske havene viser tydelige trender av et Nord/Sør skille som sammenfaller med Grønland-Island-Færøy-ryggen (se for eksempel Lörz et al., 2021). Det er også mulig å se indikasjoner på at midthavsryggen er et tilsvarende geografisk skille, men det er for lite prøvetakning nordover på begge sider av denne ryggen til at vi kan si noe sikkert. Faunaen på Grønlands kontinentalsokkel er forskjellig fra faunaen på Norsk kontinentalsokkel. Dette er imidlertid mest sannsynlig mer et resultat av at Øst-Grønlands kontinentalsokkel påvirkes av avrenning fra isbreer og breelver, mens den norske kontinentalsokkelen påvirkes av Golfstrømmen, heller enn at midthavsryggen utgjør et skille. Ryggen skiller allikevel vannmassene, og hvilke vannmasser som dominerer i de forskjellige bassengene (Norskehavet og Grønlandshavet) påvirker nok til en viss grad epifaunaen. Dette vil være mer uttalt lengre sør, med en mer arktisk-påvirket fauna lengre nord der vannmassene også er likere i temperatur.

For infauna er lite kjent, siden de fleste dyphavsstudiene i de Nordiske havene har samlet prøver med sleder og tråler mer enn med grabber og kjerneprøvetakere. Dyphavets bløtbunnsfauna er preget av stor diversitet (Grassle & Maciolek, 1992), og undersøkelser i dyphavsbasenget i Norskehavet er relativt sjeldne (f.eks. Dahl et al., 1976; Buhl-Mortensen et al., 2012). BIOICE- og IceAGE-prosjektene har i en årrekke publisert beskrivelser av fauna i området rundt Island, men dette arbeidet er ennå ikke sammenfattet (Brix et al., 2014). En

studie på 2500 m dyp fra Hausgarten-stasjonene i Framstredet påviste 3714 individer fra 59 arter makrofauna fra 9 kjerner, med hovedvekt på flerbørstemark, bløtdyr og krepsdyr (Budaeva et al., 2008). Mareano-prosjektet har undersøkt noen få stasjoner som kan sies å være fra dyphavet mer enn fra sokkelskråningen, disse er alle like utenfor skrånningen ved Lofoten/Vesterålen og syv stasjoner er dypere enn 2000 m, prøvetatt med bomtrål (makrofauna), Rothlisberg-Piercy-slede (hyperfauna) og van Veen-grabb (infauna). Bildet av bløtbunnsfaunaen på ca. 2000 m like ved sokkelskråningen viser en makrofauna som er representert med rundt 35 identifiserte arter, en hyperfauna med ca. 50 identifiserte arter og en tilsvarende infauna. Det er verd å merke seg at nesten alle registrerte arter på disse stasjonene er representert med enkeltindivider (www.mareano.no). Flere av taksaene er ikke identifisert til art – dette kan både være et resultat av mangel på ekspertise og ukjent taksonomi for store grupper.

Når det gjelder bløtbunnsområder på selve midthavsryggen, er disse en kombinasjon av små lommer med bløtbunn i fordypninger i bunnfjellet og nedsedimenterte inaktive områder av ryggen. Bløtbunn er blant annet et resultat av lang tids sedimentering av løse geologiske og biologiske masser, der dybden på sedimentlagene er et resultat av sedimenteringsrate og tid. Inaktive områder som finnes for eksempel på Mohnsskatten vil slik sedimenteres ned over tid, og selv et relativt tynt sedimentlag vil være et godt habitat for fauna som har mulighet til å spre seg dit. Dette kan vi også se på de flaterne delene av sjøfjell som Schulzbanken, som er beskrevet i 3.2.3.

De generelle trendene i de dype delene av de Nordiske havene nord for Grønland-Island-Færøy-ryggen er at bløtbunnsfaunaen slik vi kjenner den så langt synes å være i store trekk «arktisk». Dette er nok mest fordi bunnvannstemperaturene er kalde, slik at arter vi kun finner dypt i de nordiske havene også finnes i fjorder både på Svalbard og Grønland såfremt disse fjordene ikke har altfor stor ferskvannsinntilflytelse. Hvis vi derimot sammenligner faunamønstre ved Svalbard med tilsvarende mønstre langs sokkelskråningen ved Norge, ser vi at i sør for de Nordiske havene har vi en annen fauna i de øverste 7-800 m enn ved større dyp, med en overlapp mellom «grunnfauna» og «dypfauna» på rundt 800 m (Høisæter, 2010). Det er tydelige forskjeller i dyp bløtbunnsfauna nord og sør for Island (Brix et al., 2018; Meißner et al., 2018).

3.3.2 Bløtbunnsfauna i utredningsområdet

Bløtbunn har ikke vært en prioritert habitattype i de biologiske undersøkelsene som har blitt utført på den arktiske midthavsryggen, og det foreligger dermed forholdsvis lite informasjon om bløtbunnsfauna fra området (Ramirez-Llodra et al., 2020).

Havforskningsinstituttet utførte i 2011 en miljøbeskrivelse av havområdene rundt Jan Mayen (Fossum et al., 2012), som inkluderte blant annet bunnfisk og videotransekter av bentos. Sammenstilling av eksisterende data i forkant av denne undersøkelsen fant 71 arter bunnfisk kjent fra fiskerisone rundt Jan Mayen, men rapporten nevner også at området er dårlig undersøkt. Ved hjelp av bunntål ble 27 arter bunnfisk registrert i denne undersøkelsen, inkludert ny informasjon om fire fiskearter. Av de 29 videotransektene fra området ble hardbunn kun registrert på én stasjon: Totalt ble 120 dyregrupper registrert, hvorav 55 på artsnivå og 18 kunne identifiseres. Disse var fordelt over grupper slik som svamp, nesledyr (spesielt inkludert bløtkorallen *Gersemia rubiformis*), børstemark, krepsdyr, sjøedderkopper, bløtdyr, pigghuder (spesielt sjøliljer/fjærstjerner, men også sjø- og slangestjerner), mosdyr og bunnfisk. Fastsittende arter forekom oftest på spredte steiner og tilsvarende substrat.

Som en del av MarMine-prosjektet ble det i 2016 utført videotransekter og prøvetaking av kjerneprøver fra Mohnsskatten på 2300-2800 m dyp (Ludvigsen et al., 2016b). Sulfidforekomstene på denne lokaliteten er for det meste dekket av et ca. 15 m dypt sedimentlag (Lim et al., 2019) med spredt hardbunn i deler av området. En beskrivelse av epibentisk megafauna basert på videotransektene er publisert (Paulsen, 2017; Ramirez-Llodra et al., 2020), og kjerneprøvene er benyttet som en del av datamaterialet i en metodestudie om bruk av mDNA i dyphavet (Brandt et al., 2020).

I alt ble 46 arter bestemt fra MarMine-transektene, men over halvparten av disse utgjøres av arter fra hardbunn. Bløtbunnsfaunaen inkluderte tette konsentrasjoner av sjøliljen *Bathycrinus carpenterii* på de dypeste transektene, som sammen med mobile organismer, inkludert sjøpølsene *Kolga hyalina* og *Elpidia* sp., sjøstjernen *Hymenaster pellucidus*, leddyr som havedderkopper og små krepsdyr og arktisk ålebrosme (*Lycodes frigidus*) utgjorde hoveddelen av bløtbunnsfaunaen. Andre rapporterte arter inkluderte den arktiske dyphavsanemonen *Bathypheilia margaritacea* (Ramirez-Llodra et al., 2020).

Den rapporterte artssammensetningen tilsvarer fauna fra dyphavsområder på norsk kontinentalskråning (Buhl-Mortensen et al., 2012) og fra Hausgarten-stasjonene i Framstredet (2800-2300 m dyp) (Meyer et al., 2013; Soltwedel et al., 2009; Taylor et al., 2016). Imidlertid påpekes det at tettheten og mengden av sjøliljen *B. carpenterii* på Mohnsskatten er opptil 20 ganger høyere enn i disse områdene (Ramirez-Llodra et al., 2020), men dette må regnes som et noe usikkert estimat, da slik rapportert tetthet kan påvirkes av transektenes videokvalitet.

Biomangfold er oftest høyest i epifauna, og biomasse er generelt høyere i infauna hvis vi ser på dyphavet globalt. I dyphavssedimenter er det, med unntak av bakterier, makro- og meiofauna som utgjør den største delen av biomassen (Gage & Tyler, 1991; Wei et al., 2011). Mangelen på kartlegging av sediment-infauna fra den arktiske midthavsryggen skjuler med sikkerhet et biomangfold og biomasse vi bør vite mer om. Bløtbunnsfauna generelt i dyphavet og spesielt på de sedimenterte delene av midthavsryggen bør derfor studeres videre i framtiden, og inkluderes i framtidig kunnskapsinnsamling.

3.3.3 Mikrobielle samfunn i sedimenter langs AMOR

Langt størsteparten av den biologiske diversitet i sedimentene langs AMOR består av mikroorganismer. Siden 2007 er det gjort regelmessige undersøkelser av de mikrobielle samfunn i utredningsområdet. Disse undersøkelsene er i hovedsak utført i forbindelse med årlige tokt gjennomført av UiB i regi av Senter for GeoBiologi og Senter for Dyphavsforskning. Undersøkelsene har fokusert på å kartlegge den mikrobielle diversiteten og ved hjelp av genetiske analyser å estimere celletall. Diversiteten og de ulike samfunnsstrukturene er sett i sammenheng med geokjemiske og geofysiske parametere for å øke forståelsen av mikroorganismenes rolle i miljøet og for å forstå hvilke parametere som påvirker forekomst og diversitet. I tillegg er mikroorganismesamfunnenes innflytelse på karbonomsetning og utveksling av næringsstoffer og oksygen mellom sjøvatn og havbunnen undersøkt (Jørgensen et al., 2012; Jørgensen et al., 2013; Zhao et al., 2020). Dessuten er to publikasjoner som tar for seg en sammenstilling av store deler av dataene som er innsamlet i løpet av de siste 15 årene under forberedelse (Jørgensen et al., 2021 in prep; Møller et al., 2021 in prep). I hovedtrekk viser resultatene at diversiteten er høy, spesielt i overflatesedimentene som har mellom 500–1000 OTUer, og gradvis avtakene med dybde, et fenomen som kjennes igjen fra globale undersøkelser (Hoshino et al., 2020). Celletallet varierer mellom 107 – 1010 per gram overflatesediment og avtar som oftest eksponentielt

med dybden. De mikrobielle samfunnene langs AMOR er tett knyttet til både geofysiske og geokjemiske parametere og består i stor grad av mikroorganismer hvis identitet man kjenner igjen fra dyphavssedimenter i andre verdensdeler, men som uansett betegnes som ukarakteriserte (Jørgensen et al., 2012; Jørgensen et al., 2013; Zhao et al., 2020). Med ukarakterisert menes at identiteten deres kun er kjent gjennom korte DNA sekvenser og funksjonen i miljøet er ukjent. Selv om funksjonen til mange av de individuelle artene er ukjent er de mikrobielle samfunnene som helhet ansvarlig for omsetning av store deler av det organiske karbonet som avsettes på havbunnen og de er dermed avgjørende for hvor mye karbon som slippes fri som CO₂ og hvor mye som blir begravet i sedimentene og lagret over geologisk tid. I denne og andre mikrobielle prosesser kontrolleres også store deler av den kjemiske fluksen mellom sedimentene og sjøvann, bl.a. oksygen, nitrogen og jern (Zhao et al., 2020).

Til tross for en relativt bred forståelse for sammensetningen av de mikrobielle samfunnene og deres overordnede funksjon og betydning for miljøet i utredningsområdet, mangler vi kunnskap når det gjelder eventuell påvirkning fra gruvedrift. Dette er primært knyttet til den potensielle effekten av rask sedimentasjon som følge av oppvirvling av sedimenter (sedimentskyer) i forbindelse med gruvedrift. Det må antas at dette kan få konsekvenser for kjemisk fluks inn og ut av sedimentene i de påvirkede områder.

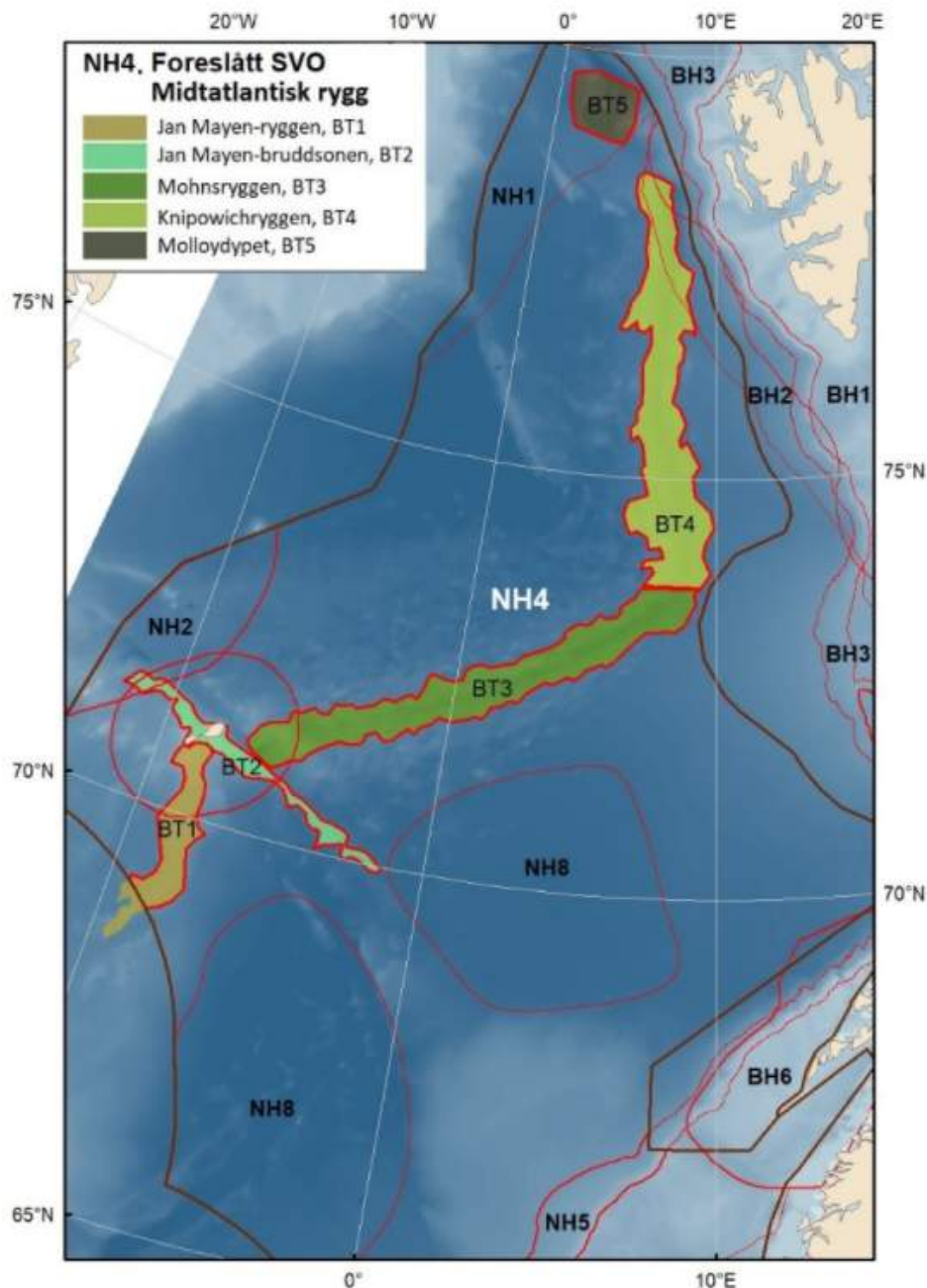
4. Verdifulle arter og habitater i utredningsområdet

Flere arter og habitat omtalt i denne rapporten er en del av 1) vurdering av Særlig Verdifulle og sårbare Område (SVO, Eriksen et al., 2021), 2) OSPAR (f.eks. Kutti et al., 2019) og flere arter fra dyphavet er foreslått for 3) Norsk rødliste for arter 2021 (Artsdatabanken 2021). For OSPAR er det «område I» som inngår i utredningsområdet, og alle habitat og økosystemer som OSPAR mener er verdifulle habitat og økosystemer er tatt med i rapporten. Disse er varme kilder, sjøfjell og dyphavs-svampegrunner. Schulzbanken er eksempler på de to siste. OSPAR har gjennom sitt arbeide med region V (Wider Atlantic som i praksis er havområdene vest for Europa mellom Storbritannia i nord og Portugal i sør inkludert Asorene) uttalt at medlemsnasjoner skal vurdere regelverk som verner de økologiske verdiene i samband med varme kilder (inkludert region I), men også at medlemmene utvider kunnskapsgrunnlaget og reduserer skadeomfang ved eventuell menneskelig aktivitet i nærheten av aktive varme kilder. OSPAR har også klare anbefalinger om vern av sjøfjell og svampegrunner (hhv. Recommendation 2014/9 og 2014/11).

I rapporten «Særlig Verdifulle og sårbare Områder (SVO) i Norske havområder – Miljøverdi» foreslått to nye SVO som inngår i utredningsområdet; NH4-Midatlantiskhavstrygg og NH8-Dyphavsområdene i Norskehavet (Figur 16) (Eriksen et al., 2021). NH4 omfatter større deler enn denne rapporten inkluderer, hvor det er BT3 og BT4 som er mest aktuell for denne rapporten. Forslag til et nytt SVO i utredningsområdet er begrunnet ut fra Convention on Biological Diversity (CBD) kriterier for Ecologically or Biologically Significant Areas som (EBSA). Disse bygger på stedegne arters økologi, alder på de aktive varme kildene og den geologiske strukturen.

Norsk rødliste for arter 2015 er under revisjon i 2021 og blant artene foreslått for den reviderte utgaven er seks arter fra AMOR foreslått som sårbar (VU) og en art som nært truet (NT). Artene er alle tilknyttet aktive geotermiske områder langs AMOR. Felles for vurderingen av alle artene er at de er stedegne, har begrenset forekomst og habitatstørrelse og

at det foreligger en reell trussel for artene i forbindelse med mineralutvinning. Artene som er vurdert er tre fra gruppen Amphipoda (tanglopper): *Exitomelita sigynae* (VU), *Monoculodes bousfieldi* (VU) og *Exitomelita lingicola* (NT), og fire fra gruppen Polychaeta (mangebørstemark): *Sclerolinum contortum* (VU), *Nicomache lokii* (VU), *Paramytha schanderi* (VU) og *Pavelius smiley* (VU).

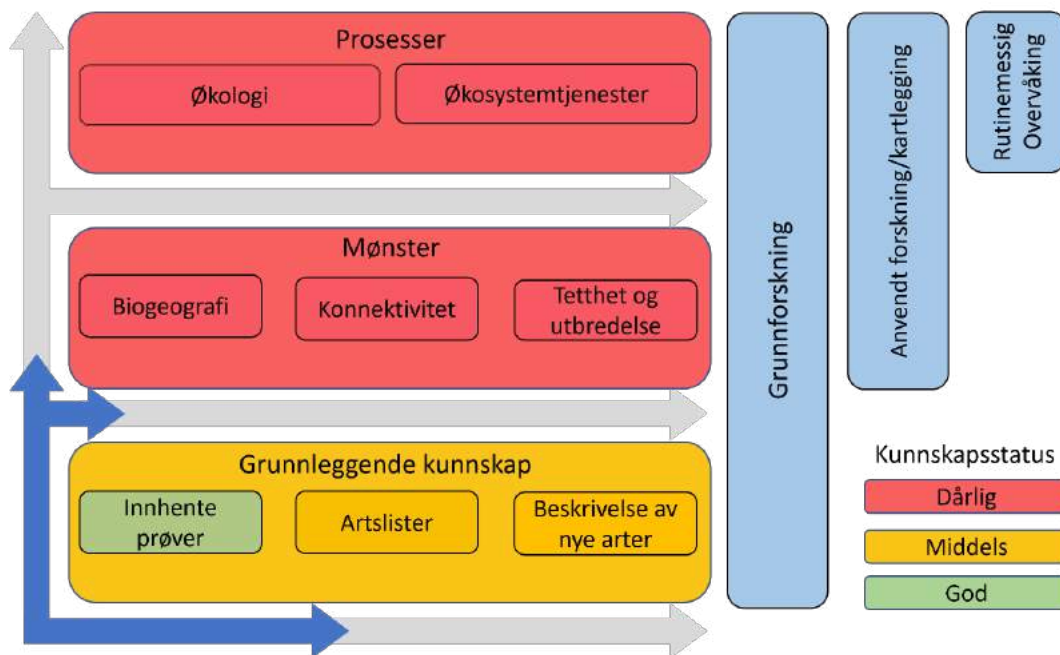


Figur 16. Kart hentet fra Særlig verdifulle og sårbare områder (SVO) i norske havområder – Miljøverdi (Eriksen et al., 2021). Kartet viser foreslåtte grenser (tykk rød strek) for nye SVO i utredningsområdet.

5. Kunnskapsmangler

Dyphavsforskning er ikke et nytt felt i norske farvann (se kapittel 1) men mellom den Norske Nordhavsekspedisjonen i 1878 og opprettelsen av Senter for Geobiologi i 2005 var forskningen lite fokusert og både geografisk og tidsmessig spredt. De siste 15 årene har forskningsstentrene ved UiB gitt ett økt fokus på dyphavsbiologi med årlige tokt, teknologiske nyvinninger og forbedrede analysemetoder, men forskningsfeltet er fortsatt i startgropen. Vi ønsker å belyse de mange kunnskapshullene med tanke på dyphavsfauna i utredningsområdet, som er viktig for konteksten av funnene presentert over.

På tross av de store mengdene økologiske data som er samlet inn de siste årene og systematisert i denne rapporten har vi fremdeles store kunnskapshull (Figur 17). Dette hindrer oss i å utføre en objektiv vurdering av miljørisikoene som medføres av mineralutvinning på havbunnen. Grunnleggende vitenskapelig kunnskap mangler, særlig for de habitatene som er mest relevante med hensyn til mineralressurser – inaktive sulfidforekomster og manganskorper på sjøfjell – men også fra bløtbunns habitat som ofte dekker gamle sulfidforekomster og som vil bli sterkt berørt ved en eventuell mineralutvinning. Omfattende biologiske kartlegginger på tvers av alle størrelsesklasser (fra megafauna til mikrober) er nødvendig, samt beskrivelse av tetthet og sammensetning av de biologiske samfunnene og konnektivitet mellom ulike områder og habitat. Å oppnå dette vil kreve både grundig opparbeiding og analyse av eksisterende materiale og rådata, og nye innsamlinger med standardiserte metoder som muliggjør kvantifisering, sammenligning og deling av data.



Figur 17. Kunnskapsstatus for dyphavsforskningen i de Nordiske havene. Boksene til venstre viser en kunnskapsstige fra grunnleggende kunnskap som for eksempel hvilke arter finner man, og opp til en helhetlig forståelse av økosystemets oppbygging og rolle i forhold til omliggende økosystemer. Pilene i blått viser hvor forskningen står p.t. Boksene til høyre (blå) illustrerer hvilken type forskningsinnsats man har per steg i kunnskapsstigen. Grunnforskning vil alltid spille en viktig rolle, slik den fortsatt gjør i velstuderte økosystemer, mens anvendt forskning og kartlegginger krever at det foreligger et grunnlag av kunnskap. Overvåking tilsvarende resipientgranskinger man utfører etter f.eks. vannrammedirektivets veileder 02:2018 er en tilnærming som man ikke har forutsetning til å utføre før det er betydelig kunnskap om et miljø, dets respons på påvirkninger og funksjon.

Universitetet i Bergen har gjennom en periode på nesten 15 år samlet biologiske prøver, og en betydelig del grovsortert, innsamlet materiale venter fortsatt på taksonomisk opparbeiding. Dette materialet er i hovedsak oppbevart ved Senter for dyphavsforskning ved Universitetet i Bergen, og har stort potensiale for å bedre kunnskapen om faunaen langs midthavsryggen, men opparbeiding av dette materialet vil kreve dedikert innsats og finansiering. Videre har man også en oversikt over økosystemene som gjør det mulig å gjøre nye supplerende innsamlinger for å framskaffe en dypere forståelse og man har kapasitet til å dra på forskningstokt. På den måten kan UiB bidra sterkt i å tette kunnskapshull som vi kjenner til.

Langs kysten er det registrert svært mange marine arter, og fram til nylig var det flest arter registrert tett på områdene rundt universitetene som har drevet med marinbiologisk forskning. Det var derfor langt flere registreringer rundt Bergen og Trondheim, og færre registreringer i andre områder (Brattgard & Holthe, 1997). Det sier to ting, 1) avstanden fra fasilitetene betyr noe, og 2) identifisering av arter er sterkt knyttet til menneskelige ressurser som i tilfellet for Bergen og Trondheim er de respektive vitenskapelige institusjonene der. Beskrivelse av biologiske systemer er tidkrevende, og vil kreve gjentatte innsamlinger fra samme lokalitet, hastigheten for å beskrive større geografiske områder blir som følge av dette lav. Derfor er ressursmangler også knyttet til krav til vitenskapelig arbeidsmåte, da beskrivelse av nye økosystemer krever en vitenskapelig tilnærming i motsetning til en standardisert miljøovervåking. Finansiering av forskere som kan ha nok tid til å kunne gjøre det grundige arbeidet som skal til for at nye arter skal kunne beskrives vitenskapelig er stor mangelvare (se kapittel 2.2.5), selv om vi har estimater på at 91 % av biomangfoldet i havet generelt fremdeles ikke er vitenskapelig beskrevet (Mora et al., 2011), dette er et forhold som er mye mer akutt i dyphavet enn for eksempel på kontinentalsokkelen.

Det har blitt utarbeidet en rekke taksonomiske publikasjoner på innsamlede organismer fra utredningsområdet for eksempel svamper (Alvizu et al., 2019; Hestetun et al., 2017; Plotkin et al., 2018), børstemark (Kongsrud & Rapp, 2012; Kongsrud et al., 2017; Eilertsen et al., 2020) og krepsdyr (Tandberg et al., 2013; Tandberg et al., 2018). Hvilke organismegrupper fra dyphavet som har blitt studert grundigst har i stor grad vært avhengig av tilgjengelig ekspertise, og et eksempel på en organismegruppe som spesielt er mangelfulle i analyserte prøver er meiofauna. Meiofauna er en relativt spesialisert gruppe å studere – og forskningsfronten har endret seg i takt med utviklingen av mikroskopene. Det er proporsjonalt store mengder meiofauna i bløtbunn (se kapittel 3.2.5), men dette er et økosystem som i svært liten grad er studert i tilknytning til midthavsryggene globalt. Nye metoder som miljø-DNA har et stort potensial for å sammenligne områder og overvåke endringer over tid, men er begrenset av mangelfullt strekkode-bibliotek for dyphavsarter, og metodologiske utfordringer som manglende standardisering av sampling design, prosessering og bioinformatisk analyse

Aktive kildefelt og svampebunner har vært fokus for mye forskning som har gitt viktige innsikter de siste årene (se kapittel 3.1 og 3.2), men forskningen har sentrert rundt kun noen få lokaliteter og utvalgte dyregrupper. Dette er økosystemer som kan bli påvirket av støvskyer fra mineralutvinning, men det er betydelige kunnskapsmangler som gjør det umulig å forutsi effekten av sedimentasjon og potensielle toksiske effekter på disse økosystemene. Kunnskapsmanglene er spesielt store når det kommer til økologiske prosesser og økosystemfunksjoner, og det vil kreves eksperimentelle forskningsprosjekt basert i de respektive habitatene før vi kan forså sammenhengen mellom biologiske samfunn og miljøene de finnes i, slik at vi kan utvide vår forståelse av hvordan miljøforstyrrelser kan komme til å påvirke samfunnene. I sammenheng med mineralutvinning vil det være særlig aktuelt med eksperimentelle studier av økotoksikologiske effekter av fra støvskyene fra aktiv

mineralutvinning på biologiske samfunn og økosystemfunksjon. Bedre kunnskap om lokale strømforhold, som gjør at vi kan si noe om spredningsdistanse og retning/område for slike skyer, vil være avgjørende for å kunne si noe om biologisk effekt.

Faunaen ved varme kilder er spesielt sårbar for habitatødeleggelse, siden mange av artene er høyt spesialiserte og habitat-endemiske (se kapittel 3.1.9). Selv om aktive kildefelt ikke vurderes som aktuelle mål for gruvedrift, så er disse ofte lokalisert i nærheten av inaktive sulfidforekomster (som på Fåvne/Gnitahei og Mohnsskatten), og kan bli utsatt for sekundær påvirkning som for eksempel sedimentasjon/toksisitet fra støvskyer, eller endringer av utstrømmingen på grunn av boreaktivitet (se kapittel 3.2.4). For å forstå den potensielle effekten av denne typen forstyrrelser er det flere kunnskapshull som må fylles. Det mest grunnleggende er at vi mangler kunnskap om variasjonen i sammensetningen av biologiske samfunn på ulike varme kilder langs AMOR og overlapp med andre dyphavshabitater. Dette skal adresseres i de neste årene i kartleggingsprosjektet «Fauna ved varme kilder og kalde gassoppkommer», ledet av UiB og finansiert av Artsdatabanken. I tillegg til kunnskap om artenes utbredelse må vi få en forståelse for hvordan artene sprer seg mellom varme kilder langs AMOR (konnektivitet, se kapittel 3.1.7), for å kunne si noe om rekoloniseringspotensialet etter en forstyrrelse. Hvordan miljøforholdene påvirker artssammensetningen, interaksjoner mellom mikrobiologi og fauna, økosystemfunksjoner og økosystemtjenester (for eksempel relatert til bioprospektering og næringsutveksling med andre økosystem) er også viktige tema som må belyses for å kunne forvalte disse økosystemene på en god måte.

Framtidige forvaltningsstrategier for dyphavsøkosystemene må baseres på langtidsmålinger av grunnleggende økologiske variabler slik at biomangfold, økosystemfunksjoner og menneskelig påvirkning kan overvåkes (Danovaro et al., 2020). Bruk av autonome teknologier som kan bidra til tidsserier av observasjoner vil øke oppløsningen på økologiske data stort sammenlignet med data samlet inn fra forskningsskip-baserte studier alene. En slik tilnærming vil gi nye innsikter i økosystemfunksjoner og vil også ta inn naturlige variasjoner i de biologiske samfunnene. Dette er en nødvendig forutsetning for å kunne si noe om hvilke biologiske responser og endringer som er resultat av forstyrrelser. Etablering av multidisiplinære observatorier på den dype norske kontinentalskråningen som er planlagt i de kommende årene vil slik kunne bidra med viktig kunnskap for miljøforvaltningen.

6. Referanser

- Alvizu, A., Xavier, J. R., & Rapp, H. T. (2019). Description of new chiacetine-bearing sponges provides insights into the higher classification of Calcaronea (Porifera: Calcarea). *Zootaxa*, 4615(2), 201–251. doi.org/https://doi.org/10.11646/zootaxa.4615.2.1
- Arntzen, M. Ø., Pedersen, B., Klau, L. J., Stokke, R., Oftebro, M., Antonsen, S. G., Fredriksen, F., Sletta, H., Aarstad, O. A., Aachmann, F. L., Horn, S. J. & Eijsink, V. G. H. (2021). Alginate Degradation: Insights Obtained through Characterization of a Thermophilic Exolytic Alginate Lyase. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(6), 1–16. doi.org/10.1128/AEM.02399-20
- Baco, A. R., Etter, R. J., Ribeiro, P. A., von der Heyden, S., Beerli, P., & Kinlan, B. P. (2016). A synthesis of genetic connectivity in deep-sea fauna and implications for marine reserve design. *Molecular Ecology*, 25(14), 3276–3298. doi.org/10.1111/mec.13689
- Bakken, T., Kongsrud, J. A., Oug, E., Cochrane, S., Moen, T. L., & Solbakken, B. E. B. (2010). Polychaetes from Jan Mayen (Annelida, Polychaeta). *Polar Research*, 29, 1–21. <https://doi.org/http://www.doi.org/10.1111/j.1751-8369.2009.00132.x>

- Bart, M. C., Mueller, B., Rombouts, T., van de Ven, C., Tompkins, G. J., Osinga, R., Brussaard, C. P. D., MacDonald, B., Engel, A., Rapp, H. T., & de Goeij, J. M. (2021). Dissolved organic carbon (DOC) is essential to balance the metabolic demands of four dominant North-Atlantic deep-sea sponges. *Limnology and Oceanography*, 66(3), 925–938. doi.org/https://doi.org/10.1002/lno.11652
- Bauer, S. L. M., Roalkvam, I., Steen, I. H., & Dahle, H. (2016). *Lutibacter profundus* sp nov., isolated from a deep-sea hydrothermal system on the Arctic Mid-Ocean Ridge and emended description of the genus *Lutibacter*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(7), 2671–2677. doi.org/10.1099/ijsem.0.001105
- Bauer, S. L. M., Stensland, A., Daae, F. L., Sandaa, R. A., Thorseth, I. H., Steen, I. H., & Dahle, H. (2018). Water masses and depth structure prokaryotic and T4-like viral communities around hydrothermal systems of the Nordic Seas. *Frontiers in Microbiology*, 9(May), 1002. doi.org/10.3389/fmicb.2018.01002
- Bell, J. B., Woulds, C., Brown, L. E., Sweeting, C. J., Reid, W. D. K., Little, C. T. S., & Glover, A. G. (2016). Macrofaunal Ecology of Sedimented Hydrothermal Vents in the Bransfield Strait, Antarctica. *Frontiers in Marine Science*, 3. doi.org/10.3389/fmars.2016.00032
- Bennett, S. A., Coleman, M., Huber, J. A., Reddington, E., Kinsey, J. C., McIntyre, C., Seewald, J. S., & German, C. R. (2013). Trophic regions of a hydrothermal plume dispersing away from an ultramafic-hosted vent-system: Von Damm vent-site, Mid-Cayman Rise. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(2), 317–327. doi.org/10.1002/ggge.20063
- Berg, C. J., & Van Dover, C. L. (1987). Benthopelagic Macrozooplankton Communities at and Near Deep-Sea Hydrothermal Vents in the Eastern Pacific-Ocean And The Gulf Of California. *Deep-Sea Research Part a-Oceanographic Research Papers*, 34(3), 379–401.
- Boschen, R. E., Rowden, A. A., Clark, M. R., & Gardner, J. P. A. (2013). Mining of deep-sea seafloor massive sulfides: A review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies. *Ocean and Coastal Management*, 84, 54–67. doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.005
- Boschen, R. E., Rowden, A.A., Clark, M.R., Barton, S. J., Pallentin, A. & Gardner, J. P. A. (2015). Megabenthic assemblage structure on three New Zealand seamounts: implications for seafloor massive sulfide mining. *Marine Ecology Progress Series*, 523, 1–14. www.int-res.com/abstracts/meps/v523/p1-14/
- Boschen, Rachel E., Collins, P. C., Tunnicliffe, V., Carlsson, J., Gardner, J. P. A., Lowe, J., McCrone, A., Metaxas, A., Sinniger, F., & Swadling, A. (2016). A primer for use of genetic tools in selecting and testing the suitability of set-aside sites protected from deep-sea seafloor massive sulfide mining activities. *Ocean & Coastal Management*, 122, 37–48. doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.01.007
- Brandt, A., Błażewicz-paszkowycz, M., Bamber, R. N., Mühlenhardt, U., Siegel, –, Malyutina, M. V., Kaiser, S., De Broyer, C., & Havermans, C. (2012). Are there widespread peracarid species in the deep sea (Crustacea: Malacostraca)? *Polar Res*, 33(2), 139–162. doi.org/10.2478/v10183-012-0012-5
- Brandt, M. I., Trouche, B., Henry, N., Liautard-Haag, C., Maignien, L., Vargas, C. de, Wincker, P., Poulain, J., Zeppilli, D., & Arnaud-Haond, S. (2020). An Assessment of Environmental Metabarcoding Protocols Aiming at Favoring Contemporary Biodiversity in Inventories of Deep-Sea Communities. *Frontiers in Marine Science*, 7, 234. doi.org/10.3389/fmars.2020.00234
- Brattegard, T., & Holthe, T. (1997). Distribution of marine, benthic macro-organisms in Norway: a tabulated catalogue (Book, 1997). <https://www.worldcat.org/title/distribution-of-marine-benthic-macro-organisms-in-norway-a-tabulated-catalogue/oclc/488203488>.
- Brix, S., Kaiser, S., Lörz, A. N., Le Sout, M., Schumacher, M., Bonk, F., Egilsdóttir, H., Ólafsdóttir, S., Tandberg, A. H. S., Taylor, J., Tewes, S., Xavier, J. R., Linse, K. (2021). Habitat variability and

- faunal zonation at the Ægir Ridge, a canyon-like structure in the deep Norwegian Sea. *Frontiers in Marine Science* (in revision).
- Brix, S., Bober, S., Tschesche, C., Kihara, T. C., Driskell, A., & Jennings, R. M. (2018). Molecular species delimitation and its implications for species descriptions using desmosomatid and nannoniscid isopods from the VEMA fracture zone as example taxa. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 148, 180–207. doi.org/10.1016/J.DSR2.2018.02.004
- Brix, S., Meissner, K., Stransky, B., Halanych, K. M., Jennings, R. M., Kocot, K. M., & Svavarsson, J. (2014). The IceAGE project - a follow up of BIOICE. *Polish Polar Research*, 35(2), 1–10. www.degruyter.com/view/j/popore.2014.35.issue-2/popore-2014-0010/popore-2014-0010.xml
- Budaeva, N. E., Mokievsky, V. O., Soltwedel, T., & Gebruk, A. V. (2008). Horizontal distribution patterns in Arctic deep-sea macrobenthic communities. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 55(9), 1167–1178. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.05.002
- Buhl-Mortensen, L., Buhl-Mortensen, P., Dolan, M. F. J., & Holte, B. (2015). The MAREANO programme – A full coverage mapping of the Norwegian off-shore benthic environment and fauna. *Marine Biology Research*, 11(1), 4–17. doi.org/10.1080/17451000.2014.952312
- Buhl-Mortensen, L., Buhl-Mortensen, P., Dolan, M. F. J., Dannheim, J., Bellec, V., & Holte, B. (2012). Habitat complexity and bottom fauna composition at different scales on the continental shelf and slope of northern Norway. *Hydrobiologia*, 685(1), 191–219. doi.org/10.1007/s10750-011-0988-6
- Buhl-Mortensen, L., Vanreusel, A., Gooday, A. J., Levin, L. A., Priede, I. G., Buhl-Mortensen, P., Gheerardyn, H., King, N. J., & Raes, M. (2010). Biological structures as a source of habitat heterogeneity and biodiversity on the deep ocean margins. *Marine Ecology*, 31(1), 21–50. doi.org/10.1111/j.1439-0485.2010.00359.x
- Burd, B. J., & Thomson, R. E. (1995). Distribution of Zooplankton Associated with the Endeavor Ridge Hydrothermal Plume. *Journal of Plankton Research*, 17(5), 965–997
- Busch, K., Hanz, U., Mienis, F., Mueller, B., Franke, A., Roberts, E. M., Rapp, H. T., & Hentschel, U. (2020). On giant shoulders: how a seamount affects the microbial community composition of seawater and sponges. *Biogeosciences*, 17(13), 3471–3486. doi.org/10.5194/bg-17-3471-2020
- Capa, M., Nygren, A., Parapar, J., Bakken, T., Meißner, K., & Moreira, J. (2019). Systematic re-structure and new species of Sphaerodoridae (Annelida) after morphological revision and molecular phylogenetic analyses of the North East Atlantic fauna. *ZooKeys*, 845, 1–97. doi.org/10.3897/zookeys.845.32428
- Cárdenas, P., Rapp, H. T., Klitgaard, A. B., Best, M., Thollessen, M., & Tendal, O. S. (2013). Taxonomy, biogeography and DNA barcodes of Geodiaspecies (Porifera, Demospongiae, Tetractinellida) in the Atlantic boreo-arctic region. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 169(2), 251–311. doi.org/10.1111/zoj.12056
- Clark, M. R., Rowden, A. A., Schlacher, T., Williams, A., Consalvey, M., Stocks, K. I., Rogers, A. D., O’Hara, T. D., White, M., Shank, T. M., & Hall-Spencer, J. M. (2010). The Ecology of Seamounts: Structure, Function, and Human Impacts. *Annual reviews*. 2(1), 253–278. doi.org/10.1146/ANNUREV-MARINE-120308-081109
- Collins, P. C., Kennedy, R. & van Dover, D. L. (2012). A biological survey method applied to seafloor massive sulphides (SMS) with contagiously distributed hydrothermal-vent fauna. *Marine Ecology Progress Series*, 452, 89–107. www.int-res.com/abstracts/meps/v452/p89-107/
- Cordier, T., Sáez, L. A., Apotheloz-Perret-Gentil, L., Aylagas, E., Bohan, D. A., Bouchez, A., Chariton, A., Creer, S., Fruhe, L., Keck, F., Keeley, N., Laroche, O., Leese, F., Pochon, X., Stoeck, T., Pawlowski, J., & Lanzén, A. (2020). Ecosystems Monitoring Powered by Environmental Genomics: A Review of Current Strategies with An Implementation Roadmap. doi.org/10.20944/PREPRINTS202001.0278.V1

- Cunha, M. R., & Wilson, G. D. F. (2006). The North Atlantic genus *Heteromesus* (Crustacea : Isopoda : Asellota : Ischnomesidae). *Zootaxa*, 1192, 1–76. <https://ria.ua.pt/handle/10773/6530>.
- Dahl, E., Laubier, L., Sibuet, M., Dahl, J.-O. S. E., & Stromberg, M. &. (1976). Some quantitative results on benthic communities of the deep Norwegian Sea*. *Astarte*, 10(9), 61–79.
- Dahle, H, Le Moine Bauer, S., Baumberger, T., Stokke, R., Pedersen, R. B., Thorseth, I. H., & Steen, I. H. (2018). Energy Landscapes in Hydrothermal Chimneys Shape Distributions of Primary Producers. *Front Microbiol*, 9, 1570. doi.org/10.3389/fmicb.2018.01570.
- Dahle, H, Økland, I., Thorseth, I. H., Pedersen, R. B., & Steen, I. H. (2015). Energy landscapes shape microbial communities in hydrothermal systems on the Arctic Mid-Ocean Ridge. *ISME JOURNAL*, 9(7), 1593–1606. doi.org/10.1038/ismej.2014.247
- Dahle, H, Roalkvam, I., Thorseth, I. H., Pedersen, R. B., & Steen, I. H. (2013). The versatile in situ gene expression of an Epsilonproteobacteria-dominated biofilm from a hydrothermal chimney. *Environmental Microbiology Reports*, 5(2), 282–290. doi.org/10.1111/1758-2229.12016.
- Danovaro, R., Fanelli, E., Aguzzi, J., Billett, D., Carugati, L., Corinaldesi, C., Dell’Anno, A., Gjerde, K., Jamieson, A. J., Kark, S., McClain, C., Levin, L., Levin, N., Ramirez-Llodra, E., Ruhl, H., Smith, C. R., Snelgrove, P. V. R., Thomsen, L., Van Dover, C. L., & Yasuhara, M. (2020). Ecological variables for developing a global deep-ocean monitoring and conservation strategy. *Nature Ecology & Evolution*, 4(2), 181–192. doi.org/10.1038/s41559-019-1091-z
- De Froe, E., Rovelli, L., Glud, R. N., Maier, S. R., Duineveld, G., Mienis, F., Lavaleye, M., & van Oevelen, D. (2019). Benthic Oxygen and Nitrogen Exchange on a Cold-Water Coral Reef in the North-East Atlantic Ocean. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 6, p. 665). www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00665
- De Queiroz, K. (2007). Species Concepts and Species Delimitation. *Systematic Biology*, 56(6), 879–886. doi.org/10.1080/10635150701701083
- Desbruyères, D., Segonzac, M., & Bright, M. (2006). Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna. Biologiezentrum des Oberösterreichische Landesmuseum.
- Desbruyères, D, Biscoito, M., Caprais, J.-C., Colaço, A., Comtet, T., Crassous, P., Fouquet, Y., Khripounoff, A., Le Bris, N., Olu, K., Riso, R., Sarradin, P.-M., Segonzac, M., & Vangriesheim, A. (2001). Variations in deep-sea hydrothermal vent communities on the Mid-Atlantic Ridge near the Azores plateau. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(5), 1325–1346. [doi.org/10.1016/S0967-0637\(00\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(00)00083-2)
- Di Camillo, C. G., Gravili, C., De Vito, D., Pica, D., Piraino, S., Puce, S., & Cerrano, C. (2018). The importance of applying Standardised Integrative Taxonomy when describing marine benthic organisms and collecting ecological data. *Invertebrate Systematics*, 32(4), 794–802. doi.org/10.1071/IS17067
- Direktoratsgruppen Vanndirektivet (2018). Veileder 02:2018 - Klassifisering av miljøtilstand i vann. 220 sider.
- Dumke, I., Purser, A., Marcon, Y., Nornes, S. M., Johnsen, G., Ludvigsen, M., & Søreide, F. (2018). Underwater hyperspectral imaging as an in situ taxonomic tool for deep-sea megafauna. *Scientific Reports*, 8(1), 12860. doi.org/10.1038/s41598-018-31261-4
- Eilertsen, M. H., Dahlgren, T. G., & Rapp, H. T. (2020). A New Species of *Osedax* (Siboglinidae: Annelida) From Colonization Experiments in the Arctic Deep Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7, 443. doi.org/10.3389/fmars.2020.00443
- Eilertsen, M. H., Georgieva, M. N., Kongsrud, J. A., Linse, K., Wiklund, H., Glover, A. G., & Rapp, H. T. (2018). Genetic connectivity from the Arctic to the Antarctic: *Sclerolinum contortum* and *Nicomache lokii* (Annelida) are both widespread in reducing environments. *Scientific Reports*, 8(1), 4810. doi.org/10.1038/s41598-018-23076-0

- Eilertsen, M. H., Kongsrud, J. A., Alvestad, T., Stiller, J., Rouse, G. W., & Rapp, H. T. (2017). Do ampharetids take sedimented steps between vents and seeps? Phylogeny and habitat-use of Ampharetidae (Annelida, Terebelliformia) in chemosynthesis-based ecosystems. *BMC Evolutionary Biology*, 17(1), 222. doi.org/10.1186/s12862-017-1065-1
- Ellingsen, G. (2015). Slik fikk det navnet «Norskehavet». *Aftenposten*. www.aftenposten.no/viten/i/gk0LA/slik-fikk-det-navnet-norskehavet.
- Erickson, K. L., Macko, S. A., & Van Dover, C. L. (2009). Evidence for a chemoautotrophically based food web at inactive hydrothermal vents (Manus Basin). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(19), 1577–1585. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.05.002
- Eriksen, E., Van der Meeren, G. I., Nilsen, B. M., von Quillfeldt, C. H. Johnsen, H. (2021). Særlig verdifulle og sårbare områder (SVO) i Norske Havområder-Miljøverdi. Rapport fra havforskningen 2021-26 ISSN: 1893-4536.
- Feldman, R. A., Shank, T. M., Black, M. B., Baco, A. R., Smith, C. R., & Vrijenhoek, R. C. (1998). Vestimentiferan on a Whale Fall. *The Biological Bulletin*, 194(2), 116–119. doi.org/10.2307/1543041
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., & Vrijenhoek, R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3(5), 294–299.
- Fontaine, B., Perrard, A., & Bouchet, P. (2012). 21 years of shelf life between discovery and description of new species. *Current Biology*, 22(22), R943–R944. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982212012481
- Fossum, P., Mork, K. A., Tverberg, V., Boitsov, S., Heldal, H. E., Bagøien, E., Rønning, J., Slotte, A., Vollen, T., Wienerroither, R., Dahle, G., Buhl-Mortensen, P., Øien, N., Øigård, T. A., & Fauchald, P. (2012). Beskrivelse av miljø og levende marine ressurser i havområdene ved Jan Mayen. 120 S., 16. https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/116741
- Fredriksen, L., Stokke, R., Jensen, M. S., Westereng, B., Jameson, J.-K., Steen, I. H., & Eijsink, V. G. H. (2019). Discovery of a Thermostable GH10 Xylanase with Broad Substrate Specificity from the Arctic Mid-Ocean Ridge Vent System. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(6), e02970-18. doi.org/10.1128/AEM.02970-18
- Fricke, H., Giere, O., Stetter, K., Alfredsson, G. A., Kristjansson, J. K., Stoffers, P., & Svavarsson, J. (1989). Hydrothermal Vent Communities at The Shallow Subpolar Mid-Atlantic Ridge. *Marine Biology*, 102(3), 425–429
- Furrer, R. D., & Pasinelli, G. (2016). Empirical evidence for source–sink populations: a review on occurrence, assessments and implications. *Biological Reviews*, 91(3), 782–795. doi.org/10.1111/brv.12195
- Gage, J. D., & Tyler, P. A. (1991). *Deep-sea biology: a natural history of organisms at the deep-sea floor*. Cambridge University Press.
- Galkin, S. V. (1997). Megafauna associated with hydrothermal vents in the Manus Back-Arc Basin (Bismarck Sea). *Marine Geology*, 142(1), 197–206. doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-3227(97)00051-0
- Georgieva, M. N., Wiklund, H., Bell, J. B., Eilertsen, M. H., Mills, R. A., Little, C. T. S., & Glover, A. G. (2015). A chemosynthetic weed: the tubeworm *Sclerolinum contortum* is a bipolar, cosmopolitan species. *BMC Evolutionary Biology*, 15(1), 280. doi.org/10.1186/s12862-015-0559-y
- Glover, A. G., Wiklund, H., Chen, C., & Dahlgren, T. G. (2018). Point of View: Managing a sustainable deep-sea ‘blue economy’ requires knowledge of what actually lives there. *Elife*, 7, e41319
- Goffredi, S. K., Johnson, S., Tunnicliff, V., Caress, D., Clague, D., Escobar, E., Lundsten, L., Paduan, J. B., Rouse, G. Salcedo, D. L., Soto, L. A., Spelz-Madero, R., Zierenberg, R., & Vrijenhoek, R.

- (2017). Hydrothermal vent fields discovered in the southern Gulf of California clarify role of habitat in augmenting regional diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1859), 20170817. doi.org/10.1098/rspb.2017.0817
- Gollner, S., Kaiser, S., Menzel, L., Jones, D. O. B., Brown, A., Mestre, N. C., van Oevelen, D., Menot, L., Colaço, A., Canals, M., Cuvelier, D., Durden, J. M., Gebruk, A., Eghe, G. A., Haeckel, M., Marcon, Y., Mevenkamp, L., Morato, T., Pham, C. K., Purser, A., Sanchez-Vidal, A., Vanreusel, A., Vink, A., Martinez Arbizu, P. (2017). Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Marine Environmental Research*, 129, 76–101. doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.04.010
- Grant, N., Matveev, E., AS, K., SK, A., Dunham, A., RJ, B., & Eerkes-Medrano, D. (2019). Effect of suspended sediments on the pumping rates of three species of glass sponge in situ. *Marine Ecology Progress Series*, 615, 79–100. www.int-res.com/abstracts/meps/v615/p79-100/
- Grassle, J Frederick, & Maciolek, N. J. (1992). Deep-Sea Species Richness: Regional and Local Diversity Estimates from Quantitative Bottom Samples. *The American Naturalist*, 139(2), 313–341. doi.org/10.1086/285329
- Grassle, J F, Sanders, H. L., Hessler, R. R., Rowe, G. T., & McLellan, T. (1975). Pattern and zonation: a study of the bathyal megafauna using the research submersible Alvin. 22, 457–481.
- Guardiola, M., Wangenstein, O. S., Taberlet, P., Coissac, E., Uriz, M. J., & Turon, X. (2016). Spatio-temporal monitoring of deep-sea communities using metabarcoding of sediment DNA and RNA. *PeerJ*, 4, e2807. doi.org/10.7717/peerj.2807.
- Hahn, C. J., Laso-Pérez, R., Vulcano, F., Vaziourakis, K.-M., Stokke, R., Steen, I. H., Teske, A., Boetius, A., Liebeke, M., Amann, R., Knittel, K., & Wegener, G. (2020). “*Candidatus Ethanoperedens*,” a Thermophilic Genus of Archaea Mediating the Anaerobic Oxidation of Ethane. *MBio*, 11(2), e00600-20. doi.org/10.1128/mBio.00600-20
- Hansen, G. Armauer, Friele, R., & H, C. og. (1887). 1876-1878, Vol 3: Zoologi: Fiske, Annelida, Sponginidae, Mollusca I (Buccinidae), Mollusca II.
- Hanz, U., Roberts, E. M., Duineveld, G., Davies, A., van Haren, H., Rapp, H. T., Reichart, G.-J., & Mienis, F. (2021). Long-term Observations Reveal Environmental Conditions and Food Supply Mechanisms at an Arctic Deep-Sea Sponge Ground. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(3), e2020JC016776. doi.org/https://doi.org/10.1029/2020JC016776
- Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., & de Waard, J. R. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings Biological Sciences / The Royal Society*, 270(1512), 313–321. https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2002.2218
- Henrich, R., Hartmann, M., Reitner, J., Schäfer, P., Freiwald, A., Steinmetz, S., Dietrich, P., & Thiede, J. (1992). Facies belts and communities of the arctic Vesterisbanken Seamount (Central Greenland Sea). *Facies* 1992 27:1, 27(1), 71–103. doi.org/10.1007/BF02536805
- Hestetun, J. T., Tompkins-Macdonald, G., & Rapp, H. T. (2017). A review of carnivorous sponges (Porifera: Cladorhizidae) from the Boreal North Atlantic and Arctic. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–69. doi.org/10.1093/zoolinnean/zlw022
- Hestetun, J. T., Dahle, H., Jørgensen, S. L., Olsen, B. R., & Rapp, H. T. (2016). The Microbiome and Occurrence of Methanotrophy in Carnivorous Sponges. *Frontiers in Microbiology*, 7. doi.org/10.3389/fmicb.2016.01781
- Horton, T., Marsh, L., Bett, B. J., Gates, A. R., Jones, D. O. B., Benoist, N. M. A., Pfeifer, S., Simon-Lledó, E., Durden, J. M., Vandepitte, L., & Appeltans, W. (2021). Recommendations for the Standardisation of Open Taxonomic Nomenclature for Image-Based Identifications. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 8, p. 62). www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2021.620702
- Hoshino, T., Doi, H., Uramoto, G.-I., Wörmer, L., Adhikari, R. R., Xiao, N., Morono, Y., D’Hondt, S., Hinrichs, K.-U., & Inagaki, F. (2020). Global diversity of microbial communities in marine sediment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(44), 27587–27597. doi.org/10.1073/PNAS.1919139117

- Hunter, M. L., Acuña, V., Bauer, D. M., Bell, K. P., Calhoun, A. J. K., Felipe-Lucia, M. R., Fitzsimons, J. A., González, E., Kinnison, M., Lindenmayer, D., Lundquist, C. J., Medellín, R. A., Nelson, E. J., & Poschod, P. (2017). Conserving small natural features with large ecological roles: A synthetic overview. *Small Natural Features*, 211, 88–95. doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.020
- Høisæter, T. (2010). The shell-bearing, benthic gastropods on the southern part of the continental slope off Norway. *Journal of Molluscan Studies*, 76(3), 234–244. doi.org/10.1093/mollus/eyq003
- Jamieson, J. W., & Gartman, A. (2020). Defining active, inactive, and extinct seafloor massive sulfide deposits. *Marine Policy*, 117, 103926. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103926
- Johannessen, K., Vender Roost, J., Dahle, H., Dundas, S. H., Pedersen, R. B., & Thorseth, I. H. (2017). Environmental controls on biomineralization and Fe-mound formation in a low-temperature hydrothermal system at the Jan Mayen vent Fields. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 202, 101–123. doi.org/10.1016/j.gca.2016.12.016.
- Jørgensen, S. L. et al. (2021). «Microbial assembly along the Arctic Mid-ocean spreading ridge” in prep for Nature microbiology.
- Jørgensen, S. L., Thorseth, I. H., Pedersen, R. B., Baumberger, T., & Schleper, C. (2013). Quantitative and phylogenetic study of the Deep Sea Archaeal Group in sediments of the Arctic mid-ocean spreading ridge. *Frontiers in Microbiology*, 0(OCT), 299.
- Jørgensen, S. L., Hannisdal, B., Lanzen, A., Baumberger, T., Flesland, K., Fonseca, R., Ovreas, L., Steen, I. H., Thorseth, I. H., Pedersen, R. B., & Schleper, C. (2012). Correlating microbial community profiles with geochemical data in highly stratified sediments from the Arctic Mid-Ocean Ridge. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA*, 109(42), E2846–E2855. doi.org/10.1073/pnas.1207574109
- Kiel, S. (2016). A biogeographic network reveals evolutionary links between deep-sea hydrothermal vent and methane seep faunas. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1844), 20162337. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2337>
- Klitgaard, A. B., & Tendal, O. S. (2004). Distribution and species composition of mass occurrences of large-sized sponges in the northeast Atlantic. *Progress in Oceanography*, 61(1), 57–98. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.06.002
- Kluijver, A. de, Nierop, K. G. J., Morganti, T. M., Bart, M. C., Slaby, B. M., Hanz, U., Goeij, J. M. de, Mienis, F., & Middelburg, J. J. (2021). Bacterial precursors and unsaturated long-chain fatty acids are biomarkers of North-Atlantic deep-sea demosponges. *PLOS ONE*, 16(1), e0241095. doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0241095
- Kongsrud, J. A., Eilertsen, M. H., Alvestad, T., Kongshavn, K., & Rapp, H. T. (2017). New species of Ampharetidae (Annelida: Polychaeta) from the Arctic Loki Castle vent field. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 137, 232–245. doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.08.015
- Kongsrud, J. A., & Rapp, H. T. (2012). *Nicomache* (Loxochona) *lokii* sp nov (Annelida: Polychaeta: Maldanidae) from the Loki’s Castle vent field: an important structure builder in an Arctic vent system. *POLAR BIOLOGY*, 35(2), 161–170. doi.org/10.1007/s00300-011-1048-4
- Kutti, T., Johnsen, I. A., Skaar, K. S., Ray, J. L., Husa, V., & Dahlgren, T. G. (2020). Quantification of eDNA to Map the Distribution of Cold-Water Coral Reefs. *Frontiers in Marine Science*, 7(446). doi.org/10.3389/fmars.2020.00446
- Kutti, T., Windsland, K., Broms, C., Falkenhaus, T., Biuw, M., Thangstad, T. H., & Bergstad, O. A. (2019). Seamounts in the OSPAR maritime area-from species to ecosystems. Rapport Fra Havforskningen.
- Kutti, T., Bannister, R. J., & Fosså, J. H. (2013). Community structure and ecological function of deep-water sponge grounds in the Traenadypet MPA-Northern Norwegian continental shelf. *Continental Shelf Research*, 69, 21–30. doi.org/10.1016/j.csr.2013.09.011

- Langenkämper, D., van Kevelaer, R., Purser, A., & Nattkemper, T. W. (2020). Gear-Induced Concept Drift in Marine Images and Its Effect on Deep Learning Classification. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 7, p. 506). www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2020.00506
- Laroche, O., Kersten, O., Smith, C. R., & Goetze, E. (2020). Environmental DNA surveys detect distinct metazoan communities across abyssal plains and seamounts in the western Clarion Clipperton Zone. *Molecular Ecology*, 29(23), 4588–4604. [doi.org/https://doi.org/10.1111/mec.15484](https://doi.org/10.1111/mec.15484)
- Levin, L. A., Baco, A. R., Bowden, D. A., Colaco, A., Cordes, E. E., Cunha, M. R., Demopoulos, A. W. J., Gobin, J., Grupe, B. M., Le, J., Metaxas, A., Netburn, A. N., Rouse, G. W., Thurber, A. R., Tunnicliffe, V., Van Dover, C. L., Vanreusel, A., & Watling, L. (2016). Hydrothermal Vents and Methane Seeps: Rethinking the Sphere of Influence. *Frontiers in Marine Science*, 3, 72. doi.org/10.3389/fmars.2016.00072
- Lim, A., Brønner, M., Johansen, S. E., & Dumais, M. (2019). Hydrothermal Activity at the Ultraslow-Spreading Mohs Ridge: New Insights from Near-Seafloor Magnetics. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20(12), 5691–5709. doi.org/10.1029/2019gc008439
- Losekann, T., Robador, A., Niemann, H., Knittel, K., Boetius, A., & Dübilier, N. (2008). Endosymbioses between bacteria and deep-sea siboglinid tubeworms from an Arctic Cold Seep (Haakon Mosby Mud Volcano, Barents Sea). *Environmental Microbiology*, 10(12), 3237–3254. doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01712.x
- Ludvigsen, M., Aasly, K., Ellefmo, S., Hilario, A., Ramirez-Llodra, E., Søreide, F., Falcon-Suarez, I., Juliani, C., Kieswetter, A., Lim, A., Malmquist, C., Nornes, S. M., Paulsen, E., Reimers, H., & Sture, Ø. (2016a). MarMine Cruise Report. Arctic Mid-Ocean Ridge (AMOR). In NTNU Cruise reports.
- Ludvigsen, M., Aasly, K., Ellefmo, S., Hilario, A., Ramirez-Llodra, E., Søreide, F., Falcon-Suarez, I., Juliani, C., Kieswetter, A., Lim, A., Malmquist, C., Nornes, S. M., Paulsen, E., Reimers, H., & Sture, Ø. (2016b). MarMine Cruise Report Arctic Mid-Ocean Ridge (AMOR) 15.08.2016 – 05.09.2016. NTNU, Trondheim. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2427715>.
- Luo, A., Ling, C., Ho, S. Y. W., & Zhu, C.-D. (2018). Comparison of Methods for Molecular Species Delimitation Across a Range of Speciation Scenarios. *Systematic Biology*, 67(5), 830–846. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syy011>.
- Lörz, A.-N., Kaiser, S., Oldeland, J., Stolter, C., Kürzel, K., & Brix, S. (2021). Biogeography, diversity and environmental relationships of shelf and deep-sea benthic Amphipoda around Iceland. *PeerJ*, 9, e11898. doi.org/10.7717/peerj.11898
- Maldonado, M., Beazley, L., López-Acosta, M., Kenchington, E., Casault, B., Hanz, U., & Mienis, F. (2021). Massive silicon utilization facilitated by a benthic-pelagic coupled feedback sustains deep-sea sponge aggregations. *Limnology and Oceanography*, 66(2), 366–391. [doi.org/https://doi.org/10.1002/lno.11610](https://doi.org/10.1002/lno.11610)
- Maldonado, M., Aguilar, R., Bannister, R. J., Bell, J. J., Conway, K. W., Dayton, P. K., Díaz, C., Gutt, J., Kelly, M., Kenchington, E. L. R., Leys, S. P., Pomponi, S. A., Rapp, H. T., Rützler, K., Tendal, O. S., Vacelet, J., & Young, C. M. (2016). Sponge Grounds as Key Marine Habitats: A Synthetic Review of Types, Structure, Functional Roles, and Conservation Concerns. In *Marine Animal Forests* (pp. 1–39). doi.org/10.1007/978-3-319-17001-5_24-1
- Marcus, J., Tunnicliffe, V., & Butterfield, D. A. (2009). Post-eruption succession of macrofaunal communities at diffuse flow hydrothermal vents on Axial Volcano, Juan de Fuca Ridge, Northeast Pacific. *Marine Benthic Ecology and Biodiversity: A Compilation of Recent Advances in Honor of J. Frederick Grassle*, 56(19), 1586–1598. doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.05.004
- Marques, A. F. A., Roerdink, D. L., Baumberger, T., de Ronde, C. E. J., Ditchburn, R. G., Denny, A., Thorseth, I. H., Okland, I., Lilley, M. D., Whitehouse, M. J., & Pedersen, R. B. (2020). The Seven

- Sisters Hydrothermal System: First Record of Shallow Hybrid Mineralization Hosted in Mafic Volcaniclasts on the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Minerals*, 10, 439
- Meißner, K., Brix, S., Halanych, K. M., & Jażdżewska, A. M. (2018). Preface—biodiversity of Icelandic waters. *Marine Biodiversity* 2018 48:2, 48(2), 715–718. .doi.org/10.1007/S12526-018-0884-7
- Meyer, H. K., Roberts, E. M., Rapp, H. T., & Davies, A. J. (2019). Spatial patterns of arctic sponge ground fauna and demersal fish are detectable in autonomous underwater vehicle (AUV) imagery. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 153. .doi.org/10.1016/j.dsr.2019.103137
- Meyer, K. S., Bergmann, M., & Soltwedel, T. (2013). Interannual variation in the epibenthic megafauna at the shallowest station of the HAUSGARTEN observatory (79 N, 6 E). *Biogeosciences*, 10(6), 3479–3492. doi.org/10.5194/bg-10-3479-2013
- Miljødirektoratet (2020). Retningslinjer for miljøovervåking av petroleumsvirksomheten til havs.
- Moalic, Y., Desbruyères, D., Duarte, C. M., Rozenfeld, A. F., Bachraty, C., & Arnaud-Haond, S. (2012). Biogeography Revisited with Network Theory: Retracing the History of Hydrothermal Vent Communities. *Systematic Biology*, 61(1), 127. .doi.org/10.1093/sysbio/syr088
- Mohn, H. (1887). Den Norske Nordhavsekspedition 1876-1878. XVIII Nordhavets Dybder, Temperatur Og Strømninger, 1–320. https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2009102300025.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., & Worm, B. (2011). How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biology*, 9(8), e1001127-8. <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Morrison, K. M., Meyer, H. K., Roberts, E. M., Rapp, H. T., Colaço, A., & Pham, C. K. (2020). The First Cut Is the Deepest: Trawl Effects on a Deep-Sea Sponge Ground Are Pronounced Four Years on. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 7, p. 1059). www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2020.605281
- Møller et al., (2021) "Mapping microbial abundance and prevalence to changing oxygen concentration in deep-sea sediments using support vector machines and differential expression" In prep for ISME journal.
- Norges Forskningsråd. (2005). Grunnforskning i biosystematikk i Norge - en nasjonal plan. NFR Rapport, 1–34.
- Nygren, A., Parapar, J., Pons, J., Meissner, K., Bakken, T., Kongsrud, J. A., Oug, E., Gaeva, D., Sikorski, A., Johansen, R. A., Hutchings, P. A., Lavesque, N., & Capa, M. (2018). A mega-cryptic species complex hidden among one of the most common annelids in the North East Atlantic. *PLoS ONE*, 13(6), e0198356. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0198356>
- Nørrevang, A., Brattegard, T., Josefson, A. B., Sneli, J. A., & Tendal, O. S. (1994). List of BIOFAR stations. *Sarsia*, 79, 165–180. <file:///Users/pans/Documents/Paperskopi/Library.papers3/Files/D4/D4CE517E-4F51-46B2-AB10-0956E2D895AF.pdf>
- Olsen, B. R., Økland, I. E., Thorseth, I. H., Pedersen, R. B., & Rapp, H. T. (2016). Environmental challenges related to offshore mining and gas hydrate extraction. Miljødirektoratet. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M532/M532.pdf
- Olsen, B. R., Troedsson, C., Hadziavdic, K., Pedersen, R.-B., & Rapp, H. T. (2015). The influence of vent systems on pelagic eukaryotic micro-organism composition in the Nordic Seas. *POLAR BIOLOGY*, 38(4), 547–558. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1621-8>
- Olsen, B. R., Troedsson, C., Hadziavdic, K., Pedersen, R. B., & Rapp, H. T. (2014). A molecular gut content study of *Themisto abyssorum* (Amphipoda) from Arctic hydrothermal vent and cold seep systems. *MOLECULAR ECOLOGY*, 23(15, SI), 3877–3889. <https://doi.org/10.1111/mec.12511>

- Olsen, B. R., Dahlgren, K., Schander, C., Bamstedt, U., Rapp, H. T., & Troedsson, C. (2012). PCR-DHPLC assay for the identification of predator-prey interactions. *Journal of Plankton Research*, 34(4), 277–285. doi.org/10.1093/plankt/fbr110
- OSPAR. (2010). Background Document for Deep-sea sponge aggregations.
- OSPAR. (2008). Case Reports for the OSPAR List of threatened and/or declining species and habitats.
- Oug, E., Bakken, T., Kongsrud, J. A., & Alvestad, T. (2017). Polychaetous annelids in the deep Nordic Seas: Strong bathymetric gradients, low diversity and underdeveloped taxonomy. *Advances in Deep-Sea Biology: Biodiversity, Ecosystem Functioning and Conservation*, 137, 102–112. doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.016.
- Paulsen, E. (2017). Community structure and biodiversity of the benthic megafauna at the inactive hydrothermal site Mohn's Treasure, on the Mohn's Ridge, Arctic Mid-Ocean Ridge (AMOR) [NTNU]. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2447531>
- Pedersen, R. B., Rapp, H. T., Thorseth, I. H., Lilley, M. D., Barriga, F. J. A. S., Baumberger, T., Flesland, K., Fonseca, R., Früh-Green, G. L., & Jorgensen, S. L. (2010a). Discovery of a black smoker vent field and vent fauna at the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Nature Communications*, 1, 126. doi.org/10.1038/ncomms1124.
- Pedersen, R. B., Thorseth, I. H., Nygård, T. E., Lilley, M. D., & Kelley, D. S. (2010b). Hydrothermal activity at the Arctic mid-ocean ridges. In (Eds. P. Rona, C. Devey, J. Dymont, B. Murton) *Diversity of Hydrothermal Systems on Slow Spreading Ocean Ridges*. Geophysical Monograph Series 188, 67–89. American Geophysical Union. 10.1029/2008GM000783, pages 67–89.
- Pedersen, R. B., Thorseth, I. H., Hellevang, B., Schultz, A., Taylor, P., Knudsen, H. P., & Steinsbu, B. O. (2005). Two vent fields discovered at the ultraslow spreading Arctic ridge system. *AGU FM*, 2005, OS21C-01.
- Petersen, S., Krätschell, A., Augustin, N., Jamieson, J., Hein, J. R., & Hannington, M. D. (2016). News from the seabed – Geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources. *Marine Policy*, 70, 175–187. doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.012
- Phillips, B. T. (2017). Beyond the vent: New perspectives on hydrothermal plumes and pelagic biology. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 137, 480–485. doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.10.005
- Plotkin, A., Gerasimova, E., & Rapp, H. T. (2018). Polymastiidae (Porifera: Demospongiae) of the Nordic and Siberian Seas. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(6), 1273–1335. doi.org/DOI: 10.1017/S0025315417000285
- Plotkin, A., Voigt, O., Willassen, E., & Rapp, H. T. (2017). Molecular phylogenies challenge the classification of Polymastiidae (Porifera, Demospongiae) based on morphology. *Organisms Diversity & Evolution*, 17(1), 45–66.
- Ramirez-Llodra, E., Hilario, A., Paulsen, E., Costa, C. V., Bakken, T., Johnsen, G., & Rapp, H. T. (2020). Benthic Communities on the Mohn's Treasure Mound: Implications for Management of Seabed Mining in the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Frontiers in Marine Science*, 7, 490. doi.org/10.3389/fmars.2020.00490
- Ratcliff, J. J., Wan, A. H. L., Edwards, M. D., Soler-Vila, A., Johnson, M. P., Abreu, M. H., & Morrison, L. (2016). Metal content of kelp (*Laminaria digitata*) co-cultivated with Atlantic salmon in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture system. *Aquaculture*, 450, 234–243. doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.07.032
- Ray, J., Dondrup, M., Modha, S., Steen, I. H., Sandaa, R.-A., & Clokie, M. (2012). Finding a Needle in the Virus Metagenome Haystack - Micro-Metagenome Analysis Captures a Snapshot of the Diversity of a Bacteriophage Armoire. *PLOS ONE*, 7(4). doi.org/10.1371/journal.pone.0034238

- Rees, D. J., Poulsen, J. Y., Sutton, T. T., Costa, P. A. S., & Landaeta, M. F. (2020). Global phylogeography suggests extensive eucosmopolitanism in Mesopelagic Fishes (Maurolicus: Sternoptychidae). *Scientific Reports*, 10(1), 20544. doi.org/10.1038/s41598-020-77528-7
- Riehl, T., Wöfl, A.-C., Augustin, N., Devey, C. W., & Brandt, A. (2020). Discovery of widely available abyssal rock patches reveals overlooked habitat type and prompts rethinking deep-sea biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(27), 15450–15459. doi.org/10.1073/pnas.1920706117 PMID - 32554606
- Roalkvam, I., Bredy, F., Baumberger, T., Pedersen, R.-B., & Steen, I. H. (2015). *Hypnocyclicus thermotrophus* gen. nov., sp. nov. isolated from a microbial mat in a hydrothermal vent field. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 65(Pt_12), 4521–4525. doi.org/10.1099/IJSEM.0.000606
- Roalkvam, I., Jørgensen, S. L., Chen, Y., Stokke, R., Dahle, H., Hocking, W. P., Lanzén, A., Haflidason, H., & Steen, I. H. (2011). New insight into stratification of anaerobic methanotrophs in cold seep sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 78(2), 233–243. doi.org/10.1111/J.1574-6941.2011.01153.X
- Roberts, E. M., Mienis, F., Rapp, H. T., Hanz, U., Meyer, H. K., & Davies, A. J. (2018). Oceanographic setting and short-timescale environmental variability at an Arctic seamount sponge ground. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 138, 98–113. doi.org/10.1016/j.dsr.2018.06.007
- Rogers, A. D. (2018). The Biology of Seamounts: 25 Years on. doi.org/10.1016/bs.amb.2018.06.001
- Schlacher, T. A., Baco, A. R., Rowden, A. A., O’Hara, T. D., Clark, M. R., Kelley, C., & Dower, J. F. (2014). Seamount benthos in a cobalt-rich crust region of the central Pacific: conservation challenges for future seabed mining. *Diversity and Distributions*, 20(5), 491–502. doi.org/https://doi.org/10.1111/ddi.12142
- Schander, C., Rapp, H. T., Kongsrud, J. A., Bakken, T., Berge, J., Cochrane, S., Oug, E., Byrkjedal, I., Todt, C., Cedhagen, T., Fosshagen, A., Gebruk, A., Larsen, K., Levin, L., Obst, M., Pleijel, F., Stohr, S., Waren, A., Mikkelsen, N. T., ... Pedersen, R. B. (2010). The fauna of hydrothermal vents on the Mohn Ridge (North Atlantic). *Marine Biology Research*, 6(2), 155–171. doi.org/10.1080/17451000903147450
- Schouw, A., Vulcano, F., Roalkvam, I., Hocking, W. P., Reeves, E., Stokke, R., Bødtker, G., & Steen, I. H. (2018). Genome Analysis of *Vallitalea guaymasensis* Strain L81 Isolated from a Deep-Sea Hydrothermal Vent System. *Microorganisms* 2018, Vol. 6, Page 63, 6(3), 63. doi.org/10.3390/MICROORGANISMS6030063
- Schwentner, M., & Lörz, A.-N. (2020). Population genetics of cold-water coral associated Pleustidae (Crustacea, Amphipoda) reveals cryptic diversity and recent expansion off Iceland. *Marine Ecology*, 1(5), 1–17. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/maec.12625
- Shedder, M., Van Dover, C. L., & Shank, T. M. (2000). Structure and function of *Halice hesmonectes* (Amphipoda: Pardaliscidae) swarms from hydrothermal vents in the eastern Pacific. *Marine Biology*, 136(5), 901–911. doi.org/10.1007/s002270000300
- Sinniger, F., Pawlowski, J., Harii, S., Gooday, A. J., Yamamoto, H., Chevaldonné, P., Cedhagen, T., Carvalho, G., & Creer, S. (2016). Worldwide Analysis of Sedimentary DNA Reveals Major Gaps in Taxonomic Knowledge of Deep-Sea Benthos. *Frontiers in Marine Science*, 3(92). doi.org/10.3389/fmars.2016.00092
- Skebo, K., Tunnicliffe, V., Garcia Berdeal, I., & Johnson, H. P. (2006). Spatial patterns of zooplankton and nekton in a hydrothermally active axial valley on Juan de Fuca Ridge. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(6), 1044–1060. doi.org/10.1016/j.dsr.2006.03.001
- Soltwedel, T., Bauerfeind, E., Bergmann, M., Bracher, A., Budaeva, N., Busch, K., Cherkasheva, A., Fahl, K., Grzelak, K., Hasemann, C., Jacob, M., Kraft, A., Lalande, C., Metfies, K., Nöthig, E.-M.,

- Meyer, K., Quéric, N.-V., Schewe, I., Włodarska-Kowalczyk, M., & Klages, M. (2016). Natural variability or anthropogenically-induced variation? Insights from 15 years of multidisciplinary observations at the arctic marine LTER site HAUSGARTEN. *Ecological Indicators*, 65, 89–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.001>
- Soltwedel, Thomas, Jaeckisch, N., Ritter, N., Hasemann, C., Bergmann, M., & Klages, M. (2009). Bathymetric patterns of megafaunal assemblages from the arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(10), 1856–1872. [doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.05.012](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.05.012)
- Spang, A., Saw, J. H., Jorgensen, S. L., Zaremba-Niedzwiedzka, K., Martijn, J., Lind, A. E., van Eijk, R., Schleper, C., Guy, L., & Ettema, T. J. G. (2015). Complex archaea that bridge the gap between prokaryotes and eukaryotes. *Nature*, 521(7551), 173–179. doi.org/10.1038/nature14447
- Steen, I. H., Dahle, H., Stokke, R., Roalkvam, I., Daae, F.-L., Rapp, H. T., Pedersen, R. B., & Thorseth, I. H. (2016). Novel Barite Chimneys at the Loki's Castle Vent Field Shed Light on Key Factors Shaping Microbial Communities and Functions in Hydrothermal Systems. *Frontiers In Microbiology*. doi.org/10.3589/fmicb.2015.01510
- Steinsbu, B. O., Røyseth, V., Thorseth, I. H., & Steen, I. H. (2016). *Marinitoga arctica* sp. nov., a thermophilic, anaerobic heterotroph isolated from a Mid-Ocean Ridge vent field. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66(12), 5070–5076. doi.org/10.1099/IJSEM.0.001472
- Steinsbu, B. O., Tindall, B. J., Torsvik, V., Thorseth, I. H., Daae, F. L. & Pedersen, R. B. (2011). *Rhabdothermus arcticus* gen. nov., sp. nov., a member of the family Thermaceae isolated from a hydrothermal vent chimney in the Soria Moria vent field on the Arctic Mid-Ocean Ridge. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 61(Pt 9), 2197–2204. doi.org/10.1099/IJS.0.027839-0
- Steingrímsson, S. A., Guðmundsson, G., & Helgasson, G. V. (2020). Contribution from the BIOICE programme: Benthic invertebrates of Icelandic Waters. 1–5.
- Stensland, A., Baumberger, T., Mork, K. A., Lilley, M. D., Thorseth, I. H., & Pedersen, R. B. (2019). ³He along the ultraslow spreading AMOR in the Norwegian-Greenland Seas. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 147, 1–11. doi.org/10.1016/j.dsr.2019.04.004
- Stensland, A. (2013). Dissolved Gases in Hydrothermal Plumes From Artic Vent Fields. The University of Bergen. <https://bora.uib.no/bora-xmlui/handle/1956/7683>
- Stepnov, A. A., Fredriksen, L., Steen, I. H., Stokke, R., & Eijsink, V. G. H. (2019). Identification and characterization of a hyperthermophilic GH9 cellulase from the Arctic Mid-Ocean Ridge vent field. *PLOS ONE*, 14(9), e0222216. doi.org/10.1371/journal.pone.0222216
- Stokke, R., Reeves, E. P., Dahle, H., Fedøy, A.-E., Viflot, T., Lie Onstad, S., Vulcano, F., Pedersen, R. B., Eijsink, V. G. H., & Steen, I. H. (2020). Tailoring Hydrothermal Vent Biodiversity Toward Improved Biodiscovery Using a Novel in situ Enrichment Strategy. *Frontiers in Microbiology*, 11, 249. doi.org/10.3389/fmicb.2020.00249
- Stokke, R., Dahle, H., Roalkvam, I., Wissuwa, J., Daae, F. L., Tooming-Klunderud, A., Thorseth, I. H., Pedersen, R. B., & Steen, I. H. (2015). Functional interactions among filamentous Epsilonproteobacteria and Bacteroidetes in a deep-sea hydrothermal vent biofilm. *Environmental Microbiology*, 17(10, SI), 4063–4077. doi.org/10.1111/1462-2920.12970
- Sukumaran, J., & Knowles, L. L. (2017). Multispecies coalescent delimits structure, not species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(7), 1607–1612. doi.org/10.1073/pnas.1607921114
- Svavarsson, Jørundur. (1997). Diversity of isopods (Crustacea): new data from the Arctic and Atlantic Oceans. *Biodiversity & Conservation*, 6(11), 1571–1579. doi.org/10.1023/A:1018322704940

- Svavarsson, Jørundur, Stromberg, J.-O., & Brattegard, T. (1993). The Deep-Sea Asellote (Isopoda, Crustacea) Fauna of the Northern Seas: Species Composition, Distributional Patterns and Origin. *Journal of Biogeography*, 20(5), 537–555. doi.org/10.2307/2845725
- Sweetman, A. K., Levin, L. A., Rapp, H. T., & Schander, C. (2013). Faunal trophic structure at hydrothermal vents on the southern Mohn's Ridge, Arctic Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 473, 115–131. doi.org/10.3354/meps10050
- Tandberg, A. H. S., Vader, W., Olsen, B. R., & Rapp, H. T. (2018). *Monoculodes bousfieldi* sp. n. from the Arctic hydrothermal vent Loki's Castle. *Marine Biodiversity*, 1–11. doi.org/10.1007/s12526-018-0869-6
- Tandberg, A. H. S., Rapp, H. T., Schander, C., & Vader, W. (2013). A new species of *Exitomelita* (Amphipoda: Melitidae) from a deep-water wood fall in the northern Norwegian Sea. *Journal of Natural History*, 47(25–28), 1875–1889. doi.org/10.1080/00222933.2012.725778
- Tandberg, A. H. S., Rapp, H. T., Schander, C., Vader, W., Sweetman, A. K., & Berge, J. (2012). *Exitomelita sigynae* gen. et sp nov.: a new amphipod from the Arctic Loki Castle vent field with potential gill ectosymbionts. *POLAR BIOLOGY*, 35(5), 705–716. doi.org/10.1007/s00300-011-1115-x
- Tandberg, A. H. S., & Vader, W. (2009). A redescription of *Metopa* species (Amphipoda, Stenothoidae) based on the type material. 1. Zoological Museum, Copenhagen (ZMUC). *Zootaxa*, 2093, 1–36.
- Tarasov, V. G., Gebruk, A. V., Mironov, A. N., & Moskalev, L. I. (2005). Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: Two different phenomena? *Shallow-Water Hydrothermal Venting*, 224(1), 5–39. doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.021
- Taylor, J., Krumpfen, T., Soltwedel, T., Gutt, J., & Bergmann, M. (2016). Regional- and local-scale variations in benthic megafaunal composition at the Arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 108, 58–72. doi.org/10.1016/j.dsr.2015.12.009
- Thurber, A. R., Sweetman, A. K., Narayanaswamy, B. E., Jones, D. O. B., Ingels, J., & Hansman, R. L. (2014). Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences*, 11(14), 3941–3963. doi.org/10.5194/bg-11-3941-2014
- Torkildsen, M. M. (2013). Diversity of hexactinellid sponges (Porifera, Hexactinellida) on an arctic seamount, the Schulz Massive. In Dept. of Biology: Vol. MS. University of Bergen.
- Urich, T., Lanzen, A., Stokke, R., Pedersen, R. B., Bayer, C., Thorseth, I. H., Schleper, C., Steen, I. H., & Ovreas, L. (2014). Microbial community structure and functioning in marine sediments associated with diffuse hydrothermal venting assessed by integrated meta-omics. *Environ Microbiol*, 16(9), 2699–2710. doi.org/10.1111/1462-2920.12283
- Van Dover, C L, Colaço, A., Collins, P. C., Croot, P., Metaxas, A., Murton, B. J., Swadling, A., Boschen-Rose, R. E., Carlsson, J., Cuyvers, L., Fukushima, T., Gartman, A., Kennedy, R., Kriete, C., Mestre, N. C., Molodtsova, T., Myhrvold, A., Pelleter, E., Popoola, S. O., Qian, P. Y, Sarrazin, J., Sharma, R., Suh, Y. J., Sylvan, J. B., Tao, C., Tomczak, M., Vermilye, J. (2020). Research is needed to inform environmental management of hydrothermally inactive and extinct polymetallic sulfide (PMS) deposits. *Marine Policy*, 121, 104183. doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104183
- Van Dover, Cindy Lee. (2019). Inactive Sulfide Ecosystems in the Deep Sea: A Review. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 6, p. 461). www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00461
- Van Dover, C L, Arnaud-Haond, S., Gianni, M., Helmreich, S., Huber, J. A., Jaekel, A. L., Metaxas, A., Pendleton, L. H., Petersen, S., Ramirez-Llodra, E., Steinberg, P. E., Tunnicliffe, V., & Yamamoto, H. (2018). Scientific rationale and international obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining. *Marine Policy*, 90, 20–28. doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.020

- Van Dover, C. L. (2000). The ecology of deep-sea hydrothermal vents. Princeton University Press.
- Van Oevelen, D., Duineveld, G., Lavaleye, M., Mienis, F., Soetaert, K., & Heip, C. H. R. (2009). The cold-water coral community as hotspot of carbon cycling on continental margins: A food-web analysis from Rockall Bank (northeast Atlantic). *Limnology and Oceanography*, 54(6), 1829–1844. doi.org/https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6.1829
- Vander Roost, J., Daae, F. L., Steen, I. H., Thorseth, I. H., & Dahle, H. (2018). Distribution Patterns of Iron-Oxidizing Zeta- and Beta-Proteobacteria From Different Environmental Settings at the Jan Mayen Vent Fields. *Frontiers in Microbiology*, 9, 3008. doi.org/10.3389/fmicb.2018.03008
- Vander Roost, J., Thorseth, I. H., & Dahle, H. (2017). Microbial analysis of Zetaproteobacteria and co-colonizers of iron mats in the Troll Wall Vent Field, Arctic Mid-Ocean Ridge. *PLOS ONE*, 12(9), e0185008. doi.org/10.1371/journal.pone.0185008
- Vinogradov, G. M., Vereshchaka, A. L., & Kulagin, D. N. (2003). Zooplankton Distribution over Hydrothermal Fields of the Mid-Atlantic Ridge. *Oceanology*, 43(5), 696–709.
- Vrijenhoek, R. C. (2010). Genetic diversity and connectivity of deep-sea hydrothermal vent metapopulations. *Molecular Ecology*, 19(20), 4391–4411. doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04789.x
- Vuoristo, K. S., Fredriksen, L., Oftebro, M., Arntzen, M. Ø., Aarstad, O. A., Stokke, R., Steen, I. H., Hansen, L. D., Schüller, R. B., Aachmann, F. L., Horn, S. J., & Eijsink, V. G. H. (2019). Production, Characterization, and Application of an Alginate Lyase, AMOR_PL7A, from Hot Vents in the Arctic Mid-Ocean Ridge. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(10), 2936–2945. doi.org/10.1021/acs.jafc.8b07190
- Wandel, C. F. (1899). Report of the voyage. The Danish Ingolf Expedition, 1, 1–21.
- Watling, L. (2019). Macrofauna. In J. K. Cochran, H. J. Bokuniewicz, & P. L. Yager (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences (Third Edition)* (pp. 728–734). Academic Press. www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489110693
- Wei, C.-L., Rowe, G. T., Escobar-Briones, E., Boetius, A., Soltwedel, T., Caley, M. J., Soliman, Y., Huettmann, F., Qu, F., Yu, Z., Pitcher, C. R., Haedrich, R. L., Wicksten, M. K., Rex, M. A., Baguley, J. G., Sharma, J., Danovaro, R., MacDonald, I. R., Nunnally, C. C., ... Narayanaswamy, B. E. (2010). Global patterns and predictions of seafloor biomass using random forests. *PLoS ONE*, 5(12), e15323. https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0015323
- Wiklund, H., Neal, L., Glover, A. G., Drennan, R., Rabone, M., & Dahlgren, T. G. (2019). Abyssal fauna of polymetallic nodule exploration areas, eastern clarion-clipperton zone, central Pacific Ocean: annelida: capitellidae, opheliidae, scalibregmatidae, and traviidae. *ZooKeys*, 883, 1
- Wille, C., Mohn, H., Tornøe, H., & Schmelek, I. (1887). Den Norske Nordhavs-expedition, 1876-1878, Vol 1: Historisk beretning, Apparaten og deres brug, Astronomiske observationer, Magnetiske observationer, Geografi og naturhistorie, Chemi. 1–418.
- Winn, C. D., Karl, D. M., & Massoth, G. J. (1986). Microorganisms in deep-sea hydrothermal plumes. *Nature*, 320(6064), 744–746. doi.org/10.1038/320744a0
- Wissuwa, J., Stokke, R., Fedøy, A.-E., Lian, K., Smalås, A. O., & Steen, I. H. (2016). Isolation and complete genome sequence of the thermophilic *Geobacillus* sp. 12AMOR1 from an Arctic deep-sea hydrothermal vent site. *Standards in Genomic Sciences* 2016 11:1, 11(1), 1–12. doi.org/10.1186/S40793-016-0137-Y
- Wurz, E., Beazley, L., MacDonald, B., Kenchington, E., Rapp, H. T., & Osinga, R. (2021). The Hexactinellid Deep-Water Sponge *Vazella pourtalesii* (Schmidt, 1870) (Rossellidae) Copes With Temporarily Elevated Concentrations of Suspended Natural Sediment. In *Frontiers in Marine Science (Vol. 8, p. 269)*. www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2021.611539
- Zeppilli, D., Leduc, D., Fontanier, C., Fontaneto, D., Fuchs, S., Gooday, A. J., Goineau, A., Ingels, J., Ivanenko, V. N., Kristensen, R. M., Neves, R. C., Sanchez, N., Sandulli, R., Sarrazin, J., Sørensen,

- M. V, Tasiemski, A., Vanreusel, A., Autret, M., Bourdonnay, L., ... Fernandes, D. (2018). Characteristics of meiofauna in extreme marine ecosystems: a review. *Marine Biodiversity*, 48(1), 35–71. doi.org/10.1007/s12526-017-0815-z
- Zhao, R., Mogollón, J. M., Abby, S. S., Schleper, C., Biddle, J. F., Roerdink, D. L., Thorseth, I. H., & Jørgensen, S. L. (2020). Geochemical transition zone powering microbial growth in subsurface sediments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(51), 32617–32626. doi.org/10.1073/PNAS.2005917117
- Aarbakke, O. (2007). Bio-acoustic investigations of sound scattering layers overlapping hydrothermal vents in the arctic ocean. University of Bergen.

Definisjoner av fagord og uttrykk

Bakgrunn

Brukes her som begrep for å skille vannmasser eller fauna knyttet til varme kilder fra det som er vanlig i området, f.eks. bakgrunsvannmasser eller bakgrunnsfauna.

Bentos

Bentos (fra gresk βένθος: «havdypet») er en betegnelse vi bruker om dyr som lever i tilknytning til havbunnen. Vi deler gjerne i hyperbentos: de som svømmer like over (5-30 cm) havbunnen, men som er avhengig av at det er en bunn like under dem; epibentos: de dyrene som beveger seg eller sitter fast på toppen av havbunnen, og endobentos (inbentos): dyr som lever nede i bløt, sedimentær havbunn, som oftest de øverste 5-10 cm. Hyperbentos og epibentos er ikke avhengige av at havbunnen er bløt eller i det hele tatt sedimentær, men finnes også over forskjellige harde bunnsstrat.

Biogent

Beskrivelse av bunnhabitattype som dannes av strukturformende organismer som f.eks. korallrev. I undersøkelsesområdet spesielt knyttet til svampegunn.

Biogeografi

Biogeografi er læren om den geografiske utbredelsen til arter og analyse av hvordan artssammensetning endrer seg mellom ulike geografiske områder. Biogeografi og konektivitet er nært beslektede fagfelt, men konektivitet er vanligvis brukt om mønster innenfor en art (migrasjon mellom populasjoner), mens biogeografi omfatter arter og biologiske samfunn.

Bioteknologi

Bioteknologi defineres som anvendelse av naturvitenskap og teknologi på levende organismer og på deler, produkter og modeller av disse, slik at levende eller ikke-levende materialer endres for å frambringe kunnskap, varer og tjenester. Marin bioteknologi fokuserer på marine bioressurser og organismer.

Diffus utstrømming

Noen steder blandes varm utstrømming med sjøvann under havbunnen før det strømmer ut, noe som gir en så kalt diffus utstrømming med lavere temperatur.

Direkte utvikling

Arter som bærer med seg befruktete egg ved hjelp av egne organer (livmor, rugeposer, eggholdende bein, osv.) gjennom hele utviklingen fram til de er små voksne som kan plasseres i et egnet miljø. Arter med direkte utvikling investerer ofte mer energi i hvert befruktete egg/avkom, og vil derfor generelt få færre avkom, men en større andel vil overleve til voksne individer. Pattedyr, bruskfisk, samt noen krepsdyrgrupper og mollusker er eksempler på marine dyr som har direkte utvikling.

Endemisk

En art som er endemisk er stedegen (kun funnet) i et bestemt område eller et bestemt habitat (habitat-endemisme).

Epifauna

Dyr som lever på overflaten av havbunnen.

Enzymer

Enzymer er naturens egne biologiske katalysatorer. Enzymer er svært effektive i å øke reaksjonshastigheten til biokjemiske prosesser som ellers går veldig sakte eller ikke i det hele tatt.

Filterspisere

Dyr som filtrerer vannet for organiske partikler og små organismer, enten ved å suge vann aktivt inn eller la det passivt passere. Typiske dyr er svamp, muslinger og kappedyr, men måten å ta opp næring på finnes i svært mange dyregrupper.

Frie larvestadier

Arter som slipper befruktete egg (eller veldig tidlige stadier av utviklete larver) ut i vannmassene. Eggene/larvene fortsetter utviklingen gjennom et eller flere planktoniske stadier (larver eller yngel) fram til en metamorfose der de går over i en voksen form. Hvis det er en bentisk dyr som har frie larvestadier vil det være et stadium som «bunnsår». Disse vil ofte ha sensorer som kan gjenkjenne egnete bunntyper/substrater. Arter med frie larvestadier har ofte mange egg med relativt liten energi-investering i hvert egg, og mesteparten av larvene vil ikke overleve til voksne individer.

Habitat

Habitat (fra latin: «oppholde seg») er det oppholdsstedet eller leveområdet en art foretrekker og er tilpasset til. Noen arter holder seg i et habitat hele livet, mens andre har forskjellige habitatskrav i forskjellige deler av livet (for eksempel bentiske dyr med frie larvestadier). Et habitat er formet både av fysiske, kjemiske og biologiske (for eksempel andre arter, tilgang på mat) faktorer.

Hydrotermisk kilde

En hydrotermisk kilde er et sted der varmt, mineralrikt vann strømmer ut av havbunnen, ofte i forbindelse med vulkanske områder i randsonen mellom kontinentalplater. Hydrotermisk kilde (også kalt *varm kilde*) refererer til aktive kilder med varm utstrømming.

Hydrotermisk byggverk

Et hydrotermisk byggverk (edifice) er flere skorsteiner som henger sammen i en mer kompleks struktur.

Hydrotermisk haug

En hydrotermisk haug (mound) er en sirkelformet ansamling av hydrotermiske avsetninger, bygd opp over tid, som ofte har en eller flere skorsteiner på toppen.

Hydrotermisk skorstein

En hydrotermisk skorstein (chimney, heretter omtalt som skorstein) er en pipeformet mineralavsetning med en eller flere åpninger med varm utstrømming.

Hydrotermiske strukturer

Vi bruker her hydrotermiske strukturer som et samlebegrep for hydrotermiske skorsteiner, byggverk og hauger.

Hypertermofile mikroorganismer

Bakterier eller arker som har et temperaturoptimum for vekst ved 80 °C eller høyere.

Infauna

Dyr som lever nedgravd i sedimentene/havbunnen.

Kjemosyntese

Kjemosyntese er en metabolsk prosess utført av prokaryote mikroorganismer hvor energi frigitt i en uorganisk kjemisk reaksjon blir benyttet til fiksering av CO₂ til organisk karbon i form av sukker. I stedet for sollys som benyttes i fotosyntesen, kan for eksempel svovelforbindelser, hydrogen, jern og metan i varme havkilder oksideres med oksygen, nitrat og sulfat som finnes i det omliggende sjøvannet.

Kjemosyntesebaserte økosystemer (KBØer)

Samlebetegnelse for økosystemer basert på kjemosyntetisk primærproduksjon. Inkluderer varme havkilder, kalde havkilder og organiske nedfall i sulfofilt nedbrytningsstadium.

Kildefelt

Et kildefelt (vent field) er et område med hydrotermiske strukturer som skorsteiner, byggverk eller hauger (se separate definisjoner for disse termene), som er styrt av samme underliggende varmekilde, og geografisk separert fra andre kildefelt (Jamieson & Gartman, 2020). Et kildefelt regnes som aktivt viss det har varm utstrømming (over bakgrunnstemperatur). Aktivitet kan også identifiseres visuelt ved observasjon av bakterievekst eller typisk kildefauna. Inaktive hydrotermiske strukturer kan kjennes igjen ved at de kan falle sammen, bli dekket av sedimenter eller kolonisert av saktevoksende organismer som store svamper eller koraller.

Et aktivt felt kan inneholde både aktive og inaktive hydrotermiske strukturer, men inaktive strukturer i et aktivt felt kan forventes å bli aktive igjen. Et felt regnes som *utdødd* hvis det ikke finnes noen varm utstrømming over bakgrunnstemperatur, skorsteinene stort sett har falt over ende, de hydrotermiske avsetningene er tydelig oksidert, og det ikke finnes kildespesifikke organismer. Dette tyder på at feltet har vært inaktivt lenge, sannsynligvis er koblet fra varmekilden, og ikke har potensiale for å bli aktivt igjen.

Konnektivitet

Konnektivitet er et uttrykk for graden av utveksling av organismer (voksne individer eller larvestadier) mellom populasjoner i ulike geografiske områder. Siden migrasjon av individer er vanskelig å observere i marine habitat, og spesielt i dyphavet, brukes ofte genetisk informasjon for å undersøke konnektivitet.

Livshistorie

Samlebetegnelsen «livshistorie» (livshistoriestrategier) inkluderer en mengde organisme-gruppe spesifikke aspekter som for eksempel levealder, utvikling fra befruktet egg til voksen, alder ved kjønnsmodning, antall avkom, antall kull, yngelpleie osv. Livshistorie (strategien) til en art eller populasjon er til en stor grad styrt av fysisk og økologisk miljø.

Makrofauna

Makrofauna er ofte definert som det som er synlig med det blotte øye i innsamlede prøver, og som fanges opp av en sikt med maskevidde på 0,5 mm. Noen ganger brukes og 0,3 mm, spesielt i dyphavet der organismene generelt sett har mindre kroppsstørrelse. Med moderne kamerateknologi som gir bilder og video med svært god oppløsning er makrofauna ofte identifiserbare til høyere taksonomiske nivå på bilder eller video av havbunnen.

Marin bioprospektering

Marin bioprospektering er formålsrettet og systematisk leting i marine organismer etter bestanddeler, forbindelser eller gener som kan inngå som komponenter i produkter eller prosesser.

Megafauna

I forbindelse med havbunnsbiologi er megafauna ofte definert som dyr som er identifiserbare til høyere taksonomiske nivå på bilder eller video av havbunnen, eller som er større enn 5 cm.

Meiofauna

Meiofauna er definert som dyr som passerer gjennom en sikt med maskevidde 0.5 mm, men fanges opp av en sikt med maskevidde 40µm (noen ganger brukes maskevidde 31 eller 20µm i dyphavet).

Morfotype

En gruppe individers utseende som er representativt for forventet variasjon innen arten.

Naturtype

Naturtype er ofte synonymt med det engelske begrepet *biotope*. Naturtype er natur som har lignende organismesamfunn og fysiske forhold over større utstrekning. Naturtypebegrepet skiller seg fra økosystem ved at spesielle geologiske forekomster eller habitatformede organisme inngår i definisjonen. Varme kilder og korallrev er eksempler på dette. I noen tilfeller overlapper andre begreper med naturtyper, og for eksempel vil naturtypen stortareskog omtales som både økosystem, biotop og naturtype.

Non-bouyant plume

Når den varme utstrømningen ikke lenger stiger og blir ført horisontalt med gjeldende strømretning kalles den «non bouyant plume» (NBP). Den kan fortsatt ha ulike kjemiske egenskaper fra de omkringliggende vannmassene i en viss tid før den blir blandet med bakgrunns vannet.

Organisk nedfall

Relativt store enheter med organisk materiale som synker ned på havbunnen, som for eksempel hvalkadaver eller vedbiter, kalles organiske nedfall. Disse tiltrekker seg en spesialisert fauna som bryter ned de vanskelig nedbrytbare delene, og etter en tid kan bakteriell nedbryting danne sulfid som igjen gir grunnlag for kjemosyntetisk primærproduksjon. Dette kalles det sulfofile stadiet i suksesjonen ved organiske nedfall, og i dette stadiet kan nedfallet regnes som et kjemosyntesebasert økosystem.

OTU

Operational taxonomical unit (taksonomisk enhet). Unike eller konsensusenheter som kan brukes i studier der det er vanskelig å skille arter morfologisk, f.eks. bilde/video-observerte morfotyper som ikke kan klassifiseres til art med bakgrunn i bildematerialet, men spesielt utbredt i molekylære studier av f.eks. miljø-DNA som metabarcoding eller mikrobiomstudier. Avhengig av metode brukes alternativt begreper som MOTUer (molekylære taksonomiske enheter), ASVer (amplicon sequence variants) eller ESVer (exact sequence variants).

Partikkelspisere

Dyr som passivt tar imot synkende organiske partikler i vannet, eller som passerer med strømmen. Sjøanemoner er vanlige eksempler på dyr som spiser partikler, men det er også flere pigghuder som er partikkelspisere.

Pelagisk

Pelagos (fra gresk πέλαγος: «åpent hav») er en betegnelse på dyr (og planter) som lever i vannsøylen - havvannet fra like under overflaten og ned til havbunnen, der de bentiske dyrene lever. Vi kan dele pelagialen i forskjellige dybdesoner, og organismer som lever her kan benytte en svært begrenset del av vannsøylen, eller vandre langs hele.

Plankton

Plankton (fra gresk πλαγκτός: «det som svever») brukes som en fellesbetegnelse på organismer som passivt driver med vannmassene og havstrømmene. Vi deler gjerne inn i planteplankton (fytoplankton) og dyreplankton (zooplankton). Planteplankton får energi fra fotosyntese, og lever derfor i de øvre vannmassene. Disse er også omtalt som primærprodusenter. Dyreplankton vil ofte enten beite på planteplanktonet eller på andre dyreplankton. Det motsatte av plankton er **nekton** - de som kan aktivt bevege seg mot strømmen (svømme). Dyreplankton blir ofte definert ut fra størrelse; mikro-, meso- og makrozooplankton.

Salinitet

Saltkonsentrasjon. Denne kan variere mellom ulike vannmasser i havet.

Takson

Takson (taksa i flertall) (fra gresk τάξις: «ordning» eller «sekvens») brukes i biologien om en gruppe individer. I motsetning til de hierarkiske klassifikasjonene *art*, *slekt*, *familie*, *orden*, *klasse*, *rekke* og *kongerike* (her listet i mer inkluderende rekkefølge, så flere arter er inkludert i en slekt, flere slekter i en familie osv) kan takson brukes både som en samlebetegnelse på slike grupper og om enkelt eksempler på en av dem. Ofte brukes takson når en forsker ikke ønsker å binde seg til et hierarkisk nivå (som når for eksempel et argument er like gyldig om en snakker om arter eller familier).

Termohalin sirkulasjon

Termohalin sirkulasjon er sirkulasjon som er drevet av forskjeller i tetthet mellom vannmasser, som igjen hovedsakelig styres av temperatur og salinitet. Lavere temperatur (ned til 4 °C) og høyere salinitet gir høyere tetthet, og dermed vil en kald vannmasse med høy salinitet synke ned under en varmere vannmasse med lavere salinitet.

Trofisk nivå

Et nivå i næringsnett.

Trofiske interaksjoner

Dyr som spiser eller blir spist er en samhandling omtalt som en trofisk interaksjon. Ofte er en trofisk interaksjon knyttet til byttedyr og rovdyr interaksjoner, men begrepet omhandler all overføring av organiske energi fra en organisme til en annen i næringsnett. Et dyr som spiser en primærprodusent (f.eks. en plante) er også en trofisk interaksjon.

Varm kilde

Se hydrotermisk kilde.

Varm utstrømming

Vannet som strømmer ut av havbunnen ved en hydrotermisk kilde kalles varm utstrømming. Dette vannet er beriket med mineraler og tungmetaller, og kan gjenkjennes selv etter at det er kjølt ned til samme temperatur som omkringliggende vannmasser.