

Kunnskapsgrunnlag for forskning og teknologiutvikling på området mineralutvinning på havbunnen



NotatEmne**Kunnskapsgrunnlag for forskning og
teknologiutvikling på området
mineralutvinning på havbunnen**

Til	Olje og energidepartementet ved William Christensen
Kopi	Cecilie Myklatun
Fra	Fridtjof Fossum Unander
Saksbehandler	Ingrid Anne Munz
Vår referanse	19/12941
Dato	20.11.2019

Innhold

Innledning.....	3
Bakgrunn	3
Internasjonale drivkrefter	3
Politiske prioriteringer.....	4
Lovgivning og forvaltning av geologiske ressurser på norsk sokkel	4
Samarbeid, lovgivning og regulering gjennom De Forente Nasjoner	5
Mineralvirksomhet og bærekraft	6
Mineralvirksomhet og Paris avtalen.....	6
Ressursgrunnlaget	7
Norske mineralressurser	9
Teknologi	10
Miljø.....	11
Internasjonale forskningsinitiativ	11
EU – Horisont 2020.....	11
JPI Oceans.....	12
International Ocean Discovery Program (IODP).....	13
Forskningsrådets innsats	14
Programmene.....	14
MARINFORSK.....	14
MAROFF.....	14
Prosjektporteføljen.....	14
Forskningsorganisasjonenes aktivitet	15
Anbefalinger	16

Oppsummering – status av FoU for mineralutvinning på havbunnen	16
Kunnskaps- og teknologigap.....	17
Forslag til ny forskningsatsing.....	18
VEDLEGG 1 Prosjekter i EUs rammeprogrammer	20
VEDLEGG 2 Prosjekter hos Forskningsrådet.....	23
VEDLEGG 3 Workshop havbunnsmineraler.....	26

Innledning

Olje- og energidepartementet ber i sitt tildelingsbrev for Forskningsrådet om å fremskaffe kunnskapsgrunnlag for forskning og teknologiutvikling på området mineralutvinning på havbunnen. Arbeidet skal påbegynnes i 2018 og ferdigstilles innen 30. juni 2019.

Denne rapporten er utarbeidet som svar på OEDs bestilling. Den omfatter følgende:

- Oppsummering av skriftlig bakgrunnsinformasjon
- Informasjon om Forskningsrådets portefølje innenfor området, samt internasjonal forskningsaktivitet
- Oppsummering av en workshop avholdt med relevante forskningsaktører
- Råd om en forskningsstrategi

Bakgrunn

Internasjonale drivkrefter

Viktige drivkrefter for å utvikle mineralutvinning på havbunnen er knyttet til den globale økonomiske veksten¹. Sikker tilgang på essensielle råstoffer er av høy betydning for mange land, inklusive land i EU. En økende bevissthet om bærekraft medfører blant annet økt behov for råstoffer som muliggjør en grønnere økonomi. Samtidig er mineralindustriens påvirkning på miljøet en stadig økende bekymring, og minimalisere det miljømessige fotavtrykket er en forutsetning for virksomheten.

EU har gjennom lengre tid hatt fokus på råmaterialer på grunn av betydningen for EUs vekst og konkurransekraft. Det er to utfordringer for råmaterialer som påpekes fra EU: Høy avhengighet av import og sikkerhet for tilgang til råmaterialer². Strategier er utarbeidet, og det vedlikeholdes oversikt over kritiske råmaterialer^{3,4}. Retningslinjer for metodikken som benyttes for å etablere listen over kritiske råmaterialer er også publisert⁵.

Råmaterialene kan komme både fra primære og sekundære kilder. De primære kildene er vesentlig landbasert virksomhet, og utvikling av mineralutvinning på havbunnen kan bli en ny primær kilde⁶. EU har i den forbindelse gjennomført en interessent analyse⁷, og et studium av kunnskapsstatus for utnyttelse av havbunnsmineraler⁸. Sekundære kilder dreier seg om resirkulering/gjenvinning.

Tilsvarende metodikk og oversikter over kritiske råvarer er også utarbeidet i andre land. The National Science and Technology Council i USA har utarbeidet en metodikk for screening av kritiske råmaterialer⁹. Metodikken har blitt benyttet til å belyse netto importavhengighet for land som USA og Kina¹⁰.

¹ Roche C & Feenan J (2013) Drivers for the development of deep sea minerals in the Pacific. <http://www.mpi.org.au/wp-content/uploads/2014/05/Roche-and-Feenan-2013-Drivers-for-the-Development-of-Deep-Sea-Minerals-in-the-Pacific.pdf>

² <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/raw-materials>

³ https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en

⁴ http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

⁵ ISBN: 978-92-79-68051-9. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2d43b7e2-66ac-11e7-b2f2-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-32064602>

⁶ https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/seabed_mining_en

⁷ EU stakeholder survey on seabed mining: summary of responses: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/consultation-seabed-mining-results-swd-2015-119_en_1.pdf

⁸ Study to investigate the state of knowledge of deep-sea mining: <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/node/3732>

⁹ https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NSTC/csmc_assessment_of_critical_minerals_report_2016-03-16_final.pdf

¹⁰ <https://www.pnas.org/content/pnas/115/16/4111.full.pdf>

Politiske prioriteringer

I 2013 la daværende regjering fram en strategi for mineralnæringen¹¹ som vesentlig omhandlet mineralressurser på land. Muligheten for å utnytte mineralressursene på havbunnen ble omtalt. Likeledes blir muligheten for mineralressurser langs Atlanterhavsryggen og ny næringsaktivitet til havs omtalt i regjeringens havstrategi i 2017¹². Begge strategier omtaler behovet for et oppdatert regelverk, og dette er nå fulgt opp gjennom en ny lov (se under). I den oppdaterte havstrategien fra 2019 sier regjeringen at den vil forvalte havbunnsmineraler i tråd med ny havbunnsminerallov, og vurdere åpning av deler av norsk sokkel for kommersiell og bærekraftig utvinning av havbunnsmineraler¹³.

I Langtidsplan for forskning og høyere utdanning (LTP) er hav en av prioriteringene¹⁴. Her framheves at Norge, som en havnasjon, er avhengig av å videreutvikle et kunnskapsgrunnlag og et forvaltningsregime som bidrar til bærekraftig næringsutvikling og god miljøtilstand i havet. Det er viktig å legge til rette for økte verdier fra næringene i hav- og kystområdene og på kontinentalsokkelen gjennom forskning og høyere utdanning. Dette gjentas også i havstrategien der det heter at regjeringen vil bidra til innovasjon gjennom støtte til forskning og teknologiutvikling på tvers av havnæringene. En mulig ny næring basert på mineralressurser i havbunnen er en del av dette bildet.

Lovgivning og forvaltning av geologiske ressurser på norsk sokkel

En ny lov om mineralvirksomhet på kontinentalsokkelen (havbunnsmineralloven)^{15,16,17} ble nylig vedtatt. Loven trådte i kraft 1. juli 2019. Eventuell kommersiell utvinning av mineraler på havbunnen innenfor norsk jurisdiksjon ligger sannsynligvis et stykke fram i tid. Havbunnsmineralloven er i store trekk basert på samme prinsipper som Petroleumsloven. Det foreslås at vitenskapelig forskning på naturressurser på havbunnen, herunder petroleum og mineraler, fremdeles skal reguleres av kontinentalsokkelloven fra 1963.

Forvaltningsansvaret ble overført til Olje og energidepartementet fra 1. april 2017. Oljedirektoratet som fagdirektorat under OED, har fått i oppgave å kartlegge potensialet for havbunnsmineraler på norsk kontinentalsokkel¹⁸. Oljedirektoratet har i dag ansvar for kartlegging av petroleumspotensialet på norsk sokkel, og utgir årlig rapporter over ressursregnskapet. Mye av Oljedirektoratets aktivitet og myndighet er basert på Petroleumsloven¹⁹. Blant annet kan Oljedirektoratet offentliggjøre data fra undersøkelser på sine faktasider²⁰ med hjemmel i Petroleumsloven og prøvemateriell til forskningsaktiviteter kan omsøkes. Dette er et viktig bidrag til forskning.

Oljedirektoratet har bistått norske myndigheter med kartlegging av norsk sokkels yttergrenser²¹. Kartleggingen har vært viktig for avgrensning mot andre kyststater og internasjonalt farvann. Norge fikk i 2009 gjennomslag hos FNs kontinentalsokkelkommisjon for utvidelse av yttergrensen for

¹¹ Mineralstrategien: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/strategi-for-mineralnaringen/id717109/>

¹² Havstrategien, 2017: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/ny-vekst-stolt-historie/id2552578/>

¹³ Havstrategien, 2019:

https://www.regjeringen.no/globalassets/departementene/nfd/dokumenter/strategier/nfd_havstrategi_2019_norsk.pdf

¹⁴ Langtidsplan for forskning og høyere utdanning (2019-2028):

<https://www.regjeringen.no/contentassets/9aa4570407c34d4cb3744d7acd632654/no/pdfs/stm201820190004000dddpdfs.pdf>

¹⁵ <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing---forslag-til-lov-om-mineralvirksomhet-pa-kontinentalsokkelen/id2552851/>

¹⁶ Lov om mineralvirksomhet på kontinentalsokkelen (havbunnsmineralloven) <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-106-l-20172018/id2605252/>

¹⁷ <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2019-03-22-7>

¹⁸ <https://www.npd.no/fakta/nyheter/generelle-nyheter/2017/OED-far-ansvaret-for-mineralforekomstar-pa-sokkelen/>

¹⁹ Lov om petroleumsvirksomhet (Petroleumsloven), LOV-2015-06-19-65 fra 01.10.2015.

²⁰ <http://factpages.npd.no/factpages/Default.aspx?culture=no>

²¹ <https://www.npd.no/fakta/nyheter/generelle-nyheter/2006/Norsk-sokkel-far-nye-yttergrenser-/>

kontinentalsokkelen. Den norske kontinentalsokkelen omfatter sokkelområder i Nordsjøen, Norskehavet, Barentshavet og Polhavet. Rundt fastlands-Norge og Svalbard er sokkelområdene sammenhengende med begrensede havdyp, mens rundt Jan Mayen (et mikrokontinent) er vandypene for kontinentalsokkelen større, ned til 3000-4000 meters dyp²².

Samarbeid, lovgivning og regulering gjennom De Forente Nasjoner

De store havdyp, utenfor nasjonal jurisdiksjon, utgjør Det internasjonale havbunnsområdet (eller Området) hvor blant annet utnyttelse av mineralressursene er regulert i Havrettskonvensjonen (United Nations convention on the law of the sea). Havrettskonvensjonen trådte i kraft i 1994, og norsk lovgivning trådte i kraft i 1996²³. Konvensjonen gir blant annet definisjon av statenes sjøterritorium, den eksklusive økonomiske sone og hvordan kontinentalsokkelen skal avgrenses. Den internasjonale havbunnsmyndigheten (Havbunnsmyndigheten) er opprettet for å tilrettelegge og kontrollere virksomheten i det internasjonale havbunnsområdet.

Mineralvirksomhet i det internasjonale havbunnsområde kan bare skje etter inngåelse av kontrakt mellom et aktuelt selskap eller en stat og Havbunnsmyndigheten. Dersom et selskap, og ikke en stat, er kontraktør, må det ha en sponsorstat som påtar seg et visst ansvar for kontroll og oppfølging av selskapet. En sponsorstat skal vedta nødvendig nasjonal lovgivning for denne rollen. Norge har ikke vedtatt en slik lovgivning. Se høringsnotatet for mer utfyllende informasjon.

Havområdene dekker mer enn 70 % av jordens overflate, og inneholder ca 97 % av vannet på jorda. Betydningen av havområdene er essensiell for mange av de store naturlige prosessene. Eksempelvis kan nevnes interaksjon mellom havet og atmosfæren, med betydning for produksjon av oksygen til atmosfæren og for innvirkning på klima. Gjennom den hydrologiske syklusen er havet det største reservoaret for reint vann. Havet inneholder store biologiske og geologiske ressurser. Havet har derfor stor betydning for grunnleggende menneskelige behov som pust, drikkevann og mat. Det er en økonomisk aktivitet og et økende ønske om utnyttelse av havrommet og dets ressurser. Dette inkluderer fiske og havbruk, maritim transport, utnyttelse av geologiske ressurser som olje, gass og mineraler, undersjøiske kabler for elektrisitet og kommunikasjon, turisme, energiproduksjon fra vind, bølger, tidevann etc. Havets økosystemer bidrar også til menneskers liv og helse på måter som ikke er knyttet til direkte kommersiell aktivitet. Menneskelig aktivitet har effekter på miljøet i havet på mange forskjellige måter.

Med dette som bakgrunn har FN satt i gang en prosess for «reviewing the state of the marine environment, including socioeconomic aspects, on a continual and systematic basis by providing regular assessments at the global and supraregional levels and an integrated view of environmental, economic and social aspects.» I 2015 vedtok Generalforsamlingen i FN en resolusjon om “Oceans and the law of the sea,”. Resolusjonen anerkjente den første globale integrerte marine vurderingen og godkjente sammendraget til vurderingen²⁴. Vurderingen framhever havets betydning nå og i framtiden, viser tydelig hvor store og komplekse spørsmålene er og hvor viktig det er å se helheten. Kapittel 23²⁵ omhandler off-shore mineralvirksomhet. Her finnes blant annet en oversikt over pågående aktiviteter.

²² <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing---forslag-til-lov-om-mineralvirksomhet-pa-kontinentalsokkelen/id2552851/>

²³ https://lovdata.no/dokument/TRAKTAT/traktat/1982-12-10-1/*#*

²⁴ United nations: First Global Integrated Marine Assessment. http://www.un.org/depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm

²⁵ United nations: First Global Integrated Marine Assessment. Chapter 23. http://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_23.pdf

Mineralvirksomhet og bærekraft

FNs bærekraftsmål ble vedtatt i 2015 og består av 17 mål og 169 delmål. Målene skal fungere som en felles global retning for land, næringsliv og sivilsamfunn. Land i hele verden har vært aktivt involvert i arbeidet med å utforme målene, og mer enn åtte millioner mennesker har kommet med innspill i prosessen.

Bærekraftig utvikling handler om å ta vare på behovene til mennesker som lever i dag, uten å ødelegge framtidige generasjoners muligheter til å dekke sine. Målene reflekterer at bærekraftig utvikling omfatter både miljømessig, sosial og økonomisk utvikling.

Mineralvirksomheten er en global industri, som ofte er geografisk spredt. Virksomheten er basert på utnyttelse av naturressurser som i liten grad er fornybare på menneskelig tidsskala, og resirkulering og utnyttelse av avfallsmasser blir stadig viktigere. Mineralutvinning gir muligheten til verdiskaping og sysselsetting, og bidrar med essensielle råstoffer som er nødvendige i et industrielt/teknologisk samfunn. Men virksomheten kan også medføre problemer for miljøet og lede til større ulikheter og konflikter blant annet med hensyn til arealutnyttelse og sameksistens.

FNs utviklingsprogram, Verdens økonomiske forum og Columbia Center on Sustainable Investment har utarbeidet en rapport for å vise hvordan mineralutvinning kan bidra til å oppnå bærekraftsmålene²⁶. Hensikten med rapporten er å veilede mineralvirksomheten på følgende:

- Kartlegge virksomhetens roller, ansvar og muligheter i forhold til de 17 målene.
- Vise hvordan virksomheten kan sikre at sosiale og økonomiske fordeler blir rettferdig delt og miljømessig påvirkning blir minimal.
- Kartlegge forholdet mellom virksomheten og bærekraftsmålene ved å bruke eksempler på «good practice».

Positive bidrag til bærekraftsmålene omfatter forbedringer over «baseline». Dessuten er det viktig å forhindre negative effekter og å gjøre tiltak som minimaliserer konsekvensene. Mye av rapporten omhandler landbasert mineralvirksomhet, men den har også målsetninger spesifikt for havbunnsmineraler. Rapporten anbefaler en forsiktig tilnærming til mineralutvinning til havs, der det er viktig 1) å beskytte marint liv, 2) minimalisere påvirkning på habitater og 3) utføre sensitivetsanalyser for å forstå både kortsiktige og langsiktige effekter. Deponering av sulfidholdige gråberg og avgangsmasser på land fører ofte til oksidering, dannelsen av svovelsyre og sur avrenning. Dette problemet blir vesentlig redusert når massene blir deponert i havet, men det medfører en ny risiko for at høye konsentrasjoner av oppløste metaller kan skade økosystemene som mange er avhengig av for mat. I tillegg er en rekke av aksjonene som beskrives for landbasert virksomhet også relevant for den havbaserte virksomheten.

Mineralvirksomhet og Paris avtalen

Parisavtalen er den første rettslig bindende klimaavtale med reell global deltakelse. Alle land skal ha utslippsmål og rapportere på dem. Avtalen vil bidra til økt innsats for utslippsreduksjoner og forsterke arbeidet med klimatilpasning. Den gir en klar retning for fremtidig klimaarbeid og inneholder bestemmelser som gjør at innsatsen vil styrkes over tid.²⁷ Avtalen ble vedtatt i desember 2015, og trådte i kraft 4. november 2016.

Regjeringens Stortingsmelding «Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid» (Meld. St. 41, 2016–2017) beskriver hvordan Norge fram til 2020 skal kutte i de globale utslippene av

²⁶ <http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/poverty-reduction/mapping-mining-to-the-sdgs--an-atlas.html>

²⁷ <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/paris-avtalen-om-klima-vedtatt/id2467187/>

klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990 og at Norge har tatt på seg en betinget forpliktelse om minst 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenlignet med 1990. Norges mål for 2020 følges opp under Kyotoprotokollen, mens 40-prosentsmålet for 2030 er meldt inn til FN som Norges bidrag under Parisavtalen og lovfestet i klimaloven²⁸.

For å nå målene om utslippskutt har regjeringen utarbeidet strategien «Bedre vekst, lavere utslipp – regjeringens strategi for grønn konkurransekraft». Strategien skal bidra til å gi forutsigbare rammer for den grønne omstillingen i Norge og bidra til at Norge når klimamålene for 2030 og 2050. Denne omstillingen skal skje i dialog med næringslivet, og 14 veikart for forskjellige næringssektorer er utarbeidet.

I Veikart for mineralnæringen²⁹ fremhever Norsk bergindustri næringens samfunnsrolle og betydningen for det globale grønne skiftet. Sikker tilgang til mineralske råstoffer er en forutsetning for enhver industriell verdikjede. Fornybar energi og annen miljøvennlig teknologi krever økt tilgang til mineralske råstoffer. Dette inkluderer også behov for råstoffer som tidligere ble ansett som avfall eller biprodukter.

Veikartet tar ikke opp mulig framtidig mineralvirksomhet på norsk sokkel. Men for landbasert virksomhet gjøres følgende vurderinger: Store deler av klimagassutslippene fra mineralnæringen er knyttet til transport, prosessering og maskiner og utstyr i anleggene. Mulige tiltak for å redusere lokale klimagassutslipp er kortreist stein, elektrifisering og robotisering. Store mengder restmasser er et miljømessig problem som krever gode løsninger for deponering. Forbedret massebalanse i produksjonen og nye bruksområder for massene er blant tiltakene som foreslås for å begrense deponeringen. Det er også miljømessige utfordringer knyttet til kjemikaliehåndtering. Veikartet framhever ressursknappheten og behovet for økt utnyttelse av mineralressurser gjennom gjenvinning og resirkulering. Blant annet er gjenvinning av metaller og mineraler i forbruksavfall, såkalt Urban Mining, en raskt voksende virksomhet.

Ressursgrunnlaget

Utvinning av mineraler på/i havbunnen foregår i dag stort sett i kystnære områder. På verdensbasis kommer omtrent 75 % tinn, 11 % gull og 13 % platina fra tungmineral-avsetninger, såkalte "placer deposits", i kystnær sjøbunn^{30,31}. Diamanter i kystnære avsetninger er også et viktig mål for mineralvirksomhet. Omtrent 20 % av verdens etterspørsel etter sand og grus dekkes av utvinning av kystnære avsetninger. I tillegg til dette kan det bli aktuelt med utvinning av fosfatbergarter som forekommer på relativt grunne havdyp, vanligvis mindre enn 1000 m, i tropiske til subtropiske områder.

I dyphavene og områder langs undersjøiske spredningsrygger er det tre hovedtyper metalliske mineralforekomster som kan være av framtidig kommersiell interesse:

- Massive sulfider
- Mangan knoller / flermetalliske knoller
- Ferromangan skorper

²⁸ <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60>

²⁹ <https://www.norskbergindustri.no/siteassets/publikasjoner/veikart.pdf>

³⁰ United nations: First Global Integrated Marine Assessment. http://www.un.org/depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm

³¹ United nations: First Global Integrated Marine Assessment. Chapter 23. http://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RPROC/Chapter_23.pdf

Sulfidforekomstene dannes som utfellinger rundt aktive hydrotermale skorsteiner³². Den hydrotermale aktiviteten skyldes at sjøvann og formasjonsvann i bergartene nært havbunnen varmes opp rundt aktive magmakammere. Det varme vannet med oppløste metaller strømmer opp til havbunnen sammen med gasser og danner skorsteiner.

Manganknollene dannes på dyphavsslettene på dyp mellom 4000-6000 m³³. Knollene består av metall hydroksider eller oksider, som felles i interaksjon med sjøvann eller porevann. Utfellingen skjer svært langsomt.

Koboltrike ferromangan skorper dannes på harde bergartsoverflater, der det ikke er sedimenter³⁴. Dette er også hydroksider eller oksider.

³² SPC (2013a) Deep Sea Minerals: Sea-Floor Massive Sulphides, a physical, biological, environmental, and technical review. Baker, E., and Beaudoin, Y. (Eds.) Vol. 1A, Secretariat of the Pacific Community. <http://www.grida.no/publications/184>

³³ SPC (2013b) Deep Sea Minerals: Manganese Nodules, a physical, biological, environmental, and technical review. Baker, E., and Beaudoin, Y. (Eds.) Vol. 1B, Secretariat of the Pacific Community. <http://www.grida.no/publications/184>

³⁴ SPC (2013c). Deep Sea Minerals: Cobalt-rich Ferromanganese Crusts, a physical, biological, environmental, and technical review. Baker, E. and Beaudoin, Y. (Eds.) Vol. 1C, Secretariat of the Pacific Community. <http://www.grida.no/publications/184>

Sea-floor massive sulphides

- Sea-floor massive sulphides (SMS) form on or below the seabed where hydrothermal vents release mineralized seawater.
- Most SMS deposits have been found along mid-ocean ridges, but they are also found in back-arc basins and along submarine volcanic arcs.
- Deposits found to date are small in size and tonnage, compared to land-based deposits.
- The hydrothermal vents associated with SMS deposits represent an extreme environment that is toxic to most animals, but some species have evolved to thrive there.
- There is a gradient of animal communities from low diversity and high abundance near vent sites to higher diversity but lower densities of species away from the vent sites.

Manganese nodules

- Manganese nodules are found in very deep parts of the ocean – on the abyssal plains in water depths of 4 000 to 6 000 metres.
- Metal concentrations vary, but current estimates suggest they contain potentially more manganese, nickel, and cobalt than land-based reserves.
- Nodules accrete slowly, at rates of millimetres per million years.
- Animals live on the nodules, on the surface of the sediment, and within the sediment where nodules are found.
- Animals rely on organic material sinking into the depths, and, despite the food-limited environment, species numbers and diversity are high.

Cobalt-rich ferromanganese crusts

- Cobalt-rich ferromanganese crusts form on bare rock on the sides of seamounts and other undersea elevations in water depths from 600 to 7 000 metres, but are thickest at depths of 800 to 2 500 metres.
- Crusts contain manganese, cobalt, nickel, rare-earth elements, and other rare metals that are gaining importance for use in green technology products.
- Crusts accrete slowly, at rates of millimetres per million years.
- Organisms live on the rocky substrate, and the wide depth range supports a large variety of animals. Filter feeders, such as sponges and corals, can thrive in the fast-flowing currents associated with elevated topography and seamounts.

Kilde: Secretariat of the Pacific Communities (2013)

Norske mineralressurser

Kunnskapen om hvor store mineralressurser Norge har på kontinentalsokkelen, og hvorvidt mineralutvinning av disse ressursene kan bli økonomisk lønnsom er på et svært tidlig stadium. Selv om forventningene til ressurser er størst for de dypere havområdene fjernt fra fastlandet, kan det ikke utelukkes mulige ressurser i de mer landnære delene av kontinentalsokkelen.

Mineralforekomster i de dypere delene av havområdene omfatter manganknoller, manganskorper og sulfider³⁵. Disse inneholder flere slags metaller og ligger ofte på store havdyp (1500-6000 meter). I følge Oljedirektoratet er det funnet sulfider og manganskorper i Norskehavet, og sannsynligvis finnes det mangan-skorper rundt Yermakplataet i Polhavet og rundt Bouvetøya i Sør-Atlanteren.

³⁵ <https://www.npd.no/globalassets/1-mpd/publikasjoner/norsk-sokkel/arkiv/norsk-sokkel-nr-1-2016.pdf>

Oljedirektoratet regner ikke med å finne forekomster av mangan-knoller på norsk sokkel, muligens med unntak av sokkelen rundt Bouvetøya. En rekke sulfidforekomster er tidligere funnet av Universitetet i Bergen. I 2018 gjennomførte Oljedirektoratet sitt første tokt i egenregi og oppdaget et helt nytt felt med sulfidforekomst på Mohnsryggen vest i Norskehavet³⁶. Også i 2019 under deres andre tokt til Mohnsryggen fant Oljedirektoratet helt nye sulfidforekomster³⁷.

Teknologi

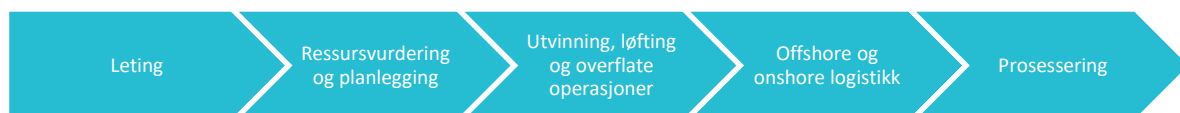
En oversikt over teknologier ble utarbeidet i et studium finansiert av EU³⁸ fra 2014. Teknologiene beskrives i henhold til en verdikjede som vist i figuren under. De enkeltstående teknologiene er beskrevet på en teknologi modenhetsskala (TRL), fra 1 (grunnleggende prinsipper observert) til 9 (demonstrert i et operasjonelt miljø). Det gis også oversikt over teknologileverandører.

Leting omfatter å lokalisere ressursen, prøveta og bore den. Teknologiene som er beskrevet i studiet inkluderer forskningsfartøy, bathymetri, elektromagnetisme, testing av vannkjemi, autonome undervannsfartøy (AUV), "remotely operated vehicles" (ROV), prøvetaking og boreutstyr. Status for disse teknologiene er generelt høy (TRL 9). Studiet synes imidlertid ikke å dekke alle leteteknologier eller gi vurderinger av mulige teknologigap.

Ressursvurderingen og planleggingen omfatter analyse av lete-dataene med hensyn til en mulig gruvedrift. Dette inkluderer modelleringsverktøy, planleggingsmetodikk, ressurs/reserve klassifisering. Med et mindre unntak er teknologiene relativt umodne (TRL 3-5).

Neste fase omfatter å bryte mineraler/bergarter, samle dem, eventuelt med en preprosessering på havbunnen før de løftes til overflaten. Forskjellig type kutteutstyr finnes for å bryte bergartene. Dette må tilpasses de enkelte forekomstene. TRL nivået er generelt lavt for alle typer forekomster, og spesielt for skorper er det lite teknologisk erfaring (TRL nivå 1). Interessant preprosessering på havbunnen kan være å skille ut bergarter eller mineraler som ikke er av økonomisk interesse (eksempelvis sedimenter, silikatmineraler) for å oppkonsentrere malmen som transporteres til overflaten. Reduksjon av kornstørrelse kan være nødvendig for en pre-prosessering. Det meste av muligheter som beskrives er på konseptstadiet. Løftesystemer er kommet noe lenger på teknologi-modenhetsskalaen. Produksjonsskip er også viktige og prinsippene kan ligne fartøyer som for eksempel benyttes i olje- og gasssektoren. Offshore operasjoner vil sannsynlig omfatte avvanning.

Teknologi som inngår i offshore og onshore logistikk er godt utviklet. Det antas at prosessering kommer til å foregå på land av hensyn både til plass, vekt og behov for energi.



Figur 1 Verdikjeden slik den blir beskrevet i studiet "Study to investigate state of knowledge of deep sea mining"

³⁶ <https://www.npd.no/fakta/nyheter/generelle-nyheter/2018/Nye-mineralforekomster-i-dyphavet/>

³⁷ <https://www.npd.no/fakta/nyheter/generelle-nyheter/2019/vellykket-leting-etter-havbunnsmineraler/>

³⁸ Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Annex 4. https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/system/files/Annex%204%20Technological%20analysis_rev_1.pdf

Miljø

Miljøperspektivene er viktige i hele verdikjeden fra vurdering av åpningsprosesser for arealer, under leting, utbygging og drift av virksomheten til nedlegging og opprydding. Hensynet til miljøet er regulert både i den nye havbunnsmineralloven og annen norsk lovgivning og gjennom internasjonale lover. Det stilles krav til blant annet miljøutredning, plan for beredskap, plan for HMS, plan for forvaltning og overvåking av miljøet og plan for nedstenging.

International Marine Minerals Society har utviklet retningslinjer for miljøledelse for mineralvirksomhet på havbunnen³⁹. Disse retningslinjene skal fungere som et supplement til gjeldende nasjonalt og internasjonalt lovverk. De er frivillige å følge og kan i enkelte tilfeller etterstrebe en høyere standard/strengere praksis enn lovverket. Blant prinsippene i retningslinjene er åpen rapportering av miljømessig ytelse og konsultasjon med interessenter og lokalsamfunn. Førvar prinsippet er viktig, og retningslinjene skal fungere som referanse (benchmark) for god praksis.

De tre viktigste miljømessige konsekvensene antas å være⁴⁰:

- Tap av areal på havbunnen, som er leveområder for flora og fauna.
- Effekter av driften på havbunn i form av partikler i suspensjon og resedimentasjon av disse⁴¹.
- Effekter av produksjonsutslipp, blant annet avvanning. Slike utslipp vil også inneholde partikler i suspensjon, samt mulig kjemikalier.

Ellers kan det også være forurensning forbundet med støy, vibrasjoner og lys.

Miljøkonsekvensene vil sannsynlig vise store forskjeller mellom de tre hovedtypene ressurser med hensyn på varighet, størrelse på området som blir berørt, hvilken type konsekvens og mulighet for gjenoppretting. En rekke kunnskaps- og teknologigap er identifisert.

Internasjonale forskningsinitiativ

EU – Horisont 2020

Fokuset i Horisont 2020 er rettet mot råmaterialer til industriell bruk som metalliske mineraler, industrimineraler, konstruksjonsmaterialer, skog og naturlig gummi. Temaet hører inn under prioriteringen Societal Challenge 5: "Climate action, environment, resource efficiency and raw materials"⁴². For råmaterialer spenner aksjonene fra bærekraftig leting, utvinning, prosessering til resirkulering⁴³. En del av prosjektene under denne prioriteringen har deltagelse fra norske forskningsorganisasjoner⁴⁴. Det er også norske bedrifter med i prosjektene. Prosjektet "Secure European Critical Rare Earth Elements" koordineres av SINTEF med deltagelse av norske bedrifter

³⁹ Code for environmental management of marine mining (adopted 2001, revised 2011):

https://www.immsoc.org/IMMS_downloads/2011_SEPT_16_IMMS_Code.pdf

⁴⁰ Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Annex 6:

https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/system/files/Annex%206%20Environmental%20analysis_rev_0.pdf

⁴¹ En suspensjon er en oppblanding av et finfordelt, men uoppløselig fast stoff i ei væske. I en suspensjon vil stoffet etter ei tid synke til bunns – sedimentere – dersom stoffet har større tetthet enn væsken.

⁴² <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/climate-action-environment-resource-efficiency-and-raw-materials>

⁴³ H2020-EU.3.5.3. - Ensuring the sustainable supply of non-energy and non-agricultural raw materials.

https://cordis.europa.eu/programme/rcn/664407_en.html

⁴⁴ Prosjektporteføljen under EU.3.5.3 [https://cordis.europa.eu/projects/result_en?q=\(relatedProgramme/programme/code%3D'H2020-EU.3.5.3.*'%20OR%20relatedSubProgramme/programme/code%3D'H2020-EU.3.5.3.*'\)%20AND%20contenttype%3D'project'](https://cordis.europa.eu/projects/result_en?q=(relatedProgramme/programme/code%3D'H2020-EU.3.5.3.*'%20OR%20relatedSubProgramme/programme/code%3D'H2020-EU.3.5.3.*')%20AND%20contenttype%3D'project')

som Yara International og REETEC⁴⁵. NTNU koordinerer prosjektet "Global material flows and demand-supply forecasting for mineral strategies"⁴⁶.

I vedlegg 1 er det gitt en oversikt over relevante EU prosjekter for havbunnsmineraler. I den løpende Horisont 2020 porteføljen finnes prosjekter som ser på autonom undervannsteknologi for undersøkelse av mineralressurser og gruver^{47,48}. Disse to prosjektene har ikke norsk deltagelse. NTNU deltar i prosjektet "Blue nodules"⁴⁹. Dette prosjektet utvikler teknologi og metodikk for å hente manganknoller fra havdyp inntil 6000 meter. Under 7. rammeprogram ble prosjektet "Blue mining" finansiert. Dette prosjektet omfattet både sulfidforekomster og mangannoduler, og hadde aktiviteter som dekket store deler av verdikjeden fra leting, vurdering av ressurser og teknologi fra sjøbunn til havoverflate⁵⁰. Prosjektet tar blant annet opp betydningen av inaktive sulfidforekomster: Det antas at inaktive sulfidforekomster er langt mer vanlig forekommende enn aktive forekomster, og disse kan være en aktuell ressurstype for økonomisk aktivitet. Det er behov for raskere og mer kostnadseffektive metoder for leting, og forskning på en rekke forskjellige teknologier inngikk i prosjektet. Prosjektet "MIDAS", som ble finansiert under EUs 7. rammeprogram, forsket på miljøkonsekvenser, som blant annet resulterte i 95 anbefalinger for framtidige tiltak og reguleringer⁵¹. Blant anbefalingene er det forslag om å avsette referansearealer som ikke skal berøres av virksomheten.

JPI Oceans

Norge var en av initiativtakerne da det i 2011 ble etablert et eget europeisk fellesprogram på temaet sunne og produktive hav - JPI Oceans⁵². JPI Oceans dekker alle hav- og sjøområder i Europa. JPI Oceans står for The Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans. Programmet er en koordinerende og strategisk plattform som er åpen for alle EUs medlemsstater og assosierte land som investerer i marin og maritim forskning. I 2016 har JPI Oceans 21 medlemsland. Ett av JPI Oceans strategiske områder er "Exploring Deep Sea Resources", og i 2013 ble det igangsatt en aktivitet, "Ecological aspects of deep-sea mining" innenfor temaområdet. Som resultat ble prosjektet "MiningImpact" finansiert av en rekke europeiske land, inkludert Norge. Prosjektets målsetting har vært å evaluere de økologiske langtidseffektene av utvinning av mineraler på sjøbunnen i dyphavsområder. Tyskland ledet prosjektet og stilte til rådighet forskningsskipet RV Sonne hvor interesserte land fikk anledning til å delta på toktene med relevant kompetanse og utstyr. Skipet besøkte flere områder i internasjonalt farvann hvor det er gitt lisenser til mineralutvinning, inkludert to områder som anses å være av særskilt miljøinteresse (såkalte APEIs) i 'Clarion-Clipperton Zone' (CCZ) og i 'Peru Basin'. Fase to for aktiviteten er nå i gang⁵³. Bakgrunnen for videreføringen er at en privat belgisk aktør, DEME Group, planlegger å gjennomføre dyphavsmineralutvinning i CCZ som ligger i internasjonalt farvann i det østlige Stillehavet. Målsettingen med fase to vil derfor være å gjøre undersøkelser før, under og etter at det er gjennomført mineralutvinning, for å kunne studere miljøkonsekvensene av en slik aktivitet.

⁴⁵ https://www.forskningsradet.no/prognett-horisont2020/Nyheter/Halte_i_land_Norges_nest_storste_EUprosjekt/1254033419972/p1253988679434

⁴⁶ Global material flows and demand-supply forecasting for mineral strategies. <https://cordis.europa.eu/project/rcn/206335/factsheet/en>

⁴⁷ Autonomous Underwater Explorer for Flooded Mines. https://cordis.europa.eu/project/rcn/199904_en.html

⁴⁸ Robotic subsea exploration technologies. <http://eu-robust.eu/>

⁴⁹ Breakthrough Solutions for the Sustainable Harvesting and Processing of Deep Sea Polymetallic Nodules. https://cordis.europa.eu/project/rcn/199883_en.html

⁵⁰ https://blueminig.eu/download/project_results/public_reports/Blue-mining-Public-Report-2018.pdf

⁵¹ MIDAS, Recommendations for future regulations. https://www.eu-midas.net/sites/default/files/downloads/MIDAS_recommendations_for_policy_lowres.pdf

⁵² https://www.forskningsradet.no/prognett-jpioceans/Om_JPI_Oceans/1254005550925

⁵³ <http://www.oceanblogs.org/easdm/>

International Ocean Discovery Program (IODP)

Norge, gjennom Forskningsrådet, deltar i The International Ocean Discovery Program (IODP)⁵⁴, som er et internasjonalt, marint forskningssamarbeid. Medlemskapet er organisert gjennom European Consortium for Ocean Research Drilling (ECORD).

IODP undersøker jordens historie og dynamikk ved å benytte havgående forskningsfartøy for innsamling av data i sedimenter og bergarter på havbunnen og for monitorering av miljøet i disse sedimentene og bergartene. Den vitenskapelige planen for 2013-2023⁵⁵ har et bredt faglig perspektiv med fire tematiske områder:

- Climate (Klima)
- Deep life (Liv på og i havbunnen)
- Planetary dynamics (Geologiske prosesser – med vekt på dannelse av havbunn)
- Hazards (Risiko for naturkatastrofer – jordskjelv, tsunamis, undersjøiske ras etc)

Medlemskapet i IODP er i første rekke viktig for geofaglig grunnforskning og kompetanseutvikling hos forskningsmiljøene. En viktig effekt er internasjonal nettverksbygging.

Ekspedisjonene dekker svært stor bredde av vitenskapelige spørsmål. Enkelte av ekspedisjonene har vært rettet mot forståelsen av fluid sirkulasjon rundt magmakilder med påfølgende dannelse av metalliske forekomster. Eksempler på dette er: Ekspedisjon 376 Brothers Arc Flux⁵⁶ boret i 2018 mineralisering rundt en undersjøisk vulkan nær New Zealand. Resultatene vil gi innsikt i forskjellige reaksjoner mellom bergarter og fluider, samt i det mikrobiologiske økosystemet. Ekspedisjon 158⁵⁷ i 1994 gjennomførte boring i det hydrotermale TAG (Trans-Atlantic-Geotravers) feltet i Atlanterhavet. Her finnes både svarte (363 °C) og hvite (260-300 °C) skorsteiner. Mineraliseringene omfatter jern, kobber og sink sulfider. Det hydrotermale PACMANUS feltet nær Papua New Guinea ble boret under ekspedisjon 193 i 2000-2001⁵⁸. Formålet var ny kunnskap om den vulkanske arkitekturen med tilhørende mineralisering og omvandling, samt å teste mikrobiologisk liv i systemet og innsamling av fluidprøver. Middle Valley langs Juan de Fuca Ridge utenfor Canada er område med hydrotermal aktivitet i et sediment-fyllt basseng, som ble undersøkt av ekspedisjon 139 i 1991⁵⁹. Dette er en av de større, kjente sulfidforekomstene i havområdene, og beregninger av tonnasje er bekreftet gjennom en oppfølgende ekspedisjon i 1996 (ekspedisjon 168⁶⁰). Ekspedisjon 331 undersøkte mikrobiologisk liv i dypet rundt hydrotermale systemer i Okinawa-rennen utenfor Japan i 2010⁶¹.

Et studium for å undersøke kunnskapsfronten om havbunnsmineraler finansiert av EU⁶² finner at mange beregninger av metallkonsentrasjoner og tonnasje av marine sulfidforekomster har store feilkilder på grunn av manglende representativ prøvetaking. Det er relativt liten tilgang på borekjerner, og IODP (sammen med forløperen ODP) beskrives som en av svært få, viktige datakilder for sikre beregninger.

⁵⁴ <https://www.iodp.org/about-iodp/about-iodp>

⁵⁵ <https://www.iodp.org/about-iodp/iodp-science-plan-2013-2023>

⁵⁶ http://publications.iodp.org/preliminary_report/376/index.html

⁵⁷ http://www.odplegacy.org/science_results/leg_summaries/Leg158.html

⁵⁸ Binns RA, Barriga FJAS and Miller (2007): LEG 193 synthesis: An active felsic-hosted hydrothermal system. http://www-odp.tamu.edu/publications/193_SR/VOLUME/SYNTH/SYNTH.PDF

⁵⁹ http://www.odplegacy.org/science_results/leg_summaries/Leg139.html

⁶⁰ http://www.odplegacy.org/science_results/leg_summaries/Leg168/

⁶¹ <http://www.jamstec.go.jp/chikyuu/e/exp331/index.html>

⁶² <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/node/3732>

Forskningsrådets innsats

Programmene

Forskningsrådets prosjektportefølje innenfor havbunnsmineraler ligger hovedsakelig på åpne konkurransearenaer. To tematiske programmer, MARINFORSK og MAROFF, har en begrenset, målrettet satsing på havbunnsmineraler.

MARINFORSK

MARINFORSK skal øke kunnskapen om marine økosystemer og konsekvensene av menneskeskapte påvirkninger. Med kunnskap i forskningsfronten skal programmet styrke grunnlaget for gode og effektive forvaltningsprosesser og bærekraftig verdiskaping basert på marine ressurser.

Som oppfølging til denne målsettingen, har MARINFORSK hatt utlysninger rettet mot samarbeidet i JPI Ocean om de økologiske aspektene av gruvedrift på havbunnen. Gjennom disse utlysningene, finansierer MARINFORSK den norske deltagelsen i MiningImpact prosjektene, som er beskrevet over.

MAROFF

MAROFF skal støtte forskning og utvikling som bidrar til økt verdiskaping for den maritime næringen. Innenfor bærekraftige rammer er målet økt konkurransevne, styrket omstillingsevne og forbedret samspill og kunnskapsoverføring mellom FoU-miljø og næringen. Maritim næring defineres her som rederinæringen, verftsindustrien, tjenesteleverandører og utstyrsleverandører til alle typer skip og fartøy for utnyttelse av havrommet, inkludert fartøy og maritim teknologi knyttet til andre havnæringer (herunder havbruk, fiskeri, offshore olje- og gassutvinning og offshore fornybar energi). Den inkluderer også forskningsmiljø på teknologiske og samfunnsvitenskapelige tema av betydning for norsk maritim næring.

I tillegg til den eksisterende maritime sektoren, beskriver MAROFF i sin programplan også muligheter innenfor nye havnæringer. Nye havnæringer er drevet av at vi blir flere mennesker på jorda, av økt velstand, økt press på naturressurser, klimautfordringer og nye teknologier. De nye næringene inkluderer energiproduksjon fra havvind, olje- og gassutvinning på ultradypt vann og i spesielt ugjestmilde omgivelser, offshore havbruk, mineralutvinning på havbunnen, havturisme, fiske etter arter på lavere trofisk nivå, fiske på dypere vann og marin bioteknologi.

Prosjektporteføljen

En prosjektportefølje som er målrettet mot havbunnsmineraler, er identifisert gjennom fritekst-søk i Prosjektbanken⁶³. En prosjektoversikt er gitt i Vedlegg 2. Det er en liten portefølje som ble funnet, men den dekker relativt bredt innenfor aktuell tematikk. Likeledes finnes både grunnforskningsprosjekter, samarbeidsprosjekter ledet av forskningsorganisasjoner med bedrifter som industripartnere og prosjekter ledet av bedrifter. Følgende åpne konkurransearenaer har eller har hatt målrettede prosjekter:

SFF – Sentre for fremragende forskning
SFI – Sentre for forskningsdrevet innovasjon
FRIPRO (FRINATEK) – Fri prosjektstøtte
BIA – Brukerstyrt innovasjonsarena
Forskningsinfrastruktur

⁶³ <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/>

I tillegg til den målrettede porteføljen er det sannsynlig at Forskningsrådet har en mye større prosjektportefølje med relevant forskning og teknologiutvikling. I første rekke er det sannsynlig at petroleumsprogrammene, PETROMAKS 2 og DEMO 2000, har prosjekter med overføringsverdi av kompetanse og teknologi. Et prosjekt eksempel fra PETROMAKS 2, er prosjekt 228400 som utvikler geofysiske metoder for å oppnå bedre avbildning av undergrunn. Et av forskningsresultatene er svært aktuelt for mineralressurser langs spredningsrygger⁶⁴.

Forskningsorganisasjonenes aktivitet

Som ledd i arbeidet med kunnskapsgrunnlaget inviterte Forskningsrådet forskere og forskningsorganisasjoner til en workshop 22. mai 2019. Program og deltagerliste er gitt i Vedlegg 3.

Oppsummering av workshop om havbunnsmineraler

Forskningsrådet innledet workshopen med en orientering om status for kunnskapsgrunnlaget, om kommende relevante utlysninger i Horisont 2020 og planer for Horisont Europa. Oljedirektoratet og Miljødirektoratet orienterte om sine respektive ansvar og synspunkter. Den nystartede foreningen Norwegian Forum for Marine Minerals ble presentert. Den tyske organisasjonen DeepSea Mining Alliance⁶⁵ fungerte som modell for opprettelsen av den norske foreningen.

Med utgangspunkt i de fire spørsmålene (under) var alle forskningsorganisasjonene invitert til å gi korte innlegg.

1. Nåværende relevant forskningsaktivitet og pågående prosjekter

Universitetet i Tromsø, NTNU, NGU, Universitetet i Bergen og NORCE har relevant forskningsaktivitet og pågående prosjekter. Aktivitetene omfatter blant annet datainnsamling i norske havområder og deltagelse på internasjonale tokt. Forskningsinteressene spenner bredt fra biologi, geologi til mer teknologiske spørsmål for utvinning. Flere pågående prosjekter og nye prosjektsøknader til åpne konkurransearenaer ble nevnt.

Universitetet i Tromsø har forskningsaktivitet på hydrotermale prosesser langs midthavsrygger. Mineralogiske og geokjemiske undersøkelser er sentralt i aktiviteten. NTNU har en bred faglig tilnærming, der forskningsaktiviteten omfatter blant annet geologi, geofysikk, miljø, historie, etikk, energiforsyning og energisystemer. Verdikjeden fra leting, operasjoner og transport er inkludert. NGU har bred aktivitet innenfor malmgeologi med gode laboratorie-fasiliteter, geofysikk og ressursvurderinger. Universitetet i Bergen har 20 års erfaring med dyphavsforskning og studier av marine mineralavsetninger. Det gjennomføres årlige dyphavstokt. Forskningsaktiviteten har en stor bredde innenfor geologi og biologi. Temaer omfatter blant annet jordskorpens vekst langs spredningsrygger, hydrotermale systemer og reaksjoner, mineralressurser i dyphavene, og økosystemer og bioressurser i dyphavene. NORCE forsker på taksonomi av organismer i dyphavene, og har blant annet deltatt på tokt i Stillehavet. Mange nye organismer er funnet.

⁶⁴ <https://www.abcnyheter.no/nyheter/norge/2019/03/30/195565581/unike-bilder-fra-jordas-indre-overrasker-forskerne>
<https://www.nrk.no/finnmark/forskere-bruker-solvind-og-nordlys-for-a-se-havbunnen-1.14485130>

⁶⁵ <http://www.deepsea-mining-alliance.com/>

2. Kunnskaps- og teknologi gap som krever videre forskning for en mulig framtidig utnyttelse av norske mineralressurser på havbunnen

Selv om norske og internasjonale forskningsmiljøer har gjort stor framgang i løpet av de siste tiårene, er det fortsatt klart at kunnskapen om både geologiske og biologiske ressurser i dyphavene er på et tidlig stadium med mye som er ukjent og lite er kartlagt. I startfasen er det viktig å få bedre kunnskap om mineralressursene, om de kan være økonomisk interessante og metodikk for å vurdere potensialet. Likeledes er bedre kunnskap om økosystemene og mulige biologiske ressurser viktig, og det kan være et spørsmål om det også går an å etablere ressursanslag over bioressurser. Det vil også være teknologibehov, blant annet med hensyn til utvinning og transport av materiale til overflaten. Likeledes vil graden av utnyttelse være av stor betydning.

Forskningen innenfor dette feltet er kostbar med behov for både investeringer og driftsmidler. Tilgang på prøvemateriale og andre typer data er en nødvendig forutsetning for forskning. Dette krever blant annet skipstid, og utstyr som kan utføre egnet prøvetaking og datainnsamling. Det meste av prøveinnsamlingen skjer med ROVer (ROV=remote operated vehicle). Dette begrenser forståelsen av de dypere delene av forekomstene. Mulighet til å ta borekjerner vil være viktig for en representativ prøvetaking. Bevilgning fra Forskningsrådets program for forskningsinfrastruktur ble nevnt av Universitetet i Bergen som viktig i deres forskning (prosjekt 226126), og ny søknad om oppgradering er sendt. Samarbeid om skipstid og deling av data er også viktige diskusjonstemaer for hvordan forskningsfeltet kan løftes. Det er ulike synspunkter på hvordan dette kan gjøres på best mulig måte. På generell basis er Forskningsrådet i gang med policy arbeid om åpen forskning og datahåndtering.

3. Mulig kunnskaps- og teknologioverføring fra andre sektorer

Mange av de øvrige forskningsorganisasjonene, som i dag ikke har pågående relevante prosjekter, uttrykte at de har relevant kompetanse og eventuelt også interesse av å starte en ny forskningsaktivitet, dersom forholdene ligger til rette for det. Kompetanse med overføringsverdi omfatter blant annet geologi, geofysikk og miljøkjemi. Interesse for samarbeid med industrien og forskning på tematikk som involverer mange interessenter ble også nevnt.

4. Drivere for en mulig framtidig utnyttelse av havbunnsmineraler

Et par av innleggene belyste sammenhengen mellom landbaserte og havbaserte mineralforekomster, og betydningen av å se disse i sammenheng. Behovene for metaller og mineraler øker på verdensbasis av flere årsaker, blant annet befolknings- og velstandsvekst, overgang fra fossile til fornybare energikilder og ny teknologi. Mer effektiv og større grad av resirkulering/gjenvinning er helt nødvendig på sikt. Det er en viktig forskjell mellom behov og etterspørsel. NGU anslår at de vesentlige andelene av primære kilder til mineralressurser i fremtiden vil være på land, kanskje med unntak av sand og enkelte spesialmetaller. Diskusjonen viste også at flere mente det er altfor liten aktivitet på leting etter ressurser og framskaffelse av nye data og ny kunnskap – både på land og til havs. Det er en økende bekymring for råstoffmangel. Alle kilder til råstoffer, både primære og sekundære, må undersøkes bedre, for å kunne møte framtidige behov.

Anbefalinger

Oppsummering – status av FoU for mineralutvinning på havbunnen

Viktige drivkrefter for å utvikle mineralutvinning på havbunnen er knyttet til den globale økonomiske veksten. Det er økt internasjonal oppmerksomhet mot mineralvirksomhet på grunn av behov for

sikker tilgang til essensielle råmaterialer. En økende bevissthet om bærekraft medfører blant annet økt behov for råstoffer som muliggjør en grønnere økonomi. Samtidig er mineralindustriens påvirkning på miljøet en økende bekymring, og minimalisere det miljømessige fotavtrykket er en forutsetning for virksomheten.

Råmaterialene kan komme både fra primære og sekundære kilder. De primære kildene er vesentlig landbasert mineralvirksomhet, og utvikling av mineralutvinning på havbunnen kan bli en ny primær kilde. Sekundære kilder dreier seg om resirkulering/gjenvinning. EU har målrettet forskningsaktivitet mot primære og sekundære råmaterialer i Horisont 2020 og i tidligere rammeprogram. Forskningsrådets prosjektportefølje innenfor havbunnsmineraler ligger hovedsakelig på åpne konkurransearenaer. To tematiske programmer, MARINFORSK og MAROFF, har en begrenset, målrettet satsing på havbunnsmineraler. Det er en liten prosjektportefølje som ble funnet, men den dekker relativt bredt innenfor aktuell tematikk. Likeledes finnes både grunnforskningsprosjekter, samarbeidsprosjekter ledet av forskningsorganisasjoner med bedrifter som industripartnere og prosjekter ledet av bedrifter.

I den oppdaterte havstrategien fra 2019 sier regjeringen at den vil forvalte havbunnsmineraler i tråd med ny havbunnsminerallov, og vurdere åpning av deler av norsk sokkel for kommersiell og bærekraftig utvinning av havbunnsmineraler.

Med en liten, dedikert finansiering og en fragmentert forskningsinnsats er det vanskelig for Norge å opparbeide seg en ledende internasjonal posisjon. Det internasjonale aspektet er særlig viktig for dette nye nærings- og forvaltningsområdet. En mulig framtidig næringsaktivitet vil sannsynlig foregå svært langt fra Norges fastland. Det er også en virksomhet som vil operere i et internasjonalt marked med høy konkurranse. Det foreslås derfor en ny forskningssatsing på havbunnsmineraler på norsk kontinentalsokkel. Det er viktig å gjennomføre en forskningssatsing nå når det juridiske rammeverket er kommet på plass. Forskningen bør ligge i forkant av eventuell ny næringsvirksomhet.

Kunnskaps- og teknologigap

Det synes å være kunnskaps- og teknologigap i store deler av verdikjeden. Store havområder er fortsatt ikke undersøkt. Eksempler fra datainnsamlingstokt viser at forekomster av hydrotermal aktivitet langs spredningsrygger kan være vesentlig underestimert⁶⁶. På norsk sokkel er mange av de hydrotermale feltene funnet svært nylig. Den største andelen av kjente sulfidforekomster (73 %) på havbunnen er aktive hydrotermale skorsteiner⁶⁷. Dette reflekterer fortsatt letemetodene som er i bruk, og representerer ikke den antatte fordelingen av ressurser på havbunnen. Det forventes et høyere antall av inaktive enn aktive forekomster.

Det finnes leteteknologier på høyt TRL nivå, som beskrevet i et EU studium⁶⁸. Forskningsprosjekter, for eksempel Blue mining finansiert av EUs 7 rammeprogram, viser likevel behovet for nye og mer kostnadseffektive letemetoder. Det er viktig med en rekke teknologier som er tilpasset forskjellige typer ressurser, og disse teknologiene må samlet sett være tilstrekkelig kostnadseffektive for kommersiell aktivitet. Screening metodikk kan være nyttig i en tidlig fase når så vidt lite er kjent om

⁶⁶ Yue et al (2019) Seafloor hydrothermal activity along mid-ocean ridge with strong melt supply: study from segment 27, southwest Indian ridge. Scientific Reports volume 9, Article number: 9874 (2019), <https://www.nature.com/articles/s41598-019-46299-1>

⁶⁷ Petersen et al (2019) Same, same, but different: recent advances in our understanding of modern seafloor hydrothermal systems. Life with Ore Deposits on Earth – 15th SGA Biennial Meeting 2019, Volume 1

⁶⁸ Study to investigate state of knowledge of deep sea mining. Annex 4. https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/system/files/Annex%204%20Technological%20analysis_rev_1.pdf

ressursgrunnlaget, og satellitt informasjon kan være en mulighet⁶⁹. Likeledes er det nødvendig med en verktøykasse med forskjellige geofysiske, geologiske og modelleringsmetoder. For tilstrekkelig kunnskap om ressursene er representativ prøvetaking nødvendig. Miljøperspektivene er viktige i alle stadier av virksomheten, og en rekke kunnskaps og teknologigap er identifisert, blant annet gjennom "MIDAS" prosjektet, som ble finansiert under EUs 7. rammeprogram.

Det er sannsynlig at det er en betydelig mulighet for forskningen til å nyttiggjøre kunnskaps- og teknologioverføring fra olje og gass sektoren. Blant annet har letemodell-konseptet for olje og gass vært et nyttig rammeverk for å knytte sammen kunnskapen om geologiske prosesser med modelleringsverktøy slik at uoppdagete ressurser kan estimeres, og metodikken anvendes i leteprosessen. Det er også sannsynlig at det er en større kompetansebase hos forskningsmiljøene enn den som utnyttes i dag.

Forslag til ny forskningssatsing

Satsingen retter seg mot to av de overordnede målene i LTP; styrket konkurransekraft og innovasjonsevne og å møte store samfunnsutfordringer. Satsingsforslaget treffer prioriteringen av Hav. Ettersom en mulig framtidig næringsvirksomhet er motivert utfra økt behov for råstoffer for en grønnere utvikling er den også relevant for prioriteringen Klima, miljø og miljøvennlig energi.

Mål: Satsingen skal gi ny kunnskap om ressursgrunnlaget, ny teknologi som muliggjør undersøkelse og utvinning av mineralressurser på norsk kontinentalsokkel og miljøperspektiver ved virksomheten.

Mulige og prioriterte tiltak: Det viktigste tiltaket er å etablere en målrettet og helhetlig satsing, som kan se de forskjellige forskningsbehovene i sammenheng. Ettersom dette er en virksomhet i startgropen, er det viktig å prioritere forskning og teknologiutvikling som gjør det mulig å etablere sikre ressursanslag. Dette omfatter geologiske letemodeller og ny teknologi for å kunne gjennomføre ressurskartlegging på effektiv og økonomisk måte. Videre må ny kunnskap og teknologi om miljørisiko og konsekvenser forbundet med virksomheten utvikles. Slik kunnskap har stor betydning for blant annet nasjonale åpningsprosesser for virksomheten, men vil også være av betydning for utviklingen av denne næringen internasjonalt. Tiltakene må også omfatte teknologisk forskning som kan medvirke til å modne ressurser til reserver.

Investeringsmål: Investeringsmålene er rettet mot de tre pilarene: ressursgrunnlaget, teknologi for undersøkelse og utvinning og miljøperspektiver. Det vil være viktig å etablere en balansert prosjektportefølje der forskningsmiljøene og næringslivet samarbeider. Deltagelse i relevante internasjonale fellesutlysninger (ERANET, etc) kan være en del av investeringsmålene.

Forventede resultater, virkninger og effekter bør gi bidrag til en bærekraftig forvaltning av ressursene, utvikling av en mulig ny næringssektor, sameksistens mellom forskjellige havnæringer og bidrag til Forskningsrådets bærekraftsmål om rene, trygge og produktive hav.

⁶⁹ <http://marine.copernicus.eu/usecases/support-exploration-activities-deep-sea-mining-2/>

Problem som Forskningsrådet vil ta tak i	Forskningsrådets mål	Delmål for satsingsforslaget	Mulige relevante tiltak	Forventede resultater	Forventede virkninger	Forventede effekter
Mulighet for store mineralressurser på norsk kontinental-sokkel og begrenset kunnskap og teknologi for undersøkelse og utvinning.	Etablere en helhetlig forskningsinnsats innenfor et nytt sektorområde.	Økt kunnskap om ressursgrunnlaget, økt kunnskap om miljøbelastningen og nødvendige tiltak, ny teknologi som muliggjør undersøkelse og utvinning.	Utllysning av prosjektsøtte, spesielt KSP Deltagelse i internasjonale utlysninger/samarbeid	Ny og godt dokumentert kunnskap gjennom vitenskapelige publikasjoner, ny teknologi og ny kompetanse både hos forskningsmiljøer og næringsliv	Utvikling av en mulig ny næringssektor med minst mulig miljøfotavtrykk i samsamsistens med andre havnæringer	En bærekraftig forvaltning av ressursene. Bidrag til målet om rene, trygge og produktive hav. Bidrag til en sikker tilgang på viktige råstoffer.
Prioritert(e) tiltak i 2021: Utllysning av prosjektsøtte						

VEDLEGG 1 Prosjekter i EUs rammeprogrammer

Program ID Akronym	Tittel	Koordinator	Periode	Beskrivelse	Norsk deltagelse
H2020 642477 VAMOS	iViable and Alternative Mine Operating System! http://vamos-project.eu/	Storbritannia	2015-2019	To design and build a robotic, underwater mining prototype with associated launch and recovery equipment, which was used to perform field tests at two EU minesites.	
H2020 635359 BRIDGES	Bringing together Research and Industry for the Development of Glider Environmental Services, http://www.bridges-h2020.eu/	Frankrike	2015-2019	Provide a necessary tool for further understanding, improved monitoring, and responsible exploitation of the marine environment while assuring its long-term preservation	NORCE
H2020 678760 ATLAS	A Trans-Atlantic Assessment and deep-water ecosystem-based Spatial management plan for Europe. https://www.eu-atlas.org/	Storbritannia	2016-2020	ATLAS will gather diverse new information on sensitive Atlantic ecosystems (incl. VMEs and EBSAs) to produce a step-change in our understanding of their connectivity, functioning and responses to future changes in human use and ocean climate.	UiT
H2020 690008 UNEXMIN	Autonomous Underwater Explorer for Flooded Mines.	Ungarn	2016-2019	Develop a novel robotic system for the autonomous exploration and mapping of Europe's flooded mines. The Robotic Explorer (UX-1) will use non-invasive methods for autonomous 3D mine mapping for gathering valuable geological and mineralogical information.	
H2020 90416 ROBUST	Robotic subsea exploration technologies. http://eu-robust.eu/	Storbritannia	2015-2020	Developing sea bed in situ material identification through the fusion of two technologies, namely laser-based in-situ element-analyzing capability merged with underwater AUV (Autonomous Underwater Vehicle)	

Program ID Akronym	Tittel	Koordinator	Periode	Beskrivelse	Norsk deltagelse
				technologies for sea bed 3D mapping.	
H2020 688975 Blue nodules	Breakthrough Solutions for the Sustainable Harvesting and Processing of Deep Sea Polymetallic Nodules.	Nederland	2016-2020	Develop and test to TRL6 maturity a new highly-automated and technologically sustainable deep sea mining system. A dedicated WP focuses on environmental issues and on an Environmental Impact Assessment (EIA).	NTNU
FP 7 604500 Blue mining	Breakthrough Solutions for the Sustainable Exploration and Extraction of Deep Sea Mineral Resources, https://bluemining.eu/ , https://bluemining.eu/download/project_results/public_reports/Blue-mining-Public-Report-2018.pdf	Nederland	2014-2018	To provide breakthrough solutions for a sustainable deep sea mining value chain. This means to develop the technical capabilities to adequately and cost-effectively discover, assess and extract deep sea mineral deposits up to 6,000 m water depths as this is the required range where valuable seafloor mineral resources are found.	NTNU
FP 7 603418 MIDAS	Managing Impacts of Deep-sea reSource exploitation, https://www.eu-midas.net/ , https://www.eu-midas.net/sites/default/files/downloads/MIDAS_research_highlights_low_res.pdf , https://www.eu-midas.net/sites/default/files/downloads/MIDAS_recommendations_for_policy_lowres.pdf	Storbritannia	2013-2016	The MIDAS project addresses fundamental environmental issues relating to the exploitation of deep-sea mineral and energy resources; specifically polymetallic sulphides, manganese nodules, cobalt-rich ferromanganese crusts, methane hydrates and the potential mining of rare earth elements.	IRIS, NGI, UiT, UiB
FP 7 226354 HERMIONE	Hotspot Ecosystem Research and Man's Impact on European seas	Storbritannia	2009-2012	To make a major advance in our knowledge of the functioning of deep-sea ecosystems and their contribution to the production of goods and services.	UiT, Havforskningsinstituttet
FP 6 511234 HERMES	Hotspot ecosystem research on the margins of European seas	Storbritannia	2004-2009	Designed to gain new insights into the biodiversity, structure, function and dynamics of ecosystems along	UiT, Havforskningsinstituttet, 2 bedrifter

Program ID Akronym	Tittel	Koordinator	Periode	Beskrivelse	Norsk deltagelse
				Europe's deep-ocean margin.	
FP 7 244099 DS3F	Deep-sea and sub-seafloor frontier	Tyskland	2010-2012	Develop subseafloor sampling strategies for enhanced understanding of deep-sea and subseafloor processes by connecting marine research in life and geosciences, climate and environmental change, with socio-economic issues and policy building.	UiT

VEDLEGG 2 Prosjekter hos Forskningsrådet

Prosjekt/ Program/ Søknads- type	Tittel	Prosjekt- ansvarlig	Periode	Beskrivelse
179560 SFF Senter	Centre for Geobiology, CGB Deep Seafloor, Deep Biosphere & Roots of Life	Universitetet i Bergen	2007 - 2017	<p>Ny grunnleggende kunnskap om samspillet mellom jordens geosfære og biosfære.</p> <p>Forskningen ved senteret fokuseres på prosesser i dyphavet og samvirket mellom biogene og ikke biogene prosesser både på og under havbunnen; på utbredelsen og funksjonen av mikrobielt liv i den dype biosfæren i undergrunnen; på spor etter liv i jordens eldste bergarter dannet i dyp tid; og på leting etter livets røtter i genforråd tilknyttet ekstreme miljøer.</p> <p>https://www.forskningsradet.no/bladetforskning/Nyheter/Leter_etter_livets_rotter/1250810563924</p> <p>https://www.uib.no/geobio</p>
237929 SFI Senter	Marine Operations	NTNU – Ålesund	2015 - 2023	<p>Kompetansesenter for innovasjon innen maritime operasjoner. Fokus er muliggjørende teknologi og metoder samt «cross over» mellom ulike bransjer.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Frontier areas – dypt vann, Arktis ➤ Vind ➤ Havbunnsmineraler <p>https://www.forskningsradet.no/prognett-maroff/Nyheter/Skal_simulere_dyphavsgruver/1254016535644&lang=no</p>
256232 MAROFF IPN	Vessel concept for offshore mining	Marin Teknikk AS	2015 - 2018	<p>Undersøke to fartøykonsepter og fartøydesign innenfor ulike typer offshore mineralgruvedrift (jernmalm og diamanter).</p> <p>http://www.marinteknikk.no/headlines/2014/offshore-mining---nytt-markedssegment-for-marin-teknikk-as</p> <p>https://www.kleven.no/referansar/ss-nujoma</p>

Prosjekt/ Program/ Søknads- type	Tittel	Prosjekt- ansvarlig	Periode	Beskrivelse
247626 BIA KPN	MarMine - Exploitation technologies for marine minerals on the extended Norwegian continental shelf	NTNU	2015 – 2020	Prosjektet skal vurdere og utvikle ny kunnskap for å utnytte SMS forekomster. http://pet.geo.ntnu.no/wordpress/marmine/
281987 BIA IPN	Neste generasjons ekstrudering av myke plastslanger	Fenner Mandals AS	2018 - 2021	Fenner Mandals skal, i samarbeid med forskningsinstituttene Teknova og Norner Research, utvikle ny produksjonsteknologi for ekstrudering av myke, vevforsterkede plastslanger. https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/281987 https://gcenode.no/news/taking-fenner-mandals-to-new-depths/
290931 MARIN- FORSK Annen støtte	Environmental impacts and risks of deep-sea mining (MiningImpact 2)	NTNU	2018 – 2022	Et overvåkingsprogram for å sikre en uavhengig vitenskapelig undersøkelse av miljøbelastningen av et industrielt pilotforsøk på å høste noduler gjennomført av den belgiske entreprenøren DEME-GSR. http://www.jpi-oceans.eu/ecological-aspects-deep-sea-mining
228400 PETRO- MAKS2 FP	Geophysical methods for subsurface imaging and monitoring	NTNU	2013 – 2019	Utvikling av geofysiske metoder for å oppnå bedre avbildning av undergrunn. Et av forskningsresultatene er svært aktuelt for mineralressurser langs spredningsrygger. https://www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/228400 https://www.abcnyheter.no/nyheter/norge/2019/03/30/195565581/unike-bilder-fra-jordas-indre-overrasker-forskerne https://www.nrk.no/finnmark/forskere-bruker-solvind-og-nordlys-for-a-se-havbunnen-1.14485130

Prosjekt/ Program/ Søknads- type	Tittel	Prosjekt- ansvarlig	Periode	Beskrivelse
226126 Infra- struktur	Norwegian Marine Robotics Facility - Remotely Operated Vehicle for Deep Marine Research	Universitetet i Bergen	2013 – 2018	Visjon om å overføre industriell teknologi til norske marine forskningstiljøer slik at forskningstiljøene kan ligge i kunnskapsfronten innenfor marin forskning. https://prosjektbanken.forskningsradet.no/#/project/NFR/ 226126 https://www.uib.no/kgj-dyphav/104467/fasiliteter-og- ressurser
287934 FRINATEK Annen støtte	Unravelling hidden processes at the Aurora seamount: connectivity and biogeography of hydrothermal vents in the deep Arctic ocean	NIVA	2019 – 2022	Prosjektet skal forstå hvordan biologi i ulike undervannsventiler/skorsteiner er forbundet, da disse kan være nøkkelen for utveksling tilkobling av dyrepopulasjoner mellom ulike havbassenger. Prosjektet blir utført på en undersjøisk skorstein på Gakkelryggen
287364 FRINATEK FP	Hydrothermal Production of Organic molecules: carbon transformation and Decomposition in ocean crust fluids	Universitetet i Bergen	2019 – 2023	Prosjektet vil undersøke hvordan og hvilke organiske molekyl som blir produsert fra ulike typer av mulige karbonformer som finnes i varme kilder (karbondioksid, mikrober osv.).

IPN = Innovasjonsprosjekt i næringslivet, KPN = Kompetanseprosjekt for næringslivet, FP = forskerprosjekt

VEDLEGG 3 Workshop havbunnsmineraler

Sted: Forskningsrådet, Drammensveien 288, Lysaker

Tid: 22. mai 2019 10.00 – 14.00

PROGRAM

Ingrid Anne Munz, Forskningsrådet

Innledning om bestillingen og arbeidet med et kunnskapsgrunnlag for forskning og teknologiutvikling på området mineralutvinning på havbunnen

Ingunn Borlaug Lid, Forskningsrådet

Kommende relevante utlysninger i Horisont 2020 og planer for Horisont Europa

Harald Brekke, Oljedirektoratet

Mineralressurser internasjonalt og på norsk sokkel

Kari Holden, Miljødirektoratet

Mineralutvinning til havs - miljøperspektiver

Egil Tjøland, generalsekretær for Norwegian Forum for Marine Minerals (NMM)

Norwegian Forum for Marine Minerals (NMM) – Bærekraftig og ansvarlig leting og utvinning av marine mineralressurser.

LUNSJ

Innlegg fra

Universitetet i Oslo (Brit Lisa Skjelkvåle)

Universitetet i Tromsø (Sabina Strmic Palinkas)

NTNU (Steinar Ellefmo)

Universitetet i Bergen (Ingunn Thorseth)

Norges Geologiske Undersøkelse (Tom Heldal)

NORCE (Thomas Dahlgren)

Oppsummering

DELTAGERLISTE

Brit Lisa Skjelkvåle	Institutt for geofag/UiO
Kristin Falk	Universitetet i Sørøstnorge
Sabina Strmic Palinkas	UiT The Arctic University of Norway
Egil Tjøland	NTNU
Steinar Ellefmo	NTNU
Alejandro Escalona	Universitetet i Stavanger
Ingunn Thorseth	Universitetet i Bergen, Institutt for geovitenskap
Steffen L Jørgensen	Universitetet i Bergen, K G Jebsen-Senter for Dyphavsforskning
Tom Heldal	Norges geologiske undersøkelse
Lars Sørum	SINTEF
Thomas Dahlgren	NORCE
Reinier Van Noort	Institutt for energiteknikk
Harald Brekke	Oljedirektoratet
Kari Holden	Miljødirektoratet
Siri Helle Friedemann	Norges Forskningsråd
Ingrid Anne Munz	Norges Forskningsråd
Ingunn Borlaug Lid	Norges Forskningsråd
Marit Heller	Norges Forskningsråd
Hallvard Surlien	WWF VERDENS NATURFOND
Espen Bernhard Kjærgård	OED
Cecilie Myklatun	OED

Norges forskningsråd

Postboks 564, 1327 Lysaker, Norway
Telefon: +47 22 03 70 00

post@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no

November 2019
978-82-12-03832-5 (pdf)

Publikasjonen kan lastes ned fra
www.forskningsradet.no/publikasjoner

