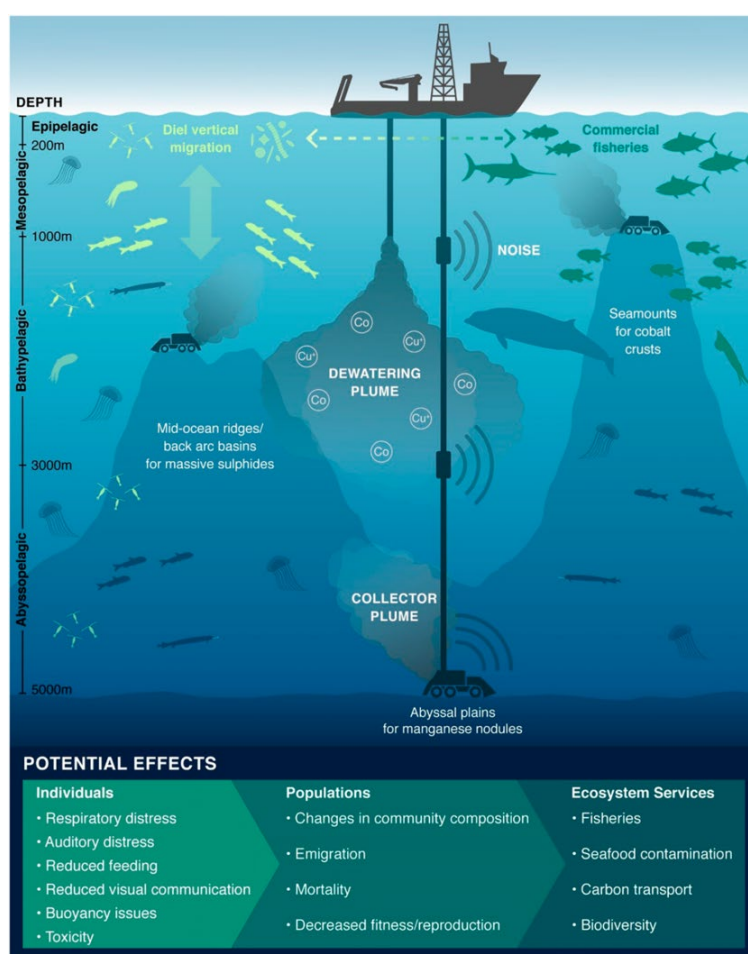


Dybhavsminedrift

En beskrivelse af miljømæssige problemstillinger ved forskellige typer minedrift i dybhavet

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 14. marts 2024 | 11



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Dybhavsminedrift
Undertitel: En beskrivelse af miljømæssige problemstillinger ved forskellige typer minedrift i dybhavet

Forfatter(e): Christian Frigaard Rasmussen, Christian Mohn, Anders Mosbech
Institution(er): Aarhus Universitet

Faglig kommentering: Kim Gustavson
Kvalitetssikring, DCE: Kirsten Bang
Sproglig kvalitetssikring: Charlotte Hviid

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her:
https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2024/Kommentarer/N_2024_11_komm.pdf

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Frigaard Rasmussen, C, Mohn, C, Mosbech, A. 2024. Dybhavsminedrift. En beskrivelse af miljømæssige problemstillinger ved forskellige typer minedrift i dybhavet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 39 s. - Fagligt notat nr. 2024 | 11

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Forside: Oversigtsfigur, der viser hvordan forskellige aktiviteter medfører påvirkninger, der kan have en række effekter for dyrelivet i havet (Drazen et al., 2020). Figuren er bragt med tilladelse fra ophavsretsholder.

Sideantal: 39

Indhold

Sammenfatning	4
1 Indledning	6
2 Baggrund	7
2.1 Typer af mineralforekomster og teknologi til udvinding	8
3 Miljømæssige effekter ved dybhavsminedrift	14
3.1 Indledning	14
3.2 Oversigt over effekter – med udgangspunkt i den norske SMV med baggrundsrapporter	16
3.3 Vurdering af vidensniveau – Den norske SMV	23
4 Referencer	25
5 Bilag	28
Bilag 1. Supplerende videnskabelig litteratur vedrørende miljøpåvirkning og miljøeffekter af dybhavsminedrift med udvalgte citater fra abstracts og/eller konklusioner	28
Bilag 2. Oversigt over aktive hydrotermale skorstene i grønlandsk EEZ	35
Bilag 3. Marin forundersøgelse og efterforskning i Grønland	37

Sammenfatning

I særlige dybhavsområder er der over millioner af år via geologiske processer sket en udfældning af forskellige metaller på havbunden. De typer af forekomster, der kan udvindes metaller fra, er de såkaldte manganklumper (polymetallic nodules), mangan skorper (cobalt-rich ferromanganese crust) og sulfidudfældninger (seafloor massive sulphides) ved hydrotermale skorstene (hydrothermal vents). Der er voksende kommerciel og politisk interesse for at starte udvinding af disse forekomster på havbunden både udenfor og indenfor et lands eksklusive økonomiske zoner (EEZ). Den grønne omstilling er afhængig af metaller som bl.a. kobalt, nikkel og kobber samt sjældne jordarters metaller, der findes i forekomsterne. Det er en åben diskussion med mange aspekter, hvorvidt det voksende behov for metallerne mere hensigtsmæssigt kan dækkes på andre måder end ved dybhavsminedrift.

I Stillehavet er der fokus på udvinding af manganklumper i Clarion Clipperton zonen. Området ligger udenfor eksklusive økonomiske zoner og aktiviteterne er reguleret af FN-organisationen International Seabed Authority (ISA). Norge har for Norskehavet mv. gennemført en strategisk miljøvurdering for udvinding af manganskorper og sulfider, forud for en parlamentarisk beslutning om at åbne dele af den nationale økonomiske zone for den første fase af kommerciel efterforskning. Da der er meget videnskabelig litteratur vedr. Clarion Clipperton zonen og den norske EEZ, er disse eksempler i fokus i dette notat.

Dette notat giver en oversigtlig beskrivelse af de potentielle miljømæssige effekter ved dybhavsminedrift (minedrift på over 200 meters havdybde). Der er i beskrivelsen taget udgangspunkt i den norske strategiske miljøvurdering, baggrundsrapporter til denne fra videns- og forskningsinstitutioner, samt viden fra internationale videnskabelige reviews på området.

Forskning i de sidste årtier har vist, at der på trods af mørket og de lave temperaturer er en høj artsrigdom og betydelig rumlig heterogenitet i biodiversiteten i dybhavet. Der er bl.a. beskrevet mange nye arter, der tilsyneladende kun har en begrænset udbredelse (er endemiske), og dermed kan være sårbare overfor påvirkning af deres levesteder.

En væsentlig påvirkning ved indvinding af mineraler på havbunden er fjernelse af strukturer på havbunden, opslæmning og spredning af finkornet materiale, og frisættelse af metaller, sulfider, næringsstoffer m.m. til havvandet. Disse påvirkninger kan have effekter på organismer i og ved havbunden. Der til kommer, at der i forbindelse med transport til overfladen, samt forarbejdning og oparbejdning af materialer på tilhørende skibe, kan være væsentlige udledninger, der kan påvirke organismer i vandsøjlen. Støj fra brydning ved havbunden og tilhørende skibe kan bl.a. påvirke hvalers kommunikation og fødesøgning, og skibe, der udleder ballastvand, kan udlede organismer, der kan være invasive i det pågældende område.

Manganskorper forekommer i områder med hård bund på undersøiske bjerge, hvor der ikke sker sedimentation på grund af strømforholdene. Sulfidforekomster findes ved hydrotermale skorstene opbygget i pladetektoniske spredningszoner med vulkansk aktivitet, og de er karakteriseret ved ud-

strømning af varmt vand fra undergrunden med højt svovlindhold. Svovlindholdet udnyttes af organismer, der kan syntetisere organisk stof med et stofskifte baseret på redoxprocesser af svovlforbindelser.

I forhold til at vurdere de miljømæssige effekter af dybhavsminedrift er der i de videnskabelige reviews udbredt enighed om, at der under iagttagelse af forsigtighedsprincippet generelt mangler væsentlig viden om biodiversitet (baggrund) og om økosystemets struktur og funktion i de forskellige habitater (både havbund og den dybe del af vandsøjlen). Der mangler viden om, hvilken påvirkning udnyttelse vil medføre (teknologien er under udvikling), og hvor sårbare arterne er overfor påvirkninger som f.eks. sedimentation (tilslamning), og hvor hurtigt der vil kunne ske restitution af faunaen. Der mangler desuden viden om, i hvilken udstrækning økosystemtjenester, som f.eks. mekanismer der sikrer lagring af kulstof i havbunden, vil kunne blive påvirket.

Der er ikke inden for rigsfællesskabet udført forskning i miljømæssige effekter af dybhavsminedrift, men den eksisterende viden om forekomster af hydrotermale skorstene i Grønlandshavet omtales i notatet.

I Vestgrønland er der kommerciel interesse i forundersøgelser efter diamanter på havbunden ned til omkring 200 meters dybde, men miljømæssige effekter af denne aktivitet vil forventeligt være forskellig fra minedrift i dybhavet, hvor dyrelivet og miljøet er væsentligt anderledes.

1 Indledning

Miljøministeriets Departement har 7. december 2023 bestilt et kort oversigtligt notat, der sammenfatter de miljømæssige problemstillinger ved dybhavsminedrift, samt en tilhørende liste med væsentlig videnskabelig litteratur, der belyser de miljømæssige konsekvenser ved dybhavsminedrift. Indenfor bestillingens afsatte resurse er således udvalgt et afgrænset antal kilder til at belyse emnet. Der er ikke foretaget en selvstændig tilbundsående bearbejdning af videnskabelig primærlitteratur.

Der er en voksende fokus på dybhavsminedrift, fordi metaller, der skal bruges til fremstilling af elbiler, vindmøller og batterier, forekommer i dybhavet. Det drejer sig bl.a. om sjældne jordarter, samt metallerne kobolt, litium, nikkel og kobber. Aspekter som resurseforekomster på land, forsyningssikkerhed, genbrug af materialer, substitution og miljøpåvirkning ved landbaserede miner, diskuteres i forhold til hvorvidt, der er andre måder til at imødekomme behovet for metaller mere hensigtsmæssigt end dybhavsminedrift. Disse forhold bliver ikke behandlet i dette notat.

Dybhavsminedrift kan foregå indenfor et lands Eksklusive Økonomiske Zone¹(EEZ), hvor den nationale regulering gælder, og i internationalt farvand, hvor den reguleres af The International Seabed Authority (ISA) under FN's havretskonvention. Der er på nuværende tidspunkt ikke kommerciel udvinding af mineralforekomster i dybhavet i internationalt farvand. På nuværende tidspunkt har ISA tildelt 31 kontrakter til efterforskning i internationalt farvand, hvor de fleste er givet i Clarion Clipperton Zonen i Stillehavet (<https://www.isa.org.jm/exploration-contracts/>). Medlemslandene er gennem ISA i gang med at forhandle for at kunne udvikle retningslinjer for miljøbaggrundsundersøgelser, miljøvurdering og miljøregulering af dybhavsminedrift.

Norge har i december 2023, vedtaget, at der kan tillades kommercielle forundersøgelser i den norske EEZ. Desuden giver den gældende råstoflov i Grønland i princippet mulighed for tilladelse til marin minedrift inden for EEZ omkring Grønland, det vil dog i givet fald kræve flere trin af godkendelse i den grønlandske regering. Der er i Grønland givet en forundersøgelsestilladelse efter diamanter (De Beers Marine). Der foreligger desuden en ansøgning om en efterforskningstilladelse ud til havdybder omkring 200 m, hvor selskabsnavn, efterforskningsmål mv. ikke er offentliggjort (Bilag 3).

I dette notat er der dels en kort beskrivelse af de potentielle miljøeffekter af dybhavsminedrift med udgangspunkt i den norske Strategiske Miljøvurdering (SMV) med videnskabelige baggrundsrapporter (Olje- og energidepartementet, 2022a), dels en oversigt og sammenligning af konklusioner i videnskabelige reviews udført af officielle vidensorganisationer (Tabel 1). Denne gennemgang er suppleret med en liste med supplerende videnskabelig litteratur (primært reviews) om miljømæssige problemstillinger ved dybhavsminedrift anoteret med udvalgte citater fra abstracts og/eller konklusioner (Bilag 1).

¹ Exclusive Economic Zone. Havområde indtil en afstand af op til 200 sømil fra kysten, som en kyststat har eneret til mht. udnyttelse af havets, havbundens og undergrundens resurser

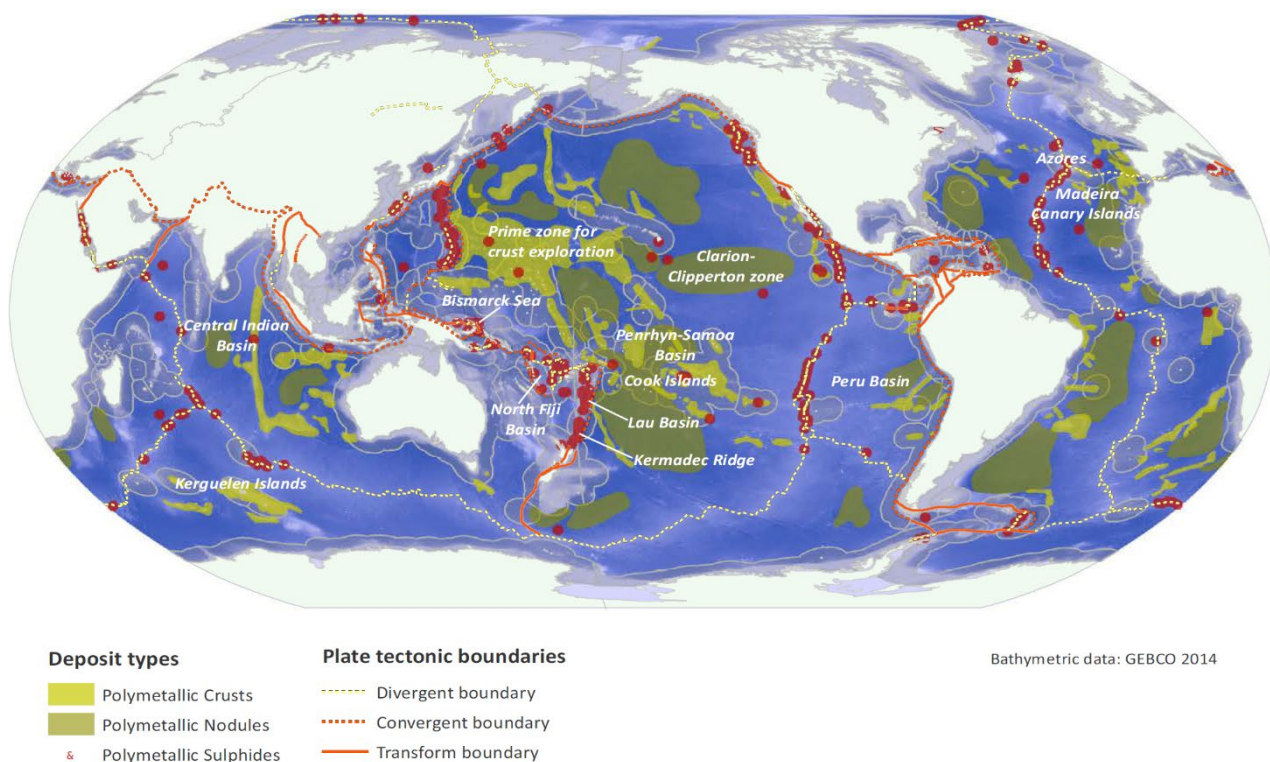
2 Baggrund

Dybhavsminedrift defineres som minedrift på en havdybde på over 200 meter (Lusty et al., 2021). I praksis er dybhavsminedrift dog fokuseret på forekomster, der ligger på over 500 meters dybde og ofte på flere kilometers dybde.

Forundersøgelser efter diamanter finder sted ud for Vestgrønland ud til havdybder omkring 200 meter (Råstofstyrelsen, 2023), men betegnes ikke som dybhavsminedrift og behandles ikke i dette notat (se dog bilag 3).

Der findes generelt tre typer af mineralforekomster, som er relevant for dybhavsminedrift: Sulfider (Seafloor Massive Sulphides), manganklumper (Polymetallic nodules) og manganskorper (Cobalt-rich ferromanganese crust) (EASAC, 2023).

Der har i mange år især været fokus på manganklumper i Clarion-Clipperton Zonen (CCZ) i Stillehavet (Figur 1), som er en af de største forekomster af manganklumper på jorden og hvor mange internationale selskaber opererer med efterforskning. Der er nu også kommet øget fokus på sulfider og manganskorper, dette skyldes, at moderne eftersøgnings- og udvindingsteknologier har gjort udvinding fra dybhavet teknisk muligt inden for en overskuelig fremtid.



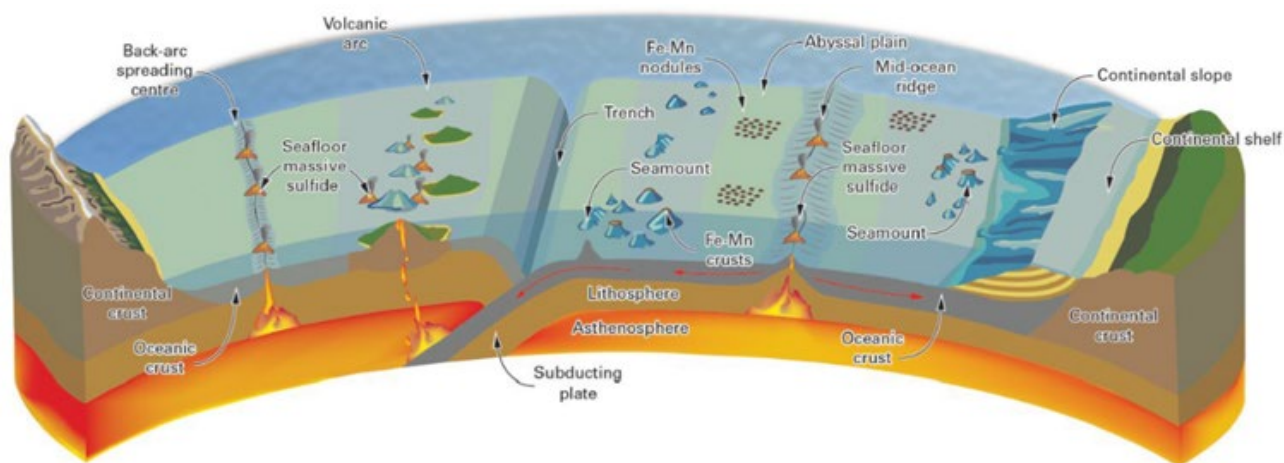
Figur 1. De væsentligste områder hvor der findes forskellige typer af mineralforekomster i dybhavet, lys brun: manganskorper, mørk brun: noder, røde pletter: sulfider. Linjerne på kortet markerer forskellige typer af kontinentalpladegrænser (Cuyvers et al., 2018).

Den type af teknologi, der skal bruges i minedriften, afhænger af typen af aflejringer, man ønsker at udvinde fra. Det bemærkes fra flere sider, at den nuværende teknologi, der er til rådighed, og den teknologi, der vil blive brugt, hvis udvindingen rent faktisk igangsættes, vil være meget forskellig. Desuden er meget af den nyeste teknologi hemmeligholdt af producenterne. Det er derfor

vanskeligt at lave en miljøeffektvurdering, da man endnu ikke kender påvirkningen fra de maskiner og metoder, der vil være tilgængelige fremadrettet.

2.1 Typer af mineralforekomster og teknologi til udvinding

2.1.1 Sulfider



Figur 2. En oversigt der viser under hvilke forhold de forskellige typer af mineralforekomster dannes (Lusty et al., 2021).

Sulfider findes primært langs kontinentalspredningsrygge, tektoniske pladegrænser og undersøiske vulkaner på havdybder på ca. 500-5000 meter (OSPAR Commission, 2021) (Figur 2). De findes i forbindelse med hydrotermale skorstene, der enten kan være aktive eller inaktive. Sulfider opstår, når opvarmet metalrigt vand fra hydrotermale skorstene kommer i kontakt med det kolde havvand og metaller udskilles og aflejres. De vigtigste metaller, der findes i sulfider, er kobber, guld, zink og sølv (OSPAR Commission, 2021). Det anslås, at der på verdensplan findes omkring 50 km² med aktive hydrotermale skorstene og det er dermed et meget sjældent habitat (OSPAR Commission, 2021). Viden om dyrelivet omkring de hydrotermale skorstene er stærkt begrænset. Især viden om dyrelivet ved og på inaktive hydrotermale skorstene er mangelfuldt (EASAC, 2023; OSPAR Commission, 2021).

Sulfid minedrift

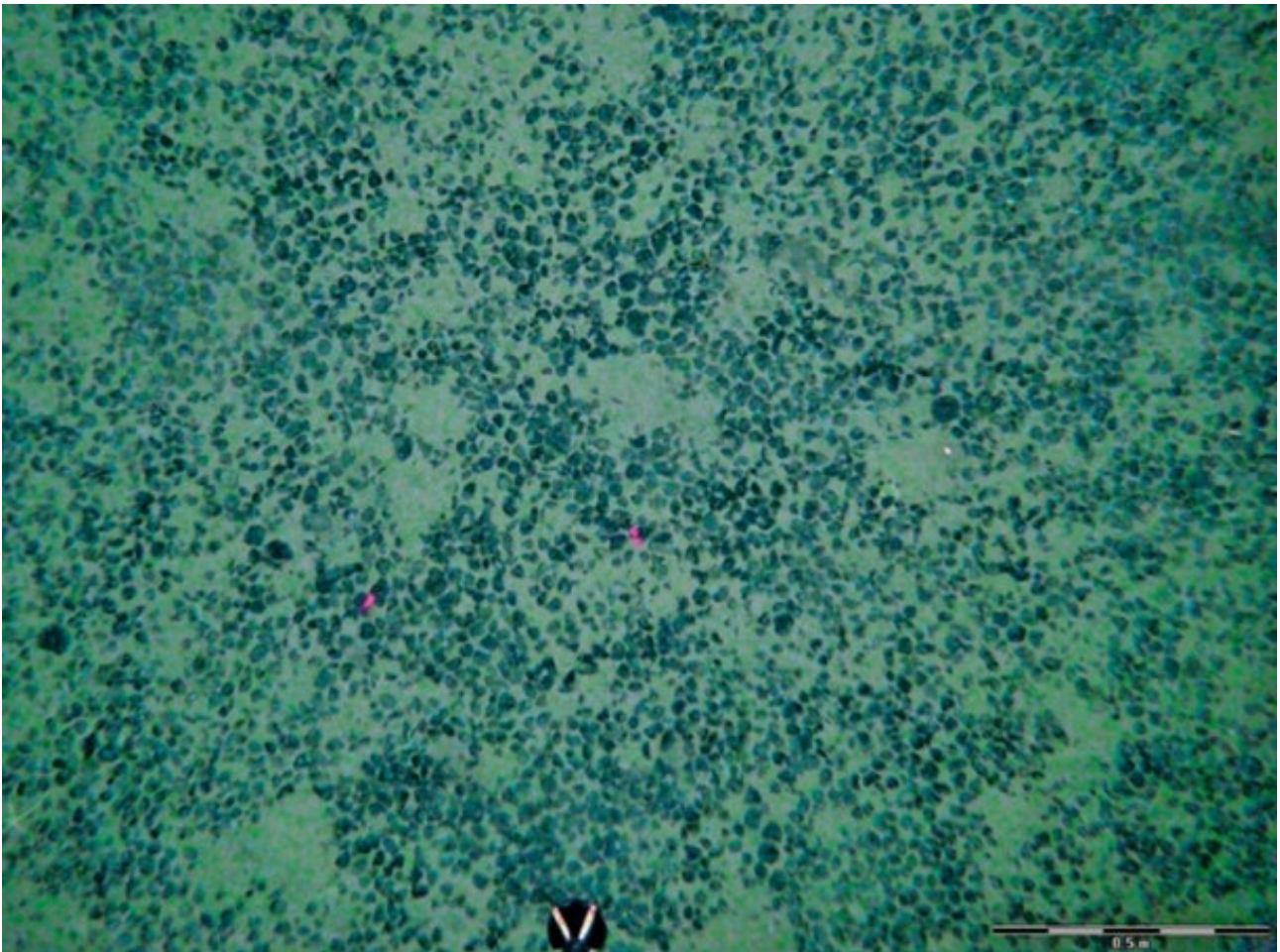
Udvinding af metaller fra sulfider forventes i den norske EEZ primært at foregå ved de inaktive hydrotermale skorstene, hvor forekomsten af metaller er størst. Minedriften vil bestå af et eller flere køretøjer, der udvinder og opsamler materiale fra havbunden, som så løftes til et støtteskib. Køretøjerne vil grave ned til en dybde på op til 30 meter. På figur 3 ses tre køretøjer bygget af *Soil Machine Dynamics* for det nu konkursramte *Nautilus Minerals*. Køretøjerne bestod af en Auxillary Cutter til at gøre underlaget fladt, en primær cutter til at udvinde mineraler og et transportkøretøj til at sende mineraler til overfladen med.



Figur 3. Eksempler på udvindingsmaskiner der er designet til udvinding af Sulfider. Fra venstre mod højre: Transportkøretøj, Primær Cutter og Auxillary Cutter (OSPAR Commission, 2021). Originalt billede fra Soil Machine Dynamics.

2.1.2 Manganklumper

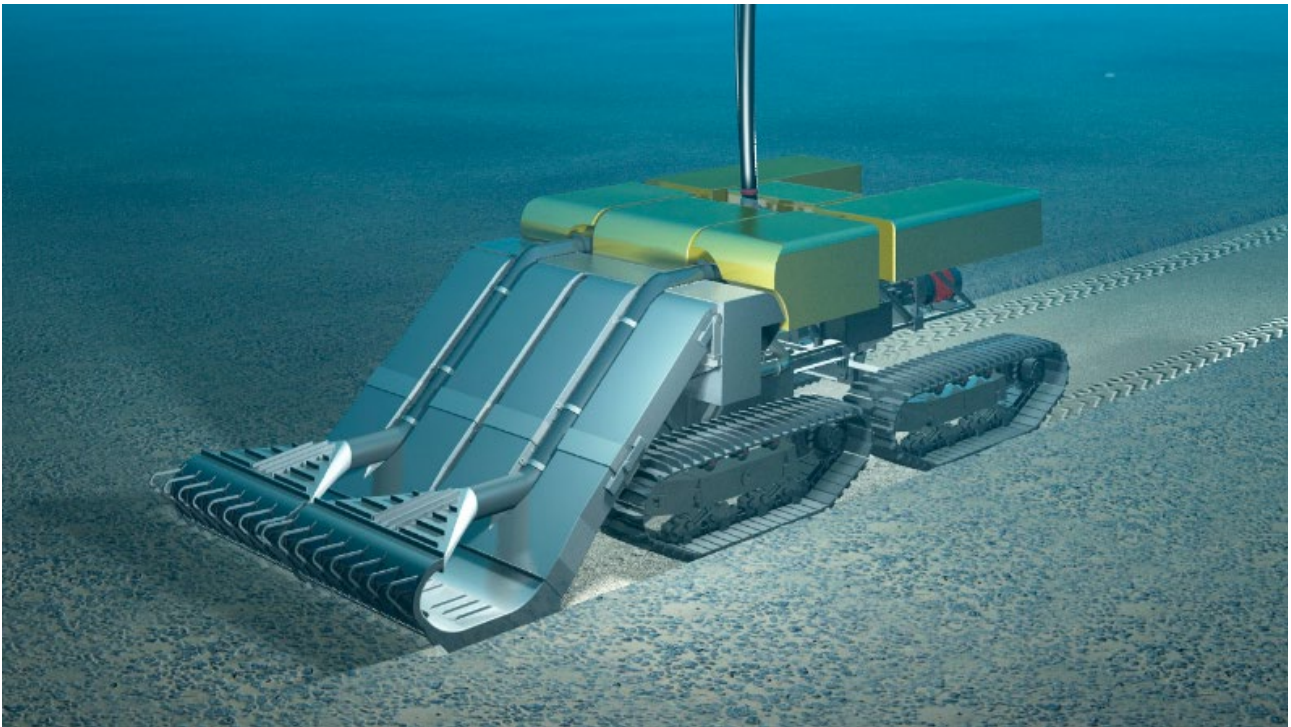
Sammensætningen af manganklumper varierer efter lokalitet, men de består typisk af jern- og manganrige oxyhydroxider indeholdende nikkel, kobber og kobolt. Yderligere indeholder manganklumper små mængder af sjældne jordarter, litium, molybdæn, platin, titanium og tellurium (Lusty et al., 2021). Manganklumperne vokser med en gennemsnitshastighed på 10-20 mm per million år og er typisk 5-15 cm i diameter. Manganklumper er især udbredte i Stillehavet i Clarion-Clipperton Zonen (CCZ), hvor de findes på 3500-6500 meters dybde (Figur 4). Det er svært at estimere, i hvor store områder af havbunden der findes manganklumper, men i CCZ anslås det, at der er omkring 21×10^9 tons i et område på 4.5×10^6 km² (Mukherjee et al., 2023). Dannelse af manganklumper sker som følge af udfældning af metaller fra havvand og porvand fra sedimenter på havbunden. Der er ikke beskrevet forekomster af signifikante mængder af manganklumper i den Nordlige del af Atlanterhavet (Olje- og energidepartementet, 2022a; OSPAR Commission, 2021).



Figur 4. Billede fra CCZ i Stillehavet. De sorte pletter er Manganklumper der ligger på havbunden. Bemærk skalaen angivet nederst i højre hjørne (OSPAR Commission, 2021). Originalt billede fra German Federal Institute of Geosciences.

Minedrift på Manganklumper

Udvinding af manganklumper vil generelt foregå på et større geografisk område af havbunden end sulfid udvinding da aflejringerne især ligger spredt ud ovenpå eller tæt på overfladen af havbunden. Havbunden vil typisk påvirkes 10-20 cm i dybden ved udvinding. Generelt findes 2 typer opsamling af klumperne ved: **Dredging**, hvor både mudder og manganklumper indsamles langs havbunden og derefter transporteres til overfladen, hvor det adskilles. **Hydraulisk minedrift**, hvor en indsamler (Figur 5) kører på havbunden og indsamler manganklumper. Indsamleren adskiller klumperne fra muddet før klumperne sendes til overfladen.



Figur 5. En illustration af hvordan en manganklump-indsamlingsmaskine kunne se ud (OSPAR Commission, 2021). Originalt billede fra Royal IHC.

2.1.3 Manganskorper

Manganskorper findes typisk på og omkring områder af havbunden, der har en forhøjet topografi. Dette kan være små bakker eller flere km høje undersøiske bjerge, men fælles for lokaliteterne er en hård bund med få eller ingen sedimentaflejringer. Manganskorper findes typisk på dybder mellem 800 m og 2500 m og vokser med en hastighed på 1-10 mm per million år. En ældre havbund vil derfor typisk have tykkere skorper, men de tykkeste skorper, der findes, er stadig kun 10-40 cm (Olje- og energidepartementet, 2022a). Skorperne er typisk kontinuerlige og strækker sig over flere km². De vigtigste mineraler i skorperne er kobolt, mangan, kobber og nikkel, med spor af litium, tallium, tellurium, yttrium, bismut, niobium, tungsten og sjældne jordarter (EASAC, 2023). Det er svært at vurdere, hvor meget manganskorpe der findes på verdensplan, da undersøiske bjerge er dårligt undersøgt. I 2004 var <15 % af de 50.000 undersøiske bjerge i Stillehavet undersøgt (Hein, 2004). Undersøiske bjerge påvirker strømninger i havet. Dette kan bl.a. inkludere afbøjning af havstrømme, påvirkninger af hvirvelstrømme, sammenblanding af vand og påvirkning af bølger. Hvordan og hvor meget de forskellige forhold påvirkes afhænger af størrelsen på det enkelte undersøiske bjerg, geometrien, morfologien, de omkringliggende vandmassers fysiske egenskaber og de overordnede havstrømme (Lavelle & Mohn, 2010). På grund af forskellig form og størrelse af de undersøiske bjerge og havstrømmes påvirkning, kan habitater og biodiversitet variere meget mellem forskellige undersøiske bjerge. Topografien på de undersøiske bjerge er ofte meget kompleks, oftest med varierende dybder på overfladen, hvilket kan betyde, at habitater og den tilhørende biologiske mangfoldighed kan variere meget over korte afstande på det enkelte bjerg. Dette gør en egentlig biologisk kortlægning på undersøiske bjerge udfordrende (Christiansen et al., 2020).

Manganskorpe minedrift

Teknologi til udvinding af manganskorper er den mindst udviklede af de tre typer minedrift i dybhavet, men den tekniske metode forventes at ligne den, der er udviklet til manganklumpminedrift. Manganskorpen (Figur 6) skæres i stykker eller knuses og transporteres til overfladen, og da skorpen ikke er af nævneværdig tykkelse, vil det også betyde, at udnyttelsen må forventes at foregå over et større geografisk område. Køretøjer, der opererer til skorpeindsamling, skal være noget mere hårdføre end til manganklumpindsamling, da bl.a. undersøiske bjerge kan være et meget hårdt terræn. Det er hele skorpen, der skal brydes, derfor vil havbunden påvirkes i den tykkelse, som skorpen har på den enkelte lokalitet (10-40 cm).



Figur 6. Et stykke manganskorpe fra det vestlige Stillehav (OSPAR Commission, 2021). Originalt billede fra JAMTEC.

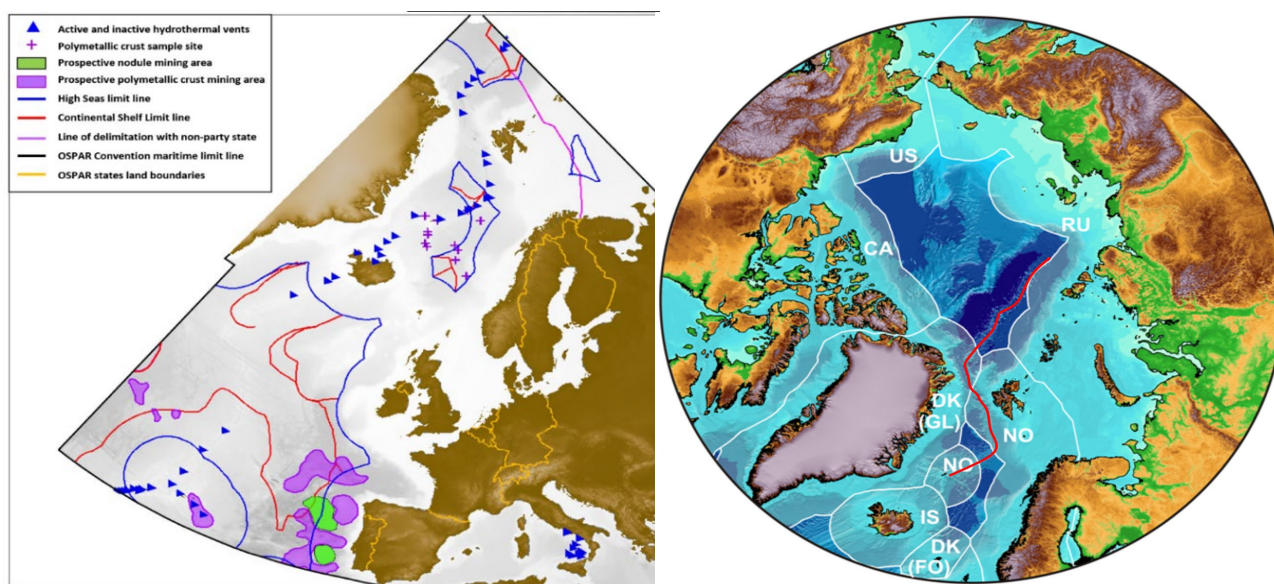
Der findes kun få undersøiske bjerge i Nordatlanten sammenlignet med andre havområder (Figur 7), og dermed er områder med mulighed for manganskorpe begrænset. Et af de største undersøiske bjerge i området kaldes *Vesteris Banken Seamount* (VBS) og ligger i Grønlandshavet. VBS er en vulkan, der rejser sig fra en dybde af 3100 m ved foden op til 200 m dybde ved toppen. VBS blev først beskrevet i 1963 og undersøgt igen i 1984 og 1990. På trods af, at der eksisterer næringsfattige forhold næsten året rundt, blev der på VBS kortlagt svampe-haver og mosdyr-forekomster (bryozoer), da det blev undersøgt i 1990 (Henrich et al., 1992).

3 Miljømæssige effekter ved dybhavsminedrift

3.1 Indledning

Der er ikke udført undersøgelser af de potentielle miljømæssige effekter af dybhavsminedrift i rigsfællesskabets farvande.

I dette afsnit er der dels en kort beskrivelse af de potentielle miljøeffekter af dybhavsminedrift med udgangspunkt i den Strategiske Miljøvurdering (SMV) udført af det norske Olie- og Energidepartement (OED) samt baggrundsrapporter og høringsvar, dels en oversigt og sammenligning af konklusioner i videnskabelige reviews udført af officielle organisationer (Tabel 1). Denne oversigt er suppleret med en liste med supplerende videnskabelig litteratur annoteret med udvalgte citater fra abstracts og/eller konklusioner (Bilag 1).



Figur 8. Til venstre: Områder indenfor OSPAR hvor der findes undersøiske mineralforekomster. Den sorte grænse angiver OSPAR området, den lyserøde linje angiver grænse med ikke-OSPAR stater, den røde linje angiver kontinentalsokkel grænser, den blå linje angiver grænser for internationalt farvand. Aktive og inaktive hydrotermale skorstene er angivet med på trekanter, områder hvor der er prøvetaget manganskorpe er markeret med lyserøde plusser, lilla områder er udpeget som mulige områder hvor der kan udvindes manganskorpe, grønne områder er udpeget som områder hvor der kan udvindes noduler (OSPAR Commission, 2021). Til højre: Exclusive Economic Zones for de forskellige lande. Den røde linje markerer den nordlige del af den midatlantiske spredningsryg (Claus et al., 2013).

Tabel 1. Oversigt over videnskabelige reviews af miljøeffekter af dybhavsminedrift udført af officielle vidensorganisationer.

EASAC (2023). Deep-Sea Mining: Assessing evidence on future needs and environmental impacts, European Academies Science Advisory Council.

JPI Oceans (2023). MiningImpact 2 - Environmental impacts and risks of deep-sea mining. EU - MIDAS, JPI Oceans. (The Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans (JPI Oceans) is a pan-European platform that increases the efficiency and impact of research and innovation for sustainably healthy and productive seas and oceans).

Congressional Research Service: Keating-Bitonti, C. (2022). Seabed Mining in Areas Beyond National Jurisdiction: Issues for Congress, Congressional Research Service.

British Geological Survey: Lusty, P., et al. (2021). Deep-Sea Mining Evidence Review. T. Shimmield. UK, British Geological Survey.

OSPAR Commission (2021). OSPAR technical report on current understanding of deep seabed mining resources, technology, potential impacts and regulation along with the current global demand for minerals, OSPAR Commission.

Tabel 2. Oversigt over miljøpåvirkning ved mineraludvinding fra havbunden som det er angivet i den norske Strategiske miljøvurdering. Tabellen er oversat til dansk fra originalsproget (Olje- og energidepartementet, 2022a).

Påvirkning	Aktivitet / kilde	Miljø / organismer der påvirkes
Fysisk påvirkning af havbundshabitater og organismer.	Fysisk fjernelse af habitat og organismer ved minedrift. Deponering af sediment.	Bundlevende organismer.
Ændringer af geokemiske og fysiske egenskaber på havbunden.	Ved prøvetagning under efterforskning. Minedrift på havbunden. Modifikationer af havbunden under rehabilitering.	Bundlevende organismer.
Spredning af sediment / partikler i havet.	Ved prøvetagning under efterforskning. Udledning af returvand under afvanding. Minedrift på havbunden. Modifikationer af havbunden under rehabilitering.	Bundlevende organismer. Fisk. Plankton.
Tildækning af organismer pga. spredning af sediment / partikler på havbunden.	Ved prøvetagning under efterforskning. Udledning af returvand under afvanding. Minedrift på havbunden. Modifikationer af havbunden under rehabilitering.	Bundlevende organismer.
Udledning af metaller.	Knusning af malm under minedrift. Udledning af returvand under afvanding.	Fisk. Plankton. Havpattedyr.
Udledning af kemikalier.	Udledning af returvand under afvanding. Udslip af kølevand fra produktionsenhed.	Plankton. Fisk. Havpattedyr.
Støj, vibrationer og lys.	Undervandsrobotter under efterforskning. Minekøretøjer under minedrift. Overfladefartøjer ved eftersøgning, minedrift og afslutning.	Fisk. Havpattedyr. Plankton.
Introduktion af fremmede arter.	Flytning af mineudstyr mellem lokaliteter med forskellig fauna (Skibsskrog og minekøretøjer). Udledning af ballastvand.	Bundlevende organismer. Plankton.
Energiforbrug og klimagas udledning.	Brug af drivmidler hvor der udledes CO ₂ , NO _x , nmVOC og SO _x fra skibe, produktionsenheder transportfartøjer ved eftersøgning, minedrift og afslutning.	Atmosfæren.

3.2 Oversigt over effekter – med udgangspunkt i den norske SMV med baggrundsrapporter

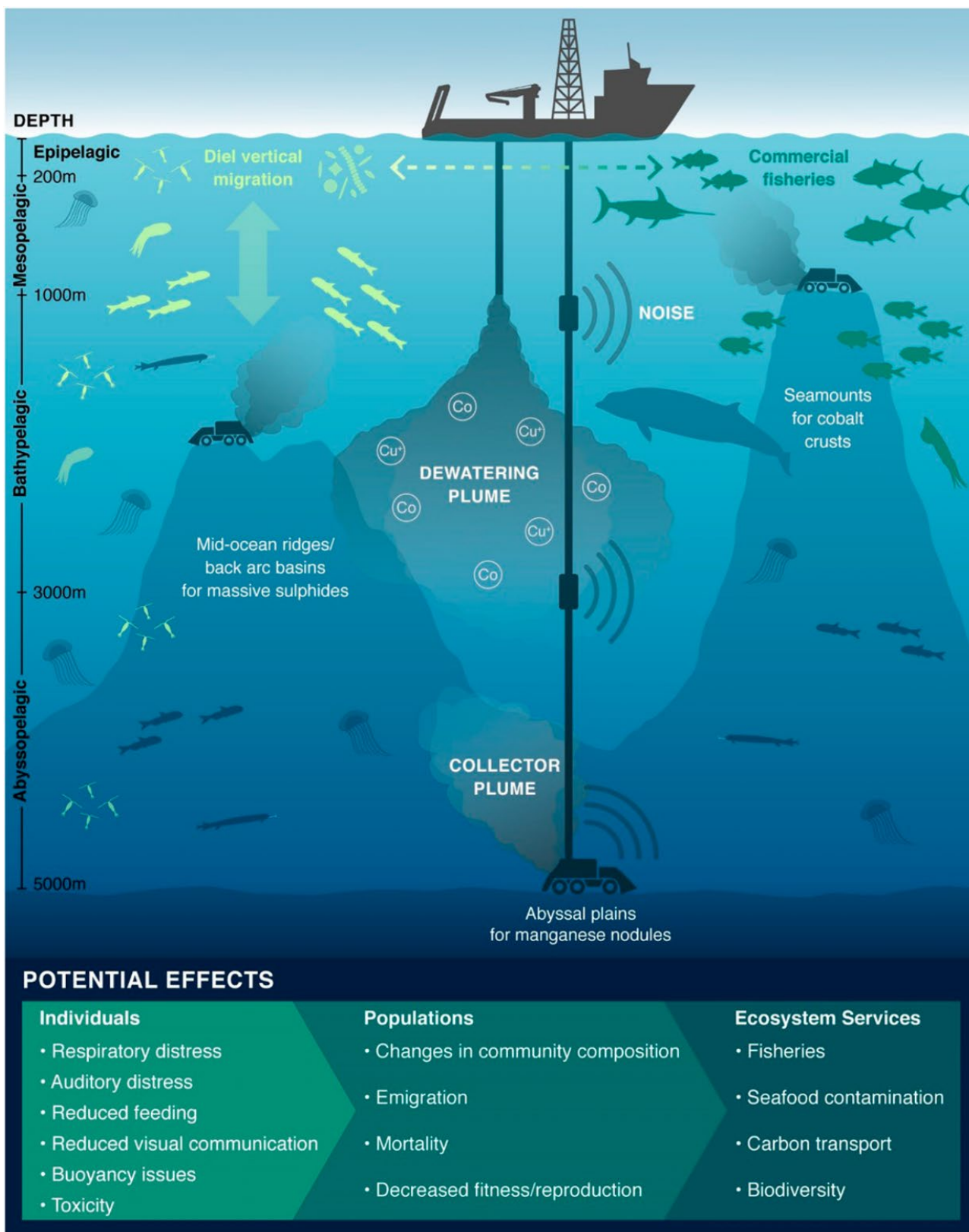
En række lande og organisationer har de seneste år haft øget fokus på dybhavsminedrift og i den forbindelse lavet forskellige miljørisiko- og miljøkonsekvensvurderinger af dybhavsminedrift (Tabel 1). I det Nordeuropæiske område er det især sulfider og manganskorper, der er fokus på, da mangan-klumper ikke findes i væsentligt omfang (OSPAR Commission, 2021). For Grønlands vedkommende er der identificeret 4 områder med hydrotermiske skorstene (Bilag 2). Vi har ikke fundet undersøgelser af mineralske ressourcer (hårde mineraler) i dybhavet indenfor den færøske EEZ.

Norge er det land i Europa, der er længst fremme med planer om minedrift i dybhavet indenfor egen EEZ. Det norske parlament har i 2023 vedtaget ved lov, at kommerciel efterforskning efter mineraler kan begynde i dybhavet. Der er fokus på sulfider og manganskorper (Olje- og energidepartementet, 2023). I forbindelse med godkendelsen har det Norske Olje- og energidepartement lavet en strategisk miljøvurdering (SMV) (Olje- og energidepartementet, 2022a) baseret på en række faglige baggrundsrapporter (Kutti et al., 2021; Larsen et al., 2022; Pedersen et al., 2022; Strøm et al., 2021). De miljømæssige påvirkninger er i SMV-rapporten inddelt efter periode: Før (eftersøgning), under (minedrift) og efter (afsluttende aktivitet) minedrift. Det fremgår heraf, at den væsentligste påvirkning af havmiljøet vil ske under selve minedriften.

I den norske SMV-rapport er der udarbejdet en oversigt over mulige påvirkninger og effekter ved dybhavsminedrift. Den norske SMV-rapport inddeler effekterne i fem kategorier: *Ingen, lille, mellem eller stor effekt* samt *vidensmangel*. Ved hvert vurderingstrin er effekten, varigheden og den rumlige udbredelse medtaget i vurderingen (Tabel 2).

Bemærk at dele af den litteratur, der bruges som supplerende litteratur i dette notat, omhandler effekter af minedrift på manganklumper. Den vurderes at være relevant for dybhavsminedrift generelt. Det drejer sig om følgende: (JPI Oceans, 2023; Keating-Bitonti, 2022; Lusty et al., 2021).

Sidst i kapitlet er der en tentativ sammenligning af de væsentligste miljøproblemstillinger ved dybhavsminedrift og hvordan deres potentielle miljøeffekter vurderes i den norske SMV og i forskellige reviews (Tabel 3).



Figur 9. Oversigtsfigur der viser, hvordan forskellige aktiviteter medfører påvirkninger, der kan have en række effekter for dyre-livet i havet (Drazen et al., 2020). Figuren er bragt med tilladelse fra ophavsretsholder. Original figurtekst: Mining-generated sediment plumes and noise have a variety of possible effects on pelagic taxa. (Organisms and plume impacts are not to scale.) Image credit: Amanda Dillon (graphic artist).

3.2.1 Fysisk påvirkning af havbund og dyreliv

SMV-rapport

Det beskrives i den norske SMV-rapport, at der i forhold til påvirkning og miljøeffekt er forskel på, om det drejer sig om udvinding af manganskorper eller sulfider (hydrotermale skorstene). Ved udvinding af sulfider vurderes miljøeffekten til at være *lille til mellemstor*, da det drejer sig om et lille område af havbunden, der bearbejdes i kortere tid, mens miljøeffekten ved udvinding af manganskorper anslås at være *mellemstor*, da det er større områder, der bearbejdes. Det forudsættes her, at der kun brydes sulfider ved inaktive hydrotermale skorstene. Biodiversiteten ved aktive hydrotermale skorstene er meget speciel og unik. Nogle arter er endemiske, dvs. at de kun findes i det pågældende område og forsvinder de her, er de udryddet globalt. Der er meget lidt viden om dyrelivet omkring hydrotermale skorstene og især dyrelivet ved de inaktive skorstene er ikke tilstrækkeligt undersøgt, der er derfor stor risiko for, at nye arter, der endnu ikke er beskrevet, kan gå tabt.

Direkte fjernelse af organismer med løftevandet vurderes til at have *lille* effekt, da det vil være i relativt begrænset omfang.

Supplerende information

Der peges i flere reviews på heterogeniteten og den høje artsrigdom i dybhavet (se bl.a. referencer i Tabel 1 og (Danovaro et al., 2014)), som sammenfattet i dette citat fra høringssvar fra Center for dybhavsforskning, Universitetet i Bergen²:

"... Denne formuleringen kan tolkes som å spille på myten om at dyphavet er homogent og stabilt, og at artene er de samme over store geografiske områder, men dette er et bilde som ikke er støttet av nyere data. Til og med sedimenterte sletter, som kan se ut som ørkenområder på avstand, har mye småskala heterogenitet, og er hjem til noe av den høyeste artsrikdommen i dyphavet. Faunaen i dyphavssedimenter er knapt studert i undersøkelsesområdet, men studier fra Norskehavet nær kontinentalsokkelen, og fra Islandshavet, indikerer at det er en høy grad av endemisme i dypet av de Nordiske havene sammenlignet med Nord-Atlanteren. Den arktiske midthavsryggen introduserer en stor grad av heterogenitet i undersøkelsesområdet, relatert til dybdegradienter, komplekse strømforhold knyttet til bunntopografien, varierte substrattyper og partikkelkarakteristikker i sedimentene, og fluks av næringsstoffer fra kjemosyntetisk primærproduksjon. Hvordan denne heterogeniteten former de biologiske samfunnene på og nær midthavsryggen er viktig å forstå bedre for å kunne forutsi miljøeffektene av gruvedrift"

Andre rapporter bemærker især det faktum, at hydrotermale skorstene er et meget sjældent og unikt habitat, da det anslås, at der kun findes 50 km² aktive hydrotermale skorstene på verdensplan. Det menes også, at størstedelen af dem indeholder arter, der er endemiske for den enkelte lokalitet. Dette kan betyde, at hvis substratet ved en hydrotermal skorsten ødelægges eller ændres, så er der stor risiko for, at ikke-kendte og unikke arter går tabt (EASAC, 2023; Lusty et al., 2021; OSPAR Commission, 2021). Når der ikke længere strømmer varmt vand ud af skorstenen, dvs. den er inaktiv, vil biodiversiteten forandres. Dette er en langvarig proces, og der vil i lang tid være et specielt

² (Olje- og energidepartementet, 2022b), s. 114 nr. 388

kemisk miljø, der medfører en speciel biodiversitet. Det påpeges, at biodiversiteten på og omkring de inaktive skorstene også er dårligt kendt. Den dybhavsøkologiske forskning har især fokuseret på de aktive skorstene (EASAC, 2023).

Det påpeges desuden, at der mangler viden om, hvor modstandsdygtige organismer, der lever ved f.eks. hydrotermale skorstene, er overfor minedriften (EASAC, 2023).

Afbødende tiltag

Det kan være svært at reducere effekterne af substratdestruktion, samt skader og fjernelse af organismer ved minedriften. Det anbefales af flere, at man etablerer fredningszoner i udvindingsområderne, for at formindske det sammenhængende areal af habitater, der bliver påvirket (EASAC, 2023; Olje- og energidepartementet, 2022b)³).

3.2.2 Spredning af sediment og tildækning af organismer

SMV-rapport

Ifølge den norske SMV-rapport er spredning af sediment og tildækning af organismer en af de betydeligste påvirkninger ved dybhavsminedrift. Miljøeffekten består i, at habitater og følsomme organismer dækkes af sediment over tålegrænsen for de bundlevende organismer. Derudover kan sedimentfanen i vandet forstyrre bunddyrenes adfærd, samt påvirke pelagiske (vandsøjlelevende) organismer og fiskeæg. Udslip af sediment højt oppe i vandsøjlen kan have konsekvenser for bl.a. planteplankton, da det begrænser indtrængningen af lyset i vandsøjlen.

Omfanget af effekterne afhænger af flere faktorer bl.a. mængden og størrelsen af de udledte partikler, flokkulering (sammenklumpning) af partikler i vandet, placeringen af udledningskilden, havstrømme og havdybder. Der vil typisk dannes en sedimentsky både ved brydningen på havbunden og ved udledningen af returvandet fra skibe ved havoverfladen (Figur 9). Returvandet kan udledes i skellige dybder og påvirkningen vil være forskellig, alt efter hvilken dybde det udledes i. Ved brydning på havbunden vil der kunne ske en påvirkning på 1-10 km afstand, dog kommer dette an på de førnævnte faktorer. Det påpeges, at der er stor mangel på viden om, hvordan sedimentfaner og sedimentationen vil påvirke bundlevende organismer i dybhavet. Samlet vurderes spredning og udledning af sediment i den norske SMV-rapport til at have *lille* til *stor* miljøeffekt.

Supplerende information

Spredningen af sediment er vurderet tilsvarende i flere andre rapporter til potentielt at have store miljøeffekter ved havbunden og i vandsøjlen (EASAC, 2023; JPI Oceans, 2023; Keating-Bitonti, 2022; Lusty et al., 2021; OSPAR Commission, 2021).

Potentielle effekter ved udledning af sediment kan være kvælning af bundlevende organismer, indførsel af næringsstoffer i næringsfattige områder,

³ Høringssvar fra Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) s. 81 og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) s. 103 (Olje- og energidepartementet, 2022b)

spredning af miljøgifte som f.eks. metaller, og sediment kan klæbe sig til fiskeæg og reducere opdriften og dermed overlevelsen (Larsen et al., 2022)

Deponering af slam på havbunden har potentiale for at skabe iltfrie miljøer og det er uvist, hvilken effekt dette kan have på skabelsen og udbredelsen af iltfrie miljøer og hvordan det vil påvirke aerobe organismer i mine-området generelt (Larsen et al., 2022).

Det er uvist, hvordan organismer længere nede i fødekæden vil reagere på en forøget mængde af mineralpartikler, og hvordan dette vil påvirke bioakkumulering af metaller og miljøgifte højere oppe i fødekæden (Larsen et al., 2022).

Eksperimenter viser, at restitueringen af miljøet efter aflejring af sediment-skyer sker meget langsomt (Lusty et al., 2021). Det anslås, at det kan tage fra 10 til flere hundrede år før miljøet er reetableret (OSPAR Commission, 2021).

Der er meget lidt information til rådighed omkring miljøeffekterne ved minedrift af manganskorper på undersøiske bjerge (Christiansen et al., 2020). Selvom sedimentlaget på de undersøiske bjerge generelt er tyndt, kan der ligge betydelige lag i lavninger, som har potentiale til at blive hvirvlet op ved minedrift (Christiansen et al., 2020). Der vil med stor sandsynlighed dannes store sedimentskyer, når manganskorperne bliver skrabet af, og de komplekse strømforhold, der eksisterer omkring undersøiske bjerge, kan gøre det svært at forudsige, hvordan sedimentskyerne vil bevæge sig (Christiansen et al., 2020). Der er risiko for, at sedimentskyerne påvirker fauna, der migrerer vertikalt i vandsøjlen, samt påvirker flora og fauna, der findes på overfladen af de undersøiske bjerge (Christiansen et al., 2020).

Afbødende tiltag

For at minimere effekten af sedimentspredning er det bl.a. foreslået, at evt. knusning af materiale foregår i et lukket kammer på havbunden og ikke udledes. En anden løsning kan være, at biprodukter efter knusning/skylning, dumpes på land i stedet for i havet (EASAC, 2023). Det er også muligt at tilføre flokkulationsmiddel til sedimentet, så det klumper sig sammen (flokullerer) og dermed falder hurtigere til bunds. Dette er dog ikke nødvendigvis en miljømæssig fordel og vil desuden betyde udledning af en vis mængde kemikalier i havet (EASAC, 2023; Lusty et al., 2021). Det vurderes, at jo dybere returvand udledes jo bedre, da partiklerne vil påvirke hvert lag i havet, som de synker igennem (Weaver et al., 2016).

3.2.3 Frisættelse af miljøfarlige stoffer

SMV-rapport

Minedrift af sulfider, manganskorper og manganklumper vil føre til frigivelse af metaller som spredes som mindre partikler over større områder. Derudover vil minedriften blotlægge "friske" overflader, som bliver udsat for oxidering og dermed kan metaller og halvmetaller frisættes og opløses i havvandet. Sedimentet, som udledes fra skibe med returvand, kan også indeholde metaller i skadelige koncentrationer og andre giftstoffer. Metalforurening kan, afhængigt af koncentrationen, føre til en øget dødelighed, hæmning af vækst og lavere reproduktionsrater. Disse effekter vil især forekomme nær udlednings-

stedet, hvor koncentrationerne er højest. Der er lavet undersøgelser i forbindelse med Solwara-1 projektet i Stillehavet, og her viste målinger, at der skete en fortynding på 300 gange indenfor 100 meter fra udledningsstedet. Udslip af metaller vurderes i den norske SMV-rapport til at have en *lille* til *mellem* miljøeffekt. Bearbejdning af malmen vil i Norge foregå på land, og dermed forventes der ikke kemikaliebrug til søs.

Supplerende information

Det vurderes generelt, at udledning og frigørelse af miljøskadelige stoffer fra minedrift af sulfider, manganklumper og manganskorper er en miljørisiko af varierende grad, da det kommer an på typen af minedrift og hvordan malmen forarbejdes (EASAC, 2023; JPI Oceans, 2023; Lusty et al., 2021; OSPAR Commission, 2021).

Som med udledningen af sediment, kan det være svært at bedømme, hvor stor miljøeffekt en potentiel industriel frigørelse af miljøskadelige stoffer kan have, i forhold til hvad man måler under eksperimenter i mindre skala (Lusty et al., 2021). Og det er ukendt, hvor lang restitutionsperiode habitaterne vil have efter endt påvirkning (OSPAR Commission, 2021). Pulveriseringen af aflejringer ved minedrift ved hydrotermale skorstene kan blotlægge sulfidholdige overflader, som kan indeholde tungmetaller. Disse overflader kan oxidere efter blotlægning, og kan dermed frigøre disse metaller til havet i en længere periode (EASAC, 2023). Især ved minedrift af hydrotermale skorstene angives, at frigørelse af skadelige stoffer kan have store konsekvenser for dyrelivet. Da de enkelte habitater ved de hydrotermale skorstene er unikke, har de også potentiale til at være meget følsomme overfor påvirkninger.

Afbødende tiltag

For at minimere risikoen for metalforurening kan der benyttes de samme virkemidler som til at begrænse sedimentspredning. Hvis spredningen af sediment mindskes, vil spredningen af metaller og andre miljøskadelige stoffer også mindskes (EASAC, 2023; JPI Oceans, 2023).

3.2.4 Støj, vibration og lys

SMV-rapport

Påvirkning med undervandsstøj kan potentielt medføre store effekter på især hvaler, men også fisk, som bruger lyd til kommunikation, kan blive forstyrret af lyd og vibrationer. Lys kan være et problem for fugle og fisk, der tiltrækkes af lyset. Fugle kan blive desorienterede og kolliderer med skibe eller andre strukturer. Det vurderes i den norske SMV-rapport, at effekten af støj under udvinding fra dybhavet vil være stærkt begrænset og have *ingen til lille* effekt på pattedyr, fugle og fisk.

Supplerende information

Der er stor usikkerhed m.h.t. vurderingen af effekter af støj, vibrationer og lys ved udvinding. Det påpeges, at en større skibstrafik kan betyde, at flere dyr bliver påvirket af lys, støj, vibrationer eller kollision med skibene (Keating-Bitonti, 2022). Der er meget få studier, der har analyseret, hvordan lyd påvirker bundlevende organismer i dybhavet, og hvordan vibrationer påvirker organismer, der lever i vandsøjlen (OSPAR Commission, 2021). Kunstigt lys kan

også forstyrre bio-luminescens, som er en fundamental del af mange dybhavsorganismer og bruges til kommunikation, fødesøgning, parring og forsvar (Weaver et al., 2016). Lys fra skibe på overfladen kan tiltrække fugle og forstyrre deres migrationsmønstre (Weaver et al., 2016). Det påpeges desuden, at det foreløbig er uklart, hvor meget støj og lys kan påvirke mikrobiologiske processer og dermed medføre effekter på udledningen af CO₂ og metan fra havbunden (EASAC, 2023)

Afbødende tiltag

For at minimere effekten af støj og lys, kan man benytte sig af de allerede etablerede grænser for støj, der eksisterer for operationer på lavere vand samt fra olie- og gasindustrien (JPI Oceans, 2023).

3.2.5 Risiko for tilførsel af fremmede arter

SMV-rapport

En større intensitet af skibstrafik giver forøget potentiale til at tilføre ikke-hjemhørende arter. Det er specielt ballastvand, der er en stor kilde til en tilførsel af fremmede arter. Det vurderes i SMV-rapporten, at der kan være *stor* effekt ved tilførsel af fremmede arter i de pågældende områder, men risikoen vurderes til at være *lille*.

Supplerende information

Tilførsel af fremmede arter nævnes i flere review-rapporter som et potentielt stort problem ved dybhavsminedrift. Ballastvand nævnes som en potentielt væsentlig kilde (JPI Oceans, 2023; OSPAR Commission, 2021). Da skibene, der bruges til transport af materiale, skal kunne indtage og aflevere store mængder malm, må det antages, at udledning af ballastvand bliver en almindelig procedure under minedriften.

Afbødende tiltag

Man bør her overholde de internationalt vedtagne regler på området for at minimere mængden af fremmede organismer der tilføres i mineområdet (JPI Oceans, 2023).

Tabel 3. Oversigt over væsentlige miljøproblemstillinger ved dybhavsminedrift og en tentativ tolkning af, hvordan forskellige reviews (se tabel 1) vurderer de potentielle miljøeffekter. Der skal tages forbehold for, at forskellige reviews har forskellig geografisk fokus (primært norsk EEZ og Clarion-Clipperton) og, at teknologien til udvinding er under udvikling og derfor dårligt defineret. Omfanget af miljøproblemet vurderes ud fra de potentielle miljøeffekter på en tredelt skala til at være lille, mellem eller stort. X Lille, X Mellem, X Stort

Problematik	EASAC (EASAC, 2023)	Norge (Olje- og energidepartementet, 2022a)	USA (Keating-Bi- tonti, 2022)	UK (Lusty et al., 2021)	OSPAR (OSPAR Com- mission, 2021)
Mangel på viden		X -> X	X	X	X
Udledning af Sedi- mentskyer	X	X -> X	X	X	X
Fysisk destruktion af substrat	X	X -> X	X	X	X
Støj, vibration og lys	X	X	X	X	X
Udledning af miljøska- delige stoffer, herun- der metaller, sulfider, kemikalier og radioak- tive materialer	X	X			X
Indføring af invasive arter		X			X

3.3 Vurdering af vidensniveau – Den norske SMV

Ved høringen af SMV-rapporten fra OED påpegede flere norske vidensinstitutioner, at der mangler meget væsentlig viden, før der kan gennemføres en forvaltning af dybhavsminedrift under iagttagelse af forsigtighedsprincippet. Der henvises her til høringssvar fra Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA)⁴, Norges Teknisk Natuvitenskapelige Universitet (NTNU)⁵, Senter for dyphavsforskning, Universitetet i Bergen⁶ og Norsk Polarinstitutt⁷

⁴ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-konsekvensutredning-pa-norsk-kontinentalsokkel/id2937810/?uid=2fe47dd5-0d7b-4d52-adba-25a76d667212>

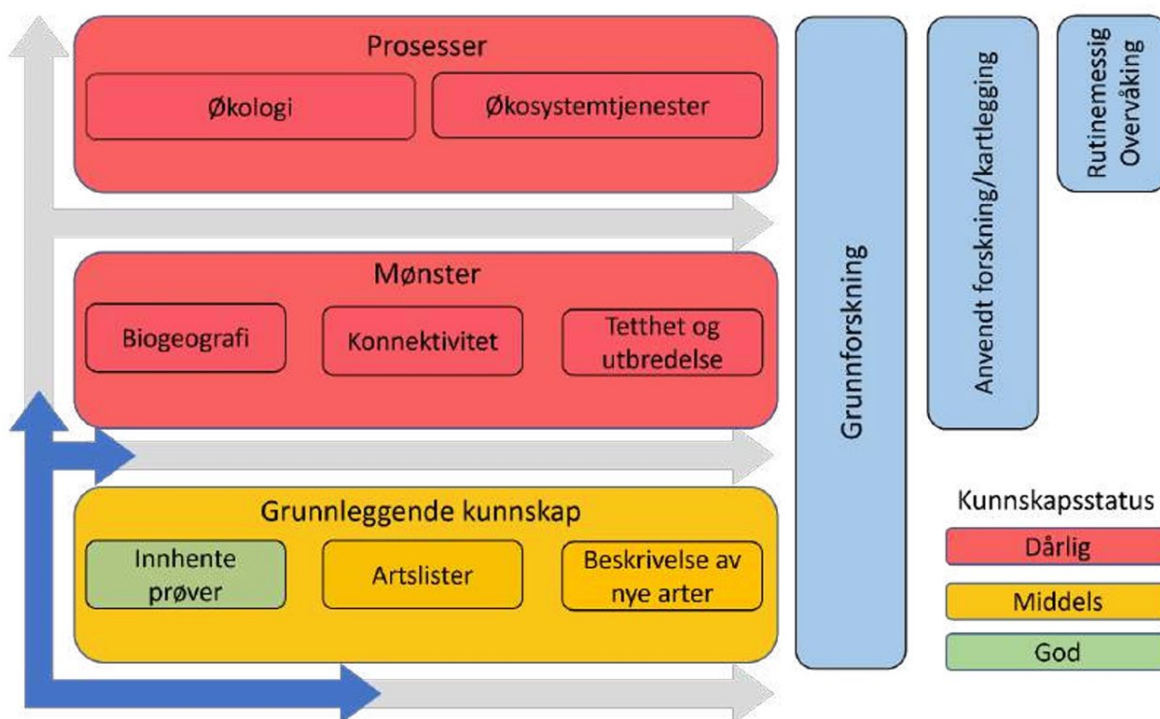
⁵ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-konsekvensutredning-pa-norsk-kontinentalsokkel/id2937810/?uid=a15b9636-521b-4f7e-9d6c-d8da792d5774>

⁶ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-konsekvensutredning-pa-norsk-kontinentalsokkel/id2937810/?uid=f5c6569f-599a-445e-8db9-f4c9f63495be>

⁷ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-konsekvensutredning-pa-norsk-kontinentalsokkel/id2937810/?uid=4d4f20be-02fd-450f-ab8b-ddf4f92a8892>

Senter for dyphavsforskning, Universitetet i Bergen, der er ansvarlig for baggrundsrapporten om de benthiske økosystemer (Pedersen et al., 2022), sammenfatter i deres rapport vurderingen af usikkerhed og vidensmangel således (direkte citat oversat til dansk):

”På trods af de store mængder økologiske data, som er blevet indsamlet i de senere år og systematiseret i denne rapport, har vi stadig store videnshuller [Figur 10 herunder]. Det forhindrer os i at foretage en objektiv vurdering af de miljøsici, som mineraludvinding på havbunden medfører. Grundlæggende videnskabelig viden mangler især for de naturtyper, der er mest relevante med hensyn til mineralressourcer – inaktive sulfidaflejringer og manganskorper på undersøiske bjerge – men også fra blødbundshabitater, som ofte dækker gamle sulfidaflejringer, og som vil blive stærkt påvirket af evt. mineraludvinding. Bedre viden om miljøsici fra menneskelig aktivitet, herunder undervandsminedrift, og virkningerne af klimaændringer kræver omfattende undersøgelser, der omfatter både kortlægning af kendte arter og beskrivelse af hidtil ukendte arter. Ydermere er basisundersøgelser til at undersøge omfang og udbredelsesmønstre relateret til bundfaunaen nødvendige for at kunne sige noget om eventuelle ændringer i fremtiden. For at nærme sig et vidensniveau, der muliggør rutinemæssige (overvågnings)undersøgelser, svarende til vidensniveauet på kontinentalsoklen og langs den norske kyst, er der meget og ressourcekrævende arbejde tilbage.” (Pedersen et al., 2022).



Figur 10. Vidensstatus for dyphavsforskning i de nordiske have (i norsk EEZ). Boksene til venstre viser en videns-stige fra grundlæggende viden, som hvilke arter, der kan findes, og frem til en samlet forståelse af økosystemets opbygning og rolle i forhold til omgivende økosystemer. De blå pile viser, hvor langt forskningen er nået i øjeblikket. Boksene til højre (blå) illustrerer, hvilken type forskningsindsats man har på trinene på videns-stigen. Grundforskning vil altid spille en vigtig rolle, som den stadig gør i velundersøgte økosystemer, mens anvendt forskning og kortlægning kræver et fundament af viden. Monitorering svarende til recipientundersøgelser foretaget efter f.eks. Vandrammedirektivets vejledning 02:2018 er en tilgang, man ikke har forudsætninger for at gennemføre, før der er en betydelig viden om et miljø og dets reaktion på påvirkninger. Figur fra (Pedersen et al., 2022).

4 Referencer

Christiansen, B., Denda, A., & Christiansen, S. (2020). Potential effects of deep seabed mining on pelagic and benthopelagic biota. *Marine Policy*, 114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.014>

Claus, S., De Hauwere, N., Vanhoorne, B., Hernandez, F., & Mees, J. (2013). *Position of the exclusive economic zones in the Arctic*. https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/MarineRohstoffforschung/Bilder/wirtschaftszonen_arktis_p_en.html

Cuyvers, L., Berry, W., Gjerde, K., Thiele, T., & Wilhem, C. (2018). *Deep Seabed Mining*. International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources. <https://doi.org/https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.16.en>

Danovaro, R., Snelgrove, P. V., & Tyler, P. (2014). Challenging the paradigms of deep-sea ecology. *Trends Ecol Evol*, 29(8), 465-475. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.06.002>

EASAC. (2023). *Deep-Sea Mining: assessing evidence on future needs and environmental impacts*. <https://easac.eu/publications/details/deep-sea-mining-assessing-evidence-on-future-needs-and-environmental-impacts>

Hein, J. (2004). Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts: Global Distribution, Composition, Origin and Research Activities. In *Minerals Other than Polymetallic Nodules of the International Seabed Area*. International Seabed Authority.

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*, 27(1), 71-103. <https://doi.org/10.1007/bf02536805>

JPI Oceans. (2023). *MiningImpact 2 - Environmental impacts and risks of deep-sea mining*. <https://www.jpi-oceans.eu/en/miningimpact-2>

Keating-Bitonti, C. (2022). *Seabed Mining in Areas Beyond National Jurisdiction: Issues for Congress*. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47324>

Kutti, T., Mork, K., Chierici, M., Børsheim, K., Bagøien, E., Knutsen, T., Broms, C., Klevjer, T., Strand, E., Gjørseter, H., Stenevik, E., Høines, Å., Windsland, K., & Frie, A. (2021). *Pelagiske økosystem i de Nordiske hav: Grunnlagsstudie knyttet til åpningsprosess for utforskning og utvinning av havbunnsmineraler på norsk Kontinentalsokkel* (Rapport fra havforskningen). <https://www.regjeringen.no/contentassets/dbf5144d0fbc42b5a4db5fc7eb4fa312/vedlegg-4.-havforskningsinstituttet.-pelagiske-okosystem-i-de-nordiske-hav.pdf>

Larsen, L.-H., Jensen, J. D., Bjørgesæter, A., Cochrane, S., Aaserød, M. I., Sagerup, K., Dyb, K., & Pedersen, K. B. (2022). *Virkninger for naturforhold, miljø og annen næringsvirksomhet relatert til konsekvensutredning for åpning av norsk sokkel for havbunnsmineralvirksomhet*. https://www.regjeringen.no/contentassets/a3dd0ce426a14e25abd8b55154f34f20/virkninger-for-naturforhold-miljo-og-annen-naringsvirksomhet_ikm-acona_akvaplan-niva.pdf

Lavelle, J. W., & Mohn, C. (2010). Motion, commotion, and biophysical connections at deep ocean seamounts. *Oceanography*, 23(1), 90-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.5670/oceanog.2010.64>

Lusty, P., Jones, D., Diz, D., Durden, J., Grant, H., & Josso, P. (2021). *Deep-Sea Mining Evidence Review*. <https://www.bgs.ac.uk/news/deep-sea-mining-evidence-review-published/>

Mukherjee, S., Ghosh, K. K., & Chanda, A. (2023). *Environmental Oceanography and Coastal Dynamics*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-34422-0>

Olje- og energidepartementet. (2022a). *Konsekvensutredning - undersøkelse og utvinning av havbunnsmineraler på norsk kontinentalsokkel*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/dbf5144d0fbc42b5a4db5fc7eb4fa312/-horingsdokument-konsekvensutredning-for-mineralvirksomhet-pa-norsk-kontinentalsokkel-l1415388.pdf>

Olje- og energidepartementet. (2022b). *Høring av forslag til konsekvensutredningsprogram for mineralvirksomhet på norsk kontinentalsokkel – behandling av de innkomne høringsinnspillene*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/a3dd0ce426a14e25abd8b55154f34f20/vurdering-av-horings-innspill-forslag-til-konsekvensutredningsprogram-for-mineralvirksomhet-pa-norsk-kontinentalsokkel-l1261.pdf>

Olje- og energidepartementet. (2023). *Mineralverksømd på norsk kontinentalsokkel: opning av areal og strategi for forvaltning av ressursane* (Melding til Stortinget 25). <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20222023/id2985856/>

OSPAR Commission. (2021). *OSPAR technical report on current understanding of deep seabed mining resources, technology, potential impacts and regulation along with the current global demand for minerals*. <https://www.ospar.org/documents?v=46926>

OSPAR Commission. (2022). *Status Assessment 2022 - Seamounts*. <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/committee-assessments/biodiversity-committee/status-assessments/seamounts/>

Pedersen, R., Olsen, B., Barreyre, T., Bjerga, A., Denny, A., Eilertsen, M., Fer, I., Haflidason, H., Hestetun, J., Jørgensen, S., Ribeiro, P., Steen, I., Stubseid, H., Tandberg, A., & Thorseth, I. (2022). *Fagutredning mineralressurser i norskehavet: landskapstrekk, naturtyper og bentiske økosystemer*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/dbf5144d0fbc42b5a4db5fc7eb4fa312/-vedlegg-3.-senter-for-dyphavsforskning-uib.-landskapstrekk-naturtyper-og-bentiske-okosystemer.pdf>

Råstofstyrelsen. (2023). *Mineralaktiviteter i Grønland 2023*. https://naalak-kersuisut.gl/Departementer/Dep_for_Erhverv_Handels_Raastoffer_og_Justitsomraadet/Publikation?sc_lang=da

Strøm, H., Merkel, B., Tarrow, A., & Lorentzen, E. (2021). *Sjøfugl i havområdene rundt Jan Mayen og langs den midtatlantiske rygg - Grunnlagsrapport i forbindelse med åpningsprosess for utforskning og utvinning av havbunnsmineraler på norsk kontinentalsokkel*. N. Polarinstitut. https://www.regjeringen.no/content-assets/a3dd0ce426a14e25abd8b55154f34f20/sjofugl-i-havomradene-rundt-jan-mayen-og-langs-den-midtatlantiske-rygg_np.pdf

Weaver, P., Mohn, C., Tougaard, J., Gustavson, K., Koepcke, M., Wegeberg, S., De Jonge, L., Tougaard, J., Lavaleye, M., van der Schaar, M., Verduyn, P., & De Wachter, T. (2016). *D5.1 Report on inventory of environmental pressures (Blue Nodules Deliverable report)*. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5a896db42&appId=PPGMS>

5 Bilag

Bilag 1. Supplerende videnskabelig litteratur vedrørende miljøpåvirkning og miljøeffekter af dybhavsminedrift med udvalgte citater fra abstracts og/eller konklusioner

Generelle Reviews

Amon, D. J., Gollner, S., Morato, T., Smith, C. R., Chen, C., Christiansen, S., et al. (2022). Assessment of scientific gaps related to the effective environmental management of deep-seabed mining. *Marine Policy*, 138, 105006.

A comprehensive understanding of the deep-sea environment and mining's likely impacts is necessary to assess whether and under what conditions deep-seabed mining operations comply with the International Seabed Authority's obligations to prevent 'serious harm' and ensure the 'effective protection of the marine environment from harmful effects' in accordance with the United Nations Convention on the Law of the Sea. A synthesis of the peer-reviewed literature and consultations with deep-seabed mining stakeholders revealed that, despite an increase in deep-sea research, there are few categories of publicly available scientific knowledge comprehensive enough to enable evidence-based decision-making regarding environmental management, including whether to proceed with mining in regions where exploration contracts have been granted by the International Seabed Authority.

Christiansen, B., Denda, A., & Christiansen, S. (2020). Potential effects of deep seabed mining on pelagic and benthopelagic biota. *Marine Policy*, 114, 103442.

... Some impacts will be directly lethal, but most will impair processes associated with feeding, growth and reproduction, which can ultimately lead to smaller standing stocks, altered communities and loss of biodiversity. The actual scale of effects remains unknown until the is better investigated and the technology becomes specified.... (www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/-pelagic-ecosystem)

Collins, P. C., Croot, P., Carlsson, J., Colaço, A., Grehan, A., Hyeong, K., ... & Rowden, A. (2013). A primer for the environmental impact assessment of mining at seafloor massive sulfide deposits. *Marine Policy*, 42, 198-209.

Gollner, S., Kaiser, S., Menzel, L., Jones, D. O. B., Brown, A., Mestre, N. C., et al. (2017). Resilience of benthic deep-sea fauna to mining activities. *Mar. Environ. Res.* 129, 76–101. doi: 10.1016/j.marenvres.2017.04.010

With increasing demand for mineral resources, extraction of polymetallic sulphides at hydrothermal vents, cobalt-rich ferromanganese crusts at seamounts, and polymetallic nodules on abyssal plains may be imminent. Here, we shortly introduce ecosystem characteristics of mining areas, report on recent mining developments, and identify potential stress and disturbances created by mining. We analyze species' potential resistance to future mining and perform meta-analyses on population density and diversity recovery after disturbances most similar to mining: volcanic eruptions at vents, fisheries on seamounts, and experiments that mimic nodule mining on abyssal plains. We report wide variation in recovery rates among taxa, size, and mobility of fauna. While densities and diversities of some

taxa can recover to or even exceed pre-disturbance levels, community composition remains affected after decades. The loss of hard substrata or alteration of substrata composition may cause substantial community shifts that persist over geological timescales at mined sites.

Jones, D.O.B., Amon, D.J., Chapman, A.S.A. (2018). Mining Deep-Ocean Mineral Deposits: What are the Ecological Risks? *Elements* 14 (5), 325–330.

Current interest in deep-sea mining is focused on three habitats for which we are lacking fundamental baseline knowledge about species composition, ecology, and natural environmental conditions. It is, however, without doubt that deep-sea mining has the potential to have far-reaching impacts on our oceans, both shallow and deep. While some impacts will be resource-specific, mineral deposit extraction will broadly affect local and regional marine communities by removing suitable habitats, creating far-reaching sediment plumes and reducing population sizes (or, in the case of rare or specialist species, causing extinctions). Deep-sea mining will impact habitats, which will take, at a minimum, decades to recover. The need for baseline information about reproduction, growth, population sizes, diversity, distributions and more is essential for successful environmental impact assessments and sustainable management of these habitats during mineral extraction.

Miller KA, Thompson KF, Johnston P and Santillo D (2018) An Overview of Seabed Mining Including the Current State of Development, Environmental Impacts, and Knowledge Gaps. *Front. Mar. Sci.* 4:418. doi: 10.3389/fmars.2017.00418 (Greenpeace financed this scientific paper)

In this paper, we have outlined some of the very significant questions that surround plans for large-scale commercial minerals mining, whether within continental shelf boundaries or in the Area. When the mining of deep-sea minerals was first proposed several decades ago, knowledge of the deep-sea environment was relatively poor, as was our understanding of the potential impacts of seabed mining. Though our understanding of deep-sea biodiversity remains limited, it is evident that many species have specific life-history adaptations (for example, slow growing and delayed maturity; Ramirez-Llodra et al., 2010). Recovery from human-mediated disturbance could take decades, centuries or even millennia, if these ecosystems recover at all. Myriad impacts relate to seabed mining including the potential for conflicts with the interests of other users of the sea. At the time of writing, the ISA was in the process of developing a regulatory framework for managing mining in the Area. The details of the environmental management framework the ISA will adopt is still unclear. Key issues that need to be defined before commercial mining operations begin, including how states can meet their duty, as stipulated in UNCLOS Article 145, to effectively protect the marine environment. As understanding deepens with respect to ecosystem services and the role of the oceans in mitigating climate change, it seems wise to ensure that all necessary precautions are taken before any decision to allow deliberate disturbance that could have long-lasting and possibly unforeseen consequences.

Washburn, T.W., Turner, P.J., Durden, J.M., Jones, D.O.B., Weaver, P., Van Dover, C.L. (2019). Ecological risk assessment for deep-sea mining. *Ocean & Coastal Management* 176, 24-39. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.04.014>.

Expert opinion survey: Key benthic habitats associated with deep-sea mining are perceived to be vulnerable to risks associated with habitat alteration with a high degree of certainty. For other risk sources, vulnerabilities are poorly constrained. Given the paucity of deep-sea experts and the substantial uncertainties of expert opinions elicited here, there remains a critical and urgent need for resource and site-specific modeled and measured baselines and monitoring methods. There is also a strong need for determination of acceptable thresholds for all potential risk sources and biological consequences, even for lower ranked risk sources and habitats perceived to be less vulnerable. Scientific data will be important for informed guidance and decision-making as the ISA fulfills its obligations to protect and preserve the marine environment and for effective responses to indications of impending serious environmental harm. Test mining with robust environmental impact assessments are acknowledged as key steps toward delivering quantitative measures of risks and biological consequences. Decision makers must remain cognizant of the immense knowledge gaps that persist in understanding environmental consequences of deep-sea mining activities and the slow pace at which this knowledge can be acquired, disseminated, and vetted by the expert community.

Weaver, P.P.E., Billett, D.S.M., Van Dover, C.L. (2018). Environmental risks of deep-sea mining. In: Salomon, M., Markus, T. (Eds.), Handbook on Marine Environment Protection. Springer International Publishing AG, pp. 215–245.

The mining of the deep-sea for minerals has been on the horizon for many years with interest increasing rapidly since 2010 following the application for, and approval of, many new contracts for exploration in international waters. Some contracts for exploitation have been granted in national waters with mining expected in the next few years. These activities will impact ecosystems that have not been affected by man's influence before, and many of them are poorly understood due to their remoteness and complexity. This paper describes the likely impacts for mining the three main deep-sea minerals – manganese nodules, cobalt crusts and polymetallic sulphides and briefly looks at possible mitigation measures.

Artikler med fokus på biodiversitet

Boschen-Rose RE and Colaço A (2021) Northern Mid-Atlantic Ridge Hydrothermal Habitats: A Systematic Review of Knowledge Status for Environmental Management. *Front. Mar. Sci.* 8:657358.

doi: 10.3389/fmars.2021.657358

Highly specialised biota occurring at hydrothermally active vents on the northern Mid-Atlantic Ridge (nMAR: from south of Iceland to the Equator) have been the subject of numerous research projects over the 36-year period since these habitats were first discovered in the region. When hydrothermal activity ceases, biota endemic to hydrothermally active habitats are lost, and a new biota colonise these sites. Little is known about the biota colonising hydrothermally inactive sulphide habitats on the nMAR, although these sites may be the target of deep-sea mining within the next decade. In this review, we seek to clarify the current knowledge of biological communities colonising hydrothermally active habitats and inactive sulphide habitats on the nMAR.

Simon-Lledó, E., Bett, B.J., Huvenne, V.A.I., Schoening, T., Benoist, N.M.A., Jones, D.O.B. (2019) Ecology of a polymetallic nodule occurrence gradient: Implications for deep-sea mining. *Limnol Oceanogr*, 64: 1883-1894. doi:10.1002/lno.11157.

Ramirez-Llodra, Eva. (2020). Deep-Sea Ecosystems: Biodiversity and Anthropogenic Impacts. 10.1163/9789004391567_004. In book: *The Law of the Seabed*

Vanreusel, A. et al. (2016). Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Sci. Rep.* 6, 26808; <https://doi.org/10.1038/srep26808>.

In this study video surveys were used to compare the epifauna from sites with contrasting nodule coverage in four license areas. Results showed that epifaunal densities are more than two times higher at dense nodule coverage (>25 versus ≤10 individuals per 100 m²) and that taxa such as alcyonacean and antipatharian corals are virtually absent from nodule-free areas. Furthermore, surveys conducted along tracks from trawling or experimental mining simulations up to 37 years old, suggest that the removal of epifauna is almost complete and that its full recovery is slow.

Simon-Lledó, E., Bett, B.J., Huvenne, V.A.I. et al. (2019). Biological effects 26 years after simulated deep-sea mining. *Sci Rep* 9, 8040.

The potential for imminent abyssal polymetallic nodule exploitation has raised considerable scientific attention. The interface between the targeted nodule resource and sediment in this unusual mosaic habitat promotes the development of some of the most biologically diverse communities in the abyss. However, the ecology of these remote ecosystems is still poorly understood, so it is unclear to what extent and timescale these ecosystems will be affected by, and could recover from, mining disturbance. Using data inferred from seafloor photo-mosaics, we show that the effects of simulated mining impacts, induced during the “DISturbance and reCOLonization experiment” (DISCOL) conducted in 1989, were still evident in the megabenthos of the Peru Basin after 26 years. Suspension-feeder presence remained significantly reduced in disturbed areas, while deposit-feeders showed no diminished presence in disturbed areas, for the first time since the experiment began. Nevertheless, we found significantly lower heterogeneity diversity in disturbed areas and markedly distinct faunal compositions along different disturbance levels. If the results of this experiment at DISCOL can be extrapolated to the Clarion-Clipperton Zone, the impacts of polymetallic nodule mining there may be greater than expected, and could potentially lead to an irreversible loss of some ecosystem functions, especially in directly disturbed areas.

Katona, S., Paulikas, D., Ali, S. et al. Land and deep-sea mining: the challenges of comparing biodiversity impacts. *Biodivers Conserv* 32, 1125–1164 (2023). <https://doi-org.ez.statsbiblioteket.dk/10.1007/s10531-023-02558-2>.

The term ‘biodiversity,’ while casually used in practice, is a complicated subject to measure, interpret, contextualize, and compare. Yet the possible advent of deep-sea mining in the mid-2020’s compels us to compare potential impacts of biodiversity loss across ecologically distant realms, a formidable task. Supplying the world’s green infrastructure is expected to lead to shortages of nickel, cobalt and other metals; meanwhile polymetallic nodules sitting atop the abyssal plains of the Clarion-Clipperton Zone (CCZ) of the Pacific Ocean contain billions of tons of nickel, cobalt, copper and manganese, enough to solve the supply issues. Implicit

in society's decision of whether to exploit this resource is a tradeoff of harm to biodiversity in the CCZ's abyssal seafloor and its overlying water column, versus intensification of harm to rainforests and other terrestrial mining habitats. Here we frame the challenges of comparing biodiversity impacts across such different realms, spanning the gamut from normative to fundamental: ambiguities in definitions, lack of protocol standardization, physical challenges in measurement, difficulties to integrate measures among different taxonomic groups, profound differences between ecologically distant realms, contextual necessity to attribute value to mathematical index results, and constraints of current knowledge about species, ecosystems and system level impacts of biodiversity change. Quantitative biodiversity measures alone cannot rank one system above the other; measures must be supplemented with qualitative judgements of the tangible and intangible values of species and habitats to natural systems and to humans, along with consideration of other threats that they and we face.

Danovaro, R., Snelgrove, P. V. R., & Tyler, P. (2014). Challenging the paradigms of deep-sea ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(8), 465-475. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.06.002>

Deep-sea ecosystems represent Earth's major ecological research frontier. Focusing on seafloor ecosystems, we demonstrate how new technologies underpin discoveries that challenge major ecological hypotheses and paradigms, illuminating new deep-sea geosphere-biosphere interactions. We now recognize greater habitat complexity, new ecological interactions and the importance of 'dark energy', and chemosynthetic production in fuelling biodiversity. We also acknowledge functional hotspots that contradict a food-poor, metabolically inactive, and minor component of global carbon cycles. Symbioses appear widespread, revealing novel adaptations. Populations show complex spatial structure and evolutionary histories. These new findings redefine deep-sea ecology and the role of Earth's largest biome in global biosphere functioning. Indeed, deep-sea exploration can open new perspectives in ecological research to help mitigate exploitation impacts.

Gooday, A. J., Schoenle, A., Dolan, J. R., & Arndt, H. (2020). Protist diversity and function in the dark ocean - Challenging the paradigms of deep-sea ecology with special emphasis on foraminiferans and naked protists. *European Journal of Protistology*, 75. https://doi.org/ARTN_12572110.1016/j.ejop.-2020.125721

This review considers the globally important role of pelagic and benthic protists across all protistan size classes in the deep-sea realm, with a focus on their taxonomy, diversity, and physiological properties, including their role in deep microbial food webs. We argue that, given the important contribution that protists must make to deep-sea biodiversity and ecosystem processes, they should not be overlooked in biological studies of the deep ocean.

Artikler med fokus på sedimentfaner

Aleynik D, Inall ME, Dale A, Vink A (2017) Impact of remotely generated eddies on plume dispersion at abyssal mining sites in the Pacific. *Scientific Reports* 7:16959

Gillard, B, et al. 2019. Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). *Elem Sci Anth*, 7: 5. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.343>

Haalboom, S., de Stigter, H. C., Mohn, C., Vandorpe, T., Smit, M., de Jonge, L., Reichart, G.-J. (2022a 2023) Monitoring of a sediment plume produced by a deep-sea mining test in shallow water, Málaga Bight, Alboran Sea (south-western Mediterranean Sea). *Marine Geology*, 456, 106971. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106971>.

Haalboom, S., Schoening, T., Urban, P., Gazis, I. Z., de Stigter, H., Gillard, B., et al. (2022b). Monitoring of anthropogenic sediment plumes in the clarion-clipperton Zone, NE equatorial Pacific Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 9, Art-Nr. 882155.

Muñoz-Royo, C., Ouillon, R., El Mousadik, S., Alford, M. H., & Peacock, T. (2022). An in situ study of abyssal turbidity-current sediment plumes generated by a deep seabed polymetallic nodule mining preprototype collector vehicle. *Science Advances*, 8(38), eabn1219.

Rolinski, S., Segschneider, J. & Sundermann, J. (2001) Long-term propagation of tailings from deep-sea mining under variable conditions by means of numerical simulations. *Deep-Sea Res. Pt II* 48, 3469–3485.

Numerical experiments that simulate the dispersion and resettling of particulate matter in a potential deep-sea mining area are used to estimate the possible long-term effects from deep-sea mining on the benthic ecosystem. The mining of manganese nodules is estimated to stir up 50,000tonne of sediment per day, an estimated 4000tonne of which is transported to the surface together with the nodules. Results differ strongly depending on the properties of the released sediments. Resettling of 90–95% of the total mass of the relatively fine grain-size distribution takes 3–14 years depending on the water depth of the release, whereas it is deposited shortly after release for the coarser distribution.

Spearman, J., Taylor, J., Crossouard, N. et al. (2020) Measurement and modeling of deep sea sediment plumes and implications for deep sea mining. *Sci Rep* 10, 5075. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61837-y>.

Weaver, P. P. E., Aguzzi, J., Boschen-Rose, R. E., Colaço, A., de Stigter, H., Gollner, S., Haeckel, M., Hauton, C., Helmons, R., Jones, O.D.B., Lily, H., Mestre, N.C., Mohn, C., Thomsen, L. (2022). Assessing plume impacts caused by polymetallic nodule mining vehicles. *Marine Policy*, 139, 105011.

Artikler med fokus på miljøregulering

Paper by ISA Chair:

UN Chronicle (2017) The International Seabed Authority and Deep Seabed Mining. <https://www.un.org/en/chronicle/article/international-seabed-authority-and-deep-seabed-mining>.

R. Danovaro et al. ,(2017) An ecosystem-based deep-ocean strategy. *Science* 355,452-454(2017).

DOI:10.1126/science.aah7178

Multiple impacts on deep-sea ecosystems (>200 m below sea level; ~65% of the Earth's surface is covered by deep ocean) caused by human activities may act synergistically and span extensive areas. Cumulative impacts could eventually cause

regime shifts and alter deep-ocean life-support services, such as the biological pump or nutrient recycling....Accordingly, as part of the new international agreement, and to complement the ISA initiatives, governments at the UN should commit to developing holistic, global Deep-Sea Ecosystem Monitoring Networks (DEMNs), primarily focused on organisms and ecosystems, with physical and chemical metrics as key, explanatory variables. To stimulate development of our proposed DEMN, the new UN agreement should incorporate (i) the principle of ecosystem-based management as a priority objective, and (ii) mechanisms to operationalize precautionary management of activities in ABNJs, such as environmental status goals, thresholds, and indicators.

Special issue af tidsskriftet Marine Policy:

Introductory paper:

Christiansen, S., H. Ginzky, K. Houghton, et al. 2020. Environmental governance of deep seabed mining - Scientific insights and food for thought. *Marine Policy* 114: 103827.

I abstract til dette paper er en oversigt over indhold i dette special Issue.

Bräger, S., G.Q. Romero Rodriguez, and S. Mulsow. 2020. The current status of environmental requirements for deep seabed mining issued by the International Seabed Authority. *Marine Policy* 114: 103258.

Up to September 2018, the International Seabed Authority has issued a total of 100 mandatory requirements (published between 2011 and 2015) as guidance for potential future miners when collecting data for their environmental baseline studies during the exploration phase. An in-depth analysis of all current requirements highlights twelve themes covered by multiple requirements: methodology for seabed sampling, methodology for water column sampling, statistical evidence, spatio-temporal considerations, toxicology, modelling needs, genetic studies, species-specificity, documentation and archival storage, impact-related studies, area-based management tools, and comparison and assessment. Within each theme, the relevant requirements are compared with each other to allow a comprehensive assessment of the research effort needed to satisfy all of the 100 requirements.

We conclude that these requirements provide an excellent basis for the environmental exploration studies by contractors for their EIAs as long as all 100 are adhered to. To the authors, none of these requirements appear to be redundant. In the future, the LTC will keep the available guidance under review and may wish to amend it periodically for aspects not well covered yet. Depending on humankind's decision on how much of its common heritage may be sacrificed in the process, it might be necessary to implement additional studies on population dynamics of rare and/or long-lived species.

Bilag 2. Oversigt over aktive hydrotermale skorstene i grønlandsk EEZ

Tabel 1. Oversigt over hydrotermale skorstene der er kortlagt i den Grønlandske EEZ

Navn	Område	Dybde	Koordinater	Afstand fra Grønlands kyst	Kilder
"Lucky B"	Lena Through	4000 m	Latitude: 81.3610 Longitude: -3.4400	130 km	(Snow et al., 2001)
"Aurora" / "Site 1"	Gakkel Ridge	4100-3900 m	Latitude: 82.8833 Longitude: -6.2500	160 km	(Boetius et al., 2014; H. N. Edmonds et al., 2003; Ramirez-Llodra et al., 2023; Rolf B. Pedersen, 2010)
"Gakkel Ridge Site 2" / "Site 2"	Gakkel Ridge	3900 m	Latitude: 83.8500 Longitude: -2.0000	275 km	(H. N. Edmonds et al., 2003)
"Gakkel Ridge Site 3" / "Site 3"	Gakkel Ridge	4300	Latitude: 84.4333 Longitude: 2.1333	360 km	(H. N. Edmonds et al., 2003)

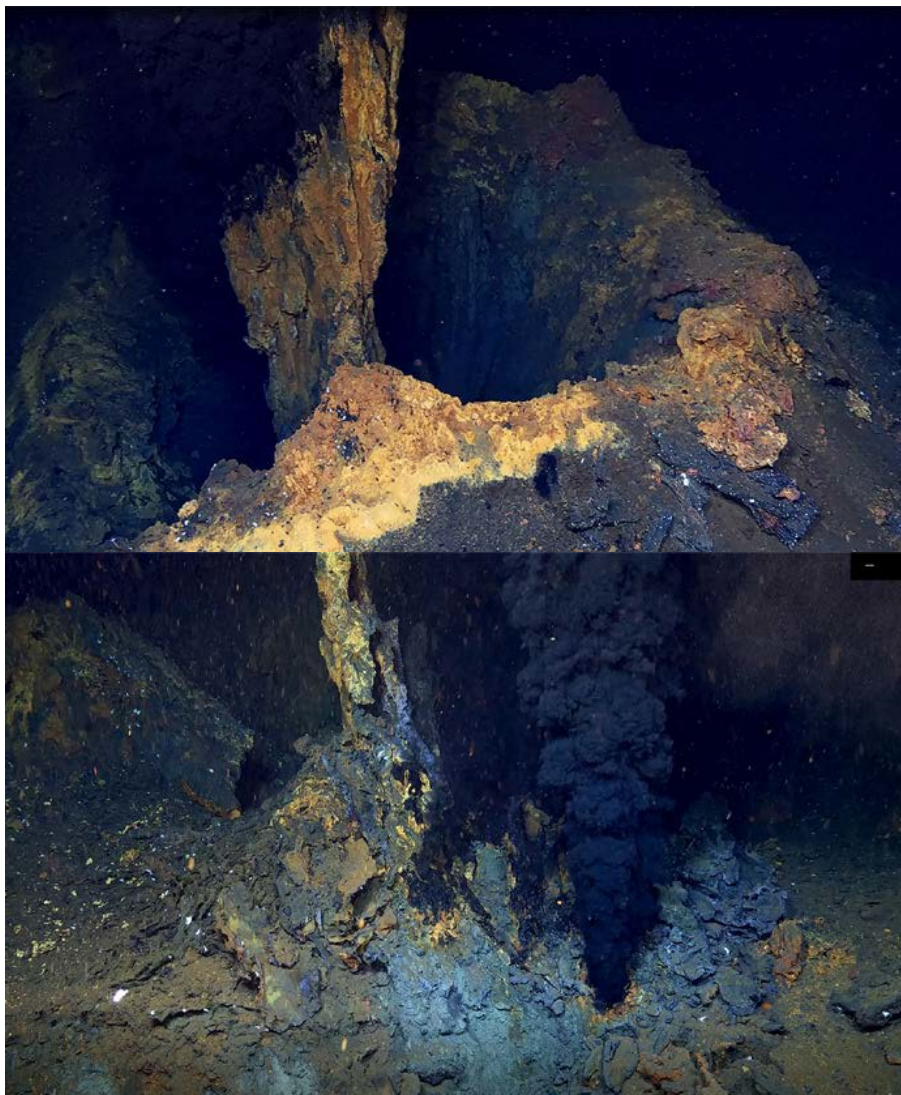
"Lucky B"

- *"dredged massive sulfide in peridotite, >4000 m depth"* (Snow et al., 2001)
- *"Dredge Station 088 brought up ~30 kg of hydrothermal sulfide deposits, related alteration products and hydrothermal sediments. The largest piece is a solid boulder comprised of 100% massive hydrothermal pyrite weighing 18kg"* (Snow et al., 2001)

"Aurora"

- *"It consists of pillow basalts and active and inactive vents, and encompasses an area of ~140 m × 100 m Current hydrothermal activity is restricted to near the center of the AVF (82°53'49''N, 6°15'21''W) and consists primarily of three isolated, vigorously venting black smoker chimneys that occur in a ~10 m diameter cluster. ... The rocks collected are generally dark greenish-gray and composed primarily of chalcopyrite, pyrite, sphalerite, and barite. The sulfide minerals exhibit varying degrees of oxidation associated with prolonged exposure to seawater"* (Ramirez-Llodra et al., 2023)
- *"We Identified persistent plume activity in the water column above the mount at 3100-3600 m (800-300 m off-bottom of its top) characterized by anomalies in turbidity, Eh, methane, temperature, density, and elevated microbial chemoautotrophic activity. Using a towed camera-, and multisensor- platform (OFOS) we located active venting as the source of this plume together with inactive chimneys and associated craters on the SW flank of Mt.Aurora. Its dominantly filter-feeding fauna is apparently sustained by venting of energy-rich fluids and microbial transfer of this geofuel into nutrition."* (Boetius et al., 2014)
- *"massive sulphides were recovered ... where the Lena trough transitions into the Gakkel Ridge... dredged from the southern flank of a saddle in the center of the axial valley at nearly 83 N"* (Rolf B. Pedersen, 2010)

Figur 1. To aktive hydrotermale skorstene der findes ved "Aurora" (Ramirez-Llodra et al., 2023)



"Site 2" (Tabel 1)

Ingen prøver udtaget, men aktivitet påvist i målinger. (H. N. Edmonds et al., 2003)

"Site 3" (Tabel 1)

Ingen prøver udtaget, men aktivitet påvist i målinger. (H. N. Edmonds et al., 2003)

Anden relevant litteratur

(Beaulieu et al., 2015; Beaulieu et al., 2013)

Kilder til bilag 2

Beaulieu, S. E., Baker, E. T., & German, C. R. (2015). Where are the undiscovered hydrothermal vents on oceanic spreading ridges? *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 121, 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2015.05.001>

- Beaulieu, S. E., Baker, E. T., German, C. R., & Maffei, A. (2013). An authoritative global database for active submarine hydrothermal vent fields. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14(11), 4892-4905. <https://doi.org/10.1002/2013gc004998>
- Boetius, A., Bach, W., Borowski, C., Diehl, A., German, C. R., Kaul, N. E., Koehler, J., Marcon, Y., Mertens, C., Molari, M., Schlindwein, V. S. N., Tuerke, A., & Wegener, G. (2014, December 01, 2014). *Exploring the Habitability of Ice-covered Waterworlds: The Deep-Sea Hydrothermal System of the Aurora Mount at Gakkel Ridge, Arctic Ocean (82°54' N, 6°15'W, 3900 m)* <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014AGUFM.B24A..02B>
- H. N. Edmonds, P. J. Michael, E. T. Baker, D. P. Connelly, J. E. Snowk, C. H. Langmuir, H. J. B. Dick, R. Mühe, C. R. German, & Graham, D. W. (2003). Discovery of abundant hydrothermal venting on the ultraslow-spreading Gakkel ridge in the Arctic Ocean. *Nature*, 421(6920), 252-256. <https://doi.org/10.1038/nature01319>
- Ramirez-Llodra, E., Argentino, C., Baker, M., Boetius, A., Costa, C., Dahle, H., Denny, E., Dessandier, P.-A., Eilertsen, M., Ferre, B., & al., e. (2023). Hot Vents Beneath an Icy Ocean: The Aurora Vent Field, Gakkel Ridge, Revealed. *Oceanography*, 36(1). <https://hal.science/hal-03876877>
- Rolf B. Pedersen, I. H. T., Tor Eivind Nygård, Marvin D. Lilley, Deborah S. Kelley. (2010). Hydrothermal Activity at the Arctic Mid-Ocean Ridges. In P.A. Rona, C.W. Devey, J. Dymont, & B. J. Murton (Eds.), *Geophysical Monograph Series Diversity Of Hydrothermal Systems On Slow Spreading Ocean Ridges* (pp. 67 - 89). American Geophysical Union. <https://doi.org/10.1029/2008GM000783>.
- Snow, J., Hellebrand, E., Jokat, W., & Mühe, R. (2001). Magmatic and hydrothermal activity in Lena Trough, Arctic Ocean. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 82(17), 193-198. <https://doi.org/10.1029/01eo00101>.

Bilag 3. Marin forundersøgelse og efterforskning i Grønland

Forundersøgelsestilladelser

Grønlands Selvstyre har givet selskabet De Beers Marine tilladelse til forundersøgelse efter diamanter i et havområde i Vestgrønland. I 2023 blev der udført geofysiske undersøgelser og prøvetagning af havbunden ud til ca. 200 m dybde i havet Nordvest for Nuuk for at fastslå, om forholdene er gunstige for dannelsen af diamantforekomster (Råstofstyrelsen, 2023).

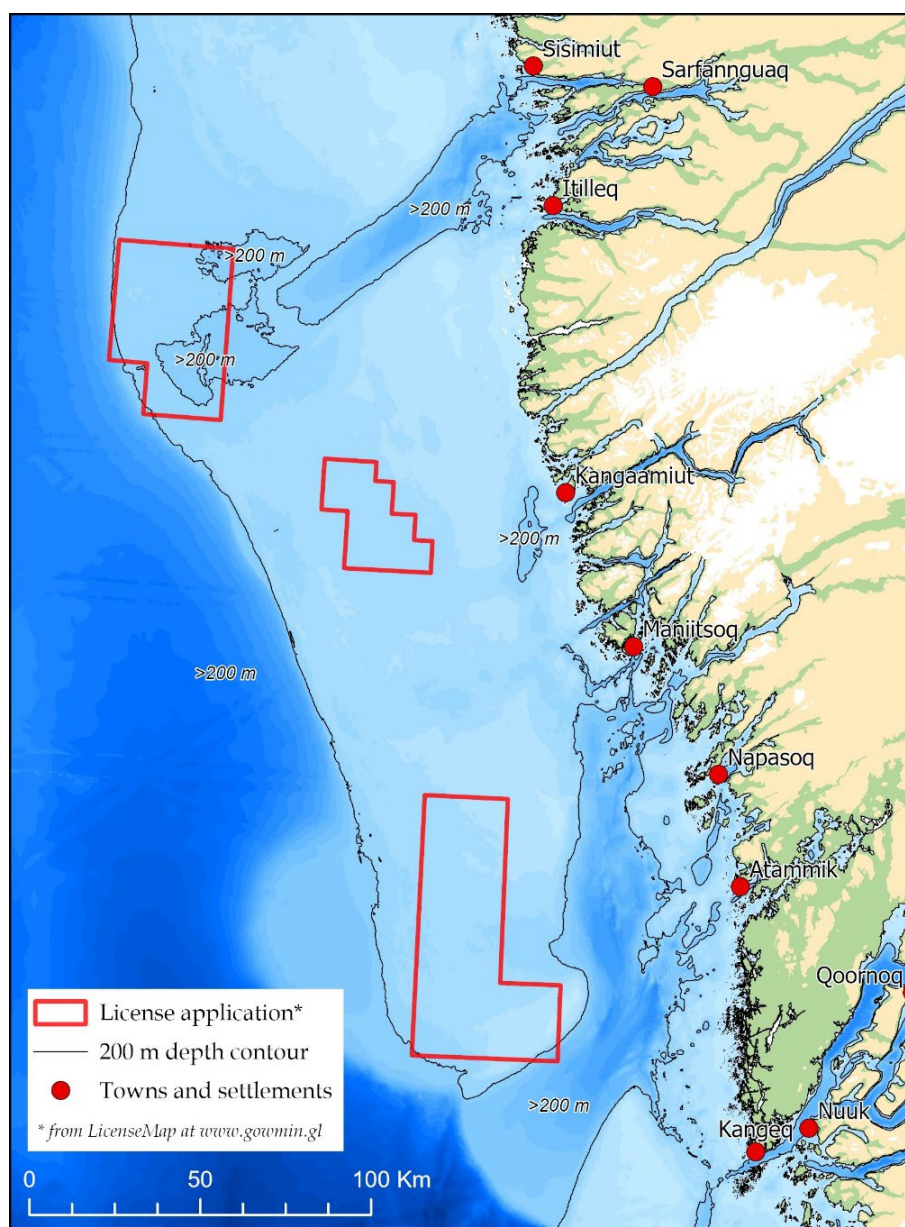
Baggrunden er, at i 1960erne begyndte selskabet De Beers at lede efter diamanter i havet ud for Namibia. I 1970erne begyndte efterforskningen på >100 meters dybde, hvor man identificerede store diamantforekomster i havbunds-sedimentet. I løbet af 1990erne begyndte produktionen af diamanter fra havet og i starten af 2000erne overhalede produktionen af diamanter fra havet produktionen på land i Namibia. Diamanterne dannes dybt i jorden under tilpas tryk og temperatur og bringes til overfladen via geologiske processer. De omkringliggende bjergarter eroderes og diamanterne skylles ud i floder, som efterfølgende skylles dem ud i havet sammen med sediment fra de nedbrudte bjergarter. I havet sedimenterer diamanterne i såkaldte "placer deposits". I særlige sedimentationsområder kan havstrømme, bølger og vind opkoncentrere mængden af diamanter (Mukherjee et al., 2023).

Diamanter kan indsamles via en crawler på bunden, der indsamler sediment og/eller konkretioner, som pumpes samlet op til et skib. Her knuses konkretioner og sediment og diamanter adskilles ved tyngdeadskillelse. Efter diamanterne er fjernet, udledes sedimentet til havet igen, hvor der dannes en sedimentsky og de tungeste (største) partikler sedimenterer først. Faunaen i den behandlede havbund vil blive fjernet og fauna vil skulle gen-indvandre i dette område, samtidig vil faunaen i et større område blive påvirket af sedimentationen. Effekttundersøgelser fra Namibia har vist, at havbundssedimentet, efter endt minedrift, er målbart grovere, og finkornet materiale er fjernet fra området og sedimenteret længere væk. Dette betyder, at de bundlevende organismer skal tilpasse sig et andet habitat (Rogers & Li, 2002).

Efterforskningstilladelser

Der er ikke tildelt efterforskningstilladelser i grønlandske havområder. Det er angivet på www.licencemap.govmin.gl, at der er ansøgt om en efterforskningstilladelse for havområder i Vestgrønland (Figur1). Det er ikke oplyst, hvilket selskab der søger, eller hvilke mineraler der vil efterforskes.

Figur 1. Figuren viser hvilke områder hvor der er søgt om tilladelse til at foretage efterforskning i havet Nord for Nuuk, Grønland.



Kilder til bilag 3

Mukherjee, S., Ghosh, K. K., & Chanda, A. (2023). Environmental Oceanography and Coastal Dynamics. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-34422-0>

Rogers, j., & Li, X. C. (2002). Environmental impact of diamond mining on continental shelf sediments off southern Namibia. Quaternary International, 92, 101-112. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(01\)00118-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00118-5)

Råstofstyrelsen. (2023). Mineralaktiviteter i Grønland 2023. https://naalakkersuisut.gl/Departementer/Dep_for_Erhverv_Handels_Raastoffer_og_Justitsomraadet/Publikation?sc_lang=da